

מזהמי אוויר וגזי חממה

השפעת התוכנית לצמצום זיהום אוויר מתחבורה בירושלים על רמות איכות האוויר בעיר.

ענת שרטר¹

anat_s@jerusalem.muni.il

1. הרשות לאיכות הסביבה עיריית ירושלים

החל משנת 2019 פועלת בירושלים תכנית לצמצום זיהום אוויר מתחבורה. החלק העיקרי בתוכנית היה הגדרה של אזור מופחת פליטות (LEZ) בו אסורה כניסת רכבי דיזל מזהמים, אשר משנת 2020 האיסור מוגדר לכל שטח העיר. התוכנית כוללת צעדים משמעותיים נוספים: הקמה והרחבה של מערך הסעת המונים הרכבת הקלה, עידוד מעבר לתחבורה ציבורית חשמלי, קידום תכניות להקטנת השימוש ברכב הפרטי, איסור של הפעלת כלי צמ"ה מזהמים בעיר ועוד. כחלק מהתוכנית לצמצום זיהום אוויר מתחבורה הוצבו ע"י המשרד להגנ"ס שלוש תחנות ניטור חדשות בסמוך לצירי תחבורה מרכזיים בעיר. התחנות החלו לפעול בהדרגה החל משנת 2019. והן מודדות ריכוזי מזהמים האופייניים לפליטות מתחבורה. כיום מופעלות בירושלים 5 תחנות תחבורתיות ו-2 תחנות כלליות הקשורות בתוכנית. לרגל הכנת תכנית החומש ההמשכית, בוצע ניתוח של נתוני הניטור בתחנות על מנת לבחון את השפעת התוכנית לצמצום זיהום אוויר מתחבורה בשלביה השונים על איכות האוויר בירושלים. הושם דגש על מגמות ריכוזי חלקיקי פחמן שחור (BC), השייך לקבוצת חלקיקים הקטנים מ-2.5 מיקרון (PM2.5), המאפיינים פליטה ממנועי דיזל. ל-PM 2.5 יש מגוון גדול של מקורות בסביבה אשר חלק משמעותי מהם הם מקורות טבעיים שקשה לאמוד את תרומתם היחסית, ומקשים על היכולת לבחון את השפעת התכנית. על מנת להקטין הטיות של ערכי קיצון ממקורות טבעיים ולקבל יציבות גדולה יותר נעשה שימוש בניתוח של ערכי חציון בניתוח מגמות לאורך התקופה. נבחנו מגמות ארוכות טווח של ריכוזי BC בתחנות התחבורתיות הותיקות בירושלים, למול אבני הדרך של התכנית לצמצום זיהום אוויר מתחבורה. כמו כן בוצעה השוואה לתחנה תחבורתית דומה בתל אביב בעלת רשומה ארוכה של ריכוזי BC. המדידות בירושלים מציגות הפחתה עקבית בריכוז החציוני של BC, לעומת תנודתיות שנמצאה במדידות בתל אביב. בממוצע לשנים 2020-2023 הריכוז החציוני של חלקיקים מסוג BC ירד בירושלים בשיעור של כ-23% בממוצע לעומת עליה קלה בשיעור של כ-6% שנמצאה בתל אביב. העבודה הוכיחה את חשיבות התוכנית ותרומתה להקטנת החשיפה לחלקיקים נשימים לתושבי העיר ולבאים בשעריה.

ירושלים היא העיר היחידה בארץ בה מתקיימת ופועלת תכנית סדורה להפחתת פליטות מתחבורה, מכוח פקודת התעבורה. התכנית פועלת משנת 2019 במימון וסיוע של המשרד להגנת הסביבה. התוכנית חיונית לסביבה ולבריאות הציבור, שכן זיהום אוויר מתחבורה מהווה גורם סיכון משמעותי. חשוב בפרט לאור הגידול המואץ בתכניות התחדשות עירונית בעיר הצפוי להביא לעומס תחבורתי ולהגדלת החשיפה. הבנת התוכנית ותרומתה חיוני לערים אחרות בארץ הנערכות כיום להכנת תכנית לצמצום זיהום אוויר מתחבורה בתחומן.

מזהמי אוויר וגזי חממה

פיתוח חומרים ננומטריים לספיחת ריחות מפולימרים ממוחזרים

רן סוצקוורין¹

ransots@mx.kinneret.ac.il

1. המכללה האקדמית כנרת

כיום בעולם קיימות כמויות פלסטיק גדולות אשר לא ניתן למחזר בשל 3 סיבות מרכזיות: (1) פליטת ריחות רעים, (2) קושי בהפרדה במוצרים רב-שכבתיים ו- (3) חוסר בהתאמה בין סוגי פלסטיק שונים. במעבדת המחקר לפולימרים וננוטכנולוגיה בחרנו להתמודד עם בעיית הריח וזאת באמצעות פיתוח של חומרים מתקדמים המשלבים פולימרים יוניים ופונקציונליים, יחד עם ננו-חלקיקים מסוגים שונים. את החומרים סינתזנו בצורה חדשנית המשלבת סונו-כימיה, ריאקציות כימיות המתבצעות תחת שדה אולטראסוני. את החומרים הננו-היברידיים שפיתחנו אפיינו הן ברמה המיקרוסקופית והן ברמה המקרוסקופית גילינו שהחומר פועל אף מעל למצופה. כך למשל, נטרל החומר כ- 75% מהנדיפים וזאת באמצעות כרבע אחוז (0.25%) תוספת משקלית של החומר ההיברידי. הוכנו הרכבים רבים ומגוונים של החומרים ההיברידיים ובסוף תהליך אופטימיזציה בחרנו מספר הרכבים מוביל שעבר תהליך של גמלון (scale up) מוצלח, כך שניתן להתאים את הטכנולוגיה במהירות גם למטרות יישומיות בתעשייה. את החומרים ניתן לשלב בצורות שונות: תרכוב (compounding), ציפוי (coating), מצע סופח (adsorption column) ועוד. החומרים והתהליך שפיתחנו מאפשרים להילחם בזיהום הסביבתי על ידי סיוע בצמצום כמויות הפלסטיק הממוחזר במטמנות ובמאגרי מים. כמו כן, טכנולוגיה זו מאפשרת לצמצם את זיהום האוויר ולמנוע פליטה של ריחות רעים וחומרים נדיפים מסוכנים לסביבה. למעשה, הגישה ההוליסטית שלנו הובילה לפיתוח מערכת גנרית המתמודדת עם זיהום אוויר, מים וקרקע. בנוסף, פיתחנו טכנולוגיית המשך שמסוגלת לספוח גזי חממה מהסביבה, כך את התוצאות פרסמנו בשני מאמרים מדעיים וכן פורסם פטנט מקיף שכבר התקבל בארה"ב ונמצא בבחינה במדינות נוספות.

החומרים והתהליך שפיתחנו מאפשרים להילחם בזיהום הסביבתי על ידי סיוע בצמצום כמויות הפלסטיק הממוחזר. בנוסף, פיתחנו טכנולוגיית המשך שמסוגלת לספוח גזי חממה מהסביבה, כך שלמעשה פיתחנו מערכת גנרית להילחם בזיהום אוויר, מים וקרקע. את החומרים ניתן לשלב בצורות שונות בתהליכים קיימים, כך שלא נדרש שינוי מהותי.

מזהמי אוויר וגזי חממה

מדידה ברזולוציה גבוהה של שטפי מתאן (CH_4) ממאגרים המוזנים במי קולחים מטופלים

אלעד לוינטל¹, משה הראל², גד וייס², אלון גולדמן², אייזיק יגל¹

levintal@bgu.ac.il

1. אוניברסיטת בן גוריון
2. בלוגרין טכנולוגיות מים בע"מ

מערכות מים מתוקים פנים-יבשתיות תורמות כמעט מחצית מפליטות המתאן (CH_4) העולמיות, כאשר מאגרים אחראים ליותר מ-5% מהן – תרומה הצפויה לגדול עם התחממות האקלים והתרחבות המאגרים. מאגרי מי קולחים מטופלים שונים ממערכות ימיות בשל כניסות משמעותיות של חומרי הזנה ממקורות יבשתיים ואנתרופוגניים, התומכים בייצור אצות, במיוחד בתנאים חמים. למרות אינטראקציות חשובות אלו, תצפיות ברזולוציה גבוהה הקושרות בין כניסות חומרי הזנה, מאפיינים תרמליים ודינמיקת המתאן במאגרים עדיין מוגבלות. בכדי להתמודד עם פער זה, אנו מבצעים מחקר ראשון מסוגו הכולל מדידות רציפות דו-שבועיות של שטפי המתאן (וגם פחמן דו-חמצני) בשני מאגרי חקלאיים המוזנים במי קולחים מטופלים, באקלים ים-תיכוני. מדידות השטפים מתבצעות באמצעות תאי שטף סטנדרטיים בשילוב כלים חדשים שפותחו במעבדתנו. מדידות אלו משולבות עם חישה מרחוק, ניתוח עמודת המים, ובאנליזות כימיות של מים וסדימנט, לצורך אפיון דפוסי השיכוב במאגר, פליטות המתאן ודינמיקת האצות. התוצאות מראות שונות יומית ועונתית בולטת בפליטות המתאן. שטפי המתאן עולים משעות הבוקר ועד לשעות הצהריים המוקדמות (07:00–13:00), ומעידים על הגברה משמעותית בשעות היום. הפליטות פוחתות עם ירידת טמפרטורת המים בטווח עונתי של כ-15–29 מעלות צלזיוס, במקביל להיחלשות פריחות ביומסת האצות. ממצאים אלה מדגישים את החשיבות של אפיון תהליכים יומיים ועונתיים לשיפור הערכות הפליטה ממאגרי מי קולחים מטופלים.

מאגרי מים בעולם ידועים כמקור לפליטות גזי חממה, בעיקר מתאן. עם זאת, עד כה לא בוצע מחקר לכימות פליטות אלו ממאגרי מי קולחים מטופלים. בישראל ישנם מספר רב של מאגרי מים מטופלים המשמשים להשקייה ולכן נדרש להבין האם מאגרים אלו עלולים להוות מקור משמעותי לפליטות גזי חממה ואם כן אז מהו פקטור הפליטה שלהם. מחקר זה, הינו הראשון ככל הידוע לנו המנסה לענות על שאלה זאת.

מזהמי אוויר וגזי חממה

איכות האוויר במהלך שיגור רקטות והגירה פנימית

שרית אגמי¹

sarit.agami@mail.huji.ac.il

1. האוניברסיטה העברית

איכות האוויר מושפעת במידה ניכרת מפעילות צבאית, במיוחד בתקופות של עימותים מלחמתיים. פעולות צבאיות הכוללות שימוש ברקטות, רחפנים, כלי רכב ומטוסים תורמות לעלייה בפליטות של גזי חממה ומזהמים כגון פחמן חד-חמצני (CO), גופרית דו-חמצנית (SO₂), ותחמוצות חנקן (NO_x). בנוסף, פיצוצים, ירי ארטילרי והרס תשתיות גורמים לשחרור נוסף של מזהמים וחלקיקי עשן לאוויר. מטרת מחקר זה היא להעריך את השפעת המלחמה על זיהום האוויר, תוך התחשבות לא רק בעימות הצבאי עצמו אלא גם בהאטה בפעילות הכלכלית וכן בפינוי אוכלוסייה בתוך המדינה. השילוב של שלושה גורמים אלו ייחודי בכך שאינו כולל הגירה חיצונית, תופעה הנפוצה במצבי מלחמה. לפיכך, בחינת השפעתו על זיהום האוויר מרחיבה את הידע הקיים בנוגע להשפעות עימותים מלחמתיים על איכות האוויר. מקרה הבוחן שנבדק, המתאים להקשר זה, הוא מלחמת ישראל-עזה במהלך מחצית השנה הראשונה של הלחימה. על מנת להתחשב בקשר שבין תנאים מטאורולוגיים לזיהום האוויר, הניתוח בחן את התרומה היחסית של גורמים מטאורולוגיים לשינוי הכולל ברמות זיהום האוויר. תוצאות הניתוח הצביעו על עלייה בזיהום האוויר ברחבי המדינה כולה, כאשר תחמוצת חנקן (NO) וחלקיקים נשימים עדינים (PM_{2.5}) נמצאו קשורים ביותר לפעילות צבאית. התנאים המטאורולוגיים הסבירו רק 3% ו-15% מהעלייה בהתאמה. כלומר לפליטות הקשורות למלחמה הייתה השפעה דומיננטית על איכות האוויר. בנוסף, העליות המשמעותיות ביותר ב-NO_x וב-SO₂ נרשמו ביישובי מגורים בהם היו מעט או כלל לא אזעקות רקטות. יישובים אלו קלטו תושבים מפונים, ולכן העלייה בזיהום האוויר יוחסה בעיקר לפליטות אנתרופוגניות הנובעות מפינוי יישובים (העתקת אוכלוסייה). לבסוף, בדומה לאפקט סוף השבוע של האוזון (O₃), ריכוזי האוזון עלו באופן המשמעותי ביותר ביישובים שקלטו מפונים, כאשר 35% מעלייה זו יוחסו לתנאים מטאורולוגיים.

על בסיס ממצאי המחקר, המאמר מציע המלצות למדיניות יישומית לצמצום זיהום האוויר במהלך עימותים מלחמתיים.

מזהמי אוויר וגזי חממה

תרכובות אורגניות נדיפות במסגרות חינוך לגיל הרך: מדידות משולבות של אוויר תוך מבני וחץ מבני

רן דרזי¹, מרב ברקת, יובל יובל¹, יעל דובובסקי¹

ran.darzi@campus.technion.ac.il

1. הטכניון

איכות האוויר התוך-מבני היא בעלת חשיבות רבה, שכן בני אדם שוהים עד כ-90% מזמנם במרחבים סגורים, במיוחד פעוטות וקשישים. חשיפה ממושכת לאוויר באיכות ירודה עלולה לגרום להשפעות בריאותיות שליליות, בעיקר באוכלוסיות רגישות יותר. בעוד שאיכות האוויר בסביבה החיצונית מנוטרת ברציפות, איכות האוויר התוך-מבני מקבלת במקרים רבים תשומת לב משנית בלבד. במחקר זה בוצעו מדידות סימולטניות של תרכובות אורגניות נדיפות באוויר תוך-מבני ובסביבה החיצונית בשלוש מסגרות חינוך לגיל הרך באזור מפרץ חיפה. המדידות נערכו בשלושה קמפיינים, שכל אחד מהם נמשך לפחות שבוע אחד וכלל ארבעה ימי חול ולפחות סוף שבוע אחד. הדיגום בוצע הן בשעות הפעילות והן בשעות הלילה. במהלך המדידות זוהו בעקביות 23 תרכובות אורגניות נדיפות, אשר סווגו לשש קבוצות כימיות: פחמימנים ארומטיים, אלקאנים, טרפנים, אלכוהולים, קרבונילים, ונוספים ללא סיווג. בסביבה החיצונית קרבונילים ופחמימנים ארומטיים היוו כ-80% מהריכוז הכולל, שעמד על 22-23 מיקרוגרם למ"ק. על אף ההטרונות המרחבית של אזור המחקר, ריכוזי החץ הציגו שונות מרחבית נמוכה והבדלים מוגבלים בין יום ולילה. באוויר התוך-מבני, הריכוז הכולל של תרכובות אורגניות נדיפות הגיע ל-134 מיקרוגרם למ"ק בשעות היום ול-204 מיקרוגרם למ"ק בשעות הלילה, והושפע באופן מובהק מקצב תחלופת האוויר. קרבונילים, אלכוהולים וטרפנים שלטו בהרכב אוויר הפנים והיוו 77.5-81.1% מהריכוז הכולל. עבור כל החומרים כמעט נצפתה העשרה בריכוז הפנים-מבני לעומת החוץ, במיוחד עבור חומרים בעלי מקורות פליטה פנימיים. השונות העיתית של יחסי הריכוזים אפשרה אפיון המקורות של מזהמים שונים. הממצאים מצביעים על תרומה דומיננטית של מקורות פליטה פנימיים ומידת האוורור להרכב ולריכוז התרכובות באוויר הפנים-מבני. תוצאות המחקר מדגישות את חשיבות איכות אוויר הפנים מבחינת חשיפה למזהמים, ואת תפקידים המרכזי של מאפייני המבנה, הפעילות האנושית והאוורור בו. ההתמקדות במסגרות חינוך לגיל הרך נבעה ממבנה ולוחות זמנים דומים, המאפשרים השוואה בין אתרים. עם זאת, סביר כי המסקנות רלוונטיות גם לסביבות פנים אחרות המאוכלסות לאורך זמן, ומדגישות את הצורך בניהול אוורור יעיל כאמצעי מרכזי להפחתת הצטברות מזהמים ולשיפור איכות האוויר במבנים.

המחקר מספק לראשונה בישראל מידע מקיף על ריכוז חומרים אורגנים נדיפים בסביבה תוך-מבנית וגני ילדים בפרט. תוצאותיו מדגישות את חשיבות סביבה זו מבחינת חשיפה למזהמים וכיצד ניתן לצמצמה ע"י זיהוי והפחתת מקורות פליטה פנימיים ושיפור האוורור. ממצאים אלו תורמים להגנה על בריאות הציבור, במיוחד של אוכלוסיות רגישות, ולגיבוש מדיניות ותקנים בתחום איכות האוויר במבנים, לצד הגברת המודעות לחשיבות האוורור כמרכיב יישומי ומהותי. המשך המחקר מתמקד במקורות פליטה ספציפיים ובהערכת חשיפה.

מזהמי אוויר וגזי חממה

מדידת פליטות מתאן מסקטור הגז הטבעי

דניאל מדר¹, איתי קלוג²

danielm@sp-interface.com

1. SP Interface

2. אוניברסיטת בן גוריון

מתאן הינו המרכיב המשמעותי ביותר בגז טבעי ובביוגז ומהווה מקור אנרגיה חשוב, אך הוא גם גז חממה חזק ומקור ליצירת זיהום אוויר. מאות מחקרים בעולם החל מ-2009 והלאה החלו למדוד בטכנולוגיות חדשות פליטות מתאן משלל מקורות אנושיים וטבעיים, וחישבו כי 2.3-6% במוצא מכל הגז הטבעי המופק נפלט לאטמוספירה. מחקרי ניתוח מחזור חיים אשר שיקללו את פליטות המתאן והפחמן הדו-חמצני מכל שרשרת השימוש בגז טבעי מראים כי פליטות בהיקף שכזה שוות ואף עולות על פליטות גזי חממה משימוש בנפט ובפחם. בישראל אין מחקרים שמדדו פליטות מתאן ממשק האנרגיה, אך בשנים האחרונות בוצעו עבודות ***שהעריכו*** את פליטות המתאן, על סמך מקדמי פליטה מהעולם והערכות של חברות וגופי רגולציה מקומיים. עבודות אלו העריכו כי נפלטו לאטמוספירה 0.014-0.061% בלבד מתוך כל הגז הטבעי שהופק בשנה, או פי 100 פחות ממה שנמדד במחקרים אחרים ברחבי העולם. במחקר זה בוצע שילוב של שתי שיטות ***למדידת*** פליטות מתאן מסקטור הגז הטבעי והביוגז: האחת שיטה מבוססת לוויינים למדידת פליטות מתאן גדולות ברזולוציה מרחבית גבוהה בשטחים נרחבים, והשנייה שיטה קרקעית רגישה יותר למדידת פליטות מתאן קטנות יותר באתרים נקודתיים. סה"כ נמדדו 104 אתרים ו-120 ק"מ של צנרת. באמצעות המדידות הקרקעיות הרגישות, אותרו וכומתו פליטות משמעותיות בכ-80% מאתרי הגז הטבעי, אשר גבוהות בהרבה מההערכות הקודמות או מדיווחי החברות בסקטור הגז הטבעי. אותרה וכומתה גם פליטת מתאן עצומה בקצב של 945 ק"ג מתאן\שעה ממתקן ביוגז אחד. שיעור פליטת המתאן מהאתרים שנמדדו מהווים 0.1639% מתוך כלל צריכת הגז הטבעי בישראל, והוא גדול פי 2.3-246 מההערכות שפורסמו בעבודות קודמות. האתרים שנמדדו קרקעית מייצגים רק 10% מפוטנציאל הפליטות מסקטור הגז הטבעי בספרות. מודלים שפותחו לאור תוצאות אלו מצביעים כי פליטות המתאן מסקטור הגז הטבעי כולו הן 67,380-92,679 טון בשנה, אשר מהוות 0.418-0.569% מכלל הפקת הגז בארץ ב-2022. פליטות אלו גדולות פי 40-6 משיעור הפליטות כפי שהוערכו בדוחות קודמים עבור ישראל שהוזכרו, אך הן נמוכות פי 15-3 מתוצאות מחקרים מבוססי מדידות אשר בוצעו במדינות אחרות.

זהו המחקר הראשון בישראל אשר ביצע מדידות בפועל של פליטות מתאן בישראל, של פליטות מתאן מסקטור הגז הטבעי, ואשר פיתח מודל פליטת מתאן מסקטור הגז הטבעי בהתבסס על מדידות מהשטח. תוצאות אלו יעזרו לחשב בצורה מדויקת יותר את השפעתו השלילית של השימוש בגז טבעי בישראל, על שינוי אקלים, זיהום אוויר, תחלואה, תמותה, והכלכלה.