קורס בהנדסת תנועה

כלכלת תחבורה וייישומיה



האם להקים?

באיזה מסלול ותצורה?

מתי?



שוקי כהן

22.3.2026

כלכלת התחבורה והשימושים בה

כלכלת התחבורה היא ענף בתורת הכלכלה.

היא מיישמת עקרונות כלכליים במסגרת ניתוחים כמותיים בתחום התחבורה והשלכותיה.

כלכלת התחבורה מכוונת להקצאה רציונלית של משאבים בהשקעות בתשתית תחבורה, להקצאת משאבים לתחזוקת התשתית, ולהפעלת מערכות התחבורה.

התמחויות (מגזרות ואזורים מסויימים ועד למדיניות הפיתוח):

- **הכוונת פיתוח תשתית התחבורה**
- **הכוונת פיתוח והפעלה של תחבורה ציבורית**
- **כלכלת בטיחות**
- **ניהול ביקושים לתחבורה**
- **אופטימיזציה באחזקת התשתית (במיוחד של מערכת הכבישים)**
- **ועוד**

ההתמודדות העיקרית של כלכלת התחבורה

הקצאת משאבים רציונאלית היא כזו המאפשרת מקסימום תועלת מיחידת השקעה.

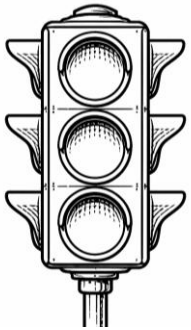
היא מחייבת:

- בחירת "סל" פרוייקטים הממקסם את התועלת ממשאבים שניתן להפנות אליהם.
- קביעת עיתוי להשקעה בכל פרוייקט
- עיצוב נכון לכל חלופה ולבסוף לחלופה הנבחרת
- בחירת חלופות לפרוייקטים מוצעים

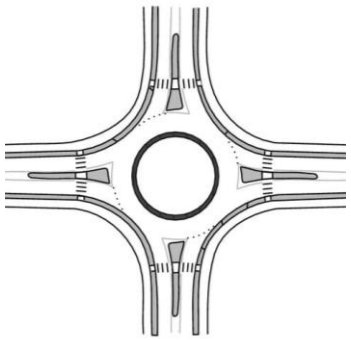
ההתמודדות העיקרית של כלכלת התחבורה היא עם הערכת התועלות שניתן להפיק מפרוייקטים נבדקים. היא אינה פשוטה להערכה ע"פ נתוני ההווה, על אחת כמה שנדרשת גם הערכת התועלות לאורך עשרות שנות חיי הפרוייקט.











מה אנו מצפים ממערכת התחבורה?

- ✓ שתאפשר ניידות במרחב באופן מהיר ונוח.
- ✓ שתאפשר מרחב בחירה גדול של תעסוקה, מוסדות לימוד, שירותים ובילוי.
- ✓ שתהיה בטוחה ואמינה.
- ✓ שתהיה זמינה בכל עת ולכל יעד.
- ✓ שתהיה ידידותית לסביבה: ללא זיהום אויר ורעש, ללא פגיעה בנוף.

התועלת מהשקעה בתחום התחבורה, או משינוי במאפייני השימוש בה, נאמדת לפי המידה בה היא תורמת לשיפור בכל אחת מהנקודות שלעיל ובשקלול שלהן ביחס לחלופת אי ביצוע ההשקעה/ שינוי.

מדידת התועלת מחייבת כימות לרוב לערכים כספיים של ההוצאה הנדרשת להקמה ותחזוקה, ושל ביצועי מערכת התחבורה עם ההשקעה ובלעדיה, לרבות בחינת השלכות חיצוניות, כגון על משתמשי דרך המושפעים בעקיפין, או בתחומי הבטיחות וזיהום האויר.







מהי נסיעה?

נסיעה היא אחת משתי הצורות של ביצוע אינטראקציה במרחב:

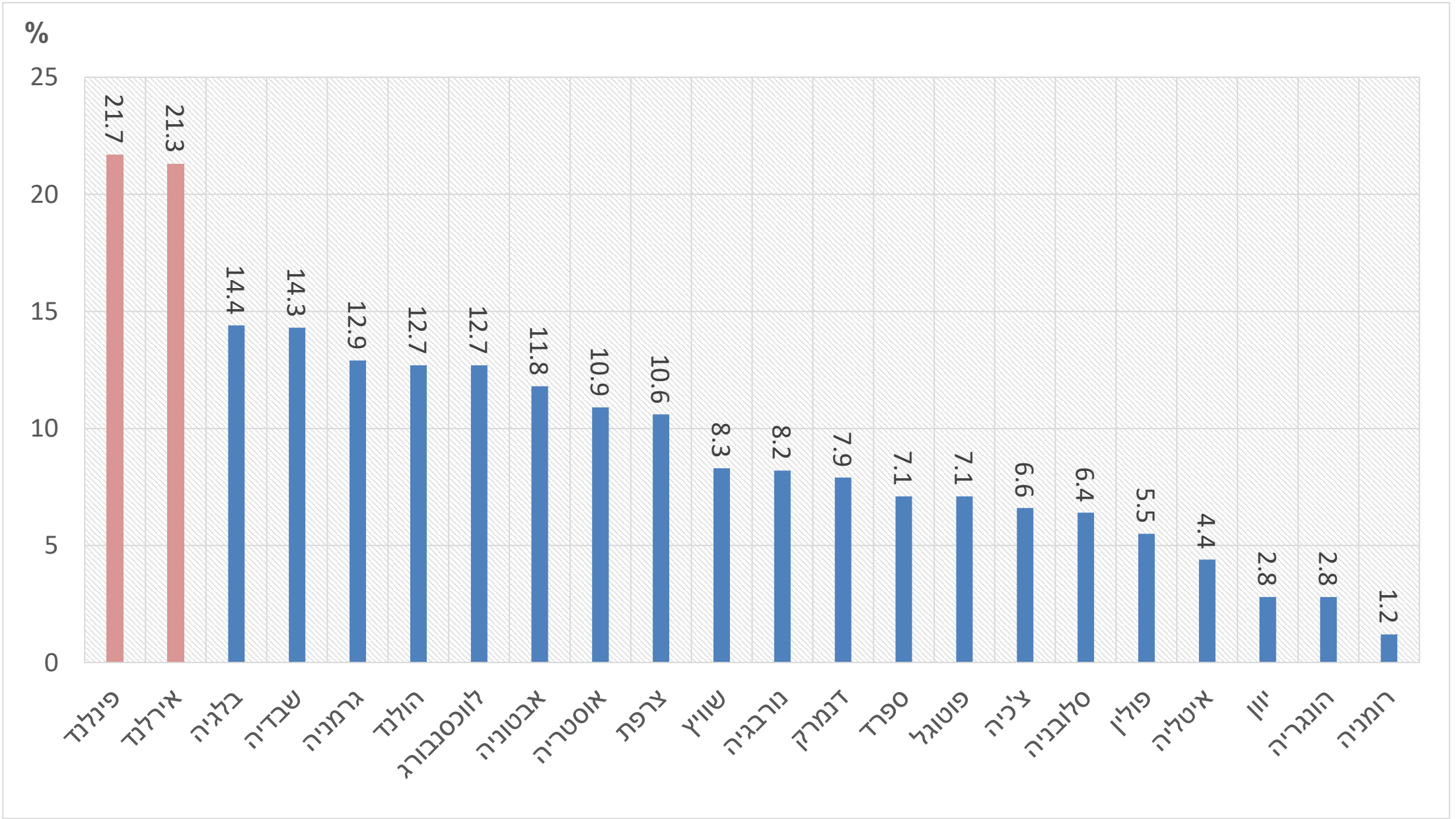
- ע"י פעילות מרחוק מבלי לשנות מיקום במרחב.
- ע"י תזוזה פיזית מאזור מוצא לאזור בו מתבצעת הפעילות.

החלוקה בין שתי הדרכים לביצוע האינטראקציה היא פועל יוצא של אופי הפעילות הנדרשת, של הטכנולוגיה ושל הטמעתה באורח החיים וההתנהגות האנושית. הערכה היא שבעתיד חלק גדול בהרבה מהנוכחי יעשה בסייבר.





שיעור העובדים מרחוק בארצות אירופה ב 2023



בחינת תועלות למשק הלאומי

התועלת הנמדדת היא החסכון במערך העלויות הכולל למשק כתוצאה מביצוע השקעה/ מהלך בתחום התחבורה בהשוואה לאי ביצועו ("חלופת אפס").

לרוב נאמדת תועלת זו במספר חלופות ביצוע, ונמדדת התועלת היחסית של כל החלופות כנגד "חלופת האפס" וזו כנגד זו.

ההשקעה בתשתית תחבורה וכן האחריות על ניהולו היא ציבורית והתועלת נמדדת במונחים של עלויות ותועלות למשק הלאומי.

עקרונות התחשיב במונחים אלה:

ניכוי כל המיסים העקיפים מעלויות ההקמה ומהתפעול של כלי הרכב.

הפרדה בין עלויות הנובעות מביצוע עבודה לבין העברות כספים בין גורמים שונים, שאינן כרוכות בתשומות עבודה.

עלות למשק מול עלות למשתמש

מבנה מחיר בנזין 95 אוקטן למשק במרץ 2026

סעיף	₪ לליטר	%
מחיר בשער בית הזיקוק	1.71	24.3%
הוצאות שיווק	0.64	9.1%
בלו	3.60	51.3%
מע"מ	1.07	15.3%
סה"כ	7.02	100.0%

רוכש הבנזין משלם 7.02 ₪ לליטר בשירות עצמי, אך מחיר הבנזין למשק הוא 2.35 ₪ לליטר, 33% ממחירו לצרכן. גם על הסולר מוטל מס גבוה, ומחירו למשק דומה בערך לזה של הבנזין.

ברכישת רכב פרטי מונע בבנזין מרכיב המס העקיף הוא 45%-53% מהמחיר הרכב בהתאם לארץ הייבוא ולדרגת הזיהום. ברכב חשמלי המיסים מהווים כ 40% ממחיר הרכב. גם חלפי הרכב ממוסים.

מיסים עקיפים אלה מנוכים מהתחשיב הכלכלי בבדיקות כדאיות למשק.

בנוסף לכך לא מובאים בחשבון תשלומי העברה. לדוגמא: פיצוי על הפקעת קרקע אינה עלות למשק אלא תשלום העברה. בתחשיב הכלכלי יובא בחשבון ערך אחר: השווי החלופי של הקרקע.

עקרון הכוללניות בבדיקות הכלכליות



האם הוספת מחלף באזור עם גודש בשעות השיא יכולה להיות בעלת תועלת למשק?



המחלף לא יוכל לתרום במקרים רבים לשיפור זרימת התנועה בשעות השיא לכיוון התנועה העיקרי, ועדיין יכול לתרום למשק בגלל עקרון הכוללניות:

המחלף יכול לצמצם זמני נסיעה ועלויות תפעול:

- בשעות השיא בכיוון המישני (לרוב כ 60% ויותר מהתנועה לכיוון העיקרי).
- בשעות השפל ביום (שהם שעות השיא לתנועת הרכב המסחרי ותנועת המטענים)
- בערבים (בין 19:00 ועד בלילות ועד 23:00)
- בסופי שבוע והחגים

התנועה בשעות השיא ובכיווני השיא מהווה גם במטרופולינים <u>רק כשישית</u> מכלל הנסועה השבועית.

חשיבות שעות השפל בתחשיב הכלכלי

האם יש מקום להשקיע עבור נסיעות בשעות שפל, לילות, וסופי שבוע? – בעקרון כן, התנועה בשעות השפל ובערבים, ובחלק משעות סופי השבוע רבה מאוד והייתה מתפוקקת בדרכים לא מעטות אלמלא הרחבות התשתית שנעשו לכאורה לשפר זרימת תנועה בשעות וכיווני השיא.

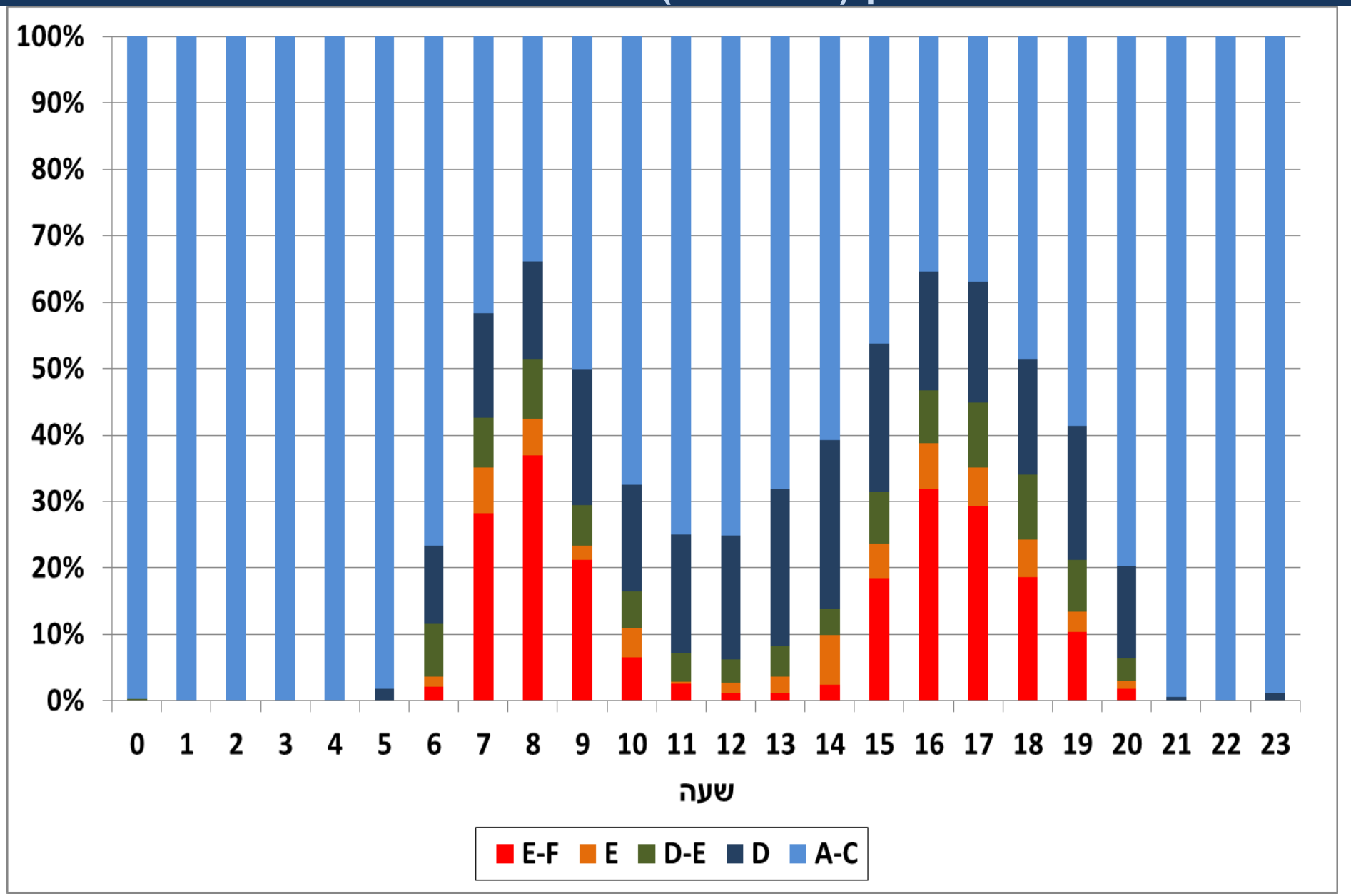
שעות השפל ביום מהוות את שעות השיא של תנועת המטענים והרכב המסחרי, ומאפייני הביקוש של הנוסעים שונים מאשר בשעות השיא, מפוזרים וקשים לשירות בתח"צ.

את יעילות התנועה לכיוון העיקרי בשעות השיא ניתן לשפר בכלים של ניהול תנועה וביקושים במגמה לעודד מעבר לתח"צ, להגדיל את מקדם המילוי של כלי הרכב או להסיט את זמן הנסיעה מעבר לשעות הגודש.

ניתוח לפי המוצג לעיל מחייב הערכת ביקושים לאורך רוב שעות היממה ולא רק בשעת שיא הבוקר או אחה"צ.

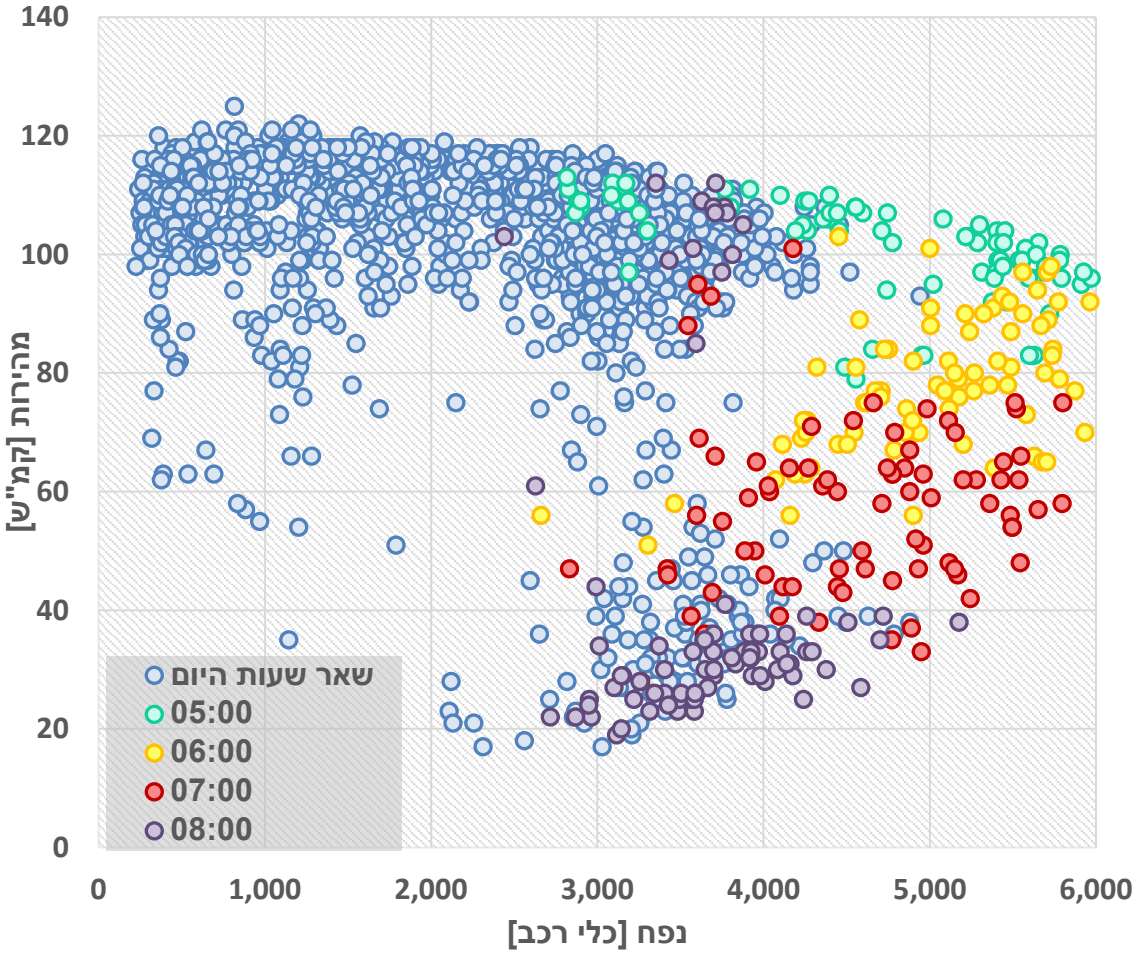
התפלגות שעות היר"מ הבין-עירוניות ב 2016 ע"פ רמות שירות ושעות יום

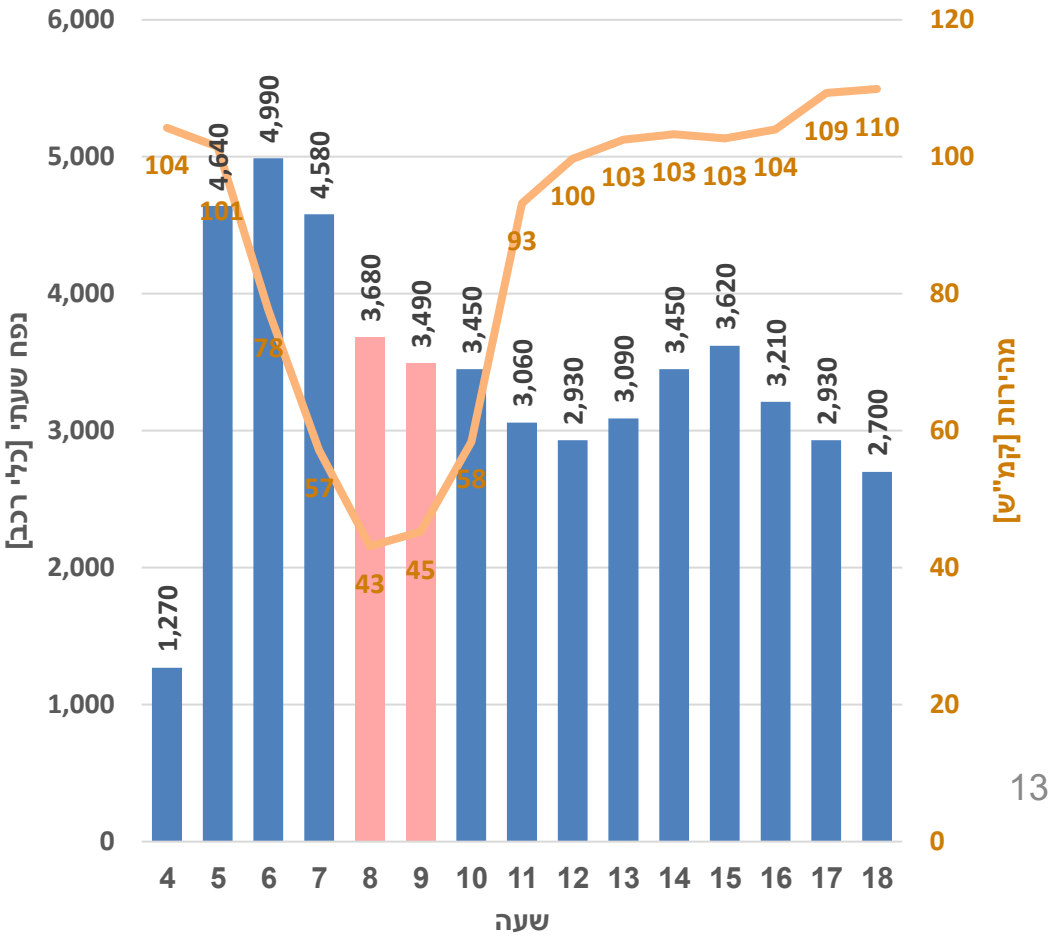
בימי א'-ה' - תוצאות ניטור מהירויות שוטף לפי "גוגל" ב 4,300 ק"מ של הרשת הבין עירונית בארץ (1-3 ספרות) לפי מאי ויולי 2016



נתוני תנועה בכביש 6

עקומת נפח-מהירות בקטע ניצני עוז - אייל לכיוון דרום בימי א'-ה' בחודש 05/2025

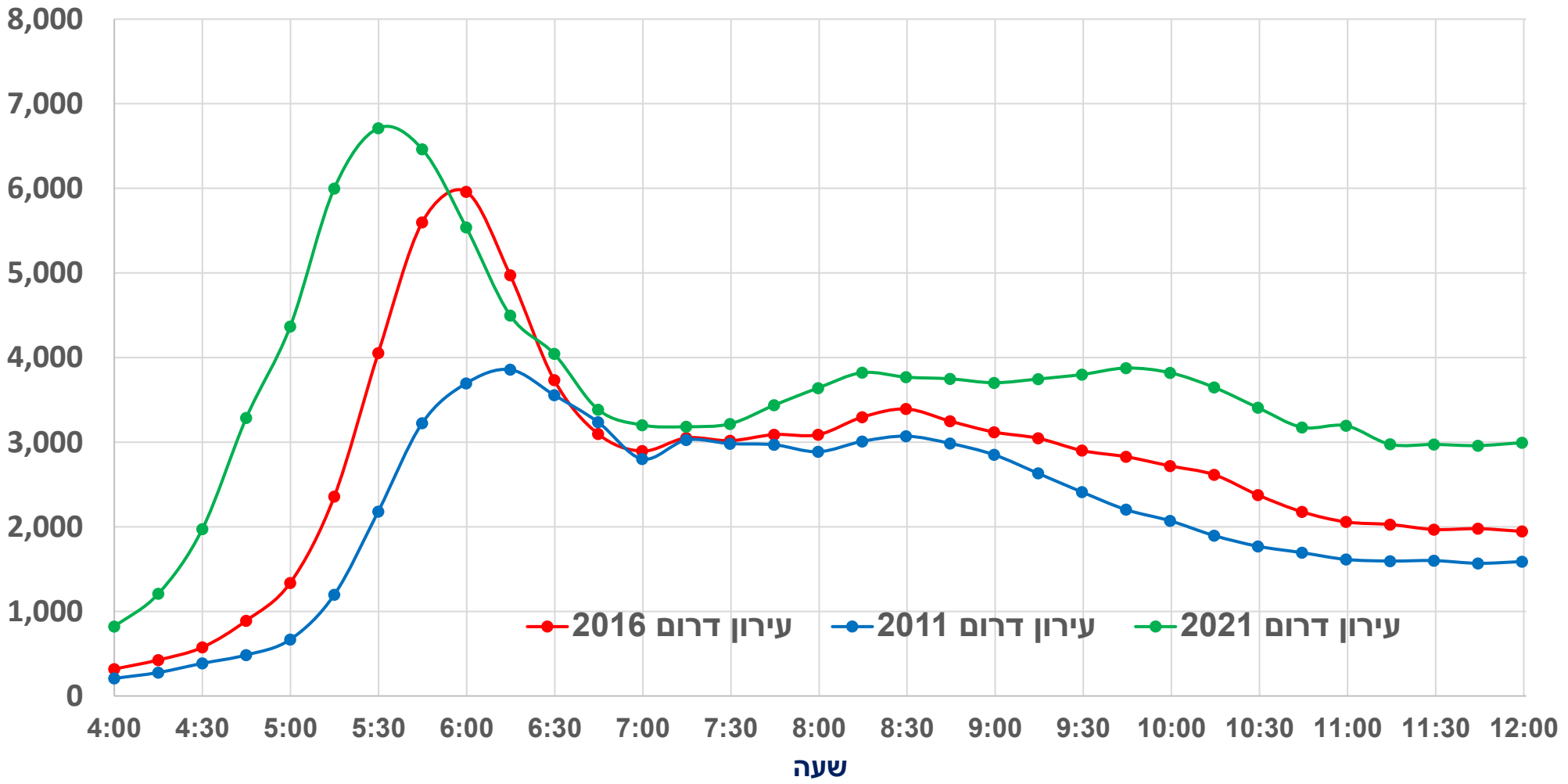




מקור: נתוני הזכיין

התנועה בכביש 6 לדרום בין מחלפי עירון לבאקה –
נפחים שעתיים בחודש נובמבר בבוקר בשנים 2011,2016,2021

ב 2021 נפח התנועה הגיע לשיא ב 5:30 בבוקר (הקו הירוק)- הביקוש עבר לזמן קצר את הקיבולת, חלה קריסה ביכולת ההעברה שתוצאותיה היו ירידה חדה בהיקף התנועה. התופעה היתה מתונה יותר ב 2016 (הקו האדום). שיא הביקוש הוקדם ב 2021 ל 5:30 בבוקר!



נוהל פר"ת

נוהל פרוייקטים תחבורתיים (נוהל פר"ת) הוא נוהל משותף למשרדי התחבורה והאוצר. מטרתו להשיג אחידות בבדיקות הכדאיות הכלכלית בתחום התחבורה, ובערכים מתואמים עם ענפי משק אחרים.

נוהל ראשון כזה נוצר ב 1996, ועדכונו המלא האחרון, שכלל תוספות רבות, נעשה ב 2012. מרכיבים שונים שלו התעדכנו מאז. נוהל מקיף מעודכן פורסם ב 2021.

הנוהל יוצר אחידות במתכונת הבדיקה הכלכלית ובמקדמי הבדיקה בין פרוייקטים שונים ובוחנים שונים, כשכולם נעשים לפי ערכי זמן דומים של הנוסעים, עלויות תפעול זהות בין הבדיקות בכל אחד מסוגי הרכב ועוד.

גם שערי הריבית, בחינות הרגישות, ההתייחסות לאורך חיי הפרוייקט נקבעו בנוהל (בהתאם לאופי הפרוייקט) ומחייבים בכל בדיקת כדאיות למשק של השקעות בתשתית תחבורה.

מתודולוגיה ומקדמים המוצגים בשקפים הבאים לקוחים מנוהל פר"ת.

התועלות הנמדדות

התועלות העיקריות הנמדדות הן:

- שווי החסכון בזמן במונחי שעות משתמשי הדרך (כבישים ומסילות). הזמן אמור להימדד במונחי נסיעה מדלת לדלת ולא רק בנסיעה בכלי הרכב (משמעותי במיוחד בתח"צ)

- חסכון בעלויות תפעול - (במחירים למשק) של כלי הרכב כתוצאה מהעלאת מהירות הנסיעה (ב"פקק" העלות לק"מ נסיעה גבוהה יחסית והיא קטנה ככל שהמהירות גדלה. האופטימום בכ 60-80 קמ"ש).

- חסכון בזיהום אויר - שינויים בהיקף הנסועה ובמהירותה משנים את פליטות המזהמים. התועלת בתחום זה ניתנת לכימות.

- תועלות בטיחותיות אפשריות - להרחבת כביש חד מסלולי לדו מסלולי יש תועלת בטיחותית ברורה, כנ"ל להפרדות מפלסיות בצומת, לרוב יש יתרון מובהק להסבת צומת למעגל תנועה ועוד.

- תועלות אפשריות נוספות: חסכון בעלויות חניה, צמצום רעש, הגדלת פריון ע"י שיפור נגישות לאזורי תעסוקה, שיפור בשוויוניות בין חלקי האוכלוסייה (בעיקר בהשקעה בתח"צ) ועוד. תועלות אלו נאמדות בפרוייקטים מסויימים.

שינויים ברווחת הנוסע

הנוסע מעוניין בנסיעה קצרה בזמן, נוחה וזולה. מטרת הכלכלה הלאומית היא להגדיל את רווחת כלל האוכלוסייה. חסכון בזמני נסיעה תורם לכך, אך גם שינוי בנוחות הנסיעה ובאמינותה.

הנוסע מעוניין:

- בנוחות גבוהה של אמצעי הנסיעה (שטף נסיעה, צפיפות, ויברציות)
- בצמצום זמני הליכה והמתנה הכרוכים בנסיעה. המחיר במונחי רווחה של דקת המתנה גבוה משל דקת נסיעה.
- בצמצום מספר המעברים ("טרנספרים") במהלך הנסיעה.
- באמינות לגבי זמני ההגעה ליעד.

יש מקדם רווחה שונה לכל אמצעי או צורת נסיעה. לדוגמא, דקת נסיעה באוטובוס עירוני "עולה" במונחי רווחה יותר מאשר דקת נסיעה ברכבת (גם צפופה) או ברכב פרטי.

מודל פיצול נסיעות בוחן את פונקציית התועלת של הנוסעים ויכול לבטא במונחים כספיים את התועלות משינוי ברווחת הנוסע. לפי שעה נעשו שימושים מוגבלים בכך בניתוח תועלות של פרוייקטים תחבורתיים.



מודל פיצול הנסיעות

- המונח "פיצול נסיעות" מכוון בדרך כלל לשיעורי הנסיעות בתח"צ ובאמצעים פרטיים מכלל הנסיעות. בניתוח מלא ובחיזוי הסתברויות התנהגותיות בעתיד צריך להתייחס לאפשרויות נוספות:
  - **"נסיעה" בסייבר – פעילות בסייבר המחליפה נסיעת במערכת הדרכים לעבודה, פגישות, לימודים צריכת שירותים ועוד.**
  - **אפשרות לשינוי בעיתוי הנסיעה או ביעדה.**
  - **אפשרות לביטול הנסיעה.**
- כל האפשרויות, לרבות הנוספות לעיל, יכולות להימדד באמצעות מודל פיצול. זהו מודל כלכלי התנהגותי הבוחן את הסתברות הבחירה של נוסעים שונים באמצעי תחבורה שונים.
- קיימת בו סגמנטציה בין סוגי נוסעים שונים, למשל לפי זמינות הרכב הפרטי.
- המודל בוחן את "מטרדי הדרך" (disutilities) של הנוסע בנסיעה בין מוצא ליעד נתון ולפי שעת היום, בסימולציה מלאה של מסלול נסיעתו קטעי הנסיעה וזמניהם. צריך להיות ייצוג גם לאפשרויות ולעלויות "נסיעה בסייבר", הסטת זמן, הירידה בתועלת/ רווחה כתוצאה מביטול נסיעה.
- תכונות הנסיעה מתורגמות לדקות נסיעה ברכב, לרבות: מחיר הנסיעה (לפי התפלגות ערכי זמן של הנוסעים), אי הנוחות של הליכות, המתנות (דקת המתנה נחשבת לרוב לשתי דקות נסיעה), מעברים וכדומה. התרגום מבטא יחסי העדפה בין תכונות הנסיעה של נוסעים שונים.
- לבסוף מוערכת הסתברות השימוש לכל קבוצת נוסעים בכל אמצעי על פי סכום מטרדי הדרך שלו בעיניהם. ככל שסכום מטרדי הדרך באמצעי/ דרך פעילות מסויים נמוך יותר כך סיכויי הבחירה בו גדלים.



מודל מקובל לפיצול בין אמצעי תחבורה בלבד (לוג'יט)

$$P_i = \frac{e^{V_i}}{\sum_{i=1,n} e^{V_j}}$$

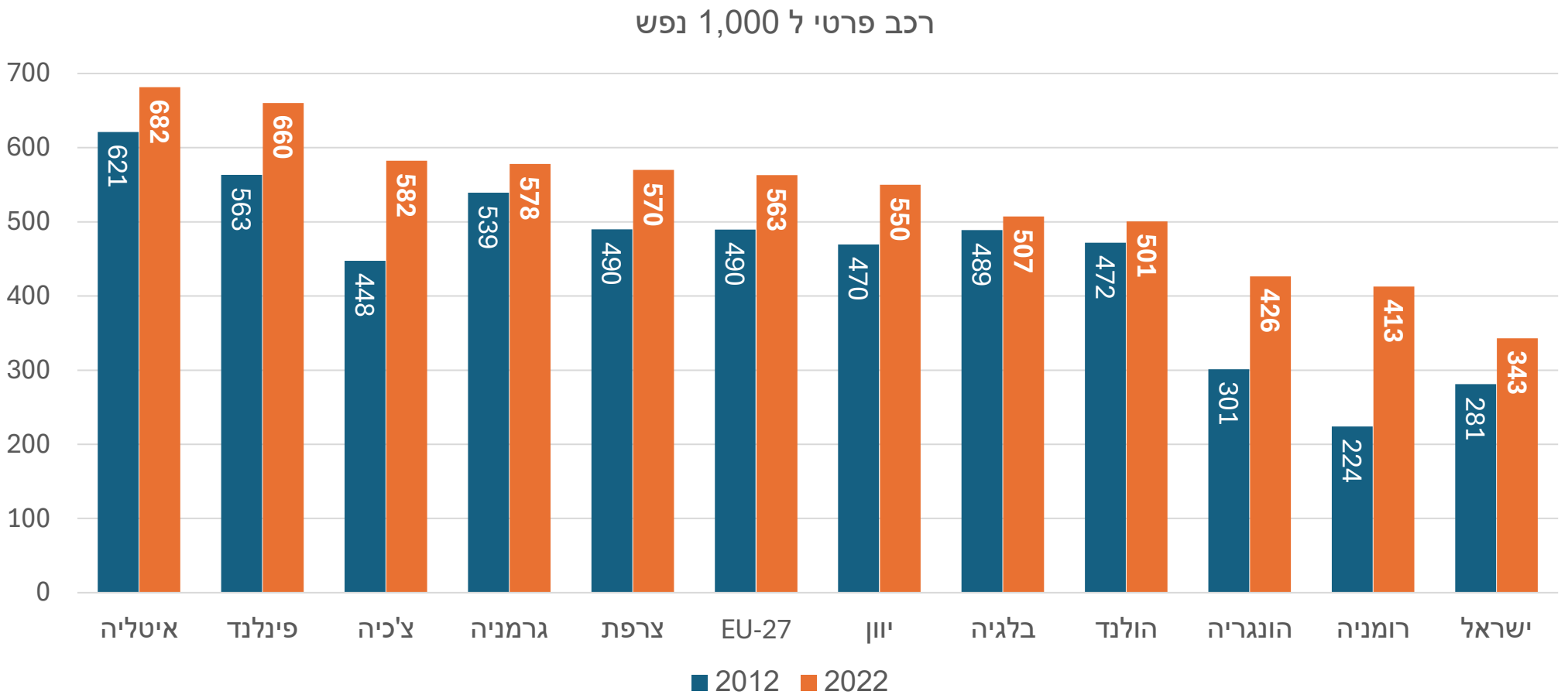
P_i– ההסתברות לבחור באמצעי מסויים

V_i– התועלת (Utility) של אמצעי i

n - מספר האמצעים/ חלופות

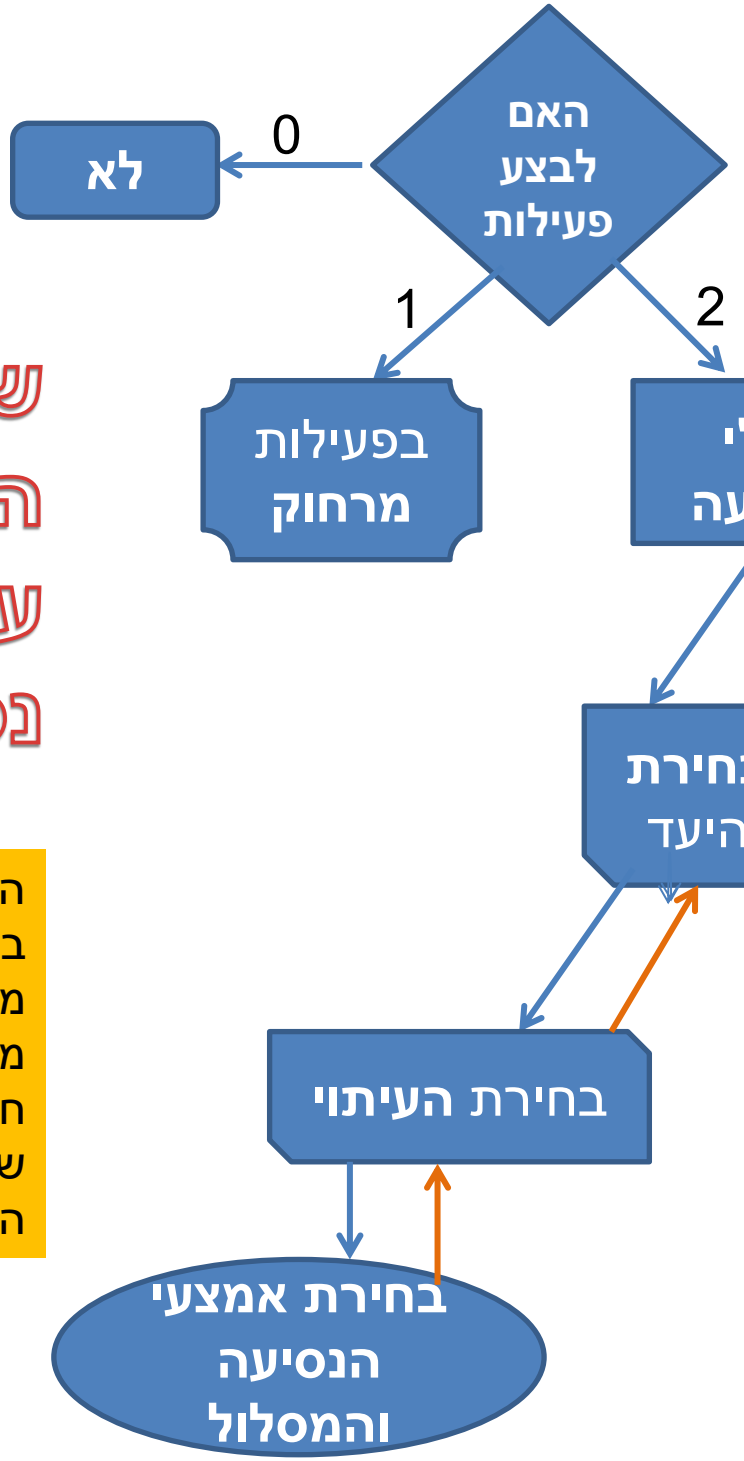
$V_i = at_i + bw_i + cl_i + d(t_i + w_i + l_i) + ex_i$

רמת מינוע במדינות הקהילייה האירופית ובישראל בשנים 2012 ו 2022



מקור:
'TRANSPORT IN FIGURES 2024, EUROPEAN UNION

שרשרת ההחלטות על ביצוע נסיעה



החלטה 1- האם לבצע פעילות של אינטראקציה מרחבית בדרך כלשהי

החלטה 2- האם לנסוע או לבצע את הפעילות מרחוק (כשאפשר)

החלטה 3- לאן לנסוע למטרה הנתונה- יש גמישות גדולה בטווח הארוך בבחירת היעד

החלטה 4- מתי לבצע את הנסיעה

החלטה 5- באיזה אמצעי לבצע את הנסיעה ליעד ובעיתוי שנבחרו

ההחלטות נעשות במשולב, מושפעות מתנאי רקע, ומשתנות משלב 1 עד 5 או חלקית (למשל: בין שלבים 3-5) עם השתנות תנאי הרקע.

בדיקה כלכלית בביקוש קבוע או משתנה

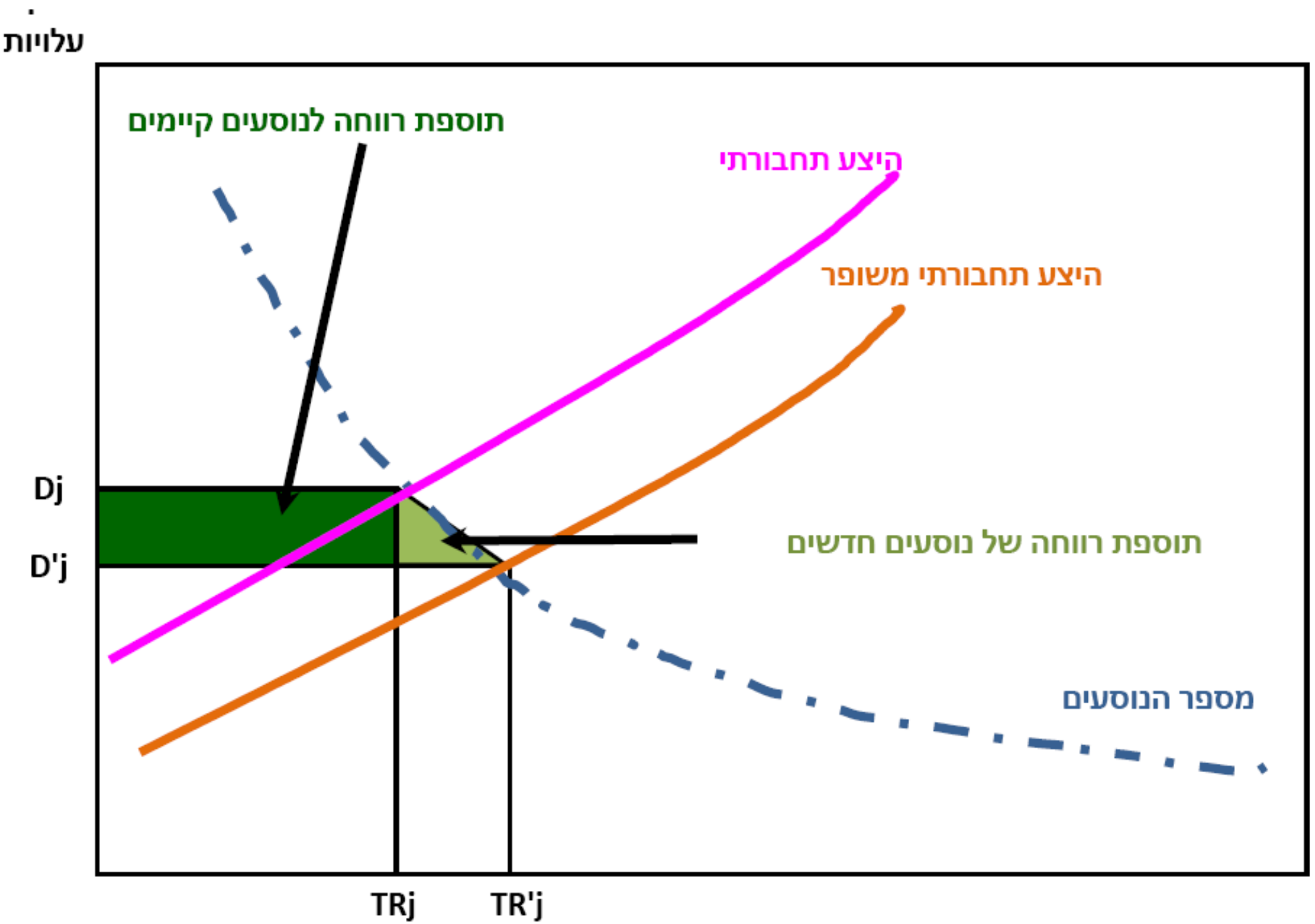
פרוייקט תחבורתי יכול להיטיב עם נוסעים קיימים, וגם יכול להוסיף נוסעים ונסיעות.

הבדיקות הכלכליות מזהות הסטות בין מסלולי נסיעה כתוצאה מביצוע פרוייקט, או מעבר בין אמצעי תחבורה, אך לרוב לא מביאות בחשבון הסטות זמן כתוצאה מביצוע פרוייקט, שינוי בפילוג נסיעות במרחב, ואף יצירת נסיעות חדשות.

נסיעות אלו לא היו נוצרות אלמלא היתה בכך תועלת. ניתן למדוד את תועלתן לפי "עודף הצרכן".

בחינות התועלת הנערכות כיום בארץ נערכות במטריצת (טמ"י) נסיעות קבועה, אך "עודף הצרכן" כלול בנוהל פר"ת ומובא בחשבון בחלק מהבדיקות.

עודף הצרכן


עלויות
תוספת רווחה לנוסעים קיימים
היצע תחבורתי
היצע תחבורתי משופר
Dj
D'j
תוספת רווחה של נוסעים חדשים
מספר הנוסעים
TRj
TR'j

העלויות הנמדדות

ההשקעה הנדרשת.

הנזק (כשקיים) מהפרעות לתנועה במהלך ההקמה.

עלויות תחזוקה שנתיות. בכבישים: תיקונים במיסעה ובמתקני דרך, ריבוד תקופתי, תאורה ועוד. במסילות: תחזוקה יומית ורב שנתית של המסילה והתחנות. תחזוקת מערכת ההזנה החשמלית במסילות מחושמלות.

"ערך הגרט" – שווי הפרוייקט בשנה האחרונה אליה מתייחס התחשיב הכלכלי. מוצג בתחשיב כהשקעה שלילית.

כל העלויות והתועלות מובאות בחשבון בהתאם לשנת ההוצאה/ תועלת ומהוונות לשנת בסיס בשער ניכיון (ריבית ריאלית) מוסכם.

תועלות מיידיות מול תועלות עתידיות

תועלת או עלות בשנה n תהיה: $A/(1+r)^n$

- כאשר A היא התועלת/ עלות בשנה n ו r הוא שער הריבית.

התחשיב נערך לנקודת הזמן של תחילת ההשקעה.

שימוש בשערי ריבית אלה גם מקהה את חשיבות ההחלטה על אורך חיי הפרוייקט.

תחשיב זה מפחית מחשיבות השנים העתידיות ככל ששער הריבית גבוה יותר. לדוגמא: תועלת של 1.00 ₪ בשנה ה 15 תחושב כשווה בהווה ל 0.36 ₪ בריבית של 7% ושל 0.13 ₪ בשנה ה 30.

שער הריבית מבטא את "מחיר הכסף" -השווי החלופי של המשאבים המופנים לפרוייקט.

מבנה ניתוח עלות-תועלת רב שנתי -עבור כביש מקומי

(תחשיב ל 15 שנות הפעלה)

שער ריבית .7% :

ערך נוכחי נקי בדוגמא : 519,

שיעור תשואה פנימי : 12.5%

תקופה	שנה	השקעה	הפרעות לתנועה	תחזוקה	תועלות	סה"כ שוטף	סה"כ מהוון
הקמה	0	-200	-10			-210	-210
	1	-250	-15			-265	-231
	2	-250	-20			-270	-220
	3	-300	-15			-315	-240
הפעלה	4			-15	150	135	96
	5			-15	160	145	97
	6			-15	172	157	98
	17			-15	256	241	71
	18	500		-15	265	750	207
סה"כ		-500	-60	-225	3,111	2,326	519
סה"כ מהוון		**-700**	**-50**	**-136**	**1,800**	**519**	

מדדי תועלת עיקריים

ערך נוכחי נקי – NPV- התועלת הרב שנתית מההשקעה לאחר ניכוי עלויות ההקמה והתחזוקה במונחים מהוונים. חייב להיות גבוה מ 0 כדי להצדיק את ההשקעה.

היחס בין התועלת לעלות B/C. היחס חייב להיות גבוה מ 1 כדי להצדיק את ההשקעה.

שיעור תשואה פנימי IRR – שיעור הריבית השנתית עבורו מתקיים שוויון בערכים נוכחיים בין התועלות הנובעות מהפרוייקט לבין העלויות הנובעות ממנו. חייב להיות גבוה משער הניכיון. ככל ששיעור התשואה גבוה יותר הפרוייקט מועיל יותר.

שנת התועלת הראשונה- היא השנה שבה התועלת הנקייה שווה או גבוהה מהריבית על ההשקעה. רצוי ששנה זו תהיה קרובה ככל האפשר לשנת פתיחת הפרוייקט. מצב אחר מלמד על כך שעיתוי ההשקעה מוקדם מידי.

ערך הזמן- נוהל פר"ת 2021

- ערך זמן אחיד לכל נוסע ללא תלות בגילו, הכנסתו או אזור מגוריו (נספרים נוסעים מגיל 8).
- קיימת, עם זאת, דיפרנציאציה לפי מטרות הנסיעה:
  - ערך הזמן בנסיעות במסגרת העבודה נקבע לפי העלות למעביד בממוצע לשעת שכיר במשק ופרמטרים נוספים. ערך זה היה כ 115 ₪ לשעה ברבעון האחרון של 2024.
  - ערך הזמן בנסיעות לכל מטרה אחרת, לרבות בנסיעה אל ומהעבודה, ללימודים, פנאי ועוד מחושב לפי 30% מערך הזמן בנסיעות במסגרת העבודה. ברבעון האחרון של 2024 הוא היה כ 34 ₪ לשעה.

תחשיב ערך הזמן
ממוצע לרבעון האחרון של 2024 (ש"ח)

שכר עבודה חודשי ברוטו למישרת שכיר		13,481
תוספת הוצאות סוציאליות ותרומה לתקורה	+33%	4,449
הפחתה כביטוי לניצול זמן הנסיעה	-5%	-897
סה"כ לחודש		17,033
ממוצע לשעה בנסיעות במסגרת העבודה	**לפי 148.5 שעות בחודש**	114.70
ערך שעה בנסיעות שאינן בעינייני עבודה	**30% ביחס לנסיעת עבודה**	34.41

ערך הזמן – דרך יישום

- ערך הזמן המשוקלל כיום לשעת שיא בוקר (ע"פ התפלגות מטרות הנסיעה) הוא כ 40 ₪ לשעת נוסע.
- השקלול נעשה לפי נסועת הנוסעים ולא לפי נסיעות.
- הזמן הנמדד אמור לכלול את כל משך הנסיעה (כולל הליכות, המתנות, חיפוש חניה).
- זמן נסיעה של חיילים אל ומהבסיס מחושב כזמן נסיעות לעבודה.
- ערך הזמן לשנים עתידיות כולל (כברירת מחדל) תוספת ריאלית של 1.5% בשנה כצפי לגידול הריאלי בעלות השכר.

ערך הזמן – אי התאמות, תהיות ומקרים מיוחדים

- ערך הזמן בנוהל מבוסס על שינויים בתפוקה, ופחות על שינויים ברווחת הנוסעים. הוא, כאמור, גם אחיד בין כל הנוסעים.
- יש אי התאמה בין ערכים מנהלתיים אלה של שווי שעת נוסע לבין התועלת שלהם בעיניהם וכנגלה מהתנהגותם, למשל בבחירת אמצעי נסיעה או בבחירה בכביש/ נתיב אגרה.
- מובן שבפועל התנהגות הנוסעים משקפת גם את אי השוויון ביניהם בהשתכרות ובערכי הזמן.
- מחקרים גם מלמדים שבעיני הנוסעים הפער בין ערכי הזמן למטרות הנסיעה השונות מצומצם בהרבה ביחס לנוהל וכמעט לא קיים.
- ערך הזמן הנגלה של המשתמשים בנתיב המהיר במערב כביש 1 (האגרה מחולקת לזמן הנחסך) מגיע למאות שקלים בשעה. ניתוח לפי מספרי רישוי הרכב מלמד שחלק גדול ממשתמשים אלה הם "חד פעמיים", מתחלפים מידי יום, ונראה שמדובר בתועלת רגעית של מי שממהר מאוד ביום נתון (לבחינה, בדיקה רפואית הגעה מחייבת בזמן למוסד כלשהו). תועלתם הריגעית מביאה לידי ביטוי תוספת תועלת שאינה מיוחדת לקבוצת אוכלוסייה או רמה כלכלית מיוחדת.

עלויות תפעול כלי רכב

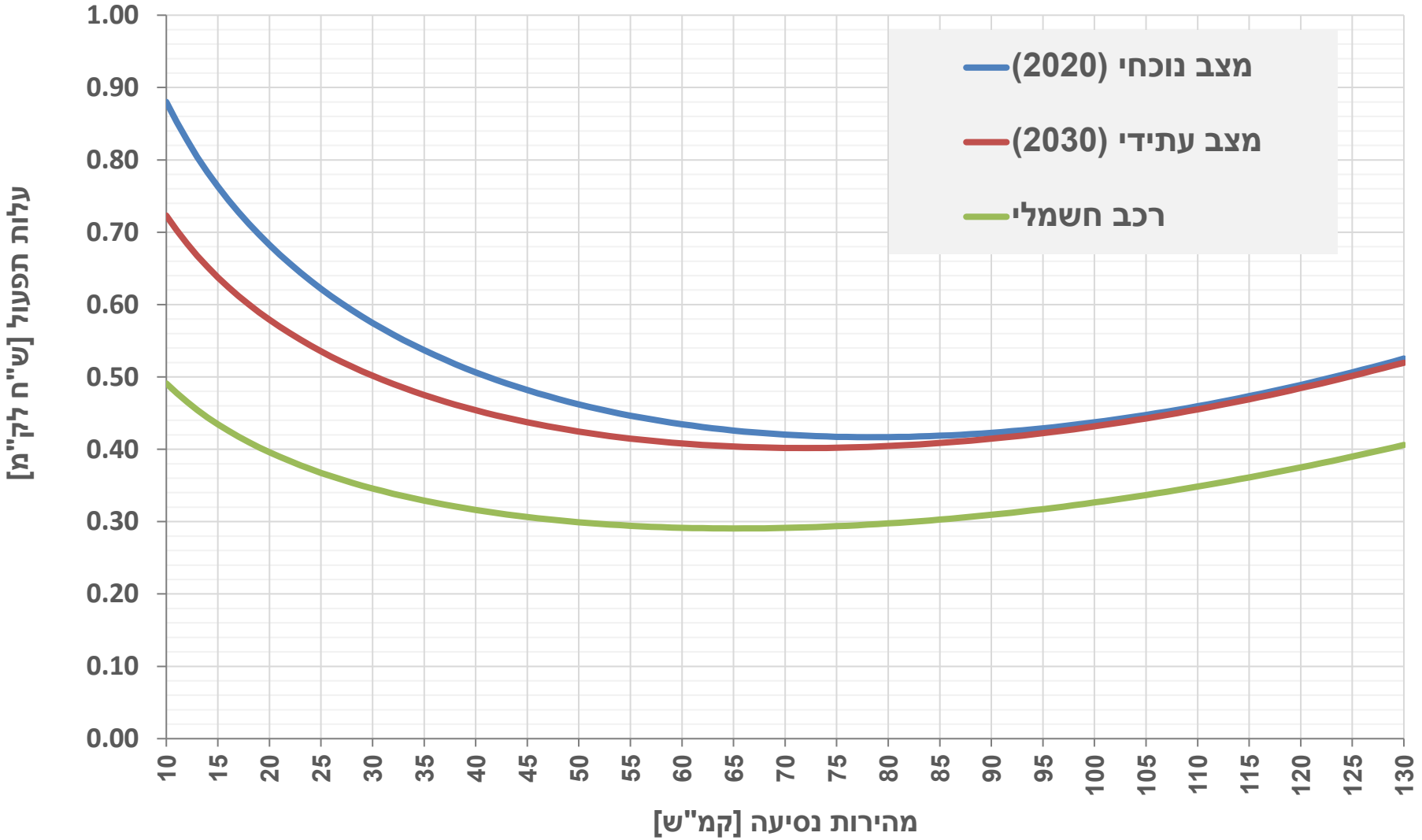
עלויות התפעול מחושבות במחירים למשק הלאומי של הדלק וחלקי הרכב. הן מחשבות את החסכון מהפחתת הנסועה בק"מ רכב בסוגי רכב שונים, או את החסכון בעלויות אם הנסיעה תתבצע במהירות משופרת. הן כוללות את:

- עלות הדלק
- עלות התחזוקה השוטפת
- עלות התיקונים
- עלות הצמיגים (משמעותי במשאיות)
- פחת – כל הפחת כשמדובר ברכב מסחרי, פחת שהוא תלוי נסועה ברכב הפרטי.

עלויות התפעול אינן כוללות את שכר הנהגים בתחבורה הציבורית ובמשאיות.

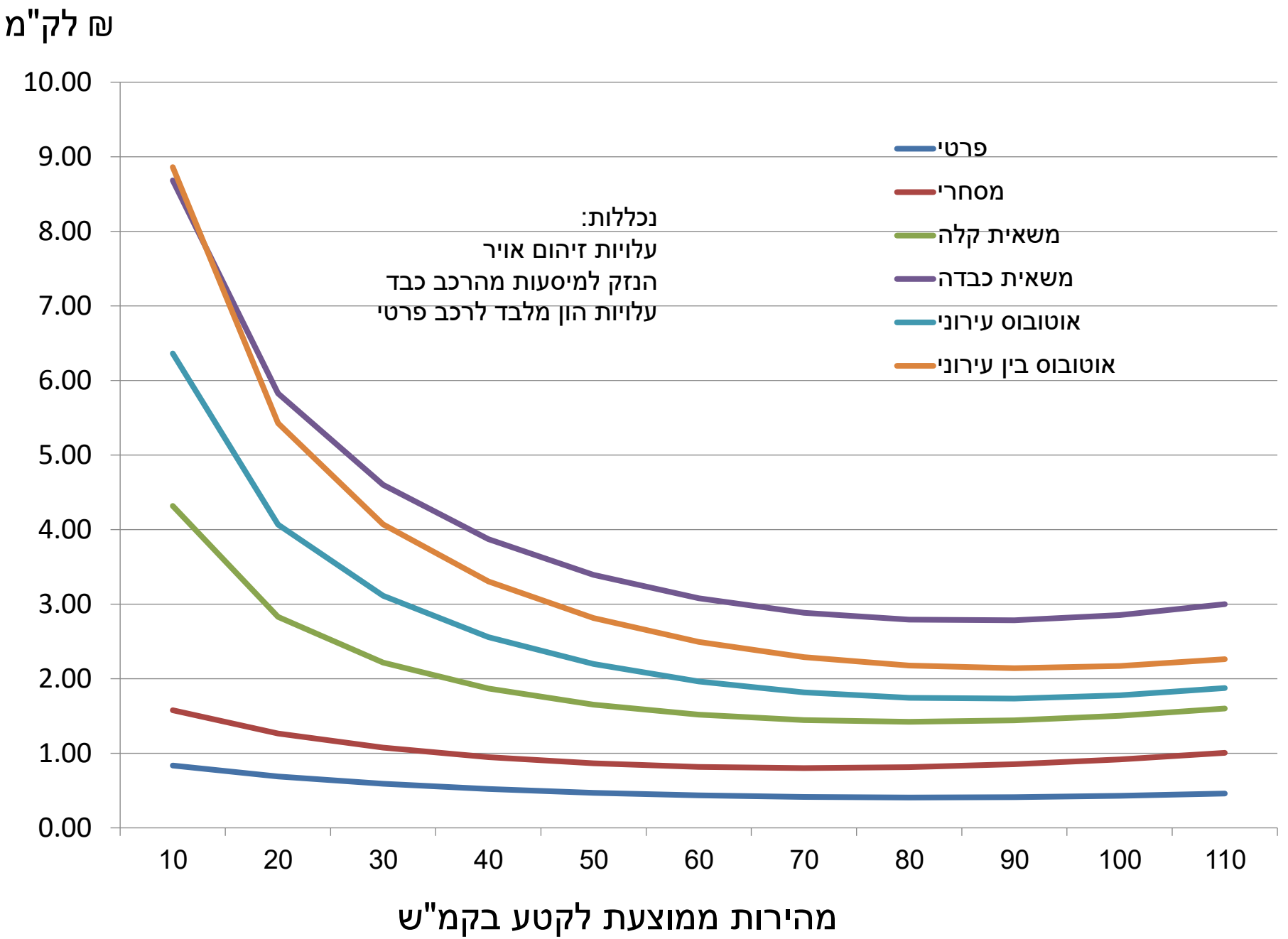
עלויות הדלק ועוד משתנות בהתאם למהירות הנסיעה.

עלויות תפעול רכב פרטי כתלות במהירות הממוצעת בקטע נסיעה
נוהל פר"ת 2021



העלות ב 2030 ברכב מנועי מביאה בחשבון שיפור במנועי הרכב ומרכיב היברידי בצי הרכב בשקלול לכלל סוגי הרכב מובא בחשבון ש 15% מכלי הרכב ב 2030 יהיו חשמליים

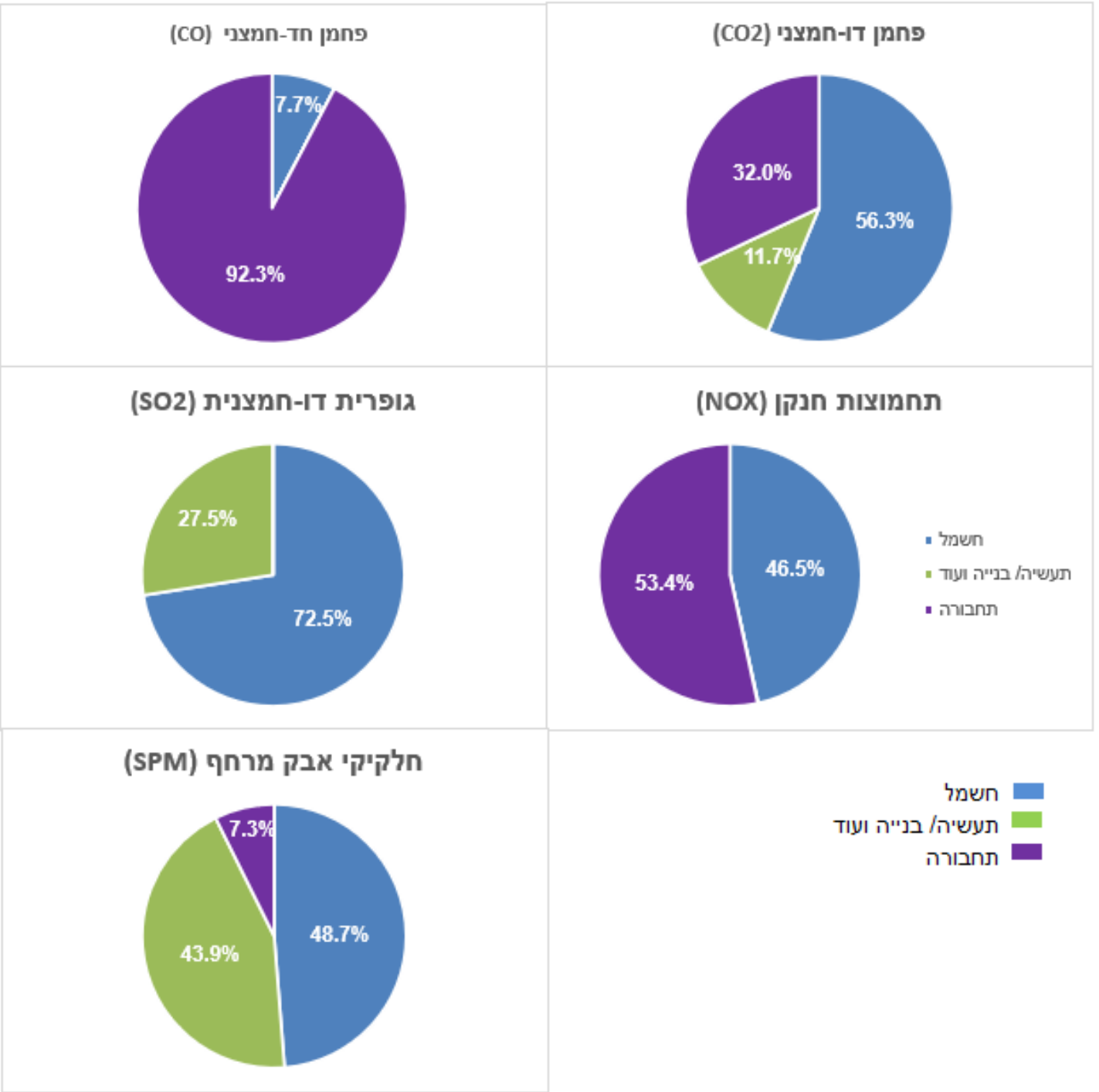
עלויות תפעול ממוצעות לק"מ של סוגי רכב שונים ב 2020



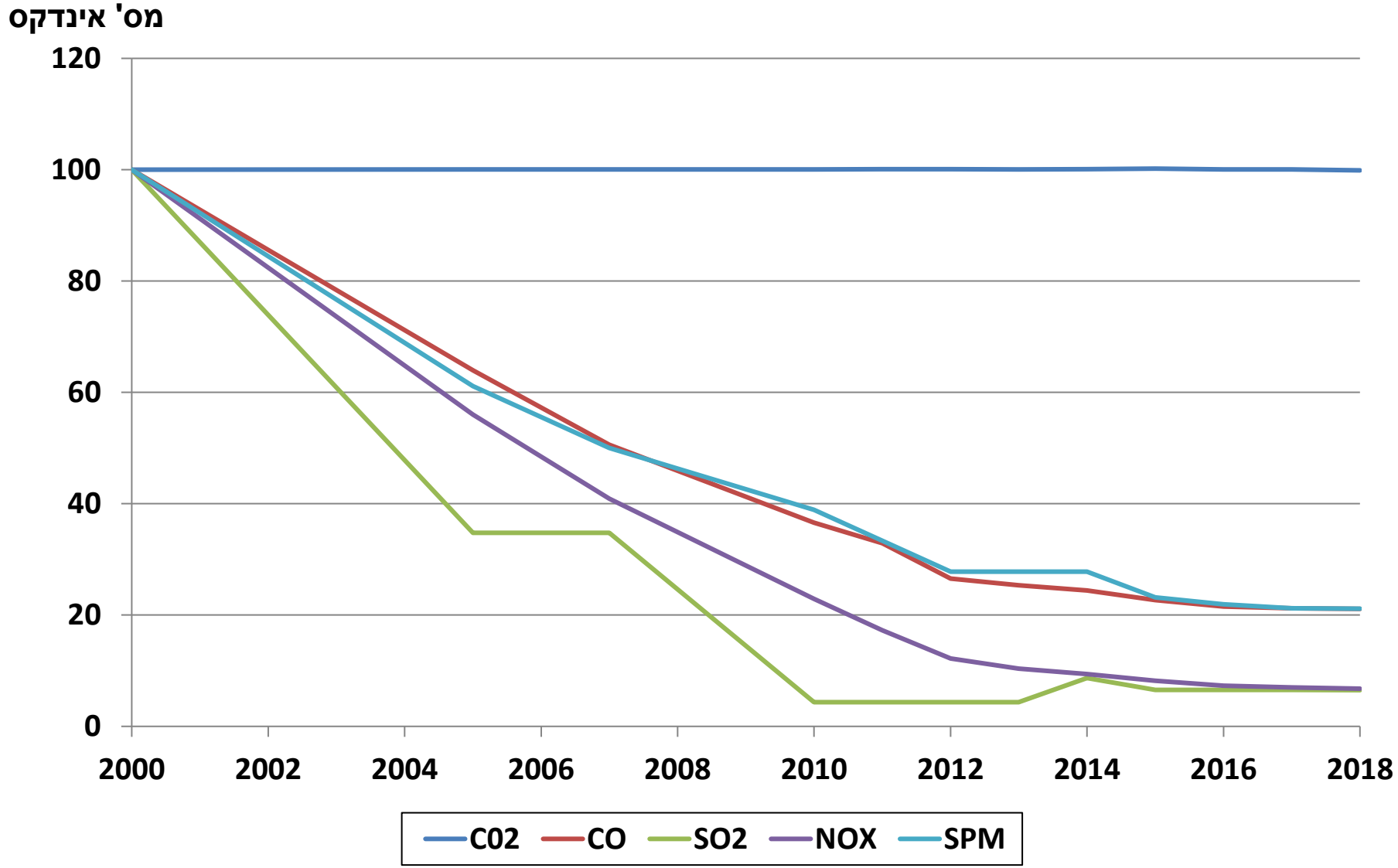
מקורות זיהום האוויר בישראל

פליטת מזהמים לפי מגזרים

נתוני 2024



ההפחתה (במספרי אינדקס) במקדמי הזיהום משריפת ליטר בנזין בכלי רכב בין השנים 2000-2018



מקדמי פליטה בתקני Euro שונים

ערכים בגרם פליטה לק"מ, רכב פרטי מונע בבנזין בדרך בינעירונית

PM	NOX	CO	CO2	תקן / מזהם
0.04	1.01	20.7	83.7	**Euro 0**
0.02	0.23	3.6	75.8	**Euro 1**
0.03	0.09	2.9	71.2	**Euro 2**
0.01	0.03	2.6	67.0	**Euro 3**
0.006	0.02	1.3	62.1	**Euro 4**
0.003	0.01	1.4	59.7	**Euro 5**
0.003	0.01	1.4	56.7	**Euro 6**
7.5%	**1%**	**7%**	**68%**	**שיעור Euro 6 מ Euro 0**

מקור: המשרד להגנת הסביבה, יולי 2016

עלות למשק מפליטות מזהמים משריפת דלק בתחבורה

במחירי 2025

	₪ לטון פליטה
פחמן דו-חמצני (CO_2)	210
פחמן חד-חמצני (CO)	440
גופרית דו-חמצנית (SO_2)	116,000
תחמוצות חנקן (NO_x)	175,000
חלקיקי אבק מרחף (SPM)	678,000

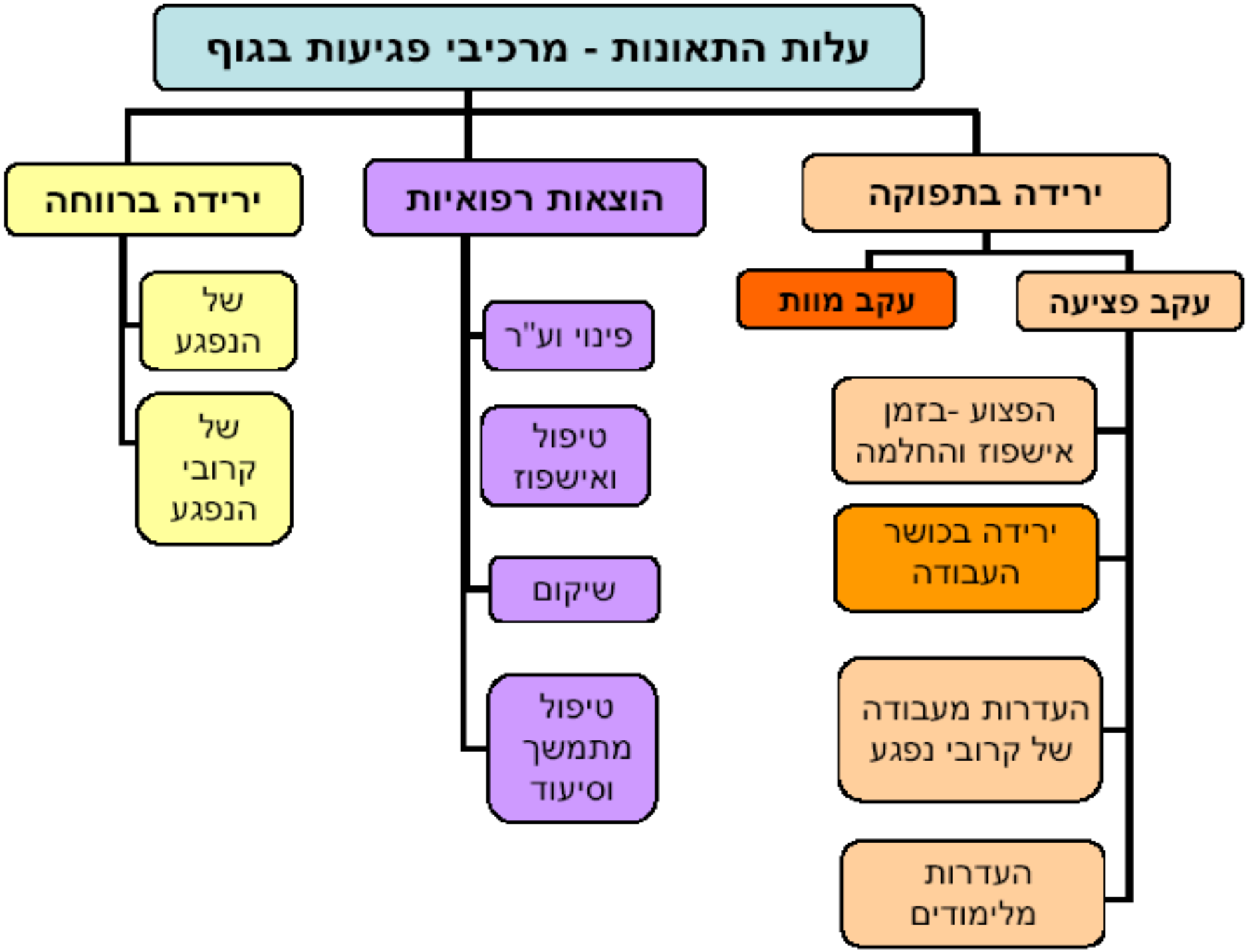
מחירי 2025 לפי המשרד להגנת הסביבה

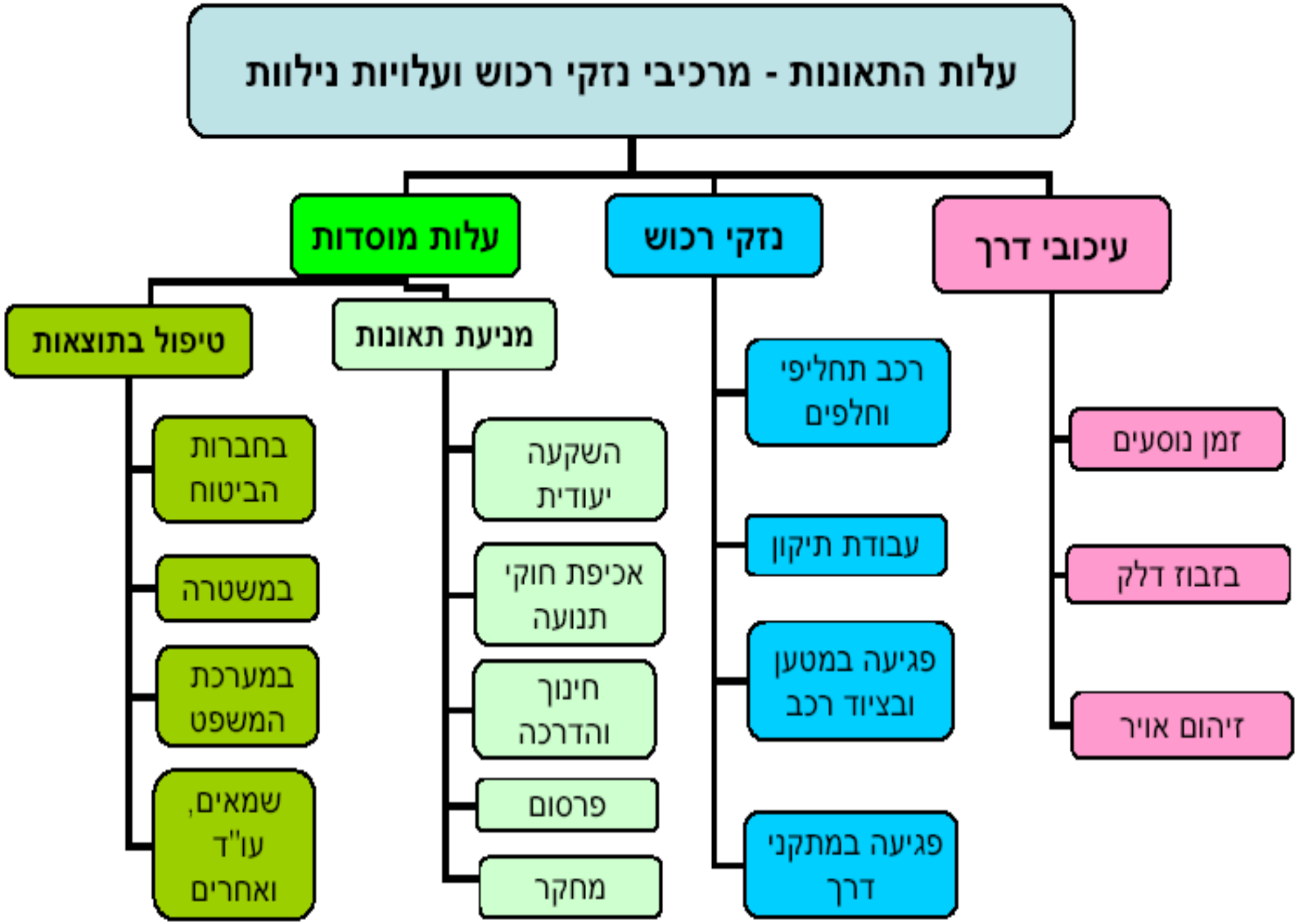
מחירי פליטה ב ₪ לליטר בנזין
(במחיר 2019)

2030	2020	2018	2017	2016	2015	2010	
0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	פחמן דו- (CO_2) חמצני
0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.07	פחמן חד- (CO) חמצני
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	גפרית דו- (SO_2) חמצנית
0.04	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.28	(NO_X) תחמוצות חנקן
0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	חלקיקי אבק מרחף (SPM)
0.37	**0.42**	**0.43**	**0.43**	**0.44**	**0.45**	**0.66**	**סה"כ**

כלכלת בטיחות - עקרונות

- המטרה- כימות הנזקים למשק כתוצאה מתאונות דרכים במצב נתון והחיסכון האפשרי בעלויות עקב שיפורים במבנה הדרך או שיפורים אחרים.
- בין תאונות מסוגים שונים ובדרגות חומרה שונות יש הבדלים ניכרים (עד ל 1: 1,000 ויותר) ואין לבחון שינוי אפשרי במספר התאונות ללא התייחסות לחומרתן ולמספר הנפגעים בהם. יש חשיבות רבה בהפחתת תאונות חמורות גם אם (במקרים מסויימים) יגדל מספר התאונות קלות.
- חרף האמור לעיל רצוי להביא בחשבון גם תאונות ללא נפגעים, בעיקר בשל תרומתן לעיכובי דרך בדרכים עמוסות, אך אין עליהן מידע.
- יש לחשב באופן זהיר עלויות עתידיות בתחום. שיפורים טכנולוגיים, שיפור בהגנה הפנימית בכלי הרכב, שיפורים בתחום הפינוי והרפואה עשויים להפחית את מספר התאונות, ולהפחית עלויות פגיעה גם ללא שינוי בתשתית.
- "פקק תנועה" הוא מצב בטוח מאוד בתחום הבטיחות...


עלות התאונות - מרכיבי פגיעות בגוף
ירידה בתפוקה
עקב פציעה
עקב מוות
הפצוע -בזמן אישפוז והחלמה
ירידה בכושר העבודה
העדרות מעבודה של קרובי נפגע
העדרות מלימודים
הוצאות רפואיות
פינוי וע"ר
טיפול ואישפוז
שיקום
טיפול מתמשך וסיעוד
ירידה ברווחה
של הנפגע
של קרובי הנפגע


עלות התאונות - מרכיבי נזקי רכוש ועלויות נילוות
עלות מוסדות
נזקי רכוש
עיכובי דרך
טיפול בתוצאות
מניעת תאונות
בחברות הביטוח
במשטרה
במערכת המשפט
שמאים, עו"ד ואחרים
השקעה יעודית
אכיפת חוקי תנועה
חינוך והדרכה
פרסום
מחקר
רכב תחליפי וחלפים
עבודת תיקון
פגיעה במטען ובציוד רכב
פגיעה במתקני דרך
זמן נוסעים
בזבוז דלק
זיהום אויר

סיווג חומרת פציעה של נפגעי תאונות דרכים ע"י בתי החולים

ממוצע ימי אשפוז ואחוז המופנים לשיקום רפואי מבין המאושפזים עקב תאונות דרכים בשנים 2015-17

חומרת הפגיעה במדד ISS*	1-8	9-14	16-24	25-75
תיאור החומרה	קל	בינוני	קשה	קשה מאוד
משך אשפוז ממוצע (ימים)	2.8	6.7	8.9	18.6
משך אשפוז חציוני (ימים)	1	4	5	13
אחוז המאושפזים שנשלחו לשיקום	1.7%	13.4%	17.8%	48.9%

* Injury Severity Score

כמה תאונות דרכים יש בישראל בשנה ?

יש לנושא זה מידע מ 3 מקורות:

1. **משטרת ישראל** (באמצעות הלמ"ס) – מדווחת על תאונות עם נפגעים בשני סוגי תיקי תאונות (אך לרוב על סוג אחד)
2. **בתי החולים** (מרכז הטראומה/ מכון גרטנר) – מידע מהם משולב חלקית מאוד בנתוני הלמ"ס.
3. **חברות הביטוח** – ברשותן מידע על כל סוגי התאונות אך הן מנתחות את המידע בפרמטרים מסחריים, ולא ניתן לקבל מהן מידע בטיחותי.

המידע הבטיחותי העיקרי הוא ממקור 1, והוא חלקי. ככל שהזמן עובר המשטרה רושמת פחות תאונות.

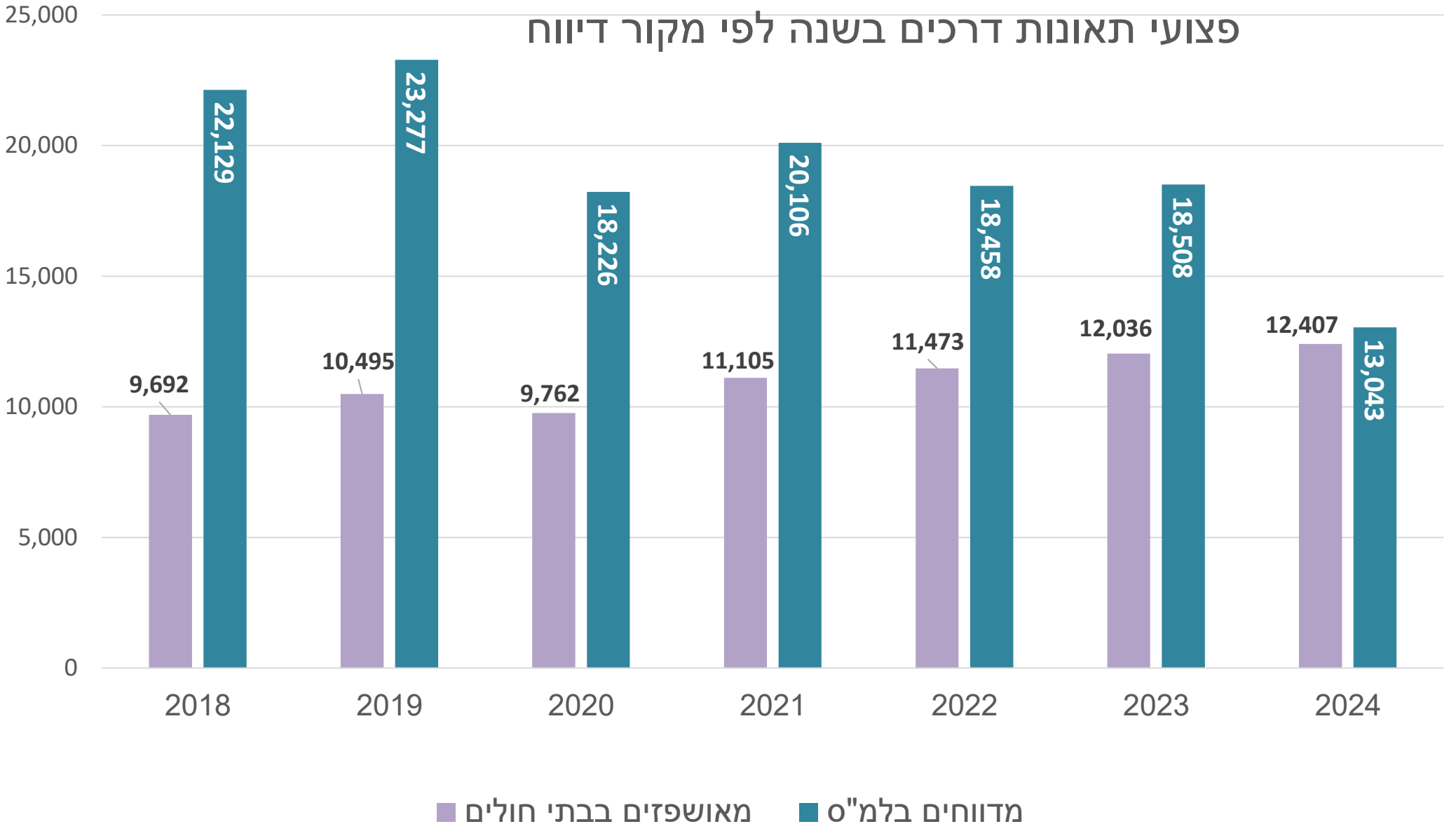
	תאונות "כללי עם נפגעים"	תאונות ת"ד		סה"כ
		סה"כ	מהן קטלניות	
2008-10	60,604	16,433	338	77,037
2012-14	49,936	13,516	278	63,452
2016-18	45,790	12,822	324	58,613
שינוי יחסי בין 2016-18 ל -2008 16	-24.4%	-22.0%	-4.1%	-23.9%

האם באמת פחת מספר התאונות עם נפגעים בכ 24% בעשור המתואר ? - לפי נתוני בתי החולים לא חלה כל ירידה במספר הנפגעים השנתי.

השוואת נתוני הלמ"ס עם נתוני מרכז הטראומה לפצועים מאושפזים בשנים 2015-17

נפגעים לפי חומרה

ISS	סה"כ נפגעים בשלוש השנים ע"פ נתוני:		
	הלמ"ס	מרכז הטראומה	אחוז הדיווח בלמ"ס
1-8	9,755	18,821	51.8
9-14	3,414	6,344	53.8
16-24	1,475	2,368	62.3
25-75	1,379	2,033	67.8
אחר/לא ידוע	225	10	
סה"כ	**16,248**	**29,576**	**54.9**


פצועי תאונות דרכים בשנה לפי מקור דיווח
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
9,692
22,129
10,495
23,277
9,762
18,226
11,105
20,106
11,473
18,458
12,036
18,508
12,407
13,043
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
מאושפזים בבתי חולים
מדווחים בלמ"ס

הרוגים ופצועים קשה לפי נתוני בתי החולים ויצירת מדד שנתי להיפגעות רשה בתאונות

פצועים מאושפזים לפי שנת הגעה לבי"ח והרוגים								
2024	2023	2022	2021	2020	2019	2018	תיאור החומרה	ISS
4	6	1	3	10	20	0		לא ידוע
7,007	6,945	6,878	6,870	6,082	6,659	6,034	קל	1-8
3,078	2,964	2,612	2,506	2,226	2,187	2,028	בינוני	9-14
1,397	1,239	1,148	1,009	839	875	795	קשה	16-24
946	882	834	717	605	754	673	קשה מאוד	25-75
12,432	**12,036**	**11,473**	**11,105**	**9,762**	**10,495**	**9,530**		Total
436	358	351	364	305	355	317	הרוג	הרוגים
5,591	4,954	4,711	4,322	3,626	4,248	3,806	מדד פצועים קשה והרוגים	

הסבר: מדד ה ISS (Injury Severity Score) הוא מדד בין לאומי לחומרת פגיעה וניתן לכל נפגע בעת כניסתו לאשפוז.

- פצוע "קשה מאוד" מתאר פגיעה מורכבת עד מסכנת חיים, משך האשפוז הממוצע בארץ כ 20 יום, מחצית מהנפגעים משתחררים לשיקום רפואי.
- "פצוע קשה" מאושפז בממוצע 9 ימים, 17% מהמוגדרים כך מועברים לשיקום רפואי.

לפי עלויות נוהל פר"ת מ 2021 עלות הרוג בערכי 2025 הוא כ 10 מיליון ש"ח, פצוע קשה מאוד כ 7 מיליון ₪, פצוע קשה כ 2.5 מיליון ₪. העלויות כוללות נזקי "צער כאב וסבל", המהווים את רוב העלות בנוהל להרוגים ופצועים קשה מאוד לפיכך פצוע קשה מאוד מחושב במדד כ 2.6 פצועים קשה, הרוג כ 4 פצועים קשה.

השוואת נתוני הלמ"ס עם נתוני מרכז הטראומה לפצועים מאושפזים בשנים 2015-17

סה"כ נפגעים ע"פ סוג הנפגע

סוג נפגע	סה"כ נפגעים בשלוש השנים ע"פ נתוני:		
	הלמ"ס	מרכז הטראומה	אחוז הדיווח בלמ"ס
נהג רכב	4,553	7,211	63.1
נוסע רכב	3,422	5,281	64.8
רוכב אופנוע	2,665	3,929	67.8
רוכב אופניים	558	4,475	12.5
הולך רגל	3,858	5,860	65.8
יתר הנפגעים	1,192	2,820	42.3
סה"כ	**16,248**	**29,576**	**54.9**

הרוגים בתאונות דרכים בשנים 2015-18
לפי סוג ההרוג וסוג דרך

סוג / דרך נוסע	2015			2016			2017			2018		
	עירונית	בין-עירונית	סה"כ	עירונית	בין-עירונית	סה"כ	עירונית	בין-עירונית	סה"כ	עירונית	בין-עירונית	סה"כ
נהג רכב	30	76	106	27	99	126	23	87	110	29	86	115
נוסע רכב	5	67	72	16	84	100	14	60	74	8	42	50
אופנוע	21	36	57	17	27	44	31	32	63	19	27	46
אופניים	9	8	17	5	6	11	9	5	14	10	8	18
הולך רגל	84	39	123	71	39	110	87	34	121	74	28	102
סה"כ	149	226	375	136	255	391	164	218	382	140	191	331

בשנת 2019 נהרגו בסה"כ 355 איש ובשנת 2020 (שנת הקורונה) 302, מתוכם 68 רוכבי אופנוע

נפגעים קשה וקשה מאוד במעורבות אופניים עפ"י רישום בתי החולים 2015-18

פצועים קשה

		2015	2016	2017	2018
פגיעת רכב מנועי	**אופניים רגילים**	20	29	24	22
	אופניים חשמליים	15	27	17	32
תאונות עצמיות	**אופניים רגילים**	62	67	71	73
	אופניים חשמליים	16	30	31	49
	סה"כ	**113**	**153**	**143**	**176**

פצועים קשה מאוד

		2015	2016	2017	2018
פגיעת רכב מנועי	**אופניים רגילים**	27	24	23	26
	אופניים חשמליים	6	18	14	27
תאונות עצמיות	**אופניים רגילים**	24	28	32	25
	אופניים חשמליים	6	6	15	18
	סה"כ	**63**	**76**	**84**	**96**

עלויות למשק של היפגעות בתאונות דרכים

לרבות מרכיב של "צער כאב וסבל" (נוהל פר"ת 2021 במיליוני ₪)

סיווג נפגע	חומרת פגיעה	אובדן תפוקה ועלויות ישירות	"צער, כאב, וסבל"	סה"כ
הרוג	הרוג	4.23	4.77	9.00
פצועים שאושפזו בבתי חולים ליומיים או יותר	פצועים קשה מאוד	2.82	2.95	5.77
	פצועים קשה	1.15	1.03	2.18
	פצועים בינוני	1.07	0.33	1.40
	פצועים קל	0.16	0	0.16
פצועים שלא אושפזו בבתי חולים	פצוע קל	0.02	0.00	0.02

מקדמי עלות מוצעים לתאונות דרכים עם נפגעים
(במחירי 2020) באלפי ₪

עלות לנפגע			נזקי גוף	עלויות נוספות	סה"כ
	תאונה קטלנית		9,000	150	9,150
	בתאונות עם פצועים מאושפזים לפי חומרת הפציעה	קשה מאוד	5,770	160	5,930
		קשה	2,180	130	2,310
		בינוני	1,400	90	1,490
		קל	160	50	210
	תאונה עם פצוע שלא אושפז		22	28	50

עלות ממוצעת לתאונה מדווחת בלמ"ס בתקופה 2016-18
לפי סוג דרך וסוג תאונה (אלפי ₪ במחירי 2020)

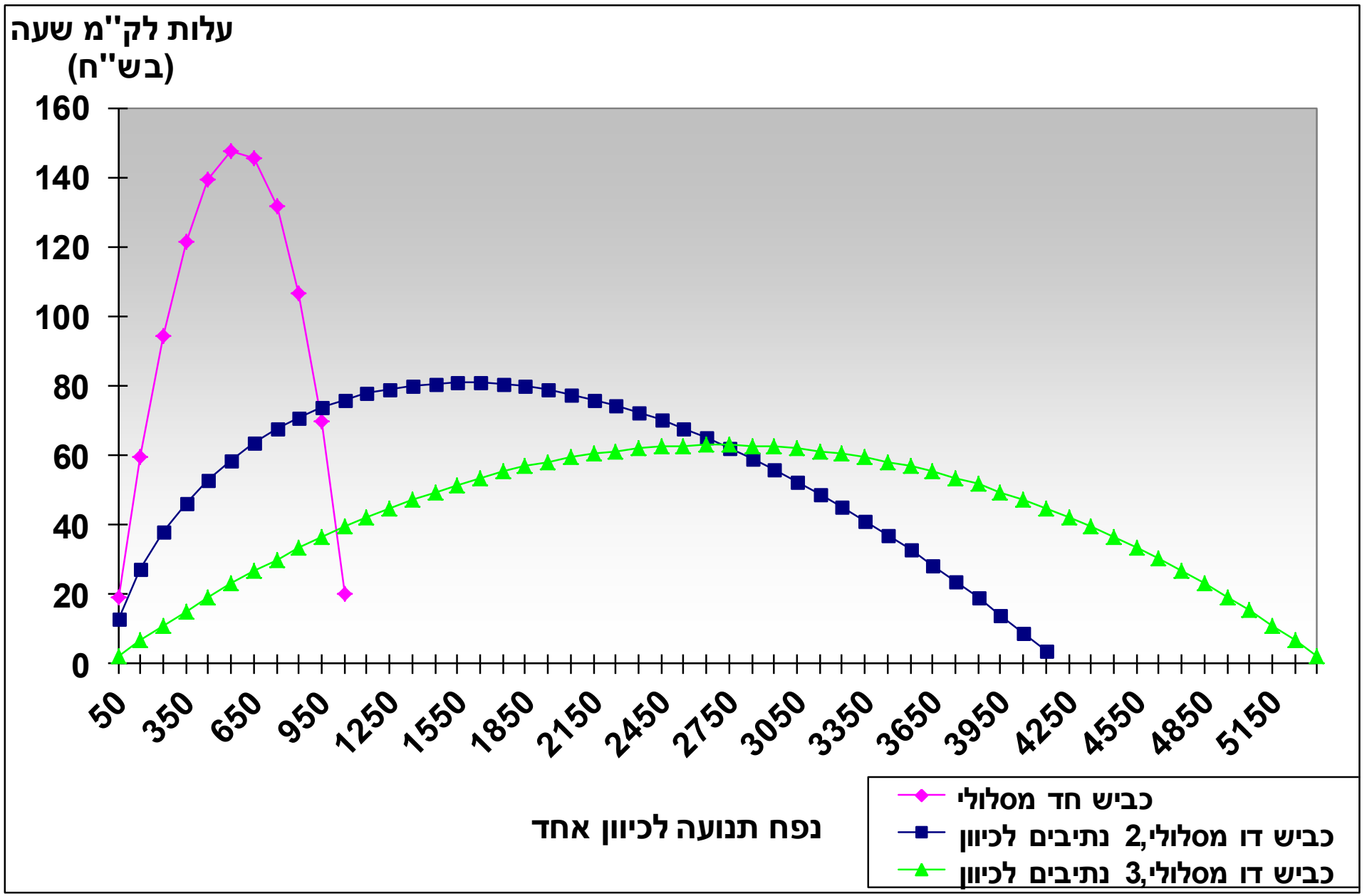
סוג התאונה		תאונות עירוניות	תאונות בין-עירוניות
פגיעה בהולכי רגל		347	2,151
התנגשויות בין כלי רכב (ללא אופנועים)	פנים-אחור	94	175
	חזית - צד	152	594
	חזית - חזית	217	2,618
	כל היתר	105	243
	סה"כ	110	365
התנגשויות רכב- אופנוע		246	701
פגיעה ברוכב אופניים (ותאונות אופניים עצמיות)		247	1,559
תאונות עצמיות (ללא אופנועים)		183	428
תאונות עצמיות של אופנועים		175	714
סה"כ		**171**	**438**

עלות התאונות המדווחות ע"י הלמ"ס בממוצע לשנה בתקופה 2016-18 לפי סוג דרך וסוג תאונה (מיליארדי ₪ במחירי 2020)

סוג התאונה		עלות לשנה	התפלגות ב %
פגיעה בהולכי רגל		2.86	20.8%
התנגשויות בין כלי רכב (ללא אופנועים)	פנים-אחור	2.69	19.6%
	חזית-צד	1.85	13.4%
	חזית-חזית	1.21	8.8%
	כל היתר	0.71	5.1%
	סה"כ	6.45	47.0%
התנגשויות רכב- אופנוע		1.39	10.1%
פגיעה ברוכב אופניים (ותאונות אופניים עצמיות)		0.45	3.3%
תאונות עצמיות (ללא אופנועים)		1.91	13.9%
תאונות עצמיות של אופנועים		0.68	4.9%
סה"כ		**13.74**	**100.0%**

בהתחשב בתאונות הידועות לבתי החולים ולא מוצגות בנתוני הלמ"ס העלות היא כ 15.8 מיליארד ₪ בשנה

עלות תאונות הדרכים לק"מ במהלך שעה, יום



דוגמאות למקדמי הפחתה מומלצים בנוהל פר"ת לעלויות עקב שיפור בתשתית תאונות

השיפור	שינוי/ אחוז הפחתה	הערות
הוספת מסלול בדרך עירונית חד מסלולית	כ 50%	הפחתת עלות של כ 0.5 מיליון ₪ לק"מ כביש בשנה בנפח תנועה של 12-19 אלף יר"ב ביממה.
מיחלוף קטעי כביש בין עירוני דו מסלולי	הפחתת כ 0.03 ₪ לק"מ יר"מ	
מעגל תנועה בצומת עירוני לא מרומזר	57%	רק בתאונות רכב – לא הולכי רגל
רימזור צומת עירוני	18%	
הוספת תאורה בקטע בין עירוני (לא בצומת)	18%	מעלות תאונות הלילה

התבוננות על תועלות עתידיות

- תחזיות התנועה לאופק התכנון והבדיקות הכלכליות מבוססות על הרגלי נסיעה וטכנולוגיה עכשווית, ורק באופן מוגבל וזהיר מביאות בחשבון שינויים באורח החיים, בהרגלי העבודה, ביכולות לשנות הרגלי נסיעה, או טכנולוגיה.
- לא ניתן לקבוע בוודאות, לדוגמא, מתי יחל השימוש ברכב אוטונומי ומה יהיו השלכות השימוש בו (הן יכולות להיות עצומות), כיצד יתפתח באמצעות הטכנולוגיה הנוכחית נושא הנסיעות המשותפות ברכב, העבודה מהבית וסביבתו ועוד.
- עם זאת, ההנחה שהתנועה בארץ (ובכלל בעולם) ב 2040 או ב 2050 תתנהל כפי שהיא מתנהלת היום, נראית לא סבירה.
- במצב זה ניתן להשתמש בכלים של תכנון תחבורה וכלכלת תחבורה ליצור ולבחון בבדיקות רגישות חלופות טכנולוגיות לפני ביצוע השקעות גדולות בטכנולוגיות נוכחיות.

סיכום

- כלכלת תחבורה מודדת עלויות ותועלות במשק התחבורה, ומאפשרת קבלת החלטות ראציונליות בתחום ההשקעות בתשתית התחבורה או בניהולה.
- בחינות כלכליות במשק התחבורה מחייבות מידע נרחב ומחקר, ורגישות להתפתחויות בתחומים רבים: היקף ופריסת המגורים והתעסוקה, שינויים טכנולוגיים, מחירי תשומות ועוד.
- ולבסוף- זהו עדיין רק כלי עזר מכוון, אך הוא יכול לסייע בעיצוב פרוייקטים, בבחירת חלופות, ובגיבוש סלי השקעות. היכרות כללית עם תכונותיו ע"י העוסקים בתחום מהיבטים אחרים (למשל הנדסיים) יכולה לקדם תכנון משופר.