



השלכות אקולוגיות של תאורת כבישים בישראל והצעות לפתרון

ד"ר נעם לידר
פרסומי חטיבת המדע

יולי 2008, תשס"ז

כולנו אוהבים להגיע במהירות ובנוחות ממקום למקום. מעטים מאיתנו חושבים על כך שאנחנו נוסעים בתוך הבית של חיות הבר. כבישי ישראל פולשים אל תוך ביתם של חיות הבר בשטחים הפתוחים ומפריעים לחיות הבר. ההפרעות הן מסוגים שונים, רעש, תאורה, קיטוע בתי גידול, הרג וזיהום. ארץ ישראל מיוחדת במגוון של בתי גידול הפזורים בשטח קטן יחסית, חשיבותם גדולה כי בדרך כלל הם ממוקמים בקצה גבול תפוצה ורגישותם גדולה מאד עקב צפיפות התשתיות והפיתוח הרב המתקיים בארץ. תפקידה של רשות הטבע והגנים היא להמליץ על אמצעים לצמצום הנזק שגורמים הכבישים לחיות הבר. זהו פרסום שני של רטי"ג העוסק בממשק שבין חיות הבר והכבישים.

הפרסום הראשון עסק במעברי בעלי חיים בכבישים, ופורסם בשיתוף פעולה עם מע"צ והמשרד להגנת הסביבה. פרסום זה עוסק בתיאור הנזקים של תאורת הכבישים ובאפשרויות למזעור הנזקים.

הכבישים משמשים עורקים הקושרים בין אוכלוסיות בני אנוש, ובה בעת, משמשים כחסמים בעורקי הקשר שבין אוכלוסיות טבעיות. חשיבות הקשר שבין אוכלוסיות טבעיות עוברת כחוט השני בכל מסמכי המדיניות של הרשות העוסקים בשימור שטחים, ומנחה את פעילותינו היומיומית. שימוש לא מושכל בתאורה בכבישים, מגביר את ההפרעה ומגדיל את הניתוק בין האוכלוסיות, ופוגע באוכלוסיות המתקיימות בסמוך לכבישים. שימוש מושכל יצמצם את הנזקים.

הייחוד של פרסום זה הוא בכך שהוא לא מסתפק בהצגת הבעיה, אלא גם בהצגת פתרונות. גם אם נצליח ליישם את כל ההמלצות במסמך זה בכל כבישי ישראל, יש בפתרונות אלה רק בכדי להקטין את ממדי הפגיעה, אך לא למנוע אותה. תכנון נכון של כבישים והרחקתם מהשטחים הפתוחים, הם שיקטינו את ממדי הפגיעה באוכלוסיות הצמחים ובעלי החיים בישראל.

אנו קוראים לכל הגופים העוסקים בתכנון ובבניית כבישים בישראל לאמץ את מסקנות המסמך וליישם אותן.

יהושע שקדי,

מדען ראשי

רשות הטבע והגנים

יובל פלד

מנהל חטיבת תכנון ופיתוח

רשות הטבע והגנים

4	מבוא
5	השלכות אקולוגיות של תאורת לילה מלאכותית
7	הנחיות לתכנון מאור בדרכים
11	המלצות
13	ריכוז המלצות
14	ספרות
16	נספח I : כבישים רגישים אקולוגית- צווארי בקבוק בכבישים קיימים
20	נספח II : תוכנות מחשב לתכנון תאורת כבישים והערכת ההשפעה הסביבתית
22	נספח III : בעיית קינון ציפורים בעמודי תאורה בצמתים ודרכי פתרון



"When it is dark enough, you can see the stars."

Ralph W. Emerson (1803-1882)

(רעש, תאורה, אבק זיהום מים ואויר) בטווחים משמעותיים מהכביש. בעוד שהמלצותיהם של שקדי ושדות (2004) לגבי הצורך ביצירת מעברים המאפשרים תנועה של בעלי-חיים פותרים חלק מהבעיות הללו, יש צורך לתת את הדעת גם לבעיות הנוספות שכבישים יוצרים, אשר מעברים בלבד אינם פותרים. במסמך זה נתרכז בנושא תאורת כבישים, השפעותיה השליליות על בעלי-חיים ודרכים אפשריות לצמצום השפעות אלו.

במהלך מאה השנים האחרונות התגברו ההיקף והעצמה של תאורת לילה מלאכותית בה משתמש האדם לממדים שיש להם השפעה מכרעת על הביולוגיה והאקולוגיה של בעלי-חיים בטבע. מכלול ההשפעות השליליות של תאורת לילה מלאכותית מכונה "זיהום אור". אחת ההשלכות של תאורה רבה באזורים מיושבים היא שבלילות מעוננים, ערים שבהן תאורה רבה, מוארות גם ע"י אור המוחזר מהעננים. היות שנורות נטרן מהוות בדרך-כלל את מרבית מקורות האור בערים, זה גורם לשמי הלילה להיכבד בגוון כתום. אם השמיים בהירים, האור יוקרן לגובה רב, (במיוחד במקומות בהם הלחות באטמוספירה גבוהה יחסית, כמו מישור החוף), דבר שגורם ליכולתנו לזהות מרכזים אורבניים גדולים מרחוק, וזאת על-פי ההילה הכתומה האופפת אותם. מלבד ההשפעות האסתטיות ובזבוז האנרגיה, לזיהום אור עשויה להיות השפעה שלילית ניכרת על עולם החי.

בארה"ב וברבות ממדינות אירופה קיימים ארגונים העוסקים בצמצום "זיהום אור", חלקן הגדול של מדינות אלו אף חוקק תקנות מחמירות בניסיון להפחית את השפעתו. לרשימת ארגונים ראה באתר של ארגון International Dark Sky Association (www.darks.org). נכון להיום, בישראל לא ידוע על

מבוא

מדינת ישראל נמצאת בין המדינות הצפופות ביותר בעולם. לישראל שטח של כ-22 אלף קמ"ר, ובה מתגוררת ב-2007 אוכלוסייה בת 7.1 מיליון תושבים, המשמעות היא צפיפות של כ-320 נפשות לקמ"ר. צפיפות אוכלוסין שכזאת מצריכה קיום תשתיות נאותות ובשנים האחרונות אנו עדים לפעילות פיתוח אינטנסיבית בתשתיות (כבישים, מסילות ברזל), פעילות שלא תמיד עולה בקנה אחד עם צרכי הטבע.

רשות שמורות הטבע והגנים הלאומיים (להלן הרשות) ממונה, על פי חוק, על שמירת ערכי הטבע במדינת ישראל: בשמורות הטבע, בגנים הלאומיים, בשטחים הפתוחים וגם בשטחים הבנויים.

כחלק מעבודתה, משקיעה הרשות בשיתוף עם מע"צ (החברה הלאומית לדרכים בישראל בע"מ) וגורמי תכנון ופיתוח נוספים, מאמצים רבים כדי להבטיח שבתכנון עבודות פיתוח תשתיות כבישים תינתן הדעת להפחתת הנזק האקולוגי הנגרם על-ידי האדם לאוכלוסיות טבעיות של חי וצומח. אלה כוללים כתיבת מסמכי מדיניות כמו "המסדרונות האקולוגיים בשטחים פתוחים" (שקדי ושדות 2000), "מעבר בעלי-חיים בכבישים, מדיניות והמלצות לפעולה" (שקדי ושדות 2004), והדרישה לשיקום אקולוגי ונופי לאחר סיום פרויקטי תשתית גדולים המתבצעים בשטחים הפתוחים.

עבודתם של שקדי ושדות (2004) בנושא מעבר בעלי-חיים בכבישים מדגישה שכבישים הם אחד הגורמים העיקריים לפגיעה בבעל-חיים, וזאת ע"י צמצום בתי גידול, דריסות, קיטוע (כלומר, הפרדה פיזית בין חלקי אוכלוסיות והשפעה על אפשרויות הרבייה שלהן ועל כושרן הגנטי), והשפעות לוואי מרחביות

אף ארגון העוסק באופן פעיל בסוגיה זו, או על קידום חקיקה מתאימה בנושא.

במסמך זה, הכולל שלושה פרקים, אנסה (א) להגדיר את הבעיה האקולוגית כתוצאה מ"זיהום אור"

והשלכותיה; (ב) להסביר את מדיניות מע"צ בתכנון התאורה בדרכים; (ג) להציע פתרונות אשר עשויים להפחית את מידת "זיהום האור" באזורים רגישים מבחינה אקולוגית.

השלכות אקולוגיות של תאורת לילה מלאכותית

מכלול ההשפעות השליליות של תאורת לילה מלאכותית בה משתמש האדם מכונה כאמור "זיהום אור". יש להבחין בין "זיהום אור אסטרונומי", אשר מעלים את המראה של הכוכבים בשמי הלילה, לבין "זיהום אור אקולוגי" אשר משנה את משטרי התאורה הטבעיים בבתי-גידול יבשתיים ואקוויטיום. בפרק זה אתמקד בהשפעותיו של "זיהום אור אקולוגי".

חלק מההשפעות ההרסניות של תאורה על קבוצות טקסונומיות שונות של בעלי-חיים ידועות מזה זמן רב וזכו לפרסום בציבור, כמו התמותה המסיבית של עופות נודדים סביב מבנים גבוהים ומוארים, וחוסר יכולתם של צבי-ים המגיחים מביציהם על החוף למצוא דרכם אל הים. דברים אלה מביאים לטריפה מוגברת ומוות, זאת כתוצאה מריבוי אורות סביב חופי-ים. השפעות נוספות של תאורת לילה מלאכותית על ההתנהגות והרכב אוכלוסיות של בעלי-חיים ידועות פחות, ומהוות כיוון חדש וחשוב למחקר אקולוגי כמו גם אתגר בשמירת טבע (Longcore & Rich 2004; Rich & Longcore 2005).

בעלי-חיים ובכללם חרקים, דו-חיים, עופות ויונקים זקוקים לפרקי זמן של אור וחושך כדי להבטיח תפקוד תקין. בעלי-חיים מתאימים את תפקודיהם הפיזיולוגיים ופעילותם היומית והעונתית (לדוגמה רבייה או נדידה) בתגובה לאור טבעי. אם עתות החשיכה מופרעות ע"י אור, אותם האורגניזמים עשויים לסבול ממספר בעיות:

משיכה וקביעו אל מקור האור, או לחילופין דחייה מוחלטת: מינים רבים של חרקים ודו-חיים, כמו קרפדות וסלמנדרות נמשכים אל מקורות אור מלאכותי, ועפים או נעים ללא תכלית סביב מקור האור, דבר המגביר את סיכוייהם להיטרף או להידרס. חרקים, דוגמת עשים נמשכים בלילה אל מקורות אור. האנרגיה שנקבת עש משקיעה בתעופה סביב פנס תאורה עשוי לגרוע מיכולתה למצוא בן-זוג, למצוא מקומות מתאימים להטיל ביצים וע"י כך לגרום תנאים לא מספקים לזחלים להתפתח. מיני עטלפים שנמשכים לעשים ליד עמודי תאורה, מוצאים כך אספקה קבועה של מזון (Frank 1988). מצד אחד אוכלוסיות מינים אלו של עטלפים עשויות להתבסס, אך יתכן שזה נעשה על חשבונם של מיני עטלפים אחרים, הנמנעים מלשחר לטרף במקומות מוארים (Blake et al. 1994). הללו האחרונים הופכים להיות נדירים יותר ויותר, עקב התחרות על מזון. לדוגמה, במספר עמקים בשוויץ, עטלפים מהמין פרספ גמדי נעלמו לאחר התקנת תאורת דרכים. באותו הזמן והמקום אוכלוסיותיו של העטלפון האירופי, מין המשחר לטרף סביב עמודי תאורה, עלו באופן משמעותי (Arletta et al. 2000).

יחד עם זאת, למרות היתרון, לכאורה, לאותם מיני עטלפים המתרגלים להיזון סביב עמודי תאורה, הללו עשויים להיות טרף קל למינים של דורסי לילה, אשר יכולים להשתמש בעמודי התאורה עצמם כעמדות תצפית לצייד. הימצאותם של עמודי תאורה בסמוך לכבישים הופכים גם את העטלפים וגם את דורסי הלילה ליותר פגיעים להיפגעות מכלי-רכב.

חוסר יכולת התמצאות במרחב: בעוד שתאורה עשויה לעזור למינים מסוימים לנוע בלילה, היא



הירח מאפיל על ההשפעה המבלבלת של תאורה מלאכותית על נדידת העופות (Ogden 1996).

תאורה בסמוך למקווי מים המאכלסים דו-חיים עלולה לגרום להגברת טריפתם ע"י דורסי לילה ושועלים. בנוסף, תאורה מלאכותית עלולה לדחות בוגרים הנוודים למקווי המים על-מנת להטיל ביצים ולהתרבות (Rand et al. 1997).

שיבוש במקצבים ביולוגיים: לכל אורגניזם, מחד-תאיים ועד לבני-אדם יש מקצב (ריתמוס) יומי ושנתי המתאים לתנודות באור, טמפרטורה, זמינות מזון ופקטורים נוספים המשפיעים על תפקודים פיזיולוגיים או התנהגותיים. ה"שעון הביולוגי", מנגנון פנימי הקיים אצל כל אורגניזם חי המווסת את פעילותו ההורמונאלית של הגוף ואחראי על פעילותו הביוכימית של הגוף כולו, הוא שאחראי על מקצבים אלו. שעון זה מצריך כוונן יומיומי המתבצע דרך מחזור האור-חושך היומי. אורכו היחסי של היום גם הוא משתנה באופן קצבי לאורך השנה וע"י כך מווסת אצל בעלי-חיים פעולות עונתיות כמו רבייה, נדידה ותרדמת-חורף (היברנציה). השעון הביולוגי אחראי גם להכנות ההורמונאליות, הפיזיולוגיות והאנטומיות שפעילויות אלו מכתיבות. תהליכים אלו מפוקחים באמצעים נוירו-אנדוקריניים ע"י בלוטת האצטרובל, איבר במוח הרגיש לאור. בלוטת האצטרובל מייצרת את ההורמון מלטונין, שהוא הורמון מפתח בהעברת גירויי אור חיצוני למערכת ההורמונאלית של בעל-החיים. שיבוש פעולתו של השעון הפנימי ע"י הארה מלאכותית במהלך שעות החשיכה, עלול להוביל בטווח הקצר לחוסר מנוחה ושינה, אשר יגרמו בסופו של דבר לבעל-החיים להיות פחות ערני ובמצב גופני ירוד, ולהגביר את סיכויו להיטרף (Lee et al. 1997).

תאורת לילה עלולה בטווח-ארוך יותר גם לשבש תהליכים עונתיים, ולגרום, לדוגמא, לרבייה מוקדמת מדי, כאשר תנאי מזג-האוויר ואספקת המזון אינם אופטימאליים.

גורמת לחוסר-יכולת בהתמצאות יעילה במרחב עבור אחרים, דבר שעלול לגרום לעלייה בצריכה האנרגטית שתוביל לתשישות או להתנהגות חסרת זהירות, שעלולים להגביר את סיכויו של בעל-החיים להיטרף או להידרס. תאורה אף יכולה לשבש את התנועה של מינים מסוימים ולהגביר באופן ניכר את האפקט של כביש כמחסום.

צבי-ים מהווים כאמור דוגמא ידועה להשפעה השלילית של חשיפה לתאורת לילה מלאכותית. צבי-ים מקננים לאורך חופים חוליים במספר רב של מקומות בעולם, כולל לאורך חופי הים-התיכון של ישראל. תאורה לאורך החוף עלולה למנוע מנקבות צבי-ים מלעלות אל החוף ולהטיל את ביציהן. תאורה מלאכותית היא קטלנית במיוחד עבור צבי-ים הצעירים המגיחים מהקינים. הללו בוקעים מן הביצים ועוזבים את הקינים, לרוב בלילה ומנווטים עצמם לכיוון המקום הבהיר ביותר באופק. בחופים טבעיים ולא מוארים, אור זה מגיע משמי הלילה המשתקפים על-פני הים. לעומת זאת בחופים שבהם יש פעילות אדם ענפה ותאורה מלאכותית חזקה, הצבים נמשכים וזוחלים אל מקורות האור המלאכותי, דבר שגורם פעמים רבות לתמותה מתשישות, התייבשות, טריפה או דריסה (לסקירת השפעות תאורה על צבי ים ראה Salmon 2003 ו- Witherington 1997).

עופות רבים (בעיקר ציפורי-שיר קטנות) מתנגשים במגדלי תקשורת ומבנים גבוהים מוארים מדי שנה במהלך תקופת הנדידה. בארה"ב בלבד התמותה השנתית מוערכת בכ-5 מיליון עופות (Manville 2005). היות שעופות רבים משתמשים ב"מפות כוכבים" כדי לנווט, אורות מלאכותיים עלולים לגרום להם לבלבל ולחוסר התמצאות במרחב, דבר שמתבטא בסטייה ממסלולי הנדידה ותמותה כתוצאה מתשישות או מהתנגשות בעצמים מוארים. מעניין הדבר שבזמנים של ירח מלא נרשמת ירידה ברורה באירועי התנגשות של עופות עם מבנים מוארים, ככל הנראה כתוצאה מכך שאורו החזק של



שינויים פיזיולוגיים וואו התנהגותיים אצל בעלי-חיים בתגובה לאור מלאכותי או בדרך עקיפה ע"י הפיכתם ליותר פגיעים לטריפה או דריסה. חשוב לציין ש"זיהום אור אקולוגי" עלול לפגוע גם ביציבותם של מארגי מזון שלמים, וזאת ע"י פגיעה במיני מפתח בשרשרת המזון, דבר שעלול לגרום להוצאתה של מערכת אקולוגית שלמה משיווי-משקל (Longcore & Rich 2004).

ציפורי-שיר רבות כמו השחרור נצפים שרים בלילה בטריטוריות שבהם ממוקמת תאורת רחוב. כמו-כן תועדו מקרים בהם ציפורי-שיר החלו לקנן בסתיו במקום באביב, וזאת ככל הנראה כתוצאה מ"זיהום אור" שמבלבל את השעון הביולוגי שלהן (Derrickson 1988). לסיכום, בפרק זה הובאו רק מספר דוגמאות כיצד "זיהום אור אקולוגי" עשוי לפגוע באופן ישיר ע"י

מע"צ בתכנון תאורת כבישים, שבהם עשויה להיות השפעה סביבתית.

1) מדיניות ושיקולים הנדסיים להתקנת מאור בדרכים בין-עירונית:

חובת התקנת מאור חלה בכל המקרים המפורטים להלן:

1) כל צומת, גם בין קטעי דרכים שאינם מוארים לאורכם.

2) קטעי דרך רצופים בין צמתים שהמרחק ביניהם אינו עולה על כ-1 ק"מ (מרחק נסיעה של פחות מ-50 שניות במהירות המקובלות בדרכים בין עירוניות).

3) תאורת מעבר במבואות הצומת (כניסה ויציאה מן הצומת) להבטחת הסתגלות לעין מקטע מואר לקטע חשוך ולהיפך.

4) בכל תחנת אוטובוסים, לרבות תאורת מעבר.

5) בכל תחנת המתנה להסעת חיילים, לרבות תאורת מעבר.

6) בכל מקום אחר בו נדרשת תאורה בגלל שיקולים בטיחותיים – ביטחוניים.

על-פי מסמך מע"צ, על המתכנן לקבוע את סוג מקורות האור, עוצמתם, גובה התקנתם, קביעת המרווח בין מקורות האור ומיקומם, סוג העמוד, וכן מרחקו משפת הדרך והגנתו, על-פי כללי הבטיחות בדרכים. המסמך מפרט את רמת התאורה ובהיקות התאורה המתאימה לכל טיפוס דרך (מדרך מקומית ועד לדרך מהירה). המסמך גם מפרט את עצמת ההארה ואחידות הפיזור הנדרשים באזורי סיכון (צומת, והשתלבות בצומת).

הנחיות לתכנון מאור דרכים

מדיניות התאורה בדרכים של מע"צ, אך גם של גופים כמו חברת נתיבי איילון וחברת דרך ארץ (מפעילת כביש 6), מבוססת על מסמך של אגף התחבורה במשרד התעבורה בשם "הנחיות לתכנון מאור בדרכים" (בירנבאום 1996), המבוססת בעיקר על תקן ישראלי מס' 1862 "תאורת דרכים" בהוצאת מכון התקנים הישראלי, על בסיס הניסיון שנרכש בארץ בכל רשתות הדרכים.

ההנחיות מיועדות לשימוש בתכנון דרכים חדשות, ומשמשות כ"יד מכוונת" בשיקולים הנדסיים והשגת אחידות בתכנון באמצעות קביעת מדדי איכות מחייבים, תוך כדי שימור באנרגיה.

הנחת היסוד של מסמך ההנחיות של מע"צ היא שרמת הארה טובה בדרך תביא בממוצע לירידה כללית בשיעור של כ-30% בתאונות בלילה, בהתבסס על מחקרים שבוצעו באירופה (C.I.E. 1992). יחד עם זאת, חשוב לזכור שהנחיות אלו מתבססות למעשה על מחקר יחיד אשר בוצע לפני כמעט שני עשורים. אי לכך יש מקום לבדיקה מחדשת של הנחה זו לאור השינויים שחלו בינתיים בטכנולוגיות הנדסת כבישים ותאורה.

הפרק במסמך ההנחיות לתכנון מאור בדרכים העוסק בתכנון מאור בדרכים בין-עירוניות כולל מספר רב של נושאים, הדנים במקומות בהם נדרשת תאורה, מיקום העמודים, סוג התאורה וכדומה. בפרק זה נתמקד באותם נושאים הנוגעים בדרישות

בדרכים בהם לא קיימת הצדקה להארת הדרך, יוארו הצמתים בהתאם לדרישות המפורטת במסמך מע"צ (בירנבאום 1996, טבלה 1.5 עמוד 10.1) תוך הקפדה על קיום תאורת מעבר להבטחת הסתגלות העין במעבר מקטע מואר לקטע חשוך ולהיפך. שינוי הדרגתי זה בעצמת התאורה יהיה באורך של לא פחות מ-300 מטר.

2) איפיון פוטומטרי של פנסי תאורה:

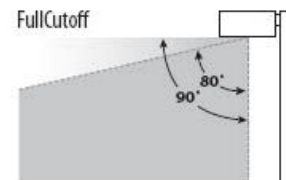
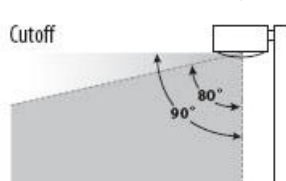
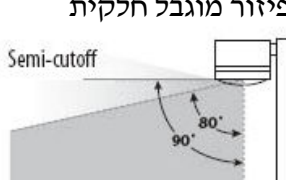
איפיון פוטומטרי של פנסי תאורה מתייחס להתפלגות עצמה אורית הנשלחת על-ידי פנס לכיוונים שונים בחלל. התפלגות זו מושפעת מגופי התאורה וסוג הנורות בשימוש.

מע"צ משתמשת בשני סוגי גופי תאורה:

א. גוף תאורה בעל פיזור מוגבל (cut-off)

ב. גוף תאורה בעל פיזור מוגבל חלקית (semi cut-off).

ההבדל בין שני טיפוסי גופי תאורה אלו מודגם בטבלה מס. 1, ומבוסס על מפרט של האגודה הצפון אמריקאית להנדסת תאורה (IESNA). בטבלה גם מוצגים מאפייני גוף תאורה בעלי פיזור מוגבל מוחלט (full cutoff), המספק הגנה מקסימאלית כנגד זיהום אור, כלומר בריחת אור כלפי מעלה, בזוויות הגדולות מ-90 מעלות, הגורמת לזהירות רקיע.

סיווג	הגדרה	יתרונות	חסרונות
פיזור מוגבל מוחלט FullCutoff 	עצמת הארה אפס מעל ובמישור האופקי (90 מעלות) ומוגבלת לערך שאינו עולה על 10% מעצמת ההארה המקסימאלית מעל וב-80% מעל האופק.	מגביל את פיזור האור כלפי מטה בלבד. אור איננו מתפזר מהפנס כלפי מעלה לשמיים.	עלול לצמצם את הפיזור המרחבי של עמודי תאורה ולהגדיל את מספר העמודים וגופי התאורה הנדרשים
פיזור מוגבל Cutoff 	עצמת הארה במישור האופקי (90 מעלות) או מעל אינה עולה על 2.5% מעצמת ההארה המקסימאלית, ולא יותר מ-10% מהמקסימום מעל וב-80%.	עלייה קטנה בעצמת האור בזוויות גבוהות מאפשר פיזור רחב יותר של עמודים	עלול לאפשר פיזור חלקי כלפי מעלה של אור מגוף התאורה. בד"כ תורם מעט לאפקט של הארת השמיים
פיזור מוגבל חלקית Semi-cutoff 	עצמת הארה במישור האופקי (90 מעלות) או מעל אינה עולה על 5% מעצמת ההארה המקסימאלית, ולא יותר מ-20% מהמקסימום מעל וב-80%.	אור בזוויות גדולות עובר משטחים אנכיים כמו בניינים. מרבית עוצמת האור עדיין מופנית כלפי מטה.	בעל פוטנציאל לזיהום אור מוגבר אם משתמשים בגופי תאורה בעלי תפוקה גבוהה (וואטים). מסיט יותר אור כלפי השמיים מאשר גוף תאורה מסוג cutoff

טבלה מס. 1- ההבדלים בין טיפוסי גופי תאורה

סוגים שונים של נורות קיימים כיום בשימוש בעולם, כאשר כל סוג מאופיין בתכונות שונות ובמיוחד יעילותם האנרגטית וההרכב הספקטראלי שלהם. בהתאם לכך הם משמשים לצרכי הארה שונים. במקרים רבים נבחרות נורות מסוג שאינו מתאים, בעיקר כתוצאה מאי-ידיעה, או בגלל שמקורות אור מתאימים יותר לא היו בנמצא בזמן ההתקנה. בעזרת בחינה מחדש ושינוי של סוגי הנורות הנמצאות בשימוש ניתן פעמים רבות לצמצם השפעות של זיהום אורי.

מע"צ משתמשת בסוגים הבאים של נורות להארת דרכים (טבלה 2):

- 1) נורות נתרן בלחץ נמוך (לא נמצא בשימוש מע"צ, פרט למפוצי הסעה של תחנות אוטובוסים באזורים מבודדים בהם ההארה היא סולרית).
- 2) נורות נתרן בלחץ גבוה (להלן נ.ל.ג.).
- 3) נורות מתכת הלידות - Metal-halide (כמעט שאינן מצויות בשימוש בכבישי מע"צ).
- 4) נורות כספית בלחץ גבוה (כמעט שאינן מצויות בשימוש בכבישי מע"צ).

לאחר מציאת פתרונות לשיפורים בייצור נורת נתרן בלחץ גבוה, הפכה הנ.ל.ג. בעשור האחרון למומלצת ביותר לשימוש בהארת דרכים. לאחר שיפורה הספקטראלי של נורת הנ.ל.ג. הוקטן גם מימדה. נורת נ.ל.ג. מצטיינת בניצולת אורית גבוהה ביחס לנורת כספית. כמו-כן, אורך החיים האפקטיבי גדול מזה של נורות כספית, ומכאן נובע שהוצאות תפעולן נמוכות.

במקומות בהם זיהום אור הוא קריטי, לדוגמא בשולי שמורת טבע או באזור מצפה כוכבים, נורות נתרן בלחץ נמוך מועדפות. נורות אלו פולטות אור באורך גל יחיד, ולכן קל לסנן. לדוגמא, עיריית סאן-חוזה, קליפורניה, החליפה את כל תאורת הרחובות לנורות נתרן בלחץ נמוך בשנת 1980 על-מנת להקל על הצפייה בכוכבים ממצפה-כוכבים סמוך. תוכניות שינוי תאורה דומות יושמו גם באריזונה ובהוואי. מבחינת השפעה על בעלי-חיים, ניסויים הראו שנורות נתרן בלחץ נמוך עשויות למנוע את משיכתם של עשים, וכמו-כן שנורות מסוג זה אינן מפריעות לנקבות צבי-ים מלעלות להטיל בחוף מואר (Witherington 1992).

החסרונות של נורות נתרן בלחץ נמוך הם שגופי התאורה חייבים להיות גדולים יותר מאשר אלו המשמשים לסוגי נורות אחרים, ושהאור הנפלט אינו מאפשר הפרדת צבעים בצורה טובה, בגלל שנורות אלו פולטות אור באורך גל יחיד, ולכן לדוגמא, הצבע הצהוב ברמזורים אינו נראה כראוי. עקב גודלה היחסי של היחידה פולטת האור בנורה, קשה לעיתים לבקר בצורה טובה את פליטת האור מהמנורה, דבר שעלול להביא דווקא להגברת זיהום האור, לעומת סוגי נורות אחרים, למעט נורות פלואורסנטיות. חסרון זה הוביל רשויות רבות בחו"ל לאמץ נורות נתרן בלחץ גבוה לתאורת כבישים.

למרות יעילותן הפחותה לעומת נורות נתרן בלחץ נמוך, נורות נתרן בלחץ גבוה גורמות לפחות משליש עד חצי מזהירות הרקיע מאשר נורות מתכת הלידות, בהתבסס על אותה כמות אור המופנית כלפי האטמוספירה (Keith 2003).

סוג הנורה	צבע	יעילות (לומנס לואט)
נתרן בלחץ נמוך	צהוב	80 - 200
נתרן בלחץ גבוה	ורוד/חום-צהבהב	90 - 130
מתכת הלידות	לבן/תכלת-לבן	60 - 120
כספית בלחץ גבוה	לבן/תכלת-ירקרק	13 - 48

טבלה 2: מספר סוגי נורות הנמצאים בשימוש לפי סדר יעילותן.

הגורמים לבחירתן: כמות שטף האור שלהן, כלכליותן שבאה לידי ביטוי ע"י הניצולת האורית, אורך-חיייהן וההרכב הספקטראלי של האור המופק.



3) מיקום מקורות אור על-פי גיאומטריית הדרך:

מיקום הפנס (מקורות האור) מעל הדרך תלוי במיקומו של העמוד, ובאורך הזרוע שעליה מותקן הפנס. המרחק האופקי שבין הפנס ובין שפת הכביש קובע את חלוקת עוצמת ההארה על-פני הכביש בהתאם לתכונות המפורטות של הפנס.

קיומו של סינוור תלוי בהחזר הראי שמתפתח בין מקור האור ועיני הנהג. אם מרחק הפנס משפת הדרך (overhang) הוא שלילי, דהיינו, הפנס מותקן מחוץ לכביש, החזר הראי קטן. לאפקט זה חשיבות רבה בכביש רטוב, בו החזרת הראי הולכת וגדלה. מידות אופייניות לקביעת מיקום הפנסים:

גובה התקנת הפנסים מעל פני הכביש הוא פרמטר תכנוני בעל השפעה גדולה על כל המרכיבים של תנאי ראות טובה בלילה. מקובל להתייחס לגובה התקנת גוף תאורה כיחס בין גובה מקורות אור מעל פני הכביש ורוחב הדרך. היחס נע בין 1:1.1 ל-1:1.3. לדוגמא: עבור כביש של שלושה נתיבים ($3 \times 3.6 \text{ m} = 10.8 \text{ m}$), מומלץ שגובה מקורות האור יהיה בין 10.8 מ ($1.1 \times 10.8 \text{ m}$) לבין $1.3 \times 10.8 \text{ m}$ (כ-14 מ).

עוצמת ההארה משתנה בחזקה ריבועית עם הגבהתו או הנמכתו של הפנס. במקרה של מרווח קבוע בין הפנסים, אחידות פיזור ההארה משתפרת כאשר גובה ההתקנה גדל. התקנת הפנס בגובה רב יותר מפחיתה את הסינוור. מקובל בדרכים בין-עירוניות להתקין את הפנסים בגובה של לפחות 12 מ מעל הכביש.

התקנה גבוהה יותר בקטעים ישרים של הדרך מהווה בעיה תחזוקתית במידה שהפנסים ממוקמים על אי הפרדה של הדרך.

המרווחים בין שני פנסים סמוכים באותו צד של הדרך תלויים בעיקר בפיזור האור המרחבי של הפנס. עבור פנס בעל פיזור מוגבל, המרווח בין פנסים (במטרים) יהיה שווה לגובה ההתקנה $3.5X$. עבור פנס בעל פיזור מוגבל חלקי, המרווח בין פנסים (במטרים) יהיה שווה לגובה ההתקנה $4.0X$ - $4.5X$.

בדרך דו-מסלולית מתאפשרות שתי צורות התקנה: בשטח ההפרדה, ובצידי הדרך. לפי מע"צ, רצוי למקם את העמודים לצידי הדרך.

4) סידור גיאומטרי של הפנסים (מיקום מקור האור מעל הדרך):

האפשרות לסידור הפנסים ביחס לדרך הם:

א. דרך חד-מסלולית

1. מעל מרכז הכביש – קיימת אפשרות לתלות את הפנסים על כבלים. במצב זה, פילוג עוצמת האור הוא טוב ומתפזר בצורה סימטרית.
2. בצד הכביש – מתאים במקרים בהם רוחב הדרך אינו עולה על 1.2 כפול גובה תליית הפנס מעל הדרך.
3. משני צידי הכביש לסירוגין – במקרים מיוחדים בהם רוחב הדרך גדול מ-1.2 כפול גובה תליית הפנס. בסוג סידור פנסים זה, קיימת לעתים תופעה של אזורים כהים ובהירים לסירוגין.
4. משני צידי הכביש, זה מול זה – התקנה מטיפוס זה מומלצת בקטעי דרך רחבים, כאשר רוחב הדרך גדול מ-2 כפול גובה תליית הפנס, ולא קיים שטח הפרדה ברוחב מספיק.

ב. דרך דו-מסלולית

1. משני צידי שטח ההפרדה – נתיב העקיפה מואר, יש להקפיד שגם הנתיב הימני יהיה מואר היטב.
 2. משני צידי הדרך לסירוגין.
 3. משני צידי הכביש זה מול זה
- בשיטות שהוזכרו בסעיפים 2,3 משתמשים רק כאשר יש שני מסלולים מופרדים ובכל מסלול יותר משני נתיבים.

במקרה של עקום אופקי חד-מסלולי ודו-מסלולי, מומלצת הבלטה של העקום האופקי. רצוי למקם את עמודי התאורה בצידה החיצוני של הקשת, היות שמיקום עמודי התאורה בצד הפנימי של הקשת מסכן את הרכב הסוטה מנתיבו. במו-כן מרווח העמודים לאורך הדרך יהיה $S \times 0.7$ (S הוא המרווח הקיים בין עמודים הסמוכים זה לזה בקו ישר).

המלצות

הקמת מערכות תאורת כבישים בישראל מבוססת על הנחת היסוד שרמת הארה טובה בדרך תביא במוצע לירידה כללית בשיעור של כ-30% בתאונות בלילה. הנחה זו מחייבת בדיקה מחודשת לאור הזמן שחלף מאז בוצע המחקר והטכנולוגיות ההנדסיות שהתפתחו מאז ועד היום.

כגוף המופקד על שמירת ערכי הטבע במדינת ישראל, אנו מחויבים להתריע על ההשפעות השליליות של הארת כבישים על מערכות אקולוגיות, ולחפש יחד עם גופי התכנון והפיתוח אחר הפתרונות הטובים ביותר מבחינה סביבתית, כלכלית, חסכנית באנרגיה והצורך בשמיים חשוכים כאחד.

הגדרת כבישים בעלי רגישות סביבתית:

יש לאמץ וזאת כחלק מניסיון של מדינות אחרות, כמו בריטניה, חלוקה של השטח לאזורים רגישים מבחינה סביבתית (Environmental Zones) ועבודה יחד עם גופי התכנון תוך הקפדה על יישום תקנות תאורה מתאימות:

- 1) שטחים חשוכים באופן מהותי – שמורות טבע ואזורים בעלי רגישות אקולוגית גבוהה.
- 2) שטחים בהם עצמת האור היא חלשה – סביבות ישובים כפריים קטנים וקצות פרברי ערים.
- 3) שטחים בהם עצמת האור בינונית – מרכזי ערים קטנות ושטחים עירוניים אחרים.
- 4) שטחים בהם עצמת האור גבוהה – מרכזי ערים גדולות שבהם פעילות לילית גבוהה.

כאשר יש אזור שיש להאירו והוא נמצא בתפר שבין שני אזורים מהקטגוריות הנ"ל, הגבלות התאורה צריכות להיות אלו המחמירות יותר.

לאחר שהוגדרו רגישויות של אזורים שונים ניתן ליישם תקנות מחמירות יותר או פחות מבחינת זיהום אור. ניתן להגדיר באילו אזורים אין לאפשר הארה כלל (פרט לאותם מקומות שבהם מתחייבת הארת כביש מטעמי בטיחות). ניתן גם להגביל את מידת הזליגה של אור כלפי מעלה, ישירות לשמיים.

מושג זה מכונה Upward Light Ratio of the Installation (ULR), ומבטא את אחוז האור שמופנה באופן ישיר לשמיים מתוך סה"כ עצמת ההארה של המנורה. לפי ארגון מהנדסי התאורה בבריטניה, ערכי ה-ULR באחוזים יהיו: 0, 2.5, 5.0 ו-15.0 אחוז, בכל אחד מארבעת האזורים שהוגדרו מעלה, בהתאמה.

יש להיצמד למסמכי מדיניות קודמים העוסקים בפיתוח תשתיות בשטחים פתוחים (שקדי ושדות (שקדי ושדות 2000, 2004) ובמיוחד בזה הדרך במעברי בעלי חיים (שקדי ושדות 2004), כמסמכים מכוונים לגבי הארת כבישים בצווארי בקבוק במסדרונות אקולוגיים. יש להתייחס לכבישים אלו (ראה רשימת כבישים המופיעים בנספח I) ככבישים בהם אין לאפשר הארה באותם קטעים שאינם הכרחיים מבחינת בטיחות. באותם המקומות בהם מתחייבת הארת כביש מטעמי בטיחות, יש לוודא שיעשה שימוש בגופי תאורה מסוג פיזור מוגבל (cutoff) ובנורות נתון בלחץ גבוה בלבד. יש לוודא שזווית הפנס היא ב-90 מעלות לפני הכביש כדי למנוע זליגת אור כלפי השמיים. בנוסף, יש לבדוק טכנולוגיות הארת כבישים אלטרנטיביות כמו שימוש במחזירי-אור סולאריים (solar road studs). אלו סמנים אשר מכילים בנוסף למרכיבים מחזירי אור, גם מרכיבים פוטו-אלקטריים פעילים המגבירים את הניראות של תוואי הדרך בשעות החשכה ובתנאי מזג אוויר קיצוניים (כהן 2006).

בקטעים לאורך הכבישים בהם מתוכננים או כבר קיימים מעברי בעלי-חיים תחתיים או עיליים, יש להימנע מהארת הכביש. כמו-כן בתכנון מעברי בעלי-חיים יש לקחת בחשבון את מרחקם מקטעי כביש המחייבים הארה (סמוך לצמתים, מחלפים).

מיקום עמודי תאורה בכביש:

למיקום עמודי התאורה לאורך כביש ישנה חשיבות לא רק מבחינת מידת ההארה אלא גם מבחינת הנחת התשתיות. התקנת עמודי תאורה במרכז הכביש,

תכנון תאורה סביבתית:

לימוד של מכלול ההיבטים בתכנון נכון של תאורת כבישים (בטיחותיים, אקולוגיים, נופיים ואנרגטיים), ע"י כל גורמי התכנון המעורבים, יחד עם הכרת טכנולוגיות התאורה הקיימות והמפתחות, מחייב תיאום בין גופי התכנון השונים לבין רט"ג ושיתוף-פעולה כבר בשלבי תכנון מוקדמים, וזאת על-מנת לגבש סל פתרונות הנותן מענה אופטימאלי. סל פתרונות שכזה כולל, בין היתר, תכנון אקולוגי נכון של מערכת תאורה לאורך כבישים במטרה לצמצם את השפעת זיהום אור. בנספח II ניתן למצוא כדוגמא, שתי תוכנות מחשב המשמשות לניתוח של מערכות תאורת כבישים והערכה של ההשפעה הסביבתית במונחים של מידת זיהום האור המתקבל. תוכנות אלו מספקות דו"ח מפורט, הכולל מספר רב של פרמטרים המאפשרים למתכנן לכמת את איכות מערכת התאורה המתוכננת, מידת החיסכון באנרגיה, וההתאמה של התוכנית לדרישות לצמצום זיהום אור ומידת התאימות לחוקים כנגד זיהום אור. יש ליידע את גופי התכנון והפיתוח הרלוונטיים על קיומן של תוכנות אלו ואחרות, ולהמליץ להם להשתמש בהן בעת תכנון מאור כבישים. בנוסף יש ליידע את אותם הגורמים על בעיות נוספות הקשורות בהצבת עמודי תאורה בצידו דרכים ודרכים לפתרון, לדוגמא, מניעת השימוש בעמודי תאורה לקינון מיני עופות פולשים ומתפרצים (ראה נספח III).

עקרונות העבודה מול גורמי תכנון הכבישים: רשות הטבע והגנים תשמש כיועצת מקצועית לתכנון תאורת כבישים במקומות רגישים מבחינה אקולוגית. הרשות תהיה מחויבת לספק למתכננים נתוני רקע סביבתיים ואקולוגיים על הכביש וסביבתו, ועל הדרכים לצמצום זיהום אור.

בתוך שטח ההפרדה, פוגעת פחות בסביבה מאשר התקנת עמודי תאורה בשוליים משני צידי הכביש, שכן הן מצריכות ביצוע עבודת תשתית רק במרכז הכביש, ולכן אין פגיעה תשתיתית בשוליים. בנוסף יש פחות חשש של זליגת אור אל השוליים, דבר שעלול למנוע מבעלי-חיים להשתמש בשוליים כנתיב תנועה בדרכם למעבר בעלי-חיים. יחד עם זאת, מיקום עמודי תאורה במרכז הכביש אפשרי רק בדרך דו-מסלולית. היות שחלק מהכבישים הרגישים מבחינה אקולוגית הם כבישים חד-מסלוליים, יש לבחון היטב עם המתכננים כיצד למזער פגיעה בשולי הדרך.

חשוב לזכור כי המרווחים בין שני פנסים סמוכים באותו צד של הדרך תלויים בעיקר בפיזור האור המרחבי של הפנס. עבור פנס בעל פיזור מוגבל, המרווח בין פנסים (במטרים) יהיה שווה לגובה ההתקנה $3.5X$. עבור פנס בעל פיזור מוגבל חלקי, המרווח בין פנסים (במטרים) יהיה שווה לגובה ההתקנה $4.0 X - 4.5$. אי לכך בכבישים חד-מסלוליים, בהם לא ניתן למקם את עמודי התאורה במרכז הכביש, אלא רק בשוליים, ההמלצה להגביל את השימוש בגופי תאורה מסוג פיזור מוגבל, עומדת בסתירה חלקית להמלצה לצמצם פגיעה תשתיתית בשולי הדרך, שכן גופי תאורה מסוג פיזור מוגבל דורשים בדרך-כלל מרווח קצר יותר בין עמודים סמוכים, ולכן סך-הכל יותר עמודים ליחידת אורך כביש. להמלצה על שימוש בגופי תאורה מסוג פיזור מוגבל ישנה קדימות על ההמלצה להימנע מפגיעה בשולי הכביש, שכן עבודת התשתית הכרוכה במיקום יותר עמודים בשוליים היא זמנית וברת שיקום, בעוד שהפגיעה הסביבתית לאורך זמן מזיהום אור צפויה להיות גדולה יותר.

ריכוז המלצות

כבישים רגישים – יש להתייחס אל כבישים העוברים בשטחים חשוכים באופן מהותי באזורים לא מופרעים, כאל בעלי רגישות אקולוגית ונופית. אלו כוללים: כבישים העוברים בסמוך לשמורות טבע, שטחי בר פתוחים (בתה, חורש, יער), מקווי מים יציבים ועונתיים, נחלים, שטחי חולות (כולל חופי-ים חוליים) וכבישים העוברים באזורים המוגדרים כ"צוארי בקבוק" אקולוגיים. הארת הכביש באזורים אלו מגבירה את השפעת הקיטוע שיוצר הכביש על-ידי הגדלת רוחב רצועת הקיטוע בגלל התאורה. בהתאם לכך מומלץ להגביל תאורת כבישים רק לקטעי כביש שבהם מתחייבת הארה מטעמי בטיחות. רשימה ומפה של כבישים רגישים מופיעים בנספח I.

סוג גופי תאורה – יש עדיפות לשימוש בגופי תאורה בעלי פיזור מוגבל (cut-off). אלו מצמצמים במידה ניכרת את מידת זיהום האור. יש להקפיד שגוף התאורה יותקן בזווית של 90 מעלות לפני הכביש כדי למנוע זליגת אור כלפי השמיים.

סוגי נורות – באופן כללי יש עדיפות לשימוש בנורות מסוג נתרן בלחץ גבוה (נ.ל.ג.) על-פני נורות אחרות. בשילוב נכון עם גופי תאורה מתאימים, נורות נ.ל.ג. מבטיחות ניצולת אורית טובה וחסכון אנרגטי, בצד מזעור ההשפעה השלילית על הסביבה. בכבישים שהוגדרו כ"כבישים רגישים" יש לבחון שימוש בנורות נתרן בלחץ נמוך באותם קטעי דרך בהם מתחייבת הארה מטעמי בטיחות (בכפוף לאפשרויות).

מיקום עמודי התאורה בכביש – בדרך דו-מסלולית יש עדיפות למיקום עמודי תאורה במרכז הכביש (בכפוף לאפשרויות ההנדסיות). בכבישים חד-מסלוליים, יש לבחון היטב עם המתכננים כיצד למזער פגיעה בשולי הדרך.

מעברי בעלי-חיים – בקטעים לאורך הכבישים בהם מתוכננים או כבר קיימים מעברי בעלי-חיים תחתיים או עיליים, יש להימנע מהארת הכביש או לשנות את התאורה הקיימת, במידה שאינה מתאימה. בתכנון מעברי בעלי-חיים עתידיים יש לקחת בחשבון את מרחקם מקטעי כביש המחייבים הארה (סמוך לצמתים, מחלפים).

תכנון תאורה סביבתי – יש לידע את גופי התכנון והפיתוח הרלוונטיים על הצורך בתכנון אקולוגי נכון של מערכת תאורה לאורך כבישים, על קיומן של תוכנות מחשב ייעודיות העומדות לרשות מתכננים, אשר מומלץ להשתמש בהן בעת תכנון מאור כבישים.

בירנבאום, ג. (1996). הנחיות לתכנון מאור בדרכים. משרד התחבורה, אגף התעבורה, ירושלים.
 כהן, א. (2006). מפרט לבדיקה, אספקה והתקנה של סמנים מחזירי אור לסימון דרכים (המכונים גם "עיני
 חתול"). משרד התחבורה, מינהל היבשה/ אגף תכנון תחבורתי, ירושלים.
 שקדי, י. שדות, א. (2000). מסדרונות אקולוגיים בשטחים הפתוחים – כלי לשמירת טבע. רשות הטבע
 והגנים, ירושלים.
 שקדי, י. שדות, א. (2004). מעבר בעלי חיים בכבישים – מדיניות והמלצות לפעולה. רשות הטבע והגנים,
 ירושלים.

Arlettaz R, Godat S, Meyer H. 2000. Competition for food by expanding pipistrelle bat
 populations (*Pipistrellus pipistrellus*) might contribute to the decline of lesser horseshoe
 bats (*Rhinolophus hipposideros*). *Biological Conservation* 93: 55-60.

Blake D, Hutson AM, Racey PA, *et al.* 1994. Use of lamplit roads by foraging bats in
 southern England. *J Zool* 234: 453–62.

C.I.E. (1992). Publication No. 93, "Road Lighting as an Accident Countermeasure".

Derrickson KC. 1988. Variation in repertoire presentation in northern mockingbirds. *Condor*
90: 592–606.

Frank KD. 1988. Impact of outdoor lighting on moths: an assessment. *J Lepidop Soc* **42**: 63–
 93.

Keith, D.M. 2003. What Blue Skies Tell Us About Light Pollution. Alliance for Lighting
 Information. <http://resodance.com/ali/bluskies.html>.

Lee JH, Hung CF, Ho CC, Chang SH, Lai YS, Chung JG. 1997. Light-induced changes in
 frog pineal gland N-acetyltransferase activity. *Neurochem Int.* 31:533-40.

Longcore, T. & Rich, C. (2004). Ecological light pollution. *Front. Ecol. Environ.* 2: 191-198.

Manville, A. M., II. 2005. Bird strikes and electrocutions at power lines, communication
 towers, and wind turbines: state of the art and state of the science—next steps toward
 mitigation, p. 1051–1064. In C. J. Ralph and T. D. Rich [EDS.], *Bird conservation
 implementation in the Americas: proceedings of the 3rd international Partners in Flight
 conference 2002*. USDA Forest Service General Technical Report GTR-PSW-191.

- Ogden LJE. 1996. Collision course: the hazards of lighted structures and windows to migrating birds. Toronto, Canada: World Wildlife Fund Canada and Fatal Light Awareness Program.
- Rand AS, Bridarolli ME, Dries L, and Ryan MJ. 1997. Light levels influence female choice in Tungara frogs: predation risk assessment? *Copeia* **1997**: 447–50.
- Rich C. & Longcore T. (2005). *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. 478 pp. Island Press. Washington D.C.
- Salmon M. 2003. Artificial night lighting and sea turtles. *Biologist* **50**: 163–68.
- Witherington BE. 1992. Behavioral responses of nesting sea turtles to artificial lighting. *Herpetologica* 48: 31-39.
- Witherington BE. 1997. The problem of photopollution for sea turtles and other nocturnal animals. In: Clemmons JR and Buchholz R (Eds). *Behavioral approaches to conservation in the wild*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

נספח I: כבישים רגישים אקולוגית- צווארי בקבוק בכבישים קיימים

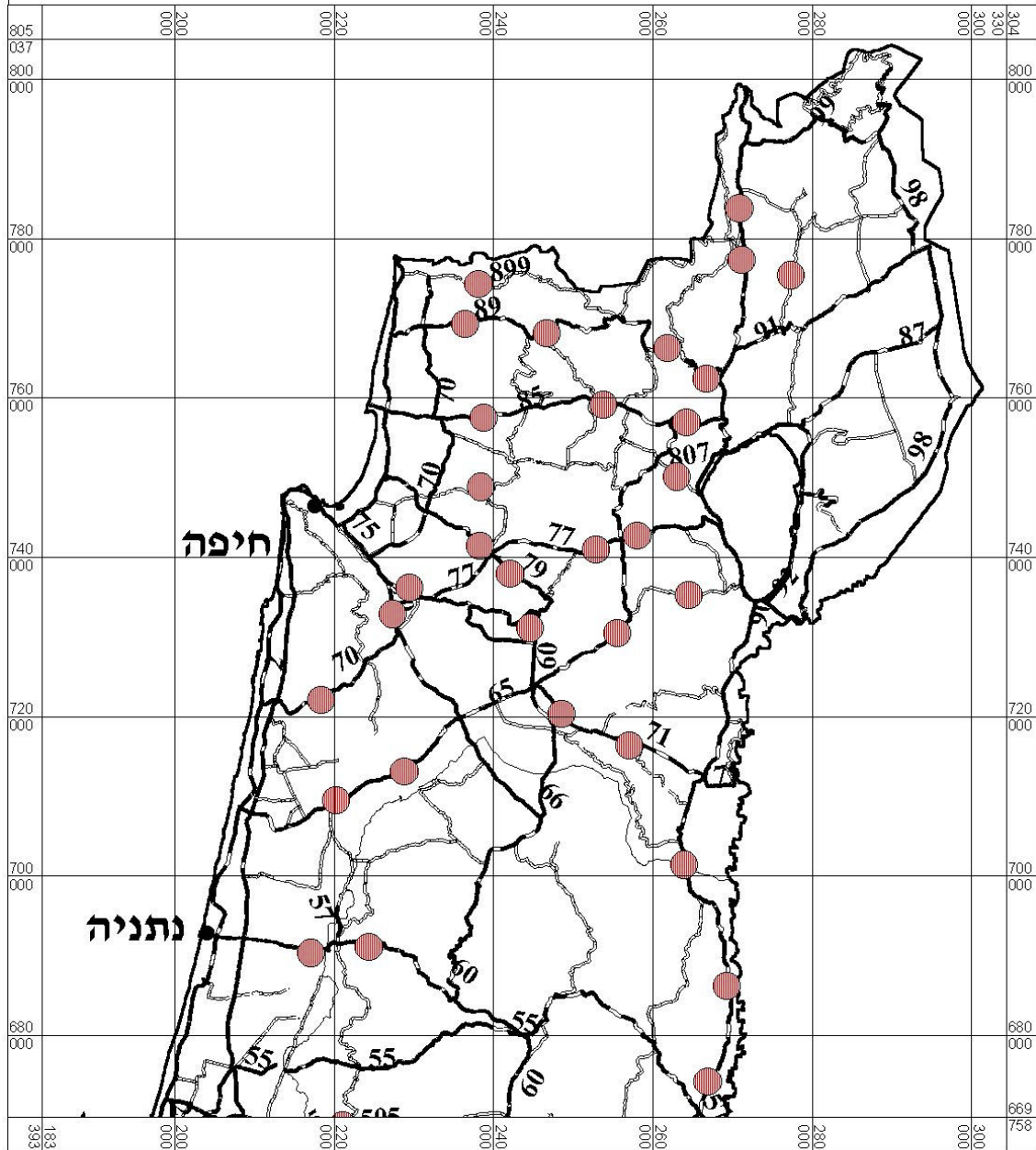
רשימה של צווארי בקבוק במסדרונות האקולוגיים הדורשים תשומת לב מיוחדת (ומפות מצורפות). בחלק מהנקודות יש מעברים מתאימים לבעלי חיים כבר היום, וזו על פן רשימה לבחינה, שממנה ייגזרו קדימויות. לעומת זאת, סביר להניח שיתווספו לרשימה זו נקודות נוספות, עם המשך הפיתוח ובניית כבישים (מתוך שקדי, י. שדות, א. 2004. מעבר בעלי חיים בכבישים – מדיניות והמלצות לפעולה. רשות הטבע והגנים, ירושלים).

לאור רגישותם של כבישים אלו וקיומם של מעברי בעלי-חיים מתאימים בחלקם, נדרשת:

1. עבודה מתואמת של גורמי הפיתוח יחד עם רט"ג כדי לבחון את תנאי התאורה הקיימים במקומות אלו כחלק ממתן פתרון כולל למעבר בעלי-חיים באזורים המוגדרים כצווארי בקבוק במסדרונות אקולוגיים.
2. שיתוף רט"ג כגוף מייעץ בהליכי תכנון עתידיים של כבישים, תאורה ומעברי בעלי-חיים לאורך כבישים המוגדרים כצווארי בקבוק במסדרונות אקולוגיים.

אזור	צוואר הבקבוק	אזור
צפון	כביש 90 – צומת כוח – צומת גמא כביש 90 – מול שמורת החולה כביש 918 – מול שמורת החולה כביש 899 – ממזרח לאילון כביש 89 – אזור עין זיתים כביש 89 – באזור מלון מצפה הימים כביש 89 – צומת אלקוש כביש 89 – בין מעלות לכברי כביש עוקף צפת כביש 85 – נחל עמוד כביש 85 – אזור צומת חנניה כביש 85 – נחל חילוון כביש 807 – מול הר רביד כביש 77 – צומת גולני – לביא	כביש 77 – צומת גולני – צומת בית רימון כביש 781 – ליד צומת מורשת כביש 79 – צומת יפתחאל – שפרעם כביש 79 – מול יער הסוללים כביש 767 – בקעת יבנאל כביש 65 – בקעת כסולת כביש 60 – ליד צומת נצרת דרום כביש 75 – מזלג שער העמקים כביש 70 – מזלג שער העמקים כביש 70 – נחל דליה כביש 71 – צומת השיטה – צומת יששכר כביש 71 – מול זירעאל כביש 65 – צומת מי עמי כביש 65 – צומת משמר הגבול
בקעה	כביש 90 – נחל בזק כביש 90 – אום זוקה	כביש 90 – דרומית לארגמן
מרכז	כביש 57 – מזרחית לטול כרם כביש 57 – נחל אלכסנדר כביש 5 – ליד אורנית כביש 465 – ליד צומת רנטיס כביש 443 – יער בר-שמן כביש 3 – ליד מבוא חורון כביש 1 – צומת שורש - שער הגיא	כביש 39 – בין צומת עציונה למטע כביש 38 – משואה כביש 35 – ליד צומת נחושה כביש 40 – נחל שקמה כביש 34 – ליד אור הנר כביש 4 – צומת יד מרדכי
דרום	כביש 60 – ליד מיתר כביש 31 – ליד צומת חתרורים כביש 25 – ליד מצד תמר כביש 25 – נחל דימונה כביש 241 – נחל הבשור	כביש 222 – נחל הבשור כביש 211 – נחל הבשור כביש 211 – נחל רות כביש 40 – צומת ציפורים

"צווארי בקבוק" - צפון



מקורות המידע:
מידע גיאוגרפי: מרכז מ"א, רט"ג



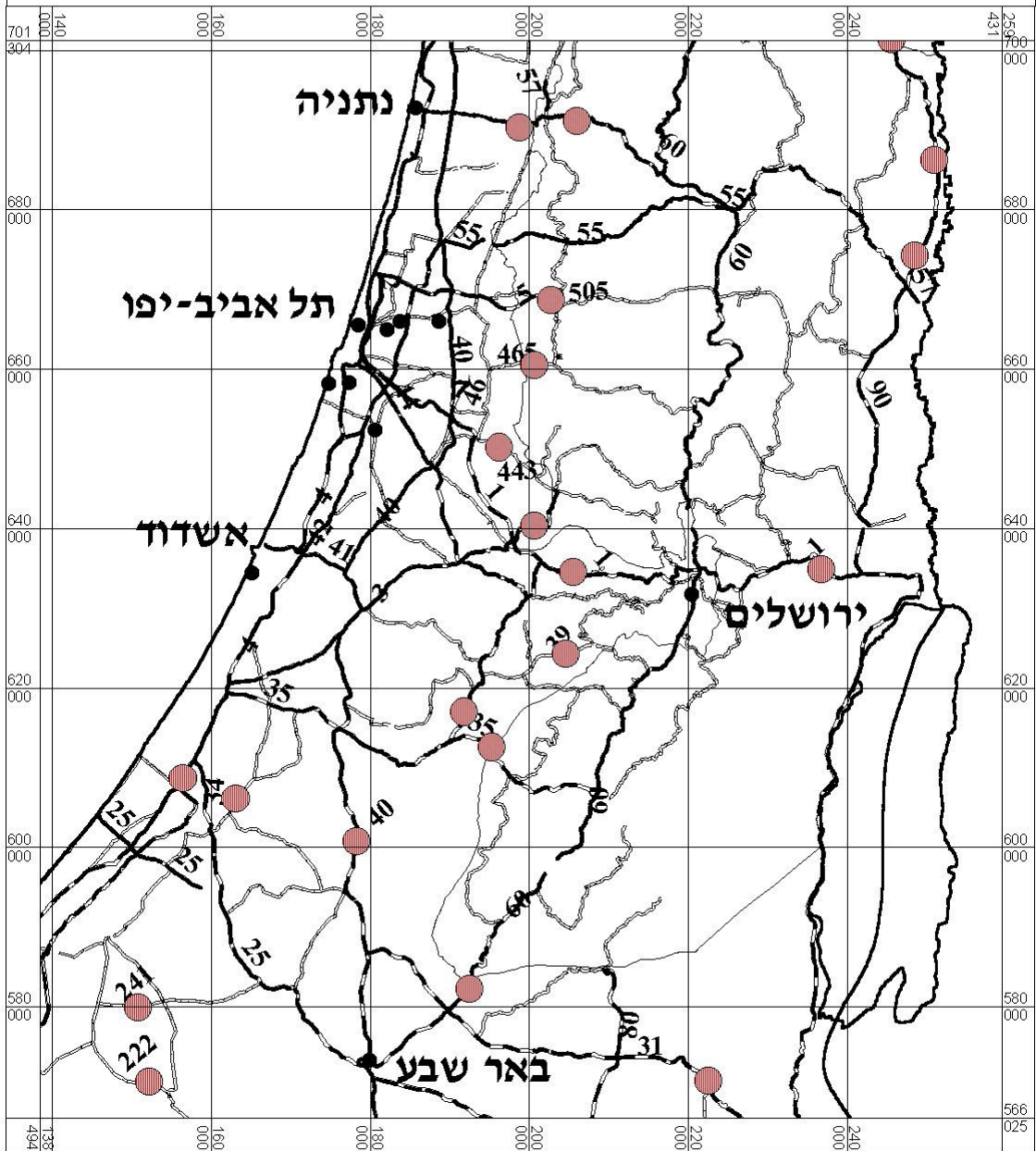
קואורדינטות: רשת ישראל החדשה
מפה זו אינה מהווה אסמכתא לקביעת גבולות מדויקים

ישובים ●

כביש ומספר כביש 65

צוואר בקבוק

"צווארי בקבוק" - מרכז

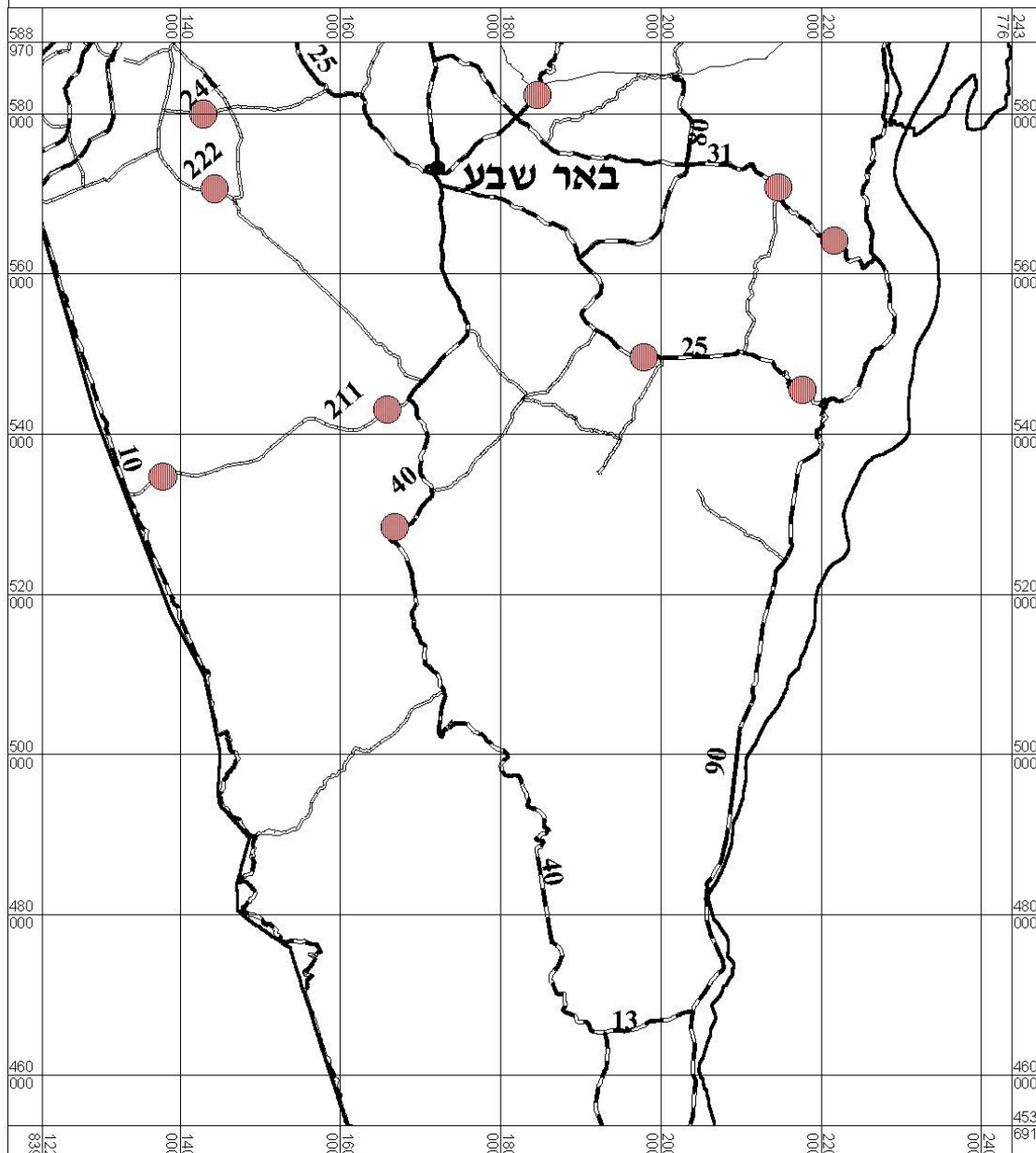



 מקורות המידע:
 מידע גיאוגרפי: מרכז מג"ג, רט"ג

קואורדינטות: רשת ישראל החדשה
 מפה זו אינה מהווה אסמכתא לקביעת גבולות מדויקים

ישובים ●
 כביש ומספר כביש 65
 צוואר בקבוק

"צווארי בקבוק" - דרום



מקורות המידע:
מידע גיאוגרפי: מרכז מ"א, רט"ג



קואורדינטות: רשת ישראל החדשה
מפה זו אינה מהווה אסמכתא לקביעת גבולות מדויקים

- ישובים
- 65 כביש ומספר כביש
- צוואר בקבוק

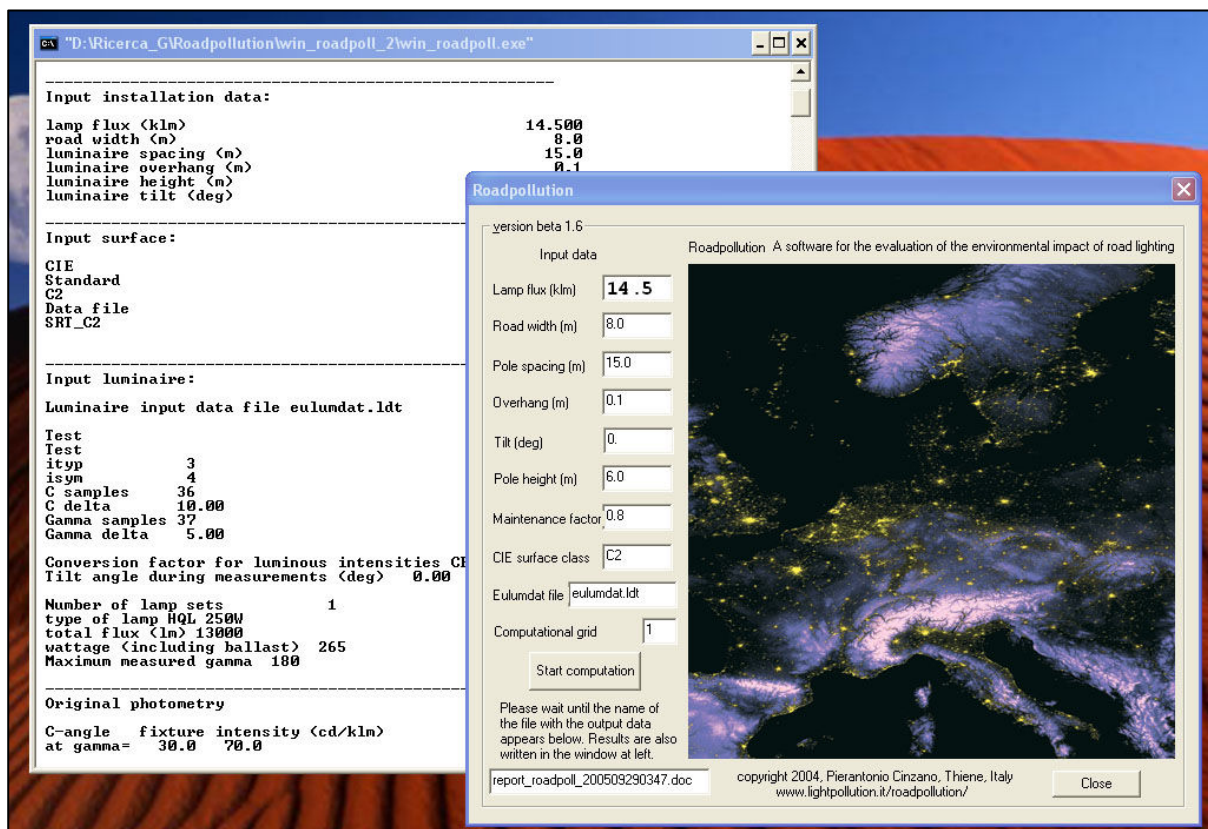
נספח II: תוכנות מחשב לתכנון תאורת כבישים והערכת

ההשפעה הסביבתית במונחים של מידת זיהום האור המתקבל

חקיקתם של חוקים חדשים במטרה לצמצם זיהום אור במקומות שונים בעולם (אירופה, ארה"ב), הובילו לפיתוח של תוכנות מחשב אשר מסייעות בתכנון מערכות תאורת כבישים תוך הערכה של מידת ההשפעה על הסביבה, ובמיוחד של מידת זיהום האור המתקבל.

בנספח זה מוצגות שתי תוכנות, הניתנות להורדה ושימוש בחינם:

1) תוכנת **ROADPOLLUTION** (<http://www.lightpollution.it/roadpollution/#TOC456>), היא תוכנה לניתוח של מערכות תאורת כבישים והערכה של ההשפעה הסביבתית במונחים של מידת זיהום האור המתקבל. התוכנה מספקת דו"ח מפורט, הכולל מספר רב של פרמטרים המאפשרים למתכנן לכמת את איכות מערכת התאורה המתוכננת, מידת החיסכון באנרגיה, וההתאמה של התוכנית לדרישות לצמצום זיהום אור ומידת התאימות לחוקים כנגד זיהום אור. דוגמא של חלק מיכולות התוכנה מופיעות באיור 1.



איור 1- חלון תוכנת Roadpollution, המציג חלק מיכולות החישוביות.

2) תוכנת **SAVE THE SKY**, הניתנת להורדה ושימוש בחינם : <http://www.savethesky.eu>, היא תוכנת תכנון תאורה. תפקידה לייעל תכנון תאורת דרכים, תוך התחשבות בגורמים סביבתיים (התוכנה פותחה באיטליה כדי לתת מענה תכנוני לפי דרישות חוקים חדשים כנגד זיהום אור, כפי שנחקקו לדוגמה בחבל לומברדי). התוכנה יכולה, במסגרת נהלים בטיחותיים מקובלים :

- לייעל את המרחקים בין עמודי תאורה סמוכים, תוך התחשבות בגובה עמודי התאורה.
- לצמצם ולייעל את האנרגיה הדרושה להארת קטעי דרך.
- לצמצם ולייעל את הבהיקות הפוטומטרית (luminance) הדרושה להארת כביש.
- לבחור גופי תאורה אופטימאליים ולייעל את ניצולם.
- להפחית את שטף האור הישיר והעקיף המופנה כלפי השמיים, וע"י כך להקטין את זהירות הרקיע.

בעזרת התוכנה ניתן לבחור את ממדי הדרך וערכים נוספים בהתאם לדרישות בטיחותיות, ולהגיע לקונפיגורציה המביאה ליעילות מרבית של כל הפרמטרים הקשורים בתאורה (גובה עמודי תאורה, מרחק, זוויות וכדומה). דוגמא של חלק מיכולות התוכנה מופיעות באיור 2.

Luminaires Choice

Series: Disposal: Type of Lamp: Power [W]: Model: Producers/Distributors:

Selection

Model: CA 5000 - HPS-T 150W-Adj-V3L4
 Code: CA 5000 CDM-TT 150-V3L4
 Body: Aluminum
 Reflector: Aluminum
 Diffuser: Flat Glass
 Class: I
 IP: 54/23
 Tilt Max: Pole Head 20
 Arm:
 Lamp: Philips CDM-TT 150W/830
 Ra[%]: 3000
 Color [K]: 85
 Power [w]: 150(189.6)
 Flux [lm]: 13500
 Lamp Position: V3L4
 Socket: E40

Light output ratio luminaire LORL (%): 72.8 %
 Upwards flux fraction (100%-DFE): 0 %

Producers/Distributors: **Thorn Illuminazione** (info@thornlight.com)

Series	Model	Producers/Distributor	Lamp	Pos.	[lm]	[w]	IP	Class	Socket	C
Stradale	CA 5000	Thorn Illuminazione	Philips CDM-TT 150V2.5L2		13500	150	54	I	E40	
Stradale	CA 5000	Thorn Illuminazione	Philips CDM-TT 150V2.5L1		13500	150	54	I	E40	
Stradale	CA 5000	Thorn Illuminazione	Philips CDM-TT 150V3L7		13500	150	54	I	E40	
Stradale	CA 5000	Thorn Illuminazione	Philips CDM-TT 150V3L6		13500	150	54	I	E40	
Stradale	CA 5000	Thorn Illuminazione	Philips CDM-TT 150V3L5		13500	150	54	I	E40	
Stradale	CA 5000	Thorn Illuminazione	Philips CDM-TT 150V3L4		13500	150	54	I	E40	
Stradale	CA 5000	Thorn Illuminazione	Philips CDM-TT 150V3L3		13500	150	54	I	E40	
Stradale	CA 5000	Thorn Illuminazione	Philips CDM-TT 150V3L2		13500	150	54	I	E40	
Stradale	CA 5000	Thorn Illuminazione	Philips CDM-TT 150V3L1		13500	150	54	I	E40	

איור 2 - חלון תוכנת Save the Sky, המציג חלק מיכולות החישוביות.

נספח III: בעיית קינון ציפורים בעמודי תאורה בצמתים ודרכי פתרון

בשנים האחרונות מקימה מע"צ עמודי תאורה גבוהים במחלפים גדולים בישראל (לדוגמא בכבישים 1, 5, ו-6). עמודי תאורה אלו, הנקראים עמודי High Mast, נישאים לגובה של 30-35 מטר ומורכבים ממספר גופי תאורה המסודרים במבנה טבעתי סביב עמוד מרכזי. מבנה טבעתי זה מאפשר להוריד ולהעלות את גופי התאורה בעזרת מערכת מתוחכמת של כבלים הנמצאים בחלקו הפנימי ולכל אורכו של עומד התאורה, ובכך לייעל את התחזוקה השוטפת של מערכת התאורה.

לאחר הקמתן של מערכות תאורה שכאלה במחלפים לאורך כביש מספר 5 (מחלף ירקון, מורשה והכפר הירוק) לדוגמא, החלו תצפיות על פעילות של ציפורי-שיר בעיקר מן המין קאק, אך גם מינינה מצויה, סביב עמודי תאורה אלו. תצפיות אלו התרבו עם הזמן, גם במחלפים נוספים, ואף נצפתה פעילות לינה וקינון של שני מינים אלו בראש עמודי התאורה, בפיגומים המקורים שמעל המנורות עצמן.

יכולתן של ציפורים, ובמיוחד שני מינים אלו לנצל את מערכות התאורה במחלפים כאתרי לינה ומקומות קינון מהווה בעיה אקולוגית חמורה, התורמת להתפשטותם של ציפורים אלו לאזורים חדשים. במקרה של המיינה המצויה (*Acridotheres tristis*), מין פולש המגיע מהודו, הבעיה חמורה והשלכותיה ברורות. ברחבי העולם ידועה המיינה כמתחרה עם מינים מקומיים על מזון ואתרי קינון, כמעבירה של מלריה של עופות וכגורמת נזק ליבולים חקלאיים. בנוסף היא פוגעת בגוזלים וביצים של ציפורים אחרות ובמקומות מסוימים גרמה להכחדה של יונקים קטנים. המיינה הובאה לישראל בסוף שנות ה-90 של המאה ה-20 כחיות מחמד ושחררה או ברחה מכלובים, כפי הנראה מאזור פארק הירקון. תוך זמן קצר הן התפשטו מתל אביב לגוש דן ומשם צפונה, דרומה ומזרחה, בעיקר סביב מגורי אדם. רט"ג משקיעה מאמצים רבים על מנת למגר מין פולש זה, וזאת במטרה להגן על המגוון הביולוגי המקומי. הגורם המגביל כיום את התפשטותו לאזורים חדשים בישראל הוא ככל הנראה מקומות קינון ואתרי לינה. המיינה מקננת בחורים בעצים או בקירות, סדקים וכדומה. בחורף ובסתיו נוהגות המיינות להיזון בלהקות של 20-5 ציפורים. להקות אלו עשויות לעוף מרחקים גדולים מ-10 ק"מ כל יום, בדרכם מאתרי הלינה למקורות מזון וחזרה. הלינה היא באתרי לינה משותפת, אליהם מתנקזים מדי לילה עשרות ועד למאות פרטים. הסכנה אם כך, הטמונה בעמודי תאורה מסוג High Mast במחלפים, היא שהמבנה שלהם משמש כאתרי לינה וקינון מוצלחים מאוד עבור מין זה, במיוחד לאור העובדה שמפאת גודלו כל עמוד תאורה מסוגל לשכן מספר לא קטן של ציפורים, ובכל מחלף קיים מספר עמודים רב. בכך עמודי תאורה במחלפים עשויים לשמש כ"קרח קפיצה" מצוין, המאפשר התבססות מהירה של המיינה המצויה בשטחים חדשים ו"כיבוש" אזורים חדשים לאורך צירי המחלפים.

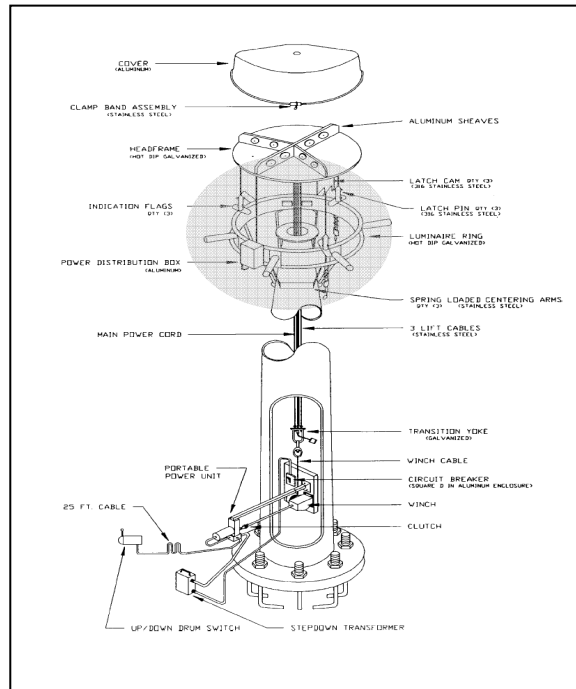
מין נוסף, אשר משתמש בעמודי תאורה אלו כאמצעי לביסוס אוכלוסייתו בשטחים אחרים הוא הקאק (*Corvus monedula*), ציפור-שיר ממשפחת העורביים. זוהי ציפור חברתית החיה בלהקות, ומאכלסת בתי-גידול שונים: נופים גלויים ופתוחים, שדות, מטעים, לאורך מצוקים ובתחומי ערים. הקאק, כשאר העורבים, הוא אוכל-כל ללא העדפות: נבטים, חרקים, זרעים, בעל-חיים קטנים, ביצי ציפורים ועוד.

הקאק הוא חורף שכיח בישראל ויציב לא נפוץ, המוגבל למושבות קינון אחדות. בעבר חרפו בישראל עשרות אלפי קאקים. מספר הקאקים פחת בסוף שנות ה-50 בגלל הרעלות, אך אוכלוסייתו הלכו והתאוששו עם השנים. באירופה נמצא הקאק בתהליך התפשטות עקב היעלמות דורסי-היום שהינם אויביו הטבעיים.

חוסר שיווי-המשקל שנוצר באוכלוסיית מין זה בישראל כתוצאה מהרעלות עבר מצד אחד ומהתמעטות של אויביהם, העופות הדורסים מצד שני, עלול ליצור התפרצות של מין זה, כלומר עלייה דרמטית בגודל אוכלוסיית המין שעלולה לגרום לנזק הן לחקלאות והן לעולם החי של ישראל.

בדומה למיינה המצויה, הגורם המגביל כיום את התפשטות הקאק הוא אתרי לינה וקינון. הקאק בונה את קנו על דרגש או בנקיק-סלע. הקן הוא מגושם, בנוי מזרדים וגבעולים, ומרופד בנייר, נוצות, עשבים, עלים, צמר כבשים ועוד. לעיתים יש שימוש חוזר בקינים שנה אחר שנה. מבנה עמודי התאורה, אם כך, מאפשר התבססות של אוכלוסיות קאקים לאורך צירי מחלפים בעזרת גופי תאורה אלו, גם במקומות חסרי מצוקים, והתפשטותו של מין זה בצורה מהירה ויעילה באזורים חדשים. עדות טובה לכך ניתן לראות כיום בציר כביש 5, שלאורכו קיימת התפשטות מערבה של קאקים מאזור צומת קסם (הסמוך למושב הקאקים הגדולה במגדל-צדק), דרך צומת ירקון ומערבה עד לצומת גלילות.

הפתרון הוא מניעת היכולת של ציפורים לעמוד בתוך הפיגומים מתחת לראש העמוד המקורה, (ראה איור מס 1, האזור המסומן באפור). ניתן לבצע זאת באופן פשוט וזול ע"י הוספת רשת או דוקרנים שימנעו את כניסת הציפורים (ראה איור 2, איור 3). טיפול כזה, לאחר התייעצות משותפת בין מע"צ לרט"ג, שבה ייבחן המפרט המדויק, עשויה להוביל לתועלת רבה לשני הצדדים, שכן, מלבד צמצום התפשטותם של ציפורים, פעולה זו עשויה לצמצם נזקים לעמודים ובמיוחד למנגנון ההרמה וההורדה, כתוצאה מחומר קינון הנערם בחלק זה של עמוד התאורה.



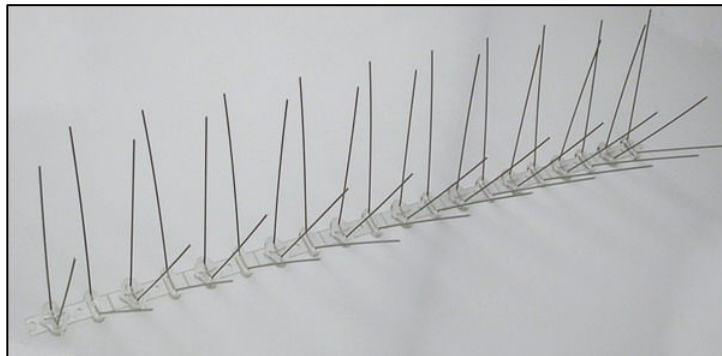
איור 1. מבנה עמוד תאורה מסוג High Mast. העיגול האפור מציין את האזור בו עומדות ציפורים. המפרט הוא של עמודי תאורה של חברת [Carolina High Mast](#), אך דומה באופן עקרוני לאלו הקיימים בישראל.



איור 2. תקריב של עמוד תאורה High Mast (צולם בצומת הכפר-הירוק). על-גבי חלקו העליון של העמוד קיימות שתי נקודות בעייתיות:

נקודה א' – כדי למנוע קינון של ציפורים יש למנוע מציפורים כניסה לתוך החלק העליון הסגור ע"י אטימת כל פתח בעזרת רשת (כפי שנדרש במסמך "מפרט ודרישות טכניות לעמודים בשימוש בכבישי מע"צ"). לא בכל העמודים החלק העליון אכן סגור מספיק כמו בתמונה הנ"ל.

נקודה ב' – יש למנוע מציפורים לעמוד על הטבעת ע"י כיסוי בדוקרנים (ראה איור 3).



איור 3. דוגמא לדוקרנים להרחקת יונים. בתמונה דוקרני "עופי יונה" נחושת (דגם M).

אתר היצרן: <http://www.livecity.co.il/39834/spikes> (מוצר זה הוא דוגמא בלבד, אין לראות ביצרן זה כיצרן המומלץ בהכרח ע"י רט"ג).

נתונים טכניים:

גובה דוקרן - 10 ס"מ

רוחב 10 ס"מ

הרכב הדוקרנים: פלזי מצופה נחושת, הבסיס: נחושת.

מרחק בין הדוקרנים: 1.5 ס"מ

כמות דוקרנים במטר 66 דוקרנים

אורך יחידה 1 מטר

על-פי היצרן, הדוקרנים מתאימים להרחקת יונים, עורבים ושחפים ממזגנים, אדני חלון, מעקות, אדניות, קורניזים (מדפי בטון) קצוות גג, מרזבים, ארגזי רוח, מסתורי כביסה וכו'. אין צורך להרכיב את הדוקרנים אל הבסיס (ההרכבה מבוצעת במפעל). התקנה בעזרת סיליקון בתחתית, או ברגים בחורים.