

## עדי שפירא

המחלקה להנדסת כימיה  
וביוטכנולוגיה, אוניברסיטת אריאל  
בשומרון; בית הספר ללימודי  
הסביבה ע"ש פורטר, אוניברסיטת  
תל-אביב

## גד פנחסי

המחלקה להנדסת כימיה  
וביוטכנולוגיה, אוניברסיטת אריאל  
בשומרון

## עמוס אולמן

המחלקה לזרימה ומעבר חום,  
הפקולטה להנדסה, אוניברסיטת תל-  
אביב



על אף פעילות ממשלתית לסגירת מכל האמוניה, הסכנה הפוטנציאלית הגלומה בו לתושבי האזור תיוותר על כנה עד לפינויו | צילום: אילן מלסטר

## ציטוט מומלץ

שפירא ע, פנחסי ג ואולמן ע. 2013.  
מודל הערכת סיכונים עקב פריצת  
חומר רעיל – מכל האמוניה בחיפה  
כמקרה מבחן. *אקולוגיה וסביבה*  
4(3): 209–210.

## מודל הערכת סיכונים עקב פריצת חומר רעיל – מכל האמוניה בחיפה כמקרה מבחן

[בקרה](#)

גיליון סתיו 2013 / כרך 4(3)

1 באוקטובר, 2013

בשנים האחרונות קיים ויכוח ציבורי הנוגע למיקומו של מכל האמוניה במפרץ חיפה ולסכנה שהוא מהווה לאוכלוסייה ולסביבה. בעקבות הלחץ הציבורי והסקרים שבוצעו<sup>[1]</sup>, החליטו שרי התמ"ת והגנת הסביבה במרץ 2012 כי המכל יועתק ממקומו, וכן כי תיבחן אפשרות להקמת מפעל לייצור אמוניה בישראל. ממחלוקת זו נולד הצורך בבדיקה אובייקטיבית של מידת הסיכון שמהווה המכל, וביצירת כלי לניתוח שיאפשר למקבלי ההחלטות לבחור בין חלופות ולמצער את הסיכון לאדם ולסביבה.

מודל הערכת סיכונים (Risk Assessment) משמש לקביעת הערך המספרי של ה"סיכון", המתקבל מאירוע כדוגמת תאונה ממתקן תעשייתי. מטרתו של מודל הערכת סיכונים היא להעריך את הסתברות האירוע ואת הנזק. ערך ה"סיכון" מוגדר, בהקשר זה, כמכפלת הסתברות האירוע (מספר אירועים ליחידת זמן) ומספר ההרוגים באירוע (מספר הרוגים לאירוע). ה"סיכון" מבוטא בדרך כלל כ"מספר הרוגים לשנה".

ידיעה זו מתארת מחקר<sup>[2]</sup> שנבנה בו מודל מתמטי המנתח את התרחיש כתוצאה מפריצה של חומר כימי מסוכן רעיל לסביבה. המודל הוא מודל אינטגרטיבי, שיכול לבחון תרחישים שונים. מקרה המבחן שנבחר הוא פריצה כוללת של מכל האמוניה במפרץ חיפה.

אמוניה היא חומר כימי חיוני לתעשייה המשמש כחומר גלם לייצור דשנים וחומרים כימיים נוספים וכחומר קירור (coolant) במערכות קירור גדולות. האמוניה מיובאת לישראל דרך מסוף מיוחד בנמל הקישון על-ידי "חיפה כימיקלים", נפרקת מהאנייה ומאוחסנת במכל גדול המכיל 12,000 טונות. בעוד שבתנאי הסביבה היא מצויה במצב צבירה גזי, האמוניה במכל מאוחסנת במצב נוזלי בקירור (בטמפרטורה של 33- מעלות צלזיוס) ובלחץ אטמוספרי. האמוניה היא חומר רעיל, הגורם בריכוז מסוים לכוויות חמורות ולמוות.

בתרחיש הייחוס במחקר הנוכחי – המכל נפרץ, וכל תכולתו נשפכת ויוצרת ברכת אידיוי קרה. מקרה קיצון שכזה יכול להתרחש עקב רעידת אדמה או אירוע ביטחוני חמור. הערך "סיכון" במחקר זה, מתייחס לערך הסתברות למוות, במצב שאירוע הפריצה הכוללת התרחש.

לאורך ניתוח והערכת הסיכון מאירוע של פריצת חומר מסוכן-רעיל, נבנה מודל החוזה את מספר הנפגעים עקב שחרור החומר והחשיפה אליו. מודל זה מורכב משלושה תתי-מודלים לכל שלב בנייתו: מודל מקור, מודל פיזור ומודל מנה<sup>[3]</sup>. מבנה המודל



1. מודל מקור (Source Term Model) – המודל מחשב את כמות החומר המשוחרר לאטמוספירה בתרחיש מסוים. בעבודה הנוכחית פותח מודל לאידוי מבכרה קרה, תוך התייחסות לקצב מעבר החום מהסביבה, המכתיב את קצב האידוי.
2. מודל פיזור (Dispersion Model) – המודל מחשב את שדה הריכוזים (השינוי לאורך הזמן בריכוז החומר הרעיל בכל נקודה סביב מקור הפליטה) בהתאם לנתוני המקור, לנתונים מטאורולוגיים ולנתוני הסביבה. בעבודה הנוכחית נעשה שימוש במודלים לפיזור גז כבד לתיאור התפשטות הענן.
3. מודל תגובה למנה (Dose Response Model) – המודל מחשב את מספר הנפגעים מחשיפה לחומר המסוכן כתלות בריכוז ובזמן החשיפה. במודל הנוכחי נעשה שימוש במודל סטטיסטי רציף המבוסס על מודל "פרוביט" (probit), החוזה את ההסתברות למוות כתוצאה מחשיפה לריכוז מסוים במשך זמן מסוים (עומס רעיל). נוסף על כך, התוצאות הוצגו באמצעות תקני חשיפה (level of concern) המציגים ערכי סף לכל סוג של פגיעה (בדרך כלל שלוש רמות פגיעה), לדוגמה: תקן (AEGL Acute Exposure Guideline Level).

כשלב ראשון במחקר, המודל הורץ ב"תרחיש המסוכן ביותר", המתקבל כאשר ענן החומר המסוכן פונה לכיוון האוכלוסייה הצפופה ביותר באזור, בתנאים מטאורולוגיים מחמירים (אזימוט מקור הרוח 215 מעלות, מהירות רוח 3 מטר לשנייה ויציבות אטמוספירית ניטרלית (D) ובזמן חשיפה של שעה. אזורי הסיכון בתנאים אלה מתוארים בנספח 1. הצפי בתנאים אלה הוא כ-14,000 הרוגים.

אולם בבחינת משטר הרוחות באזור המתקן, נראה כי נוכחות הר הכרמל מתעלת את הרוח מכיוונים של צפון-מערב ודרום-מזרח. במקרים אלה נסחף הענן לים או לאזור דל-אוכלוסין יחסית. כמו כן, יש הסתברות נמוכה מאוד (פחות מעשירית האחוז) לרוח בכיוון שהוגדר כמסוכן ביותר.



עילות נמרצת של ארגוני סביבה תרמה ללחץ ציבורי לסגירת מכל האמוניה / צילום: עמותת צלול  
בשלב השני בוצע ניתוח סטטיסטי בעזרת שיטת מונטה-קרלו, של כלל התנאים המטאורולוגיים לפי הסתברותם (על פי נתוני ניטור בתחנת איגוד ערים חיפה, הממוקמת בצומת הצ'ק-פוסט, עבור 2008 כשנה מייצגת). עבור 68% מהאירועים התקבל פילוג עם מספר הרוגים ממוצע של 180, ובתחום של 0 ועד 600.

המודל שפותח הוא כלי ניתוח סטטיסטי של תוצאות תאונה במפעל כימי. ביישום המודל עבור תרחיש פריצת מכל האמוניה בחיפה, נראה כי המודל חוזה מספר הרוגים שנמוך באופן משמעותי מתוצאות סקרים שנעשו בעבר, ומהנתונים המוצגים בדיון הציבורי. סיבה אחת לכך היא שימוש בשיטות חישוב ובמודלים מורכבים ומעודכנים המתאימים לחישוב האידוי, לחישוב פיזור ענן האמוניה הקר כגו כבד ולחישוב ההסתברות למוות עקב החשיפה. סיבה נוספת היא בחינה של תנאי הפיזור (התנאים המטאורולוגיים בכלל, ומשטר הרוחות בפרט) השוררים בפועל באזור הנחקר.

שיטת ניתוח בעזרת הערכת סיכונים היא שימושית מאוד, ואף הפכה למחייבת בכל המתקנים הכימיים במטרה למזער את הסיכון. אם כן, המודל שפותח הוא כלי חשוב בקבלת החלטות ובהשוואה בין חלופות תוך שילוב בטיחות לאוכלוסייה, שמירה על הסביבה וקיום תעשייה משגשגת.

## מקורות

1. דו"ח הרצל שפיר. 2007. הוועדה הציבורית המייעצת לבחינת ההערכות והטיפול בחומרים מסוכנים ברגיעה ובשע"ח, בראשות הרצל שפיר. סיכום עבודת הוועדה.
2. שפירא ע. 2013. מודל הערכת סיכונים עקב פריצת חומר קריאוגני רעיל מקרה מבחן: מיכל האמוניה בחיפה (עבודת גמר לתואר שני). תל-אביב: אוניברסיטת תל-אביב.
3. Mannan S (Ed). 2005. Lee's loss prevention in the process industries, Vol. 1–3. Oxford: 1–3. Butterworth-Heinemann

## נספחים (זמינים באתר)

נספח 1. אזורי הסיכון  
לפי תקן הסיכון AEGL  
בהכוונת הרוח לקריות  
כתרחיש המסוכן  
ביותר

[להורדה](#)