
טכנולוגיות לקידום הבטיחות בחצייה של הולכי רגל

מחבר המסמך: יואל נחום

בשיתוף פרופ' הלל בר-גרא, ד"ר אסף שרון, אינג'
טופז פלד שטיינברג ואלכסנדר טרויצקי
ניהול: ד"ר יעל הדר, מנהלת חטיבת מידע ומחקר

סיוון תשפ"ג | מאי 2023

מחויבים

לאנשים שבדרך

דלבי"ד
הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים





תוכן

2	מבוא
4	פרק א': זיהוי הולכי רגל
4	לחצן דרישה (Request/Push Button)
5	וידאו אנליטיקה (Video Analytics)
6	מצלמה תרמית (Thermal Camera)
6	גלאי על קולי (Ultrasonic Sensor)
7	רדאר מיקרוגל (Microwave Radar)
7	גלאי אינפרא אדום (Infrared Sensor)
8	משטח דריכה (Piezoelectric Sensor)
8	סורק לייזר (Laser Scanner, Lidar)
9	כרטיס חכם (Smart Card)
9	אפליקציה בטלפון חכם להולכי רגל עם מוגבלות
9	מערכת V2P (Vehicle to Pedestrian)
11	פרק ב': חיווי להולכי רגל
11	הדגשת אור הרמזור על מעבר החצייה
11	חיווי על שפת המדרכה
12	תצוגת מונה הסופר לאחור (PCT - Pedestrian Countdown Timer)
12	התרעה בסלולר
13	חיווי קולי או חזותי
14	פרק ג': חיווי אזהרה לנהגים
14	תאורת רחוב בלילה
14	הדגשת אור הרמזור לנהגים
15	הארת צידי מעבר החצייה
15	רמזור אור צהוב מהבהב
16	מערכת אורות אזהרה מלבנית (RRFB)
16	תמרור מואר
17	V2P להתרעה ברכב
18	סיכום והמלצות
19	מקורות



מבוא

מסמך זה סוקר את האמצעים הטכנולוגיים לקידום הבטיחות בחצייה של הולכי רגל במעבר חצייה מרומזר או לא מרומזר. מטרת הסקירה היא להבין מהי המערכת האפקטיבית להפחתת היפגעות של הולכי רגל במעבר חצייה. מערכת טכנולוגית חכמה יכולה לזהות הולכי רגל לקראת או בעת מצבי קונפליקט כגון התקרבות למעבר חצייה, הימצאות על סף מדרכה לקראת חצייה או בעת החצייה עצמה, ולהפעיל אמצעים שונים לשיפור הבטיחות של אותם הולכי הרגל. זאת ועוד, המערכת יכולה לאפשר זרימה שוטפת לרכבים כאשר אין הולכי רגל בסמוך למעבר חצייה, ובכך לצמצם גודש ולהזרים את התנועה באופן מותאם וחכם יותר.

מערכת טכנולוגית לקידום הבטיחות בחצייה כוללת בתוכה שלושה מרכיבים עיקריים:

1. זיהוי הולכי רגל

המערכת מזהה התקרבות של הולכי רגל למעבר חצייה או נוכחות על המעבר חצייה, בעזרת סוג של גלאי (detector)¹ או חיישן (sensor)². הטכנולוגיה לזיהוי הולכי הרגל לא תלויה בסוג מעבר החצייה (מרומזר או לא). הזיהוי יכול להתבצע למשל באמצעות לחצן דרישה המופעל ע"י הולך הרגל, מצלמה המנטרת את מעבר החצייה ואת האזור מסביבו, מכ"מ (רדאר)³, ועוד. עם הזיהוי, הגלאי מייצר טריגר⁴ להפעלת המערכת הכוללת חיוויים להולכי הרגל ולנהגים.

2. חיווי להולכי הרגל

החיווי להולכי הרגל להתחלת החצייה תלוי בסוג המעבר (מרומזר או לא) ויכול להיות אור ירוק ברמזור המיועד להם (ייתכן בתוספת מונה ספירה לאחור), התרעה חזותית כמו עיני חתול על מעבר החצייה או שפת המדרכה, התרעה קולית, ועוד.

3. חיווי אזהרה לנהגים

החיווי או האזהרה לנהגים המתקרבים למעבר החצייה תלוי בסוג המעבר (מרומזר או לא) ויכול להינתן ע"י אור אדום ברמזור לרכב, אור צהוב מהבהב לפני מעבר החצייה, הארה או הבהוב של תמרור הולכי רגל לפניך (306), ועוד.

להלן מספר דוגמאות לפעולות שהמערכת יכולה לבצע במעבר חצייה מרומזר מיד עם הזיהוי (OECD, 1998, p. 172):

- הפעלת הביקוש לחצייה עוד לפני שהולך הרגל מגיע לשפת המדרכה.
- הארכת הזמן הירוק לחצייה אם הולכי רגל עדיין מתקרבים לשפת המדרכה.
- הארכת זמן החצייה אם התפוסה על המעבר חצייה היא מעל רמה מוגדרת.

¹ התקן שנועד לזהות את קיומו של דבר מה ואף להתריע עליו, כגון 'גלאי עשן', 'גלאי מתכות'.

² מכשיר הקולט מידע קיים או משתנה מן הסביבה כגון תנועה, אור וחום, ומתרגם אותו לאותות אלקטרוניים וכדומה, כגון חיישן בדלת מעלית הקולט תנועת אדם ומפעיל מנגנון המונע את סגירתה.

³ מגלה כיוון ומרחק, מכשיר או מערכת לזיהוי מקומם ותנועתם של עצמים במרחב באמצעות גלי רדיו הנשלחים אל העצמים ומוחזרים מהם.

⁴ טריגר (בעברית: מזנק) - דבר המעורר התחלה של תהליך, של תגובה וכדומה.



- הארכת זמן החצייה אם הולכי רגל עדיין נמצאים על המעבר חצייה.
- הקדמת הזמן למתן אור ירוק להולכי רגל כאשר הביקוש הוא מעל סף מסוים.
- קיצור הזמן הירוק להולכי רגל אם לא זוהו הולכי רגל חוצים.

המסמך מציג את הטכנולוגיות הקיימות של שלושת מרכיבי המערכת הטכנולוגית לשיפור הבטיחות בעת חצייה: זיהוי הולכי רגל (פרק א'), חיווי להולכי הרגל (פרק ב') וחיווי אזהרה לנהגים (פרק ג'). לגבי כל טכנולוגיה מוצגת יעילותה במידה ונבדקה על סמך מחקרים והאם היא נמצאת בשימוש בעולם. יש לציין שלא כל הטכנולוגיות המתוארות במסמך מאושרות לשימוש בישראל. המסמך מסיים בסיכום קצר ובהמלצות.

פרק א': זיהוי הולכי רגל

לכל מערכת רמזורים בצומת קיים בקר רמזור הנמצא בארון החשמל ליד הצומת. בקר הרמזור מקבל נתונים מגלאים בצומת ומפעיל את פנסי הרמזורים לפי תזמונים מתוכנתים מראש התלויים בשעות ובימי השבוע ובהתאם למידע המתקבל מהגלאים אם קיימים (מת"ח, 2022)⁵. במידה ולא קיימים גלאים, ניתן אור ירוק להולכי רגל ללא קשר להימצאותם או אי הימצאותם על שפת המדרכה. כמו כן ניתן אור אדום להפסקת ואיסור החצייה ללא קשר לתנועת הולכי הרגל המתקרבים למעבר החצייה או חוצים אותו. יחד עם זאת, תכנון הרמזור מקצה את הזמן הנדרש להשלמת חצייה של הולך רגל הנמצא על מעבר החצייה אם התחיל את חצייתו באור ירוק, גם אם זה התחלף לאדום תוך כדי החצייה. הזמן המוקצב להשלמת החצייה מבוסס על קצב הליכה טיפוסי ואינו משתנה במקרה של הולך רגל איטי (אנשים מבוגרים או אנשים עם מוגבלויות).

במערכת רמזורים הכוללת גלאים להולכי רגל, בקר הרמזור מתזמן את הרמזורים בצורה אחרת "תוך התחשבות" בהולכי הרגל. הגלאים יכולים להיות מופעלים בצורה יזומה ע"י הולכי הרגל (לחצן דרישה), או בצורה אוטומטית ע"י מערכת טכנולוגית חכמה (למשל, מצלמה) המזהה את הולכי הרגל הנמצאים על שפת המדרכה שבכוונתם לחצות את הדרך. ישנן מערכות המסוגלות אף לקבוע אם הולך הרגל זקוק לזמן נוסף כדי לחצות את הדרך ויאריו, במידת הצורך, את זמן החצייה בצורה אוטומטית (Zegeer et al, 2013).

פרק זה מציג את הטכנולוגיות לזיהוי נוכחות ותנועה של הולכי רגל העשויים להעיד על כוונתם לחצות את הדרך.

לחצן דרישה (Request/Push Button)



לחצן דרישה בישראל (מקור: ASK רלב"ד⁶)

לחצן דרישה הוא התקן המבוסס על טכנולוגיה ותיקה ומאפשר זיהוי דרישת הולכי רגל לקבלת אור ירוק (אסק רלב"ד, 2021). במקומות מסוימים, קבלת אור ירוק לחצייה להולכי רגל מותנית בלחיצה על לחצן הדרישה, אחרת האור ברמזור יישאר תמיד אדום. משרד התחבורה מציין על סמך הניסיון בשימוש בלחצנים, שאמינותם נמוכה ומצריכה פעולה יזומה של הולכי הרגל לצורך קבלת האור הירוק במעבר (מת"ח, 1981). מספר מחקרים חקרו את תדירות השימוש

בלחצן דרישה. אחד המחקרים מראה שכמחצית מהולכי הרגל לא לוחצים על הלחצן מכמה סיבות: הם מאמינים

⁵ בהקשר זה יש לציין שישנם צמתים עם חיישנים (גלאים) לרכבים המוטמנים מתחת למשטח הכביש או עליו. לרוב מדובר בלולאות השראות מגנטית, המזהים תנועת/הימצאות כלי רכב ומהווים קלט לבקר הרמזור. נושא זה לא מסוקר בהיותו לא רלוונטי לתוכן מסמך זה.

⁶ <https://ask.ralbad.org.il/%D7%94%D7%95%D7%9C%D7%9B%D7%99-%D7%A8%D7%92%D7%9C/%D7%9E%D7%94-%D7%96%D7%94-%D7%9C%D7%97%D7%A6%D7%9F-%D7%93%D7%A8%D7%99%D7%A9%D7%94>

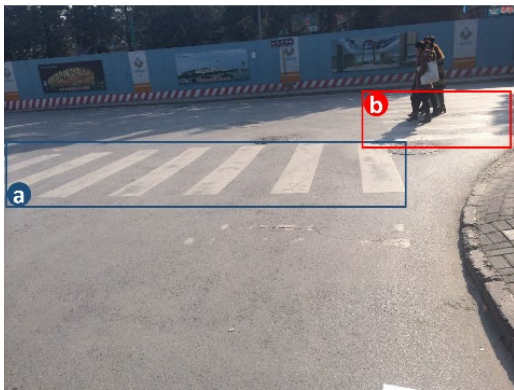
שהלחצן כבר נלחץ ע"י מישהו שהגיע לפנייהם, או שהם חושבים שהלחצן לא יעשה את העבודה עקב ניסיון קודם בלחיצה על לחצן אחר שלא נתן שום משוב ללחיצה, או שהם לא מודעים לכך שיש במקום לחצן דרישה לחצייה (Hughes et al, 2001).

עם לחיצה על הלחצן, ישנן מערכות המספקות משוב חזותי (בצורת חץ מואר בכיוון החצייה למשל), משוב קולי המשרת גם את מוגבלי הראייה ומאשר למשתמש שהפעלת לחצן הדרישה נקלטה במערכת (למשל: "הקריאה נרשמה") או כאמור, ללא משוב בכלל. בישראל, עד יוני 2021, המשוב הקולי היה אופציונלי (ת"י 5990, 2011), וכיום בכל התקנה חדשה, מותקן התקן שמע אחוד הכולל את התקן השמע למוגבלי ראייה ולחצן דרישה הכולל משוב חזותי וקולי (מת"ח, 2021).

במחקר המבוסס על סימולציה שערכו 3 חוקרים מקוריאה, נבדקו זמני ההמתנה של הולכי הרגל וכלי רכב בצמתים עם זמנים מתוכננים מראש לעומת צמתים עם לחצני דרישה. המחקר גילה שלחצני הדרישה מומלצים ומקצרים את זמן ההמתנה הכולל רק במקרים בהם חוצים לפחות 120, 85 ו-70 הולכי רגל בשעה בדרכים בעלי 2, 3 ו-4 נתיבים בהתאמה (Kim et al, 2017).

מחקר אחר בדק את השילוב של לחצן דרישה יחד עם זיהוי קבוצות יעד מסוימות של הולכי רגל לצורך הארכת זמן האור הירוק. תוצאות ההערכה של המחקר הראו שלחצן הדרישה התקבל באופן נרחב והואיל להולכי הרגל (Barabas et al, 2019).

וידאו אנליטיקה (Video Analytics)



זיהוי הולכי רגל חוצים באזורים מוגדרים
(מקור: MDPI⁷)

וידאו אנליטיקה היא טכנולוגיה המעבדת את וידאו דיגיטלי ומפענחת את תוכנו באמצעות אינטליגנציה מלאכותית (AI). עיבוד האות יכול להתבצע במצלמה עצמה או במחשב מרוחק. הביקוש ליישומי וידאו אנליטיקה צובר תאוצה בשנים האחרונות בתעשיות שונות וביניהן תחבורה וערים חכמות⁸.

הטכנולוגיה מבוססת על מצלמת ווידאו המותקנת מעל צומת ומזהה תנועת הולכי הרגל העומדים על סף המדרכה אשר כוונתם לחצות את הדרך או החוצים כבר את הדרך במעבר החצייה. המצלמה יכולה לנטר מעבר חצייה אחד בצומת או מספר מעברים במקביל. המערכת מזהה כניסה של הולכי רגל

לתוך פוליגונים וירטואליים על שפת מעבר החצייה שהוגדרו מראש, והישארותם בתוך הפוליגון, מה שמעיד על כוונתם לחצות את הדרך. כמו כן, אלגוריתמים של למידה עמוקה יכולים לנתח את נתיב התנועה של הולכי הרגל המתקרבים למעבר החצייה, ויכולים לקבוע אם הם מתכוונים לחצות את הדרך או לא.

במחקר מאוניברסיטת טקסס שפורסם ע"י IEEE, נאספו נתונים על ידי מצלמות ניטור תנועה קיימות של עיריית אוסטין לצורך זיהוי אוטומטי של חציית הולכי רגל באזורים מוגדרים. הזיהוי התבצע תוך שימוש באלגוריתמים

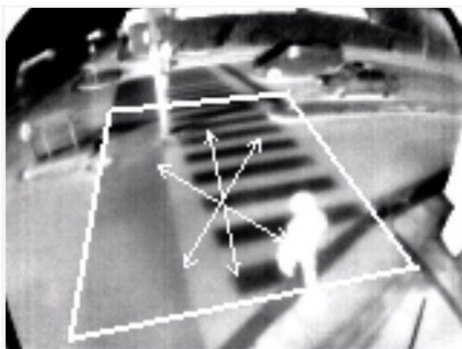
⁷ <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/15/4144/htm>

⁸ <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/video-analytics-market-101114>

קיימים. הנתונים הושאו לספירות שבוצעו בצורה ידנית. התוצאה הראו דיוק של 67% עם שונות משמעותית לאורך שעות היום (Xu et al, 2019).

מחקר אחר שעסק בשיפור הבטיחות של הולכי רגל מציג סקירה מקיפה של מאמצי המחקר העוסקים בבטיחות הולכי רגל והימנעות מתאונות. המחקר מתאר שיטתית את מערכות הבטיחות האקטיביות המבוססות על זיהוי הולכי רגל באמצעות חיישנים ברכב ובתשתיות, וקובע שמניעת תאונות צריכה להתבסס לא רק על זיהוי הולכי הרגל, אלא גם מחייבת חיזוי וניתוח ההתנהגות שלהם. לפיכך, המאמר כולל מחקר העוסק במודל הסתברותי של התנהגות הולכי רגל לצורך חיזוי תאונות בין הולכי רגל וכלי רכב (Gandhi & Trivedi, 2007).

מצלמה תרמית (Thermal Camera)



זיהוי נוכחות הולכי רגל באמצעות הדמיה תרמית (מקור: FLIR⁹)

מצלמת הדמיה תרמית יכולה לבצע הבחנה אמינה בין כלי רכב, הולכי רגל ורוכבי אופניים על סמך חתימת החום שלהם. מצלמה תרמית אינה זקוקה לתאורת רחוב בלילה על מנת לפעול כראוי ואינה יכולה להסתנוור מאור שמש ישיר כמו מצלמה רגילה. תוכנת ניתוח חכמה מפענחת את התמונה התרמית ומעבירה את המידע למערכת בקרת רמזורים.

בניסוי שנערך ע"י אוניברסיטת אורגון בארה"ב לבדיקת דיוק ומהימנות הגילוי ע"י מצלמה תרמית, נמצא דיוק ממוצע של 89% בזיהוי הולכי רגל בצומת מרומזרת כאשר הכשלים העיקריים

כללו זיהוי מאוחר של הולכי רגל שנכנסו לאזור המנוטר, אי זיהוי בכלל, או המשך זיהוי גם כשהולך הרגל יצא מהאזור המנוטר (false positive). כמו כן נמצא כי דיוק המצלמה תלוי בתנאי מזג אוויר ותאורה. במצב של מזג אוויר מעונן או גשום, החיישן במצלמה היה בעל ביצועים טובים יותר בהשוואה למזג אוויר נאה. כמו כן בזמן דמדומים או בתאורה חלשה, הביצועים של המצלמה היו טובים יותר (Larson et al, 2020).

גלאי על קולי (Ultrasonic Sensor)



זיהוי נוכחות הולכי רגל באמצעות גלאי על קולי (מקור: ROSAP¹⁰)

עקרון הפעולה של הגלאי העל קולי מבוסס על שידור גלי קול מרמקול בתדירות על קולית (לא נשמעת ע"י אוזן אדם) ומדידת זמן חזרתו. גלאי על קולי פועל למרחקים קצרים ממילימטרים בודדים ועד 10 מטרים. הגלאי משמש ברפואה (אולטרה סאונד), בתעשיית הרכב (מערכות עזר לחנייה בזיהוי מכשולים או רכבים קרובים) ועוד.

הגלאי יכול לזהות הולכי רגל על סף המדרכה הממתינים לחצייה, אך השימוש בו למטרה זו נמוך וכמעט לא קיים עקב

⁹ <https://www.flir.com/discover/traffic/increasing-safety-and-efficiency-at-intersections-with-flir-its-solutions>

¹⁰ <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/15800>

רגישותו הרבה לתנאי מזג האוויר (טמפרטורה, לחץ אוויר, לחות ורוח) המשפיעים על מהירות הקול ועל דיוק המדידה (Steindel, 2008).

בניסוי בתנאי תנועה איטית (עירונית), הגלאי הוכיח אפקטיביות גבוהה בזיהוי יעיל של משתמשי הדרך. התוצאות הראו זיהוי בשיעור 86% של הולכי רגל, 77% של רוכבי אופניים ו-93% של כלי רכב. הזמן שנדרש לזיהוי היה כ-0.8 שניות, שניתן לקצרו עוד יותר אם המרחק בין העצמים לחיישנים יהיה קצר יותר (Li et al, 2019).



רדאר מיקרוגל (מקור: US DoT¹¹)

רדאר מיקרוגל (Microwave Radar)

עקרון הפעולה של הרדאר דומה לגלאי העל הקולי, אך במקום גלי קול, הרדאר משדר מאנטנה גלים אלקטרומגנטיים בתדירות מסוימת. הגלים החוזרים נקלטים בתדר אחר התלוי בהימצאות האובייקטים במרחב ובמהירותם (אפקט דופלר). הרדאר פועל גם בתנאי מזג אוויר קשים ובראות נמוכה ויכול להגיע לדיוק של סנטימטרים בודדים. השימוש בטכנולוגיה זו לקידום הבטיחות בחצייה נפוץ במספר ערים מרכזיות בעולם (Steindel, 2008).

בניסוי שנערך במספר ערים בארה"ב, הוצבו מערכות המבוססות מיקרוגל ואינפרא אדום (ראה להלן). התוצאות הראו הפחתה משמעותית במספר הקונפליקטים בין הולכי רגל לכלי רכב כמו גם ירידה במספר הולכי הרגל החוצים באור אדום. ההבדלים בין טכנולוגיות מיקרוגל ואינפרא אדום לא היו משמעותיים (Hughes et al, 2001).



גלאי אינפרא אדום הממוקם משני צידי מעבר החצייה (מקור: xwalk¹²)

גלאי אינפרא אדום (Infrared Sensor)

טכנולוגיות אינפרא אדום נפוצה בשימושים רבים כמו חיישני תנועה במערכות אבטחה ביתית, גלאים לפתיחה אוטומטית של דלתות הזזה, שלטים אלקטרוניים לשליטה על מערכות אלקטרוניות קרובות (טלוויזיה למשל), עכבר מחשב, משקפות לראיית לילה ועוד.

בשימוש עבור קידום הבטיחות בחצייה, ביצועי המערכת היו ירודים בחוסר זיהוי של עמידה במקום ואי תנועה של הולכי הרגל. גלאי אינפרא אדום לא יכול לקבוע את מספר האנשים העומדים במקום או להבחין בכיוון תנועתם (Hughes et al, 2001). השימוש בטכנולוגיה זו נבדק באוסטרליה ובניו זילנד וכמעט לא מיושם בעולם (Steindel, 2008).

¹¹ <https://highways.dot.gov/public-roads/novdec-2007/new-look-sensors>

¹² <https://xwalk.com/product-categories/activation-devices/bollards/pedestrian-detection-photo-sensor-/bollards>

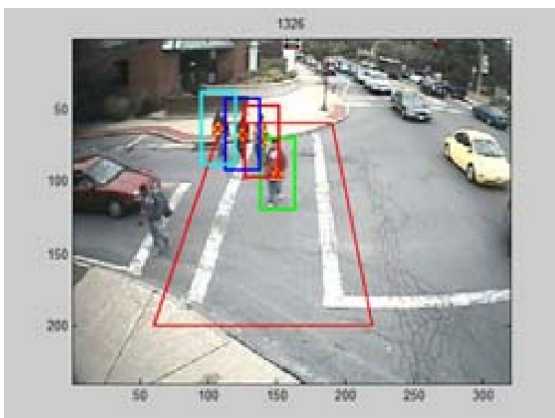
משטח דריכה (Piezoelectric Sensor)



משטח דריכה לפני מעבר חצייה באוסטרליה
(מקור: Steindel¹³)

משטח דריכה מבוסס על תכונת הפיאזואלקטריות (Piezoelectricity)¹⁴ של חומרים. משטח דריכה מקובע למדרכה לפני מעבר החצייה. בדריכה על המשטח, נוצר לחץ מכני על החומר במשטח וכתוצאה מכך המערכת מזהה את הימצאות הולך הרגל הממתין לחציית הדרך. עקב גודלו הקטן יחסית, המשטח מוצב במרכז אזור ההמתנה לפני מעבר החצייה. החיסרון בטכנולוגיה זו היא שהולך הרגל חייב לעמוד על המשטח עצמו ולא לידו כדי להפעיל את המערכת. השימוש בטכנולוגיה זו נמוך ביותר. היה בו שימוש בעבר באוסטרליה וכיום כמעט לא נמצא בשימוש בעולם (Steindel, 2008).

סורק לייזר (Laser Scanner, Lidar)



זיהוי הולכי רגל חוצים בעזרת סורק לייזר
(מקור: SPIE¹⁵)

סורק הלייזר פולט קרני אור ממוקדים לכיוון האזור המנטר וקולט את ההחזרים. כלומר, הלייזר מכוון אל שפת מעבר החצייה או אל מעבר החצייה, ומזהה אנשים העומדים לחצות או חוצים את הדרך. הנתונים המתקבלים עוברים עיבוד תמונה ומדויקים ברמה של סנטימטרים בודדים. היתרונות של הלייזר בטווח הסריקה, הדיוק והרזולוציה הזוויתית מתאימים ליישומים שבהם נדרשת תמונה ברזולוציה גבוהה. מצד שני, הלייזר מושפע מתנאי מזג אוויר כמו ערפל ושלג וטווח המרחק שלו מתקצר. השימוש בטכנולוגיה זו לזיהוי הולכי רגל נמוך ביותר וכמעט לא קיים (Steindel, 2008).

¹³ <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.613.5278&rep=rep1&type=pdf>

¹⁴ תכונה של חומרים מסוימים המייצרים מתח חשמלי כתוצאה מלחץ מכני המופעל עליהם. ככל שהלחץ על החומר חזק יותר, החומר מספק מטען חשמלי גדול יותר.

¹⁵ https://www.researchgate.net/profile/David-Gibson/publication/252788063_A_Multi-Pedestrian_Detection_and_Counting_System_Using_Fusion_of_Stereo_Camera_and_Laser_Scanner/links/59b9df37a6fdcc6872316d08/A-Multi-Pedestrian-Detection-and-Counting-System-Using-Fusion-of-Stereo-Camera-and-Laser-Scanner.pdf?origin=publication_detail

כרטיס חכם (Smart Card)



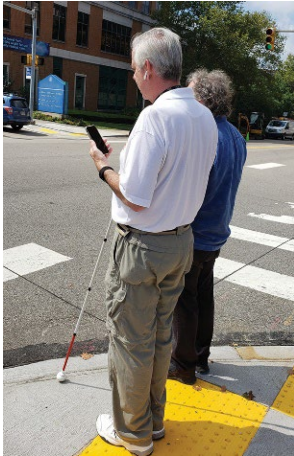
כרטיס חכם להארכת זמן אור ירוק

(מקור: Transport Department, Hong Kong¹⁶)

כרטיס חכם מיועד לאוכלוסייה מבוגרת (+60) ולאנשים בעלי מוגבלויות לצורך הארכת זמן החצייה באור ירוק ברמזור להולכי רגל כדי לאפשר להם את השלמת החצייה בקצב איטי יותר ובאופן בטוח.

המערכת מבוססת על התקן מיוחד הנמצא על שפת המדרכה לפני מעבר החצייה, שאליו ניתן להצמיד את הכרטיס החכם. עם הצמדת הכרטיס, המערכת מאריכה את זמן האור הירוק הנוכחי (במידה ויש אור ירוק ברמזור) או את הבא (במידה והאור ברמזור הוא אדום). הפתרון ממומש בהונג קונג (Octopus Card), באוסטרליה ובסינגפור (Green Man Plus).

אפליקציה בטלפון חכם להולכי רגל עם מוגבלות



הארכת זמן רמזור למוגבלים

(מקור: US DoT¹⁷)

אפליקציה המותקנת על הטלפון החכם וכוללת את פרופיל המשתמש עם אילוץ החצייה האישיים שלו כמו למשל לקויי ראייה הנזקקים לקבלת אינדיקציה על אור הרמזור או המתקשים בהליכה הזקוקים לזמן חצייה ארוך יותר.

עם התקרבות הולך הרגל לצומת הכוללת מערכת גלאים התומכת באפליקציה, ניתן אור ירוק לחצייה לזמן מוגדר בהתאם לפרופיל המשתמש. אם במהלך החצייה נקבע שההתקדמות איטית מדיי ממה שנקבע מראש, זמן החצייה מוארך באופן דינמי כדי לאפשר השלמת החצייה בצורה בטוחה. מחקר שנעשה עבור מנהל הכבישים הפדרלי בארה"ב (FHWA) לא קבע את מידת יעילות הפתרון ולא בדק אם קיימת השפעה על היסח הדעת העלול להיגרם להולך הרגל בעת השימוש באפליקציה לחצייה (Vadakpat et al, 2021).

מערכת (Vehicle to Pedestrian) V2P



טכנולוגיית V2P (מקור: DLR¹⁸)

מערכת V2P היא טכנולוגיה חדשנית המתפתחת בתעשיית עם הפיכת הרכבים לרכבים המקושרים ביניהם (V2V) לבין סביבתם (V2X) והפיכתם לרכבים אוטונומיים. במערכת V2P קיימת תקשורת דו-כיוונית מתמדת בין הרכבים להולכי הרגל באמצעות הטלפון הנייד שלהם או באמצעות התקן אחר

[https://www.td.gov.hk/en/transport in hong kong/pedestrians/pedestrian crossing facilities/smart device/index.html](https://www.td.gov.hk/en/transport%20in%20hong%20kong/pedestrians/pedestrian%20crossing%20facilities/smart%20device/index.html)¹⁶

<https://highways.dot.gov/public-roads/winter-2021/technology-make-signalized-intersections-safer-pedestrians-disabilities>¹⁷

https://www.dlr.de/kn/en/desktopdefault.aspx/tabid-12636/22043_read-50360¹⁸



כמו תווית אלקטרונית (tag) הניתנת להצמדה להולך הרגל ע"י הצמדה לביגוד, ילקוטי תלמידים, כיסאות גלגלים ועוד.

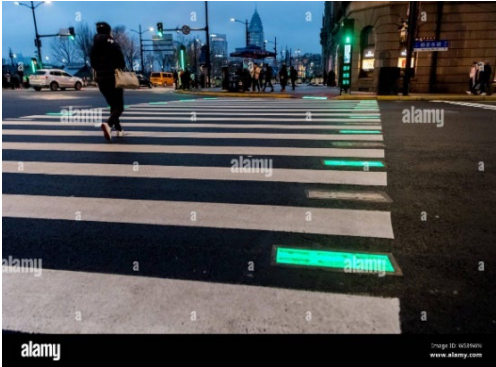
בתקשורת בין הרכבים להולכי הרגל מועברים נתונים לגבי מהירות, מיקום וכיוון התנועה שלהם. נתונים אלו מעובדים לזיהוי, מעקב וחיזוי המסלול של המעורבים ומתורגמים לפלט המגיע להולכי הרגל בצורות שונות. לדוגמא, התרעות לטלפון הנייד, צפוף התווית האלקטרונית, כיתוב ייעודי על שלטים אלקטרוניים ברחוב, הפעלת תאורה בלילה ועוד. כמו כן קיימת אפשרות לתקשורת למערכת בקרת הרמזורים לצורך שינוי זמני הרמזור (Sewalkar & Seitz, 2019; הטכניון, 2018).

פרק ב': חיווי להולכי רגל

בהגעת הולך הרגל לשפת המדרכה בכוונה לחצות את הדרך ועם זיהוי כוונת החצייה, מופעל חיווי כלשהו להולך הרגל המורה לו להתחיל את החצייה בתנאים המאפשרים חצייה בצורה בטוחה. החווי המוכר והשכיח ביותר במעבר חצייה מרומזר, הוא אור ירוק ברמזור להולך הרגל. פרק זה סוקר חיוויים נוספים הניתנים להתקנה במעברי חצייה מרומזרים או לא מרומזרים.

הדגשת אור הרמזור על מעבר החצייה

במעברי חצייה מרומזרים, החיווי מהרמזור להולכי הרגל מודגש ומועצם בצורה כלשהיא על המעבר חצייה. לא ברור האם הפתרון מהווה אזהרה נוספת לנהגים או חלילה לגרום להם לפרש בשוגג את האור המוקרן על הדרך, כחיווי עבורם. ככל הידוע לא נערך מחקר הבודק את אפקטיביות הפתרון.



מעבר חצייה בשנחאי, סין (מקור alamy¹⁹)

חיווי על שפת המדרכה

במעברי חצייה מרומזרים, החיווי מהרמזור להולכי הרגל נמצא גם על שפת המדרכה ותפקידו להתריע להולכי רגל המפנים את מבטם מטה תוך שימוש בטלפון הנייד ולא מודעים לסכנה בחציית הדרך. ככל הידוע, לא נערך מחקר הבודק את אפקטיביות הפתרון.



מעבר חצייה בהולנד (מקור Curbed²⁰)



מעבר חצייה בהולנד (מקור DSTA²¹)

¹⁹ <https://www.alamy.com/a-pedestrian-walks-across-a-zebra-crossing-illuminated-by-led-lights-in-green-near-the-bund-in-shanghai-china-10-january-2019-illuminated-crosswa-image261302433.html>

²⁰ <https://archive.curbed.com/2017/3/28/15080478/pedestrian-crossing-lights-sign-ground>

²¹ https://www.ledinside.com/news/2011/4/osram_20110412

תצוגת מונה הסופר לאחור (PCT - Pedestrian Countdown Timer)

בצמתים מרומזרים קיימת אפשרות להוסיף להולכי הרגל חיווי הכולל מונה זמן הסופר לאחור ומראה את הזמן הנותר לסיום האור האדום ולקבלת אור ירוק (בד"כ מונה בצבע אדום או צהוב) ומראה גם את הזמן הנותר לסיום



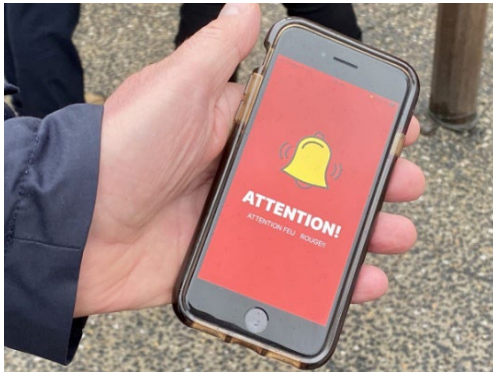
מונה ספירה לאחור להולכי רגל
(מקור: ²²Where the sidewalk starts)

האור הירוק (בד"כ בצבע ירוק או לבן). מונה זה יכול להתעדכן בצורה דינמית ולהציג את מספר השניות הנותר להתחלת החצייה או לסיומה בתלות בכמות הולכי הרגל המתכוונים לחצות או חוצים את הדרך בהתאמה.

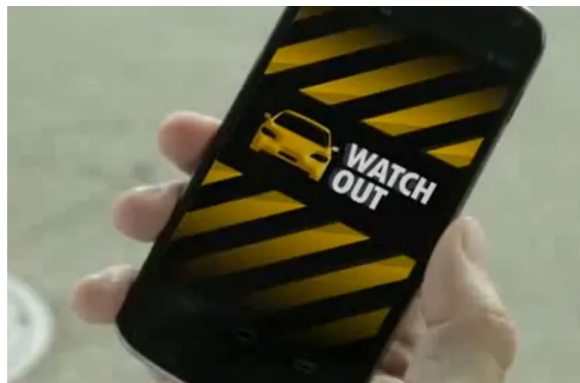
מחקרים שונים בדקו את היעילות שיש למונים לחצייה על בטיחות הולכי רגל. אחד ממדדי הביצוע שנבדקו הוא השינוי בציות של הולכי הרגל לרמזור לפני ואחרי התקנת המונים. בסקירת ספרות והשוואה של מספר מחקרים בנושא נמצא כי השפעות המונים לא היו עקביות. בעוד שמספר מחקרים טענו כי המונים מגדילים את ציות הולכי רגל, אחרים הראו את ההפך. הסיבות לכך נובעות ממספר גורמים וביניהם האזור הגיאוגרפי, סוג הדרך, השעה ביום, נוכחות הולכי רגל אחרים על שפת המדרכה ועוד (Schmitz, 2011).

התרעה בסלולר

אפליקציה בטלפון הנייד המתריעה להולך הרגל בהתקרבות למעבר חצייה בו האור ברמזור הוא אדום. האפליקציה מקבלת תשדורת מהתקן הנמצא ברמזור או באמצעות טכנולוגיית V2P ומתריעה בצורה חזותית, קולית ומוחשית ע"י הפעלת הרטט בטלפון.



התרעה להולכי רגל על אור אדום ברמזור
(מקור: ²⁴Okeenea)



התרעה להולכי רגל על רכב מתקרב (מקור: ²³Wired)

²² <http://www.wherethesidewalkstarts.com/2013/04/will-pedestrian-countdown-signals.html>

²³ <https://www.wired.com/2013/09/honda-pedestrian>

²⁴ <https://www.okeenea-group.com/abeacon-app-amy-alert-smartphone-addicts-crosswalks>



חיווי קולי או חזותי



חיווי קולי על רכב מתקרב (מקור: YouTube²⁵)

המחלקה להנדסת חשמל באוניברסיטת תל-אביב הציגה מערכת המשתמשת בבינה מלאכותית ולמידת מכונה. גלאי המבוסס על מצלמה של טלפון נייד מנטר כלי רכב המתקרבים למעבר החצייה ומעביר אזהרות שונות (קוליות וחזותית) להולכי רגל הנמצאים בסביבה.

<https://www.youtube.com/watch?v=CEyL9RTIFXM>²⁵

פרק ג': חיווי אזהרה לנהגים

תאורת רחוב בלילה



הארה ממוקדת על מעבר חצייה (מקור: neurotraffic²⁶)

תאורת רחוב לילית בעלת אלומה אנכית המאירה את מעבר החצייה ישירות תוך הגדלת הניגודיות לסביבה, מגדילה את נראות הולך הרגל ומשמשת אזהרה עבור הנהגים המתקרבים למעבר החצייה. כאשר מעבר החצייה לא בשימוש במשך מספר שניות, התאורה כבית או שרמת עוצמתה יורדת, והיא נהפכת לתאורה עמומה. הפתרון מיושם עבור מעברי חצייה לא מרומזרים במספר מדינות כמו אסטוניה, פורטוגל, אוסטריה, ועוד.

מחקר שטח בארה"ב שבדק את עוצמת ההארה האנכית בשני מעברי חצייה במקטע דרך, הראה תוצאות מבטיחות עם שיפורים משמעותיים בבטיחות באחד משני מעברי החצייה. על פי המחקר, טכניקת עיצוב תאורה זו, יחד עם חוק זכות קדימה להולכי רגל, גרמה לירידה של 67% בהרוגי הולכי רגל (Hasson et al, 2002).

הדגשת אור הרמזור לנהגים



צומת ביהוד (מקור: דני שכטמן, ערוץ 13²⁷)

במעברי חצייה מרומזרים, החיווי מהרמזור לכלי הרכב מודגש ומועצם בצורה כלשהיא. אחת האפשרויות היא הארת העמוד כולו כמו שנעשה בניסוי בישראל או בהודו. אפשרות אחרת היא הקרנת האור על מעבר החצייה (כפי שמתקיים ברוסיה בחלק מהצמתים). לא ברור האם הפתרון מהווה אזהרה נוספת להולכי הרגל או חלילה גורם להם לפרש בשוגג את האור המוקרן על הדרך, כחיווי עבורם. הניסויים לא הראו תוצאות על יעילות המערכת.

²⁶ https://neurotraffic.at/project_crossing.html

²⁷ <https://13tv.co.il/item/news/domestic/internal/new-traffic-light-system-1172839>



צומת ברוסיה (מקור: LEDiL²⁹)



צומת במומבאי בהודו (מקור: RushLane²⁸)

הארת צידי מעבר החצייה

בפתרון זה מעבר החצייה מואר בצדדיו ע"י תאורת לד או ע"י "עיני חתול" באופן קבוע או מהבהב.

מחקר מאוניברסיטת מרקטורום ברומא בדק את האופן שבו מעברי חצייה מוארים משפיעים על התנהגות הנהגים כאשר הם מתקרבים למעבר חצייה בשעות הלילה. המחקר בדק את מהירות כלי הרכב המתקרבים למעברי חצייה מוארים ולא מוארים. התוצאות הראו השפעה מבטיחה על בטיחות הולכי הרגל. המהירות הממוצעת של הרכבים ירדה ב-19.3% במעברי חצייה בתנאים מוארים. יתרה מכך, השפעה חיובית על הבטיחות, במונחים של הפחתת מהירות ממוצעת (16.4%), נמצאה גם בהיעדר הולכי רגל (Patella et al, 2020).



הארת פסי מעבר חצייה (מקור: Patella et al)

רמזור אור צהוב מהבהב

רמזור אור צהוב מהבהב עם או בלי דמות אדם במצב הליכה (707 בלוח התמרורים), מכונן כלפי התנועה המתקרבת למעבר החצייה ומיועד להזהיר את הנהגים המתקרבים אל מעבר החצייה. עם זיהוי הולך הרגל, האור מתחיל להבהב ומזהיר את הנהגים מפני הולכי רגל המתקרבים אל מעבר החצייה או חוצים אותו.



רמזור אזהרה לנהגים (מקור: Pixabay³⁰)

²⁸ <https://www.rushlane.com/mumbai-traffic-signal-pole-led-12388721.html>

²⁹ <https://www.ledil.com/references/enhanced-lighting-system-improves-pedestrian-crossings-safety-in-russia>

³⁰ <https://pixabay.com/photos/traffic-light-pedestrian-lights-red-1428827>

מערכת אורות אזהרה מלבנית (RRFB)



מעבר חצייה עם מערכת אורות אזהרה
מלבנית לנהג (מקור: ELTEC³¹)

מערכת אורות אזהרה מלבנית (RRFB Rectangular Rapid Flashing Beacon) המורכבת משתי נורות צהובות המהבהבות לסירוגין ביניהן בקצב מהיר ומיועדת למעברי חצייה בקטעי דרך³². מחקר שנערך עבור מנהל הכבישים הפדרלי בארה"ב (FHWA), הראה תוצאה מובהקת בעליה במתן זכות קדימה להולכי רגל מ-18% ל-81% במעברי חצייה עם מערכת אורות אזהרה מלבנית. מערכת אורות אזהרה מלבנית נמצאה יעילה ב-62% יותר לעומת מערכת אור צהוב סטנדרטית. יעילות המערכת נבדקה גם למשך שנתיים ונמצאה יעילה לאורך זמן (Shurbutt & Houten, 2010).



מערכת אורות אזהרה מלבנית (מקור: Kindpng³³)

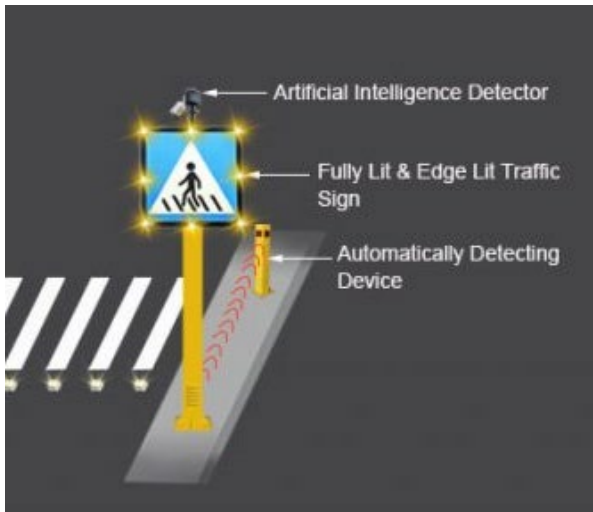
תמרור מואר

עם זיהוי כוונת חצייה של הולכי רגל, תמרור 306 (תן זכות קדימה להולכי הרגל החוצים) מואר בצורה כלשהי כמו למשל תאורה פנימית בגוף התמרור, או באמצעות לדים המקיפים את התמרור, או ע"י תאורה מעל התמרור ועוד. ההארה יכולה להיות קבועה או מהבהבת עד לסיום החצייה.

³¹ [/https://elteccorp.com/products/pedestrian-crossing-systems/rectangular-rapid-flashing-beacon-%28rrfb%29](https://elteccorp.com/products/pedestrian-crossing-systems/rectangular-rapid-flashing-beacon-%28rrfb%29)

³² <https://www.youtube.com/watch?v=0qdOcbkThcg&t=21s>

³³ [/https://www.kindpng.com/imgv/TwxoRJJ_rectangular-rapid-flashing-beacons-and-rrfb-systems-led](https://www.kindpng.com/imgv/TwxoRJJ_rectangular-rapid-flashing-beacons-and-rrfb-systems-led)



מערכת תמרור 306 הנדלקת אוטומטית
(מקור: ELLUMIN³⁵)



הארת תמרור 306 (מקור: ELLUMIN³⁴)



אזהרה בלוח המחוונים ברכב על הולך רגל חוצה
(מקור: Disruptive³⁶)

V2P להתרעה ברכב

V2P (Vehicle-to-Pedestrian) היא טכנולוגיה חדשנית המתפתחת בעולם וכוללת תקשורת ישירה בין כלי רכב להולכי רגל הנמצאים בסמיכות.

נהג הרכב מקבל על לוח המחוונים הודעה על הולך רגל החוצה את הדרך או מתקרב אליה בכוונה לחצות. ההודעה מלווה באזהרה קולית וחזותית ויכולה להשתנות עם התקרבות הרכב אל הולך הרגל.

<https://www.ellumin.com/project/non-light-control-area-intelligent-pedestrian-system%ef%bc%88urban- /type%ef%bc%89> ³⁴

<https://www.ellumin.com/project/non-light-control-area-intelligent-pedestrian-system%ef%bc%88urban- /type%ef%bc%89> ³⁵

<https://disruptive.asia/smart-mobility-consortium-demo-c-v2x> ³⁶



סיכום והמלצות

מעבר חצייה מרומזר או לא מרומזר הוא אזור משותף לנסיעת כלי רכב ולחציית הולכי רגל, כל משתמש דרך, בזמן המוקצב לו. האמצעים הטכנולוגיים לקידום הבטיחות בחצייה נועדו לבצע הפרדה ולהפחית קונפליקטים בין כלי רכב להולכי רגל על מעברי החצייה. המסמך סקר מגוון חיישנים המזהים את הולך הרגל המתקרב אל מעבר החצייה, או נמצא על שפת המדרכה בכוונה לחצות את הדרך, או חוצה את המעבר. כמו כן המסמך סקר מגוון אפשרויות חיווי הניתנים להולך הרגל מצד אחד והאזהרות לכלי הרכב המתקרבים מן הצד האחר.

המסמך כולל הפניות למחקרי אפקטיביות של הטכנולוגיות השונות במידה ונערכו. המסמך לא כולל אל שלל אפשרויות הגילוי, חיווי ואזהרה הקיימים בשוק ואולי אף נמצאים בניסוי או במימוש בעולם. כמו כן המסמך לא התייחס לאופן שילוב מיטבי ואפקטיבי בין הטכנולוגיות השונות לגילוי, חיווי ואזהרה (למשל, חיווי קולי להולכי הרגל בד בבד עם הדלקת או הבהוב תמרור 306 המזהיר את הנהגים המתקרבים למעבר החצייה).

עולם התחבורה צועד לעבר רכבים מקושרים ואוטונומיים (Connected and Autonomous Vehicles) CAV הכוללים תקשורת בין כלי הרכב לבין עצמם (V2V), לסביבתם (V2X) ובין היתר להולכי הרגל ומשתמשי הדרך הפגיעים (V2P). בתקשורת דו כיוונית זו, גם הולכי הרגל וגם הנהגים מודעים טוב יותר אחד על קיומו של השני, ובמידת הצורך מקבלים התרעות כדי להפחית את הקונפליקטים ביניהם.

עד למימוש טכנולוגיית הקישוריות, מומלץ לבחור 2-3 טכנולוגיות לבדיקה מעמיקה יותר ולהשוואה עם פתרונות קיימים. הבחינה יכולה להתבצע תחילה באתר ניסויים ובהמשך בצמתים ציבוריים תוך בחינת רלוונטיות הפתרון, יעילותו מבחינת הבטיחות למשתמשי הדרך ובראשם הולכי הרגל והן מבחינת זרימת התנועה. כמו כן יש לבחון את עלות הפתרון והשפעתו על כלל המשתמשים. יש להגדיר האם הניסוי מתבצע במעברי חצייה מרומזרים או לא מרומזרים. במידה ומתבצע במעברי חצייה מרומזרים, יש לשקול התערבות במערכת הרמזורים לצורך תזמון דינמי בהתאם למצב תנועת כלי הרכב והולכי הרגל.



מקורות

אסק רלב"ד (2021), מה זה לחצן דרישה?

<https://ask.ralbad.org.il/%D7%94%D7%95%D7%9C%D7%9B%D7%99-%D7%A8%D7%92%D7%9C/%D7%9E%D7%94-%D7%96%D7%94-%D7%9C%D7%97%D7%A6%D7%9F-%D7%93%D7%A8%D7%99%D7%A9%D7%94/>

הטכניון (2018), כלי עזר לבקרת תנועה על ידי ניטור תנועה אוטומטי

https://www.gov.il/BlobFolder/reports/final_report_bakarat_tnuah/he/final_report_bakarat_tnuah.pdf

מכון התקנים הישראלי (2011), ת"י 5990 חלק 1 - התקני שמע לרמזורים להולכי-רגל עם מוגבלות ראייה דרישות תפקוד

https://www.sii.org.il/he/%D7%93%D7%A4%D7%99-%D7%9C%D7%95%D7%91%D7%99/%D7%9B%D7%9C%D7%9C%D7%99/%D7%AA%D7%A7%D7%99%D7%A0%D7%94/%D7%93%D7%A3-%D7%AA%D7%A7%D7%9F/?id=0ad82d79-aa64-49b8-b961-9d6231fe430a_HE

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים (1981), הנחיות לתכנון רמזורים.

https://www.gov.il/BlobFolder/guide/planning_traffic_lights/he/hanhayot_leramzorim.pdf

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים (2021), מפרט כללי להצבה ואחזקה של רמזורים סעיף 3.4: התקן שמע למוגבלי ראייה ולחצן להולכי רגל משולבים בהתקן אחד.

https://www.gov.il/BlobFolder/guide/design_traffic_devices/he/detectors_specifications.pdf

משרד התחבורה והבטיחות בדרכים (2021), מפרט כללי להצבה ואחזקה של רמזורים, פרק 6 - בקר הרמזור.

https://www.gov.il/BlobFolder/guide/design_traffic_devices/he/traffic%20lights.pdf

Barabas, D., Banzhaf, D., Titov, W., & Schlegel, T. (2019). Smart Traffic Light Request Button—Improving Interaction and Accessibility for Pedestrians. In HCI International 2019-Posters: 21st International Conference, HCII 2019, Orlando, FL, USA, July 26–31, 2019, Proceedings, Part III 21 (pp. 330-337). Springer International Publishing.

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-23525-3_43

Gandhi, T., & Trivedi, M. M. (2007). Pedestrian protection systems: Issues, survey, and challenges. IEEE Transactions on intelligent Transportation systems, 8(3), 413-430.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4298901>



Hasson, P., Lutkevich, P., Ananthanarayanan, B., Watson, P., Knoblauch, R., & Nitzburg, M. (2002). Field test for lighting to improve safety at pedestrian crosswalks. In 16th Biennial Symposium on Visibility and Simulation Transportation Research Board; University of Iowa, Center for Computer Aided Design, Operator Performance Laboratory.

<https://trid.trb.org/view/721631>

Hughes, R. G., Huang, H., Zegeer, C. V., & Cynecki, M. J. (2001). Evaluation of automated pedestrian detection at signalized intersections (No. FHWA-RD-00-097). United States. Federal Highway Administration.

<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/00097/00097.pdf>

Kim, N. S., Yoon, S. S., & Yook, D. (2017). Performance comparison between pedestrian push-button and pre-timed pedestrian crossings at midblock: a Korean case study. *Transportation planning and technology*, 40(6), 706-721.

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03081060.2017.1325146>

Larson, T., Wyman, A., Hurwitz, D. S., Dorado, M., Quayle, S., & Shetler, S. (2020). Evaluation of dynamic passive pedestrian detection. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 8, 100268.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198220301792>

Li, G., Li, S. E., Zou, R., Liao, Y., & Cheng, B. (2019). Detection of road traffic participants using cost-effective arrayed ultrasonic sensors in low-speed traffic situations. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 132, 535-545.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0888327019304388>

OECD (1998). Scientific Expert Group on the Safety of Vulnerable Road Users (RS7), SAFETY OF VULNERABLE ROAD USERS.

[https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/DOT/RTR/RS7\(98\)1/FINAL&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/DOT/RTR/RS7(98)1/FINAL&docLanguage=En)

Patella, S. M., Sportiello, S., Carrese, S., Bella, F., & Asdrubali, F. (2020). The effect of a LED lighting crosswalk on pedestrian safety: some experimental results. *Safety*, 6(2), 20.

<https://www.mdpi.com/2313-576X/6/2/20>



Schmitz, J. N. (2011). The effects of pedestrian countdown timers on safety and efficiency of operations at signalized intersections.

<https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1028&context=civilengdiss>

Sewalkar, P., & Seitz, J. (2019). Vehicle-to-pedestrian communication for vulnerable road users: Survey, design considerations, and challenges. *Sensors*, 19(2), 358.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6359035/>

Shurbutt, J., & Van Houten, R. (2010). Effects of Yellow Rectangular Rapid-Flashing Beacons on Yielding at Multilane Uncontrolled Crosswalks (No. FHWA-HRT-10-043). United States. Federal Highway Administration. Office of Safety Research and Development.

<https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/41659>

Steindel, M. (2008). Technologies for automated pedestrian detection at signalized intersections.

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.613.5278&rep=rep1&type=pdf>

Vadakpat, G., Smith, S. F., Rubinstein, Z. B., & Dias, M. B. (2021). Technology to Make Signalized Intersections Safer for Pedestrians with Disabilities. *Public Roads*, 84.(4)

<https://highways.dot.gov/public-roads/winter-2021/technology-make-signalized-intersections-safer-pedestrians-disabilities>

Xu, W., Ruiz, N., Pierce, K., Huang, R., Meyer, J., & Duthie, J. (2019, December). Detecting pedestrian crossing events in large video data from traffic monitoring cameras. In 2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data) (pp. 3824-3831). IEEE.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9005655>

Zegeer Charles V., Nabors Dan, Lagerwey Peter (2013). Pedestrian Safety Guide and Countermeasure Selection System.

http://www.pedbikesafe.org/PEDSAFE/countermeasures_detail.cfm?CM_NUM=11