

צמצום התנגשות עופות בקווי מתח

ניתוח רגישות ארצי
ומתווה לפתרון



צמצום התנגשות עופות בקווי מתח

ניתוח רגישות ארצי
ומתווה לפתרון

נובמבר 2019

ריכוז הפרויקט:

אסף מירוז, זאב לבינגר וליהי ברקן

היגוי:

דפנה שחורי, חזי סמוחה, הראל חצרוני, ארז שלייפר (חח"י)
אלון רוטשילד, דן אלון, נדב ישראלי (חלה"ט)
אוהד הצופה (רט"ג)

מסמך זה כולל הנחיות לצמצום התנגשות עופות בקווי מתח על בסיס ניתוח רגישות ארצי. התנגשות עופות בקווי מתח עיליים הינה בעיה גלובאלית הפוגעת כמעט בכל מיני העופות המעופפים, כאשר הם אינם מבחינים בכבלים ומתנגשים בהם אגב מעופם. מתווה הפתרון הינו פרי שיתוף פעולה בין חברת החשמל לישראל, החברה להגנת הטבע, רשות הטבע והגנים והמשרד להגנת הסביבה, ומסכם תהליך עבודה של שנתיים.

ריכוז פרויקט:

אסף מירוז, זאב לבינגר וליהי ברקן

היגוי:

דפנה שחורי, חזי סמוחה, הראל חצרוני, ארז שליפר (חח"י)

אלון רוטשילד, דן אלון, נדב ישראלי (חלה"ט)

אוהד הצופה (רט"ג)

תמונת שער: חסידיה לבנה אשר נפגעה כתוצאה מהתנגשות בקו מתח. צילום: אסף מירוז

מנהל קריאייטיב: יגאל אמור, we amor

עיצוב: רועי בלנק, we amor

חברת החשמל לישראל: חברת החשמל היא חברה ממשלתית וציבורית, העוסקת בייצור חשמל, הולכתו, חלוקתו, מכירתו ואספקתו לרוב הצרכנים בישראל. חברת החשמל הגדירה חזון סביבתי לפיו החברה תפעל מתוך אחריות לסביבה, בראיה מקיימת ארוכת טווח וצופה פני עתיד.

החברה להגנת הטבע: (ע"ר), הארגון הסביבתי הגדול והוותיק בישראל, עמית בישראל של הארגונים הבין-לאומיים IUCN ו-*Birdlife International*. החברה להגנת הטבע פועלת בכלים חינוכיים, תכנוניים, ציבוריים, מחקריים ומשפטיים לשמירה על המגוון הביולוגי של ישראל ועל נגישותו לציבור.

רשות הטבע והגנים (רט"ג): רשות ממשלתית הפועלת למימוש המטרות של החוקים שמכוננים אותה: חוק גנים לאומיים, שמורות טבע ואתרי הנצחה וחוק הגנת חיית הבר. מטרות הרשות מתחלקות למחויבויות לשמור על הטבע ועל אתרי המורשת, לטפח אותם לרווחת הציבור ולחנכו בהתאם למטרות אלה. כגוף ציבורי מחזיקה הרשות בנאמנות, בשם הציבור, חלק מנכסי הכלל: שמורות טבע וגנים לאומיים. נכסים אלו אינם שייכים רק לדור הנוכחי והרשות מחויבת אליהם כאל פיקדון עליו יש להגן לטווח הארוך, גם בעבור הדורות הבאים.

כל הזכויות שמורות לחברה להגנת הטבע (ע"ר), חברת החשמל בישראל ורשות הטבע והגנים, 2019

[/https://tevabiz.org.il/company/iec](https://tevabiz.org.il/company/iec)

נובמבר 2019



תוכן עניינים

תקציר מנהלים

8

עיקרי הדברים

5

הצורך

23

הבעיה

16

המלצות

37

תוצרים

26

הערכה כלכלית

54

תכנית הטמעה

51

רשימת ספרות

76

נספחים

59

נספח א' - גורמים המשפיעים על סיכויי ההתנגשות של עופות בכבלים

60

נספח ב' - פירוט שכבות המידע אשר נכללו במודל הגיאוגרפי

70

נספח ג' - אזורים מועדפים לסימון באמצעים יעילים לשעות החשיכה

72

עיקרי הדברים



עיקרי הדברים

הבעיה

התנגשות עופות בקווי מתח מהווה גורם תמותה מרכזי הפוגע **בעשרות מיליוני עופות** כל שנה. בישראל, מחקר פיילוט אשר בוצע בקו מתח עליון בעמק יזרעאל מצא כי היקף בעיית ההתנגשות באזור עומד על **כ- 200 עופות לק"מ לשנה**. נתון זה נמצא על הרף הגבוה של הסקאלה על פי מחקרים מקבילים בעולם.

הצורך

נכון להיום, לא קיים מתווה לסימון קווי מתח למניעת התנגשויות הכולל סדרי קדימויות, אפיון טכני של אלמנטים לסימון, והמשמעויות ליישום.

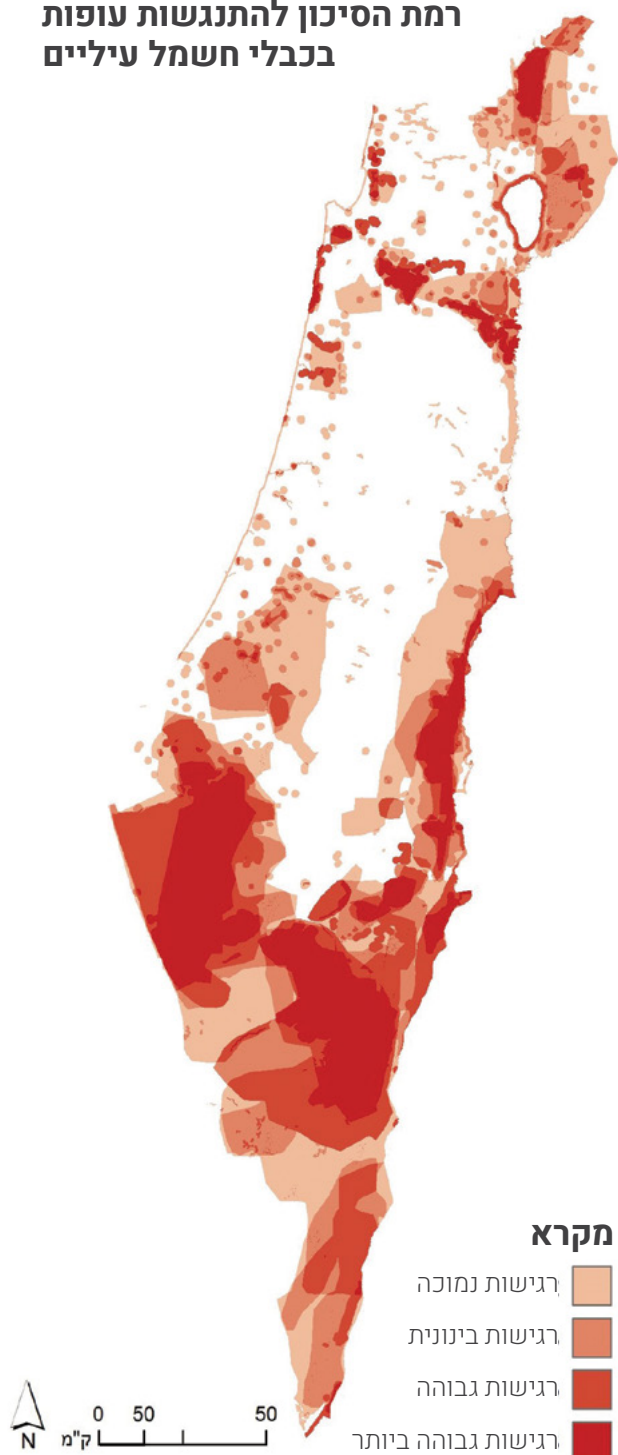
הפתרון

- צמצום שיעור העופות הנפגעים מהתנגשות מושג על ידי סימון קווי החשמל העיליים באמצעים שנועדו להבליט אותם עבור העופות.
- מניעה מוחלטת של התופעה אפשרית רק באמצעות הטמנת קווי המתח.

התוצרים

- **מודל גיאוגרפי** - חלוקה מרחבית של ישראל על פי רמות רגישות לפוטנציאל הפגיעה של קווי מתח בעופות, לצורך:
- **קווים קיימים** - מיקוד וסדר קדימות של מאמצי מזעור הנזקים אל האזורים הרגישים יותר.
- **קווים חדשים** - הטמעת הנושא בבחינת חלופות וזיהוי האזורים בהם יש צורך לטפל לצמצום ההשפעה עם הקמת הקווים.
- **סט הנחיות** לצמצום פגיעת העופות בקווי מתח קיימים ובתכנון קווי מתח חדשים.
- זיהוי התמהיל היעיל ביותר של אמצעי סימון, על פי סוגי קווי המתח השונים, בהתאם לידע ממחקרים מהעולם.
- **הערכה כלכלית** של עלות התקנת אמצעים אלו על קווי המתח השונים.

רמת הסיכון להתנגשות עופות בכבלי חשמל עיליים



המלצות מרכזיות

1. ביצוע מחקר יישומי רחב היקף לבחינת היעילות של תמהיל אמצעי הסימון המומלצים ליישום בישראל.

2. קווים חדשים: הטמעת המלצות המסמך בעת תכנון קווי המתח החדשים העוברים באזורים בעלי רגישות גבוהה וגבוהה ביותר, זאת בהתאם למפת המודל הגיאוגרפי: שיקולים בקביעת התוואי, ותקצוב נאות של האמצעים למזעור התנגשות עופות.

3. בניית תכנית עבודה רב שנתית לסימון קווי המתח הקיימים החוצים אזורים בעלי רגישות גבוהה ביותר. אורך קווי המתח הממוקמים באזורים אלו עומד על 940 ק"מ המהווים כ-5% מכלל קווי המתח בארץ. איגום משאבים לסימון קווי מתח אלה אשר עלותם המשוערת נעה בין 33-58 מיליון ש"ח, כתלות בשיטות ההתקנה.

4. הקמת צוות מלווה קבוע לממשק עופות וקווי מתח, אשר יכלול נציגים של חברת החשמל, רשות החשמל, גופים ירוקים וגורמי התכנון. הצוות יסייע בריכוז הידע מהפרויקטים השונים, בקרת ביצוע, איגום משאבים, עדכון המלצות, והכוונת מחקרים.

תקציר מנהלים

→ התנגשות פלמינגו בקו מתח. צילום: נדב ישראלי



תקציר מנהלים

**רשתות הכבלים העיליים המוליכות חשמל ותקשורת,
גובות מהעופות מחיר כבד:**



נזק ישיר

- **התנגשות בכבלים**
(כלל העופות המעופפים).
- **התחשמלות** על גבי העמודים
(בעיקר עופות גדולים).

נזק עקיף ומצטבר

- הרס נקודתי של בתי גידול
- קיטוע אקולוגי מרחבי
- החדרת מינים פולשים

המסמך קובע סדרי עדיפויות לנקיטת אמצעים למזעור סכנת ההתנגשות של עופות בקווי חשמל, הן קיימים והן עתידיים, על בסיס תיעדוף מרחבי, מציג המלצות טכניות לאמצעים שונים, ואת ההיבטים הכלכליים העקרוניים.

תוצרי המסמך

• **מודל גיאוגרפי** המציג חלוקה מרחבית של ישראל על פי רמות רגישות לפוטנציאל הפגיעה של קווי מתח בעופות.

המודל מסתמך על שני סוגים של שכבות מידע: אתרים ואזורים בהם מתרכזים עופות רבים ממגוון מינים (דוגמת מאגרי מים, שמורות טבע ואתרי סילוק אשפה).

• **מפות תפוצה** של מיני עופות הנמצאים בסכנת הכחדה, ומוכרים גם כרגישים להתנגשויות בכבלים.

• **סקירת אמצעים לצמצום סיכון ההתנגשות** של בעלי כנף בכבלים, הקיימים כיום בעולם.

• **הערכה כלכלית ראשונית** של התקנת אמצעים אלו על קווי חשמל מסוגים שונים.

למרות שבעיית ההתנגשות של עופות בכבלים עיליים מוכרת ברחבי העולם מזה למעלה ממאה שנה, המחקר והטיפול בה החלו רק בעשורים האחרונים. גם בישראל טרם הוקדשה תשומת לב לבעיה זו והיא לא טופלה כמעט כלל עד היום, למרות השפע היחסי של עופות ומיקומה המיוחד של הארץ על ציר נדידה מרכזי.

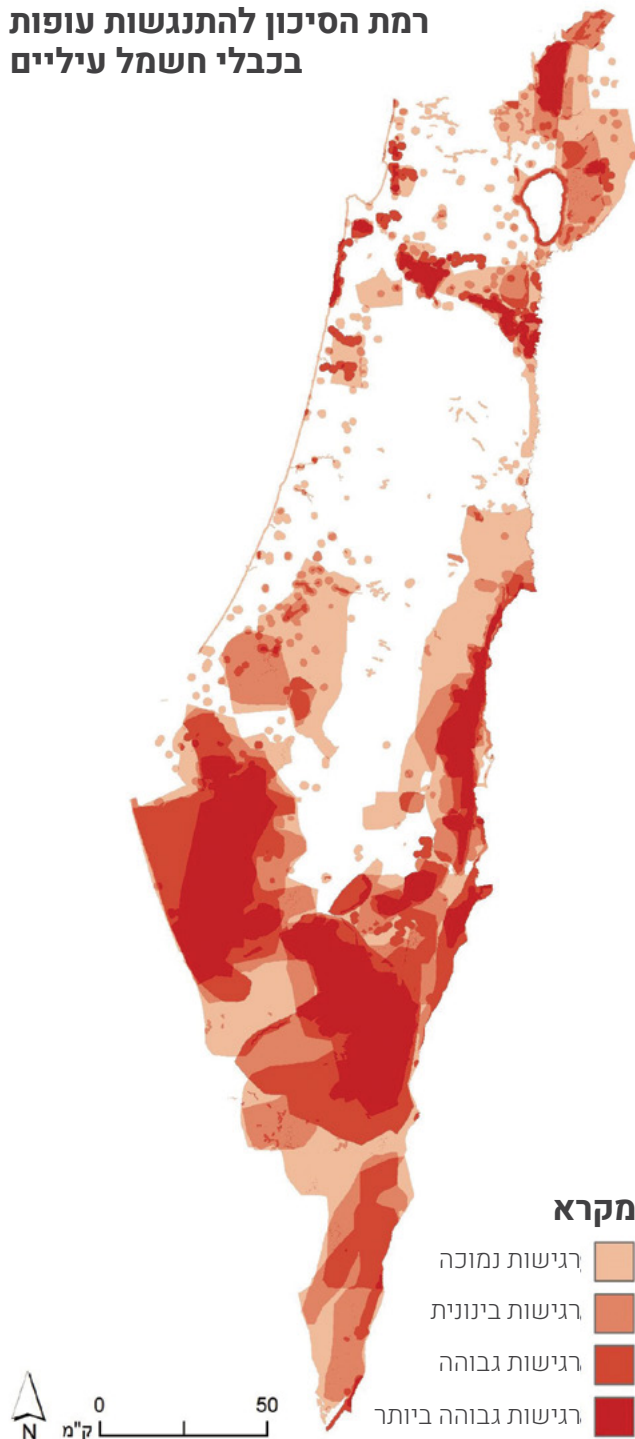
במחקר שבוצע בעמק יזרעאל בשנים 2016-2017, במסגרת פרויקט משותף לחח"י, החלה"ט, המשרד להגנה"ס ורט"ג, נמצא כי קצבה ההתנגשות של עופות בקו המתח העליון עומד על כ- 200 עופות לקילומטר לשנה. מכאן, שמדובר על בעיה משמעותית המחייבת מענה.

מכיוון שמניעת התנגשות עופות בקווי מתח היא משימה מורכבת טכנית, הנושאת עלויות כלכליות, חיוני לקבוע סדרי קדימויות לטיפול על מנת להבטיח שהטיפול מבוצע קודם במקומות המשמעותיים ביותר מבחינת שמירת הטבע. לשם כך נערך בשנים 2017-2019 פרויקט המשך בשיתוף חח"י, החלה"ט ורט"ג, שתוצריו מסוכמים במסמך זה.



התנגשות חיוויאי בקו מתח על. צילום: רט"ג

רמת הסיכון להתנגשות עופות בכבלי חשמל עיליים



תוצאות המודל

כללי

- כל האזורים בישראל חולקו לפי 5 רמות רגישות: גבוהה ביותר, גבוהה, בינונית, נמוכה ושאר חלקי הארץ.
- סך כל השטחים שקיבלו דרגת רגישות כלשהי עומד על 16,395 קמ"ר, המהווים כ- 60% משטחה של ישראל, ואילו סך השטחים שקיבלו את דרגת הרגישות הגבוהה ביותר עומד על 3,866 קמ"ר, המהווים כ- 14% משטח ישראל.

חלוקה מרחבית זו תסייע הן להכוונת מאמצי מזעור הנזקים בקווים קיימים לאזורים הרגישים והן לבחינת חלופות ולהטמעת שיקולים אקולוגיים בתכנון קווים חדשים בחח"י ובמערכת התכנון.

קווים קיימים

- מרבית השטחים הרגישים משתרעים על פני מרחבי הנגב, באזורים שבהם צפיפות קווי המתח הקיימים היא נמוכה. אזורים רגישים שבהם צפיפות קווי המתח היא גבוהה, כוללים את עמק החולה, עמק יזרעאל, עמק בית-שאן, חוף הכרמל וצפון מערב הנגב.
- אורכם הכולל של קווי המתח הקיימים החוצים שטחים בעלי רגישות כלשהי עומד על כ- 7,700 ק"מ, המהווים 43% מכלל קווי המתח בישראל (כ- 80% מתוכם הם קווי מתח גבוה, 18% הם קווי מתח עליון ו- 2% מתח-על).
- באזורים בדרגת הרגישות הגבוהה ביותר עוברים כ- 940 ק"מ של קווי מתח, שהם כ- 5% מכלל קווי המתח בארץ (מרביתם קווי מתח גבוה).



התנגשות שקנאי בקו מתח גבוה בעמק במעינות.
צילום: רט"ג

מינים רגישים במיוחד

מתוך כלל מיני העופות הנצפים בישראל, 28 מינים המוגדרים בסכנת הכחדה (אזורית/עולמית) הם גם רגישים מאוד להתנגשות בכבלים.

אוכלוסיותיהם של שני מינים הן ככל הנראה רגישות במיוחד להיפגעות מהתנגשות בקווי-מתח: אוכלוסיית החובארה המדברית בצפון הנגב, המצויה בסכנת הכחדה ומוכרת ממקומות שונים בעולם כרגישה מאוד להתנגשויות, ואוכלוסיית השקנאי הלבן, הנמצאת בקונפליקט עם ענף המדגה וסובלת לכן משיעור התנגשויות גבוה.



חובארה מדברית. צילום: אסף מירוז

הפתרון המוצע

מניעה

הפתרון המיטבי הוא מניעת ההתנגשויות (ובעיות אקולוגיות נוספות) באמצעות הטמנת קווי המתח, היכן שהדבר אפשרי מבחינה כלכלית, הנדסית וסביבתית.

סימון קווי המתח - האמצעי לצמצום בעיית ההתנגשויות

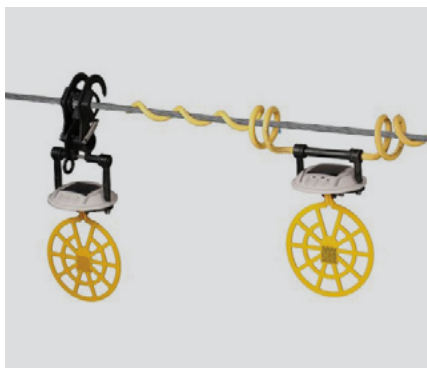
מצאי הפתרונות כולל **אמצעי סימון ויזואליים** שנועדו להגדיל את הנראות של הכבלים עבור עופות המעופפים בקרבתם.

אמצעי הסימון מתחלקים לשלושה סוגים:

- **פאסיביים:** כדורי סימון, ספירלות ותליונים המוצמדים לכבל בחיבור קבוע.
- **אקטיביים-מתנועעים:** תליונים או דגלונים המתנדנדים ברוח.
- **אקטיביים-זרחניים/מאירים:** תליונים המתנדנדים ברוח וגם זורחים או מאירים בלילה.

ממצאי סקר הספרות מראים כי:

- לאמצעי הסימון האקטיביים יש ככל הנראה יתרון על פני סמנים פאסיביים.
- התקנה של שני סוגי אמצעים, לסירוגין, הוכחה כיעילה יותר לצמצום מספר ההתנגשויות לעומת התקנת סוג אחד בלבד.
- סמנים המאירים בתאורת לד (LED) הם היעילים ביותר עבור מיני עופות הנוטים להתנגש בלילה, מוצע לבחון התקנה של אמצעים אלה באזורי הקונפליקט של האוכלוסיות הרגישות ביותר.



אמצעי סימון הזמינים בשוק, להגברת נראות קווי המתח עבור העופות.

צילום: Bird Fighter, PLP

המלצות ליישום המודל המרחבי

- בתכנון קווים חדשים – מוצע לשלב את מודל הרגישות המרחבי הן בשלבי התכנון המוקדם (בחינת חלופות) והן בשלבי התכנון המפורט (בחירת התוואי, התקנת אמצעים למזעור הסיכון) לרבות הטמעת העלות של אמצעים לסימון הקו, התקנתם ותחזוקתם, במסגרת התכנון התקציבי של הפרויקט.

• בקווים קיימים – מוצע לבצע תכנית רב-שנתית לסימון הקווים לפי דרגת הרגישות (קודם הקווים ברגישות המירבית ואח"כ ברגישויות נמוכות יותר).

קווי מתח חדשים	קווי מתח קיימים
הטמנת הקווים בעדיפות ראשונה - בכל מקום שניתן ובכפוף לאילוצים הנדסיים, תפעוליים וכלכליים.	עבודה על פי תכנית עבודה רב שנתית, תוך איגום משאבים לסימון קווי המתח הקיימים באזורים בעלי רגישות גבוהה וגבוהה ביותר בהתאם למפת המודל.
בחינת חלופות מאקרו להעברת הקו באזורים פחות רגישים (ע"פ מפת המודל והנחיות לתכנון קווים חדשים).	תעדוף סימון קווי המתח בכל אחד מהאזורים הרגישים יהיה בהתאם לגובה קווי המתח – מהגבוה לנמוך (בד"כ נמצא בהתאמה למתח – על, עליון, גבוה) (ככל שקו המתח גבוה יותר, הוא קטלני יותר).
בתכנון המפורט של החלופה הנבחרת – הכנסת שיקולים לצמצום הפגיעה בבעלי הכנף (לפירוט, ראו פרק המלצות).	
סימון הכבלים בקווים החוצים אזורי רגישות גבוהה/גבוהה ביותר וכן ליד מקורות מים ומוקדי משיכת עופות.	



קיווית מצויצת שנפגעה מקו מתח בעמק יזרעאל. צילום: אלון רוטשילד

הערכה כלכלית

- הערכה כלכלית להתקנת אמצעי סימון על גבי קווי המתח השונים מתייחסת לשני מרכיבים: עלות אמצעי הסימון ועלות ההתקנה.

- קיימים הבדלים בעלויות לפי שיטות התקנה שונות (בעזרת מסוק, משאית עם מנוף, מוט תלייה או רחפן). מוצע להשתמש ברחפן לצורך התקנת אמצעי הסימון ע"ג קווי מתח על ומתח עליון ובמוט עבור קווי מתח גבוה, מכיוון שהם זולים משמעותית מחלופות אחרות.

- 940 ק"מ של קווי מתח קיימים חוצים שטחים בדרגת הרגישות הגבוהה ביותר. סימון שלהם צפוי לעלות בין 33-58 מיליון ש"ח, כתלות בשיטות ההתקנה: עלות אמצעי הסימון המוצעים מוערכת ב- 12.5 מיליון ש"ח ועלות ההתקנה מוערכת ב- 21-46 מיליון ש"ח.

מעקב ובקרה

מומלץ להקים צוות מלווה קבוע שיאחד את הטיפול בשני המפגעים האקולוגיים המרכזיים שגורמת רשת החשמל לחברת העופות – התחשמלות והתנגשות.

הצוות יכלול נציגים של חברת החשמל, רשות החשמל, גופים ירוקים וגורמי התכנון. **הצוות יסייע בריכוז הידע מהפרויקטים השונים, בקרת ביצוע, איגום משאבים, עדכון המלצות, והכוונת מחקרים.**

הבעיה

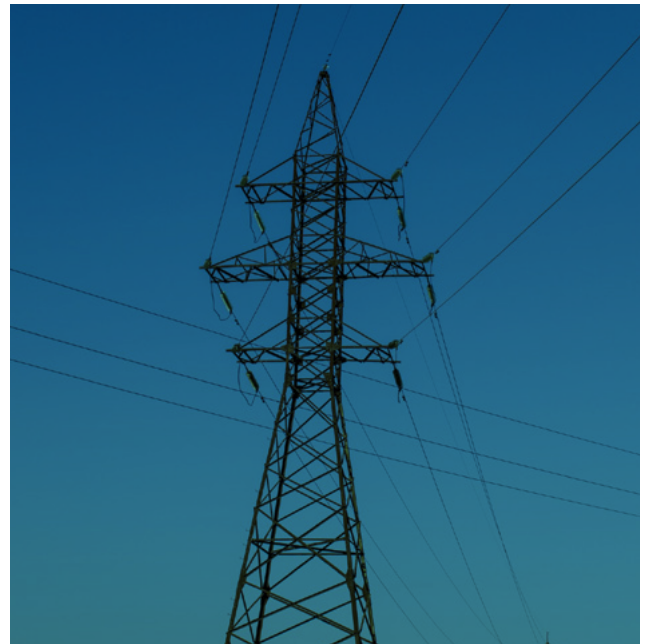
→ התנגשות שקנאי בקו מתח. צילום: ספי סהר



הבעיה

בעיית ההתנגשות של בעלי-כנף בכבלים עיליים – אתגר שהם לא הותאמו להתמודד עמו

בעלי החיים המעופפים, ובמיוחד העופות, התפתחו בתהליך ארוך של מיליוני שנות אבולוציה שבהן תכסית כדור הארץ כללה אדמה, שיחים ועצים בלבד והייתה ריקה מעצמים התלויים בגובה רב מעל לקרקע. במהלך 200 השנים האחרונות השתנה קו הרקיע בחלקים גדולים של העולם והוא כיום משופע בגורדי-שחקים, ארובות, אנטנות ובמיוחד רשתות חשמל.



כ - 65 מיליון ק"מ - אורכן המצטבר של רשתות חשמל ותקשורת הפרוסות כיום על פני כדה"א. רשת זו צפויה להמשיך ולהתרחב בקצב של 5% בשנה.

הקושי להבחין בכבלים העיליים נובע משילוב מספר גורמים

- **גורמים ביולוגיים:** כושר התמרון והראייה של העוף, מעוף בלהקה, התנהגויות שונות.
- **גורמים הנדסיים:** סוגי הכבלים העיליים, עוביים ומיקומם במרחב.
- **גורמים סביבתיים:** תנאי מזג האוויר והראות; שימושי קרקע המשפיעים על מספר העופות הנמצאים באזורים השונים.

לפירוט ראו נספח א'

בעיה עולמית - ממצאי מחקרים מהעולם

התנגשות עופות בקווי מתח עיליים הינה בעיה גלובאלית הפוגעת כמעט בכל מיני העופות המעופפים, כאשר הם אינם מבחינים בכבלים ומתנגשים בהם אגב מעופם. באיור ניתן לראות את מס' העופות הנפגעים על פי מחקרים שנערכו במדינות השונות.

700 עופות לק"מ באזור ביצות,
מיליון עופות בשנה בכל נורבגיה

2.5-25.6 מיליון עופות בשנה - קנדה



מעל מיליון עופות בשנה - צרפת

12-64 מיליון עופות בשנה - ארה"ב

בעיית ההתנגשויות בישראל

ישראל – ציר נדידה מרכזי

500 מיליון עופות חוצים את ישראל פעמיים בשנה, רובם בשעות החשיכה.

אוכלוסיות ענק של עופות המקננים ממרכז וצפון אירופה במערב ועד מרכז אסיה במזרח, נודדות בסתיו לאפריקה, שוהות שם בתקופת החורף, ושובות למחוזות הקינן באביב.

חלק גדול מעופות אלה נמנעים מלחצות גופי מים גדולים, דוגמת הים התיכון וים-סוף, ומעדיפים לעקוף אותם, מה שמביא להתנקזות מיליוני עופות נודדים לישראל.

על פי הערכה המתבססת על מחקר שנערך במכ"ם, חולפים מעל ישראל לפחות 500 מיליון עופות בשנה, בסתיו ובאביב ואלו שייכים לכ- 280 מינים.

מתוך כ- 500 מיליון העופות שחולפים על פי הערכה מעללאזורנו, מיליונים בודדים (2 – 3 מיליון לכל היותר), הם עופות דורסים, חסידות, עגורים ושקנאים המבצעים נדידה פאסיבית בצירים פחות או יותר מוגדרים ומוכרים. יתר העופות הינם ציפורי שיר ודומיהם, חופמאים, עופות-מים ועופות-ים, החולפים על פני ישראל בחזית רחבה וללא ציר מוגדר, בעיקר בשעות הלילה. נמצא כי נדידת לילה זו מונה כ- 40,000 עופות ללילה על פני חתך ברוחב 1 ק"מ.

נדידה בגובה נמוך, או בגובה גבוה הכולל נחיתות למנוחת יום, מעלה את הסיכון להתנגשות בקווי מתח.

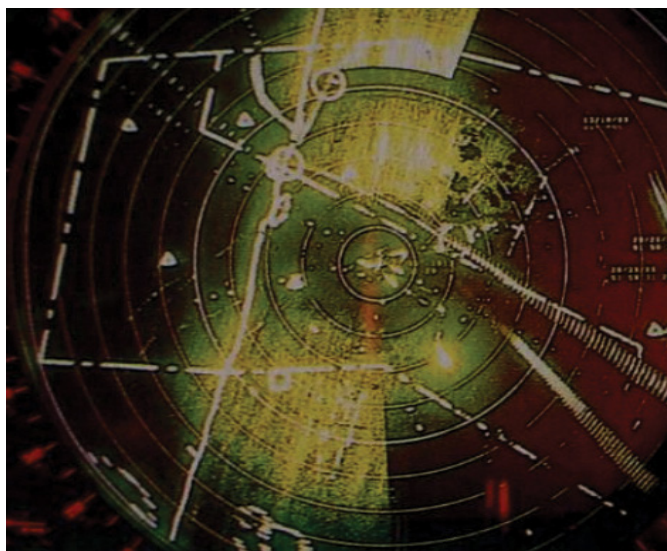
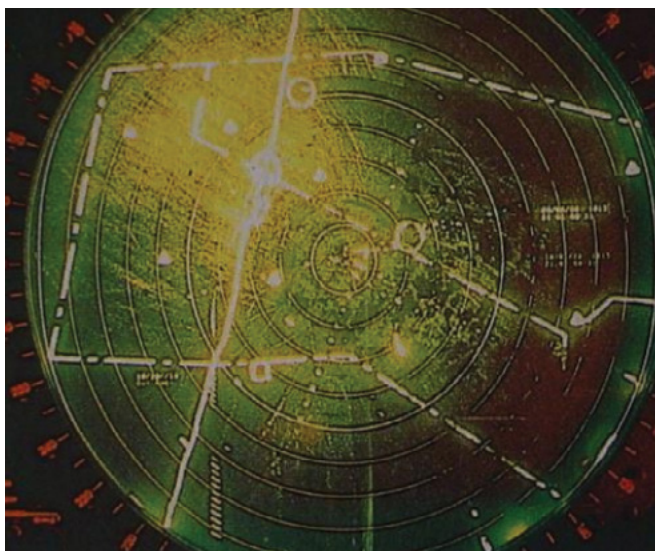


מפה סכימתית של צירי נדידת ציפורים סביב אגן הים התיכון. Labinger, Z. and O. Skutelsky. 2004.

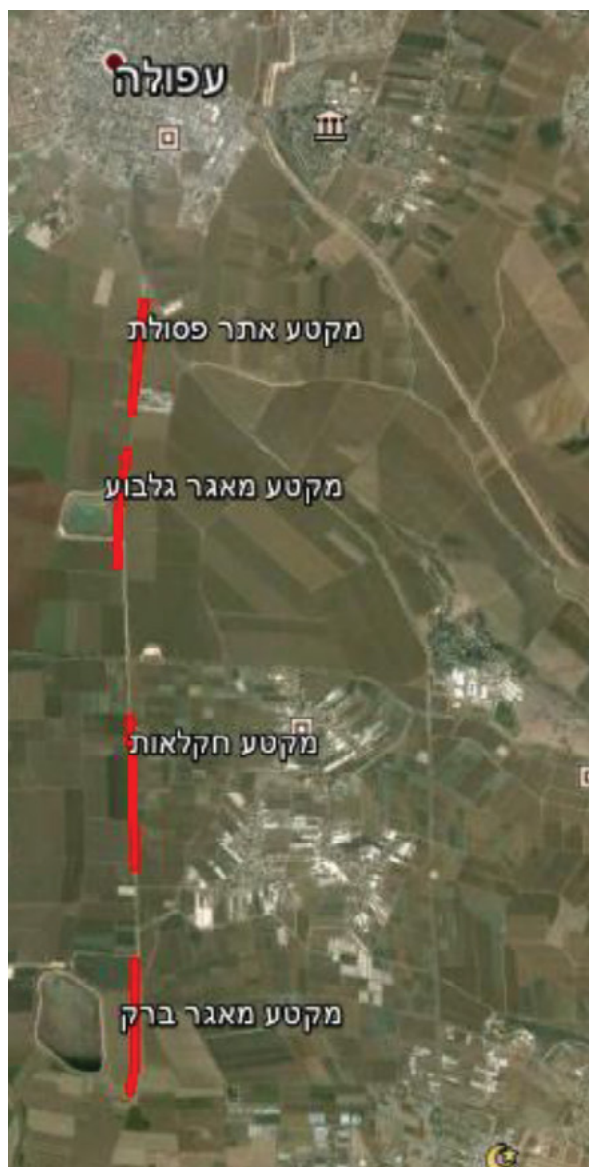
מגוון עופות יציבים, חורפים ומקייצים החשופים לסכנת התנגשות

בישראל קיימים כ-112 מינים יציבים הנמצאים בארץ כל השנה, יותר מ-200 מינים חורפים המבליים את החורף בארץ וכ-200 מינים מקייצים המקננים בארץ באביב ובקיץ.

תנועה יומית של מינים אלו בין אתרי לינה, אכילה, קינון וכד', לפעמים בתנאי ראות גרועים, לעיתים בלילה או בדמדומים, מעלה את הסיכון להתנגשות בקווי מתח.



צילומי מכ"ם המראים את תמונת השמים של גוש דן במהלך נדידת סתיו בשעות הלילה.
הגושים הזוהרים הם להקות נודדות של עופות. צילום: לשם ובהט 1994



אזור המחקר בעמק יזרעאל.
ארבעת מקטעי הניטור מסומנים באדום.
מתוך יושע, 2018

ממצאי מחקר פיילוט בעמק יזרעאל

במחקר שבוצע בעמק יזרעאל בשנים 2016 - 2018 הוערך היקף ההתנגשות של עופות בקווי-מתח ב-200 עופות לקילומטר לשנה, שיעור הגבוה פי שניים מהממוצע המדווח בספרות העולמית (Bernardino et al. 2018). סביר להניח כי המספר הגבוה נובע מכך שהאזור מהווה מוקד חשוב עבור עופות (בנוסף, נעשה שימוש בכלבי גישוש שיעילותם במציאת פגרי עופות גבוהה מאוד).

המחקר בוצע לאורך כ-4 ק"מ של קו מתח עליון בו נמצאו שרידי עופות השייכים ל-68 מינים ביניהם 12 מינים מוגדרים בסיכון אזורי או עולמי (יושע, 2018).



ממצאי מחקר הפיילוט בעמק יזרעאל תיעדו היקף התנגשויות של 200 עופות לק"מ - 68 מינים, מתוכם 12 מינים בסיכון אזורי או עולמי המוצגים לעיל. צילומים: אודי כץ, אבי מאיר, עזרא חדד, לביא לילון, גדי שמילה, אבי שנאור, עדי אשכנזי, יואב פרלמן

הצורך

→ התנגשות שחף בקו מתח באזור אשדוד. צילום: אמיר בן-דב



הצורך

**מדוע כדאי לחברת החשמל
לישראל לפעול לצמצום
התנגשויות עופות בקווי מתח?**

פיתוח פתרון המותאם לצורכי החברה

כיום עדיין לא קיים קובץ הנחיות מפורט לפתרון אשר יעילותו מוכחת ויכול לשמש את חברת החשמל, ועדות התכנון וגורמי הסביבה. השתתפות בפיתוח הפתרון יאפשר את התאמתו ליכולות ולצרכים התפעוליים, הבטיחותיים והכלכליים של חח"י.

בניית תכנית עבודה ישימה

זיהוי מוקדי הקונפליקט הרגישים ביותר ופיתוח תכנית עבודה רב שנתית המותאמת ליכולות החברה.

חח"י – מובילה סביבתית בתחום

מיצוב חברת חשמל כחברת דגל להתנהלות סביבתית הלוקחת אחריות על בעיה משמעותית זו תוך יצירת מפרט טכני מוכח, יעיל, המותאם לישראל, המגלם את האיזון האופטימלי בין עלות לתועלת.

עמידה בדרישות סביבתיות

מודעות הולכת וגדלה לבעיה משמעותית זו הובילה לאחרונה לשילוב הנושא בתסקירי השפעה על הסביבה ובהנחיות תכנוניות של קווים חדשים.

מטרות

- בניית מודל גיאוגרפי המציג מיפוי של השטחים הרגישים, בהם פוטנציאל הפגיעה בעופות הוא הגבוה ביותר.
- קביעת סדרי קדימויות לנקיטת אמצעים למזעור סכנת ההתנגשות של עופות בקווי מתח קיימים.
- קידום תכנון מושכל של קווי חשמל העתידיים להיבנות בהיבט של צמצום פוטנציאל ההתנגשויות של עופות בקווים.
- סקירת האמצעים הקיימים כיום בעולם לצמצום סיכון ההתנגשות של בעלי כנף בכבלים.
- זיהוי האמצעים המומלצים ליישום בישראל.
- ביצוע הערכה כלכלית ראשונית של התקנת האמצעים על קווי-מתח החוצים את האזורים הרגישים.

תחום המחקר מתחדש כל העת, לכן מסמך זה אמור להוות "מסמך חי" המתווה מדיניות כללית, אך מתחדש מעת לעת בהתאם לידע חדש, הצטברות ניסיון מקצועי בארץ, שינויים בתפוצת העופות ושיטות חדשות המפותחות למזעור הפגיעה בהם.



התנגשות שקנאי בקווי מתח. צילום: דותן יושע

תוצרים

→ שקנאים בחוף הכרמל. צילום: אסף מירוז



תוצרים

1 | מודל גיאוגרפי להגדרת אזורי סיכון להתנגשויות עופות בקווי מתח עיליים

במסגרת הפרויקט נבנה מודל אקולוגי מבוסס מ"ג המסווג את כלל שטחי ישראל לפי רמת הסיכון היחסית להתנגשויות עופות בקווי מתח עיליים.

המודל מבוסס על מחקרים דומים שנערכו ברחבי העולם ומשלב פרמטרים סביבתיים הכוללים שימושי קרקע ובתי גידול חשובים לעופות, עם דירוג רמת הרגישות של מיני עופות להתנגשות, בשקלול רמת סכנת ההכחדה שלהם בישראל.

הפרמטרים הכלולים במודל

מיני עופות רגישים

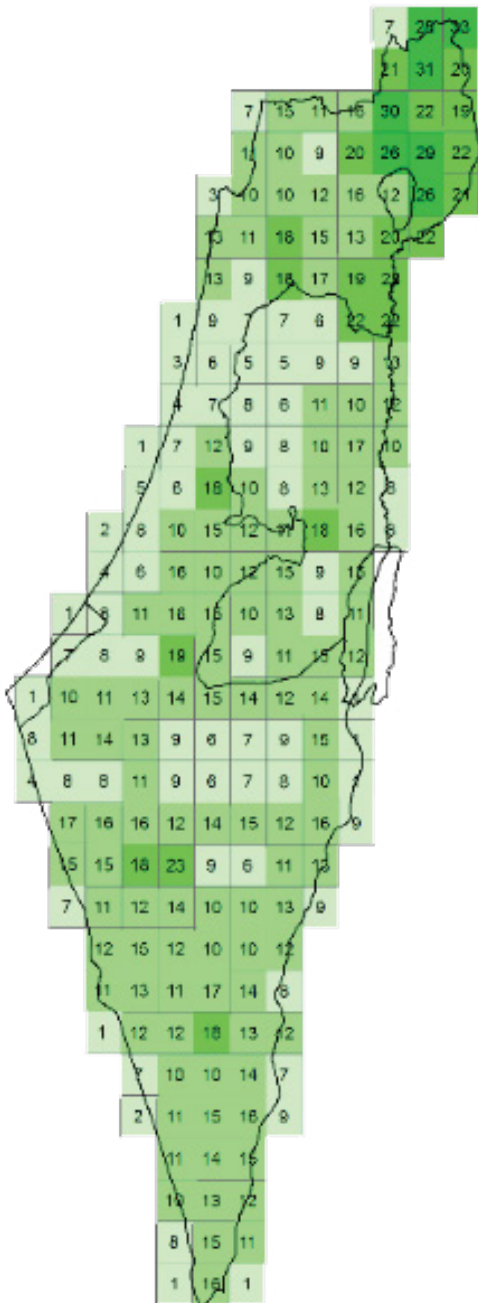
1. כל אחד מהמינים קיבל משקל יחסי לפי:
 - רגישות המין להתנגשות בקווי מתח עיליים.
 - דרגת הסיכון שלו ב"ספר האדום" (הסתברות המין להכחדה).

2. מפות התפוצה של כלל המינים **שוקללו למפה אחת** שבה כל משבצת (פיקסל) מבטאת את סך כל המינים הנצפים בה, והמשקל היחסי שלהם.

שימושי קרקע ובתי גידול חשובים

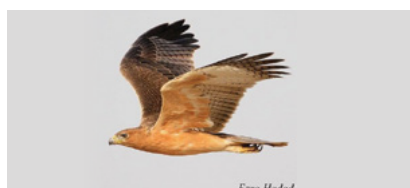
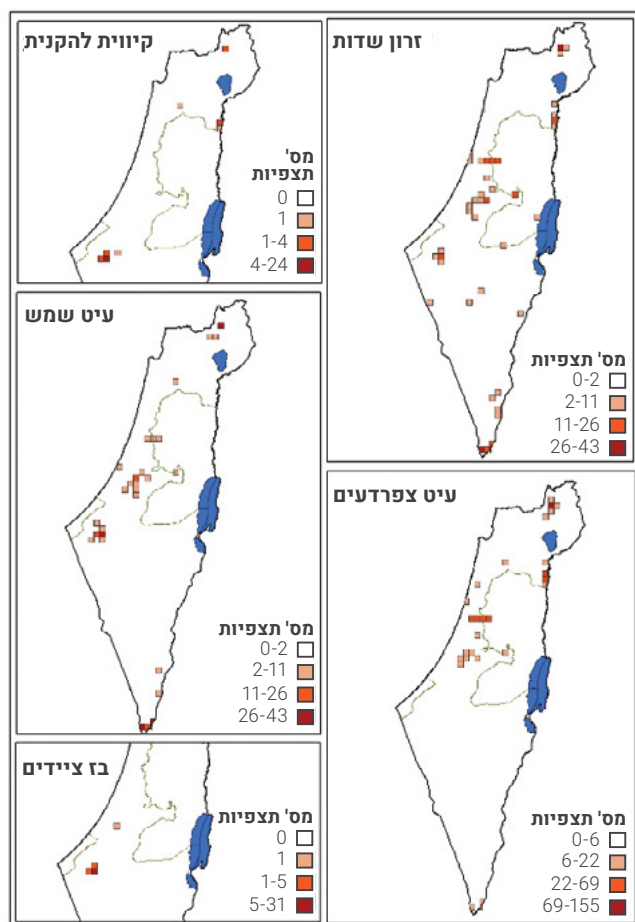
1. כל אחד משימושי הקרקע ובתי הגידול קיבל ציון יחסי של חשיבותו עבור אוכלוסיות העופות.

2. מפות הפיזור המרחבי של שימושי הקרקע הללו **שוקללו למפה אחת** שבה כל משבצת (פיקסל) מבטאת את רמת החשיבות שלה עבור אוכלוסיות העופות של ישראל.



אזורי התפוצה של מיני העופות המקננים הנמצאים בסכנת הכחדה בישראל.

דוגמאות למפות תפוצה של מיני עופות:



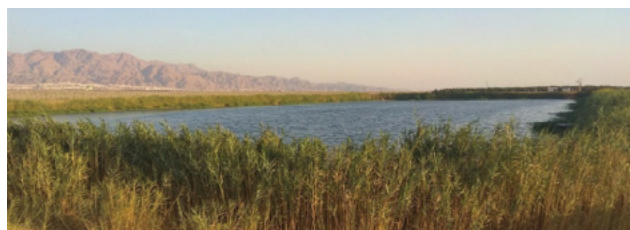
מיני עופות רגילים.

ציפורים: דוד רזק, אמיר בן דב, עזרא חדד, רוני ליבנה

דוגמאות לשימושי קרקע החשובים לעופות:



בריכות דגים. צילום: חברה להגנת הטבע



מאגרי מים. צילום: נועם וויס



שמורות טבע. צילום: יואב פרלמן



אתרי צפרות (תיירות). צילום: יואב פרלמן



אתרי פסולת. צילום: שמוליק יידוב

המודל

מפות תפוצת המינים הרגישים אוחדו עם מפות בתי הגידול ושימושי הקרקע החשובים ליצירת מפת רגישות כללית מאוחדת.

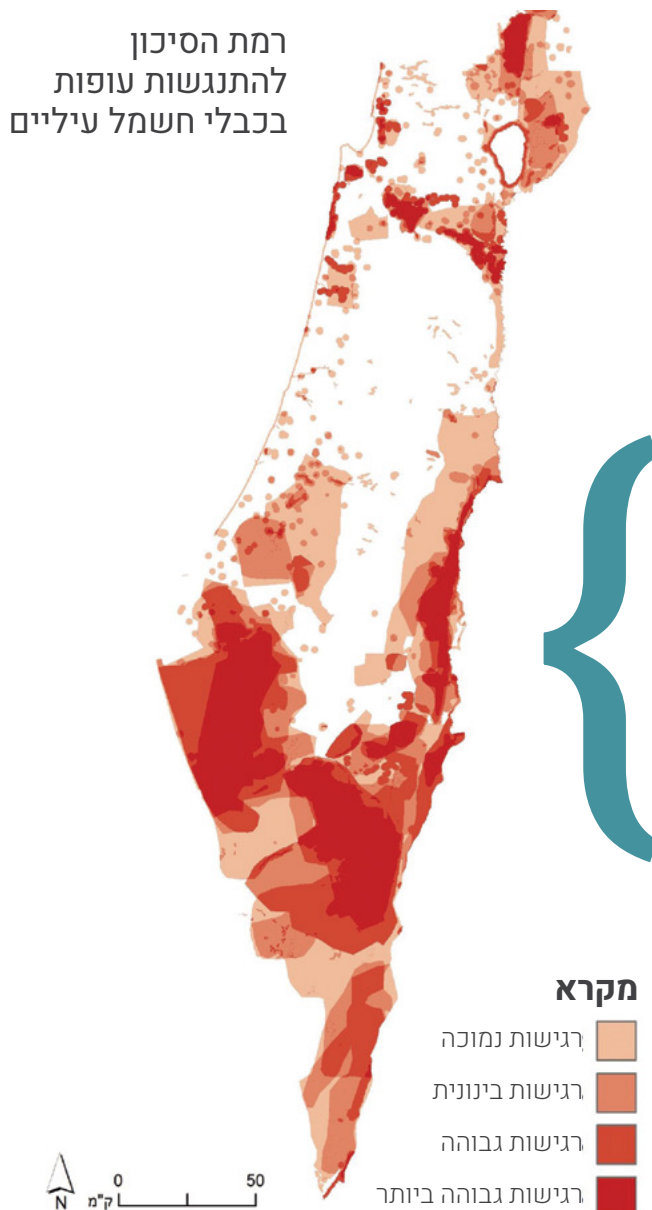
מיני עופות רגישים

אזורים בהם שוהים או מקננים מינים המוכרים כרגישים להתנגשות בקווי מתח וכן מוגדרים בסכנת הכחדה בישראל או בעולם (נספח ב')



שימושי קרקע ובתי גידול חשובים

אתרים, בתי גידול או שימושי-קרקע המהווים מוקדי משיכה למספר גדול של עופות ממגוון מינים (נספח ב')





עֵיט זָהָב. צילום: רוני ליבנה



נשר מקראי. צילום: גדי שמילה

תוצרי המודל ומשמעותם

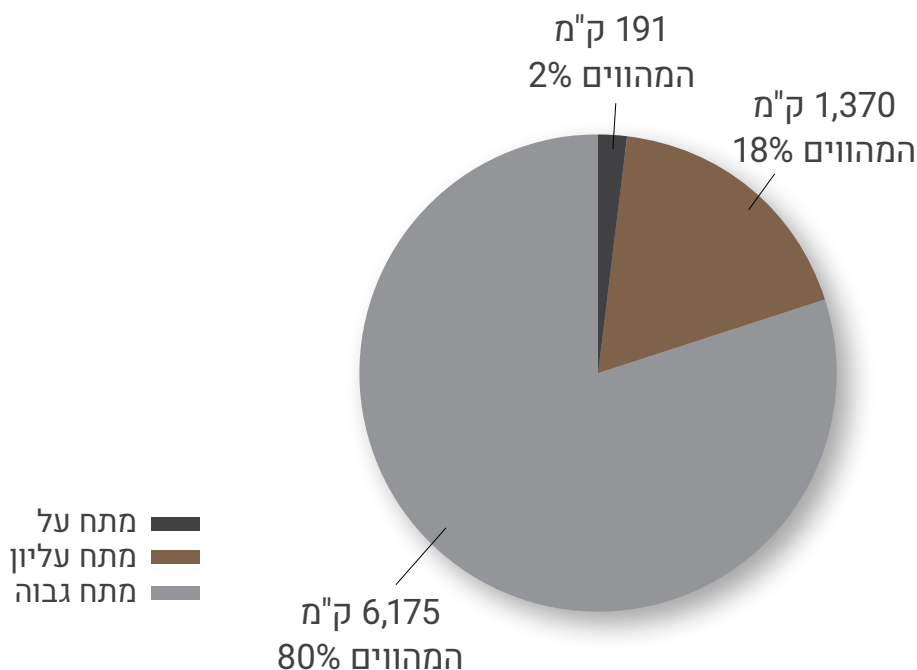
סך כל השטחים הרגישים עומד על 16,395 קמ"ר המהווים 60% משטחה של ישראל.

מרבית שטחים אלה משתרעים על פני מרחבי הנגב, באזורים שבהם צפיפות קווי המתח נמוכה. אזורים רגישים שבהם צפיפות קווי המתח היא גבוהה כוללים את עמק החולה, עמק יזרעאל, עמק בית-שאן, חוף הכרמל וצפון מערב הנגב.

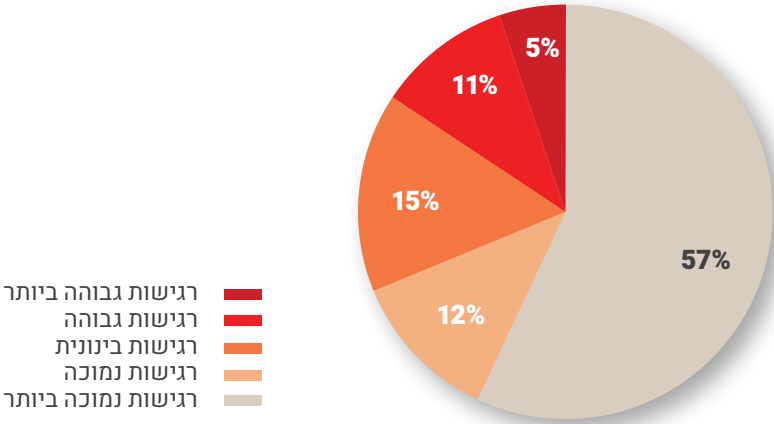
אורכם הכולל של קווי המתח החוצים שטחים בעלי רגישות כלשהי עומד על כ- 7,700 ק"מ, המהווים 43% מכלל קווי המתח בישראל.

בשטחים בעלי הרגישות הגבוהה ביותר עוברים כ- 940 ק"מ של קווי מתח, המהווים 5% בלבד מסך השטחים הרגישים. מתוך קווי מתח אלו, 82% הינם קווי מתח גבוה והיתר קווי מתח עליון.

82% מתוכם הם קווי מתח-גבוה והיתר הם קווי מתח-עליון.



חלוקת סוגי קווי המתח החוצים אזורים הרגשים לעופות



חלוקת קווי המתח הקיימים
לאזורי רגישות (אחוזים)

אזורי רגישות	משקל רגישות	מתח על (ק"מ)	מתח עליון (ק"מ)	מתח גבוה (ק"מ)	סה"כ אורך הקווים לאזור רגישות (ק"מ)
רגישות גבוהה ביותר	(25-108)	0.1	165	774	939
רגישות גבוהה	(13-25)	41	428	1,421	1,890
רגישות בינונית	(7-13)	91	474	2,204	2,770
רגישות נמוכה	(2-7)	60	302	1,776	2,138
סה"כ אורך קווי המתח (לפי סוג)		191	1,370	6,175	7,736

שילוב המודל בתהליכי עבודה ותכנון

קווים קיימים

1

זיהוי האזורים הרגישים ביותר מבחינת פוטנציאל ההתנגשות של עופות בקווי מתח (בהתאם למפת רגישות)

2

הצלבת המידע עם פרישת קווי המתח הקיימים

3

- סיווג קווי המתח הקיימים לפי דרגות סיכון
- סיווג זה מגדיר סדרי קדימויות לטיפול

קווים חדשים מתוכננים

1

זיהוי האזורים הרגישים ביותר מבחינת פוטנציאל ההתנגשות של עופות בקווי מתח (בהתאם למפת רגישות)

2

בהתאם למפת הרגישות יבחנו חלופות למיקום קו המתח וזיהוי המקטעים הנמצאים בעדיפות להטמנה בקרקע או לסימון באמצעים למזעור הסיכון.

2 | אמצעי סימון לצמצום התנגשויות עופות בקווי מתח

ממצאי סקר הספרות

- ב- 21 מחקרים בהם סומנו הכבלים העיליים באמצעי סימון שונים נמצא כי:
- אמצעי הסימון הפחיתו את שיעור ההתנגשויות בכל המחקרים.
 - יעילות הפחתת ההתנגשויות נעה בין המחקרים בשיעור של 55% – 94% (ממוצע 78%).

אמצעים אלה הפכו לנפוצים ביותר ברחבי העולם בגלל עלויות רכישה ותחזוקה נמוכות יחסית.

4

אמצעי סימון ויזואליים נועדו להגדיל את הסיכויים שעופות המעופפים בקרבת תשתיות מלאכותיות יזהו אותן ויתרחקו מהן.

1

תחום זה נמצא עדיין בחיתוליו ורק חלק מן האמצעים המצויים בשוק הוכחו כיעילים באמצעות מחקר מדעי.

5

האמצעים מעוצבים כך שיראו למרחוק: נפחם גדול יחסית לעצם שאותו הם מסמנים, צבעם בהיר או קונטרסטי, לעתים מחזיר-אור או זוהר ואף מאיר בלילה.

2

אמצעים חדשים נמצאים כל הזמן בפיתוח ויוצאים לשוק.

6

האמצעים מותקנים על כבלי החשמל במרווחים קבועים בכדי לגרום לכבלים להיות בולטים יותר עבור העופות.

3

משפחות אמצעי הסימון הקיימים בעולם

אמצעים פאסיביים

סמנים ספירליים (Pig-tails)

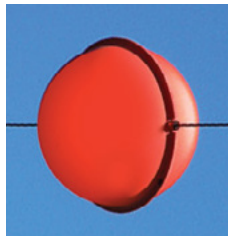
נפוצים מאוד בשימוש בעולם. עשויים מפוליוניל-כלוריד (PVC). צורתם הספירלית מהודקת סביב הכבל המוליך ומחוברת אליו באופן פאסיבי וללא תחזוקה. ברוח חזקה האמצעים מייצרים רעש שאמור לסייע בהרתעת העופות. חלקם צבועים בצבעים זרחניים. יעילות האמצעי בלילה נמוכה כפי שנמצא בפיילוט בעמק יזרעאל.



צילום: PLP

כדורי סימון

אמצעי סימון נפוץ במטרה להפוך את הכבלים לנראים עבור אנשים (בעיקר לכלי טייס). עקב גודלם ומשקלם לא ניתן להתקין אותם בצפיפות הנדרשת בכדי שיהיו יעילים עבור עופות. צבעם אדום/כתום בקוטר 30 – 60 ס"מ.



אמצעים אקטיביים - זרחניים/מאירים

דגלונים (Bird Flaps)

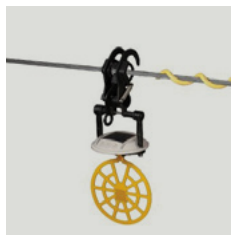
בנויים מפסי פלסטיק בצבע שחור ולבן באורך 30 ס"מ האחוזים על הכבל בשתי נקודות. הדגלונים נעים ברוח ומרשרשים. בגלל הניגודיות הגבוהה שלהם הם הוכחו כאפקטיביים גם בלילה עבור מרבית המינים (נוסה בגרמניה והולנד).



צילום: GROUP-RIBE

תליונים מאירים (OWL)

לוחית פלסטיק עגולה בקוטר 15 ס"מ להן מחוברות נורות LED המהבהבות בלילה (הסוללה נטענת באמצעות פאנל סולארי). ככל הנראה יעיל מאוד עבור כל המינים הפעילים בלילה. נמצא בשימוש בדרום אפריקה מזה מספר שנים.



צילום: PLP

אמצעים אקטיביים - מתנועעים

תליונים

מחזירי-אור התלויים על הכבל. הסמנים תלויים על ציר ומתנדנדים ברוח באופן שמייצר תאורה "אקטיבית" ומנצנצת ובמקביל מקטין את לחצי החיכוך על הכבל. יכולים לשמש גם בחשכה כאשר צבועים בצבעים זרחניים המחזירים אור במשך מספר שעות לאחר השקיעה.



Firefly

Birdmark

צילומים: Hammarprodukter



סימון קווי מתח אגמון חפר. צילום: דותן רותם

המלצות

→ ברכיות. צילום: אסף מירוז



המלצות

הפתרון המוצע כולל 3 רכיבים:

1

סדרי קדימויות לטיפול

סימון קווי המתח הקיימים והטמעת הרגישות בתכנון קווים חדשים

2

טכני

סוגי אמצעי הסימון המומלצים להתקנה על קווי המתח השונים

3

שיטות מומלצות להתקנת האמצעים

לאחר סקירת מגוון האמצעים הקיימים בשוק, להלן מוצגים שלושת אמצעי הסימון אשר נמצאו ע"פ מחקרים כיעילים ביותר כיום. מאחר והשוק מתפתח כל הזמן, ניתן לצפות כי בעתיד יצטרפו אמצעים יעילים חדשים כמוצרי מדף. לפיכך קיימת חשיבות לעדכון האמצעים המומלצים עם התקדמות השוק.

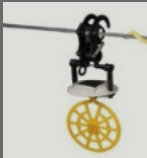
המלצות לסימון קווי מתח

סדרי קדימויות לטיפול

1. סימון הכבלים באזורים הרגישים יבוצע בהתאם לתעדוף מפת המודל הגיאוגרפי.
2. למרות שמיני העופות נבדלים בגובה המעוף הטיפוסי שלהם, יש הסכמה רחבה כי ככל שקווי המתח גבוהים יותר כך גדל פוטנציאל הסיכון שלהם עבור עופות. לפיכך תיעדוף סימון הכבלים בכל אחד מהאזורים הרגישים יהיה בהתאם לגובה הכבלים – מהגבוה לנמוך. לרוב גובה הכבלים נמצא בהתאמה למתח החשמל בקווים.
3. סימון קווי מתח על ועליון יבוצע על גבי קווי ההארקה הממוקמים מעל לכבלים המוליכים. מאחר ונראותם נמוכה הם מסוכנים ביותר ואחראים בד"כ ל- 50% ממספר ההתנגשויות של עופות ואף יותר. לעומת זאת בקווי מתח גבוה הסימון יבוצע על גבי הכבלים המוליכים הקיצוניים (לפירוט, עמ' 49-51)

סוג קו מתח	תעדוף לסימון	גובה עמוד	מספר תיילי הארקה
מתח על (kv400)	1	30 - 60 מ'	1 או 2
מתח עליון (kv161)	2	20 - 50 מ'	1 או 2
מתח גבוה (kv33)	3	עד 30 מ'	1 או 2

טכני - סוגי אמצעי סימון המוצעים ליישום

 Birdmark AG (Afterglow)	 FireFly Bird Protection	 (OWL) Overhead Warning Light	
Hammarprodukter	Hammarprodukter	Performance Line Products	שם היצרן
אמצעי חדש בשוק ולכן טרם קיים אחוז יעילות מוכח. יעילותו מוערכת לפחות כיעילות ה Firefly בשל תכונותיו הדומות	60% הפחתה בהתנגשויות	קרוב ל 100% הפחתה בהתנגשויות	יעילות אמצעי הסימון
בעל עמידות גבוהה לרוחות, מומלץ על ידי רשות הדגה וחיות הבר בארה"ב	כיום זהו אלמנט נפוץ ביותר בשימוש בעולם ומומלץ על ידי רשות הדגה וחיות הבר בארה"ב	אלמנט בעל היעילות הגבוהה ביותר עבור מרבית מיני העופות	יתרונות אמצעי הסימון
40X145X275 מ"מ. בנוי כלוח רשת המתנדנד ברוחות ועמיד ברוחות חזקות. זוהר כ- 10 שעות לאחר השקיעה באמצעות חומר זרחני. כולל מחזיר אור ע"ג העיגול החיצוני	340X110 מ"מ. בנוי כלוחית המתנדנדת ברוח. זוהר כ- 10 שעות לאחר השקיעה באמצעות חומר זרחני. כולל מחזיר אור מלבני בתחתית האמצעי	לוחית פלסטיק עגולה בקוטר 15 ס"מ הנעה ברוח ומייצרת אמצעי ויזואלי בולט ביום, בתוספת נורות LED מהבהבות בלילה. הסוללה נטענת באמצעות פאנל סולארי	פירוט טכני
http://hammarprodukter.com/loaders/oo.php?objid=5510	http://hammarprodukter.com/loaders/oo.php?objid=5510	http://preformed.com/images/pdfs/Energy/Distribution/Wildlife_Protection/Raptor_Clamp-OWL/EN-SS-1161_RAPTOR_CLAMP_OWL.pdf	קישור למידע נוסף על האמצעי

תמונות: Hammarprodukter, PLP

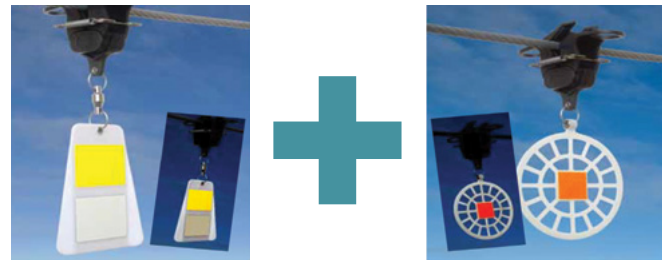
תמהיל אמצעי סימון המוצעים ליישום

שילוב סמנים מסוגים שונים מביא לתוצאה טובה יותר לעומת שימוש בסמן מסוג אחד. לדוגמה, הוספת סימון פאסיבי בלבד הביא ל 53% הפחתה בשיעור ההתנגשויות לעומת שילובו עם סימון אקטיבי אשר העלה את היעילות ב 30% נוספים, (Anderson 2002).

יבוצע שימוש בשילוב אמצעי סימון אקטיביים: Birdmark & Firefly

אמצעי סימון אלו דומים במהותם, וכוללים מחזירי אור, חלק הזוהר בחושך (באורכי גל UV הנראים לעופות) וכן אלמנט הנע ברוח.

עם זאת, שני האלמנטים נבדלים בצורת הסמנים והרעש אותו הם מפיקים ועל כן שילובם יכול להיות בולט עבור מגוון רחב יותר של עופות בעלי כושר ראייה שונה.



כמו כן ה- Birdmark עמיד יותר ברוחות חזקות ולפיכך יתכן כי עלות תחזוקתו פחותה. שני אמצעים אלו מומלצים ע"י רשות הדגה וחיות הבר של ארה"ב (P&R Tech 2019).

באזורים בהם קיים חשש מוגבר להתנגשות עופות בלילה (נספח ג') יבוצע שימוש בשילוב אמצעי סימון אקטיביים: Firefly & OWL

ה-OWL הינו אמצעי חדש בשוק ונמצא כאמצעי היעיל ביותר עבור מגוון גדול של עופות.

עם זאת, אמצעי זה יקר, וכולל תאורת לד המאירה את הקווים באור חלש מהבהב.

שילוב האמצעים יאפשר בחינה של שיטה בעלת יעילות גבוהה (OWL) בהשקעה כספית נמוכה יחסית שכן שילוב לסירוגין זה יאפשר הפחתה של מחצית מכמות אמצעי ה-OWL לק"מ.



תמונות: Hammarprodukter, PLP

שיטות להתקנת אמצעי סימון ע"ג קווי מתח על ועליון

מסוק



התקנת סמנים על קו מתח עליון. צילום: נדב ישראלי

הערכת עלות לק"מ:

- **עלות מוערכת:** 113,000 ש"ח עם אפשרות הוזלה ל-90,000 ש"ח כתוצאה מהתקנה שוטפת על פני קילומטרים רציפים של קווים. מבוסס על עלויות ההתקנה אשר התקבלו מחח"י, פיילוט עמק יזרעאל.

רחפן



שימוש ברחפן בפארק דנוב בסלובקיה.

http://www.ddbra.ro/documente/admin/2015/Danube_Free_Sky_newsletter_.pdf

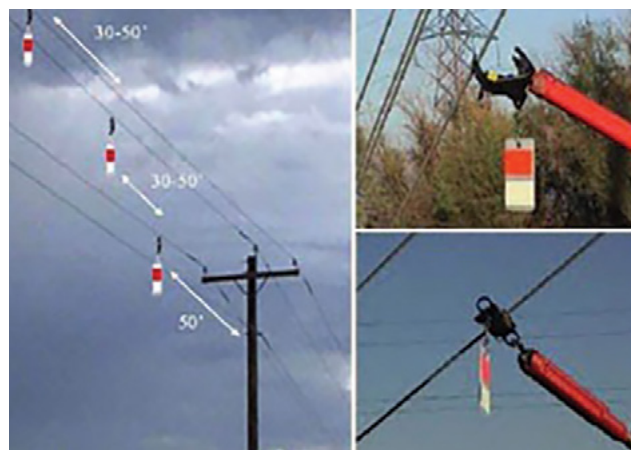
הערכת עלות לק"מ:

- **עלות מוערכת:** 18,550-53,500 ש"ח תלוי בחברה המתקינה: חברה מישראל לעומת חברה מחו"ל.
- **מספר אנשי הצוות הנדרש:** 3.
- **קצב התקנת אמצעי הסימון ליום:** ממוצע של 100 אמצעי סימון. לפירוט ראה הערכה כלכלית.

כתוצאה מעלות מופחתת וקצב התקנה גבוה יותר מומלץ להתקין את אמצעי הסימון באמצעות רחפן ע"ג קווי מתח על ועליון.

שיטות להתקנת אמצעי סימון ע"ג קווי מתח גבוה

מוט



התקנת סמנים על קו מתח גבוה עם מוט.
<https://www.birdfighter.com/index.php/firefly-bird-flapper-flight-diverter-2304.html#.XYxo1kYzblV>

הערכת עלות לק"מ:

- עלות מוערכת: 23,400 ש"ח
- מספר אנשי הצוות הנדרש מטעם חח"י: 2
- קצב התקנת אמצעי הסימון ליום: 50 לפירוט ראה הערכה כלכלית

במת הרמה



התקנת סמנים על קו מתח גבוה
 באמצעות במת הרמה,
 פיילוט עמק יזרעאל.
 צילום: דפנה שחורי

התקנת סמנים על קו מתח גבוה
 בשולי מלחה בדרום אפריקה.
 Hoogstad & Pretorius 2015

הערכת עלות לק"מ:

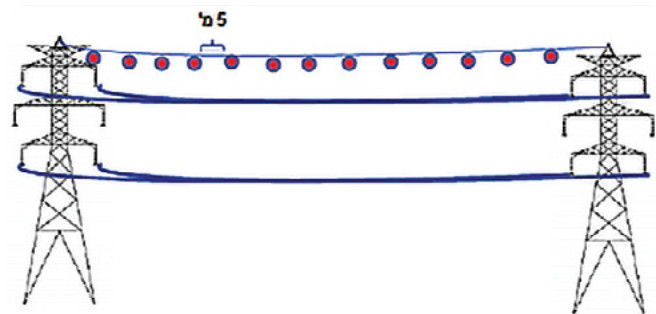
- עלות מוערכת: 60,000 ש"ח עם אפשרות הוזלה ל-48,000 ש"ח כתוצאה מהתקנה שוטפת על פני קילומטרים רציפים של קווים. מבוסס על עלויות ההתקנה אשר התקבלו מחח"י, פיילוט עמק יזרעאל.

כתוצאה מעלות מופחתת וקצב התקנה גבוה יותר מומלץ להתקין אמצעי סימון באמצעות מוט ע"ג קווי מתח גבוה.

הנחיות התקנה

קווי הולכה: מתח-על

- אמצעי הסימון יותקנו על קו ההארקה במרווח של 5 מ'. אם קיימים שני קווי הארקה ההתקנה תבוצע על כל אחד מהכבלים לסירוגין.
- יבוצע שימוש בשילוב אמצעי סימון אקטיביים: Birdmark & Firefly
- באזורים שבהם יש חשש מוגבר להתנגשות של עופות בלילה (נספח ג') מומלץ להתקין שילוב אמצעי סימון אקטיביים: Firefly & OWL

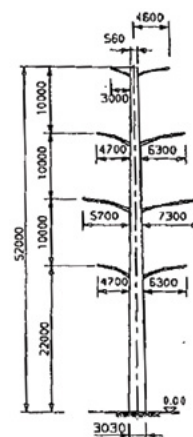


קו מתח על: התקנה על כבל ההארקה העילי

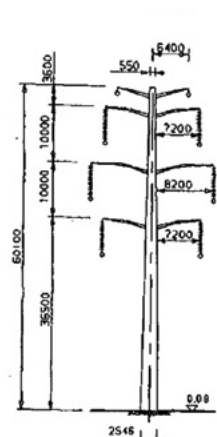
מתח על (400KV) - פירוט טכני

- גובה העמודים: בין 30 ל-60 מטר.
- הכבלים המוליכים כוללים 3 כבלים לכל פאזה, כרוכים יחד (Bundled) לכן נראותם טובה יחסית.
- קווי הארקה דקים יותר ועוברים מעל לכבלים המוליכים, נראותם נמוכה והם מסוכנים ביותר.
- מתוך 208 אירועי התנגשות שנצפו ב-5 מחקרים שונים, 84% מהם התרחשו בקווי הארקה, ורק 16% בכבלים המוליכים.
- בקווי מתח-על מקובל לסמן בד"כ רק את קווי הארקה.

ZDT2 B

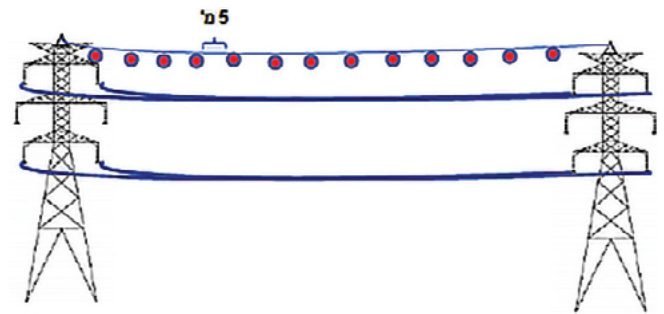


ZDS2 G



קווי הולכה: מתח-עליון

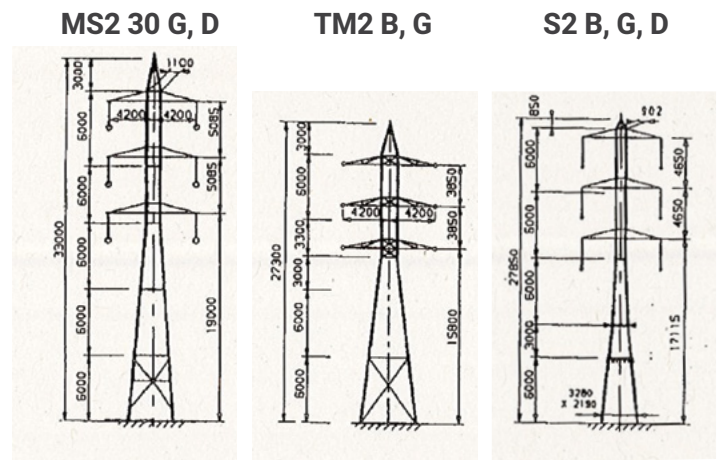
- אמצעי הסימון יותקנו על שני קווי ההארקה במרווח של 10 מ' על כל אחד מהכבלים לסירוגין. אם קיים רק קו הארקה אחד, אמצעי הסימון יותקנו עליו במרווח של 5 מ'.
- יבוצע שימוש בשילוב אמצעי סימון אקטיביים: Birdmark & Firefly
- באזורים שבהם יש חשש מוגבר להתנגשות של עופות בלילה (נספח ג') מומלץ להתקין שילוב אמצעי סימון אקטיביים: Firefly & OWL



קו מתח עליון: התקנה על כבל ההארקה העילי

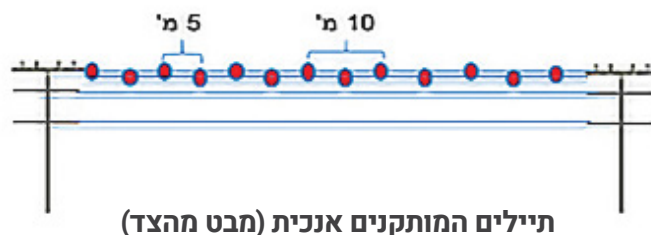
מתח עליון (161KV) - פירוט טכני

- גובה העמודים: בין 20 ל-50 מטר.
- הכבלים המוליכים אינם כרוכים, אך בגלל בעיות של משקל הכבל ואפקט קורונה, מקובל בעולם לסמן בד"כ רק את קווי הארקה.
- קווי הארקה דקים יותר וממוקמים גבוה יותר, והם אחראים בד"כ ל-50% ממספר ההתנגשויות של עופות ואף יותר.
- בקווי מתח-על מקובל לסמן בד"כ רק את קווי הארקה.

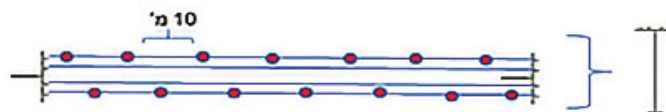


קווי הולכה: מתח-גבוה

• **דו-מעגלי תלת-קומתי:** קווי מתח גבוה בעלי מבנה **אנכי** בו 3 כבלי חשמל ממוקמים אחד מעל השני משני צדי העמוד. אמצעי סימון יותקנו במרווחים של 5 מ' על שני כבלי החשמל העליונים לסירוגין. זאת מאחר שקווי הארקה ממוקמים נמוך לכבלי ההולכה.



• **חד-מעגלי חד-קומתי:** קווי מתח גבוה בעלי מבנה **אופקי** בו 3 כבלי חשמל הממוקמים באותו גובה משני צדי העמוד. אמצעי הסימון יותקנו במרווחים של 5 מ' על שני כבלי החשמל הקיצוניים, לסירוגין. זאת מאחר שקווי הארקה ממוקמים נמוך לכבלי ההולכה.



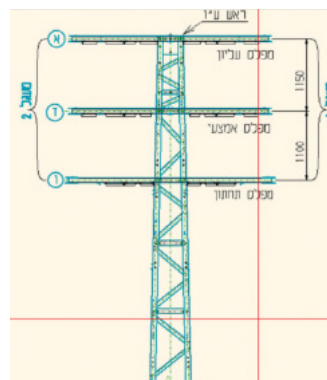
• יבוצע שימוש בשילוב אמצעי סימון אקטיביים: Birdmark & Firefly

• באזורים שבהם יש חשש מוגבר להתנגשות של עופות בלילה (נספח ג') מומלץ להתקין שילוב אמצעי סימון אקטיביים: Firefly & OWL

מתח-גבוה (22-33KV) - פירוט טכני

• גובה העמודים: עד 30 מטר.

• קווי הארקה ממוקמים בד"כ נמוך יותר מהכבלים המוליכים ולכן יש לסמן את כל הכבלים הקיצוניים בהתאם למבנה קו המתח.

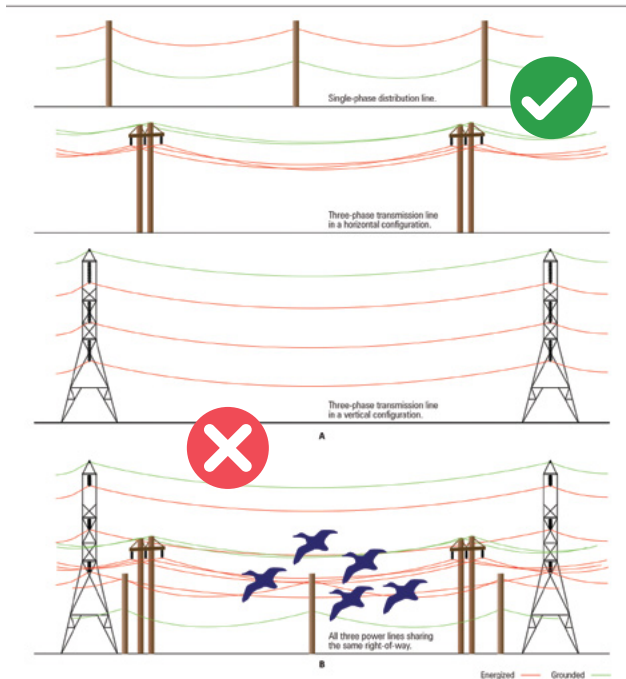


המלצות לתכנון קווי מתח חדשים

שיקולים אקולוגיים המומלצים ליישום בשלב התכנון המפורט של קווי מתח חדשים

1. הצמדה לתשתיות קיימות

אם קיימות באזור המוצע תשתיות אורכיות (קווי חשמל, מסילות רכבת וכבישים), יש לשאוף להצמיד אליהן את התשתית החדשה. באופן זה נוצר צבר של תשתיות שהנראות שלו עבור בעלי הכנף היא רבה יותר.



פריסת סוגים שונים של תשתיות כבלים בצבר אחד מגדילה את הנראות שלהם עבור העופות ומפחיתה את הסיכון (APLIC 2012).

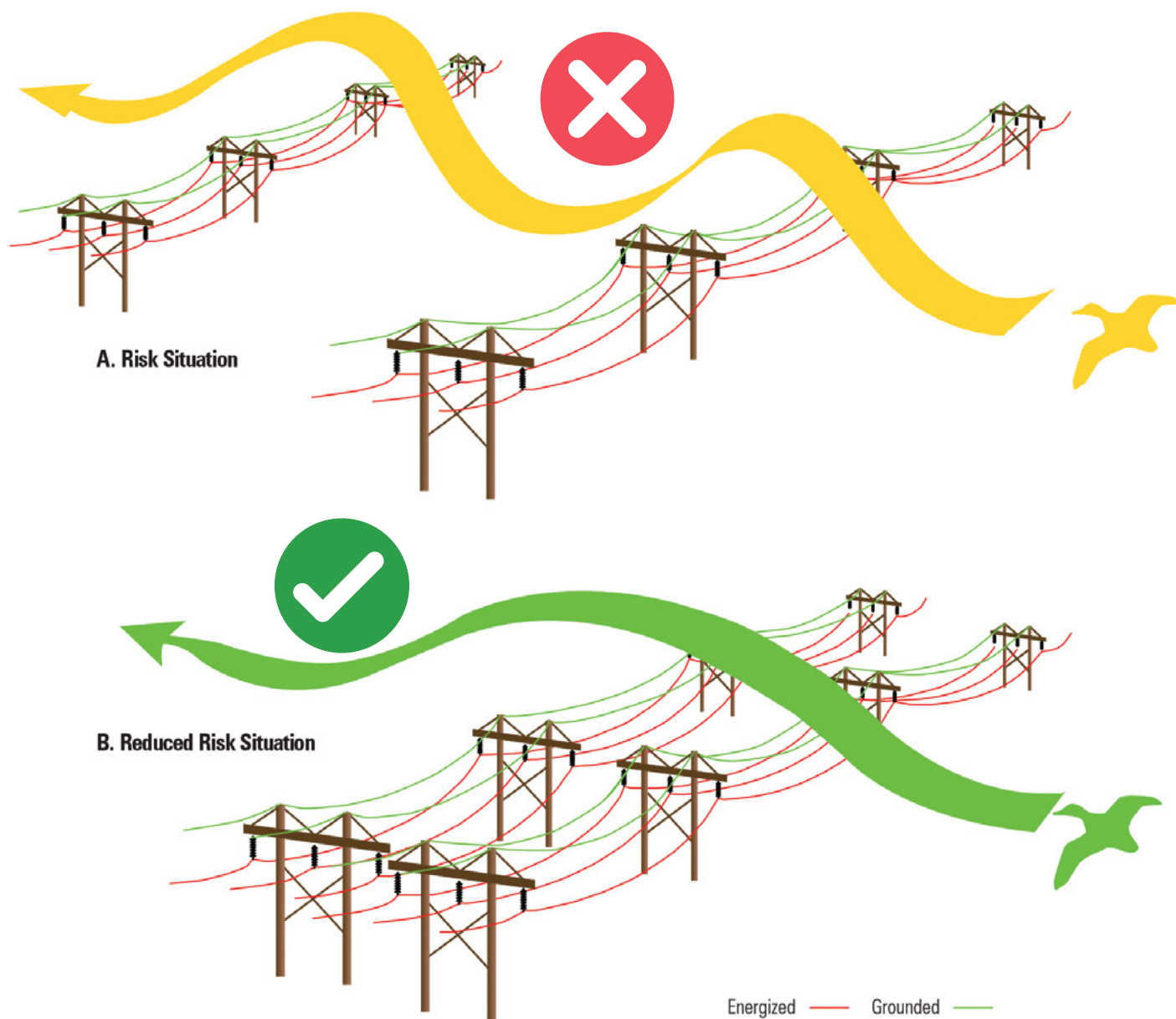
1. הטמנת הקווים היא הפתרון המומלץ בכל מקום בו הדבר אפשרי, זהו הפתרון המוחלט היחידי לבעיות ההתנגשות וההתחשמלות של עופות.

2. שימוש במפת המודל הגיאוגרפי לבחינת חלופות למיקום הקו באזורים פחות רגישים, לצורך צמצום הבעיה.

3. לאחר קביעת החלופה הנבחרת, יש לשלב בתכנון המפורט שיקולים נוספים לצמצום הפגיעה בבעלי הכנף:

- הצמדת הקו החדש לצבר תשתיות קיים דוגמת קווי מתח אחרים, כבישים ומסילות רכבת.
- מנח הקו כך שלא יחסום מסלולים קבועים של תעופת עופות לדוגמה בין אתרי לינה לאתרי שיחור מזון
- עופות נוטים לעוף במקביל לאלמנטים נופיים מאורכים דוגמת שדרות עצים ורכסים, ולכן בד"כ יש עדיפות להצבת קווי המתח במקביל לאלמנטים אלה.
- קונפיגורציה של התיילים: סידור אופקי של הכבלים עדיף על פני סידור אנכי, קו הארקה תחת עדיף על עילי, הנמכת הכבלים ככל הניתן, הגדלת קוטר הכבלים עצמם/כריכת מספר כבלים יחד (Bundling).

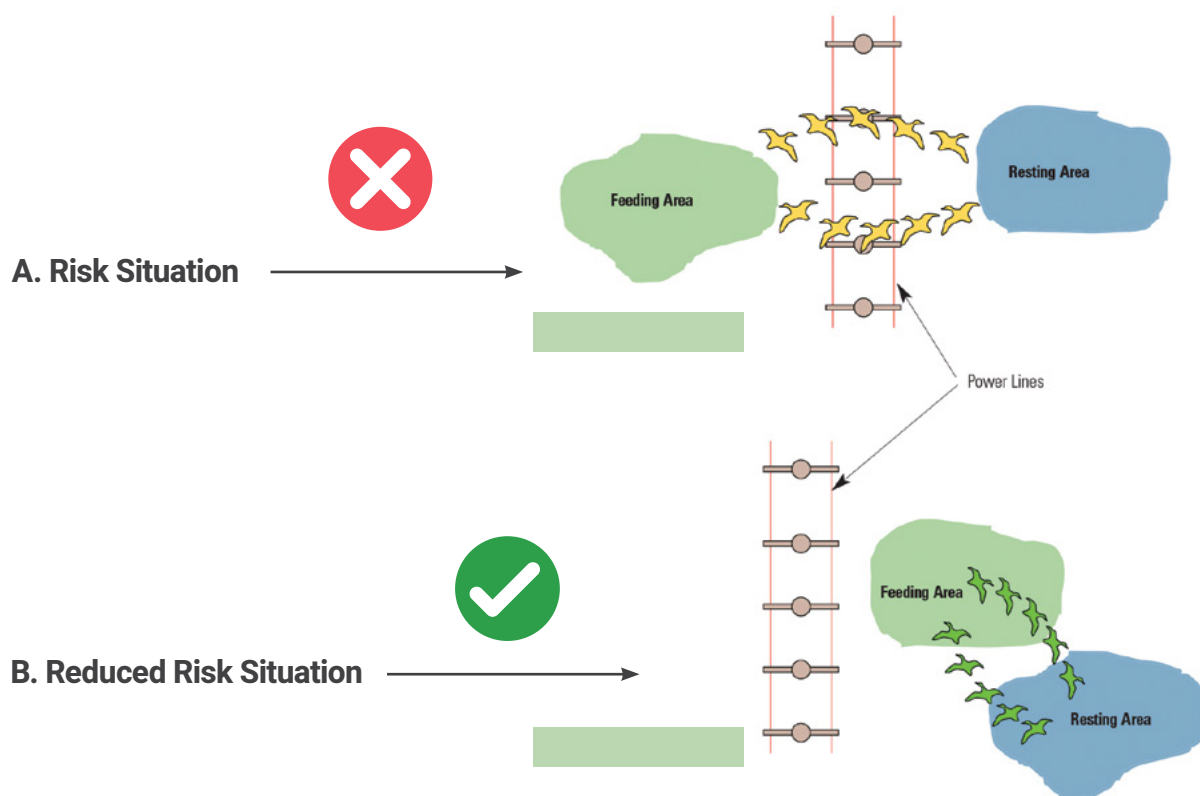
4. יש לסמן באמצעים המומלצים למניעת התנגשות עופות, את כבלי החשמל המתוכננים באזורי רגישות גבוהה / גבוהה ביותר וכן ליד מקורות מים ומוקדי משיכת עופות.



פריסת שני קווי-מתח צמודים, יוצרת סיכון מופחת יחסית לשני קווים מקבילים מרוחקים (APLIC 2012)

2. מנח הקו יחסית למסלולי תעופת עופות

כאשר התשתית מונחת במקביל לכיווני התעופה העיקריים ולטופוגרפיה הבולטת, שיעור ההתנגשויות נמוך יותר.



מיקום של קו-מתח בין שני מקומות חיות של עופות, האחד משמש ללינה והשני לשיחור מזון, עשוי להגביר את רמת הסיכון (APLIC 2012).

3. מנח הקו יחסית לעצים גבוהים

עצים לאורך קו החשמל, אך בגלל שזמן רב עשוי לעבור עד שהעצים יצמחו לגובה הרצוי, יש להביא בחשבון גם שימוש באמצעים לטווח הזמן הקצר.

פתרון זה עשוי להיות יעיל לגבי קווי חלוקה או קווי ההזנה של הרכבת (שהם נמוכים) ולא במקרה של קווי הולכה (שהם גבוהים יחסית לעצים).

עצים גבוהים הניצבים בסמוך לקווי התשתית גורמים לעופות להגביה עוף אל מעל לעצים ולכבלים גם יחד.

לפיכך, מומלץ להעביר את התשתית לאורך גבול של יער/ חורש או שדרה של עצים גבוהים. באותו אופן, ניתן לשתול



שדרת עצים לאורך קו-מתח עשויה להגביר את הסיכון לעופות - למעלה,
או להפחית אותו - למטה (APLIC 2012)

4. הקונפיגורציה של קו המתח עצמו

שינוי הקונפיגורציה של קווי מתח עשוי להיות אמצעי יעיל לצמצום מספר התאונות, אך הוא ניתן ליישום רק כשהקו נמצא בתכנון או שהוא בתהליך של תיקון וחידוש ובכפוף לאילוצים הנדסיים, תפעוליים וסביבתיים נוספים.

השינויים שעשויים להשפיע לטובה על מספר התאונות הם לדוגמה:

- הנמכת הכבלים
- שינוי קוטר הכבלים עצמם
- כריכת מספר כבלים יחד (Bundling)
- סידור אופקי במקום אנכי של הכבלים
- שינוי סוג העמודים והכבלים כדי להגדיל את הנראות שלהם
- הסרת כבל הארקה עילי (היכן שניתן)



כריכת 3 כבלים יחד (Bundling).

Photo: Kreuzschnabel/Wikimedia Commons, Licence: Cc-by-sa-3.0
(<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

תכנית הטמעה



תכנית הטמעה מוצעת

1

ביצוע מחקר יישומי לבחינת אמצעי הסימון המומלצים ליישום בישראל

נכון להיום לא קיים מפרט טכני בעל יעילות מוכחת המותאם לישראל ומגלם את האיזון האופטימלי בין עלות לתועלת. לפיכך, קיימת חשיבות לזיהוי תמהיל האמצעים היעיל ביותר להפחתת התנגשות עופות בקווי מתח בישראל, על פי מדדים של יעילות בהפחתת התנגשויות, עלויות ומורכבות התפעול והתחזוקה עבור סוגי קווי המתח השונים.

לצורך זיהוי האמצעים היעילים מומלץ לבצע מחקר יישומי בדומה למחקר הפיילוט שנערך בעמק יזרעאל (יושע 2018) ממנו ניתן יהיה להסיק מסקנות ברורות בנוגע למפרט הטכני הרצוי ליישום.

2

בחירת אזורים לתחילת יישום ההמלצות

מומלץ לבחור 2 - 3 אזורים מתוך האזורים הרגישים ביותר, דוגמת עמק החולה, עמק בית שאן, חלקים של עמק יזרעאל או הנגב המערבי.

3

תכנון מפורט לאזורים נבחרים

הכנת תכנון מפורט עבור כל אחד מהאזורים הנבחרים על בסיס המלצות דו"ח זה ומפת אזורי הרגישות. מעבר למפת המודל, התכנון המפורט יכלול התייחסות לבתי הגידול המקומיים, חברת העופות המקומית, תשתיות אדם והפרעות אדם. התכנון המפורט יכלול ביצוע הערכה מדויקת של התקציב הנדרש ולוחות זמנים לביצוע.

4

הקמת צוות מלווה

הקמת צוות מלווה קבוע לנושא אשר יכלול נציגים של רשות החשמל וחברת החשמל, גופים ירוקים וגורמי התכנון וישמש כגוף מייעץ מקצועי לסוגיות שיעלו במהלך הטמעת המלצות העבודה.



הערכה כלכלית

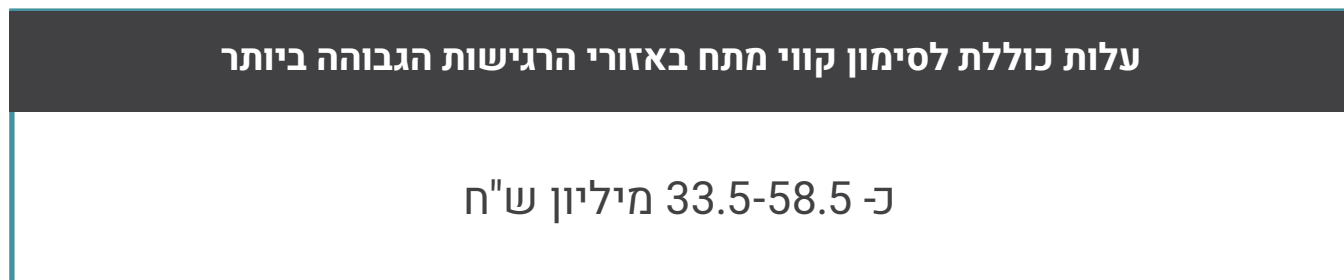


→ התנגשות חוויאי בקווי מתח באזור חולות ניצנים. צילום: רט"ג

הערכה כלכלית

הערכה כלכלית להתקנת אמצעי סימון על גבי קווי המתח השונים מתייחסת לשני מרכיבים: עלות אמצעי הסימון ועלות ההתקנה.

להלן הערכת סך העלות עבור סימון כ- 940 ק"מ של קווי מתח החוצים כיום את האזורים בעלי הרגישות האקולוגית הגבוהה ביותר (בהתאם למודל). קווים אלו מהווים כ- 12% מסך כל הקווים באזורים בעלי דרגת רגישות כלשהי, ו-5.2% מסך כל הקווים בישראל.



עלות תמהיל אמצעי סימון המוצע

עלות תמהיל האמצעים, כמפורט בפרק ההמלצות, משתנה בהתאם לשילוב האמצעים המוצע:

א. עלות שילוב אמצעי סימון אקטיביים Birdmark & Firefly עומד על 12,663 ש"ח לק"מ.

ב. עלות שילוב אמצעי סימון אקטיביים+מהבהבים Firefly & OWL עומד על 27,510 ש"ח לק"מ. שימוש בשילוב זה מיועד ספציפית עבור אזורים בהם קיים חשש מוגבר להתנגשות עופות בלילה, כמפורט בנספח ג'.

עלות תמהיל אמצעי הסימון עבור כלל האזורים בעלי הרגישות האקולוגית הגבוהה ביותר הינה 12,645,500 ש"ח.

הערכה זו מבוססת על ההנחה כי 50 ק"מ (5% מקוויים אלו ממוקמים באזורים בהם מומלצת התקנת אמצעי הסימון Firefly & OWL ובק"מ הנותרים יותקן שילוב אמצעי הסימון Birdmark & Firefly.

$$\text{Firefly \& OWL} = 50 \times 27,510 = 1,375,500 \text{ ש"ח}$$
$$\text{Birdmark \& Firefly} = 890 \times 12,663 = 11,270,000 \text{ ש"ח}$$

Firefly	Bird Mark	OWL	סוג אמצעי הסימון המוצעים
63 ש"ח	63 ש"ח	210 ש"ח	עלות אמצעי בודד (כולל עלות משלוח, מיסי ייבוא ומע"מ)
201			מס' אמצעי סימון לק"מ (התקנה כל 5 מ')
100 מסוג 1 ו-101 מסוג 2			מספר האמצעים הנדרשים למקטע מכל סוג (המחקר בוחן שילוב 2 אמצעים בכל סוג טיפול)
12,663 ש"ח			עלות שילוב אמצעי סימון אקטיביים Birdmark & Firefly לק"מ (63X201 אמצעים משני הסוגים)
27,510 ש"ח			עלות שילוב אמצעי סימון אקטיביים Firefly & OWL לק"מ (63X100 אמצעי Firefly + 210X101 אמצעי OWL)

עלות שיטות ההתקנה המוצעות
עבור התקנת אמצעי הסימון

עלויות שיטות ההתקנה	רחפן (סלובקיה)	רחפן (ישראל)	מוט	במת הרמה
סך מספר האמצעים הנדרשים למקטע (התקנה כל 5 מ' לאורך 1,000 מ')	201			מבוסס על עלויות ההתקנה אשר התקבלו מחח"י, פיילוט עמק יזרעאל
עלות התקנת אמצעי בודד כולל מע"מ. (כולל: עלות הרחפן, עובדי החברה הסלובקית, לינה, אוכל ורכב)	237 ש"ח			
עלות יום עבודה כולל מע"מ (300 ש"ח לשעה, 8 שעות ביום) ²	2,925 ש"ח	2,925 ש"ח	2,925 ש"ח	
מס' עובדים נדרשים	1	3	2	
עלות שכירת כלי ההתקנה (ש"ח ליום)	-	500 ש"ח	-	
מס' ימי התקנה לק"מ ³	2	2	4	
מס' אמצעי סימון המותקנים ליום (201 אמצעים לק"מ / מס' ימי התקנה)	100	100	50	
סה"כ עלות התקנה לק"מ (כולל מע"מ) ⁴⁻⁶	53,500 ש"ח	18,550 ש"ח	23,400 ש"ח	48,000 ש"ח

- עלויות הרחפן מייצגות 2 הצעות: התקנה באמצעות חברת רחפן מסלובקיה (e-Sense) המתקינה במדינות שונות בעולם לעומת מתקין מוסמך מישראל.
- עלות יום עבודה מוערכת של עובדי חח"י / מפעיל רחפן מוסמך מישראל. עבור החברה הסלובקית יום העבודה מיוחס לעובד חח"י בלבד.
- מס' ימי ההתקנה עבור רחפן מבוצע לפי: הערכת קצב התקנה של 100 אמצעים ליום (בהתאם ליצרן Hummerprodukter) / 201 אמצעים נדרשים לק"מ. מס' ימי ההתקנה עבור מוט מוערך כפי שניים מרחפן בשל התקנת האמצעים לסירוגין על הכבלים הקיצוניים או העליונים הנמצאים משני צידי העמודים.
- חישוב עלות עבר חברת הרחפן מסלובקיה: (עלות התקנת אמצעי X מס' האמצעים למקטע)+(עלות יום עבודה של עובד חח"י X מס' עובדים נדרשים X מס' ימי העבודה הנדרשים).
- חישוב עלות עבור רחפן מוסמך מישראל: (עלות יום עבודה X מס' העובדים הנדרשים X מס' ימי העבודה הנדרשים)+(עלות שכירת כלי ההתקנה X מס' ימי העבודה).
- חישוב עלות עבור התקנה באמצעות מוט: (עלות יום עבודה X מס' העובדים הנדרשים X מס' ימי העבודה הנדרשים).

סה"כ עלות התקנת תמהיל האמצעים עבור כלל האזורים בעלי הרגישות הגבוהה ביותר תלוי בשיטת ההתקנה המיושמת ונע בין כ-21 מיליון ש"ח.

עלות התקנה באמצעות רחפן עבור קווי מתח על					
אזורי רגישות	ק"מ	עלות לק"מ (רחפן ישראל)	סה"כ עלות (רחפן ישראל)	עלות לק"מ (רחפן סלובקיה)	סה"כ עלות (רחפן סלובקיה)
רגישות נמוכה	60	18,550	1,105,209	53,500	3,187,530
רגישות בינונית	91		1,686,381		4,863,685
רגישות גבוהה	41		755,542		2,179,055
רגישות גבוהה ביותר	0.10		1,855		5,350

עלות התקנה באמצעות רחפן עבור קווי מתח עליון					
אזורי רגישות	ק"מ	עלות לק"מ (רחפן ישראל)	סה"כ עלות (רחפן ישראל)	עלות לק"מ (רחפן סלובקיה)	סה"כ עלות (רחפן סלובקיה)
רגישות נמוכה	302	18,550	5,609,335	53,487	16,173,934
רגישות בינונית	474		8,800,862		25,376,372
רגישות גבוהה	428		7,933,650		22,875,855
רגישות גבוהה ביותר	165		3,066,501		8,841,936

עלות התקנה באמצעות רחפן עבור קווי מתח גבוה					
אזורי רגישות	ק"מ	עלות לק"מ (מוט)	סה"כ עלות (מוט)	עלות לק"מ (במת הרמה)	סה"כ עלות (במת הרמה)
רגישות נמוכה	60	23,400	41,553,954	48,000	85,238,880
רגישות בינונית	91		51,577,812		105,800,640
רגישות גבוהה	41		33,257,250		68,220,000
רגישות גבוהה ביותר	0.10		18,103,644		37,135,680

נספחים

→ התנגשות שקנאי בקו מתח. צילום: אסף מירוז



נספח א': גורמים המשפיעים על סיכויי ההתנגשות של עופות בכבלים

גורמים ביולוגיים

הגורמים הביולוגיים הם בעלי חשיבות מכרעת להבנת השפעת תשתיות הכבלים על אוכלוסיות בעלי הכנף.

1. התנהגות

החשיפה להתנגשות תלויה מאוד בהתנהגות העוף. במצבי התנהגות מסוימים תשומת-הלב של העופות מוסחת והם חשופים יותר להתנגשות:

בהלה

עופות המוחרדים ממקומם ועפים בבהלה (דוגמת עופות המורחקים ממאגרי מים ומשדות חקלאיים).

שיחור מזון

דוגמת עופות דורסים הצדים ציפורים באוויר או שתוך כדי תעופתם מחפשים טרף על הקרקע.

חיזור

במיוחד של עופות דורסים ועורבים גדולים המבצעים מפגני חיזור אוויריים.

התלהקות

מעוף בלהקה משפיע לרעה על שיעור ההתנגשויות. העופות עשויים להסתיר אחד לשני את המכשול המתקרב, ובזמן בהלה יש התנגשויות הדדיות.

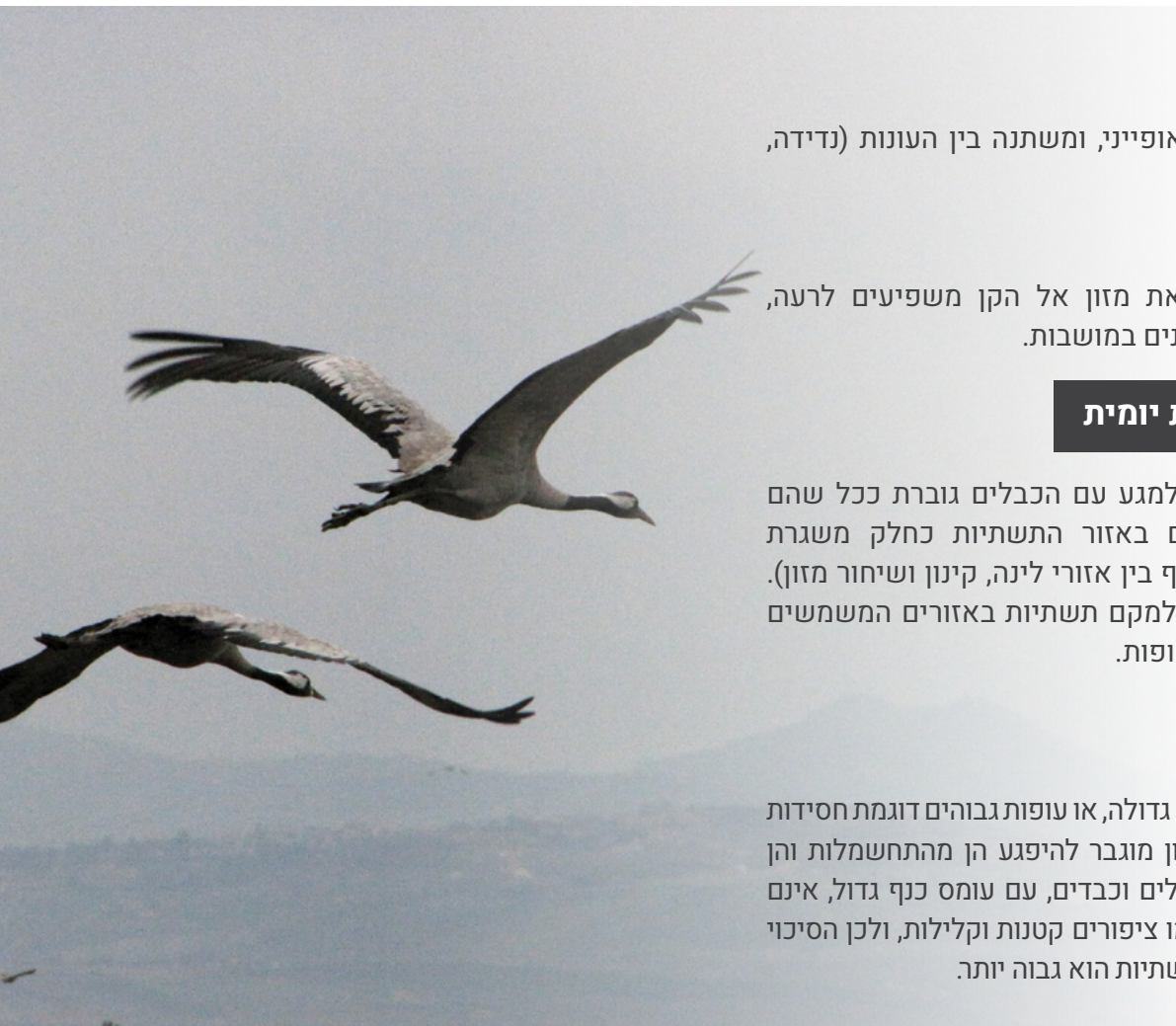
ההתנגשות מתרחשת כאשר העופות נתקלים בתיילים (כבלים עיליים) אגב תעופתם. ההסתברות לאירוע התנגשות תלויה בעיקר ביכולת שלהם להבחין בתשתיות ולהימנע ממגע איתן.

גורמים ביולוגיים: גודל, גיל, צורת התעופה, יכולת הראייה של העוף בתנאים שונים, הרגלי הנדידה והנטייה להתלהקות הם רק חלק מהגורמים המשפיעים על סיכויי ההתנגשות של כל מין ומין.

גורמים סביבתיים: קשורים לתנאים הסביבתיים באזור התשתיות דוגמת תנאי הראות (אובך, ערפל). בתי הגידול ושימושי הקרקע באזור התשתיות קובעים את מספר העופות השוהים בשטח ואת סוג הפעילות שלהם והם בין הגורמים המרכזיים המשפיעים על כמות מקרי הפגיעה.

בישראל נמצא **שהפרעות אדם בשעות החשכה**, הגורמות להחרדת העופות ולתעופת מנוסה, אחראיות להתנגשויות רבות בקווי מתח.

גורמים הנדסיים: קשורים למבנה התשתיות עצמן. עובי הכבלים המתוחים הוא גורם חשוב - ככל שהכבלים דקים יותר, כך קשה יותר לעופות להבחין בהם. מסיבה זו עופות רבים יותר מתנגשים בקווי הארקה שהם דקים יחסית לכבלי ההולכה. כבלי הולכה ארוכים הם אלמנט מתמשך, שהעופות יכולים לעוף לאורכו מבלי להיפגע, אך כשהוא ממוקם בניצב לכיוון תעופתם הוא עשוי להפתיע אותם.



גובה מעוף

לכל מין גובה מעוף אופייני, ומשתנה בין העונות (נדידה, חורף וקיץ).

התנהגות קינון

חיזור, בניית קן והבאת מזון אל הקן משפיעים לרעה, במיוחד במינים המקננים במושבות.

2. שגרת פעילות יומית

החשיפה של עופות למגע עם הכבלים גוברת ככל שהם חולפים יותר פעמים באזור התשתיות כחלק משגרת הפעילות שלהם (מעוף בין אזורי לינה, קינון ושיחור מזון). מסיבה זו מומלץ לא למקם תשתיות באזורים המשמשים כמסדרון תנועה של עופות.

3. גודל העוף

עופות עם מוטת כנפיים גדולה, או עופות גבוהים דוגמת חסידות ואנפות, הם בעלי סיכון מוגבר להיפגע הן מהתחשמלות והן מהתנגשות. עופות גדולים וכבדים, עם עומס כנף גדול, אינם מעופפים מוכשרים כמו ציפורים קטנות וקלילות, ולכן הסיכוי שיתנגשו בכבלים ובתשתיות הוא גבוה יותר.

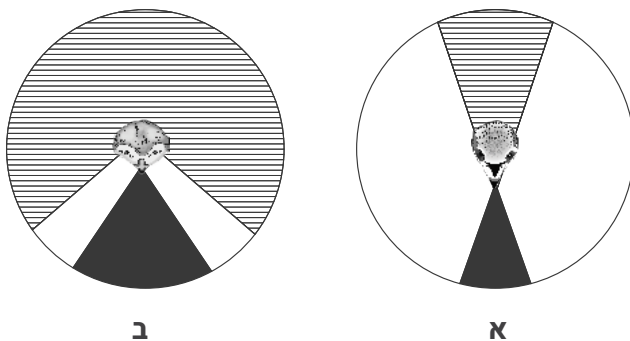
עגורים בעמק החולה. צילום: זאב לבינגר

4. חוש הראייה

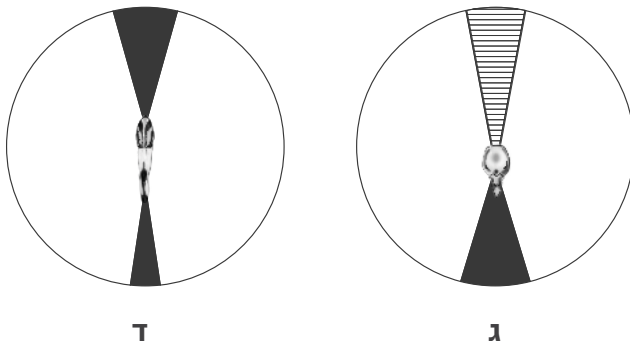
בין מינים שונים של עופות קיימים הבדלים גדולים ביכולת הראייה. הבדלים אלה כוללים את כושר ההגדלה וההפרדה, רוחב שדה הראייה הכללי, רוחב שדה הראייה התלת-ממדי (הבינוקולארי - של שתי העיניים ביחד), כושר הראייה בלילה לעומת ביום ועוד.

שדה הראייה הקדמי של העופות מוגבל למדי, מרביתם רואים טוב יותר לצדדים מאשר לפנים, בשל מיקום העיניים בצדי הראש ולכן החפיפה הבינוקולורית (המאפשרת ראייה תלת-ממדית ואומדן נכון של מרחק) היא צרה. בנוסף, גודלו וצורתו של המקור משפיעים מאוד על ההסתרה לפנים. נמצא שלעופות מסוימים, דוגמת ברבורים, עגורים וחובות (כולל חובארות), יש "שטח מת" בשדה הראייה הקדמי שלהם. ואכן, שיעור ההתנגשויות של מינים אלה בכבלים הוא גבוה יחסית.

עופות שעיניהם מותאמות לראייה תת-מימית, דוגמת ברווזים, נחננו בראייה חדה מתחת לפני המים, אך באוויר הם קצרי-ראייה. עובדה זו, בשילוב עם מהירות התעופה הגבוהה שלהם, מקשה עליהם להבחין בכבלים הדקים. ברווזים מהמין מרגון בינוני (Mergus albellus), לדוגמה, נצפו חולפים קרוב מאוד לכבלים ואף מתנגשים בהם, ללא שניסו לשנות כיוון ולהימנע מההתנגשות. עופות נוספים בקבוצה זו הם בין היתר טבלנים, קורמורנים ושלדגים, הנפוצים בישראל.



☐ שדה ראייה בו הכיסוי הוא דו ממדי (ע"י עין אחת)
☐ אזור שלא נראה ע"י העין ("שטח מת")
☐ שדה ראייה בו הכיסוי הוא תלת ממדי (ע"י שתי העיניים בו-זמנית)



המחשה סכמתית של שדה הראייה של עופות שונים
(מבט על):

א'- בז מצוי ב'- כוס ג'- יונה ד'- חרטומן

5. גיל העוף

נמצא שפרטים צעירים חשופים יותר להתנגשות, במיוחד בשלבים הראשונים שבהם הם מתרגלים תעופה לאחר הפריחה מהקן.

6. מין העוף

כאמור, גודל העוף, משקלו ויכולת התמרון שלו משפיעים על היכולת שלו לחמוק ממכשולים. מספר סדרות של עופות מוכרות כחשופות יותר להתנגשות:

שקנאים

בארץ נפוץ מין אחד של שקנאי ושני מיני קורמורן.

חסידיאים (חסידות, אנפות, מגלנים, כפנים ופלמינגו)
בארץ למעלה מ-10 מינים שכיחים.

אוזזאים (ברוזים ואוזזים)
בארץ כ-20 מינים שכיחים.

עופות דורסים (עקבים, עיטים, נשרים, בזים, תנשמת ועוד)
בארץ למעלה מ-40 מינים.

תרנגולאים (חוגלה, קורא, פרנקולין, שליו)
בארץ 4 מינים.

עגוראים (עגורים, חובות, רליות, אגמיות)
בארץ כחמישה מינים שכיחים המאכלסים מקווי מים, שדות חקלאיים ומישורים פתוחים.

חופמאים (מיני חופמי, ביצנית, חופית וכן שחפיים ושחפיות)
בארץ כ-30 מינים.

7. נדידה

הנדידה מציבה אתגר גדול בפני עופות, הפוגשים אגב נדידתם נופים ומכשולים שאינם מוכרים להם, לעיתים כשהם חלשים ומותשים מן התעופה הממושכת. העופות הנודדים נחלקים באופן גס לשתי קבוצות הנבדלות באסטרטגיית הנדידה שלהן:

נודדי-לילה: אלו הם עופות קטנים ובינוניים (דוגמת ציפורי שיר, חופמאים וברוזים) הנודדים במעוף חתירה רצוף. מרביתם מבצעים קטעים ארוכים של נדידה, מאות רבות ואף אלפי קילומטרים, מבלי לנחות. גובה הנדידה שלהם רב יחסית, בד"כ מגובה 200 מטר ועד 6,000 מטר ולכן הם חשופים פחות להתנגשות אגב נדידה, למעט בזמן המראה או נחיתה באזורי עצירות-ביניים או כשהם חוצים רמות ושרשרות הרים. נודדי הלילה מהווים את עיקר נפח הנדידה, בעוד שנודדי היום מהווים מיעוט מבחינה מספרית.



סנוניות בעצירת נדידה על קווי מתח.
צילום: זאב לבינגר

8. זמן ביממה

למרבית העופות קשה יותר להבחין בכבלים בלילה לעומת ביום. לכן סיכון ההתנגשות גבוה יותר עבור עופות הפעילים בלילה, דוגמת עופות מים, חופמאים ושחפים שעפים בשעות הלילה כחלק מפעילות שיחור המזון שלהם, וכן עבור מינים הנוודים בלילה דוגמת ציפורי השיר.

נמצא שעופות יציבים, המכירים את קווי המתח, עפים בלילה גבוה יותר מאשר ביום, כנראה כדי להימנע ממכשולים. כך לדוגמא יסעורים ויסעורונים בהוואי נצפו עפים נמוך יותר במעופי היציאה לים בשעות הבוקר, לעומת המעוף החוזר בערב. כל ההתנגשויות של יסעורים אלה בקווי-מתח אירעו דווקא בשעות הבוקר, בזמן שיש תאורה.

נוודי-יום: אלו הם עופות דואים, הנעזרים בזרמי אוויר חמים (טרמיקות) כדי לצבור גובה בדאייה ולהתקדם בגלישה, כמעט מבלי להניע כנף. הטרמיקות נוצרות בהשפעת השמש במשך שעות היום בלבד, ולכן קבוצה זו נודדת רק במהלך היום והיא נמנעת עד כמה שניתן מלחצות גופי מים גדולים. קבוצה זו כוללת את מרבית העופות הדורסים, השקנאים והחסידות. נודדי היום נודדים בגובה נמוך יותר (עד כ- 1,200 מטר בד"כ) והם מבצעים מספר גדול של נחיתות והמראות, מה שחושף אותם להתנגשויות בתשתיות.



חסידות לבנות בנדידה. צילום: זאב לבינגר



להקת שחפים ליד קווי מתח באזור אשדוד, ושחף שנפגע מהתנגשות. צילום: אמיר בן-דב

גורמים סביבתיים

קיימים מספר משתנים סביבתיים, הקשורים לאזור בו ממוקמים קווי התשתית ולתנאים השוררים בו, המשפיעים באופן מכריע על הסיכויים שהתשתית תגרום לפגיעה בבעלי כנף. בין המשתנים הללו נמנים סוגי בתי הגידול ושימושי הקרקע במרחב, תנאי מזג האוויר והפרעות אדם לעופות.

1. בתי הגידול בקרבת התשתיות

קווי מתח הממוקמים בקרבה לבתי גידול המשמשים אוכלוסיות גדולות של עופות (דוגמת אזורי קינון, מנוחה ושיחור מזון), חושפים את העופות לסיכון גבוה של התנגשויות. הדבר נכון במיוחד לגבי **קווי מתח הפרוסים בין שני סוגים של בתי גידול**, לדוגמה בין אזור המשמש ללינה או לקינון לבין אזור המשמש לשיחור מזון. ככל שהמרחק בין שני אזורים אלה קטן יותר, כך גדל הסיכוי שגובה המעוף בין שני האזורים יהיה נמוך (בגובה הכבלים). המבחן החשוב הוא כמה עופות משתמשים בתאי השטח, ובאיזו תדירות. מחקר שנערך בקולורדו לדוגמה, מצא שקו-מתח הפרוס בשטח המפריד בין אזורים ביצתיים (המשמשים עופות ללינה) לבין שדות חקלאיים (המשמשים אותם לשיחור מזון), הסב אבדות רבות לעגורים ולברווזים הניזונים מגרעינים, בעוד שהוא לא פגע כלל בברווזים צוללים, שמרבית פעילותם מתרכזת בשטחי הביצה בלבד. לפיכך, **הסיכון שמציב כל קו-מתח נקבע על פי השימוש שכל מין של עוף עושה בשטחים הסמוכים אליו.**

עופות המבצעים עצירות ביניים במהלך נדידתם, מחפשים שטחים עם בתי הגידול המועדפים עליהם. בשטחים כאלה (דוגמת ביצות וגופי מים) עשויים להתרכז אלפי עופות בשיא גלי הנדידה. קו מתח

הממוקם ליד בתי גידול כאלה עשוי ליצור סיכון גדול לעופות הנודדים, במיוחד אם בזמן נחיתת העופות או המראתם יש ערפל או מזג אוויר קשה.

2. שימושי הקרקע

מהווים למעשה הרחבה של המושג "בתי גידול" שהוצג בסעיף הקודם. כל אחד משימושי הקרקע, לדוגמה ישוב עירוני, ישוב כפרי, חקלאות, תעשייה, תיירות, גן לאומי או שמורת-טבע, קובע למעשה את מאפייני השטח, צפיפות האוכלוסייה האנושית ומגוון בתי הגידול שיהיו מיוצגים בו. כל אלה קובעים את האטרקטיביות של השטח עבור עופות ואת מגוון המינים שיאכלסו אותו, ואלה בתורם משפיעים על מידת הסיכון של תשתיות המוצבות בתא השטח.

3. מיקום יחסית לצירי נדידה

"צווארי-בקבוק" של נדידה הם אזורים שבהם חולפות אוכלוסיות ענק של עופות, שבעונות הקינון והחריפה פרוסות על פני שטחים גדולים. באזורים אלה עשויים לחלוף תוך זמן קצר אלפי עופות על פני חתך רוחב של קילומטרים ספורים. לכן אין פלא ששיעור ההתנגשויות בצווארי בקבוק כאלה בזמן הנדידה עשוי להיות גבוה לאין שיעור יחסית לאזורים אחרים או לזמנים שבין עונות הנדידה. מרבית העופות מעדיפים לנדוד לאורך קווים טופוגרפיים בולטים, דוגמת רכסים, עמקים, חופים ואף כבישים ומסילות רכבת. תשתיות קוויות, המוצבות במקביל לכיוון הנדידה, ולאורך קווים טופוגרפיים כאלה, מסכנות את העופות הרבה פחות יחסית לתשתיות המוצבות לרוחב ציר הנדידה או בניצב לטופוגרפיה.

4. תנאי מזג האוויר

לתנאי מזג האוויר השפעה מכרעת הן על יכולתם של בעלי הכנף להבחין בכבלים (בשל תנאי הראות) והן על התנהגותם באזור הכבלים ויכולתם להגיב בזמן ולהימנע מתאונה. מזג אוויר קשה, דוגמת ערפל, אובך, עננים נמוכים, גשם ורוח חזקה הם בין הגורמים המשפיעים לרעה על סיכויי ההתנגשות של עופות בכבלים. ראות לקויה ורוח חזקה גורמים בדרך-כלל לעופות נודדים לעוף נמוך יותר (Shamoun-Baranes *et al* 2006), וכך מגבירים עוד יותר את סיכויי ההתנגשות שלהם בתשתיות. בנוסף, בתנאי מזג אוויר קשה עופות נוטים להימשך לעבר אזורים מוארים, ואם כבלי התשתית ממוקמים בקרבת אזורים אלה (או שהם בעצמם מוארים), הסיכוי לאירועי התנגשות הוא גבוה (Manville 2005).



עגורים עפים בערפל. צילום: זאב לבינגר

5. הפרעות פתאומיות

הפרעה פתאומית לעופות גורמת להם להתרומם בבהלה ולהתרחק בתעופה מהירה. גורם זה תועד היטב כמשפיע באופן ישיר על התנגשות עופות בקווי מתח. מחקר על עגורים קנדיים בנברסקה גילה שמרבית ההתנגשויות בכבלי מתח היו של עגורים שגורשו מריכוז לינה לאחר רדת החשכה. גם התנגשות של שקנאים לבנים אמריקאים (*Pelecanus erythrorhynchos*) בקו מתח ארעה בשעות הלילה לאחר שהשקנאים נבהלו מרכבת חולפת ועפו לעבר קו המתח, על אף שהיה מסומן באמצעי סימון לעופות. גם בארץ נרשמו אירועים רבים של התנגשות שקנאים בקווי מתח הפרוסים ליד בריכות דגים או מאגרי מים. בין השנים 2009 – 2017 נאספו למעלה מ-300 שקנאים פגועים (מאגר מידע רט"ג). חלק ניכר מאירועים אלו התרחשו במהלך גירוש יזום של שקנאים מבריכות-דגים, בעוד שחלקן התרחשו דווקא בשעות הלילה, לאחר שהשקנאים גורשו מהבריכות במהלך היום ונאלצו לשחרר למזון בשעות הלילה, שאינן שעות הפעילות הרגילות שלהם.



שקנאי לבן (נושא משדר) שהתנגש בקו מתח באזור עמק המעינות. מקור - רט"ג

גורמים הנדסיים

בין הגורמים ההנדסיים המשפיעים על רמת הסיכון שמציבה תשתית הכבלים עבור בעלי-כנף:

1. עובי הכבלים (דוגמת כבלי הארקה לעומת כבלים מוליכים).
2. מיקום התשתית במרחב (קרבה לבתי גידול חשובים לעופות) והאוריינטציה שלה יחסית לגורמים ביולוגיים וסביבתיים.
3. צורת התשתית עצמה, דוגמת הקונפיגורציה של קו-מתח (אנכית לעומת מאוזנת, מספר הכבלים).
4. האם התשתית מוארת או לא ובאיזה אופן.

1. עובי הכבלים

ככל שקוטר הכבלים קטן יותר, כך עולים הסיכויים שעופות יתנגשו בהם. בקו מתח עליון, כבל ההארקה ממוקם מעל לכבלים המוליכים (בגלל שתפקידו להגן עליהם מפגיעת ברקים) והוא דק מהם בהרבה (כ-1 ס"מ לעומת 2.5-5 ס"מ), מה שעשוי לגרום לעופות לזהות את הכבלים המוליכים, לנסוק מעליהם ולהיפגע דווקא מכבל ההארקה. מבנה זה יוצר מעין מלכודת הנדסית.



דוגמה לכבל הארקה דק, ממוקם מעל לכבלי ההולכה, מסומן בכדורי סימון. צילום: אסף מירוז

2. מיקום התשתית

המרחק של כבלים עיליים יחסית לאתרי התרכזות של עופות הוא בין הגורמים המשפיעים ביותר על מידת הסיכון הנובע מהם, אף כי לא נמצא מרחק אחד התקף לגבי כל המינים. לגבי עגורים למשל, נמצא במחקר מסוים כי כשהתשתיות היו במרחק גדול מ-1.6 ק"מ מהאתר בו התרכזו העגורים, שיעור ההתנגשויות היה אפסי. לגבי עופות מים, נמצא שמרחק של 400 – 500 מטר בין התשתיות לבין גופי המים צמצם מאוד את שיעור ההתנגשויות.

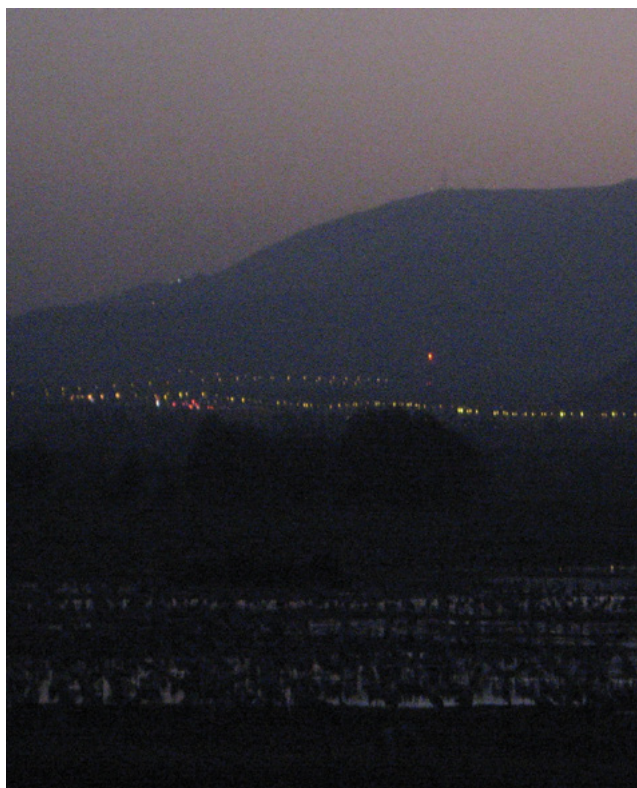
3. אוריינטציה של קווי התשתית

האוריינטציה (המנח) של תשתית אורכית דוגמת קווי מתח יחסית למאפיינים ביולוגיים וסביבתיים (כמו צירי נדידה וקווי מצוק) יכולה להיות משמעותית ביותר. עופות נוטים לעוף בדרך-כלל במקביל לקווים טופוגרפיים בולטים דוגמת עמקי נהרות, חופי ימים ושרשרות הרים. בתכנון של תשתית כזו יש להתחשב בגורמים אלה, כאשר הקמה של קו-מתח במקביל לאלמנטים טופוגרפיים מאורכים היא פחות בעייתית בהשוואה להקמה בניצב לאותם אלמנטים. הצבה של כבלים במקביל לשדרה של עצים גבוהים היא בטוחה יחסית כל עוד הכבלים נמוכים מצמרות העצים. העופות מזהים את העצים ממרחק וצוברים גובה כדי לחלוף מעליהם, אם הכבלים מתוחים גבוה מעל לעצים, עשוי להיווצר מצב מסוכן עבור בעלי כנף.

4. תאורה

לתאורה המותקנת על מבנה התשתית יש השפעה גדולה על הסיכון עבור בעלי כנף. מחקרים שנערכו סביב מגדלי תקשורת המוארים בתאורה קבועה אדומה או לבנה, הראו שתאורה זו גורמת לשיבוש חוש ההתמצאות של הציפורים, באופן שגורם להן לעוף אל מגדל התקשורת ולהתנגש בו, או להקיף אותו במעגלים עד לאפיסת כוחות. הסרת התאורה הקבועה, תוך השארת התאורה המהבהבת בלבד, הפחיתה את מספר ההתנגשויות בשיעור של עד 72% (Gehring et al 2009).

בארץ יש רק עמודי חשמל ספורים שמותקנת עליהם תאורה, אך ישנם לא מעט קווי מתח המוצבים כך שהם מוארים בלילה בשל קרבתם לתשתיות אחרות דוגמת כבישים. ההשפעה של תאורה זו על שיעורי ההתנגשויות טרם נבחנה.



אורות בלילה על יד ביצות עמק החולה.
צילום: זאב לבינגר

נספח ב': פירוט שכבות המידע אשר נכללו במודל הגיאוגרפי

משקל	רצועת סיכון	המרכיב
		בתי גידול לחים (בגל"ח)
10	1,000 מ'	מאגרים בעדיפות ראשונה (רט"ג)
10	1,000 מ'	גושים של גופי מים (> 20 ק"מ ²)
10	1,000 מ'	שמורות טבע של בגל"ח ואגם הכנרת
7	1,000 מ'	מאגרים בעדיפות שנייה (רט"ג) ובריכות דגים
7	100 מ'	נחל איתן
5	500 מ'	חוף הים
		בתי גידול חשובים
10	1,000 מ'	שמורות טבע חשובות לעופות
7	500 מ'	מזבלות
5	500 מ'	אתרי צפרות (תיירות)
5	500 מ'	אתרי עצירה בנדידה (Stop-over)
3	300 מ'	טופוגרפיה - צוקים ומדרונות
5	500 מ'	אתרים בהם נרשמו התנגשויות
2	0	אזור חשוב לציפורים (אחל"צ) - IBA

שימושי קרקע ובתי גידול חשובים אשר הוזנו למודל

כל סוג של בית גידול/שימוש קרקע קיבל משקל שרירותי 1 עד 10 (10 מציין סיכון גבוה) לפי רמת החשיבות היחסית שלו עבור עופות (על פי הערכת מומחה). כמו כן הוגדרה סביבו רצועת סיכון בה מוערך כי תנועת העופות מושפעת מהקרבה לבית הגידול (כמקובל במודלים דומים בספרות).

מאגרי מים

המשקל שניתן למאגרי המים השונים (222 מאגרים), התבסס על עבודה שבוצעה על ידי רט"ג לדירוג הערכיות האקולוגית היחסית של מאגרי מים בישראל. מדרג המאגרים על פי עבודה זו התבסס בין היתר על מגוון מיני העופות המנצלים את המאגר ונוכחות/קינון של מינים בסכנת הכחדה.

מאגרים בעלי משקל גבוה נבע מהסיבות הבאות:

- מאגרים בעלי ציון גבוה בעבודת רט"ג
- גופי מים גדולים (20 קמ"ר ומעלה)
- גושי מאגרים שהמרחק ביניהם אינו עולה על קילומטר אחד.
- כל יתר המאגרים וכן בריכות דגים, בריכות חמצון וכדומה, קיבלו ציון נמוך יותר.

8	CR	עיתם לבן-זנב - <i>Haliaeetus albicilla</i>
8	CR	קטה הודית - <i>Pterocles lichtensteinii</i>
8	CR	תחמס מצרי - <i>Caprimulgus aegyptius</i>
7	EN	בז נודד מדברי - <i>Falco peregrinus pelegrinoides</i>
7	EN	חופמי אלכסנדר - <i>Charadrius alexandrinus</i>
7	EN	קטה חדת-זנב - <i>Pterocles alchata</i>
7	EN	קטה סנגלית - <i>Pterocles senegallus</i>
7	CR Global	קיווית להקנית - <i>Vanellus gregarius</i>
7	EN	שדמית אדומת-כנף - <i>Glareola pratincola</i>
7	EN	שחפית גמדית - <i>Sternula albifrons</i>
6	VU	אנפה ארגמנית - <i>Ardea purpurea</i>
6	EN Global	בז ציידים - <i>Falco cherrug</i>
6	VU	קטת כתר - <i>Pterocles coronatus</i>
6	VU	רץ מדבר - <i>Cursorius cursor</i>
6	VU	שחפית ים - <i>Sterna hirundo</i>
6	VU	תחמס נובי - <i>Caprimulgus nubicus</i>
5	VU Global	עית צפרדעים - <i>Clanga</i>
5	VU Global	עית שמש - <i>Aquila heliaca</i>

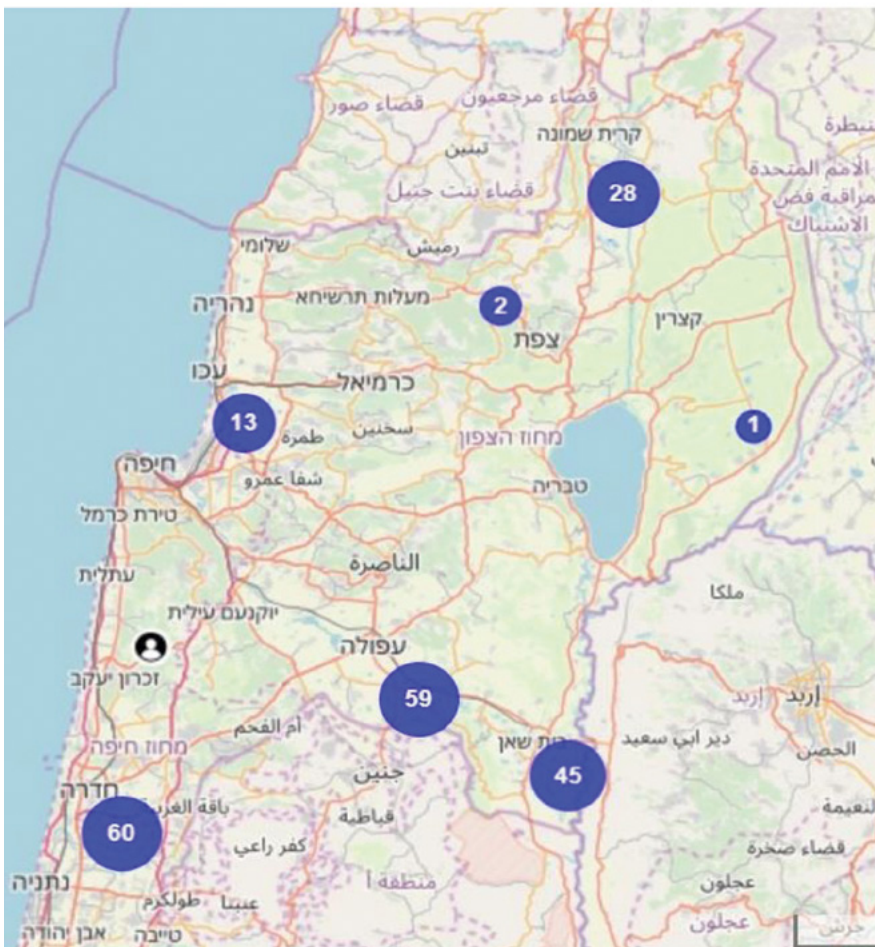
אזורי תפוצה של מיני עופות רגישים אשר הוזנו למודל

- מיני העופות אשר הוזנו במודל הינם:**
- מינים השייכים למשפחות המוכרות כחשופות להתנגשויות בכבלי חשמל עיליים.
 - מינים המוגדרים בסכנת הכחדה עולמית או אזורית בישראל.
- המשקל היחסי שניתן לכל אחד מהמינים מבטא שילוב של שני מרכיבים אלה.

המרכיב	דרגת סיכון ספר אדום	משקל
חובארה מדברית - <i>Chlamydotis macqueenii</i>	EN (VU Global)	10
צחראש לבן - <i>Oxyura leucocephala</i>	CR (EN Global)	10
רחם מדברי - <i>Neophron percnopterus</i>	CR (EN Global)	10
ברווז משויש - <i>Marmaronetta angustirostris</i>	EN (VU Global)	9
נשר מקראי - <i>Gyps fulvus</i>	CR	9
עית ניצי - <i>Aquila fasciata</i>	CR	9
בז צוקים - <i>Falco biarmicus</i>	CR	8
חופמי גדות - <i>Charadrius dubius</i>	CR	8
עית זהוב - <i>Aquila chrysaetos</i>	CR	8

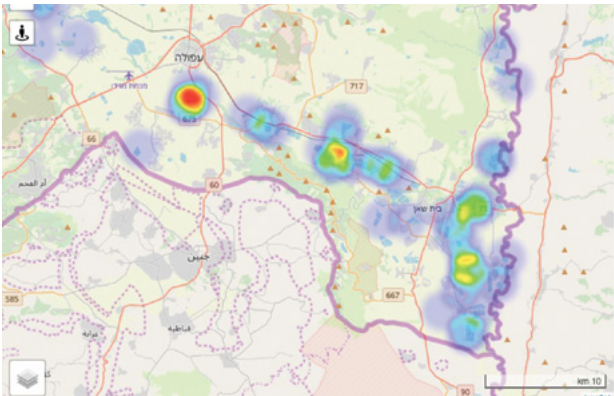
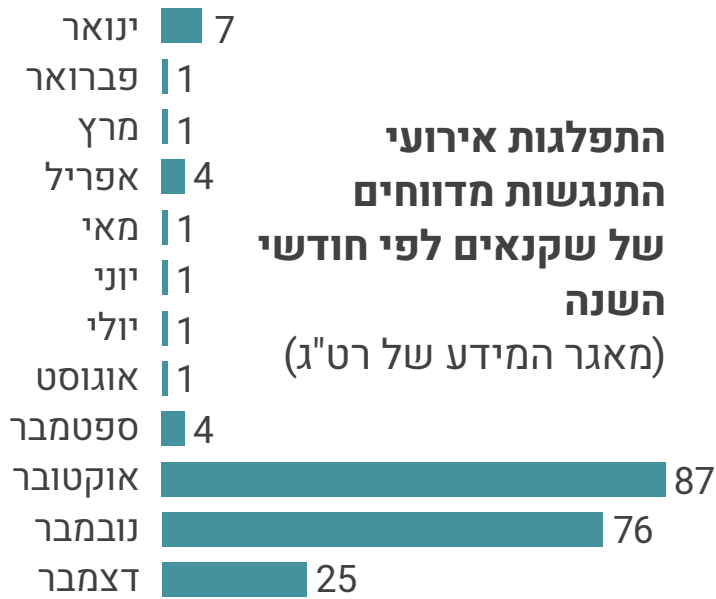
נספח ג': אזורים מועדפים לסימון באמצעים יעילים לשעות החשיכה

אזורים בהם התרחשו התנגשויות
רבות של שקנאים

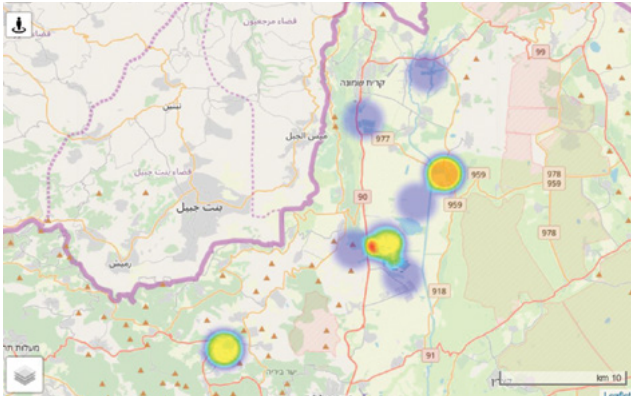


להקות של שקנאי מצוי (*Pelecanus onocrotalus*) החונות בארץ בסתיו ובחורף, חשופות מאוד להתנגשות בקווי מתח, במיוחד באזורים שבהם הם מגורשים מבריכות הדגים במשך היום, ולכן משחרים למזון בעיקר בלילה. בין השנים 2008 – 2018 דווחו על ידי פקחי רט"ג 208 אירועי התנגשות, מרביתם בחודשים אוקטובר-דצמבר. המפות מציגות את האזורים שבהם נרשמו מירב אירועי ההתנגשות (עמק החולה, עמק יזרעאל ובית שאן, עמק חפר וחוף הכרמל, עמק עכו).

מפה המציגה את ההתפלגות המרחבית של אירועי התנגשות מדווחים של שקנאים. (מאגר המידע של רט"ג)

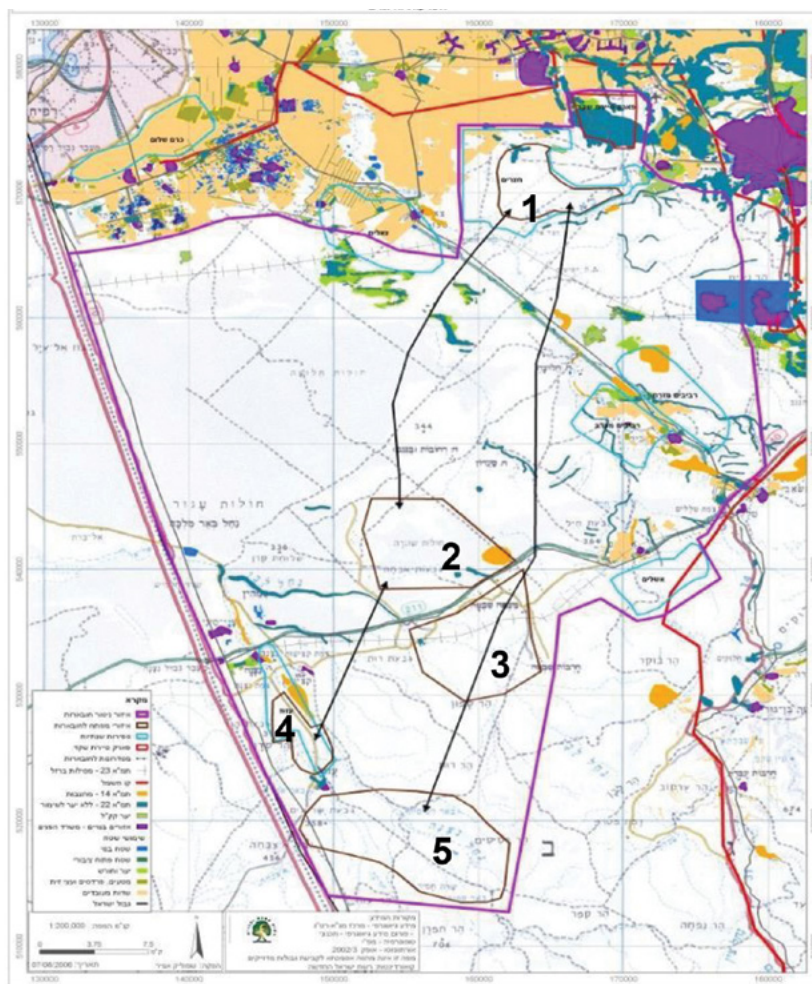


מפת חום המציגה את הפיזור המרחבי של התנגשויות שקנאים בעמק יזרעאל ועמק בית שאן.
(מאגר המידע של רט"ג)



מפת חום המציגה את הפיזור המרחבי של אירועי התנגשות שקנאים בעמק החולה ומזרח הגליל.
(מאגר המידע של רט"ג)

אזורי רבייה ותנועה של חובארות בנגב הצפוני מערבי



החובארה המדברית (*Chlamydotis undulata*), כמו כל המינים במשפחת החובתיים, רגישה מאוד להתנגשויות בקווי חשמל. המפה לעיל מציגה את שטחי המפתח לקינון ושהיית חובארות ואת צירי התנועה העיקריים שלהן במרחב (מירוז והצופה 2006).

שטחי המפתח כוללים את:

1. חצרים - פארק הלס
2. חולות שונרה
3. שבטה - נחל דרוורים
4. עזוז - תל ניצנה
5. נחל בארותיים - נחל ניצנה

מפת תפוצת חובארות בנגב הצפוני, אזורי קינון ושהייה
מסומנים במספרים, צירי תנועה מסומנים בחיצים.



חובארה. צילום: אסף מירוז

רשימת ספרות

→ שקנאים עפים. צילום: אסף מירוז



רשימת ספרות

יושע, ד. 2018. פיילוט לניטור התנגשות עופות בקו מתח עליון בעמק יזרעאל, דו"ח מסכם. הוגש להחברה להגנת הטבע, חברת החשמל, רשות הטבע והגנים ומשרד להגנת הסביבה.

מירוז, א. והצופה, א., 2006. אוכלוסיית החובארה בנגב – תפוצת קינון ודגם ניצול השטח, סיכום תוצאות מחקר שבוצע בשנים 2003-2001 והמלצות לממשק. דו"ח מרכז הצפרות הישראלי ורשות הטבע והגנים.

מירוז, א., וין, ג., לבינגר, ז., שטייניץ, ע., הצופה, א., חביב, א., פרלמן, י., אלון, ד., לידר, נ., 2017. הספר האדום של העופות בישראל. החברה להגנת הטבע ורשות הטבע והגנים. נגיש מ: <https://aves.redlist.parks.org.il>

שטייניץ, ע., וין, ג., הצופה, א., כהן, א., פיימן, ד., רותם, ד., אוזן, א., כץ, י., לידר, נ., מגן, צ. ואלון, ד., 2016. הצעה לדירוג מאגרי מים על בסיס תרומתם למגוון הביולוגי. דוח של רשות הטבע והגנים.

לשם, י. ובהט, ע. 1994. לטוס עם הציפורים. מדינת ישראל, משרד הבטחון. 248 עמודים.

ABS Energy Research, 2010. The Global Transport & Distribution Report, Edition 9. ABS Energy Research, London.

Alonso, J. C., Alonso, J. A. and Munoz-Pulido, R. 1994. Mitigation of bird collisions with transmission lines through ground wire marking. Biological Conservation. 67:129–134.

Anderson, M. D. 2002. Karoo Large terrestrial bird power-line project, report No. 1. Johannesburg: Eskom.

Andrew, R. J., Smallie, J. J. and M. Diamond. 2010. Avian collisions with power lines: a global review of causes and mitigation with a South African perspective. Bird Conservation International, BirdLife International, 1-16.

APLIC. 2012. Reducing Avian Collisions with Power Lines: The State of the Art in 2012. Washington, DC.

Barrientos, R., Alonso, J.C., Ponce, C., and C. Palacín. 2011. Meta-analysis of the effectiveness of marked wire in reducing avian collisions with power lines. Biological Conservation 25, 893–903.

Barrientos, R., Ponce, C., Palacín, C., Martín, C.A., Martín, B., and J.C. Alonso. 2012. Wire marking results in a small but significant reduction in avian mortality at power lines: a BACI designed study. PLoS One 7, e32569.

Bernardino, J., Bevanger, K., Barrientos, R., Dwyer, J.F., Marques, A.T., Martins, R.C., Shawg, J.M., Silva, J.P. and F. Moreira. 2018. Bird collisions with power lines: State of the art and priority areas for research. Biological Conservation 222, 1–13.

Bevanger, K. 1998. Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. *Biological Conservation* 86, 67-76.

Bevanger, K. & H. Brøseth. 2001. Bird collisions with power lines - an experiment with ptarmigan (*Lagopus* spp.). *Biological Conservation* 99: 341-346.

Birdlife International. 2018. IUCN Red List for birds. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 06/11/2018.

Birdlife International. 2017. Sustainable deployment of renewable energy technologies and power lines: avoiding and mitigating negative impacts on biodiversity. 2nd Meeting of the CMS Multi-Stakeholder Energy Task Force (ETF2), Bonn, Germany, 14-15 September 2017.

Brown, W.M., R.C. Dreweine & E.G. Bizeau. 1987. Mortality of cranes and waterfowl from power line collisions in the San Luis Valley, Colorado. Pp 128-136 in J. C. Lewis & J. W. Ziewitz (eds.), *Proc. 1985 Crane Workshop, Platte River Whooping Crane Habitat Maint. Trust*, Grand Island, Neb.

Brown, W. M. and R.C. Drewien. 1995. Evaluation of two power line markers to reduce crane and waterfowl collision mortality. *Wildl. Soc. Bull.* 23: 217-227.

Bruderer, B. 1994. Nocturnal bird migration in the Negev (Israel): a tracking radar study. *Ostrich* 65: 204-212.

De la Zerda, S. and L. Roselli. 2003. Mitigación de collision de aves contra líneas de transmission eléctrica con marcaje del cable de guarda. *Ornithología Colombiana* 1:42-62.

Haas, D., Nipkow, M., Fiedler, G., Scheneider, R., Haas, W., and B. Schürenberg. 2005. Protecting birds from powerlines. *Nature and Environment* 140.

Hoogstad & Pretorius. 2015. Mitigating Collisions of Night-Flying Birds on Overhead Power Lines by Means of a New Product: The 'Owl' Nocturnal Bird Diverter. Report submitted to Eskom by The Wildlife and Energy Program, Endangered Wildlife Trust.

Janss, G. F. E. and M/ Ferrer. (1998. Rate of bird collision with power lines: effects of conductor-marking and static wiremarking. *J. Field Ornithol.* 69: 8-17.

Jenkins, A.R., Smallie, J.J., and M. Diamond. 2010. Avian collisions with power lines: a global review of causes and mitigation with a South African perspective. *Bird Conserv. Int.* 20, 263-278.

Labinger, Z. and O. Skutelsky. 2004. The Great Rift Valley Migration Flyway, The Hula: Nomination for Inscription on the World Heritage List (and Potential Transboundary Serial Nomination). Israel UNESCO Committee.

Loss, S. R., Will, T. and P. P. Marra. 2014. Refining Estimates of Bird Collision and Electrocution Mortality at Power Lines in the United States. PLoS ONE 9(7):e101565. doi:10.1371/journal.pone.0101565

Martin, G.R., and J.M. Show. 2010. Bird Collisions with power-lines: failing to see the way ahead? Biological Conservation. 143:2696-2702.

Mohammed, S. 2012. Electrocution and collision of birds with power lines in Saudi Arabia. Zoology in the Middle East, 57:1, 45-52.

Morkill, A. E. and S. H. Anderson. 1991. Effectiveness of marking power lines to reduce Sandhill Crane collisions. Wildl. Soc. Bull. 19: 442–449.

Prinsen, H.A.M., J.J. Smallie, G.C. Boere & N. Pires (Compilers). 2011. Guidelines on how to avoid or mitigate impact of electricity power grids on migratory birds in the African-Eurasian region. CMS Technical Series, AEW Technical Series, Bonn, Germany.

Quinn M., Alexander S., Heck N. and G. Chernoff. 2011. Identification of Bird Collision Hotspots along Transmission Power Lines in Alberta: An Expert-Based Geographic Information System (GIS) Approach. Journal of Environmental Informatics 18(1) 12-21.

Savereno, A. J., Savereno, L. A., Boettcher, R. and S. M. Haig. 1996. Avian behavior and mortality at power lines in coastal South Carolina. Wildl. Soc. Bull. 24: 636–648.

Shaw, J.M., Reid, T.A., Schutgens, M., Jenkins, A.R., and P. G. Ryan. 2018. High power line Collision mortality of threatened bustards at a regional scale in the Karoo, South Africa. Ibis 160, 431–446.

Shirihai, H., 1996. The Birds of Israel. Academic Press, London.

Sporer, M. K., Dwyer, J. F., Gerber, B. D., Harness, R. E. and A. K. Pandey. 2013. Marking Power Lines to Reduce Avian Collisions Near the Audubon National Wildlife Refuge, North Dakota, Wildlife Society Bulletin; DOI: 10.1002/wsb.329.

Yee, M. L. 2008. Testing the effectiveness of an avian flight diverter for reducing avian collisions with distribution power lines in the Sacramento Valley, California. Sacramento, CA: California Energy Commission, PIER Energy-Related Environmental Research Program. CEC-500-2007-122.



צילום: זאב לבינגר