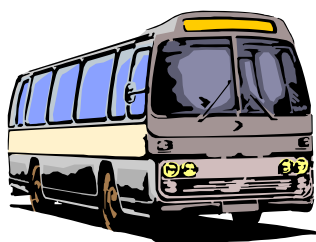


DIMOS

תוכנה לפיצול נסיעות בין עירוניות
בין אמצעי תחבורה מתחרים

- תאור כללי -



אפריל 2003

תוכן העניינים

עמוד

| | |
|----|--|
| 1 | 1. תאור התוכנה |
| 1 | 1.1. תאור כללי |
| 1 | 1.2. שימושי התוכנה |
| 2 | 1.3. עקרונות הפיצול |
| 3 | 1.4. הנתונים הנדרשים |
| 4 | 2. המודלים התחבורתיים המשולבים בתוכנה |
| 4 | 2.1. תיאור המודלים |
| 4 | 2.2. מבנה הנסיעה הנבדקת |
| 6 | 2.3. פרוט המודלים |
| 6 | 2.3.1. מודל הנסיעות המזינות |
| 7 | 2.3.2. מודל הפיצול |
| 13 | 2.3.3. מודל שינוי הביקוש הכולל לנסיעות |
| 14 | 2.4. מהלך הפעלת התוכנות ותכונותיהן הדינמיות |
| 15 | 2.5. שימוש בתוצאות ההרצה כמדד לתועלת הכלכלית שבביצוע שיפור תחבורתי |

רשימת איורים

| | |
|----|---|
| 5 | איור 1 – מבנה הנסיעות הבינעירוניות הנבדקת בתוכנת הפיצול |
| 9 | איור 2 – זמן ההמתנה והתאמה כתלות בהפרש הזמן בין שתי יציאות אמצעי התח"צ (H.W.) |
| 13 | איור 3 – השפעת מקדם הכיול Z על ההסתברות המחושבת לנסיעה באמצעי תחבורה נבדק |
| 16 | איור 4 - תזרים זרימה של תוכנות פיצול הנסיעות - הרצת הבסיס |
| 17 | איור 5 - תזרים זרימה של תוכנות פיצול הנסיעות - הרצת שינוי |
| 19 | איור 6 – השינוי ברווחת הנוסעים כתוצאה משיפור בתנאי הנסיעה |

תוכנת DIMOS לפיצול נסיעות בין אמצעי תחבורה מתחרים

1. תאור התוכנה

1.1 תאור כללי

התוכנה מתארת את מערכת הקשרים שבין רמת השירות לנוסעים באמצעי תחבורה שונים לבין פיצול הנסיעות בין אמצעי התחבורה, היקף הנסיעות, ועלותן במונחי רווחה למשתמשים.

התוכנה אומדת את הסתברות הבחירה של נוסעים שונים באמצעי תחבורה המתחרים בציר תנועה בין-עירוני. הפיצול נערך בין 2-5 אמצעי תחבורה (לרבות רכב פרטי), ותוך הבאה בחשבון של עד 5 סוגי נוסעים. התוכנה מחשבת גם שינויים בהיקף יצירת הנסיעות בטווח הזמן הקצר, ובתועלת של ציבור הנוסעים כתוצאה משינויים ברמת השירות או במערכת המחירים של אמצעי התחבורה. התוכנה מורכבת ממספר מודלים תחבורתיים המשולבים זה בזה, כשהעיקרי ביניהם הוא מודל פיצול נסיעות. מודל זה מיוחד בשתיים מתכונותיו:

- רמת השירות לנוסע מקושרת ל"פונקצית היצור" של התחבורה הציבורית, ומאפשרת בחינת שינויים בפיצול הנסיעות בהתאם לשינויים במאפייני השירות.
- למודל יש תכונות דינמיות ויכולת לחזות "תהליכי שרשרת" של שינויים בביקוש וברמת השירות של אמצעי התחבורה השונים.

מודל הפיצול הוא מודל התנהגותי דיסאגרגטיבי, המתחקה אחר פערים ברווחת הנוסע הכרוכים בנסיעה באמצעי תחבורה חלופיים. הרווחה נבחנת באמצעות כעשרה מרכיבים, הכוללים מרכיבי זמן, כסף ונוחות.

1.2 שימושי התוכנה

התוכנה נועדה להוות כלי עזר למתכנני תחבורה, למפעילי תח"צ, ולכלכלנים. שימוש נכון בה מחייב הכרות טובה עם הסביבה התחבורתית עליה מופעלת התוכנה, הכרות שתתבטא בטיב הנתונים התחבורתיים בהם תוזן התוכנה. לאחר הזנת הנתונים המתאימים התוכנה מאפשרת להעריך את הביקושים לנסיעה באמצעי תחבורה שונים ע"פ הפירוט הבא:

- פיצול סה"כ הנסיעות בתקופת זמן נבדקת בין אמצעי תחבורה מתחרים, לרבות רכב פרטי.
- השינוי הצפוי בביקוש לאמצעי תחבורה נבחן בקו במקרה של שינוי ברמת השירות שלו בתחום התדירות, מהירות הנסיעה הממוצעת, שינוי בנגישות אליו/ ממנו, נוחות הנסיעה בו, תעריפי הנסיעה בו ועוד.
- השלכת שיפור באמצעי תחבורה אחד על הביקוש לנסיעות בכל אחד מאמצעי התחבורה האחרים, ואיתור מקור הנוסעים שיעברו לאמצעי התחבורה ששיפר את רמת השירות שלו. איתור אמצעי תחבורה שלא יוכלו יותר לפעול בקו.
- ההשפעה של שינויי עלות או שינויים בתנאי הנסיעה היחסיים ברכב פרטי על פיצול הנסיעות, לדוגמא, במקרה של שינויים ברשת הדרכים, במקרה של שינוי במחיר הבנזין, של שינוי בהיקף ובמחירי החניה ועוד.
- תחזית לשינוי במספר הנוסעים הכולל בקו במקרה של שיפור ברמת השירות לנוסעים באחד מאמצעי התחבורה או בכמה מהם.

התוכנה מאפשרת מיפוי היתרונות והחסרונות של אמצעי תחבורה מנקודת ראות של כל סוג נוסע (ובמשוקלל עבור כולם), ואיתור מרכיבי השירות שהשיפור בהם יכול להגדיל את כושר התחרות של אותו אמצעי. מאידך, ניתן להעריך את גבול השיפור בפוטנציאל אמצעי תחבורה נבדק (במונחי תוספת נוסעים) עקב שיפור באחד ממרכיבי רמת השירות כמו משך הנסיעה או התדירות.

מוצר לוואי חשוב של השימוש בתוכנה הוא האומדן הכמותי המתקבל עבור שינוי רווחת המשתמשים בדרך כתוצאה מביצוע פרויקט של סלילת כביש/מסילה, כתוצאה משיפור רמת השירות בתח"צ ועוד. אומדן זה ניתן לתרגם למונחים כספיים, על פי מערכת יחסי התחלופה שבתוכנה. שינוי הרווחה (המסכם שינויים בזמני הנסיעה, בהוצאה הכספית ובנוחות הנסיעה) מהווה את תועלת המשתמשים בדרך מהשינוי, וניתן להשתמש בו בתור תועלת הנובעת מביצוע הפרוייקט בבדיקות כדאיות כלכלית (אם כי אין זו, לרוב, כל התועלת מביצוע הפרוייקט).

1.3 עקרונות הפיצול

ההנחה היא שהנוסעים מעוניינים במינימוזציה של מטרדי הנסיעה. מטרדי הנסיעה מורכבים בעיקר מהתמשכות זמן הנסיעה, מהוצאה כספית, ומאי נוחות במהלך הנסיעה. ככל שרמת המטרד הכוללת הכרוכה בנסיעה באמצעי תחבורה נתון פוחתת - כך גדלה הסתברות הבחירה בו. אמצעי תחבורה שהנסיעה בהם כרוכה ברמת מטרד משוקללת דומה, או קרובה, יזכו לביקוש דומה. ככל שיווצר פער ברמת השירות שלהם כך ייווצר פער גם בביקוש לנסיעה בהם.

מטרדי הנסיעה נמדדים מנקודת הראות של נוסעים מסוגים שונים, היוצאים לדרך מנקודות מוצא שונות לנקודות יעד שונות, באמצעי תחבורה אלטרנטיביים שונים. מטרד הנסיעה הכולל מסכם את המטרד הכרוך בזמן הנסיעה מדלת לדלת, לרבות זמני המתנה והליכה, את המטרד הכרוך במעבר מאמצעי תחבורה אחד למשנהו בדרך (מספר הטרנספרים), את מחיר הנסיעה ועוד. לסוגי נוסעים שונים נקבעים במודל יחסי תחלופה שונים בין זמן/ נוחות/ כסף.

יש לערוך הרצות נפרדות למצבי תנועה שונים. בנסיעות בין-עירוניות יש הבדלים בהיקף ובמאפיינים של נסיעות התחלת, אמצע וסוף שבוע. בנסיעות בין-עירוניות ופרבריות כאחד יש הבדלים בולטים בהיקף, הרכב, תנאי הנסיעה וכו' ע"פ שעות היום. בהתאם לכך יש להגדיר במדוייק את האינדקסים של הרצה בודדת. הם כוללים:

- יום הנסיעה בשבוע (א', ב-ד', ה' אחה"צ, ו', מוצ"ש).
- שעת הנסיעה (הקבצה לארבע תקופות יום או יותר: שיא בוקר, שפל יום, אחה"צ, ערב).
- כיוון הנסיעה.
- עונת הנסיעה (אם נדרש).

ההבדל בין ימים, שעות, כיוון הנסיעה ותקופתה עשוי להיות משמעותי ביותר: במספר הנוסעים הכולל, בהתפלגות הנוסעים לפי סוג ומטרות נסיעה, בצפיפות התנועה, בתדירויות אמצעי התח"צ, במקדמי המילוי של הרכב הפרטי, בתנאי החניה ומחירה ועוד.

בחינת פיצול הנסיעות השבועי הכולל מחייבת ע"פ המפורט לעיל עריכת 32 הרצות נפרדות לפחות ע"פ היום הכיוון והשעה של הנסיעה וחיבור התוצאות אחר כך.

1.4 הנתונים הנדרשים

הפעלת התוכנה מחייבת קיום נתוני רקע תחבורתיים וכן עריכת תחזיות במספר תחומים עבור הרצות לחיזוי פיצול הנוסעים בעתיד. הנתונים העיקריים הנדרשים:

- אומדן מספר הנוסעים הכולל בציר הנבדק בחתכי זמן שונים ובהתפלגות לסוגי נוסעים בתקופת הבסיס (ניתן לאמוד נתונים אלה ע"פ ספירות נוסעים בתח"צ ורכב פרטי בקטעי דרך אינדיקטיביים, או ע"י סקר הרגלי נסיעה. ספירות נוסעים חלקיות במהלך שבוע עשויים לספק מערכת נתונים אמינה בנושא).
- התפלגות הנוסעים ע"פ טבעות/ נקודות מוצא ויעד. בהעדר נתונים בנושא ניתן להניח שפריסת נקודות המוצא של הנוסעים תואמת את פריסת האוכלוסייה ע"פ הטבעות/ נקודות מוצא, והתפלגות היעדים תואמת את התפלגות שטחי המסחר/ שירותים / תעסוקה (או ע"פ מדדים אחרים ליצירת/ משיכת נסיעות ע"פ שעות ואופי הנסיעות המנותחות).
- לוחות זמנים של אמצעי התח"צ הפעילים בקו, תעריפי הנסיעה, זמני הנסיעה ע"פ שעות היום והכיוון.
- נתונים לגבי רכב פרטי: אומדן שיעור הנוסעים בעלי זמינות רכב פרטי, אפשרויות חניה באזור היעד והמוצא (במקרה שבעל הרכב בוחר להגיע ברכבו לטרמינל הבין-עירוני). מחירי חניה (אם נדרשים), מקדמי המילוי ברכב, מהירויות הנסיעה האופייניות לקטעים העירוניים והבין-עירוניים במסלול הנבדק ע"פ שעות יום וכיוון ומחירי הבניין.

2. המודלים התחבורתיים המשולבים בתוכנה

2.1 תיאור המודלים

התוכנה משלבת בתוכה 3 מודלים תחבורתיים עיקריים, וכן מספר מודלים מישניים. המודל העיקרי הוא, כאמור, "מודל פיצול נסיעות", המתואר בהמשך.

כתשומה למודל זה משמש מודל המעריך את המטרד הכרוך בנסיעות המזינות אל ומהטרמינלים הבין-עירוניים בהתאם לפריסת נקודות המוצא והיעד של הנוסעים בטבעות סביב הטרמינלים הבין-עירוניים ולתנאי הנסיעה המזינה. מודל זה יכול להלך: "מודל נסיעות מזינות". מודל זה יתבטל עם הטמעת התוכנה בתוכנת הצבה, שתזין את מודל הפיצול בנתוני נגישות מפורטים ומדויקים יותר.

תפקיד המודל השלישי לאמוד את השינויים העשויים לחול במספר הנוסעים הכולל בקו במקרה של שינוי ברמת השירות של אמצעי תחבורה בקו. המודל מופעל במסגרת התכנית רק בתנאים מסוימים (מפורט בהמשך). יש להדגיש שאין זה מודל יצירת נסיעות מקובל (מספר הנוסעים ניתן כתשומה להפעלת התכנית), אלא מודל המתקן את מספר הנוסעים (שהתקבל חיצונית) בעקבות שינויים ברמת השירות לנסיעות הנבדקות. מספר הנוסעים הנוספים מחושב במודל על פי גמישות הביקוש לנסיעות בקו ביחס לרמת השירות של אמצעי התחבורה (לרבות הרכב הפרטי) הפועלים בקו. נכנה מודל זה להלך: "מודל שינוי הביקוש הכולל לנסיעות".

2.2 מבנה הנסיעה הנבדקת

בתוכנה נבחנת הנסיעה "מדלת לדלת" (דהיינו מבית/ נקודת מוצא אחרת של הנוסע ועד ליעדו הסופי), כאשר מטרדי כל אחד מקטעי הדרך מחושבים בנפרד ומסוכמים אחר כך.

ה"מסע" של נוסע ללא זמינות רכב פרטי מחולק לשלוש נסיעות:

א - נסיעה מנקודת המוצא לטרמינל ממנו יוצאות נסיעות בין-עירוניות (או הליכה ברגל אם המרחק לטרמינל קטן מ 700 מ').

ב - נסיעה בין-עירונית בתח"צ (אוטובוס, מונית, רכבת).

ג - נסיעה מנקודת הירידה של האמצעי הבין-עירוני ליעד הסופי (אם המרחק הנ"ל קטן מ 700 מ' הופכת נסיעה זו להליכה ברגל).

נוסע בעל זמינות רכב פרטי יכול להשתמש ברכבו מנקודת המוצא ליעד. בתוכנה מחולק מסלולו לקטעים עירוניים ובין-עירוניים. על המשתמש להעריך את מהירויות הנסיעה בשני סוגי הדרך בהתאם לשעות ולימים הנבדקים (בעתיד יתקבל נתון זה מתוכנת הצבה). במקביל נבדקת אפשרות נסיעת נוסע זה בתח"צ לסוגיה. במקרה זה מונח שהוא יגיע ברכבו לטרמינל הבין-עירוני וימשיך ממנו בתח"צ למעט בשני מצבים:

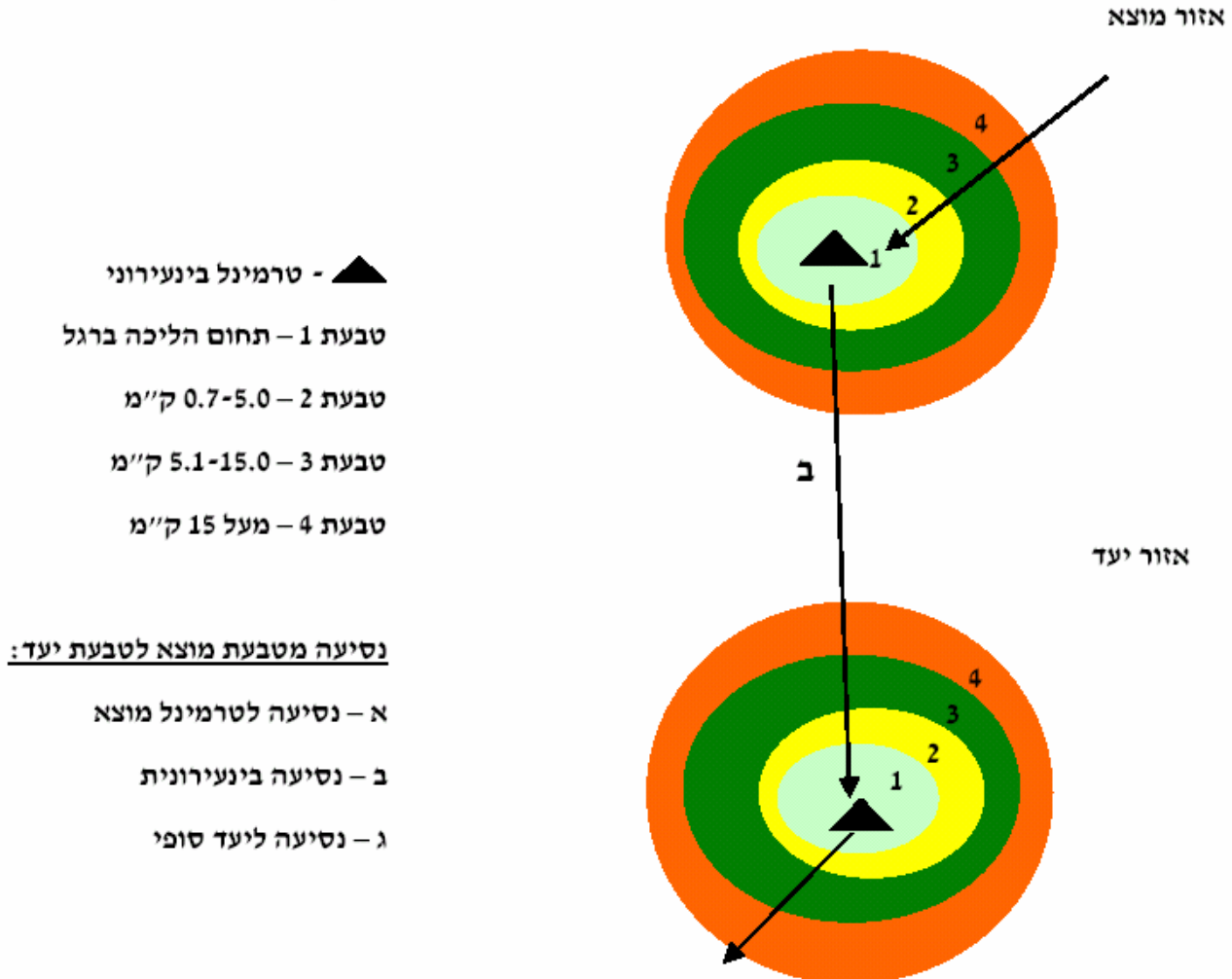
- הטרמינל במוצא קרוב לנקודת המוצא ואין צורך לנסוע (הנוסע ילך ברגל לטרמינל).
- אין חניה בקרבת הטרמינל. במקרה זה מניחה התוכנה שהנוסע ייסע בתח"צ לטרמינל.

נקודות המוצא פרוסות בטבעות סביב הטרמינלים, כמודגם באיור 1. מטרדי הדרך מחושבים ע"פ חלוקת הנוסעים לטבעות וע"פ מאפייני הנסיעה מכל טבעת לטרמינל ע"פ מהירויות נסיעה אופייניות, מס' טרנספרים ועוד.

טרמינלים של אמצעי התחבורה השונים יכולים להיות באתרים שונים באזור המוצא, וכן קיימת אפשרות של מספר טרמינלים לאותו אמצעי תחבורה באזור המוצא. המחשב משקלל (לכל סוג נוסע ואמצעי תחבורה) את מטרדי הדרך בקצות המסלול ומתקבלת נסיעה אופיינית אחת כנ"ל לצורך המשך התחשיב.

להלן תיאור סכמטי של מבנה נסיעה אופייני.

איור 1 – מבנה הנסיעה הבינעירונית הנבדקת בתוכנת הפיצול



הניתוח ע"פ טבעות יציאה אינו מתמודד עם השונות האפשרית בתנאי הנסיעה ממקומות שונים באותה טבעת לטרמינל, אלא מניח תנאי נסיעה ממוצעים מאותה טבעת לטרמינל הבין-עירוני (ניתן לעידון כאשר תוכנת הפיצול מוטמעת בתוכנת הצבה).

חלוקת אזור העורף של הטרמינל הבין-עירוני ל-4 טבעות דווקא במוצא וביעד נבחרו בגרסה הנוכחית כפשרה בין מספר שיקולים:

- עידון החלוקה לטבעות או הוספת נקודות מוצא ויעד עשויים לשפר את דיוק הבדיקה.
- מאידך, היקף מערך הנתונים הנדרש קטן לרוב מהידוע, והגדלת התשומות הנדרשות ע"י הגדלת מספר איזורי המוצא/יעד עלולה להכביד על המשתמש מבלי שתוסיף לדיוק הניתוח.

2.3 פרוט המודלים

2.3.1 מודל הנסיעות המזינות

המודל מופעל בתוכנה הבין-עירונית עבור נוסעים ללא זמינות רכב פרטי, או בבדיקת נסיעת בעל זמינות רכב פרטי בתח"צ כאשר אין חניה בקרבת הטרמינל הבין-עירוני.

זהו מודל עזר למודל הפיצול ומטרתו לאמוד את מטרדי הנסיעה הכרוכים בהגעה אל אמצעי הנסיעה הבין-עירוני ובנסיעה/ הליכה ממנו ליעד הסופי. המודל משקלל את מטרדי הנסיעה בשני הקצוות והופך אותם עבור מודל הפיצול לנסיעה אופיינית אחת לכל סוג נוסע בקצות המסלול. מטרדי קצות המסלול המשוקללים במודל זה כוללים:

- זמן הליכה לתחבורה מזינה.
- זמן המתנה לתחבורה מזינה.
- זמן נסיעה בתחבורה מזינה.
- אי הנוחות הכרוכה בנסיעה זו.
- מחיר התחבורה המזינה.
- מעברים בין אמצעי תחבורה (טרנספרים).
- זמן הליכה מנקודת הירידה מהתחבורה המזינה לטרמינל הבין-עירוני.

השקלול נעשה על בסיס התפלגות הנוסעים לטבעות סביב התחנות הבין-עירוניות במוצא וביעד. התוצר הסופי של מודל זה הוא חישוב זמן הנסיעה המזינה המשוקלל, מספר הטרנספרים הכרוכים במוצא בבחירת כל אחד מאמצעי התחבורה הציבוריים בציר הנבדק בשני קצות הנסיעה וכו'. המודל מביא בחשבון אפשרות של הליכה אל או מהטרמינל, כתלות בפריסת מוצא/ יעדי הנוסעים סביב נקודות העלייה/ ירידה מאמצעי התחבורה הבין-עירוני.

הנתונים הנדרשים למודל:

- התפלגות באחוזים של הנוסעים ע"פ טבעות במוצא וביעד לכל אמצעי תחבורה.
- מספר הטרנספרים הנדרשים בכדי להגיע מכל טבעת לטרמינל הבין-עירוני.
- המהירות המסחרית של התחבורה המזינה ע"פ שעות היום, כיוון הנסיעה ועוד.

פריסת נוסעי התחבורה הציבורית בטבעות סביב תחנות המוצא והיעד:

מספר הנוסעים הכולל בקו (בתקופת היום הנבדקת) הבין-עירוני הנבדק מחושב מחוץ לתוכנות (כמתואר בפרק 1) וניתן לתוכנה כתשומה. לצורך הפעלת המודל יש לחלק חיצונית לו את הנוסעים לטבעות סביב הטרמינלים הבין-עירוניים של כל אחד מאמצעי התח"צ. החלוקה הקיימת במודל הינה, כאמור, ל-4 טבעות.

- הטבעת הראשונה היא ברדיוס הליכה (מונח 700 מ') מהטרמינל.
- הטבעת השנייה הנה בתחום שבין 0.7-5.0 ק"מ מהטרמינל.
- הטבעת שלישית הנה בתחום שבין 5-15 ק"מ מהטרמינל.
- הטבעת הרביעית כוללת את כל האזורים הרחוקים יותר מ-15 ק"מ מהטרמינלים.

יש להדגיש שהטבעות סביב הטרמינלים של אמצעי התחבורה השונים אינן חופפות בהכרח זו את זו (אלא אם יש נקודת מוצא או יעד משותפת אחת לכל אמצעי התחבורה הבין-עירוניים הנבדקים). כאשר הטרמינלים נמצאים באתרים שונים יש לפלג את אוכלוסיית הנוסעים לטבעות בנפרד סביב כל טרמינל. כאשר במוצא יש שתיים או יותר נקודות העלאת נוסעים יש לחלק את אזור העורף לשתי טבעות או יותר, ולאחד אחר כך את הנוסעים לטבעות מרחק במבנה המפורט לעיל.

לדוגמא: רכבת היוצאת מחיפה לת"א מעלה כיום נוסעים בתחנת חיפה מרכז ובתחנת בת גלים. טבעת מס' 1 (רדיוס 700 מ' מהטרמינל) תחבר במקרה זה את הנוסעים שמוצאם 700 מ' או פחות מאחת מהתחנות. כך יש גם לנהוג סביב נקודות ההורדה/ פיזור של הנוסעים באוטובוסים ובמוניות (מרחקים מציר פיזור).

בהעדר מידע על התפלגות הנוסעים לטבעות כנ"ל סביר להעריך זאת ע"פ התפלגות האוכלוסייה בטבעות (כסכימה של אוכלוסייה באזורים סטטיסטיים, תתי-רובע, ישובים וכו' ע"פ האזור הנבדק והטבעת הנבדקת), ואו ע"פ שימושי קרקע אחרים ע"פ היקף השטחים המבונים באזור המוצא/ יעד. התפלגות זו והמדדים לאמידתה משתנים גם ע"פ שעות היום ומטרות הנסיעה.

אומדן מספר הטרנספרים הנדרשים בנסיעה מכל טבעת לטרמינל הבין-עירוני מחייב הכרת מבנה הנסיעות העירונית/ פרברית באיזור המוצא/ יעד. הערכת מהירויות הנסיעה של התח"צ בשני קצות המסלול (ע"פ שעות היום) מחייב מדידת הנושא, לפחות עבור תקופת הבסיס.

2.3.2 מודל הפיצול

זהו מודל פיצול התנהגותי ודיסאגרטיבי, הפועל בתוכנה בשינויים קלים המפורטים בהמשך. המודל מניח, כאמור, שהנוסעים מעוניינים במינימוזציה של מטרדי הנסיעה, וככל שרמת המטרד הכוללת הכרוכה בנסיעה באמצעי תחבורה נתון פוחתת- כך גדלה הסתברות הבחירה בו. כלומר: האמצעי הטוב ביותר אינו זוכה לכל ביקוש, אלא רק ליתרון ע"פ האחרים, הגדל ככל שיתרונו בתחום רמת השרות המשוקללת גדל. כאשר פערי רמת השרות גדולים מאוד יתכנו מצבים של זניחת אמצעי תחבורה ע"י הנוסעים והוצאתו (במודל) מהתחרות בקו הנבדק.

מטרדי הנסיעה נמדדים מנקודת הראות של נוסעים מסוגים שונים, היוצאים לדרך מנקודות מוצא שונות ליעדים שונים, הפזורים בטבעות סביב תחנות המוצא והיעד. מטרד הנסיעה הכולל מסכם את המטרד הכרוך בזמן הנסיעה מדלת לדלת, לרבות זמני המתנה והליכה, את המטרד הכרוך במעבר מאמצעי תחבורה למשנהו בדרך (טרנספרים), את מחיר הנסיעה ועוד. לסוגי נוסעים שונים נקבעים במודל יחסי תחלופה שונים בין זמן/נוחות/ כסף.

גורמי רמת השירות המובאים בחשבון במודל: המודל מביא בחשבון 10-11 מרכיבים של רמת שירות הכרוכים בבחירה באמצעי תחבורה נתון. להלן פירוט מרכיבים אלה:

1. **זמן הנסיעה הממוצע באמצעי הנבדק-** זמן הנסיעה הממוצע באמצעי התחבורה הבין-עירוני או הפרברי הנבדק ע"פ שעות היום הנבדקות. (התשומה הנדרשת בתוכנה עבור אמצעי תח"צ היא זמן הנסיעה ברכב, עבור הרכב הפרטי: קילומטרז' העירוני והבין-עירוני והמהירויות הממוצעות בקטעים העירוניים והבין-עירוניים בשעות הנבדקות).

2. **סטית התקן סביב זמן הנסיעה הממוצע** - זהו מדד לאמינות אמצעי התחבורה הנבדק בשעות הנבדקות וליכולת הנוסע להעריך את זמן ההגעה ליעד באמצעותו. חשיבות מרכיב זה משתנה ע"פ מטרת הנסיעה וסוג הנוסע.

3. **זמני הנסיעות המזינות** - זמני נסיעה נטו באמצעי התחבורה המזינים.

4. **משך ההמתנה לתחבורה המזינה** - נאמד ע"פ מספר הטרנספרים וזמן ההמתנה הממוצע לטרנספר. מתייחס רק להמתנה לתחבורה המזינה ולא להמתנה לאמצעי התחבורה הבין-עירוני או הפרברי הנבדק.

5. **זמני הליכה** - סכום זמני הליכה אל התחבורה המזינה, אמצעי התחבורה הבין-עירוני/ הפרברי, או ההליכה ממקום חניה ליעד הסופי כאשר הנסיעה מתבצעת ברכב פרטי.

6. **זמן המתנה ממוצע לאמצעי התחבורה הנבדק** - התכנית מחשבת זמן זה באמצעות מודל עזר. במקרה של תדירות גבוהה, והפרשי זמן קצרים בין שתי יציאות עוקבות מחשב המודל זמן המתנה השווה למחצית הזמן שבין היציאות העוקבות. כאשר התדירות נמוכה והזמן בין היציאות העוקבות גדול יחסית מניח המודל שהנוסעים לא יגיעו בזמן אקראי לתחנה, אלא יתאימו את זמן הגעתם לטרמינל לזמן היציאה של אמצעי התחבורה הנבדק. זמן ההמתנה בפועל יהיה אז קצר ממחצית הזמן שבין שתי יציאות עוקבות. ע"פ בדיקת התפלגות זמני ההגעה של נוסעים לתחנת הרכבת ת"א-מרכז כאשר המרווח בין רכבות עוקבות היה שעה או שעה וחצי, חושב זמן ההמתנה בפועל במודל על פי הנוסחה הבאה:

$$\text{עבור } t \leq 35 \quad W = T/2$$

$$\text{עבור } t > 35 \quad W = 12 + 2.7 \ln(t - 30)$$

כאשר T הוא המרווח בדקות בין יציאות עוקבות, ו W - הוא זמן ההמתנה בפועל.

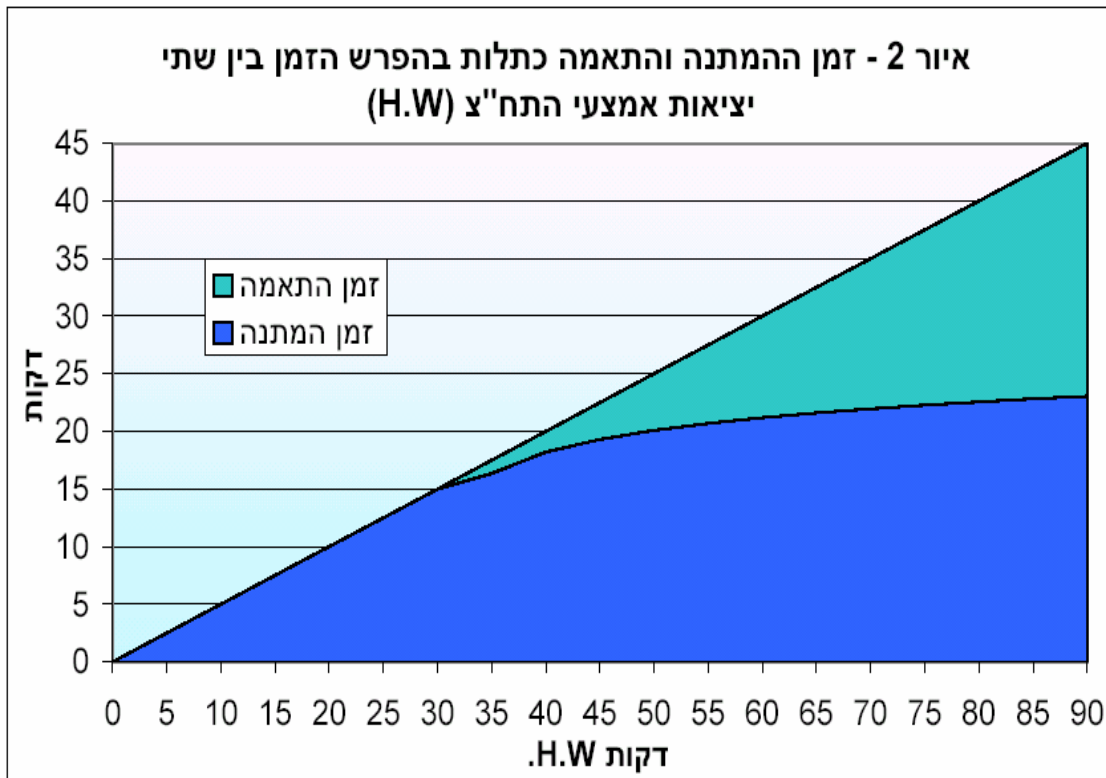
לדוגמא: כאשר אמצעי תחבורה יוצא כל 30 דקות תהיה ההמתנה בממוצע 15 דקות, אך כאשר התדירות היא אחת לשעה תהיה ההמתנה 21.2 דקות (ולא 30 דקות).

במקביל מגדיר המודל את הפרש שבין זמן ההמתנה בפועל למחצית הזמן שבין יציאות עוקבות (כאשר מרווח זה ארוך מ 35 דקות) כ "**זמן התאמה**" ($W - T/2$). מונח שהצורך בהתאמה זו מהווה מטרד מנקודת הראות של הנוסע הגדל ככל שגדל זמן ההתאמה.

חריפות המטרד תלויה מאוד בסוג הנוסע ובמטרת הנסיעה. עבור נוסעים החייבים להגיע בזמן נתון ליעד עלות דקת התאמה גבוהה כעלות דקת נסיעה.

בכל מקרה מטרד ההמתנה קטן יותר ע"פ מודל זה עבור אמצעי תחבורה שתדירותם נמוכה ביחס למטרד שהיה מתקבל אילו הונח שהנוסע מגיע לתחנה בזמן אקראי, ללא תיאום עם לוח הזמנים של אמצעי התחבורה המדובר.

איור 2 להלן מציג את זמן ההמתנה הממוצע וזמן ההתאמה כתלות בתדירות על פי הזמן (בדקות) שבין שתי יציאות עוקבות (H. W).



7. **סטית התקן לזמן ההמתנה** - ההנחה היא שהנוסע מיחס ערך שלילי לאי הוודאות בקשר לזמן ההמתנה לאמצעי התחבורה הנבדק, ומביא בחשבון ע"פ ניסיונו לא רק את זמן ההמתנה הממוצע אלא גם את סטית התקן של הזמן הנ"ל כחלק מאי הוודאות והמטרד הכרוך בבחירת אמצעי התחבורה הנבדק (אי וודאות זו מאפיינת בעיקר את מוניות השירות, והיא אחד הגורמים המסבירים את הביקוש המוגבל הקיים למוניות אלו).

8. **מספר הטרינספרים** - מספר הפעמים בהם עובר נוסע מאמצעי תחבורה אחד לשני במהלך נסיעתו מדלת לדלת. מחושב ע"פ חלוקת הנוסעים לטבעות סביב הטרמינלים (במודל הבין-עירוני או ע"פ נקודות המוצא והיעד במודל הפרברי). המעבר מאמצעי תחבורה אחד למשנהו מלווה בירידה בתועלת הנוסע, וזו מוערכת במודל ע"פ מקדם תחלופה סובייקטיבי לכל סוג נוסע. ראוי גם לציין שלרוב קיימת תחלופה בין זמן נסיעה מזינה ארוך יותר לתוספת טרינספר, ואי הנוחות שבביצוע המעבר מתקזזת עם אי הנוחות שבזמן נסיעה ארוך יותר.

9. **איכות הנסיעה באמצעי הנבדק** - גורם זה מקבץ בתוכו מספר רב של גורמי טיב השירות והנסיעה, שאינם נמדדים בכסף או בזמן. בין הגורמים הכלולים במודל בשם "נוחות הנסיעה" ניתן לכלול מספר קבוצות של גורמים העשויים להשפיע על בחירת הנוסע:

נוחות הנסיעה - עשויה להיות מושפעת מגורמים ברי מדידה אחדים:

- מרחב הישיבה לנוסע (מ"ר נטו לנוסע).
- סטית התקן של המהירות הרגעית ביחס למהירות הממוצעת. (ההנחה היא ששינויי מהירות חריפים גורמים להרגשה לא נוחה של הנוסע).
- רעש נשמע ברכב במהלך הנסיעה.
- ויברציות וקפיצות (כתלות בטיב מערכת הקפיצים ועוד).
- ויסות הטמפרטורה (בעיקר מיזוג אוויר בקיץ וטיבו).

הנוסע עשוי להיות מושפע גם מגורמים שקשה למדוד :

- טיב המושבים.
- ניקיון הרכב.
- ניקיון הטרמינל הבין-עירוני, תנאי ההמתנה בו וכו'.
- מיתקנים להנעמת זמן הנסיעה : מזנון (ברכבת), טלוויזיה וכו'.
- אדיבות הנהג/ כרטיסנים/ קונדוקטורים וכו'.
- מקום למזוודות/ ציוד שהנוסע נוטל עמו.

במסגרת גורם "איכות הנסיעה" כלולים גם נושאי מידע על השירות, תדמית, בטיחות, בטחון וכו'. למעשה, זהו משתנה "שאריתי" הכולל את מרכיבי רמת השירות שלא פורטו בסעיפים הקודמים. עם זאת, הבדיקות שערכנו מלמדות שקיים דירוג איכות ברור של אמצעי התחבורה השונים ע"י ציבור הנוסעים, והוא משפיע על הסתברויות הנסיעה בהם. ניתן להסביר דירוג זה בעיקר בסדרת הגורמים הראשונה של תכונות הנסיעה.

איכות הנסיעה מדורגת במודל כציון איכותי האמור לשקלל את כל הגורמים הנ"ל. איכות הנסיעה מדורגת בין 0 (הניקוד הנמוך ביותר) ל 10 (הניקוד הגבוה ביותר). דירוג זה נקבע לנוחות המשתמש. התכנית משתמשת בפועל במשלים של הציון ל 10 (ציון גבוה הופך לרמת מטרד נמוכה ולהפך).

איכות הנסיעה הכוללת (למעשה : אי-נוחות הנסיעה) נאמדת במודל כמכפלה של שלושה גורמים : משך זמן הנסיעה, המשלים ל 10 של ציון איכות הנסיעה, ויחס התחלופה הסובייקטיבי של גורם איכות הנסיעה לדקת נסיעה מנקודת הראות של כל סוג נוסע.

לרכב הפרטי יש כמה יתרונות מיוחדים, שתועלתם בולטת במיוחד בנסיעות הפרבריות. ביניהם : היכולת לבצע נסיעות המשך בנוחות. כלומר, התברר שלא ניתן להסביר את הסתברות הבחירה (הגבוהה לרוב) ברכב הפרטי רק ע"פ תנאי הנסיעה המנותחת, ונראה שהבחירה בו (לעיתים בנסיעה בה הוא אמצעי נחות) מביאה בחשבון שיקולים שאינם תלויים בנסיעה המנותחת, אלא למשל, בנסיעת המשך (בתנאי שרשור נסיעות).

בשל חוסר יכולת לחזות נסיעות אלה, וכחלק מכיול המודל הפרברי נמצא שיש לפיכך להביא בחשבון יתרון איכותי קבוע לרכב הפרטי, יתרון שאינו מותנה באורך הנסיעה אלא בעצם השימוש בו. יתרון קבוע זה מופיע במודל הפרברי כמטרד שלילי (כלומר תועלת) של הרכב הפרטי.

10. **מחיר הנסיעה**- הכוונה למחיר הנסיעה הכולל (לרבות בתחבורה המזינה). ברכב הפרטי מובא בחשבון בעיקר "כסף הכיס" לנוסע ע"פ מחיר הבנין בתוספת של כ 80% עבור הוצאות משתנות אחרות - מחולק במקדם המילוי של הרכב (משתנה במודל ע"פ מטרות הנסיעה). מחיר הדלק מחושב ע"פ מרחק הנסיעה העירוני והבין עירוני, תצרוכת הדלק הממוצעת לרכב פרטי במסלול עירוני ובין עירוני ומחיר ליטר בנזין. בנוסף לכך מובא בחשבון מחיר חניה לרכב הפרטי (המשתמש קובע את מחיר החניה ואת שיעור כלי הרכב הפרטיים החונים בתשלום).

סוגי הנוסעים/ מטרות הנסיעה: המודל מבחין בין 5 סוגי נוסעים/ מטרות נסיעה. מספר זה ניתן כמובן לשינוי, אך סיווג מפורט יותר מצריך מערכת מידע ותהליך כיוול מורכב יותר.

האבחנה נעשית ע"פ 3 קריטריונים: זמינות או אי זמינות של רכב פרטי בנסיעה, מטרת הנסיעה, ותעריף הנסיעה החל על הנוסע - כאשר יש מקום לבדוד נוסעים הזוכים להנחות משמעותיות בתח"צ (כגון נסיעות חינוך או נסיעות מוזלות מאוד לחיילים בנסיעות בין עירוניות, נסיעות תלמידים בתחום העירוני).

חמשת סוגי הנוסעים/ מטרות נסיעה המנותחים בשתי התוכנות הם:

1. נוסע בעל זמינות רכב פרטי הנוסע לעבודה, ללימודים ולכל מטרה בה יש חשיבות לדיוק בזמן ההגעה.
2. נוסע בעל זמינות רכב פרטי בנסיעות אחרות.
3. נוסע ללא זמינות רכב פרטי בנסיעות לעבודה, לימודים וכו', כמפורט לעיל.
4. נוסע ללא זמינות רכב פרטי בנסיעות אחרות.
5. נוסעים ללא זמינות רכב פרטי והזוכים בהנחה ניכרת בתח"צ: בתוכנה הבין-עירונית אלה החיילים. בתוכנה הפרברית אלה בעלי כרטיסיות הנחה (תלמידים וקשישים).

נוסחת הפיצול:

נסמן: i - אינדקס גורם רמת השירות.

m - אינדקס אמצעי התחבורה

n - מספר אמצעי התחבורה המתמודדים (לרבות הרכב הפרטי).

j - אינדקס סוג הנוסע/ מטרת נסיעה

TR - מספר הנוסעים הכולל בציר הנבדק.

R_j - שיעור הנוסעים מסוג j מכלל הנוסעים.

MTR - שינוי במספר הנוסעים הכולל בציר כתוצאה משינוי ברמת השירות.

$Q_{i,m}$ - גורם רמת שירות i באמצעי תחבורה m .

$E_{i,j}$ - המטרד הסובייקטיבי שחש נוסע מסוג j עבור דקת נסיעה או יחידה אחרת של גורם רמת שירות i .

Z_n - מקדם כיוול כללי (משתנה ע"פ מספר אמצעי התחבורה המתחרים).

$D_{j,m}$ - המטרד הכולל הכרוך בבחירת אמצעי תחבורה m מנקודת הראות של נוסע j .

DS_j - סכום המטרדים של כל אמצעי התחבורה בקו מנקודת הראות של נוסע j .

$P_{j,m}$ - הסתברות הבחירה באמצעי תחבורה m ע"י נוסע מסוג j .

p_m - הסתברות הבחירה באמצעי תחבורה m .

סכום המטרדים הכרוכים בבחירת אמצעי תחבורה m ע"י נוסע מסוג j :

$$D_{j,m} = \sum_i E_{i,j} * Q_{i,m} \quad (1)$$

סכום המטרדים בכל אמצעי התחבורה מנקודת הראות של נוסע j :

$$D_{j,m} = \sum_m DS_j \quad (2)$$

הסתברות הבחירה של נוסע מסוג j באמצעי תחבורה m :

$$P_{j,m} = \frac{DS_j - D_{j,m} * n * z_n}{DS_j * n * (1 - z_n)} \quad (3)$$

$$\left(\sum_m P_{j,m} = 1 \text{ שנקל ש } \right)$$

שיעור הנסיעות באמצעי תחבורה m מכלל הנסיעות בקו הנבדק :

$$p_m = \sum_j P_{j,m} * R_j \quad (4)$$

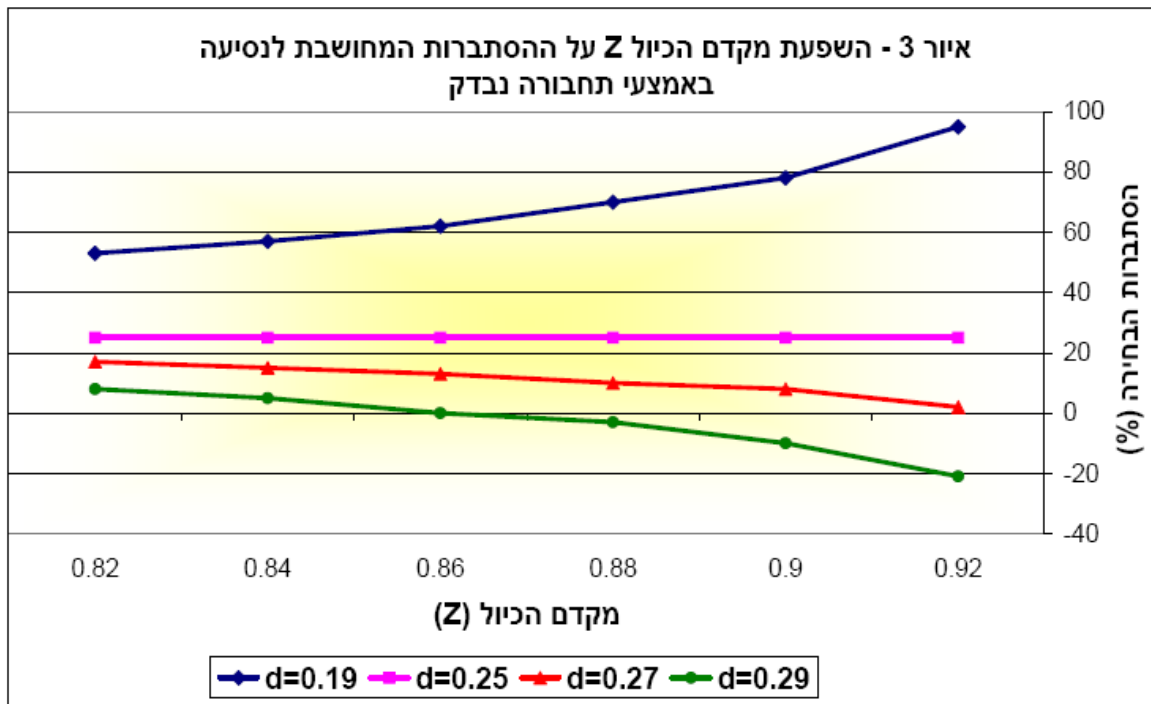
גורם הכיול z בנוסחה (3) קובע את רגישות הבחירה באמצעי תחבורה מסויים לרמת המטרד היחסית שלו. כאשר $z=0$ תהיה הסתברות אחידה לבחירה בכל אמצעי תחבורה, ללא קשר לרמת המטרד הכרוכה בבחירה בו. כאשר z קרוב ל 1 (למשל 0.99) הבדלים קטנים ברמות המטרד יצרו הבדלים גדולים בהסתברות הבחירה באמצעי התחבורה השונים. התחום שנמצא מסביר את התנהגות הנוסעים הוא בין 0.78 ל 0.83 כאשר מדובר בשלושה אמצעי תחבורה מתמודדים ובין 0.86-0.94 בהתמודדות בין 5 אמצעי תחבורה.

איור 3 להלן מדגים זאת. האיור מציג תחרות בין 4 אמצעי תחבורה, המיוצגים ע"פ שיעור סכום מטרדי הדרך שלהם מסכום מטרדי הדרך הכרוכים בנסיעה בכל אמצעי התחבורה המתחרים (מנקודת ראות של נוסע כלשהו). לאמצעי הטוב ביותר שיעור של 0.19, ולגרוע ביותר 0.29 (סכום השיעורים הוא, כמובן, 1.00).

כאשר $z=0.82$ הסתברות הבחירה של הנוסע באמצעי היעיל ביותר היא כ 50%, אך קיימת הסתברות של כ 10% שיבחר באמצעי הנחות ביותר, למרות שהוא מייצג מחיר נסיעה כולל הגבוה ב 53% (29/19) ביחס לאמצעי היעיל ביותר. אולם, החל מ $z=0.86$ יוצא אמצעי התחבורה בעל רמת המטרד הגבוהה ביותר מההתמודדות (הסתברות הבחירה בו 0). במצב זה מוחקת אותו התוכנה מרשימת אמצעי התחבורה המתמודדים ונערכת התמודדות חדשה בין שאר שלושת אמצעי התחבורה המתמודדים. אם האמצעי הנחות הוא אמצעי תחבורה ציבורית הוא עלול להפסיק לפעול גם ברמה גבוהה יותר מ 0% - התלויה בסוג האמצעי הנבדק ובמדיניות הפעלתו.

מקדמי z המומלצים בתוכנה הם :

| z | מספר האמצעים המתמודדים |
|------|------------------------|
| 0.70 | 2 |
| 0.79 | 3 |
| 0.84 | 4 |
| 0.87 | 5 |
| 0.89 | 6 |



בניתוח של הפיצול בנסיעות בין עירוניות ופרבריות בארץ נמצא הבדל במקדם z בין פיצול בין-עירוני לפרברי. מקדם ה- z בנסיעות פרבריות גבוה יותר. נראה שהדבר נעוץ בכך שהנסיעות הפרבריות נעשות בתדירות גבוהה ע"י מבצעייהן (חלקן נסיעות יום-יומיות) והנוסע מאתר את האמצעי העדיף מבחינתו ומשתמש בו (למעט במקרי שבתות, תקלות ברכב הפרטי וכו'). מאידך, נסיעות בין עירוניות (במיוחד רחוקות) מאופיינות בתדירות הנמוכה שהן מבוצעות ע"י חלק גדול מהנוסעים, ומכאן שגם מהעדר מידע ונסיון של חלק מהנוסעים. הבחירה נעשית איפוא גם על בסיס אקראי, ומכאן שהרגישות לטיב השירות נמוכה יותר מאשר בקווים הפרבריים.

2.3.3 מודל שינוי הביקוש הכולל לנסיעות

כאשר משתנה רמת השירות המשוקללת באמצעי תחבורה אחד או יותר בקו מנקודת הראות של נוסעים מסוג מסוים - הם עשויים להגיב לא רק בשינוי בפיצול הנסיעות בין אמצעי התחבורה, אלא גם בשינוי כולל במספר הנסיעות שהם מבצעים בקו. המודל לשינוי הביקוש הכולל לנסיעות מניח שמספר הנוסעים מסוג מסוים בקו ישתנה רק כאשר יחול שינוי ברמת המטרד המינימלית העומדת בפני הנוסע: $\min (D_{j,m})$.

ההנחה היא ששיפור קל באמצעי תחבורה מישני בקו מנקודת ראות של נוסע נתון (אמצעי שרמת המטרד בו אינה המינימלית מבין אמצעי התחבורה הפועלים בקו) לא תגדיל את הביקוש הכולל של סוג נוסע זה בקו, היות וממילא נוסע זה נטה לבחור באמצעי תחבורה אחר, והשיפור (במידה שאינו משמעותי) השאיר אמצעי זה נחות יחסית בעיניו. הסתברות הבחירה באמצעי שהשתפר תגדל, ואולם מחירה (מטרדה) הכולל של הנסיעה בקו לא ישתנה בעיניו, וכך גם מספר הנסיעות שיבצע.

כל זאת ישתנה אם יגרום השיפור לירידה במטרד המינימלי העומד בפני הנוסע. ירידה ברמת המטרד המינימלית תגרום לגידול במספר הנוסעים על פי גמישות הביקוש לנסיעות בקו ביחס לרמת המטרד המינימלית. גמישות הביקוש לנסיעות ביחס למטרד המינימלי מחושבת באותו אופן בו מחושבת גמישות הביקוש למוצר מסוים ביחס למחירו, דהיינו גמישות הביקוש לנסיעות היא היחס שבין אחוז השינוי במספר הנסיעות לאחוז השינוי במטרד המינימלי.

כאשר הגמישות היא אפס הביקוש הכולל לא ישתנה כתוצאה משיפור ברמת השירות. ככל שהגמישות גבוהה יותר כך נעשית התגובה לשינוי רמת השירות משמעותית יותר. יש להעיר שהרעה בתנאי הנסיעה הטובים ביותר (או עלית רמת המטרד המינימלית) תגרום ע"פ אותם מקדמי גמישות לירידה במספר הנוסעים הכולל בקו. הגמישות המתוארת משתנה ע"פ מטרות הנסיעה וסוג הנוסע.

יש להבדיל בנושא זה בין שינויים בטווח הארוך ובטווח הקצר:

- בטווח הארוך עשוי שיפור תחבורתי משמעותי בציר מסוים לגרום לשינוי במטריצת המוצא והיעד של הנוסעים לעבודה או למטרות אחרות ואף להשפיע על מערכת שימושי הקרקע - כשלכך יהיו השפעות על מספר הנסיעות בקו. כך, למשל, עשוי חשמול קו הרכבת בין ת"א-לחיפה וקיצור זמן הנסיעה ביניהן לכ 35 דקות בצד הגדלת התדירות בקו להגדיל מאוד על פני זמן את מספר תושבי חיפה העובדים בת"א ולהפך. יגדל גם מספר הסטודנטים הלומדים בחיפה (או בת"א) וממשיכים לגור בעיר האחרת. יהיו גם שינויים דומים בקרב נוסעים אחרים. שינויים אפשריים אלה בטווח הארוך אינם מובאים בחשבון במודל, היות והם מחייבים ניתוח וחיזוי אורבני, ומערכות נתונים וכלי ניתוח נוספים, נרחבים כשלעצמם.
- בטווח הקצר ייווצרו נסיעות נוספות כתגובה של ציבור הנוסעים הקיים על השיפור התחבורתי. יש להניח שאחוז הגידול של נסיעות למטרות בידור, קניות, טיולים וכו' יהיה גדול יותר מאחוז הגידול של נסיעות למטרות עבודה, למשל. תוספת נסיעות זו בלבד כלולה במודל.

נוסחת תוספת הנסיעות

נסמן:

TR_j - מספר הנוסעים מסוג j בציר הנבחן.

MTR_j - תוספת מספר הנוסעים מסוג j בציר הנבחן כתוצאה מהשיפור.

Y_j - רמת המטרד הנמוכה ביותר שעמדה בפני נוסע מסוג j (רמת המטרד באמצעי התחבורה היעיל ביותר במשוקלל בעיניו) לפני השיפור.

NY_j - רמת המטרד הנמוכה ביותר החדשה מנקודת הראות של נוסע j לאחר ביצוע השיפור.

α_j - מקדם גמישות הביקוש של נוסע מסוג j לשינוי ברמת המטרד המינימלית של הנסיעה.

מספר הנוסעים מסוג j שיתווספו יהיה:

$$MTR_j = TR_j * \left(1 - \frac{NY_j}{Y_j}\right) * \alpha_j \quad (5)$$

2.4 מהלך הפעלת התוכנות ותכונותיהן הדינמיות

לאחר הכנסת הנתונים לתוכנות, הן מחשבות את פיצול הנסיעות בין אמצעי התחבורה עבור כל אחד מסוגי הנוסעים, וכן עבור כלל הנוסעים. במקביל מחושב מקדם המילוי הממוצע לכל אמצעי תחבורה.

ההרצה הראשונה חייבת להתייחס למצב הבסיסי בקו, לרוב המצב הקיים. אם מקדם המילוי באמצעי תחבורה מסויים נמצא גבוה מהמכסימום האפשרי או נמוך מהמינימום הסביר מודיע על כך המחשב, ומאפשר למשתמש להריץ הרצת תיקון לאחר שינוי בתדירות באמצעי תחבורה זה. התיקון יכול להתבצע גם אוטומטית ע"י התכנית. השינוי בתדירות אחד מאמצעי התחבורה עשוי לגרום שינויים בפיצול הנסיעות הכללי.

כאשר אמצעי תחבורה מסוים מספק רמת שירות משוקללת נמוכה משמעותית מאשר האחרים חלקו בקו יכול להיות נמוך מהמינימום המוגדר בתכנית, והמודל יוציא אותו מרשימת אמצעי התחבורה המתחרים ויערוך הרצה חדשה שאינה כוללת אותו.

לאחר שהמודל מוציא כפלט תוצאות תקינות, דהיינו מקדמי המילוי לכל אמצעי תחבורה הוא מקדם אפשרי, ניתן לשמור את ההרצה כהרצת בסיס ולבחון את ההשלכות של שינויים ברמת השירות של אמצעי תחבורה כלשהו, או בנתוני הבסיס (למשל במחיר הבנזין) על מספר הנוסעים הכולל בקו ועל פיצול הנסיעות.

כאשר חל שיפור משמעותי באמצעי תחבורה מסוים יעברו אליו נוסעים ובמקביל ירד מספר הנוסעים באמצעי התחבורה האחרים. הדבר עשוי להקטין את תדירות היציאות שלהם בקו, דבר שיוליך לירידה נוספת במספר נוסעיהם (בשל הירידה ברמת השירות). תהליך דינמי זה עשוי להתכנס במצב בו תדירות אמצעי התחבורה שנפגע פוחתת, אך במקרים מסויימים ירד חלקו של אמצעי תחבורה זה עד לרמה שבה הוא לא יוכל להמשיך לפעול בקו (מצב תיאורטי, העשוי להתרחש רק עקב שיפור משמעותי מאוד באמצעי התחבורה האחרים).

במקרים שבהם עקב השיפור יש לסוגי נוסעים שונים רמת מטריד כוללת הנמוכה מהקיימת בהרצת הבסיס, התכנית מחשבת תוספת למספר הנוסעים הכולל בקו, כאשר כל התוספת עוברת לאמצעי התחבורה היעיל ביותר. חישוב תוספת הנוסעים מבוסס, כאמור בסעיף הקודם, על מקדמי גמישות של הביקוש לנסיעות ביחס לרמת המטריד הכללית ע"פ סוגי הנוסעים.

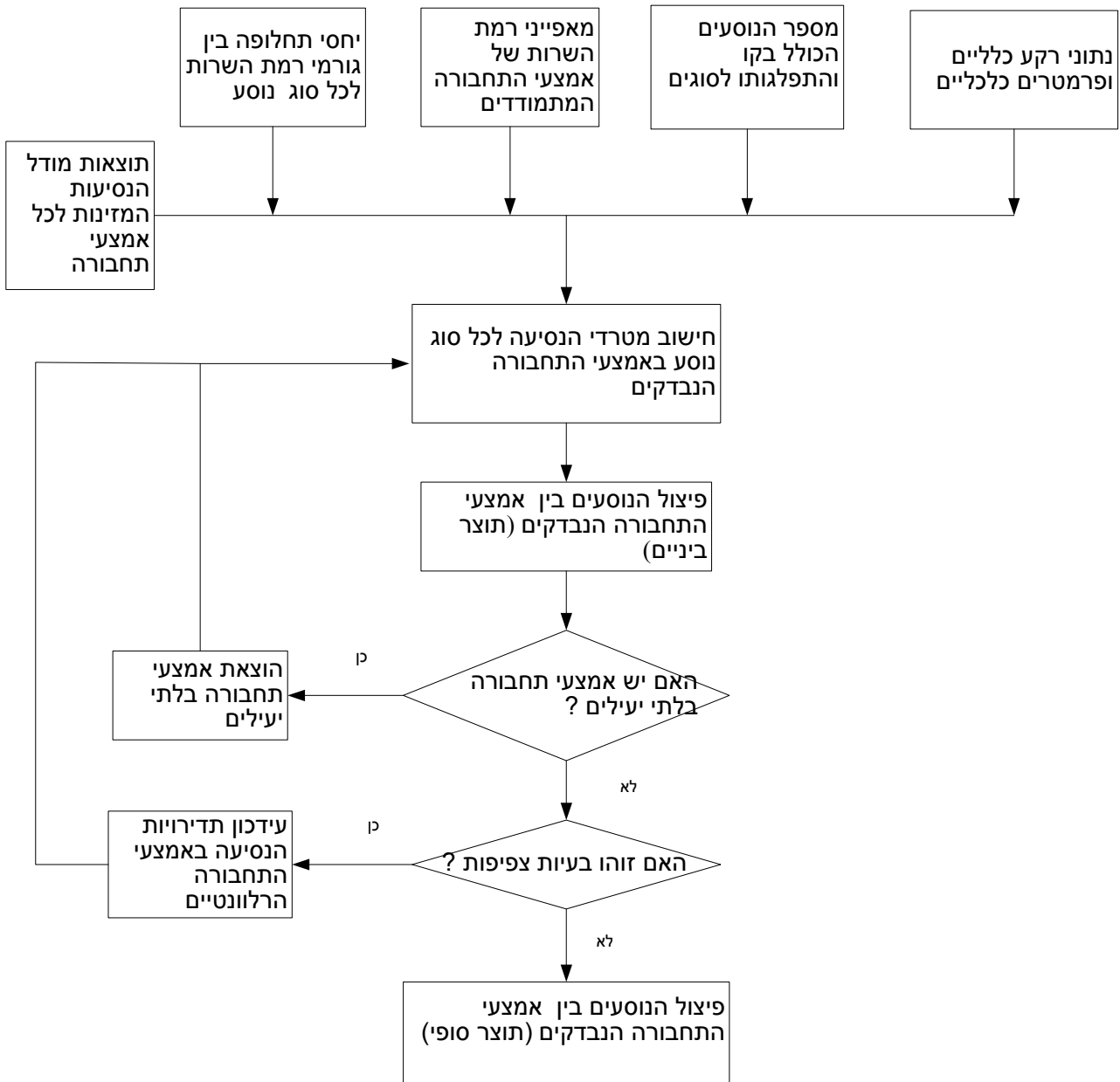
תרשימי זרימה של תוכנת הפיצול בהרצת "בסיס" ו"שינוי" מובאים להלן באיורים 4 ו 5.

2.5 שימוש בתוצאות ההרצה כמדד לתועלת הכלכלית שבביצוע שיפור תחבורתי

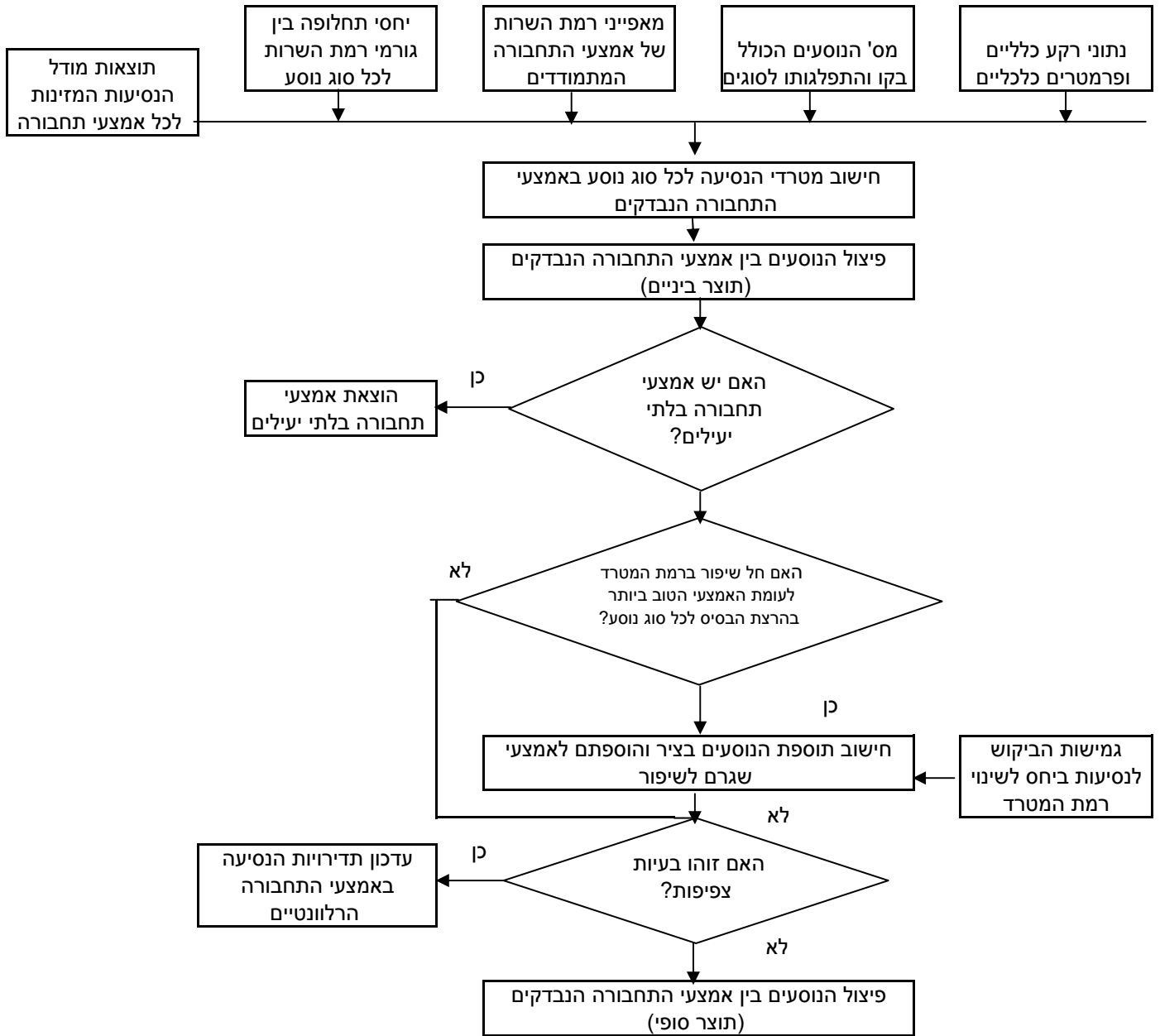
כפי שהוסבר בסעיפים הקודמים, פיצול הנסיעות מבוסס על אמידת ההבדלים ברווחת הנוסע הכרוכים בבחירה באמצעי התחבורה השונים. הרווחה כוללת מרכיבי זמן, תשלומים לסוגיהם ונחות. כאשר משתנים התנאים התחבורתיים חלים שינויים הנמדדים בתוכנה ברווחת הנוסעים. שינויים אלה ניתנים לתרגום למונחים כספיים ע"פ יחסי התחלופה בין כסף/ נקודות מטריד האופייניים לסוגי הנוסעים השונים (ע"פ יחסי התחלופה שבמודל הפיצול). ניתן לסכם שינוי זה עבור כל ציבור הנוסעים, והתוצאה המתקבלת היא השינוי בתועלת הנוסעים מהשינוי. שינוי זה מהווה מרכיב עיקרי בתועלת הנובעת מביצוע פרויקטים תחבורתיים לסוגיהם: בסלילת כבישים, מסילות, שיפורים ברמת השרות של תח"צ וכו'. במקרה של הרעה בתנאי הנסיעה ניתן להעריך כספית במקביל את משמעות הירידה ברווחת המשתמשים בדרך.

התוכנה מאפשרת בהתאם לכך לאמוד בשיטה מקיפה מהמקובל את תועלת המשתמשים בדרך מביצוע פרויקט תחבורתי, תועלת המהווה, כאמור, מרכיב עיקרי בתועלת הכללית (בנוסף לה עשויות להיות תועלות הנובעות משינוי בעלויות רכב מסחרי, בעלויות תאונות הדרכים וכו').

איור 4 - תזרים זרימה של תוכנות פיצול הנסיעות - הרצת הבסיס



איור 5 - תזרים זרימה של תוכנות פיצול הנסיעות - הרצת שינוי



נסמן : m - אינדקס אמצעי התחבורה

j - אינדקס סוג הנוסע/ מטרת הנסיעה

TR_j - סה"כ נוסעים מסוג J בציר הנבדק לפני ביצוע השיפור/ שינוי התחבורתי.

MTR_j - תוספת נוסעים מסוג J כתוצאה מביצוע השיפור/ שינוי (באמצעי ששופר).

$D_{j,m}$ - המטרד הכולל הכרוך בבחירת אמצעי תחבורה m מנקודת הראות של נוסע j (מבוטא ביחידות מטרד).

$D'_{j,m}$ - המטרד הנ"ל לאחר שיפור/ שינוי תחבורתי נבדק.

$P_{j,m}$ - הסתברות הבחירה באמצעי תחבורה m ע"י נוסע מסוג j .

$P'_{j,m}$ - הסתברות הבחירה הנ"ל לאחר שיפור/ שינוי תחבורתי נבדק.

VT_j - ערך שעה (בש"ח) של נוסע מסוג J (שעה אקוויולנטית ל 60 יחידות מטרד)

$D_{j,x}$ - המטרד של נוסע J באמצעי היעיל ביותר (x) עבורו לפני השינוי.

$D'_{j,x'}$ - המטרד של נוסע J באמצעי היעיל ביותר (x') עבורו לאחר השינוי.

C_0 - ערך כספי של מטרדי הדרך לפני השינוי התחבורתי.

C_1 - ערך כספי של מטרדי הדרך לאחר השינוי התחבורתי.

W - התועלת (התוספת לעודף הצרכן) של נוסעים חדשים.

$$C_0 = \sum_j \left(\sum_m D_{j,m} * P_{j,m} \right) * TR_j * VT_j / 60 \quad (6)$$

$$C_1 = \sum_j \left(\sum_m D'_{j,m} * P'_{j,m} \right) * TR_j * VT_j / 60$$

תועלת נוסעים חדשים:

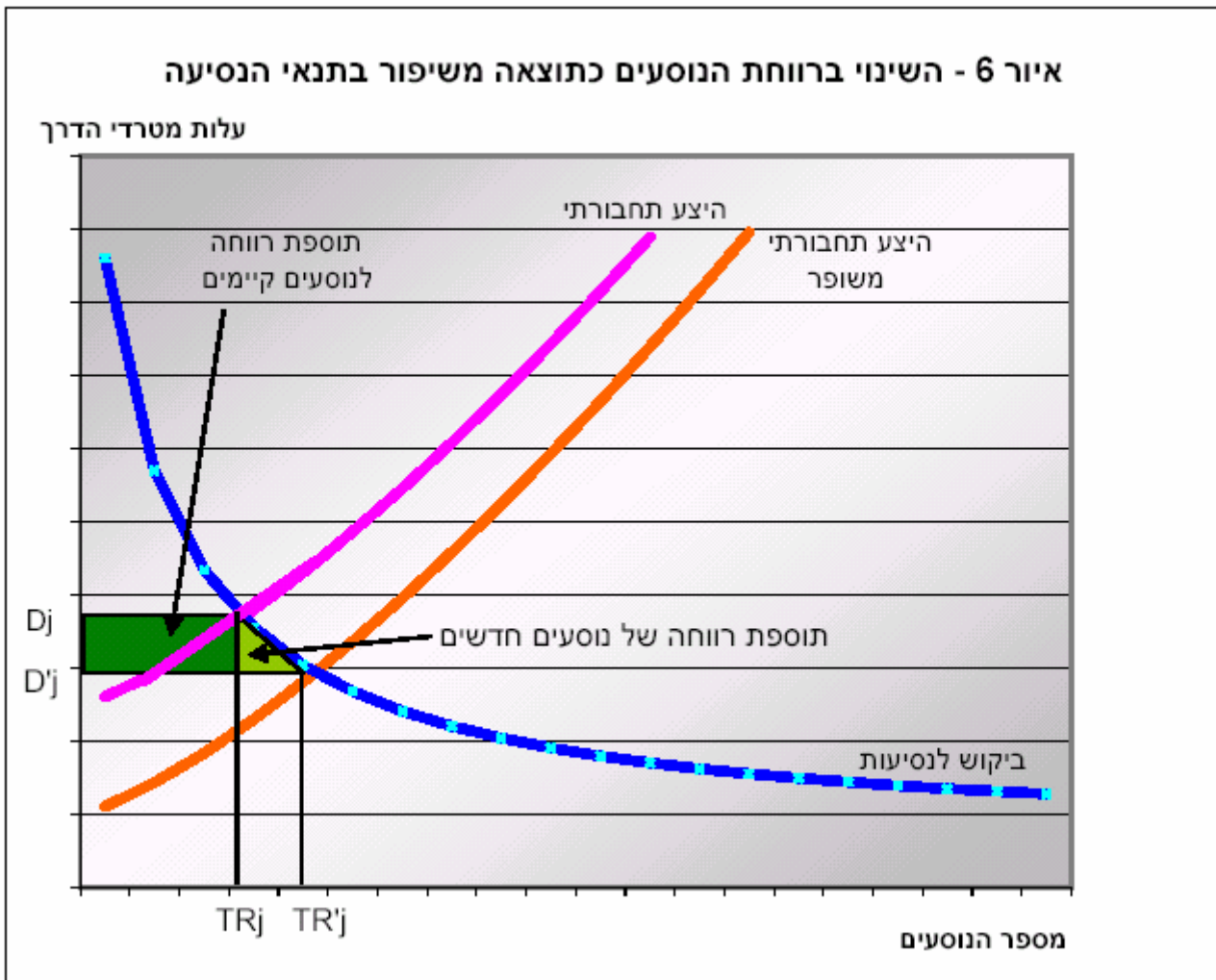
$$W = 1/2 \sum_j MTR_j * (D_{j,x} - D'_{j,x'}) \quad (7)$$

התועלת הכוללת (B) מהשינוי תהיה:

$$B = C_0 - C_1 + W \quad (8)$$

השינוי ברווחת הנוסעים בשל שיפור בהיצע התחבורתי מוצג באיור 6 להלן. עודף הצרכן גדל בשטח המלבן + שטח המשולש באיור:

- תועלת הנובעת מירידה בערך מיטרדי הדרך של הנוסעים בתקופת הבסיס ($C_0 - C_1$), זהו שטח המלבן שרוחבו $D_j - D'_j$, ואורכו: TR_j עבור נוסעים מסוג J .
- תועלת הנובעת מתוספת נסיעות לקו בשל הירידה במיטרד הכולל (שטח המשולש שמימין למלבן באיור 6), תועלת השווה בקרוב לזו שבנוסחה 7.



במקרה של הרעה במצב התנועתי מתקבלת, כמובן, תועלת שלילית, הנובעת מירידה בעודף הצרכן.

שימוש בתוכנה לאמידת תועלת מביצוע פרוייקט תחבורתי מאפשר הערכה מקיפה של התוצאות התחבורתיות והכלכליות של הפרוייקט.

- התוכנה מאפשרת הערכת השינוי בפיצול הנסיעות, שינוי המוזנח לעיתים או שאינו מנותח אנליטית בבחינת היבטים תחבורתיים של השקעות בכבישים, למשל.
- התוכנה מעריכה כמכלול את משמעות השינויים:
 - בעלויות התחבורה למשתמש לרבות עלויות חניה, דלק, כרטיסי נסיעה וכו'.
 - בערך זמן הנסיעה, ע"פ מרכיבי הזמן וע"פ שוויו למשתמש.
 - בנוחות הנסיעה, אמינות השימוש ברכב ועוד.

יש, עם זאת, לשים לב לכך שהשינויים בתועלת המשתמשים בדרך חושבה לעיל ע"פ מערכות המחירים העומדות בפני ציבור הנוסעים, ואלה כוללות מסים, סובסידיות כוללות ו/או צולבות וכו'. חישוב התועלת למשק הלאומי מביצוע פרוייקט תחבורתי מחייב ביצוע מספר תיקונים למערכת נוסחאות 6-8, או התעלמות ממרכיבי התועלת הכספית שבנוסחאות, ושימוש בהן רק לבירור תועלות הזמן והנוחות.