



פרק 4: מרחקי ראות

תוכן עניינים

4-1.....	מבוא	4.1
4-1.....	מרחק ראות מזערי לעצירה	4.2
4-1.....	הגדרת מרחק הראות ומרכיביו	4.2.1
4-2.....	חישוב מרחק הראות	4.2.2
4-3.....	תכנון לרכב כבד	4.2.3
4-5.....	מרחק ראות להחלטה	4.3
4-5.....	הגדרת מרחק הראות להחלטה	4.3.1
4-8.....	הנחות החישוב וערכי התכן	4.3.2
4-9.....	מרחק ראות לעקיפה מלאה	4.4
4-13.....	מרחק ראות לעקיפה דחוקה	4.5
4-14.....	ערכי התכן של הגובה בקצוות קו הראות	4.6
4-15.....	יישום ערכי התכן למרחקי הראות	4.7

פרק 4 – מרחקי ראות

כרך 1 – 04/2018

הנחיות לתכן גיאומטרי של דרכים בין-עירוניות



פרק 4: מרחקי ראות

4.1 מבוא

מרחק הראות (sight distance) הוא אורך קטע הדרך הנראה לעיני הנהג בכיוון הנסיעה. מרחק זה צריך לאפשר לנהג להבחין במתרחש בקטע הדרך בכיוון הנסיעה בעוד מועד, לקבל החלטה על הפעולה שעליו לבצע, ולהשלים את ביצועה בביטחה, תוך שליטה מלאה על תנועת הרכב במהלך הפעולה. הפעולה הנדרשת יכולה להיות: הימנעות מפגיעה במכשול בדרך או ברכב עומד, עקיפת רכב איטי הנוסע לאורך קטע הדרך שלפניו, החלפת נתיב לצורך יציאה או פנייה בצומת וכיוצ"ב, וביצוע התמרון כנדרש מהפעולה. מרחק הראות הנדרש הינו קלט חיוני לתכנון התוואי האנכי של הדרך (ראות ביום בעקומים קמורים, ראות בלילה בעקומים קעורים לא מוארים), ולתכנון התוואי האופקי של הדרך (למשל בעקום אופקי בחפירה ובין עצים, מבנים וכיוצ"ב), וכן בתכנון צמתים ומחלפים.

סוגי מרחקי הראות הנקבעים על פי הפעולה שהם אמורים לאפשר לפי ההנחיות והתקנות התקפות בישראל הינם:

- א. מרחק ראות (מזערי) לעצירה.
- ב. מרחק ראות להחלטה.
- ג. מרחק ראות לעקיפה.
- ד. מרחק ראות לעקיפה דחוקה.

פרק זה מציג את ערכי התכן של סוגי מרחקי הראות השונים, הפרמטרים הנלווים (כגון: תאווה, משך זמן החישה-תגובה, גובה עצם, וגובה עיני נהג), ואת יישום מרחקי הראות לצרכי תכנון הדרכים הבין-עירוניות לפי סיווגן.

4.2 מרחק ראות מזערי לעצירה

4.2.1 הגדרת מרחק הראות ומרכיביו

מרחק הראות המזערי לעצירה (Stopping Sight Distance) הינו האורך המזערי של קטע הדרך שנהג הנוסע במהירות התכן צריך להיות מסוגל לראות, כך שיספיק לעצור לפני מכשול בו הבחין בנתיב נסיעתו (רכב עומד בנתיב הנסיעה, חפץ על הדרך, וכו'). מרחק זה חייב להתקיים לכל אורך הדרך. **מרחק הראות לתכנון הינו המרחק כפי שנמדד לאורך תוואי הנסיעה – מרחק הנסיעה לראות.** קו הראות עצמו, הנמתח כקו ישר בין עיני הנהג לבין העצם הנצפה בגובה שנקבע כמייצג אותו, עשוי בעקום אופקי להיות קצר ממרחק הנסיעה לראות, העוקב אחר תוואי הכביש, כמתואר בפרק הבא בתרשים 5.10. החישובים של מרחק הראות כפי שיובאו להלן מתאימים למרחק הנסיעה לראות.

מרחק הראות לעצירה הוא סכום של שני מרכיבים – מרחק החישה-תגובה ומרחק הבלימה:



- מרחק החישה-תגובה הוא המרחק שהרכב עובר במהלך הנסיעה, מההבחנה במכשול ועד הפעלת הבלמים;
 - משך זמן החישה הוא הזמן שעבר מרגע ההבחנה במכשול ועד ההחלטה להפעיל את הבלמים;
 - משך זמן התגובה הינו הזמן שעבר מרגע ההחלטה להפעיל את הבלמים ועד לתחילת פעולתם המעשית;
 - מרחק הבלימה הוא המרחק שהרכב עובר מתחילת פעולת הבלמים עד לעצירה מוחלטת.
- במהלך השנים השתפרו משמעותית מערכות הבלימה של כלי הרכב המודרניים, כך שגדלה יכולת התאווה לבלימה והתקצרו מרחקי הבלימה. על פי מקורות עדכניים עליהם מתבסס גם AASHTO, החל ממהדורת 2004, מרבית כלי הרכב מסוגלים לבלום במיסעות רטובות בתאווה נוחה של 3.4 מטר/שנייה² ומעלה. הנהג הממוצע אף מגיע לתאווה העולה על 4.5 מטר/שנייה² לפני עצם שהופעתו אינה נצפית מראש. פרמטר התאווה הפך להיות הפרמטר הדומיננטי לקביעת מרחק הבלימה, אם כי השיפור באיכות הצמיגים והתערובות האספלטיות תורמים גם הן להגדלת מקדמי החיכוך להחלקה, וזאת בשילוב המערכות למניעת נעילה (ABS) המותקנות מזה כ-20 שנה בכל כלי הרכב המודרניים, ואשר מבטיחות כושר האטה אחיד ללא חשש להחלקת הגלגלים עקב נעילה.

4.2.2 חישוב מרחק הראות

חישוב מרחק הראות לעצירה מבוסס על ההנחות הבאות:

- א. משך זמן החישה המייצג לצרכי תכן הינו 1.5 שניות, ומשך זמן התגובה המייצג הינו 1.0 שנייה. לפיכך ערך התכן למשך הזמן הכולל לחישה-תגובה הינו 2.5 שניות.
- ב. מהירות הרכב במהלך החישה-תגובה הינה מהירות התכן.
- ג. יעילות הבלימה נקבעת לפי תאווה הבלימה של כלי הרכב. תאווה בלימה זו משקללת את מערכות הבלימה המודרניות של כלי הרכב, ואת איכות הצמיגים המשפיעה על מקדם החיכוך להחלקה בין הצמיגים לכביש. ערכי התאווה המובאים בטבלה 4.1 מבוססים על כביש אספלט רטוב, כאשר מהירות הנסיעה הינה מהירות התכן. הערכים עובדו מהנחיות גרמניות ואמריקאיות עדכניות. ערכי מקדם החיכוך השקול (המחושב מתוך ההאטה) מתאימים להנחות נתיבי ישראל לגבי התערובות האספלטיות המתקדמות (SMA) בהן נהוג כיום להשתמש בכבישים הבין-עירוניים.

מרחק הראות המזערי לעצירה במישור מחושב לפי הנוסחה שלהלן:

$$S_D = \frac{2.5}{3.6} \cdot V_D + \frac{V_D^2}{2 \cdot 3.6^2 \cdot a} = 0.69V_D + \frac{V_D^2}{25.92 \cdot a}$$

כאשר:

- S_D – מרחק הראות המזערי לעצירה (מטר);
- V_D – מהירות התכן (קמ"ש);
- a – תאווה מכונית נוסעים (מטר/שנייה²), השקולה למקדם החיכוך מוכפל בתאוצת הכובד;
- 3.6 – מקדם להתאמת יחידות, מקמ"ש למטר/שנייה.



ערכי מרחק הראות כפי שחושבו מוצגים בטבלה 4.1. הערכים מתאימים לקטע מישורי ולמכונית נוסעים, עבור שיפוע לאורך הקטן מ-3%. ערכים לרכב כבד מוצגים בטבלה 4.2, ולשיפועים – בטבלאות 4.3 ו-4.4.

ערכי התכן של מרחק הראות לעצירה עוגלו עד 5 מטר כלפי מעלה.

טבלה 4.1: ערכי תאווה, מקדמי החיכוך השקולים וערכי התכן למרחק ראות לעצירה

למכונית נוסעים בקטע אופקי*

מרחק ראות – לעצירה – ערכי תכן (*מ')	מקדם החיכוך השקול (a/g)	תאווה, a, (מ'/שני ² *)	מהירות תכן (קמ"ש)
45	0.43	4.19	(140)
60	0.43	4.19	(150)
75	0.43	4.19	60
100	0.40	3.96	70
125	0.38	3.76	80
155	0.36	3.57	90
185	0.35	3.41	100
220	0.34	3.36	110
250	0.34	3.36	120

* קטע מישורי בשיפוע הקטן מ-3%

(1) מרחקי הראות למהירויות התכן הנמוכות (40 ו-50 קמ"ש) אינם רלוונטיים לכרך ההנחיות הנוכחי, אולם ישמשו בהמשך בתכנון מרכיבים בצמתים וברמפות מחלפים. אי לכך ערכים אלה משמשים כבסיס נתונים להמשך, ולפיכך מופיעים בטבלאות, למרות שרק מהירויות התכן בתחום 60-120 קמ"ש מתאימות לתחום מהירויות התכן לקטעי דרך כפי שנקבעו בפרק מדיניות התכן (פרק 2).

4.2.3 תכנון לרכב כבד

ערכי התכן בטבלה 4.1 מתאימים למכוניות נוסעים ולא למשאיות ואוטובוסים, אשר מצריכים מצד אחד מרחק בלימה ארוך יותר, אולם מצד שני עיני הנהג בהם גבוהות יותר (1.8 מטר באוטובוס, 2.4 מטר במשאית), והם אינם מורשים למהירויות העולות על 80-100 קמ"ש, בהתאם למשקל הרכב, כך שיש איזון מסוים. לפיכך מרחק הראות לעצירה עבור מכונית נוסעים מספיק בדרך כלל לצרכי תכנון גם עבור משאית ואוטובוס, למעט המצבים הבאים העשויים להיות מסוכנים למעבר רכב כבד, ומצריכים בדיקה מיוחדת:

א. מכשולים גבוהים המפריעים לראות בעקום האופקי (עצים, חפירה, וכו'), המבטלים את משמעות יתרון גובה עיני נהג הרכב הכבד.



- ב. ירידות ארוכות ותלולות, שבסופן מהירות הנסיעה של הרכב הכבד דומה לזו של רכב הנוסעים.
- ג. נסיעה לקראת מכשול עילי המגביל ראות בעקום אנכי קעור או במעבר תחתי, המגבילים דווקא קווי ראות גבוהים, כגון לשילוט עילי וכיוצ"ב.
- ד. שילוב התנאים הבאים עם עקום אנכי קעור או עם עקום אופקי המגביל ראות:
- 1) בגישה לאזורים בתוואי בהם צפוי שינוי מהירות גדול כמו: עקום מורכב, נתיבי האטה, ואפי רמפות יציאה.
 - 2) לקראת אזורי התמזגות והפחתת נתיב.
 - 3) לקראת אתרי עבודה, בייחוד כאשר חלים שינויים במיסעה.
 - 4) לקראת פניות חדות ברדיוסים אופקיים נמוכים, בהתחשב ביציבות המוגבלת של המשאית בעת ביצוע תפנית חדה.

תנאי הכרחי לתכנון לפי מרחק הראות לעצירה לרכב כבד, הינו שאחוז הרכב הכבד (אוטובוסים ומשאיות במשקל מעל 4 טון) עולה על 10% מהנפח היומי הממוצע לכיוון הנסיעה.

במצבים אלה מומלץ להגדיל את מרחקי הראות מטעמי בטיחות, גם אם נהג הרכב הכבד מכיר בדרך כלל את תוואי הנסיעה יותר מאשר נהג הרכב הפרטי. טבלה 4.2 מציגה את התאוסות ומרחקי הראות לעצירה עבור רכב כבד למצבים שתוארו לעיל. ערכי התאוסות מבוססים על הנחיות אוסטרליות.

טבלה 4.2: ערכי תאוסה, מקדמי החיכוך השקולים וערכי התכן למרחק ראות לעצירה עבור משאיות בקטע אופקי*

מרחק ראות לעצירה – ערכי תכן (מ')*	מקדם החיכוך השקול (a/g)	תאוסה, a, (מ'/שנ"2)*	מהירות תכן (קמ"ש)
50	0.29	2.85	(1 40)
70	0.29	2.85	(1 50)
95	0.29	2.85	60
120	0.29	2.85	70
145	0.29	2.85	80
175	0.29	2.85	90
210	0.28	2.75	(2 100)

* קטע מישורי בשיפוע הקטן מ-3%.

1) מרחקי הראות למהירויות התכן הנמוכות (40 ו-50 קמ"ש) אינם רלוונטיים לכרך ההנחיות הנוכחי, אולם ישמשו בהמשך בתכנון מרכיבים בצמתים וברמפות מחלפים. אי לכך ערכים אלה משמשים כבסיס נתונים להמשך, ולפיכך מופיעים בטבלאות, למרות שרק מהירויות התכן בתחום 60-120 קמ"ש מתאימות לתחום מהירויות התכן לקטעי דרך כפי שנקבעו בפרק מדיניות התכן (פרק 2).

2) מהירויות גבוהות יותר אינן מותרות לרכב כבד, ולכן כל מהירויות הייעוד מ-90 ומעלה יתוכננו לפי מהירות תכן זו.



מבחינה מעשית, בתכנון עקום אנכי קמור, מספיק לתכננו לפי מכונית נוסעים. בעקום קעור, רדיוס ואורך העקום יתוכננו לפי מרחק ראות למשאית, במידה שמוצדק לתכנן למשאית. במצב קריטי של עקום קעור עם מכשול אנכי, יש לחשב את הרדיוסים המותאמים למכונית נוסעים ולמשאית, ולתכנן את העקום לפי הרדיוס המזערי הגבוה מביניהם. לפרטים ראו סעיף 6.4.3.

4.2.4 השפעת השיפוע על מרחק הראות לעצירה

השיפוע האורכי משפיע על מרכיב הבלימה שבמרחק הראות לעצירה. כאשר הרכב נוסע בעלייה, מרחק הבלימה קצר יותר מאשר בקטע אופקי, בניסיעה בירידה, מרחק הבלימה ארוך יותר. מרחק הראות המתחשב בשיפוע האורכי מחושב לפי הנוסחה שלהלן:

$$S_D = \frac{2.5}{3.6} \cdot V_D + \frac{V_D^2}{2 \cdot 3.6^2 (a \pm g \cdot 0.01 \cdot i)} = 0.69 V_D + \frac{V_D^2}{25.92 (a \pm 0.1 \cdot i)}$$

כאשר:

- i – השיפוע האורכי של הדרך באחוזים, (+) עבור עלייה, ו-(-) עבור ירידה;
- g – תאוצת הכובד (9.81 מטר/שנייה²);
- V_D – מהירות התכן (קמ"ש);
- a – תאוצת הרכב (מטר/שנייה²), שקולה למקדם החיכוך מוכפל בתאוצת הכובד.

השימוש בנוסחה הכרחי עבור קטעי דרך בשיפוע אורכי מ-3% ומעלה. טבלאות 4.3-4.4 מציגות את מרחק הראות המזערי לעצירה עקב נסיעה בירידה או בעלייה עבור מכונית נוסעים. לערכי ביניים שאינם מופיעים בטבלה, ניתן לבצע אינטרפולציה ליניארית או להיעזר בנוסחה לעיל. טבלאות 4.5-4.6 מציגות את מרחק הראות המזערי לעצירה בשיפועי ירידה או עלייה, למשאיות.

במסלולים נפרדים של דרך דו-מסלולית יבוצע חישוב מרחק הראות לעצירה עבור כל כיוון בנפרד. בדרך דו-נתיבית ייקבע מרחק הראות לעצירה לפי מצב כיוון הנסיעה במורד.

4.3 מרחק ראות להחלטה

4.3.1 הגדרת מרחק הראות להחלטה

במקרים מסויימים מרחק הראות לעצירה איננו מספיק לנהג, כאשר נדרשים תמרונים נוספים פרט לעצירה. במקומות כאלה הנהג מצפה למרחק ראות גדול יותר, הנקרא מרחק ראות להחלטה (Decision Sight Distance). מרחק הראות להחלטה מיועד לאפשר תמרון שהוא פחות מסוכן מעצירה, אך ארוך יותר. במהלך התמרון הנהג בוחר מהירות ומסלול התואמים את המצב. מרחק זה מאפשר:



טבלה 4.3: מרחקי ראות לעצירה בשיפוע אורכי בירידה – מכונית נוסעים (מ')

שיפוע הירידה					מהירות תכן (קמ"ש)
-10%	-8%	-6%	-4%	-3%	
50	50	45	45	45	⁽¹⁾ 40
65	65	65	65	60	⁽¹⁾ 50
85	85	85	80	80	60
115	110	105	105	105	70
145	140	135	130	130	80
*	175	170	165	160	90
*	*	210	200	195	100
*	*	245	235	230	110
*	*	*	275	265	120

טבלה 4.4: מרחקי ראות לעצירה בשיפוע אורכי בעלייה – מכונית נוסעים (מ')

שיפוע העלייה					מהירות תכן (קמ"ש)
+10%	+8%	+6%	+4%	+3%	
40	45	45	45	45	⁽¹⁾ 40
55	55	55	60	60	⁽¹⁾ 50
70	70	75	75	75	60
90	90	95	95	95	70
110	110	115	120	120	80
*	135	140	145	145	90
*	*	170	175	175	100
*	*	195	205	205	110
*	*	*	235	240	120

* שיפוע אורכי שאיננו מתאים למהירות התכן – ראו טבלה 6.1.
 (1) מרחקי הראות למהירויות התכן הנמוכות (40 ו-50 קמ"ש) אינם רלוונטיים לכרך ההנחיות הנוכחי, אולם ישמשו בהמשך בתכנון מרכיבים בצמתים וברמפות מחלפים. אי לכך ערכים אלה משמשים כבסיס נתונים להמשך, ולפיכך מופיעים בטבלאות, למרות שרק מהירויות התכן בתחום 60-120 קמ"ש מתאימות לתחום מהירויות התכן לקטעי דרך כפי שנקבעו בפרק מדיניות התכן (פרק 2).



טבלה 4.5: מרחק ראות לעצירה בשיפוע אורכי בירידה – רכב כבד (מ')

שיפוע הירידה					מהירות תכן (קמ"ש)
-10%	-8%	-6%	-4%	-3%	
65	60	60	55	55	⁽¹⁾ 40
90	85	80	75	75	⁽¹⁾ 50
120	110	105	100	100	60
155	145	135	130	125	70
190	180	165	160	155	80
235	215	205	190	190	90
*	270	250	235	230	⁽²⁾ 100

טבלה 4.6: מרחק ראות לעצירה בשיפוע אורכי בעלייה – רכב כבד (מ')

שיפוע העלייה					מהירות תכן (קמ"ש)
+10%	+8%	+6%	+4%	+3%	
45	45	50	50	50	⁽¹⁾ 40
60	65	65	65	70	⁽¹⁾ 50
80	80	85	85	90	60
100	105	105	110	110	70
125	125	130	135	135	80
145	150	155	160	165	90
*	180	190	195	200	⁽²⁾ 100

- * שיפוע אורכי שאיננו מתאים למהירות התכן.
- (1) מרחקי הראות למהירויות התכן הנמוכות (40 ו-50 קמ"ש) אינם רלוונטיים לכרך ההנחיות הנוכחי, אולם ישמשו בהמשך בתכנון מרכיבים בצמתים וברמפות מחלפים. אי לכך ערכים אלה משמשים כבסיס נתונים להמשך, ולפיכך מופיעים בטבלאות, למרות שרק מהירויות התכן בתחום 60-120 קמ"ש מתאימות לתחום מהירויות התכן לקטעי דרך כפי שנקבעו בפרק מדיניות התכן (פרק 2).
- (2) מהירויות גבוהות יותר אינן מותרות לרכב כבד, ולכן כל מהירויות הייעוד מ-90 ומעלה יתוכננו לפי מהירות תכן ז.



- א. לחוש את הכיוון הכללי והצורה של תוואי נסיעתו.
- ב. להתכונן ולבצע בביטחה את כל התמרונים הדרושים לנהיגה שאינם דרושים לעצירה, כגון: האצה, האטה, שינוי נתיב, ופניות. תמרונים אלה עדיפים לעיתים על חוסר הברירה שבעצירה מוחלטת.
- ג. לתקן טעויות ולאפשר הימלטות ממכשול בלתי צפוי.

מומלץ כי מרחק הראות להחלטה ייושם במקומות קריטיים לאורך התוואי, בהם נדרש תכנון לפי מרחקי ראות מספיקים להחלטה – מקומות בהם צפויות החלטות בדבר שינוי כיוון או החלפת נתיב: צמתים עם נתיבי פנייה נפרדים, מחלפים – רמפות כניסה ויציאה, נתיבי האטה והאצה, השתזרות, שינוי בחתך לרוחב, אזורי הכוונה המבוססים על איים או סימונים בדרך, אזורי ניגוד בהם תאורה מקומית מוגברת.

למרחק הראות להחלטה שלושה מרכיבים:

- א. מרחק הנסיעה במשך קדם-התמרון,
 - ב. מרחק הנסיעה במשך הבלימה ממהירות הזרימה החופשית (מהירות התכן, לצרכי תכנון) למהירות התמרון.
 - ג. מרחק הנסיעה במשך התמרון.
- קדם-התמרון הוא סכום הזמנים הדרוש לנהג לאבחנה במידע, לחישה ולזיהוי, ובהמשך להחלטה ולבדיקת האפשרות לביצועה. זמן התמרון הוא משך הזמן הדרוש לביצוע מלא של התמרון במהלך הנסיעה כגון: החלפת נתיב או עקיפת מכשול.

המקרים אותם מכיל מרחק הראות להחלטה:

- מרחק הראות להחלטה המחושב לפי שלושת המרכיבים שהובאו לעיל מכיל את המקרים הבאים:
- (1) החלטה לא יזומה של הנהג, כלומר הנהג לא מודע לקיומו של המכשול, ועם ההבחנה בו צריך לנקוט בפעולת התחמקות. מצב זה מכונה בספרות במדינות אחרות גם כמרחק ראות לתמרון (maneuver sight distance).
 - (2) החלטה יזומה של הנהג (תמרון יזום), למשל: שינוי נתיב לקראת פנייה. במצב זה משך קדם-התמרון יכול להיות קצר יותר, והפחתת המהירות קטנה יותר, או שאין בכלל הפחתת מהירות.
 - (3) החלטה יזומה של הנהג על עצירה מלאה בנוחות מרבית, כאשר משך קדם-התמרון מחפה על תאוטה נמוכה יותר.

4.3.2 הנחות החישוב וערכי התכן

- א. הערך המייצג למשך הזמן לקדם-התמרון מורכב מ-2.0 שניות למשך אבחנה, ו-3.5 שניות להחלטה ובחירה – סך הכל 5.5 שניות.
- ב. התחום המייצג של משך זמן התמרון הינו 3.5-4.5 שניות.
- ג. תאוטות הבלימה הינן התאוטות המומלצות לחישוב מרחק הראות לעצירה, טבלה 4.1.
- ד. מהירויות התמרון נקבעו בהתאם למהירות התכן ומוצגות בטבלה 4.7. ככל שמהירות התכן גבוהה יותר, מהירות התמרון גבוהה יותר.
- ה. במקרה של תמרון יזום ומתוכנן מראש, כגון במחלף, משך ההחלטה והבחירה הוא 2.5 שניות, ואין הפחתת מהירות (או יש הפחתה מזערית שלה), אולם ערכי התכן בטבלה 4.7 מייצגים גם מקרה זה.



מרחק הראות להחלטה יחושב לפי הנוסחה שלהלן על בסיס שלושת מרכיביו בהתאמה:

$$S_{DC} = \frac{5.5}{3.6} \cdot V_D + \frac{V_D^2 - V_M^2}{2 \cdot 3.6^2 \cdot a} + \frac{T_M}{3.6} \cdot V_M = 1.53V_D + \frac{V_D^2 - V_M^2}{25.92a} + \frac{T_M}{3.6} \cdot V_M$$

כאשר:

S_{DC} – מרחק ראות להחלטה (מטר);

V_D – מהירות התכן (קמ"ש);

a – תאוצת הבלימה (מטר/שנייה²);

T_M – משך זמן התמרון (שניות);

V_M – מהירות הנסיעה במהלך ביצוע התמרון (קמ"ש).

טבלה 4.7: מרחק ראות להחלטה

120	110	100	90	80	70	60	*50	מהירות תכן (קמ"ש)
80	70	60	60	50	50	40	35	מהירות התמרון (קמ"ש)
3.36	3.36	3.41	3.57	3.76	3.96	4.19	4.19	תאוצת הבלימה (מ'/שנייה ²)
360	325	290	255	220	190	160	135	ערכי תכן – מרחק ראות להחלטה (מ')

* מרחקי הראות למהירות תכן נמוכה (50 קמ"ש) אינם רלוונטיים לכרך ההנחיות הנוכחי, אולם ישמשו בהמשך בתכנון מרכיבים בצמתים וברמפות מחלפים. אי לכך ערכים אלה משמשים כבסיס נתונים להמשך, ולפיכך מופיעים בטבלאות, למרות שרק מהירויות התכן בתחום 60-120 קמ"ש מתאימות לתחום מהירויות התכן לקטעי דרך כפי שנקבעו בפרק מדיניות התכן (פרק 2).

4.4 מרחק ראות לעקיפה מלאה

א. מרכיבי המרחק:

מרחק הראות לעקיפה מלאה (passing sight distance) הינו המרחק הדרוש בדרך דו-נתיבית למכונית נוסעים לצאת מנתיבה, לבצע עקיפה תוך נסיעה בנתיב הנגדי, להשלים את העקיפה, ולחזור בביטחה לנתיבה לפני הרכב הנעקף. חוסר יכולת עקיפה בדרך דו-נתיבית מהווה גורם עיכוב עיקרי להיווצרות שיירות כלי רכב, מה שמעמיס את הדרך, מקטין את רמת השירות, ומסכן את הנהגים המתכוונים לבצע עקיפה.

תמרון העקיפה מתואר בתרשים 4.1. מרחק הראות לעקיפה הינו סכום של ארבעת מרכיבי הנסיעה הבאים של הרכב העוקף:

(1) מרחק תמרון התחלתי, הכולל את מרחק הנסיעה בחישה-תגובה עד למצב של התחלת המעבר לנתיב הנגדי (השמאלי) – d_1 .

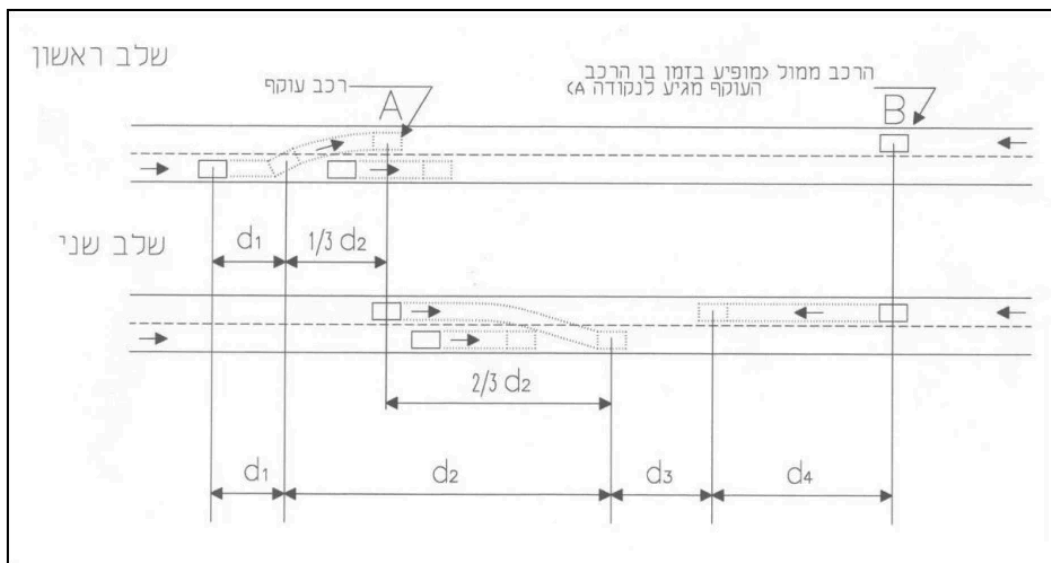
(2) מרחק תמרון במשך הזמן שהרכב העוקף נמצא בנתיב הנגדי – d_2 .



- (3) מרווח בטיחות בין הרכב ממול לבין הרכב העוקף בסוף תמרון העקיפה – d_3 .
- (4) מרחק נסיעה של הרכב ממול לאחר שאותר על ידי הרכב העוקף, מרחק השווה ל- $2/3$ מאורך העקיפה (שני שלישי d_2) – d_4 .

ב. הנחות ועקרונות החישוב:

ההנחה הבסיסית היא שהרכב היוצא לעקיפה יכול להבחין ברכב ממול, לכל המאוחר, בנקודת הזמן בה הנהג העוקף יכול לבחור בין השלמת העקיפה כך שיוותר מרחק בטיחות בינו לרכב ממול, לבין נטישת העקיפה כך שיוכל לבלום ולחזור לנתיב נסיעתו.



תרשים 4.1: תיאור שלבי תהליך עקיפה (מבוסס על TAC 1999)

הנחות ועקרונות החישוב העיקריים הם:

- (1) מהירות הרכב הנעקף אחידה ומהווה 80% ממהירות התכן (עבור משאית – 5 קמ"ש פחות); מהירות הרכב העוקף מושפעת ממהירות הרכב הנעקף, ומחושבת לפי הפרש המהירויות בין הרכב העוקף לרכב הנעקף (m) כפי שנמדד במקרים מייצגים – ראו (5) להלן.
- (2) לפני העקיפה יש פער של 1.0 שנייה בין הרכב הנעקף לעוקף.
- (3) לנהג הרכב העוקף דרושות 2.5 שניות לחישה-תגובה לפני התחלת ההאצה והמעבר לנתיב השני. הזמן t_1 , הכולל זמן חישה-תגובה וזמן נסיעה בו הרכב מאיץ לקראת המעבר לנתיב השמאלי, הינו בתחום 3.6-4.5 שניות – הזמן עולה ככל שמהירות הרכב הנעקף עולה.
- (4) התאוצה (a) של הרכב העוקף הינה בתחום 0.625-0.669 מטר/שנייה².



- 5) הפרש המהירויות בין הרכב העוקף לרכב הנעקף (m) בזמן העקיפה הינו 15 קמ"ש למהירויות תכן 60-70 קמ"ש, ו-11 קמ"ש למהירויות תכן 80-90 קמ"ש ומעלה.
- 6) ערכי התכן לשהות הרכב העוקף בנתיב השמאלי (t_2) עולים ככל שמהירות הרכב הנעקף גבוהה יותר. תחום זמן זה הינו 9.3-11.3 שניות, ונקבע באינטרפולציה לפי מהירויות התכן. במידה שהרכב הנעקף הינו משאית ולא מכונית נוסעים, יש להוסיף לזמן זה 1.5 שניות.
- 7) נטישת העקיפה – אם הרכב העוקף הבחין ברכב ממול עד לנקודה הקריטית של העקיפה, יוכל הרכב העוקף לנטוש את העקיפה ולחזור לנתיב נסיעתו.
- 8) בחזרה מהעקיפה (לנתיב המקורי) יש מרווח בטיחות של 3.0 שניות בין הרכב העוקף לרכב שממול (המרחק d_3), ופער של 1.5 שניות בין הרכב העוקף לנעקף בנתיב הנסיעה.
- 9) מרחק הנסיעה של הרכב ממול (d_4) מחושב לפי משך הזמן בו הרכב העוקף מבצע את תמרון העקיפה לאחר שעבר לנתיב השמאלי באופן מלא. מרחק זה אינו כולל את השלב הראשון בו הרכב העוקף עובר מהנתיב שלו לנתיב השמאלי, שלב בו הרכב העוקף יכול להתחרט ולנטוש את העקיפה. לפיכך הזמן המחושב מהווה שני שלישי מזמן תמרון העקיפה (d_2).
- 10) מהירות הרכב ממול זהה למהירות הרכב העוקף.

ג. נוסחאות החישוב:

נוסחאות החישוב מבוססות על AASHTO (2004), כאשר d_{PSD} הוא מרחק הראות לעקיפה מלאה:

$$d_{PSD} = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

$$d_1 = \frac{t_1}{3.6} \cdot \left(V_p - m + \frac{a \cdot t_1}{2} \right)$$

$$d_2 = \frac{V_p}{3.6} \cdot t_2$$

$$d_3 = \frac{V_p}{3.6} \cdot 3$$

$$d_4 = \frac{2}{3} \cdot d_2$$

V_p – מהירות ממוצעת של הרכב העוקף (קמ"ש).

ד. ערכי התכן:

ערכי התכן למרחק הראות לעקיפה מלאה התלויים במהירות התכן מוצגים בטבלה 4.8. בטבלה מוצגים ערכי הפרמטרים: t_1 , t_2 , m , a וכן d_1 , d_2 , d_3 , d_4 המהווים את הבסיס לחישוב בהתאם להנחות ועקרונות החישוב שצוינו לעיל. הערכים מתאימים לרכב נעקף שהינו מכונית נוסעים.



ערכי התכן של מרחק ראות לעקיפה מלאה אינם מיועדים לצורך קביעת הסימון, אלא לשם הבטחת קטעים ארוכים מספיק, הפנויים לתמרון עקיפה מלא למרבית הנהגים – ראו סעיף 4.7 להלן.

טבלה 4.8: מרחק ראות לעקיפה מלאה

*100	*90	80	70	60	מהירות תכן (קמ"ש)
80	72	64	56	48	מהירות רכב נעקף (קמ"ש)
91	84.3	77.7	71	63	V_p – מהירות ממוצעת, רכב עוקף (קמ"ש)
4.2	4.1	4.0	3.9	3.8	t_1 (שנ')
0.658	0.658	0.639	0.639	0.625	a (מ'/שנ' ²)
11	12.3	13.7	15	15	m – הפרש מהירויות עוקף-נעקף (קמ"ש)
10.6	10.4	10.2	10.0	9.7	t_2 (שנ')
99	88	76	66	55	d_1 (מ')
269	244	220	197	171	d_2 (מ')
76	70	65	59	53	d_3 (מ')
179	163	147	131	114	d_4 (מ')
625	565	510	455	395	ערכי תכן: מרחק ראות לעקיפה מלאה d_{PSD} (מ')

* מהירויות תכן מעל ל-80 קמ"ש בדרכים חד-מסלוליות, מיועדות רק למקרה של שלב בנייה של נסיעה דו-סיטרית במסלול ראשון מתוך שניים של דרך מחולקת עתידית – ראו סעיף 2.3.3.

ה. השפעת השיפוע האורכי:

בנסיעה בירידה, לרכב העוקף יש אמנם יתרון עקב יכולת תאוצה גבוהה יותר מאשר במצב מישורי, אולם גם הרכב הנעקף מקבל את אותו יתרון. בנסיעה בעלייה, התאוצה של הרכב העוקף נמוכה יותר יחסית למצב במישור, והרכב הנגדי עשוי להאיץ יותר מהרגיל. מצד שני, משאיות מאבדות יותר מהירות במהלך העלייה בשיפועים מסוימים. לצרכי תכנון, במצב של עלייה מומלץ להשתמש בערכי תכן יותר גבוהים מהערכים המומלצים למצב מישורי, אך לא מוצגים ערכי תכן ספציפיים לכך.



4.5 מרחק ראות לעקיפה דחוקה

מרחק הראות לעקיפה מלאה הינו ארוך ושמרני יחסית. למרבית הנהגים מספיק מרחק ראות קטן יותר לביצוע תמרון עקיפה, למשל, ישנן עקיפות קצרות יותר כאשר הרכב הנעקף הינו רכב איטי הנוסע במהירות הנמוכה בהרבה ממהירות התכן או מהמהירות המותרת, או כאשר העקיפה מתבצעת ללא עיכוב, ולכן לא נדרשת האצה ממהירות איטית. מרחק הראות לעקיפה דחוקה הינו מרחק הראות המזערי שמתחתיו אסורה העקיפה לכל כלי הרכב – משמעות מרחק זה הינה שגם לרכב מהיר לא תותר עקיפה. בכל קטע כביש דו-סיטרי (חד-מסלולי) בו לא מתקיים מרחק ראות זה, יסומן קו הפרדה רצוף כפול (803) בין שני הנתיבים.

הגדרות החישוב וערכי התכן:

- נטישת עקיפה – נהג אשר טרם הגיע לנקודה הקריטית, יכול לנטוש אותה ולחזור לנתיבו מאחורי הרכב הנעקף. הנקודה הקריטית מוגדרת כנקודת הגעת הרכב העוקף לחזית הרכב הנעקף (אחרי כ-40% מהעקיפה), או לנקודה בה המרחק הדרוש להשלמת העקיפה שווה למרחק הדרוש לנטישתה.
 - מרווח הבטיחות לרכב ממול בסוף העקיפה הינו שנייה אחת.
 - משך זמן התגובה להחלטה הוא 1 שנייה, והתאווה במקרה של נטישה היא 3.4 מטר/שנייה².
- חישוב מרחק הראות לעקיפה דחוקה, לפי ההנחה שהוא מתחיל מהנקודה הקריטית של נטישת העקיפה כאשר נותרו לנהג העוקף $0.6 \cdot d_2$ להשלמת העקיפה:

$$d_{RPSD} = (0.6 \cdot d_2) \cdot 2 + \frac{1}{3} d_3$$

כאשר d_{RPSD} הוא מרחק הראות לעקיפה דחוקה. ערכי d_2 לצורך הערך הנוכחי אינם של העקיפות הארוכות ביותר כמו בנוסחה הקודמת, אלא דווקא של העקיפות הקצרות ביותר שעדיין ניתן לאפשר, ולכן הערכים בטבלה 4.9 הם המזעריים לצורך סימון מתן עקיפה. במידה שלא מתאפשרים ערכים אלו, יש לבחון האם מוצדק להתקין נתיב עקיפה בהתאם לסעיף 3.9.2 בפרק 3 – "חתי רוחב מיוחדים", הדן בנתיבי עקיפה. רצוי גם לא לסמן בין שני קטעי איסור עקיפה קטע שבו מותרת העקיפה, אם אורכו קטן מהאמור בטבלה.

טבלה 4.9: מרחק ראות לעקיפה דחוקה

מהירות תכן (קמ"ש)	100*	90*	80	70	60
ערכי תכן	350	320	290	260	220

* מהירויות תכן מעל ל-80 קמ"ש בדרכים חד-מסלוליות, מיועדות רק למקרה של שלב-ביניים של נסיעה דו-סיטרית במסלול ראשון מתוך שניים של דרך מחולקת – ראו סעיף 2.3.3.



4.6 ערכי התכן של הגובה בקצוות קו הראות

יישום מרחקי הראות בתכן הגיאומטרי של התוואי מחייב את קביעת הגובה התכנוני בשני קצות קו הראות הנמדד לאורך ציר נתיב הנסיעה. קצהו האחד של הקו ממוקם בגובה עיני הנהג במכונית נוסעים – 1.05 מטר מפני הכביש. במידה שהתוואי מתוכנן למשאית, הערך המומלץ לגובה עיני נהג משאית הינו 2.4 מטר (סעיף 4.2.3). בתוואי בלעדי לאוטובוסים – 1.8 מטר.

גובה קצהו השני של קו הראות (גובה עצם) משתנה בהתאם לסוג מרחק הראות:

א. מרחק הראות לעצירה – בקריטריון זה יש להפריד מבחינה מעשית בין דרכים המתוכננות למהירויות תכן נמוכות לבין דרכים המתוכננות למהירויות תכן גבוהות:

ככלל, כל עצם שגבהו מעל 0.15 מטר מהווה לכאורה סיכון עבור מכונית נוסעים ועשוי לחייבה לעצירה, אלא שמחקרים שנעשו בעשור האחרון הוכיחו כי נהגים אינם מסוגלים להבחין בעצם בגודל כזה במרחק העולה על 150 מטר, אלא אם העצם מובלט באופן מיוחד ע"י צביעה או החזר אור. מרחק זה מתאים למרחק ראות לעצירה למהירות תכן של 90 קמ"ש לכל היותר.

בישראל, מהירויות תכן אלה מאפיינות בעיקר דרכים חד-מסלוליות, שהן במקרים רבים דלילות תנועה או באזורים מרוחקים, המצויים ברמות בקרה ותחזוקה נמוכות יותר, ולכן בסבירות גבוהה יותר להימצאות מכשול שטרם אובחן ופונה. במקרה של קירות חפירה הגורמים לדרדרת, הם קרובים יותר לכביש.

מהירות התכן הגבוהות יותר מאפיינות בישראל דרכים דו-מסלוליות, בהן התנועה רבה יותר, רמת הבקרה והתחזוקה גבוהות יותר, המדרונות מרוחקים יותר מהכביש, והסבירות להיתקל במכשול על הנתיב קטנה יותר. הסיכון העיקרי בדרכים כאלה הוא אי-הבחנה ברכב שתקוע בדרך, או שעומד על השול ובולט לכביש, או בקצה האחורי של פקק תנועה שנגרם עקב גודש, מקרה חירום וכיוצ"ב.

לאור האמור לעיל, **גובה העצם לתכנון למרחק ראות לעצירה יהיה:**

(1) בדרכים חד-מסלוליות – 0.15 מטר מהסיבות הבאות:

א. לא ניתן לעקוף את העצם בנתיב סמוך בכיוון הנסיעה.

ב. הדרך פחות בטיחותית מדרך דו-מסלולית. מאחר שהדרך פחות מתוחזקת מאשר דרך דו-מסלולית, מומלץ לתת לה יתרון בגובה עצם נמוך יותר, מה שיגדיל את רדיוסי אורכי העקומים הקמורים וכן האופקיים במקרה של מגבלות ראות, ולפיכך יעלה את בטיחות הנסיעה.

(2) בדרכים דו-מסלוליות – 0.60 מטר – זה גובה הפנס האחורי של מכונית נוסעים. גובה זה מאפשר עדיין הבחנה גם בחיות בינוניות שמשוטטות בכביש. (הנהגים אינם מסוגלים כאמור להבחין בעצם בגובה 0.15 מטר בנסיעה במהירויות גבוהות האופייניות לדרך דו-מסלולית).

(3) לפני צומת לא מרומזר או לפני צומת מרומזר ללא תוספת נתיבים לקראת הצומת – 0.15 מטר (גובה אבן שפה), להבחנה באף פיס' במחלף או בגובה אבן שפה (מפרדה או מדרכה) באזור צומת.



- ב. מרחק ראות להחלטה – מתאים בדרך כלל למהירויות גבוהות יחסית (לתמרון שאיננו עצירה, או עצירה נוחה בתאווה נמוכה). גובה העצם בקטעי דרך יהיה 0.60 מטר במרכז נתיב הנסיעה. לפני מחברי מחלף, או באזור המחלף לאורך דרך דו-מסלולית ממחלפת, ייושם מרחק ראות להחלטה עם גובה עצם של 0.15 מטר (גובה אבן שפה של אף פיזי), כמפורט בסעיף 6.8.2 בכרך מחלפים (כרך III) במהדורתו המעודכנת.
- לאורך נתיב האצה יובטח מרחק ראות להחלטה מסוף תפנית הרמפה עד סיום נתיב האצה בגובה עצם של 0 ס"מ בתנאי נסיעה במהירות ממשית בסוף נתיב האצה, כמפורט בסעיף 6.8.1 בכרך המחלפים (כרך III) במהדורתו המעודכנת.
- לפני צומת ייושם גובה עצם של 0.15 מטר (גובה אבן שפה), להבחנה בצומת מרומזר בו נוספו נתיבים לקראת הצומת כמפורט בכרך הצמתים (כרך II).
- ג. מרחק ראות לעקיפה מלאה ולעקיפה דחוקה – גובה העצם יהיה גובה זווית הגיזרה המזערית הנדרשת להבחנה בגג מכונית נוסעים נוסעת שגובהה 1.30 מטר במרכז הנתיב הנגדי, כדי לקלוט שהיא מתקדמת לעברך. גובה זה הוא 1.05 מטר – גובה שיבטיח גם ששני הנהגים יכולים לראות זה את זה.
- ד. במצב של שילוב מכשול עילי ועקום אנכי קעור מומלץ להשתמש בערכי קיצון של גובה עיני נהג 2.4 מטר (נהג משאית) וגובה עצם 0.60 מטר (פנס אחורי) כמתואר בתרשים 6.6 בסעיף 6.4.3 העוסק בראות בעקום קעור. במקרה של שילוב עילי לאחר מכשול נמוך, מומלצת בדיקה לראות השלט ע"י נהג משאית ולא רק מכונית נוסעים.
- בדיקת מצב הראות בעקומים אופקיים ואנכיים מחייבת לעיתים את פרישת קו הראות כמתואר בסעיף 5.6 בפרק 5 (התוואי האופקי).

4.7 יישום ערכי התכן למרחקי הראות

בתכן תוואי הדרך משתמשים במרחקי הראות השונים במספר מרכיבים: בעקומים אנכיים, בעקומים אופקיים (בדרך כלל כאשר הדרך בחפירה או בין מבנים, עצים, וכו'), בצמתים ובמחלפים. מרחקי הראות לתכן הם על פי מדרג הדרכים, כמפורט בטבלה 4.10.



טבלה 4.10: יישום מרחקי הראות לתכן על בסיס סיווג הדרך

סיווג הדרך					מרחק הראות לתכן
מקומית	דו-נתיבית אזורית	דו-נתיבית ראשית	דו-מסלולית ראשית/אזורית	מהירה	
תמיד	תמיד	תמיד	תמיד	–	מזערי לעצירה
–	בכל הוספת או הפחתת נתיב	לפני צמתים**, במחלפים, בהוספת או הפחתת נתיב	לפני צמתים**, במחלפים, בהוספת או הפחתת נתיב	המרחק הבסיסי לתכן*	להחלטה
–	תדירות בק"מ – כל 1/20 ממהירות התכן בקמ"ש	תדירות בק"מ – כל 1/20 ממהירות התכן בקמ"ש.	–	–	לעקיפה
יש לאפשר עקיפה דחוקה כל 3 ק"מ	מתחת למרחק זה חל איסור עקיפה (סימון 803)	מתחת למרחק זה חל איסור עקיפה (סימון 803)	–	–	לעקיפה דחוקה

* בדרך מהירה, המיועדת לנסיעה של נפחי תנועה גדולים של רכב מנועי בלבד במהירויות גבוהות וללא הפרעות (אין צמתים, אין שימושי קרקע), המגמה היא לאפשר לנהגים לראות לפנייהם לכל אורך הדרך מרחק גדול יותר מהמרחק המזערי המאפשר עצירה בלבד, כדי לאפשר להם הרגשת נהיגה נינוחה ורגועה יותר.

** לפני צומת מרומזר בו נוספו נתיבים לקראת הצומת.

במידה שתוכננה דרך דו-מסלולית, אולם בשלב ראשון נפתח לתנועה מסלול אחד בלבד כדרך דו-סיטרית, יישום מרחקי הראות לשלב זה לשני כיווני הנסיעה במסלול האחד שהופעל לתנועה, יתבסס על דרך דו-נתיבית – ראו סעיף 2.3.3.