

המשרד להגנת הסביבה



الوزارة لحماية البيئة
Israel Ministry of Environmental Protection

מחקרי סביבה

מחקרים שהסתיימו בשנים 2019-2017

תקצירים
לשכת המדענית הראשית

דברי השרה

הקידמה, הפיתוח והטכנולוגיות הביאו איתם השלכות סביבתיות חובקות עולם המשפיעות על כל תחומי החיים. טיפול במשבר האקלים, זיהום הסביבה, הטיפול בפסולת, שמירה על המגוון הביולוגי ושימור השטחים הפתוחים - הם רק כמה משלל האתגרים כבדי המשקל המחייבים פתרונות הולמים, ברמה הלאומית וברמה הבין-לאומית. המערכות החברתיות והכלכליות שלנו נסמכות על משאבים טבעיים ועל מגוון המערכות הפיזיות, ועלינו מוטלת החובה לשמרן למעננו ולמען הדורות הבאים.

על מדינת ישראל להקדים ולהיערך למשברים משמעותיים העומדים לפתחה, ובראשם שינוי האקלים והידלדלות המגוון הביולוגי. משבר הקורונה חידד את הצורך בהיערכות המדינה למשברים, ואת החשיבות של קבלת החלטות אמיצות, מבוססות מדע, שימנעו מחיר כבד.

אנו במשרד להגנת הסביבה מקדמים גישה חדשנית ויצירתית לאיתור פתרונות מגוונים לאתגרים בתחום הסביבתי. פתרונות אלה ייצרו חוסן בריאותי וחברתי לאזרחי מדינת ישראל.

העלייה במודעות הציבורית וחיפוש אחר נתונים וממצאים מדעיים מבוססים, מאיצים את הפנמת הגורם הסביבתי בתהליכי קבלת החלטות. המשרד רואה חשיבות רבה בקידום המדע הסביבתי לצורך השלמת פערי מידע ובניית תשתית ידע שתהווה את הבסיס המדעי לקבלת החלטות.

בברכה,

חה"כ גילה גמליאל
השרה להגנת הסביבה

דברי המנכ"ל

השמירה על הסביבה נעשית מאתגרת יותר ויותר עם הגידול באוכלוסייה, לחצי הפיתוח והשאיפה לצמיחה כלכלית שלעיתים אינה מביאה בחשבון את העלויות החיצוניות. אתגר זה מחייב אותנו לקדם את המדע והמחקר ולהשתמש בידע שנצבר, על מנת לתכנן דרכים חדשות שיבטיחו את המשך קיומו של המין האנושי, תוך כדי צמצום הנזק למשאבי הסביבה.

אנשי המקצוע במשרד להגנת הסביבה מתמודדים עם נושאים סביבתיים רבים. נושאים אלה מחייבים מסד נתונים מוצק כדי לקבל החלטות באופן מיטבי. בין אלה: זיהום אוויר, השלכות שינוי אקלים והיערכות המדינה למשבר האקלים, טיפול בפסולת ושמירת המערכות האקולוגיות. מדיניות המשרד כחלק מאחריותו הציבורית כוללת קידום המעבר לאנרגיות מתחדשות, צמצום פליטות מזהמים לאוויר, לנחלים ולים, שיקום קרקעות וסילוק מפגעים ושמירה על המגוון הביולוגי. כל זאת כדי להבטיח את בריאות הציבור ואיכות חיי האזרחים. לצורך בניית הבסיס המדעי למדיניות המתהווה, המשרד מקדם מחקרים בתחומי הסביבה ותומך בהם.

בחוברת זו תקצירי מחקרים במגוון נושאים סביבתיים, שמטרתם קידום תחום האנרגיה המתחדשת, הפחתת זיהומים ושמירה על הסביבה הטבעית, למען בריאות האדם והסביבה. תמיכה שלנו במחקרים בנושאים אלה, מאפשרת את פיתוח תחומי המחקר הללו בארץ, פיתוח פתרונות טכנולוגים ירוקים וידע מדעי לקביעת מדיניות.

תודות לחוקרים העוסקים במחקר סביבתי, ללשכת המדענית הראשית, היוזמת ומקדמת את הידע המדעי בתחומי הסביבה, ולגורמי המקצוע במשרד, שמסייעים בזיהוי פערי המידע ובליווי המחקרים.

בברכה,

דוד יהלומי

מנכ"ל המשרד להגנת הסביבה

הקדמה

המשרד להגנת הסביבה פועל להטמעת השיקולים הסביבתיים בפעילות הממשלה והשלטון המקומי בתחומים שלהם היבטים סביבתיים, כמו אנרגיה, תחבורה, בנייה, תעשייה, כלכלה ועוד. המשרד עוסק גם במשבר האקלים, בזיהומים סביבתיים, מניעתם ובטיפול בהם, בטיפול בפסולת ובשמירה על הסביבה הטבעית, על המערכות האקולוגיות והמגוון הביולוגי. לשכת המדענית הראשית פועלת ליצור בסיס ידע מוצק ומדעי באמצעות קידום המחקר הסביבתי, הפצת הממצאים וקידום ההטמעה של הידע בקרב מקבלי החלטות בכל הרמות.

חוברת זו מאגדת 31 תקצירי מחקרים בנושאים סביבתיים שונים, שהסתיימו בין השנים 2017 - 2019, וכן רשימת מחקרים פעילים, כולם במימון המשרד להגנת הסביבה. מחקרים אלו עוסקים בסוגיות חשובות: הפחתת זיהום האוויר מתחבורה, תחליפי נפט לתחבורה, הפקת אנרגיה מביומסה, הסביבה הימית, מפרץ חיפה, מאבק בזבובי חול המעבירים את מחלת הלישמנאזיס, בנייה ירוקה וכן הערכה של מערכות אקולוגיות לצורכי תכנון. דוחות סופיים של מחקרים שהושלמו ניתן למצוא באתר האינטרנט של המשרד*.

המחקרים נערכים בזכות מחויבות אנשים רבים לקידום מדעי הסביבה. אנו מודים לעשרות החוקרות והחוקרים במוסדות להשכלה גבוהה, במכוני המחקר הממשלתיים, ובגופים נוספים אשר עוסקים בהגדרה ובהתמודדות עם האתגרים הסביבתיים הרבים בהווה ובעתיד. תודות שלוחות גם לעמיתים מהאקדמיה, ממשרדי ממשלה אחרים ומכלל אגפי המשרד להגנת הסביבה ומחוזותינו, המסייעים לנו בשיפוט המנהלי והמדעי של הצעות המחקר, בבקרת הדוחות המדעיים, ובהטמעת התובנות בעבודת הממשלה בכלל והמשרד בפרט. תודות אחרונות ויקרות נתונות לחברי צוות הלשכה גב' ויקי חי, גב' רויטל הכהן, גב' רחל יהושע ז"ל ואוראל אמויאל ברששת, שסייעו בליווי המחקרים ובהפקת חוברת זו.

מאחלת קריאה מהנה,

ד"ר מצנר ארנה

מנהלת תחום בכיר, מדע ומחקר
לשכת המדענית הראשית

*תוכן המחקר - באחריות מלאה של החוקרים. המשרד להגנת הסביבה אינו אחראי לתכנים, לממצאים, למסקנות ולכל פרט אחר הנוגע למחקרים אלו.

תוכן עניינים

1 דברי השרה

2 דברי המנכ"ל

3 הקדמה

7 זיהום אוויר מתחבורה

7 סקר אמצעים ממבחר מדינות וערים להפחתת זיהום אוויר מפעילות ענף התחבורה

9 סקירה בינלאומית של כלי מדיניות לעידוד השימוש בכלי רכב חשמליים והמלצות ליישום בישראל

10 רגולציית פליטות גזי חממה מכלי רכב נוסעים ומסחריים קלים בישראל

12 תחליפי נפט לתחבורה

פליטות

12 היווצרות ופליטה של מזהמים בשריפת מתנול

13 אומדן הפחת של גז טבעי בשרשרת האספקה מהבאר לרכב עבור דלקים מבוססי גז

14 בחינה השוואתית של חלופות לתפיסת פחמן בתהליכי ייצור דלקים מבוססי גז טבעי

15 השלכות סביבתיות של בחירת סוג שמן למנוע מופעל ב-syngas עם דגש לפליטות ננו-חלקיקים

16 שימוש במודל אטמוספרי-כימי לצורך חקר ההשפעה של תחליפי דלקים לתחבורה על ריאקטיביות אטמוספרית שניונית

17 מדידת זיהום האוויר הנפלט בזמן הנעה ונסיעת אמת ברכב ממונע בתחליפי נפט באמצעות מכשיר PEMS - Portable Emission Measurement System

דלקים

- 18 היבטים סביבתיים טכנולוגיים וכלכליים של ייצור דלק ביולוגי מדור שני מביו-מסה
- 19 השלכות סביבתיות של הפעלת מנועי דיזל בדלק חלופי מתחדש דמיתיל-אתר

20 הפקת אנרגיה מביומסה

- 20 תהליך היברידי אנזימטי- פיסקו- כימי להגברת תפוקת האנרגיה משפכים תעשייתיים (צח"כ 3000-1000 מג"ל)
- 21 פיתוח מערך להפקת ביואתנול מעודפי יבול, פסולת חקלאית צמחית ומצמחי מים
- 22 גפת זיתים - טיפול מקדים ושימוש בשמרים לייצור אתנול
- 23 שימוש בטכנולוגיות חימצון מתקדמות לטיפול מקדים בביומאסה ליגנוצלוליטית לייצור ביו אתנול
- 24 חיפוש מטאגנומי לאנזימים צלולוליטים ייחודים לפירוק פסולת חקלאית
- 26 ביומתנציה ביולוגית חדשנית להפקת דלק מפסולת אורגנית- שדרוג ביו-גז לרמה של גז טבעי

28 הסביבה הימית

- 28 עליית ריכוזי כספית בדגים מצפון מפרץ חיפה איתור המקורות והבנת הגורמים
- 29 גיבוש ערכי סף (אמות מידה) לרמות נוטריינטים וכלורופיל A לשמירה על איכות מי הים התיכון של ישראל: גישה המשלבת ניתוח סטטיסטי ניסויי bioassay ומודלים

30 בנייה ירוקה

- 30 יישום ת"י 5281 בשיפוץ בנייני מגורים קיימים
- 31 בחינת הגורמים להתנהגות צרכנים בנושא בנייה ירוקה
- 32 עידוד של בניה ירוקה בישראל באמצעות תמרוץ של מקבלי החלטות בענף
- 34 סקר התכנות ליישום של תאים פוטו-וולטאים משולבי מבנה בבניינים מסחריים בישראל
- 35 מגגות מוזנחים לגגות מחנכים: יישום גגות ירוקים במבני חינוך בישראל

36 לישמניה

- 36 הערכה אפידמיולוגית בזמן ובמרחב של טפיל הלישמניה בעשור האחרון בדרום הארץ
ופיתוח של אבחון מולקולרי מהיר ורגיש למינים השונים
- 37 מעקב אחר ההתפשטות של לישמניה טרופיקה בצפון ישראל
- 38 הדברת זבובי חול המעבירים ליישמניה טרופיקה

40 מפרץ חיפה

- 40 סקר היתכנות להפחתת זיהום אוויר מכלי שיט בנמלי חיפה ואשדוד
- 41 הערכה כלכלית של העלויות הבריאותיות
כתוצאה מתרומת מזהמי אוויר נבחרים במפרץ חיפה

44 שיקום הכרמל והערכת שירותי מערכת אקולוגית בשמורה הביוספרית כרמל

- 44 רעיית עיזים או כריתת זריעים להפחתת צפיפות זריעי אורן בכרמל
- 45 הערכת שירותי מערכת אקולוגית ורווחת האדם בשמורה הביוספרית הר כרמל

47 רשימת מחקרים פעילים

- 47 אפידמיולוגיה סביבתית במפרץ חיפה
- 47 זיהום סביבתי במפרץ חיפה ובתל-אביב
- 47 השפעת שפכי נפט מחוץ לשמורת עברונה
- 48 בנייה ירוקה
- 48 תחליפי נפט לתחבורה
- 48 הפקת אנרגיה מביומסה



זיהום אוויר מתחבורה

סקר אמצעים ממבחר מדינות וערים להפחתת זיהום אוויר מפעילות ענף התחבורה

ד. מהלאל, א. אילון, מ. לב און, פ. לב און, ש. פרוינד קורן, נ. שפירא, ע. ליבס | מוסד שמואל נאמן

רכב. בהתחשב בנתון זה, יש לאסור יבוא של כלי רכב שאינם עומדים בתקינה של הקהילה האירופית או האמריקאית.

אחת המסקנות הבולטות מסקר הספרות היא שעל מנת להשיג את יעדי הפחתת הזיהום, יש צורך ב**תיאום של כל הגורמים**: גופי התכנון הארציים והמקומיים; משרדי ממשלה (תחבורה, הגנת הסביבה, אנרגיה, כלכלה, אוצר, ראש הממשלה ומנהלת תחליפי נפט ותחבורה חכמה, בריאות); והשלטון המקומי.

הגוף המרכזי האמון על סקטור התחבורה הוא משרד התחבורה והסוגיות הסביבתיות אינן, בהכרח, בראש סדר העדיפות של משרד זה. המשרד להגנת סביבה יכול להשפיע רק בחלק המתייחס להפחתת זיהום מסקטור זה. ממצאי עבודה זו יעניקו נדבך נוסף בהבנה כי תועלות מתכנון תחבורתי נכון, מקידום תחבורה ציבורית, מהקטנת התלות ברכב הפרטי ואמצעי מדיניות נוספים הנסקרים בעבודה זו, יכולים לקדם תועלות סינרגיות כמו הפחתת גודש, הפחתת רעש, תאונות דרכים, התייעלות אנרגטית ועוד.

מסקנה נוספת היא שעל מנת להפחית מזהמים, נדרשת **פעילות נחושה עם סדר עדיפויות ברור** של מוסדות השלטון. כידוע, אין כוחות השוק מסוגלים להתמודד בצורה יעילה עם פעילויות הכרוכות ביצירת השפעות חיצוניות (Externalities). מכאן שעל מנת למנוע את העלויות הכלכליות והחברתיות של פעילויות אלה יש צורך בהתערבות פעילה של הממשלה וביישום ארגז הכלים המגוון שעומד לרשותה לצורך כך.

אמצעי מדיניות להפחתת זיהום אוויר מתחבורה כוללים:

צעדים כלכליים שתכליתם להשפיע על התנהגות המשתמשים ולגרום להסתת השימוש מרכב פרטי לתחבורה ציבורית ואמצעים לא ממונעים, **צעדים טכנולוגיים** המתייחסים לתקני הדלקים ולטכנולוגיות של כלי הרכב, וכן **היבטים טכנולוגיים** המקדמים תכנון מוטת תחבורה ציבורית וקידום אמצעי תחבורה לא ממונעת.

ההמלצות העיקריות העולות מעבודה זו כוללות המלצה לשילוב כוחות ואמצעים להפחתת זיהום אוויר מתחבורה, תוך נקיטת פעולות מיידיות (איסור מידי על יבוא כלי רכב פרטיים המונעים בדיזל, לדוגמא), שינויים בבסיס מיסוי הרכב בארץ על מנת לייקר את השימוש ברכב הפרטי ולתעדף שימוש באמצעי ניידות אחרים, הטמעה מהירה של עקרונות התכנון התחבורתי, המוטה תחבורה ציבורית ואמצעי ניידות אחרים וכן, ניצול היתרון

זיהום אוויר נגרם ממקורות שונים: תחבורה (יבשתית, ימית, אווירית), תעשייה, חקלאות ועוד. זיהום האוויר גורם לתחלואה, תמותה מוקדמת, לידות מוקדמות, פגיעה במערכות ביולוגיות ועוד. בין המזהמים יש להזכיר: חלקיקים, תחמוצות חנקן וגופרית, פחמן חד-חמצני, מתכות כבדות, תרכובות אורגניות נדיפות וכן גזי חממה כמו פחמן דו חמצני ומתאן. תחבורת הכבישים, נשוא מחקר זה, יוצרת כ-40% מסך פליטות תחמוצות החנקן, 11% מפליטות חלקיקים עד קוטר 2.5 מיקרון (PM2.5) ו-9% מהתרכובות האורגניות הנדיפות (NMVOC).

בגוש דן ובחיפה תרומת החלקיקים הנפלטים מסקטור התחבורה עומדת על כ-25% וכמעט 50%, והיקף תחמוצות החנקן מהוות 96% וכ-50%, בהתאמה. בנוסף, בישראל, תרם סקטור התחבורה בשנת 2014 כשליש מכלל פליטות הפחמן הדו חמצני של פליטות סקטור האנרגיה.

בכל העולם מקודמות תוכניות, הן ברמה הלאומית והן ברמת המקומית, להפחתת זיהום אוויר מסקטור התחבורה ו/או לחלופין, תוכניות לדה-קרבונזציה של סקטור התחבורה. הצלחת התוכניות האלה היא חלקית בלבד עקב העובדה שכלי רכב מזהמים ממשיכים לנוע בכבישים, היקף הנסועה וההובלה היבשתית עולים בהתמדה, יישום התוכניות כרוך בעלויות גבוהות ואכיפה קפדנית, נדרשים שינויים מהותיים בהתנהגות ועוד.

הגודש בכבישי ישראל, בעיקר בערים, תורם לא רק לזיהום אוויר ולתחלואה עודפת, אלא גם לפגיעה משקית חמורה: אובדן זמן, תאונות דרכים, מפגעי רעש, הרס מיסעות ועוד.

בעבודה זו נסקרו מספר רב של אמצעים טכנולוגיים, רגולטוריים וכלכליים המתרכזים **במניעה** של זיהום אוויר מתחבורה, **הסטה** של נוסעים ותעבורה לאופני תחבורה בת קיימא ואמצעים **לשיפור** הנצילות האנרגטית והפחתת הפליטות מכלי רכב.

פרק 2 נותן הסבר כללי ומציג את הרציונל עבור כל אחד מאמצעי המדיניות הנידונים ופרק 3 משרטט לכל אמצעי "תעודת זהות" הכוללת את תיאור האמצעי, מטרתו, הגוף המיישם (שלטון מרכזי/ מקומי/ מעסיק), דוגמאות ליישום מהעולם, חוזקות האמצעי ואתגריו. בפרק 4 מוצג סטטוס היישום של אותם האמצעים המיושמים כבר בישראל ומפורטים המלצות ואמצעים הנדרשים להרחבת היישום וליישום כלים חדשים.

כידוע, ישראל אינה יצרנית של כלי רכב ולכן תלויה בתקינה ובטכנולוגיות הקיימות במדינות המייצרות כלי

היחסי של ישראל בתחומי ההייטק, האוטומציה והיזמות לשם קידום פתרונות מתקדמים.

העקרונות המרכזיים המומלצים בעבודה זו להפחתת זיהום אוויר מתחבורה:

1. **גיבוש אסטרטגיה רחבה** לצמצום פליטות המזהמים ממערכות התחבורה המבוססת על צמצום הנסועה במכוניות פרטיות, הגדלת החלק היחסי של נסיעות בתחבורה ציבורית ואמצעים לא מוטוריים, מגבלות שימוש והגדלת מיסוי על כלי רכב מזהמים, מעבר לכלי רכב מונעים בחשמל ומגבלות שימוש בכלי רכב במרכזי ערים.
2. **הקצאת משאבים וקביעת סדר עדיפויות לקידום האמצעים השונים להפחתת זיהום האוויר מתחבורה.**
3. **שינוי מערך מיסוי התחבורה** - מיסוי דלקים וכלי רכב פרטיים לשם הפחתת השימוש במכוניות.
4. **שימוש באמצעים רגולטוריים וכלכליים לעידוד התקנת טכנולוגיות להפחתת פליטות והצרת כלי הרכב והקפדה על שימוש בדלקים נקיים.**
5. **קידום אמצעים תכנוניים ורגולטוריים להקטנת הנסועה בכלי רכב פרטיים תוך התמקדות בהפחתת הגודש ברחובות עירוניים ובדרכים בינעירוניות.**

6. **הגדלת החלק היחסי של נסיעות בתחבורה ציבורית ובשילוב אמצעי נסיעה: רכבות, אוטובוסים, רכיבה באופניים והליכה ברגל.**

7. **שיפור וייעול מערך שינוע הסחורות (Freight)** ומתן טיפול מיוחד לסוגית חלוקת הסחורות בערים. (The last mile)

8. **הרחבת אזורים המוכרזים כמופחתי פליטות או נקיים לחלוטין.**

9. **עשיית שימוש מיטבי בתשתיות קיימות תוך יישום שיטות ניהול תנועה מתקדמות.**

10. **פיתוח ויישום חדשנות בתחום תחבורה חכמה וערים חכמות.**

11. **שילוב בעלי העניין (Stakeholders) בתהליכים:** שלטון מרכזי ומקומי, ארגונים לא ממשלתיים, חברות עסקיות במשק, אקדמיה. כל זאת, לצורך העלאת מודעות ורתימת השותפים למחויבות לקידום ההטמעה.

על מנת ליישם עקרונות אלו נדרש לבצע ניטור ומעקב אחר השפעת אמצעי המדיניות על שיפור איכות האוויר. בגלל מגמות סותרות (עלייה בנסועה מחד גיסא, אך שיפור טכנולוגי של כלי הרכב מאידך גיסא) יש לפתח כלים אמינים לניטור השיפור באיכות האוויר.





סקירה בינלאומית של כלי מדיניות לעידוד השימוש בכלי רכב חשמליים והמלצות ליישום בישראל

ד. לביא, א. פרשה, נ. בניטה | קבוצת פארטו

מצומצם והיעדר פריסה של תשתיות טעינה. על מנת להסיר חסמים אלו, ממשלות רבות בעולם נוקטות צעדים שונים לעידוד היווצרותו והתפתחותו של השוק, זאת באמצעות רגולציה תומכת, קביעת יעדים מחייבים ויישום כלי מדיניות להשגתם.

בעבודה זו סקרנו את המגמות בשוק הרכב החשמלי תוך מיפוי של חסמים ומגמות צפויות להסרתם. כמו כן, סקרנו את אמצעי מדיניות התמיכה אותם מיישמות המדינות המובילות בשיעורי חדירת רכבים חשמליים וערכנו ניתוח מדיניות השוואתי לזו המיושמת כיום בישראל. לבסוף, הגדרנו שלוש סלי מדיניות אפשריים ליישום, אמדנו את יחס העלות-תועלת שמייצר כל סל ועל בסיסו המלצנו על סל צעדים אופרטיביים, אשר על פי הערכתנו יש ביכולתו להביא לפיתוח שוק כלי רכב חשמליים בישראל. ●

בשנים האחרונות שוק הרכב העולמי עובר שינוי טכנולוגי המוביל למעבר לשימוש בכלי רכב בהנעה חשמלית מלאה על ידי סוללות נטענות (Battery Electric Vehicles - BEV) והנעה חשמלית על ידי סוללות נטענות משולבת עם מנוע בעירה פנימי (Plug-in Hybrid Electric Vehicle- PHEV). מגמה זו היא במידה רבה תוצאה של מדיניות המיושמת על ידי מדינות שונות בעולם, בדגש על מדינות מפותחות, לצורך הפחתת פליטות גזי החממה מתחבורה, כאשר הרכב החשמלי משמש כאמצעי המרכזי בהפחתת פליטות אלו.

כלי רכב חשמליים מתאפיינים בחיסכון בעלויות תפעול ותחזוקה יחסית למקביליהם הקונבנציונאליים. עם זאת, קיימים כיום מספר חסמים המקשים על חדירתם לשוק, בדגש על עלות רכישה גבוהה, טווח נסיעה



רגולציית פליטות גזי חממה מכלי רכב נוסעים ומסחריים קלים בישראל

ד. לביא, ר. ציגלמן, ר. שטרק | קבוצת פארטו

לרגולציה הקיימת כיום בישראל, ומטרתה למקסם את פוטנציאל צמצום הפליטות בישראל מסקטור כלי רכב נוסעים, מאחר והתועלת השולית מרגולציה קיימת פוחתת. החלת רגולציה כזו תהיה מלווה בעלויות משקיות, אשר יחולו בעיקרן על היבואנים אשר לא יעמדו ביעדים הנקבעים להם וכתוצאה מכך ישלמו קנסות. מנגד, ישנן תועלות סביבתיות וכלכליות כתוצאה מהחלת רגולציה זו.

ההמלצה היא להחיל רגולציית יעדי פליטות על היבואנים בישראל. על מנת למקסם את התועלת מהחלת הרגולציה, יש לכלול בה מספר פרמטרים: קביעת יעדי פליטות בהתאם למדיניות המשרד והממשלה; קביעתם מתן תמריצים/קנסות באופן ששיגו את מטרתם אך לא יגרמו לעיוותי שוק; החלה הדרגתית של יעדי הפליטות, בכדי לאפשר ליבואנים לבצע את השינויים הנדרשים; התאמות נוספות נדרשות לתנאי השוק, כדוגמת חישוב ממוצע הפליטות ליבואן על פני כלל החברות אשר בבעלותו, ואפשרות ביצוע שוק משני.

מניתוח הרגולציה הפועלת במדינות שונות ומניתוח השוק בישראל, להלן המלצות יישום רגולציית יעדי פליטות CO₂ בישראל:

- יעדי פליטות דיפרנציאליים** - קביעת יעדי פליטות בנפרד לסקטור כלי רכב נוסעים וכלי רכב מסחריים קלים, כך שייצגו באופן מדויק את מאפייני השוק ואת השוני בהשפעות החיצוניות.
- גובה יעדי פליטות** - קביעת יעדי הפליטות באופן מאוזן: מצד אחד, לקבוע יעד שאפתני, כך שיוביל שינוי משמעותי, ומנגד - לשקול את ההשפעות על היבואנים ועל השוק כולו.
- עדכון היעדים** - עדכון יעדי הפליטות המשקיים בתקופת זמן של חמש שנים, תאפשר להשיג מטרות ארוכות טווח כמו גם לאפשר ליבואנים לבצע התאמות ושינויים נדרשים.
- הדרגתיות** - על מנת להשיג את היעד המשקי הנקבע לחמש שנים, יש לקבוע יעדי פליטות בעבור כל שנה אשר נגזרים מיעד זה, בכדי ליצור שינוי הדרגתי בר קיימא.
- קנסות** - במטרה לאכוף את היעדים הנקבעים יש לקבוע קנסות בעת חריגה מיעדים אלו, כאשר

בשנת 2016 התפרסמה החלטת ממשלה, בדבר גיבוש 'תכנית לאומית ליישום היעדים להפחתת פליטות גזי חממה ולהתייעלות אנרגטית', אשר תכלול מספר כלים כלכליים לעידוד הפחתת פליטות גזי חממה ובין היתר בסקטור התחבורה. מאז החלטה זו, יושמו שורה של כלים רגולטוריים בישראל אשר התווספו לכלים הקיימים, ובראשם הפחתת מס הקנייה לכלי רכב בעלי כמות פליטות נמוכה ("מיסוי ירוק").

תמריצים כלכליים, המופעלים הן על צד הביקוש והן על ההיצע, הינם צעדים שכיחים במדינות המפותחות, אשר הביאו להפחתה משמעותית בפליטות סקטור התחבורה. עם זאת, בישראל בשונה ממדינות אחרות, לא מופעלת רגולציה על צד היצע הרכבים על מנת להביא להפחתת פליטות CO₂.

מסקירה בינלאומית, עולה כי במרבית מדינות העולם וביניהן מדינות האיחוד האירופי וארה"ב, קיימים כלים מגוונים שנועדו לשנות את זרם כלי הרכב הקלים והמסחריים בסקטור התחבורה המקומי, ולעמוד ביעדי הפליטות. כמו כן, נמצא כי עקרונות הרגולציה דומים במדינות שנסקרו, והם כוללים יעד פליטות משקי המתעדכן אחת לכמה שנים, החל על כל יבואן/יצרן רכבים בנפרד, בהתאם לממוצע הרכבים אשר נמכרו על-ידו בשנה. על מנת להבטיח כי היבואנים והיצרנים יעמדו ביעדים, ולתמרץ את היצרנים לבצע שינויים טכנולוגיים שיביאו להתייעלות אנרגטית, מוטלים קנסות על חריגה מהיעד. היעדים ליבואנים/יצרנים קטנים נקבעים באופן שונה ומחמיר פחות, על מנת למנוע עיוות שוק במקרים אלו. על מנת לאפשר גמישות ליצרנים והיבואנים, מתקיים שוק משני של סחר בפליטות בין יבואנים או יצרנים. כלל המדינות הציגו ירידה בשיעור הפליטות הממוצע.

ניתוח שוק הרכבים בישראל, מראה כי גובה הפליטות מכלי רכב קלים עמד בישראל בשנת 2017 על 130.9 CO₂ גרם/לק"מ - ממוצע פליטות גבוה מזה שבנורבגיה ובאירופה, ונמוך משוויץ וארה"ב - וכי מחצית מכלי רכב נוסעים אשר נמכרו בישראל בשנה זו, היו בדרגת זיהום בינונית (9-4). שוק יבוא הרכבים בישראל הוא שוק ריכוזי, בו שולטים חמישה יבואנים המחזיקים יחד בנתח שוק של כ-70% (בשנים 2017 - 2018).

רגולציית יעדי פליטות מהווה רגולציה משלימה

1 "תכנית לאומית ליישום היעדים להפחתת פליטות גזי חממה ולהתייעלות אנרגטית", החלטת ממשלה מס' 1403, 10.04.2016.

6. על גובה הקנסות לייצג את העלויות החיצוניות הנובעות מפליטות CO₂.

7. **שוק משני**- קיום שוק משני מאפשר גמישות מרבית ליבואנים, כמו גם צמצום עלויות תשלום הקנס במקרה של חריגה מיעדים או יצירת רווח ממכירת הפער בשיעור הפליטות, במקרים בהם הציג היבואן שיעור פליטות הנמוך מהיעד הנקבע לו.

8. **החרגות**- החרגת יבואנים קטנים בעלי נתח שוק של 2%-0%, תאפשר למנוע עיוות שוק הנובע משתלום קנסות גבוהים, שכן הגמישות בהרכב צי הרכבים קטן יותר.

8. **פיילוט**- ביצוע בחינה ראשונית אודות השפעות רגולציית יעדי הפליטות בישראל. ניתן כשלב ראשוני, להחיל יעדי פליטות על חברות הליסינג אשר בדומה ליבואנים, שולטות בצי הרכבים שלהם ויכולות לבצע בהם שינויים לאור הרגולציה. ●

תחליפי נפט לתחבורה

פליטות



היווצרות ופליטה של מזהמים בשריפת מתנול

י. לוי, ו. שרבאום, ו. ארנבורג, א. רויזמן, ו. נדבני | מוסד הטכניון למחקר ופיתוח

הנוצרים בעת שריפה של מתנול כולל פורמלדהיד ואקרולין, שני מזהמים רעילים המאפיינים שריפה של מתנול. העבודה התבססה על אנליזה כימית תוך שימוש בתוכנת CHEMKIN וכן פיתוח מודלים כימיים "מנוונים" אשר יאפשרו לשלבם בחישובי זרימה ושריפה נומריים מסוג CFD. ניתוח קינטיקה כימית באמצעות תכנת CHEMKIN [2017] הראו כי הריכוז של אקרולין הוא נמוך ושווה ל-0.16ppm. יחד עם זאת אין עדיין תקן לפליטה מותרת של אקרולין כך שקשה להעריך באם הערך שהוא אמנם נמוך, מהווה סיכון כל שהוא. מנגנונים קינטיים כימיים קיימים לשריפת מתנול שונו והותאמו בהתאם לתוצאות ניסויים לשילוב טוב יותר בסימולציה של CFD. ניתוח של התוצאות הנומריות והניסיוניות הראה שבזמן השריפה ריכוז פורמלדהיד מקומי יכול להגיע לערך של מאות חסס כשהיחס האקוויוולנטי גדול מ-1. זאת אומרת כשתערובת של הדלק והאוויר הינה עשירה. בנוסף, גם ערך נמוך של זמן שהייה מוביל להגדלת היווצרות הפליטות מסוג CO ו-CH₂O.

מתנול יכול לשמש כדלק חלופי לדלקים נוזליים פוסיליים וע"י כך לגוון את סוגי הדלקים המשמשים לבעירה בתחבורה, בתעופה ובתעשייה. למרות תאימות בתכונות הפיסיקליות והכימיות של הדלקים, עדיין ניתן להבחין בהבדלים בתכונות הבעירה ובעיקר בהרכב פליטת המזהמים (NO_x, CO, PM), בהיווצרות מזהמים חדשים (למשל פורמלדהיד ואקרולין), בתכונות הקרינה של הלהבה והשפעתה על תא הבעירה ו/או התווך המחומם, בטווח פעולה יציב של המבער, בפיזור שדה הטמפרטורה בתוך תא הבעירה, בהשפעתו על מעבר החום לדפנות ועוד.

במהלך 10 השנים האחרונות בוצעו במעבדה למנועי סילון וטורבינות גז שבטכניון עבודות מחקר שונות אשר הראו שהשימוש במודלים שונים של קינטיקה כימית מאפשר לחזות בקירוב טוב את ביצועי מבער תוך אבחון ההבדלים הנובעים משימוש בדלקים שונים. יחד עם זאת, עד עתה העבודות התמקדו בעיקר בהערכה של יעילות הבעירה ובמציאת טווח פעולה יציב. העבודה הנוכחית התמקדה בפליטת המזהמים



אומדן הפחת של גז טבעי בשרשרת האספקה מהבאר לרכב עבור דלקים מבוססי גז

א. אילון, מ. לב און, פ. לב און, נ. שפירא | מוסד שמואל נאמן

מתאן נע בסביבות 1.7% מהגז המופק אשר אבד והשתחרר לאטמוספירה לפני הגעתו לצרכן. טווח הפליטות המוערך על פני שרשרת האספקה הינו רב ביותר ונע בין 2 ל-42 גרם CO_2/MJ . אומדני עצימות הפליטה של CH_4 נעים בין 0.2% ל-10% מתכולת המתאן של הגז הטבעי. אחוזי האובדן ועצימות הפליטות בפועל הם ייחודיים לכל מדינה ויש לחשבם מנתוני ייצור ושיווק מקומיים מפורטים, יחד עם מצאי פליטה רלוונטי. ההמלצות העולמיות כוללות: עדכון מקדמי פליטה המתמקדים בקטגוריות מקורות פליטה בעלי עדיפות גבוהה; איסוף נתוני מדידה חדשים והתאמה ממוקדת של גורמי פליטה לייצוג פעילות המגזר המקומי; שימוש בדגימות ומדידות מדויקות בכדי להבטיח את ייצוגיות הנתונים; הערכה של השתנות הפליטות ואי הוודאות תוך שימוש במקדמי פליטה מקומיים ולא גנריים.

בניתוח סך הפליטות מהבאר למיכל (WTT) עבור CNG באיחוד האירופי נמצא, על בסיס אנרגטי, כי עצימות הפליטה עומדת על 9.9, 3.74, ו-0.11 עבור CO_2 , CH_4 ו- N_2O , ביחידות של גרם $\text{MJ}/\text{CO}_2\text{e}$, בהתאמה. עצימות הפליטה בשימוש במודל GREET עבור מסלול CNG הוא 18.4 גרם $\text{MJ}/\text{CO}_2\text{e}$. עצימות הפליטה הקשורה לייצור מתנול מגז טבעי משתנה בין המתקנים השונים בשל מקור הגז הטבעי והטכנולוגיה בה משתמשים. עצימות הפליטה במקרים השונים שנבדקו נמצאה בטווח שבין 0.3 ל-0.9 $\text{tCO}_2\text{e}/\text{tMeOH}$. בניתוח WTT של ייצור של GTL נמצאה עצימות בטווח 28-90 גרם $\text{MJ}/\text{CO}_2\text{e}$ עבור הפיכת גז טבעי לבנזין, או 191-25 גרם $\text{MJ}/\text{CO}_2\text{e}$ עבור הפיכה לסולר. עבור GTL, גבולות ההערכה צריכים לכלול שינוע של המוצר - שינוע הדלק ממיתקן ההמרה לתחנת התדלוק ולאחסון באתר, והתדלוק.

הערכת פליטות בישראל במעלה הזרם: מוגבלת למידע שדווח למפל"ס, וזאת לפי דיווחים עבור האתרים של חברות הגז הטבעי לשנים 2014-2017. חישוב פליטות מתאן, תוך שימוש במקדמי IPCC של Tier 1 (על בסיס נפח הגז המופק), מניב ערכים גבוהים ב-30-50% לעומת הנתונים המדווחים במפל"ס.

לאור העובדה כי אין נתונים אמנים בישראל אשר מהם ניתן לגזור המלצות או לבצע ניתוחי עלות-תועלת, ההמלצה העיקרית של המחקר היא לדרוש מהתעשייה לבצע סקרי דליפות תוך הצגת האמצעים בהם השתמשו והצגת הנתונים בשקיפות ותוך בקרה רציפה, הן ע"י התעשייה והן ע"י הממשלה.

המתאן (CH_4) הוא המרכיב העיקרי של הגז הטבעי והשני בגודלו בהשפעתו על פליטות גזי חממה (גז"ח) אחרי הפחמן הדו-חמצני (CO_2) הממקד כיום את המאמצים הגלובליים לצמצום פוטנציאל ההתחממות הגלובלית של האטמוספירה. המתאן הינו בעל השפעה רדיאטיבית של מעל לפי 25 בהשוואה ל- CO_2 . בנוסף, המתאן תורם להיווצרות ערפוח פוטו-כימי, כולל היווצרות אוזון בטרופוספירה ולפיכך הוא מושך את תשומת לבם של רגולטורים, אמצעי תקשורת, ענפי תעשייה וכן ארגונים סביבתיים.

הגז הטבעי הינו מרכיב חשוב בכלכלת ישראל ותורם חיובית מההיבט הסביבתי. הגז הטבעי מקדם עצמאות אנרגטית והשימוש בו מפחית את פליטת גזי החממה משום שכמות הפחמן ליחידת אנרגיה נמוך בהשוואה לדלקים פוסיליים אחרים.

מחקר זה מתמקד בהערכת אובדן גז טבעי ופליטת גז"ח (CO_2 ו- CH_4 בלבד) משרשרת האספקה מה"באר למיכל" (Well-to-Tank, or WTT) עבור מספר מסלולים של דלקים מבוססי גז טבעי, כולל: גז טבעי דחוס (CNG), מתנול מעורב בדלק בנזין והפיכת גז לדלק נוזלי (GTL). כמו כן, בעקבות הצגת התוכנית האסטרטגית החדשה של משרד האנרגיה לשנת 2030, נכללו במחקר גם הערכות ראשוניות של אובדנים כתוצאה מייצור חשמל ע"י גז טבעי לצורך טעינת כלי רכב חשמליים.

המטרות הספציפיות של המחקר: סקירת הספרות והנתונים העדכניים ביותר לגבי שיעורי אובדן הגז הטבעי מהמגזר לאורך שרשרת האספקה; הערכת שיעור פליטת גזי חממה של גז טבעי כתוצאה מאזור, נישוב ודליפה; השוואת נתונים של פליטות במעלה ובמורד הזרם ממדינות נבחרות עבור ייצור דלקים מבוססי גז בישראל; המלצה על אמצעי מדיניות אופציונליים לצמצום נזקי הגז הטבעי ופליטת גזי חממה. יש לציין שהסקירה המדעית והניתוח המופיעים במחקר זה מוגבלים משום שהם מבוססים על נתונים הזמינים רק ממספר מדינות נבחרות, בעיקר בארה"ב. כמו כן, יש נתונים פומביים מועטים, שאינם מפורטים דיים, מפעילות משק הגז הטבעי בישראל. בנוסף, בשל היות חלק מהמידע מידע עסקי חסוי וכן בשל מגבלות תקציביות, לא ניתן היה לבצע איסוף נתונים נרחב בכדי לאפיין ביתר דיוק את הענף בישראל.

ממצאים עיקריים: בהתאם לאומדנים של סוכנות האנרגיה העולמית, ממוצע הפליטות הגלובליות של



בחינה השוואתית של חלופות לתפיסת פחמן בתהליכי ייצור דלקים מבוססי גז טבעי

א. אילון¹, מ. לב און¹, ד. מדר², פ. לב און¹, נ. שפירא¹ | מוסד שמואל נאמן, SP Interface²

וגורר התייקרות של 30-60% בתהליך ייצור החשמל.

***יישום CCS צנוע** במתקני תחליפי דלקים מבוססי גז טבעי יביא לתפיסה, שינוע ואחסון של 3 מיליון טון פד"ח בשנה, בעלות של 900-450 מיליון ₪ (3% מפליטות גזי החממה בישראל ב-2030).

***יישום CCS בינוני** במתקני תחליפי דלקים מבוססי גז טבעי יביא לתפיסה, שינוע ואחסון של 6 מיליון טון פד"ח בשנה, בעלות של 1,650-750 מיליון ₪ (6% מפליטות גזי החממה בישראל ב-2030). ***יישום CCS נרחב** במתקני תחליפי דלקים מבוססי גז טבעי יביא לתפיסה, שינוע ואחסון של 25-30 מיליון טון פד"ח בשנה, בעלות של 19,200-7,600 מיליון ₪ (25-30% מפליטות גזי החממה בישראל ב-2030). רק יישום חלופה זו, או יישום חלקי שלה, יכולים לצמצם באופן משמעותי את פליטות גזי החממה השנתיים של ישראל, בהתאם לתפקיד שדו"ח (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC) רואה ל-CCS.

אחסון פד"ח אפשרי בשבעה אקוויפרים מלוחים עמוקים (Deep saline aquifers) בדרום ישראל, המסוגלים לקלוט את כל כמויות הפד"ח השנתיות שנזכרו לעיל במשך 800-130 שנים.

המלצות מדיניות: שילוב כלי מדיניות הינו קריטי בהתנעת ו/או האצת פיתוח CCS. אלו כוללים וידוא ומעקב ממשלתי של היצמדות למטרות הפחתת פליטות לכל רוחב המשק, באופן עקבי עם מטרות הסכם פריז (2015); גיבוש מדיניות, לרבות שימוש בתמריצים כלכליים (המעודדים התייעלות אנרגטית, הקמת מתקני אנרגיה מתחדשת והקמת מתקני CCS או שימוש במס פחמן) להשגת צמצום פליטות בטווח בינוני בענפים רבים במשק, בהתאמה למטרות הפחתת הפליטות לטווח ארוך; נדרשת הכללה מפורשת של CCS בתוכניות לאומיות להתמודדות עם שינוי אקלים או בהצהרות מדיניות מרכזיות בתחום, ולהדגיש כיצד CCS יכול לשחק תפקיד לצד טכנולוגיות דלות בפחמן אחרות; הבטחת ודאות לענפים הרלוונטיים במשק ע"י התחייבות ממשלתית מתמשכת; ייזום מעורבות ציבורית/פרטית על מנת לתת מענה לסיכון בין חלקי התפיסה, השינוע והאחסון בשרשרת ה-CCS, לשם צמצום סיכון כללי; וכן הקדשת תשומת לב מיוחדת להאצת השקעה באיתור ואפיון אתרי אחסון, לאור העובדה כי נדרש זמן רב לפיתוח אתרים אלו.

תפיסה ואחסון פחמן (CCS- Carbon Capture and Storage) הינו תהליך בו פחמן דו-חמצני (פד"ח) נתפס מפליטות של תהליכים תעשייתיים והפקת חשמל, ומאוחסן ללא יכולת להיפלט לאטמוספירה. מטרת התהליך לצמצם השפעת פליטת גזי חממה אנתרופוגניים (ממקור אנושי) על שינוי האקלים. CCS מורכב משלושה שלבים עיקריים: **תפיסה** - הפרדת פד"ח מגזים אחרים בתהליך התעשייתי או בתהליך הפקת חשמל; **שינוע** - העברת הפד"ח מאתר תפיסתו אל אתר אחסנה; **ואחסון** - הזרקת פד"ח אל תצורות קרקע או לאקוויפרים תת-קרקעיים לשם כליאה ארוכת טווח. לחילופין, ניתן לשלבו בתהליכים תעשייתיים לייצור מוצרים (CCU- Carbon Capture and Utilization). מדובר במגוון רחב של טכנולוגיות ותהליכים. חלק מהם פועלים בהצלחה כבר עשרות שנים, בעוד אחרים נמצאים תחת פיתוח או בשלבי מעבר לשימוש בקנה מידה תעשייתי. כיום פועלים בעולם כ-35 פרויקטים ועוד כעשרים בשלבי פיתוח שונים. המפעלים הקיימים הם בעלי יכולת תפיסה מצרפית של יותר מ-30 מיליון טון בשנה (רק 0.1% מפליטות גזי חממה אנתרופוגניים), והם מיושמים בתחנות כוח ובתעשייה.

מטרות המחקר: לסקור את תחום ה-CCS בעולם: טכנולוגיות, מתקנים, יישום ומדיניות. להשוות בשלות, יעילות ועלות של טכנולוגיות אלו. לבצע בחינה השוואתית ראשונית של יישום פתרונות CCS במערך תחליפי הדלקים לתחבורה מבוססי גז טבעי אשר עשויים לקום בישראל, בהתאם לתחזית התוכנית הלאומית לתחליפי דלקים לשנת 2030.

ממצאים עיקריים: ***עיבוד גז טבעי וייצור CNG (Compressed Natural Gas - גז טבעי דחוס)** - הגז הטבעי הגולמי אשר נמצא עד כה בישראל עני מאוד בפד"ח. לכן, אין צורך ב-CCS בתהליכים אלו. ***ייצור מתנול** - ניתן לצמצם 50% מפליטות הפד"ח באמצעות CCU, ללא עלות נטו למפעל המתנול או אפילו ברווח. אולם, כמות זו צפויה להוות רק 0.25% מפליטות גזי החממה השנתיים של ישראל. ***ייצור GTL (gas to liquid)** - ניתן לתפוס 1.5-3.5% מפליטות גזי החממה השנתיים של ישראל בעלות נמוכה, תוך התייקרות של 3.5% בלבד בתהליך ייצור הדלק. ***חשמל בתחנת כוח מונעת בגז טבעי (NGCC)** - ניתן לתפוס עד 30% מפליטות גזי החממה השנתיים של ישראל. אולם, הפתרון זה הוא היקר ביותר לכל טון פד"ח שנתפס



השלכות סביבתיות של בחירת סוג שמן למנוע מופעל ב-syngas עם דגש לפליטות ננו-חלקיקים

ל. טרטקובסקי, מ. ויינבלט, ו. בייביקוב, מ. גוטמן, א. פארן, א. תחאוחו | מוסד הטכניון למחקר ופיתוח

השפעת איכות השמן ותכונותיו על פליטות חלקיקים, במיוחד- ננו-חלקיקים, והתפלגות גודליהם.

המטרה העיקרית של המחקר היא לחקור השפעת איכות השמן ותכונותיו על היווצרות מזהמים במנוע הצתה חשמלית המופעל ב-syngas עם דגש על היווצרות ננו-חלקיקים.

העבודה כוללת סקר ספרות מקיף על השפעת איכות השמן על פליטות מזהמים ממנועי שריפה פנימית וסקר שמני מנוע המשווקים בארץ כולל התייעצות עם מומחי שמנים בארץ מחברות "פז" ו-"דלק", בנוגע למקומות בהם קיימים מפעלים לייצור שמנים, כדי לבחור סוגי השמנים עבור הניסויים.

בוצעה הכנת מערכת מעבדתית לביצוע המדידות ובדיקת התקינות של המנוע ושל מערכת המדידות, כולל גם הכיול של המכשירים למדידות פליטות מזהמים ומד ספיקה של syngas.

העבודה כוללת גם את תוצאות הניסויים שבוצעו עם ארבעה שמנים שונים: שני שמנים מנרליים ושני שמנים סינטטיים, בעלי תכולת אפר גבוהה ונמוכה, בהתאמה. תוצאות הניסויים מצביעות על כך שפליטות הננו-חלקיקים במנוע המופעל על syngas גבוהות בכפי 2 מפליטות הננו-חלקיקים ממנוע הבנזין (באותו משטר). בנוסף, לא נמצא הבדל בריכוז החלקיקים כתוצאה משימוש בשמנים שונים.

תוצאות המחקר מצביעות בפעם הראשונה על אפשרות היווצרות חלקיקים במנוע על אף השימוש בדלק חלופי "נקי" כמו מימן. על פי הערכת החוקרים, ניתן להפחית פליטות אלו ע"י אופטימיזציה של תהליך הזרקת הדלק (syngas) וערבובו בתא השריפה של המנוע. בכך, המשך המחקר בכיוון הנ"ל יתרום למשימות החשובות של הכנסת דלקים חלופיים, כגון ה-syngas ו-CNG, לשוק הדלקים הישראלי, הבנה עמוקה יותר של השפעת שמן על פליטות המזהמים ממנוע המופעל בדלק חלופי והפחתת פליטות המזהמים מכלי רכב בארץ. ●

הסיבות העיקריות לתשומת לב הולכת וגדלה של רשויות לדלקים חלופיים ובמיוחד- דלקים מתחדשים, הן: אי-וודאות לגבי מחירי הדלק ונטייה כללית לעלייתם, בעיות שינוי אקלים ופליטות גזי חממה, בטחון הספקת אנרגיה וגוונון מקורות אנרגיה. עם מגמת עליה מתמדת במחירי הנפט, חלק מטכנולוגיות ייצור של דלקים חלופיים כבר הפכו להיות כדאיות מבחינה כלכלית. אלכוהולים, כמו אתנול ומתנול, ידועים היטב כדלקים חלופיים מבטיחים לתחבורה. ניתן להפיק אתנול מביו-מסה ומתנול מגז טבעי וביו-מסה. לכן הם גם נחשבים כמקור אנרגיה מתחדש. הפעלת מנוע במוצרי רפורמינג של אלכוהול מאפשרת לשרוף בו דלק גזי עשיר במימן (המכונה syngas) עם ערך הסק גבוה יותר לעומת דלק ראשוני. דלק חדש זה הוא בעל תכונות בעירה טובות יותר, כמו מהירות התפשטות הלהבה, הגורמות לשריפה יעילה יותר עם היווצרות פחותה של מזהמים. הערכות שבוצעו במחקרים שלנו מצביעות על פוטנציאל חסכון בדלק של כ-12-15% יחד עם הפחתה דרמטית של פליטות המזהמים.

תיאורטית, שריפת ה-syngas במנוע לא אמורה להוביל להיווצרות חלקיקים, דבר המהווה יתרון משמעותי על פני מנועים המופעלים בדלק קונבנציונלי או אפילו באלכוהול אשר לא עבר תהליך הרפורמינג. יש לציין שהנושא לא נחקר עדיין כראוי ודורש הוכחה ניסויית. יחד עם זה, במנוע המופעל ב-syngas (וגם במימן) השפעת שמן מנוע על היווצרות ופליטות חלקיקים, וכן מזהמים אחרים, הופכת להיות משמעותית ביותר. השפעת שמן על היווצרות חלקיקים ידועה ונחקרה היטב במנועים המופעלים בדלקים קונבנציונליים. יחד עם זאת, מידע לגבי השפעת שמן מנוע על היווצרות ופליטות חלקיקים במנוע אשר פועל על דלק חלופי, כמו מימן או syngas, מוגבל ופרגמנטרי. ההבדלים בהשפעת שמן על היווצרות חלקיקים במנוע המופעל בבנזין ו-syngas נובעים מהבדלים בתהליך הבעירה של הדלקים האלה בצילינדר המנוע. חסר מידע מפורט על



שימוש במודל אטמוספרי-כימי לצורך חקר ההשפעה של תחליפי דלקים לתחבורה על ריאקטיביות אטמוספרית שניונית

ע. טס, מ. גבאי | האוניברסיטה העברית בירושלים

התרכובות האורגניות הנדיפות והפחמן החד-חמצני לאחר הפליטה מכלי רכב מונעי בנזין ודיזל, M85 ו-E85. להערכתנו המנגנון הכימי שיצרנו על בסיס המנגנון הפוטוכימי הבסיסי של מודל CAABBA-MECCA הינו מהמקיפים והמתאימים ביותר לבדיקת זיהום אוויר פוטוכימי מתחבורה, גם בקנה מידה עולמי. מבחינת התרכובות האורגניות הנדיפות הרחבת המנגנון נעשתה באופן סלקטיבי על מנת לכלול אך ורק את התגובות בעלות תרומה משמעותית ליצירת אוזון בהתבסס על שני קריטריונים: א') ערכי מקדמי הפליטה המפורסמים עבורם ב') נתוני פוטנציאל יעילות ייצור אוזון של כל אחת מן התרכובות המדווחים בספרות המדעית.

בנוסף, הטמענו במודל אלגוריתם המתאר את פיזור מזהמי האוויר על מנת לאפשר תיאור מהימן יותר של התפלגות הריכוזים בזמן ובמרחב כפונקציה של התנאים המטאורולוגיים הנבדקים. העבודה מתמקדת בפליטה של רכבים מכביש, תחת תרחישים שונים שכוללים הנעה בסוגי דלק שונים, מצבי יציבות שונים וגורמים מגבילים שונים ליצירת אוזון.

להערכתנו המחקר מספק הבנה ברורה לגבי אופן ההשפעה הצפוי של דלקים חלופיים על זיהום אוויר פוטוכימי בישראל וכן מניח את הבסיס למחקרים עתידיים הקשורים ביצירת זיהום אוויר פוטוכימי בישראל. המחקר מצביע על פוטנציאל הפחתה משמעותי ומצומצם יותר להפחתת אוזון כתוצאה משימוש ב-M85 וב-E85, בהתאמה, ביחס לדלקים שבשימוש בישראל כיום. שימוש בדלקים החלופיים שנבדקו צפוי להוביל גם בהפחתה של PAN (בעיקר M85), אך שימוש בדלקים חלופיים (בעיקר M85) צפוי להעלות את ריכוז הפורמלדהיד, דבר בעל השלכה בעיקר על קרבת אזור הפליטה בהשוואה עם אוזון, שלו השפעה אזורית נרחבת יותר. להבנתנו, סיכום תוצאות המחקר מלמד על היתרון שבשימוש בדלקים החלופיים שנבדקו מבחינת זיהום אוויר, בהתחשב במגוון ההשלכות על זיהום אוויר שניוני, ובמיוחד כאשר נלקחת בחשבון גם השפעתם על יצירת זיהום אוויר ראשוני. מחקר זה מלמד על ההשפעה הרבה של רמות הרקע של מזהמי האוויר, שעת הפליטה, ולפיכך גם עונות השנה על התוצאות. הניסוי גם מעלה את הצורך בשיפור מצאי מקדמי הפליטה הקיימים כיום בנמצא. אנו ממליצים על שימוש בממצאים והכלים שפותחו בעבודה זו במודל תלת ממדי אזורי, אשר יוכל לקחת בחשבון את ההתפלגות מצאי הפליטה השונים במרחב ובזמן, לרבות מקורות פליטה נוספים הכרוכים באחסון, תדלוק ושינוע דלקים. ●

הפחתה אפשרית בזיהום האוויר מהווה גורם חשוב בין מגוון השיקולים שיש לקחת בחשבון לצורך בחינת השימוש בדלקים חלופיים לתחבורה בישראל. בעוד שמחקרים מצביעים ככלל על הפחתה אפשרית בזיהום אוויר ראשוני כתוצאה משימוש בדלקים חלופיים, מעט מאוד ידוע על פוטנציאל הפחתה של מזהמי אוויר שניוניים כתוצאה משימוש פוטנציאלי של דלקים חלופיים לתחבורה בעולם בכלל ובישראל בפרט. זאת למרות שמזהמי אוויר שניוניים מסוימים, דוגמת אוזון ופורמלדהיד, מהווים בעיה סביבתית ובריאותית חמורה יותר מאשר מרבית המזהמים הראשוניים. מזהמי האוויר השניוניים נוצרים ממזהמי האוויר הראשוניים, הנפלטים באופן ישיר כתוצאה מתהליכי שריפה בכלי רכב, או כתוצאה מנידוף ישיר של הדלקים. תהליכי יצירת זיהום האוויר השניוני כוללים עשרות רבות של תהליכים כימיים מורכבים באטמוספירה, אשר יעילותם תלויה הן בהרכב הכימי של האטמוספירה והן בתנאים המטאורולוגיים. לכן חיזוי תרומת התהליכים הפוטוכימיים עבור מסת אוויר בהרכב נתון ועבור תנאים מטאורולוגיים מסוימים דורש שימוש במודל מתאים. המחקר הנוכחי עושה שימוש במודל הכימי-אטמוספרי CAABA-MECCA המאפשר לבצע סימולציות נומריות באמצעות מנגנון כימי מפורט במיוחד ותחת התנאים המטאורולוגיים וההרכב הכימי של האטמוספירה האופייניים לישראל.

תחליפי הדלק שנבדקו הינם הרלוונטיים לשימוש בישראל וכוללים תערובות של מתנול ואתנול בתכולה של 85%, כלומר M85 ו-E85 בהתאמה. בדיקת התרומה של גז טבעי לזיהום אוויר שניוני, יכולה להיבדק כתלות בהתפתחות הטכנולוגית בנושא בישראל. אין בכוונת עבודה זו לתאר את היווצרות המזהמים הפוטוכימיים במרחב ובזמן בישראל. העבודה מספקת הבנה בסיסית של השינוי הצפוי בריכוזי מספר גזים מזהמים שניוניים (שנבחרו כאינדקטורים - דוגמת אוזון, פורמלדהיד ופראוקסי אצטיל ניטראט), כתוצאה משימוש בתחליפי הדלק לעיל ובהשוואה עם הדלקים שבשימוש כיום, תחת תנאים מטאורולוגיים שונים והרכב כימי שונה של האטמוספירה, עבור מקורות פליטה תחבורתיים שונים, הרלוונטיים לישראל.

הייחודיות של עבודה זו היא בשימוש במנגנון כימי מפורט ביותר, אשר הותאם באופן מיוחד לצורך מחקר ספציפי זה, על סמך מקדמי פליטה מפורטים ושימוש במאגר נתונים קנייני הגדול ביותר מסוגו. כפועל יוצא המנגנון הכימי הבסיסי של המודל הורחב על ידי עשרות תגובות באופן שיוכל לתאר באופן מיטבי את התהליכים הכימיים אותם עוברים תחמוצות החנקן,



פליטות

מידדת זיהום האוויר הנפלט בזמן הנעה ונסיעת אמת ברכב ממונע בתחליפי נפט באמצעות מכשיר PEMS - Portable Emission Measurement System

ע. שר, ד. קטושבסקי, ג. גולדויין | אופוניה בע"מ

במהלך הפרויקט נבחנו 3 דלקים: סולר סטנדרטי B0, ביודיזל שהוכן משמן משומש באסטרפיקציה בריכוז 20% עם 80% סולר סטנדרטי B20, וביודיזל שהוכן מ-brown grease משומש, בתהליך ייצור אנזימטי בריכוז 50% עם 50% סולר סטנדרטי B50.

הרכב הנבדק היה מצויד במתקן טיפול מסוג SCR ובהתאם לשימוש בדלקים השונים, לא הייתה השפעה משמעותית על פליטת תחמוצות חנקן. פליטת HC הייתה זהה עבור כל סוגי הדלקים, ונמוכה מאוד. פליטת CO בדלקי הביודיזל, הייתה גבוהה ביחס לסולר רגיל.

פליטת חלקיקים הייתה גבוהה יותר עבור B20 ביחס ל-B0, ונמוכה יותר עבור B50 ביחס ל-B0. נציין כי למרות שהפליטות הממוצעות מ-B20 היו גבוהות מאלה של ה-B50, הרי שהפליטות המקסימליות הרגעיות של ה-B50 היו גבוהות מאלה של ה-B20 (כאשר עומס המנוע היה קרוב לעומס מקסימלי).

במהלך תכנית המחקר פותח פרוטוקול מתאים למדידת זיהום האוויר, הנפלט מכלי רכב כבדים בתנאי נסיעה אמיתיים. תוצאות המדידה מייצגות מתווה תנועה עירוני. ●

בשנים האחרונות גברה המודעות לסכנה הנובעת מפליטת מזהמים מכלי רכב הממונעים בדיזל (סולר), ומאידך גובר השימוש בתחליפי נפט מסוג ביו-דיזל. תוצאות תכנית המחקר המדווחות בדוח זה מפרטות את שני הנושאים יחד, פליטת מזהמים ושימוש בביו-דיזל, וזאת במדידה על רכב בזמן אמת, תוך כדי נסיעה.

תכנית המחקר כללה את החלקים הבאים:

1. התקנה של מכשירי מדידת מזהמים על רכב המונע בתערובות שונות של ביו-דיזל.
2. מדידה של מזהמי אויר מסוג CO, HC, CO₂, PM, NOx דהיינו גזים וחלקיקים, תוך כדי נסיעה.
3. מדידה של ריכוזי המזהמים הנפלטים בתנאי נסיעה שונים, תוך שימוש בביו-דיזל המופק מסוגים שונים של פסולת, בתהליכי הפקה שונים.
4. השוואה של כמות המזהמים הנפלטים כאשר נעשה שימוש בתערובות שונות של ביו-דיזל וסולר רגיל, תוך כדי נסיעה.



היבטים סביבתיים טכנולוגיים וכלכליים של ייצור דלק ביולוגי מדור שני מביו-מסה

י. צור, י. הדר, ע. חסון | האוניברסיטה העברית

של הסכום, המצטבר על פני 50 שנות הפעילות המוגדרות במודל, הינו הרווחה החברתית הכוללת. המדיניות האופטימאלית, היא זו לפיה מוקצים סכומי המחקר והפיתוח השנתיים, המושקעים בקידום פתרון צווארי הבקבוק המרכזיים, כך שהערך הנוכחי ממוקסם בכפוף למגבלות שהוגדרו.

התוצאות שהתקבלו הראו כי בתנאים מסוימים תתכן הפקת דלק ביולוגי מדור שני בישראל וכן שהפקה כזו כדאית כלכלית. נמצא כי נדרשות לא מעט שנות השקעה במחקר ופיתוח עד שניתן יהיה להגיע לשלב בו ניתן להרוויח מייצור דלק ביולוגי מדור שני בישראל. משלב זה ואילך ניתן יהיה ליהנות ממקור אנרגיה כלכלי ופחות מזהם, למשך שנים רבות נוספות. כמו-כן, נמצא כי כיולם של מספר משתנים כגון השפעת סוגי הידע המוגדרים במודל ומחירה העתידי של חבית נפט הוא קריטי ועשוי לשנות באופן משמעותי את התוצאות ובפרט, את זמן ההשקעה הנדרש. לשם השוואת התוצאות שהתקבלו בישראל, הוחלט לערוך מקרה בוחן נוסף באוסטרליה, בה היקף המשאבים גדול יותר וקיימת גמישות רבה יותר בניצולם. גם במקרה זה נבחרו שני גידולים ייעודיים ואזור הדומה באופיו לאזור הנבחר בישראל. התוצאות שהתקבלו במקרה הבוחן האוסטרלי מרשימות ביותר ומראות כי עם הבשלת התנאים, תוכל אוסטרליה לייצר בכוחות עצמה נתח משמעותי מצריכת הדלק בה לתחבורה. ●

דלק ביולוגי מדור שני מקורו בביו-מסה צמחית, הן ביו-מסה שיורית (קש) של גידולי יבול והן ביו-מסה של מיני צומח ייעודיים. שני היתרונות העיקריים בייצורו הם הפחתת פליטות גזי חממה ומניעת התחרות על משאבי קרקע ומים מול גידולי יבול. דלק ביולוגי מדור שני עדיין איננו מיוצר כיום באופן מסחרי ונמצא בשלבים שונים של מחקר ופיתוח. תשומת הלב של המחקר העולמי ממוקדת בגידולים שאינם מתאימים לתנאים בישראל מבחינת האקלים, הסביבה ואמצעי הייצור. לפיכך, הוחלט להתמקד בעבודה זו בגידולים ייעודיים המחייבים התאמה אופטימלית לתנאי האקלים ולמצב משאבי הקרקע והמים בישראל. לאחר סקירת מגוון גידולים, נבחרו אשל ואלפלפה ונבחנה התאמתם לשמש כגידולי אנרגיה באזור הר הנגב הצפוני. השפעתם הכלכלית של צווארי בקבוק מרכזיים בתהליך ייצור הדלק נלמדה והוערכה התרומה האפשרית מהפקתו בקנה מידה מסחרי בישראל. מגבלות קרקע, מים ותקציב מחקר ופיתוח הוגדרו במודל אופטימיזציה כלכלי שנבנה לצורך כך, לצד משתני ההחלטה אשר נקבעים בו באופן פנימי. המודל כויל בהתאם למאפייני האשל והאלפלפה ותנאי הגידול באזור הר הנגב הצפוני. חושבו בו הרווחים המסחריים השנתיים מייצור דלק ביולוגי מדור שני, בניכוי עלויות הנובעות מפליטות פחמן דו-חמצני ובניכוי השקעות הנעשות לאורך השנים במחקר ופיתוח. הערך הנוכחי



השלכות סביבתיות של הפעלת מנועי דיזל בדלק חלופי מתחדש דמיתיל-אתר

ל. טרטקובסקי, א. חנין, מ. גוטמן, מ. ויינבלט, ו. בייביקוב, ע. בן-ארי, א. תחאוחו, א. אייל | מוסד הטכניון למחקר ופיתוח

החלק השני של המחקר כולל: חקר חישובי של ביצועים ופליטות מזהמים בעזרת תכנת GT-SUITE; בניית מודל המנוע ומערכת התדלוק, הרצה ועדכון המודל בתכנת ה-GT-SUITE; איסוף נתונים סטטיסטיים עבור אוטובוסים, משאיות ורכב נוסעים וקביעת 3 תסריטים של חדירת דמיתיל-אתר לשוק הדלקים בישראל; רכישת חלקים לצורך בניית המערכת הפיזית לצורך הזנת המנוע ב-DME וביצוע אינטגרציה של כל החלקים יחדיו; ביצוע ניסויים במנוע דיזל המוזן DME וסולר בריכוזים משקליים שונים; ניתוח השוואתי של התוצאות החישוביות והתוצאות שהתקבלו מהניסויים, עדכון המודל החישובי בהתאם לתוצאות הניסוי.

החדשנות של המחקר הינה בחקר מעמיק של השפעת הפעלת מנוע דיזל, ביצועים ופליטות מזהמים, בדלק חלופי מתחדש DME ביחד עם סולר בריכוזים משקליים שונים, עם דגש על פליטות מזהמים ובפרט על ננו-חלקיקים המסוכנים מאוד לגוף האדם.

התרומה הצפויה של המחקר ליעדי המשרד להגנת הסביבה הינה במציאת חלופה/תוספת ברת קיימא לסולר, המשמש כיום כדלק עיקרי לתחבורה ציבורית והתחבורה הכבדה, וכן, הפחתה של זיהום האוויר במדינת ישראל כתוצאה משימוש בדלק החלופי המתחדש DME.

דימיתיל-אתר, Dimethyl-Ether בקצרה DME, הינו דלק חלופי מתחדש ותחליף פוטנציאלי מצוין לסולר הקונבנציונלי. ה-DME הינו גז הניתן לניזול קל יחסית עם תכונות אחסון ותדלוק הדומות לאלו של גפ"ם. מספר הצטאן של ה-DME בדרך כלל גבוה מ-55. עד כה בוצעו עבודות מחקר רבות שמטרתן הייתה להעריך את השפעת ה-DME על ביצועי מנוע דיזל ופליטות מזהמים, אך לא בוצעו עבודות מחקר רבות של שילוב ה-DME ביחד עם סולר והיווצרות של ננו-חלקיקים.

מטרת המחקר היא חקר פליטות מזהמים (עם דגש על פליטות של ננו-חלקיקים) וביצועי מנוע דיזל המוזן בדלק החלופי המתחדש DME יחד עם סולר באחוזים משקליים שונים והשוואתם לביצועים ופליטות מזהמים של מנוע דיזל המוזן בסולר בלבד.

בשנה הראשונה של המחקר בוצע סקר ספרות נרחב כולל קריאה של מאמרים בנושא והתכתבות עם מחברי מאמרים וחברות שונות בתחום. הבנה של הקשיים והמכשולים שעומדים בפני החוקרים. מציאה, קבלת הצעות מחיר והזמנה של הדלק החלופי המתחדש DME. בחירת המנוע המעבדתי המתאים לסוג זה של מחקר, חיפוש אחר מידע וחלקים אשר מתאימים להסבת המנוע. גיבוש קונספט של מערכת התדלוק בלחץ וקבלת הצעות מחיר לחלקים השונים של המערכת.



הפקת אנרגיה מביומסה

תהליך היברידי אנזימטי- פיסקו- כימי להגברת תפוקת האנרגיה משפכים תעשייתיים (צח"כ 1000-3000 מג"ל)

ס. עאסלה, ע. סבאח, מ. עוסמאן, נ. מסאלחה | מו"פ אזורי אגודת הגליל

פחם או בינטוניט), וזה כנראה בגלל השפעה על האתר הפעיל של האנזימים, בגלל דביקות האנזימים לבינטוניט ולפחם בצורה המגבילה את פעילותם הביולוגית (תערובת האנזימים כנראה מאבדת צורתה הרבעונית הפעילה כתוצאה מהדביקות החזקה לפחם ולבינטוניט). נפח המתאן הנוצר מריאקטור הביקורת, בהשוואה עם ריאקטור המכיל תערובת אנזימים וגם פחם או בינטוניט, לא שונים מבחינה סטטיסטית, וזה כנראה בגלל אפקט הנטרול של הבינטוניט והפחם לתערובת האנזימים. מצד שני תוספת חומצה הומית יכולה לזרז ייצור המתאן בריאקטור גם בנוכחות תערובת האנזימים מבלי לעכב פעילותה כמו פחם ובינטוניט. ההסבר כנראה, קשור למסיסותה של החומצה ההומית בריאקטור בעוד שבינטוניט ופחם הם חלקיקים גבישים היכולים לספוח אליהם לא רק חומצות שומן ארוכות אלא גם תערובת האנזימים עצמה ובכך פחם ובינטוניט יכולים לגרום לעיכוב תערובת האנזימים. כנראה, מנגנון ההשפעה של חומצה הומית על זירוז ייצור המתאן לא מתבסס על ספיחה בלבד כמו של חומצה הומית ופחם.

פחם כן יכול להגביר את כמות המתאן בריאקטור, אם משתמשים בבוצה שנחשפה לפחם במחזור טיפול קודם, או בריאקטור רציף אשר אליו מוכנסים שפכים אנזים (אך לא בוצה חדשה) בצורה רציפה. החשיפה הראשונה בין תערובת האנזימים לבין הפחם הנמצא על הבוצה מהמחזור הראשון, תוריד את חוזק השפעת הנטרול לפחם במחזור השני.

החומרים הנבדקים במסגרת מחקר זה הראו יעילות מובהקת בהפחתת העיכוב של חומצות שומן ארוכות, אך תוספת חומרים אלו צריכה להיות מבוקרת ע"י מומחה שיוכל להציע תכנון ותפעול אופטימלי בהתאם לסוג השפכים המוכנסים לריאקטור ובהתאם לעומס האורגני ההתחלתי, ולקבוע הזמן האידיאלי להכנסת חומרים אלו לריאקטור. תרומתם של חומרי טבע אלו בהקטנת אפקט העיכוב של חומצות השומן הארוכות בתוך הריאקטור, יפתח חלונות חדשים למחשבה בכיוון פתרון לחלק גדול של שפכים עמוסי שמנים ושומנים. מצד שני, שימוש בחומרים הטבעיים המוצעים כאן מכוון לרווח סביבתי כפול: הן בהפחתת השפעתם של חומרים אלו על הסביבה והן בהשפעתם החיובית בהגדלת נפח המתאן הנוצר מתהליך הטיפול בשפכים והגדלת האנרגיה המופקת.

במטרה להגדיל כמות המתאן הנוצר מתהליך הטיפול בשפכים תעשייתיים בתחום של צריכת חמצן כימית (צח"כ) בין 3,000-10,000 מג"ל, נחקרה כאן שיטה אנאירובית חדשה, ידידותית לסביבה המתבססת על שילוב טיפול היברידי המורכב מטיפול קדם אנזימטי ושילוב טיפול פיסקו-כימי. במשך תהליך הטיפול האנאירובי בשפכים תעשייתיים נוצרות חומצות שומן ארוכות אשר יכולות לעכב המיקרוביום המתנוגני בבוצה. הפחתת העיכוב של חומצות שומן ארוכות המצטברות בריאקטור מביאה להגדלת תפוקת האנרגיה החילופית ע"י תנובה מכסימלית של מתאן. טיפול הקדם מתבסס על תוספת אנזימים לזירוז שלב ההידרוליזה בעוד שהטיפול הפיסקו-כימי מתבסס על שימוש בחומרים מספחים טבעיים כמו חרסיות, פחם וחומצות הומיות. חרסיות וחומצות הומיות הם המרכיב העיקרי לקרקע בגליל, הם זולים וזמינים, בנוסף לתכונותיהם הפיסקאליות בספיחת חומרים אורגניים כגון חומצות שומן ארוכות.

נמצא כי השימוש בטיפול קדם אנזימי ע"י BG Max (להלן תערובת האנזימים) מגדיל נפח המתאן הנוצר בצורה מובהקת. אך, התקבל עיכוב בקצב ייצור המתאן בריאקטורים בתום תהליך הפירוק (לאחר 25 ימים), והסיבה לכך עפ"י דיווחים רבים ועדכניים בספרות, קשורה כנראה, בהצטברות חומצות שומן ארוכות בריאקטור.

עפ"י התוצאות שהתקבלו, הסתבר כי חרסית הבינטוניט ופחם אכן יכולים לזרז קצב ייצור המתאן בריאקטור ללא תוספת תערובת אנזימים. ההשערה היא שיש יכולת של הבינטוניט והפחם לספוח חומצות שומן ארוכות (הגורמות לעיכוב) ובכך לנטרל או להקטין את אפקט העיכוב. אדרבא, עפ"י התוצאות: בריאקטור מנתי אשר אליו מכניסים שפכים, בוצה, תערובת אנזימים ופחם או בינטוניט, למשך כחודש ימים לא מתקבל זירוז ייצור מתאן מהמנה הראשונה. פחם יכול לזרז ייצור המתאן בריאקטור האנאירובי החל מהמחזור השני ואילך של תוספת הפחם, ויש צורך בשימוש בבוצה במחזורי נוספים.

המסקנה העיקרית היא: נוכחות הבינטוניט והפחם עם תערובת האנזימים בריאקטור האנאירובי, לכאורה לא תגרום להעלאת נפח המתאן הנוצר (בהשוואה עם נפח המתאן הנוצר מריאקטור הביקורת- ללא



הפקת אנרגיה מביומסה

פיתוח מערך להפקת ביואתנול מעודפי יבול, פסולת חקלאית צמחית ומצמחי מים

מ. ניסנביץ¹, י. אנקר², ס. לוגובסקוי¹ | אוניברסיטת אריאל בשומרון, ²מו"פ אזורי שומרון ובקעת הירדן

הידרוליזה פוליסוכרים לקבלת מונו ודוסוכרים המהווים מצע לביצוע תסיסה מיקרוביאלית- המובילה להפקת ביואתנול. הידרוליזה של פוליסוכרים ניתן לבצע בשיטות כימיות או ביולוגיות רב שלביות או בתהליך מכנוכימי חד שלבי כפי שהוצע במחקר זה. בשנת המחקר הנוכחית הושלם פיתוח הידרוליזה מכנוכימית של פוליסוכרים ממקורות שונים של ביומסה, נבדק הרכב וריכוז הסוכרים המשתחררים וגם ריכוז הליפידים והחלבונים. על סמך אנליזה הרכב הסוכרים נבחרו מונו ודוסוכרים מודליים מייצגים לבניית תהליך תסיסה בעזרת שמרים משני מינים - *Pichia stipitis* ו-*Saccharomyces cerevisiae*. נבדקו קצבי הגידול של השמרים במצעים המבוססים על תשעה סוכרים שונים ונבדקה יכולת השמרים לגדול במצעים המורכבים בלעדי על בסיס ביומסות צמחיות ממקורות שונים. על פי הסכמה שנלמדה בסדר גודל מעבדתי בוצע גמלון חצי תעשייתי בפקטור של 1000 עד 3000, של הידרוליזה מכנוכימית ושל התססת תמציות מביומסה מטופלת. כמו כן, נבחרו תנאי הפרדה של ביואתנול בעזרת זיקוק ופוחתה סכימה כללית של הפקדת ביואתנול מביומסה ממקורות שונים. ●

הצורך במציאת מקורות אנרגיה חלופיים נובע מדילול מתמשך במלאי דלקי מאובנים, מהצורך להפחית התלות במדינות זרות אשר מפיקות נפט וגם על מנת להגביר את קיימות סביבת האדם. ביואתנול המופק מביומסה הינו דלק תחבורה נזלי ששימוש בו תורם למניעת עלייה בריכוז גזי חממה ועל כן, יכול להוות חלופה לדלק מאובנים. הפקת ביואתנול מפסולת ליגנולוזית (שאריות עץ, פסולת קנה סוכר, סיביתירס, קש אורז, פסולת קסאוה וכו') זכתה לעניין נרחב בעולם בשל זמינות ועלויות נמוכות יחסית של חומרי הגלם. מקורות נוספים לליגנולוזית הם צמחי מים כדוגמת יקינטון המים (*Eichhornia crassipes*) וחסת המים (*Pistia stratiotes*) צמחים מדבריים כגון צבר (*Opuntia ficus-indica*), פסולת חקלאית (ענפים, גזם וכו') ועודפי יבול של פירות וירקות. יתרון בשימוש בצמחי מים ומדבר נובע מכך שאלו אינם מתחרים בשטחי גידול של תוצרי חקלאות. פסולת חקלאית ועודפי היבול של גידול צמחי מאכל, אינם דורשים השקעות נוספות ומייתרים את הצורך בטיפול נוסף. תהליך רגיל של המרת ביומסה לביואתנול כולל שלב של



הפקת אנרגיה מביומסה

גפת זיתים - טיפול מקדים ושימוש בשמרים לייצור אתנול

י. גרשמן¹, ח. עזאיה² | ¹אוניברסיטת חיפה, ²מו"פ אזורי אגודת הגליל

במסגרת פרויקט זה בדקנו שיטות טיפול מקדים שונות -שילוב חומצות אורגניות בריכוזים נמוכים ובטמפ' מתונות (נמוכות מ-170°C) בטיפול במיקרוגל במטרה להוריד עלויות ולהפחית יצירת תוצרים רעילים. התוצאות הראו שטיפול מקדים במיקרוגל אמנם גורם לאבדן מסוים של סוכרים (בעיקר מפרקציית ההמיצלולוז) לשחרור מוגבר במקצת של מעכבי תסיסה, אולם טיפול זה מביא גם לשחרור יעיל בהרבה של סוכרים ע"י הטיפול האנזימטי (במיוחד כאשר האחרון נעשה עם Cellic CTec2), בעיקר כאשר נעשה בנוכחות חומצה פורמית (עד 100% מהפרקציה הצלולוזית), ולקבלת מקסימום האתנול (12.9 g/L ו-74 mg/g גפת). שאריות הטיפול האנזימטי נמצאו כסופחים יעילים של מתכות כבדות, בעיקר כאשר הטיפול נעשה עם במיקרוגל+מים. ●

מחקר זה בוחן שיטות שונות להפיכת פסולת מוצקה של בתי בד (גפת) לאתנול- כולל טיפולים מקדימים ושימוש בשמרים סביבתיים. גפת זיתים עשירה בצלולוז, המיצלולוז וליגנין. הצלולוז שהוא פולימר של גלוקוז, הוא מועמד טבעי לפירוק ויצירת אתנול, המיצלולוז פחות נוח שכן הוא מכיל גם כמויות משמעותיות של סוכרים קשי התססה (כארבינוז וקסילוז). בעיה מיוחדת מציג ריכוז הליגנין בגפת. ליגנין הוא פולימר פנולי מורכב שמהווה חלק משמעותי מתכולת החומר הצימחי. ליגנין מהווה מחסום פיזי לנגישות חומרים ואנזימים (כצלולאזות) שנועדו לפרק את הצלולוז אל הסובסטרט ולפחות במקרה של צלולאזות נמצא לאחרונה שהן נקשרות ומעוכבות ע"י נוכחות ליגנין, מצב שיוצר צורך בטיפולים מקדימים מסובכים ויקרים ולעיתים יוצר תוצרי לוואי רעילים, שמפריעים לאנזימים ויאו לשמרים בהם משתמשים להתססת הסוכרים הנוצרים.



הפקת אנרגיה מביומסה

שימוש בטכנולוגיות חימצון מתקדמות לטיפול מקדים בביומאסה ליגנוצלוטיטית לייצור ביו אתנול

י. גרשמן¹, ה. ממן² | ¹אוניברסיטת חיפה, ²אוניברסיטת תל-אביב

במהלך המחקר בחנו את תהליך האוזונציה על חומרי מודל (חומצה גאלית-פנול פשוט וחומצה טאנית-רב פנול) ועל פסולת ליגנוצלוטיטית, גזם עירוני גרוס. נבחנו פרמטרים תפעוליים בתהליך האוזונציה כגון זמן תפעול ושינוי ברמת חומציות ונבדק פירוק פנולים על חומרי המודל והסרת הליגנין, וכן שיפור הפירוק אנזימטי של הגזם בעקבות האוזונציה. תהליך האוזונציה הראה יכולת יפה בהסרת הליגנין ושיפור משמעותי באפשור הפירוק האנזימטי, ללא צורך בהגעה למינרליזציה מלאה של הליגנין. יצויין שתוצאות דומות התקבלו בעבודה על החומצה הטאנית, מעכב ידוע של אנזימי הצלולאזות, תוצאות שהדגימו שאין צורך במינרליזציה. התוצאות מדגימות את כוחו של טיפול מקדים מבוסס אוזון, כמקדים פשוט יחסית בפסולת חקלאית בדרך להפוך אותה לאתנול. יתרון גדול של האוזון הוא היכולת לייצר אותו בקנה מידה קטן לפי דרישה, דבר שיכול לפתוח הפתח לטיפול מבוזר בפסולות חקלאיות ללא צורך בהובלה ארוכת טווח יקרה כלכלית ואנרגטית.

מחקר זה בוחן את השימוש בתהליכי אוזונציה כתהליך מקדים לטיפול בביומסה ליגנוצלוטיטית עבור ייצור עתידי של ביואתנול.

תהליכי חמצון מתקדמים (AOP - Advanced Oxidation Processes) יוצרים רדיקלי הידרוקסיד ($\bullet\text{OH}$). רדיקל זה מאופיין ביכולת חמצון מהגבוהות ביותר לפירוק של מזהמים אורגנים מחד ובאורך חיים קצר מאידך. התגובה הלא סלקטיבית של הרדיקלים מאפשרת את התאמת התהליך לטיפול במזהמים רבים ומגוונים, בעוד אורך החיים הקצר מונע פגיעה בתהליכים המשכיים. הדבר חיוני לצורך בחינה של החלפת תהליכי קדם קיימים (שימוש בחומצות חזקות, חום ולחץ גבוהים וכיו"ב) אשר מצד אחד גורמים לסיבוכים טכניים בתהליך ומצד שני עלולים לייצר תוצרי לוואי המשפיעים לרעה על יעילות התהליך- מה שגורם לתהליך להיות לא כלכלי, נכון להיום.



הפקת אנרגיה מביומסה

חיפוש מטאגנומי לאנזימים צלולוליטיים ייחודיים לפירוק פסולת חקלאית

י. שוהם | מוסד הטכניון למחקר ופיתוח

חדשים ממשפחות לא ידועות (ואולי בעלי מנגנוני קטליזה חדשים), אשר יכולים להשתלב ולשפר טכנולוגיית ייצור דלקים ביולוגיים.

ניתן לאפיין את התוכן הגנטי הנמצא בספריות מטאגנומיות בשתי גישות; סריקה תפקודית וסריקה רצפית. בסריקה תפקודית מחפשים בספריות מטאגנומיות פנוטיפ מוגדר, כגון פעילות אנזימטית. פרטים שהראו תוצאה חיובית בסריקה זו, יעברו המשך ניתוח למציאת הגנוטיפ האחראי לפעילות שנצפתה. לעומת זאת, בסריקה רצפית של ספריה מטאגנומית, המידע הגנומי המרוצף מעובד על ידי תוכנות מחשב. תוכנות אלו מבוססות על זהות רצפית של רצפי החלבון הנמצאים בספריה, לאלו של חלבונים מוכרים ומאופיינים.

דרך אחת לייעל את הסריקה הרצפית מתבססת על אופי תהליך פירוק דופן תא-הצמח, המתבצע על ידי מערכות רב חלבוניות. בכל מערכת כזאת משתתפים חלבונים רבים מלבד גליקוזיד הידרולאזות, כגון: טרנספורטרים מסוג ABC, פקטורים רגולטוריים, מודולים לקישור סוכרים (CBMs), קוהזינים ודוקרינים, גליקוטרנספרזות (GTs) ואסטרזות (CEs). במקרים רבים נמצאים הגנים המקודדים לחלבונים אלו בקרבה אחד לשני בצברים בכרומוזום. אזורים בגנום בהם מתכנסים מספר גנים המשותפים למסלול פעילות, נקראים איים גנומיים. לאיים אלו מספר מוטיבים המפרידים אותם משאר הגנום וגודלם נע בין 10-200 אלפי בסיסים. בשימוש בגישת השכנות הגנומית, ניתן לזהות איים גנומיים הכוללים חלבונים המשתתפים בתהליך פירוק דופן תא-הצמח. גנים שנמצאים באיים אלו, והם בעלי זהות נמוכה לחלבונים ידועים או ללא זהות כלל, יכולים להיות גליקוזיד הידרולאזות חדשות.

מטרת מחקר זה הינה פיתוח שיטת אנליזה רצפית, המיועדות לאיתור גליקוזיד הידרולאזות חדשים בספריות מטאגנומיות, בדגש על אנזימים מפרקי צלולוז והמי-צלולוז. לצורך כך פותחה שיטת סריקה רצפית ייחודית שבמרכזה עומד האלגוריתם הממוחשב: Genomic Island Mapper (GIM). עיצוב האלגוריתם נעשה על בסיס שלושה עקרונות מנחים: (1) האלגוריתם מוכוון לאיתור גליקוזיד הידרולאזות ובכך מצמצם את היקף העיבוד הראשוני של המידע המטאגנומי הרב. (2) בבסיס השיטה הוטמע עקרון סריקה המבוסס על גישת השכנות הגנומית. יישום שיטה זו, מאפשר התמקדות באיים גנומיים המכילים מערך חלבונים המיועד לפירוק ביומסה. כתוצאה מכך, מנופים מספר רב של גנים לא מוכרים ומתאפשרת התמקדות בגנים המשויכים

אתנול המופק מביומסה צמחית, הידוע גם כביו-אתנול, הינו תחליף דלק נזלי ממקור מתחדש המיועד לתחבורה. שלב הכרחי בתהליך ייצור ביו-אתנול מביומסה צמחית, הינו פירוק האוליגוסוכרים של דופן התא הצמחי ליחידות סוכר מסיסות וזמינות לניצול בתהליך הפרמנטציה. שיפור ביעילות שלב זה ישפיע ישירות על עלותו הכוללת של תהליך הפקת האתנול ועל מחיר התוצר הסופי. להבדיל מביו-אתנול מדור ראשון, המופק מצמחים המשמשים גם לתזונת בני אדם ובעלי חיים, ביו-אתנול מדור שני מופק מפסולת אורגנית צמחית, המהווה תוצר לוואי של גידול צמחים.

אוליגוסוכרים מבניים מצמחים מורכבים ברובם מצלולוז והמי-צלולוז, והם מהווים את מאגר הפחמן הגדול בעולם. אוליגוסוכרים אלו, הם בעלי תפקידים רבים ומגוונים בתא הצמח, בין היתר הם מהווים את השלד המבני של התא ומהווים חלק ממנגנוני הגנת התא כנגד מזיקים. כפועל יוצא מתפקידם, שרשראות סוכר אלו הן בעלות עמידות גבוהה הן פיזית והן כנגד פירוק כימי של הקשר הגליקוזידי בין יחידות הסוכר בשרשרת. כדי להתמודד עם עמידות זו ועם המגוון הגדול של האוליגוסוכרים, מיקרו-אורגניזמים שונים פיתחו אנזימים רבים על מנת לפרק את השרשראות הללו לסוכרים זמינים ולנצל את האנרגיה האצורה בהם. אנזימים אלו נקראים גליקוזיד הידרולאזות. גליקוזיד הידרולאזות הם קבוצה של אנזימים המבצעים הידרוליזה לקשר הגליקוזידי בין שתי יחידות סוכר בשרשראות האוליגוסוכרים. כיום ישנם כ-260,000 רצפים ידועים של גליקוזיד הידרולאזות ומספרם עולה וגדל עם התפתחות המחקר בתחום. בהתבסס על המולוגיית רצפי חלבון, גליקוזיד הידרולאזות מסווגים למשפחות (135 משפחות כיום). כאשר לאנזימים מאותה המשפחה יש דמיון במנגנון הקטליטי, במבנה של האתר הקטליטי ובחומצות האמינו הקטליטיות. על כן, גילוי של משפחות גליקוזיד-הידרולאזות חדשות, טומן בחובו אפשרות למציאת מנגנונים קטליטיים ייחודיים ולא נודעים אשר יכולים לתרום לשיפור התמורה המסחרית של תהליך ייצור ביואתנול.

על מנת למצוא אנזימים חדשים יעילים יותר, ניתן להרחיב את החיפוש למיקרו-אורגניזמים לא מזוהים ושלא ניתן לגדלם בתנאי מעבדה. שיטת המטאגנומיקה מאפשרת לחקור מיקרו-אורגניזמים חדשים ללא צורך בגידול. בשיטה זו מבודד DNA ישירות מסביבות הגידול הטבעיות, ללא גידול של האורגניזם. בכך, מאפשרת שיטת המטאגנומיקה מציאת גליקוזיד-הידרולאזות

למערכת פירוק ביומסה. גנים אלו נחשדו כגליקוזיד הידרולאזות חדשים. (3) הערכה של גנים אלו נעשתה על ידי רמת שימור השכנות הגנטית. בבסיס גישה זו עומדת ההנחה כי גן השייך למערכת האנזימטית לפירוק ביומסה, יציג שימור בפרופיל השכנות הגנומית בכמה איים גנומיים שונים.

במהלך המחקר נעשתה סריקה של 75 מטגנומים מסביבות תרמיות מימיות. הספריות התרמופיליות מכילות 2,843,368 רצפי DNA המכילים 4,510,201 גנים מבטאי חלבון צפויים. במיפוי שנעשה על ידי GIM, נמצאו 97 רצפי DNA שהכילו 778 גנים הקשורים לפירוק דופן תא-צמח. מתוך 97 האיים הגנומיים, נבחרו שני איים (G11 ו-G12) שהכילו גנים המשויכים למסלולים מטבולים לניצול צלולוז.

G11 מכיל 20 חלבונים, ביניהם הידרולאזות (ממשפחה GH44, GH43 ו-GH2), שתי מערכות להובלת סוכרים, וחלבון אחד לא ידוע הנחשד כגליקוזיד הידרולאז חדש-nGH_127. במהלך תהליך ההפקה של nGH_127, נצפתה השפעה טוקסית של גן זה על החיידק הנשא, ולכן לא התאפשר אפיון החלבון. ההידרולאז ממשפחה 44 (Cel44N) נמצא כ-endo-cellulase המפרק CMC, PASC, וקסילאן ממקורות שונים. Cel44N הראה פעילות מוגברת על CMC, שהינו נגזרת של צלולוז. מניתוח תוצרי הפירוק של CMC על ידי Cel44N, עולה כי לחלבון העדפה לשרשראות סוכר גדולות, דבר האופייני להידרולאזות ממשפחה 44. טמפרטורת הפעילות האופטימלית של Cel44N היא 72°C ו- 75°C , $T_m=75^{\circ}\text{C}$, כמצופה לאנזים ממקור תרמופילי.

G12 מכיל 12 חלבונים, ביניהם הידרולאז ממשפחה 5 (Cel359), שתי מערכות להובלת סוכרים, שני חלבונים רגולטוריים וחלבון אחד לא ידוע הנחשד כגליקוזיד הידרולאז חדש-nGH_363. ההידרולאז ממשפחה 5 (Cel359) נמצא כהידרולאז המפרק נגזרות מסיסות של צלולוז (CMC) וקסילאן ממקורות שונים, עם פעילות מוגברת על CMC. טמפרטורת הפעילות האופטימלית

של Cel359 היא 72°C ו- 75°C , $T_m=75^{\circ}\text{C}$ כמצופה לאנזים ממקור תרמופילי. החלבון הלא ידוע nGH_363 הופק בהצלחה, אך במהלך תהליך ההפקה נמצאו פרגמנטים של החלבון בפאזה הלא מסיסה. באנליזה של שברי החלבון שנעשתה במכשיר ספקטרוסקופיית מסות, נמצא כי החלבון עובר תהליך חיתוך הפוגע ביציבותו. מספר ניסיונות לשינוי רצף החלבון באתר החיתוך נעשו בעזרת הנדסת חלבון מכוונת. בכל הניסיונות התקבל אירוע החדרה של טראנספוזום, שמקורו מהחיידק המאכסן. לכן, פעילותו של nGH_363 טרם זוהתה.

בהתבסס על אנליזת רצפי החלבון של מודולי הקישור וזיהוי הסובסטרט של מערכות ההובלה שנמצאו בשני האיים הגנומיים הנ"ל, נמצא כי מערכות אלו מיועדות לשינוע סוכרים. פעילותם של Cel44N ו-Cel359 על צלולוז, והאפיון הרצפי של מערכות הובלת הסוכרים, מקשרים את מערכת החלבונים של שני האיים הגנומיים לפירוק דופן תא-צמח.

מניתוח כללי של המידע המעובד על ידי GIM, נמצא כי שלוש הנחות הייסוד שעליהן מבוססת שיטת הסריקה ייעלו את תהליך עיבוד הנתונים. ההתבססות על אפיון ראשוני לצורך איתור איים גנומיים המכוונים לפירוק ביומסה, צמצם רבות את משאבי החישוב הנדרשים משלב זה. שיטת החיפוש המבוססת על הנחת השכנות הגנטית, נמצאה כיעילה ביותר במציאת איים גנומיים המכילים מנגנונים אנזימטיים המיועדים לפירוק ביומסה. כמו כן, התבססות על שיטה זו, אפשרה מבט ממוקד על מערכות אנזימטיות המכוונות לפירוק ביומסה שבתוכן נמצאים גנים לא ידועים. גנים אלו מקודדים לחלבון המשתתף במערך לפירוק אנזימטי, של ביומסה המשויכת לאי הגנומי, ולכן ההסתברות למציאת גליקוזיד הידרולאזות חדשות מבין גנים אלו גבוהה בהרבה ממציאתם בשלל הגנים הלא ידועים הנמצאים במרחב המטגנומי האין-סופי. בנוסף לכך, נמצא כי הערכת הגנים החדשים על ידי שימור השכנות הגנטית, היווה כלי נוסף וחיוני לאימות תוצאות השכנות הגנטית. ●



הפקת אנרגיה מביומסה

ביומתנציה ביולוגית חדשנית להפקת דלק מפסולת אורגנית- שדרוג ביו-גז לרמה של גז טבעי

ע. סבאח, כ. בראנסי כרכבי, נ. מסאלחה | מו"פ אזורי אגודת הגליל

לחצים חלקיים שונים של מימן ממקור חיצוני על תהליך המתאנוגינציה, ועל קצב הריאקציה לתהליך חיזור דו-תחמוצת הפחמן למתאן ע"י ההידרוגינורופיים. נמצא כי פוטנציאל ייצור המתאן יורד ככל שהעומס האורגני (ריכוז החומר האורגני) עולה. מהזרמת המימן לתוך המערכת האנאירובית בשלב השני, מצאנו שיש השפעה של לחצים חלקיים שונים של מימן על תפקוד המערכת ועל תהליך המתאנוגינציה. בגלל מעבר מסה גז-נוזל הנמוך של מימן, רק חלק מהמימן המוסף מנוצל ע"י מהמתאנוגנים ההידרוגינורופיים (ארכיות). בכדי להתגבר על המסיסות הנמוכה של מימן בתוך הנוזל ולשפר חיזור דו-תחמוצת הפחמן למתאן ע"י ההידרוגינורופיים, בוצע סחרור (סירקולציה) של הביו-גז שנפלט מהמערכת בספיקה של פי 3 מספיקת ההזנה. הדבר גרם לעליה של מקדם מעבר המסה גז-נוזל של מימן (עליה בהתמוססות מימן), ובכך התקבלה עליה בתהליך חיזור דו-תחמוצת הפחמן למתאן. כתוצאה מהסחרור הייתה עליה במהירות הזרימה בתוך הביוריאקטור, דבר אשר גרם לשטיפה של ביומסה בנוסף לבעיות סתימות ביציאות של הזרימות (נוזל וגז). במטרה לפתור בעיה זו, נעשה ניסיון של שימור הביומסה בשני דרכים:

1. שימור בתוך שרוול
2. קיבוע במטריצה פולימרית על פי טכנולוגיה שפותחה ע"י צוות המחקר.

בשנה השלישית של המחקר ההתמקדות הייתה בנושא שדרוג ביו-גז, כאשר הדגש היה על ריאקציה חיזור דו-תחמוצת הפחמן למתאן ע"י ההידרוגינורופיים.

בהמשך לחקירת השדרוג במעכל חד שלבי, ולצורך מניעת בריחת הבוצה, הוחלט על קיבוע הגרנולות בתוך מצע פולימרי, והמשך שדרוג הביוגז בשלב יחיד ע"י אופטימיזציה בין ספיקת המימן המוזרם ורמת הסחרור. המטרה של הניסוי הייתה להעלות את אחוז המתאן תוך הגברת צריכת המימן וצמצום בעודף. תוצאות המעקב אחר אחוז המתאן המנומרל (ללא מימן), הראו בבירור שניתן להגיע למעל 90% מתאן ע"י אופטימיזציה תהליכית.

במקביל, נבחנה האפשרות לבצע חלוקה של המעכל האנאירובי לשני שלבים מיתאנוגניים, כאשר השדרוג מתבצע בריאקטור השני. המטרה של אסטרטגית תפעול חדשנית זו, הייתה לבחון את הקטנת ההשפעה של הוספת המימן על עיכוב עיכול חומצות השומן הנדיפות בשלב האצטוגני האנאירובי, דבר אשר יכול

המטרה העיקרית של מחקר זה, הינה לפתח שיטה יעילה להפקת אנרגיה (ע"י שדרוג ביו-גז) מביומסה ופסולת אורגנית של אשפה עירונית ופסולת בעלי חיים. הפיתוח יאפשר שימוש מתקדם בביו-גז המשודרג כדלק חילופי ומתחדש לכלי רכב ו/או לחיבור לרשת הגז הטבעי לייצור נקי וירוק של אנרגיה. אחת המגבלות לשימושים מתקדמים של ביו-גז הינם בכך, שביו-גז מכיל מתאן בריכוזים של 65-70% לעומת 30-35% CO₂. דוח זה מסכם את ההתקדמות של שלושת שנות המחקר, כאשר בשנה הראשונה של המחקר בוצעה בחינה להשפעת עומסים אורגניים שונים על תפקוד ריאקטור אנאירובי לעיכול פסולת אורגנית ביתית, והרכב הביו-גז הנוצר בדגש על אחוז המתאן. התאמת מודל modified Gompertz model לתוצאות הניסיוניות, סיפקה ערכים של הפרמטרים התפעוליים (זמן אקלום, קצב יצור מתאן ופוטנציאל יצור מתאן מקסימאליים).

בהמשך השנה הראשונה ההתמקדות הייתה בנושא שדרוג ביו-גז, כאשר הדגש היה על ריאקציה חיזור דו-תחמוצת הפחמן למתאן ע"י ההידרוגינורופיים. בשלב זה, בוצעה סדרת ניסויים מנתיים של העשרה של אוכלוסיית ההידרוגינורופיים ע"י הוספת מימן למעכלים. בשלב זה נבדקה השפעת לחצים חלקיים שונים של מימן ממקור חיצוני. כמו כן, בחלק השני של השנה בוצעו מספר סדרות של ניסויים לבחינת השפעת עומסים אורגניים שונים על הרכב הביו-גז המופק מפסולת אורגנית ביתית, ומבחן קצב יצור מתאן, השפעת יחסים שונים של גזים (CO₂:H₂) על קצב הריאקציה לתהליך חיזור דו-תחמוצת הפחמן למתאן ע"י ההידרוגינורופיים. בנוסף לכך, נחקרה השפעת הרכב הביו-גז המוזן לריאקטורים על קצב הריאקציה.

בשנה השנייה של מחקר התמקדנו בשלב ראשון בבדיקת פעילות ההידרוגינורופיים, בהסתמך על שינוי הלחץ הסטטי בתוך מערכת חצי מנתית בעזרת השימוש במכשיר מנומטר, כאשר הדגש היה על ריאקציה חיזור דו-תחמוצת הפחמן למתאן. התהליך האנאירובי גורם להיווצרות ואקום בתוך המערכת, מה שגורם להורדת הלחץ עד לקבלת הפרש הלחץ המקסימאלי, מה שמעיד על סיום התהליך והיווצרות הכמות המקסימאלית של מתאן.

בהמשך של העבודה ההתמקדות הייתה בבניית מערכות חד-שלביות רציפות. בוצעה בחינה להשפעת עומסים אורגניים שונים, על תפקוד ריאקטור אנאירובי לעיכול חומר אורגני בתהליך אנאירובי מתאנוגי והרכב הביו-גז הנוצר בדגש על אחוז המתאן. ונבדקה השפעת

לגרום להאטה ועיכוב של התהליך המתאוגני העוקב. על כן נבנו שני ריאקטורים מעבדתיים ביחס חלוקה של 70:30. כאשר זרם הנוזל היוצא מהשלב הראשון, מועבר לשלב השני, וזרם הביוגז שיוצא מהשלב הראשון מעורבב עם זרם מימן חיצוני ביחס $\text{CO}_2:\text{H}_2$ של 1:4 ומוזרם בכניסה לריאקטור השני על מנת להעשיר (in situ) את אוכלוסיית ההידרוג'ניטרופים בשלב השני. הריאקטורים הנ"ל הכילו בוצה גרנולרית בתוך שרוול, השרוול שהינו רשת מחויטת נועד על מנת למנוע בריחת בוצה. לאורך זמן המעקב נדרשה אופטימיזציה תהליכית על מנת למצוא את ספיקת המימן המינימלית הדרושה לשם העלאת אחוז המתאן, עם מינימום סחרור. עם הזמן, הצלחנו להעלות את ספיקת צריכת המימן ולהוריד בספיקה העודפת (יחסית לתחילת הניסוי) וע"כ להעלות את אחוז המתאן המנומל עד ל-80%.

בחצי השני של השנה השלישית, המשכנו לבחון את החלוקה של שני הריאקטורים העוקבים ביחס 70:30, אולם במקרה הזה הבימסה הייתה מקובעת בתוך מצע פולימירי. הצלחנו גם במערכת הזו להגיע ל-80% מתאן מנומל, אולם ראינו שהפרדה מוחלטת של שני השלבים הינו קשה טכנית, ומימן שמזרם לשלב השני יכול גם להגיע לשלב הראשון ולעכב את תהליך המתאוגציה.

בנוסף, בהמשך השנה השלישית התמקדנו בחקר שדרוג הביוגז בריאקטור ביולוגי חיצוני שפועל בתנאי זרימה בלתי רוויים, על מנת לזרז את מעבר המסה של מימן. ריאקטורים אלה, הכילו בוצה מקובעת בתוך פולימר. אחד הריאקטורים היה בסקלה מעבדתית והשני בסקלת פיילוט שולחני. אל הריאקטורים הוזרמה תערובת של מימן ופחמן דו חמצני, ובחנו את השפעת השינוי בספיקות הזנת תערובת הגזים לעומת ספיקת נוזל הספיגה על קצב ייצור מתאן. העלאה בספיקת הגזים באופן הדרגתי, הביאה לעלייה בקצב ייצור המתאן ובאחוז. אולם, הייתה בעיה בשמירה על יציבות הביצועים במיוחד בסקלה מעבדתית, שכנראה נבעה מכשלים טכניים.

אפיון אוכלוסיות המתאוגניים והדינמיקה שלהם לאורך זמן הרצת הריאקטור המקובע החד שלבי, גם היא התבצעה בשנה השלישית של המחקר. מתוצאות המעקב הביולוגי ניתן להיווכח, שאוכלוסיות החיידקים היו מגוונות יותר מאוכלוסיות הארכיות בתקופת ההרצה, אולם, גם רגישות יותר לשינויים בספיקות המימן המוזן למערכת. מכאן, שקבוצת הארכיות הראתה יציבות במגוון של סדרות הארכיה לאורך זמן ההרצה, וכתוצאה גם התקבלה יציבות באחוז המתאן (סביב ה-80%) למרות השינוי בספיקת המימן המוזרם וביחס הסירקולציה של הגזים במערכת המקובעת. ●



הסביבה הימית

עליית ריכוזי כספית בדגים מצפון מפרץ חיפה איתור המקורות והבנת הגורמים

א. שהם פרידור, נ. קרס, ג. סילברמן, ע. שפר, ב. חרות | חקר ימים ואגמים לישראל

מקרו-אצות, רכיכות, ספוגים) ריכוזי כספית כללית ומתיל-כספית היו גבוהים יותר בפרטים שנדגמו בתחנות שבי ציון וצפון מפרץ חיפה, לעומת פרטים מתחנות דרום המפרץ ומחוצה לו דרומה (דדו, תל-שקמונה);

3. נמצא מתאם איכותי בין ריכוזי מתיל כספית במיני הביוטה שנבדקו- בעיקר מסנני מים הניזונים מפלנקטון, לבין ריכוזי כספית בפלנקטון, עם הבדלה ברורה בין תחנות הדיגום.

הריכוזים הגבוהים שנמצאו בצפון המפרץ, הובילו לכמה מסקנות:

- א. בצפון המפרץ באיזור התעא"כ, מי תהום המועשרים בכספית, זורמים לים באופן מוגבר החל מ-2004 ומעשירים את מי הים בכספית;
- ב. הכספית חודרת לפלנקטון ואולי נספחת גם לחלקיקים אחרים המרחפים במים;
- ג. זהו מסלול חדירה משמעותי של כספית למארג המזון במפרץ חיפה;
- ד. הכספית מוסעת עם הפלנקטון והחלקיקים באמצעות הזרם הכללי, צפונה, אל מחוץ למפרץ חיפה, לפחות עד שבי ציון המרוחקת מעכו כ-7 ק"מ.

המשך המחקר צריך להתמקד בהערכה כמותית של שטף דליפת הכספית ממי התהום אל הים, ובקביעת כספית כללית ומתיל כספית במי הים, בחומר מרחף ובפלנקטון ממפרץ חיפה ומחוצה לו, על בסיס עונתי. חשוב גם לאמוד את תחום ההשפעה המרחבי של מקור הזיהום- לברר מהו הגבול הצפוני לנוכחות מוגברת של כספית בביוטה. ניתוח הרכב איזוטופים יציבים של כספית במרכיבי סביבה מהמקור המשוער ומרכיבי המטרה המושפעים מהמקור (מי תהום, סדימנט, ביוטה), יוכל לאשש את מסקנות המחקר. ●

במסגרת תכנית הניטור הלאומית בים התיכון, נמצאה מגמת עלייה של ריכוזי הכספית במספר דגי מאכל ומיני ביוטה שונים מצפון מפרץ חיפה במהלך העשור האחרון (החל משנת 2004). מטרת המחקר הייתה למצוא את הסיבה לעלייה זו. הנחת העבודה הראשונית הייתה שמקור משמעותי לדליפת כספית למי המפרץ, הינו הרחפת סדימנטים מזהמים בכספית משפכי תעשייה שזרמו לים בשנים עברו, והצטברו בהם בעיקר בנמל חיפה ובצפון מפרץ חיפה. בממצאים הראשוניים של המחקר התברר שמי התהום הרדודים הממוקמים מתחת לתעא"כ (מפעל תעשיות אלקטרוכימיות לשעבר), מאוד מזהמים בכספית, ולכן סביר יותר להניח שדליפת מי תהום מזהמים ממקור זה הם הגורם העיקרי לעלייה בריכוזי כספית בדגי המפרץ. בנוסף, בבדיקה של ריכוזי כספית במגוון מיני ביוטה מרחבי המפרץ, נמצא שהריכוזים גבוהים יותר בדוגמאות מצפון המפרץ מאשר מחלקו הדרומי, ולכן לא סביר שהרחפת סדימנטים מזהמים בנמל חיפה ובמוצא הקישון הם המקור העיקרי להעשרת כספית בדגי מפרץ חיפה. במהלך המחקר בוצעו כ-14 דיגומים של מי ים, מי תהום, סדימנטים, חול ומיני ביוטה שונים, מתחנות שונות במפרץ חיפה, באזור עכו ובתחנות בקרה. בשנת המחקר השנייה, הוספה תחנת דיגום ברכס הכורכר הרדוד מול שבי ציון, בעומק 12 מ', על מנת לבדוק אם חלה הסעה של כספית מחוץ למפרץ, עם כיוון הזרם הכללי צפונה באזור זה. בדגימות נבדקו כספית כללית ומתיל כספית, ופרמטרים נוספים.

התצפיות העיקריות במחקר הנוכחי הראו:

1. נוכחות כספית כללית ומתילית במי התהום של חוף התעא"כ (בריכוזים גבוהים באופן חריג עד 251 מקג"ל), במי התהום בחופי עכו ובמי הים הרדודים באזור, ונוכחות כספית בפאזה המומסת של מי התהום (בריכוזים של 18-72 נג"ל);
2. בכל מיני הביוטה שנבדקו במחקר (פלנקטון,



הסביבה הימית

גיבוש ערכי סף (אמות מידה) לרמות נוטריינטים וכלורופיל A לשמירה על איכות מי הים התיכון של ישראל: גישה המשלבת ניתוח סטטיסטי ניסויי bioassay ומודלים

נ. קרס, א. רהב, י. סילברמן, א. ביטון, א. סוקניק, ב. חרות | חקר ימים ואגמים לישראל

במקביל לעיבוד הנתונים והניסויים עם אוכלוסיות טבעיות, גובש ונוסה פרוטוקול לביצוע bioassay לזיהוי עקה של מחסור או עודף נוטריינטים באורגניזמים פוטוסינתטיים, כאמצעי לחיזוי תגובת מערכות מים. הפרוטוקול מתבסס על אורגניזם יחיד שלאחר גידול במצע נוזלי, עובר תהליך קיבוע בג'ל פולימרי ליצירת קפסולה, המשמשת לבחינת התגובה של המערכת הפוטוסינתטית לשינויים בתנאי הסביבה. ה-bioassay הצליח עם אצות וציאנובקטריה מהכירת, אולם אינו ישים על אוכלוסיות ימיות בשלב זה.

כדי לבחון את העקרונות שלפיהם נקבעו אמות המידה, הורץ מודל הידרודינמי תלת ממדי מצומד למודל ביוגאוכימי/אאוטורופיקציה לאזור. בתרחיש של הגברת עומסי נוטריינטים משפכי נחלים למים החופיים, בפקטור של 4, נראו עליות בריכוזי כלורופיל, ניטראט ופוספאט, אך נמצא מספר ימים גדול בהם הריכוזים נמוכים מערכי הייחוס שהתקבלו בתרחיש הבסיס. החריגות מאמות המידה לכלורופיל, היו יחסית מועטות, כאשר מספר החריגות הגבוה ביותר היה עבור ניטראט. כלומר, על פי המודל, ניטראט משקף באופן טוב יותר תנאי ההעשרה בנטריינטים. ממצא זה אינו אינטואיטיבי וכנראה משקף את חוסר התאמת קבועי המודל, לתנאים של המים החופיים באזורנו ויש להתאימם.

הדו"ח כולל גם המלצות שניתנות ליישום מידי על ידי קובעי המדיניות, ומעלה שאלות לא פתורות למחקר המשך.

במחקר פותחו וגובשו אמות מידה אקולוגיות/סביבתיות לריכוזי נוטריינטים (ניטראט+ניטריט, אמוניום, חנקן כללי, פוספאט, זרחן כללי וחומצה סליצית), כלורופיל וחומר מרחף, במטרה לאפשר ניהול מושכל ובר קיימא של אזור מימי החופים של ישראל בים התיכון. במהלך המחקר עובדו סטטיסטית נתונים סביבתיים קיימים (2010-2014), ובאמצעותם סווג החוף לאזורים ולעונות. לכל אזור ועונה הוגדר מצב הרקע (ערך ייחוס, כערך החציון) לפרמטרים שנבדקו, והוצעו אמות מידה סביבתיים למדדים אלה (חציון+1/2 חציון). באמצעות אמות המידה, אזורים לאורך החוף סווגו לשני מצבים סביבתיים: "טוב" (GES- Good Environmental Status) ו"לא טוב" (non-GES).

אמות המידה המוצעות, שימשו לתכנון וביצוע ניסויים לבחינת השפעת הנוטריינטים על אוכלוסיות טבעיות של מיקרואורגניזם בעונות ואזורים שונים. נמצא כי הציאנובקטריות הנן מוגבלות חנקן בעוד שאצות אוקריוטיות קטנות, מוגבלות חנקן, סיליקה או שני האלמנטים יחד. בנוסף, נמצא כי מגבלת נוטריינטים תלויה בסביבה בה נעשה הניסוי, קרי ריכוז החנקן ההתחלתי במי הים והיחס הסטוכיומטרי בין חנקן לזרחן. חיידקים הטרוטרופים לא הראו שינוי בביומסה ולא בקצב פעילותם כתגובה לתוספות הנוטריינטים, אלא אם הוספו כולם יחד, דבר המצביע על מגבלת נוטריינטים אחרת מהאוטוטרופים או co-limitation.



יישום ת"י 5281 בשיפוץ בנייני מגורים קיימים

ב. פלמן¹, ק. שוץ², כ. ליאור³ | בצלאל אקדמיה לאמנות ועיצוב ירושלים, ²המועצה הישראלית לבנייה ירוקה

נתיבי הפעולה האפשריים ליישום ת"י 5281 בפרויקטים אלו. המחקר כולל שלושה חלקים: חלקו הראשון, מוקדש לסקירה של התהליכים הקיימים והמיושמים בישראל לשיפוץ בנייני מגורים קיימים בישראל. חלקו השני, עוסק במיפוי החסמים ליישום ת"י 5281 ובתוך כך בבחינת מידת הרלוונטיות של דרישות התקן למסגרות ההתערבות במבנה שזוהו בשלב הקודם. חלקו השלישי נועד לבדוק האם למרות החסמים שאותרו בחלק השני, קיימת אפשרות מעשית לעמוד בדרישות ת"י 5281 בפרויקט שיפוץ המתקיים במסגרות הפעולה השכיחות בישראל. לצורך כך, נבחר מקרה מבחן של בניין מגורים מטיפוס "שיכון" ונבדקו שני תרחישים של פעולות שיפוץ הרלוונטיות לבניין: תרחיש אחד ממקם את הבניין בפריפריה והשני באזור המרכז. ●

ההכרה כי בנייה ותפעול בניינים הינם מהגורמים המשמעותיים ביותר לצריכת משאבים ויצירת זיהום הובילה, במקומות שונים בעולם, לפיתוח סדרה של כלי מדידה, תקנים, תקנות וכלים מנחים לבנייה, שיפוץ ותפעול מבנים חסכוניים. בישראל, מהווה התקן הישראלי לבנייה ירוקה (ת"י 5281) כלי מדידה אשר במסגרתו ניתן להעריך, בנוסף לבנייה חדשה, גם שיפוץ של בניינים קיימים. אולם, למרות הצורך בשיפוץ ירוק של בניינים קיימים, מאז השקת התקן בשנת 2005 וגם לאחר הרוויזיה לתקן שנערכה ביולי 2011, לא הוענק תו ירוק לאף מבנה מגורים במסלול שיפוצים ונכון לאוקטובר 2013 ישנו רק פרויקט שיפוץ אחד בתהליך הסמכה לבניין ירוק. פרויקט זה נערך במסגרת תמ"א 38. מטרת המחקר היא לבחון האם קיימים חסמים ביישום ת"י 5281 בשיפוץ בנייני מגורים קיימים בישראל ומהם



בחינת הגורמים להתנהגות צרכנים בנושא בנייה ירוקה

א. פרלמן^{1,2}, י. רוזנר², ז. מלכה² | אוניברסיטת בר-אילן, ²האגודה לבריאות הציבור

להעדיף דירה ירוקה. ממצאים אלו תקפים ויציבים בכל שלושת הניסויים שנערכו, ולפיכך ניתן להצביע על כך שהנכונות לבחור בדירה ירוקה אינה נובעת ממאפיינים סוציו-דמוגרפיים. עוד עולה, שמשתנים התנהגותיים-קוגניטיביים נמצאו כמובהקים באופן עקבי לאורך כל ניתוח הממצאים והניסויים. כמו כן נמצא שהמשפיעים העיקריים על הבחירה של המשתתפים במחקר היו מחיר העלות התוספתית, ההטבה המוצעת והחיסכון הכלכלי.

המלצות מקצועיות: לאור ממצאי הניסויים, ניתן להצביע על שלוש המלצות מקצועיות. ראשית, שיווק צרכנות ירוקה, ובכלל זה צרכנות בנייה ירוקה כהחלטה רווחית מבחינה כלכלית. ממצאי מחקרים קודמים מצביעים על כך שאחת הסיבות להסתייגות הקולקטיבית מבחירה בבנייה ירוקה, היא תפיסת צרכנות ירוקה כבחירה המונעת ממניעים אידאולוגיים, שעומדים בניגוד לבחירה רציונאלית-כלכלית.

הניסוי הראשון מלמד, כי כאשר הוצג למשתתפים החיסכון הכלכלי האישי שליווה בנייה ירוקה, עלתה רמת הנכונות שלהם לבחור בבנייה ירוקה על פני בנייה רגילה. לפיכך, יומלץ ללוות פרויקטים של בנייה ירוקה בקמפיין הסברתי שידגיש את הפן ה"רווחי" של הבחירה בדירה ירוקה. שנית, עידוד רוכשי דירה ירוקה באמצעות תמריצים כלכליים, בדומה לרוכשי דירות באזורי עדיפות לאומית. בניסוי השני נבחנו השפעות של חלופות מדיניות שונות על מידת הנכונות לבחירה בדירה ירוקה. הממצאים מצביעים על כך שמדיניות ממשלתית עשויה לעודד צרכנים להעדיף דירי ירוק, כאשר "משכנתאות בערבות המדינה" נמצאה כמדיניות המשפיעה ביותר. באותה העת, לא ברור האם יש לחלופה זאת היתכנות כלכלית.

שלישית, המחקר מצביע על הצורך לקדם כלי מדיניות כלפי יזמים והרשויות המקומיות. לעומת ממצאי המחקר הראשון והשני, הניסוי השלישי אינו מצביע על השפעה של כלי מדיניות (הן שיווק והן תמריצים כלכליים) על נטייתם של אנשים לבחור בדירי ירוק. ניתן ללמוד מממצא זה על הקושי להשפיע על נטיית צרכנים לשנות את העדפותיהם באמצעות כלי מדיניות, ולפיכך קיים צורך לנסח כלי המדיניות גם כלפי הסוכנים האחרים בהליך השיווק והבנייה של דירי בישראל, באופן שיעודד את הטמעת תקן בנייה ירוקה בשוק הדירי. ●

מבוא: אחד החידושים הבולטים בתחום הדירי היום הוא המעבר לבנייה ירוקה. בנייה ירוקה הינה שיטת בנייה המשתמשת במשאבי יסוד כגון אנרגיה, מים, חומרים וקרקע באופן יעיל יותר מאשר בניינים "רגילים", תוך שמירה על רמה נמוכה של זיהום סביבתי. למרות שעלות בנייתן של דירות ירוקות עולה רק במעט על עלות בניית דירות "רגילות", בנייה ירוקה טרם הפכה למקובלת בקרב צרכני הדירי. מטרת המחקר היא לבחון מהם הגורמים הקשורים לנכונות לרכישת דירי ירוק בקרב צרכנים בישראל, והצעת כלים שיסייעו בקידום צרכנות בתחום. תיאוריית ההתנהגות המתוכננת (TBP), שימשה במחקר כמודל לבחינת הנטייה לרכוש בתים ירוקים.

שיטה: לצורך המחקר בוצעו שלושה ניסויים. הראשון כלל 554 משתתפים, שחולקו באופן רנדומלי לאחת משלוש כתבות העוסקות בבנייה ירוקה (מניפולצית מסגור). המשתתפים התבקשו לבחור בין דירה ירוקה לדירה רגילה לאורך 12 צמדי תמונות, ולענות על שאלון סוציו-דמוגרפי ושאלוני עמדות והתנהגות צרכנית ירוקה. מהניתוח עולה שהגורמים הסוציו-דמוגרפיים שנבדקו אינם מצויים בקשר עם מידת הנכונות לבחירה בדירי ירוק. עם זאת, עמדות המשתתפים בנוגע להתנהגות צרכנית ירוקה, נמצאו בקשר סטטיסטי מובהק עם מידת הנכונות לרכוש דירה ירוקה. בנוסף, נמצא שכאשר אופן המסגור הציג את הדירה הירוקה כאטרקטיבית מבחינה כלכלית אישית, המשתתפים נטו יותר להעדיף דירי ירוק.

בניסוי השני השתתפו 308 אנשים, שחולקו רנדומלית לאחת מארבע כתבות (בחינת ההטבה המדינית היעילה ביותר). ממצאי הניסוי לא עולים קשרים בין הגורמים הכלכליים לבין נכונותם של המשתתפים להעדיף דירי ירוק, וכי השפעת המדיניות על המשתתפים מצויה בקשר סטטיסטי מובהק עם הנטייה להעדיף בתים ירוקים. **הניסוי השלישי** כלל 123 משתתפים, במטרה לבדוק את השפעת הגורמים התפיסתיים והצעות המדיניות השונות על הנטייה להעדיף דירי ירוק. מתוצאות הניסוי עולה שקיים קשר מובהק בין התנהגות המונעת ממודעות סביבתית, והנטייה של המשתתפים להעדיף דירי ירוק.

דיון: המחקר מעיד על היעדר קשר בין מגדר, רמת דתיות, סוג היישוב שבו חי המשתתף והשכלה, לנטייה



עידוד של בניה ירוקה בישראל באמצעות תמרוץ של מקבלי החלטות בענף

ש. אקרון, ב. א. פורטנוב, ש. אופק | אוניברסיטת חיפה

ולקדם אותה בישראל, ובכך לתרום לחיסכון אנרגיה והפחתת זיהום הסביבה.

מחקר זה מתבצע בשני שלבים עיקריים. בשלב הראשון של המחקר נערך איתור ואפיון של שלושת אוכלוסיות המחקר: צרכנים (בעלי הבית הפוטנציאליים), יזמים/קבלנים מתחום הבנייה ואדריכלים. לאחר מכן נערך סקר באמצעות שאלונים, המותאמים לכל קבוצה מקבוצות אוכלוסיית המחקר. השאלונים בוחנים את מידת היכרות חברי כל אחת מהקבוצות את מושג הבניה הירוקה, את עמדות הקבוצות השונות כלפי בנייה ירוקה, וכן את הנכונות לשלם עבור בית ירוק פרמיה- המכונה **פרמיית הבניה הירוקה**. השאלון מנסה לזהות את הגורמים המשפיעים על ההחלטה של קבוצות המחקר להיכנס לתחום הבניה הירוקה. לאחר איסוף הנתונים, נערך ניתוח סטטיסטי (מבחני השערות, ניתוחי גרסיה רבות-משתנים), וזאת בכדי לזהות ולדרג סטטיסטית את הגורמים שיש להם השפעה מובהקת על הנכונות לשלם/לגלם יותר עבור מרכיבים של בנייה ירוקה, עבור כל אחת מקבוצות המחקר. בשלב השני של המחקר, אנו מעמיקים את כיווני החקירה שהתקבלו מהחלק הראשון, באמצעות העברת סקר שאלונים נוסף. סקר השאלונים השני, מעמיק את הבחינה של מידת הכרות הנבדקים עם היבטים שונים של מושג הבניה הירוקה, ומתמקד באיתור אמצעי מדיניות ממשלתית העשויים להגדיל את האינטרס הציבורי בבניה ירוקה. גם בחלק זה של המחקר, המשתנה התלוי העיקרי בניתוח היה גודל "הפרמיה הירוקה" כאחוז מסך עלויות הבניה, אשר הצרכנים הפוטנציאליים היו מוכנים לשלם עבור בית ירוק לעומת בית קונבנציונאלי. אולם בחלק זה, אנו מתמקדים בהבנת השפעתם של צעדים רגולטיביים מחוללי בחירה בבניה ירוקה, על הגברת נכונות התשלום של פרמיית ה"בניה הירוקה" ע"י השחקנים השונים.

ממצאי החלק הראשון של המחקר משקפים בבירור הבדלים ניכרים בקרב קבוצות האינטרס השונות (צרכנים, אדריכלים, יזמים) בחשיבות הגורמים המחוללים נכונות לפרמיה עבור בניה ירוקה. כצפוי, המושג בנייה ירוקה פחות מוכר לצרכנים, מאשר לאדריכלים וליזמים. הניתוח הראה, כי אדריכלים מוכנים להגדיל את עלויות הפרויקטים שלהם בשיעור ממוצע של 11.96% (מעלות הבניה הכוללת של בית קונבנציונאלי) על ידי שילוב מאפיינים של בנייה ירוקה, וכי יזמים/קבלנים מוכנים לשלם פרמיית בנייה ירוקה של 9.2%, בעוד צרכנים מוכנים לשלם הרבה פחות,

לענף הבניה ישנה השפעה מכרעת על הסביבה. בניינים צורכים אנרגיה רבה ומשאבים בתהליך הבניה ובשלב התחזוקה. בנייה ירוקה היא שיטת בנייה המפחיתה את הפגיעה בסביבה. **בית ירוק** מוגדר כמבנה שתוכנן ונבנה באופן המביא בחשבון מגוון רחב של היבטים סביבתיים, החל בחיסכון באנרגיה וכלה בשימוש בחומרים ממוחזרים. למרות שמבנים ירוקים יכולים להביא לחסכון של 30% אחוזים בצריכת אנרגיה, עלות בנייתם תהיה גבוהה ב-5%-10% אחוזים יותר מזו של בתים קונבנציונאליים, הזהים בגודלם ובשימושיהם. במדינות רבות בעולם, לבניית מבנים "ירוקים" או "ידידותיים לסביבה" ניתנת עדיפות לאומית. יחד עם זאת, גם עבור צרכנים השוקלים לקנות בית ירוק, הסיבות להחלטה זו עשויות להיות שונות. מדיניות ציבורית שמטרתה לקדם בנייה ירוקה עשויה יכולה לשפוך אור חשוב על הבדלים אלה.

המחקר הנוכחי חוקר את ההעדפות והאינטרסים כלפי בנייה ירוקה, של שלוש קבוצות מרכזיות בענף הבניה- צרכנים (רוכשי הבתים), קבלנים/יזמים (בוני הבתים) ואדריכלים (מתכנני הבתים). מחקר זה ידון בשאלת הגורמים השונים המשפיעים על מוכנות צרכנים לשלם יותר עבור בית ירוק, ידידותי לסביבה. כמו כן, המחקר מזהה ובודק את גורמי העניין- האינטרסים הערכיים והעסקיים של השחקנים השונים בתחום הבניה בישראל. כך למשל, המחקר מאתר מהם הגורמים המניעים יזמים לפתח פרויקטים של בנייה ירוקה, ומהם גורמי העניין של אדריכלים בתחום הבניה הירוקה. לצד זהו ואפיון גורמי העניין, המחקר בוחן מהם החסמים של הקבוצות השונות בפניה לכיוון הבניה הירוקה, וכיצד המשק הישראלי יוכל להתמודד עמם ולהתגבר עליהם. המחקר גם בוחן האפקטיביות של מדיניות לעידוד בניה ירוקה.

מטרת המחקר היא לאפיין את הגורמים המניעים החלטות בחירה והשקעה בבניה ירוקה, ולבנות מודל חיזוי שיסייע למקבלי החלטות להעריך את מידת האפקטיביות של צעדי מדיניות מעודדת מעורבות בבניה ירוקה, בקרב קבוצות אינטרס שונות.

לצורך הניתוח, אנו מחלקים את הגורמים המחוללים מעורבות לשלושה אשכולות: (1) כלכלי; (2) סביבתי- חברתי; (3) ומשפטי-חברתי. לאחר שנאמוד עמדות כלפי בניה ירוקה אצל קבוצות האינטרס שהוזכרו לעיל, נעריך ונמדל את השפעתן הפוטנציאלית על מידת המעורבות של כל קבוצה בתחום הבניה הירוקה. הניתוח יסייע לפתח אסטרטגיות מתמרצות בניה ירוקה

ומגבילים את פרמיית הבנייה הירוקה לסדר גודל של כ-6.6% מעלות הבנייה הכוללת של בית קונבנציונלי. עוד נמצא, כי רמת היכרות גבוהה עם המושג "בנייה ירוקה" מעלה את הנכונות להגדלת פרמיית הבנייה הירוקה- צרכנים בעלי היכרות גבוהה של מושג הבנייה הירוקה מוכנים לשלם עד 30% יותר עבור בית ירוק- לפיכך, מסתמן מקום לקמפיין לפרסום הבנייה הירוקה ויתרונותיה בקרב צרכנים. אנו רואים כי גורם קריטי המחולל נכונות לפרמיית בניה ירוקה, בעיקר בקרב הצרכנים, נגזר מהטבות כלכליות המשקללות הפחתה בהוצאות השוטפות של "בתים ירוקים" (אנרגיה, מים), וכתוצאה מכך, עליית ערך הנכס (המניע הכלכלי). מאידך, אדריכלים ויזמים נוטים להיות מושפעים יותר מהשלכות תקינה של "בנייה ירוקה" (המניע המשפטי), חדשנות, השלכות סביבתיות ודימוי מקצועי (המניע החברתי-דמוגרפי). ניתוח הרגרסיה הרב משתנית שבוצעה בשלב הראשון של המחקר, מאשש את הנכונות הממוצעת הגבוהה יותר לתשלום פרמיית "בנייה ירוקה", בקרב אדריכלים ($P < 0.01$, 6.7%) ויזמים ($P < 0.01$, 4.3%), מאשר בקרב צרכנים. ניכר גם, כי עליה במחירי האנרגיה מחוללת נכונות לתשלום פרמיית "בניה ירוקה" גבוהה יותר ($P < 0.01$, 0.479%), וכי באופן מפליא, קבלת תמריצים כלכליים ציבוריים מחוללת נכונות נמוכה יותר לתשלום פרמיית "בניה ירוקה" ($P < 0.01$, -0.683%).

ממצאי החלק השני של המחקר, בו אנו מתמקדים בהשפעת מגוון צעדים רגולטיביים ישירים ועקיפים, מגלים כי תמריצים ישירים ועקיפים המחוללים נכונות צרכנית להגדלת פרמיית הבנייה ירוקה, מאששים חלק נכבד מהממצאים שהתקבלו בחלק הראשון. כך למשל, נמצא כי התמריץ העיקרי לנכונות תשלום ה"פרמיה הירוקה" הוא התשואה העתידית הצפויה, עקב הפחתה בהוצאות התחזוקה העתידיות (המניע הכלכלי). המחקר מצא גם כי היכרות טובה יותר עם תפיסת הבנייה הירוקה, קשורה באופן חיובי גם לנכונות לשלם פרמיה ירוקה גדולה יותר. עובדה זו, מדגישה את חשיבות החינוך לבנייה ירוקה ושיתוף

ידע. ממצא מפתיע בחלקו השני של המחקר, אישש כי התערבות ממשלתית ישירה באופן של הפחתות מס ומתן הלוואות מסובסדות ומענקים לבנייה ירוקה, מקטינים דווקא את הנכונות לשלם פרמיה על בנייה ירוקה, ולא להגדלתה (כמצופה אינטואיטיבית). זאת כנראה, משום שרוכשי הדירות הפוטנציאליים מעדיפים להימנע מהתערבות ציבורית מיידית, הנתפסת כאגרסיבית, סביב החלטת הרכישה של המבנה הירוק- החלטה בעלת אופי וולונטארי. לעומת זאת, ניכר כי יש מקום למקסום ההתערבות הממשלתית שתדגיש את היתרונות העתידיים של הבניה הירוקה, באופן של חסכון בהוצאות תחזוקה עתידיים. בחלק השני של המחקר, גם נמצא כי היכרות טובה יותר עם תפיסת הבנייה הירוקה, קשורה באופן חיובי גם לנכונות לשלם פרמיה ירוקה גבוהה יותר. עובדה זו מדגישה את חשיבות החינוך לבנייה ירוקה ושיתוף ידע. ניתוח תרחישים של התערבות מדיניות ציבורית, כגורם מחולל הגדלת הפרמיה הירוקה, מראה כי מדיניות תמריצים ממשלתית נבונה יכולה להכפיל לרמה של כ-16% את פרמיית הבניה הירוקה שהצרכנים מוכנים להוציא. זאת, לעומת תרחיש של העדר צעדי ההתערבות הציבורית (ממשלה ו/או השלטון המקומי), במטרה לחולל פרמיה גבוהה יותר של ההוצאה על בניה ירוקה.

ייחודיות הניתוח במחקר זה, היא זיהוי הגורמים המשפיעים על הנכונות לשלם עבור בנייה ירוקה מחד, הייחודיים לכל קבוצה וקבוצה, ומאידך, זיהוי הגורמים המשותפים לכל קבוצת שחקנים בענף הבניה הירוקה. מציאת אינטרסים כלכליים-חברתיים משותפים בין השחקנים, עשויה לתרום לתהליך עיצוב מרכיבי מדיניות ציבורית, אשר מטרתם לפתח ולהאיץ את מגזר הבנייה הירוקה. לפיכך, המחקר תורם להגברת המודעות בקרב אנשי המקצוע בענף הבנייה והציבור הרחב, המזוהה כמרכיב חשוב בקידום הבנייה ירוקה. ממצאי המחקר מהווים כלי אופרטיבי חשוב למקבלי החלטות במגזר הציבורי, לצורך גיבוש מדיניות מושכלת של בנייה ירוקה בישראל, ולעידוד השקעות בבנייה ירוקה כחלק מתכנית לאומית ארוכת טווח לפיתוח בר-

קיימא.



סקר התכנות ליישום של תאים פוטו-וולטאים משולבי מבנה בבניינים מסחריים בישראל

ד. מדר¹, ג. שיף², י. גלעד², א. בלאו³, מ. וורבר³, ח. קוט¹ | SP Interface¹, גלעד-שיף אדריכלות, ³אבי בלאו יעוץ סביבתי

פוטו-וולטאים ומעטפת בניין רגילה. מטרת מחקר זה הייתה לבחון התכנות אנרגטית וכלכלית ליישום BIPV בבניין משרדים רב-קומות טיפוסי בישראל.

נמצא כי שילוב BI(PV) בבניין משרדים רב-קומות טיפוסי בישראל יכול לייצר עד פי 7 יותר חשמל לעומת ייצור חשמל פוטו-וולטאי על הגג בלבד. שילוב BI(PV) תלת-מימדי המותקן בזווית אופטימלית בחזיתות, מאפשר ייצור של עד 125% חשמל יותר לכל מ"ר, לעומת BI(PV) שטוח. בממוצע, חלופות ה-BI(PV) שנבחנו מעלות את היקף ההשקעה בבניין ב-2%-12%, לעומת בניין ללא BI(PV).

בשוק הישראלי הנוכחי, רוב חלופות ה-BI(PV) שנבחנו אינן מחזירות את ההשקעה בפחות מ-20 שנה. עם זאת, כאשר תועלות חיצוניות ותועלות משקיות מייצור חשמל פוטו-וולטאי רגיל משוקללות בניתוח זמן החזר ההשקעה, זמן החזר ההשקעה בכל חלופות ה-BI(PV) צונח, כך שרובן מחזירות את ההשקעה תוך 8-14 שנים. יותר מכן, גם ללא שקלול תועלות חיצוניות ומשקיות, יש חלופות BI(PV) אשר מקנות התייעלות אנרגטית מובנית לבניין, ומאפשרות החזר השקעה תוך 14 שנים בלבד.

ניתן לספק 30-120% מצרכי החשמל הישראליים ב-2040 באמצעות יישום BI(PV) על בניינים חדשים בלבד. בדומה למתרחש במדינות המפותחות, נדרשת תמיכה ממשלתית ליישום BIPV ברבי קומות ע"מ לאפשר את צמיחת התחום בארץ. ●

בניינים צורכים כ-40% מהאנרגיה בעולם המפותח, אחראים לפליטת כ-20% מגזי החממה ממקור אנתרופוגני (אנושי), ומהווים את הפגיעה המשמעותית ביותר בשטחים פתוחים. דוח חריף של ה-IPCC מסוף 2018 קורא לפעולות דחופות של כל המדינות והארגונים לצמצום דרסטי של פליטות גזי חממה והשפעתם לפני 2030, ע"מ למנוע קטסטרופה אקלימית בסבירות גבוהה אשר תגרום לנזקים עצומים לבריאות, לרווחת האדם, לכלכלה ולסביבה.

מתקני אנרגיה מתחדשת אמנם מייצרים אנרגיה במינימום זיהום ופליטות גזי חממה, אך לרוב תופסים שטחים פתוחים נרחבים. רשת חשמל ריכוזית כמו בישראל, פגיעה לתקלות אשר עלולות להשבית אזורים נרחבים בארץ ולפגוע קשות בשגרת החיים המודרניים. פתרונות לבעיות אלו הם ייצור אנרגיה על מבנים ויצירת מבני ZEB/NZEB (Near/ Zero Energy Building) אשר צורכים פחות מ-80% אנרגיה לעומת מבנים קונבנציונליים מקבילים. ייצור אנרגיה באמצעות תאים פוטו-וולטאים רגילים על גגות אמנם מאפשר ייצור חשמל מספק לבניינים נמוכים, אך לא לרבי קומות. כמו כן, פתרון זה אינו אסתטי.

תאים פוטו-וולטאים משולבי מבנה (BIPV- Building Integrated Photovoltaics), מהווים חלק ממעטפת הבניין (חלונות, חזיתות, גגות) וממלאים מספר פונקציות בו זמנית: ייצור חשמל, פתרון אסתטי, הגנה על הבניין מפגעי הסביבה, הצללה, חוסן אנרגטי וצמצום המשאבים המושקעים בייצור נפרד של תאים



מגגות מוזנחים לגגות מחנכים: יישום גגות ירוקים במבני חינוך בישראל

נ. אוסטרליץ¹, ל. כרמל², י. אגוזי¹, א. ילינק² | ¹אוניברסיטת תל-אביב, ²המועצה הישראלית לבנייה ירוקה

כאלמנט חזותי בפרויקטים בעלי אג'נדה ירוקה.

מטרתו של מחקר זה הינה לבחון מהם החסמים להקמת גגות ירוקים בישראל, ולהצביע על התנאים והגורמים שעשויים להביא למימוש נרחב של גגות ירוקים ולהפיכתם לאלמנט עירוני שכיח, המהווה חלק מסביבת היום יום של רבים. מהמחקר עולה כי מבני חינוך הינם המתאימים ביותר למימוש הרעיון באופן נרחב, וזאת לאור כמה מאפיינים המייחדים אותם מסוגי מבנים אחרים. בנוסף, מבני חינוך, מעצם הגדרתם, יכולים לשמש כלי לשינוי ההתנהגות של הדור הבא ולקידום מרחב בנוי מקיים הרבה יותר מכפי שהוא היום. ממצאי המחקר שופכים אור על התנאים שיכולים לעודד הקמתם של גגות ירוקים על מבני חינוך, ועל החסמים המקשים על כך, או מביאים להקמת גגות שאינם משרתים את מטרותיהם. המחקר מציע מנפים אפשריים לקידום בנייתם של גגות ירוקים בישראל, ולטובת תכנון ובנייה של גגות ירוקים מוצלחים יותר ובעלי תועלות ושימושים רבים יותר.

מטרתה של אדריכלות בת קיימא היא יצירת סביבה התורמת לאיכות החיים, ומאפשרת קיום מאוזן יותר מהמקובל כיום. במרחב הבנוי הישראלי הסובל לא אחת מאיכות אויר ירודה, מאיי חום, כמות מי נגר גדולה ומהפרת שטחים פתוחים לצורכי פיתוח תוך אובדן תפקודיהם האקולוגיים הקודמים, לגגות ירוקים עשויה להיות תרומה משמעותית ליצירת סביבה מאוזנת יותר מבחינה אקולוגית. בנוסף, לגגות הירוקים גם תרומה לאיכות המרחב הציבורי, והם יכולים לשמש לצרכי פנאי ולשימוש הקהילה ותושבי השכונה, במיוחד במרחבים עירוניים צפופים המאפיינים אזורים רבים בישראל.

גגות ירוקים הופכים בשנים האחרונות לאלמנט שכיח בנוף העירוני של ערים רבות בעולם. המחקרים הרבים הנעשים בתחום והניסיון המצטבר, גם בארץ, בכל הקשור לתכנון, לבנייה ולשימוש בגגות בפועל, הביאו להכרה ביתרונותיהם ותועלותיהם המגוונות. יחד עם זאת, על אף התועלות המוכחות, בנייתם של גגות ירוקים בישראל הינה מצומצמת מאד, ומתבצעת לרוב



הערכה אפידמיולוגית בזמן ובמרחב של טפיל הלישמניה בעשור האחרון בדרום הארץ ופיתוח של אבחון מולקולרי מהיר ורגיש למינים השונים

י. שמר אבני^{1,2}, א. שגיא^{1,2}, י. אל און¹, ש. קודיש¹, י. ירושלמי³ | מרכז רפואי אוניברסיטאי סורוקה,² אוניברסיטת בן-גוריון, צ'ה"ל

יותר מהשיטות הקונבנציונליות אשר היו בשימוש עד לשנת 2014. **2. שיפור השרות**, מאחר והדגימות נלקחות במרפאה בזמן ביקור אצל הרופא. **3. אבחון המין** האחראי למחלה, ובכך מאפשר לרופאים לתת טיפול מותאם ומשפר את סיכויי ההחלמה ומניעת סיבוכים. **4. חסכון משמעותי** בעלויות הטיפול, שכן כיום הטיפול אינו ספציפי למין ויכול להיות יקר בשל חוסר תגובתיות לטיפול. טיפול ספציפי, ימנע שימוש במספר תכשירים ולהחלמה מהירה יותר מהמחלה.

עבודתנו מראה עלייה משמעותית במספר המקרים של לישמניאזיס עורי במחוז דרום (בשנת 2003 מספר המקרים 19.07/100,000 אל מול 68.32/100,000 ב-2013). אוכלוסיית החולים מאופיינית בגיל ממוצע, 38.71 ± 22.61 ו-52.1% מהמטופלים הינם גברים. מרביתם המוחלט של דיווחי המחלה, הינם בחודשי החורף. כאשר החסרנו 10 שבועות ממועד הדיווח כדי להתאים עד כמה שניתן למועד ההדבקה, נמצא כי טמפרטורה ממוצעת שבועית גבוהה, בחודש סביב מועד ההדבקה, הינה גורם סיכון כאשר מדד הקשר הינו $RR = 1.037$ ($p < 0.001$; CI95%: 1.019-1.055). נתונים אלו מתיישבים עם הידיעה כי אמנם המחלה מתבטאת בחודשי החורף, אך ההדבקה עצמה אירעה בחודשים החמים של הקיץ. לכן ניתן להסיק מניתוח הנתונים, כי ישנו סיכון להדבקה בטפיל הלישמניה כאשר הטמפרטורות גבוהות. לא נמצא קשר מובהק בין גשם ולחות, לשיעור הופעת המחלה. כמוכן, ניצפה כי במרוצת השנים, אבחון לישמניאזיס עורי נטה יותר לעבר חודשי השנה הקרים (מאוקטובר-נובמבר ב-2006 לעומת דצמבר-ינואר ב-2013), משמע שמועד ההדבקה גם הוא זז לכיוון חודשי הסתיו כנראה בגלל שחודשים אלו התחממו במרוצת השנים, מה שמהווה קרקע פורייה להדבקה בלישמניה. על פי הפיזור הגיאוגרפי, נמצא שמרבית ההדבקות מתרחשות באזור המרכזי של הנגב, וכן מוקדי דיווח באזור הערבה המזרחית ואזור עוטף עזה. לא נמצא קשר בין התיישבות חדשה ופיתוח אזורי בניה, לבין עליה בשיעור דיווחי הלישמניה בשנים 2003-2013. ●

לישמניאזיס עורי (Cutaneous Leishmaniasis, CL) היא מחלה אנדמית בישראל הנגרמת כתוצאה משני מיני טפילים: *Leishmania major* (*L. major*, LM) ו-*Leishmania tropica* (*L. tropica*, LT). בנגב ידועה העברה אנדמית של הטפיל ממין LM, ואילו באזור מעלה אדומים ליד ירושלים, בשומרון, ועד צפונית לעיר טבריה, ידועה העברה אנדמית של הטפיל ממין LT. ייתכן ויש אזורים נגועים נוספים, אך מהם לא הגיעו דיווחים על תחלואה. המחלה הנגרמת על ידי LT, קשה מזו הנגרמת על ידי LM. בשנה הראשונה למחקר, הוגשו בקשות והתקבלו אישורי הלסינקי לצורך: מיפוי האזורים הנגועים ב-CL בדרום הארץ, ביצוע אבחון לשכיחות והתפלגות המחלה ביישובי הדרום בין השנים 2003-2013, ואבחון המשתנים הגיאוגרפיים וההתיישבותיים באזורים ביחס להתפשטות המחלה. במאמר ראשון שפורסם במסגרת המחקר (נספח 1), דיווחנו על עלייה משמעותית במספר CL מאובחנים במעבדה במהלך השנים 2011-2013 ביחס לשנים 2007-2010.

מטרה נוספת לשנה הראשונה, הייתה פיתוח אבחון מולקולרי של המין הגורם למחלה ובאמצעותו הערכת התפלגות המינים ביישובי הדרום. לצורך כך, פיתחנו מערכת Multiplex Quantitative Real-Time PCR (mqRT-PCR), המבוססת על הגברת תוצר וגללים פלואורסנטים ייחודיים לזיהוי של לישמניה כלשהי, וכן זיהוי של LM ו-LT בדגימות מטוש מהנגע. ביסוס השיטה, נעשה ע"י השוואתה לבדיקות משטח תחת מיקרוסקופ. בהמשך, נשלחו דגימות לאימות במעבדה האנטומולוגית במשרד הבריאות, אשר משתמשת ב-PCR ואבחון המבוסס על לציין, כי דגימות אשר נמצאו חיוביות ל-*Leishmania infantum/donovani* אשר אובחנו במעבדה הפרזיטולוגית בסורוקה, נשלחו לאימות במרכז הארצי וחזרו כולן עם תשובה חיובית. תוצאות הבדיקות המולקולריות, מעידות על עלייה משמעותית ברגישות הבדיקה ביחס למשטחים צבועים בגימזה. שימוש ב-mqRT-PCR מאפשר: **1. אבחון מהיר** ורגיש



מעקב אחר ההתפשטות של לישמניה טרופיקה בצפון ישראל

צ. יפה, ג. בנעט, ע. נסר אלדין, ל. שנור | האוניברסיטה העברית

בבדיקה ישירה של הרקמות. רק 10 זוגות פריימרים הניבו תוצאות טובות עם דגימות מבני אדם, שמתוכם 6 הניבו תוצאות ברורות שנותחו בקלות. ניתוח MLMT ישיר של רקמות בעלי חיים לא עבד היטב, ככל הנראה בשל עומס טפילי נמוך ברקמות אלה. ניתוח של 10 לוקוסים הראה, כי לפחות 4 תת אוכלוסיות גדולות של טפילי לישמניה טרופיקה קיימות בקרב חולים בישראל, שלוש מהן שייכות לגנוטיפים שדיווחו בעבר. מכיוון שה-MLMT לא היה מספיק רגיש כדי לזהות באופן ישיר את ה-genotype הטפיל בדוגמות רקמה נגועות, פותחה טכניקה חדשה המבוססת על ריצוף עמוק של kinetoplast DNA (kDNA) minicircle. טכניקה זו, נמצאה כרגישה מאוד ובעלת יכולת לזהות פולימורפיזם טפילים, ישירות בדוגמות רקמות. עבודה נוספת דרושה בשיטה החדשה כדי לזהות את מחזור ההדבקה בטבע של *L. tropica*, ולקבוע אם הטפילים שנצפו באדם מקורם בשפני סלע המצויים בסמוך למגורי האדם הנגוע, או מאזורים מרוחקים יותר. ניתוח הגנוטיפים של הטפיל, יאפשר מעקב אחר התפשטות לישמניה טרופיקה למוקדים חדשים, מחיה לחיה, וכן מחיה לאדם. שימוש בטכניקה זו, יכול להסביר את מעגל ההדבקה של לישמניה טרופיקה בטבע, בקרבת מגורי אדם או במקומות מרוחקים יותר. מידע זה, יאפשר לפתח אמצעי בקרה טובים יותר על התפשטות המחלה.

תחלואה במחלת הלישמניאזיס העורית, התפשטה בעשור האחרון לאיזורים חדשים בצפון ומרכז ישראל וכן חלה עלייה במספר החולים. התפרצויות עיקריות היו בתחילה בטבריה ומעלה אדומים, המהווים מוקדים פעילים של המחלה עדיין, ואחר כך דווחו גם מאיזורים חדשים כולל לאחרונה מהעיר כרמיאל. לישמניאזיס עורית, הינה מחלה זואונוטית המועברת ע"י זבובי חול. בישראל מועברת לישמניה טרופיקה ע"י זבובי החול פלבוטומוס סרג'נטי ופלבוטומוס ארביקוס, ושפני סלע הינם חיית המאגר (רזרוואר) העיקרית למחלה. איפיון בשיטת DNA multi-locus microsatellite typing (MLMT), הכולל ניתוח פולימורפיזם גנומי באוכלוסיות פתוגנים, מסוגל לזהות גנוטיפים הקשורים למחלה והתפשטותה. מחקרים קודמים מצאו, כי לישמניה טרופיקה הינה מאד הטרוגנית עם מספר רב של גנוטיפים.

DNA ממחקר קודם על מאגרים של לישמניה טרופיקה ורקמות שנאספו לאחרונה, אשר נמצאו חיוביים על ידי ITS1-PCR למין זה, עברו genotyping על ידי MLMT. בשלב הראשון של מחקר זה, בוצע MLMT על DNA מ-62 דגימות של promastigotes, רקמות בני אדם נגועים ובעלי חיים נגועים באמצעות זוגות תחלים (פריימרים) ל-12 לוקוסים שונים. כל 12 זוגות הפריימרים, עבדו היטב על DNA promastigote טהור. לעומת זאת, התוצאות לא היו משביעות רצון



הדברת זבובי חול המעבירים ליישמניה טרופיקה

א. ורבורג, א. מונצז, ב. הורוביץ | האוניברסיטה העברית

האזורים האנדמיים.

המחקר הכלול בדווח בחן דרכים לצמצום אוכלוסיות זבובי החול בקרבת מגורי אדם, ע"י שימוש מושכל בקוטלי חרקים כנגד זבובי החול המעבירים. כמו כן, בוצע ניסוי מקיף בריסוס ביפנטרין (פירטרואיד סינטטי) ע"ג קירות תמך ומצבורי סלעים, שם חיים ומתרבים הן השפנים והן זבובי החול. הניסוי בוצע בישוב קינר במדבר יהודה, לאחר שאיסופי זבובי חול מקדימים הראו שיש שם אוכלוסיות צפופות של פלבוטומוס סרג'נטי, המעביר של ליישמניה טרופיקה. ביפנטרין רוסס בתמיסה מימית (0.1%) עם או בלי תוספת סוכר (10%). תמותה של זבובים שנלכדו נבחנה לפני הריסוס, ומספר פעמים לאחריו. בסה"כ נלכדו 12,041 זבובי חול ב-14 לילות לכידה, בממוצע של 158 זבובי חול למלכודת ללילה. התפלגות הזווגים הייתה 53% נקבות ו-47% זכרים. הניסויים שבוצעו ותוצאותיהם מדווחים בחלקו הראשון של הדו"ח. בקיצור רב, נרשמה ירידה משמעותית במספרי זבובי החול לאחר הריסוס, אולם הירידה המספרית הייתה מאוד מוגבלת למקום הריסוס וחלפה תוך יומיים. במקביל, ההשפעה על שרידותם ל-24 ש' של זבובי חול לאחר לכידה, חלפה כעבור 10 ימים. תוספת סוכר לתערובת הריסוס, האריכה את הירידה המספרית ל-10 ימים, וההשפעה על השרידות התארכה אף היא הרבה מעבר ל-10 ימים עד לסיום הניסוי, שנכפה עלינו מסיבות ביטחוניות.

מכאן, שריסוס יסודי ביפנטרין בתוספת סוכר ע"ג משטחי סלע נרחבים, יכול להפחית זמנית את מספר זבובי החול באזור המרוסס ובסביבתו הקרובה. הריסוס יכסה את מרבית משטחי הסלע בסביבות הבתים שעל תושביהם יש להגן. יש צורך לחזור ולרסס מדי שבוע או שבועיים; תזמון מדויק יקבע בניסויים נוספים, במקום בו אמורים ליישם את הטיפול.

גישה נוספת אותה בחנו, עשתה שימוש בפיתיונות המכילים קוטלי חרקים אותם מפזרים באזור מגורי השפנים. ההיגיון בבסיס גישה זו (שנוסתה בהצלחה רבה להדברת חרקים אקטו-פריזיטים ביונקים שוכני מחילות), הוא להאכיל את השפנים חומר שאינו מזיק להם אולם ממית את זבובי החול שניזונים מדמם. בצורה זו, ניתן להפחית את אוכלוסיית זבובי החול בכלל ואת אחוזי הנקבות המודבקות בליישמניה בפרט. זאת מאחר והשפן מהווה מאגר לטפיל, ולא רק מקור דם לנקבות זבובי החול. זאת ועוד, מחקרנו בכפר אדומים הראו שזחלי זבובי החול בחלקם מתפתחים בתוך מאורות השפנים, וככל הנראה ניזונים משיירי מזון

מחלת הלישמניאזיס מהווה למעשה קבוצת מחלות בעלות תפוצה נרחבת ומגוון מופעים קליניים, הכולל ליישמניאזיס של העור (ל"ע) ולישמניאזיס של האברים הפנימיים. מחלות אלו, מסכנות אוכלוסיות בסד"ג של 350 מיליון אנשים ב-88 מדינות. בישראל קיימים שני סוגי המחלה, אולם התחלואה בלישמניאזיס של האברים הפנימיים נמוכה מאוד (מספר מקרים קטן בשנה לכל היותר). לעומת זאת, ל"ע הנגרמת ע"י הדבקה בלישמניה טרופיקה (*L. tropica*) או ל.מייג'ור (*Leishmania major*), נחשבת כמחלה מתפרצת באזורינו ותפוצתה הולכת ומתרחבת בשנים האחרונות.

אמנם לאחרונה דווח על התפרצות ל"ע בעמק בית שאן הנגרמת ע"י ל.מייג'ור, אך מרבית ההתפרצויות בתחומי תפוצה חדשים, נובעים מגידול עצום של הדבקות בל.טרופיקה. ב-1994 דווח לראשונה על מוקד פעיל בכפר אדומים. בשנת 2000 החלה התפרצות ביישובי צפון הכנרת, ושנתיים מאוחר יותר בפרברי טבריה. ההתפרצות הגדולה ביותר ארעה באמצע שנות ה-2000 במעלה אדומים, וכללה מספר מאות מקרים. מאז, דווח על התפרצויות קטנות יותר ביישובי איז"ש, גם יהודיים וגם פלסטיניים. המשותף לכל המוקדים שנחקרו, היה ריכוז המקרים בבתי פריפריים הסמוכים לאזורי בור, בהם חיים שפני סלע (*Procvavia capensis*). בעבר, היו השפנים נמנעים מקרבת אדם וחיים רק באזורים מרוחקים מיישובים. אולם בשנים האחרונות, הסתגלו לקרבת בני אדם והם נפוצים כיום במרחקים של עשרות מטרים ממקומות ישוב ואף בין בתי היישובים עצמם (למשל באמנון, כורזים, יפתח). מחקרים שבצענו הוכיחו מעבר לכל ספק ששפנים מהווים חיית מאגר הכרחית לל.טרופיקה, ולא נרשמה ולו התפרצות אחת במקום בו לא חיים שפנים.

מיני זבובי החול המעבירים ל.טרופיקה הינם פלבוטומוס סרג'נטי (*P. sergenti*) במדבר יהודה וטבריה, ופ.אראביקוס (*P. arabicus*) בצפון הכנרת. נקבות זבובי החול, ניזונות דם שפנים (או בע"ח אחרים) הדרוש להבשלת הביצים, ועכב כך נדבקות בטפיל. שני הזווגים ניזונים גם מצמחים (סוכרים) כמקור אנרגיה. זבובי חול דוגרים במקומות קרירים וחשוכים המכילים חומר אורגני נרקב. מחילות ומערות מהוות מקום מועדף, במיוחד כשהם מאוכלסות ע"י יונקים המספקים גם חומר אורגני לזחלי זבובי החול, וגם מקור דם לנקבות הבוגרות. הקרבה של הביטטים מעין אלו (למשל מערות מאוכלסות בשפנים) לבתי מגורים, הינה הגורם העיקרי לריבוי מקרי ל"ע בקרב תושבי

וצואה שלהם. אי לכך, קיימת אפשרות שזחלים אלו ימותו בטרם התגלמות, ובכך תופחת אוכלוסיית זבובי החול עוד יותר. הדו"ח כולל דווח על תוצאות ניסויי העדפות מזון גם במעבדה וגם בשטח. בנוסף, מדווחות תוצאות ניסויי האכלה במעבדה, בה זוהה פיפרוניל בצואת השפן אך לא בדם החיות. נאלצנו להפסיק את הניסויים, מאחר שמספר גדול של שפני הניסוי מתו גם במכלאה המקורית בבית דגן וגם לאחר שהעברנו אותם למתקן תקני בגן הזואולוגי בתל אביב, ככל הנראה כתוצאה מהדבקה ויראלית (לא אובחן בוודאות).

מחקר חדש אותו יזמנו, בחן את העדפות התזונה הצמחית של זבובי חול. נעשה שימוש בשיטות ריצוף דנ"א חדשניות (NGS), כדי לזהות מאילו צמחים ניזונו זבובי חול בשני אזורים סמוכים לכפר אדומים. ממצאים הראו כי יש העדפה ברורה לצמחי נוי, אולי בשל העובדה שבעונת הקיץ מרבית הצמחייה המקומית מתייבשת וקמלה. לא ניתן היה להסיק אילו מבין צמחי הנוי מועדפים, אולם הובהר שלהימצאות גינות נוי יכולה להיות השפעה על ריבוי זבובי חול ואולי גם על האפידמיולוגיה של לשמניה של העור. בכוונתנו לתכנן מחקרים לשנים הקרובות, במסגרתם נבצע ניסויי העדפה לצמחים ונבדוק יישומים לממצאים אפשריים. ●



מפרץ חיפה

סקר היתכנות להפחתת זיהום אוויר מכלי שיט בנמלי חיפה ואשדוד

י. ברק¹, א. רזי-ינובי², ד. מדר², א. נועם¹ | אביב ניהול הנדסה ומערכות מידע בע"מ, SP Interface²

ישראלית שתידרש להתבצע בנושא. ההתמודדות עם סקטור זה מורכבת ומאתגרת מאוד, ולמרות זאת, ישנם שורה של אמצעים בהן ניתן לנקוט כדי להביא להפחתה משמעותית בזיהום, כפי שניתן ללמוד מפעולות שנעשו בנמלים אחרים בעולם. להערכתנו באמצעות נקיטה בסל של אמצעים כפי שמפורטים בעבודה, ניתן עד שנת 2030 להביא להפחתה של 50%-70% בהיקף הפליטות של NOx, זאת ביחס למצב הקיים או לתרחיש עסקים כרגיל לשנת 2030. כמו כן, ניתן להביא להפחתה משמעותית של פליטות אחרות (כגון PM2.5, VOC, CO) ו-PM2.5, אשר יושפע מתמהיל אמצעי ההפחתה המסוים שיבחר (כמפורט בדו"ח). העבודה מציגה מתווה אפשרי על מנת לעמוד ביעדי הפחתה כנ"ל, שבבסיסו שלושה מרכיבים עיקריים: 1) דרישה ו/או עידוד של האניות המזהמות יותר להתקין אמצעים להפחתת NOx, או להסב את המנוע הפועל בזמן העגינה להתחברות למערכת חשמל, או לנקוט בפעולות חלופיות המפורטות בדו"ח; 2) יישום שורה של פעולות תפעוליות וכלי מדיניות שאינם קשורים למרכיב טכנולוגי; 3) הקמת מערך ניטור, בקרה ואכיפה על הפליטות של האניות בנמלים, תוך מתן סמכויות לצורך ביצוע של פעולות ספציפיות המפורטות בדו"ח. כדי ליישם מתווה זה, יש להכין תכנית עבודה מפורטת הנשענת על שילוב מסוים מסל הפעולות המוצגות בעבודה. במקביל לכך, העבודה מפרטת גם מספר פעולות מחקריות נוספות אותן מומלץ להשלים. לסיכום, סקטור כלי השיט בנמלים חיפה ואשדוד מייצר זיהום אוויר כבד, שבסבירות גבוהה גורם להשפעה משמעותית על איכות האוויר באזורים מאוכלסים. להערכתנו, היקף הזיהום בשני הנמלים הנו גבוה יותר מהערכות קודמות שהיו ידועות בנושא, כשהמזהם העיקרי והמאתגר ביותר להפחתה הוא NOx. יישום תכנית להפחתת הפליטות מהסקטור תאפשר הן לטפל ב-NOx, כמו-גם ביתר המזהמים שנבדקו, בהם, VOC ו-CO, בהיקף אשר יושפע מהשילוב הספציפי של אמצעי ההפחתה שיבחרו.

סקר זה בחן היתכנות להפחתת זיהום האוויר הנגרם מכלי שיט העוגנים בנמלי חיפה ואשדוד, תוך מענה לשאלות העיקריות הבאות:

1. מהו היקף זיהום האוויר הנפלט כיום מסקטור כלי השיט בנמלים חיפה ואשדוד.
2. האם סביר כי זיהום זה משפיע בפועל על איכות האוויר באזורים מאוכלסים בחיפה ואשדוד.
3. באילו דרכים ניתן לנקוט על מנת להפחית את היקף הזיהום, בכלל זה: אמצעי הפחתה טכניים, אמצעים תפעוליים, אמצעי אכיפה ומדיניות וכיו"ב.
4. לאילו יעדי הפחתת זיהום ניתן לשאוף, בראי ההיתכנות היישומית של אמצעי ההפחתה השונים.

העבודה מצאה כי נכון לשנת 2018, זיהום האוויר הנוצר מכלי השיט בנמלי חיפה ואשדוד הנו זיהום כבד הדומה בהיקפו לתחנת כוח גדולה המוסקת באמצעות סולר (שהנו דלק מזהם המותר להפעלה בתחנות כוח בישראל במצבי חירום בלבד). במקרה של נמל חיפה, ניתן להשוות את סך הפליטות הרגעיות בשעת עומס, לפליטות של תחנת כוח על סולר בהספק ייצור של כ-1,000 מגה וואט, ובמקרה של אשדוד מדובר בתחנה על סולר בהספק של כ-700 מגה וואט. כ-50%-65% מפליטות אלה נובעות מפעילות העגינה בנמל (hoteling), כ-30% מפעילות התמרון וההמתנה בתחומי הנמל (maneuvering and stand-by) והיתר (20%-5%) מפעילות השיוט (cruising). כמו-כן, סיכויי הסעת המזהמים לאזורים מאוכלסים בסביבת הנמלים, הנה גבוהה, וללא התערבות משמעותית של הרגולטור הישראלי, היקף זיהום ה-NOx אינו צפוי לרדת באופן משמעותי (אם בכלל) ב-15 השנים הקרובות לפחות. לעומת זאת, במקרה של SOx ו-PM2.5, על רקע רגולציה בינלאומית חדשה (המגבילה את תכולת הגופרית בדלק) אשר תיכנס לתוקף ב-2020, הפליטות צפויות לרדת באופן משמעותי, אך זאת בכפוף לאכיפה



הערכה כלכלית של העלויות הבריאותיות כתוצאה מתרומת מזהמי אוויר נבחרים במפרץ חיפה

נ. בקר¹, ק. אגאי-שי², י. אראל¹, ג. שפר¹, ע. גרינפלד³ | המכללה האקדמית תל-חי², אוניברסיטת בר-אילן³, אוניברסיטת חיפה

לכל אזור סטטיסטי חושב הפרש חשיפה, שהנו ההפרש בין ערך הממוצע של זיהום האוויר וערך הייחוס שנקבע. לכל המזהמים פרט לאוזון, הפרש החשיפה הנו ההפרש בין ערך הזיהום המתקבל מפליטות מקומיות. השפעת האוזון חושבה ביחס לערך שהיה נוצר אילו לא היו פליטות מקומיות. ערך זה הוא הערך מעל הים התיכון.

בשלב השני בוצעה סקירה ספרותית נרחבת, הכוללת את סקירת ארגון הבריאות העולמי במסגרת פרויקט ייעודי לבחירת מדדי קשר, כ-50 מטה אנליזות ו-20 מחקרים מישראל לבחירת מדדי הקשר (פונקציית תגובה-מינון). קריטריון בחירת מדדי הקשר כלל: מחקרים שבהם רמת החשיפה והאוכלוסייה דומה לישראל, מדדי הקשר מובהקים סטטיסטית, מדדי קשר ממחקרי עוקבה של חשיפות כרוניות המתכללות את ההשפעות לטווח ארוך והמאמרים החדשים ביותר. במידה ולא היה מחקר רלוונטי לחשיפה כרונית, נבחר מדד קשר לחשיפה קצרת מועד (ממוצע ימתי או ממוצע 8 שעות) שהנו הערכת חסר של ההשפעה הבריאותית לאותו המזהם.

בסה"כ נמצאו 8 קבוצות של מחלות (סכרת סוג 2, לידת תינוקות במשקל לידה נמוך, סרטן ריאה, מחלות לב וכלי דם הכוללים מחלות לב ושבץ מוחי, מחלות נשימה כולל מחלת ריאות חסימתית כרונית, אסתמה ודלקת ריאות חריפה) ותמותה כללית למעט מתאונות. הוגדרו 21 מדדי קשר לכל תוצא בריאותי ומזהם אוויר, במידה והיה מדד קשר שהתאים לקריטריון ההכללה.

בכדי לחשב את תוספת התחלואה/תמותה הנוספים מהפליטות המקומיות בכל אזור סטטיסטי (attributable cases), הוכפלו סה"כ המקרים של חולים בכל אזור סטטיסטי ב-PAF הספיציפי (**אחוז מקרי התחלואה והתמותה שניתן למנוע** באזור הסטטיסטי במידה וערך הזיהום היה ערך הייחוס (PAF-Population Attributable Fraction). סה"כ מספר החולים, חושבו מנתוני שיעורי תחלואת הרקע בישראל ומגודל האוכלוסייה בסיכון שבכל אזור סטטיסטי. ה-PAF הספיציפי חושב על סמך מדדי עוצמת הקשר (פונקציות תגובה-מינון) שנלקחו מהספרות, והפרש החשיפה עבור כל אזור סטטיסטי (הפרש בין ערכי הזיהום הממוצעים שהתקבלו בשלב א' עבור כל אזור סטטיסטי וערך הייחוס).

נתוני שיעור תחלואת הרקע בישראל, התקבלו מנתוני אשפוזים ותמותה ממשדד הבריאות וחושבו ממחקרים אפידמיולוגים בישראל. גודל האוכלוסייה בסיכון,

עד כה, בוצעה בישראל הערכה של עלויות חיצוניות של זיהום אוויר במספר מצומצם של מחקרים, וברובן התבססו על עלויות המחשבות מערכי פליטה לסביבה. הערכת תוספת התחלואה והתמותה מזיהום אוויר (Burden of disease/Mortality), נעשית לרוב ברזולוציה של מדינות ולא ברזולוציה מרחבית גבוהה של אזורים סטטיסטיים. כמו-כן, בהערכות סיכון קודמות התייחסו בעיקר לתמותה ומספר מצומצם של סוגי תחלואה. מטרתו העיקרית של מחקר זה, היא להתמקד במפרץ חיפה ולהעריך את תוספת התחלואה והתמותה והעלויות הכלכליות שלהן, הנגרמות מתוספת הפליטות המקומיות לזיהום האוויר הסביבתי. הערכה זאת נעשתה בצורה פרטנית הן מבחינת הסימפטומים, הן מבחינת המזהמים והן מבחינת השכונות השונות במפרץ חיפה. השנה שבה נאמדו נתוני הפליטות היא 2015. כל הערכים המוניטאריים ניתנים במונחי 2017.

ביצוע ההערכה נעשה בשלושה שלבים:

א. הערכת תוספת זיהום לרמות הסביבתיות מנתוני פליטות מזהמי אוויר ממקורות תעשייתיים, תחבורתיים ואחרים (למשל, תחנות דלק). בחנו זאת עבור ארבעה מזהמים: PM_{2.5}, NO₂, Benzene, Ozone. נדגיש שהמחקר לא כלל הערכת סיכונים כתוצאה מפליטות של VOC, עקב מחסור בנתונים לשנת המחקר (2015).

ב. הערכת סיכונים בכדי להעריך את תוספת התחלואה והתמותה, בגין חשיפת קבוצות האוכלוסייה בסיכון לתוספת זיהום האוויר (מספר מקרים שניתן למנוע אם נוריד את הזיהום מהערך שהתקבל בשלב א' לערך הייחוס). עבור בנזן נעשתה הערכה בגישה שונה על סמך תוספת הפליטות ממקורות תחבורתיים, ורק בהתבסס על תוספת הצפויה של תחלואה בסרטן הדם לכל יחידת זיהום נוספת של בנזן.

ג. הערכת ההשפעות הכלכליות של תוספת התחלואה והתמותה שהוערכה בשלב ב'.

השלב הראשון בוצע באמצעות מודלים של פיזור מזהמים שנפלטו הן ממקורות אנרגיה, הן ממקורות תעשייתיים שאינם מקורות לייצור אנרגיה והן מתחבורה. בהתבסס על נתוני שלב זה, חושב ממוצע זיהום האוויר לכל אזור סטטיסטי במפרץ חיפה באמצעות תוכנת GIS. באזור ישנם 179 אזורים סטטיסטיים, מתוכם ב-156 ישנה אוכלוסייה בסיכון לתחלואה/תמותה.

המזהמים השונים. כמו-כן, תוספת התחלואה והתמותה חושבה לפי סקטור הפליטה- תעשייה או תחבורה. טבלאות מספר 1 ו-2, מסכמות את מספר האירועים בחיפה בשנת 2015 לתחלואה (טבלה 1) ותמותה (טבלה 2):

הרלוונטית לכל סימפטום בהתאם לספרות, בכל אזור סטטיסטי נלקחה ממפקד 2008 וחושבה במידת הצורך. תוצאות השלב השני קוטלגו לתוספת סימפטומים לפי המחלה ומוות מוקדם, וחושב ערך מקסימאלי ומינימאלי בהנחת אי-תלות כלל או תלות מלאה בין

טבלה 1 - סה"כ מספר מקרי היארעות של סימפטומים "הנתרמים" מפליטות מקומיות

Disease	Studied morbidity	NO ₂	O ₃	PM2.5	Benzene
Ischemic Heart Disease	Hospitalizations or Death	85		19	
Stroke	Incidence			5	
Stroke	Hospitalizations	16	-0.5	2	
Asthma	Prevalence	1,326	-86	309	
Asthma	Incidence or lifetime prevalence	171	-11	40	
Diabetes	Morbidity	1,070	-353	262	
Lung cancer	Incidence	2		0	
ALRI	Incidence			9	
COPD	'Hospitalizations	138		8	
Term LBW	Births	37		13	
Leukemia	Incidence				1.8

טבלה 2 - סה"כ מספר מקרי היארעות של מוות ממחלה "הנתרמים" מפליטות מקומיות

Pollution source	NO ₂	O ₃	PM2.5	Benzene	All pollutants
Industrial pollution	7.21		7.16		14.36
Transport pollution	72.75		14.59		87.33
Total pollution	79.96	-5.35	21.75	0.69	101.69

בסיכומו של השלב השלישי, קיבלנו ערך זיהום כולל עבור מפרץ חיפה במונחים מוניטאריים. הדו"ח מציג גם פילוח של ערך זה, על פי האזורים הסטטיסטיים והסקטורים השונים. תוצאות הערכים הכלכליים מושפעות מצורת החישוב של ערך התמותה המוקדמת, וכן ההנחות לגבי סכימה כפולה של מקרים משני מזהמים או יותר. בהתאם לכך, ערכי עלות תוספת הזיהום מהסקטורים השונים למפרץ חיפה, נעים בין 561 מיליוני שקלים ל-1,352 מיליוני שקלים. עלות זו שקולה לעלות לנפש במפרץ, בסך כ-1,800 שקלים לשנה (או כ-6,800 שקלים למשק בית).

התוצאות מפורטות בטבלה מספר 3 להלן:

בשלב השלישי כימתנו את הערך הכלכלי של אותם תסמיני מחלה. השתמשנו בשיטת עלות ההעברה מ-47 מחקרים שונים בחו"ל, והתאמתם לישראל. התוצאות בנוגע לתסמיני המחלות חושבו על ידי שיטת עלות המחלה (Cost of illness), הכוללת עלויות טיפול ישירות ועלויות עקיפות (היעדרות מעבודה). אלו חושבו עבור מספר תסמינים תחלואתיים. עלות של מוות מוקדם חושבה בשתי דרכים: א. מוות ללא קשר לגיל הנפטר בשיטת הערך של חיי אדם סטטיסטי (Value of statistical life) - ב. עלות של שנות חיים אבודות (Years life lost). ערך חיי אדם במחקר הוערך ב-12.95 מיליוני שקלים לחיי אדם בודד, ושנת חיים הוערכה ב-350 אש"ח.

טבלה 3 - סה"כ עלות של תחלואה ותמותה כתוצאה מפליטות מקומיות במפרץ חיפה (ש לשנה)

	Mortality cost by VOLY	Mortality cost by VSL	Morbidity cost	Total cost (using VOLY)	Total cost (using VSL)
NO ₂	360,473,493	1,033,138,220	79,889,728	440,363,221	1,113,027,948
PM2.5	98,082,538	281,110,319	42,549,606	168,762,988	323,659,926
Benzene	3,100,485	8,886,172	1,170,020	4,270,505	10,056,192
O ₃ cost reduction	-24,178,037	-69,295,675	-16,774,372	-40,952,409	-86,070,048
Total _(min) *	360,473,493	1,033,138,220	79,889,728	440,363,221	1,113,027,948
Total _(max) **	437,478,479	1,253,839,036	106,834,981	544,313,460	1,360,674,018

נדגיש שוב שבמחקר לא נכללו פליטות מנמל חיפה ומנמל התעופה, וכן לא נעשתה הערכה כלכלית למזהמים אורגנים נדיפים-VOC, שלא נכללו במצאי הפליטות בשנת 2015. כמו-כן, לא נעשה כימות ההשפעה של תחמוצות גופרית, מאחר וערכי התוספת היו מתחת לערכי הסף להשפעה בריאותית. בנזן נאמד רק לפליטות תחבורתיות, עקב מחסור בנתונים בהתייחס לשנת 2015.

יש להדגיש שהתוצאות במחקר אמורות לשקף את תמונת המצב בשנת 2015 בלבד. מאז כמובן חלו שינויים בכל הפרמטרים, ובכדי לקבל תמונת מצב עדכנית יש לערוך ניתוח מחודש עם כלי העבודה שפותחו בדו"ח זה.



שיקום הכרמל והערכת שירותי מערכת אקולוגית בשמורה הביוספרית כרמל

רעיית עיזים או כריתת זרעיים להפחתת צפיפות זרעיי אורן בכרמל

י. לנדאו¹, י. כרמל², י. אוסם¹, ע. דולב³, ב. אלבז³, צ. גלסר⁴ | ¹מינהל המחקר החקלאי, ²מוסד הטכניון למחקר ופיתוח, ³רשות הטבע והגנים, ⁴גני רמת הנדיב

שיקום הכרמל והערכת שירותי מערכת אקולוגית בשמורה הביוספרית כרמל

באורנים בחלקות GG ו-C, אולם אורנים בטיפול GG לא גבהו, בניגוד לטיפולים האחרים. צמיחת המחטים הייתה רציפה בטיפולים C ו-PR, ומחזורית באורנים אשר טופלו באמצעות רעייה, בחלקות GG. האורנים בחלקות GG, הסתגלו לרעייה ע"י השארת פיוניות פתוחות בקיץ, בזמן שהיו סגורות בעצים של יתר הטיפולים. זאת, על מנת לאפשר כניסת גזים והוצאתם, לביצוע פוטוסינתזה. לבסוף, שטח העלים היה 0.5 (יחידות LAI) בחלקות GG ו-2.0 בחלקות האחרות, עדות לבימסה דליקה יותר הגבוהה פי 4, בחלקות ללא רעייה. כיוולים לחיזוי שיעור האורן, הלוטם ואלת המסטיק במנת העזים באמצעות ספקטרוסקופיה, בתחום הכמעט אדום הקרוב (FNIRS), הוכנו ברמת הנדיב וע"י תלמיד בתיכון כפר גלים, לשימוש ע"י תלמידי ימין אורד: ערכי R2 לכיוולי שיעור אורן, אלה ולוטם היו 0.96, 0.98 ו-0.88 עם מהימנות של 4.1%, 5.5% ו-3.5%, בהתאמה. מאמצע מאי ועד אמצע יוני, שיעור האלה עלה מ-32% ל-52%, שיעור האורן ירד מ-16% ל-9%, ושיעור הלוטם ירד מ-7% ל-0. העזים אכלו 200 גרם חומר יבש, העשוי מאורן. המנות הכילו בין 10%-12% חלבון, ומכאן שהיו מתאימות לקיום אימהות אך לא לגדילת גדיים.

לסיכום, הסרה בררנית של עצי אורן לא הכחישה את האורנים לחלוטין. כמו כן, הרעייה לא הפחיתה את צפיפות האורנים אך פגעה בהתפתחותם, כך שהם לא גבהו וכנראה לא יישאו אצטרובלים, מקור הזרעיים לאחר שריפה עתידית. הרעייה הורידה את הבימסה הדליקה, לכמות שהינה רבע מזו שבטיפולים האחרים. באמצעות הרעייה, האורנים נהנו מדיכוי הצמח המתחרה העיקרי, לוטם, ובמקביל פיתחו הסתגלות ייחודית לגדילה בקיץ ובסתיו, תקופת מנוחה בד"כ. הפרויקט נוהל בשיתוף עם שחקנים מקומיים (ילדי בתי ספר ומוריהם המתגוררים בשטח השרוף), ועל כך נתונה להם תודתנו. ●

מספר השריפות הגדולות עלה מאוד בשלושים השנים האחרונות. בשריפה הגדולה בכרמל בדצמבר 2010, נספו 44 אנשים ונשרפו 35,000 דונמים של יער וחורש. שריפת צמרות, מהווה סכנה גדולה להתפשטות אש מהירה ביערות אורנים. מחזור השריפות, מתחיל כאשר אורנים צומחים מזרעים המתפזרים מאצטרובלים לאחר שריפה, זרעיי אורן, כאשר מספר הזרעיים מגיע לאלפים לדונם. על כן מטרת מחקר זה, הינה בחינת ממשקים לעיכוב התפתחותם (גובה נמוך, אי יצירת אצטרובלים) של זרעיי אורן, כתנאי למניעת שריפות ושליטה על התפשטותן. במהלך המחקר, הוקמו חלקות ניסוי בכרמל השרוף מחוץ לימין אורד, ונערכה השוואה לביקורת (אי התערבות - C control). שני ממשקים אפשריים לטיפול בזרעיים הינם: הסרה סלקטיבית - (PR pine-trees removal) ורעיית עזים - (GG goat grazing). זאת, באמצעות שתי חזרות לטיפול ובמשך שנתיים רצופות (2016-2017). הטיפול באמצעות רעייה, בוצע בסוף האביב ובלחץ רעייה חזק.

המחקר בחן את השפעת הטיפולים על הצומח המעוצה בחלקות, ועל המקנה. בנוסף, נבחנו ההרכב הבוטאני (שני חתכים לחלקה), הפיזיולוגיה של האורן והלוטם (המין המתחרה לאורן) והדמוגרפיה של האורן. מבחינת כיסוי הצומח, נמצא כי היה נמוך ב-40% ב-GG בהשוואה לביקורת, לעומת הכיסוי ב-PR אשר נמצא בתוך. כיסוי האורנים הינו כ-6%, 8% ו-15% מסה"כ הכיסוי ב-C, GG ו-PR בהתאמה. כיסוי עלוות האורן לאחר הרעייה, היה 34%, 17% ו-46%, באותו הסדר. יחס העלווה לגבעולים הינו 0.4 ב-GG ו-1.4 ב-C. התמותה הטבעית הגבוהה ביותר נמצאה ב-C. טיפול ההסרה PR, לא גרם להשמדת כל האורנים: צפיפות האורנים התייצבה ל-200 עץ (מ-1000) לדונם ב-PR, ו-400 (מ-600) ב-GG ו-C. הגדלת קוטר הגזע הייתה דומה



שיקום הכרמל והערכת שירותי מערכת אקולוגית בשמורה הביוספרית כרמל

הערכת שירותי מערכת אקולוגית ורווחת האדם בשמורה הביוספרית הר כרמל

ע. יצחקי¹, א. לוטן², ש. צמח-שמיר¹, מ. נגבי¹, ל. וויטנברג¹, י. חסן¹, ד. אורנשטיין³, א. רביב¹, ה. שגיא³, י. פלד¹, נ. פארס¹, מ. וינטר¹,
ה. עאמשה¹, ר. קוסט², ד. חקוקי², ה. דן² | ¹אוניברסיטת חיפה, ²המארג, ³מוסד הטכניון למחקר ופיתוח

מטרותיו של פרויקט זה היו: לאסוף את כל הידע הקיים על המצב ועל המגמות של שירותי המערכות האקולוגיות של הכרמל, ועל ממדי תרומתם לרווחת האדם ולקיומו, בדגש על התרומה הכלכלית; להציג את כל הידוע על מעורבות המגוון הביולוגי של הכרמל, ועל התהליכים האקולוגיים המתרחשים בו בהפקת שירותים ותועלות אלה; לזהות את הגורמים מחוללי השינוי המרכזיים המשפיעים על המערכות האקולוגיות של הכרמל, ולכן גם על השירותים שהן מספקות; ולנתח את השפעתם של תרחישי שריפות שונים, על מצב המערכות ועל ממדי האספקה של השירותים.

כיוון שפרויקט זה מהווה למעשה המשך ישיר של פרויקט ההערכה הארצי (מערכות אקולוגיות ורווחת האדם - הערכה לאומית), הוא מתבסס על אותה מסגרת רעיונית, על אותו עולם מושגים ועל אותה רשימה והגדרה של שירותי מערכת אקולוגית. המידע שנאסף במסגרת הפרויקט נלקח ממגוון מקורות - מאמרים, ספרים ועבודות תזה אקדמיות, וכן ספרות אפורה הכוללת דוחות, פרסומים ושכבות מידע גיאוגרפי של גופים ורשויות שונים. נאסף מידע גם באמצעות ראיונות עם מומחים ובעלי עניין. סקר רחב היקף של מבקרים ותושבים, נועד להשלים את התמונה של השירותים והתועלות המסופקים מהשטחים הפתוחים בכרמל, ושל התפיסות של אנשים לגביהם. החומר שנאסף עבור כלל השירותים נותח בהיבט כלכלי, בריאותי וחברתי-תרבותי, ושימש ליצירת מפות מרחביות של מספר שירותים, ולבנייה וניתוח של תרחישי השריפות.

נמצא שהמערכות האקולוגיות של הכרמל (הר וחוף) מספקות מגוון רחב של שירותי אספקה, וויסות ותרבות שלהם תועלות משמעותיות לאדם, חלקם מוכרים ומוכנים מאליהם, אחרים כמעט ואינם מוכרים על אף חשיבותם הרבה. לשירותים אלה תועלות בעלות משמעות רבה לתושבי השמורה ולחיים בסמוך לה וכן לכלל תושבי ישראל, תועלות בעלות היבט בריאותי, חברתי-תרבותי וכלכלי, שאת חלקן ניתן למדוד ולהעריך באופן כמותי.

המערכות האקולוגיות של הכרמל, מספקות כמה שירותי וויסות בממדים משמעותיים לתושבי השמורה והישובים הסמוכים לה, ביניהם וויסות אקלים, וויסות איכות אוויר, וויסות מים וסחיפת קרקע והאבקה של גידולים חקלאיים. למשל, עצי אורן ואלון הגדלים בכרמל, קולטים בכל שנה אלפי טונות של גופרה (סולפט), מזהם מוכר מתעשייה ותחבורה, ובכך מפחיתים את ריכוזו באוויר. כתוצאה מכך, נמנע נזק בריאותי שמוערך ביותר מעשרה מיליון ₪ בשנה.

הכרמל הוא אחד המרחבים הטבעיים החשובים בישראל, הן בגלל שהוא מכוסה במגוון מערכות אקולוגיות עם דומיננטיות של חורשים טבעיים ויערות מחטניים בנוף הררי, שמעורבות האדם בו נמוכה יחסית, והן בגלל שהוא משופע בחניונים ומסלולי טיול ונמצא בקרבה למרכזי אוכלוסייה גדולים. אולם, על אף היותו שטח נרחב פתוח, הכרמל נתון ללחצים סביבתיים רבים הכוללים בין השאר בנייה, חקלאות, שריפות ופעילויות אנושיות נוספות הפוגעות בערכי הטבע, התרבות והמורשת בכלל ובתפקודן של המערכות האקולוגיות בפרט. בעשורים האחרונים השריפות הן כנראה הגורם המשפיע ביותר על מצב הטבע והנוף בכרמל, אשר חווה מדי שנה שריפות רבות בממדים משתנים, כאשר הגדולה שבהן התרחשה בדצמבר 2010 וכלתה כ-25 קמ"ר של שטחי חורש ויער, וגם גבתה מחיר בחי"אדם.

בשנת 1996 הכירה אונסק"ו בשטח של 266 קמ"ר, הכולל את הר הכרמל ואת חוף הכרמל, כשמורה ביוספרית, וזאת, כאמצעי לקידום שימור ערכי הטבע והמגוון הביולוגי תוך פיתוח זהיר ומושכל, ובמטרה להגן עליהם עבור הדורות הבאים. אולם, יותר משני עשורים לאחר הכרה זו, מתקשים בעלי העניין השונים ונציגי התושבים המקומיים, לשתף פעולה בניהול השמורה הביוספרית. 'תכנית הפעולה של מדריד' (MAP 2008) מטעם אונסק"ו, הציבה את הטמעת הגישה של שירותי המערכת האקולוגית כיעד מרכזי בתוכניות הממשק של שמורות ביוספריות, כדי לשפר את תהליכי קבלת החלטות ואת שיתוף הפעולה בין בעלי העניין השונים. עד כה, כמעט ולא התבצעו הערכות מקיפות של שירותי המערכת בשמורות ביוספריות בעולם.

שירותי המערכת האקולוגית (שמ"א), הם שם כולל לתהליכים ולרכיבים (מגוון ביולוגי) במערכות האקולוגיות, המספקים תועלת לקיום האדם ולרווחתו. התועלות הללו בחלקן, מאפשרות את עצם קיומנו, ובחלקן, משפרות את איכות חיינו. ניתן לחלק את תרומת השירותים והתועלות לחיים האנושיים על כדור הארץ, לכמה היבטים שהמרכזיים שבהם, הם הכלכלי, הבריאותי והחברתי-תרבותי. בעקבות 'הערכת המילניום של המערכת האקולוגית' (MEA 2005), בוצעו ברחבי העולם פרויקטים רבים של הערכת שמ"א הן ברמה הארצית, והן ברמה אזורית-מקומית. הערכות אלה נשענות על ההנחה שמידע וידע מקיף וכמותי ככל האפשר, ביחס לחשיבותם לאדם של מערכות אקולוגיות ומגוון ביולוגי, נדרש על-מנת לשפר תהליכי קבלת החלטות ותכנון הנוגעים לטבע ולשטחים פתוחים.

בנוסף, כיסוי הצומח הצפוף של הכרמל, תורם לזמינות מים לשימוש האדם באמצעות מילוי שנתי של כ-20 מיליון מ"ק (ממוצע) באקוות הכרמל, ושל כ-2 מיליון מ"ק במאגרים עיליים, ששווים הכולל הוא למעלה מחמישים מיליון טון בשנה. כיסוי צומח זה, אחראי גם להקטנת הצפות במורדות הכרמל ולמניעת הסחיה של כ-29 אלף טון של קרקע בכל שנה, על כל המשמעותיות הנובעות מכך. כמו-כן, לצד דבורי הדבש המסחריות, גידולים חקלאיים רבים נהנים מתוספת של האבקה חיונית בזכות פעילותן של דבורי הבר, שלפחות 250 מינים שלהן, מתוכם כמה מינים המוכרים כמאביקים בחקלאות, כבר זוהו בכרמל.

מבין שירותי האספקה, לאספקת גידולים חקלאיים ממערכות אקולוגיות חקלאיות המשתרעות על למעלה מחמישים אלף דונם, רובן בחוף הכרמל, תרומה משמעותית בעיקר בהיבט הכספי, של קרוב ל-70 מיליון טון בשנה. לעומתן, שטחי הכרמל הטבעיים מהווים בין היתר כרמרה לעדרי צאן ובקר, והם מספקים למעלה מ-60% ממוזום של מאות עזים ופרות בשווי של 1.5 מיליון טון בכל שנה. גם דבורי הדבש, אשר כ-3,400 כוורות שלהן מוצבות בשטחי השמורה, מייצרות דבש מצוף ואבקה המסופקים על-ידי פרחי בר וחקלאות, שערכם בהקשר זה הוא כ-3 מיליון טון בשנה.

הכרמל הינו אבן שואבת לפעילויות של פנאי, נופש ותיירות. על פי נתונים והערכות ממספר מקורות, ניתן להעריך כי קרוב לחמישה מיליון מבקרים מגיעים לטייל ולבלות בשטחי השמורה הביוספרית הר הכרמל מדי שנה, מספר שככל הנראה נמצא במגמת עליה. עומדים לרשותם של המבקרים שלושים חניונים בהר ולאורך החוף, כ-600 חדרי לינה, 524 ק"מ של מסלולי טיול ועשרות ק"מ של שבילי אופניים ומגוון פעילויות שטח וחקלאות, אך רובם מגיעים למטרת פיקניק או טיול רגלי. על פי סקר שהקיף כ-700 מבקרים ותושבים, המשיכה לכרמל נובעת בעיקר מנופו ההררי, המשופע בעצי חורש ירוקי-עד ושטחי פריחה באביב, יחד עם הקרבה לים. הכרמל הינו כר נרחב לפעילות מחקרית וחינוכית גדלה והולכת, הוא מהווה השראה לאומנות ולפעילות רוחנית, כולל מספר אתרים המקודשים לדרוזים, לנוצרים וליהודים, וזהותם של תושבי האזור שזורה בנופיו. על פי עלות הנסיעה של המבקרים בכרמל, ערך השימוש בכלל שטחי השמורה הביוספרית הוא בין 27 ל-50 מיליון טון בשנה. על-מנת לשמר את המערכות האקולוגיות והמגוון הביולוגי של הכרמל כפי שהם היום (ערך עצם קיומו של הכרמל), מוכנים המבקרים בכרמל לממן מכיסם סך כולל של כ-60 מיליון טון. עבור כלל משקי הבית בישראל, כולל גם את אלה שאינם מבקרים באזור, ערך הקיום של הכרמל עומד על כ-400 מיליון טון.

מבט-על על המגמות באספקת השירותים בכלל שטחי השמורה הביוספרית, שנעשה באמצעות הערכת מומחים, מצביע על כך שבסך הכל ממדי מרבית שירותי האספקה והויסות לא השתנו באופן משמעותי בעשרים השנים האחרונות. מגמה זו נכונה גם לגבי היצע השירות, כלומר הפוטנציאל של המערכות האקולוגיות של הכרמל לספק את השירותים הללו, וגם לגבי התועלות או השימוש בפועל בתוצרי השירותים, אם כי בשנים שונות ובשטחים שונים המגמות היו לעתים סותרות, בייחוד בהשפעתן של שריפות. לפי הערכות המומחים נראה שגם מצבו הכללי של המגוון הביולוגי בכרמל היום דומה למה שהיה לפני כעשרים שנה, ואף המגוון מושפע בצורה משמעותית מהשריפות. לעומת אלה, בכל שירותי התרבות ההערכה היא שקיימת מגמה

של עליה עקבית לאורך השנים, מה שמתבטא בעיקר במספרי מבקרים ובהיקפי פעילויות חינוך והדרכה.

הגורמים העיקריים שמחוללים שינוי במערכות האקולוגיות של הכרמל, ולכן גם בשירותים שהן מספקות לאדם, הם השינוי בשימושי הקרקע והשריפות. הראשון היה הגורם הדומיננטי במהלך המאה העשרים, עם הקמתם של יישובים והכשרתם של שטחי חקלאות רבים, כשכיום הוא מתבטא בעיקר בהתרחבותם של יישובי האזור, ובשינוי אופי החקלאות מגידולי שדה למטעים ולחממות ובתי רשת. על אף היקפו המצומצם של השטח ההופך לבנוי בשנים האחרונות, שרובו נמצא היום בסביבת היישובים דליית אל-כרמל ועספיא, הנושא נתון במחלוקת עזה בשל ערכיותם האקולוגית הגבוהה של השטחים המדוברים, ומאחר והנושא טרם הוסדר מול התושבים. הגורם השני, שריפות היער, נמצא במגמת עליה מאז שנות ה-70, עם עליית תדירותן, היקפן ועוצמתן. לגורמים אלה מצטרף גורם נוסף, שינוי האקלים, שכבר נתון אותותיו בשינוי בפיזור המשקעים ובאירועי יובש קיצוניים, והשפעתו צפויה להתגבר בעתיד הנראה לעין. גם ממשק הצומח, שמיושם בעיקר לצמצום שריפות עתידיות, משפיע על אופיין של המערכות האקולוגיות של הכרמל, אך השפעה זו ניכרת בעיקר ברמה מקומית.

מתוך מגוון התדירויות, ההיקפים והעוצמות של שריפות המתרחשות בכרמל נבחרו לניתוח שני תרחישי קיצון: (1) שריפות תכופות בחומרה בינונית ונמוכה, המתרחשות בפרקי זמן של 1-5 שנים; ו- (2) שריפות בחומרה גבוהה המתרחשות בתדירות נמוכה. בתרחיש הראשון נוף הצומח יורכב ברובו משיחים וצמחיה עשבונית, מחשופי סלע וכתמים פתוחים וחשופים. המגוון הביולוגי יהיה גבוה, אולם יורכב ברובו מצמחיה עשבונית, בעיקר חד שנתיים. בהתאם לכך ממדיהם של שירותים כמו האבקה, אספקת מרעית לבקר, צאן ודבורי דבש, אספקת פטריות, צמחי מאכל ותבלין ומשאבים גנטיים יגדלו וכן יתרבו אזורי הפריחה. לעומת זאת, אספקת שירותים כמו וויסות אקלים ואיכות האוויר, וויסות מי נגר וסחיפת קרקע, שירותים התלויים בצומח מפותח וצפוף, תקטנו באופן משמעותי וכך גם מרבית שטחי הכרמל יהיו פחות ירוקים (בקיש) ומעוטי צל. בתרחיש השני המערכת האקולוגית תורכב מסבך צפוף של עצים, שיחים ומטפסים. כמות הביומסה תהיה גבוהה, והשריפות שתתפתחנה צפויות להשפיע באופן משמעותי על מרבית עצי החורש. כאשר משטר שריפות זה יתקיים ביערות אורנים, אלונים יחליפו את האורנים, או שיתפתח יער מעורב. מצב השירותים בתרחיש זה יהיה פחות או יותר תמונת ראי של התרחיש הראשון.

לסיכום, דוח זה מציג תמונה מקיפה של השירותים והתועלות הנשענים על מגוון המערכות האקולוגיות של הכרמל, כולל ערכים חברתיים-תרבותיים, בריאותיים וכספיים, וכן מפות מרחביות וניתוח השפעתם של גורמים מחוללי שינוי. לצד תמונה זו קיימים פערי ידע רבים המקשים עלינו להעריך באופן מלא וכמותי את כלל התועלות שמספקות המערכות האקולוגיות באזור, והם מוזכרים בחלקי הדוח השונים. יחד עם זאת, אנו תקווה שהמידע, הניתוח והמיפוי שכן מוצגים כאן יסייעו לבעלי העניין באזור לתכנן ולקבל החלטות באופן מושכל לגבי כלל השטחים הפתוחים שבגבולות השמורה הביוספרית הר הכרמל. תחת ההתאמות הנדרשות פרויקט זה יכול גם לשמש כמודל עבודה לפרויקטים דומים בעתיד בכל אזור אחר בישראל. ●

רשימת מחקרים פעילים

אפידמיולוגיה סביבתית במפרץ חיפה

- ניטור ביולוגי של מתכות כבדות ומזהמים אורגניים בנשים הרות וילודים והקשר לתוצאי ההריון והלידה: השוואת עוקבה במפרץ חיפה לעוקבה במרכז הארץ (161-1-1)
- ניטור ביולוגי לחשיפה פרטנית למזהמים סביבתיים: השוואה בין ילדים עירוניים יהודיים וערביים בחיפה ובמפרץ, לבין ילדי כפרים שההדברה הכימית בסביבתם מלאה או מזערית (161-1-2)
- חשיפות סביבתיות וגדילת עוברים: מחקר עוקבת הריון בחיפה (161-1-4)
- הקשר בין חשיפה בקרב מתבגרים לזיהום סביבתי במפרץ חיפה לבין מצב הבריאות בגיל 17, והארעות סרטן בבוגרים (161-2-9)
- הקשר בין עומס החומר החלקיקי (Particulate Matter, PM) בריאות וסיכונים בריאותיים במפרץ חיפה וגוש דן (180-1-1)
- ניטור ביולוגי אנושי במפרץ חיפה בהשוואה לאוכלוסיה הכללית בישראל: סיקור ארצי בקרב תומכי דם (181-1-1)
- חשיפה לזיהום אוויר במהלך ההריון ושנות הילדות, מטבולום של דם טבורי ותוצאים נשימתיים: השוואה בין מפרץ חיפה וקבוצת ביקורת (עוקבת הלידה רמב"ם- מאסף הרופא) (181-2-2)
- הקשר בין חשיפה כרונית לזיהום אוויר ואי ספיקה לבבית ותסמונת כללית חדה - מחקר לאומי מבוסס אוכלוסיה (181-2-3)

זיהום סביבתי במפרץ חיפה ובתל-אביב

- השפעת עבודות ותשתיות במפרץ חיפה מהעשור האחרון על התפלגות גודל הגרגר בסדימנטים רדודים בים, שינויים ברצועת החוף ופיזור מתכות (162-15-1)
- מידול התפלגות ריכוזי פרומלדהיד כמזהם ראשוני ושניוני מעל אזור מפרץ חיפה וחלקים נוספים של ישראל (162-3-1)
- מידול תהליכי ההסעה והפיזור האטמוספריים של חומר חלקיקי מעל מפרץ חיפה באמצעות מודל לגרנז'י תלת מימדי ברזולוציה גבוהה (162-4-2)
- בניית בסיס נתונים של שדות מטאורולוגיים (ובעיקר רוח וטמפרטורה) ברזולוציה גבוהה מעל חיפה והכרמל לתקופה של 5 שנים, כקלט עבור מודלים לפיזור מזהמים (162-5-1)
- פיזור מזהמים אורוסלים במרחב העירוני תל אביב באמצעות מודל תלת מימדי (190-1-1)

השפעת שפכי נפט מחוץ לשמורת עברונה

- שימוש בהתנהגות בע"ח להערכת השפעות דליפות נפט על חברות בע"ח ופיתוח אינדיקטורים יעילים לניטור ההצלחה של מאמצי שיקום בזמן אמת (164-1-2)
- יציבות והשפעות הידרולוגיות של הידרופוביות קרקעות מזהמות בנפט באגן עברונה (164-2-1)
- מדידה ישירה של קצבי חלחול מים והסעה של מרכיבי נפט על פני השטח ובתת הקרקע בזרימות בערוצי הפזרות שנפגעו מזיהום בשמורת עברונה (164-2-2)

בנייה ירוקה

- פיתוח חומרי בניה "ירוקים" חדשניים על בסיס ביו-אגרגט (165-4-1)
- מחקר ופיתוח זכוכית חכמה על בסיס טכנולוגיה אלקטרו-כרומית עם מהירות שינוי גבוהה ושלט רחוק שאינו צורך אנרגיה חשמלית חיצונית לשם תפעולו (165-4-4)
- פיתוח של בלוק בנייה רב-שכבתי בעל טביעות אצבע סביבתיות נמוכות המבוסס על שבבי המפ (Hemp) (165-4-5)

תחליפי נפט לתחבורה

- השוואת כדאיות הנעות חלופיות לאוטובוסים באמצעות ניתוח מחזור חיים סביבתי וכלכלי, וניטור רעש וחשיפה לקרינה אלמ"ג (171-1-1)
- שימוש בשיטה חדשנית לחישה מרחוק ברזולוציה גבוהה לזיהוי ולכימות פליטות מתאן במשק תחליפי הנפט ולתחבורה בישראל (171-2-1)
- היבטי סביבה של רכב הסעות חשמלי בטעינה אלחוטית דינמית - מחקר היתכנות ב"מרכז ערים חכמות" (182-1-2)
- סקירה על השפעת הפקה, עיבוד, אחסון הולכה וחלוקה שלתחליפי נפט לתחבורה מבוססי גז טבעי על זיהום אויר (182-2-3)
- יחסי הגומלין בין בחירת צרכנים ברכבים ממנועי תחליפי דלקים ואספקת אנרגיה (182-4-1)
- השפעת כניסתם של רכבים אוטונומיים חשמליים על העלויות החיצוניות מתחבורה בישראל (192-1-1)

הפקת אנרגיה מביומסה

- אוזנציה כטיפול מקדים להפקת אתנול מפסולת חקלאית כתחליף דלק לתחבורה- אופטימיזציה ואנליזת מחזור חיים (182-4-2)
- פיתוח תהליך ביוטכנולוגי יציב לייצור ביוגז "נקי" לשימוש בתחבורה על ידי פירוק אנאירובי לשפכי תעשיית מזון תוך שילוב בין מערכת ביולוגית מהירת קצב עם הפטרייה *Candida Rugosa* מקובעת (192-3-1)