



הרשות הלאומית
לבטיחות בדרכים



שיטות מבוססות וידאו לניטור אופנועים בתנועה



ד"ר דוד זיידל
אינג' רן זילברשטיין



ניהול מדעי: ד"ר שי סופר, המדען הראשי, הרשות
הלאומית לבטיחות בדרכים
ליווי מחקרי: אגף מחקר, הרשות הלאומית לבטיחות
בדרכים

אדר תשע"ג
פברואר 2013

חלק ב: מידע כללי

המחקר מומן ע"י הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים, יחידת המדען הראשי

תאריך תחילת המחקר: **15.01.11** תאריך הגשת הדו"ח: 15.07.2012 מתוקן: 06.12.2012

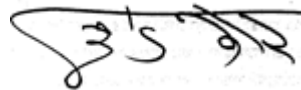
שם החוקר הראשי: דוד זיידל

שם חוקר נוסף: רן זילברשטיין

מוסד המחקר: אמי מתום מהנדסים ויועצים

שם המחקר (עברית): שיטות מבוססות וידאו לניטור אופנועים בתנועה

Research Title (English): Video based methods for monitoring motorcycles in traffic



חתימת החוקר הראשי:



חתימות החוקרים השותפים¹:



חתימה:

שם החוקר: רן זילברשטיין



חתימה:

שם מנהל רשות המחקר: רן זילברשטיין

תודה למרכז הבקרה בנתיבי איילון על שיתוף הפעולה. תודה למיכאל מש על חלקו בעבודה.

¹ חתימות של השותפים למחקר, כולל היועצים או המדריכים, ומנהל רשות המחקר נחוצות לאישור הדו"ח וסיום המימון

תקציר: שיטות מבוססות וידאו לניטור אופנועים בתנועה

במחקר זה פותחו והודגמו שיטות מבוססות וידאו לאיסוף וניתוח נתונים מייצגים של נוכחות והתנהגות אופנועים בתנועה, ברמה של מרחב עירוני גדול. מידע זה לא קיים עד עתה, ובלעדיו קשה להעריך עד כמה המעורבות בתאונות אופנוע היא פרופורציונית להיקף הפעילות של אופנועים, באיזו מידה מאפייני התנהגות מיוחדים לאופנועים תורמים למעורבות בתאונות, אלו אמצעי בקרה וניהול תנועה עשויים לשפר את המצב וכיצד לבדוק שהאמצעים הועילו.

הדגמנו את השיטות באזור המטרופולין של תל-אביב (גוש דן) המרכז למעלה מ 50% מכמות האופנועים במדינה, כמו גם למעלה מ 50% מסך תאונות האופנוע בתחום העירוני בישראל. בעזרת מערכת מיפוי גיאוגרפי עם שכבת נתוני תחבורה, מיפינו 5600 תאונות אופנוע באזור זה.

על בסיס התאונות, הכרות עם המאפיינים האורבניים והתנועתיים של האזור, והכרות עם מאפייני פעילות ומוקדי משיכה של רוכבי אופנוע, הגדרנו ארבעה מרחבים גיאוגרפיים ובכל אחד מהם תכננו מסלול נסיעה מייצג באורך של 20 ק"מ. כל מסלול עובר בצירי תנועה ראשיים ומאספים ומכיל כ 60 צמתים מרומזרים.

בכל מסלול בוצעו נסיעות אחדות, בזמנים שונים, ברכב ממותקן במצלמת וידאו שתיעדה את התנועה, ובכללה את האופנועים. כמו כן תיעדנו, במצלמות קבועות, תנועת אופנועים במחלפים של נתיבי איילון ציר תנועה מרכזי ברשת של גוש דן. ניתוח הוידאו נעשה באופן ידני בתוכנת עריכה.

כדי לחשב את כמות האופנועים בתנועה מתוך סך כלי הרכב, נחוץ לספור, בנוסף לאופנועים, גם כלי רכב אחרים. לפיכך פיתחנו שיטה לספירה מדגמית של כלי רכב מתוך תמונות –רגע (Freeze-Frame Snapshots) שדוגמים מקובץ התיעוד בוידאו.

נתח האופנועים בתנועה העירונית באזור גוש דן נאמד בין 2.2% ל 4.7% מסך כלי הרכב, בתלות בשעות ובימי הניטור (יום/ לילה, יום חול/סוף- שבוע).

בניתוח הוידאו זוהו בסה"כ יותר מ 27,000 אופנועים בתנועה, מתוכם 5,750 (21%) תויגו בפענוח כאופנועים עם התנהגות חריגה.

הארועים החריגים השכיחים במחלפים (מצלמות קבועות) הם שילובים שונים של נסיעה בשוליים, נסיעה על אי הפרדה צבוע, ובמהירות גבוהה יותר מאשר יתר התנועה. הארועים החריגים השכיחים בקטעי הדרך (שבין צמתים מרומזרים) במסלולים הם זיגזוג ונסיעה בשול או בנת"צ (כאשר יש כאלו במסלול), ונסיעה במהירות גבוהה משל יתר התנועה. הארועים החריגים השכיחים בצמתים שבמסלולי התיעוד קשורים להתמקמות בראש התור בקידמת הצומת המרומזר ועל מעבר החצייה ולתמרונים נסיעה כדי להגיע לשם.

ניטור נוכחות והתנהגות אופנועים בתנועה עירונית באמצעות פענוח סרטי וידאו ממצלמות תנועה ניחות או ממצלמה ברכב נע הוא אפשרי, מניב תוצאות חדשות ומענינות. שיטת הדגימה והאיפיון של מסלולי הניטור מאפשרים שחזור מהימן של נסיעות ניטור עם סבירות גבוהה של קבלת תוצאות מייצגות ברמה אזורית. אולם לשיטה יש גם מגבלות שונות שחלקן מהותיות וחלקן ניתנות לתיקון.

הדוח דן גם בהשלכות המעשיות של ממצאי ההתנהגות של אופנועים מבחינת החשיבה על גישות חדשות בניהול תנועה עירונית, במיוחד בהקשר של שימוש בשוליים או בנתיבי אוטובוס על ידי אופנועים, והסדרים מיוחדים לאופנועים בקו העצירה בצמתים מרומזרים.

תקציר מנהלים: שיטות מבוססות וידאו לניטור אופנועים בתנועה

מטרת ושיטת המחקר

המידע לגבי כמות האופנועים בתנועה ומאפייני ההתנהגות או התפעול שלהם בתחום העירוני הוא בעיקרו אפיזודי. המחקר הנוכחי נועד לקדם את היכולת להשיג מידע לגבי מאפייני הנסיעה הבסיסיים של אופנועים בסביבה עירונית.

פותחה שיטה לניטור אופנועים בתנועה העירונית באמצעות תיעוד ופענוח צלומי וידאו ממצלמות תנועה קבועות וניידות. המצלמות הקבועות הן בצמתים מרכזיים או במחלפים, וצלום תנועה במצלמה ניידת הוא מתוך רכב נוסע במסלול עירוני ארוך מוגדר מראש, שאפשר לחזור ולנסוע בו בתקופה אחרת.

אזור המחקר ליישום השיטה הוא מטרופולין תל אביב, גוש דן. באזור זה מתניידים יותר ממצלמות האופנועים המורשים לנסוע בכבישי ישראל. מתוך 9931 תאונות אופנוע בתחום העירוני בשנים 2008-2010, 5616 התרחשו בגוש דן.

מספר הרחובות בגוש דן, בערים אור יהודה, אזור, בני-ברק, בת-ים, גבעתיים, הרצליה, חולון, קרית-אנו, רמת-גן, רמת-השרון, תל-אביב הוא 5239 באורך כולל של 2886 ק"מ.

בעזרת מערכת מיפוי גיאוגרפי עם שכבת נתוני תחבורה, מיפינו את תאונות האופנוע בגוש דן. על בסיס התאונות ברחובות, הכרות עם המאפיינים האורבניים והתנועתיים של האזור, הכרות עם מאפייני פעילות ומוקדי משיכה של רוכבי אופנוע, הגדרנו ארבעה מרחבים גיאוגרפיים: דרום (דרום ת"א, חולון, בת-ים), צפון (צפונית לירקון עד למבואות רמת השרון), מזרח (רמת-גן, גבעתיים, בני-ברק ועד ציר כביש גהה במזרח) ומערב (מציר נמיר ומערבה עד הים, דרומית מהירקון ועד סלמה וקיבוץ גלויות בדרום).

בכל אזור תוכנן מסלול נסיעה באורך של 20 ק"מ. כל מסלול נסיעה הוא מעגלי. כל מסלול עובר בצירי תנועה ראשיים ומכיל כ-60 צמתים מרומזרים. הצלום נעשה מתוך רכב גבוה באמצעות מצלמת וידאו קלת משקל שהצמדנו לשימשה הקדמית ע"י תופסן ואקום איכותי. בכל מסלול נעשו שתיים או שלוש נסיעות צלום - בשעות הבוקר ואחה"צ-ערב.

התיעוד במצלמות קבועות נעשה בשלושה מחלפים ובצומת הקשורים למרכז הבקרה של נתיבי איילון. נדגמו קטעי סרטים מכל שעות היום.

הפיענוח נעשה בתוכנת עריכה מקצועית של וידאו, במחשבים סטנדרטיים. הפענוח היה חזותי התרשמותי ללא מדידות מדויקות של מרחקים, מהירויות או תאוצות. המטרה היא לזהות כל אופנוע בתנועה ולספור אותו, ולזהות כל אופנוע עם מאפיינים חריגים של התנהגות בתנועה. כל מאפיין חריג הוא 'ארוע'.

הרשימה ההתחלתית של מאפייני התנהגות למעקב בזמן הפענוח התבססה על ניתוח תאונות, מחקרי התנהגות אופנועים וסקרי אופנועים. בניתוח הכמותי צמצמנו וארגנו את המאפיינים לשתי קבוצות, אחת מתאימה לצמתים מרומזרים ואחת לקטעים, כולל אזורי מחלפים.

נוכחות אופנועים בתנועה עירונית

במצלמות הקבועות כמות האופנועים נספרה מסרטי הוידאו, בשיטה הרגילה, של מספר יחידות שעברו בחתך הדרך, בשעה. ההגדרה האופרטיבית לנוכחות אופנועים בניתוח הוידאו מהמצלמה הניידת ברכב הוא מספר האופנועים שניתן לראות במהלך שעת נסיעה במסלול נתון. כמות האופנועים שנספרו בפיענוח ואיזה חלק מהם התנהגו באופן חריג מסוכמת בטבלה. אחוז

אתר	סה"כ אופנועים	אופנועים חריגים	שעור חריגים
צומת לה גארדיה	3346	369	11%
מחלף חולון	13691	3317	24%
מחלף ההלכה	8475	1669	20%
מסלולים	1794	396	22%

החריגים היה דומה בארבעת המסלולים.

הקשר בין נפח ושעור ארועים אינו קבוע. בדרך כלל כמות גדולה של אופנועים (וכלי רכב אחר) 'מייצרים' יותר ארועים חריגים ובשעור גדול יותר; אך יש מצבים ששעור החריגים אינו משתנה עם הנפח ואף יורד.

מנתוני ספירות תנועה של נתיבי איילון (באמצעות גלאים) באזור המחלפים שבמחקר עולה שאחוז האופנועים מסך התנועה הוא 2.3% עד 3.6% בממוצע, בתלות בשעות היממה ובימי השבוע. במחלף ההלכה, לדוגמה, מספר האופנועים השעתי בימי חול הוא ~ 600-700 אופנוע בשעות הבוקר. הנפח קטן לשליש בסוף השבוע.

במסלולי הניטור לא היו לנו ספירות תנועה מיצגות של כל הרכבים במסלול. לפיכך פיתחנו שיטה לספירה של כלי רכב מתוך תמונות –רגע (freeze-frame snapshots) שדוגמים מקובץ התיעוד בוידאו אותו צלמנו כדי לתעד אופנועים. הספירה פשוטה, נוחה לביצוע ומהירה. ניסינו את השיטה עם שני סרט תיעוד – אחד מהמסלול הדרומי ואחד מהמזרחי – ובשתי חלופות של חישוב מהיר. במסלול הדרומי הגענו לאומדן 2.2% או 3.5% של אופנועים מסך התנועה, ובמסלול המזרחי נתח האופנועים בתנועה הוא 4.7% או 3.7%. הערכים מתיישרים היטב עם נתונים קודמים.

התנהגות אופנועים במחלפים, בצומת, ובמסלולים

הארועים החריגים השכיחים בנתיבי השתזרות (ההלכה) והיפרדות (חולון) במחלפים (מצלמות קבועות) הם שילובים שונים של נסיעה בשוליים, על אי הפרדה צבוע, ובמהירות גבוהה יותר מאשר יתר התנועה. יש מעט מאוד תמרוני זיגזוג בין מכוניות או נסיעה מהירה מקצב התנועה בנתיבים הראשיים.

הארועים השכיחים בצומת מחלף לה- גארדיה (מצלמה קבועה) קשורים לתימרוני התמקמות האופנועים בקידמת הצומת, לפני או על מעבר החצייה. אחוזים בודדים הקדימו לצאת מהצומת לפני האור הירוק.

מבין 11% ארועי התנהגות חריגה בקטעי דרך במסלולים (206 מתוך 1794) 7% הם זיגזוג ונסיעה בשול או בנת"צ (כאשר יש כאלו במסלול), ו 4% נסיעה במהירות גבוהה משל יתר התנועה. במסלולים עם קטעי שול או נת"צ (מסלול מזרחי ומערבי) הארועים הנ"ל שכיחים יותר. בקטעי רחובות שאין בהם שול או נת"צ נראו מעט תימרוני זיגזוג, אך היו ארועי נסיעה מהירה יחסית לתנועה.

מבין 14% ארועי התנהגות חריגה בצמתים שבמסלולי התיעוד (254 מתוך 1794), 11% קשורים להתמקמות בראש התור בקידמת הצומת המרומזר ועל מעבר החצייה ולתמרוני נסיעה כדי להגיע לשם. עוד 2% זיגזוג ללא שהתקדמו לראש התור, ו 1% נכנסו לצומת לפני תחילת האור הירוק. אין הבדלים מהותיים בין המסלולים בהתפלגות סוגי הארועים החריגים בצמתים.

השלכות לניהול תנועת אופנועים

שימוש בשוליים או בנתיבי אוטובוס על ידי אופנועים. בניתוח הארועים החריגים בקטעים, (מחלפים וקטעים במסלולים) רוב ההתנהגויות החריגות היו של נסיעה בשוליים ומה שקשור לכך, או נסיעה בנת"צ. אופנוענים סבורים שנסיעה בשול הדרך עשויה להגדיל את הבטיחות על ידי שיפור הניראות והראות שלהם, והקטנת החיכוך עם רכבים אחרים. זו גם דעתם לגבי נסיעה בנת"צ.

זה מספר שנים שבעולם מתקיימים דיונים מקצועיים ומתבצעים נסויים בהסדרים המאפשרים לרוכבי רכב דו-גלגלי לנסוע ללא הגבלות (או מעט הגבלות) בנתיבי אוטובוס או בשוליים. הסדרים כאלה ניתן לראות בהרבה ערים באירופה, כולל לונדון, בריסל ופריס. מן הראוי לבחון זאת גם בגוש דן.

הסדרים לאופנועים בצמתים. בניתוח הארועים החריגים בצמתים, (לה- גארדיה וצמתים במסלולים) רוב ההתנהגויות החריגות היו בהקשר של מקום ההמתנה לאור הירוק ברמזור וכן תמרונים של נסיעה בין רכבים זיגזוג כדי להגיע

לעמדות אלו בקידמת הצומת. אופנוענים טוענים כי התמקמות בקידמת התור בצומת מפחיתה את החיכוך עם רכבים ביציאה מהצומת ('מוציאה את האופנועים מבין גלגלי הרכבים'), משפרת את שדה הראייה של האופנוענים ועוזרת בפינוי זריז יותר של הצומת על ידי כל הרכבים.

בערים רבות בעולם נהוג לסמן בצמתים פס עצירה מקדים (Advanced Stop Line) לאופניים, על ידי הסטת קו העצירה למכוניות אחורה. המקום השמור לאופניים מכונה Bike Box, ומסומן באופן בולט. בהמשך התירו גם לאופנוענים לעמוד לפני קו המקדים (בשיתוף או ללא אופניים) ונהוג זה הולך ונפוץ.

בחינת היחס לתמרונים והתמקמות של אופנוענים בתנועה

השיח של נהגי רכב רגיל בישראל, כולל אנשי מקצוע בתחום התחבורה, כלפי אופנוענים ואופנוענים הוא ביקורתי מאוד. נהגים שהם גם רוכבי אופנוע פחות ביקורתיים, כנראה משום שהם מסוגלים לראות את תמונת המצב מנקודת מבטו של רוכב. מן הראוי לבחון מחדש יחס זה.

מה שנראה לנהג רכב כזיגזוג מיותר וכמהירות מופרזת, בעיני הרוכב זה תמרון להתמקמות בטוחה יותר בנתיב ושימוש נכון בתאוצה הטובה של אופנוע כדי לצאת ממצב פחות בטוח או להתרחק מכלי רכב.

מחקרים מצביעים על כך שלרוכבי אופנוע יש מודעות מצב (situation awareness) טובה יותר משל נהגי מכוניות, הם ממוקדים יותר במטלת הנהיגה, הם משתמשים יותר במראות, הם שמים לב יותר לרמזים של סיכוני דרך, הם נוהגים באופן פעיל ולא פאסיבי כדי למקם עצמם בדרך ובתנועה באופן שמרחב הראיה והתמרון שלהם יהיה חופשי ככל האפשר.

מנקודת ראות של לפחות חלק מהאופנוענים, ההתנהגויות החריגות שתוארו במחקר הנוכחי בקטעים ובצמתים הן בלתי נמנעות בתנועה מעורבת, ובמיוחד צפופה. הרבה אופנוענים מנוסים (כפי שמצאנו בעבר בקבוצות מיקוד, שיחות עם פעילי אגודות אופנוענים, קריאת חומרי הדרכה ועצות באתרי אופנוענים בארץ ובעולם) סבורים שהתנהגויות אלו, כאשר נעשות בתבונה, עשויות לשפר את מצבו הבטיחותי של האופנוע בתנועה.

האופנוע הוא במיעוט בתנועה ונחות בין כלי רכב אחרים גדולים ממנו. האופנוען צריך לנצל לטובת בטיחותו את היתרונות היחסיים שלו ושל הכלי והם: כושר תאוצה, יכולת תמרון במרחבים (נתיבים) צרים, מודעות מצב וקשב ברמה גבוהה יותר משל נהגים.

אופנוענים מיישמים גישה זו באופן לא פורמלי (ולעיתים לא חוקי), ואין ספק שהתנהגויות מהסוג הנ"ל, כגון תמרון בצומת כדי לעמוד לפני המכוניות, או נסיעה בשול, מרגיזות נהגים אחרים. אך לא מובן מאליו שההתנהגות היא לא-בטיחותית. יש להניח שהסדרים מתוכננים, ממוסדים וחוקיים, מהסוג שתואר כאן בקצרה, יכולים לעשות את ההתנהגות הבלתי פורמלית למקובלת על נהגי רכב ועל ידי כך גם לבטוחה יותר עבור כולם.

לקחים מתודולוגיים

ניטור נוכחות והתנהגות אופנוענים בתנועה עירונית באמצעות פענוח סרטי וידאו ממצלמות תנועה ניחות או ממצלמה ברכב נע הוא אפשרי, מניב תוצאות סבירות ומענינות. שיטת הדגימה והאיפיון של מסלולי הניטור מאפשרת רפליקציה טובה של נסיעות ניטור עם סבירות גבוהה של קבלת תוצאות מייצגות ברמה אזורית.

מגבלה משמעותית של השיטה קשורה לכך שנוכחות האופנוענים בתנועה העירונית היא קטנה מאוד (4%-2%) ועל כן יש לאסוף ולפענח כמות נתונים גדולה מאוד כדי לקבל אומדנים מהימנים לכמות ולהתנהגות אופנוענים. מגבלה שנייה היא שפענוח ידני של וידאו הוא תהליך ממושך, דורש אמון ונסיון, קשה למדי, וספק אם ניתן ליישם אותו באופן שגרתי.

בפענוח מתייעוד מוקלט, עדיין חסרים רמזים סביבתיים ותנועתיים ולמפענח קשה לזהות להחליט לגבי ארועי התנהגות שאינם חד משמעיים כמו נסיעה בשול או עמידה על מעבר חצייה. הטעויות יכולות להיות בשני הכיוונים: אי זיהוי ארוע חריג או תיוג ארוע כחריג על אף שאינו כזה. בתחום מחקרי זה אין מדד 'אוביקטיבי' חיצוני לבדיקת תקפות הפיענוח.

ניתן לשפר את דיוק הניתוח ויעילות הפענוח בשיטת הניטור במסלולים על ידי כך שבנסיעת ניטור יהיו נהג וצופה / רושם שקשוב לתנועה ואינו עסוק בנהיגה. הצופה יתעד את הארועים המשמעותיים בזמן אמת, בדיבור למיקרופון. סרט הוידאו יהיה תיעוד חזותי שאליו יהיו מסונכרנים סיגנלים אחרים, חלקם אוטומטית: GPS, שעון, מהירות הרכב, וחלקם בשליטת הצופה: פס קול, סימוני קודים בשלט-רחוק. המידע הקולי (שכבר זיהה ואפיין את הארועים החריגים) יהיה המידע המוביל בפיענוח, כאשר הוידאו החזותי ישמש לאימות, ומיקום הארוע על גבי מפת הדרכים.

נתוני נוכחות (היכן, כמה, מתי) של אופנועים בתנועה עירונית חשובים לצרכי תכנון תנועה, קידום אמצעים לשיפור בטיחות אופנועים, ולהערכת שינויים במדדי פעילות ובטיחות של אופנועים. בטווח הארוך, הדרך העדיפה לנטר נוכחות אופנועים בתנועה היא באמצעות מערכת מרכזית של בקרת רמזורים שתבסס על גלאים בכל הזרועות אשר ינטרו אוטומטית את כל כלי הרכב בצומת, ובתוכם אופנועים.

עד שהניטור יהיה אוטומטי באמצעות מערכת בקרת רמזורים, אפשר להשתמש בשלוש שיטות יעילות לניטור נוכחות אופנועים (ורצוי שגם רכב אחר באותו זמן) ברשת העירונית הרגילה: א. תיעוד וידאו של מסלולי נסיעה בשיטת הרכב הנע, כפי שנעשה במחקר זה, וספירה של רכב ואופנועים במדגם פריימים, בשיטת ה Snapshot שפותחה במחקר הנוכחי; ב. ספירה מדגמית דומה בשיטת ה Snapshot מקטעים של צלומי מצלמות תנועה ברמזורים, כאשר צילומים אלו יהיו באיכות טובה וזמינים (פתרון בעיות משפטיות ולוגיסטיות); ג. ספירת תנועה ידנית, בשיטה הקלאסית של פוקדים בצמתים.

תוכן עניינים

3	תקציר	
4	תקציר מנהלים	
12	רקע	1
12	1.1 היקף השימוש באופנועים בישראל	
12	1.2 היקף ההיפגעות בנסיעה באופנוע	
15	מטרת המחקר ובחירת מאפייני התנהגות לניטור אופנועים בתנועה עירונית	2
15	2.1 מטרת המחקר	
15	2.2 זיהוי מאפיינים לניטור ממחקרי תאונות	
18	2.3 זיהוי מאפיינים לניטור מתצפיות התנהגות בשטח ומסקר	
18	2.3.1 מהירות נסיעה של אופנועים בהשוואה למכוניות	
18	2.3.2 תצפיות התנהגות בצמתים מרומזרים	
20	2.3.3 דווח עצמי על התנהגות בצמתים- סקר אופנוענים	
22	מתודולוגיה לניטור ותיעוד של התנהגות אופנועים בתנועה	3
22	3.1 עקרונות ותאור כללי	
23	3.2 בחירת אתרי מצלמות קבועות לניטור אופנועים	
25	3.3 פרוטוקול איסוף נתונים ממצלמות קבועות בצמתים	
26	3.4 תכנון מסלולים לצילום וניטור תוך נסיעה	
26	3.4.1 בחירת צירי הנסיעה על בסיס היסטוריית תאונות	
29	3.4.2 תכנון מסלולי הנסיעה לתיעוד אופנועים	
31	3.5 פרוטוקול צילום תנועה בשיטת רכב הנע במסלול נסיעה מתוכנן	
31	3.5.1 ציוד	
31	3.5.2 תהליך התיעוד	
31	3.6 תהליך הניתוח של נתוני הניטור	
37	ממצאי הניטור באמצעות מצלמות קבועות	4
37	4.1 נוכחות אופנועים מאפיינים והתנהגות בצומת לה-גארדיה בתל-אביב	
39	4.2 נוכחות אופנועים, מאפיינים והתנהגות במחלף חולון (נתיבי היפרדות)	
43	4.3 נוכחות אופנועים, חריגים וארועים במחלף ההלכה (נתיבי השתזרות)	
43	4.3.1 נתח האופנועים בתנועה	
46	ממצאי הניטור באמצעות מצלמת רכב במסלולי הנסיעה	5
46	5.1 נוכחות אופנועים ומאפיינים נוספים בארבעת המסלולים	
46	5.1.1 שיטת ה Snapshot לספירת כלי רכב מתמונות freeze-frame של וידאו	
48	5.1.2 שני רוכבים, אופנועים כבדים, עבירות תנועה	

49	5.2 ארועי התנהגות חריגים בקטעי דרך במסלולים	
51	5.3 ארועי התנהגות חריגים בצמתים שבמסלולים	
53	6 סכום דיון ולקחים מתודולוגיים	
53	6.1 מטרת ושיטת המחקר	
54	6.2 נוכחות אופנועים בתנועה עירונית	
55	6.3 התנהגות אופנועים במחלפים, בצומת, ובמסלולים	
55	6.4 מגבלות מהותיות ופרקטיות של המתודולוגיה	
56	6.4.1 שימוש מותר בשוליים או בנתיבי אוטובוס על ידי אופנועים	
58	6.4.2 הסדרים לאופנועים בצמתים	
58	6.4.3 היחס לתמרונים ומיקום של אופנועים בתנועה	
59	6.5 לקחים מתודולוגיים	
59	6.5.1 שימוש במצלמות תנועה קיימות לניטור אופנועים	
60	6.5.2 ניטור נוכחות אופנועים בתנועה	
60	6.5.3 שיפור שיטת הניטור במסלולים	
62	7 מראי מקום	
64	תקציר באנגלית	

רשימת לוחות

14	לוח 1.1: תאונות אופנוע בגוש דן בשנים 2008-2010 לפי מאפיינים שונים
17	לוח 2.1: הסיבות העיקריות לתאונות האופנוע בדיווח העצמי בסקר אופנוענים ארצי
20	לוח 2.2: דיווח עצמי לגבי התנהגות בתנועה ע"י אופנוענים בסקר ארצי
28	לוח 3.1: רחובות מרובי תאונות אופנוע בגוש דן שחלקם מיוצגים במסלולי הניטור
32	לוח 3.2: טבלת ניתוח בסיסי של קובץ וידאו
33	לוח 3.3: הגדרת מאפייני התנהגות בצומת לניתוח התיעוד המוקלט בוידאו
33	לוח 3.4: הגדרת מאפייני התנהגות בקטע לניתוח התיעוד המוקלט בוידאו
34	לוח 3.5: צלומי מצב רגעי של מאפייני התנהגות בצומת ובקטע
36	לוח 3.6: אופנועים, אופנועים חריגים וארועים במחלף
36	לוח 3.7: ארועים לפי סוג ושכיחות יחסית למספר האופנועים הכולל שנצפה במחלף
37	לוח 4.1: נוכחות אופנועים, מאפיינים והתנהגות בצומת לה-גארדיה (מצלמה קבועה)
37	לוח 4.2: מספר ארועים לפי סוג בצומת לה-גארדיה
38	לוח 4.3: שכיחות ארועי התנהגות חריגה יחסית למספר האופנועים בצומת לה-גארדיה
39	לוח 4.4: אופנועים, אופנועים חריגים וארועים במחלף חולון (מצלמה קבועה)
40	לוח 4.5: מספר ארועים לפי סוג במחלף חולון
41	לוח 4.6: שכיחות ארועי התנהגות חריגה יחסית למספר האופנועים במחלף חולון
43	לוח 4.7: נפחי תנועה של בקטע הלכה- רוקח בנתיבי איילון דרום - צפון
44	לוח 4.8: אופנועים, אופנועים חריגים וארועים במחלף ההלכה (מצלמה קבועה)
44	לוח 4.9: מספר ארועים לפי סוג במחלף ההלכה
44	לוח 4.10: שכיחות ארועי התנהגות חריגה יחסית למספר האופנועים במחלף ההלכה
46	לוח 5.1: מאפייני המסלולים, נסיעות הניטור וכמות האופנועים
47	לוח 5.2: ספירת אופנועים ורכב אחר ממדגם snapshots לאורך מסלול (דוגמה)
48	לוח 5.3: אופנועים, אופנועים חריגים וארועים, לפי צומת וקטע
48	לוח 5.4: שעור אופנועים חריגים וארועים לפי צומת וקטע
48	לוח 5.5: מאפיינים בשכיחות נמוכה וארועים חריגים נדירים
49	לוח 5.6: ארועים בקטעים לפי סוג הארוע
51	לוח 5.7: ארועים בצמתים לפי סוג הארוע
55	לוח 6.1: סיכום כמותי של ניטור האופנועים

רשימת ציורים

12	ציור 1.1: הרוגים בתאונות דרכים לפי סוג הנפגע 2001-2010
23	ציור 3.1: פריסת מצלמות תנועה בחלק הצפוני של נתיבי איילון
24	ציור 3.2: סכמה של מחלף לה גארדיה
24	ציור 3.3: צומת לה-גארדיה-הרכבת-המסגר-החרש
24	ציור 3.4: סכמה של מחלף חולון
24	ציור 3.5: מחלף חולון היפרדות לכיוון צפון
25	ציור 3.6: סכמה של מחלף ההלכה
25	ציור 3.7: מחלף ההלכה השתזרות לכיוון צפון
26	ציור 3.8: תאונות אופנוע בגוש דן לפי מספר תאונות בציר רחוב
27	ציור 3.9: תאונות אופנוע בגוש דן לפי צפיפות תאונות בציר רחוב
30	ציור 3.10: מפות 4 מסלולי נסיעות הניטור
39	ציור 4.1: התפלגות ארועי התנהגות אופנועים לפי יום ושעות בצומת לה-גארדיה
42	ציור 4.2: התפלגות ארועי התנהגות אופנועים לפי יום ושעות במחלף חולון
45	ציור 4.3: התפלגות ארועי התנהגות אופנועים לפי יום ושעות במחלף ההלכה
50	ציור 5.1: התפלגות ארועים לפי סוג בקטעי דרך במסלולים
52	ציור 5.2: התפלגות ארועים לפי סוג בצמתי המסלולים

1 רקע

1.1 היקף השימוש באופנועים בישראל

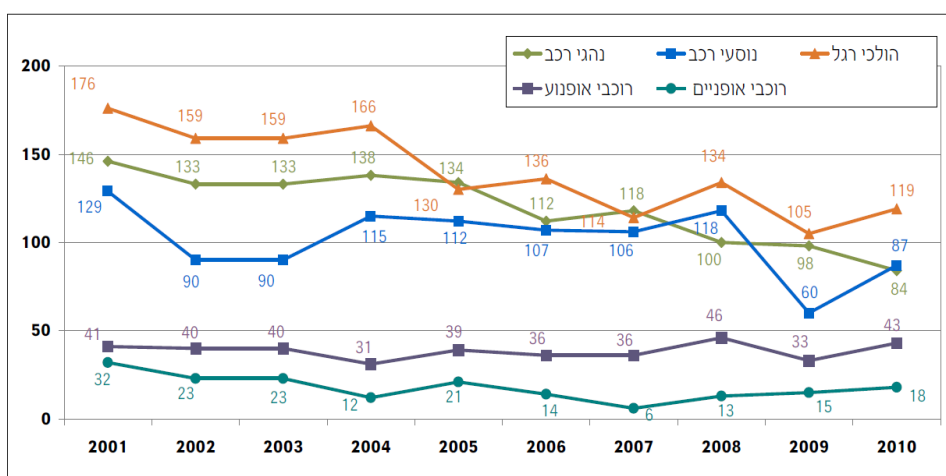
בשנת 2011 היו רשומים 113,000 אופנועים וקטנועים במצבת הרכב הממונע בישראל. בפועל, מרבית כלים אלו (80%) הם קטנועים (לרוב עד 250 סמ"ק). לאורך הדו"ח, המונח "אופנוע" או "אופנוען" מתייחס לכל כלי הרכב הדו-גלליים הממונעים (קטנוע ואופנוע). (גם האופנועים עם שלושה גלגלים נכללים בקטגוריית הרכב ה'דו-גלגלי').

אופנועים מהווים רק 4.4% מסך הרכב הממונע המורשה לנסוע בכבישי הארץ, והם נסעו קרוב למיליארד ק"מ, 1.8% מהנסועה הכוללת (נתוני משרד הרישוי, וסקר נסועה של הלמ"ס לשנת 2010). ממוצע הנסועה לאופנוע, על פי סקר הנסועה של הלמ"ס היה 8,900 ק"מ. בסקר ארצי של רוכבי אופנוע פעילים (זיידל וזילברשטיין, 2011) ממוצע הנסועה שדווח על ידי הרוכבים הגיע ל 11,000 ק"מ לרוכב. חלק הנסועה העירונית היה גבוה יותר מזה של הנסיעות בדרכים לא-עירוניות. 41% מהרוכבים לא נהגו כלל בדרכים לא-עירוניות. 82% מהאופנוענים בסקר דווחו שהכלי שעליו הם רוכבים הוא בעיקר קטנוע (סוג הכלי לא היה משתנה דגימה).

נתוני הלמ"ס מספקים מידע על הפיזור הגיאוגרפי של אופנועים (רישיונות בעלות על אופנועים). בניגוד לכלי רכב אחרים, רוב האופנועים הם בבעלות פרטית של נהג האופנוע, כך שנתונים אלו מעודכנים ומייצגים למדי את בסיס הפעילות של רוכב האופנוע. 69% מהאופנועים רשומים במחוזות מרכז ותל אביב. ביתר המחוזות אחוז האופנועים עומד על כ 7%-8% וביו"ש על כ-2% בלבד. בעיר תל אביב הריכוז הגבוה ביותר של אופנועים בארץ (22% מהמצבת). אחוז המורשים לנהוג באופנוע, באוכלוסיית הנהגים, גבוה יותר (21%-25%) במחוז ת"א או אזור גוש דן בהשוואה לאזורים אחרים (למ"ס, הודעה לעיתונות 177/2011).

1.2 היקף ההיפגעות בנסיעה באופנוע

בעשור האחרון חלה ירידה הדרגתית אך עקבית למדי במספר ההרוגים בתאונות דרכים בישראל, מ-542 הרוגים בשנת 2001 ל-352 הרוגים בשנת 2010 (הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים, 2011). אולם כפי שמראה ציור 1.1, הלקוח מהפרסום הנ"ל, הירידה בתאונות היתה בעיקר בקרב משתמשי רכב ארבע-גלגלי (ויותר) ובקרב הולכי רגל. רוכבי אופנוע המשיכו להיהרג מידי שנה בהיקף דומה. מספר כלי הרכב ומספר האופנועים גדלו באותה תקופה בשיעור דומה של 40%. יתכן שלגידול בכמות הרכב היתה השפעה שלילית נוספת על הסיכון של רוכבי אופנוע.



ציור 1.1: הרוגים בתאונות דרכים לפי סוג הנפגע 2001-2010

בשנת 2010 נפגעו 3094 רוכבי אופנוע בתאונות דרכים שדווחו למשטרה ונרשמו ככאלה; מתוכם נהרגו 43 ועוד 333 נפצעו קשה. 25 מתוך ההרוגים היו בתחום העירוני. עוד 7309 אירועי היפגעות של רוכבי אופנוע שדווחו למשטרה סווגו כתיק "אירוע כללי עם נפגעים" ואינם כלולים בסטטיסטיקת תאונות הדרכים (לוח 6.21 בפרסום הנ"ל). אם כי תאונות אופנוע מחוץ לעיר הן בשיעור חומרה (יחס בין קטלני+ קשה / סה"כ תאונות) גבוה יותר מאשר תאונות בתחום העירוני, וזאת בעיקר בגלל מהירות ומעורבות אופנועים כבדים, (זיידל וזילברשטיין, 2007), מבחינה מספרית הרוב המכריע של נפגעי תאונות האופנוע (שהם בדרך כלל הרוכבים עצמם) חווים זאת בתחום העירוני: ב 2010, 87% מהנפגעים בכל תאונות האופנוע שדווחו למשטרה ('ת"ד'+ 'כללי') היו בתחום העירוני (9985 מתוך 11,479, לוח 6.21, ע' 115).

בסקר האופנוענים הארצי (זיידל וזילברשטיין, 2011) הרוכבים דיווחו על ארועי תאונות שקרו להם בשלוש שנים האחרונות. 17% מהאופנוענים היו מעורבים בשלוש השנים האחרונות בלפחות תאונה אחת עם נפגעים, ו-13% דווחו על אירועי תאונות נזק באותה תקופה. 81% מהתאונות שדווחו קרו בתחום העירוני.

כדי להבין יותר את המאפיינים של תאונות אופנוע בתחום העירוני ניתחנו את תאונות האופנוע בלבד, באזור המטרופולין של תל-אביב (להלן גוש דן), מתוך קובץ תאונות למ"ס לשנים 2008-2010 (באדיבות הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים). הישובים שנכללו בגוש זה הם: אור יהודה, אזור, בני-ברק, בת-ים, גבעתיים, הרצליה, חולון, קרית-אוונו, רמת-גן, רמת השרון, תל-אביב-יפו.

המספר הכולל של תאונות אופנוע (מסוג ת"ד) בתחום העירוני בישראל (דרכים עירוניות) בשנים 2008-2010 היה 9931. מספר התאונות בגוש דן הסתכם ב 5616, כלומר 56% מסך תאונות האופנוע בתחום העירוני, בהתאמה סבירה לאחוז הבעלים הרשומים (69%) של אופנועים באזור ת"א והמרכז, שתחום פעילותם בודאי כולל את גוש דן.

לוח 1.1 מציג את מאפייני תאונות האופנוע בגוש דן (ת"ד בלבד, ללא 'כללי') לפי חומרה, יום / לילה, סוג דרך, סוג תאונה, והאם יוחסה לאופנוען המעורב עבירת תנועה. בחרנו במאפיינים אלו משום שהם אמינים למדי, עם שיעור קטן של "לא ידוע", ושיתכן כי יכולה להיות להם משמעות לגבי מתודולוגיה של ניטור אופנועים.

חלק ממאפייני התאונות העירוניות ניתן היה להשוות לניתוח תאונות אופנוע בדרכים לא-עירוניות שערכנו על קובץ למ"ס לשנים 2001-2005 (זיידל וזילברשטיין, 2007). יחס תאונות יום / לילה היה זהה; יחס תאונות בצומת לעומת בקטע גם כן דומה. (גם ב 10% של הדרכים הבין-עירוניות בתחום העירוני של גוש דן בלוח 1.1, השעור של תאונות בצומת, 41%, דומה לשעור הכללי של תאונות בצומת, 40%). בהשוואות אחרות, בתחום העירוני, 7% מהתאונות הן חמורות (קשה+ קטלני) לעומת 7% 'קטלני' ו 28% 'קשה' בדרכים לא-עירוניות; בתחום העירוני אחוז גדול יותר של תאונות חזית צד (61% לעומת 47% בדרכים בין-עירוניות). בתחום הבין-עירוני אחוז גבוה יותר של תאונות החלקה והתהפכות מאשר בתחום העירוני אך, כצפוי, פחות תאונות התנגשות בהולכי רגל.

חלק גדול מתאונות חזית-צד ותאונות חזית-אחור בלוח 1.1, ארעו בקטעים (47% ו 68%, בהתאמה) ולא דווקא בצמתים, כפי שאולי היה צפוי יותר על בסיס הנסיון עם תאונות רכב ברכב. יתכן שבתאונות אופנוע, הארועים והתמרונים הקודמים למצב המגע (contact position) של תאונה (נכון יותר של ה crash) שונים מאלו של תאונות רכב ברכב. כך, לדוגמה, יכולת התמרון של אופנועים יכולה לייצר מצבי קונפליקט עם רכב בתצורות גיאומטריות חדשות; יכולת התמרון מאפשרת לעיתים גם התחמקות מהקונפליקט, וכשהתמרון אינו מצליח 'מצב המגע' ב crash יכול להיות בקונפיגורציה שונה מהצפוי, כולל מגע עם רכב שלישי או נפילה לכביש.

לוח 1.1: תאונות אופנוע בגוש דן בשנים 2008-2010 לפי מאפיינים שונים

מאפייני תאונה	ערכי מאפיין	מספר תאונות	אחוז
חומרת התאונה	קלה	5221	93%
	קשה	359	6%
	קטלנית	36	1%
זמן התאונה	יום	4018	72%
	לילה	1598	28%
הגדרת הדרך	עירונית	5073	90%
	* בינעירונית	543	10%
סוג הדרך	קטע	3162	56%
	צומת	2454	44%
	מתוכם: מרומזר	1040	
	לא - מרומזר	1337	
סוג תאונה	התנגשות חזית - צד	3440	61%
	מתוכם: בצומת	1817	
	בקטע	1623	
	התנגשות צד בצד	840	15%
	מתוכם: בצומת	231	
	בקטע	609	
	פגיעה בהולך רגל	329	6%
	מתוכם: בצומת	119	
	בקטע	202	
	התנגשות חזית באחור	326	6%
	מתוכם: בצומת	105	
	בקטע	221	
	החלקה והתהפכות	253	4%
	מתוכם: בצומת	54	
	בקטע	155	
	** תאונות שונות	428	8%
	עבירה של האופנוען	עבירה	1630
	אין עבירה	3986	71%

* בדרך בינעירונית היו 319 תאונות בקטע ו-224 תאונות בצמתים (מתוכן 96 מרומזר ו-78 לא מרומזר; 50 צמתים טיבם לא ידוע). הקטעים הבין-עירוניים כוללים 'קטעים', צמתים ומחלפים בכביש 4, 2, 5, 20 ועוד.

** 'תאונות שונות' כוללות מגוון גדול של ארועי תאונה כגון: התנגשות אחור אל צד, התנגשות חזית בחזית, התנגשות עם עצם (עמוד, שלט, גדר 'בטיחות' ועוד), התנגשות עם רכב חונה או עומד, ירידה מהכביש או עלייה למדרכה, נפילת נוסע מהאופנוע.

2 מטרת המחקר ובחירת מאפייני התנהגות לניטור אופנועים בתנועה עירונית

2.1 מטרת המחקר

כמה אופנועים נוסעים בדרכים עירוניות / במרחב העירוני? מי נוסע? על איזה סוג כלי? היכן, מתי, לאיזו מטרת? באיזה נסיבות? כיצד מתנהגים האופנועים בדרך? מדוע מתנהגים כפי שמתנהגים? איך התנהגותם בהשוואה למשתמשי דרך אחרים? איך מתיחסים אליהם משתמשי דרך אחרים? מה יכולת הרכיבה שלהם? האם הם מגנים על עצמם בנסיעה ובאילו תנאים ומצבים? האם הם שותים אלכוהול ונוהגים? כמה משאבי כביש, חנייה או אנרגיה הם צורכים? לאלו מהם קרו תאונות? איזה מיני תאונות, למה וכמה ומתי? האם הנסיבות והתנהגות קודם לתאונת אופנוע דומות לנסיבות והתנהגות אופנוען בשיגרה? (זו שאלת המסוכנות של 'גורמים' / factors המזוהים בתאונות ובשיגרה), האם חל שינוי בנסיעות, התנהגות או תאונות אופנועים בעקבות פעילות יזומה של רשויות בנושאי תחבורה ואופנועים או כהשפעות לוואי של גורמי שוק, כלכלה, וגורמים אחרים?

הידע להשיב לשאלות אלו ודומות להן מושג ממקורות שונים ובשיטות שונות, כגון: ניתוח נתוני מאקרו כלכליים, ספירות תנועה, ניתוח מקרי תאונות, ניסויי מעבדה וסימולציה, תצפיות נקודתיות או מדגמיות באתרים נבחרים, סקרים של רוכבי אופנוע, ניסויי שטח באופנועים, מעקב על אופנועים 'מוכשרים' המתעדים מידע התנהגותי מנסיעות רגילות (on-board instrumentation & naturalistic riding) ועוד. גם בישראל נאסף מידע על אופנועים בחלק משיטות אלו.

בנושא שימוש בקסדות בטיחות ומהירות נסיעה של אופנועים קיים מידע הנאסף מידי פעם, ביזמת הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים, באמצעות תצפיות במדגם ארצי של אתרים. לגבי התנהגות מפורטת יותר, מקור הידע העדכני היחיד הוא סקר הארצי של רוכבי אופנוע שהסתיים לאחרונה (זיידל וזילברשטיין, 2011). ידע זה, חשוב לכשעצמו, מבוסס על דיווח עצמי ואינו מקושר לרחוב או דרך מסוימים. ספירות תנועה או תצפיות התנהגות באתרים בודדים מוסיפים ידע נקודתי מועיל אך מוגבל ביסודו בזמן ובמקום. נחוצה שיטת מחקר נוספת שתועיל בשאלות שהידע לגביהן חסר במיוחד: כמה אופנועים נמצאים ברשת הדרכים העירונית? כיצד מתנהגים האופנועים בדרכים אלו? האם יש הבדל בכמות האופנועים ובהתנהגותם לאורך זמן? איך השפיע תקנת תנועה חדשה או קמפיין הסברה גדול על התנהלות אופנועים בתנועה?

מטרת המחקר הנוכחי היא לקדם את היכולת להשיג מידע לגבי מאפייני הנסיעה הבסיסיים של אופנועים בתנועה עירונית (כמות, פיזור, מהירות), ובאופן מפורט יותר, לגבי מאפייני ההתנהגות תפעולית של אופנועים ביחס לאמצעי בקרת תנועה (traffic control elements) ובמידת האפשר, לגבי האינטראקציה שבין אופנועים לכלי רכב אחרים. משמעות ה'יכולת להשיג מידע' בהקשר הנוכחי היא הפעלת שיטת מחקר (או שיטה לאיסוף נתונים) שתספק נתונים רלוונטיים, כאלו המייצגים מרחב עירוני גדול, ובאופן שיאפשר להשוות נתונים לאורך זמן ובאזורים או ישובים שונים.

השיטה הנבחרת מבוססת על ניטור אופנועים באמצעות תיעוד וניתוח צלומי ווידאו ממצלמות תנועה קבועות וניידות וכן שימוש בנתוני תנועה זמינים אחרים. בסעיפים הבאים נתאר את השיקולים לבחירת סוגי ההתנהגות אותם נבקש לנטר, ובפרק הבא נתאר את השיטות לניטור.

2.2 זיהוי מאפיינים לניטור ממחקרי תאונות

ניתוח של מאגר סטטיסטי של תאונות אופנועים בתחום העירוני (כפי שעשינו לתאונות 2008-2010, לוח 1.1) מאפשר זהו של כמה מאפיינים רלוונטיים גם לניטור של אופנועים בתנועה. הכרחי לנטר ביום אך רצוי גם בלילה; יש לנטר גם בחלק הקטן של דרכים בעלות אופי גיאומטרי ותנועתי בין –עירוני (כגון דרך 4, 20); חשוב להבחין בין צמתים

(וצמתים מרומזרים) וקטעים אחרים כיוון שהתנהגות הנדרשת (ותאונות) בסוגי דרך אלו הן שונות; ורצוי לשים לב לפעילות הולכי רגל ואינטראקציה של אופנועים עם הולכי רגל.

במחקר על תאונות אופנועים בדרכים בין-עירוניות (זילברשטיין וזיידל, 2007) מיפנו במערכת GIS תאונות באזור ת"א והמרכז. בבחינה חזותית של מיקום התאונות הבחנו כי חלק גדול מתאונות האופנוע בכבישים 5, 20, 4, היו באזורי צמתים או במחלפים של דרכים אלו. במחלף או בצומת יש ריבוי של נקודות קונפליקט בין כלי רכב בהשוואה לקטע ישר רגיל,

במחלפים נהגים צריכים להשתלב בנתיבי היפרדות או השתזרות, חלק מהנהגים מתמרנים בצורה הססנית או ברגע האחרון או משנים את החלטותיהם, אופנועים נאלצים להתמודד עם שינויים קיצוניים במהירויות רכב כולל של עצמם, חתכים משתנים של גיאומטריה אפקית ואנכית, רכבים שעוצרים בשוליים או באיי הפרדה, הסתרים, הצטברויות של אשפה וחול ועוד מפגעים.

באדיבות נתיבי איילון קיבלנו לעיון יומן ארועים של שנת 2008. בין מאות הארועים מצאנו 45 ארועים עם מעורבות אופנועים. מרביתם היו ארועי תאונות (נפגעים ונזק) ומרביתן קרו במחלפים.

ניתוח מפורט יותר של תאונות אופנוע, על בסיס תיקי חקירה של משטרה או חקירה לעומק של תאונות' מאושש את המאפיינים הנ"ל ומרמז על מאפייני התנהגות נוספים.

במחקר אירופי על בטיחות רכב דו גלגלי (2BeSafe, 2010) נעשה ניתוח חוזר ומורכב של מאגרי תאונות לעומק של אופנועים, חקירות שבוצעו בפינלנד, צרפת, יון, איטליה ובריטניה. חלק מהמאגרים שימשו גם בפרויקטים קודמים, כגון של ACEM (2003). החוקרים זיהו תשעה תרחישים שכיחים של תאונות, ארבעה מהם בתחום הדרכים העירוניות: תאונות התנגשות עם מעורבות רכב אחר בקטע דרך / רחוב עירוני, תאונות התנגשות בצומת עירוני, תאונות יחיד בקטע ותאונות יחיד בצומת. בכל תרחיש מתוארים מאפיינים שונים הנוגעים לרוכב, לאופנוע, לסביבת הדרך, ולרכב האחר המעורב בתאונה.

לצורך המחקר הנוכחי חיפשנו בתרחישי התאונות התיחסות ישירה או רמזים להתנהגויות ומצבי תנועה קשורי-סיכון בזמן שנוסעים באופנוע, כאלו שניתן לצפות בהם מבחוץ ולכמת אותם, וכאלו שניתן, באופן עקרוני לפחות, לטפל בהם כדי לנטרל את השפעתם השלילית.

בתאונות התנגשות בקטע עירוני גורמי סיכון שכיחים היו: תמרון עקיפה (שהיה בו שיקול דעת מטעה), מהירות מופרזת של האופנוע או של רכב אחר, מעבר פתאומי / מהיר לנתיב נסיעה אחר (בעיקר על ידי רכב אחר).

בתאונות התנגשות בצומת עירוני גורמי סיכון שכיחים היו: מיקום לא נכון בנתיבים באזור הצומת, אי-ציות לרמזור או תמרור (זכות קדימה או איסורי פניה), שינוי לא צפוי או לא חוקי של מסלול או נתיב, עומס תנועה כבד, הסתרים או ראות לקויה.

בתאונות יחיד בקטע עירוני גורמי סיכון שכיחים היו: מהירות מופרזת, עקום, ליקויים בפני מסעה או ירידה בחיכוך מרטיבות או סיבות אחרות.

בתאונות יחיד בצומת עירוני גורמי סיכון שכיחים היו: מהירות מופרזת, תגובה מאוחרת לכללי זכות קדימה, מעגלי תנועה.

כל הגורמים שנזכרו הם מועמדים להיות ברשימת מאפיינים לניטור, במידת האפשרות המעשית לעשות זאת.

במסגרת מחקר, עבור הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים, על הגורמים לתאונות חזית צד בצמתים מרומזרים (Ben- Yaakov Y., Gitelman V., Zaidel D., Levi T., Levi H., and Reshef D, 2006) נבדקו תיקי תאונות במבחר צמתים מרומזרים בינעירוניים באזור המרכז ובצמתים עירוניים באזור תל-אביב. כמו כן

נותחו נתוני מצלמות רמזור של המשטרה בצמתים אלה ונערכו תצפיות לגבי התנהגות רכב בצמתים, במיקוד על ארועי כניסה לצומת באור אדום וסטייה מנתיבים באזור הצומת.

בצמתי המחקר בתל-אביב נמצאו 47 תיקי תאונות מסוג חזית-צד, בשנים 1999-2002. ב 12 תיקים (ארועי תאונה מסוג חזית-צד) היתה מעורבות של אופנוע או קטנוע, שיעור גבוה (26%) ביחס לשיעור האופנועים בתנועה. בצמתים מרכזיים בתל-אביב שיעור האופנועים בתנועה, כפי שנמסר לנו על ידי מהנדסי תנועה מקומיים, היה אז כ 6%.

בניתוח תיקי התאונות נמצא כי הנסיבות העיקריות להתרחשות תאונות חזית-צד בצמתים מרומזרים עירוניים היו: התקרבות לצומת במהירות גבוהה מן המצופה וחוסר אפשרות לעצור באופן מבוקר כשהאור התחלף; כניסה מודעת לצומת בזמן הצהוב או האדום למרות שניתן היה לעצור ("גנבת רמזור באדום"); אי הבחנה או טעות (לטענת הנהג) בזיהוי הרמזור, או הפנס הרלוונטי לנתיב. בתיקים אלו היו מקרים בודדים של חשד ל "זינוק מוקדם" של אחד מכלי הרכב ממצב עצירה (אדום) עוד בטרם התחלף האור לירוק. מנתוני המחקר לא ניתן כיום לזהות במדויק מאפייני התנהגות יחודיים של האופנועים בתאונות אלו. מכל מקום, מהירות וציות לאותות הרמזור והפנס הנכון לנתיב הם מאפייני התנהגות מתבקשים ברשימת המאפיינים לניטור.

ניתוח 103 תיקי תאונות, במדגם ארצי של דרכים בין-עירוניות עם שיעור גדול של תאונות אופנוע (זיידל ד., בן זינו ר., וזילברשטיין ר., 2009), הצביע על מעורבות משמעותית (עבירת תנועה) של 'הרכב האחר' ב 34% מהמקרים.

בסקר הנהגים הארצי, (זיידל וזילברשטיין, 2011) שהוא מדגם מייצג ועל כן נותן משקל גדול לתחום העירוני, הרוכבים ייחסו אחריות מרכזית ל 'רכב אחר' לפחות ב 28% מארועי התאונה שדווחו עליהם. לוח 2.1 לקוח (בשינויים מועטים) מהמחקר הנ"ל.

לוח 2.1: הסיבות העיקריות לתאונות האופנוע בדיווח העצמי בסקר אופנוענים ארצי

מה היתה הסיבה העיקרית לתאונה?	שכיחות	אחוז
עקיפה, סטייה, עצירת פתע וכד' של רכב אחר	68	28%
איבוד שליטה/החלקה/התהפכות בגלל מכשול, שמן וכד'	50	20%
כנראה נסעתי מהר מדי	37	15%
כנראה טעות שלי	31	12%
איבוד שליטה בסיבוב	22	9%
בעיית אי מתן זכות קדימה	22	9%
התנגשות במכשול לא צפוי	9	4%
אי שמירת מרחק	2	1%
אחר: חצה באדום, הולך רגל, קטנוע אחר, טלפון,	5	2%
סיבות	246	100%

בנוסף ל-28% החד משמעיים המיוחסים לפעולות בלתי צפויות של מכוניות בהקשר של חדירה לנתיב הנסיעה של האופנוע, יתכן שגם בסיבות 'אי שמירת מרחק' ו 'בעיית אי מתן זכות קדימה' בחלק מהמקרים האופנוענים התכוונו שרכב אחר לא שמר מרחק או לא נתן זכות קדימה. ניתן לראות בטבלה כי ב 56% מהמקרים הרוכבים לקחו על עצמם, (לפחות חלקית) אחריות לתאונה (איבוד שליטה, נסע מהר, טעות). בניתוח של הסיבות לפי אופי הנסיעות של

נהגי האופנוע מצאנו כי נהגים שעיקר נסיעותיהם היו 'בעיר ובתנועה עמוסה', מיחסים לרכב האחר אחריות גדולה יותר מאשר נהגים שעיקר נסיעותיהם במסגרת 'פנאי' (בדרך כלל נסיעות בדרכים לא עירוניות).

נתוני מחקר מקיף בברצלונה (RAAC 2009), מאוששים את המשקל הגדול של התנהגות נהגי מכוניות בגרימת תאונות של אופנועים. הנוכחות של אופנועים (בעיקר קטנועים) בברצלונה היא גדולה (278,000 ב 2007), למעלה משליש מהרוכבים הן נשים, וקבוצת הגיל הגדולה ביותר של המשתמשים היא של 35-49 שנה. מספר התאונות השנתי הוא 7,700, בהשוואה ל 3,200 תאונות רכב פרטי.

בניתוח תיקי תאונות הגיעו החוקרים (בעקבות בוחני התאונות של המשטרה) למסקנה כי ב 40% מהמקרים לנהגי הרכב האחר היתה אחריות מרכזית לארוע התאונה. ב 12% מהמקרים רכבים פנו ימינה או שמאלה או בפרסה מבלי להתחשב או לשים לב לאופנוע שכבר היה בפניה או במסלול מתנגש לרכב; 9% לא נתנו לאופנוע את זכות הקדימה שהיתה שלו בצומת; 8% שינו נתיב מבלי להתחשב או לשים לב שבנתיב נסע אופנוע. אלו אחוזים דומים לאלו שדווחו בסקר הנהגים בישראל.

2.3 זיהוי מאפיינים לניטור מתצפיות התנהגות בשטח ומסקר

2.3.1 מהירות נסיעה של אופנועים בהשוואה למכוניות

גיטלמן, פיסחוב וכרמל (2010) ערכו סקר ארצי של מהירויות נסיעה עבור הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים.

במדד של 'מהירות באחוזון הגבוה' אופנועים היו מזוהים עם המהירויות הגבוהות, יותר מאשר מכוניות, בדרך עירונית עורקית, ביום ובלילה, וכן במאסף עירוני דו-מסלולי ביום בלבד. במדד של 'נסיעה מעל המהירות המותרת' אופנועים היו מזוהים עם אחוז גבוה של הנוסעים מעל המהירות המותרת בדרך עורקית (50% ביום ו 65% –בלילה) וברחוב מאסף עירוני (64% ביום ו 82% –בלילה) ועם אחוז נמוך יותר (מאשר מכוניות) ברחוב מאסף שכונתי (30% ביום ו- 38% בלילה). יש לציין שהמהירות הממוצעת של אופנועים, בכל סוגי הרחובות, ביום ובלילה, היתה נמוכה יותר ב 5-8 ק"מ מזו של מכוניות.

נראה שלפחות בחלק מהמצבים חלק מאופנועים נוסעים במהירות גבוהה יחסית לרכב אחר ולמהירות החוקית, על אף שבממוצע מהירותם נמוכה משל רכב אחר. יתכן ששיטת המדידה (דגימה ידנית, איסוף מינימום של תצפיות בתנאי זרימה חופשית) מייצגת באופן שונה את אוכלוסיית האופנועים, הקטנה וקלת התמרון, מאשר את אוכלוסיית כלי הרכב האחרים.

2.3.2 תצפיות התנהגות בצמתים מרומזרים

במסגרת המחקר המוקדם ביותר בנושא אופנועים בישראל, ביוזמת הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים (מוקוואס וגיאוקרטוגרפיה, 2006), בוצעו תצפיות על ידי פוקדים בשישה צמתים עירוניים במרכז הארץ:

כניסה צפונית מכביש 2 לנתניה; שד' רוקח \ שטרית בתל אביב; המסגר \ יצחק שדה בתל אביב;

דרך נמיר \ הרכבת בתל אביב; שד' קוגל \ רח' סוקולוב בחולון; ביאליק \ ז'בוטינסקי ברמת גן.

בסה"כ נצפו 2199 אופנועים, מתוכם 11% הוגדרו כ'אופנועים כבדים', והיתר היו אופנועים קלים 'קלנועים וקטנועים'. [קלנועים = הכוונה ל mopeds]. 80% נסעו עם אורות דולקים ביום.

התנהגות התמקמות בצומת ביחס לקו עצירה ומעבר חצייה [% מתוך 1347 תצפיות, לא מוסבר אלו].

395 עצרו לפני מעבר החצייה [כנדרש] 29%

380 עצרו על מעבר החצייה 28%

151 עצרו לפני המעבר ואח"כ התקדמו מעברו 11%

421 עצרו בקידמת הצומת אחרי מעבר החצייה 31%

התנהגויות אחרות [% מתוך 855 תצפיות, לא מוסבר אלו]

75 נסעו על המדרכה או חצו על אי התנועה 9%

98 נסעו במעבר החצייה 13%

138 זיגזגו בין מכוניות בעת החצייה 16%

במסגרת המחקר על הגורמים לתאונות חזית צד בצמתים מרומזרים (Ben-Yaakov et.al., 2006), ניתחנו מחדש נתוני 'כניסה לצומת באדום' ממצלמות אכיפה של משטרת ישראל, וערכנו תצפיות בצמתים, בעיקר לגבי התנהגות ביחס לאותות הרמזור.

כניסה לצומת באדום

מצלמת רמזור מופעלת כאשר רכב עובר את קו העצירה 1 שנייה או יותר מתחילת האור האדום בפנס של הנתבים הקשורים למצלמה. גילי צילום שהתקבלו ממשטרת התנועה עבור צמתים שבמחקר פוענחו לפי הקטגוריות הבאות: אירועי כניסה לצומת באדום לאחר לסיום האור הירוק; אירועי כניסה לצומת כאשר הפנס האדום דולק זה מכבר; כניסה ממצב עצירה ('זינוק מקדים') בטרם נדלק האור הירוק; אירועי כניסה באדום המלווים בסטייה מנתיב או פנייה אסורה מהנתיב של הרכב.

בסך הכל תועדו במצלמות 485 אירועים תקפים (ללא מעבר רכבי הצלה) כאשר רק 7 מהם (1.4%) היו אופנועים. 98% מבין הנכנסים לצומת באדום היו רכבי נוסעים ומסחרי, והיתר התחלקו בין משאיות, אוטובוסים ואופנועים. השכיחות היומית של עבירות הכניסה לצומת באדום, מכל הסוגים, שתועדו במצלמות הרמזור בצמתים (בפועל רק בחלק מהזרועות שלהם), הייתה בין 6 אירועים ליממה בצומת עם הכמות הגדולה ביותר של אירועי חצייה באדום, ועד לפחות מאירוע אחד ביממה בצמתים אחרים.

בצמתים העירוניים בציר דרך נמיר בת"א השכיחות היומית הייתה 3.5 בצומת נמיר-איינשטיין ו 1.3 בצומת ארלזורוב-נמיר. סוגי הכניסה באדום ברצוע של צומת נתון שיקפו בעיות שנבעו ממאפייני תנועה, גיאומטריה ורימזור מיוחדים לצומת. כך לדוגמה, בצומת נמיר-איינשטיין בת"א היו מעט מיקרים של כניסה באדום בסיום האור הירוק, ורוב האירועים היו של כניסה באדום ארוך תוך סטייה לנתיב - מצב אופייני לרכבים 'זוחלים' מעבר לקו העצירה כדי לעבור לנתיב אחר או לקדם עצמם בתור. חלק משבעת האירועים היו מעורבים בתמרונים מהסוג הזה.

תצפיות התנהגות בצומת

התצפיות הממוקדות על "התנהגות" כלי הרכב בצמתים נעשו בשישה צמתים בינעירוניים ובחמישה צמתים עירוניים (ובמרבית הזרועות בכל צומת) והתייחסו, בין היתר, לסוגי האירועים הבאים: אירועי כניסה לצומת באדום לאחר סיום האור הירוק; אירועי כניסה לצומת כאשר הפנס האדום דולק זה מכבר; כניסה ממצב עצירה ('זינוק מקדים') בטרם נדלק האור הירוק; אירועי כניסה באדום המלווים בסטייה מנתיב או פנייה אסורה מהנתיב של הרכב; אירועי סטייה ופנייה שלא כחוק במופע הירוק. כמו כן תועדו אירועים שרמזו על טעויות החלטה או עבירות 'אפורות' כגון כניסה

לצומת פנוי (בדיעבד, לכאורה) בירוק שהופך לאדום, או חציית קו העצירה באדום למרחק קטן, בלימה קשה ונסיעה אחורנית.

בכל צומת נערכו תצפיות, בזמנים שונים במהלך היממה, במשך שש שעות. בסך הכל תועדו 320 ארועים רלוונטיים. נמצא כי כל סוגי המעבר באדום מכל הכיוונים בצומת מתרחשים בתדירות ממוצעת של 5.2 ארועים בשעה, בצמתים העירוניים, ו-3.1 ארועים בשעה, בצמתים הבינעירוניים. מכאן, שתופעת הכניסה לצומת באדום היא נפוצה למדי ושנתוני מצלמות הרמזור משקפים רק חלק קטן מהתופעה.

20 (6%) מארועי החצייה החריגים שנצפו בצמתים בוצעו על ידי אופנועים, 85% על ידי רכב פרטי ומסחרי, והיתר על ידי משאיות, מוניות ואוטובוסים. **19 מתוך 20 הארועים של אופנוע נצפו בצמתים העירוניים.** ההתנהגויות הנפוצות ביותר שנצפו לגבי אופנועים היו הקדמת יציאה מהצומת כשנייה לפני הירוק, סטייה ושינוי נתיב בשילוב עם כניסה (חלקית) לצומת כשהרמזור עדיין אדום, סטייה לנתיב / פנייה אסורים בנסיעה בירוק. אופנוע אחד נצפה נוסע במעבר חציה להולכי רגל. יתר הארועים היו של מעבר באור אדום בסיום הירוק.

לכמות האופנועים בתנועה יש כמובן השפעה על כמות הארועים החריגים בצמתים (והתאונות) שאפשר לצפות שיהיו מעורבים בהם אופנועים. ספירות תנועה בצמתים העירוניים במחקר הראו ש 5.5% מנפח התנועה היה של אופנועים; בתצפיות ההתנהגות 9% מהארועים החריגים בצומת היו של אופנועים, כלומר שעור גדול יותר מחלקם בתנועה. נתוני תאונות של הלמ"ס לשנים 1998-2001 לגבי מעורבות כלי רכב בתאונות חזית צד בצמתים מרומזרים עירוניים (בכל הארץ) הראו כי 9% (10 מתוך 90) מהמעורבים היו אופנועים, בהתאמה מלאה לשכיחות האופנועים בארועי החצייה בתצפיות.

2.3.3 דווח עצמי על התנהגות בצמתים- סקר אופנועים

בסקר הארצי של אופנוענים (נזכר לעיל) שאלנו את הרוכבים לגבי השכיחות שבא ביצעו את ההתנהגויות המוצגות בלוח 2.2 הלקוח (ומעובד) מהמחקר הנ"ל. ההתנהגויות אופייניות במיוחד לסביבה עירונית ומוכרות לכל נהג אופנוע. בניסוח המקורי להתנהגויות היתה במכוון קונטציה שלילית של על אף שניתן לפרש את חלקן גם באופן חיובי או ניטרלי. בחרנו להשתמש בנוסח זה כדי לאפשר השוואה עם סקרים אחרים. בניתוח כאן התעלמנו מקטגורית האמצע "לפעמים".

לוח 2.2: דיווח עצמי לגבי התנהגות בתנועה ע"י אופנוענים בסקר ארצי

לעיתים קרובות תמיד	לעיתים רחוקות עד אף פעם	כאשר את/ה נוהג/ת באופנוע/קטנוע, עד כמה את/ה...
43%	26%	מזגזג בין מכוניות
41%	21%	עוקף/ת בכל הזדמנות כדי לא להיתקע מאחורי רכב
38%	33%	מתמרן לעמוד מעבר לפס העצירה בצומת
28%	36%	נוסע/ת קרוב מאוד לרכב שליךך או לפניך
29%	47%	עוקף/נוסע בשוליים
21%	45%	עובר/ת ברמזור באור צהוב
13%	71%	מקצר דרך מדרכה או מעבר חצייה

29% עד 43% מהאופנוענים מדווחים שזיגזג בין מכוניות, מאמץ לא לנסוע מאחורי רכב, עצירה בקידמת צומת, נסיעה קרוב לרכבים ונסיעה בשוליים מאפיינים את הדרך שבה הם רוכבים בדרך כלל. בדיקת המתאמים בין תשובות הנשאלים להתנהגויות השונות מראה מתאמים חיוביים חזקים (ברמה של עד $r=0.45$) ומובהקים בין הסעיפים: מזגזג,

עוקף רכב, עומד מעבר לפס העצירה, נוסע קרוב לרכב. נסיעה על מדרכה או דרך מעבר חצייה אינה מקובלת על רוב האופנועים, אך 13% מדווחים שעושים זאת. הנוסעים במדרכה ודרך מעברי חצייה דיווחו גם שכיחות גבוהה של ההתנהגויות האחרות (מזגג, עוקף רכב, עומד מעבר לפס העצירה, נוסע קרוב לרכב) אך לא להיפך. 21% דווחו על מעבר צומת באור צהוב ברמזור (התנהגות שאינה מהווה עבירה פורמלית וקשורה או למהירות גישה גבוהה או לרצון "לגנוב רמזור" ולהמנע מהמתנה מחזור נוסף).

משאלות אחרות בסקר התברר שרוב מוחלט של האופנועים חובשים קסדה מלאה ומהדקים את הרצועות. לעומת זאת השימוש במשקף, במעיל מיוחד, בכפפות מגן, נפוץ פחות. קיים שימוש מועט מאוד במגנים לגב, בנעליים גבוהות או באפוד זוהר. מרבית הזמן אופנועים רוכבים ללא נוסע נוסף, אך כשיש כזה הוא חובש קסדה.

בתצפיות על אופנועים שנסעו ברשת הבין-עירונית (זיידל ד., בן זינו ר., וזילברשטיין ר., 2009), נמצא כי רק ב-3.5% מאופנועים שנצפו היה רוכב נוסף. כ-85% מהנהגים שנצפו לבשו בגדי מגן סטנדרטיים – מכנס ארוך, ז'קט, נעליים סגורות וקסדה. כ-15% אחוז מהנהגים לבשו ביגוד מגן ברמה גבוהה יותר – חליפת מגן או מכנסיים מיוחדים. 9 מהנהגים רכבו לא מוגנים – מכנס קצר או סנדל / כפכף – ו-4 (מתוך 8500 תצפיות) נצפו ללא קסדה (מתוכם 2 היו רוכבים נוספים ולא נהג האופנוע). יש לשער שרמת מיגון הרוכב היא ברמה נמוכה יותר בתחום העירוני.

3 מתודולוגיה לניטור ותיעוד של התנהגות אופנועים בתנועה

3.1 עקרונות ותאור כללי

אזור המחקר שנבחר הוא מטרופולין תל אביב. כמות ושעור רוכבי הדו גלגלי באזור המרכז גבוהים משמעותית מאזורים אחרים בארץ ועל כן יש הגיון לפתח את המתודולוגיה באזור עם הסיכויים הגדולים ביותר לצפות בהתנהגות אופנועים בתנועה ולאסוף נתונים בכמות סבירה לניתוח יעיל ומועיל.

בחרנו מראש בטכנולוגית ניטור מבוססת ווידאו כדי לקבל תיעוד ויזואלי להתרשמות בלתי אמצעית על האופנוע בתנועה בקונטקסט של דרך- תנועה- סביבה, וכדי שאפשר יהיה לנתח את התיעוד המצולם בעבודה משרדית ולחזור ולנתח, לפי הצורך, כדי לשפר את רגישות הניתוח או לבדוק השערות חדשות.

בחרנו מראש לבדוק ניטור באמצעות שתי שיטות: צלום במצלמות תנועה סטטיות באתרים קבועים (בדרך כלל בצמתים מרכזיים או במחלפים) וצלום התנועה מתוך רכב נוסע במסלול עירוני ארוך מוגדר מראש, שאפשר לחזור ולנסוע בו בתקופה אחרת. לאחר בדיקות של זמינות ואיכות צלומי וידאו של תנועה ממקורות שונים ובטכנולוגיות שונות בחרנו לאסוף תיעוד תנועה ממצלמות סטטיות של חברת נתיבי איילון המצלמות בין כה וכה את התנועה. את התיעוד של תנועה עירונית ברמה של אזור שלם ולא באתר נקודתי, ביצענו במסגרת המחקר עצמו בכוחות עצמנו במסלולים מתוכננים מתוך רכב בשליטתנו, באמצעות מצלמת ווידאו ביתית קטנה ואיכותית.

ניתוח התיעוד משני סוגי התיעוד נעשה בתוכנת עריכה של ווידאו ותוכנת Excel לעיבודים של הנתונים. בניתוח ספרנו את כמות האופנועים ואפיינו אותם לפי רשימת מאפייני תאור והתנהגות שהתבססה על הסקירה בפרק הקודם (זיהוי מאפיינים לניטור מחקר תאונות, תצפיות התנהגות בשטח, ומסקר נהגים). הפענוח היה חזותי התרשמותי ללא מדידות מדויקות של מרחקים, מהירויות או תאוצות. אך התוכנה איפשרה עזירה, הרצה קדימה ואחורה של ה 'סרט' במהירויות שונות, סימון מדויק של כל frame וחזרה מדויקת אליו. מפענחת אחת עברה על כל קבצי התיעוד, במשך מספר שבועות.

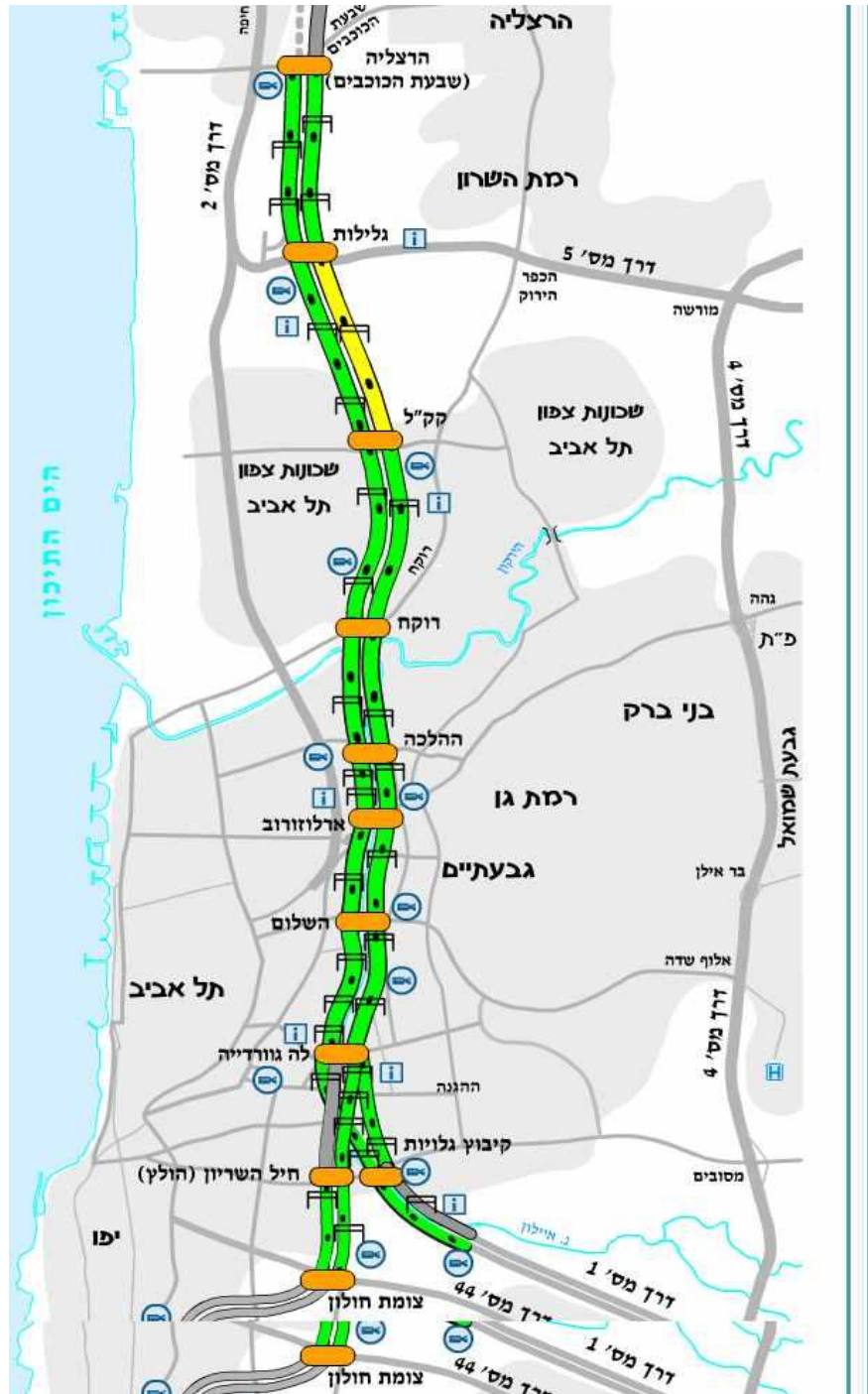
הרשימה ההתחלתית של מאפייני התנהגות כללה את המאפיינים הבאים: סוג האופנוע (אופנוע / קטנוע), רוכב נוסף, רמת מיגון אישי, מהירות יחסית לתנועה, רכב אחר גורם לפעולה חריגה של אופנוע, אופנוע גורם לפעולה חריגה של רכב אחר, נסיעה בשול, זיגזוג בין מכוניות, נסיעה צמודה לצד או מאחורי רכב, מעבר באור אדום, יציאה מצומת לפני ירוק, חציית קו לבן או אי צבוע, עמידה על מעבר חצייה בצומת, עמידה בקידמת צומת מעבר למעבר החצייה, נסיעה על מדרכה, נסיעה במעבר החצייה.

במהלך ניתוח הווידאו התברר שלא היה ניתן לזהות במהימנות מספר מאפיינים ושהיה צורך להגדיר עוד מאפיינים של התנהגויות מורכבות, כגון 'נסיעה בשול במהירות גבוהה ומעבר על אי צבוע'. לכל המאפיינים התיחסנו כאל ארועי התנהגות חריגה, ללא שפוט ערכי מפורש לגבי בטיחות או חוקיות ההתנהגות. כל אופנוע שנרשם עבורו ארוע התנהגות אחד או יותר, נספר פעם אחת בלבד כ 'אופנוע חריג', אך בניתוח הארועים נכללו כל ארועי ההתנהגות החריגים, במספר גבוה במקצת ממספר האופנועים החריגים.

אזורי צמתים, במיוחד צמתים מרומזרים, מאפשרים, מזמנים, מאפייני התנהגות שונים מאשר בקטעי דרך ללא צמתים, ועל כן האיפיון ההתנהגותי של אופנועים והניתוח הסטטיסטי שלו נעשו בנפרד לצמתים ולקטעים.

3.2 בחירת אתרי מצלמות קבועות לניטור אופנועים

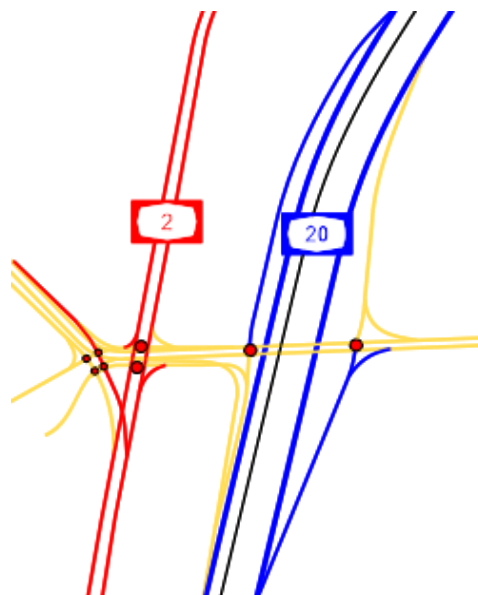
בנתיבי איילון מוצבות מצלמות קבועות לניטור תנועה המחברות למערכת בקרה מרכזית. ציור 3.1 מראה את הפריסה של המצלמות.



ציור 3.1: פריסת מצלמות תנועה בחלק הצפוני של נתיבי איילון

בהתיעצות ושיתוף עם הבקרים של נתיבי איילון בחרנו שלוש מצלמות שמהן אספנו תיעוד תנועה (ציורים 3.2-3.7).

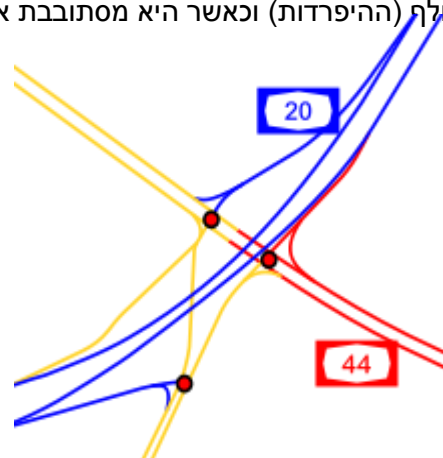
המצלמה במחלף לה-גארדיה בנתיבי איילון כוונה כך שתצפה על הצומת המרומזר לה- גארדיה –רכבת- המסגר- החרש. הצומת משלב תנועה עירונית ותנועות נכנסות ויוצאות בנתיבי איילון.



ציור 3.3: צומת לה-גארדיה-הרכבת-המסגר-

ציור 3.2: סכמה של מחלף לה גארדיה החרש

המצלמה במחלף חולון מראה את הכניסה לעיר מדרום. ניתן לזהות היטב את ההבדלים שבין שעות הבוקר שבהן רוב המכוניות נכנסות לעיר ושעות הערב שבהן רוב התנועה יוצאת מהעיר. המצלמה הזאת מראה קטע ארוך לקראת אזור המחלף (ההיפרדות) וכאשר היא מסתובבת אנחנו רואים את נתיבי ההיפרדות עצמם.



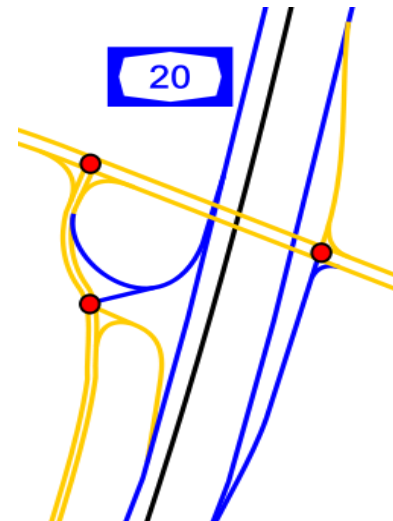
ציור 3.5: מחלף חולון היפרדות לכיוון

ציור 3.4: סכמה של מחלף חולון צפון

המצלמה במחלף ההלכה מכוונת לנתיבי ההשתזרות לכיוון איילון צפון והתנועה מדרום-לצפון. בגלל מיקומו במחלף זה עוברת כמות גדולה של תנועה מקומית ומטרופולינית.



ציור 3.7: מחלף ההלכה השתזרות לכיוון צפון



ציור 3.6: סכמה של מחלף ההלכה

3.3 פרוטוקול איסוף נתונים ממצלמות קבועות בצמתים

לצרכי המחקר הנוכחי בחרנו יחד עם הבקרים הגדרות ברירת-מחדל בכל מחלף לפרמטרים הנשלטים במצלמה (זווית צילום, זום, אורך מוקד ועוד) הנוחות ביותר לניטור אופנועים. ביקשנו שבוע שלם של תיעוד מכל מצלמה לפי הפרמטרים שלנו. המצלמות במרכז הבקרה משמשות בראש ובראשונה לתיעוד ארועים חריגים שהמידע עליהם מגיע ממקורות שונים. בזמן ארוע הבקרים מסובבים את המצלמה לכיוון הארוע ומשנים את הפרמטרים האחרים לפי הצורך. לאחר הארוע המצלמה אמורה לחזור לנקודת המוצא וההגדרות שלה.

בפועל, התברר שיש גורמים רבים שיכולים לשבש את התהליך ולהקשות על איסוף יעיל של נתונים איכותיים. לדוגמה, המצלמה לא חזרה תמיד לנקודת המוצא, ההגדרות האופטימליות לא תפסו מחדש באופן אוטומטי, המצלמה יצאה מאיפוס. על כן רק חלק מהצלומים, לאחר סינון פרקי הקלטה בעיתיים, היו זמינים לניתוח.

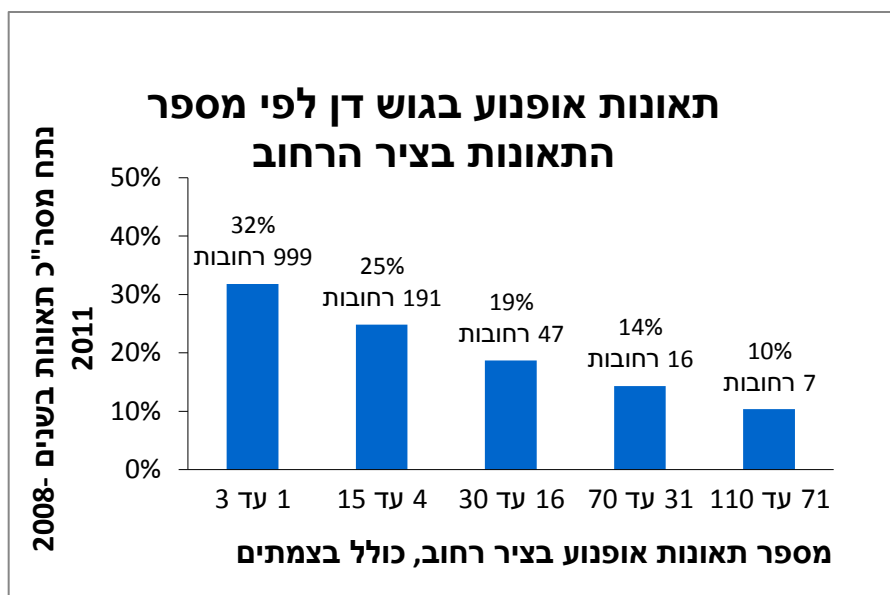
תיעוד הוידאו הורד ממחשבי מרכז הבקרה לדיסק קשיח נייד.

3.4 תכנון מסלולים לצילום וניטור תוך נסיעה

3.4.1 בחירת צירי הנסיעה על בסיס היסטוריית תאונות

שיקול מרכזי בתכנון המסלולים היה שהם יכללו צירי תנועה מרכזיים עם כמות גדולה של אופנועים ועם כמות גדולה של תאונות אופנוע. נתונים על כמות אופנועים בתנועה לא היו אך ידענו שיש לצפות למתאם גבוה בין כמות תאונות בציר תנועה לבין כמות אופנועים. כדי לזהות באלו רחובות ודרכים עירוניים ארעו הרבה תאונות אופנוע קישרנו את קובץ תאונות האופנוע שתארנו בפרק 1 (5616 מקרים באזור גוש דן בשנים 2008-2010) למערכת מידע גיאוגרפי-ממ"ג עם שכבת מידע תחבורתי. בעזרת הממ"ג, מיקמנו תאונות בצמתים ובקטעים ו"צבענו" את קטעי הרחובות (כולל צמתים) עם 4 תאונות ומעלה באדום. באופן זה זיהינו באופן ויזואלי רחובות ודרכים מרובי תאונות (ולפיכך גם מרובי תנועה) של אופנועים, ויכולנו לזהות צירי תנועה ולשייך להם את כל התאונות לאורך הציר (גם אם בקובץ התאונות התאונה לא היתה קשורה לשם של הציר).

מספר הרחובות בגוש דן, בערים אור יהודה, אזור, בני-ברק, בת-ים, גבעתיים, הרצליה, חולון, קרית-אונן, רמת-גן, רמת-השרון, תל-אביב הוא 5239 באורך כולל של 2886 ק"מ. מתוך רחובות אלו רצינו לבחור במסלולי נסיעה שיעברו ברחובות עם מספר גדול של תאונות אופנוע. בשלב הבא יצרנו בעזרת הממ"ג טבלת רחובות עם מספר התאונות 'שלהם', כולל בצמתים, וללא כפילויות. ציור 3.8 מציג את מספר הרחובות שהיו בהם 1-3 תאונות אופנוע בשלוש שנים, 4-15 וכך הלאה עד 110 תאונות.

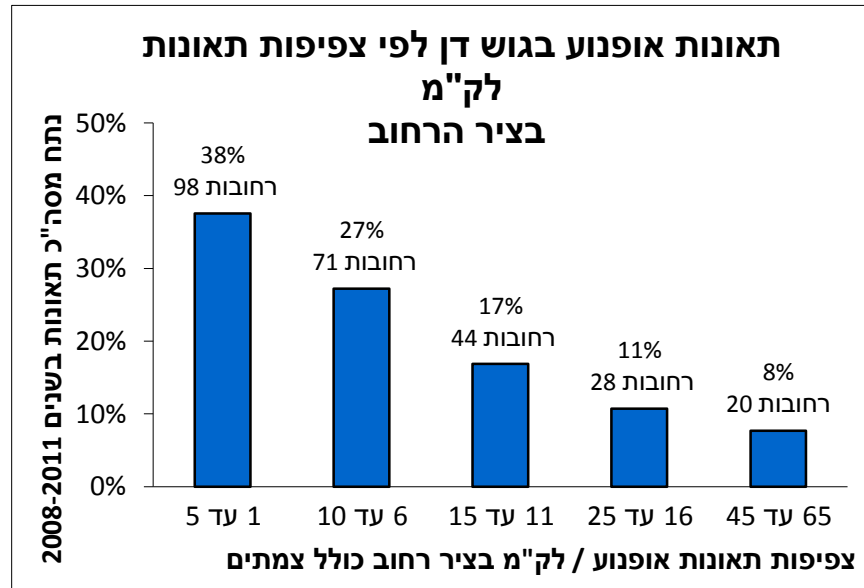


ציור 3.8: תאונות אופנוע בגוש דן לפי מספר תאונות בציר רחוב

הציור מראה גם איזה נתח מכלל התאונות הצטבר ברחובות עם מעט תאונות (32% מכל התאונות הצטברו ב 999 רחובות שבכל אחד קרו מ 1 עד 3 תאונות לכל היותר. 23 רחובות עם הכמות הגדולה ביותר של תאונות (31 עד 110) 'היו אחראים' ל 24% מסך התאונות. ב 1260 רחובות ארעו תאונות אופנוע בשנים 2008-2010. ב 3979 רחובות לא היו תאונות אופנוע.

השוואה של רחובות רק לפי מספר תאונות שקרו ברחוב עלולה להטעות כאשר ברור שיש רחובות קצרים מאוד ויש רחובות ארוכים מאוד וכל טווח הביניים. ברחוב ארוך יש סיכוי גדול יותר לצמתים וזה מגדיל עוד יותר את מספר התאונות האפשרי ברחוב ארוך. כדי לקחת את אורך הרחוב בחשבון חישבנו בעזרת הממ"ג את צפיפות התאונות לק"מ ציר רחוב (כולל הצמתים). ציור 3.9 מציג את מספר הרחובות שצפיפות התאונות בהם היתה 1-5 לק"מ רחוב,

6-10 לק"מ ועד 65 תאונות לק"מ. (חישוב הצפיפות כרוך בעבודה ידנית ולא היה סביר לעשות זאת עבור 999 רחובות עם 1-3 תאונות; לפיכך החישוב כולל רק את אלו עם 4 תאונות ומעלה בשלוש שנים)



ציור 3.9: תאונות אופנוע בגוש דן לפי צפיפות תאונות בציר רחוב

הציור מראה כי 48 הרחובות עם הצפיפות הגדולה ביותר של תאונות (25 עד 65 תאונות אופנוע / ק"מ) 'אחראים' ל 19% מסך התאונות של 4 ומעלה לרחוב.

בשלב הבא הכנו טבלה נבחרת של צירי רחובות מרובי תאונות אופנוע בגוש דן על בסיס שני פרמטרים: מספר תאונות וצפיפות תאונות.

רחוב נחשב למרובה תאונות אם מתקיים אחד מהתנאים הבאים:

1. מספר התאונות ברחוב גבוה מ-40
2. מספר תאונות לק"מ גבוה מ-20
3. מספר תאונות לק"מ גבוה מ-10 וגם מספר התאונות ברחוב גבוה מ-20

לוח 3.1 מציג את רשימת 52 הרחובות מרובי התאונות שנבחרו כבסיס לתכנון מסלולים מייצגים לניטור נסיעה באופנוע בגוש דן. בטור האחרון בלוח רשום מהו האזור בו נמצא הרחוב ביחס לאזורי המסלולים שתוכננו (להלן). הרחובות המסומנים בירוק נכללו בפועל באחד ממסלולי הניטור. הרחובות שאינם מסומנים יכולים להחליף בעתיד רחובות שסומנו, משיקולים של דגימה או אם רחוב אינו נגיש מסיבה כלשהי.

לוח 3.1: רחובות מרובי תאונות אופנוע בגוש דן שחלקם מיוצגים במסלולי הניטור

מספר	מספר תאונות	תאונות לק"מ	רחוב	עיר	מסלול נסיעה
1	104	33.1	דיזנגוף	ת"א	מערבי
2	89	11.4	דרך מנחם בגין	ת"א	מערבי
3	81	15.8	יגאל אלון	ת"א	מזרחי
4	79	30.5	יצחק שדה	ת"א	מזרחי
5	78	28.6	בן יהודה	ת"א	מערבי
6	76	31.1	דרך קיבוץ גלילות	ת"א	דרומי
7	74	10.6	אבן גבירול	ת"א	מערבי
8	69	23.8	דרך שלמה	ת"א	מערבי
9	67	16.1	דרך בן גוריון	רמת גן	מזרחי
10	67	13.3	דרך זאב ז'בוטינסקי	רמת גן	מזרחי
11	59	23.2	הרצל	ת"א	מערבי
12	58	16.8	הרוא"ה	רמת גן	מזרחי
13	56	12.2	דרך זאב ז'בוטינסקי	בני ברק	מזרחי
14	53	11.9	דרך השלום	ת"א	מזרחי
15	52	36.3	המלך ג'ורג'	ת"א	מערבי
16	49	13.2	יפת	ת"א	מערבי
17	44	23.8	אלנבי	ת"א	מערבי
18	44	3.2	דרך נמיר	ת"א	צפוני
19	42	11.8	ארלזורוב	ת"א	מערבי
20	40	15.2	לה גווארדיה	ת"א	מזרחי
21	36	27	פרישמן	ת"א	מערבי
22	34	41	אצ"ל	ת"א	דרומי
23	33	11.4	ביאליק	רמת גן	מזרחי
24	27	42.6	דרך יפו	ת"א	מערבי
25	27	14.6	החשמונאים	ת"א	מערבי
26	26	33.2	אילת	ת"א	מערבי
27	25	11.4	סוקולוב	חולון	דרומי
28	24	13.3	חזון אי"ש	בני ברק	מזרחי
29	24	27.1	בוגרשוב	ת"א	מערבי
30	24	10.3	יהודה הלוי	ת"א	מערבי
31	24	29.2	על פרשת דרכים	ת"א	מערבי
32	24	36	צלנוב	ת"א	מערבי
33	24	23.7	קרליבך	ת"א	מערבי
34	23	12.8	הפלד	חולון	דרומי
35	23	18	ארלזורוב	רמת גן	מזרחי
36	22	10.1	יחזקאל קויפמן	ת"א	מערבי
37	18	21.5	לינקולן	ת"א	מערבי

מספר	מספר תאונות	תאונות לק"מ	רחוב	עיר	מסלול נסיעה
38	17	24.9	העלייה	ת"א	מערבי
39	15	24.1	שארית ישראל	ת"א	מערבי
40	12	20.3	בלוך	ת"א	מערבי
41	10	27.6	לסקוב	ת"א	מערבי
42	9	24.3	מח"ל	ת"א	דרומי
43	9	29.3	יונה קרמנצקי	ת"א	מזרחי
44	8	36.7	דרך ששת הימים	רמת גן	מזרחי
45	7	27	עודד	רמת גן	מזרחי
46	7	21.6	הנחושת	ת"א	צפוני
47	7	20.9	מרמורק	ת"א	מערבי
48	7	34.2	שמעון רוקח	ת"א	צפוני
49	5	27	טברסקי	ת"א	מערבי
50	4	21.2	השומר	רמת גן	מזרחי
51	4	27.2	המכבי	ת"א	מערבי
52	4	28.4	יעקב וסרמן	ת"א	מערבי

3.4.2 תכנון מסלולי הנסיעה לתיעוד אופנועים

בעזרת מפת התאונות, הכרות עם המאפיינים האורבניים והתנועתיים של גוש תל-אביב-דן, הכרות עם מאפייני פעילות ומוקדי משיכה של רוכבי אופנוע (בין היתר על בסיס סקרי אופנועים שביצענו בשנתים האחרונות), הגדרנו ארבעה מרחבים גיאוגרפיים בגוש תל-אביב-דן: דרום (דרום ת"א, חולון, בת-ים), צפון (צפונית לירקון עד למבואות רמת השרון), מזרח (רמת-גן, גבעתיים, בני-ברק ועד ציר כביש גהה במזרח) ומערב (מציר נמיר ומערבה עד הים, דרומית מהירקון ועד סלמה וקיבוץ גלויות בדרום). בכל אזור תוכנן מסלול נסיעה באורך של 20 ק"מ. כל מסלול נסיעה הוא מעגלי.

מסלול צפוני:

נמיר - רוקח - אבן גבירול - ש"י עגנון - לוי אשכול - קק"ל - בני אפרים - בכור שלום שטרית - ראול וולנברג - דבורה הנביאה - פנחס רוזן - מבצע קדש - אבא הילל - ביאליק - איילון צפון - נמיר. במסלול 51 צמתים מרומזרים.

מסלול מזרחי:

מורשה - גהה - אלוף שדה - השלום - יצחק רבין - בן גוריון - שדרות ירושלים - חזון אי"ש - רבי עקיבא - ירושלים - הרוא"ה - בן גוריון - כצנלסון - עמק ברכה - יגאל אלון - שפע טל - ז'בוטינסקי - גהה - מורשה. במסלול 59 צמתים מרומזרים.

מסלול מערבי:

רוקח - נמיר - פנקס - נורדאו - ז'בוטינסקי - נמיר - ארלוזורוב - אבן גבירול - דוד המלך - ויצמן - שאול המלך - אבן גבירול - מלכי ישראל - בן גוריון - דיזנגוף - פינסקר - בוגרשוב - בן ציון - רוטשילד - נחלת בנימין - דרך יפו - אילת - רזיאל - ירושלים - סלמה - קיבוץ גלויות - רוקח. במסלול 66 צמתים מרומזרים.

מסלול דרומי:

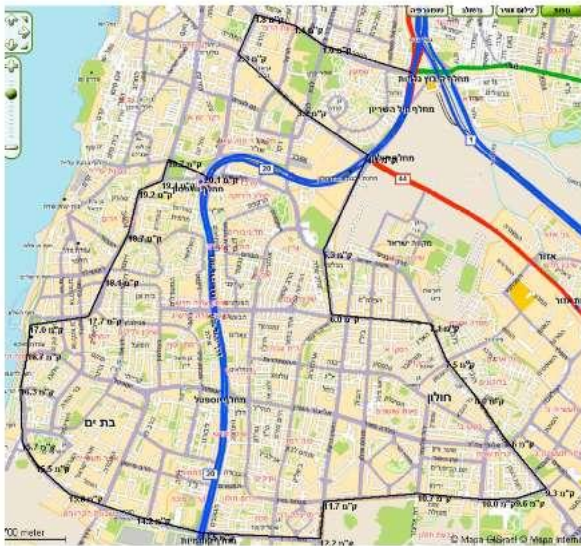
קיבוץ גלויות - שלבים - בן צבי - לוי אשכול - סוקולוב - כצלסון - יוספטל - ירושלים - משה דיין - קוממיות - בן גוריון - עצמאות - וולפסון - קיבוץ גלויות. במסלול 61 צמתים מרומזרים.

ציור 3.10 מציג את מפת המסלולים. המסלול מסומן בקו שחור.

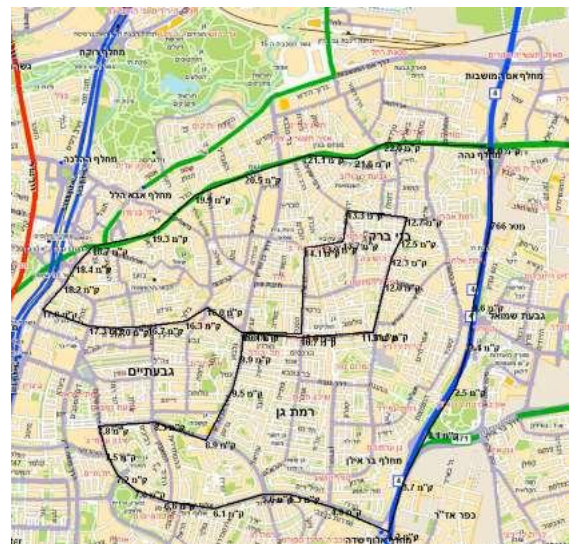
מסלול מערבי



מסלול צפוני



מסלול דרומי



מסלול מזרחי

ציור 3.10: מפות 4 מסלולי נסיעות הניטור

3.5 פרוטוקול צילום תנועה בשיטת רכב הנע במסלול נסיעה מתוכנן

3.5.1 ציוד

רשימת הציוד לתיעוד אופנועים בתנועה כללה: מצלמת וידאו ביתית קלת משקל באיכות טובה מאוד, מצלמת דומה לגיבוי; סוללות רזרביות למצלמות ומטענים; תופסני ואקום באיכות מקצועית המתחברים לתברייג מקורי של המצלמות; 8 כרטיסי זכרון מהירים בגודל 16GB; כונן קשיח נייד בגודל 750GB; מחשב נייד; רכב נוסעים גבוה.

את המצלמה הראשית הצמדנו באמצעות תופסן לשמשת הרכב, בערך בחצי המרחק מהמראה האחורית והפינה הימנית של השימשה. המיקום המדויק תלוי בקערוריות של השימשה, במרחק שניתן להשאיר בין השימשה לעדשת המצלמה ובאופן שבו אפשר לכוון את התופסן והמצלמה בנוחיות. ברכב ששימש אותנו תלינו את המצלמה הפוך כדי שהנהג יוכל לראות את מסך התצוגה ולוודא שהתיעוד מתבצע. מייצב התמונה במצלמה הוא נתון חשוב ובשלב עם תופסן איכותי ורכב במצב טוב, קבלנו תמונה יציבה בכל הרחובות שנסענו בהם.

את המצלמה השניה חיברנו לשימשה האחורית באותה שיטה, במטרה לצלם את התנועה מאחור כל עוד המצלמה הקדמית מתפקדת היטב. בדיעבד התברר שאין אפשרות לקבל נתונים טובים ממצלמה אחורית (בשל בעיות כמו יציאה מכיול, תנאי תאורה קשים, החלפת כרטיסי זכרון, ועוד) ללא שליטה במצלמה בזמן אמת.

3.5.2 תהליך התיעוד

בכל מסלול נעשו שתיים או שלוש נסיעות- בשעות הבוקר (סביב 10:00), צהריים (סביב 14:00), ואחה"צ-ערב (סביב 17:00). במסלול צפון ודרום בוצעו שתי נסיעות (בוקר ואחה"צ) ובמסלול מזרח ומערב בוצעה גם נסיעת צהריים. הצילום נעשה באמצע השבוע משעות הבוקר המאוחרות ועד חשכה עם הפסקה להתרעננות באמצע. רכב הניסוי נסע בקצב התנועה ולא במהירות גבוהה ממנה. הנהג דיבר למיקרופון המצלמה כדי להקליט פרטים מנהליים ולדווח על מאפיינים חריגים או מעניינים בתנועה בכלל ובתנועות אופנועים בפרט. לאחר כיול קצר בתחילת כל נסיעה לא היה צורך בהתערבות של הנהג בפעולת המצלמה. הזום של המצלמה הוזז עד אשר מכסה המנוע כמעט ולא נראה במסגרת של המסך.

הנהג למד את המסלולים מראש ועשה נסיעת הכרות בכל אחד מהם. בזמן התיעוד הוא התבקש לומר בקול את שם הרחוב שבו הוא נוסע ובמידת האפשר גם לזהות צמתים כדי להקל על מעקב המסלול בניתוח. כמו כן הנהג התבקש לדווח מידי פעם על מהירות הנסיעה של הרכב (כלומר של התנועה) כדי שניתן יהיה בניתוח לאמוד את המהירות של אופנועים. הנהג התקשה לעמוד בדרישות אלו בגלל חשש להסחת הדעת.

נסיעות הניטור נעשו בחודש ספטמבר 2011, לא בימי גשם.

3.6 תהליך הניתוח של נתוני הניטור

במצלמות הקבועות הניתוח בוצע בשיטה של דגימה. במצלמות שבהן המבחר היה רב נבחרו צילומים של בוקר (7-11) באמצע וסוף שבוע וצילומי ערב (15-19) גם באמצע וסוף שבוע. צילומים אלו נבחרו לפי איכות התמונה הטובה ביותר. בנסיעות המסלול ניתחנו את כל קבצי הוידאו שצולמו כל עוד האיכות היתה סבירה. ניתוח הוידאו בוצע בעזרת תוכנת עריכה שאיפשרה שליטה טובה בהרצת הסרט מהירויות שונות או הקפאת תמונה תוך שמירה על איכות התמונה. התוכנה איפשרה סימון ודוקומנטציה של כל מסגרת או ארוע (frame or event) בקוד זמן יחודי, ועל ידי כך היה ניתן למספר כל ארוע בטבלת ניתוח נפרדת ב Excel ולאחזר אותו לפי הצורך.

במהלך הפענוח, תויגו כל רוכבי האופנוע שנראו במסלול במהלך הנסיעה, וכל התנהגות חריגה של רוכב אופנוע תועדה בטבלת ארועים לפי מאפיינים. בניתוח של החומר החזותי (שנעזר בהקלטות הנהג) המפענחת השתמשה ברשימת קודים למספר די גדול של מאפייני מצב והתנהגות. רשימה זו צומצמה בהמשך בעקבות זהו מספר התנהגויות מורכבות וספירתן כהתנהגות אחת. במהלך הניתוח החזותי התברר שמספר מאפייני התנהגות שקיוונו למצוא בתיעוד, כגון השפעה של רוכב האופנוע על כלי הרכב ולהיפך, קשה מאד עד בלתי אפשרי לזהות, וביקשנו מהמפענחת להתעלם מהם.

לוח 3.2 מציג קטע מטבלת ניתוח ראשוני של קובץ וידאו שצולם באחת המצלמות (מחלף חולון)

לוח 3.2: טבלת ניתוח בסיסי של קובץ וידאו

מספר ארוע	מקום אירוע	time code	התנהגות אופנוע	מאפייני אופנוע
1	מחלף חולון	00:00:42	נצ מק	
2	מחלף חולון	00:01	נצ, שפ	
3	מחלף חולון	00:01	נצ, שפ	
4	מחלף חולון	00:01	נצ, שפ	2
5	מחלף חולון	00:02	נצ	
6	מחלף חולון	00:02	נצ, שפ	
7	מחלף חולון	00:02:41	נצ	
8	מחלף חולון	00:03:34	שפ, מהר יותר+	גדול
9	מחלף חולון	00:03:58	נצ, שח, מהר יותר+	
10	מחלף חולון	00:03:58	נצ, שח, מהר יותר+	

בטבלה קטע קצר מתוך 70 השורות של אופנועים עם לפחות ארוע התנהגות אחד ל 'זכותם'. מספר האופנועים הכולל (856) ומאפייני מצב אופנוע / רוכב (שני רוכבים ולא ברירת המחדל של 1, אופנוע גדול ~ מעל 400 סמ"ק) נרשמו בנפרד ולא בטבלת הארועים.

בניתוח הכמותי צמצמנו וארגנו את המאפיינים לשתי קבוצות, אחת מתאימה לצמתים מרומזרים ואחת לקטעים כולל אזורי מחלפים. לוח 3.3 ולוח 3.4 מציגים את קטגוריות ארועי ההתנהגות עבור צמתים ואת קטגוריות ארועי ההתנהגות בקטעים, בהתאמה. הקודים שימשו כעזר בארגון הנתונים; במסד הנתונים מופיע קוד או שם מלא של המאפיין בכותרת ותחתיו '0' או '1' כערכים אפשריים לאופנוע מסוים.

לוח 3.3: הגדרת מאפייני התנהגות בצומת לניתוח התיעוד המוקלט בוידאו

ניתוח ארועים בצומת מקרא לקטגוריות:
מק - התמקמות בקידמת הצומת
מצ - עמידה על מעבר החצייה
חז - חיתוך, זיגזוג, עקיפה קרוב לרכבים ומהיר מהתנועה
מח - התקדמות לקידמת הצומת תוך כדי מעבר קרוב בין רכבים
מחצ - התמקמות על מעבר החצייה תוך עקיפה קרובה של רכבים
זמ - יציאה לפני הופעת אור ירוק

לוח 3.4: הגדרת מאפייני התנהגות בקטע לניתוח התיעוד המוקלט בוידאו







ניתוח ארועים בקטע, מקרא לקטגוריות:
מהר יותר - נסיעה מהירה יותר מהתנועה (נ או מ)
שול - נסיעה בשוליים (שפ, שח, שול פנימי וחיצוני)
מש - נסיעה מהירה יותר מהתנועה תוך כדי נסיעה בשוליים
צבע - נסיעה על אי תנועה צבוע כדי לצאת או להכנס במחלף (צ)
משצ - נסיעה בשוליים, מהירה יותר מהתנועה ומעבר על אי תנועה צבוע
חז - חיתוך, זיגזוג, עקיפה קרוב לרכבים ומהיר מהתנועה



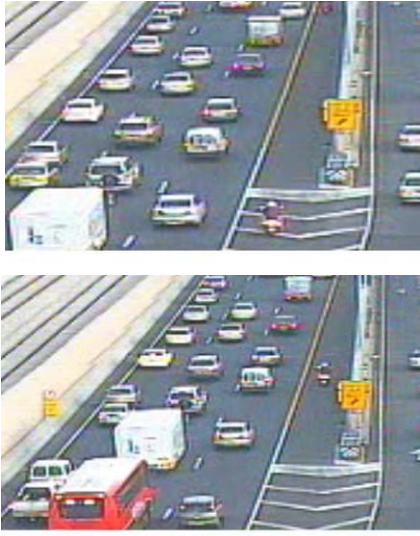



ברוב המקרים אופנוע תויג בקטגוריה אחת בלבד, אם כי מהות הקטגוריה היתה יכולה להיות מורכבת ולכלול כמה מאפיינים. לדוגמה, אופנוע נצפה בוידאו עוקף רכבים בנסיעה קרובה אליהם ומתמקם על מעבר החצייה, בהמתנה לירוק, סומן כ 'מחצ'. אופנוע אחר נצפה עומד על מעבר החצייה בהמתנה לירוק או נצפה מגיע לצומת בנתיב פנוי ונעמד על מעבר החצייה- הוא סומן כ 'מצ'. אם אחד מאופנועים אלו נצפה נכנס לצומת עוד לפני האור הירוק הוא יתויג גם כ 'זמ'.

יש לזכור ששיטת הצילום, גם במצלמה באתר קבוע וגם מתוך הרכב, אינה עוקבת אחרי אופנועים בתנועה אלא תופסת אותם במצלמה לכמה שניות ובתוך זמן זה המפענח מבחין בהתנהגות חריגה פשוטה (למשל, נסיעה בשול) או מורכבת יותר (למשל, נוסע בשול מהר יותר מהתנועה (חותך) ועובר על אי תנועה צבוע). מה שמצלמה והמפענח תופסים זה מדגם של ארועי אופנוע דינאמיים, רובם שגרתיים חלקם חריגים.

בלוח 3.5 מסודרות תמונות סטטיות (freeze frame) מתוך קטעי וידאו שונים להדגמת מאפיינים ההתנהגות בצמתים ובקטעים.

לוח 3.5: צלומי מצב רגעי של מאפייני התנהגות בצומת ובקטע

קטע		צומת	
	מהר		מק
	שול		מצ
	מש		חז

	<p>צבע</p>		<p>מח</p>
<p>קטע</p>	<p>צומת</p>		
	<p>משצ</p>		<p>מחצ</p>
	<p>חז</p>		<p>זמ</p>

השלב הבא של נתוח נתוני האופנוע הוא סטטיסטי ומסכם את אלפי או מאות התצפיות של אופנועים בתנועה עירונית בשני אופנים עיקריים:

- סיכום כמותי של נוכחות אופנועים בכלל בתקופות הזמן והמקום שצולמו וכמה מתוך האופנועים שנצפו היו אופנועים חריגים בהתנהגותם מסיבה (מאפיין / ארוע התנהגות) כלשהי
- התפלגות של הארועים לפי סוגם ואחוז ארועים אלו ביחס למספר כל האופנועים שנצפו.

שני הלוחות הבאים, לוח 3.6 ולוח 3.7 מדגימים שני אופנים אלו של ניתוח לגבי סה"כ התצפיות באחד מהמחלפים.

לוח 3.6: אופנועים, אופנועים חריגים וארועים במחלף

מס' אופנועים	זמן צלום (שע')	נפח אופנועים לשעה	אופנועים חריגים לשעה	מס' ארועים	ארועים לשעה	שעור אופנועים חריגים	שיעור ארועים
22166	67.5	329	4986	74	5145	22.50%	23.20%

לוח 3.7: ארועים לפי סוג ושכיחות יחסית למספר האופנועים הכולל שנצפה במחלף

שעור הארוע יחסית למספר האופנועים שנצפו						ארועי התנהגות					
מס' אופנועים	זמן צלום (שע')	נפח אופנועים לשעה	אופנועים חריגים לשעה	מס' ארועים	ארועים לשעה	מס' אופנועים	זמן צלום (שע')	נפח אופנועים לשעה	אופנועים חריגים לשעה	מס' ארועים	ארועים לשעה
22166	67.5	329	4986	74	5145	22166	67.5	329	4986	74	5145

יש לציין שסוגי ארועים, במיוחד הארועים המורכבים, יכולים להיות יחודיים לסוג האתר ואפילו לאתר מסוים, כתלות במאפיינים מיוחדים של גיאומטריה, ניתוב והתנהלות התנועה. לדוגמה, באתר המתואר בלוח 3.7 אופנועים רבים נסעו (חלקם מהר) בשול כדי לעקוף את התנועה ואז חזרו לנתיב דרך האי הצבוע (מהר יותר+ שול+ על אי צבוע).

4 ממצאי הניטור באמצעות מצלמות קבועות

הממצאים יוצגו ללא פרשנות מרובה, שכן זו הפעם הראשונה שניטור אופנועים בתנועה עירונית נעשה באופן הזה. במקום שיכולנו להוסיף נתונים משלימים עשינו זאת. לוחות 4.1 ו 4.2 מציגים נוכחות והתנהגות אופנועים בצומת לה-גארדיה.

4.1 נוכחות אופנועים מאפיינים והתנהגות בצומת לה-גארדיה בתל-אביב

לוח 4.1: נוכחות אופנועים, מאפיינים והתנהגות בצומת לה-גארדיה (מצלמה קבועה)

תקופת ניטור	מס' אופנועים	זמן (שע')	נפח אופנועים לשעה	אופנועים חריגים	מס' ארועים	ארועים לשעה	שעור אופנועים חריגים	שיעור ארועים
סיכום ימי חול בוקר	1154	5.5	210	191	230	42	17%	20%
סיכום ימי חול ערב	2192	6.0	365	178	208	35	8%	9%
בוקר 1	832	4.0	208	143	162	41	17%	19%
בוקר 2	322	1.5	215	48	68	45	15%	21%
ערב 1	752	2.0	376	63	67	34	8%	9%
ערב 2	982	2.5	393	91	113	45	9%	12%
ערב 3	458	1.5	305	24	28	19	5%	6%

נפח שעת של אופנועים, בימי חול, גבוה יותר בשעות הערב מאשר בבוקר, ומספר המחלט של אופנועים עם התנהגות חריגה (וגם מספר הארועים) דומה מאוד בארבע מתוך חמש התקופות (26-32). אך כיוון שנפח האופנועים גבוה יותר בשעות הערב, שעור האופנועים החריגים כפול בשעות הבוקר מאשר בשעות הערב, 20% לעומת 9%. יתכן ובשעות עמוסות פחות יש יותר הזדמנויות לאופנועים לבצע את התימרונים שהגדרו כחריגים, והשערה שנייה היא שתנועת הבוקר מחוללת יותר ארועים חריגים בגלל אופי גיאומטרי ותנועתי של כיווני נסיעה ובגלל שיותר אופנועים ממחרים להגיע ליעדיהם ומתמרנים בהתאם.

לוח 4.2: מספר ארועים לפי סוג בצומת לה-גארדיה

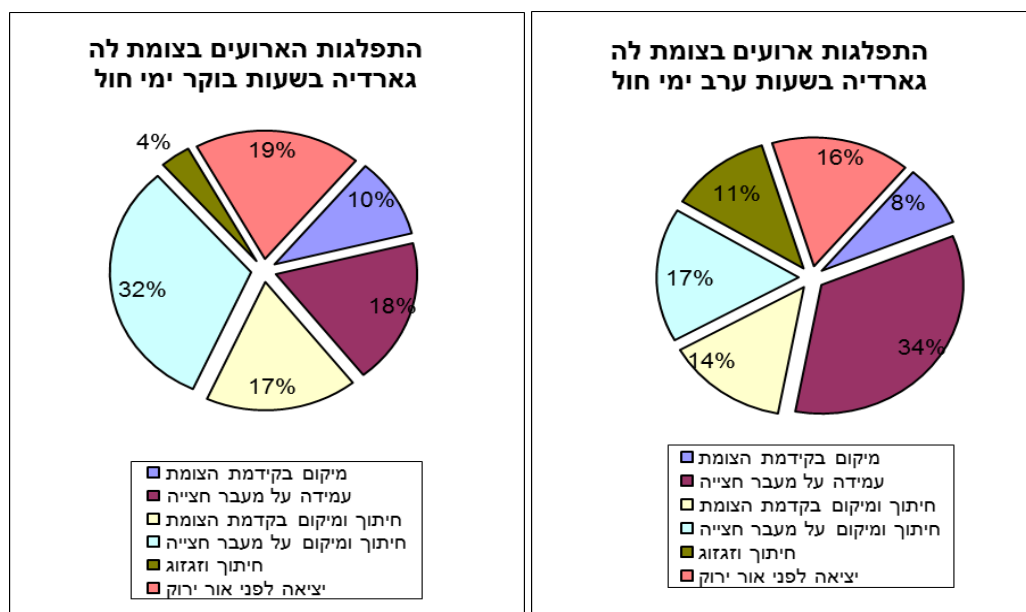
ארועי התנהגות אופנוע בצומת						
תקופת ניטור	מיקום בקידמת הצומת	עמידה על מעבר חצייה	חיתוך ומיקום בקדמת הצומת	חיתוך ומיקום על מעבר חצייה	חיתוך וזיגזוג	יציאה לפני ירוק
סיכום ימי חול בוקר	23	42	40	73	8	44
סיכום ימי חול ערב	16	71	29	35	24	33
בוקר 1	12	24	36	63	7	20
בוקר 2	11	18	4	10	1	24
ערב 1	2	31	8	17	5	4
ערב 2	10	32	16	17	13	25
ערב 3	4	8	5	1	6	4

המספר המחלט של ארועים בלוח 4.2 מדווח כדי להתרשם ממספר המקרים ששימשו בחישובים בלוחות ובציורים להלן. בסיכום בוקר וסיכום ערב יש מספר סביר של מקרים להשוואה. **לוח 4.3** מראה את שכיחות ארועי ההתנהגות יחסית למספר האופנועים הכולל. **ציור 4.1** מציג את התפלגות הארועים בתוך עצמם לפי סוג, בבוקר ובערב, לפי נתוני לוח 4.2.

לוח 4.3: שכיחות ארועי ההתנהגות חריגה יחסית למספר האופנועים בצומת לה-גארדיה

שכיחות ארועי ההתנהגות יחסית למספר האופנועים							
תקופת ניטור	מיקום בקידמת הצומת	עמידה על מעבר חצייה	חיתוך ומיקום בקדמת הצומת	חיתוך ומיקום על מעבר חצייה	חיתוך וזגזוג	יציאה לפני אור ירוק	שיעור כל הארועים
סיכום בוקר ימי חול	2%	4%	3%	6%	1%	4%	20%
סיכום ערב ימי חול	1%	3%	1%	2%	1%	2%	9%
בוקר 1	1%	3%	4%	8%	1%	2%	19%
בוקר 2	3%	6%	1%	3%	0%	7%	21%
ערב 1	0%	4%	1%	2%	1%	1%	9%
ערב 2	1%	3%	2%	2%	1%	3%	12%
ערב 3	1%	2%	1%	0%	1%	1%	6%

בכל קטגוריה, שכיחות בשעות הבוקר גדולה מאשר בערב. ארבע הארועים הראשונים קשורים להתמקמות בראש טור הרכב, עם שדה ראייה פתוח יותר, בהמתנה לחילוף האור האדום בירוק. כדי להתמקם שם, חלק מהאופנועים (15% בבוקר ו 7% בערב) מתמרנים באופנים שונים ותופסים מקום בקידמת הצומת או על פסי מעבר החצייה. יציאה מהצומת לפני האור הירוק (4% ו 2%) היא התנהגות שאולי לא בלתי תלויה בקודמת, שכן הממהרים להתמקם בראש התור אולי גם ממהרים לצאת. רוב היציאות היו בפאזה של האור האדום- צהוב לפני הירוק. בפענוח הוידאו לא זיהינו ארועים של כניסה באדום בסיום האור הירוק.



ציור 4.1: התפלגות ארועי התנהגות אופנועים לפי יום ושעות בצומת לה-גארדיה

4.2 נוכחות אופנועים, מאפיינים והתנהגות במחלף חולון (נתיבי היפרדות)

לוחות 4.4-4.6 וציור 4.2 מציגים נוכחות והתנהגות אופנועים במחלף חולון. נפחי הבוקר של אופנועים במחלף חולון גבוהים מאשר נפחי הערב ונפחי סוף השבוע נמוכים בהרבה מאלו שבימי חול (לוח 4.4). כמות האופנועים החריגים (והארועים) אינה בשעור קבוע אלא בשעור גדול יותר ככל שהנפחים גדולים יותר; 25%-60% בבוקר, 3%-19% בערב ו 1% עד 7% בסוף שבוע. נראה שנפחי תנועה גבוהים 'מאלצים' יותר התנהגות חריגה, שלפי לוח 4.5, לוח 4.6 וציור 4.2 באה לידי ביטוי בעיקר בנסיעה בשוליים. בסוף שבוע התנועה חלשה יותר ואופנוענים הרוצים בכך יכולים לנסוע מהר גם לא בשוליים (ציור 4.2, ערב, סוף שבוע).

לוח 4.4: אופנועים, אופנועים חריגים וארועים במחלף חולון (מצלמה קבועה)

תקופת הניטור	מס' אופנועים	זמן (שע')	נפח אופנוע לשעה	אופנועים חריגים	מס' ארועים	ארועים לשעה	שעור אופנועים חריגים	שעור ארועים
בוקר 1	1928	4.00	482	759	190	767	39.4%	39.8%
בוקר 2	1482	4.00	371	890	223	900	60.1%	60.7%
בוקר 3	2177	4.00	544	655	164	653	30.1%	30.0%
בוקר 4	2258	4.00	565	568	142	601	25.2%	26.6%
ערב 1	750	2.72	276	24	9	24	3.2%	3.2%
ערב 2	906	3.00	302	52	17	53	5.7%	5.8%
ערב 3	702	2.25	312	81	36	104	11.5%	14.8%
ערב 4	966	4.00	242	184	46	188	19.0%	19.5%
ערב 5	856	2.75	311	70	25	97	8.2%	11.3%
בוקר 5 (סופ"ש)	868	5.00	174	11	2	11	1.3%	1.3%
ערב 6 (סופ"ש)	337	5.00	67	19	4	24	5.6%	7.1%
ערב 7 (סופ"ש)	461	5.00	92	4	1	5	0.9%	1.1%

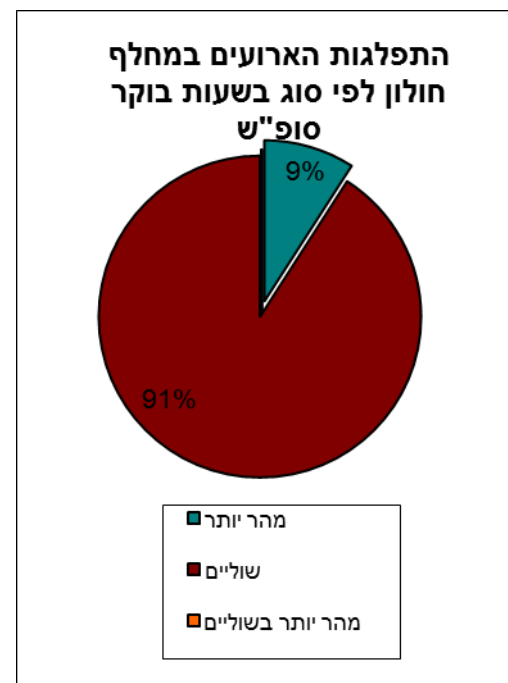
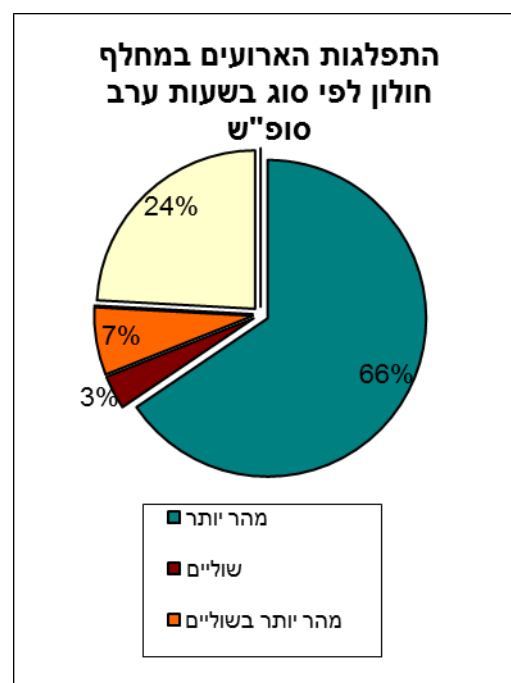
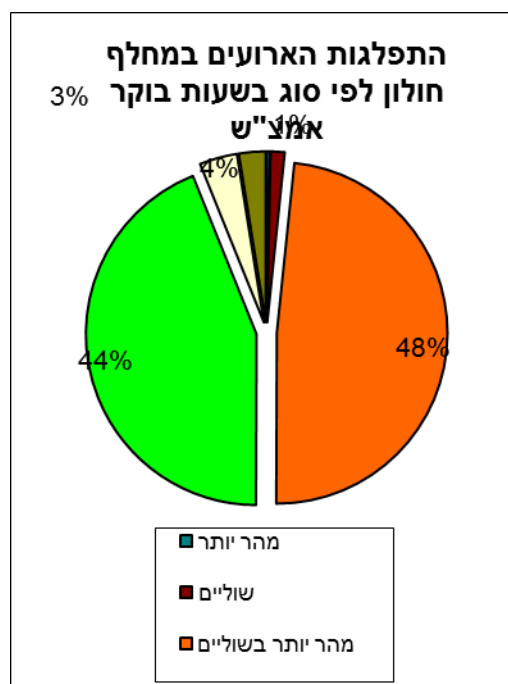
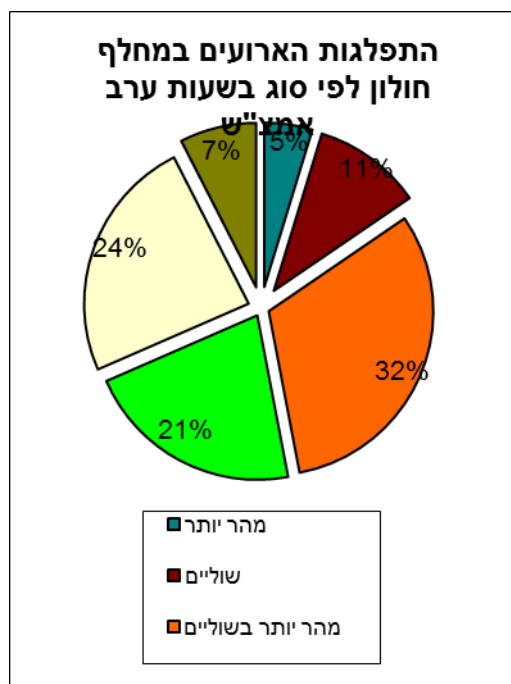
לוח 4.5: מספר ארועים לפי סוג במחלק חולון

תקופת הניטור	מהר יותר	שוליים	מהר יותר בשוליים	מהר בשוליים ועל אי צבוע	אי צבוע	חיתוך וזיגזוג	סה"כ ארועים
בוקר 1	2	5	704	0	9	47	767
בוקר 2	0	5	115	758	7	15	900
בוקר 3	0	0	76	523	53	1	653
בוקר 4	7	29	519	0	35	11	601
ערב 1	5	1	4	0	14	0	24
ערב 2	5	0	8	12	28	0	53
ערב 3	5	0	46	6	21	26	104
ערב 4	6	0	87	78	10	7	188
ערב 5	1	49	2	4	39	2	97
בוקר 5 (סופ"ש)	1	10	0	0	0	0	11
ערב 6 (סופ"ש)	17	1	0	0	6	0	24
ערב 7 (סופ"ש)	2	0	2	0	1	0	5

לוח 4.6 מראה בבירור שהשכיחות הגבוהה של אופנועים עם התנהגות חריגה בשעות הבוקר במחלק חולון היא של נסיעה בשוליים ובצרוף לנסיעה דרך אי צבוע. הדבר נובע, כפי הנראה, מבעיה מקומית של חוסר קיבולת ביציאה מהדרך המהירה לעיר ובמצב זה חלק נכבד מהאופנועים נוסעים באי ההפרדה הצבוע ובשוליים מה שמאפשר להם לקצר מסלול וגם לנסוע מהר יותר.

לוח 4.6: שכיחות ארועי התנהגות חריגה יחסית למספר האופנועים במחלף חולון

שיעור כל הארועים	שכיחות ארועי ההתנהגות יחסית למספר האופנועים						תקופת הניטור
	זיגזוג	אי צבוע	מהר בשוליים ועל אי צבוע	מהר יותר בשוליים	שוליים	מהר יותר	
39.8%	2.4%	0.5%	0.0%	36.5%	0.3%	0.1%	בוקר 1
60.7%	1.0%	0.5%	51.1%	7.8%	0.3%	0.0%	בוקר 2
30.0%	0.0%	2.4%	24.0%	3.5%	0.0%	0.0%	בוקר 3
26.6%	0.5%	1.6%	0.0%	23.0%	1.3%	0.3%	בוקר 4
3.2%	0.0%	1.9%	0.0%	0.5%	0.1%	0.7%	ערב 1
5.8%	0.0%	3.1%	1.3%	0.9%	0.0%	0.6%	ערב 2
14.8%	3.7%	3.0%	0.9%	6.6%	0.0%	0.7%	ערב 3
19.5%	0.7%	1.0%	8.1%	9.0%	0.0%	0.6%	ערב 4
11.3%	0.2%	4.6%	0.5%	0.2%	5.7%	0.1%	ערב 5
1.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.2%	0.1%	בוקר 5 (סופ"ש)
7.1%	0.0%	1.8%	0.0%	0.0%	0.3%	5.0%	ערב 6 (סופ"ש)
1.1%	0.0%	0.2%	0.0%	0.4%	0.0%	0.4%	ערב 7 (סופ"ש)



ציור 4.2: התפלגות ארועי התנהגות אופנועים לפי יום ושעות במחלף חולון

אין ליחס משמעות רבה להתפלגויות בסוף השבוע בגלל המספרים הקטנים. כללית, בנפחי תנועה קטנים הסתברות קטנה לארועי התנהגות חריגים, לפחות מהסוג שניתן לפענח מוידאו מצלמת המחלף.

4.3 נוכחות אופנועים, חריגים וארועים במחלף ההלכה (נתיבי השתזרות)

4.3.1 נתח האופנועים בתנועה

התנהגות אופנועים בתנועה, שהיא כוללת כלי רכב אחרים, תלויה בכמות התנועה האחרת (ובהתנהגותה), אך גם בכמות של האופנועים מתוך סה"כ כלי הרכב. אופנועים טוענים שאין מתחשבים בהם או לא רואים אותם בגלל חלקם הקטן בתנועה והם, כמו רוכבי אופניים, סבורים שנחוצה 'מסה קריטית' של אופנועים בתנועה כדי שיתחשבו בהם (ברמה הפורמלית והלא-פורמלית). חברת נתיבי איילון מנסרת באופן רציף באמצעות גלאים קבועים בדרך את כמויות התנועה לפי סוגי הרכב. בדקנו נפחים בקטע שבין מחלף ההלכה למחלף רוקח, באזור שאספנו ממנו קבצי וידאו ממצלמת מחלף ההלכה.

לוח 4.7 מציג את הנפחים, לפי סוג, ולפי קטגורית שעות. נפחי התנועה מאוד יציבים בימי החול עם שונות מסוימת בין שעות הבוקר, צהריים, ערב ולילה (שכולל עדיין שעות שתי שעות עם תנועה ערה). נתח האופנועים בתנועה הוא 2.3% עד 3.6% בממוצע. נראה שערכים אלו משקפים היטב את כמות האופנועים בתנועה בגוש דן.

לוח 4.7: נפחי תנועה של בקטע הלכה-רוקח בנתיבי איילון דרום - צפון

תאריך	בוקר 07:00-11:00		צהריים 11:00-15:00		ערב 15:00-19:00		לילה 19:00-07:00	
	דו גלגלי	כל הרכב	דו גלגלי	% דו גלגלי	דו גלגלי	כל הרכבים	דו גלגלי	כל הרכבים
סה"כ	3760	105167	3203	3.1	2235	98276	3365	128265
12.06.11	883	25325	769	3.2	902	25912	855	32591
13.06.11	994	26723	774	3.0	571	25767	975	32161
14.06.11	898	26528	815	3.2	368	24547	777	28177
16.06.11	985	26591	845	3.2	394	22050	758	35336

נתוני הניטור של נתיבי איילון כוללים מדידות מהירות של כלי הרכב לפי סוג רכב. בחינה חזותית של רשומות המהירות הממוצעת, בבולקים של 15 דקות, הצביעה על תופעה מעניינת, המתיישבת עם התרשמות בשטח ועם ההגיון התנועתי. כאשר המהירויות של כל הרכבים היו גבוהות מעל כ 80 קמ"ש, מהירות 'רכב פרטי' היתה בדרך כלל גבוהה ממהירות האופנועים באותו הזמן; אך כאשר מהירות התנועה היתה נמוכה, כ 60 קמ"ש ומטה, מהירות האופנועים היתה גבוהה יותר משל מכוניות. זאת, ככל הנראה, בגלל שבתנאי גודש האופנועים עדיין מסוגלים לתמרן ולעקוף רכבים אחרים כמו גם לנסוע בשוליים.

לוחות 4.8-4.10 וציור 4.3 מציגים נוכחות והתנהגות אופנועים במחלף ההלכה.

לוח 4.8 מראה שבמחלף ההלכה מספר האופנועים בימי חול היה כ 600-700 אופנוע לשעה בבוקר ובערב, עם חריג בערב 3 (יתכן חריג מדידה). הנפח קטן לשליש בסוף השבוע. שיעור האופנועים החריגים קטן מאוד (5%-7%) בסוף השבוע, עדין נמוך בשעות הבוקר בימי חול, על אף שנפח האופנועים (ויתר כלי הרכב) גבוה. שיעור האופנועים החריגים מגיע ל 25%-37% בשעות הערב, גם כן בנפחי תנועה גבוהים. כמו במחלף חולון, גם במחלף ההלכה מרבית הארועים הם של נסיעה בשוליים ועל אי תנועה צבוע, כפי שנראה בלוחות 4.9 ו 4.10 ובציור 4.3.

לפי הידוע לנו במחלף ההלכה נתיבי השתזרות ארוכים במיוחד ובשעות 15:00-19:00 קיים ביקוש רב להכנס לנתיבי איילון כדי לצאת ממרכז ת"א ורמת-גן, יחד עם גודש בכיוון דרום-לצפון שהצטבר מהכניסות הקודמות ומהתנועה הזורמת במערכת הארצית מכיוון כביש 1 ומאשדוד.

לוה 4.8: אופנועים, אופנועים חריגים וארועים במחלף ההלכה (מצלמה קבועה)

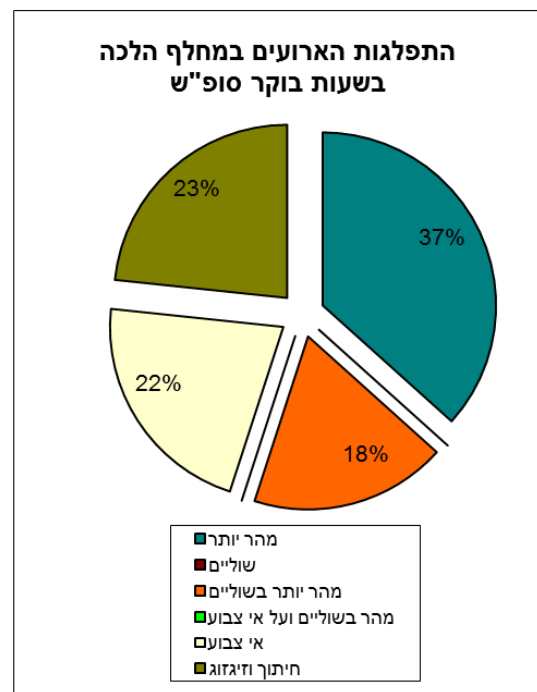
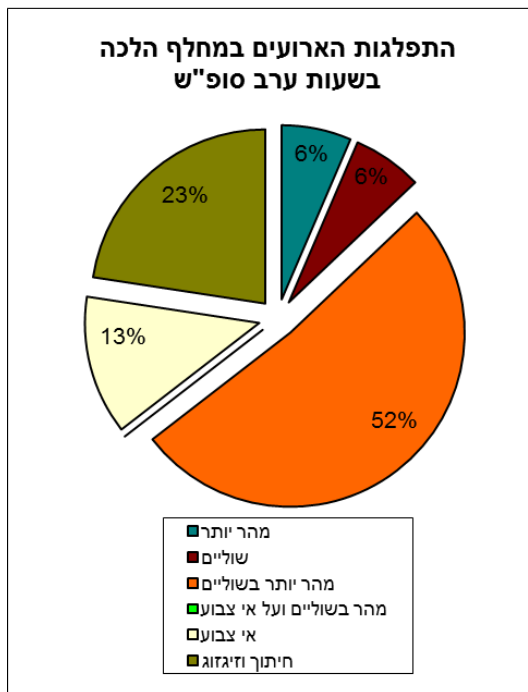
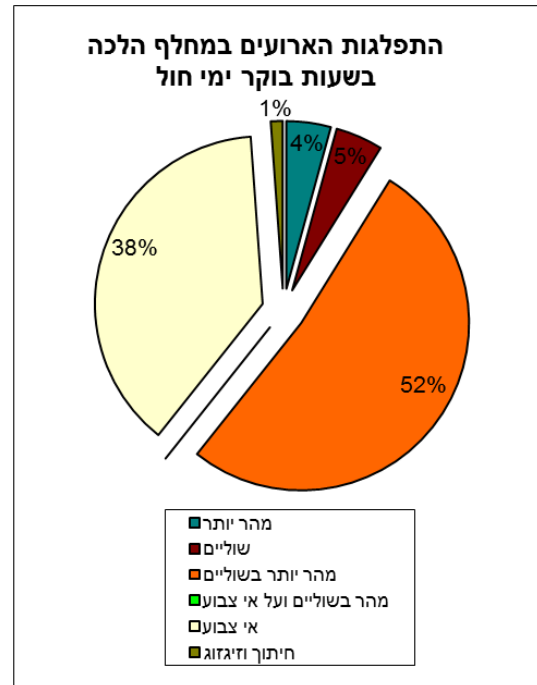
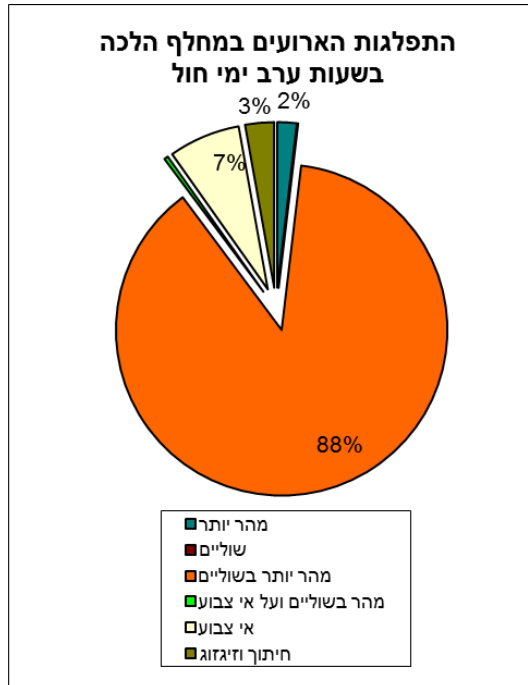
תקופת ניטור	מס' אופנועים	זמן (שע')	נפח אופנועים לשעה	אופנועים חריגים	מס' ארועים	ארועים לשעה	שעור אופנועים חריגים	שעור ארועים
בוקר 1	1195	2.00	598	118	59	121	9.9%	10.1%
בוקר 2	1658	2.25	737	228	101	230	13.8%	13.9%
ערב 1	1766	2.75	642	444	161	451	25.1%	25.5%
ערב 2	1393	2.00	697	510	255	517	36.6%	37.1%
ערב 3	980	4.00	245	297	74	308	30.3%	31.4%
בוקר (סופ"ש)	857	4.00	214	43	11	60	5.0%	7.0%
ערב (סופ"ש)	626	4.75	132	29	6	31	4.6%	5.0%

לוה 4.9: מספר ארועים לפי סוג במחלף ההלכה

ארועי התנהגות							תקופת ניטור
מהר יותר בשוליים	שוליים	מהר יותר בשוליים	מעבר על אי צבוע	חיתוך וזיגזוג	סה"כ ארועים		
8	2	108	0	3	121	בוקר 1	
7	14	74	0	1	230	בוקר 2	
10	0	424	0	17	451	ערב 1	
7	0	495	0	10	517	ערב 2	
7	0	203	5	9	308	ערב 3	
22	0	11	0	14	60	בוקר (סופ"ש)	
2	2	16	0	7	31	ערב (סופ"ש)	

לוה 4.10: שכיחות ארועי התנהגות חריגה יחסית למספר האופנועים במחלף ההלכה

שכיחות ארועי ההתנהגות יחסית למספר האופנועים							תקופת ניטור
מהר יותר בשוליים	שוליים	מהר יותר בשוליים	אי צבוע	זיגזוג	שעור כל ארועים		
0.7%	0.2%	9.0%	0.0%	0.3%	10.1%	בוקר 1	
0.4%	0.8%	4.5%	0.0%	0.1%	13.9%	בוקר 2	
0.6%	0.0%	24.0%	0.0%	1.0%	25.5%	ערב 1	
0.5%	0.0%	35.5%	0.0%	0.7%	37.1%	ערב 2	
0.7%	0.0%	20.7%	0.5%	0.9%	31.4%	ערב 3	
2.6%	0.0%	1.3%	0.0%	1.6%	7.0%	בוקר 3 (סופ"ש)	
0.3%	0.3%	2.6%	0.0%	1.1%	5.0%	ערב 4 (סופ"ש)	



ציור 4.3: התפלגות ארועי התנהגות אופנועים לפי יום ושעות במחלף ההלכה

5 ממצאי הניטור באמצעות מצלמת רכב במסלולי הנסיעה

5.1 נוכחות אופנועים ומאפיינים נוספים בארבעת המסלולים

לוח 5.1 מציג את מאפייני המסלולים ונסיעות הניטור. ארבעת המסלולים הם באורך זהה של 20 ק"מ ועם עשרות צמתים מרומזרים בכל מסלול. כמות האופנועים שנצפו בניתוח הוידאו היתה בממוצע כולל 128 לשעה, הרבה פחות מאשר נמדד בנתיבי איילון סמוך למחלף ההלכה. ההגדרה האופרטיבית של 'נפח לשעה' כאן היא מספר האופנועים שניתן לראות במהלך שעת נסיעה במסלול נתון, ואינה זהה להגדרה במדידות קונבנציונליות נקודתיות של תנועה), במסלול צפוני ודרומי הנפח הוא 91-95 אופנוע / שעה ובמסלולים מזרחי ומערבי הנפח הוא 141-149 אופנוע /שעה. צפיפות אופנועים לק"מ שומרת על יחס דומה בין שני זוגות המסלולים.

לוח 5.1: מאפייני המסלולים, נסיעות הניטור וכמות האופנועים

מסלול	מס' אופנועים	זמן (שע')	אורך מסלול (ק"מ)	מספר סבבים במסלול	סה"כ אורך מסלול (ק"מ)	מספר צמתים במסלול	נפח אופנועים לשעה	מספר אופנועים לק"מ
סיכום	1794	14	-	-	200	237	128.14	8.97
צפוני	228	2.5	20.0	2.0	40.0	51	91.20	5.70
דרומי	190	2.0	20.0	2.0	40.0	61	95.00	4.75
מזרחי	707	5.0	20.0	3.0	60.0	59	141.40	11.78
מערבי	669	4.5	20.0	3.0	60.0	66	148.67	11.15

בנתיבי איילון ראינו (בלוח 4.7) כי שיעור האופנועים בתנועה הוא 2%-4% בלבד. רצינו לדעת מה נתח האופנועים בתנועה העירונית הרגילה. לא מצאנו נתוני ספירות תנועה במערכת מדגמית מסודרת כפי שהדבר נעשה על ידי הלמ"ס לגבי נפחי תנועה ברשת הדרכים הבין-עירונית. במחקר תאונות חזית-צד בצמתים מרומזרים (נזכר לעיל) נמסר לנו על ידי מהנדסי תנועה באזור ת"א כי אופנועים מהווים 6% מהתנועה. ברשויות המקומיות יתכנו נתונים על נפחי תנועה (לא תמיד כוללים אופנועים) שנעשו לצרכי תכנון מקומי, כגון רימזור של צומת.

בזמן שצלמנו את האופנועים בתנועה במסלולים כמובן שקלטנו גם את כלי הרכב האחרים בתנועה. המסלולים הם למעשה סוג של דגימת אתרים בתפיסה מרחבית ודינאמית. לפיכך בדקנו את האפשרות לפענח את קבצי הוידאו ולספור את כל הרכבים, כפי שספרנו (ואפיינו) את האופנועים, ולחשב את היחס בין מספר אופנועים למספר כל כלי הרכב לגבי אותם מסלולי נסיעה. התברר, שבגלל הכמות הגדולה של רכבים קשה מאוד לספור אותם, בניתוח ידני, בהרצת הסרט בזמן אמת או לאט יותר. יש לעצור ולחזור ולקדם את הסרט וקשה לעקוב איזה רכב נספר ואיזה לא. אפילו פענוח בקצב של פריים אחד אינו פותר את בעיית המעקב (tracking) על כל רכב.

למיטב ידיעתנו, פיתחנו וניסינו שיטה חדשה לספור רכב מקבצי וידאו באופן נוח למדי, אמין וחסכוני מאוד בזמן.

5.1.1 שיטת ה Snapshot לספירת כלי רכב מתמונות freeze-frame של וידאו

השיטה מבוססת על כך שצלום הדרך במצלמת הוידאו נעשה כך שהמצלמה קלטה את התנועה בטווח של כ 50 מ' בממצע. כאשר עוצרים את הסרט מקבלים תמונת-רגע, snapshot, של 50 מ' קדימה ואפשר לספור בנוחיות את כל כלי הרכב הנראים בפריים. הפריים הוא 1 מתוך 400 פריימים אפשריים במסלול של 20 ק"מ. 400 הפריימים הם האוכלוסייה שלנו, אם נספור את כולם, הרי ספרנו את כל כלי הרכב במסלול. אך יש בכך קושי מעשי; קשה לאתר בסרט בדיוק את קו 50 המטר שפריים אחד נגמר והשני מתחיל, ותהליך הפענוח של כל הסרט יהיה מיגע וארוך.

אבל אם מאמצים גישה מדגמית, איך צורך לספור בכל פריים, ואפשר לחשוב על עקרונות שונים לדגימה שלהם. אנו ניסינו שיטה פשוטה מאוד עם שני כללים. כל פריים עוקב יהיה במרחק נסיעה של כמה שניות לפחות כדי שלא יהיה מצב של חפיפה בין פריימים. העקרון השני היה לדגום כל צומת מרומזר שני במסלול וקטע אחד בין הצמתים. באופן זה היו לנו במדגם 50 פריימים לכל אורכו של המסלול המגוון.

ניסינו את השיטה עם שני סרטי תיעוד; אחד מהמסלול הדרומי ואחד מהמזרחי. כפי שספרנו אופנועים גם כאן ספרנו את כל כלי הרכב שנראו בפריים ולא רק אלו בכיוון הנסיעה. מתוך סקרנות ספרנו גם את מספר האופנועים בפריימים, על אף שסברנו, בהגיון של דגימה, כי השיטה מתאימה יותר למצב שכמות הנספרים היא גדולה. בזמן הספירה נעזרנו בסימני דרך ועצמים לוודא שטווח הספירה הוא כ 50 מ'. הספירה ערכה כ 15 דקות לכל מסלול.

לוח 5.2 מציג טבלת איסוף לספירת נתונים בשיטת ה snapshot. בטבלה קטע מטבלת האיסוף כולל את הסיכום. 19 אופנועים ו 516 רכבים נספרו במסלול הדרומי, 24 ו 621 במסלול המזרחי. אפשר לאמוד את שיעור האופנועים באופן ישיר ממדגם ה snapshots, או להשתמש בנתוני לוח 5.1 לחישוב על בסיס ספירה מלאה של האופנועים במסלול. בשני המקרים אומדן מספר הרכבים הוא לפי 'ממוצע כלי רכב בספירת snapshot' X 400.

לוח 5.2: ספירת אופנועים ורכב אחר ממדגם snapshots לאורך מסלול (דוגמה)

מסלול מזרחי			מסלול דרומי		
רכבים	אופנועים		רכבים	אופנועים	
9	0	Frame 1	10	1	Frame 1
8	0	Frame 2	16	1	Frame 2
10	0	Frame 3	11	0	Frame 3
9	0	Frame 48	7	0	Frame 48
11	1	Frame 49	12	0	Frame 49
15	1	Frame 50	10	0	Frame 50
621	24		516	19	סיכום

להלן אומדנים לאחוז אופנועים בתנועה באופן ישיר ובחישוב אומדן לכמות הרכב בתנועה. שני האומדנים מוצאים שיעור גבוה יותר של אופנועים במסלול המזרחי מאשר בדרומי, וסדר הגודל דומה לנתונים בנתיבי איילון (לוח 4.7). נראה שיש מקום להמשיך לבדוק ולפתח את השיטה הפשוטה של snapshot עם מדגמים גדולים יותר, בהקשרים אחרים ובצלום רגיל מלכתחילה במקום הסרטת וידאו.

מסלול דרומי אחוז אופנועים בתנועה 2.2% או 3.5%

אורך מבט בפריים: ~50 מטר 400 פריימים ממוצע כלי רכב בפריים: 10.32

אחוז אופנועים לפי אומדן למספר רכבים וספירה מלאה של אופנועים במסלול: 2.3%

אחוז אופנועים לפי מדגם snapshot בלבד: 3.5%

מסלול מזרחי אחוז אופנועים בתנועה 4.7% או 3.7%

אורך מבט בפריים: ~50 מטר 400 פריימים ממוצע כלי רכב בפריים: 12.42

אחוז אופנועים לפי אומדן למספר רכבים וספירה מלאה של אופנועים במסלול: 4.7%

אחוז אופנועים לפי מדגם snapshot בלבד: 3.7%

לוח 5.3 מרכז את נתוני האופנועים החריגים והארועים בכל מסלול. כמות הארועים גדולה יותר בצמתים מאשר בקטעים בשלושה מהמסלולים, במסלול המזרחי היחס מתהפך, וזה בהשפעת ארועי נסיעה בשוליים בקטעי כביש 4 במסלול זה.

לוח 5.3: אופנועים, אופנועים חריגים וארועים, לפי צומת וקטע

מסלול	מס' אופנועים	אופנועים חריגים בצומת	אופנועים חריגים בקטע	מס' ארועים	מס' ארועים בצומת	מס' ארועים בקטע
סיכום	1794	239	157	460	254	206
צפוני	228	38	13	60	42	18
דרומי	190	25	14	44	28	16
מזרחי	707	68	82	174	70	104
מערבי	669	108	48	182	114	68

לוח 5.4 מציג את שיעור האופנועים החריגים והארועים, בצמתים ובקטעים, יחסית למספר האופנועים שנצפו במסלול. שיעור האופנועים החריגים בצמתים הוא 10%-16% ובקטעים 6%-12%. הארועים מתפלגים באופן דומה ומקביל למספר האופנועים החריגים, בתוספת של כ 2%.

לוח 5.4: שיעור אופנועים חריגים וארועים לפי צומת וקטע

מסלול	אופנועים		ארועים	
	צומת	קטע	צומת	קטע
צפוני	16.7%	5.7%	18.0%	8.0%
דרומי	13.2%	7.4%	15.0%	8.4%
מזרחי	9.6%	11.6%	9.9%	14.7%
מערבי	16.1%	7.2%	17.0%	10.2%

5.1.2 שני רוכבים, אופנועים כבדים, עבירות תנועה

לוח 5.5 מציג את מספר המקרים של נוסע נוסף באופנוע (2% מסה"כ) וכמה מהאופנועים היו כלים גדולים מעל 400 סמ"ק. כל היתר היו קטנועים ואופנועים קטנים יותר. כמו כן נצפו 9 אופנועים נוסעים כנגד כיוון התנועה, 9 שעברו דרך אי תנועה בנוי או מדרכה ו 10 שנסעו בנתצ"ים (אלו נספרו גם כנוסעים בשול, ונכללו בניתוח הארועים).

לוח 5.5: מאפיינים בשכיחות נמוכה וארועים חריגים נדירים

מסלול	סך הכל דו גלגלי	אופנועים כבדים	2 רוכבים	רוכבים שביצעו התנהגות לא חוקית		
				בניגוד לכיוון התנועה	על אי תנועה	נסיעה בנתצ" ברכב פגיעה קלה
צפוני	228	4	3	1	3	1
דרומי	190	4	13	1	2	1
מזרחי	707	10	6	2	2	-
מערבי	669	4	13	5	2	9

מאפייני הארועים מוצגים בהמשך בנפרד לקטעים ולצמתים במסלולים.

5.2 ארועי התנהגות חריגים בקטעי דרך במסלולים

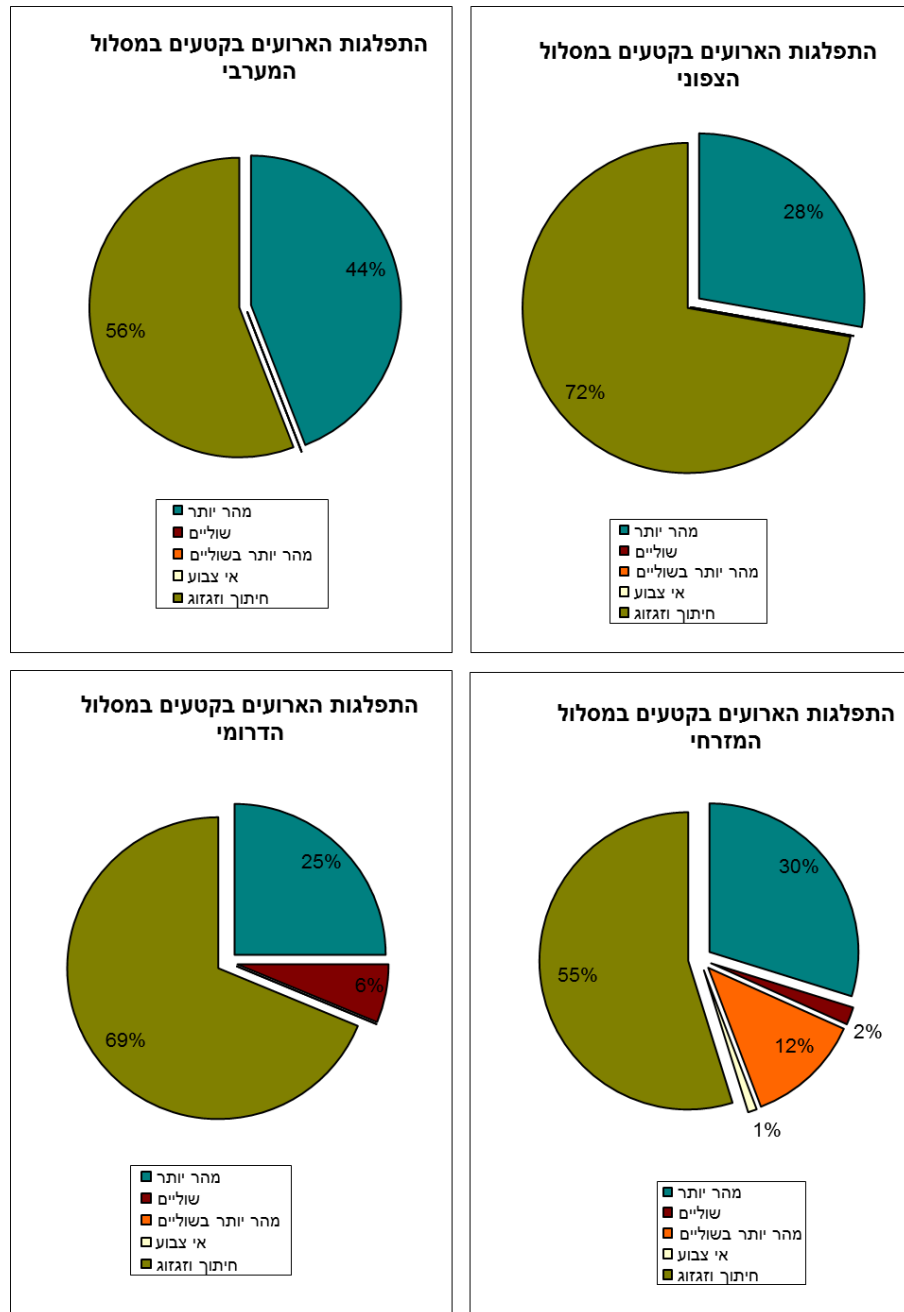
לוח 5.6 מציג את מספר הארועים בקטעים שבכל מסלול. שתי ההתנהגויות השכיחות הן זיגזוג ונסיעה במהירות גבוהה משל יתר התנועה. שתיהן שכיחות במסלול המזרחי והמסלול המערבי, עם נפח גדול יותר של אופנועים וקטעי נסיעה בכביש 4 ובדרך נמיר. שיעור האופנועים שנצפו מזגזגים בקטעים הוא 6.6%. 3.9% נסעו מהר יחסית לתנועה ופחות מ 1% נראו נוסעים בשול, כמעט כולם בכביש 4 / קטע 'גהה'.

לוח 5.6: ארועים בקטעים לפי סוג הארוע

מסלול	מהר יותר	שוליים	מהר יותר בשוליים	מעבר דרך אי צבוע	חיתוך זיגזוג
סיכום	70	3	13	1	119
צפוני	5	0	0	0	13
דרומי	4	1	0	0	11
מזרחי	31	2	13	1	57
מערבי	30	0	0	0	38
שיעור מסה"כ אופנועים בכל המסלולים	3.9%		0.9%	-	6.6%

ברור שאם היינו מתעדים התנהגות אופנועים רק בכביש גהה, שיעור הרוכבים בשול מתוך האופנועים באותו כביש בודאי היה גבוה בהרבה מ 0.9% (אולי בדומה למה שתועד במצלמות הקבועות במחלף חולון ומחלף ההלכה). כאן מודגש ההבדל בין מדידה נקודתית או באתר מסוים לבין מדידה במסלול המייצג אזור גיאוגרפי ותנועתו גדול.

ציור 5.1 מציג את התפלגות הארועים בכל מסלול, בצורה גראפית, על פי נתוני לוח 5.6. ברור שלאור מספר הקטן של סך האופנועים החריגים (157) והארועים המיוחסים להם (209), יש להתייחס בספקנות לערכי ההתפלגות של האחוזים הקטנים.



ציור 5.1: התפלגות ארועים לפי סוג בקטעי דרך במסלולים

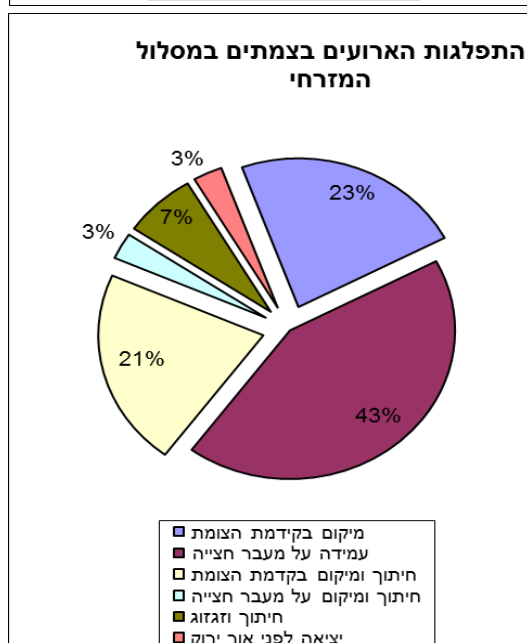
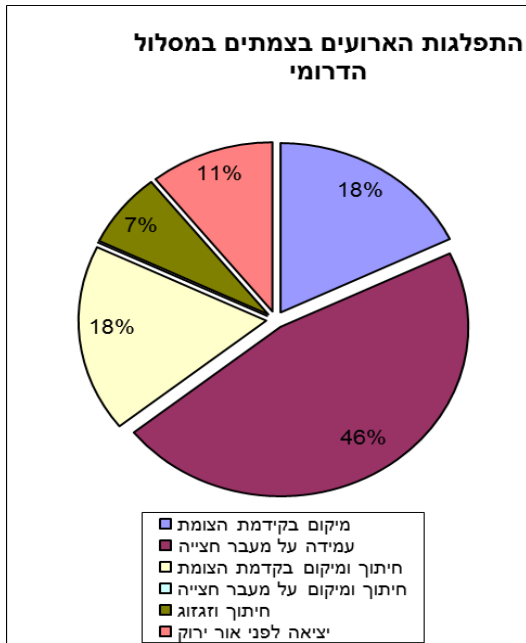
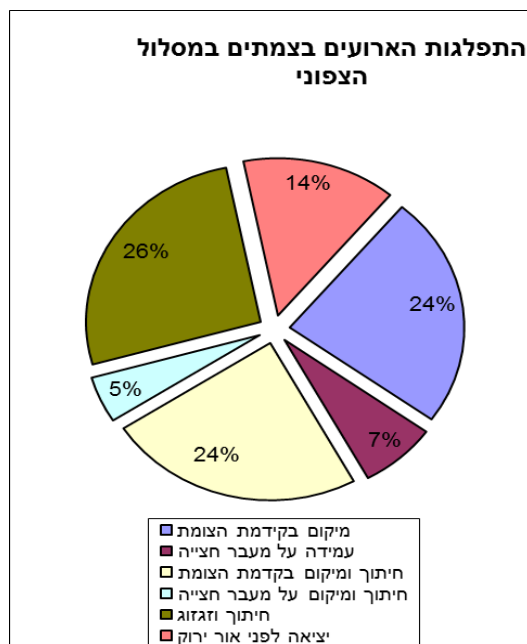
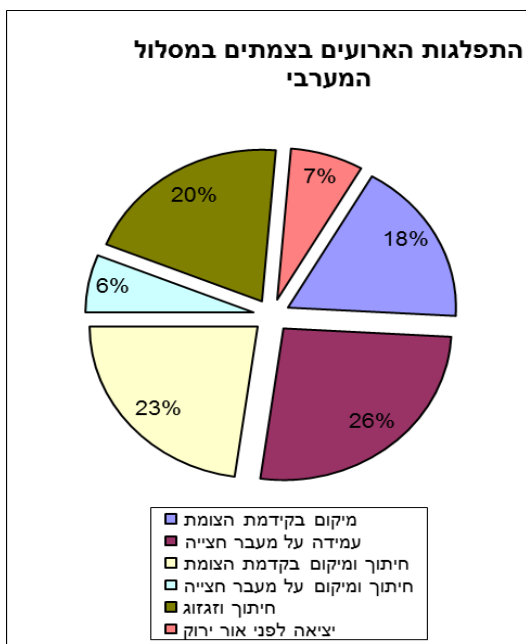
5.3 ארועי התנהגות חריגים בצמתים שבמסלולים

לוח 5.7 וציור 5.2 מציגים את פילוג הארועים בצמתים לפי סוג התנהגות. ההתנהגויות היותר שכיחות קשורות לעמידה בקידמת הצומת המרומזר ועל מעבר החצייה ולתמרוני נסיעה כדי להגיע לשם. יש גם תמרוני זיגזוג באזור הצומת שאינם מסתיימים בתפיסת מקום בראש התור ברמזור. נצפו 19 ארועי כניסה לצומת לפני תחילת האור הירוק.

אין הבדלים מהותיים בין המסלולים בסוגי הארועים בצמתים. שעור כל הארועים יחסית למספר האופנועים שנצפו בכל המסלולים הוא 14.2%, המתחלקים: 10.8% כל ארועי ההתמקמות ביציאה מהצומת, 2.3% זיגזוג אחר באזור הצומת, 1.1% הקדמת יציאה מהצומת עוד לפני ירוק. ערכים אלו לא ניתנים להשוואה ישירה לערכים הגבוהים יותר (70% התמקמות ביציאה מצומת) שדווחו על ידי מוקווס וגיאוקרטוגרפיה (2006), בגלל שיטות שונות של דגימה, תצפית, וחישוב. לדוגמה, במחקר הנוכחי כל מסלול עבר ב 60+ צמתים מרומזרים לעומת 6 צמתים נבחרים במחקר הנ"ל, אך משך התצפית בכל צומת היה קצר ולא אחיד.

לוח 5.7: ארועים בצמתים לפי סוג הארוע

מיקום בקידמת הצומת	עמידה על מעבר חצייה	חיתוך ומיקום בקדמת הצומת	חיתוך ומיקום על מעבר חצייה	חיתוך וזיגזוג	יציאה לפני אור ירוק		
51	76	56	11	41	19	סיכום	
10	3	10	2	11	6	צפוני	
5	13	5	0	2	3	דרומי	
16	30	15	2	5	2	מזרחי	
20	30	26	7	23	8	מערבי	
10.8%					2.3%	1.1%	שעור מסה"כ אופנועים בכל המסלולים



ציור 5.2: התפלגות ארועים לפי סוג בצמתי המסלולים

6 סיכום דיון ולקחים מתודולוגיים

6.1 מטרת ושיטת המחקר

אופנועים מהווים 4.4% מסך הרכב הממונע המורשה לנסוע בכבישי הארץ ו 69% מהם רשומים במחוזות מרכז ותל אביב. נתוני תאונות דרכים מצביעים על מעורבות גדולה של אופנועים בתאונות בגוש דן. המספר הכולל של תאונות אופנוע בתחום העירוני בישראל (דרכים עירוניות) בשנים 2008-2010 היה 9931. מספר התאונות בגוש דן הסתכם ב 5616, כלומר 56% מסך תאונות האופנוע בתחום העירוני.

המידע לגבי כמות האופנועים בתנועה ומאפייני ההתנהגות או התפעול שלהם בתחום העירוני הוא בעיקרו אפיזודי. רבים מבין נהגי רכב סבורים ש'הרבה אופנועים' 'מסתובבים' בתל אביב וסביבותיה, שרוכבי אופנוע נוסעים מהר, 'מזגזגים', ו'מתפרצים' ביציאה מצמתים מרומזרים, אין מידע ממשי מהו 'הרבה' זה, כמה מהם באמת נוסעים מהר, מזגזגים או ומתפרצים. ללא מידע מסוג זה קשה להעריך עד כמה המעורבות בתאונות היא פרופורציונית להיקף הפעילות של אופנועים, כלומר מה מידת הסיכון של נסיעותיהם יחסית לכמותם בתנועה ומאפייני התנהגותם.

המחקר הנוכחי נועד לקדם את היכולת להשיג מידע לגבי מאפייני הנסיעה הבסיסיים של אופנועים בתנועה עירונית (כמות, פיזור, סוג), ובאופן מפורט יותר, לגבי מאפייני ההתנהגות תפעולית של אופנוענים ביחס לדרך, לניתוב, לרמזורים, ובמידת האפשר, לגבי האינטראקציה שבין אופנועים לכלי רכב אחרים.

השיטה שפותחה מבוססת על ניטור אופנועים באמצעות תיעוד ופענוח צלומי וידאו ממצלמות תנועה קבועות וניידות. המצלמות הקבועות הן בצמתים מרכזיים או במחלפים, וצילום תנועה נייד הוא מתוך רכב נוסע במסלול עירוני ארוך מוגדר מראש, שאפשר לחזור ולנסוע בו בתקופה אחרת. אזור המחקר ליישום השיטה הוא גוש דן, שהוא האזור עם הסיכויים הגדולים ביותר לאסוף נתונים בכמות סבירה לניתוח מועיל.

בנתיבי איילון מוצבות מצלמות קבועות לניטור תנועה המחוברות למערכת בקרה מרכזית. בחרנו שלוש מצלמות שמהן אספנו תיעוד תנועה. מצלמה במחלף לה-גארדיה בנתיבי איילון כוונה כך שתצפה על הצומת המרומזר לה-גארדיה – רכבת-המסגר-החרש. הצומת משלב תנועה עירונית ותנועות נכנסות ויוצאות בנתיבי איילון. מצלמה במחלף חולון מכוונת לאזור נתיבי ההיפרדות בכניסה לעיר מדרום. מצלמה במחלף ההלכה מכוונת לנתיבי ההשתזרות לכיוון איילון צפון והתנועה מדרום-לצפון.

בעזרת מרכז הבקרה של נתיבי איילון אספנו מספר צילומי וידאו במשך מספר שבועות מהם דגמנו תיעוד תנועה לפיענוח כמות ומאפייני התנהגות של אופנועים.

מספר הרחובות בגוש דן, בערים אור יהודה, אזור, בני-ברק, בת-ים, גבעתיים, הרצליה, חולון, קרית-אוונו, רמת-גן, רמת-השרון, תל-אביב הוא 5239 באורך כולל של 2886 ק"מ. מתוך רחובות אלו בחרנו במסלולי נסיעה שיעברו ברחובות עם מספר גדול של תאונות אופנוע. קישרנו את קובץ תאונות האופנוע למערכת מידע גיאוגרפי-ממ"ג עם שכבת מידע תחבורתי. בעזרת הממ"ג "צבענו" את קטעי הרחובות עם 4 תאונות ומעלה באדום ועל ידי כך זיהינו באופן ויזואלי רחובות ודרכים מרובי תאונות (ולפיכך גם מרובי תנועה).

בעזרת מפת התאונות, הכרות עם המאפיינים האורבניים והתנועתיים של גוש דן, הכרות עם מאפייני פעילות ומוקדי משיכה של רוכבי אופנוע (בין היתר על בסיס סקרי אופנוענים שביצענו בשנתים האחרונות), הגדרנו ארבעה מרחבים גיאוגרפיים בגוש דן: דרום (דרום ת"א, חולון, בת-ים), צפון (צפונית לירקון עד למבואות רמת השרון), מזרח (רמת-גן, גבעתיים, בני-ברק ועד ציר כביש גהה במזרח) ומערב (מציר נמיר ומערבה עד הים, דרומית מהירקון ועד סלמה וקיבוץ גלויות בדרום).

בכל אזור תוכנן מסלול נסיעה באורך של 20 ק"מ. כל מסלול נסיעה הוא מעגלי. הצלום נעשה מתוך רכב גבוה באמצעות מצלמת וידאו קלת משקל שהצמדנו לשימשה הקדמית ע"י תופסן ואקום איכותי. בכל מסלול נעשו שתיים או שלוש נסיעות- בשעות הבוקר ואחה"צ-ערב.

הפיענוח נעשה בתוכנת עריכה מקצועית של וידאו, במחשבים סטנדרטיים. הפענוח היה חזותי התרשמותי ללא מדידות מדויקות של מרחקים, מהירויות או תאוצות.

הרשימה ההתחלתית של מאפייני התנהגות למעקב בזמן הפענוח התבססה על ניתוח תאונות, מחקרי התנהגות אופנועים וסקר אופנוענים. הרשימה כללה את המאפיינים הבאים: סוג האופנוע אופנוע / קטנוע, רוכב נוסף, רמת מיגון אישי, מהירות יחסית לתנועה, רכב אחר גורם לפעולה חריגה של אופנוע, אופנוע גורם לפעולה חריגה של רכב אחר, נסיעה בשול, זיגזוג בין מכוניות, נסיעה צמודה לצד או מאחורי רכב, מעבר באור אדום, יציאה מצומת לפני ירוק, חציית קו לבן או אי צבוע, עמידה על מעבר חצייה בצומת, עמידה בקידמת צומת מעבר למעבר החצייה, נסיעה על מדרכה, נסיעה במעבר החצייה.

במהלך פיענוח הווידאו התברר שלא היה ניתן לזהות במהימנות חלק מהמאפיינים ושהיה צורך להגדיר מאפיינים של התנהגויות מורכבות, כגון 'נסיעה בשול במהירות גבוהה ומעבר על אי צבוע'. לכל המאפיינים התייחסו כאל ארועי התנהגות חריגה, ללא שיפוט ערכי מפורש לגבי בטיחות או חוקיות ההתנהגות.

שיטת הצילום, גם במצלמה באתר קבוע וגם מתוך הרכב, אינה עוקבת אחרי אופנועים בתנועה אלא תופסת אותם במצלמה לכמה שניות ובתוך זמן זה המפענח מבחין בהתנהגות חריגה פשוטה (למשל, נסיעה בשול) או מורכבת יותר (למשל, נוסע בשול מהר יותר מהתנועה (חותך) ועובר על אי תנועה צבוע). מה שמצלמה והמפענח תופסים זה מדגם של ארועי אופנוע דינאמיים, רובם שגרתיים וחלקם חריגים.

בניתוח הכמותי צמצמנו וארגנו את המאפיינים לשתי קבוצות, אחת מתאימה לצמתים מרומזרים ואחת לקטעים כולל אזורי מחלפים.

6.2 נוכחות אופנועים בתנועה עירונית

חברת נתיבי איילון מנטרת באופן רציף באמצעות גלאים קבועים בדרך את כמויות התנועה לפי סוגי הרכב. בדקנו נפחים בקטע שבין מחלף ההלכה למחלף רוקח, באזור שאספנו ממנו קבצי וידאו ממצלמת מחלף ההלכה. במחלף ההלכה, לדוגמה, מספר האופנועים השעתי בימי חול הוא ~ 600-700 אופנוע בשעות הבוקר. הנפח קטן לשליש בסוף השבוע. נתח האופנועים בתנועה הוא 2.3% עד 3.6% בממוצע (שוני לפי ימי ושעות מדידה). ספירה של האופנועים והרכבים מתוך וידאו מצלמת ההלכה הראתה יחס דומה בין מספר אופנועים לרכב אחר.

ברשת הרחובות הרגילים אין ניטור של רכבים בדומה לנתיבי איילון או הרשת הבין-עירונית. כמות האופנועים שנצפתה לאורך כל ארבעת מסלולי הניטור היתה בממוצע כולל 128 אופנועים לשעה. ההגדרה האופרטיבית היא מספר האופנועים שניתן לראות במהלך שעת נסיעה במסלול נתון, ואינה זהה להגדרה הפורמלית הנקודתית במדידות קונבנציונליות של תנועה. במסלול צפוני ודרומי הנפח הוא 91-95 אופנוע / שעה ובמסלולים מזרחי ומערבי הנפח הוא 141-149 אופנוע /שעה.

כדי לאמוד את אחוז האופנועים מסך התנועה במסלולי הניטור, פיתחנו שיטה לספירה מהירה של רכב מתוך תמונות –רגע (freeze-frame snapshots) שדוגמים מקובץ התייעוד בוידאו. ניסינו את השיטה עם שני סרט תיעוד- אחד מהמסלול הדרומי ואחד מהמזרחי- ובשתי חלופות של חישוב מהיר. במסלול הדרומי הגענו לאומדן 2.2% או 3.5% של אופנועים בתנועה, ובמסלול המזרחי 4.7% או 3.7% אחוז אופנועים בתנועה. אחוזים אלו מתיישבים היטב עם הערכים שהתקבלו בספירות במחלף ההלכה. נראה שערכים אלו משקפים היטב את כמות האופנועים בתנועה במטרופולין גוש דן.

6.3 התנהגות אופנועים במחלפים, בצומת, ובמסלולים

לוח 6.1 מציג את מספר האופנועים הכולל וכמה מהם תועדו כ'אופנועים חריגים' בהתנהגותם, כפי שנספרו מהמצלמות הקבועות ובמצלמת הרכב שנסע במסלולים. במצלמת צומת מחלף לה- גארדיה תועדו 11% אופנועים חריגים, במחלפים (ללא צמתים) 24%-20%, ובמסלולים (סכום ארועים בצמתים ובקטעים) 22%.

לוח 6.1: סיכום כמותי של ניטור האופנועים

שעות תצפית	שעור חריגים	אופנועים חריגים	סה"כ אופנועים	
12	11%	369	3346	צומת לה גארדיה
46	24%	3317	13691	מחלף חולון
22	20%	1669	8475	מחלף ההלכה
14	22%	396	1794	מסלולים

כמות החריגים ושעוריהם תלויים בנפחי התנועה, בשעות הנסיעה (השפעת נפח אך גם גורמים נוספים), במאפייני גאומטריה ניתוב ובקרת תנועה, ועוד גורמים מקומיים. השעורים של אופנועים חריגים בפרקי מדידה ואתרים שונים מכסים טווח רחב, מאחוזים בודדים בבוקר סוף שבוע במחלף אחד ועד עשרות אחוזים בשעות בוקר באמצע השבוע במחלף אחר. הקשר בין נפח ושעור ארועים אינו קבוע. בדרך כלל כמות גדולה של אופנועים (וכלי רכב אחר) 'מייצרים' יותר ארועים חריגים ובשעור גדול יותר; אך יש מצבים ששעור החריגים אינו משתנה עם הנפח ואף יורד.

מבין הארועים החריגים הארועים השכיחים בנתיבי השתזרות (ההלכה) והיפרדות (חולון) במחלפים הם שילובים שונים של נסיעה בשוליים, על אי הפרדה צבוע, ובמהירות גבוהה יותר מאשר יתר התנועה (מהירות יחסית). יש מעט מאוד תמרוני זיגזוג בין מכוניות או נסיעה מהירה מקצב התנועה בנתיבים הראשיים.

הארועים השכיחים בצומת מחלף לה- גארדיה (מצלמה קבועה) קשורים לתימרוני התמקמות האופנועים בקידמת הצומת, לפני או על מעבר החצייה. אחוזים בודדים הקדימו לצאת מהצומת לפני האור הירוק.

ארועי התנהגות שכיחים בקטעי דרך במסלולים הם זיגזוג ונסיעה בשול או בנת"צ (כאשר יש כאלו במסלול), ובמהירות גבוהה משל יתר התנועה. ארועים אלו נצפו במסלול המזרחי והמסלול המערבי, שם גם עם נפח גדול יותר של אופנועים. בקטעים האחרים במסלולים, ההתנהגות החריגה האחרת היתה נסיעה במהירות גבוהה יחסית לתנועה. לא ניראו תימרוני זיגזוג ונסיעה צמודה לרכבים, כפי שבאזור הצמתים.

ארועי התנהגות חריגים בצמתים שבמסלולים קשורים ברובם לעמידה בקידמת הצומת המרומזר ועל מעבר החצייה ולתמרוני נסיעה כדי להגיע לשם. יש גם (בשעור של 2.3%) תמרוני זיגזוג באזור הצומת שאינם מסתיימים בתפיסת מקום בראש התור ברמזור, ו 1% ארועי כניסה לצומת לפני תחילת האור הירוק. אין הבדלים מהותיים בין המסלולים בהתפלגות סוגי הארועים החריגים בצמתים.

לאורך כל המסלולים יחד ניראו 1.2% אופנועים כבדים (~400 סמ"ק); ב 2% מהאופנועים ישב נוסע; 0.5% מהאופנועים נראו נוסעים כנגד התנועה; 0.5% נראו נוסעים על אי תנועה בנוי או מדרכה; 0.6% ניראו נוסעים (שלא כדי לפנות ימינה) בנת"צ.

6.4 מגבלות מהותיות ופרקטיות של המתודולוגיה

ניטור נוכחות והתנהגות אופנועים בתנועה עירונית באמצעות פענוח סרטי וידאו ממצלמות תנועה ניחות או ממצלמה ברכב נע הוא אפשרי, ומניב תוצאות סבירות ומענינות. יחד עם זאת, לשיטה מגבלות משמעותיות שיש לקחת אותן בחשבון. המגבלה הראשונה אינהרנטית למצב (שניסיון הניטור הוכיח אותו) שנוכחות האופנועים בתנועה העירונית היא קטנה מאוד (2%-4%) ועל כן יש לאסוף ולפענח כמות נתונים גדולה מאוד כדי לקבל אומדנים מהימנים לכמות

ולהתנהגות אופנועים. המגבלה השנייה היא שפענוח ידני של וידאו הוא תהליך ממושך, דורש אמון ונסיון, קשה למדי, וספק אם ניתן ליישם אותו באופן שגרתי.

פענוח אוטומטי של תיעוד תנועה רגילה כדי לספור אופנועים (ואולי רכב אחר באותו זמן), אפשרי ברמה עקרונית אך קשה לביצוע אפילו באתר קבוע עם מצלמה קבועה, כל שכן מתיעוד של נסיעה ברחוב בסביבה משתנה. פענוח אוטומטי של התנהגות אופנוע בתנועה, ובמיוחד יחסית לכלי רכב אחרים ולתנאי הדרך, היא משימה שעדיין לא בהשג יד. Lee et. al. (2012) דווחו על היתכנות לפענוח אוטומטי של התנהגות אופנועים בתנועה רגילה מתיעוד שצולם מגשר על קטע של 80 מ' בלבד. זו היתה עבודת דוקטורט של Lee, משנת 2007. זה עדיין רחוק מהנחוץ.

המגבלה השלישית של פענוח מתיעוד מוקלט, כפי שהתברר בניסוי, היא שאין בתיעוד מספיק מידע ורמזים סביבתיים לאפשר למפענח לזהות ולהחליט כי ההתנהגות היא חריגה. כאשר ההתנהגות היא חד משמעית, כמו נסיעה בשול או עמידה על מעבר חצייה, אין בדרך כלל קושי לזהות זאת; אך ההחלטה לגבי זיגזוג, חיתוך, עקיפה קרובה מאוד וכד' אינה חד משמעית. זו אינה בעיה או מגבלה רק של פענוח וידאו; אותה בעיה קיימת גם לגבי צופה מבחוץ או מתוך רכב שרואה את האופנוע והתנועה בזמן אמת. תלוי בנקודת המבט, במי הוא שמביט. הקושי גדול יותר בפענוח. לנדירות של ארועים 'חריגים באמת' יש שתי השפעות מנוגדות: מצד אחד אם משהו ממש חריג מתרחש יתכן והצופה יבחין בכך; מצד שני, כשלא קורה הרבה, וכשמרבית הארועים שגרתיים, גם ארוע שהוא 'קצת' שונה יכול (או עלול) להחשב כחריג.

היו התנהגויות נוספות שבניסוי זה לא זיהינו אותן על אף שהיה סביר שהן ארעו. לדוגמה, כניסה לצומת בסיום האור הירוק ברמזור, אי מתן זכות קדימה לאופנוע, או על ידי אופנוע, בצומת לא מרומזר או ארוע סטייה או בלימה מאולצת על ידי אופנוע או רכב אחר. יתכן והארועים נדירים מאוד שהסיכוי להתקל בהם קטן ביותר, במיוחד תוך נסיעה; יתכן שלא ניתן לראות ארועים כאלו מנקודת המבט של רכב נוסע אלא במצלמות קבועות במיקום אופטימלי לכל מצב, מה שמקשה, כמובן, על ניטור אזורי אלא אם מציבים מצלמות (או מזיזים אותן) במדגם גדול של אתרים. במקרה של מעבר צומת באור אדום השיטה האמינה ביותר היא רישום אוטומטי על ידי גלאי מזהה סוג רכב ומתואם עם בקר חילופי המופעים ברמזור, או מצלמת תנועה מתואמת עם הבקר.

למרות המגבלות של השיטה, לממצאי הניסוי יש השלכות עקרוניות, מעבר לצד המתודולוגי, שיש מקום להצביע עליהן.

6.4.1 שימוש מותר בשוליים או בנתיבי אוטובוס על ידי אופנועים

בניתוח הארועים החריגים בקטעים, (מחלפים וקטעים במסלולים) רוב ההתנהגויות החריגות היו של נסיעה בשוליים ומה שקשור לכך, או נסיעה בנת"צ. בסקר אופנוענים הם מדווחים על התנהגות זאת כשכיחה, על אף שידוע להם כי בישראל זו התנהגות בלתי חוקית. אופנוענים סבורים שנסיעה בשול הדרך עשויה להגדיל את הבטיחות על ידי שיפור הניראות והראות שלהם, והקטנת החיכוך עם רכבים אחרים. זו גם דעתם לגבי נסיעה בנת"צ.

זה מספר שנים מתקיימים דיונים מקצועיים ומתבצעים נסויים בהסדרים המאפשרים לרוכבי רכב דו-גלגלי לנסוע ללא הגבלות (או מעט הגבלות) בנתיבי אוטובוס. הסדרים כאלה ניתן לראות בהרבה ערים באירופה, כולל לונדון, בריסל ופריס.

מחלקת התחבורה בלונדון רבתי שנהלה מעקב צמוד וממושך על הפעלת הסדרים לנסיעת אופנועים בנתיבי אוטובוסים הכריזה כי החל מ 23.01.2012 אופנועים יוכלו לנסוע בקביעות בנתיבי אוטובוסים במרבית הדרכים בלונדון המסווגות כ 'מסלולים אדומים', כלומר צירים ראשיים בעלי עדיפות והגבלות חנייה. קישור לאתר התחבורה בלונדון ולמידע מפורט בנושא זה: <http://www.tfl.gov.uk/roadusers/redroutes/10151.aspx>

להלן נוסח ההודעה התמציתית המקורית המסכמת את יתרונות ההסדר.

Motorcycles in bus lanes



Following the completion of two trials, motorcycles will be given permanent access to bus lanes on the majority of the Capital's red routes from 23 January 2012.

We will now make a permanent traffic regulation order to reflect the decision.

Benefits include reduced journey times for motorcyclists and less carbon dioxide emissions. The safety of motorcyclists and other vulnerable road users is unaffected.

אכיפה בנתיבי אוטובוס מוסדרת על ידי מצלמות מותקנות באוטובוס ומשדרות ישירות לגורם האכיפה. המצלמות אוספות נתונים על כמות כלי רכב מורשים ולא מורשים המשתמשים בנתיב האוטובוס.

יש לציין שלפי נתוני מערכת ניטור התנועה במטרופולין לונדון כמות האופנועים ברשת הדרכים העירונית (3.8) היא בשעור דומה למה שמצאנו במחקר הנוכחי. (הלוח לקוח מ York I, Ball S and Hopkin J. 2011).

Table 5: Percentage of average hourly flows (Video surveys in Previous Trial)

Network	Motorcycles	Cycles	Cars	Buses	Other
TLRN Bus Lane Lanes	6.3%	6.4%	60.7%	3.8%	22.7%
Remainder of London's Road Network	3.8%	6.3%	66.5%	3.2%	20.2%



חלק מהרשויות בבריטניה ובמדינות אחרות באירופה פתחו את נתיבי האוטובוס לכלים דו-גלגליים, אופניים ואופנועים (או רק אופנועים קלים). יש בכך יתרונות לכל משתמשי הדרך, כולל הולכי רגל, אך גם סיכונים בערוב של כלי נסיעה שונים כל כך באותו נתיב. המקורות הבאים מכילים מידע רב בנושא.

(eSUM, 2012a; IHIE, 2010).

6.4.2 הסדרים לאופנועים בצמתים

בניתוח הארועים החריגים בצמתים, (לה- גארדיה וצמתים במסלולים) רוב ההתנהגויות החריגות היו של המתנה לאור הירוק ברמזור מעבר לקו העצירה או על מעבר החצייה וכן תמרונים של נסיעה בין רכבים וזיגזוג כדי להגיע לעמדות אלו בקידמת הצומת. בסקר אופנועים הם מדווחים על התנהגות זאת כשכיחה מאוד ורואים אותה כהתנהגות בטיחותית מנקודת מבטם. הם עוקפים באזור הצומת כדי להמנע מלעמוד ולנסוע מאחורי רכב המסתיר את שדה הראיה לרוכב ונהגו אולי אינו שם לב לרוכב מאחוריו.

התמקמות לקידמת צומת, על או מעבר החצייה, כאשר זה פנוי, מפחיתה את החיכוך עם רכבים ביציאה מהצומת ('מוציאה את האופנועים מבין גלגלי הרכבים'), משפרת את שדה הראייה של האופנועים ועוזרת, לטענתם, בפינוי זריז יותר של הצומת על ידי כל הרכבים. לטענה זו יש ביסוס מחקרי (eSUM, 2012b). הרושם הוא שגם משטרת ישראל מתעלמת בדרך כלל מעבירה פורמלית זו, ויש מהנדסי תנועה באזור ת"א הסבורים שהתנהגות זו במרכז העיר תורמת להקלת העומס בצמתים (שיחות פרטיות).

ברשויות רבות בעולם נהוג לסמן בצמתים פס עצירה מקדים (Advanced Stop Line) לאופניים, לעיתים על ידי הסטת קו העצירה למכוניות אחורה. המקום השמור לאופניים מכונה Bike Box, ומסומן באופן בולט. בהמשך התירו גם לאופנועים לעמוד לפני קו מקדים (בשיתוף או ללא אופניים) ונהוג זה הולך ונפוץ ומומלץ על ידי איגודים בעלי מוניטין (וגם בעלי עניין), כגון:



ACEM Guidelines for PTW (Safer Road Design in Europe, 2006);

eSUM European Safer Urban Motorcycling (Advanced Stop Line Trials, 2012b);

IHIE, Institute of Highways Engineers (IHIE Guidelines for motorcycling, UK, 2007).

המקורות הנ"ל סוקרים מחקרים שבדקו את התועלת (והסיכון) הבטיחותי והתפעולי מהסדר.

6.4.3 היחס לתמרונים ומיקום של אופנועים בתנועה

השיח של נהגי רכב רגיל בישראל, כולל אנשי מקצוע בתחום התחבורה, כלפי אופנועים ואופנוענים הוא ביקורתי מאוד. אנו מוצאים זאת גם בסקר עמדות של נהגים (זיידל, 2012). נהגים שהם גם רוכבי אופנוע פחות ביקורתיים, כנראה משום שהם מסוגלים לראות את תמונת המצב מנקודת מבטו של רוכב. מה שנראה לנהג רכב כזיגזוג מיותר וכמהירות מופרזת, בעיני הרוכב זה תמרון להתמקמות בטוחה יותר בנתיב ושימוש נכון בתאוצה הטובה של אופנוע כדי לצאת מהר ממצב פחות בטוח או להתרחק מכלי רכב. מאוד סביר שבתחום העירוני, במיוחד, נהגי רכב מפרשים תאוצה של אופנוע העובר אותם בצומת כמהירות מופרזת.

האם יש ממש בהרגשת הבטחון של אופנוענים שהם נוהגים נכון, שהם חייבים לנהוג נכון דוקא בגלל פגיעותם המוכחת וידועה להם (זיידל, 2012)? מחקרים שונים- במעבדה, בסימולציה, ובניסויי שטח מבוקרים-

(Horswill M.S. & Helman S., 2003; Rosenbloom, T., Perelman, A. & Pereg, A., 2011; Walker, G., Stanton, N. & Young, M., 2007; Walker, G., et al, 2011; Shahar, A., et al. 2012),

מצביעים על כך שלרכבי אופנוע יש מודעות מצב (situation awareness) טובה יותר משל נהגי מכוניות, הם ממוקדים יותר במטלת הנהיגה, הם משתמשים יותר במראות, הם שמים לב יותר לרמזים של סיכונים דרך, הם נוהגים באופן פעיל ולא פאסיבי כדי למקם עצמם בדרך ובתנועה באופן שמרחב הראיה והתמרון שלהם יהיה חופשי ככל האפשר. חלק מהמחקרים, כגון (Crundall, et al (2012) מנסים להבין מדוע נהגי רכב אינם מבחינים באופנועים, תופעה הידועה בכינוי "Look but don't see".

מנקודת ראות של לפחות חלק מהאופנוענים, ההתנהגויות החריגות שתוארו במחקר הנוכחי בקטעים ובצמתים הן בלתי נמנעות בתנועה מעורבת, ובמיוחד צפופה. הרבה אופנוענים מנסים (כפי שמצאנו בעבר בקבוצות מיקוד, שיחות עם פעילי אגודות אופנוענים, קריאת חומרי הדרכה ועצות באתרי אופנוענים בארץ ובעולם) סבורים שהתנהגויות אלו, כאשר נעשות בתבונה, עשויות לשפר את מצבו הבטיחותי של האופנוע בתנועה, כאשר האופנוע הוא מיעוט ונחות בין כלי רכב אחרים גדולים ממנו. האופנוען צריך לנצל לטובת בטיחותו את היתרונות היחסיים שלו ושל הכלי והם: כושר תאוצה, יכולת תמרון במרחבים (נתיבים) צרים, מודעות מצב וקשב ברמה גבוהה יותר משל נהגים.

אופנוענים מיישמים גישה זו באופן לא פורמלי (ולעיתים לא חוקי), ואין ספק שהתנהגויות מהסוג הנ"ל, כגון תמרון בצומת כדי לעמוד לפני המכוניות, או נסיעה בשול, מרגיזות נהגים אחרים, אך לא מובן מאליו שההתנהגות היא לא-בטיחותית. יש להניח שהסדרים ממוסדים ומתוכננים, מהסוג שתואר למעלה, עשויים לעשות את ההתנהגות הבלתי פורמלית למקובלת על נהגי רכב ועל ידי כך גם לבטוחה יותר עבור כולם.

6.5 לקחים מתודולוגיים

חלק מהלקחים המתודולוגיים הספציפיים לניסוי עצמו נדונו בסעיף **מגבלות מהותיות ופרקטיות של המתודולוגיה** בפרק זה. בסעיף זה נפרט לקחים נוספים בהקשר לתוכניות ניטור תנועה בכלל ואופנועים בפרט.

6.5.1 שימוש במצלמות תנועה קיימות לניטור אופנועים

התפיסה התפעולית של מצלמות תנועה במרכזי הבקרה של הרשויות העירוניות ומע"צ היתה שמצלמות נועדו לעזור לגורמים המקצועיים הרלוונטיים לטפל בארועים חריגים, כגון תקלה ברמזור, תאונה, גודש. המצלמות הותקנו בצמתים מרכזיים ובמחלפים, הן לא היו מחוברות למנגנון הרמזור, ואפשר היה לשלוט בהן מרחוק ועל ידי כך לכסות זרועות וזוויות ראייה שונות בצומת או לעשות זום לאזור מסויים. ההתרעה על ארוע הגיע בטלפון ממקור אחר, או מנתוני גלאים בכביש המחוברים או משדרים למרכז הבקרה. המצלמות לא שימשו לניטור תנועה (כגון ספירה, מיון לסוגי רכב או מדידת מהירות). עד לאחרונה רוב המצלמות היו ברזולוציה נמוכה למדי ובמרכזי הבקרה היתה אפשרות מוגבלת לאגירת נתוני הוידאו לניתוח משני. הוידאו או קטעים נבחרים ממנו נשמרו מספר ימים לצרכי תיעוד של ארועים למקרה של דרישה לצפות בארוע מטעם רשות מוסמכת כגון המשטרה או בית משפט.

בשנה האחרונה עיריית תל-אביב ועיריית חיפה החלו לשדרג את מערך המצלמות מבחינת איכות צבע ורזולוציה, ומבחינת יכולת אחסון ואחזור של הוידאו. התפיסה התפעולית היא עדיין בעיקר תגובה לארועים אם כי החלו להשתמש במצלמות לתעד רכב פרטי הנוסע בנת"צ או חונה בתחנות אוטובוס, לצרכי אכיפה. התיעוד נעשה באופן ידני, בזמן אמת, על ידי מפעיל שמכוון המצלמה לקטע הדרך הרלוונטי. גם בתוכנית למרכז בקרת תנועה ורמזורים מטרופוליטני בגוש דן (מרכז לניהול ובקרת תחבורה במטרופולין תל-אביב, תפיסת הפעלה- תקציר, משרד התחבורה, 25.5.2010) המצלמות נועדו 'לאיתור ואימות ארועים'.

לפיכך, ניראה שלמרות השיפורים הטכנולוגיים הצפויים, אופן התפעול של המצלמות, העדר קישוריות בנויה לנתוני תנועה אחרים, ובעיות משפטיות לשימוש בחומרים, יקשו על ניצול המאגר לצרכי ניטור שיטתי של אופנועים או רכב אחר. ניתוח אוטומטי של וידאו לא צפוי בטווח קרוב, וניתוח ידני של הקלטות הוידאו לא יהיה קל או זול יותר מאשר במחקר הנוכחי.

6.5.2 ניטור נוכחות אופנועים בתנועה

בנתיבי איילון ובכבישי מע"צ באזור גוש דן (כביש 4 ו כביש 5) מנטרים תנועה, כולל אופנועים, באמצעות המערכת הקיימת של גלאים. כיוון שהנתונים אינם מזהים את הרכב הם זמינים למבקש לגיטימי. אלו נתונים טובים בגלל הניטור הרציף וכמות תנועה. היתרון היחיד בספירת נוכחות אופנועים מתוך צלומי הווידאו של במחלפים של נתיבי איילון היה בכך שנספרו גם אופנועים שנסעו בשוליים. התנהגות זו אופיינית למצבי גודש, ובסופו של דבר אופנועים חוזרים לנתיב כך שמיקום נכון של גלאים יספק נתונים אמינים. נתונים אלו כוללים גם מהירויות. לגבי אופנועים אמינות ומשמעות נתוני המהירות פחות ברורים מאשר עבור מכוניות מאחר ששעור האופנועים בתנועה הוא נמוך מאוד, והספירה האוטומטית כיום אינה מדווחת נתונים פרטניים אלא ממוצע של 5 או 15 דקות, המתאפס מחדש. כמו כן, חתימת הכובד והשטח של אופנוע הם קטנים, ונחוץ לבדוק היטב עם הרשות האוספת את שיטת ודיוק הספירה בשטח כמו גם את שיטת ריכוז הנתונים במשרד.

ברשת העירונית הרגילה קיימים גלאים רק בצמתים וכיום ברובם אינם מספקים נתונים שוטפים לגבי כמות תנועה ומהירויות גישה (או מעבר בירוק) ברמזור. יש רשויות בחו"ל, כגון במטרופולין לונדון, המפעילות מערכת מדגמית יעודית וקבועה לניטור נתוני תנועה בכל הרשת לצרכי תכנון. (בלונדון יש גם מערכת ענפה לניטור הולכי רגל במסלולים העירוניים ואחרים שהותקנו למענם). לא נראה שבעתיד הקרוב תבנה מערכת כזו בגוש דן. על כן, אם בעתיד תהיה אפשרות לספור כלי רכב ואופנועים בכל הזרועות של צומת מרומזר, וברוב הרמזורים, באופן אוטומטי על ידי גלאי הרמזורים עצמם, זו תהייה הדרך העדיפה לנטר נוכחות אופנועים בתנועה שכן פזור הצמתים המרומזרים ברשת הוא גדול, וקשה לנסוע באיזה כלי תחבורה ללא שעוברים בצומת מרומזר.

עד שהניטור יהיה אוטומטי באמצעות מערכת בקרת רמזורים, אפשר להשתמש בשלוש שיטות יעילות לניטור נוכחות אופנועים (ורצוי שגם כלי רכב אחר באותו זמן) ברשת העירונית הרגילה.

א. תיעוד וידאו של מסלולי נסיעה בשיטת הרכב הנע, כפי שנעשה במחקר זה, וספירה של רכב ואופנועים בשיטת ה snapshot, אשר תארנו בפרקים קודמים. הנסיעה במסלולים מבטיחה נתונים עדכניים במדגם מייצג של מסלולי נוכחות של אופנועים, ושיטת ה snapshot, מאפשרת ספירה מהירה ומדויקת (שכן הווידאו אינו רץ), של אופנועים ורכבים אחרים. כאשר שיעור האופנועים בתנועה קטן מאוד, אפשר להגדיל את מספר ה snapshots, כדי לשפר את מהימנות הספירה. אם מוכנים להסתפק בספירת אופנועים בלבד אפשר להספיק לספור את כל האופנועים בתיעוד המסלול, בהרצה איטית של הווידאו (נדרשת תוכנת עריכה שמיצבת את התמונה היטב).

ב. ניתוח בשיטת ה snapshot, של צלומי מצלמות תנועה ברמזורים, כאשר צילומים אלו יהיו באיכות טובה וזמינים (פתרון בעיות משפטיות ולוגיסטיות). כאן לא צריך כמות גדולה של סרטי וידאו, אלא מדגם של קטעים קצרים מכל הצמתים בשעות שונות, מתוכם ידגמו ה snapshots, כפי שבניתוח בסעיף הקודם.

ג. ספירת תנועה ידנית, בשיטה הקלאסית של פוקדים בצמתים עם מוני טיק-טק או טכנולוגיה אחרת. שיטה זו יקרה יותר בשלב האיסוף של הנתונים אך אין כמעט צורך בניתוח נתונים מלבד ריכוז הנתונים הישירים. יתרון נוסף בשיטה הוא באפשרות לאפיין כל אופנוע שעובר בצומת בקטגוריות שיש בהן עניין, כגון גודל וסוג אופנוע, מין הרוכב, רמת מיגון אישי, מיקום בצומת (במצב עמידה) וכד'.

6.5.3 שיפור שיטת הניטור במסלולים

אנו סבורים שרעיון המסלולים כמדגם מייצג של מרחב הנסיעות של אופנועים (ואולי אף רכב אחר) בגוש דן הוא ממצא תקף בניסוי ושאינו צורך לשנות את התכנון של המסלולים. אולם התפיסה של נסיעה לשם צילום וביצוע כל הפענוח והניתוח אח"כ בשולחן עריכה צריך להשתנות.

צופה בזמן אמת שקשוב לתנועה ואינו עסוק בנהיגה, הוא שידווח על כל הארועים המשמעותיים: את נתוני ההתנהגות המיוחדים, החריגים, של אופנועים בתנועה והאינטראקציה עם רכב אחר, אם יקרו. הוא יעשה זאת בדיבור למיקרופון צמוד תוך כדי סימון הארוע במצלמה. הוא גם יאפיין את האופנוע והרוכב עד כמה שניתן לראות. הדיבור יהיה מקור

הנתונים העיקרי. סרט הוידאו יהיה תיעוד חזותי שאליו יהיו מסונכרנים סיגנלים אחרים, חלקם אוטומטית: GPS, זמן אמת, מהירות הרכב, וחלקם בשליטת הצופה: דיבור, סימוני קודים בשלט חוטי או שלט-רחוק. השליטה במצלמה תהיה גם כן בשלט רחוק (קיים כמוצר מדף). הצופה לא יספור אופנועים אלא יעסוק בארועים. הספירה תעשה בשיטת ה snapshot שפותחה כאן. האיבזור יכלול קישור ל GPS (או של הרכב או בנוי במצלמה, כבר קיים בשוק), אחסון ישיר בהתקן בעל נפח גדול. כדאי להתקין את המצלמה בגג המכונית בתופסן מתכוונן. יש לציד את המצלמה בפילטר מתאים לצלומי תנועה בלילה.

שיפורים אלו אולי יוסיפו לעלות איסוף הנתונים בשטח אך לא באופן משמעותי שכן הם גם יגדילו את מספר הנסיעות שהצוות יוכל לבצע במשך יום עבודה. לעומת זאת, צפוי חיסכון גדול בזמן המוקדש לפיענוח. מלבד שימוש אפשרי לדגימה של פריימים בשיטת ה snapshot, לא יהיה צורך בפענוח של תיעוד הוידאו, אלא בשימוש משני, כגון ספירה של אופניים, או מספר הולכי רגל החוצים במעברי חצייה. הוידאו החזותי ישמש לאימות המידע הקולי (שכבר זיהה ואפיין את הארועים החריגים) ויהיה המידע המוביל בניתוח. מיקום המצלמה (והארוע) על גבי מפת הדרכים יוסיף אלמנט חשוב לאיפיון הארועים בהקשר לגיאומטרית הדרך ואופי הסביבה.

2BeSafe Consortium. (2010). **2-wheeler behaviour and safety**. Rider / Driver behaviours and road safety for PTW. www.2besafe.eu

ACEM Guidelines for PTW. (2006). **Safer Road Design in Europe**.

ACEM. MAIDS, (2003). **Motorcycle Accident in-depth Study**. Association des Constructeurs Europeens de Motorcycles. Brussels.

Ben-Yaakov, Y., Gitelman V., Zaidel D., Levi T., Levi H., and Reshef D. (2006). **Accidents at signalized intersections**. Traffic and Transportation, The Journal of Traffic Engineers Association in Israel.

Crundall, D., Clarke, D. & Shahar, A. (2012). **Why do car drivers fail to give way to motorcycles at t-junctions?** Accident Analysis & Prevention, 44, 88– 96.

eSUM European Safer Urban Motorcycling. (2012b). **BP2: Highway Features and Policy, Advanced Stop Line Trials**, web update.

eSUM European Safer Urban Motorcycling. (2012a) **BP2: Highway Features and Policy, PTWs in Bus Lanes**, web update.

Horswill, M.S. & Helman, S. (2003). **A behavioral comparison between motorcyclists and a matched group of non-motorcycling car drivers: factors influencing accident risk**. Accident Analysis & Prevention, 35 (4), 589-97.

IHIE, Institute of Highways Engineers. (2007). **IHIE Guidelines for motorcycling**, UK; web update 2010 <http://www.motorcycleguidelines.org.uk>.

Lee, T.C., Polak, J.W., Belland, M.G.H. & Wigan, M.R. (2012). **The kinematic features of motorcycles in congested urban networks**. Accident Analysis & Prevention, 49, 203–211.

RAAC. (2009). **La accidentalidad de las motocicletas en zona urbana Barcelona, 2002-2007**.

<http://w3.racc.es/index.php?mod=fundacion&mem=EPDetalle&relmenu=31&id=2739>.

Shahar, A., van Loon, E., Clarke, D. & Crundall, D. (2012). **Attending overtaking cars and motorcycles through the mirrors before changing lanes**. Accident Analysis & Prevention, 44, 104– 110.

Rosenbloom T., Perlman A. & Pereg A. (2011). **Hazard perception of motorcyclists and car drivers**. Accident Analysis & Prevention, 43 (3), 601-604.

Walker, G.H., Stanton, N.A. & Salmon, P.M. (2011). **Cognitive compatibility of motorcyclists and car drivers**, Accident Analysis & Prevention, 43, 878–888.

Walker, G.H., Stanton, N.A. & Young, M.S. (2007). **Easy rider meets knight rider: an on-road exploratory study of situation awareness in car drivers and motorcyclists**, International Journal of Vehicle Design, 45 (3), 307 - 322.

York, I., Ball, S. & Hopkin, J. (2011). **Motorcycles in Bus Lanes - Monitoring of the Second TfL Trial**. Transport Research Laboratory, Report CPR1224.

בן-יעקב, י., גיטלמן, ו., זיידל, ד., לוי, ט., לוי, ח. ורשף, ד. (2004). **תאונות חזית-צד בצמתים מרומזרים**, מחקר עבור הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים. בניהול אמן – ארגון ומדעי ניהול יועצים בע"מ.

גיטלמן ו., פיסחוב, פ. וכרמל, ר. (2010). **סקר ארצי של מהירויות נסיעה בישראל 2010**, דו"ח מחקר מס' S/18/2010, מרכז רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים, הטכניון.

הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים (2011). **מגמות בבטיחות בדרכים בישראל 2001-2010**.

זיידל, ד. וזילברשטיין, ר. (2011). **סקר ארצי של רוכבי אופנוע בישראל**, עבור הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים.

זיידל, ד., בן זינו, ר. וזילברשטיין, ר. (2009). **סקרי אופנועים בדרכים הבינעירוניות: חשיפה, סיכונים דרך ומאפייני תאונות**, קרן רן נאור לחקר הבטיחות בדרכים.

זיידל, ד. (בביצוע). **סקר משתמשי דרך בישראל**, חלק מסקר 4 SARTRE כלל אירופי.

זילברשטיין, ר. וזיידל, ד. (2007). **שילוב אופטימלי של רכב דו-גלגלי מנועי בדרכים בין-עירוניות**, תנועה ותחבורה, עמ' 20-25.

לשכה מרכזית לסטטיסטיקה. (2009). **כלי רכב מנועיים 2009**, פרסום מספר 1420.

לשכה מרכזית לסטטיסטיקה, **הודעה לעיתונות 177/2011**, באתר הלשכה.

לשכה מרכזית לסטטיסטיקה. (2011). **סקר נסועה (קילומטרז')**, פרסום מספר 1454.

מוקוואס, דן וגיאוקרטוגרפיה. (2006). **הסיכון ברכיבה על אופנוע: פירוט ממצאי ראיונות, תצפיות ונתוני תאונות: תמונת מצב ב – 2006**. הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים.

Abstract: Video based methods for monitoring motorcycle traffic

This study developed and demonstrated video-based methods for collecting and analyzing representative sample data of the presence and behavior of motorcycles on the move, at a large urban scale. Such information did not exist in Israel until now.

We illustrated the methods in the metropolitan area of Tel - Aviv (Dan region), home to over 50% of motorcycles in the country, as well as more than 50% of motorcycle accidents in urban areas in Israel. Using a GIS transportation data layer, we mapped 5600 motorcycle accidents in this area.

On the basis of accidents locations, familiarity with urban and traffic characteristics of the area, familiarity with activity patterns and trip attractions of motorcyclists, we defined four geographic districts in the Dan region. In each district, we planned a representative trip route (travel itinerary) of 20 km length. Every route passes through major and collector type roads and contains approximately 60 junctions with traffic lights.

Each route was traveled at different times of day in a car equipped with a video camera documenting traffic continuously, including motorcycles. We also documented, with high mounted fixed cameras, motorcycle movements on the interchange ramps of Netivey Ayalon, which is an access- controlled, principal route in the road network of the Dan region. The video analysis was done manually with the help of video editing software.

To calculate the share of motorcycles in traffic, it is necessary to count all other vehicles as well. Therefore, we developed a method of counting vehicles from planned samples of Freeze- Frame Snapshots taken from a continuous video documentation, from in-vehicle or from a fixed camera.

Motorcycles' share in urban traffic in the Dan region is between 2.2% to 4.7% of total traffic, depending on the hours and days of monitoring (day / night; weekday / week-end). Video analysis identified more than 27,000 motorcycles in motion, of which 5750 (21%) were tagged as motorcycles exhibiting deviant behavior.

The typical deviant events at interchange ramps (fixed cameras) are combinations of riding the shoulder, riding on painted separation markings, and at speeds higher than other vehicles. Deviant events typical on road sections on an urban route are zigzag maneuvers, riding the shoulder or a bus-lane, and driving at a speed higher than other vehicles. At urban signalized junctions, the majority of deviant behaviour events are related to maneuvering into position to the head of the queue on or ahead of the stop line.

Monitoring the quantity and behavior of motorcycles in urban traffic with the help of mobile or stationary traffic cameras and manual analysis is possible, and yields novel results and interesting findings. The method of planning monitoring trip routes allows reconstruction of new similar routes in the future with a high probability of obtaining good basic outcomes at a regional level. But the system also has several limitations, some of which are inherent to the method and some that can be corrected.

The report also discusses the practical implications of the 'deviant behaviour' of motorcycles for thinking of new approaches to the management of urban traffic, especially in the context of letting motorcycles use shoulders or bus lanes, or providing special arrangements for motorcycles at stop lines of selected signalized junctions.



Video based methods for monitoring motorcycles in traffic



Dr. David Zaidel

Eng. Ran Zilberstein

**Scientific management: Dr. Shay Soffer, Chief Scientist,
National Road Safety Authority**

**Research coordination: Research Division, National Road
Safety Authority**

February 2013