

מרץ 2025

כיצד להבטיח נגישות אקלימית לתחבורה ציבורית?

גישה מבוססת נתונים לתיעדוף
פעולות הצללה עירוניות

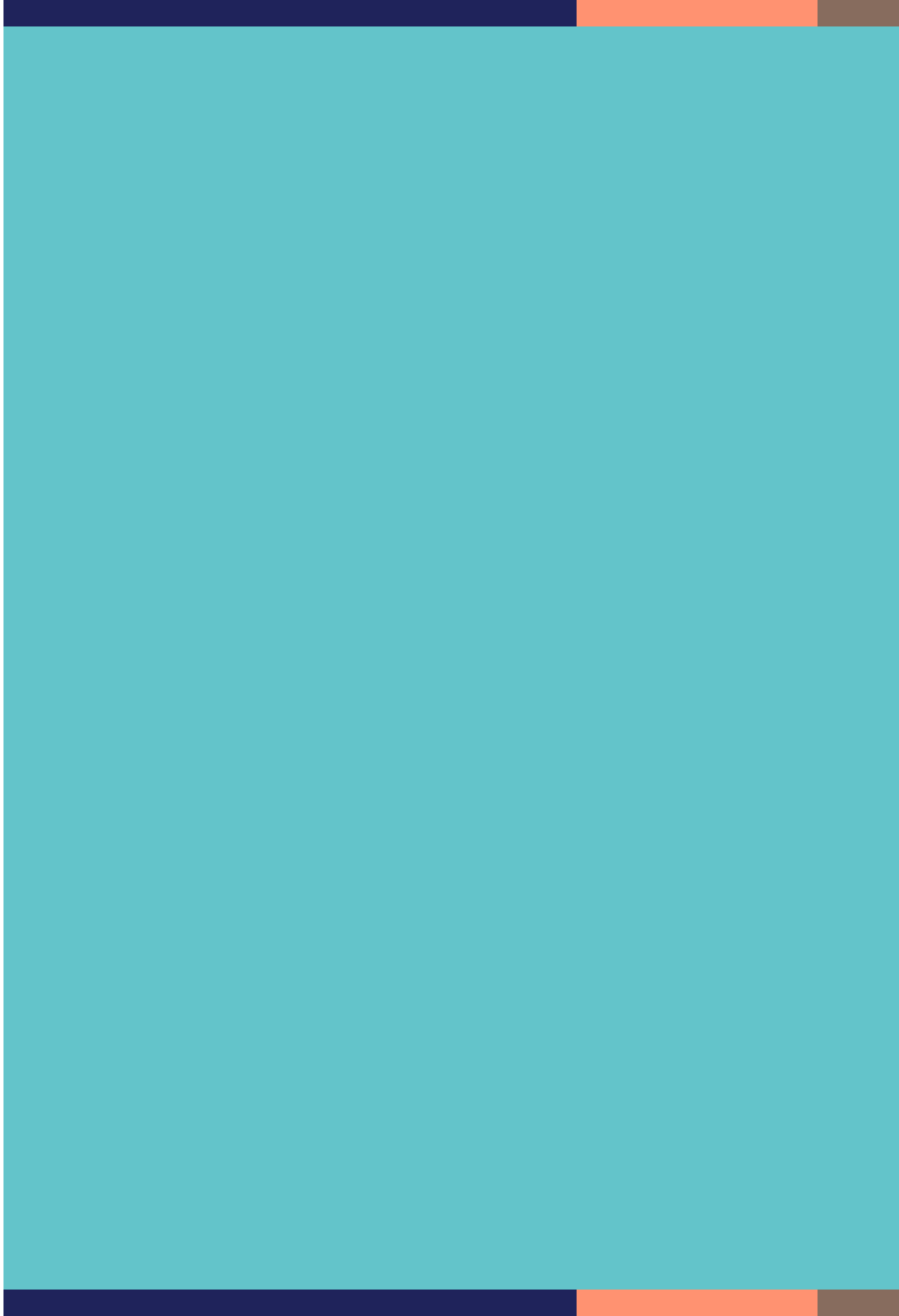
בית הספר לקיימות ושינויי אקלים
ע"ש גולדמן זוננפלד
אוניברסיטת בן-גוריון בנגב



המרכז למחקרי סביבה וקיימות
האוניברסיטה הפתוחה



ד"ר אור אלכסנדרוביץ'
ד"ר דניאל רוזנברג
פרופ' דויד פרלמוטר



כיצד להבטיח נגישות אקלימית לתחבורה ציבורית?

גישה מבוססת נתונים לתיעדוף
פעולות הצללה עירוניות

בית הספר לקיימות ושינויי אקלים
ע"ש גולדמן זוננפלד
אוניברסיטת בן-גוריון בנגב



המרכז למחקרי סביבה וקיימות
האוניברסיטה הפתוחה



ד"ר אור אלכסנדרוביץ'
ד"ר דניאל רוזנברג
פרופ' דויד פרלמוטר

בהוצאת המרכז למחקרי סביבה וקיימות, האוניברסיטה הפתוחה

מחקר מס' 1/25

מרץ 2025

כותבים: ד"ר אור אלכסנדרוביץ', ד"ר דניאל רוזנברג* ופרופ' דויד פרלמוטר**

עריכה: צאלה קליין-בירנבאום, ליליאן כהן

עיצוב גרפי: ענת וקנין אפלבאום

תצלומים: ד"ר אור אלכסנדרוביץ'

רכז מחקרים: עו"ד נמרוד גבע

לציטוט מחקר זה:

אלכסנדרוביץ', א', רוזנברג, ד', ופרלמוטר, ד' (2025). כיצד להבטיח נגישות אקלימית לתחבורה ציבורית? גישה מבוססת נתונים לתיעדוף פעולות הצללה עירוניות. המרכז למחקרי סביבה וקיימות, האוניברסיטה הפתוחה (מחקר מס' 1/25).

מחקר זה התאפשר הודות למענק מטעם המרכז למחקרי סביבה וקיימות באוניברסיטה הפתוחה ובית הספר לקיימות, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב.

* מעבדת BDAR, הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל

** המחלקה למדעי הסביבה, גאואינפורמטיקה ותכנון ערים, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

Securing climatic accessibility to public transport
A data-driven approach to urban shading operations

Dr. Or Aleksandrowicz

BDAR Lab, Faculty of Architecture and Town Planning,
Technion – Israel Institute of Technology
oraleks@technion.ac.il

Dr. Daniel Rosenberg

BDAR Lab, Faculty of Architecture and Town Planning,
Technion – Israel Institute of Technology
rdaniel@technion.ac.il

Prof. David Pearlmutter

Department of Environmental Sciences, Geoinformatics and
Urban Planning, Ben-Gurion University of the Negev
davidp@bgu.ac.il

על אודות המרכז למחקרי סביבה וקיימות

באוניברסיטה הפתוחה



המרכז למחקרי סביבה וקיימות
האוניברסיטה הפתוחה

המרכז למחקרי סביבה וקיימות הוקם באוניברסיטה הפתוחה בשנת 2023, במענה למשבר העירוניות המחרף – יותר מ-90% מתושבי מדינת ישראל מתגוררים ביישובים בעלי אופי עירוני, והצפי הוא שעד שנת 2065 שיעור זה יגדל לכדי 95% מהאוכלוסייה. ישראל הופכת למדינה שהיא עיר אחת גדולה.

בבואנו לשרטט תמונה של החיים העירוניים בישראל בעתיד, אין צורך להרחיק ראות כדי לחזות את ההשפעות של גידול האוכלוסין והצפיפות בתחומים רבים. בנייה צפופה של מגדלים לגובה, אובדן שטחים פתוחים וירוקים, חום מהביל, הצפות בחורפים – כל אלה הולכים ומקצינים. גודש עצום שהולך ומחרף בכבישים וזיהום אוויר גובר הם רק מעט מהתרחישים האפשריים והסבירים העומדים לפתחה של ישראל. כדי להתמודד בהצלחה מול שלל הסיכונים הנובעים מתרחישים אלו, נדרשות ראייה חדשנית לצד תפיסת תכנון בת־קיימה, המגובה בתוכניות עבודה מבוססות נתונים ומדע.

המרכז למחקרי סביבה וקיימות מקדם יוזמות מדעיות ומחקריות שיסייעו בהובלת תהליכי תכנון בר־קיימה במישור המקומי והלאומי, מתוך מטרה להיענות לאתגרים העירוניים של המדינה. מחקרי המרכז מניחים תשתית חיונית לקבלת החלטות מבוססות נתונים – תשתית שתאפשר עתיד עירוני טוב ומקיים יותר. אנו מגבשים את הידע הנחוץ לפיתוח חוסן עירוני ולקידום היערכות לשינויי האקלים, להטמעת אנרגיה מתחדשת וטכנולוגיות מקיימות אחרות בערים, להתחדשות עירונית מתחשבת בסביבה ועוד. כל זאת, מתוך ראייה של קיימות וצדק סביבתי לכל קבוצות האוכלוסייה בישראל. העשייה המחקרית שלנו נועדה לספק מענה מקיף ורב־תחומי לאתגרים אלה ואחרים.

במבט לעתיד הלא־רחוק, האתגרים הסביבתיים נעשים ממשיים ואף מחריפים, ובתוך כך קידום מדיניות עירונית בת־קיימה הופך לצו השעה. זו העת לפעול על פי האמרה הידועה: "חושבים עולמית – פועלים מקומית!".

ד"ר אור קרסין,

מייסדת וראשת המרכז למחקרי סביבה וקיימות

על אודות בית הספר לקיימות ושינויי אקלים

באוניברסיטת בן-גוריון בנגב



בית הספר לקיימות ושינויי אקלים
ע"ש גולדמן זוננפלד
אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

השינויים הגלובליים מהווים אתגר דחוף המשפיע על כלל תחומי חיינו. מאז החלו המדידות הרציפות של ריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה בשנת 1959, ריכוז זה עלה ביותר מ-33%. ביולי 2023 הכריז האו"ם כי תקופת ההתחממות הגלובלית הסתיימה, וכי אנו נכנסים לעידן "הרתיחה הגלובלית". מצב זה מדגיש את הצורך הדחוף במציאת פתרונות יעילים ומקיפים.

האתגר מורכב ודורש גישה משולבת של מחקר, חינוך וקידום מדיניות. יש לחבר כוחות בין האקדמיה, המערכות הציבוריות, מערכת החינוך, התעשייה והחברה כולה, כדי להתמודד באופן מושכל עם השלכות השינויים הגלובליים ולפעול למען הדורות הבאים.

בבית הספר לקיימות ושינויי אקלים ע"ש גולדמן זוננפלד אנו מאמינים כי התמודדות עם הרס הסביבה ושינויי האקלים היא חובה מוסרית וערכית. הפגיעה במערכות האקלים וביכולתנו לקיים מערכות חיים תומכות מחייבת שיתופי פעולה בין-תחומיים. מורכבות האתגרים הסביבתיים דורשת מענה רב-תחומי המשלב ידע מעולמות הטבע, ההנדסה, הבריאות, החברה והרוח.

בית הספר פועל כגוף על-פקולטי ייחודי, המאפשר שילוב בין תחומים שונים ליצירת חוסן אקלימי בר-קיימא. אנו שואפים להאט את קצב השינויים הגלובליים, לספק פתרונות הסתגלות לעולם המשתנה ולקדם קיימות לטובת העתיד.

המחויבות שלנו למצוינות מחקרית, הוראתית וחברתית מנחה אותנו. אנו מקדמים קשרים משמעותיים עם הקהילה, התעשייה וקובעי המדיניות, מתוך מטרה להיות גורם משפיע ומשמעותי בזירה המקומית והבינלאומית. גישה רב-תחומית, המשלבת למידה מהעבר ומההווה, היא המפתח ליצירת עתיד בר-קיימא.

פרופ' שמעון רחמילביץ',

ראש בית הספר לקיימות ושינויי אקלים ע"ש זוננפלד



התוכן

תקציר	8
1. מבוא: נגישות אקלימית לתחבורה ציבורית	14
2. מטרת המחקר	18
3. שיטות המחקר	20
3.1 מאגר תיקופי מסלקה לתחנות	21
3.2 מפות צל עירוניות	23
3.3 מדדים לכימות הצללה בהליכה לתחנות ותיעדוף שיפור ההצללה בהן	26
4. תוצאות המחקר	30
4.1 אפיון נפחי שימוש בתחבורה ציבורית	30
4.2 מדד ההצללה המשוקלל של מסלולי ההליכה לתחנה	39
4.3 תיעדוף הצללה בתחנות הסעה	53
4.4 תיעדוף הצללה על פי אזור סטטיסטי	58

68	.5	דיון
68	5.1	מספר הנוסעים בתחבורה ציבורית כאמצעי לתיעדוף פעולות הצללה בערים
70	5.2	מידת השימושיות של תיעדוף ההצללה על פי מספר הנוסעים בתחבורה ציבורית
74	.6	סיכום ומסקנות
78	.7	מקורות
80	.8	הכותבים
iii		Abstract



תקציר

תחבורה ציבורית נגישה וזמינה נתפסת היום כמרכיב חיוני בהבטחת איכות חיים עירונית וכאחד היעדים המרכזיים בכל חזון קיימות עירוני. עם זאת, נגישות לתחבורה ציבורית מוצגת פעמים רבות כתלויה בעיקר במרחק הרגלי שבין נקודות המוצא של הנוסעים לתחנות ההסעה ובנוחות השימוש בתשתית הפיזית להליכה, תוך התעלמות מפתיעה מהצורך להבטיח נוחות אקלימית בדרכי הגישה הרגליות לתחנות. מחקר זה בא לתת מענה ראשוני לפער זה על ידי פיתוח שיטה לתיעדוף שיפור הנגישות האקלימית של תחנות הסעה היכולה, בין השאר, לעזור לגורמי תכנון עירוניים בהכנת תוכניות אסטרטגיות להצללה ולייעור עירוני. מדדי התיעדוף שפיתחנו מבוססים על כימות הפער שבין עוצמת השימוש בתחנות לדרגת החשיפה לשמש במסלולים הרגליים המובילים אליהן. המחקר התמקד בשלוש ערים מרכזיות בישראל – תל אביב-יפו, חיפה ובאר שבע – וכן בעיר מרכזית פחות, נתיבות.

חישבנו מדד חדש, מדד תיעדוף ההצללה, שכימת עד כמה נחוץ להוסיף הצללה ברחובות לפי מצב ההצללה הממוצע ושיעור השימוש בתחבורה הציבורית בשעות היום

המחקר כלל ניתוח והצלבה של שני מאגרי נתונים עיקריים: נתוני תיקוף כרטיסי נסיעה בעלייה לתחבורה הציבורית שמנגיש משרד התחבורה לציבור, ומפות צל ברחובות ובאזורים סטטיסטיים (לפי הגדרת הלמ"ס משנת 2022) של ארבע הערים שבהן התמקד המחקר. ממאגר נתוני

התיקוף ניתן היה ללמוד על מגמות יומיות ועונתיות בנסיעה בתחבורה הציבורית בכל עיר, ולצד זאת גם לחשב עבור כל תחנת הסעה כמה נוסעים בממוצע עברו בה בשעות היום בעונה החמה. מפות הצל איפשרו לנו לחשב את רמת ההצללה בעונה החמה בדרך לכל תחנה או ברחובות באזורים שונים בעיר. באמצעות שני מאגרי הנתונים האלה חישבנו מדד חדש, מדד תיעדוף ההצללה, שכימת עד כמה נחוץ להוסיף הצללה ברחובות לפי מצב ההצללה הממוצע ושיעור השימוש בתחבורה הציבורית בשעות היום.

חישוב מדדי תיעדוף ההצללה בארבע הערים שבחנו במחקר חשף הבדלים ניכרים בין הערים, הן ברמת השימוש בתחנות הסעה שונות בעיר הן בתנאי ההצללה בגישה לתחנות, וסייע לאתר נקודות תורפה מרכזיות בנגישות האקלימית לתחנות הסעה בכל עיר

במחקר זה אנו מציגים שני מדדים לתיעדוף הצללה: האחד, ברזולוציה של תחנת הסעה בודדת, מבוסס על ניתוח מצב ההצללה בגישה רגלית לכל תחנת הסעה ועל מספר הנוסעים מאותה תחנה; האחר, ברזולוציה נמוכה בהרבה של אזור סטטיסטי, מבוסס על ניתוח מצב ההצללה ומספר הנוסעים הממוצע בכל התחנות באזור סטטיסטי מסוים. מבין השניים, מדד תיעדוף ההצללה בתחנות הוא מדד ממוקד, עשיר ומפורט יותר מבחינה גאוגרפית, אולם חישובו מורכב יותר. מניתוח תוצאות המיפוי של מדד תיעדוף ההצללה בתחנות ובאזורים סטטיסטיים אפשר לקבוע כי שימוש במדד המורכב יותר לחישוב (תיעדוף הצללה בתחנות) מניב תוצאות ממוקדות יותר מבחינה מרחבית, כולל הבלטת מרכזי פעילות משניים שלא זוכים להבלטה בניתוח על פי אזורים סטטיסטיים. מנגד, משני המדדים הסקנו כי בכל עיר שניתחנו יש להקדים ולמקד את פעולות הצללה באזורים הגובלים ברוב תחנות הרכבת העירוניות, ומבחינה זו ניתן

להסתמך גם על מדד תיעדוף ההצללה באזורים סטטיסטיים כדי להגדיר אזורים של עדיפות גבוהה להצללה ביחס לכל שטח העיר.

המדדים שפיתחנו בעבודה זו, יחד עם מדדים חברתיים-כלכליים מרחביים, עשויים גם לחשוף פערים בנגישות האקלימית לתחבורה ציבורית שפוגעים במיוחד בנגישותן של אוכלוסיות מוחלשות למשאב ציבורי זה



חישוב מדדי תיעדוף ההצללה בארבע הערים שבחנו במחקר חשף הבדלים ניכרים בין הערים, הן ברמת השימוש בתחנות הסעה שונות בעיר הן בתנאי ההצללה בגישה לתחנות, וסייע לאתר נקודות תורפה מרכזיות בנגישות האקלימית לתחנות הסעה בכל עיר. הבדלים אלה מדגישים את חשיבות המיפוי הפרטני של תנאי ההצללה ושיעורי הנוסעים בכל עיר לפני שמחליטים על פעולות לתוספת הצללה במרחב העירוני. המיפוי שהופק במהלך המחקר מאפשר לקבוע כי השיטה שאנו מציגים כאן ניתנת ליישום קל יחסית בקנה מידה רחב בכל הערים בארץ לצורך תיעדוף ברור של רחובות ואזורים שבהם נדרשות פעולות לשיפור ההצללה. ביישום נרחב של שיטה זו גם בערים נוספות, היא עשויה לאפשר למקבלי החלטות ולמתכננים לאתר נקודות תורפה חזרתיות בנגישות האקלימית של תחבורה ציבורית בכל רחבי הארץ, וכן להשוות את רמת הנגישות האקלימית בין הערים השונות. המדדים שפיתחנו בעבודה זו, יחד עם מדדים חברתיים-כלכליים מרחביים, עשויים גם לחשוף פערים בנגישות האקלימית לתחבורה ציבורית שפוגעים במיוחד בנגישותן של אוכלוסיות מוחלשות למשאב ציבורי זה.

JCDecaux

CAROLINA LEMKE

BERLIN

SUMMER
IS COMING.







מבוא:

נגישות אקלימית לתחבורה ציבורית

1

תחבורה ציבורית נגישה וזמינה נתפסת היום כמרכיב חיוני בהבטחת איכות חיים עירונית וכאחד היעדים המרכזיים בכל חזון קיימות עירונית (Alshalalfah & Shalaby, 2007; Sukor & Fisal, 2020; Taplin & Sun, 2020). עם זאת, נגישות לתחבורה ציבורית מוצגת פעמים רבות כתלויה בעיקר במרחק הרגלי שבין נקודות המוצא של הנוסעים (כגון מקומות מגורים או עבודה) ותחנות ההסעה ובנוחות השימוש בתשתית הפיזית להליכה, כגון זמינותן של מדרכות רחבות (Shaaban et al., 2018). כך לדוגמה, מסמך הנחיות לתכנון ותפעול של תחבורה ציבורית באוטובוסים שפרסם משרד התחבורה והבטיחות בדרכים (אסחאק ושליסלברג, 2016) כלל המלצה עקרונית לגישה רציפה ונוחה לתחנות אוטובוס, גם אם לא הוצגו בו מדדים או מתודולוגיה להגדרה מדויקת של מידת הנגישות הפיזית לתחנות. דו"ח מיוחד של מבקר המדינה על "משבר התחבורה הציבורית" (2019) הבליט בעיות של מרחק, מיקום ונגישות פיזית לתחנות אוטובוס בערים כחלק מהסיבות לשימוש המועט יחסית בתחבורה ציבורית בישראל.

דווקא על רקע הצורך הגובר בחיזוק החוסן העירוני בהתמודדות עם שינוי האקלים, מפתיע לגלות כי תפיסת הנגישות לתחנות הסעה אינה מתחשבת בדרך כלל בנוחות האקלימית, כלומר בהפחתה משמעותית של עומסי חום או קור שחווים הולכי הרגל בדרכי הגישה הרגליות לתחנות ההסעה. אומנם, מספר מחקרים מהשנים האחרונות ניסו להצביע על הקשר שבין נוחות אקלימית בתחנות אוטובוס לבין מידת השימוש בהן (Dzyuban et al., 2022; Electricwala & Kumar, 2016; Lanza & Durand, 2021), אולם גם מחקרים אלה בחנו את נושא הנוחות האקלימית רק בתחנות

עצמן ולא התייחסו לנוחות האקלימית לאורך הדרכים הרגליות שמובילות אליהן. בישראל ידוע כי תנאים של היעדר צל עשויים להשפיע בצורה חריפה על עומסי החום על הולכי הרגל (Aleksandrowicz & Pearlmuter, 2023; Middel et al., 2021), וצפוי היה משום כך שדרכי גישה אל תחנות ההסעה שחשופות יותר לשמש יקטינו את הנכונות להשתמש בתחבורה ציבורית, הגם שקשה למצוא לכך ראיות אמפיריות במחקר. למרות זאת, מדדים המאפשרים לכמת את הנגישות האקלימית של תחנות ההסעה ולאמץ מדיניות עירונית לשיפורה כמעט שאינם בנמצא.

בישראל חל בשנים האחרונות שינוי משמעותי בתשומת הלב הציבורית שניתנת לנוחות אקלימית ברחובות ובשטחים ציבוריים פתוחים, עם דגש מיוחד להפחתת עומסי חום באמצעות הצללה

בישראל חל בשנים האחרונות שינוי משמעותי בתשומת הלב הציבורית שניתנת לנוחות אקלימית ברחובות ובשטחים ציבוריים פתוחים, עם דגש מיוחד להפחתת עומסי חום באמצעות הצללה. העניין הגובר בהצללה אף זכה להכרה ממשלתית עם אישורה של החלטת ממשלה 1022 מיום 23.1.2022 לקידום הצללה ברחובות עירוניים באמצעות עצים, כמרכיב מרכזי בהתמודדות המרחבית בישראל עם תוצאות ההתחממות העולמית. עם זאת, בהחלטת הממשלה ובמסמכים נוספים שפורסמו מאז (ילינק ושווץ, 2023; איזק ואח', 2024), ניכר קושי בהתוויית שיטות לתיעדוף פעולות ההצללה.

מאחר שאין באפשרותה של אף רשות מקומית להוציא אל הפועל בו־זמנית פעולות הצללה בכל הרחובות והשטחים הציבוריים שבהם קיים מחסור משמעותי בהצללה, על כל רשות לגבש שיטה סדורה לתיעדוף פעולות אלה. על מנת להבטיח מיקוד נכון של ההשקעה הציבורית בתוספת ההצללה, ראוי היה ששיטות התיעדוף יתבססו על נתונים

על מנת להבטיח מיקוד נכון של ההשקעה הציבורית בתוספת הצללה, ראוי היה ששיטות התיעדוף יתבססו על נתונים אמפיריים מסוגים שונים, תוך בחינת הקשר שבין שיטת התיעדוף להיקפן של הפעולות ולמידת השפעתן על הציבור



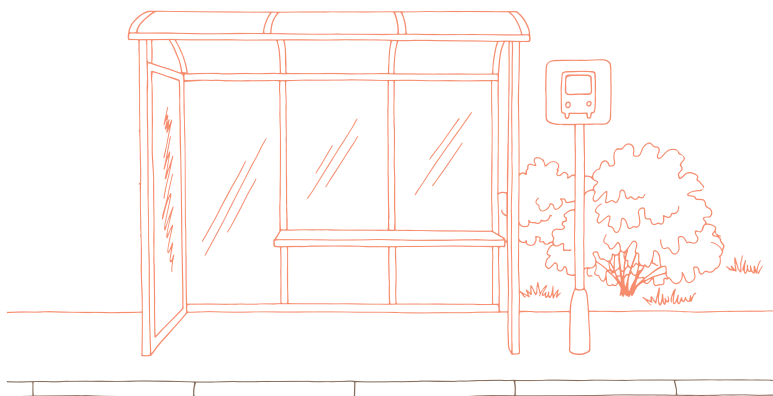
אמפיריים מסוגים שונים, תוך בחינת הקשר שבין שיטת התיעדוף להיקפן של הפעולות ולמידת השפעתן על הציבור. כיוון אפשרי נרמז כבר בהחלטת ממשלה 1022, שהדגישה את פעולות ההצללה ב"רחובות בעלי פוטנציאל הליכתיות משמעותי, קרי – רחובות שבהם עוברת תחבורה ציבורית או שהם רחובות עם פעילות מסחרית". עם זאת, קביעה זו לא לוותה בעבודה משלימה המאפשרת לתת משקל שונה לרחובות מסוג זה ולהכווין פעולות לרחובות שאינם רק בעלי "פוטנציאל הליכתיות משמעותי" אלא גם משרתים כבר עכשיו מספר גדול במיוחד של הולכי רגל. מבחינה זו, פיתוח שיטה לכימות מצב ההצללה בגישה לתחנות הסעת המונים יכולה לספק מענה, ולו חלקי, לסוגיית תיעדוף פעולות ההצללה ולשרת באופן זה תוכניות עירוניות מקיפות לשיפור מצב ההצללה ברחובות ובשטחים ציבוריים.

מטרת המחקר

2

מחקר זה נועד להשלים את הפער הקיים בהכוונה אפקטיבית של פעולות לתוספת הצללה ולהציע שיטה לתיעדוף הפעולות על פי איתור מוקדי משיכה עירוניים של משתמשי תחבורה ציבורית והערכת מידת הנגישות האקלימית של תחנות ההסעה באזורים אלה. מידת הנגישות האקלימית של תחנה תלויה בתנאים האקלימיים השוררים בדרכים המובילות אליה: ככל שעיצוב דרכי הגישה מאפשר התגוננות טובה יותר מפני עומסי חום או קור קיצוניים לאורך הדרך כולה, כך עולה מידת הנגישות האקלימית של התחנה. המדדים שפיתחנו מאפשרים לאתר נקודות תורפה אקלימיות משמעותיות ברשת תחנות ההסעה בעיר כשקלול מידת השימוש בהן לצד מצב ההצללה בדרכי הגישה אליהן ובסביבתן הקרובה. השיטה מתבססת על שימוש בנתוני עתק מסוגים שונים (גאוגרפיים, אקלימיים ותפקודיים) שאפשרו לנו לכמת את מידת השימוש בתחנות ההסעה העירוניות ואת השינויים היומיים והעונתיים בעוצמה זו ולצד אלה גם את מידת החשיפה לקרינת השמש בדרכים המובילות לכל אחת מהתחנות, המעידה גם על מידת הנגישות האקלימית שלהן.

היעדר הצללה מספקת בתחנת הסעה יכול לחשוף את הממתינים בתחנה לעומסי חום קשים, ופעמים רבות אין די בעיצוב מוצלח יותר של התחנה כדי לספק הגנה מספקת מפני קרינת שמש בתחנה עצמה. הדבר נובע ממגבלות פיזיות של רוחב המדרכה שבה ממוקמת התחנה, כיוון התחנה הנגזר מכיוון הרחוב וממדי סככת התחנה שמוגבלים על ידי עצמים אחרים במרחב. לכן, גישה מציאותית יותר לאתגר שבהצללת תחנות ההסעה היא לדאוג להצללה היקפית בדרכים המובילות אל התחנה, הצללה שתחרוג בהרבה מגבולותיה המצומצמים של סככת ההמתנה.



במצב כזה, אין סיבה לבצע הפרדה שרירותית בין אזור הסככה לבין הדרך המובילה אליה, והמרחב כולו נתפס כיחידה אחת שיש להצל את כל חלקיה. משום כך, בחינת הנגישות האקלימית של תחנת הסעה כוללת בתוכה גם את מצב ההצללה בזמן המתנה בתחנה, לצד מצב ההצללה בדרכים המובילות אליה.

ככל שעיצוב דרכי הגישה מאפשר התגוננות טובה יותר מפני עומסי חום או קור קיצוניים לאורך הדרך כולה, כך עולה מידת הנגישות האקלימית של התחנה

המחקר התמקד בשלוש ערים מרכזיות בישראל: תל אביב-יפו (כ־475,000 תושבים בראשית שנת 2023 לפי נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה), חיפה (כ־290,000 תושבים) ובאר שבע (כ־214,000 תושבים), שהן מרכזים של תחבורה ציבורית הנבדלים אלה מאלה מבחינה גאוגרפית, אקלימית ותחבורתית. כמו כן נבחנו המדדים גם בעיר נתיבות (כ־46,000 תושבים), המייצגת עיר קטנה והומוגנית יותר, בעלת רשת מסועפת פחות של תחבורה ציבורית. ההתמקדות בערים אלה, השונות במאפייניהן הפיזיים והתפקודיים, איפשרה לנו לבחון את המדדים בהקשרים עירוניים שונים הנבדלים אלה מאלה בפיזור המרחבי של תחנות ההסעה, בדרגת השימוש בהן, במבנה רשת הרחובות העירונית וברמת חשיפת הרחובות לקרינת השמש.

שיטות המחקר

3

המחקר התבסס על ניתוח והצלבה של שני מאגרי נתונים עיקריים: מאגר נתוני תיקוף כרטיסי נסיעה בעלייה לתחבורה ציבורית לפי תחנות הסעה שמנגיש משרד התחבורה, ומפות צל של ארבע הערים שבהן התמקד המחקר. את מפות הצל הפקנו על פי שיטה ייחודית שפיתחנו במחקרים קודמים (Aleksandrowicz et al., 2020) על ידי עיבוד נתונים גאוגרפיים תלת־ממדיים של הסביבה הבנויה שהפיק המרכז למיפוי ישראל (מפ"י). ממאגר נתוני התיקוף ניתן היה ללמוד על מגמות יומיות ועונתיות בנסיעה בתחבורה הציבורית בכל עיר, ולצד זאת גם לחשב בכל תחנת הסעה את מספר הנוסעים השעתי הממוצע שעבר בה במהלך שעות היום בעונה החמה. מפות הצל איפשרו לנו לחשב את רמת ההצללה בעונה החמה **בדור** לכל תחנה. באמצעות שני מאגרי נתונים אלה, חישבנו מדד חדש שכימת את מידת החשיבות של תוספת הצללה כתוצר של מצב ההצללה הממוצע ומספר הנוסעים בתחבורה הציבורית בשעות היום בשתי רזולוציות של ניתוח: ניתוח כללי לפי אזורים סטטיסטיים בעיר, וניתוח מפורט יותר של מסלולי ההליכה לכל תחנת הסעה.

**ממאגר נתוני התיקוף ניתן היה ללמוד על
מגמות יומיות ועונתיות בנסיעה בתחבורה
הציבורית בכל עיר, ולצד זאת גם לחשב בכל
תחנת הסעה את מספר הנוסעים השעתי
הממוצע שעבר בה במהלך שעות היום בעונה
החמה**

”

3.1 מאגר תיקופי מסלקה לתחנות

מאז שנת 2022 מפיץ משרד התחבורה לציבור מאגר נתונים של "תיקופי מסלקה לתחנות" המכיל נתוני תיקוף נסיעות בתחבורה ציבורית מכל תחנת הסעה עירונית בישראל. מקור הנתונים במאגר הנתונים הוא מתקני התיקוף המקוונים המותקנים באוטובוסים בישראל השייכים לכל מפעילי קווי ההסעות הציבוריים. המאגר מופץ כטבלה בפורמט csv שבה מפורטים השדות הבאים: מספר מזהה ייחודי של התחנה, שם התחנה, פרק הזמן שעברו התקבלו הנתונים, שנה, חודש, יום בחודש. בכל יום, נתוני התיקוף מחולקים לשבעה פרקי זמן לא שווים, המייצגים זמני שיא ושפל בשימוש בתחבורה ציבורית לפי הגדרת משרד התחבורה, כדלקמן:

- 03:59-00:00 – שפל לילה
- 05:59-04:00 – שפל לפנות בוקר
- 08:59-06:00 – שיא בוקר
- 11:59-09:00 – שפל יום 1
- 14:59-12:00 – שפל יום 2
- 18:59-15:00 – שיא ערב
- 23:59-19:00 – שפל ערב

הגדרת טווחי הזמנים שעל פיהם התבצעה האגרגציה של הנתונים הגולמיים והתיאור המילולי של כל אחד מפרקי הזמן נעשו בידי משרד התחבורה בלי לקחת בחשבון שינויים עונתיים או דפוסי התנהגות שונים בערים שונות. מדובר, אם כן, בהגדרות קשיחות שנועדו לקבוע מכנה משותף אחיד לנתונים מכל הארץ.

במחקר זה השתמשנו בקובץ הנתונים המלא של נתוני התיקוף משנת 2023, ומתוכו בודדנו את נתוני התחנות בארבע הערים שבחנו (תל אביב-יפו, חיפה, באר שבע ונתיבות). כחלק מתהליך העבודה, ניפינו את הנתונים מימי שישי ושבת בשל השונות הרבה ביניהם וחלקיות השירות בימים אלה, כך שהנתונים ששימשו אותנו היו רק מהימים ראשון עד חמישי בכל

שבוע לאורך השנה. לאחר מכן, חישבנו **ממוצעים חודשיים ושבועיים של מספר הנוסעים השעתי הכולל** בכל עיר כדי לבחון הבדלים יומיים ועונתיים בין פרקי הזמן השונים. כפי שנראה בהמשך, מצאנו כי מספרי הנוסעים הממוצעים בעיר בפרקי הזמן השונים כמעט שאינם משתנים לאורך השנה, וכי ניתן לאפיין בעזרתם בעקביות שעות שיא ושפל בשימוש בתחבורה ציבורית. יש לציין, עם זאת, שהשפעתה של מלחמת "חרבות ברזל" ניכרה בנתונים אחרי 7 באוקטובר, ובכל הערים חלה ירידה חדה במספר הנוסעים בתחבורה ציבורית מתחילת המלחמה ועד סוף שנת 2023, למרות התאוששות קלה בחודש דצמבר.

מאחר שביקשנו לפתח מדד הנוגע לעומסי חום הנגרמים בעונה החמה במהלך שעות האור, ערכנו עיבוד נוסף של הנתונים עבור כל אחת מהתחנות שבמאגר וחישבנו את **מספר הנוסעים השעתי הממוצע בכל תחנה** בין 1.5.2023 ל-31.8.2023 (ארבעה חודשים) בכל אחד משבעת פרקי הזמן שהגדיר משרד התחבורה. לא כללנו בחישוב את חודש ספטמבר משום שחלים בו מספר חגים. ניתוח זה איפשר לנו גם לכמת את



מספר הנוסעים השעתי הממוצע בשעות היום (Daytime Average Passengers per Hour) **בכל תחנה**, שחושב כממוצע המשוקלל של נתוני התיקוף בין השעות 06:00 ו-19:00. אומנם, בשעות הבוקר המוקדמות או בשעות אחרי הצהריים המאוחרות בחודשים מאי-אוגוסט החשיפה לקרינת השמש אינה גורמת להכבדה משמעותית בעומס החום המורגש. עם זאת, מאחר שהאגרגציה של הנתונים במאגר של משרד התחבורה אינה ביחידות זמן של שעה אלא בטווח של כמה שעות, בחרנו לצורך חישוב הממוצע המשוקלל בטווח הזמנים הקרוב ביותר לטווח השעות שבו אנו מעוניינים לצמצם עד למינימום את החשיפה לשמש בעונה החמה (08:00-17:00 לערך). באותו אופן, חישבנו גם את **מספר הנוסעים השעתי הממוצע בשעות היום** באזור סטטיסטי בכל עיר כצירוף מספר הנוסעים השעתי הממוצע בשעות היום בכל התחנות הממוקמות בתוך האזור הסטטיסטי. משתנה זה מאפשר להעריך את רמות השימוש בתחבורה ציבורית ברמה שכונתית, מעבר להבנת השימוש בתחנה כזו או אחרת.

3.2 מפות צל עירוניות

מפות צל עירוניות הן מפות המתארות את רמות ההצללה במרחבים העירוניים ברזולוציה גבוהה, הנדרשת להבנת מצב ההצללה הפרטני בכל נקודה בעיר מנקודת מבטם של משתמשי הדרך הלא־ממונעים (הולכי רגל, רוכבי אופניים ועוד). מפות כאלה חייבות להתבסס על מדד כמותי שמחשב את שיעור בלימת קרינת השמש לפני פגיעתה בקרקע. שיעור בלימת הפגיעה נגזר ממיקומה של השמש בשמיים בכל שעה נתונה, מעוצמתה של קרינת השמש באותה השעה ומתכונותיו התלת־ממדיות של המרחב העירוני (רוחב זכות הדרך, גובה המבנים וצפיפותם, צפיפות נטיעת העצים וגם גובה, שטח ההיטל והצפיפות של נוף העצים). מצב ההצללה עשוי להשתנות באופן משמעותי בעקבות שינויים מהותיים בסביבה הבנויה, כגון הריסת בניינים או הקמת בניינים ואמצעי הצללה בנויים חדשים, עקירת עצים או נטיעת עצים חדשים וצימוח מהיר של נוף עצים צעירים.

מפות הצל שהיו הבסיס לניתוח מסלולי ההגעה לתחנות ההסעה חושבו על פי **מדד ההצללה המרחבי** ($SI - \text{Shade Index}$), בשיטה שיישמו כבר 15 ערים בישראל (Aleksandrowicz et al., 2020). מדד זה מתאר בסולם פשוט בין 0 ל-1 באיזו מידה נבלמת פגיעתה הישירה המצטברת של קרינת השמש במפלס הקרקע במהלך יום קיץ טיפוסי. הוא מחושב על בסיס מיפוי תלת־ממדי ברזולוציה גבוהה של פני השטח הקיימים במרחב הבנוי, תוך הבחנה בין מבנים לעצים. מבחינה חישובית, הבחנה זו נחוצה משום שנוף העץ רחב מגזעו, והצל שהוא מטיל מתבטא גם בחלל הנמצא ישירות מתחתיו.

כדי לשקף את רמת ההצללה הממוצעת לאורך יום קיץ טיפוסי, מפות הצל מציגות את מדד ההצללה המרחבי שמחושב על פי עוצמת החשיפה **המצטברת** של פני הקרקע בין השעות 8:00 ל-17:00 (שעון קיץ) ב־6 באוגוסט, שהוא יום האמצע בין היום הארוך ביותר בשנה (21 ביוני) ליום השוויון הסתווי (22 בספטמבר), ומייצג בישראל גם את שיא עומס החום השנתי. באופן זה, המדד מביא בחשבון את השונות בעוצמת קרינת השמש לאורך שעות היום, על בסיס ההשוואה בין עוצמת הקרינה המצטברת בנקודה מסוימת במרחב באותן שעות לבין עוצמת הקרינה המצטברת בנקודה היפותטית חשופה לחלוטין לקרינת שמש ישירה לכל אורך זמן המדידה. הנוסחה המשמשת לחישוב המדד היא:

$$SI_p = 1 - \left(\frac{Insolation_p}{Insolation_r} \right)$$

SI_p הוא מדד ההצללה בנקודה מסוימת, $Insolation_p$ הוא עוצמת החשיפה לשמש בנקודת המדידה של רמת ההצללה, ו־ $Insolation_r$ הוא עוצמת החשיפה לשמש בנקודת הייחוס שחשופה לקרינה במשך שעות היום. מכאן נובע כי ככל שרמת ההצללה גבוהה יותר, כך ערך מדד ההצללה קרוב יותר ל־1.

רזולוציית החישוב של מדד ההצללה תלויה באיכות המיפוי שהוא מתבסס עליו. במחקר זה השתמשנו במודלי גבהים דיגיטליים משנת 2022 שהפיק

מפ"י ברזולוציה של חצי מטר לפיקסל, ועל בסיסם חושב מדד הצללה גולמי עבור כל פיקסל בכל מודל גבהים. כמו כן השתמשנו במיפוי קווי המתאר של חופות העצים העירוניות שהפיק מפ"י בשנת 2022 כדי לדייק את חישוב הקרינה הגולמית, וכך גם את מדד ההצללה, מתחת לנוף העצים. על ידי חישוב ערכי מדד ההצללה הבודדים בכל פיקסל, חישבנו ערך הצללה **ממוצע** למקטע רחוב (קטע רחוב התחום באורכו בין שני צמתים וכולל את כל רוחב זכות הדרך). באופן עקרוני, ניתן לחשב את מדד ההצללה המרחבי לא רק לכלל זכות הדרך, כפי שעשינו במחקר זה, אלא גם לכל מדרכה בנפרד, אולם בהיעדר מיפוי מדויק של מדרכות ברוב הערים בישראל, אין זה מעשי כרגע להפיק מפות צל במדרכות בלבד.

באופן גס, ניתן לתאר באופן מילולי את רמת ההצללה המתקבלת במקטעי הרחובות באופן הבא:

- מדד הצללה נמוך מ־0.1: מחסור חריף בהצללה
- מדד הצללה גבוה מ־0.1 ונמוך מ־0.2: מחסור משמעותי בהצללה
- מדד הצללה גבוה מ־0.2 ונמוך מ־0.4: קיים צורך בשיפור ההצללה
- מדד הצללה גבוה מ־0.4 ונמוך מ־0.6: הצללה טובה
- מדד הצללה גבוה מ־0.6: הצללה מצוינת

נוסף על חישוב מדד ההצללה לכל מקטע רחוב, חישבנו גם מדד הצללה מרחבי ממוצע ברחובות בכל אזור סטטיסטי בעיר. שיעור ההצללה בכל אזור סטטיסטי מייצג את רמת ההצללה הממוצעת בכל שטח הרחובות הכלולים בתוך האזור הסטטיסטי, ונתון זה מאפשר לקבל מושג טוב יותר על החשיפה לעומס חום במהלך שעות היום באזורים שונים בעיר. אזור סטטיסטי שמדד ההצללה שלו גבוה הוא אזור ששוררים בו תנאי הצללה טובים ברוב שטחו, ולכן גם כזה שתחנות ההסעה הממוקמות בו יהיו בממוצע נגישות יותר מבחינה אקלימית.

3.3 מדדים לכימות הצללה בהליכה לתחנות ותיעדוף שיפור ההצללה בהן

על בסיס מפות ההצללה במקטעי רחובות, חישבנו את מדד ההצללה הממוצע של כל מסלולי ההליכה האפשריים שאורכם לא עולה על 500 מטר לכל תחנת הסעה. המרחק של 500 מטר נלקח מהמלצות משרד התחבורה במסמך הנחיות לתכנון ותפעול של תחבורה ציבורית באוטובוסים, שבו הוצב יעד תכנוני למיקום תחנות הסעה כך ש"לפחות 80% מהאוכלוסייה נמצאים פחות מ-500 מטר מן התחנה" (אסחאק ושליסלברג, 2016, 47). חישבנו את מדד ההצללה במסלולי ההליכה לתחנה באופן הבא:

- הפקנו רשת של קווי מרכז (Centrelines) של כל מקטעי הרחובות בעיר על בסיס מיפוי מקטעי הרחובות של מפות הצל. כל קו אמצע ברשת זו שויך למקטע רחוב בודד וקיבל את מדד ההצללה (SI) של אותו מקטע רחוב.
- עבור רשת קווי המרכז חישבנו את נקודות הצומת (Node) בנקודות החיבור בין כל קו לקו, ועל בסיס זה חישבנו את נקודת הצומת הרשתית הקרובה ביותר לכל תחנת הסעה (St_Node).
- מדד ההצללה המרחבי הממוצע של כלל מסלולי ההליכה לכל תחנה (St_SI) חושב בשני שלבים. ראשית, מצאנו את כל מסלולי ההליכה (P) הנמצאים במרחק של עד 500 מטר מהצומת הרשתית הקרובה לתחנה לפי הנוסחה הבאה:

$$P = \{p_{St_Node} \mid \sum_{(i,j) \in p} D_{ij} \leq 500\}$$

p_{St_Node} הוא אוסף כל המסלולים היוצאים מנקודת הצומת הרשתית הקרובה לתחנה ו- D_{ij} הוא המרחק בין שתי נקודות כלשהן ($j-i$) על כל אחד מהמסלולים.

- לאחר מכן חישבנו את מדד ההצללה המרחבי המשוקלל לתחנה (St_SI) של כל מסלולי ההליכה (P) שחישבנו בשלב הקודם. מדד זה לוקח בחשבון את אורכו של כל מקטע במסלול כדי לחשב על פיו ערך

דרך אחת לפעול על בסיס מדד תיעדוף ההצללה בתחנות ההסעה היא לבחון בכל תחנה שמדד התיעדוף שלה גבוה את מצב ההצללה בדרכי הגישה הרגליות אליה ולפעול לשיפורו



הצללה אחד ליחידת אורך בכל מסלול, ולאחר מכן מחשב ממוצע של ערכי ההצללה של כל המסלולים המוליכים לתחנה, כמתואר בנוסחה הבאה:

$$St_SI = \frac{\sum_{p \in P} \sum_{(i,j) \in p} SI_{ij} \times D_{ij}}{\sum_{p \in P} \sum_{(i,j) \in p} D_{ij}}$$

סדרת חישובים זו איפשרה לנו לכמת את רמת ההצללה הממוצעת בהגעה רגלית לכל תחנה, ולהצליב נתונים אלה עם מספר הנוסעים השעתי הממוצע באותן תחנות. ההצלבה נעשתה בשני אופנים, גרפי וחישובי. באופן גרפי, גודל הנקודה המייצגת את התחנה על המפה נקבע לפי מספר הנוסעים השעתי הממוצע שלה, ונקודה זו קיבלה גוון המייצג את מידת ההצללה בדרך אליה. באופן חישובי, חישבנו מדד נוסף שהוא מכפלת המספר המשלים ל-1 של מדד ההצללה במסלולי ההליכה לתחנה בערך המנורמל של מספר הנוסעים השעתי מהתחנה ביחס לשאר התחנות באותה עיר. מדד זה, מדד תיעדוף ההצללה של תחנה (St_SPI), מחושב על פי נוסחה זו:

$$St_SPI = (1 - St_SI) \times \frac{St_APh - APh_{min}}{APh_{max} - APh_{min}}$$

St_SI הוא מדד ההצללה המרחבי המשוקלל של מסלולי ההליכה לתחנה, St_APh הוא מספר הנוסעים הממוצע לשעה בתחנה בשעות היום (19:00-06:00) בעונה החמה, APh_{max} הוא מספר הנוסעים הממוצע לשעה הגבוה ביותר בכל תחנות ההסעה בעיר ו- APh_{min} הוא מספר הנוסעים הממוצע לשעה הנמוך ביותר בכל התחנות בעיר. מדד תיעדוף ההצללה

מתאר בסולם בין 0 ל-1 את חשיבות שיפור מצב ההצללה באזורים הגובלים בתחנת ההסעה ביחס לשאר התחנות בעיר; החשיבות עולה ככל שערך המדד קרוב יותר ל-1.

סדרת חישובים זו איפשרה לנו לכמת את רמת ההצללה הממוצעת בהגעה רגלית לכל תחנה, ולהצליב נתונים אלה עם מספר הנוסעים השעתי הממוצע באותן תחנות

דרך אחת לפעול על בסיס מדד תיעדוף ההצללה בתחנות ההסעה היא לבחון בכל תחנה שמדד התיעדוף שלה גבוה את מצב ההצללה בדרכי הגישה הרגליות אליה ולפעול לשיפורו. בשיטה זו, מוקד פעולות ההצללה הוא תחנות הסעה בודדות, שלרוב ימשכו אליהן מספר רב של נוסעים. דרך חלופית להתמודד עם אתגר שיפור ההצללה מבחינה מרחבית היא לכמת את מספר כלל נוסעי התחבורה הציבורית באזור מסוים, ולהצליב אותו עם מצב ההצללה הממוצע ברחובות באותו אזור. באופן זה, לא ניתן אומנם לאתר תחנה מסוימת שיש לתעדף את שיפור ההצללה בדרכים המובילות אליה, אך אפשר לאתר אזורי מפתח בעיר שבהם נדרשת פעילות מרוכזת של שיפור ההצללה בכל שטח הרחובות בהם. לצורך זה, חישבנו גם **מדד תיעדוף הצללה באזור סטטיסטי** בכל האזורים הסטטיסטיים בכל עיר, כמכפלה של הערך המנורמל של **מספר הנוסעים השעתי הממוצע באזור הסטטיסטי** למספר המשלים ל-1 של **מדד ההצללה המרחבי ברחובות באזור הסטטיסטי**. מדד זה עוזר להבליט אזורים בעיר שבהם נדרשת פעולה אינטנסיבית של תוספת הצללה, בשל שילוב בין תנאי הצללה גרועים ברחובות למספר גבוה יחסית של נוסעים בתחבורה ציבורית ההולכים בהם.



תוצאות המחקר

4

4.1 אפיון נפחי שימוש בתחבורה ציבורית

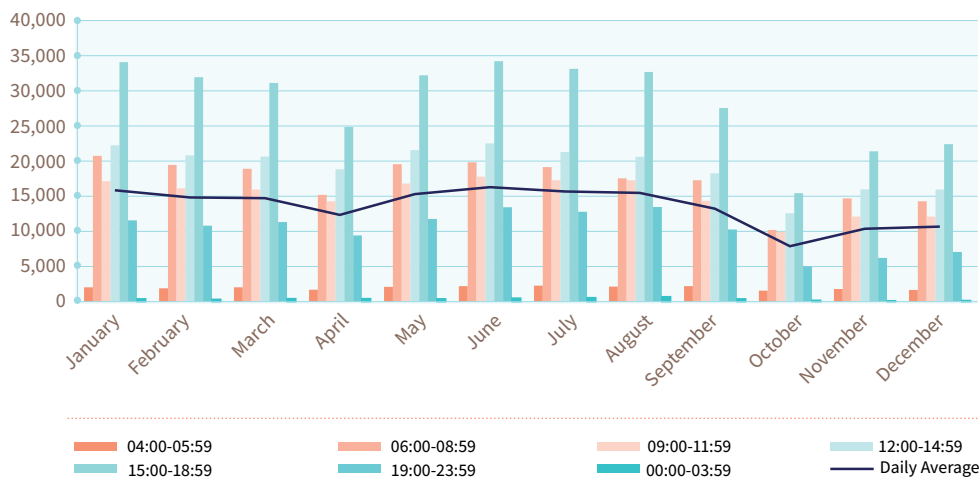
חישוב הממוצע החודשי של מספר התיקופים השעתי הממוצע בימי חול בכל אחת מארבע הערים (איורים 1-4) מעלה כי ניתן לראות מגמות דומות בשינויים במספרי הנוסעים החודשיים בכל הערים לאורך שנת 2023. שיא הנוסעים השעתי הממוצע בכל ארבע הערים הוא בחודש יוני.

ניתן לפיכך לטעון כי בכל ארבע הערים הביקוש לתחבורה ציבורית קבוע פחות או יותר לאורך השנה, הגם שניכרת עלייה קלה בשימוש בתחבורה ציבורית בעונה החמה, החל מחודש מאי

”

עם זאת, באף אחת מהערים לא היו הבדלים משמעותיים במספר הנוסעים בין מרבית החודשים בעונה החמה או הקרה, מלבד ירידה חדה במספר הנוסעים בכל הערים מאוקטובר 2023 ועד תום השנה האזרחית, שאפשר לייחס למלחמת "חרבות ברזל" ולפעילות החלקית של מקומות העבודה ומערכות החינוך בחודשים אלה (איור 5). בחודשים אפריל וספטמבר, שיש בהם חגים וחופשות רבים, ניכרה ירידה קלה במספר הנוסעים השעתי הממוצע בכל הערים. ניתן לפיכך לטעון כי בכל ארבע הערים הביקוש לתחבורה ציבורית קבוע פחות או יותר לאורך השנה, הגם שניכרת עלייה קלה בשימוש בתחבורה ציבורית בעונה החמה, החל מחודש מאי.

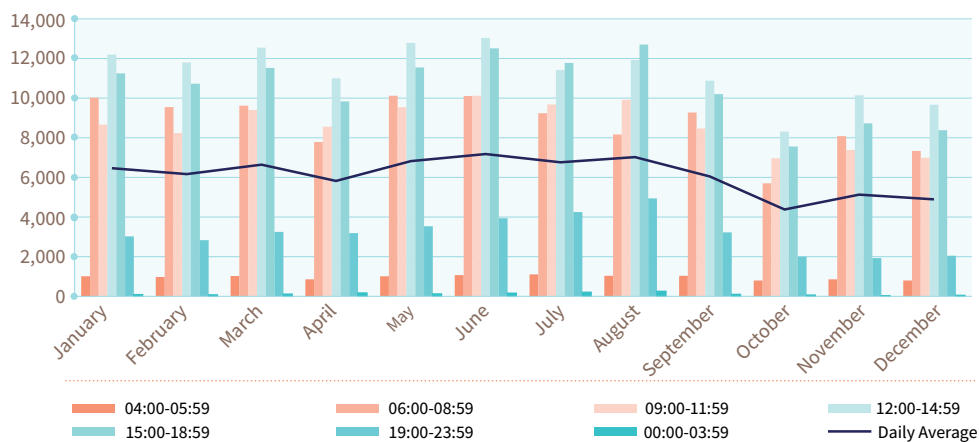
תל אביב-יפו



איור 1:

ממוצעים חודשיים של מספר תיקופי הנסיעות השעתי הממוצע בתל אביב-יפו לאורך שנת 2023 בחלוקה לשבעה פרקי זמן יומיים.

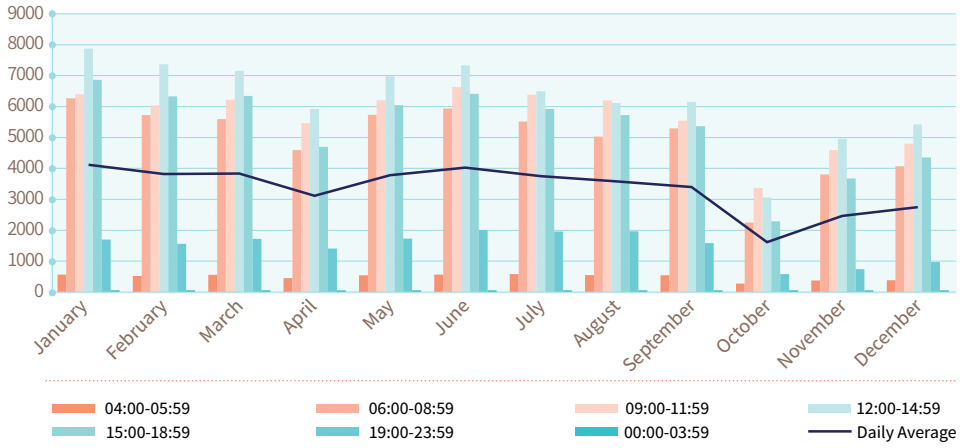
חיפה



איור 2:

ממוצעים חודשיים של מספר תיקופי הנסיעות השעתי הממוצע בחיפה לאורך שנת 2023 בחלוקה לשבעה פרקי זמן יומיים.

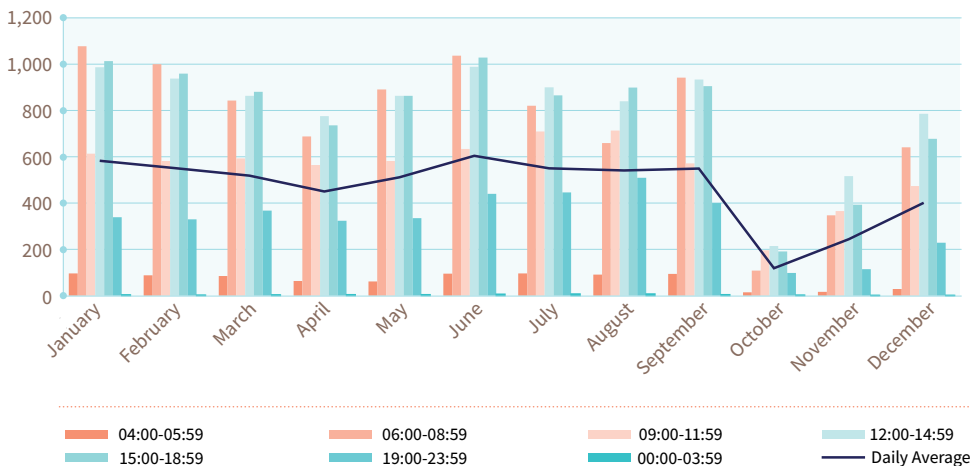
באר שבע



ממוצעים חודשיים של מספר תיקופי הנסיעות השעתי הממוצע בבאר שבע
לאורך שנת 2023 בחלוקה לשבעה פרקי זמן יומיים.

איור 3:

נתיבות



ממוצעים חודשיים של מספר תיקופי הנסיעות השעתי הממוצע בנתיבות
לאורך שנת 2023 בחלוקה לשבעה פרקי זמן יומיים.

איור 4:

אומנם אין הבדלים במספרי הנוסעים העונתיים בכל הערים, אבל יש הבדלים מובהקים ביניהם בכל הקשור למספרי הנוסעים הממוצעים בשעה לאורך היום. בחודש השיא (יוני) היה ממוצע התיקוף השעתי בתל אביב-יפו 16,291 נוסעים, בחיפה 7,174 נוסעים, בבאר שבע 4,025 נוסעים ובנתיבות 604 נוסעים. גם זמני השיא של מספר הנוסעים בכל אחת מהערים (איור 6) אינם זהים: בתל אביב-יפו זמן שיא הנוסעים היומי הוא בין 15:00 ל-19:00 וממוצע הנוסעים השעתי בפרק זמן זה גבוה במובהק מבשאר היום. בחיפה זמן שיא הנוסעים היומי הוא בין 12:00 ל-15:00 (פרק זמן המוגדר בנתוני משרד התחבורה כ"שפל יום 2"), הגם שממוצע הנוסעים בפרק זמן זה גבוה אך במעט מהממוצע בין 15:00 ל-19:00. בבאר שבע, בדומה לחיפה, זמן שיא הנוסעים היומי הוא בין 12:00 ל-15:00, אולם הממוצע השעתי אז דומה למדי למספר הנוסעים השעתי הממוצע בשאר שעות היום (09:00-06:00, 12:00-09:00 ו-15:00-19:00). בנתיבות זמן שיא הנוסעים היומי גם הוא בין 12:00 ל-15:00, עם דמיון רב לשעות הבוקר המוקדמות (בין 06:00 ל-09:00) ולאחר הצהריים (15:00-19:00).

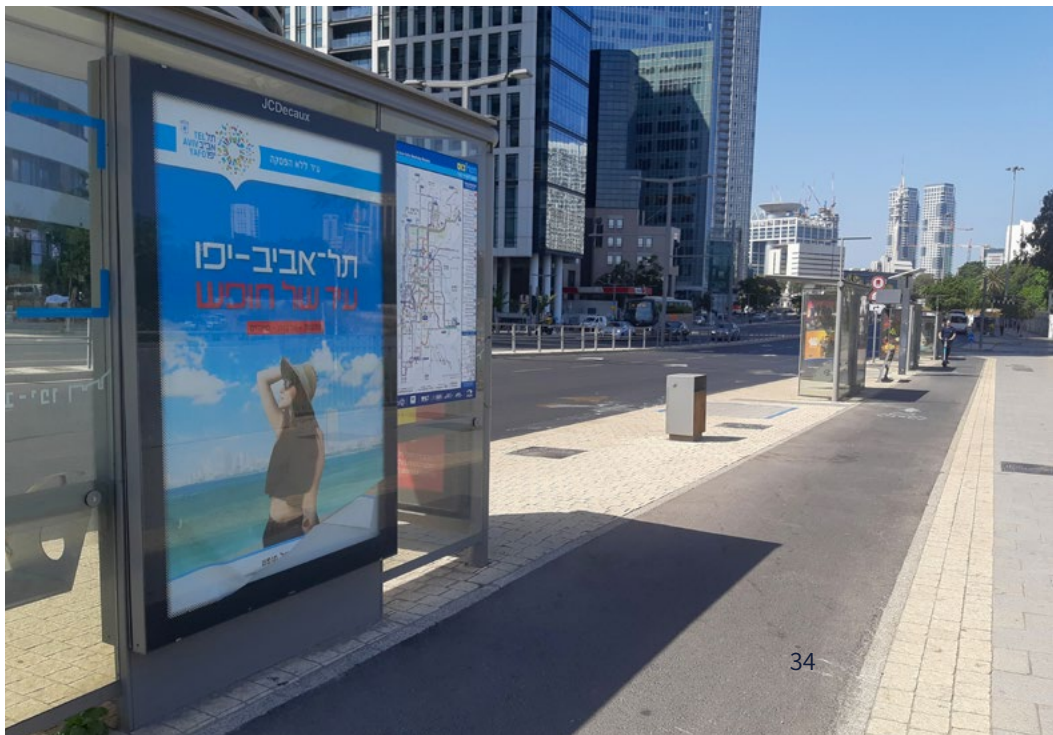
אומנם אין הבדלים במספרי הנוסעים העונתיים בכל הערים, אבל יש הבדלים מובהקים ביניהם בכל הקשור למספרי הנוסעים הממוצעים בשעה לאורך היום

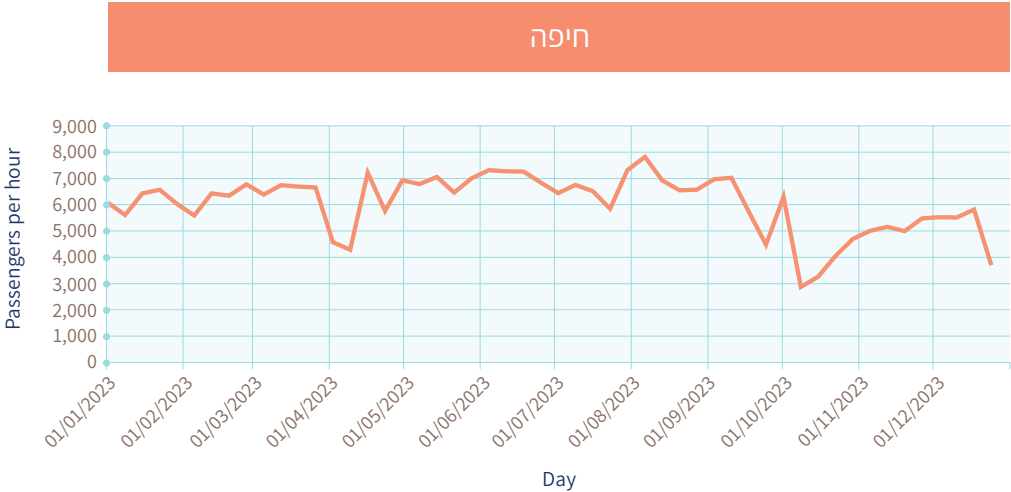
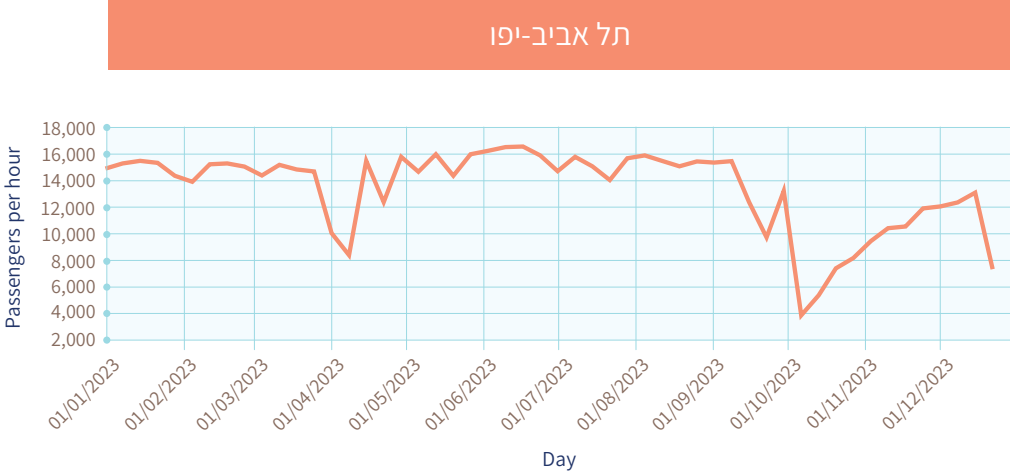
לאור זאת ניתן לטעון כי בכל עיר מתקיים מחזור פעילות יומי שונה המתבטא במספרי הנוסעים השעתיים בתחבורה הציבורית בעיר, וכי קצב זה של שיא ושפל חוזר על עצמו לאורך כל השנה. עליות וירידות אלה במספרי הנוסעים אינן חופפות במלואן להגדרות משרד התחבורה לזמני שיא ושפל, כפי שהן מתבטאות בחלוקת הזמנים במאגר הנתונים. מנגד, ניתן לראות כי במהלך שעות היום כולן (06:00-19:00) בכל ארבע הערים ממוצעי הנוסעים השעתיים גבוהים במובהק מאשר בערב ולפנות

בוקר. לאור ממצאים אלה, החלטנו כי לצורך חישוב המדדים הנוגעים לכימות עוצמת ההשפעה של חשיפה לקרינת שמש על נוסעים בתחבורה הציבורית נכמת את מספר הנוסעים לפי ממוצע הנוסעים השעתי בשעות היום כולן (06:00-19:00) ולא רק בשעות השיא. הסיבה הראשונה לכך היא ההבנה שלמרות השונות בין ארבע הערים שבחנו, ההבדלים במספרי הנוסעים בשעות היום השונות אינם קיצוניים ולכן אין הצדקה לייחד את החישובים לטווח מצומצם של שעות שבהן נרשם שיא הנוסעים. הסיבה השנייה לכך היא הרצון להציג מדד ארצי אחיד, שיוכל להכיל בתוכו את השונות בקצב התנועה היומי בכל עיר וייתר את הצורך לבחון בכל עיר מה הן שעות שיא הנוסעים כדי לחשב את המדד.

ניתן לטעון כי בכל עיר מתקיים מחזור פעילות יומי שונה המתבטא במספרי הנוסעים השעתיים בתחבורה הציבורית בעיר, וכי קצב זה של שיא ושפל חוזר על עצמו לאורך כל השנה

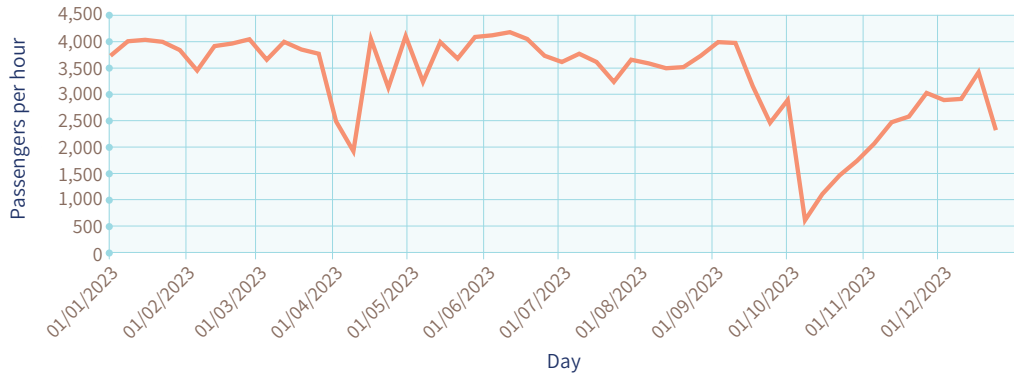
”



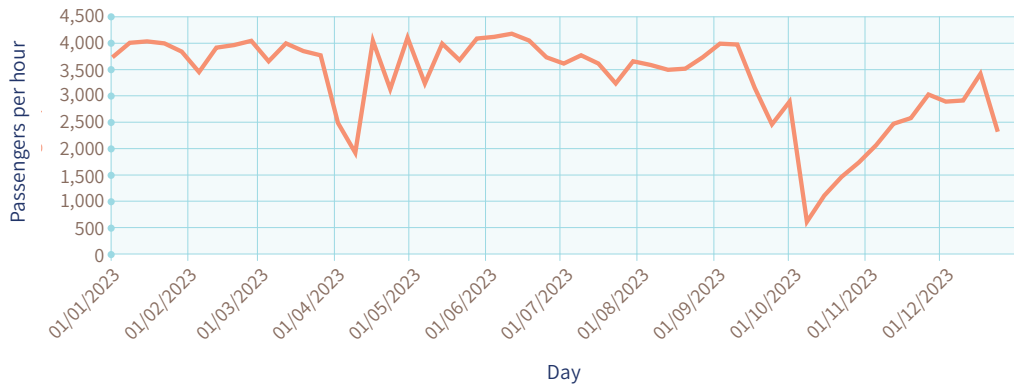


▲
איור 5:
▼
ממוצעים שבועיים של מספר תיקופי הנסיעות השעתי הממוצע בארבע ערים
לאורך שנת 2023.

באר שבע

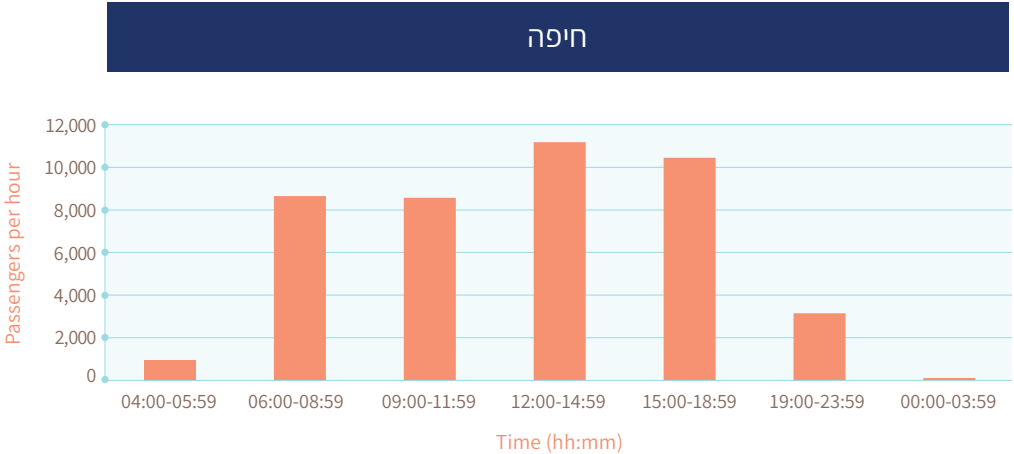
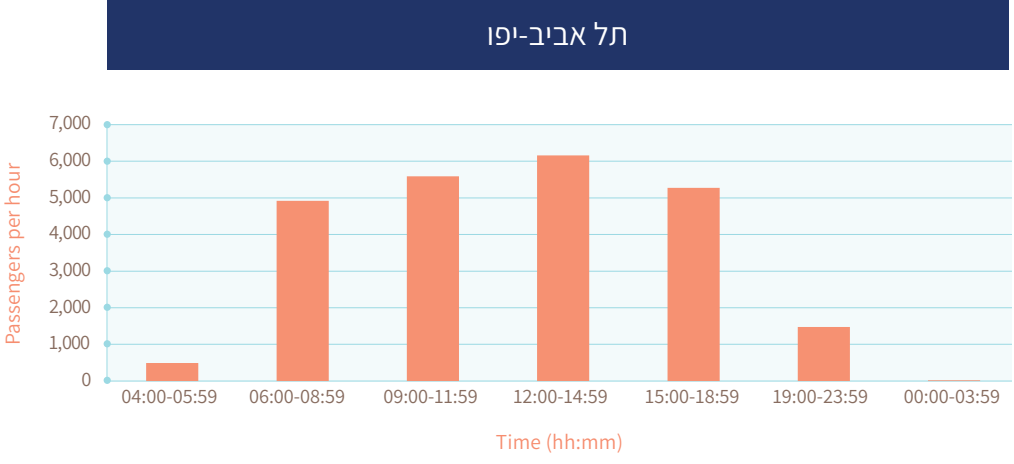


נתיבות



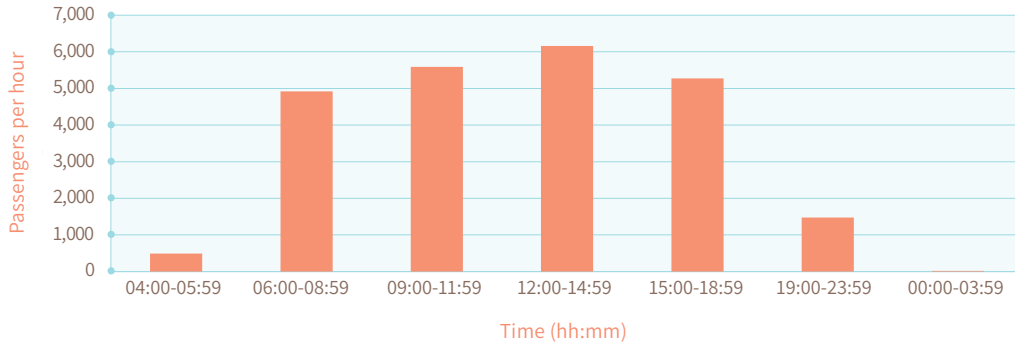
ממוצעים שבועיים של מספר תיקופי הנסיעות השעתי הממוצע
בארבע ערים לאורך שנת 2023.

▲
המשך איור 5:

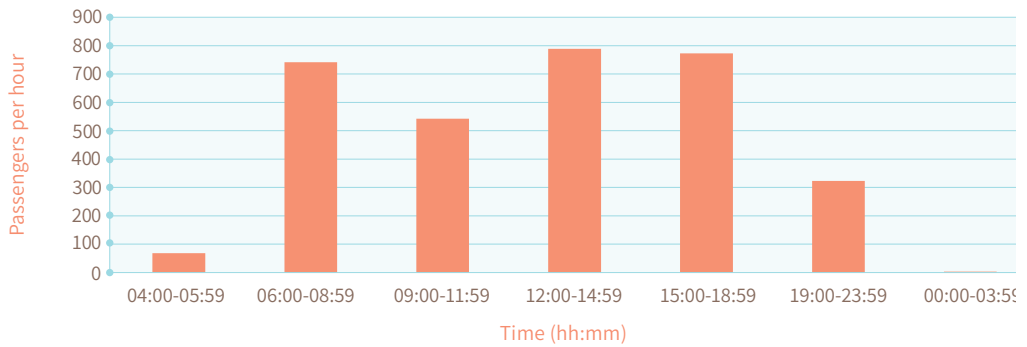


איור 6: ממוצעים שעתיים של מספר תיקופי הנסיעות בארבע ערים לאורך שנת 2023 בחלוקה לשבעה פרקי זמן יומיים.

באר שבע



נתיבות



המשך איור 6:

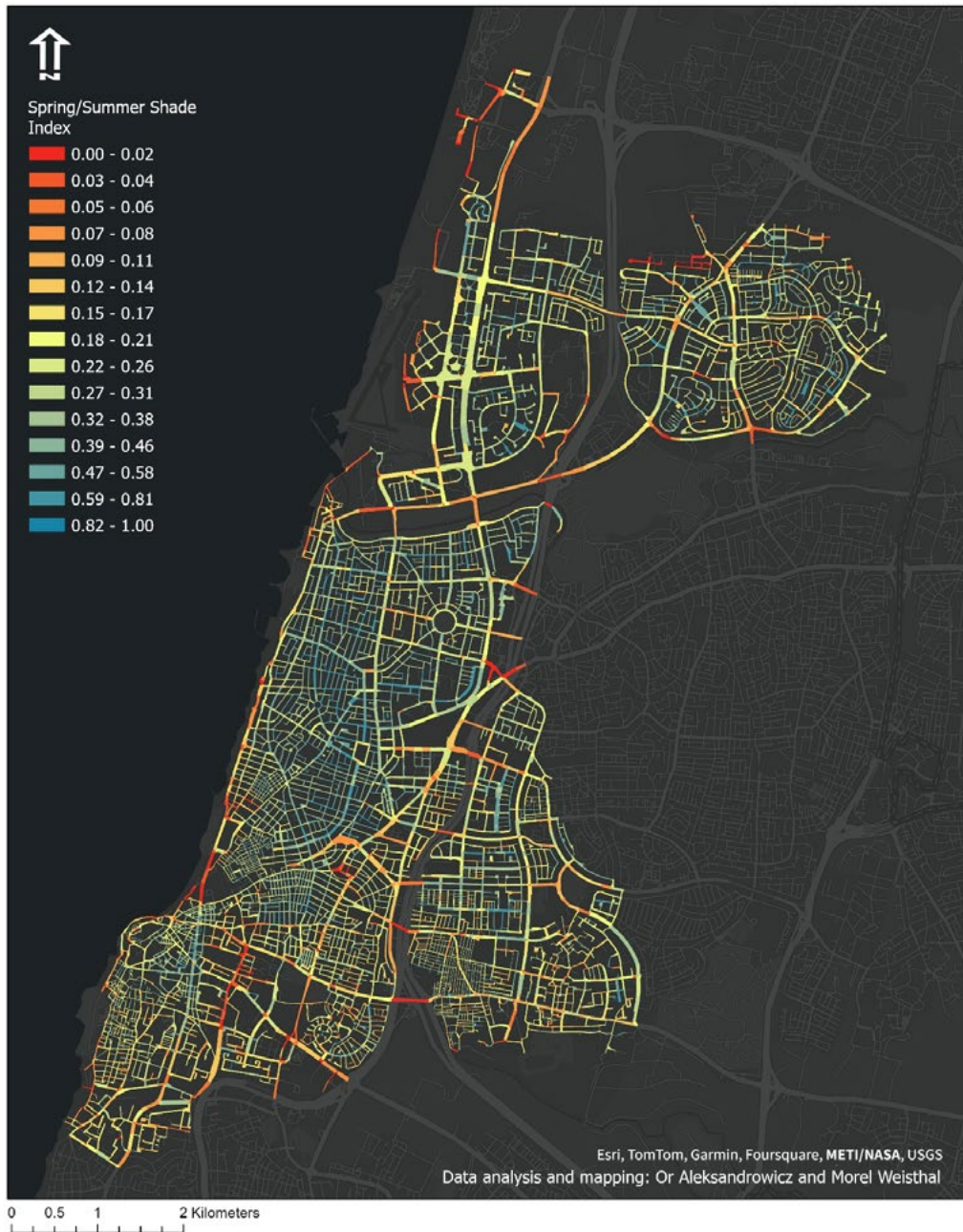
ממוצעים שעתיים של מספר תיקופי הנסיעות בארבע ערים לאורך
שנת 2023 בחלוקה לשבעה פרקי זמן יומיים.

4.2 מדד ההצללה המשוקלל של מסלולי ההליכה לתחנה

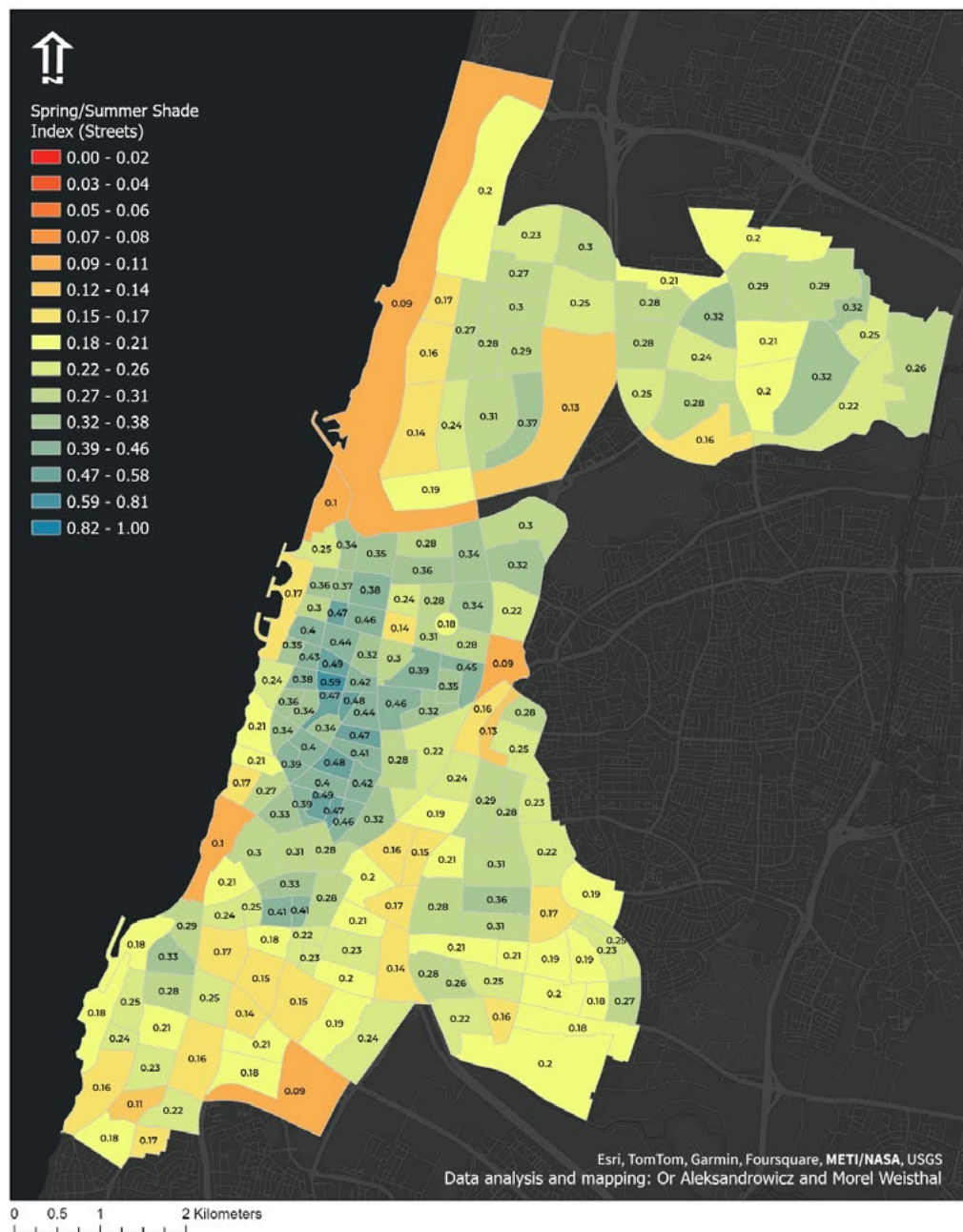
מפות הצל שהפקנו לארבע הערים (איורים 7-14) מציגות הבדלים ניכרים ברמות ההצללה ברחובות בין הערים ובתוך הערים. בתל אביב-יפו, רשת הרחובות במרכז ההיסטורי של העיר מוצלת היטב ברובה הגדול, וככלל ניתן לטעון שחלק זה של העיר מייצג דוגמה להצללה מרחבית טובה מאוד, שבתוכה הולכי הרגל זוכים לתנאי הצללה טובים גם בגישה לתחבורה ציבורית. לצד זאת, אזורים מרכזיים בעיר סובלים גם ממחסור משמעותי בהצללה, והדברים ניכרים במיוחד באזור שדרת הקריה (דרך בגין), בחלקים המזרחיים של יפו וכן באזור אוניברסיטת תל אביב וגני התערוכה ("אקספו תל אביב").

**המצב בתל אביב-יפו טוב יותר משלוש הערים
האחרות, משום שמתקיים בליבה אזור מרכזי ורחב
ידיים שהרחובות בו מוצלים באופן יחסי. בשלוש
הערים האחרות שניתחנו המצב גרוע בהרבה**

המצב בתל אביב-יפו טוב יותר משלוש הערים האחרות, משום שמתקיים בליבה אזור מרכזי ורחב ידיים שהרחובות בו מוצלים באופן יחסי. בשלוש הערים האחרות שניתחנו המצב גרוע בהרבה. בחיפה קיים אומנם ריכוז של רחובות מוצלים בשכונת הדר ובשיפוליה, אבל רשת הרחובות העירונית סובלת ברוב חלקיה ממחסור משמעותי ואפילו חריף בהצללה, בייחוד בדרכים הראשיות. המצב גרוע אף יותר בבאר שבע ובנתיבות, שם אפשר לקבוע שרשת הרחובות סובלת כמעט כולה ממחסור חריף בהצללה.



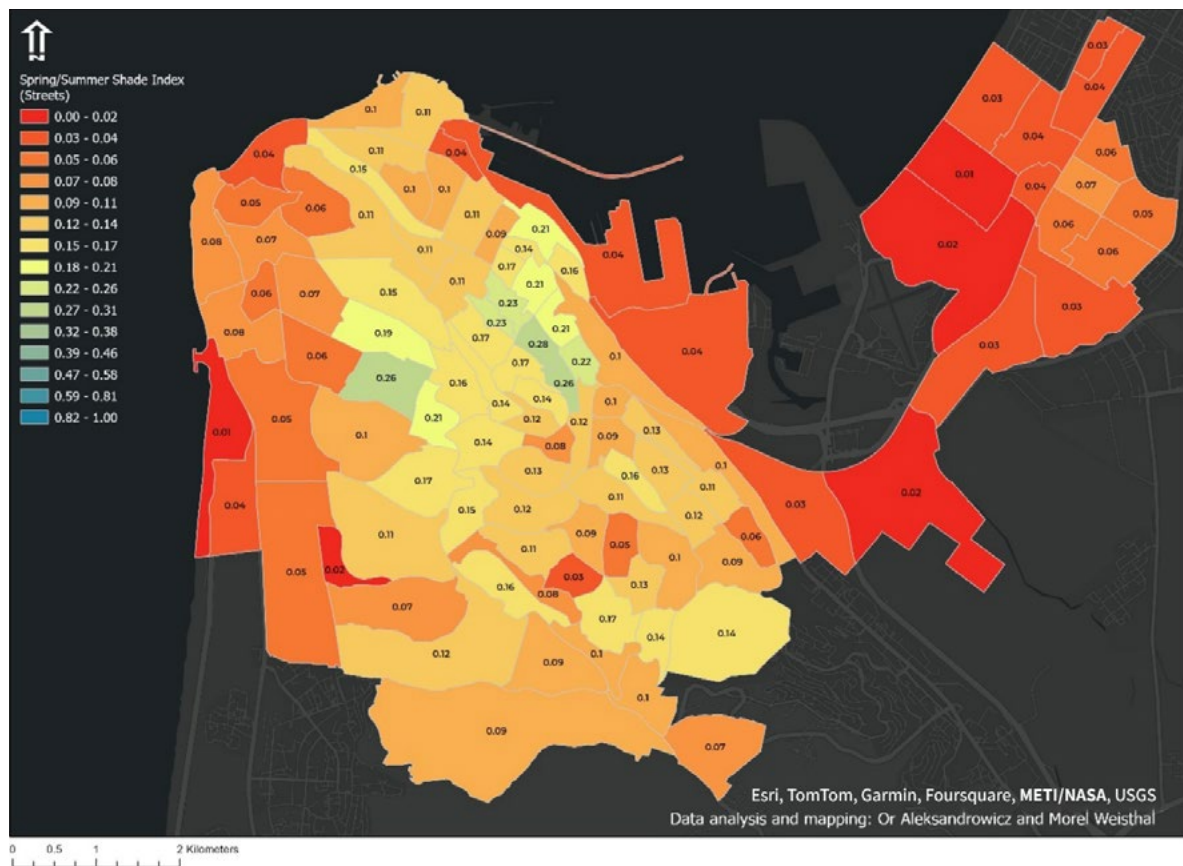
איור 7: מפת צל במקטעי רחובות בתל אביב-יפו, 2022. עיבוד נתונים ומיפוי: אור אלכסנדרוביץ' ומוראל ויסטל.



איור 8: מפת צל באזורים סטטיסטיים (ממוצע מדד הצללה ברחובות בכל אזור)
בתל אביב-יפו, 2022. עיבוד נתונים ומיפוי: אור אלכסנדרוביץ' ומוראל ויסטל.



איור 9: מפת צל במקטעי רחובות בחיפה, 2022.
עיבוד נתונים ומיפוי: אור אלכסנדרוביץ' ומוראל ויסטל.

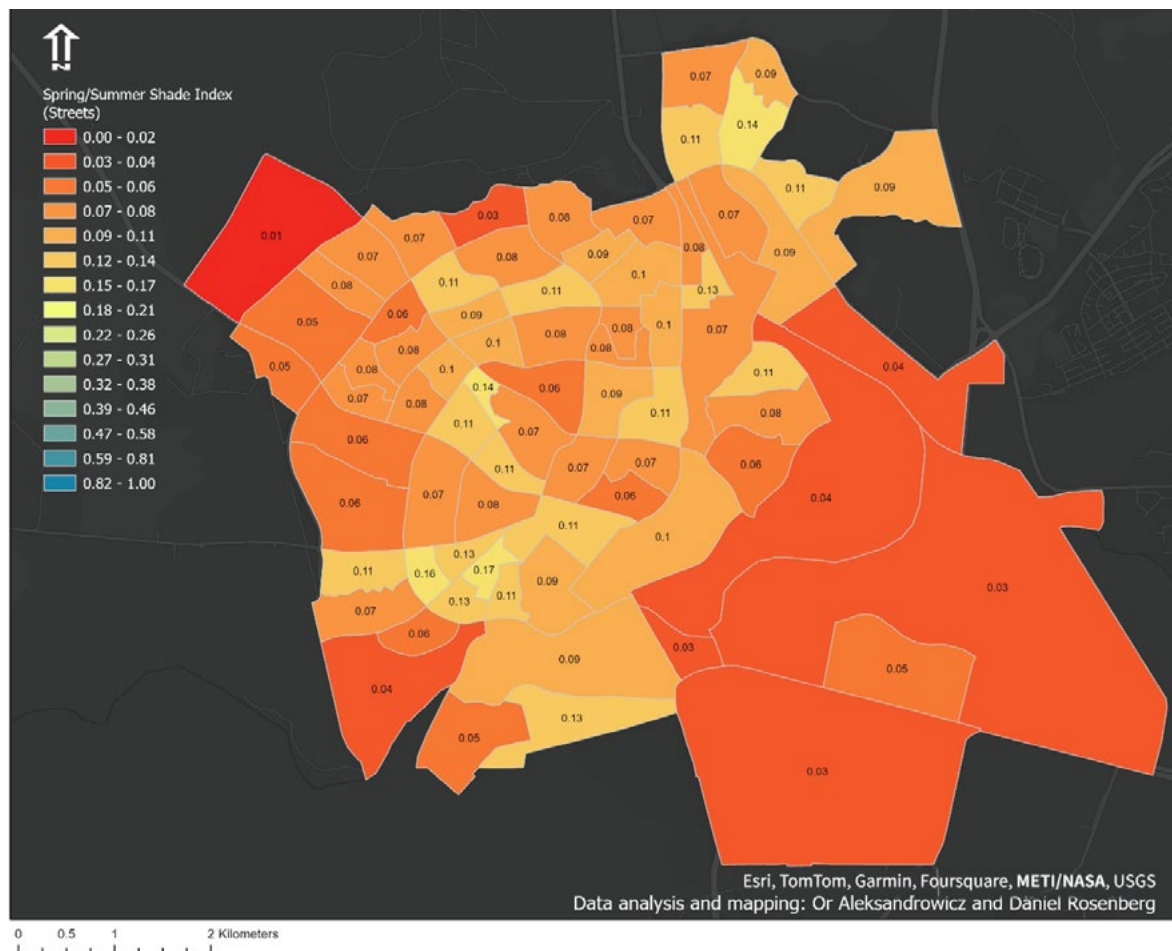


איור 10: מפת צל באזורים סטטיסטיים (ממוצע מדד הצללה ברחובות בכל אזור) בחיפה, 2022. עיבוד נתונים ומיפוי: אור אלכסנדרוביץ' ומוראל ויסטל.



איור 11: מפת צל במקטעי רחובות בבאר שבע, 2022.
עיבוד נתונים ומיפוי: אור אלכסנדרוביץ' ומוראל ויסטל.

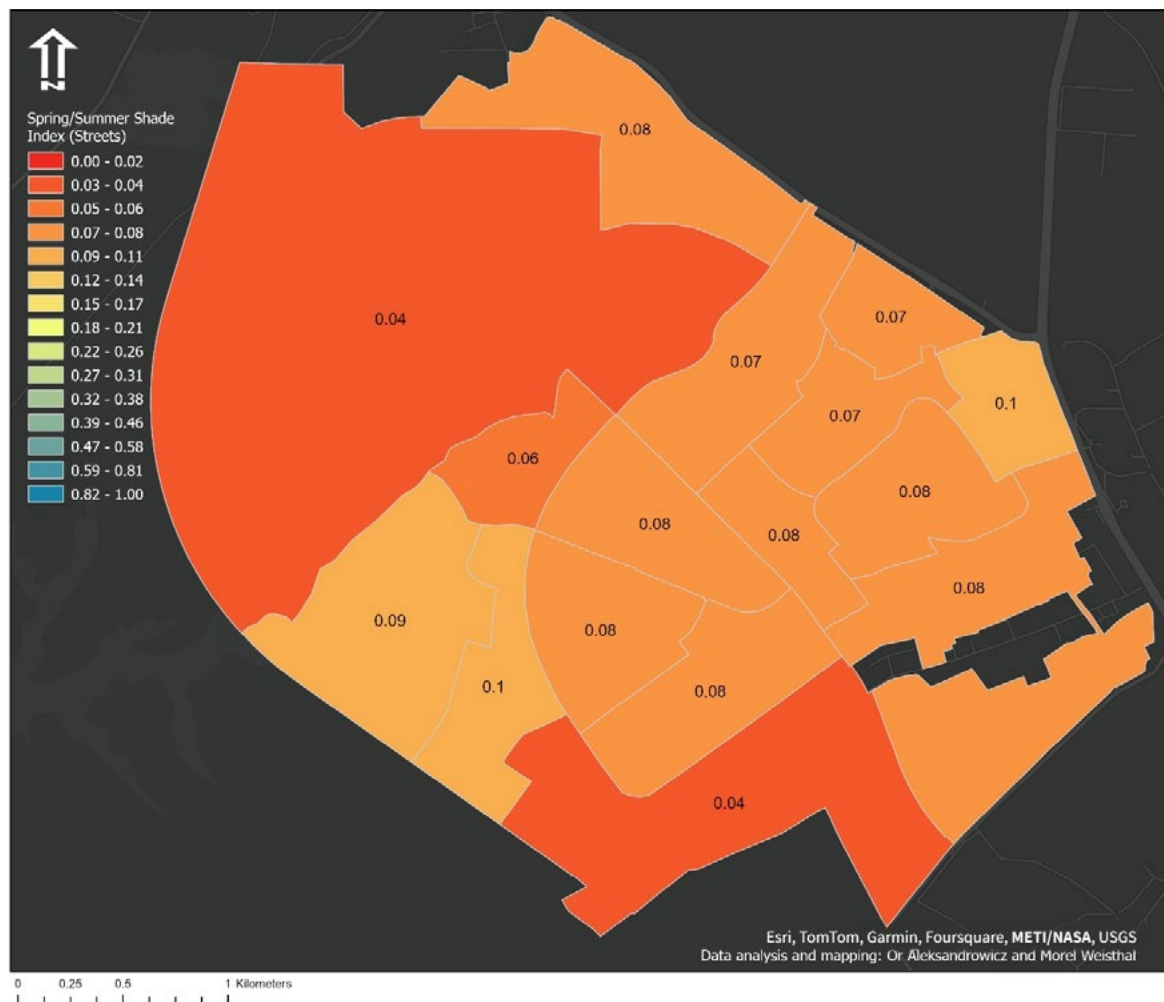
כיצד להבטיח נגישות אקלימית לתחבורה ציבורית?



איור 12: מפת צל באזורים סטטיסטיים (ממוצע מדד הצללה ברחובות בכל אזור) בבאר שבע, 2022. עיבוד נתונים ומיפוי: אור אלכסנדרוביץ' ומוראל ויסטל.



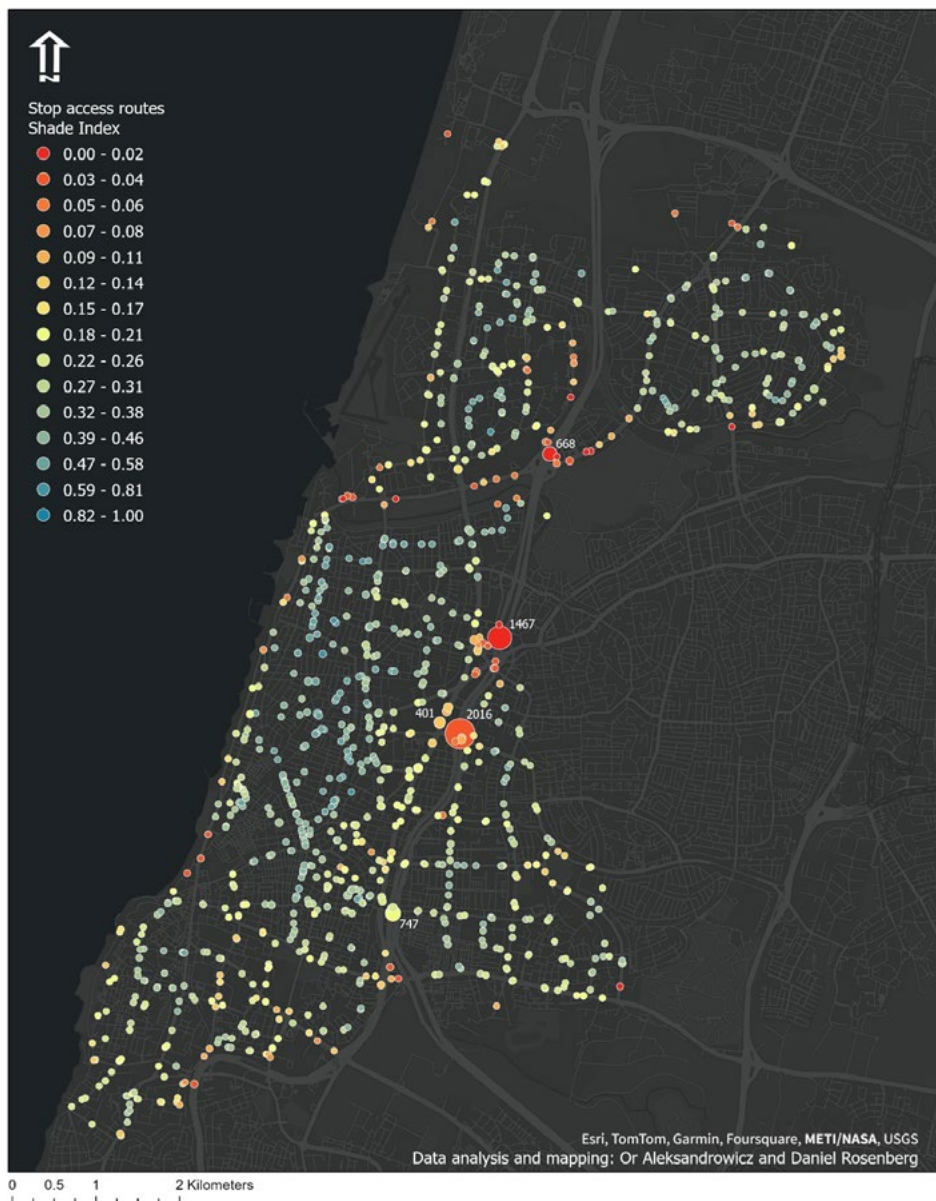
איור 13: מפת צל במקטעי רחובות בנתיבות, 2022.
עיבוד נתונים ומיפוי: אור אלכסנדרוביץ' ומוראל ויסטל.



איור 14: מפת צל באזורים סטטיסטיים (ממוצע מדד הצללה ברחובות בכל אזור) בנתיבות, 2022. עיבוד נתונים ומיפוי: אור אלכסנדרוביץ' ומוראל ויסטל.

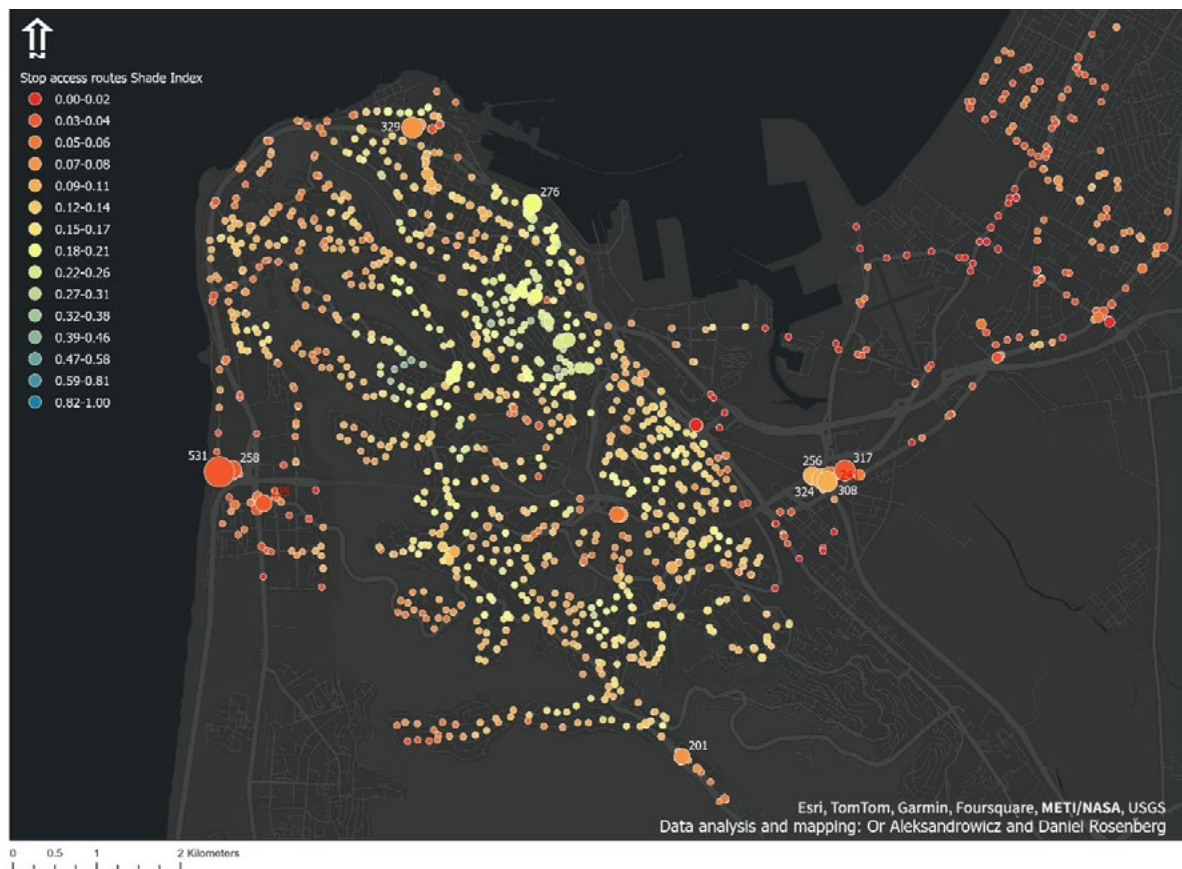
מצב ההצללה ברשת הרחובות בא לידי ביטוי גם במפות המציגות את מדד ההצללה המשוקלל של מסלולי ההליכה לכל תחנות ההסעה בתחומיהן (איורים 15-18). מפות אלה חושפות גם מוקדים של שימוש בתחבורה ציבורית, רובם ככולם סובלים ממחסור משמעותי ואף חריף בהצללה בנתיבי ההליכה אליהם, גם בתל אביב-יפו. הסיבה לכך היא שבכל אחת מהערים, תחנות ההסעה שמושכות אליהן את המספר הרב ביותר של נוסעים בשעות היום ממוקמות לצד תחנות רכבת, ולרוב רשת הרחובות המובילה לתחנת הרכבת מוצלת במידה מועטה.

בתל אביב-יפו הדברים ניכרים בתחנות ההסעה הצמודות לכל ארבע תחנות הרכבת בעיר (האוניברסיטה, סבידור, השלום וההגנה); הגישה הרגלית לתחנות ההסעה הסמוכות לתחנת ההגנה טובה מעט יותר (מדד הצללה של 0.2 לערך) ביחס למצב באזור תחנות הרכבת האחרות. בחיפה ניכר מצב דומה של מחסור משמעותי בהצללה בגישה לתחנות ההסעה לצד תחנות חוף הכרמל, בת גלים ומרכזית המפרץ, בעוד הגישה הרגלית לתחנות ההסעה ליד תחנת מרכז השמונה, הסמוכה לשכונת הדר, מוצלת מעט יותר (מדד הצללה של 0.2 לערך). מחסור משמעותי ניכר גם בגישה לריכוזי תחנות הסעה מקומיים יותר, כמו בסביבת אזור התעסוקה בפארק מת"ם וליד מרכז הקניות הגרנד קניון. בבאר שבע מתקיים מצב דומה בגישה לתחנות ההסעה בסמוך לתחנת רכבת מרכז ולתחנת האוטובוסים המרכזית, הגם שבאופן כללי ניתן לומר שתנאי ההצללה הגרועים ברחובות העיר גורמים לכך שהגישה הרגלית לרוב תחנות ההסעה בעיר היא בתנאים של מחסור משמעותי או חריף בהצללה. בנתיבות ניכר מצב דומה – תחנת ההסעה הסמוכה לתחנת הרכבת היא זו שבה נרשם מספר הנוסעים השעתי הממוצע הגבוה ביותר. שתי תחנות הסעה משמעותיות נוספות, שגם הגישה אליהן בלתי מוצלת במובהק, הן בשדרות ירושלים סמוך לבניין העירייה וברחוב בעלי המלאכה במרכז אזור התעשייה הוותיק של העיר.

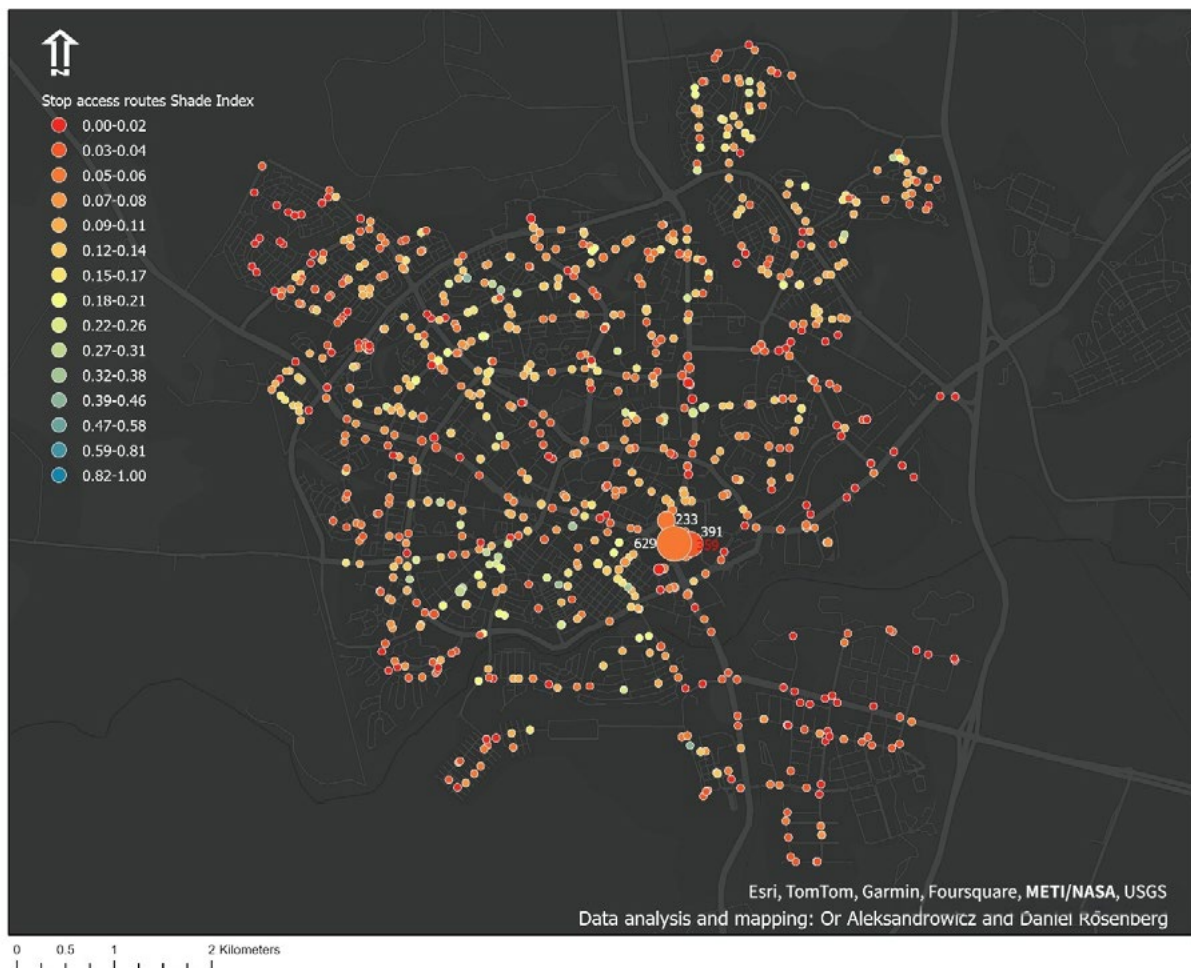


איור 15:

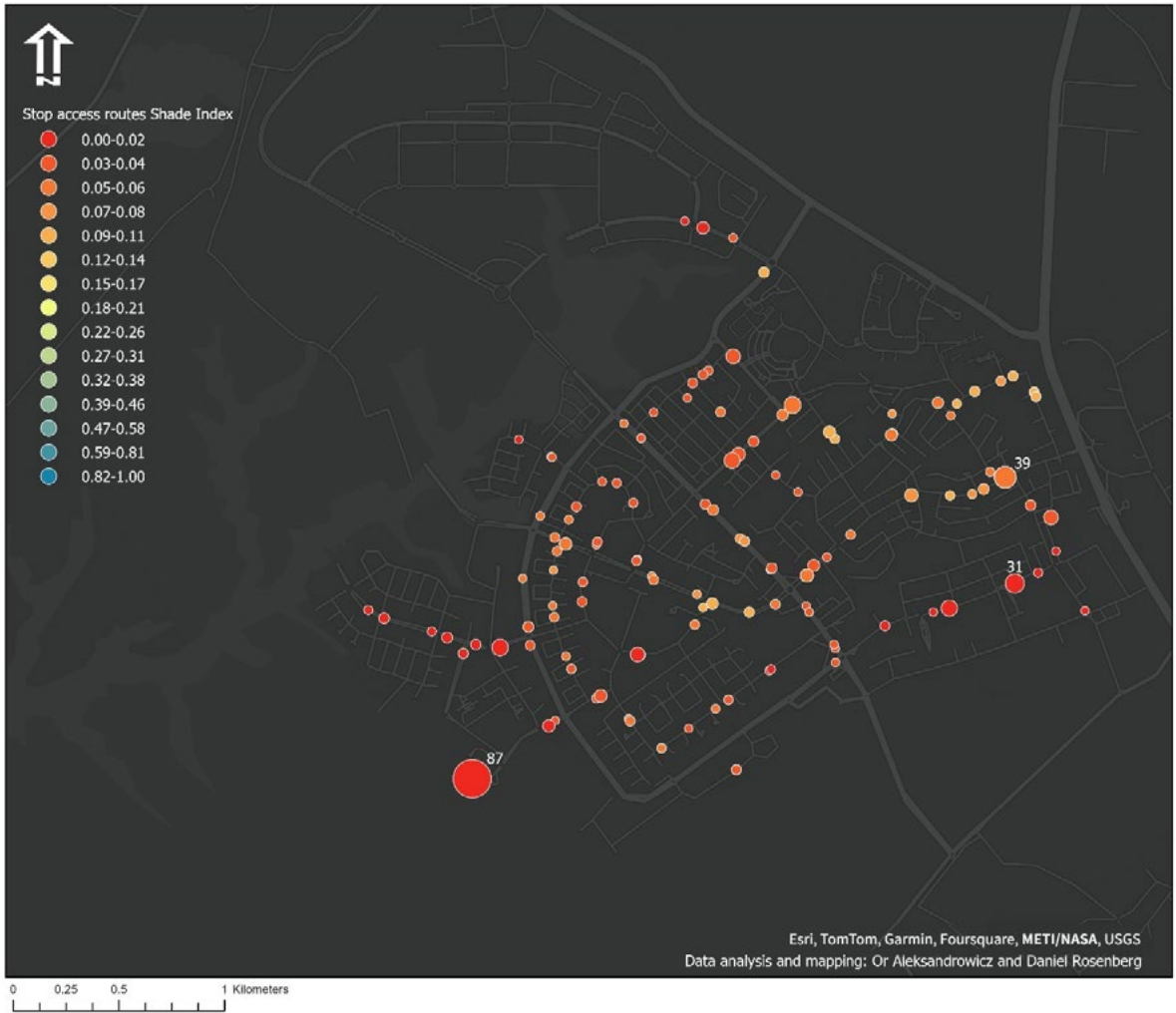
מפת הצללה משוקללת של מסלולי ההליכה לתחנות הסעה בתל אביב-יפו. מיקומה של כל תחנה מוצג באמצעות עיגול, שצבעו מייצג את מדד ההצללה המשוקלל של מסלולי ההליכה לתחנה (במרחק של עד 500 מ') וגודלו מייצג את מספר הנוסעים השעתי הממוצע בשעות היום שנסיעתם מתחילה באותה תחנה (נתוני 2023). המספרים ליד תחנות פעילות במיוחד מציינים את מספר הנוסעים השעתי הממוצע מאותן תחנות.



איור 16: מפת הצללה משוקללת של מסלולי ההליכה לתחנות הסעה בחיפה.



איור 17: מפת הצללה משוקללת של מסלולי ההליכה לתחנות הסעה בבאר שבע.



איור 18: מפת הצללה משוקללת של מסלולי ההליכה לתחנות הסעה בנתיבות.

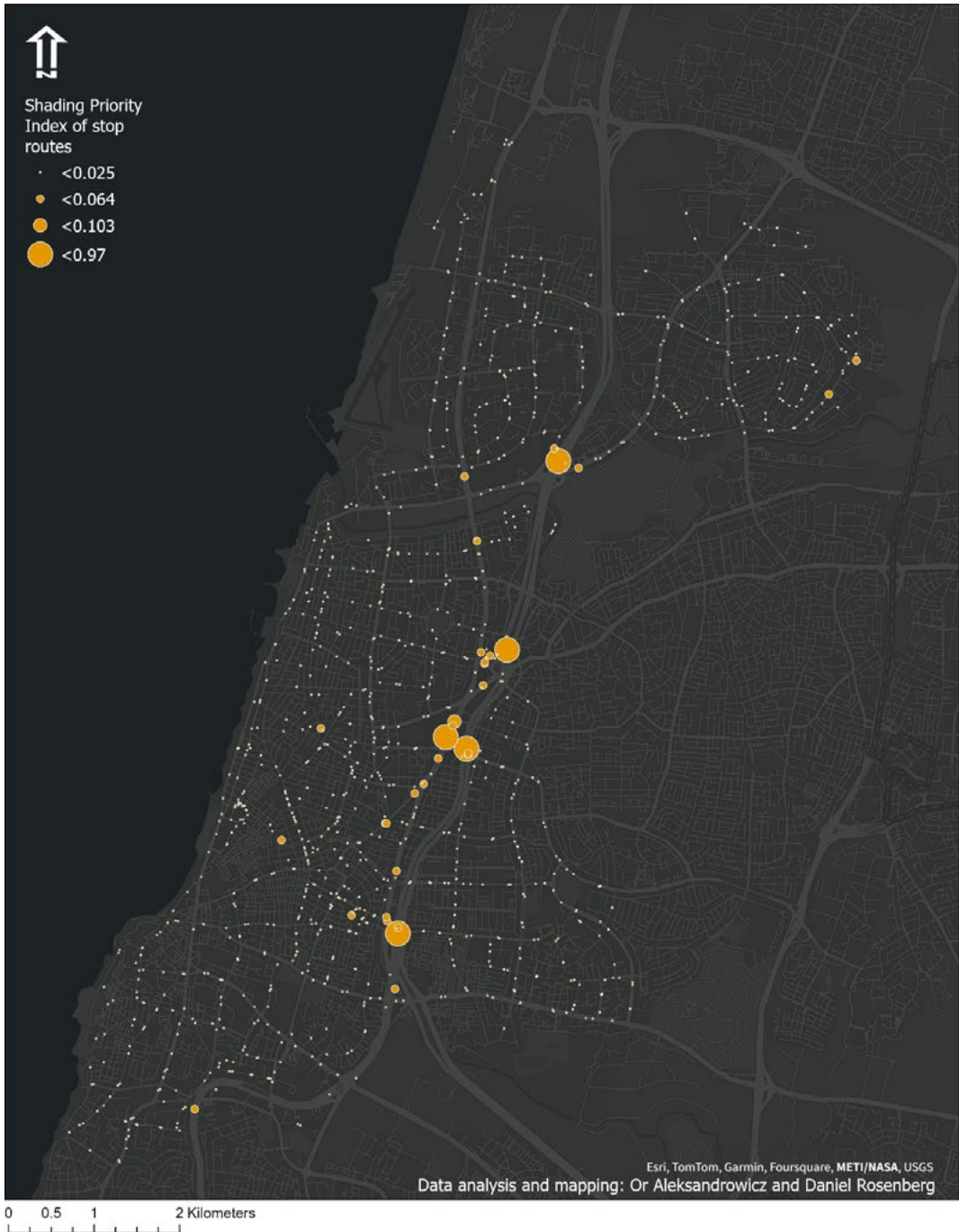
4.3 תיעדוף הצללה בתחנות הסעה

חישוב מדד תיעדוף ההצללה בתחנות ההסעה (איורים 19-22) חשף בכל עיר תחנות הסעה בודדות או מקבצים של תחנות הסעה שנכון היה להתמקד בשיפור מצב ההצללה באזור המוביל אליהן, כשקלול של מצב ההצללה הממוצע באותו אזור ושל מידת השימוש בתחנות. בניתוח זה בולטות תחנות ההסעה הסמוכות לכל תחנות הרכבת בכל הערים. לצידן, בולט גם מספר קטן של תחנות בעלות חשיבות מקומית בתוך העיר.

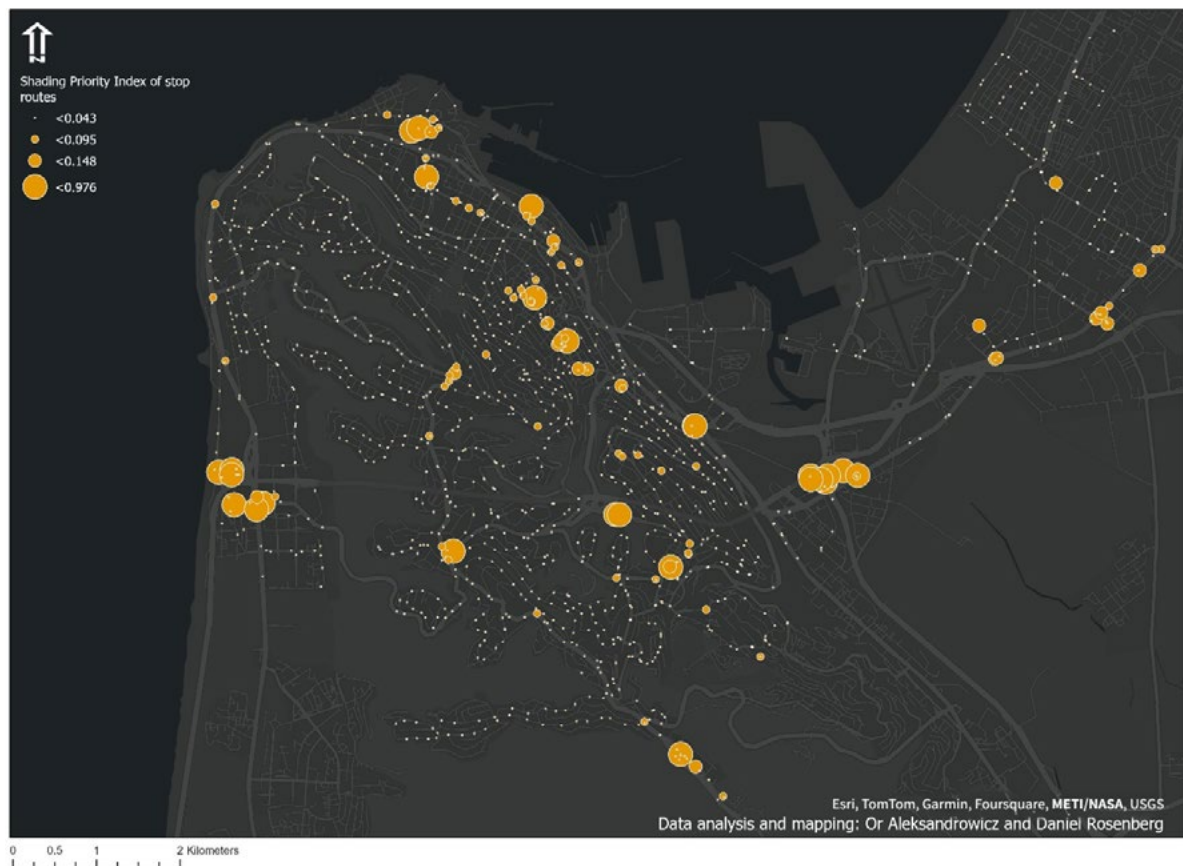
**בכל עיר תחנות הסעה בודדות או מקבצים של
תחנות הסעה שנכון היה להתמקד בשיפור מצב
ההצללה באזור המוביל אליהן, כשקלול של
מצב ההצללה הממוצע באותו אזור ושל מידת
השימוש בתחנות**

”

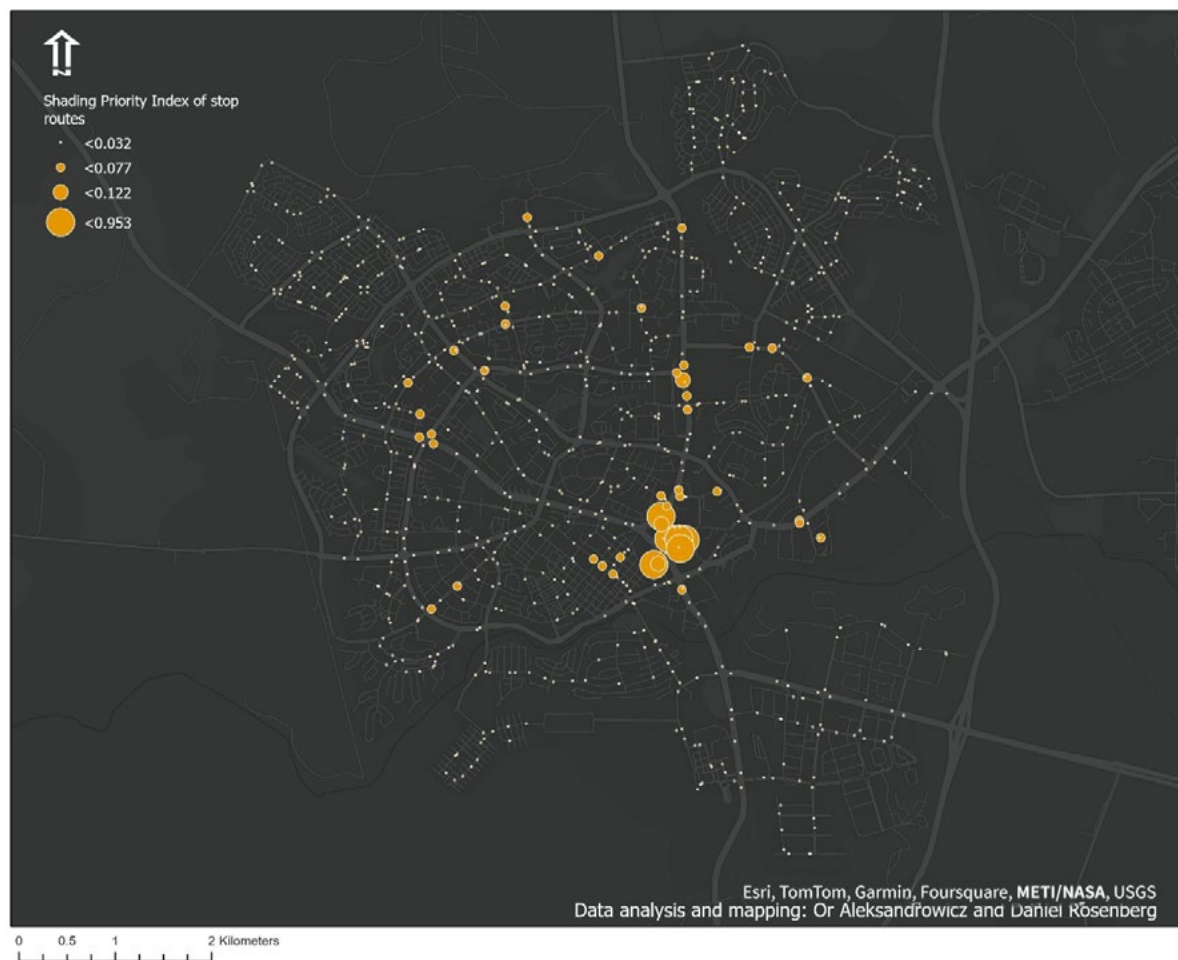
בתל אביב-יפו מבליט המדד גם מספר תחנות הסעה לאורך דרך בגין, בשני מוקדים בדרך נמיר, בדיזנגוף סנטר, סמוך למגדל שלום וסמוך לתחנה המרכזית החדשה. בחיפה בולט מספר גדול יחסית של תחנות הסעה מקומיות שמדד תיעדוף ההצללה שלהן גבוה, מעבר לתחנות הסמוכות לתחנות הרכבת, תחנות הגרנד קניון ופארק מת"ם: בשדרות המגינים, לאורך רחוב החלוץ והמשכו ברחוב יל"ג (הדר הכרמל), סמוך לגשר פז, סמוך למרכז חורב, סמוך למרכז זיו ובאוניברסיטת חיפה. לעומת זאת, בבאר שבע ניכר שריכוז תחנות ההסעה שתיעדוף ההצללה שלהן גבוה מרוכזות סמוך לתחנת רכבת מרכז ולתחנה המרכזית ועד לשוק העירוני. בדרגת תיעדוף נמוכה יותר, אך עדיין בולטת יחסית לשאר העיר, ניצבות גם תחנות ההסעה על שדרות רגר בסמוך לבית החולים סורוקה (אם כי באזור זה ניטעו לאחרונה עצי רחוב והוקמו מצללות רציפות שעשויים לשפר את מצב ההצללה בדרך לבית החולים בעתיד). בנתיבות, תיעדוף הצללה גבוה חושב בכל התחנות שיש בהן מספרים גבוהים יחסית של נוסעים היוצאים מהן (תחנת הרכבת, סמוך לעירייה וברחוב המרכזי של אזור התעשייה הישן).



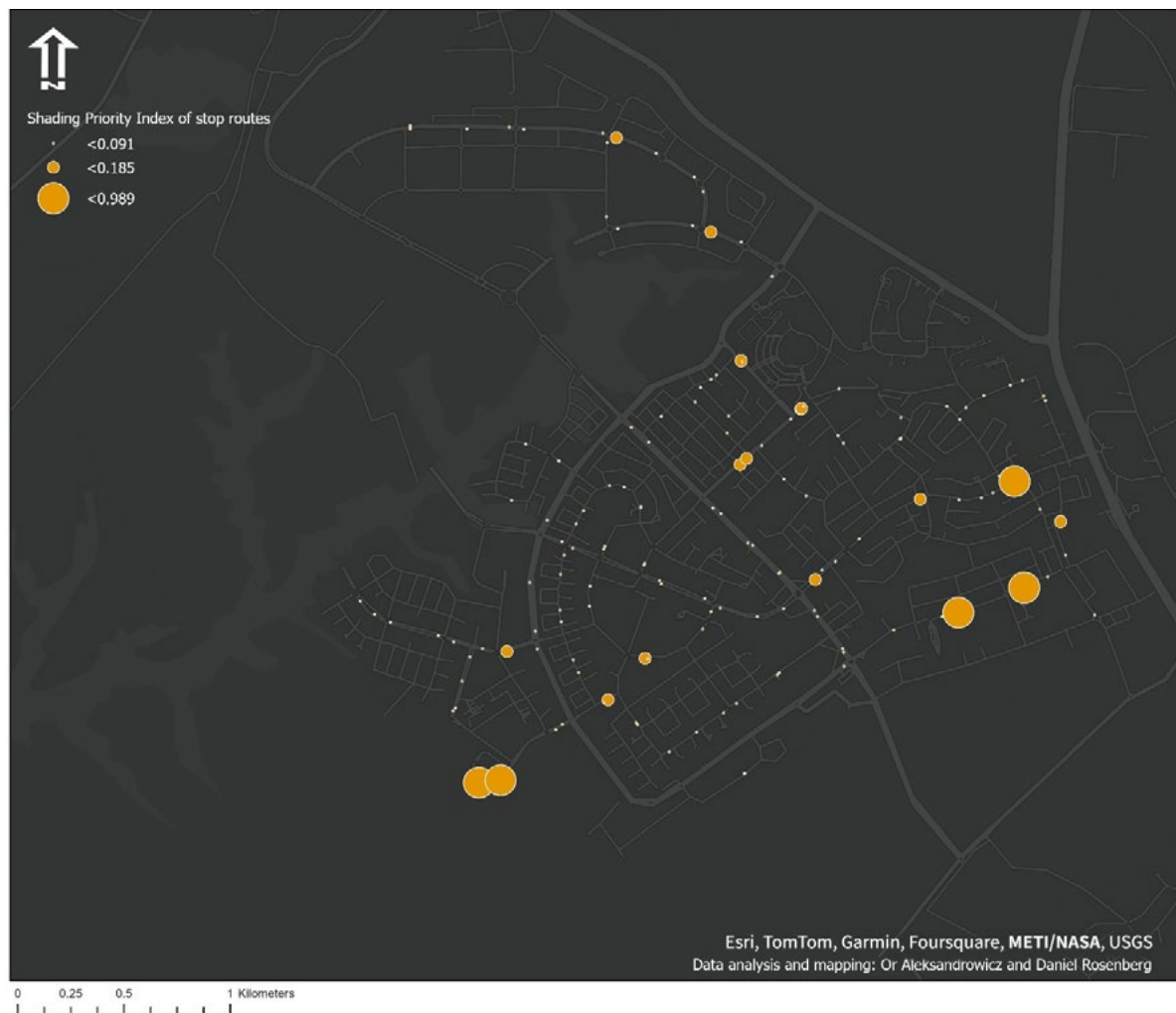
▲
איור 19: מפת מדד תיעדוף ההצללה של תחנות הסעה בתל אביב-יפו.



איור 20: מפת מדד תיעדוף ההצללה של תחנות הסעה בחיפה



▲
איור 21: מפת מדד תיעדוף ההצללה של תחנות הסעה בבאר שבע.



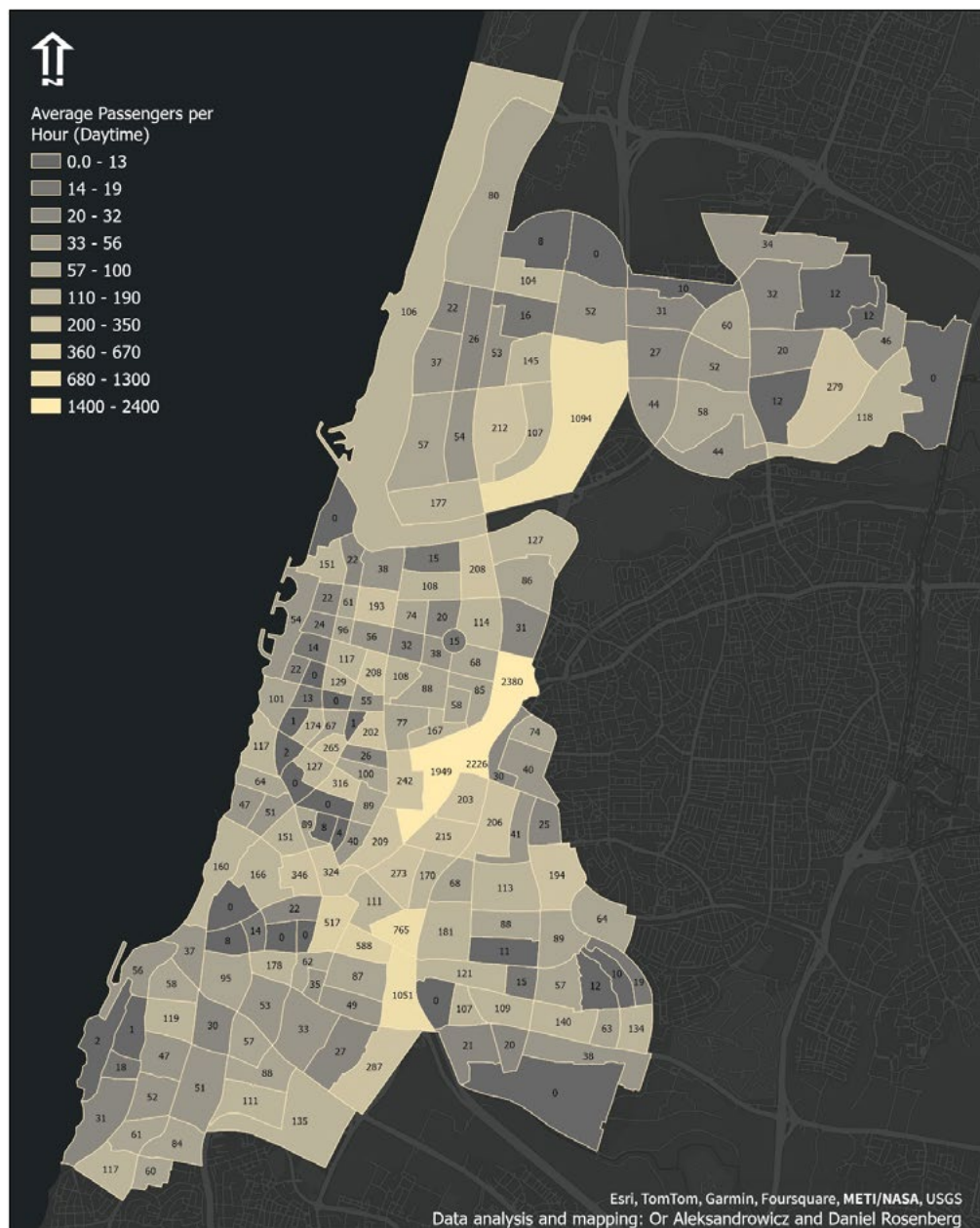
▲
איור 22: מפת מדד תיעדוף ההצללה של תחנות הסעה בנתיבות.

4.4 תיעדוף הצללה על פי אזור סטטיסטי

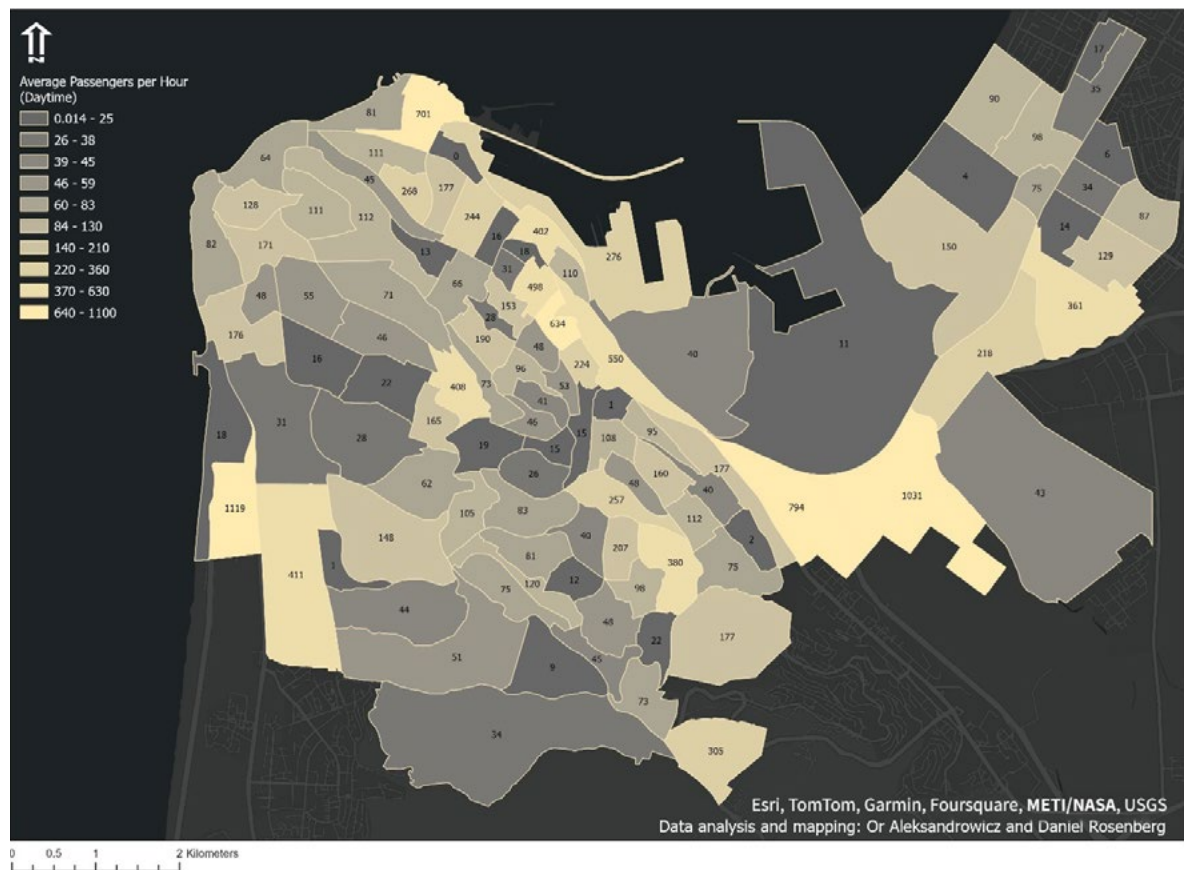
מיפוי מספר הנוסעים השעתי הממוצע בשעות היום באזורים סטטיסטיים בכל עיר (איורים 23-26) משקף אומנם את מוקדי המשיכה הנקודתיים של כל עיר (בעיקר תחנות הרכבת שלה), אך לצד זאת חושף גם את עוצמת מעגל ההשפעה של תחנות אלה מעבר לתחנות ההסעה הסמוכות אליהן. כך, לדוגמה, בתל אביב-יפו מתבלט אזור מרכז העסקים לצד נתיבי איילון, הכולל מלבד תחנות רכבת סבידור והשלום גם את אזור מחנה הקריה ושרונה. כן בולטים האזור המשתרע מהתחנה המרכזית ועד תחנת ההגנה והאזור הגובל באוניברסיטת תל אביב. בחיפה ניכר רצף דומה משכונת הדר, דרך תחנת מרכזית המפרץ ועד אזור התעשייה בצ'ק פוסט. כן בולט אזור תחנת חוף הכרמל ופארק מת"ם לצידו. בבאר שבע האזור המושך אליו מספר גבוה במובהק של נוסעי תחבורה ציבורית הוא אזור העיר הישנה והמרכז האזרחי של העיר, הכולל בתוכו גם את תחנת רכבת מרכז ואת תחנת האוטובוסים המרכזית. בנתיבות מספרי הנוסעים האזוריים דומים, על אף שהשפעתה של תחנת הרכבת של העיר ניכרת גם בחישוב האזורי.

ניתוח תיעדוף ההצללה על פי אזורים סטטיסטיים (איורים 27-30) מאפשר להבליט אזורים מוגדרים בתוך הרקמה העירונית שבהם יש לתעדף הצללה לטובת גישה לתחנות הסעה. בתל אביב-יפו זהו אזור שדרת הקריה ושרונה, בחיפה אזור המבואה המזרחית לעיר (הצ'ק פוסט ומרכזית המפרץ), בבאר שבע אזור המרכז האזרחי והעיר הישנה, ובנתיבות אזור תחנת הרכבת. לצד אזורים אלה, בכל עיר ניתן לאתר גם מספר קטן של אזורי תיעדוף הצללה ברמה נמוכה יותר, כגון אזור האוניברסיטה ורכבת ההגנה בתל אביב-יפו, פארק מת"ם, שכונת בת גלים, שכונת הדר וציר קיבוץ גלויות בחיפה, ואזור התעשייה הישן ואזור שדרות ירושלים בנתיבות. בבאר שבע, לעומת זאת, מדד התיעדוף של כל האזורים מלבד מרכז העיר נמוך מאוד.

כיצד להבטיח נגישות אקלימית
לתחבורה ציבורית?

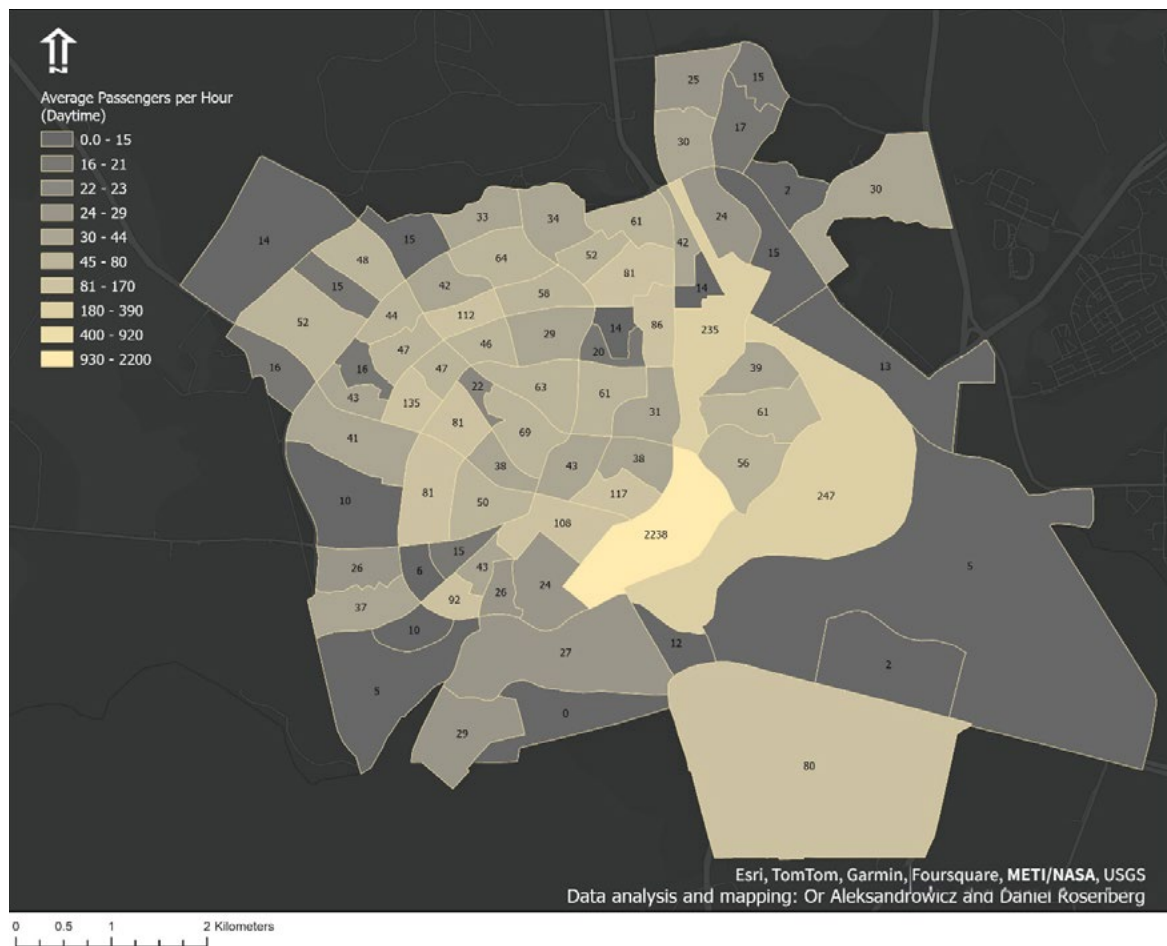


איור 23: מפה המציגה את מספר הנוסעים השעתי הממוצע בשעות היום בחודשים מאי-אוגוסט בכל אזור סטטיסטי בתל אביב-יפו (נחוני 2023).

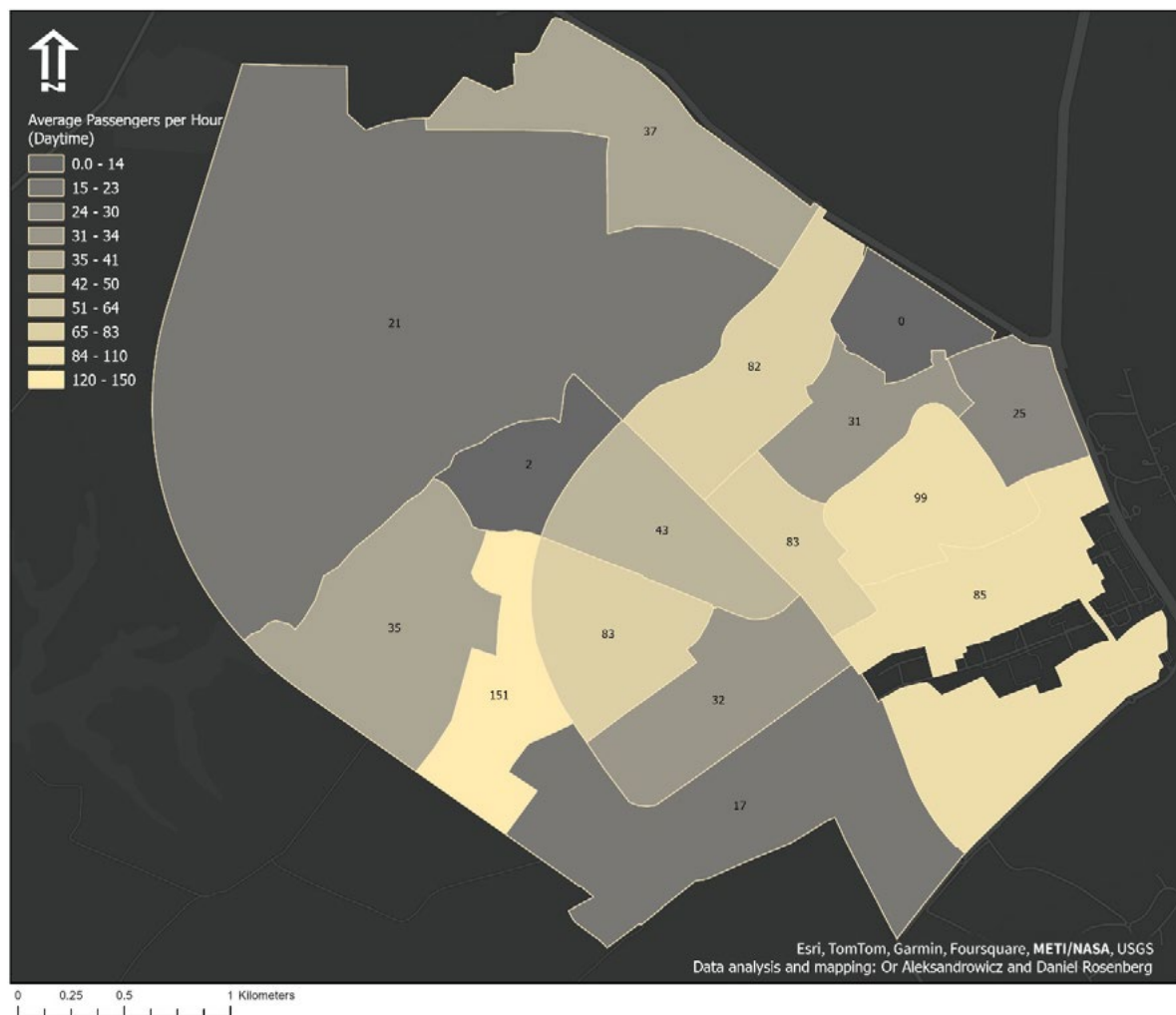


איור 24: מפה המציגה את מספר הנוסעים השעתי הממוצע בשעות היום בחודשים מאי-אוגוסט בכל אזור סטטיסטי בחיפה (נתוני 2023).

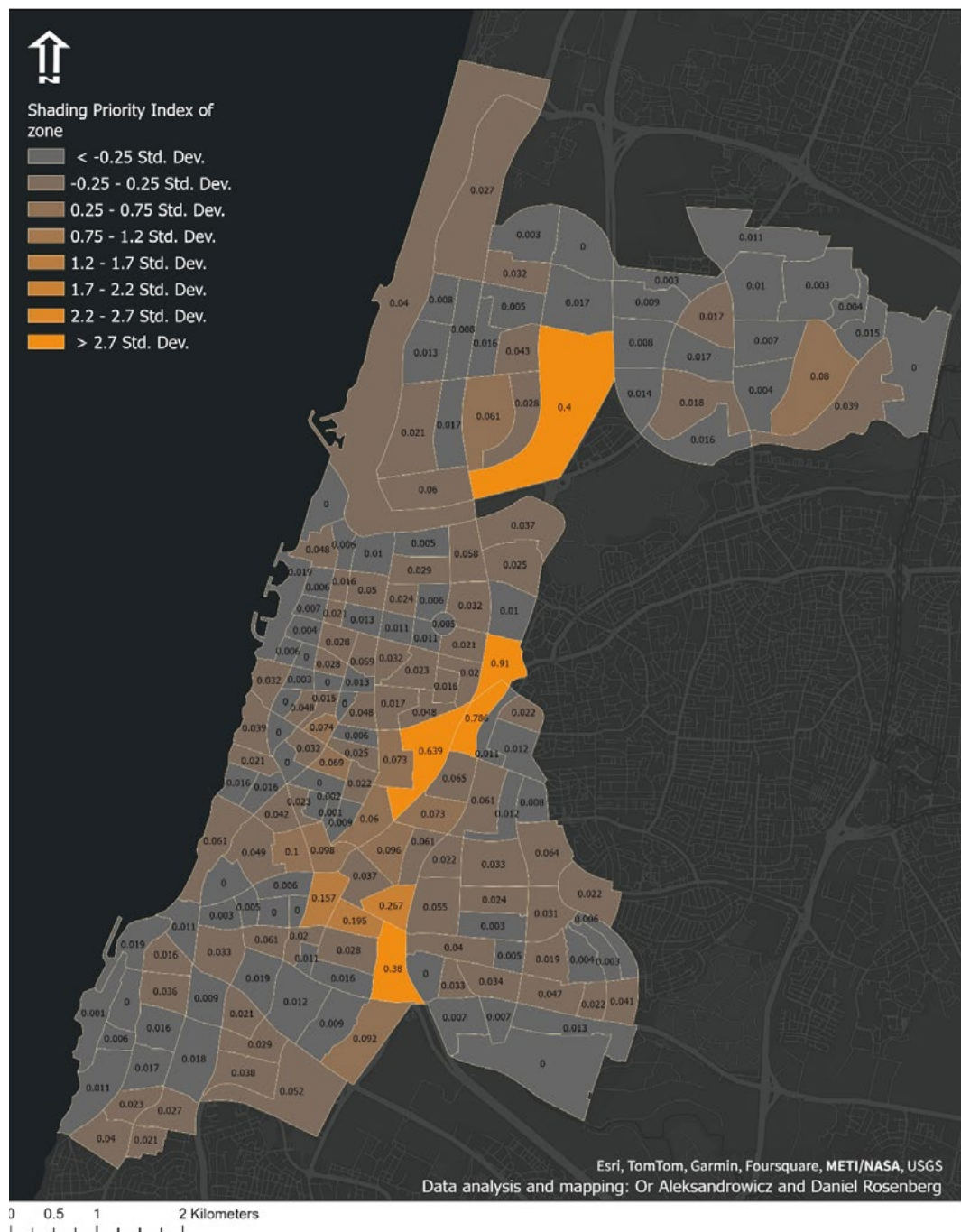
כיצד להבטיח נגישות אקלימית
לתחבורה ציבורית?



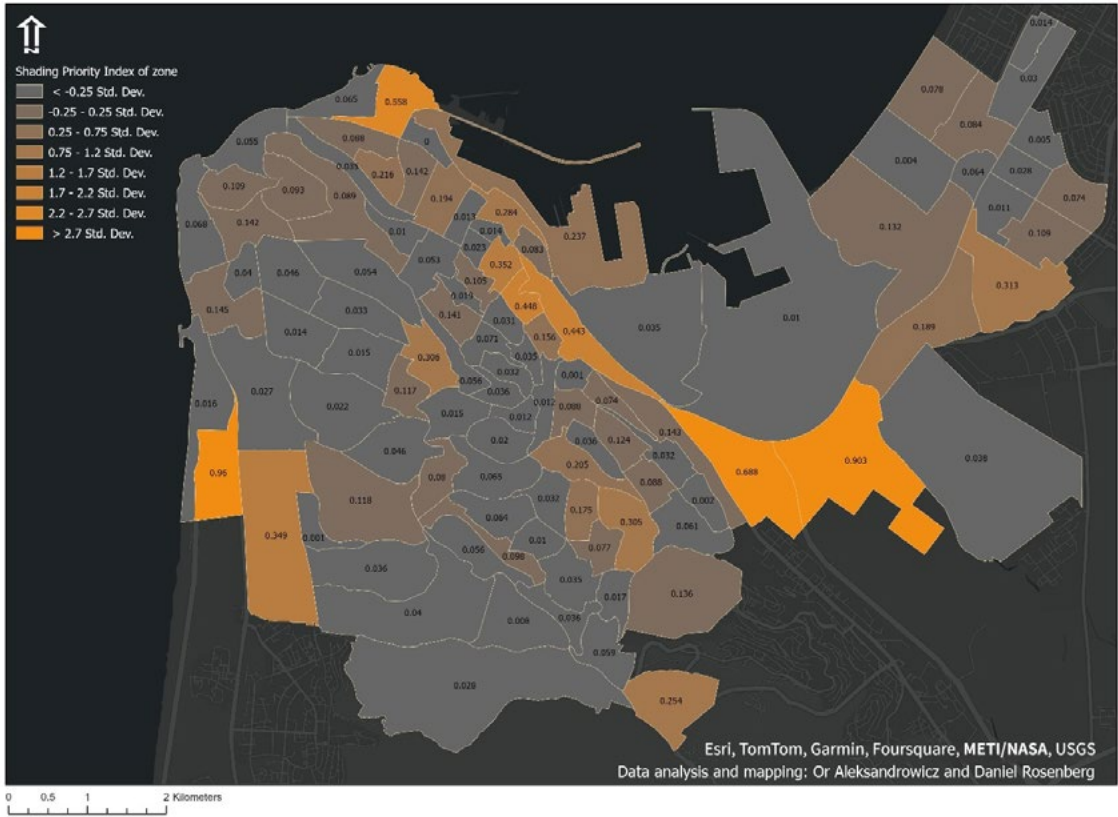
איור 25: מפה המציגה את מספר הנוסעים השעתי הממוצע בשעות היום בחודשים מאי-אוגוסט בכל אזור סטטיסטי בבאר שבע (נתוני 2023).



איור 26: מפה המציגה את מספר הנוסעים השעתי הממוצע בשעות היום בחודשים מאי-אוגוסט בכל אזור סטטיסטי בנתיבות (נתוני 2023).

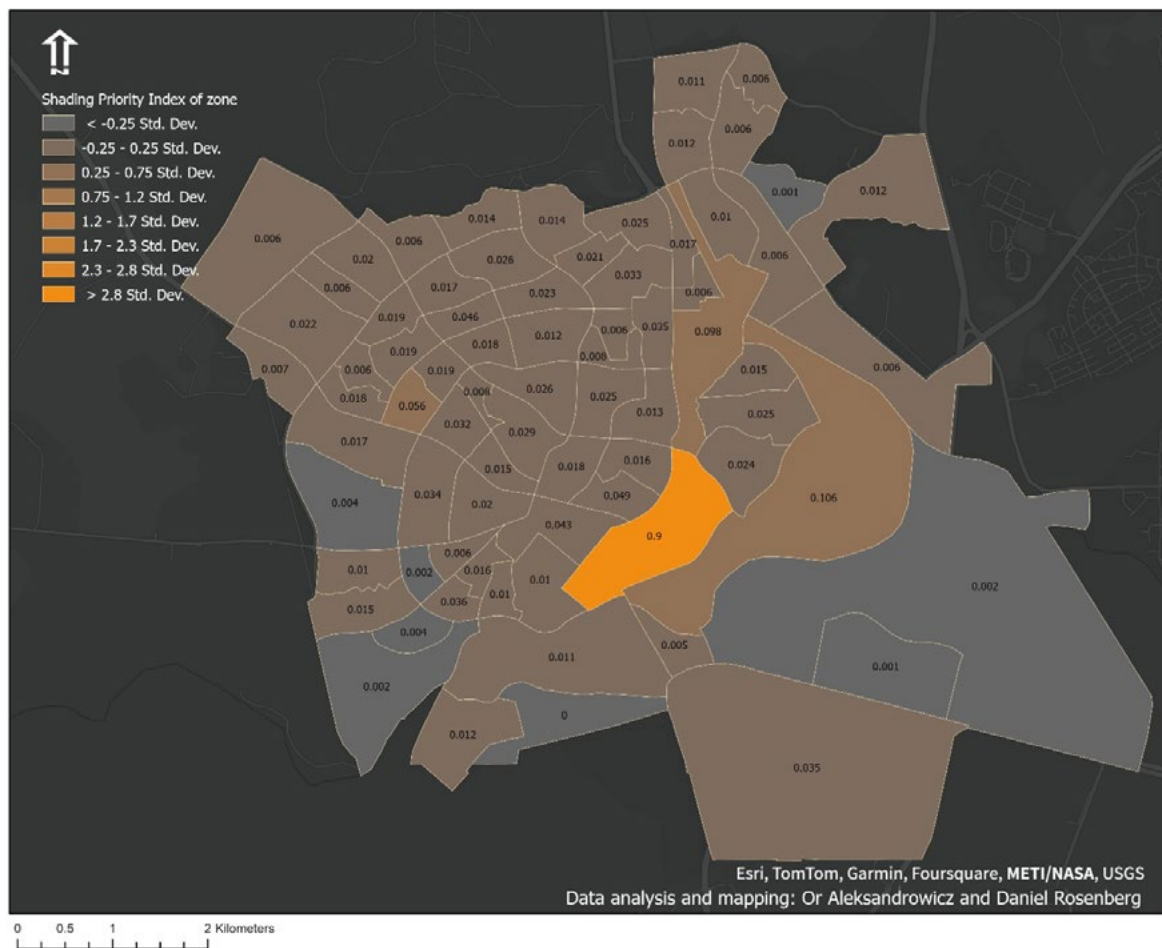


איור 27: מפת מדד תיעדוף ההצללה של אזורים סטטיסטיים בתל אביב-יפו.

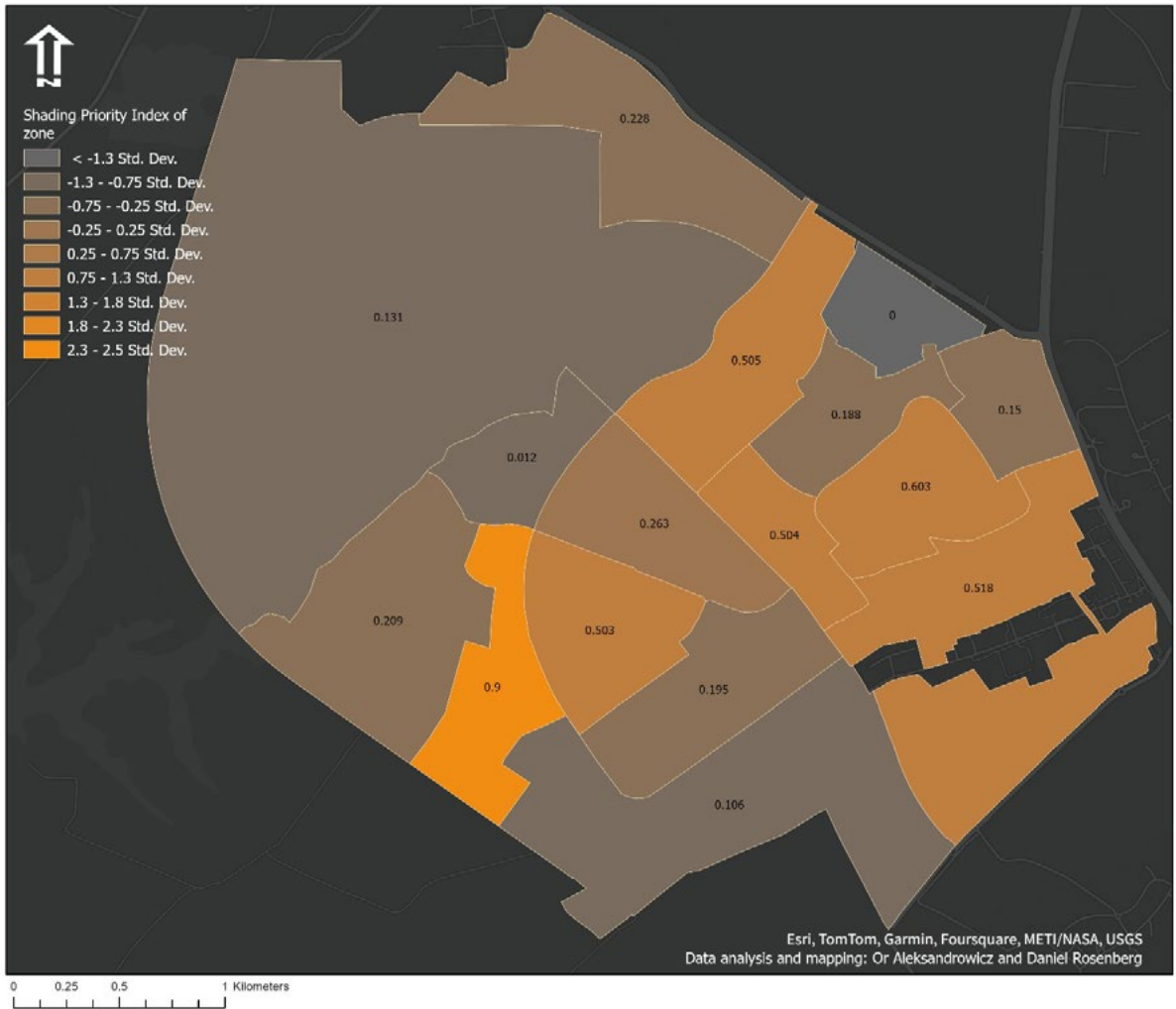


איור 28: מפת מדד תיעדוף ההצללה של אזורים סטטיסטיים בחיפה.

כיצד להבטיח נגישות אקלימית
לתחבורה ציבורית?



איור 29: מפת מדד תיעודף ההצללה של אזורים סטטיסטיים בבאר שבע.



איור 30: מפת מדד תיעדוף ההצללה של אזורים סטטיסטיים בנתיבות.



דיון

5

5.1 מספר הנוסעים בתחבורה ציבורית כאמצעי לתיעדוף פעולות הצללה בערים

מיפוי צל ברזולוציה של מקטעי רחובות הוא אומנם בסיס לקביעת פעולות לשיפור מצב ההצללה בעיר, אך ברוב המקרים אינו מספיק כדי להבליט רחובות או אזורים בעיר שתוספת הצללה בהם דחופה במיוחד וראויה לעמוד בראש סדר העדיפויות העירוני. שיטת תיעדוף הפעולה תלויה בהחלטות ערכיות של גופי התכנון והביצוע העירוניים, בין אם אלה נעשות על בסיס ניתוח נתונים דמוגרפיים, חברתיים-כלכליים או תפקודיים ובין אם על סמך ניסיון מצטבר והיכרות טובה עם חיי העיר. עם זאת, פעמים רבות קשה לבצע תיעדוף מבוסס נתונים בהיעדר מאגרי נתונים רלוונטיים זמינים.

מאגר נתוני התיקוף בתחבורה ציבורית שמנגיש משרד התחבורה הוא מאגר שעשוי לסייע באופן ניכר לאימוץ שיטת תיעדוף הצללה שתהיה מבוססת על רזולוציה גבוהה של נתונים המתארים את אופן השימוש של אוכלוסיות מסוימות במרחב העירוני. בהקשר של שימוש בתחבורה ציבורית, אלה יהיו לרוב אוכלוסיות פגיעות יותר לחשיפה לחום (ילדים, קשישים) שאנו מעוניינים במיוחד לצמצם את חשיפתן לקרינת שמש ישירה. אולם מעבר לכך, יש להכיר בכך שגם אוכלוסיות פגיעות פחות עושות שימוש יומיומי בתחבורה ציבורית, ושהשאיפה התכנונית היא להגדיל את שיעור הנסיעה של אוכלוסיות אלה בתחבורה ציבורית כדי להקטין את השימוש בכלי רכב פרטיים בתוך הערים. לכן, תיעדוף הצללה בדרך לתחנות הסעה המושכות מספר גבוה של נוסעים חשוב לא רק לצמצום חשיפה לעומסי חום, אלא גם כאמצעי תכנוני משלים לעידוד מעבר לשימוש בתחבורה ציבורית שלו

יתרונות סביבתיים רבים כגון צמצום בזיהום אוויר, בפליטת פחמן, בצריכת דלק, בפקקי תנועה ובתאונות דרכים.

נתוני מאגר תיקוף הנסיעות מאפשר לקבוע כי השימוש בתחבורה הציבורית בכל ארבע הערים שבחנו כמעט שאינו מושפע משינויים עונתיים, ובכל מקרה אין עדות לכך שבשל חשיפה מוגברת לחום יורד מספר הנוסעים בתחבורה הציבורית

נתוני מאגר תיקוף הנסיעות מאפשר לקבוע כי השימוש בתחבורה הציבורית בכל ארבע הערים שבחנו כמעט שאינו מושפע משינויים עונתיים, ובכל מקרה אין עדות לכך שבשל חשיפה מוגברת לחום יורד מספר הנוסעים בתחבורה הציבורית. למעשה, מניתוח נתוני המאגר עולה כי שעות היום בחודשים החמים, שהן שעות של שיא בחשיפה לעומס חום, הן השעות שבהן השימוש בתחבורה ציבורית הוא הגבוה ביותר. אין פירושו של דבר שהנוסעים אדישים לחשיפה לעומס החום, אלא שהביקוש שלהם לשימוש בתחבורה הציבורית קשיח דיו כדי שלא יקטן בשל עלייה בעומס החום. דווקא משום שמדובר ב"קהל שבוי" שחייב להשתמש בתחבורה הציבורית בשעות שיא של עומסי חום, יש צורך מובהק יותר לספק לקהל זה תנאים שימתנו את עומס החום שאליו הוא נחשף.

ניתוח נתוני התיקוף העלה עוד כי בכל הערים שבחנו מספר הנוסעים מתחנות הסעה הסמוכות לתחנות הרכבת בעיר גבוה בהרבה משאר חלקי העיר, גם בהשוואה לתחנות הסעה הסמוכות למרכזים עירוניים אחרים שאין לצידם תחנת רכבת. מצד אחד, עובדה זו מעידה על חשיבותה של תשתית הרכבת בכל אחת מהערים ועל השפעתה המרכזית גם על תנועת הולכי הרגל בעיר. מן הצד האחר, יש בכך כדי להאפיל במידה מסוימת על תיעודף פעולות הצללה הרחוקות מתחנות הרכבת, גם במצבים שבהם תחנות ההסעה באזורים אלה מושכות מספר גדול יחסית של נוסעים בקנה מידה מקומי.

5.2 מידת השימושיות של תיעדוף ההצללה על פי מספר הנוסעים בתחבורה ציבורית

בעבודה זו הצענו מדד לתיעדוף פעולות הצללה ברחובות עירוניים הלוקח בחשבון, לצד מידת ההצללה ברחובות, את מספר הנוסעים העוברים דרך תחנות ההסעה בעיר. בבחינת המיפוי שהפקנו לערים השונות על פי המדד, ניכר שניתן לאתר על בסיסו מספר קטן יחסית של אזורים בעיר שלהם יש לתת עדיפות גבוהה בפעולות הצללה. מבחינה זו, ההצלבה בין מיפוי הצל ברחובות וחישוב מספר הנוסעים הממוצע מתחנות הסעה בשעות היום מסייע להבחין בין דרגות חשיבות שונות של תוספת הצללה לאזורים בעלי רמות הצללה נמוכות, שברוב הערים שבחנו מכסים כמעט את כל שטח העיר, ולכונן מאמצים רק לחלק מהם.

**תיעדוף כלשהו של פעולות הצללה נחוץ,
מאחר שברוב המקרים אין בכוחם של גורמי
התכנון והביצוע העירוניים לשפר את מצב
ההצללה בכל חלקי העיר במקביל**

תיעדוף כלשהו של פעולות הצללה נחוץ, מאחר שברוב המקרים אין בכוחם של גורמי התכנון והביצוע העירוניים לשפר את מצב ההצללה בכל חלקי העיר במקביל. מדד כמותי המחושב לצורך תיעדוף יכול להיות שימושי רק כאשר הוא מסייע להבליט מספר קטן יחסית של אתרי פעולה מכלל כל הרחובות הסובלים ממחסור משמעותי או חריף בהצללה. מבחינה זו, מדד תיעדוף ההצללה שאנו מציגים כאן עומד במשימה, משום שבכל אחת מהערים השימוש בו מבליט מספר קטן יחסית של אתרים לפעולה. לצד זאת, מאחר שבכל הערים מלבד תל אביב-יפו מצב ההצללה ברחובות לקוי מאוד כמעט בכל שטח העיר, מדד תיעדוף ההצללה משקף בעיקר את ההבדלים במספר הנוסעים בתחנות או באזורים סטטיסטיים בעיר. מסיבה זו, בכל הערים מבליט מדד תיעדוף ההצללה את סביבתן של תחנות הרכבת העירוניות כאתרים לפעולות הצללה דחופות. לצד זאת,

”

מאפשר המדד לזהות גם מספר מוקדים עירוניים המרוחקים מתחנות הרכבת שראויים לתשומת לב גבוהה בשל מחסור בהצללה בקרבתם. הדברים בולטים במיוחד בחיפה ובבאר שבע. בבאר שבע ראוי לציין כי באזור תחנת הרכבת הצפונית של העיר (תחנת האוניברסיטה) מדד תיעדוף ההצללה של תחנות ההסעה בקרבת תחנת הרכבת נמוך מאוד, והסיבה לכך היא המספר הנמוך יחסית של נוסעים שעברו דרכן. מספר זה עשוי לשקף את שוליות תחנת הרכבת הזאת בחיים העירוניים בשל קישוריות נמוכה לשכונות הצפוניות של העיר לצד קרבתה הפיזית הגבוהה לקמפוס אוניברסיטת בן-גוריון, אליו ניתן להגיע בהליכה קצרה ומוצללת במלואה מתחנת הרכבת.

במחקר זה הצגנו שני מדדי תיעדוף הצללה: האחד, ברזולוציה של תחנת ההסעה הבודדת, מבוסס על ניתוח מצב ההצללה בגישה רגלית לכל תחנת הסעה ועל מספר הנוסעים מאותה תחנה; האחר, ברזולוציה נמוכה בהרבה של אזור סטטיסטי, מבוסס על ניתוח מצב ההצללה ומספר הנוסעים הממוצע בכל התחנות באזור סטטיסטי מסוים. מבין



בכל הערים מבליט מדד תיעדוף ההצללה את סביבתן של תחנות הרכבת העירוניות כאתרים לפעולות הצללה דחופות



השניים, מדד תיעדוף ההצללה בתחנות הוא מדד ממוקד, עשיר ומפורט יותר מבחינה גאוגרפית, אולם לצורך חישובו נדרשות פעולות מורכבות יותר. ההבדל העיקרי במורכבות שיטת החישוב בין שני המדדים נובע מחישוב מדד ההצללה הממוצע, שהוא אחד משני המרכיבים שמדד התיעדוף מחושב באמצעותם. בחישוב מדד הצללה באזורים סטטיסטיים, נדרש רק לחשב ממוצע מרחבי של מצב ההצללה בכל שטח הרחובות הכלולים באזור סטטיסטי מסוים. לעומת זאת, בחישוב מדד ההצללה הממוצע בגישה לתחנות, יש להוסיף על כך חישוב של כל מסלולי ההליכה האפשריים לאותה תחנה בטווח גאוגרפי מסוים, על סמך ניתוח רשתי מוקדם של רשת הרחובות העירונית.

מניתוח תוצאות המיפוי של מדד תיעדוף ההצללה בתחנות ובאזורים סטטיסטיים אפשר לקבוע כי שימוש במדד המורכב יותר לחישוב (תיעדוף הצללה בתחנות) מניב גם תוצאות מדויקות יותר מבחינה מרחבית, כולל הבלטת מרכזי פעילות משניים שלא זוכים להבלטה בניתוח על פי אזורים סטטיסטיים. מנגד, כל אחד משני המדדים מוביל למסקנה כי בכל עיר שניתחנו יש להקדים ולמקד את פעולות ההצללה באזורים הגובלים ברוב תחנות הרכבת העירוניות, ומבחינה זו ניתן להסתמך גם על מדד תיעדוף ההצללה באזורים סטטיסטיים כדי להגדיר אזורים של עדיפות גבוהה להצללה ביחס לכל שטח העיר.



6

סיכום ומסקנות

תרומתו של המחקר נוגעת למישורים התיאורטי והמעשי כאחד. המחקר מציע מדד להערכת רמת ההצללה במסלולי ההליכה לתחנות הסעה עירוניות ומדד לתיעדוף פעולות לשיפור הצללה הלוקח בחשבון, נוסף על מצב ההצללה, גם את מספרי הנוסעים מתחנות הסעה שונות בשעות היום בעונה החמה. מדדים אלה מאפשרים להעריך באופן רחב היקף את מידת הנגישות האקלימית של תחנות הסעה בכל ערי ישראל ולאחר פערים אפשריים בין נגישות זו לנגישות גאוגרפית "פשוטה", שאינה לוקחת בחשבון השפעה שלילית אפשרית של עומסי חום על נוסעי התחבורה הציבורית. מדדים אלה יכולים לשמש בסיס לתיעדוף פעולות הצללה ברחבי העיר ולגיבוש תוכניות אסטרטגיות להצללה בערים, כמדדים יחידים שעל פיהן נקבע תיעדוף הפעולות או במשולב עם נתונים ושיקולים אחרים.

**המדדים מאפשרים לאתר על בסיס נתונים
כמותיים ברזולוציה גבוהה מספר מצומצם
יחסית של אתרים שבהם הנגישות האקלימית
לתחנות ההסעה נמוכה במיוחד**

חישוב המדדים החדשים שהצגנו במחקר זה מבוסס על ניתוח משולב של שני סוגים של מאגרי נתונים ציבוריים: נתוני מיפוי גאוגרפיים שמהם ניתן להפיק מפות צל עירונית, ונתוני תיקוף כרטיסי נסיעה לפי תחנות הסעה. על אף שהדרך הנוכחית שבה מונגש מאגר נתוני התיקוף, באגרגציה רב־שעתית, אינה מספקת תמונה מדויקת של הבדלים במספרי הנוסעים לפי שעה, ניתוח הנתונים מעלה כי גם בשיטת האגרגציה הנוכחית ניתן ללמוד מצד אחד על הבדלים מהותיים

בזמני שיא ושפל של נסיעה בערים שונות, ומן הצד האחר להסיק כי רוב הנסיעות בתחבורה הציבורית העירונית מתקיימות לאורך כל שעות היום. מסקנה זו מדגישה במיוחד את הצורך בהבטחת הצללה מרחבית בדרכים הרגליות לתחנות ההסעה.

למדדים שהצגנו בעבודה זו כמה יתרונות בתיעדוף פעולות הצללה עירוניות:

- המדדים מאפשרים לאתר על בסיס נתונים כמותיים ברזולוציה גבוהה מספר מצומצם יחסית של אתרים שבהם הנגישות האקלימית לתחנות ההסעה נמוכה במיוחד. באופן זה, המדדים מאפשרים לכוון משאבים למקומות שבהם השפעתם על הציבור תהיה הגדולה ביותר ולהביא לתוצאה היעילה ביותר, תוך ניצול מיטבי של המשאבים העומדים לרשות הרשות המקומית.
- מדד תיעדוף ההצללה בתחנות ההסעה מאפשר למקד את מאמצי שיפור ההצללה במספר מצומצם יחסית של רחובות המובילים לתחנות הסעה מרכזיות כאתרים בעדיפות ראשונה לפעולה, וכך לקדם שינוי חיובי בתוך זמן קצר ובמשאבים מצומצמים יחסית.
- מדד תיעדוף ההצללה על פי אזורים סטטיסטיים מאפשר למקד את מאמצי השיפור במרקמים עירוניים נרחבים, שבהם רמת ההצללה הממוצעת ברחובות נמוכה אך עוברים בהם משתמשי תחבורה ציבורית רבים יחסית. טבען של פעולות כאלה הוא שהן נפרסות לאורך זמן רב יותר מאשר פעולות לאורך רחובות בודדים, אולם ערכן המצטבר רב יותר, משום שהן משפרות את מצב ההצללה בעיר ברמה אזורית ולא רק ברמה מקומית.
- השימוש במדדים הכמותיים חושף הבדלים ניכרים בין הערים ובתוך הערים, הן במספר הנוסעים מתחנות הסעה שונות בעיר והן בתנאי ההצללה בגישה לתחנות. הבדלים אלה מדגישים את חשיבות המיפוי הפרטני של תנאי ההצללה ושל מספרי הנוסעים בכל עיר לפני שיוחלט על פעולות לתוספת הצללה במרחב העירוני.

המיפוי שהופק במהלך המחקר מאפשר לקבוע כי השיטה שאנו מציגים כאן ניתנת ליישום קל יחסית בקנה מידה רחב בכל הערים בארץ לצורך תיעדוף ברור של רחובות ואזורים שבהן נדרשות פעולות הצללה. ביישום נרחב של שיטה זו גם בערים נוספות, היא עשויה לאפשר למקבלי החלטות ולמתכננים מחוזיים או בדרגה גבוהה יותר לאתר נקודות תורפה חזרתיות בנגישות האקלימית של תחבורה ציבורית בכל רחבי הארץ, וכן לבצע בחינה השוואתית של רמת הנגישות האקלימית של תחבורה ציבורית בין ערים שונות. בהצלבה עם מדדים חברתיים-כלכליים מרחביים, המדדים שפותחו בעבודה זו עשויים גם לסייע בחשיפת פערים בנגישות האקלימית של תחבורה ציבורית שמשפיעים במיוחד על נגישותן של אוכלוסיות מוחלשות למשאב ציבורי זה.

**מדד תיעדוף ההצללה על פי אזורים
סטטיסטיים מאפשר למקד את מאמצי השיפור
במרקמים עירוניים נרחבים, שבהם רמת
ההצללה הממוצעת ברחובות נמוכה אך עוברים
בהם משתמשי תחבורה ציבורית רבים יחסית**

”



מקורות

7

- איזק, ו., בר, ר., זיסו-כהן, ו., סולר, ש., שולמן, ל. (2024). מדריך תכנון למיתון חום עירוני. מינהל התכנון.
- אסחאק, ר., שליסלברג, ב. (2016). הנחיות לתכנון ותפעול שירות תחבורה ציבורית באוטובוסים. משרד התחבורה והבטיחות בדרכים.
- ילינק, א., שוץ, ק. (2023). תוכנית אסטרטגית לאומית להצללה ולקירור במרחב העירוני באמצעות עצים. המועצה הישראלית לבנייה ירוקה.
- מבקר המדינה (2019). משבר התחבורה הציבורית (דוח ביקורת מיוחד). משרד מבקר המדינה.
- Aleksandrowicz, O., & Pearlmuter, D. (2023). The significance of shade provision in reducing street-level summer heat stress in a hot Mediterranean climate. *Landscape and Urban Planning*, 229, 104588. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104588>
- Aleksandrowicz, O., Zur, S., Lebendiger, Y., & Lerman, Y. (2020). Shade maps for prioritizing municipal microclimatic action in hot climates: Learning from Tel Aviv-Yafo. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101931.
- Alshalalfah, B. W., & Shalaby, A. S. (2007). Case Study: Relationship of Walk Access Distance to Transit with Service, Travel, and Personal Characteristics. *Journal of Urban Planning and Development*, 133(2), 114–118.
- Dzyuban, Y., Hondula, D. M., Coseo, P. J., & Redman, C. L. (2022). Public transit infrastructure and heat perceptions in hot and dry climates. *International Journal of Biometeorology*, 66(2), 345–356.

- Electricwala, F., & Kumar, R. (2016). Impact of green shading on urban bus stop structure. Proceedings - 2016 2nd International Conference on Computational Intelligence and Communication Technology, CICT 2016, 615–622.
- Lanza, K., & Durand, C. P. (2021). Heat-moderating effects of bus stop shelters and tree shade on public transport ridership. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 1–15.
- Middel, A., AlKhaled, S., Schneider, F. A., Hagen, Bj. B., & Coseo, P. (2021). 50 grades of shade. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102(9), 1–35.
- Shaaban, K., Siam, A., Badran, A., & Shamiyah, M. (2018). A simple method to assess walkability around metro stations. *International Journal of Sustainable Society*, 10(1), 1.
- Sukor, N. S. A., & Fisal, S. F. M. (2020). Safety, Connectivity, and Comfortability as Improvement Indicators of Walkability to the Bus Stops in Penang Island. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 10(6), 6450–6455.
- Taplin, J. H., & Sun, Y. (2020). Optimizing bus stop locations for walking access: Stops-first design of a feeder route to enhance a residential plan. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 47(7), 1237–1259.

8

הכותבים

ד"ר אור אלכסנדרוביץ' הוא אדריכל וחבר סגל בפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים בטכניון, ראש המעבדה לנתוני עתק במחקר אדריכלי (מעבדת BDAR). מומחה לקלימטולוגיה עירונית, ניתוח נתונים מרחביים והתנהגות אנושית בסביבות עירוניות ובבניינים.



ד"ר דניאל רוזנברג מחזיק בתואר דוקטור מהאוניברסיטה העברית (2019). בין השנים 2022-2024 שימש כחוקר במעבדה לנתוני עתק במחקר אדריכלי. הוא עוסק בפיתוח תוכנה ועיבוד נתונים בדגש על נתונים מרחביים.



פרופ' דויד פרלמוטר הוא אדריכל וחבר סגל במחלקה למדעי הסביבה, גאואינפורמטיקה ותכנון ערים באוניברסיטת בן-גוריון בנגב. בעל ניסיון של 35 שנה בקידום עיצוב ובנייה בני קיימא, תוך התמקדות מחקרית בתהליכים מיקרו־אקלימיים המשפיעים על העומס התרמי של הולכי רגל. לאחרונה מילא תפקיד מרכזי ביוזמות אירופאיות כגון GreenInUrbs ו־CircularCity, שבה עמד בראש קבוצת העבודה לסביבה הבנויה והיה המחבר הראשי של שני פרסומים מרכזיים על הפוטנציאל של פתרונות מבוססי טבע להגברת החוסן העירוני.



The widespread application of this method in other cities may also enable decision-makers and planners to identify recurring vulnerabilities in climatic accessibility to public transportation throughout the country. A comparison of the level of climatic accessibility to public transportation between different cities could then be conducted. Cross-referencing with spatial socioeconomic indicators, the metrics developed in this study may also help expose discrepancies in climatic accessibility to public transportation that particularly affect the access of disadvantaged populations to this public resource.



including highlighting secondary activity centers that did not receive prominence in the statistical zones analysis. On the other hand, each of the two indices led to the conclusion that, in each area we analysed, shading operations should be focused on areas bordering almost all the urban train stations. In this respect, it is also possible to rely on the Shade Priority Index in statistical zones to define areas of top urban priority for shading.



A comparison of the level of climatic accessibility to public transportation between different cities could then be conducted

The calculation of shading prioritisation indices in the four urban areas we examined in the study revealed significant differences between them, both in passenger quantities from different transportation stops and in the shading conditions in the routes leading to them, and helped to identify key weaknesses of climatic accessibility to transportation stops in each city or town. These differences emphasise the importance of individual mapping of shade conditions and passenger quantities in each city before deciding on shading actions in urban spaces. The mapping produced during the study makes it possible to determine that the method presented here can be implemented relatively easily and on a relatively large scale in all cities in Israel for clear prioritisation of streets and areas where the addition of shade is required.

The study included the analysis and cross-referencing of two main datasets: public transportation ticket validation (made publicly available by the Ministry of Transport), and shade maps of streets and statistical zones in the four urban areas analysed in this study. The ticket validation dataset revealed information about daily and seasonal trends in public travel in each city or town, as well as allowing us to calculate the average daytime passenger flow during the hot season for each transportation stop. We used the shade maps to calculate the level of hot season shade in the routes leading to each stop or in the streets within specific zones. Using these two datasets, we calculated a new index, the Shading Priority Index, which quantified the importance of adding street shading as a product of the average shade situation and number of public transportation passengers during the day.

In this study, we present two shading prioritisation indices: The first, at the resolution of a single transportation stop, is based on an analysis of the shade situation in all pedestrian routes leading to each stop and the number of passengers boarding public transportation from that stop; The second, at the much lower resolution of a statistical zone, is based on an analysis of the average shade and passenger quantities at all stops in a particular statistical zone. Of the two, the Shade Priority Index at stops is more focused, complex, and geographically detailed, but its calculation requires a more intricate procedure. An analysis of the mapping results of the Shade Priority Index at stops and statistical zones indicated that using the more complex index for calculation (shading prioritisation at stops) yielded more spatially accurate results,

Abstract



Accessible and readily available public transportation is perceived as an essential component in securing urban quality of life, and as one of the central goals of any urban sustainability vision. However, accessibility to public transportation is often presented as depending mainly on the walking distance between users' starting points and transportation stops and the quality of the physical infrastructure dedicated to pedestrians. Surprisingly, this approach ignores the need to secure thermal comfort for those using the access routes. This study was intended to provide an initial response to this deficit by developing a method for prioritising improvements to the climatic accessibility of transportation stops that could, in addition, be used by urban planners to prepare strategic plans for shading and urban afforestation. The prioritisation indices we developed are based on quantifying the disparity between the intensity of stop use and the degree of solar exposure of the footpaths leading to the stops. The study focused on three major cities in Israel: Tel Aviv-Yafo, Haifa, and Be'er Sheva, as well as the town of Netivot.



We used the shade maps to calculate the level of hot season shade in the routes leading to each stop or in the streets within specific zones

Securing climatic accessibility to public transport
A data-driven approach to urban shading operations

Dr. Or Aleksandrowicz

Dr. Daniel Rosenberg

Prof. David Pearlmutter