

הערכת התועלות למשק ממנהרות תחבורה - מנהרות הכרמל כמקרה בוחן



יולי 2015

עורכי המסמך:

מטעם מוסד שמואל נאמן

פרופ' אופירה אילון
גב' שירי פרוינד-קורן
גב' מעיין זרביב-ציון

מטעם EcoFinance

מר ליאור שמואלי, M.Sc (Finance & Accounting)

תוכן העניינים

4	תקציר מנהלים
7	1. הקדמה
8	2. רקע- שימוש במרחב התת קרקעי ומנהור
12	3. מתודולוגיה
14	3.1. תועלות ישירות למשתמש
15	3.2. תועלות עקיפות לציבור
17	4. תוצאות
17	4.1. התועלות מנסיעה אחת במנהרה
18	4.2. התועלות מנסיעה בשני מקטעים רצופים במנהרות הכרמל
22	4.3. התועלות מנסיעה במנהרה בשעות השיא
22	4.4. התועלות הכוללות למשק הנוצרות בזכות המנהרה
25	4.5. התועלות לתושבי חיפה כתוצאה מהנסיעה במנהרות הכרמל
25	5. סיכום
27	6. מקורות

רשימת טבלאות

- טבלה 1- ששת המקטעים לשימוש במנהרות.....12
- טבלה 2: עלויות חיצוניות מזיהום אוויר מתחבורה (נכון ל- 1/1/2015).....16
- טבלה 3: ערכי עלויות רעש במקטע עירוני ע"פ סוג רכב.....16
- טבלה 4: תועלות מנסיעה במקטע דרך אחד במנהרות הכרמל בשעה ממוצעת.....17
- טבלה 5: תועלות מנסיעה בשני מקטעים רצופים במנהרות הכרמל בשעה ממוצעת.....18
- טבלה 6: תועלת מנסיעה במנהרה בשעות השיא.....22
- טבלה 7- ניתוח תועלות כוללת כתלות בשכר לשעה.....24
- טבלה 8- ריכוז התועלות למשק כתוצאה משימוש במנהרה.....26

רשימת תרשימים

- תרשים 1 - התפלגות פליטת המזהמים בתחבורה על פי סוג המזהם- 2010.....9
- תרשים 2- התפלגות העלות בגין תחבורה לפי מזהמים.....9
- תרשים 3 - רכיבי התועלת מנסיעה בקטע אחד של המנהרה בשעה ממוצעת.....17
- תרשים 4 - רכיבי התועלת מנסיעה בשני קטעים רצופים של מנהרות הכרמל בשעה ממוצעת.....18
- תרשים 5 - פרוט התועלות מנסיעה במנהרות הכרמל.....19
- תרשים 6 - תועלות כלכליות מנסיעה במנהרות הכרמל - משאית.....20
- תרשים 7 - תועלות כלכליות מנסיעה במנהרות הכרמל - אוטובוס.....21
- תרשים 8 - תועלות כלכליות מנסיעה במנהרות הכרמל - רכב פרטי.....21
- תרשים 9 - תועלות מנסיעה במקטע אחד או שניים רצופים, בשעות השיא.....22
- תרשים 10 - תועלת שנתית משימוש במנהרה (לפי סוג תועלת) - בהשוואה לתרחיש א'.....23
- תרשים 11 - תועלת שנתית משימוש במנהרה (לפי סוג רכב) - בהשוואה לתרחיש א'.....24

תקציר מנהלים

בעבודה זו נבדקו התועלות הכלכליות והסביבתיות, הנגרמות באופן ישיר ועקיף, כתוצאה משימוש במנהרות הכרמל בהשוואה לשימוש בנתיבים חלופיים בעיר חיפה.

התועלות הישירות למשתמש כוללות חיסכון כספי הודות לשני פרמטרים:

1. **חיסכון בזמן** - נסיעה במנהרה מפחיתה את משך זמן הנסיעה לעומת נתיב אחר.
2. **חיסכון בדלק** - החיסכון בדלק נובע הן מקיצור משך הנסיעה והן הודות להחלקת תוואי הדרך.

התועלות העקיפות הנוצרות לציבור כתוצאה משימוש במנהרה אשר כוללות:

1. **חיסכון בזיהום אוויר ופליטת גזי חממה** - החיסכון בדלק כתוצאה משימוש במנהרה מביא להפחתת פליטות מזהמים וגזי חממה.
2. **הפחתת מפגעי רעש** - נסיעה במנהרה מפחיתה את הרעש התחבורתי הנוצר בעיר.

נמצא, **כי בכל המקרים הנסיעה במנהרות הראתה תועלת חיובית גבוהה יותר מאשר נסיעה בנתיבים חלופיים שונים** (לפי תרחישי ייחוס שונים), כאשר היקף התועלת תלויה בסוג הרכב הנוסע (פרטי, אוטובוס או משאית), בנתיב החלופי שנבחר ובשעת הנסיעה (שעה ממוצעת לעומת שעת השיא).
העבודה גם בחנה את התועלת הממוצעת שנוצרת מכל נסיעה במנהרות הכרמל לפי סוג הרכב ושעת הנסיעה.

ממצאי העבודה העלו, כי בשעה ממוצעת (שאינה שעת העומס) התועלת הממוצעת מנסיעה של **רכב פרטי** במקטע אחד של מנהרה הינה 5.74 ש' בעוד שהתועלת מנסיעה ברכב פרטי בשני מקטעים רצופים של המנהרה הינו 9.8 ש'. עוד נמצא כי בשעה ממוצעת התועלת למשתמש ברכב פרטי הינה כ- 67% מעלות הנסיעה במנהרות (תועלת של 5.74 ש' למקטע לעומת עלות נסיעה של 8.66 ש'), בעוד שבשעות השיא, התועלת למשתמש ברכב פרטי כמעט משתווה לעלות הנסיעה במקטע אחד של המנהרה (תועלת של 8.46 ש' למקטע לעומת עלות נסיעה של 8.66 ש').
בכל מקרה, התועלות הישירות למשתמש (חסכון בזמן ודלק) מהוות למעלה מ- 90% מסך התועלת.

נסיעה בשני מקטעים רצופים			נסיעה במקטע אחד			תועלת ממוצעת בשעה ממוצעת (ש' לרכב)
פרטי	אוטובוס	משאית	פרטי	אוטובוס	משאית	
8.99	17.82	15.02	5.25	11.21	9.06	תועלות ישירות (חסכון בזמן - לנהג בלבד - וחסכון בדלק)
0.81	5.32	4.79	0.49	3.47	2.96	תועלות עקיפות (הפחתת זיהום אוויר ורעש)
9.80	23.14	19.82	5.74	14.68	12.02	סה"כ תועלות

עוד נמצא, כי בשעות השיא (סביב השעות 8:00 ו- 16:00) כשהתנועה בנתיבים החלופיים עמוסה, עולה התועלת ומסתכמת ב- 8.46 ש' למקטע אחד של מנהרה לרכב פרטי ול- 12.92 ש' לרכב פרטי הנוסע בשני מקטעים רצופים של המנהרה, כמפורט להלן. יש לציין, כי עלות הנסיעה במנהרות לא משתנה כתלות בשעה ביממה, או שבתות וחגים.

נסיעה בשני מקטעים רצופים			נסיעה במקטע אחד			תועלת ממוצעת בשעת השיא (ש' לרכב)
פרטי	אוטובוס	משאית	פרטי	אוטובוס	משאית	
12.07	24.05	19.26	7.91	15.37	11.98	תועלות ישירות (חסכון בזמן - לנהג בלבד - וחסכון בדלק)
0.85	6.78	5.50	0.55	4.45	3.43	תועלות עקיפות (הפחתת זיהום אוויר ורעש)
12.92	30.83	24.76	8.46	19.83	15.40	סה"כ תועלות

בנוסף לאמור לעיל, ומניתוח מעמיק יותר של כ"א מהמקטעים, עולה כי התועלת הישירה מנסיעה במקטע שבין קניון חיפה-גרנד קניון (בכל אחד משני הכיוונים) בשעות השיא גבוהה ב- 35% מעלות הנסיעה [תועלת ישירה של 11.5 ₪ (זמן + דלק) לעומת עלות נסיעה 8.66 ₪], כך שלמעשה הנהג המשתמש מרוויח מהנסיעה במנהרה.

התועלת מנסיעה של **אוטובוס** במנהרה במקטע אחד עומדת על 14.68 ₪ בנסיעה בשעה ממוצעת ו- 19.83 ₪ בשעות העומס, **כאשר התועלות מחסכון בזמן נזקפות בגין זמן הנהג בלבד**. כרבע מתועלות אלה הן תועלות עקיפות (הפחתת זיהום אוויר ורעש).

בחישוב אשר לוקח בחשבון שבאוטובוס נוסעים 20 איש (כולל הנהג), הרי שהזמן הנחסך לכל הנוסעים מעלה את התועלת בנסיעה בשעה ממוצעת ל- **84.35 ₪ ביחס למקטע אחד, ול- 146.64 ₪ ביחס לשני מקטעים**. לפי חישוב זה, התועלת הכוללת של הנסיעה באוטובוס דרך המנהרות לעומת החלופות האחרות גבוהה פי 3, בהשוואה לעלות הנסיעה העומדת נכון ליולי 2015 על 25.98 ₪ למקטע אחד ו- 51.96 ₪ לשני מקטעים.

התועלת **למשאית** (כאשר החישוב נעשה בגין שווי שעת עבודה של 40 ₪, כממוצע במשק), הינה 12.02 ₪ למקטע בשעה ממוצעת ו- 15.40 ₪ בשעת עומס. גם לגבי משאית כרבע מהתועלות הן תועלות עקיפות.

בחישוב בו נלקחת עלות מקובלת של 150 ₪ לשעת משאית, עולה התועלת הממוצעת מנסיעה במקטע אחד או שניים ל- 22.10 ₪ ול- 37.69 ₪, בהתאמה.

לפי חישוב זה, דווקא עלות הנסיעה במנהרות למשאית נכון ליולי 2015 עומדת על 43.29 ₪ למקטע אחד ו- 86.58 ₪ לשני מקטעים גבוהה מהתועלת הכוללת של הנסיעה דרך המנהרות לעומת החלופות.

ממצאי העבודה מעלים, כי סך התועלת השנתית שנוצרה כתוצאה מהשימוש במנהרות בשנת 2014, בהשוואה לנתיב החלופי הסביר ביותר (תרחיש א') עמדה על כ- 106 מיליון ₪, כאשר בהשוואה לנתיב החלופי הנוסף שנבדק (תרחיש ב') התועלת השנתית אף גבוהה יותר ומסתכמת בכ- 189 מיליון ₪ לשנה.

כאשר מחשבים את התועלת השנתית כאשר עלות שעת משאית הינה 150 ₪ בממוצע וכאשר יש 20 נוסעים בממוצע באוטובוס (כולל הנהג), אזי, עולה התועלת השנתית בהשוואה לתרחיש א' עולה ל 125,859,621 ₪ ואילו בהשוואה לתרחיש ב' עולה התועלת לכדי 226,272,037 ₪.

יש לציין, כי התועלת מהשימוש במנהרות שמוצגת בעבודה זו מייצגת "צילום מצב". היא אינה כוללת השוואה למצב בו המנהרות לא קיימות, אינה כוללת הערכה כלכלית של הפרויקט עצמו, אינה כוללת התייחסות להסכמים שנחתמו בין המדינה וחברת כרמלטון, ואינה כוללת הערכת עלויות תפעול ותחזוקה של המנהרות. כמו כן, העבודה לא העריכה את התועלת של הציבור שאינו נוסע במנהרה אך הנתיבים החלופיים התפנו עבורו, הודות לנהגים ולכלי הרכב שנוסעים בה, ולמעשה נושאים בעלויות לטובת הכלל.

בנוסף לתועלות הישירות של המשתמש במנהרה, הרי **שמבחינת תושבי חיפה** עולה, כי סך התועלת הסביבתית המתקבלת משיפור איכות האוויר ומצמצום הרעש בעיר כתוצאה מפעילות המנהרה היא 9.6 מיליון ₪ בשנה. כלומר, כל תושב בחיפה, הגר בסמיכות לנתיבי התחבורה המרכזיים "מרוויח" 65 ₪ לשנה כתוצאה מעצם קיום המנהרה.

ריכז התועלות למשק כתוצאה משימוש במנהרה, בהשוואה לתרחיש הסביר

היקפי החיסכון	
סך התועלות הנוצרות מהמנהרה	106 מלש"ח (ביחס לנהג בלבד) 126 מלש"ח (לכל הנוסעים באוטובוס)
חיסכון בזמן	כ- 1.7 מיליון שעות לשנה. שוו"ע לכ- 200,000 ימי עבודה לשנה
חסכון בדלק	כ- 4.5 מיליון ליטר דלק בשנה שוו"ע לכ- 0.2% מכלל צריכת הדלק לתחבורה בישראל
חיסכון בפליטות גזי חממה	14,000 טון CO2e לשנה שוו"ע לחסכון בצריכת חשמל של כ- 1,850 משקי בית בשנה
חסכון בזיהום אוויר ורעש לתושבי חיפה המתגוררים לאורך צירי התנועה	65 ש' לאדם כתוצאה מהפחתת זיהום אוויר ורעש (לפי 150,000 נפש המושפעים מהדרכים החלופיות)

1. הקדמה

עבודה זו נעשתה בהזמנת חברת כרמלטון, המפעילה את מנהרות הכרמל. העבודה מציגה את התועלות הכלכליות והסביבתיות הנוצרות כתוצאה מנסיעה במנהרות תחבורה לעומת כבישים עיליים. העבודה כוללת מתודולוגיה כללית להערכת התועלות ממנהרות תחבורה, כאשר במסגרת העבודה בוצעה הערכה של התועלות הנוצרות בפועל כתוצאה משימוש במנהרות הכרמל בחיפה.

מטרופולין חיפה הוא מרכז תחבורתי, תעשייתי ותרבותי חשוב ואחד ממרכזי הסחר הימי של ישראל. המטרופולין מתאפיין, בריכוז מפעלי תעשייה, מסחר ובילוי והוא גדל מידי שנה. כתוצאה מכך, חל גידול מתמיד בעומס התחבורתי בו מידי שנה. פתיחת מנהרות הכרמל, בסוף שנת 2010 נעשתה במטרה להוריד את העומס התחבורתי הן בכניסה אל העיר, אל מרכזי התעשייה והטכנולוגיה ובצירים המרכזים והן ביציאה מהעיר - בתנועה מדרום לחיפה וצפונה וכן בכיוון ההפוך. נתוני ספירות רכבים שנערכו בפורטלים של המנהרות הראו כי היקף הנסועה בהן מגיע לעשרות אלפי כלי רכב ביום, וספירות שנערכו לפני ואחרי פתיחת המנהרות בצירים מרכזיים בעיר חיפה, מראים כי לאחר פתיחת המנהרות חלה ירידה יומית ממוצעת של כ- 20% בצירי התנועה להם מהוות המנהרות חלופה, ועד 40% ירידה בשעות העומס התחבורתי בבקרים (השקן, 2014). בעבודה זו נבדקו ההשלכות הכלכליות, **הישירות והעקיפות**, כתוצאה משימוש במנהרות הכרמל.

התועלות **הישירות** למשתמש כוללות חיסכון כספי הודות לשני פרמטרים:

1. **חיסכון בזמן** – נסיעה במנהרה מפחיתה את משך זמן הנסיעה אל ומהעבודה ובכך מגדילה את שעות העבודה וחוסכת זמן ולחץ בגודש ובפקקי תנועה. מכאן, שהנסיעה במנהרות בעלת פוטנציאל של העלאת התפוקה של העובד.
2. **חיסכון בדלק** – נסיעה במנהרה מפחיתה את צריכת הדלק. החיסכון בדלק נובע הן מקיצור משך הנסיעה והדרך.

התועלות **העקיפות** לציבור כוללות:

3. **חיסכון בזיהום אוויר ופליטת גזי חממה** – החיסכון בפליטות "מתורגם" לתועלות כלכליות לפי הערכת עלויות חיצוניות מזיהום אוויר מתחבורה.
4. **הפחתת מפגעי רעש** – נסיעה במנהרה מפחיתה את הרעש התחבורתי הנוצר בעיר.

התועלות העקיפות תורגמו למונחים כספיים כפי שיתואר בפרק המתודולוגיה.

תועלות נוספות שלא כומתו במסגרת המודל בעבודה זו: הסטת תנועה ממרכז העיר והפחתת הגודש בכבישים, הפחתת עלויות תחזוקת כבישים, שימוש בתת הקרקע כמקלט המוני במקרה הצורך ועוד.

2. רקע- שימוש במרחב התת קרקעי ומנהור

כתוצאה מהגידול המהיר של ערים בעולם, דרישותיה של האוכלוסייה העירונית לשטחי דיור ושירותים למיניהם הולכות ומתרבות, גובר הלחץ לשימוש אינטנסיבי יותר בקרקע. שימוש אינטנסיבי זה גורם לעלייה משמעותית של מחירי הקרקע, ומכאן שהעברת שימושים שונים- בעיקר תשתיות עירוניות ותחבורתיות אל מתחת לפני הקרקע, מתבקשת מאליה. (ניצול המרחב התת קרקעי בישראל)

המרחב התת קרקעי (מת"ק) מהווה מימד מרכזי וחשוב בפיתוח, במיוחד בישראל שעוברת תהליכי צמיחה ומאפיינות תהליך זה צפיפות אוכלוסין ובינוי מן הגבוהים בעולם. המת"ק מהווה, בין היתר, פתרון לבעיות תחבורה ע"י הפחתת לחץ תנועה בצירים מרכזיים, כאשר החלופות לכך הן הרחבת צירים, הקמת גשרים ומחלפים.

ההחלטה האם להשתמש במרחב הקרקעי, תלויה בראש ובראשונה בבדיקת כדאיות כלכלית, שהיא בין היתר תוצאה של אופי, מבנה ועלות הקרקע אליה מעוניינים לחדור. בישראל מצויים אזורים רבים המתאימים למטרה זו, שכן מצד אחד ישנן קרקעות מתאימות, ומאידך, עקב עלויות הקרקע הגבוהות, מסתמנת כדאיות ביצוע של פעולות בינוי ופיתוח תת- קרקעיות. (ניצול המרחב התת קרקעי בישראל, 2002).

המניעים העיקריים לשימוש בבנייה תת קרקעית במדינות מודרניות (Carmody & Sterling, 1993):

1. **צפיפות אוכלוסין בערים הגדולות-** האוכלוסייה העירונית הולכת וגדלה בעולם ועמה הדרישה ליותר שטחי דיור ושירותים וכך גובר הלחץ לשימוש אינטנסיבי בקרקע ומעלים מאוד את מחירה. פתרון מתבקש מאליו, העברת שימושים שונים, בעיקר תשתיות עירוניות ותחבורתיות אל מתחת לפני הקרקע.
2. **בידוד-** הקרקע מעניקה בידוד למבנה במת"ק המאופיין במספר גורמים:
 - **בידוד משינויי אקלים-** מכיוון שלקרקע תכונות מבודדות, קטן הצורך בחימום או בקירור, ועל ידי כך מושג חיסכון באנרגיה.
 - **בידוד מרעש-** של מתקנים הגורמים לרעש רב מחד ומתקנים הדורשים רמת שקט גבוהה, מאידך.
 - **בידוד מתנאים סביבתיים-** לחות, עשן חימום אוויר למתקנים ומפעלים הזקוקים לסביבה מבודדת ומבוקרת לצורך תהליכי ייצור או אחסון.
3. **מיגון-** מתן הגנה תת קרקעית לאזרחים ולמתקנים אסטרטגיים מפני מתקפה, כדוגמת הפצצה.

חלופת המנהור, כאמור, חשובה גם בהיבטים של **היערכות לשינויי אקלים**. בדו"ח מרכז הידע להיערכות לשינויי אקלים (שכטר ואילון, 2012) קבע הצוות שעסק בהיבטים גיאואסטרטגיים כי המנהור הוא אחת התשובות לשינויי אקלים. הצוות קבע כי עדיין לא קיימים בישראל מחקרים מעמיקים בנושא של מנהור (שימושים שונים, עלות חפירה ותחזוקה, בטיחות וכו') כאחת החלופות להתמודדות עם התייבשות והתחממות כללית. יש לחקור, כך קבע הצוות, את האפשרות של "הירידה אל מתחת לפני הקרקע" כאסטרטגיה רבתית, העונה על עוד צרכים של מדינת ישראל- חיסכון בשטחים וביטחון.

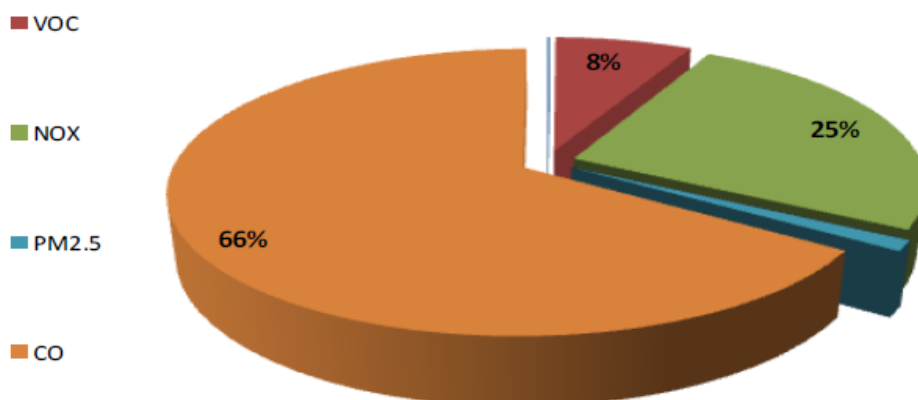
מנהור כחלופה לכבישים עיליים

רמת המינוע עולה ככל שקיימת עלייה במספר התושבים ועלייה ברמת החיים. מספר כלי הרכב הפרטיים בעולם עולה מידי שנה (The World Bank, 2014), כאשר הרוב המכריע של כלי הרכב מונעים בדלקים פוסיליים, ובהתאם עולה רמת זיהום האוויר (אשר מביאה גם לעלייה ברמת התחלואה). אמצעים הנדסיים כמו מנהרות, התפתחו עם השנים על מנת להתמודד עם העומס התחבורתי, במטרה להביא לזרימה טובה יותר של התחבורה, קיצור זמני הנסיעה, הפחתת עומסים, צמצום צריכת הדלק וצמצום זיהום האוויר הינן נגזרות של מטרות אלה (השקו, 2014).

חשוב לציין כי קצור זמן הנסיעה משפיע לא רק על העובד ותפוקתו אלא גם על המשפחה כולה. כך למשל Carta and De Philippis, (2015) הראו כי באיטליה גידול של 1% בזמן הנסיעה של הבעל לעבודה, מקטין את הסיכוי של אישתו לקחת חלק בשוק העבודה, בשיעור גבוה ב-2% מעל הממוצע (בגלל הצורך של אחד מבני הזוג לטפל בילדים). בנוסף, אותו גידול בזמן, מגדיל את השעות שלו מחוץ לבית ב-0.2 שעה.

השפעת תחבורה על איכות האוויר ועל תחלואה

תחבורה המונעת בדלק פוסילי (בנזין או דיזל) גורמת לפליטת מזהמים מהמפלט. פילוח הפליטה על פי מזהמים מוצג בתרשים 1, ממנו עולה כי 11% מהפליטות מתחבורה בישראל הינן פליטות פחמן חד חמצני ו- 25% פליטת תחמוצות חנקן. יחד, מהווים מזהמים אלו מעל ל 90% מסך הפליטה של סקטור התחבורה. תרשים 1 - התפלגות פליטת המזהמים בתחבורה על פי סוג המזהם - 2010

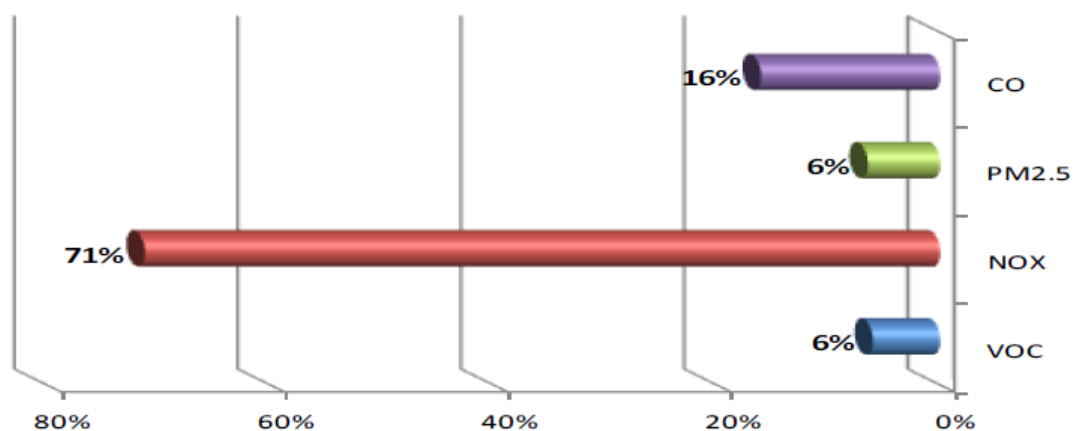


מתוך: בקר (2012) חישוב עלויות חיצוניות מזיהום אוויר מהתחבורה ומהתעשייה

זיהום מתחבורה נפלט בגובה נמוך ולכן משפיע בצורה רבה יותר מזיהום ניח מתעשייה או מייצור חשמל, הנפלט מגובה של עשרות עד מאות מטרים מעל האדמה, לפיכך נזקי זיהום אוויר מתחבורה, המתורגמים למונחים כספיים, בעיקר בשל פגיעה בבריאות הציבור, גבוהים יותר.

במחקר שערכו בקר וחוב' (2012) נמצא כי העלות הכוללת למשק בישראל מפליטת מזהמים מתחבורה הינה בסך 8.4 מיליארד ₪ בשנה, כאשר התפלגות לפי סוג המזהם מוצגת בתרשים הבא.

תרשים 2- התפלגות העלות בגין תחבורה לפי מזהמים



מקור: בקר וחוב' (2012)

ישנם מחקרים (Simmones & Seakins, 2012; Lai & Peng 2012) המצביעים על הצטברות ריכחי מזהמים במנהרות, אולם הנחת המוצא היא, שמנהרות עשויות להפחית את זיהום האוויר העירוני, ולפיכך כדאיותן במישור זה עולה על הסיכון שבהן. במחקר שערכו Cowie וחוב' (2012) הראו שינויים ברמת ובתפוצת זיהום האוויר בעקבות פתיחת מנהרת

תנועה. יש לציין כי קיימות טכנולוגיות לסינון וטיפול באוויר לפני יציאתו מהמנהרה, אולם רוב המקרים המנהרות כוללות רק מערכות שאיבה, סחרור ואווור המפנות את זיהום האוויר מהמנהרה (מערכות אלה קיימות גם במנהרות הכרמל).

השקו (2014) הראה כי נתוני **ניטור שנתי** של תחמוצות חנקן בתחנות התחבורתיות בחיפה לא הצביע על שיפור משמעותי בריכוזי המזהם לאחר פתיחת המנהרות (בעיקר לאור העובדה שאמנם ציי הרכבים הוצערו ורמת הפליטות שלהם יורדת, אך רמת המינוע עלתה). לעומת זאת, בבחינת הנתונים בפרקי זמן קצרים (**ניטור יממתי או שעותי**) ניכרת ירידה מובהקת של ריכוזי NO₂ בתחנת "אחזה" לאחר פתיחת מנהרות הכרמל.

ישנם מחקרים רבים, מתוכם נצטט מספר מועט בלבד, הבוחנים את הקשר בין זיהום אוויר מתחבורה לבין איכות החיים ותחלואה, בעיות רפואיות שנמצאו קשורות, כמו: בעיות נשימה ואסטמה, שינוי קצב הלב, סרטן הריאות, גירוי בעיניים ועוד.

במחקר שערכו Mustapha et al., (2011) נבדקה ההשפעה של זיהום אוויר מתחבורה וממקורות אחרים בקרב ילדים בניגריה, נמצא קשר חזק בין בעיות נשימה מסוגים שונים אצל הילדים ומידת החשיפה לזיהום אוויר מתחבורה. הקשר החזק ביותר נמצא באזורים בהם תעבורת המשאיות הייתה גבוהה במיוחד.

במשך עשור בחנו Raaschou- Nielsen et al., (2011) את הקשר בין חשיפה מתמשכת לזיהום אוויר מתחבורה לבין הסיכון לחלות בסרטן ריאות בשתי ערים דנמרק ונמצאו, בשנת 2006, 572 אנשים אשר דווחו כחולים בסרטן הריאות (שכיחות של כ- 0.16% באוכלוסייה). במחקר נוסף של אותה קבוצת חוקרים בדנמרק בחנו את הקשר בין רמות NO₂ מתחבורה לבין סוכרת, ונמצא קשר ישיר בין חשיפה לרמות גבוהות של NO₂ בפרקי זמן ארוכים ובין תמותה מוגברת מסוכרת.

מתוך הבנת הקשר בין זיהום אוויר מתחבורה והשלכות בריאותיות שליליות, המשרד להגנת סביבה בישראל סוקר ובוחן את הנושא באופן קבוע ושיטתי. המשרד מחייב כיום ציי רכב כבד לדווח על הפליטות שלהם; בחוק אוויר נקי (2008), ניתנת לשר להגנת הסביבה הסמכות להכריז על אזור, בו קיימות חריגות חזרות ונשנות מערכי הסביבה או זיהום אוויר חריג, כאזור נפגע זיהום אוויר. אם נקבע בהכרזה זו כי זיהום האוויר באזור המוכרז נגרם בעיקרו מתחבורה, על הרשויות שבתחום זה להכין תכנית עירונית לצמצום זיהום אוויר מתחבורה, אשר תשפר את איכות האוויר ותצמצם את הישנות החריגות מערכי הסביבה המותרים; בשנים עברו הייתה אפשרות לגרוט רכבים ישנים ומזהמים, תוך תמיכה כספית של האוצר במהלך, ועוד.

השפעת תחבורה על רעש

רעש שגורמים כלי רכב הוא רצוף בזמן ופוגע בהיקף רחב של אוכלוסייה במרבית שעות היום, במיוחד בקרבת עורקי תחבורה ראשיים. בנוסף לפגיעה באיכות החיים של האוכלוסייה הרי שמפגעי רעש גורמים גם לירידה בשווי נכסים המצויים בתחום ההשפעה נתיבי הנסיעה הראשיים המהווים את מקור הרעש. מפלסי הרעש הנגרמים על ידי תנועת כלי הרכב מושפעים בעיקר מהגורמים הבאים: (מתוך אתר המשרד להגנת הסביבה)

- **נפח התנועה** - ככל שגדל מספר כלי הרכב העוברים בכביש, גדל מפלס הרעש.
- **הרכב כלי הרכב** - את מפלסי הרעש הגבוהים והמטרדיים ביותר גורמים כלי הרכב הכבדים - אוטובוסים, משאיות ולהבדיל, אופנועים. ככל שגדל חלקם של אלו בתנועה, גדלים מפלסי הרעש והמטרד שהם גורמים.
- **מהירות התנועה, אופי הזרימה, פרופיל הדרך** - כל אלו משפיעים על מפלסי הרעש. רכב הנע במהירות גבוהה יוצר מפלסי רעש גבוהים יותר מרכב הנע במהירות אטית באותו הילוך נסיעה. בצומת, שבו תנועת הרכב היא מסוג "עצור וסע", מפלסי הרעש גבוהים יותר וכך גם בכבישים בעלי שיפוע עולה.
- **גיל הרכב ותחזוקתו** - ככל שגיל הרכב עולה ומצב התחזוקה שלו יורד, עולה מפלס הרעש שגורם כלי התחבורה

בבנייה תת קרקעית, הקרקע מעניקה בידוד מרעש למבנה במרחב התת קרקע. הפניית תנועת רכבים דרך מנהרות גורמת לצמצום רעשים והפחתת עומסי תנועה בעורקי תנועה הקרובים לבנייני מגורים. (מתוך ניצול המרחב התת קרקעי, 2002)

תועלות חיצוניות של שימוש במנהרות

את החיסכון בזמן ואת החיסכון בדלק מרגיש המשתמש באופן ישיר בכיסו, לעומת זאת ההשפעות הפוטנציאליות החיוביות של השימוש במנהרות על איכות האוויר ועל הפחתת הרעש הינן תועלת ציבורית. לאוויר נקי או לסביבה שקטה אין "מחיר שוק", כלומר, אין הגדרה של זכויות קניין לשימוש ואין שווקים שמשקפים את נדירותם. כתוצאה מכך, המשתמשים יכולים לגרום לכך שהמשאבים יהיו נדירים לאחרים אך אין זה בא לידי ביטוי בעלויות השימוש שלהם במשאבים אלה. מנגנון המחירים, לפיכך, נכשל באחת הפונקציות הבסיסיות שלו שהיא לאותת לחברה מהו הערך האמיתי של המשאבים והשירותים שהם מספקים או שנמנעים ממנה. **השפעות חיצוניות** הם הסימפטום של כשל שוק זה. לפי התאוריה הכלכלית השפעה חיצונית שלילית תתרחש כשלהחלטות על ייצור או צריכה של גוף כלכלי יש השפעה מזיקה על התועלת או הרווח של צד שלישי ויוצר הנזק אינו מציע כל פיצוי לצד הניזוק. גם התהליך ההפוך, בו קיים שיפור בסביבה, יכול להתקיים.

השפעות חיצוניות (חיוביות או שליליות) עלולות להשפיע על תהליכי ייצור על ידי שינוי יעילות תהליכי ייצור וכתוצאה מזה על רווחיות היצרן, או על שביעות הרצון (התועלת) של הצרכן.

לשימוש בכלי רכב השלכות רבות הן על המשתמש והן על הציבור כולו. ההשפעות החיצוניות משימוש בכלי רכב גורמות לקובעי המדיניות ולמשתמשים להערכת חסר של עלויות השימוש מחד, ולהערכת יתר של היתרונות משימוש בכלי רכב מצד קובעי המדיניות מאידך. העלויות החיצוניות מוגדרות כעלויות שאינן משולמות על ידי המשתמש ועל כן לא נלקחות בחשבון בבואנו להעריך את כדאיות הפעילות. לדוגמא - קילומטר נסיעה ברכב גורם לזיהום אוויר ומביא לתחלואה בנוסף לעלות הישירה של צריכת הדלק אשר משלם המשתמש. עלות התחלואה מתבטאת בעלויות אשפוז בבתי חולים, הפסד ימי עבודה וכו' ואינה משולמת ישירות על ידי הנהגים הגורמים לזיהום בעצמם, ולכן מוגדרת כעלות חיצונית. (דו"ח הוועדה הבין משרדית למיסוי ירוק, 2008).

בעלויות חיצוניות אלה ניתן לכלול:

- זיהום אוויר - שמשפיע על תמותה ותחלואה.
- גודש וצפיפות - המביאים לעיכובים בתנועה, פגיעה בנוחיות, פגיעה בפרטיות, פגיעה בביטחון, צמצום מרחב המחיה ועוד.
- תאונות דרכים - הגורמות לכאב, סבל ומוות, פגיעה ברכוש, עלות רפואית, ירידה בפריון, הפסדי תוצר, חסימת התנועה בכביש לאחר תאונה, עלות הפעלת צוותי חירום.
- רעש הנגרם על ידי כלי רכב - פוגע באוכלוסייה במרבית שעות היום, בייחוד באלה המתגוררים בקרבה לעורקי תחבורה ראשיים, וכן פוגע בשווי הנכסים המצויים בסמוך לצירי תנועה.
- שימוש בקרקע - עלות הקרקע לתחבורה מוערכת לפי העלות האלטרנטיבית של שימוש בקרקע לשימושים אחרים.

3. מתודולוגיה

לצורך כימות התועלות הכלכליות הישירות למשתמשים במנהרות וכימות התועלות העקיפות הנוצרות לציבור כתוצאה ממנהרות הכרמל, נבנה מודל כלכלי דינמי.

המודל הכלכלי נבנה במטרה לכמת את התועלות הכלכליות הישירות למשתמש והעקיפות לציבור כתוצאה משימוש במנהרות הכרמל בהשוואה לנתיבים חלופיים, בהם הייתה מתבצעת הנסיעה אם מנהרות הכרמל לא היו נחפרות.

בעבודה זו קיבלנו מחברת כרמלטון נתוני נסועה במנהרות משנת 2014 ולפיהם נעשה חישוב של התועלות השונות: חיסכון בזמן, חיסכון בדלק, חיסכון בזיהום אוויר ופליטת גזי חממה והפחתת מפגעי רעש.

התועלות חושבו כהפרש הנוצר בין עלויות הנסיעה בכ"א מתרחישים השונים לעומת המקטע הרלוונטי במנהרה ועל פי היקף הנסועה שהיה בפועל בשנת 2014 (1-12/2014) במנהרות עצמן.

מאחר ומנהרות הכרמל מצויות בסמוך ל- 3 מוקדים עיקריים בעיר: קניון חיפה, גרנד קניון ולב המפרץ, הרי שחישבו את התועלת בכ"א מהמקטעים הרלוונטיים של מנהרות הכרמל. המקטעים השונים כוללים את הדרך בין קניון חיפה ללב המפרץ והדרך ההפוכה וכן מארבעה מקטעים נוספים – מלב המפרץ לגרנד קניון וחזרה ומהגרנד קניון לקניון חיפה וחזרה.

לצורך כך, מגדיר המודל שישה מקטעים שונים לשימוש במנהרות, כמפורט בטבלה להלן:

טבלה 1- ששת המקטעים לשימוש במנהרות

מקטעים לכיוון דרום-מערב		מקטעים לכיוון צפון-מזרח	
לב המפרץ-קניון חיפה	מקטע A2 - (הכולל את שני המקטעים C2+B2)	קניון חיפה-לב המפרץ	מקטע A1 - (הכולל את שני המקטעים C1+B1)
גרנד קניון-קניון חיפה	מקטע B2 -	קניון חיפה-גרנד קניון	מקטע B1 -
לב המפרץ-גרנד קניון	מקטע C2 -	גרנד קניון-לב המפרץ	מקטע C1 -

ביחס לכל מקטע, נבחרו שני תרחישי נסיעה חלופיים למנהרה העוברים ברחבי העיר תוך שימוש בנתוני אתר WAZE, כדלקמן:

- **תרחיש הבסיס** – נסיעה במקטע/ים הרלוונטי במנהרה.
- **תרחיש א'** – תרחיש הנסיעה המיטבי המקביל למנהרה מבחינת זמן הנסיעה.
- **תרחיש ב'** – מסלול נסיעה אפשרי נוסף המקביל למנהרה.

ביחס לכל תרחיש ומקטע, נגזרו מאתר WAZE¹ נתונים ביחס לאורך הדרך ומשך זמן הנסיעה בשעות שונות של היממה. מעבר לכך, מאחר ומטרופולין חיפה מאופיין בטופוגרפיה הררית, חושבו גם שיפועי התרחישים השונים בכל מקטע (עליות וירידות), זאת על בסיס נתונים שנגזרו מהיישום - Google Earth.

הנתונים שנתקבלו מ-Google earth, ומאתר WAZE, אפשרו לחשב, את הפרמטרים הבאים:

- מרחק (בק"מ).
- זמן נסיעה ממוצע בשעת רגילה וכן זמן הנסיעה בשעת השיא (בשעות או בדקות).
- מהירות הנסיעה הממוצעת בשעה ממוצעת ומהירות הנסיעה הממוצעת בשעת השיא (מחושבת ע"י מרחק הנסיעה חלקי זמן).

¹ <https://www.waze.com/livemap>

- בנקודה זו חשוב להדגיש, כי המדובר על מהירות ממוצעת לכל אורך הנתב כוללת זמני הכניסות והיציאות למנהרה, זמן המתנה ברמזורים, עומסים שעתיים וכד'.
- אורכי העלייה או הירידה במהלך הנסיעה בתרחיש הרלוונטי (בק"מ).
 - השיפוע הממוצע של העלייה או הירידה בתרחיש הרלוונטי (ב- %).

נתונים אלה רוכזו על ידינו ביחס לכל תרחיש ותרחיש כמפורט בטבלאות הבאות:

נתונים טכניים - שני מקטעים רצופים (A1+A2) קניון חיפה <--> לב המפרץ)

קניון A1 מקטע חיפה-לב המפרץ	דרך מנהרות הכרמל	תרחיש א' - דרך פרויד	תרחיש ב' - דרך העצמאות	מקטע A2 לב המפרץ-קניון חיפה	דרך מנהרות הכרמל	תרחיש א' - דרך פרויד	תרחיש ב' - דרך העצמאות
מרחק בק"מ	7.63	11.91	14.82	מרחק בק"מ	7.74	12.38	14.82
ק"מ עלייה	4.30	4.06	-	ק"מ עלייה	3.33	7.85	-
ק"מ ירידה	3.33	7.85	14.82	ק"מ ירידה	4.41	4.52	14.82
שיפוע ממוצע עלייה	2.00	4.00	-	שיפוע ממוצע עלייה	2.00	2.00	-
שיפוע ממוצע ירידה	-2.00	-2.00	-	שיפוע ממוצע ירידה	-2.00	-4.00	-

זמן הנסיעה ומהירות ממוצעת בשעה רגילה

זמן ממוצע בשעות	0.18	0.33	0.35	זמן ממוצע בשעות	0.17	0.35	0.35
מהירות ממוצעת	42.58	36.18	42.86	מהירות ממוצעת	45.31	35.79	42.86

זמן הנסיעה ומהירות ממוצעת בשעת השיא (08:00)

זמן ממוצע בשעות	0.18	0.33	0.35	זמן ממוצע בשעות	0.17	0.35	0.35
מהירות ממוצעת	42.58	36.18	42.86	מהירות ממוצעת	45.31	35.79	42.86

נתונים טכניים - מקטע קניון חיפה <--> גרנד קניון (B1+B2)

קניון B1 מקטע חיפה-גרנד	דרך מנהרות הכרמל	תרחיש א' - דרך פרויד	תרחיש ב' - מרכז הכרמל	מקטע B2 גרנד קניון-קניון חיפה	דרך מנהרות הכרמל	תרחיש א' - דרך פרויד	תרחיש ב' - מרכז הכרמל
מרחק בק"מ	5.28	7.42	10.64	מרחק בק"מ	4.91	6.90	10.64
ק"מ עלייה	5.28	4.06	7.05	ק"מ עלייה	-	3.36	3.59
ק"מ ירידה	-	3.36	3.59	ק"מ ירידה	4.91	3.54	7.05
שיפוע ממוצע עלייה	2.00	4.00	2.00	שיפוע ממוצע עלייה	2.00	2.00	2.00
שיפוע ממוצע ירידה	-2.00	-2.00	-2.00	שיפוע ממוצע ירידה	-2.00	-4.00	-2.00

זמן הנסיעה ומהירות ממוצעת בשעה רגילה

זמן ממוצע בשעות	0.10	0.23	0.40	זמן ממוצע בשעות	0.10	0.23	0.34
מהירות ממוצעת	52.79	32.97	26.32	מהירות ממוצעת	49.08	30.68	31.13

זמן הנסיעה ומהירות ממוצעת בשעת השיא (08:00)

זמן בשעות בשיא	0.10	0.30	0.47	זמן ממוצע בשעות	0.10	0.30	0.43
מהירות בשיא	52.79	24.73	22.80	מהירות בשיא	49.08	23.01	24.55

נתונים טכניים – מקטע גרנד קניון <--> לב המפרץ (C1+C2)

גרנד C1 מקטע קניון-לב המפרץ	דרך מנהרות הכרמל	תרחיש א' – דרך הגיבורים	תרחיש ב' – דרך דורי	מקטע C2 לב המפרץ-גרנד קניון	דרך מנהרות הכרמל	תרחיש א' – דרך הגיבורים	תרחיש ב' – דרך דורי
מרחק בק"מ	3.80	6.45	6.69	מרחק בק"מ	3.86	6.97	7.32
ק"מ עלייה	-	-	-	ק"מ עלייה	3.86	6.97	7.32
ק"מ ירידה	3.80	6.45	6.69	ק"מ ירידה	-	-	-
שיפוע ממוצע עלייה	2.00	2.00	2.00	שיפוע ממוצע עלייה	2.00	2.00	2.00
שיפוע ממוצע ירידה	-2.00	-2.00	-2.00	שיפוע ממוצע ירידה	-2.00	-2.00	-2.00

זמן הנסיעה ומהירות ממוצעת בשעה רגילה

זמן ממוצע בשעות	0.12	0.16	0.20	זמן ממוצע בשעות	0.11	0.18	0.20
מהירות ממוצעת	32.55	40.76	34.19	מהירות ממוצעת	35.65	38.01	35.87

זמן הנסיעה ומהירות ממוצעת בשעת השיא (08:00)

זמן בשעות בשיא	0.12	0.17	0.18	זמן ממוצע בשעות	0.10	0.20	0.22
מהירות בשיא	32.55	38.72	36.52	מהירות בשיא	38.62	34.84	33.80

על בסיס נתונים אלה חושבו התועלות השונות בהתאם למתודולוגית החישוב הבאה:

3.1. תועלות ישירות למשתמש

(1) חיסכון בזמן

החיסכון בזמן חושב כהפרש (בשעות) שבין זמן הנסיעה בכל אחד מהתרחישים השונים (א, ב) לעומת המקטע הרלוונטי במנהרה (A, B או C), והכול בהתאם לנתוני זמן הנסיעה שנתקבלו מאתר WAZE. מאחר וקיים שוני בין משך זמן הנסיעה בתרחישים ובמקטעים השונים בהתאם לשעת הנסיעה, בוצע חישוב לפי זמני הנסיעה הממוצעים וכן לפי זמני הנסיעה בשעות העומס (8:00, 16:00). משך הזמן שנחסך כתוצאה משימוש במקטע המנהרה הרלוונטי לעומת התרחיש החליפי "תורגם" לתועלות כלכליות לפי העלות האלטרנטיבית של הזמן שנאמדה בשווי השכר השעתי הממוצע במשק (בערכי נטו), קרי 40 ₪ לשעה².

בהקשר זה חשוב להדגיש גם כי עפ"י מתודולוגיה זו חושבה התועלת שנוצרה כתוצאה מחסכון בזמן הנסיעה באופן שמרני מאוד מאחר והיא מתייחסת רק לחסכון בזמן של הנהג המשתמש עצמו ולא של יתר הנוסעים ברכב (כלומר, בנסיעה באוטובוס או בנסיעה ברכב עם מס' נוסעים נוספים לא נלקח בחשבון הזמן הנחסך לכלל הנוסעים, אלא רק לנהג בלבד).

² ערך שעה חושב על בסיס השכר הממוצע במשק שעמד נכון למועד כתיבת עבודה זו על 9,200 ₪ ברוטו לחודש, ובהתייחסות לשכר נטו ול-185 ש"ע בחודש.

(2) חיסקון בדלק

החיסקון בדלק חושב כחיסקון שנוצר בצריכת הדלקים (בנזין לרכבים פרטיים, סולר לאוטובוסים ומשאיות) למשתמשים במנהרות לעומת הנוסעים בדרכים החלופיות. היקף צריכת הדלקים חושב על בסיס מקדמי ההמרה לדלקים המפורטים בהנחיות לביצוע סקר סביבתי בתחבורה של המשרד להגנת הסביבה³. על פי אותן הנחיות, נגזרים היקפי צריכת הדלקים בהתאם לפליטת גזי החממה של הנסיעה הרלוונטית, תוך שימוש במקדמים הבאים:

- בנזין – 2.32 ק"ג CO₂;

- סולר – 2.67 ק"ג CO₂.

לפי מתודולוגיה זו חושבה צריכת הדלקים בכל אחד מהתרחישים והתועלת חושבה כהפרש בצריכת הדלקים בין נסיעה במנהרה לבין צריכת הדלקים בתרחישים אחרים.

החיסקון בדלקים חושב הן בכמויות דלק (ליטר חסכון) והן בערכים כספיים, לפי עלות נוכחית של 6.5 ₪ (כולל מע"מ) לליטר בנזין או סולר, כאשר ההנחה היא, שאוטובוס ומשאית צורכים סולר ואילו רכב פרטי צורך בנזין.

שני סוגי התועלות שנסקרו לעיל (חסכון בזמן וחסכון בדלק) הינן תועלות ישירות למשתמש, והוא נהנה מהם באופן ישיר כחסכון כספי נטו.

מעבר לתועלת הישירה, הרי שהשימוש במנהרות מביא גם לתועלות עקיפות הנוצרות כתוצאה מהפחתת זיהום אוויר ומהפחתת רעש. חשוב להדגיש כי תועלות עקיפות אלה הינן תועלות המיוחסות לציבור כולו, ובפרט לתועלת לתושבי מטרופולין חיפה הנהנים ישירות מאותה הפחתה בזיהום אוויר ורעש כתוצאה משימוש במנהרות הכרמל (כימות תועלות לתושבי חיפה המושפעים מהן, בסעיף 4.5).

התועלות העקיפות משימוש במנהרה חושבו לפי המתודולוגיה הבאה:

3.2. תועלות עקיפות לציבור

(3) חיסקון בזיהום אוויר ופליטת גזי חממה

רמת הפליטות הנגרמת מכלי רכב תלויה במספר משתנים, כגון: סוג וגיל הרכב, סוג הדלק, מהירות הנסיעה, שיפוע הדרך, מאמץ המנוע ותחזוקת הרכב.

על מנת לכמת את פליטות המזהמים וגזי החממה הנפלטים כתוצאה מנסיעה בכל אחד מהמקטעים והתרחישים השונים השתמשנו במקדמי הפליטה לנסיעה שפורסמו על ידי המשרד אגף איכות אוויר במשרד להגנת הסביבה⁴.

מקדמים אלו נקבעו באמצעות מודלים ייעודיים אשר החנו בנתונים המאפיינים את תנאי הארץ והרכב צי הרכב בארץ. מקדמי הפליטה מציינים את היקפי פליטות המזהמים וגזי החממה הנפלטים מנסיעה של רכב נתון (רכב פרטי, אוטובוס, משאית), ליחידת מרחק (גרם-לק"מ נסיעה) כתלות במהירות הנסיעה (0-120 קמ"ש) ובשיפוע הנסיעה (+6, +4, +2, 0, -2, -4, -6 אחוז).

החיסקון בפליטות מזהמים וגזי חממה חושב, כאמור, לגבי ציי רכב פרטיים, אוטובוסים ומשאיות מעל 4 טון. החיסקון בפליטות "מתורגם" לתועלות כלכליות לפי ערכי העלויות החיצוניות של מזהמי האוויר וגזי חממה

³ ראה לעניין זה:

http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/SvivaAir/CarPollution/Documents/Seker_AirPollution_Transpotation22014.pdf

⁴ ראה לעניין זה: <http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/SvivaAir/CarPollution/Pages/Regulations.aspx#GovXParagraphTitle3>

ל- 1.1.2015⁵, כמפורט בטבלה 2 להלן.

טבלה 2: עלויות חיצוניות מזיהום אוויר מתחבורה (נכון ל- 1/1/2015)

שם המזהם	שם לטון נפלט מתחבורה
CO - פחמן חד חמצני	1,181
CO2 - פחמן דו חמצני	119
HC - הידרו-קרבון	24,302
NOx - תחמוצות חנקן	85,477
PM - חלקיקים	165,120
Benzene - בנזן	24,302

מקור: אגף כלכלה ותקינה, המשרד להגנת הסביבה

(4) הפחתת מפגעי רעש

מבחינה מתודולוגית הנחת העבודה היא כי נסיעה במנהרה אינה גורמת לרעש תחבורתי, וכי רעש זה נבלע בתוך המנהרה עצמה. מכאן שעל מנת להעריך את התועלת הנגרמת כתוצאה משימוש במנהרה יש צורך לחשוב את עלות הנזק הנגרמת לתושבי חיפה כתוצאה מנסיעה בנתיבי התחבורה החלופיים על בסיס תרחישי הייחוס. עלות הנזק חושבה על בסיס העלויות החיצוניות של רעש, כפי שמופיעות בנוהל פר"ת 2006 של משרד התחבורה⁶ ביחס למקטע עירוני.

חשוב לציין, כי מאחר והעלויות החיצוניות של רעש המופיעות בנוהל פר"ת 2006 מבוססות על מחירי 1999 הרי שמתוך הנחה שמרנית הצמדנו את אותם ערכים למדד המחירים לצרכן של שנת 1999 למדד המחירים לצרכן הנוכחי, השווה ל- 1.3161.

בהקשר זה ראוי להדגיש, כי במידה וערכים אלה היו מוצמדים לשינויים בשווי נכסי הנדל"ן באותה תקופה כי אז הערכים היו גבוהים יותר.

עלויות הרעש במקטע העירוני בתרחישי הייחוס, אם כן, חושבו ע"פ הערכים המוצגים בטבלה 3, להלן:

טבלה 3: ערכי עלויות רעש במקטע עירוני ע"פ סוג רכב

סוג רכב	עלות רעש (ש"ק"מ) (לפי נוהל פר"ת, מחירי 1999)	עלות רעש (ש"ק"מ) (בערכים נוכחיים)
משאית	0.093	0.122
אוטובוס	0.06	0.079
רכב פרטי	0.028	0.037

⁵ <http://www.sviva.gov.il/subjectsenv/svivaair/documents/airexternalcost/airpollutionvalue11.2.2015.pdf>

⁶ <http://media.mot.gov.il/PDF/HofesMeyda/NOALP/Appendix6EnvironmentallImpact.pdf>

4. תוצאות

על בסיס הנתונים הטכניים של המקטעים והתרחישים ועל בסיס המתודולוגיה שהוצגה בפרק הקודם הרצנו מודל חישובי דינמי אשר חישב את התועלות הכלכליות הנוצרות כתוצאה מנסיעה במנהרות הכרמל.

התועלות חושבו בשתי רמות שונות:

- התועלת הנוצרת מנסיעה אחת במנהרה (במקטע אחד או שניים רצופים, בשעה ממוצעת או בשעת שיא);
- התועלות הכוללות למשק הנוצרות בזכות המנהרות;

4.1. התועלות מנסיעה אחת במנהרה

בחינת התועלת מנסיעה בקטע אחד במנהרה (צפון-דרום, קניון חיפה-גרנד קניון או גרנד קניון -לב המפרץ), בשעה ממוצעת ביממה מוצגת בטבלה מס' 4.

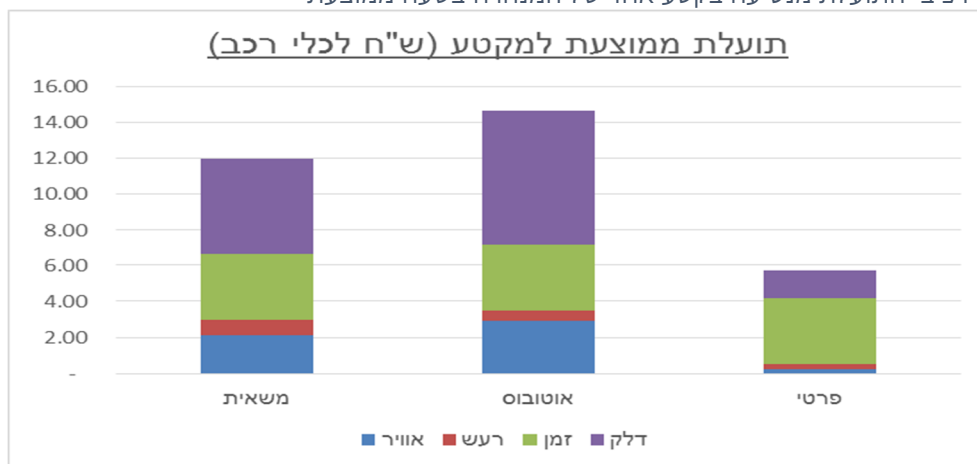
טבלה 4: תועלות מנסיעה במקטע דרך אחד במנהרות הכרמל בשעה ממוצעת

נסיעה במקטע אחד			תועלת ממוצעת בשעה ממוצעת (ש"ח לרכב)
פרטי	אוטובוס	משאית	
5.25	11.21	9.06	תועלות ישירות (חסכון בזמן- לנהג בלבד- וחסכון בדלק)
0.49	3.47	2.96	תועלות עקיפות (הפחתת זיהום אוויר ורעש)
5.74	14.68	12.02	סה"כ תועלות

ניתן לראות כי התועלות הגבוהות ביותר מתקבלות בגין נסיעה באוטובוס, כאשר עיקר התועלות התקבלו כתועלות ישירות, קרי, חסכון בזמן ובדלק. שוב, חשוב להזכיר כי בחישוב התועלת מחסכון בזמן נלקח זמן הנהג בלבד, כך שבפועל, כאשר האוטובוס מסיע נוסעים, התועלת גדולה אף יותר.

התועלת מנסיעה ברכב פרטי הינה כ 40% בהשוואה לאוטובוס וכמחצית בהשוואה למשאית. כפי שניתן לראות בתרשים 3 להלן, הסיבות העיקריות להבדלים בין כלי הרכב הם צריכת דלק גבוהה בצורה משמעותית של רכבים כבדים לעומת רכב פרטי וכן זיהום האוויר הגבוה יותר ברכבי הדיזל (אוטובוס ומשאית).

תרשים 3 - רכיבי התועלת מנסיעה בקטע אחד של המנהרה בשעה ממוצעת



4.2. התועלות מנסיעה בשני מקטעים רצופים במנהרות הכרמל

בחינת התועלת מנסיעה בשני מקטעים רצופים במנהרות (צפון-דרום/דרום-צפון) בשעה ממוצעת ביממה מוצגת בטבלה מס' 5.

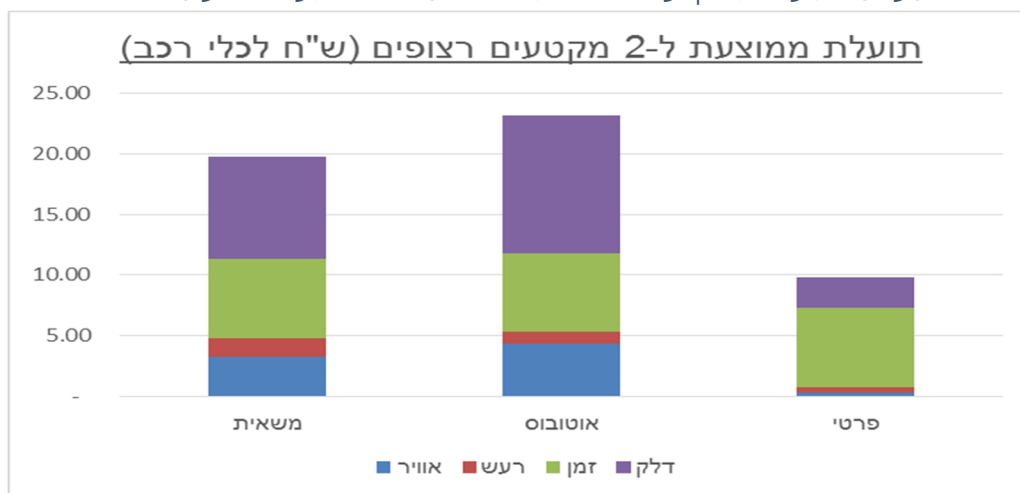
טבלה 5: תועלות מנסיעה בשני מקטעים רצופים במנהרות הכרמל בשעה ממוצעת

נסיעה במקטע אחד			תועלת ממוצעת בשעה ממוצעת (ש"ח לרכב)
פרטי	אוטובוס	משאית	
8.99	17.82	15.02	תועלות ישירות (חסכון בזמן- לנהג בלבד- וחסכון בדלק)
0.81	5.32	4.79	תועלות עקיפות (הפחתת זיהום אוויר ורעש)
9.80	23.14	19.82	סה"כ תועלות

ניתן לראות כי התועלות הגבוהות ביותר מתקבלות בגין נסיעה באוטובוס, כאשר עיקר התועלות התקבלו כתועלות ישירות, קרי, חסכון בזמן ובדלק. שוב, חשוב להזכיר כי בחישוב התועלת מחסכון בזמן נלקח זמן הנהג בלבד, כל שבוע, כאשר האוטובוס מסיע נוסעים, התועלת גדולה אף יותר.

כפי שניתן לראות בתרשים 4 להלן, הסיבות העיקריות להבדלים בין כלי הרכב הם צריכת דלק גבוהה בצורה משמעותית של רכבים כבדים לעומת רכב פרטי וכן זיהום האוויר הגבוה יותר ברכבי הדיזל (אוטובוס ומשאית).

תרשים 4 - רכיבי התועלת מנסיעה בשני קטעים רצופים של מנהרות הכרמל בשעה ממוצעת



כאמור, בתחשיבים לעיל נלקח ערך אחיד וממוצע של שעת נסיעה בעלות השכר הממוצע במשק (40 ש"ח) וכאשר רק זמנו של נהג הרב הפרטי, המשאית או נהג האוטובוס נלקח בחשבון.

בחישוב בו נלקחת העלות הממוצעת המקובלת של 150 ש"ח לשעת משאית עולה התועלת הממוצעת מנסיעה במקטע אחד מ- 12.02 ש"ח ל- 22.10 ש"ח ומ- 19.82 ש"ח ולשני מקטעים לכדי 37.69 ש"ח (בהשוואה לתרחיש א', הסביר).

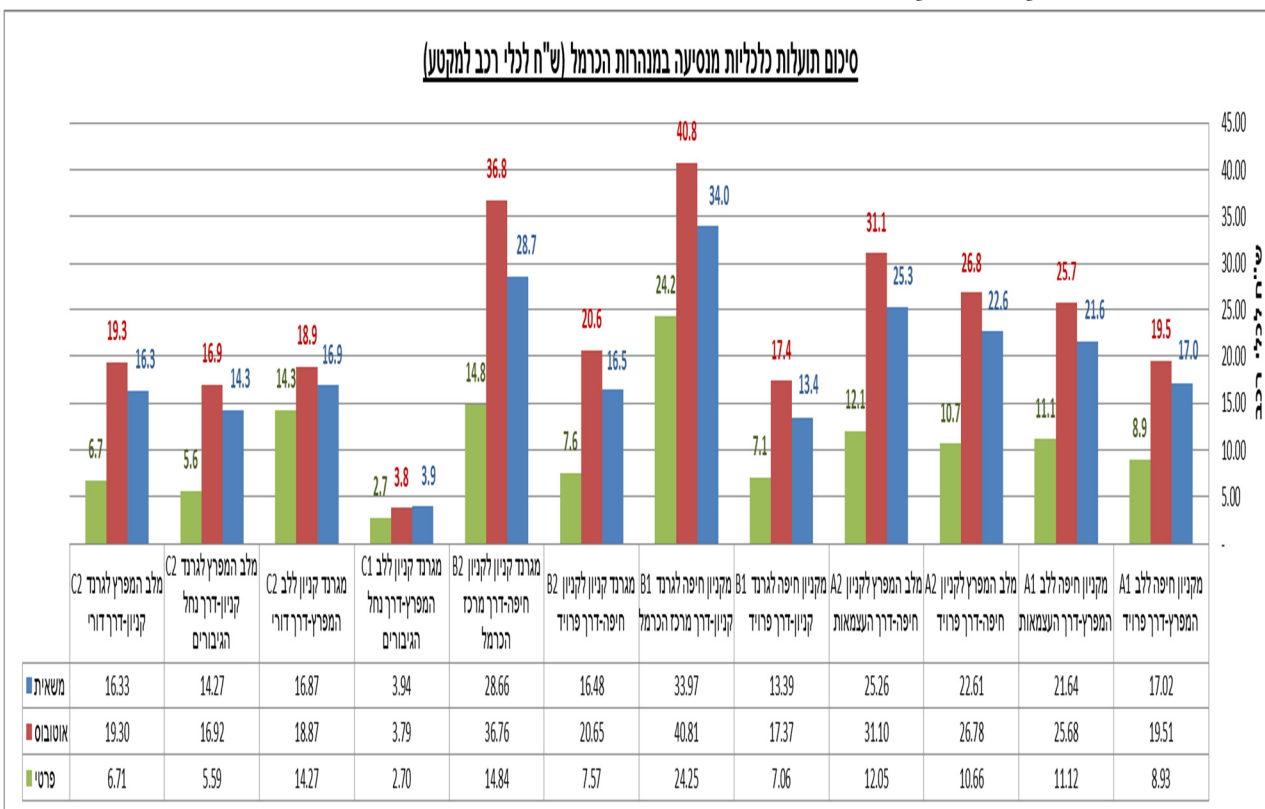
יש לציין, כי גם לפי חישוב זה, עלות הנסיעה במנהרות למשאית (העומדת נכון ליולי 2015 עומדת על 43.29 ש"ח למקטע אחד ו 86.58 ש"ח לשני מקטעים) גבוהה מהתועלת הכוללת של הנסיעה דרך המנהרות לעומת החלופות.

בחישוב אשר לוקח בחשבון שבאוטובוס נוסעים 20 איש (כולל הנהג), הרי שהזמן הנחסך לכל הנוסעים מעלה את התועלת, בהשוואה לתרחיש א', מ-14.68 ₪ ל- 84.35 ₪ למקטע אחד, בממוצע ולכדי 146.64 ₪ לשני מקטעים (בהשוואה ל 23.14 ₪ אשר כללו את זמן הנהג בלבד).

בנוסף, לפי חישוב זה, התועלת הכוללת של הנסיעה באוטובוס דרך המנהרות לעומת החלופות גבוהה פי 3 בהשוואה לעלות הנסיעה במנהרות העומדת, נכון ליולי 2015 על 25.98 ₪ למקטע אחד ו- 51.96 ₪ לשני מקטעים.

סיכום התועלות ופירוט מרכיבי התועלת, כאשר החיסכון בזמן נזקף רק לנהג (לא כולל יתר הנוסעים ברכב) מוצג בתרשים 5 להלן.

תרשים 5 - פרוט התועלות מנסיעה במנהרות הכרמל



תוצאות העבודה הוכיחו, כי בכל המקרים ובכל המקטעים הנסיעה במנהרות יוצרת תועלת חיובית למשתמש ולציבור בכללותו. ההפרשים, מטבע הדברים, קשורים בסוג הרכב (פרטי, אוטובוס או משאית) ובדרך החלופית שנבחרה.

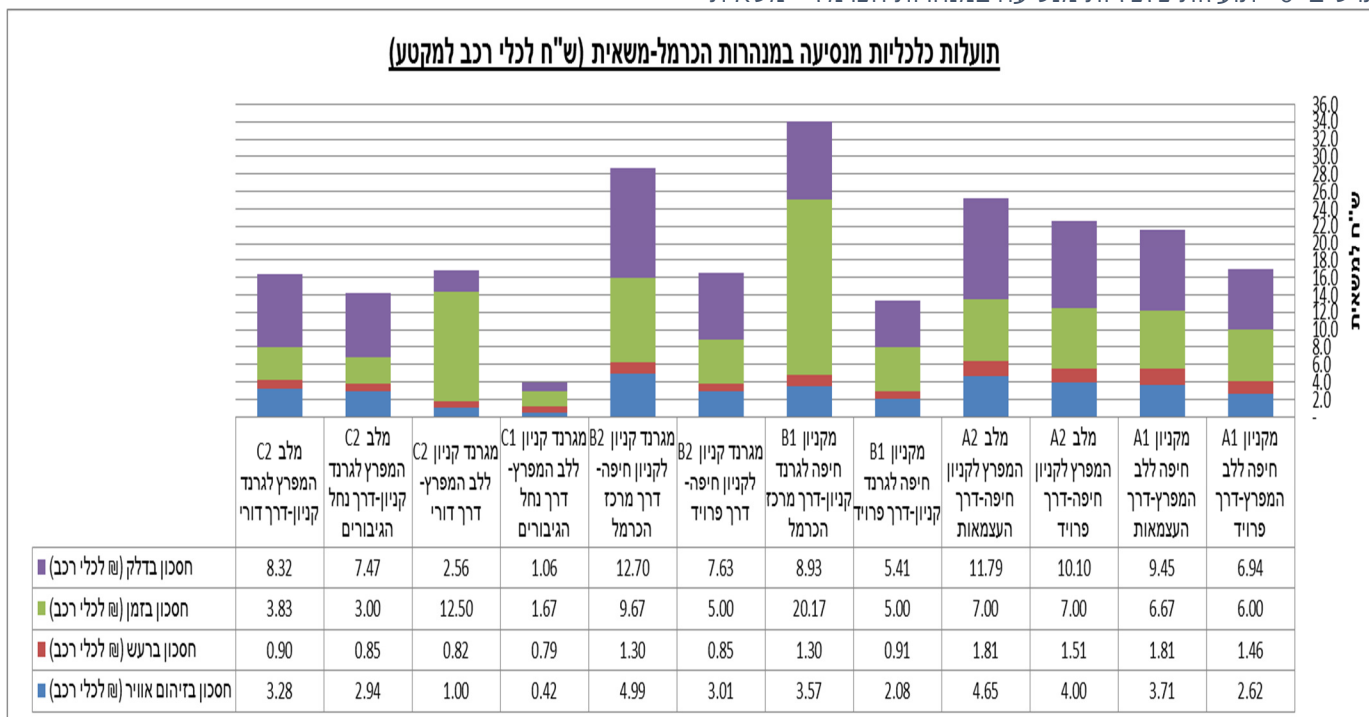
כפי שניתן לראות, התועלות גבוהות לכל כלי הרכב אך משתנות במקטעים שונים (כתלות בתוואי הדרך, עליה, ירידה, אורך המקטע החלופי). התועלות הגבוהות ביותר מתקבלות עבור אוטובוסים (כאמור, חישוב זה לא לוקח בחשבון את הזמן הנחסך לכלל הנוסעים באוטובוס אלא את זמנו של הנהג בלבד), לאחר מכן עבור משאיות ולבסוף עבור מכוניות פרטיות.

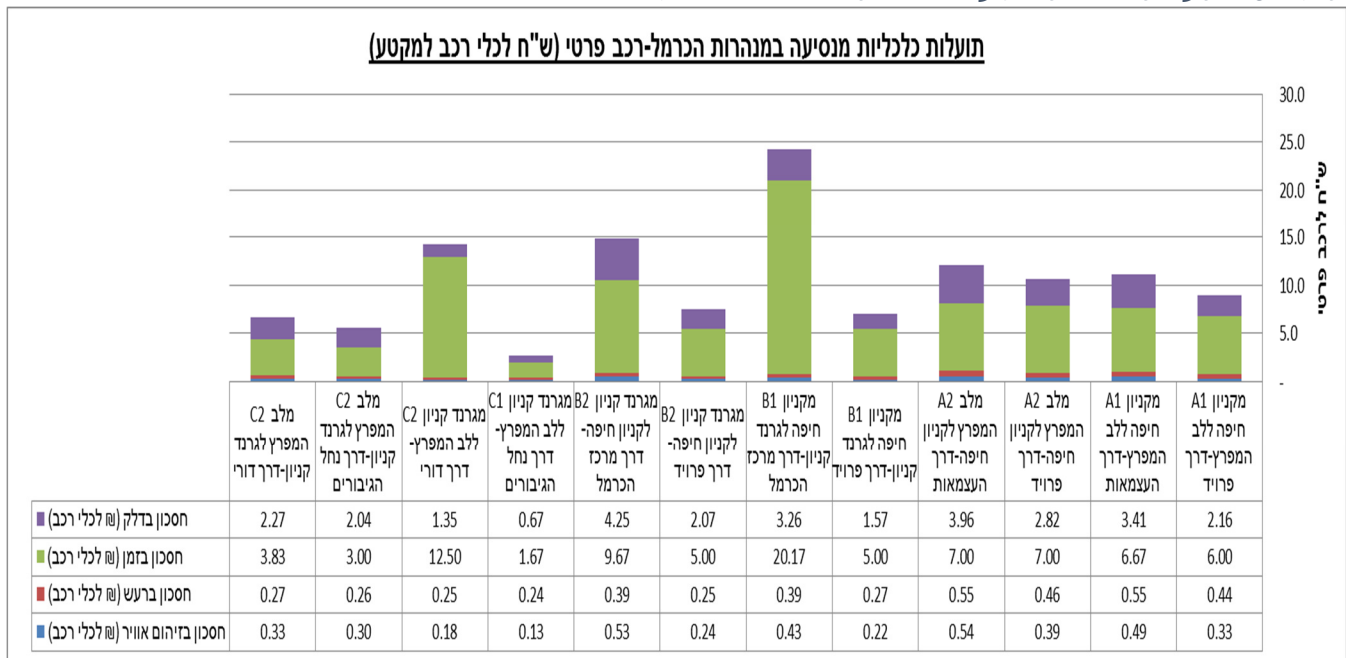
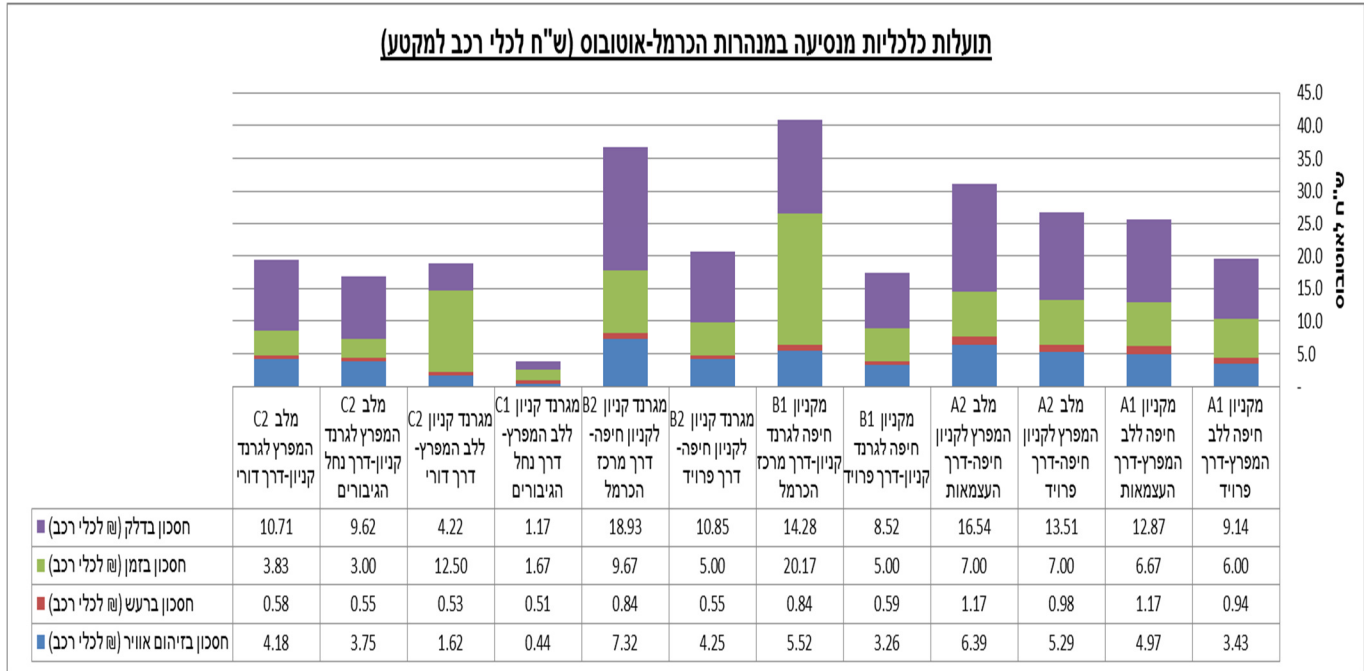
ניתן לראות שההפרש הגבוה ביותר, לטובת השימוש במנהרות, מתקבל בעת הנסיעה מקניין חפה לגרנד קניין דרך מרכז הכרמל (וגם בחזרה). ההסבר לכך נעוץ באורך הדרך ובשיפועים. הפרש זה יכול להגיע לערך של מעל 40 ₪ למקטע (עבור אוטובוס).

ההפרש הקטן ביותר, לטובת השימוש במנהרות, מתקבל בעת הנסיעה מהגרנד קניון ללב המפרץ דרך נחל הגיבורים. ערך זה מגיע לפחות מ 3 ש לרכב פרטי, פחות מעלות הנסיעה במקטע זה במנהרה.

בחינת מרכיבי העלות (המוצגים בתרשים 6,7,8) מצביעים על כך שבכל המקרים העלות הישירה (זמן ודלק) הם המרכיבים הדומיננטיים בחיסכון.

תרשים 6 - תועלות כלכליות מנסיעה במנהרות הכרמל - משאית





ניתן לראות הבדלים בתועלות בין משאיות ואוטובוסים שבהם התועלות הגבוהות מקורן בחיסכון בדלק ורק לאחר מכן חיסכון בזמן, בעוד שלגבי הרכבים הפרטיים – התועלות הגבוהות ביותר נובעות מחיסכון בזמן.

כמוכן, שרכבים כבדים (משאיות ואוטובוסים) המונעים בסולר גורמים להשפעות חיצוניות גבוהות יותר בהשוואה לרכבי הנזין פרטיים. במרבית המקרים, ההשפעות החיצוניות של רכבים פרטיים מהוות פחות מ 20% בהשוואה לרכבים הכבדים.

4.3 התועלות מנסיעה במנהרה בשעות השיא

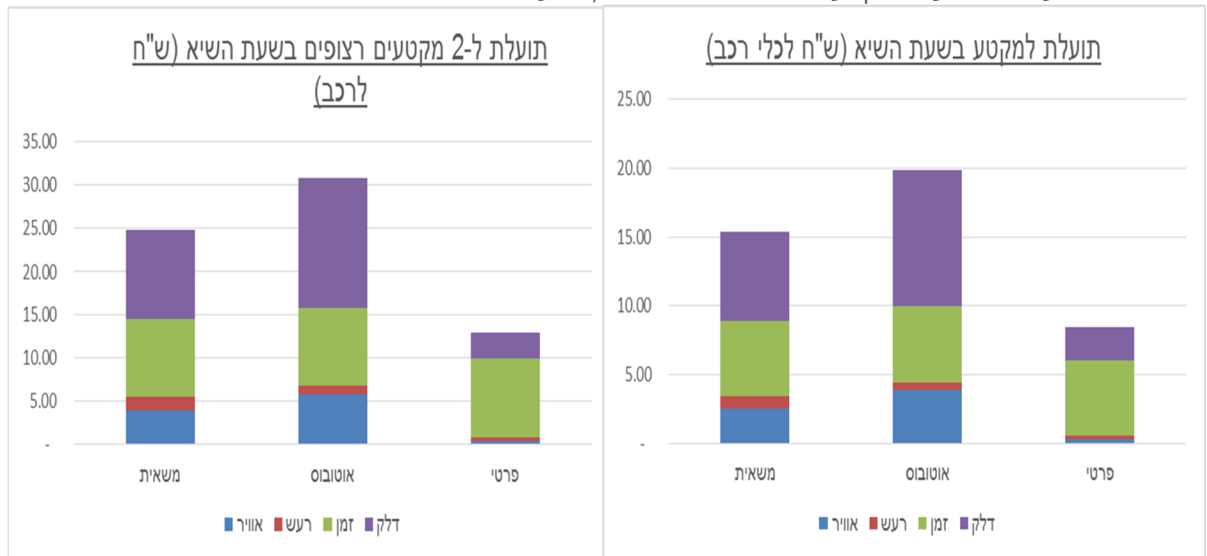
ביחס לשעות השיא (סביב השעות 8:00 ו- 16:00) כשהתנועה בנתיבים החלופיים עמוסה, עולה התועלת ומסתכמת ב- 8.46 ₪ למקטע אחד של מנהרה לרכב פרטי ול- 12.92 ₪ לרכב פרטי הנוסע בשני מקטעים רצופים של המנהרה, כמפורט להלן בטבלה 6.

טבלה 6: תועלת מנסיעה במנהרה בשעות השיא

נסיעה בשני מקטעים רצופים			נסיעה במקטע אחד			תועלת ממוצעת בשעת השיא (₪ לרכב)
פרטי	אוטובוס	משאית	פרטי	אוטובוס	משאית	
12.07	24.05	19.26	7.91	15.37	11.98	תועלות ישירות (חסכון בזמן- לנהג בלבד- וחסכון בדלק)
0.85	6.78	5.50	0.55	4.45	3.43	תועלות עקיפות (הפחתת זיהום אוויר ורעש)
12.92	30.83	24.76	8.46	19.83	15.40	סה"כ תועלות

הצגה גרפית מפורטת של רכיבי התועלת מוגשת בתרשים 9.

תרשים 9 - תועלות מנסיעה במקטע אחד או שניים רצופים, בשעות השיא



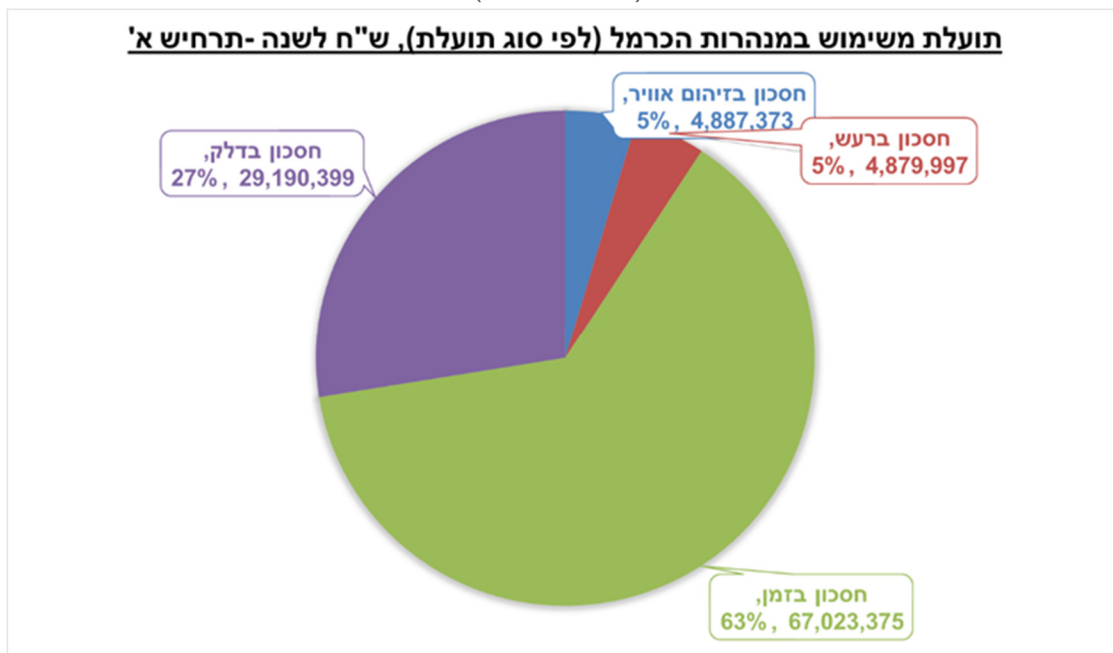
4.4 התועלות הכוללות למשק הנוצרות בזכות המנהרה

התועלת הכוללת למשק מהשימוש במנהרות הכרמל הינה נגזרת של היקף השימוש במנהרות. היקף הנסועה בפועל בשנת 2014 (1-12/2014) התקבל מחברת כרמלטון המפעילה את מנהרות הכרמל. היקף הנסועה השנתי מאפשר לכמת את התועלת השנתית הכוללת משימוש במנהרות.

ממצאי העבודה מעלים, כי סך התועלת השנתית שנוצרה כתוצאה מהשימוש במנהרות בשנת 2014, בהשוואה לנתיב החלופי הסביר ביותר (תרחיש א') עמדה על כ- 106 מיליון ₪, כאשר בהשוואה לנתיב החלופי הנוסף (תרחיש ב') התועלת השנתית אף גבוהה יותר ומסתכמת בכ- 189 מל"ח לשנה.

בתרשים 10 מוצגת סך התועלת משימוש שנתי במנהרות (ע"י כל סוגי הרכבים) בהשוואה לתרחיש הייחוס הסביר יותר מבין שני תרחישי הייחוס (תרחיש א').

תרשים 10 - תועלת שנתית משימוש במנהרה (לפי סוג תועלת) - בהשוואה לתרחיש א'

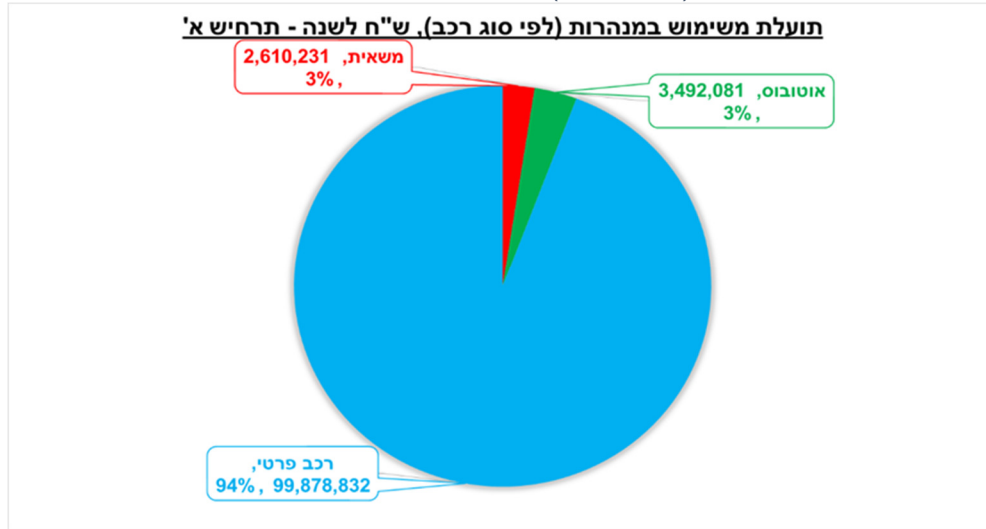


סך התועלת השנתית עבור השימוש במנהרות, בהשוואה לתרחיש א', הסביר, בשנת 2014 עמדה על 105,981,144 ₪.

החסכון בזמן לנהג מהווה נתח הארי - 63% מהתועלת וחסכון בדלק אחריו - 27% מהתועלת. התועלות החיצוניות - חיסכון בזיהום אוויר ורעש מהווים חלק קטן יותר מהתועלות (5% עבור כל אחד מהם), אולם תועלות סביבתיות ובריאותיות חשובות בעיני הציבור ואין להפחית בערכן, בעיקר לאור הדיון הציבורי הער לגבי איכות האוויר בחיפה.

למרות שהתועלות הגבוהות כתוצאה משימוש במנהרות נזקף לזכות הרכבים הכבדים, הרי שעיקר השימוש במנהרות נעשה ע"י רכבים פרטיים ולכן האחרונים מהווים למעלה מ- 90% מהתועלות הנזקפות לשימוש במנהרות, כפי שניתן לראות בתרשים 11 להלן.

תרשים 11 - תועלת שנתית משימוש במנהרה (לפי סוג רכב) – בהשוואה לתרחיש א'



בהנחה כי עלות הזמן הנחסך משקף את העלות השעתית הממוצעת במשק (40 ש), המודל מצביע על תועלות שבין 106 מלש"ח לשנה (לפי תרחיש א') לבין 188 מלש"ח (לפי תרחיש ב'). כלומר, תרחיש ב', הכולל מסלולי נסיעה ארוכים, איננו, באמת, רלוונטי להשוואה.

מאחר ומרכיב החיסכון בזמן הוא המשמעותי ביותר, במרבית המקרים, נערך ניתוח רגישות לחישוב התועלת כתלות בעלות שעת עבודה, כמוצג בטבלה 7 להלן.

השכר הממוצע במשק משקף 40 ש לשעה והוא נלקח כנתון על פיו חושבה התועלת מתוך הנחה כי סבירות גבוהה יותר קיימת לשימוש במנהרה של אדם המרוויח שכר ממוצע על פני שכר מינימום (שכן, הקטגוריה בעלת המשקל הגבוה ביותר של משתמשי המנהרות הם בעלי רכבים פרטיים).

ניתן לראות כי התועלת, לפי היקף השימוש בפועל במנהרות בשנת 2014, כתלות בעלות שעת עבודה (בין 25 ש לשעה המשקף את שכר המינימום לבין 70 ש לשעה), נעה בין 80 ל- 156 מלש"ח בשנה.

טבלה 7 להלן מציגה את התועלות השנתיות הכוללות מהשימוש במנהרה כאשר נלקח שכר שעה אחיד לנוסע לרכב פרטי, אוטובוס ומשאית. כאשר רק התועלת של הנהג כתוצאה מחסכון בזמן מוצגת בטבלה.

טבלה 7- ניתוח תועלות כוללת כתלות בשכר לשעה

ניתוח סך התועלות כתלות בשכר שעה (חסכון בזמן הנהג בלבד)		
עלות שעה (ש לשעה)	סך תועלות מתרחיש א'	סך תועלות מתרחיש ב'
25 (שכר מינימום)	80,847,378	140,133,492
30	89,225,300	156,308,982
35	79,603,222	172,484,960
40 (שכר ממוצע)	105,981,144	188,659,960
45	114,359,066	204,835,449
55	131,114,910	237,186,428
65	147,870,754	269,537,406
70	156,248,676	285,712,896

יחד עם זאת, כאשר מחשבים את התועלת השנתית כאשר עלות שעת משאית הינה 150 ש בממוצע וכאשר יש 20 נוסעים בממוצע באוטובוס (כולל הנהג), אזי, עולה התועלת השנתית בהשוואה לתרחיש א' ל- 125,859,621 ש ואילו בהשוואה לתרחיש ב' עולה התועלת אף לכדי 226,272,037 ש.

בנוסף, ניתן לתרגם את החיסכון בדלק גם לערכים כמותיים, ולמצוא כי סך הכול חסכו המנהרות 4.5 מיליון ליטר דלק בשנה (כ- 0.2% מכלל צריכת הדלק לתחבורה בישראל).

את החיסכון בזמן ניתן לתרגם לימי עבודה של המשק. סה"כ, קיצור משך זמן הנסיעה ע"י השימוש במנהרות הכרמל חסך לנהגים בלבד כמעט 200,000 ימי עבודה בשנה (מעל 1.675 מיליון ש"ע לשנה).

4.5. התועלות לתושבי חיפה כתוצאה מהנסיעה במנהרות הכרמל

יש לציין כי העבודה אומדת את התועלות של המשתמשים במנהרות, אך היא אינה אומדת את התועלות של אלו שלא נוסעים במנהרות, אך נהנים, למעשה, מנתיבים עמוסים פחות ומהפחתת גודש התנועה ברחבי העיר.

בנוסף, ניתן להעריך את התועלת של תושבי חיפה, המתגוררים לאורך נתיבי התחבורה, אשר נחשפים לתנועה נמוכה יותר, בהשוואה למצב שהיה עלול להתהוות אלמלא הוקמו המנהרות.

עפ"י נוהל פר"ת 2006 ניתן לחשב את היקף האוכלוסייה הנחשפת לרעש (מספר יחידות דיור, מספר נפשות ביחידה וטווח ההשפעה הוא עד 200 מטר) ולזיהום אוויר (מספר הנחשפים לריכוזים החורגים מהתקן).

בהערכת יתר ניתן לכלול, כ- 150,000 תושבים בחיפה המתגוררים בשכונות אשר סמוכות למנהרות או לנתיבים החלופיים שהוצגו בתרחישים השונים. מתושבים אלה נחשכים מטרדי זיהום האוויר והרעש כתוצאה מהסטת תנועה ועומסי תנועה מהדרכים הרגילות למנהרות.

סך התועלת הסביבתית, המתקבלת משיפור איכות האוויר ומצמצום הרעש (כמובן, ללא החיסכון בזמן ודלק, הנזקף לתועלת הנהג בלבד) הוא 9.6 מיליון ₪ בשנה. **כלומר, כל תושב בחיפה, הגר בסמיכות לנתיבים הנ"ל "מרוויח" 65 ₪ לשנה מעצם קיומה של המנהרה.**

חשוב גם לציין, כי אם המנהרות לא היו פועלות, היקפי התנועה, הזיהום והרעש היו עולים בהיקפים אותם מסיטה כיום המנהרות. כלומר, כל החישובים שהוצגו בעבודה זו כוללים את ההפרשים בין השימוש במנהרות ובין הדרכים החלופיות ולכן, איבוד הזמן, בזבז הדלק והנזק הסביבתי היו גבוהים בהרבה לעומת המצב הנוכחי.

5. סיכום

בעבודה זו נבדקו התועלות הכלכליות והסביבתיות, הנגרמות באופן ישיר ועקיף, כתוצאה משימוש במנהרות הכרמל בהשוואה לשימוש בנתיבים חלופיים בעיר חיפה.

השימוש במנהרות, בכלל ולתחבורה, בפרט, מאפשר ניצול יעיל יותר של תת הקרקע, הסטת עומסי תנועה ממרכזי ערים, צמצום פגיעה נופית של עורקי תחבורה העוברים בשטחים פתוחים ועוד, אולם ערכים אלה לא כומתו בעבודה.

התועלות הישירות למשתמש כוללות חיסכון כספי הודות לחיסכון בזמן וחיסכון בדלק התועלות העקיפות הנוצרות לציבור כתוצאה משימוש במנהרה כוללות חיסכון בזיהום אוויר ופליטת גזי חממה והפחתת מפגעי רעש.

בעבודה נבדקו הנסיעות בפועל במנהרות הכרמל בשנת 2014 בהשוואה לנסיעות בנתיבים אחרים בעיר. בכל החלופות שנבדקו עלתה התועלת בכל אחד מהפרמטרים הנ"ל (זמן, דלק, זיהום אוויר ורעש) בהשוואה לנסיעה עירונית חלופית.

באשר לשיפור איכות האוויר בעיר חיפה, נושא אשר עומד כיום בכותרות, תורמות המנהרות תועלת של כ- 5 מיליון ש"ח בהפחתת פליטות בשנה, מתוכם כ- 70% הינם חסכון בזיהום אוויר מקומי והיתרה בהפחתת גזי חממה. **לאור האמור לעיל, ניתן להשתמש במנהרות ככלי נוסף לצמצום זיהום אוויר מתחבורה במסגרת כל מדיניות ממשלתית שתאומץ.**

התועלות הגבוהות ביותר התקבלות במקרה של נסיעה באוטובוס ובמשאית, ותועלות קטנות יותר התקבלו בנסיעה ברכב פרטי. עיקר ההבדלים נובעים מצריכת דלק גבוהה של האוטובוס והמשאית ומסוג הדלק (דזל) הגורם לזיהום אוויר כבד יותר.

כאשר נבחנה התועלת למשאית בהתחשב בעלות שעת משאית של 150 ש"ח לשעה, כי אז כבר מגיעה התועלת מנסיעה במקטע אחד ל- 22.10 ש"ח ול- 37.69 ש"ח בשני מקטעים, בממוצע. כאשר נלקחת התועלת הכוללת של אוטובוס, על נוסעיו (20, כולל הנהג), מגיעות התועלות לנסיעה במקטע אחד לכדי 84.35 ש"ח ובשני מקטעים ל- 146.64 ש"ח.

מכאן, שמוצע לבחון, ברמה הממשלתית, דרכים לעידוד השימוש של אוטובוסים (על נוסעיהם) ומשאיות במנהרות על מנת להשיא את התועלות שהוצגו בעבודה, ולעודד - מבחינה כלכלית והסדרתית - כלי רכב אלה להשתמש במנהרות.

בעבודה נמצא כי קיימת תועלת הן לנהג המשתמש והן למשק כתוצאה משימוש במנהרות. כאשר נסיעה בשעת השיא ביממה ברכב פרטי שווה לעלות הנסיעה במנהרות. **מאחר ועיקר התועלת הנזקפת לזכות המנהרות נובעת משימוש ברכב פרטי, מוצע לבחון דרכים לעודד נסיעה, דווקא בשעות השיא, ע"י הסטת התנועה לכיוון המנהרות בשעות אלה.**

לסיכום ממצאי העבודה ניתן לרכז את התועלות למשק הנוצרות כתוצאה משימוש במנהרה בטבלה הבאה:

טבלה 8- ריכוז התועלות למשק כתוצאה משימוש במנהרה

היקפי החיסכון	לפי תרחיש א'	לפי תרחיש ב'
סך התועלות הנוצרות מהמנהרה	106 מלש"ח (ביחס לנהג בלבד) 126 מלש"ח (לכל הנוסעים באוטובוס)	188 מלש"ח (ביחס לנהג עצמו) 226 מלש"ח (לכל הנוסעים באוטובוס)
חיסכון בזמן	כ- 1.7 מיליון שעות לשנה שוו"ע לכ- 200,000 ימי עבודה לשנה לנהגים	כ- 3.2 מיליון שעות לשנה שוו"ע לכ- 380,000 ימי עבודה בשנה לנהגים
חסכון בדלק	כ- 4.5 מיליון ליטר דלק בשנה	כ- 7 מיליון ליטר דלק בשנה
חיסכון בפליטות גזי חממה	14,000 טון CO2e לשנה שוו"ע לחסכון בצריכת חשמל של כ- 1,850 משקי בית בשנה	כ- 19,000 טון CO2e לשנה שוו"ע לחסכון בצריכת חשמל של כ- 2,500 משקי בית בשנה
חסכון בזיהום אוויר ורעש לתושבי חיפה המתגוררים לאורך צירי התנועה	65 ש"ח לאדם כתוצאה מהפחתת זיהום אוויר ורעש (לפי 150,000 נפש)	88 ש"ח לאדם כתוצאה מהפחתת זיהום אוויר ורעש (לפי 150,000 נפש)

6. מקורות

בקר, נ., רחנטל, ג. גבאי, ד., 2012. חישוב העלויות החיצוניות של זיהום אוויר מתחבורה ומתעשייה בישראל. המשרד להגנת הסביבה.

השקו י., 2014. השפעת פתיחת מנהרות הכרמל על איכול האוויר בחיפה. תיזה מחקרית לתואר שני, בהנחיית אילון א., פליקשטיין ב., אוניברסיטת חיפה-הפקולטה לניהול.

שכטר, מ. ואילון, א. (עורכים), גרין, מ., סופר, ד., קוטיאל, ח., קליאוט, נ., קפלוטו, ג., שטרנברג, מ., ושכטר, מ. (אוגוסט 2012). מרכז ידע להיערכות לשינויי אקלים בישראל. דו"ח מס' 1- סכום ידע קיים וזיהוי פערי ידע מחקריים.

החטיבה לתכנון וכלכלה - רשות המיסים בישראל, 2008. דו"ח הוועדה הבין משרדית למיסוי "ירוק". ירושלים, ישראל.

משרד התחבורה ומשרד האוצר, 2006. הנחיות לבדיקת כדאיות פרויקטים תחבורתיים (נוהל פר"ת). ירושלים, ישראל.

אגף תכנון ופיתוח, 2002. ניצול המרחב התת קרקעי בישראל.

<http://www.land.gov.il/Osh/net/GetHtml.aspx?Sivug=211&Mezahe=2007&Girsa=1&Applic=409500&words=~&shem=%F0%E9%F6%E5%EC%20%E4%EE%F8%E7%E1%20%E4%FA%FA%20%F7%F8%F7%F2%E9>

חוק אוויר נקי התשס"ח 2008

Cowie, C. T., Rose, N., Gillett, R., Walter, S., Marks, G. B. (2012). Redistribution of traffic related air pollution associated with a new road tunnel. *Environmental Science and Technology*, 46(5): 2918-2927.

Mustapha, B. A., Blangiardo, M., Briggs, D. J., Hnasell, A. L. (2011). Traffic air pollution and other risk factors for respiratory illness in schoolchildren in the Niger-delta region of Nigeria. *Environmental Health Perspectives*, 119 (10): 1478-1482.

Lai, C.H., Peng, T.P. (2012). Volatile hydrocarbon emissions from vehicles and vertical ventilations in the Hsuehshan traffic tunnel, Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(7): 4015-4028.

Simmons, W. A., Seakins, P.W. (2012). *Estimations of primary nitrogen dioxide exhaust emissions from chemiluminescence NOx measurements in a UK road tunnel*. Science of the Total Environment, 438: 248-259.

The World Bank (2014). *Motor vehicles (per 1,000 people)*.
<http://data.worldbank.org/indicator/is.veh.nveh.p3>

Carmody, J. and Sterling, R., 1993. *Underground Space Design: A Guide to Subsurface Utilization and Design for People in Underground Spaces*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Hvidberg M, Jensen SS, Ketzel M, Sørensen M, et al. 2011. *Lung cancer incidence and long-term exposure to air pollution from traffic*. *Environ Health Perspect* 119:860–865; doi:10.1289/ehp.1002353.

Carta, F. and De Philippis, M., 2015. *You've come a long way, baby. Effects of commuting times on couples' labour supply*. Working Papers. Bank Of Italy

<https://www.waze.com/livemap> אתר WAZE

הנחיות לבצוע סקר סביבתי- זהום אוויר מתחבורה:

http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/SvivaAir/CarPollution/Documents/Seker_AirPollution_Transpotrati_on22014.pdf

חישוב מקדמי פליטה במישור ובשיפועים

<http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/SvivaAir/CarPollution/Pages/Regulations.aspx#GovXParagraphTitle3>

עדכון ערכי העלויות החיצוניות של מזהמי האוויר וגזי חממה (2015)

<http://www.sviva.gov.il/subjectsenvironment/svivaair/documents/airexternalcost/airpollutionvalue11.2.2015.pdf>

רעש מכלי רכב

<http://www.sviva.gov.il/subjectsenvironment/noise/noisesources/noisefromvehicles/pages/default.aspx>