



מתודולוגיה לחישוב פליטות מתחבורה

נובמבר 2016

מצאי פליטות

DHV MED בע"מ

רח' גד מנלה 1 ת.ד. 8058 אזור התעשייה החדש נתניה 42504

www.dhvmed.com

פקס : 09-8853901

טל : 09-8852312

שם הקובץ : 391VW002

גרסא : 0

תאריך : 06 נובמבר 2016

תוכן:

3	..... כללי	1
4	..... מתודולוגיה	2
5	..... בסיס נתוני תחבורה	3
5	..... מקורות המידע	3.1.1
5	..... קליטת נתוני המודלים	3.1.2
5	..... עיבוד נתוני המודלים	3.1.3
6	..... התפלגות תנועה לפי שעה	3.1.4
7	..... הקמת בסיס גיאוגרפי אחיד	3.1.5
8	..... איזון המודל בנקודות חפיפה	3.1.6
9	..... מקדמי פליטה	4
	Error! Bookmark not defined.....Tier 1	4.1
	Error! Bookmark not defined.....Tier 2	4.2
	Error! Bookmark not defined.....Tier 3	4.3
	Error! Bookmark not defined. תיקון מצאי הפליטות	5
	Error! Bookmark not defined. נספח	
12	..... אודות המסמך	6

1 כללי

סקטור התחבורה תורם לפליטה של מזהמים רבים, בהם: CO , SO_2 , $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_x , VOC . ועוד. מזהמים אלו נפליטים לאוויר כתוצאה מתהליכי בעירה של הדלקים המשמשים לתחבורה. הדלקים העיקריים המשמשים לתחבורה בישראל הם בנזין וסולר. בניית המצאי לסקטור זה כללה התייחסות לאמצעי תחבורה מסוג כלי רכב מנועיים בלבד, כפי שיפורט להלן.

חישוב תרומת התחבורה לכלל זיהום האוויר בישראל מבוצע בשני שלבים. הראשון, אפיון התחבורה בישראל הכולל מידע על נפחי תנועה בכבישים השונים תוך חלוקה לסוגי רכב, מהירויות נסיעה ועוד. השלב השני הוא חישוב סך הפליטות לכל קטע כביש על סמך מקדמי פליטה אופייניים לפי סוג כלי הרכב, גיל הרכב, מהירות הנסיעה, אפיון הנסיעה ועוד. תרומת התחבורה לכלל זיהום האוויר מחושבת ע"י מכפלת מקדמי הפליטה הרלוונטים בנפח התנועה על פי גיל וסוג הרכב לקטע דרך וסכימת התרומה מכלל המקטעים לקבלת סך הפליטה הארצית.

מצאי הפליטות המוצג להלן נערך על בסיס הנתונים אשר שימשו את התוכנית הלאומית להפחתת פליטות לאוויר¹ (להלן "התוכנית הלאומית") לתחזית התחבורה לשנת 2015. תחזית זו מתבססת על מודל פרטני לשנת 2012 תוך עדכון על פי הערכות שונות לגבי שינויים בטכנולוגיות ובכמות כלי הרכב.

אפיון התחבורה בישראל בוצע על בסיס המצאי אשר שימש במסגרת התוכנית הלאומית. בסיס נתונים זה, נבנה על אינטגרציה בין תוצאות הצבות תנועה במצב הקיים, שהתקבלו במודלי התנועה של 4 המטרופולינים (חיפה, תל אביב, ירושלים ובאר שבע) ותוצאות המודל הארצי (לאותם אזורי תנועה שאינם נכללים באחד מהמודלים המטרופוליניים). חברת PGL סיפקה למשרד להגנת הסביבה את נתוני המצאי התחבורתי למצב הקיים כאמור, תוך פירוט התוצאות לפי קטעי הכביש השונים, שעות ביום, סוגי כלי רכב ועוד. בנוסף, התפלגות הרכבים נקבעה על פי גיל, נפח מנוע וסוג מנוע בכל אחד מסוגי הרכב אשר התקבלו נתוני נסועה לגביהם. הדבר נדרש על מנת לאמוד את רמת הפליטה של מזהמים לכל ק"מ נסיעה שמבצעים רכבים מסוג זה, בהתאם לממוצע משוקלל של מקדמי הפליטה לרכבים מכל השנתונים, נפחי המנוע וסוג ההנעה (גיל הרכב שימש לקביעת תקן יורו שאליה מחויב הרכב בהיבט של זיהום אוויר).

מקדמי הפליטה אשר שימשו במסגרת התוכנית הלאומית הוכנו ע"י חברת ARIA Technologies על בסיס המתודולוגיה להכנת מצאי פליטות המפורסם ע"י הסוכנות האירופאית לסביבה (להלן, "EEA") ע"י מודל ה-ARIANET TREFIC.

¹ המשרד להגנת הסביבה (2012) מסמך עבודה להכנת תוכנית לאומית למניעה וצמצום של זיהום האוויר בישראל.

2 מתודולוגיה

בישיבה שהתקיימה ב 12 ביוני 2014, במשרד להגנת הסביבה, בהשתתפות נציגי המשרד להגנת הסביבה, חברת HP, הלמ"ס ו DHVMED הוסכם כי מצאי הפליטות שיוכן במסגרת המפ"ס יהיה על פי המתודולוגיה הבאה:

(1) מצאי הפליטות הארצי יבוסס על מצאי התחבורה שהוכן ע"י חברת PGL במסגרת התוכנית הלאומית.

(2) מקדמי הפליטות אשר ישמשו להכנת המצאי יהיו המקדמים אשר חושבו ע"י חברת ARIA ואשר שימושו במסגרת התוכנית הלאומית.

(3) על המצאי להיות מוצג מרחבית

(4) בעקבות פערים שנמצאו בשנים עברו, בין מצאי הפליטות שהוצג במסגרת התוכנית הלאומית, לבין סך הפליטות מתחבורה המוצג במסגרת השנתון הסטטיסטי של ישראל המפורסם ע"י הלמ"ס, ומתוך הצורך במצאי מרחבי, הוחלט כי יבוצע תקנון לפליטות פי המפרט הבא:

- יחושבו סך הפליטות בישראל לכל אחד מהמזהמים;
- יחושב היחס שבין סך הפליטות שהוצג ע"י הלמ"ס לשנת 2010 לבין סך הפליטות אשר במצאי התוכנית הלאומית;
- כל מקטע דרך המופיע במצאי התוכנית הלאומית יוכפל במקדם אשר חושב על פי הסעיף הקודם.

3 בסיס נתוני תחבורה

חברת PGL הקימה איחודה נתונים ממספר מודלים תחבורתיים אשר שימשו כבסיס למודל הסביבתי הארצי במסגרת התוכנית הלאומית. מאגר הנתונים שהוקם קלט נתוני תחבורה ממודלי תחבורה מטרופוליניים (תל אביב, חיפה, ירושלים ובאר שבע) ושילובם עם המודל הארצי לצורך השלמת נתונים לגבי כבישים בינעירוניים בין המטרופולינים. איחוד המידע אפשר הרכבת רשת סינטטית על ידי קומפילציה של הרשתות מתוך המודלים השונים, כולל שיפור הייצוג הגיאוגרפי ויצירת המשכיות בין מאפייני הרשת ונפחי התנועה בנקודות החפיפה וממשק בין מקורות המידע השונים.

3.1.1 מקורות המידע

לצורך ביצוע העבודה, נאספו נתונים מהמקורות הבאים:

▪ מודלי תחבורה מטרופוליניים

- מטרופולין תל אביב – חב' נתיבי איילון
- מטרופולין חיפה – חב' יפה נוף
- מטרופולין ירושלים – תכנית אב ירושלים
- מטרופולין באר שבע – תכנית אב באר שבע

▪ מודל תחבורה ארצי – אגף תכנון כלכלי במשרד התחבורה

▪ שכבת רחובות – חב' "מפה"

▪ שכבת קווי גובה ארצי – משרד להגנת הסביבה

3.1.2 קליטת נתוני המודלים

- **מטרופולין תל אביב** - נתוני מטרופולין תל אביב התקבלו לתקופת שיא בוקר (00:00-09:00:00 שעה ממוצעת) ולתקופה שיא אחה"צ (00:00-19:00:00 שעה ממוצעת) לשנה 2010.
- **מטרופולין חיפה** - נתוני מטרופולין חיפה התקבלו לתקופת שיא בוקר (00:00-08:00:00) ולתקופה שיא אחה"צ (00:00-19:00:00 שעה ממוצעת) לשנה 2006.
- **מטרופולין ירושלים** - נתוני מטרופולין ירושלים התקבלו לתקופת שיא בוקר (00:00-08:00:00) ולתקופה שיא אחה"צ (00:00-19:00:00 שעה ממוצעת) לשנה 2003.
- **מטרופולין באר שבע** - נתוני מטרופולין באר שבע התקבלו לתקופת שיא בוקר (00:00-09:00:00 שעה ממוצעת) ולתקופה שיא אחה"צ (00:00-19:00:00 שעה ממוצעת) לשנה 2008.
- **מודל ארצי** - נתוני מודל ארצי התקבלו לתקופת שיא בוקר (00:00-09:00:00 שעה ממוצעת) ולתקופה שיא אחה"צ (00:00-19:00:00 שעה ממוצעת) לשנה 2007.

3.1.3 עיבוד נתוני המודלים

על מנת לאפשר עבודה עם הנתונים שנאספו, נבנה פורמט אחיד לקבלת הנתונים. להלן הנתונים העיקריים שנאספו המאגר:

- אורך קטע דרך,
- כיוון נסיעה,
- מספר כביש/שם רחוב,
- קורדינאטות תחילת וסיום המקטע,
- סוג הדרך,
- מספר נתיבים,
- סוגי כלי רכב,
- שיפוע,
- נפחי תנועה בשעות הבוקר ובשעות אחה"צ,
- ועוד.

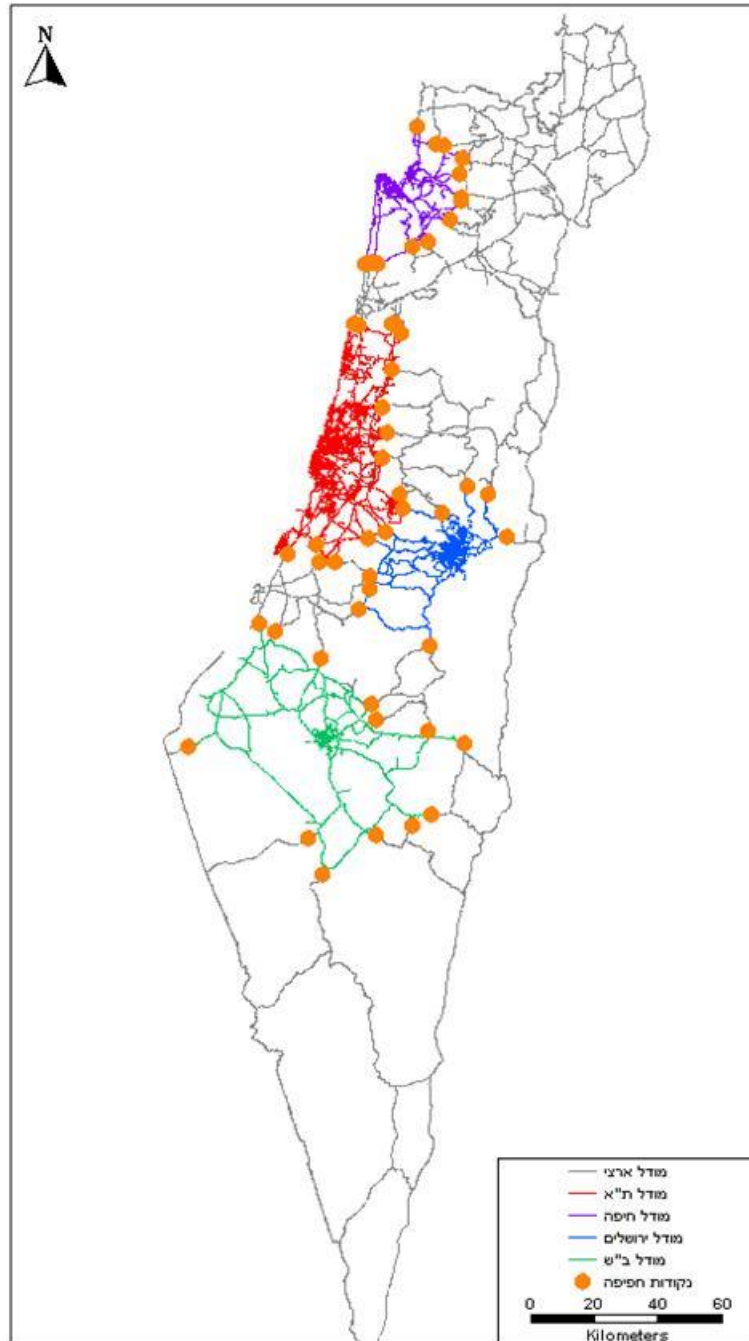
3.1.4 התפלגות תנועה לפי שעה

על מנת לקבל התפלגות של התנועה לפי שעה, לכל אחד מהמטרופולינים ולפריסה ארצית בוצע התהליך הבא:

- יום חול
 - בין שעות 00:00-20:00 נעשה עיבוד מנתוני הספירות.
 - בין שעות 00:00-06:00 ו-00:00-24:00, לרכב פרטי ולמשאיות נעשה עיבוד מנתוני סקר הרגלי נסיעה ולאוטובוסים מנתוני הרישוי.
 - ביצוע קומפילציה בין מקורות המידע השונים.
- ימי שישי ושבת
 - לכל שעות היום נעשה עיבוד לרכב פרטי ולמשאיות מנתוני סקר הרגלי נסיעה, ולאוטובוסים מנתוני הרישוי.
 - מקדם מעבר מיום חול לימי שישי ושבת לתקופת שיא בוקר ולתקופת אחה"צ חושב מנתוני סקר הרגלי נסיעה.
- מעבר מיום חול לשישי שבת:
 - מטרופולין תל אביב - מקדמי מעבר לשישי: שיא בוקר – 0.67, שיא אחה"צ – 0.45; מקדמי מעבר לשבת: שיא בוקר – 0.07, שיא אחה"צ – 0.48
 - מטרופולין חיפה - מקדמי מעבר לשישי: שיא בוקר – 0.65, שיא אחה"צ – 0.50; מקדמי מעבר לשבת: שיא בוקר – 0.12, שיא אחה"צ – 0.52
 - מטרופולין ירושלים - מקדמי מעבר לשישי: שיא בוקר – 0.64, שיא אחה"צ – 0.37; מקדמי מעבר לשבת: שיא בוקר – 0.14, שיא אחה"צ – 0.38
 - מטרופולין באר שבע - מקדמי מעבר לשישי: שיא בוקר – 0.55, שיא אחה"צ – 0.39; מקדמי מעבר לשבת: שיא בוקר – 0.02, שיא אחה"צ – 0.41
 - פריסה ארצית - מקדמי מעבר לשישי: שיא בוקר – 0.65, שיא אחה"צ – 0.45; מקדמי מעבר לשבת: שיא בוקר – 0.09, שיא אחה"צ – 0.49

3.1.5 הקמת בסיס גיאוגרפי אחיד

הבסיס הגיאוגרפי הוקם באמצעות תוכנת TransCad. תוכנה זו כוללת מערכת מידע גיאוגרפי (GIS) ומערכת תכנון תחבורה. שכבת רחובות מחברת "מפה" היווה רשת ייחוס על מנת לשפר את הייצוג הגיאוגרפי שהתקבל מהמודלים השונים



מפה 1. רשת קומפילציה של המודלים

3.1.6 איזון המודל בנקודות חפיפה

איזון המודל בנקודות חפיפה שבין המודלים המטרופוליניים לבין המודל הארצי כלל את השלבים הבאים:

- יצירת שדות מחושבים הכוללים סה"כ יר"מ בכל קטע כביש לכל כיוון נסיעה.
- איזון נתוני קטעי כביש בנקודות חיבור, כאשר נתוני קטעי הכביש המטרופוליניים מאוזנים על ידי נתוני קטעי הכביש הארציים.
- הפעלת פרוצדורה המפזרת את ההפרשים בקטעי הכביש המטרופוליניים.
- הפעלת פרוצדורה המתקנת כ"ר לפי אמצעי באופן יחסי לשינוי יר"מ בקטע.

4 מקדמי פליטה

מקדמי הפליטה אשר שימושו לצורכי הכנת מצאי הפליטות מתחבורה במסגרת התוכנית הלאומית, חושבו ע"י חברת ARIANET באמצעות מודל ה-TREFIC. הבסיס לחישוב מקדמי הפליטה הינו פרק 7 במסמך ה-EEA:

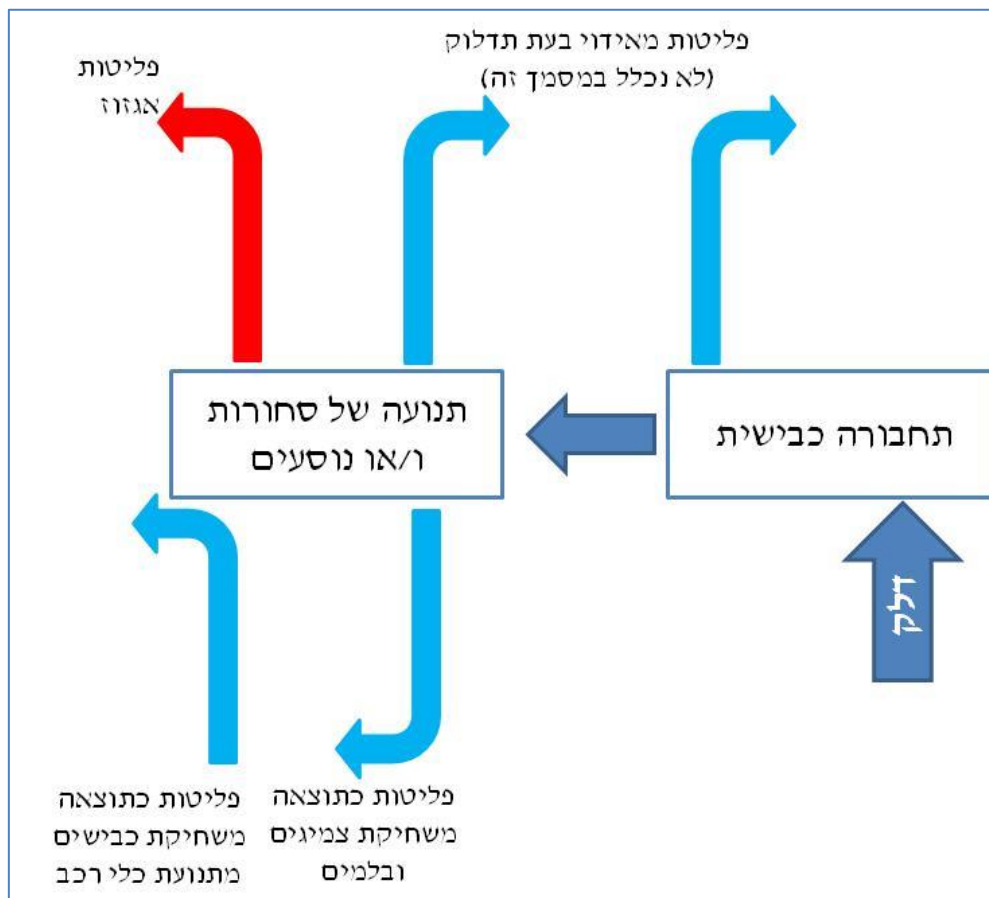
EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook 2009, update June 2010

וכן במסמך:

ARIANET (2009) TRaffic Emission Factors Improved Calculation, User Guide. V. 4.1.0 draft.

חישוב מקדמי הפליטה המוכללים הינו באמצעות תוכנת COPERT. מסמך זה מגדיר מקדמי פליטה לסוגי כלי רכב שונים וביניהם רכבים פרטיים, רכב מסחרי, משאיות, כלי רכב דו גלגלי עבור המזהמים CO, NOx, SO2, PM, VOC ועוד.

פליטה של מזהמי אוויר מתחבורה כבישית נובע משריפת דלקים בנוזן ודיזל במנוע בעירה פנימית, משחיקת צמיגים, שחיקת בלמים, שחיקת כבישים ופליטות אידיוי בעת תדלוק, כפי שניתן לראות בתרשים הבא:



איור 1. מקורות הפליטה מתחבורה

מודל ה COPERT מחשב מקדמי פליטה תוך התחשבות בסוג הרכב, תקן היורו, צריכת הדלק, מהירות נסיעה ממוצעת וסוג הרכב.

המודל מציג את הנתונים עבור כל מקטע כביש את הבאים:

- רשת הכבישים - אורך המקטע, נסועה וכו';
- צי הרכב - חלוקה לפי קטגוריות הרכב המופיע במודל ה COPERT לפי שלושת סוגי הדרכים (עירוני, בין עירוני וכפרי);
- מודלציית זמן - בהתאם לאופי התנועה, ממוצע משך הנסועה, והטמפרטורה מחושב פרופיל הפליטה;
- מקדם פליטה.

בהתבסס על נתוני הקלט של המודל עבור כל מקטע דרך מודל ה TREFIC מבצע את החישובים הבאים:

1. התפלגות מספר כלי רכב לפי 241 סוגי וקטגוריות (יורו) הרכב הקיימים במודל COPERT בהתאם לשיטת החישוב (TIER1, TIER2, TIER3), על בסיס מידע המתקבל עבור 4 קטגוריות רכב (דו גלגלי, רכב נוסעים, רכב מסחרי קל, רכב מסחרי כבד).
2. חישוב מקדמי הרכב באמצעות מודל ה COPERT.
3. חישוב פליטות.
4. רישום מקדם הפליטה המשוקלל לפי קטגוריות הרכב עבור כל סוג דרך (עירוני, בינעירוני וכפרי).

4.1 מתודולוגיה לחישוב מקדמי פליטה במודל COPERT

מודל ה COPERT מחשב מקדמי פליטה המוצגים כקבוע המבטא פליטה לרכב מוגדר ביחידות של מסה ליחידת מרחק [גרם/ק"מ]. קבוע זה תלוי ב:

- סוג הדלק (בנוזין דל עופרת, סולר)
- קטגוריית הרכב (דו גלגלי, רכב נוסעים, רכב מסחרי קל, רכב מסחרי כבד, אוטובוסים)
- מהירות נסיעה ממוצעת וסוג הדרך (עירוני, בינעירוני וכפרי)
- נפח מנוע ויכולת העמסה
- גיל הרכב (שנת רישוי)
- מצב תחזוקה של הרכב
- מטאורולוגיה
- שיפוע ממוצע למקטע דרך

4.1.1 שיטות לחישוב מקדמי פליטה במודל COPERT

המתודולוגיות לחישוב מקדמי הפליטה לסוגי וקטגוריות כלי הרכב השונים מתחלקות לשתי שיטות:

- שיטה 1 - חישוב על בסיס צריכת דלק (CO_2, SO_2, NH_3 , חלקיקים, עופרת ומתכות)
- שיטה 2 - חישוב על בסיס מהירות נסיעה ממוצעת וסוג הדרך ($CO, NO_x, NMVOCs, CH_4, N_2O, PM_{10}, Lohmeyer, PAHs$ ו $POPs$).

בשיטה 1, חישוב מקדם הפליטה מבוצע ע"פ הנוסחה הבאה:

$$E_{ij} = a_{ij} \cdot F_i$$

כאשר:

- E_{ij} = מקדם פליטה לקטגוריית רכב i למוזהם j [גרם/ק"מ]
- a_{ij} = קבוע תלוי מזהם j התלוי בהרכב הרכב המשמש את כלי רכב מקטגוריה i
- F_i = צריכת הדלק של רכב מקטגוריה i [גרם/ק"מ]

בשיטה 2, חישוב מקדם הפליטה מבוצע ע"י נוסחה מורכבת יותר המוצגת להלן:

$$r_{ij} \cdot \left[\frac{(a_{ij} + c_{ij} \cdot v_i + e_{ij} \cdot v_i^2)}{(l_{ij} + b_{ij} \cdot v_i + d_{ij} \cdot v_i^2)} + \frac{f_{ij}}{v_i} \right]$$

כאשר:

- a_{ij}, b_{ij}, c_{ij} = מקדם התלוי בקטגוריית הרכב i ובמוזהם j
- r_{ij} = קבוע בין 0 ל 1 להפחתה בהתאם לטכנולוגיית ההפחתה המותקנת ברכב.
- v_i = מהירות נסיעה ממוצעת המשתנה לפי מקטע הדרך וסוג הרכב i

4.1.2 מקדמי פליטה לחלקיקים

עבור חלקיקים ($PM, PM_{2.5}, PM_{10}$) מודל ה TREFIC מבוסס על עבודת המכון האוסטרלי IIASA המבוטא כגרם/ק"מ.

4.1.3 מקדמי פליטה לחלקיקים

עבור חלקיקים ($PM, PM_{2.5}, PM_{10}$) מודל ה TREFIC מבוסס על עבודת המכון האוסטרלי IIASA המבוטא כגרם/ק"מ. מקדמי הפליטה עבור PM_{10} לוקוח מתוך עבודתו של A. Lohmeyer וחבריו עבור ה US-EPA לחישוב חלקיקי PM_{10} כסך הפליטות ממקורות ראשוניים (צינור פליטה, חלקי רכב וכבישים) וכן מרכיבים סביבתיים השוקעים על הכבישים (resuspension). על מנת לקבל הערכה טובה יותר הפליטות, מקדמי הפליטה יתייחסו למקורות הבאים:

- סוג הדרך - עירוני, בינעירוני, כפרי;

- איכות כיסוי הכביש - תכולת סילט ;
- מהירות נסיעה ;
- משקל הרכב ;
- החלק היחסי של מספר ימי הגשם בשנה.

כדי להעריך את תרומת תנועת כלי הרכב לחלקיקי PM10 resuspention, ה US-EPA פיתח מתודולוגיה הלוקחת בחשבון את תכולת הסילט בציפוי כבישים והמשקל הממוצע של כלי הרכב. מתודולוגיית לחישוב הפליטות מפורטת בפרק 13.2.1 במסמך ה AP-42 עבור כבישים סלולים.

4.2 התאמת מקדם הפליטה לפי גיל הרכב

הפחתת הפליטה באמצעות מערכות שונות להפחתת פליטות של CO, NOx ו NMVOC מותקנות בכלי רכב. חישוב מקדם ההפחתה של הפליטה מחושב באמצעות הנוסחה הבאה :

$$D_{ij} = r_{ij} \cdot (a_{ij} \cdot m_i \cdot b_{ij})$$

כאשר :

$$\begin{aligned} a_{ij}, b_{ij} &= \text{משתנים בהתאם לסוג הרכב } i \text{ ולמזהם } j \\ r_{ij} &= 1 \text{ עבור כל } i \text{ וכל } j \\ m_i &= \text{ממוצע הנסועה השנתי} \end{aligned}$$

4.3 התאמת מקדם הפליטה לפי מהירות הנסיעה

מקדמי הפליטה עוברים תקנון לפי מהירות הנסיעה על מנת שיתאימו גם לתנאי דרך עירוניים המתבטאים במהירות נסיעה נמוכות מ 10 קמ"ש ובפקקי תנועה האופייניים בדרכים עירוניות וכן במתן ביטוי לנסיעה במהירות גבוהה בדרכים מהירות.

5 אודות המסמך

לקוח	:	המשרד להגנת הסביבה
פרויקט	:	מתודולוגיה לחישוב פליטות מתחבורה
קובץ	:	391VW002
תאריך	:	06 נובמבר 2016
גרסא	:	1
אורך המסמך	:	13
כותב	:	ורדינה היבנר
