

השפעות טורבינות רוח על הבריות והסביבה



מאת: ד"ר חגית אולנובסקי, ד"ר ערן ברוקוביץ' וד"ר דניאל מדר

SP Interface

הוכן עבור החברה להגנת הטבע

מרץ 2016

תוכן העניינים

7.....	תקציר
13.....	1 - השפעת טורבינות רוח על הבריאות
14.....	1.1 מבוא
14.....	1.2 ריצוד
15.....	1.2.1 התקפים אפילפטיים
15.....	1.2.2 הפרעות הריצוד לאוכלוסייה שאינה סובלת מאפילפסיה
16.....	1.3 רעש
17.....	1.3.1 בעיות בריאות מרעש של טורבינות רוח
20.....	1.3.2 גורמים המשפיעים על תפישת הרעש
20.....	1.3.3 רעש והפרעות שינה
22.....	1.3.4 "סינדרום טורבינות רוח"
23.....	1.3.5 השפעות בריאותיות נוספות של רעש מטורבינות רוח
23.....	1.3.6 הרעש כמטרד
24.....	1.3.7 שונות בין בני אדם בתגובה הבריאותית לרעש טורבינות רוח
24.....	1.4 ויברציות (רעידות)
25.....	1.4.1 מחלה ויברו-אקוסטית (VAD)
25.....	1.4.2 מחלת ים הנגרמת על ידי טורבינות רוח
28.....	1.5 השפעות בריאותיות נוספות
28.....	1.5.1 קרינה אלקטרומגנטית
28.....	1.5.2 סנור מהלהבים
28.....	1.6 השפעות פסיכולוגיות
31.....	1.7 דוחות ציבוריים לגבי ההשפעות הבריאותיות של טורבינות רוח על בני-אדם
33.....	1.8 השפעה על חיות משק
34.....	1.9 סיכום והמלצות
37.....	2 - השפעת טורבינות רוח על חיות בר יבשתיות
38.....	2.1 מבוא
38.....	2.2 השפעת טורבינות רוח על עופות
38.....	2.2.1 השפעות עיקריות
38.....	2.2.1.1 התנגשויות

46	2.2.1.2 הרס בית הגידול
46	2.2.1.3 קיטוע בית הגידול
46	2.2.2 השפעות פרטניות
47	2.2.2.1 ציפורי שיר, חופמאים ואוזים באתרי קינון ומנוחה
50	2.2.2.2 עופות דורסים ועופות דואים אחרים
53	2.2.2.3 עופות נודדים
56	2.2.3 עופות בישראל
56	2.2.3.1 מצב העופות בישראל
57	2.2.3.2 עופות נודדים בישראל
63	2.2.3.3 הערכת הסיכונים לעופות בישראל
67	2.3 השפעת טורבינות רוח על עטלפים
67	2.3.1 קטילת עטלפים כתוצאה מהתנגשויות בטורבינות רוח
67	2.3.1.1 הערכות כמותיות לתמותה
70	2.3.2 מדוע מתים העטלפים ?
71	2.3.2.1 תמותה תלויה מיקום ופעילות
71	2.3.2.2 הקשר לרמת פעילות ולמזון
72	2.3.2.3 תמותה תלויה טורבינה
73	2.3.2.4 תמותה תלויה מין וגיל – מינים בסיכון
74	2.3.2.5 השפעות מזג אוויר על תמותה
75	2.3.3 השפעות עקיפות של טורבינות על עטלפים
75	2.3.3.1 השפעות ברמת האוכלוסייה
77	2.3.3.2 היפותזות (שלא נבחנו) למשיכת מינים לסביבת הטורבינות ולמותם
77	2.3.4 עטלפים בישראל
79	2.4 השפעת טורבינות רוח על חיות שאינן מעופפות
79	2.4.1 השפעות כתוצאה מעבודות בנייה ופירוק
80	2.4.2 תמותת בעלי חיים תת-קרקעיים
80	2.4.3 השפעות במשך תקופת הפעילות של חוות הטורבינות
82	2.4.4 השפעה מרעש הטורבינות
83	2.4.5 השפעה של ויברציות וריצוד
83	2.4.6 השפעות נוספות

84.....	3 - השפעת תשתיות נלוות של טורבינות הרוח על הסביבה
85.....	3.1 מבוא
86.....	3.2 דרכים
86.....	3.2.1 שינוי פיזי של השטח
87.....	3.2.2 דריסה
88.....	3.2.3 אזור חיץ
89.....	3.2.4 הידוק קרקע
89.....	3.2.5 "אפקט שוליים"
90.....	3.2.6 מינים פולשים ומינים מתפרצים
91.....	3.2.7 תעלות
91.....	3.2.8 רעש
91.....	3.2.9 הגברת נוכחות אנושית
92.....	3.3 קווי הולכת חשמל ושנאים
92.....	3.3.1 התנגשות והתחשמלות
93.....	3.3.2 מסדרונות קווי מתח
94.....	3.3.3 שריפות
94.....	3.3.4 קרינה אלקטרומגנטית
95.....	3.3.5 מבנים אנכיים
95.....	3.3.6 פגיעה נופית
95.....	3.4 גדרות
95.....	3.4.1 השפעות חיוביות של גידור
96.....	3.4.2 השפעות שליליות
97.....	3.5 תאורה מלאכותית וזיהום אור
97.....	3.5.1 משיכה
97.....	3.5.2 דחייה ושיבוש
97.....	3.6 הקמה, תפעול ופירוק של טורבינות רוח
99.....	3.7 השפעות מצטברות של היקפים הולכים וגדלים של תשתיות ופעילות אנושית
102.....	3.8 השפעת בניית תשתיות לטורבינות רוח בישראל
105.....	4 - רשימת מקורות

רשימת תרשימים

13.....	תרשים 1: חוות הטורבינות החדשה במעלה גלבוע קרובה לשובים.
22.....	תרשים 2: עוצמת ההשפעה של רעש הטורבינות כתלות בעוצמת ובמרחק הרעש.
27.....	תרשים 3: קשר אפשרי בין טורבינות רוח ומחלת ים.
39.....	תרשים 4: גורמים המשפיעים על הסיכון להתנגשות עם טורבינה והקשרים ביניהם.
41.....	תרשים 5: הקשר בין גובה הטורבינה ותמותת עופות.
42.....	תרשים 6: פגרי נשרים מקראיים שנחתכו באוויר על ידי טורבינת רוח בספרד.
49.....	תרשים 7: הערכת תמותת עופות למגה-וואט לשנה בחמש תחנות ביפן.
58.....	תרשים 8: דוגמה לתאריכי מעבר וכמויות של שלושה מיני דורסים בישראל בנדידת הסתיו 2013.
59.....	תרשים 9: נתיבי נדידת עופות באזור הים התיכון.
60.....	תרשים 10: נתיבי הנדידה העיקריים של עופות דואים בישראל.
61.....	תרשים 11: מדידות מכ"ם של גובה עופות נודדים.
62.....	תרשים 12: אזורי צפרות ונתיבי נדידה מלוויינים בישראל.
66.....	תרשים 13: דוגמאות לקשר בין גובה תעופת עופות לתנאי מזג אוויר מקומיים.
72.....	תרשים 14: הקשר בין גובה הטורבינה לתמותת עטלפים.
76.....	תרשים 15: מגמות באוכלוסיות עטלפים בשבדיה תחת שלושה תרחישים.
81.....	תרשים 16: גישות לבחינה והתייחסות לקיטוע בתי גידול ולשינוי הנוף.
82.....	תרשים 17: טורבינות הרוח במעלה גלבוע סמוכות לחיות משק.
87.....	תרשים 18: תפיסת השטח של חוות טורבינות רוח.
88.....	תרשים 19: הקשר בין נפחי תנועה לבין יכולת בעלי-חיים לחצות כביש.
94.....	תרשים 20: בקר בקרבת חוות טורבינות בהוואי שבארה"ב.
100.....	תרשים 21: תפיסת קרקע ע"י מתקני הפקת אנרגיה שונים.
101.....	תרשים 22: חשיבות הקישוריות להשפעת תשתיות קוויות על מטה-אוכלוסיות.
102.....	תרשים 23: שינוי בחלק היחסי של שולי כבישים במרחב.

רשימת טבלאות

19.....	טבלה 1: פירוט המחקרים על מטרדי רעש מטורבינות רוח.
21.....	טבלה 2: פירוט המחקרים על הפרעות שינה הנגרמות על ידי טורבינות רוח.
30.....	טבלה 3: תוצאות ניסוי ה-NOCEBO הניו-זילנדי.
35.....	טבלה 4: סיכום ההשפעות הבריאותיות של טורבינות רוח.
44.....	טבלה 5: מספר העופות הנהרגים בחוות רוח באירופה.
45.....	טבלה 6: מספר העופות הנהרגים בחוות רוח בצפון אמריקה.
55.....	טבלה 7: גובה התעופה של מינים הנוודים בלילה.
56.....	טבלה 8: תמותת עופות מטורבינות רוח הנמצאות בנתיבי נדידה של עופות.
57.....	טבלה 9: מינים הנמצאים בישראל אשר נמצאים בסיכון.
57.....	טבלה 10: קטגוריות הסיכון של מיני העופות המקננים בישראל.
64.....	טבלה 11: התפלגות עופות נצפים בקטגוריות הגובה השונות בעמק הבכא.
68.....	טבלה 12: קצבי קטילת עטלפים בצפון אמריקה.
69.....	טבלה 13: קצבי קטילת עטלפים באירופה.
74.....	טבלה 14: טבלת מינים שנפגעו באירופה ומצויים בשבדיה.
78.....	טבלה 15: מיני העטלפים בישראל ומצבם בארץ על פי הספר האדום.

תמונת השער: חוות הטורבינות החדשה ברמת סירין ממעוף הציפור. צילום: צוות עידן, 2015.

עבודה זו משקפת את הידע המדעי שהיה קיים בעת כתיבת דוח זה, במסגרת היקף העבודה, למיטב שיקולנו המקצועי, והערכות המתבססות על ניסיונו המקצועי.

תקציר

טורבינות רוח הן כלי חשוב במעבר מאנרגיות מזהמות לאנרגיות מתחדשות ובהפחתת פליטות גזי חממה. גופים שונים עוסקים בקידום המעבר לאנרגיות מתחדשות, וממשלת ישראל מקדמת את הנושא באמצעות הקצאת מכסות לייצור חשמל מתחדש. אל מול התועלות הבריאותיות המובהקות הטמונות במעבר לאנרגיה נקייה, מועלים חששות רבים בנוגע לפוטנציאל הפגיעה של הטורבינות בתושבים המתגוררים בסמוך להן, בחיות המשק המגודלות בסביבתן, בחיות הבר ובפרט בציפורים ובעטלפים, ובמערכות האקולוגיות הייחודיות הקיימות עדיין בישראל.

מערכות אלו נמצאות כבר בסיכון עקב צפיפות האוכלוסין הרבה ותנופת הפיתוח. בנוסף ישראל היא מדינה בעלת חקלאות מפותחת מאוד התופסת שטחים נרחבים. לפיכך לחששות מפני פגיעה בריאותית וסביבתית נוספת על ידי טורבינות רוח חייב להיות מקום מרכזי בבחינת הקמתן ותפעולן של הטורבינות. בשנים האחרונות הופיעו בעולם טענות רבות אודות השפעות בריאותיות וסביבתיות חמורות-לכאורה של טורבינות רוח - במאמרים עיתונאיים שפורסמו בעיתונות הפופולרית, ברשת האינטרנט, בדוחות מקצועיים או מקצועיים למחצה, באתרים של ארגונים המתנגדים לטורבינות רוח, ואף במאמרים מדעיים שפורסמו בספרות המדעית. בעבודה זו סקרנו בקפידה את הספרות המדעית והמקצועית הרלוונטית לסוגיות הללו, וכן את הפרסומים הלא-מדעיים, כאשר אנו בוחנים את המקורות המדעיים לפרסומים אלו. עיקר העבודה התרכזה בסיכום מאמרים מדעיים שעברו שיפוט עמיתים (peer review) ושפורסמו בכתבי עת מדעיים מהימנים.

על-בסיס הידע המדעי בעולם, יחד עם היעדר תשובות מלאות וברורות לחלק מהשאלות הרלוונטיות, ניסינו להעריך את ההשפעות שעשויות להיות על בריאות התושבים ועל הסביבה עם הקמת טורבינות רוח והפעלתן בישראל. ככל שלא היה מידע שאפשר להתבסס עליו, ציינו איזה מידע חסר או כיצד ניתן יהיה להעריך את הסיכונים הרלוונטיים, בתנאים הייחודיים למדינת ישראל. בעבודה התייחסנו רק לסוגי טורבינות רוח מסחריות עליהן יש מחקרים מבוססים, ולא התייחסנו לדגמים ניסיוניים. להלן יפורטו עיקרי הממצאים בעבודה זו.

פרק 1- השפעת טורבינות רוח על הבריאות

טורבינות רוח יוצרות מפגע ויזואלי (ריצוד, מפגע נופי) וכן מפגע אקוסטי (רעש, אינפרה-סאונד) שלא ניתן להתעלם מהם. יש דיווחים רבים בספרות ה'אפורה' ובספרות המדעית-מקצועית על

בעיות בריאות הנגרמות בשל פעילותן של טורבינות רוח. הוצעו מספר מנגנונים פיזיולוגיים שבאמצעותם גורמות טורבינות רוח לבעיות בריאות. חלק מהמנגנונים מוסברים ומנומקים ברמה גבוהה יותר, חלקם עדיין זקוקים לתימוכין נוספים. מבחינה רפואית, עדיין לא מקובל להשתמש בתיאור קליני ספציפי לתסמונות או לתופעות הקשורות ספציפית להשפעתן של טורבינות רוח.

מנגנון פיזיולוגי אפשרי שתואר ממש לאחרונה (2015) מציע כי טורבינות הרוח גורמות לרעידות (ויברציות) שיוצרות מחלת ים אמיתית בקרב חלק מהתושבים המתגוררים בסמיכות לטורבינות רוח. הוויברציות בתדר הנמוך (אינפרה-סאונד) מניעות את האברונים במערכת שיווי המשקל אשר נמצאת באוזן הפנימית, ומכיוון שהקלט הוויזואלי לא חווה רעידות מקבילות, נוצרת מחלת ים. מנגנון זה עולה גם ממדידות שבוצעו בחוות רוח עלידי מומחי אקוסטיקה מטעם היזמים, ומסביר לפחות חלק מהתופעות שתוארו בספרות המדעית ובספרות ה'אפורה'. אנו משערים שבשנים הקרובות יתמקדו החוקרים בהוכחת מנגנון סביר זה, או בשלילתו, ומציעים כי גורמי התכנון ישקלו את הטווחים הרלוונטיים להפרעה זו, שעלולים להתפרש ק"מ מהטורבינות או אפילו מעבר לכך (כתלות בסוג הטורבינה ובטופוגרפיה).

השלכה בריאותית נוספת, שהוכחה ברמה גבוהה יחסית, היא אפקט ה- NOCEBO: מצב שבו האוכלוסייה שמצפה לבעיות בריאות, אכן סובלת מבעיות כאלו. רק עצם החשש הפסיכולוגי מהופעת בעיות בריאות, גורם להופעת בעיות מגוונות ורבות בתושבים המתגוררים סמוך לטורבינות רוח. במובן הזה, מאבקים ציבוריים אשר התמקדו בהשפעות שליליות של טורבינות רוח על הבריאות, מחמירים את התחלואה שנגרמת לתושבים, רק מעצם החשש מפגיעה בריאותית.

השפעה מסוימת של טורבינות רוח נצפתה גם לגבי חיות משק, עם זאת מעט מאוד מחקר בוצע בנושא. ממחקרים רבים קודמים ידוע כי עקה (stress) משפיעה על תפוקת חלב וביצים, על גודל גוף, ועל משתנים נוספים. ניתן להניח כי טורבינות רוח עשויות לגרום לעקה בחיות משק, אולם כמעט ואין תימוכין מדעי להשפעה כזו בפועל – כיוון שלא בוצעו מחקרים מתאימים.

פרק 2- השפעת טורבינות רוח על חיות בר יבשתיות

הנזקים המקושרים ביותר לטורבינות רוח הם פגיעה פיזית בבעלי כנף. טורבינות רוח ממוצעת קוטלת בממוצע בין 2-8 עופות בשנה. השונות גדולה: רוב הטורבינות קוטלות פחות מפרט אחד בשנה, אך יש כאלו הקוטלות מעל 60 עופות. בארה"ב רוב הטורבינות ממוקמות בשטחים חקלאיים שטוחים ושם התמותה הממוצעת לטורבינה היא כרבע מאשר באירופה, וכחמישית

מאשר בקנדה. בסך-הכל, על פי הערכות הנשענות על מחקרים ועל סקרי היזמים, נקטלים בצפון אמריקה ובאירופה 0.8-3.2 מיליון עופות בשנה.

עופות דורסים ועופות דואים נמצאים בסיכון גבוה יותר מטורבינות מאשר עופות אחרים. זאת בעיקר עקב סרבולם, הסתמכותם על זרמי אוויר עולים לשם תעופה, דפוסי תעופה מעגליים רחבים, התמקדותם בחיפוש טרף ופחות בנתיב תעופה, העובדה שהם מבליים יותר זמן בתעופה מאשר מיני עופות אחרים, וכן היות ועופות דורסים נמשכים לפגרים של עופות שנפגעו מהטורבינות. בעיתות הנדירה עופות דורסים ודואים פגיעים פחות לטורבינות מעופות מקומיים מכיוון שלרוב עפים בגבהים של מעל 150 מ'. אבל, כאשר עופות דואים מנמיכים או מגביהים באזורי מנוחה או חיפוש מזון הם שוב נמצאים בסכנה והופכים לפגיעים. כמו כן טורבינות ענק הגבוהות מ-150 מ' מגבירות את הסכנה לחלק מהמינים.

באופן כללי, עופות נודדים שוהים בפועל זמן קצר הרבה יותר בקרבת טורבינה הנמצאת בנתיב נדידתם לעומת עופות מקומיים (אך מצד שני עשויים לחלוף על פני מספר גדול של טורבינות). העופות המקומיים לכן לכאורה חשופים לסיכון גבוה יותר. למרות זאת, דווקא העופות הנודדים, הם אלו אשר נקטלים במספרים גבוהים הרבה יותר. זאת כנראה עקב חוסר ההיכרות שלהם עם הטורבינות, בעוד העופות המקומיים נמנעים יותר מהטורבינות. הפגיעים ביותר הם נודדים ליליים אשר מתקשים לראות את הטורבינות וכפי הנראה עפים בגובה נמוך.

הקמת טורבינות רוח עלולה לדחוק עופות מבית גידול. דחיקה זו עשויה להקטין את הקטילה הישירה בעקבות התנגשויות. אולם, דחיקה זו גורמת בפועל להרס בית הגידול, לשינוי אורח החיים ולהארכת מרחקי תעופה. כל אלו יכולים להביא להכחדה "שקטה" של מיני ציפורים מהאזור, ללא פגרים למרגלות הטורבינות.

למרות שטורבינות גדולות יותר הורגות בממוצע יותר עופות, הרי שאם מחשבים את קטלניות הטורבינות לכל מגה-וואט שעה אשר מיוצר (או מגה-וואט מותקן), טורבינות קטנות הופכות לקטלניות יותר לעומת גדולות. יחד עם זאת, טורבינות גדולות המתנשאות לגובה של למעלה מ-150 מ', עלולות להסב יותר נזק לעופות נודדים אשר עפים בגובה של 150-250 מ'.

ישנם גורמים רבים המשפיעים על הסיכון לעופות מטורבינות רוח. הפגיעה נמוכה יותר בשטחים חקלאיים שטוחים, וגבוהה יותר בשטחים מיוערים, בסמוך למקווי מים, בגבעות ובהרים. יחד עם זאת, קטלניות הטורבינות גם תלויה במזג-האוויר, מיני העופות, התנהגות העופות בבית הגידול הספציפי, דפוסי נדידה, סוג וגודל הטורבינות, ועונות השנה. **לכן יש לבצע לכל פרויקט ואזור הערכה ספציפית לסיכון מטורבינות רוח, ולא להסתמך על קווים מנחים כלליים בלבד.**

ישראל, בהיותה מוקד למגוון גדול של עטלפים ועופות ונתיב נדידת עופות מהגדולים בעולם, מהווה נקודה גאוגרפית מיוחדת הדורשת בחינה מעמיקה של הסיכונים לחיות הבר. על פי ממוצע הקטילה המדווח בעולם, הערכה גסה היא כי הקמה של 1000 טורבינות בישראל, תגרום לקטילה של כ- 8000-2000 עופות בשנה. עם זאת, בישראל נודדים בכל עונת נדידה כ-500 מיליון עופות דרך צוואר בקבוק ברוחב של 60-150 ק"מ בלבד- מספר גדול הרבה יותר ממספרי העופות הנודדים ברוב המוחץ של אתרי הטורבינות בעולם אשר נחקרו. לכן צפוי כי בארץ יקטלו יותר עופות נודדים מאשר בכל האתרים הללו- אלא אם כן ינקטו אמצעים להפחתת הפגיעה.

אוכלוסיות יציבות של בעלי כנף אינן נמצאות בסכנה מכיוון שלמרות המספרים הגדולים לעיל אלו עדיין אחוזים בודדים מהאוכלוסייה בשנה. עם זאת, פגיעה של טורבינות רוח באוכלוסיות של עופות בסיכון עלולה להיות "הקש ששבר את גב הגמל" ולהביא בפועל להכחדת אותן אוכלוסיות. דוגמה לכך היא אוכלוסיית הנשר המקראי המקומית - עוף דורס ודואה, אשר גם כך נפגע קשות בעשור האחרון ומספרה צנח ב- 90% בצפון הארץ לכ-20 פרטים בלבד. נשרים הם דורסים רגישים במיוחד, לקטילה מטורבינות רוח, בעיקר בעונת הקינון. בספרד נקטלים אלפים מהם כל שנה בעונה זו. בעמק הבכא ברמת-הגולן, ברמת סירין ובגלבע-אתרים בהם מוקמות או מתוכננות לקום טורבינות- 30-50% ממספר הפרטים (ממינים שונים) עפים בגובה ובקרבה לאתרי הטורבינות המסכנים אותם. אחוזים אלו מייצגים עשרות עד מאות אלפי עופות בשנה החשופים לסכנה. ייחודיות ישראל ואי הוודאות הגדולה מחייבים ביצוע מחקרים מקיפים על ההשפעות הצפויות בארץ.

גם העטלפים פגיעים לקטילה על-ידי טורבינות רוח. הערכות מדברות על כ-900 אלף עטלפים אשר נקטלים בארה"ב מידי שנה- כמעט פי 2 מאשר עופות. באירופה נמצא כי יש מינים החשופים יותר לקטילה על ידי טורבינות. המספרים הגבוהים ממינים ספציפיים, יחד עם יכולת הרבייה הנמוכה של העטלפים, מעלים את רמת הסיכון למינים אלו ואת ההשפעה הרחבה על אוכלוסייתם. בדומה למצב בעופות, השונות בקטילת עטלפים על-ידי טורבינות שונות גבוהה. באזורים שטוחים וחקלאיים, כל טורבינה קוטלת בממוצע 3 עטלפים בשנה, לעומת עד 40 פרטים באזורים מיוערים והרריים, בסמוך לתכסית ולתשתיות קוויות לאורכן מנווטים וצדים העטלפים. "עקב אכילס" של עטלפי חרקים בהקשר של טורבינות הוא כי חרקים נוטים להמשך אל התאורה ואל החום של הטורבינות, עובדה המושכת אליהם את העטלפים ומעלה את פגיעותם. בסיכום עולמי, ניתן להעריך תמותה של 1.6-6.4 מיליון עטלפים בשנה.

היות ועטלפים פעילים בעיקר בלילות בהם הרוח נמוכה מ-6 מ' לשנייה, והיות ובמהירות רוח כאלו הטורבינות מייצרות יחסית מעט חשמל- קביעת ערכי סף לסיבוב להבים בלילה לרוח מעל 6 מ' לשנייה, עשויה לצמצם 80% מתמותת העטלפים. בנוסף, נרשמה עונתיות רבה בתמותת

העטלפים. 90% מתמותת העטלפים באירופה ובארה"ב נרשמה עם נדידת הסתיו, שאז יש עליה משמעותית בפעילות העטלפים.

בישראל רוב מיני העטלפים נמצאים בסכנת הכחדה, כולל ארבעה מינים אשר נמצאו כרגישים ביותר לפגיעת טורבינות בשבדיה. על פי ממוצע הקטילה המדווח בעולם, הערכה גסה היא כי הקמה של 1000 טורבינות בישראל, תגרום לקטילה של כ- 4,000-16,000 עטלפים בשנה. בעלי-חיים מסוימים שאינם מעופפים עלולים לסבול מעקה מסוימת בקרבת טורבינות רוח, בשל רעש או ויברציות - אך הסיכון לפגיעה חמורה בהם נמוך הרבה יותר.

פרק 3- השפעת תשתיות נלוות של טורבינות הרוח על הסביבה

מסקירות הספרות המדעית והמקצועית עולה כי הנזק הסביבתי הגדול ביותר של טורבינות רוח מקורו בתשתיות הנלוות להקמת הטורבינות. נזק זה מתווסף ועולה על קטילת בעלי כנף. נזקים הנגרמים מתשתיות אלו לא מיוחדים לטורבינות רוח, אלא משותפים לפרויקטים אנושיים רבים. לטורבינות רוח אין תשתיות צפופות כמו באזורים בנויים, והן תופסות בפועל עד 10% משטח חוות הטורבינות. אבל היות וטורבינות מוקמות בשטחים פתוחים, הקיטוע והגברת פעילות אנושית בשטחים אלו דוחקים בפועל מיני בעלי-חיים בינוניים וגדולים מהאזור ועלולים לגרום לנזק משמעותי למערכות האקולוגיות.

התשתיות הנלוות לטורבינות הרוח כוללות דרכים רבות, היות ואל כל טורבינה חייבת להוליך דרך שירות מסודרת ורחבה. לדרכים, בעיקר בשטחי בר בתוליים, השפעה ניכרת על הסביבה: מהרס פיזי של הסביבה הטבעית לסביבה בנויה, דרך סכנות דריסה, קיטוע בית הגידול על-ידי יצירת אזורי חיץ שמונעים תנועה חופשית של בעלי-חיים בשטח, הפצה של מינים פולשים ומתפרצים, ועד הגברת נוכחות אנושית בשטחים פתוחים.

הקמת טורבינות רוח מחייבת הקמת קווי הולכת חשמל ושנאים לטובת אספקת החשמל לרשת החשמל. קווי הולכת חשמל גורמים להתנגשויות ולהתחשמלויות בעיקר של בעלי כנף, לעיתים אף יותר מאשר טורבינות רוח. תשתיות דרכים וקווי הולכת חשמל עלולים להוות בעיה משמעותית בעיקר כאשר טורבינות הרוח מוקמות באזורים המרוחקים מריכוזי אוכלוסין, מכיוון שבמקרה כזה יש לפרוץ דרכים ולבנות קווי הולכת חשמל ארוכים במיוחד בשטחים פתוחים. כיום לא מתוכננות גדרות סביב חוות הרוח, אולם בעתיד עשוי הדבר להשתנות. הגידור העתידי עלול ליצור קיטוע נוסף של בתי הגידול ונזק פוטנציאלי ניכר – בעיקר באזורים שכבר נפגעו מפיתוח תשתיות אחרות. בנוסף, התאורה סביב הטורבינות ומתקני התשתית תגרום לזיהום אור שיכול להיות משמעותי, בעיקר בשטחי בר בתוליים.

בתקופות הבנייה והפירוק צפויה הפגיעה הגדולה ביותר בבעלי-חיים, בשל פעילות אנושית מוגברת בתקופות אלו. השפעה זו צפויה להימשך לפחות שנה לאחר סיום העבודות. ההשפעה על בעלי-חיים בינוניים וגדולים בזמן התפעול השוטף של הטורבינות צפויה להיות קטנה יותר, אולם אם הקמת טורבינות הרוח תמשוך למקום פעילות אנושית מוגברת, בשל פתיחת דרכים חדשות, ההשפעה תהיה חמורה יותר.

לסיכום, ישנם שני תרחישים שעלולים לפגוע בסביבה הנובעים מהתשתיות הנלוות לטורבינות הרוח. האחד הוא הקמת טורבינות רוח בשטחי בר בתוליים, והשני הקמתן בשטחים חקלאיים רווי תשתיות. בשטחי בר, הנוכחות האנושית המוגברת בשטח עלולה להביא להדרת אוכלוסיות בעלי-חיים בינוניים וגדולים אשר אינם מורגלים בקרבה לתשתיות ולפעילות אנושית. למרות ש-90% ויותר משטח חוות הטורבינות נותר פתוח ולא מופר, בפועל, משמעותה של הדרה זו היא הכחדה של מינים מסוימים מאותו אזור, ופגיעה שאינה בת-תיקון במערכת האקולוגית כולה. מצב זה רלוונטי בעיקר לדרום הארץ (וגם במידה מסוימת בגולן) בו נותרו עוד שטחי בר נרחבים יחסית.

בשטחים חקלאיים או בסמוך לשובים, אשר רוויים בתשתיות, בעלי החיים מורגלים במידה מסוימת לחיים בצל תשתיות ופעילות אנושית. עם זאת, עומס נוסף של תשתיות יכול לגרום למצב בו הקיטוע של בתי הגידול והמסדרונות שביניהם יביא לקריסת אוכלוסיות בעלי החיים והמערכת האקולוגית השברירית. מצב זה רלוונטי בעיקר לאזור צפון הארץ ולמרכזה, בהם רוב השטח כבר אינו פתוח ובתולי.

1 - השפעת טורבינות רוח על הבריאות



תרשים 1: חוות הטורבינות החדשה במעלה גלבוע קרובה ליישובים
הטורבינות במרחק של כ-500 מ' בלבד מבתי התושבים במעלה גלבוע, ועשרות מטרים בודדים ממקומות עבודה.
צילום: דניאל מדר, 2016.

1.1 מבוא

פרק זה יעסוק בהשפעת טורבינות רוח על בריאותם של בני אדם ושל חיות משק. טורבינות רוח הן כלי חשוב במעבר מאנרגיות מזהמות לאנרגיות מתחדשות ובהפחתת פליטות גזי חממה. אל מול התועלות הבריאותיות המובהקות הללו, מועלים חששות רבים בנוגע לפוטנציאל הפגיעה של הטורבינות בתושבים המתגוררים בסמוך להן, ובחיות המשק הגדלות בסביבתן. בשנים האחרונות הופיעו טענות רבות אודות השפעות בריאותיות חמורות-לכאורה של טורבינות רוח- במאמרים עיתונאיים שפורסמו בעיתונות הפופולרית, ברשת האינטרנט, בדוחות מקצועיים או מקצועיים למחצה, באתרים של ארגונים המתנגדים לטורבינות רוח, ואף במאמרים מדעיים-למחצה שפורסמו בספרות המדעית¹. בפרק זה בחנו גם את הפרסומים הלא-מדעיים הללו, וסקרנו את הממצאים העיקריים בהם – גם אם לא מצאנו תימוכין בספרות המדעית המקצועית. התאמצנו מאוד למצוא את המקורות המדעיים לפרסומים אלו, אך בעיקר התרכזנו בסיכום מאמרים מדעיים שעברו שיפוט עמיתים (peer review) ושפורסמו בכתבי עת מדעיים מהימנים.

להלן יפורטו ההשפעות הבריאותיות שיוחסו לטורבינות רוח על בריאות התושבים המתגוררים בסמוך, ועל חיות המשק (בתת-הפרק 1.8). עבור כל השפעה אפשרית, תיארנו את המנגנונים שהוצעו ובחנו את הסיכונים הרלוונטיים למדינת ישראל.

1.2 ריצוד

תופעת הריצוד נגרמת כאשר צל של אור השמש נוצר בעת סיבוב להבי הטורבינה. עוצמת הריצוד ומשכו מושפעים מגורמים רבים, בהם: טופוגרפיה, מרחק, מיקום הטורבינה, מיקום השמש, אורך הלהבים (גודל הטורבינה) ועוד. הבעיה חמורה יחסית בארצות צפוניות (ובפוטנציאל, גם בארצות דרומיות), בשל העובדה שבקיץ השמש נמצאת נמוך בשמים במשך שעות ארוכות יותר. אולם כתלות בגורמים שפורטו לעיל, הסכנה קיימת לזמנים קצרים יותר בכל האזורים בעולם. קצב סיבוב להבי הטורבינה קובע את תדירות הריצוד². אובייקטים על פני השטח ודפוסי מזג אוויר כגון עננים גם הם משפיעים על עוצמת הריצוד ועל משכו. ריבוי טורבינות באותו אזור (חוות רוח) מגביר את אפקט הריצוד ומחמיר אותו בשל ריצוד משולב של כמה להבים שאינם מאותה טורבינה².

1.2.1 התקפים אפילפטיים

לתדירויות גבוהות של ריצוד יש פוטנציאל לגרום להתקפים אפילפטיים. בעבר תועדו התקפים אפילפטיים בקרב חולי אפילפסיה כתוצאה מריצוד להבי מסוקים. לא תועדו עדיין מקרי אפילפסיה כתוצאה מלהבי טורבינות רוח, אולם בסימולציות שחושבו עבור חולי אפילפסיה הרגישים להבזקי אור וצל³ נמצא כי הסיכון לריצוד שיגרום להתקף אפילפטי יורד משמעותי רק במרחק שגדול פי 100 לפחות מגובה הטורבינה - כלומר במרחק של קילומטרים - אולם גם במרחק כזה הסיכון לא מתבטל לחלוטין. קצב סיבוב של מעל 60 סיבובים לדקה (לטורבינה של 3 להבים), היוצר תדירות ריצוד של 3 הרץ, הוא הקצב המקסימלי שנחשב בטוח ואינו גורם להופעת התקפים אפילפטיים³. רוב הטורבינות הקיימות כיום אינן יוצרות קצבי ריצוד גבוהים כל כך, אולם עם התקדמות הפיתוחים הטכנולוגיים, יתכן שבעיית הריצוד תחמיר. תכנון נכון של מאפייני הטורבינה יכול להפחית מאוד את החשש מריצוד שיגרום לתופעות בריאותיות חמורות כל כך. תכנון נכון של חוות רוח (בהן מספר טורבינות רוח סמוכות) יכול למנוע מצב בו צל של להבי טורבינה אחת הנופלים על להבי טורבינה שכנה יוכל להיראות על-ידי הציבור המתגורר בקרבת החווה. בנוסף, יש להקפיד על צביעת הלהבים בצבע מט ולא מבריק³. מחקר מאוחר יותר⁴ בדק פרמטרים נוספים שעשויים להשפיע על הסיכון להתקפים אפילפטיים כתוצאה מחשיפה לריצוד שנגרם מטורבינות רוח, ובעיקר פרמטרים מטאורולוגיים המשפיעים על ההנחתה של אור השמש באטמוספירה. מודל מורחב זה מצא כי הסיכון להתקפים אפילפטיים כתוצאה מריצוד שנגרם מלהבי טורבינות רוח גדולות הוא דווקא קטן יחסית, אולם טורבינות קטנות המסתובבות במהירות עלולות בתנאים מסוימים ליצור ריצוד שיגרום להתקפים אפילפטיים אצל החולים במחלה. מודל זה חוזה כי במרחק הגדול לפחות פי 9 משיא גובה להבי הטורבינה מהקרקע, הסיכון להתקפים יורד לרמה זניחה. הסיכון הכללי להתקפים אפילפטיים מריצוד טורבינות רוח הוא נמוך מאוד: כ-0.5% מהאוכלוסייה עלולים ללקות בהתקף אפילפסיה בכל זמן נתון, ומתוכם, כ-5% רגישים לאפקטים חזקים של אור, ומתוכם רק 4% רגישים לתחום התדרים של להבי טורבינות רוח; כשמוסיפים לכך את הקונפיגורציה הגאומטרית הנדירה שנדרשת לקבלת ריצוד חזק, הוערך שהסיכון ללקות בהתקף אפילפטי כתוצאה מריצוד צללים הוא פחות מ-1 ל-10 מיליון⁴.

1.2.2 הפרעות הריצוד לאוכלוסייה שאינה סובלת מאפילפסיה

גם לאחר ההקפדה על כל הכללים המפורטים לעיל, הריצוד הקיים מכל טורבינה עלול לגרום לחלק מהאוכלוסייה (ולא רק לחולי אפילפסיה) מטרד ויזואלי, טשטוש מסוים ועקה (stress).

טרם הוברר הקשר בין אופי הריצוד, תדירותו ומשכו, לבין תוצאי הבריאות השליליים הנגרמים לחלק זה של האוכלוסייה. סקירה בריטית של המחקרים המדעיים שבוצעו בנושא ריצוד טורבינות רוח⁵ מתארת מחקר שפורסם רק בגרמנית ולא תורגם לאנגלית. מחקר זה בוצע בהשתתפות גברים ונשים במעבדה, תוך דימוי ריצוד הטורבינות. בבדיקות שנערכו למשתתפים בניסוי עם סיומו עלה כי לא נגרם להם נזק בריאותי כלשהו, אולם הריצוד גרם לעייפות עודפת, ועייפות זו יכולה להשפיע באופן מצטבר על בריאותם הפיזית והנפשית של בני אדם.

מרבית המומחים מסכימים, כי ריצוד הלהבים אינו סכנה בריאותית של ממש, אלא בעיקר מטרד לאנשים המתגוררים בקרבת הטורבינה. המטרד הופך משמעותי יותר עבור אנשים השוהים בחללים סגורים וחשוכים יחסית, כשהריצוד עובר על פני החלון שמספק את רוב האור בחדר. ריצוד כזה יכול לפגום בריכוז, ובאופן כללי מהווה מטרד קבוע העשוי לגרום לעקה ולדיכאון².

המלצות רגולטוריות רבות כוללות הפסקה של פעולת הטורבינות עם תחילת הריצוד. כאמור, בשל הטופוגרפיה ומיקום השמש בשמיים הריצוד אינו אורך זמן רב, ואינו קורה בכל ימות השנה. מספר מדינות בעולם אימצו את ההמלצה הגרמנית, שמגבילה את הריצוד למקסימום 30 שעות בשנה, ולא יותר מ-30 דקות בכל יום². בטורבינות רוח בגרמניה חושב⁶ כי הריצוד עלול להגיע למקסימום של 100 דקות במצטבר לאורך כל השנה, ולרוב לא יותר מ-20 דקות בשנה במיקום הסמוך במידה כלשהי לחוות רוח. מדינת ישראל אינה צפונית כמו חלק ממדינות אירופה שנסקרו לעיל, ולפיכך בעיית הריצוד צפויה להיות מתונה יחסית.

1.3 רעש

טורבינות רוח מייצרות תנודות בתדרים שונים - ההופכות לרעש וגם לוויברציות; כל רעש בינוני עד חזק מייצר גם וויברציות. אותו מקור תנודה ייקלט למעשה על ידי שלוש מערכות חוש שונות: הרעש האקוסטי נקלט על ידי מערכת השמיעה (השבלול שבאוזן הפנימית), בעוד שהוויברציות נקלטות על-ידי מערכת המישוש (המערכת הסומטו-סנסורית), וגם על-ידי איברי שיווי המשקל באוזן (המערכת הווסטיבולרית). נהוג לחלק רעשים אקוסטיים לכאלו הנמצאים בתחום השמיעה של בני אדם (בין 20 ל-20,000 הרץ, לערך) וכאלה הנמצאים מחוץ לתחום השמיעה - בין אם מעל 20,000 הרץ (אולטרה-סאונד) או מתחת ל-20 הרץ (אינפרה-סאונד). תדרי האינפרה-סאונד בהגדרה אינם ניתנים לשמיעה על ידי בני אדם - אך "רעש" זה מלווה בוויברציות בתדר זהה, שלהן עשויות בהחלט להיות השפעות פיזיולוגיות. תת-פרק זה יסקור בעיקר את ההשפעות של רעש אקוסטי בתחום השמע האנושי (20 עד 20,000 הרץ),

ותת-הפרק הבא, 1.4, יסקור את התופעות שגורמות הוויברציות שאינן בטווח השמיעה (מתחת ל- 20 הרץ).

1.3.1 בעיות בריאות מרעש של טורבינות רוח

טורבינות רוח ממוקמות לרוב באזורים שקטים, הרחק ממרכזי ערים ומקומות רועשים. שני מקורות רעש יש בטורבינה: רעש מכאני מהגנרטור, ורעש אוויר-דינמי שיוצרת זרימת האוויר בסמוך ללהבים⁷. הסוג השני הוא הרעש שיוצר את רוב בעיות הבריאות. במצבים בהם הרוח משנה את מהירותה ואת כיוונה באופן תכוף, הרעש הזה מחמיר: שינויי אמפליטודה ושינויי תדר גורמים למטרד משמעותי יותר ולהשפעות שליליות יותר על הבריאות. מחקרים שבדקו את תחום תדרי הרעש שמייצרות הטורבינות ואת עוצמת הרעש, מצאו שהרעש המשמעותי ביותר הוא האינפרה-סאונד (infrasound) - תדרים מתחת ל- 20 הרץ, מתחת לסף השמיעה של האוזן האנושית). עוצמת הרעש של אינפרה-סאונד מטורבינות רוח עולה עם מהירות הרוח. מדידות שנעשו מטורבינות רוח של סימנס ו- GE בקנדה מצאו שבצמוד לטורבינות, עוצמות רעש האינפרה-סאונד הגיעו לעוצמות גבוהות מאוד של 105 dB SPL ⁸. עוצמת הרעש יורדת במרחק של 500 מטרים מהטורבינה, ומגיעה ל- 40 או 50 dB SPL - רמה העומדת בתקני הרעש של רוב המדינות. עם זאת, עם חלוף השנים טורבינות הרוח ברחבי העולם נבנות בגובה רב יותר, והן גדולות יותר - כדי לנצל את הרוחות החזקות הנושבות בגובה רב מעל לפני הקרקע - ובהתאמה הטורבינות מפיקות אינפרה-סאונד חזק יותר; ובנוסף, אינפרה-סאונד מונחת באטמוספירה פחות מתדרים גבוהים יותר⁹; כך שהרעש מגיע בעוצמה חזקה יותר ולאזורים רחוקים יותר. לפיכך ניתן להניח כי בעיית האינפרה-סאונד צפויה להחמיר בעתיד, עם פיתוחן של טורבינות ענק חדשות.

אמנם בני אדם לא יכולים לשמוע אינפרה-סאונד, אולם לעוצמות גבוהות של אינפרה-סאונד יכולות להיות השפעות בריאותיות מזיקות על מערכת השמיעה⁷. משערים כי האינפרה-סאונד משפיע על האוזן באמצעות תאי השערה החיצוניים של השבלול שבאוזן הפנימית, ולא על ידי תאי השערה הפנימיים של השבלול שאחראים על מנגנון השמיעה, אשר אינם רגישים לאינפרה-סאונד (ראו פירוט בהמשך). מדידות פיזיולוגיות במערכת השמיעה של נבדקים אנושיים מצאו שאינפרה-סאונד יכול להשפיע על עיבוד צלילים תקין - כלומר למרות שהאנשים לא שמעו את צלילי האינפרה-סאונד עצמם, קיומו השפיע על איך שהם שמעו צלילים רגילים בתדר גבוה¹⁰. עם זאת, המנגנון הפיזיולוגי להשפעות הבריאותיות של אינפרה-סאונד טרם הובהר די צרכו¹¹ (ראו מנגנון פיזיולוגי חדש מוצע בתת-הפרק 1.4.2).

מחקרים רבים בדקו את ההפרעות שגורם רעש בתדרים נמוכים (20-200 הרץ) לתושבים המתגוררים בסמוך לטורבינות הרוח. מחקר עדכני (2014) ואיכותי סקר את כל המחקרים הללו¹² וקבע כי אכן תושבים רבים מתלוננים על הפרעת רעש בקרבת טורבינות רוח. יתכן שהדבר נובע גם מכך שטורבינות רוח נבנות במקומות שהיו שקטים מאוד עד לבנייתן ולהפעלתן, והתושבים בהם היו רגילים לסביבה שקטה במיוחד. מעבר לכך, כל שינוי בסביבה מעין זו יגרום לרוב לאי-נוחות לתושבים, עוד לפני מטרד הרעש¹³. בעקבות התלונות בכל רחבי העולם על רעשי טורבינות רוח, יצרני הטורבינות התחילו להכניס בטורבינות הרוח המודרניות מספר שינויים הנדסיים שמיועדים להקטין את הרעש^{14 15}.

סיכום מחקרים על מטרדי רעש מטורבינות רוח הראה שיש קשר בין רמת הרעש לבין רמת המטרד שנגרם לתושבים¹². המחקרים העיקריים כללו מאות נסקרים בכל אחד, ונערכו בשבדיה, הולנד, פולין ויפן. כל המחקרים נערכו בסמיכות מסויימת (blind study) – בשיטה זו הנסקרים "עיוורים" ואינם יודעים לאיזו קבוצת מחקר הם משתייכים (ניסוי או ביקורת) או מהי שאלת המחקר הנבדקת בניסוי. מחקרים כאלו נחשבים אמינים יחסית מבחינה מדעית כיוון שההטיה הטבעית של הנסקרים לענות תשובות "בנושא המחקר" או שלדעתם "יספקו את החוקרים" אינה קיימת כמעט לחלוטין. הנסקרים התבקשו לענות על שאלון מקיף בנוגע לסוגי רעש שונים ומגוונים ולא התייחסו רק לרעש טורבינות הרוח באופן ספציפי. כל המחקרים הללו הצטיינו בכך שסקרו אנשים שהתגוררו הן בסמיכות לטורבינות הרוח ("קבוצות הניסוי") והן במרחק מספק מהן, בו הרעש כבר אינו מורגש ("קבוצות הביקורת"). רעש טורבינות רוח נמצא כמטריד ביותר בקבוצה של הנבדקים שגרה בקרבת טורבינות; מטרד הרעש העיקרי שגרמו הטורבינות היה הפרעות שינה כרוניות¹⁶. לעומת זאת, בקרב הקבוצה שאינה חשופה לרעש טורבינות רוח, נמצא שרעש של תנועת כלי רכב הוא הרעש המטריד ביותר.

טבלה 1: פירוט המחקרים על מטרדי רעש מטורבינות רוח
בעמודה הימנית ביותר – הגורמים המשפיעים על רמת המטרד שגורמות טורבינות הרוח. מתוך ¹²:

Studies	N	Dose- response-relationship	Effects	Other factors influencing annoyance
Aslund et al. 2013 [67]. Based on calculations from Pedersen et al. 2009 and Bakker et al. 2012 and Jansen et al. 2011 [33, 36, 40].	8123 theoretically exposed subjects. 522 are participating receptors.	Yes (Dose-response relationship derived from other studies).	Highly exposed subjects close to wind turbines calculated to be more frequently annoyed and very annoyed.	Participating residents in wind farm projects (↑)Annoyance outdoor calculated to be higher than annoyance indoor.
Shepherd et al. 2011 [42].	39 subjects. 158 controls.	Not related to sound – related to distance.	Annoyance not directly compared between subjects and controls.	Annoyance decreased perceived general health as well as physical, social and environmental quality of life scores for the control group only. Subjects reported, however, lower environmental quality of life scores compared to controls.
Kuwano et al. 2013 [43].	747 subjects. 332 controls.	Not related to sound.	Proportion of annoyed subjects higher in wind turbine exposed subjects	All kinds of noise sources increased annoyance in both groups. Subjects in the wind turbine group found wind turbines as the most annoying sound source.
Yano et al. 2013 [44].	747 subjects.	Yes	Highly exposed subjects more annoyed compared to less exposed subjects.	No difference in dose-response curves between cold and warm areas. Living near the sea (↓). (Waves may mask wind turbine sounds). Noise sensitivity (↑)Landscape disturbing (↑)Environmental interest (↑)
Morris 2012 [50, 51].	93 households.	Not related to sound.	56% of households are annoyed during night time within 0–5 km. from the wind turbines compared to 40% of households living within 0–10 km from wind turbines.	No influencing factors were investigated.
Schafer 2013 [54].	23 households.	Not related to sound.	66% of subjects affected by noise at night.	No influencing factors were investigated.
Schneider 2012 [55, 56].	23 households, 25 household in follow-up.	Not related to sound.	85.7%/ (87.7% in follow-up study) were disturbed from day time noise. 100% from night time noise in follow-up.	No influencing factors were investigated.
Thorne 2012 [52].	25	Not related to sound, but sound levels measured.	91% were annoyed indoor.	No influencing factors except living near wind turbines were investigated.

1.3.2 גורמים המשפיעים על תפישת הרעש

במחקרים רבים נבחנו הגורמים המחמירים את הנזק הבריאותי שנגרם כתוצאה מרעש טורבינות רוח וכן הגורמים המקלים את התופעות הבריאותיות כתוצאה מרעש זה.¹² גיל, מגדר, רגישות כללית לרעשים וגם ההפרעה הוויזואלית של טורבינות הרוח (עצם קיומן בשדה הראייה של התושבים מבתיים) נמצאו קשורים לעלייה בתופעות בריאותיות שליליות כתוצאה מהרעש.¹⁷ להבדיל, רווח כלכלי מהטורבינות נמצא קשור לירידה יחסית בתופעות אלו.¹² מספר מחקרים העריכו כי חשיפה לרעש טורבינות רוח בעוצמה של מעל 40dB תפריע ל- 10-45% מהאוכלוסייה, ואילו חשיפה לרעש בעוצמה של עד 35dB תפריע ל-10% מהאוכלוסייה לכל היותר.^{18,19} מחקרים רבים מדדו את רמת הרעש ואת ההפרעה לאוכלוסייה במקומות שונים בעולם, ונראה כי טווח ההפרעה האקוסטית לציבור הרחב במרחקים של עד קילומטר אחד נע בין אחוזים בודדים ל-20% מהתושבים באזור.¹² יש לציין שההפרעה האקוסטית מחריפה בשעות הלילה, שבהם התנאים האטמוספריים יציבים יותר, וגם רעשי הרקע האחרים נעשים קטנים יותר.²⁰

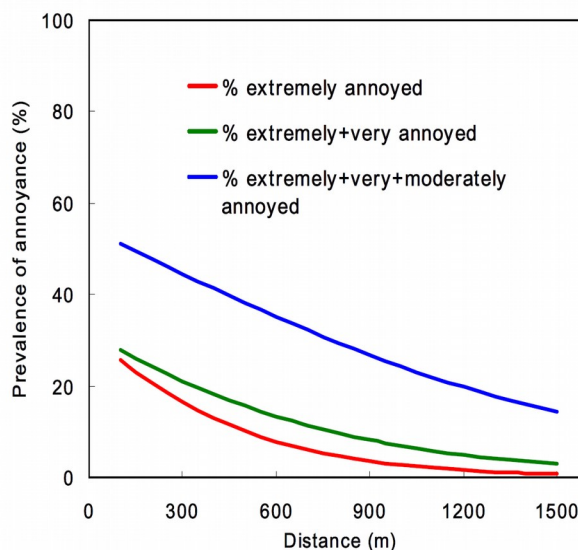
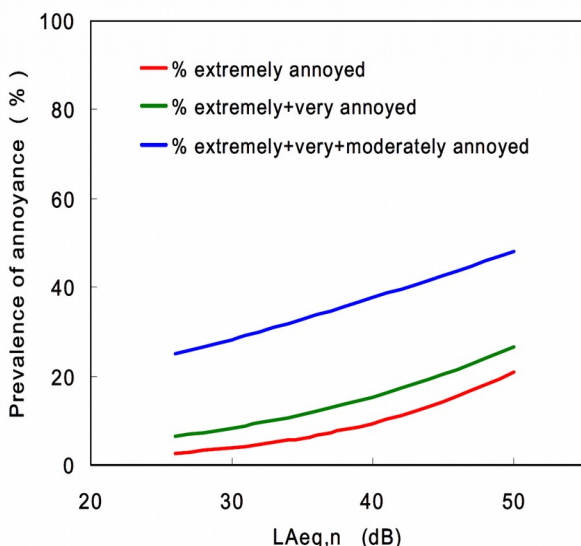
כאמור למעלה, נסקרו כאן מחקרים שפורסמו בכתבי עת מדעיים רציניים ועברו שיפוט-עמיתים. בספרות ה"אפורה" ובקטעי עיתונות יש דיווחים של רופאי משפחה כפריים ושל חוקרים מקומיים המדווחים על טווח הפרעה אקוסטית גדול בהרבה – עד ל- 50% מהתושבים בטווח של 5 קילומטרים מהטורבינות.²¹

1.3.3 רעש והפרעות שינה

בטבלה 2 מפורטים המחקרים שבדקו הפרעות שינה שנגרמות מרעש טורבינות רוח.¹² במחקרים אפידמיולוגיים משבדיה²², הולנד²³ ופולין²⁴ אכן נמצא קשר ישיר מובהק בין רמת החשיפה לרעש (עוצמת הרעש) לבין עוצמת ומשך הפרעות השינה.¹² מחקרים שנערכו בארה"ב²⁵, יפן²⁶ וניו זילנד²⁷ מצאו שכיחות גדולה יותר של הפרעות שינה בקרב אנשים המתגוררים בסמוך לטורבינות רוח בהשוואה לקבוצות ביקורת החיות הרחק מהטורבינות²⁷ (ראו תרשים 2, לדוגמה). בחלק מהמחקרים המפורטים בטבלה 2 להלן, נמצאו הפרעות שינה משמעותיות גם בקרב תושבים שגרו במרחקים של בין 2 ל- 10 ק"מ מהטורבינות.

טבלה 2: פירוט המחקרים על הפרעות שינה הנגרמות על ידי טורבינות רוח מתוך¹².

Study	N	Dose- response-relationship	Effects	Other factors influencing sleep
Nissenbaum et. al. 2012 [37].	38 subjects near wind turbines.41 controls far from wind turbines.	Not related to sound but sleep scores related to distance.	Subjects near wind turbines had worse sleep (Pittsburg Sleep Quality Index and Epworth Sleepiness Scale score) compared to subjects far from wind turbines.	
Bakker et al. 2012 [36].	725	Yes	Highly exposed subjects reported more frequent sleep disturbances.	Sleep disturbance higher in urban areas where subjects were disturbed by traffic noises, people leaving the disco, animals.
Pedersen et al. 2011 [35].	1755	Yes/No	Highly exposed subjects reported more disturbed sleep in 2 out of 3 studies.	Pedersen et al. 2004 and 2009 did report an association between sound exposures and sleep disturbance. Pedersen et al. 2007 did not find an association.
Pawlaczyk-Luszczynska et al. 2014 [46].	156	Yes	Highly exposed subjects suffered significantly more of insomnia ($p<0.05$).	Negative self-assessment of physical health (↑) Wind turbines were found to be the most annoying sound source.
Kuwano et al. 2013 [43].	747 subjects.332 controls.	Not related to sound – related to distance.	Proportion of subjects with affected sleep was slightly higher in wind turbine exposed subjects.	All kinds of noise sources increased sleep disturbance in both groups. Subjects in the wind turbine group found wind turbines as the most disturbing sound source.
Shepherd et al. 2011 [42].	39 subjects.158 controls.	Not related to sound – related to distance.	Perceived sleep quality poorer in subjects (wind turbine exposed) compared to controls (not exposed).	Worse sleep with increased noise sensitivity in wind turbine exposed. General health, physical and psychosocial health increased with better perceived sleep quality.
Krogh et al. 2011 [49].	102 subjects with health problems.	Not related to sound.	Sleep disturbance more frequently reported, but not significantly ($p=0.08$) different in subjects living close to wind turbines compared to subjects living further away.	Excessive tiredness was reported significantly increased ($p=0.03$) in subjects living within 350–673 meters from wind turbines compared to subjects living between 700–2400 meters from wind turbines.
Lane 2013 [57].	11 exposed.10 unexposed.	Increased awakenings were related to sound levels above 45 dB(A).	Slightly but not significantly worse sleep parameters in the exposed group measured with actigraph.	Reasons of awakening were not related to wind turbine noise. Use of the bath-room by a child or partner were the most commonly reported sources of awakening. No correlation between distance to wind turbines and sleep efficiency were found. Overall uneven correlation between subjective and objective sleep parameters.
Paller 2014 [45].	396	Not related to sound but sleep scores related to distance.	Subjects near wind turbines had worse sleep (Pittsburg Sleep Quality Index) ($p<0.01$) compared to subjects far from wind turbines.	Analyses were controlled for age, gender and county.
Harry 2007 [66].	42	Not related to sound.	More than 70% of cases reported impaired sleep.	No control group. Cases are just reported to live near wind turbines.
Iser 2004 [65].	19	Not related to sound.	8/19=42% reported disturbed sleep.	No control group. Cases were just living near wind turbines.
Morris 2012 [50, 51].	93	Not related to sound.	39% of households had disturbed sleep within 0–5 km. from the wind turbines compared to 29% of households living within 0–10 km from wind turbines.	No influencing factors were investigated.
Wind Concerns Ontario [64].	112	Not related to sound.	48% reported sleep disturbance.	No influencing factors except living near wind turbines were investigated.
Schafer 2013 [54].	23 households.	Not related to sound.	51% of subjects affected by sleep disturbance.	No influencing factors except living near wind turbines were investigated.
Schneider 2012 [55, 56].	23 households. 25 households in follow-up.	Not related to sound.	78.5% had disturbed sleep. 100% had disturbed sleep in follow-up study.	No influencing factors except living near wind turbines were investigated.
Thorne 2012 [52].	25	Not related to sound, but sound levels measured.	92% noted a change in sleep patterns.	No influencing factors except living near wind turbines were investigated.
Pierpont 2009 [1].	38 subjects from 10 families.	Not related to sound.	86% reported disturbed sleep.	No influencing factors except living near wind turbines were investigated.
Phipps [53].	614 households.	Related to distance.	Disturbed sleep was reported by 42, frequently disturbed sleep by 21 and 5 were affected most of the time.	No influencing factors except living near wind turbines were investigated.



תרשים 2: עוצמת ההשפעה של רעש הטורבינות כתלות בעוצמת ובמרחק הרעש
 עוצמת ההשפעה השלילית של רעש הטורבינות במחקר שבוצע ביפן, כתלות במרחק (גרף ימני) ובעוצמת הרעש (גרף שמאלי). ככל שהמרחק מהתושבים לטורבינות קטן, גדל אחוז התושבים שסובלים מהרעש, וככל שעוצמת הרעש גדלה, גדל אחוז הסובלים ממנו. מתוך ²⁶.

1.3.4 "סינדרום טורבינות רוח"

בספרות ה'אפורה' ובעיתונות, יש הסבורים, בעקבות השערות, הנחות עבודה ומעט מחקרים שכן נערכו, כי קיים "סינדרום טורבינות רוח": אוסף סימפטומים גופניים ונפשיים שלדעת אותם חוקרים מושפעים ישירות מקרבה לטורבינות. לפי ד"ר פיירפונט (Pierpont), הסימפטומים כוללים ²:

- בעיות שינה: רעש או תחושות פיזיות של פעימות דופק מוגברות או לחץ המקשות להירדם וגורמות לאנשים להתעורר בתדירות גבוהה.
- כאבי ראש.
- סחרחורות, בחילה וחוסר יציבות.
- תשישות, כעס, חרדה ודיכאון.
- בעיות בריכוז ולמידה.
- טינטון: שמיעת רעש מונוטוני חוזר ללא מקור חיצוני.

לפי פיירפונט, הסימפטומים נגרמים על ידי הפרעה לגירוי הטבעי של אזור האוזן הפנימית בשל רעש שמע בתדירויות נמוכות, ורעש אינפרה-סאונד. יש לציין כי חוקרים אחרים מצאו בעיות מדעיות במחקר של פיירפונט וטוענים כי לא ניתן להצביע על קשר סיבתי במחקר זה בין השפעות הטורבינות לבין הסימפטומים. חוקרים אלו טוענים כי אין עדויות להשפעות בריאותיות של ממש ². למרות התיאור המפורט של הסינדרום בכתבות בעיתונות הפופולרית, לא מצאנו

מאמר/מחקר מדעי של הד"ר פיירפונט המתאר את הסינדרום, אלא רק ספר²⁸ (שאינו עובר שיפוט עמיתים כמו מאמר מדעי).

סקירה מדעית שפורסמה בשנת 2013 וריכזה את כל המאמרים והמחקרים בנושא טורבינות רוח, רעש ואינפרה-סאונד שפורסמו ב-10 השנים הקודמות, העלתה⁷ כי יש ביסוס לכך שאינפרה-סאונד גורם לאפקט פיזיולוגי באוזן. גם אם אפקט זה אינו מובן לחלוטין, לא ניתן לקבוע כי רעש הטורבינות אינו גורם לתופעות בריאותיות כגון: טינטון, כאב אוזניים וסחרחורת. החוקרים ציינו כי ישנה אפשרות כי תופעות אלו קורות בשל העקה (סטרס) שנגרמת מחשיפה לרעש הטורבינות^{7, 11} (עוד על ההשפעות הפסיכולוגיות, בפרק 1.6 להלן). כך או אחרת, החוקרים סיכמו כי המונח "סינדרום טורבינות רוח" אינו קביל בשימוש רפואי-קליני⁷.

1.3.5 השפעות בריאותיות נוספות של רעש מטורבינות רוח

למרות שנראה שאין "סינדרום טורבינות רוח" המוגדר קלינית, מספר מחקרים אפידמיולוגיים הראו בצורה מובהקת שמדדי הבריאות הכללית (כמוגדר על ידי ארגון הבריאות העולמי, WHO) היו ירודים יותר בקרב תושבים שגרו בסמיכות לטורבינות רוח, בהשוואה לנבדקי ביקורת¹². סקירה מדעית נרחבת משנת 2014 דיווחה שבקרב המתגוררים ליד טורבינות רוח, נמצאה במספר מקרים עלייה מובהקת בשכיחותם של כאבי ראש, טינטון, וסחרחורת. נמצאה גם עלייה בשכיחות מחלת מנייר (Meniere's disease), שבה החולים סובלים מהתקפי סחרחורת, אבדן שיווי משקל, אבדן שמיעה ולחץ באזניים. בנוסף, נמצאו גם פגיעה בזיכרון, וכן קשיי ריכוז¹². גם סקירה זו סיכמה שההשפעות בריאותיות שליליות אלו נובעות ככל הנראה מקיומה של עקה פסיכולוגית; השפעות פסיכולוגיות נוספות נידונות בהמשך הפרק בהרחבה.

1.3.6 הרעש כמטרד

בין אם הרעש יוצר בעיות בריאותיות באופן ישיר או לא, ברור כי הרעש שמייצרות טורבינות הרוח אינו רצוי, ולפיכך מהווה מטרד לתושבים. מאפייני אישיות ומאפיינים חברתיים קובעים את עוצמת פגיעתו של מטרד הרעש הזה. התדר הנמוך של רעשי הטורבינות מונע מיסוך על-ידי רעשים סביבתיים אחרים, ולפיכך הרעש הזה מטריד יותר מרעשים אחרים. מחקר הראה יחס ברור מסוג "כמות-עוצמת תגובה" בין עוצמת מטרד הרעש מטורבינות רוח לבין עוצמת ההפרעה הנגרמת לתושבים²⁹. שני גורמים נוספים שהשפיעו מאוד על עוצמת תגובת התושבים לרעש היו: האם התושבים רואים מבתיים את טורבינות הרוח, והשאלה האם הם הרוויחו ישירות מבנייתה או מהפעלתה של הטורבינה או לא^{18, 19}. אלו שראו את טורבינות הרוח

מבתיים, הושפעו בצורה שלילית - כלומר, סבלו יותר. אלו שהרוויחו ישירות (כלכלית) מטורבינות הרוח, הושפעו בצורה חיובית - כלומר, סבלו פחות. לבסוף, יש לציין שמחקרים שבדקו את רמת המטרד (annoyance) שיוצרים רעשי טורבינות רוח מצאו³⁰ שהן יוצרות מטרד גדול יותר בהשוואה לסוגי רעשים אחרים שהושמעו באותה עוצמה אבסולוטית (כגון רעשי כלי רכב או רכבות). יש, אם כך, משהו "מעצבן" ומטריד במיוחד ברעשים של טורבינות רוח, מעל ומעבר למדידות האקוסטיות האובייקטיביות שלהן²⁹. מעבר להיותו של רעש הטורבינות "מטרד", כאמור לעיל, ובהינתן תימוכין מדעיים חלקיים וחדשים יחסית לבעיות בריאות שנגרמות מפעילות טורבינות רוח (ראו בהמשך), גם ההשפעה הפסיכולוגית השלילית ברורה ומוכחת. פירוט נרחב של המחקרים שבדקו את ההשפעות הפסיכולוגיות נמצא בפרק 1.6 בהמשך.

1.3.7 שונות בין בני אדם בתגובה הבריאותית לרעש טורבינות רוח

בני אדם מסוימים עשויים להיות רגישים יותר מאחרים לרעש בתדרים נמוכים³¹. יש שירגישו את הרעש הזה כוויברציות (ראו בהמשך), יהיו שירגישו את זה כרעש בלבד, ויהיו שלא ירגישו את זה כלל⁷. חשיפה ארוכת טווח לרעש בתדרים נמוכים יכולה להגביר את רגישות בני-האדם לרעש ולהחמיר את תוצאי הבריאות¹². בנוסף, האוכלוסיות החשופות לרעשים בתדירות נמוכה שמקורם בטורבינות רוח הן אוכלוסיות שגרות בישובים כפריים ולא בישובים עירוניים. חלק מהאנשים הללו עברו לגור בכפר כדי להתרחק משאון העיר, והם עשויים להיות רגישים יותר מאחרים לרעשים, גם בתדרים נמוכים. גם בישראל, רוב האוכלוסייה המתגוררת בסמוך לאתרים בהם יוקמו טורבינות הרוח נהנתה עד כה מאזור מגורים שקט במיוחד, ועל-כן יתכן שרעש הטורבינות יצור מפגע עבור התושבים באזורים אלו.

1.4 ויברציות (רעידות)

רעש בתדר נמוך (אינפרה-סאונד) מוכר כגורם לוויברציות בגוף האדם, בעיקר ויברציות חזה בטווח התדרים 50-80 הרץ³². קיום הוויברציות האלו בגוף האדם גורם במקרים מסוימים לתחושת חולי¹⁶.

ויברציות כאלו נמדדות בקרקע במרחקים של עשרות ומאות מטרים מטורבינות הרוח, אולם עוצמתן נמוכה יחסית. עם זאת, בתוך מבנים, הוויברציות מורגשות חזק יותר מאשר מחוץ

למבנים, ובתוך המבנים הוויברציות מורגשות כפולסים חוזרים ונשנים (פעימות), דבר המטריד יותר מאשר רעש קבוע.³³

1.4.1 מחלה ויברו-אקוסטית (VAD)

אלבס-פריירה וקסטלו בראנקו תיארו³⁴ כיצד אינפרה-סאונד (0-20 הרץ) ורעש בתדרים נמוכים (20-200 הרץ) גורמים למחלה שאובחנה לראשונה בצוותים טכניים של כלי טייס, החשופים לרעשים משמעותיים בתדרים אלו. החוקרים מכנים את המחלה Vibroacoustic disease (VAD) ומפרטים את הפתולוגיה הכלל-גופית שמפתחים בני אדם (וגם חיות משק) החשופים לרעשים אינטנסיביים כאלו. לטענת החוקרים, לאחרונה מאובחנים במחלה גם אנשים באוכלוסייה הכללית, שאין להם חשיפה תעסוקתית לרעשים בתדר נמוך. במחלה הוויברו-אקוסטית, מאובחנת גדילה חוץ-תאית של סיבי קולגן ואלסטין, ללא תהליך דלקתי. גדילה זו מביאה לפגיעה מבנית בגוף, ונצפית בעיקר בכלי דם, בלב, במערכת הנשימה, ובכליות. פגיעה מבנית זו גורמת לכשלים בהעברת אותות בגוף. החוקרים מציינים עם זאת, שלא מוכרים עדיין תוצאי בריאות של תדרים ספציפיים יותר, אין הבנה של הקשר בין רמת החשיפה לעוצמת התגובה, וכן שעדיין לא נערכו מחקרים אפידמיולוגיים הדרושים להערכת מידת החשיפה של הציבור למחלה הזו.³⁵ בחלוף כמעט עשור מאז תיארו החוקרים לראשונה את המחלה הוויברו-אקוסטית, ניסו חוקרים אחרים³⁶ למצוא תימוכין מדעיים למחלה זו, ולשם כך חיפשו בכל מאגרי המידע הרלוונטיים, אולם מצאו ש-34 מתוך 35 המאמרים המתארים את המחלה הוויברו-אקוסטית נכתבו ע"י אותו צוות חוקרים (אלבס-פריירה וקסטלו בראנקו), ושאר אחד מהם לא הצליח לבסס מדעית קשר כלשהו בין טורבינות רוח לבין אותה מחלה. החוקרים מסכמים כי מעבר לאותה קבוצת מחקר פורטוגזית, VAD מעולם לא נקשר לטורבינות רוח ואין כל רמז לקישור כזה, למעט שמועות שמשגשגות ברשת האינטרנט ומגבירות את אפקט ה-NOCEBO (ראו להלן בפרק 1.6, השפעות פסיכולוגיות). כך או אחרת, הוויכוח בין החוקרים ממשיך בעוז³⁷ בספרות המדעית, אולם תימוכין מדעיים למחלה הוויברו-אקוסטית עדיין חסרים. בדומה ל"סינדרום טורבינות רוח", גם המחלה הוויברו-אקוסטית עדיין לא התקבלה בקהילה המדעית ולא נעשה בהגדרה הזו שימוש קליני.¹⁸

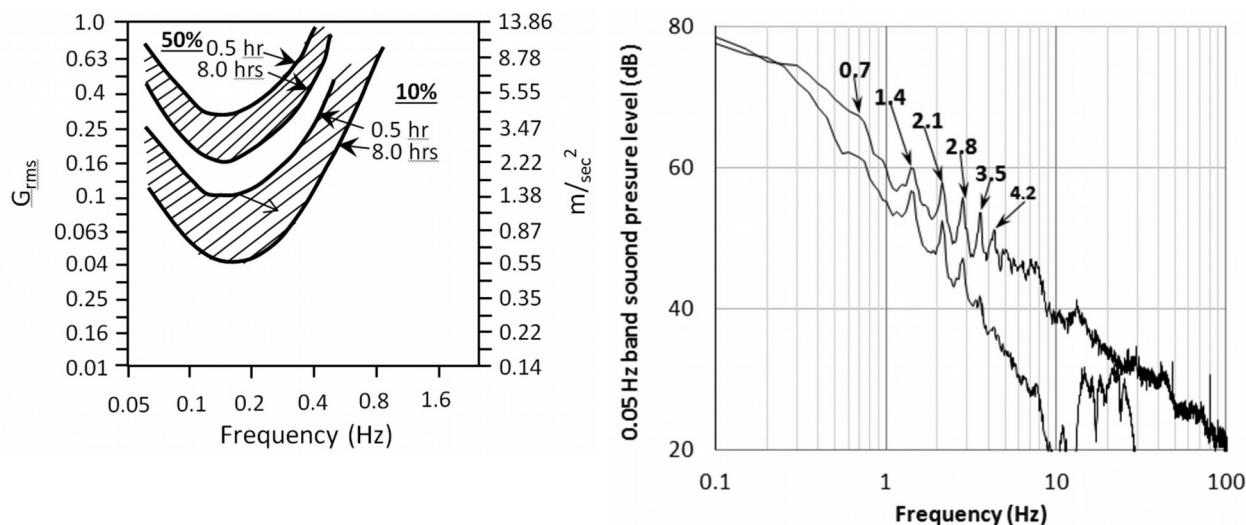
1.4.2 מחלת ים הנגרמת על ידי טורבינות רוח

מחקר שיצא לאחרונה, במרץ 2015, העלה את ההצעה המפתיעה שחלק מהבעיות הבריאותיות שעליהן התלוננו תושבים המתגוררים בקרבת חוות רוח ברחבי העולם, נובעות

למעשה מסימפטומים של מחלת ים³⁸. המחברים הינם כולם יועצים בשתי חברות אקוסטיקה, כך שייתכן שנשכרו על ידי מי מבעלי העניין - אך מאידך, המאמר התפרסם בכתב עת מכובד מאוד, ה- Journal of the Acoustical Society of America, שנחשב לכתב העת המוביל בעולם בתחום האקוסטיקה, הן אקוסטיקה בסיסית והן יישומית; לכן ברור שהמאמר עבר שיפוט-עמיתים קפדני. המחברים אינם מתייחסים ל"סינדרום טורבינות רוח" (שתואר בפירוט בתת-פרק 1.4.1 לעיל), אולם יתכן שמחקרים עתידיים או סקירות מומחים יציעו קשר בין "סינדרום טורבינות הרוח" שטרם הוכח לבין מנגנון מחלת הים שיתואר להלן.

המחברים מדדו עוצמות אינפרה-סאונד בחוות טורבינות רוח ב-Shirley, WI, USA, ומצאו שעוצמת האינפרה-סאונד המקסימלית היא בתדר 0.7 הרץ - קצב מעבר להבי הטורבינה בשנייה (תרשים 3, פאנל ימני). בתדרים אלו, בתי מגורים הופכים לחלל תהודה אידאלי, המגביר את עצמת התנודות, בדומה לחלל תהודה של קונטרבס (אולם בתדרים נמוכים יותר מקונטרבס). יש להדגיש כי תחום התדרים שמתחת ל-1 הרץ הוא תחום תדרי התנודה שגורם למחלת ים ולבחילות - כתוצאה מתנודה בתדר נמוך של האיברונים הווסטיבולריים (otolith organs) במערכת שיווי המשקל אשר נמצאת באוזן הפנימית: תחום התדרים שקרוי ה-nauseogenic region. המאמר גם כלל חישובים מפורטים שהראו שמנגנון זה אפשרי מבחינה פיסיולוגית. במילים אחרות, מחברי המאמר הציעו שכפי שמחלת ים נגרמת לנוסעים בבטן הספינה כתוצאה מתנודה במערכת שיווי המשקל בתדר מתחת ל-1 הרץ שאינה מלווה בתנודה ראייתית תואמת - כך גם נגרמת "מחלת ים" אמיתית לשוהים בתוך מבנים הסמוכים לחוות רוח, כתוצאה מתנודה במערכת שיווי המשקל בתדר מתחת ל-1 הרץ שאינה מלווה בתנודה ראייתית תואמת. דהיינו, במקום תנועה פיזית של כל הגוף על גלי הים, ישנה רק תנועה פיזית של האיברונים הווסטיבולריים בתוך האוזן, בתדר דומה.

יוזכר שפירוט המדידות האקוסטיות מאותו מחקר התפרסם בדוח ציבורי של 4 חברות אקוסטיקה לקראת שימוע רשמי של מדינת ויסקונסין³³ (כולל 2 חברות האקוסטיקה שפרסמו את המאמר), כך שמדובר במידע שזמין הן לציבור, הן למקבלי ההחלטות והן לחברות היזמיות. האפשרות של הפרעה וסטיבולרית על ידי להבי טורבינות נתמכת גם על ידי העובדה שתאי השערה של האברונים הווסטיבולריים (בשונה מתאי השערה בשבלול של מערכת השמיעה) רגישים במיוחד לתדרי ויברציה נמוכים, כולל אינפרה-סאונד¹¹.



תרשים 3: קשר אפשרי בין טורבינות רוח ומחלת ים

הקשר האפשרי בין תדרי רעידות של טורבינות לבין השראה של בחילות ומחלת ים.

פאנל ימיני: תדרי רעידות שנמדדו ליד חוות הרוח ב-Shirley, WI, USA. ציר X – תדר (הרץ), ציר Y – עצמת רעידות (ב-dB).

פאנל שמאלי: השפעות של רעידות על האוזן הפנימית (איברי שיווי המשקל). ציר X – תדר (הרץ), ציר Y – הסף ליצירת תחושת בחילה (אזור מקווקו), המוצג במונחי הגבר התנודה של איברי שיווי המשקל (ציר Y שמאלי), וערכי התאוצה (ציר Y ימני). ככל שהאזור המקווקו נמוך יותר, פירוש הדבר שיסנה רגישות מוגברת למחלת ים, קרי מחלת ים ובחילות נוצרות בעוצמות נמוכות יותר של רעידות. ניתן לראות שהרגישות הכי גבוהה של בני אדם למחלת ים היא בסביבות 0.2 הרץ (אזור המינימום של הגרף).

התדר שנקלט בעוצמה החזקה ביותר בחוות הרוח ב-Shirley היה 0.7 הרץ (חץ עליון שמאלי בפאנל הימני) – ותדר זה הינו בתחום התדרים שיוצר מחלת ים ובחילות, קרי region nauseogenic (ראה פאנל שמאלי – אזור מקווקו). התדר של 0.4 הרץ שנמדד בחוות הרוח Cape Bridgewater באוסטרליה הוא אפילו עמוק יותר בתחום התדרים שיוצרים מחלת ים, קרי nauseogenic region. תדרי מעבר-להבים של טורבינות צפויים בעתיד לרדת עד ל-0.2 הרץ – התדר הבעייתי ביותר מבחינת מחלת ים. מתוך:³⁸

כאמור, מנגנון סביר זה תואר בספרות המקצועית רק לאחרונה, ויש לצפות למחקרים נוספים שיתפרסמו בשנים הקרובות וינסו לתמוך ולחזק מנגנון זה או להפריך אותו. המסקנה המעשית החשובה ביותר הנובעת מהמחקר הזה נוגעת לעתיד: ככל שטורבינות הרוח נעשות גדולות ו/או יעילות יותר עם חלוף השנים, ותדרי התנודות שלהן הולכים ויורדים לכיוון של 0.2 הרץ – שהוא מרכז ה-nauseogenic region של מחלת הים (ראה נקודת המינימום בתרשים 3 בפאנל השמאלי), כך גדל החשש לבריאות הציבור – במידה ותאוריית מחלת הים אכן תוכח נכונה. מדידות שנעשו לאחרונה³⁵ בחוות טורבינות באוסטרליה (Cape Bridgewater) הראו שכבר כיום תדרי טורבינות מודרניות (שאינן גדולות במיוחד: גובה גנרטור/HUB של 69 מטר) מגיעים עד ל-0.4 הרץ – תדר בעייתי ביותר מבחינת השראה של מחלת ים, כפי שניתן לראות בתרשים 3 בפאנל השמאלי.

1.5 השפעות בריאותיות נוספות

1.5.1 קרינה אלקטרומגנטית

קרינה אלקטרומגנטית נחשבת מזיקה בצורה אקוטית (קצרת טווח) ברמה של 2,000 mG (מיליגאוס) ומעלה. מספר מחקרים, שנסקרו במאמר מקיף³⁹ בשנת 2014, ערכו מדידות של הקרינה האלקטרומגנטית ליד חוות גדולות של טורבינות רוח בקנדה ובבולגריה. בכל המקרים נמצא שהקרינה האלקטרומגנטית בבסיס הטורבינה (ישירות מתחת לטורבינה) לא עלתה על 1 mG - רמה זניחה ביחס לכל התקנים וביחס לרמות טיפוסיות הנמדדות בסביבה ביתית. לשם המחשה, מנוע של מקרר ביתי יכול לפלוט קרינה של 4 mG במרחק של 30 ס"מ ממנו. בבתיים שהיו מרוחקים כ- 500 מטרים מהחוות הללו, נמצאו רמות קרינה אלקטרומגנטית של בין 0.1 ל- 0.4 mG - רמות קרינה הנמצאות בתחום קרינת הרקע הטבעית. סף החשיפה הכרונית המומלץ בישראל הוא 4 מיליגאוס בממוצע ליממה⁴⁰ - ולפיכך הקרינה האלקטרו-מגנטית מטורבינות רוח רחוקה מאוד מהסף הביטחוני. לכן, בניגוד למה שנטען במספר אתרי אינטרנט (שלא התבססו על מחקרים מדעיים), אין שום בסיס מדעי לחששות בריאותיים מקרינה אלקטרומגנטית מטורבינות רוח.

1.5.2 סנוור מהלהבים

בעבר הייתה בעיה שלהבי טורבינות רוח היו עשויים להחזיר החזר חזק של אור השמש (glint), דבר שהיווה הפרעה ואף סכנה פוטנציאלית, במיוחד בזמן נהיגה. אולם כיום בעיה זו הפכה הרבה פחות משמעותית, שכן כל יצרני טורבינות הרוח המודרניות מצפים את הלהבים בחומר המונע החזרי אור חזקים⁴¹. ממשלת אוסטרליה הוציאה הנחיות מפורשות הדורשות ציפוי של הלהבים בחומר המונע החזרי-אור, לצורך מניעת סנוור. לא נמצא כל מחקר מדעי שהראה פגיעה בריאותית כתוצאה מסנוור מהלהבים (glint). נמצאו מספר אזכורים בדוחות ציבורים מלפני יותר מ-5 שנים, אולם ללא הפניה לספרות מדעית-מקצועית. לפיכך נראה כי הסנוור מלהבי טורבינות רוח אינו מהווה עוד בעיה בריאותית.

1.6 השפעות פסיכולוגיות

מספר מחקרים הראו עלייה בנטילת תרופות פסיכיאטריות בקרב תושבים המתגוררים ליד טורבינות רוח; העלייה הזו קרתה מיד לאחר הפעלתן של חוות הטורבינות²⁵. כאמור לעיל,

עדיין לא ברור אילו תוצאי בריאות פיזיולוגיים מדויקים נגרמים בהשפעת האינפרה-סאונד והרעש בתדרים נמוכים וגם המנגנונים אינם מוכחים די הצורך. עם זאת, **ההשפעות הפסיכולוגיות של החשש מתוצאי בריאות שליליים כתוצאה מחשיפה לרעש כזה הן שליליות וברורות.** מחקר שנערך לאחרונה במחלקה לפסיכולוגיה באוניברסיטת אוקלנד בניו-זילנד בדק כיצד עשויים להיות מושפעים התושבים שמתגוררים בסמיכות לטורבינות הרוח מהאינפרה-סאונד ומהרעש בתדרים הנמוכים שיוצרות הטורבינות. ליתר דיוק, החוקרים בדקו כיצד החששות של הציבור מהרעש, יחד עם המידע הרב שקיים באינטרנט ונגיש לכל תושב, ישפיעו על תוצאי הבריאות של הנבדקים⁴². החוקרים טוענים כי בעוד שאין הוכחות חד-משמעיות מבחינה מדעית על נזקים בריאותיים משמעותיים שגורם הרעש, הרי שיש מידע רב, כביכול מבוסס מדעית, הזמין באינטרנט לגבי נזקים כאלו ("מידע פופולרי") – ומטרת המחקר הייתה לבדוק האם "מידע פופולרי" כזה, כשלעצמו, עשוי לגרום לנזקים בריאותיים מוכחים. במילים אחרות: המטרה הייתה לבדוק האם החשש מטורבינות רוח גורם לאפקט NOCEBO (אפקט PLACEBO שלילי). המבדק בוצע באיכות מדעית גבוהה – בסמיות-כפולה (double blind), כך שגם הנבדקים וגם הבודקים לא ידעו לאיזו קבוצה הם משתייכים – 50 משתתפים נחשפו ל-10 דקות של רעש אינפרה-סאונד או ל-10 דקות של אינפרה-סאונד דמה (Sham infra-sound). מכיוון שהאינפרה-סאונד אינו נשמע, המשתתפים לא ידעו לאיזה רעש נחשפו, אם בכלל. בכל קבוצה, חצי מהמשתתפים נחשפו **לפני הניסוי** למידע אודיו-ויזואלי על נזקי בריאות שעשוי לגרום הרעש הזה, דבר שיצר ציפיות גבוהות לנזקי בריאות כתוצאה מהחשיפה לרעש הזה. המידע שהוצג נלקח מרשת האינטרנט, ולא יוצר במיוחד עבור הניסוי הזה. החצי השני של המשתתפים בכל קבוצה נחשף למידע אחר מרשת האינטרנט, שיצר ציפיות נמוכות לנזקים בריאותיים. כל המשתתפים דיווחו על מצבם הבריאותי ועל תחושותיהם והרגשותיהם לפני הניסוי ולאחר השמעת הרעש (כאמור, רעש שאינו נשמע לאוזן האנושית). תוצאות הניסוי היו מובהקות. המשתתפים בקבוצה שנכנסה לניסוי עם ציפיות גבוהות לנזקים בריאותיים, אכן דיווחו לאחריו על יותר סוגים של בעיות בריאות ועל עוצמה גבוהה יותר של אותן בעיות שחוו במהלך ואחרי השמעת הרעש. טבלה 3 מדגימה את מתודולוגיית המחקר ואת תוצאותיו.

יש להדגיש כי דיווחים אלו היו דומים בין שני הטיפולים (קבוצות הניסוי והביקורת): גם אלו ששמעו רעש דמה דיווחו על בעיות בריאות דומות ובעוצמה דומה לדיווחים של מי שנחשפו לרעש האמיתי. המשתתפים בקבוצה עם הציפיות הנמוכות לבעיות בריאות לא דיווחו על בעיות בריאות, בין אם נחשפו לרעש האמיתי או שנחשפו לרעש הדמה. מסקנת החוקרים הייתה כי **משתתפים בריאים מושפעים בעיקר מהציפיות שלהם לנזקים בריאותיים ולא מעצם קיומו (או היעדרו) של האינפרה-סאונד.** כמובן שחשיפה קצרה לרעש לא מדמה את מציאות

החיים בסמוך לטורבינות הרוח; אולם מכיוון שהמידע על הנזקים הבריאותיים הפוטנציאליים נאסף ברשת האינטרנט והוא זמין לכל תושב, החוקרים טוענים כי הפוטנציאל לבעיות בריאות שנגרמות כתוצאה מהחששות (בלבד!) קיים גם בעולם האמיתי שמחוץ למעבדה. החוקרים טוענים כי זהו המנגנון הראשון שמוכח לקשר שבין טורבינות רוח לנזקים בריאותיים: ובין אם ימצא בעתיד מנגנון פיזיולוגי להשפעת אינפרה-סאונד ובין אם לאו, המנגנון הפסיכולוגי כבר הובהר והוצג בצורה ברורה ומשכנעת.⁴²

טבלה 3: תוצאות ניסוי ה-NOCEBO הניו-זילנדי

המחשה מופשטת של תוצאות הניסוי הניו-זילנדי הראה שציפיות לבעיות בריאות גורמות להופעת בעיות בריאות, ללא קשר לחשיפה או אי חשיפה לאינפרה-סאונד. מודגם על-פי:⁴².

המשתתפים בניסוי נחשפו לרעש דמה (לא נחשפו לאינפרה-סאונד)	המשתתפים בניסוי נחשפו לרעש אינפרה-סאונד	
דיווחו על יותר בעיות בריאות	דיווחו על יותר בעיות בריאות	המשתתפים בניסוי נחשפו טרם הניסוי למידע על נזקים בריאותיים פוטנציאליים (המידע האודיו-ויזואלי נלקח מרשת האינטרנט ויצר ציפיות גבוהות לבעיות בריאות)
דיווחו על פחות בעיות בריאות	דיווחו על פחות בעיות בריאות	המשתתפים בניסוי לא נחשפו למידע על נזקים בריאותיים פוטנציאליים (נחשפו למידע שיצר ציפיות נמוכות לבעיות בריאות)

לבסוף, מחקר מקיף מאוד שנערך באוסטרליה⁴³, ופורסם בשנת 2013, בחן את תבנית התלונות הרפואיות בקרב תושבים המתגוררים בטווח של עד 5 ק"מ מכל אחת מ- 51 חוות הרוח המסחריות הקיימות באוסטרליה (סה"כ 21,633 תושבים, 1,634 טורבינות רוח). המחקר סקר את היסטוריית התלונות הרפואיות במשך 19 שנים, בין השנים 1993-2012.

המחקר מצא שב- 33 מ- 51 חוות הרוח, שכללו גם טורבינות גדולות מאוד (מעל 1 מגה-וואט), מעולם לא התקבלו תלונות רפואיות כלשהן – במשך זמן עבודה מצטבר של 267 שנים. מבין 129 התלונות שהתקבלו (פחות מ- 0.5% מכלל התושבים המתגוררים בסמיכות ל- 51 חוות הרוח), הרוב המכריע של התלונות הגיעו מ- 6 חוות רוח שנגד הפעלתן התנהלו קמפיינים תקשורתיים בהובלת קבוצות-מחאה. יתרה מכך, 116 מתוך 129 התלונות (90%) התקבלו ב- 3 השנים מאז שנת 2009 – השנה בה התחילה מחאה ציבורית חזקה באוסטרליה כנגד ההשפעות הבריאותיות של טורבינות רוח – ועד 2012, שנת כתיבת המחקר. רק 13 תלונות (10%) התקבלו מכל רחבי אוסטרליה ב- 16 השנים שקדמו למחאה. תבנית הממצאים במחקר האוסטרלי⁴³ מחזקת את הטענה כי תוצאי הבריאות השליליים של טורבינות רוח נובעים ברובם מחששות פסיכולוגיים, שלבסוף מתממשים לכדי בעיות בריאותיות של ממש – אפקט ה- NOCEBO.

בהקשר הישראלי, ניתן להניח כי הקמת טורבינות רוח עשויה ליצור תוצאי בריאות דומים למתואר לעיל, במיוחד אם התושבים יתארגנו למחאה נגד הקמת הטורבינות בסמוך לבתיהם. לפיכך מוצע כי משרד הבריאות והרשויות המוסמכות יתכנו מראש יבצעו בקפידה מעקב אחר דיווחי התושבים אודות בריאותם לפני הקמת הטורבינות, במהלך הקמתן, ולאחר הפעלתן.

1.7 דוחות ציבוריים לגבי ההשפעות הבריאותיות של טורבינות

רוח על בני-אדם

מספר דוחות ציבוריים נסקרו בתתי-הפרקים לעיל. דוח מפורט של מועצת המחקר הלאומית של האקדמיה הלאומית למדעים בארה"ב סרק את עיקרי הבעיות הבריאותיות של טורבינות רוח, בדומה לנסקר לעיל (אולם יצוין שזהו דוח ישן מלפני כ-8 שנים). הדוח מסכם⁴⁴ כי אל מול התועלות הצפויות לבריאות התושבים בארה"ב, ובהן הפחתת פליטות המזהמים מייצור חשמל מדלקים מאובנים, ובהינתן תכנון נכון של טורבינות הרוח החדשות המוקמות בארה"ב, ניתן לספק חשמל מאנרגיית רוח בלי לפגוע בבריאות התושבים.

דוח מיוחד שהוגש לבית הנבחרים האוסטרלי בשנת 2010 סקר⁴¹ את הסיכונים הבריאותיים העלולים להיגרם כתוצאה מהקמה והפעלה של טורבינות רוח. הדוח מתייחס להפרעות הריצוד והרעש וכן לחששות נוספים כמו קרינה אלקטרומגנטית וסנוור מהלהבים, כפי שפורט לעיל. הדוח קובע כי נכון לאותה שנה אין עדויות מוצקות לפגיעה משמעותית בבריאות התושבים, אולם מצד שני גם אין הוכחות להיעדר פגיעה שכזו. הדוח מציין כי אמנם יחסית לשיטות ייצור חשמל מדלקים מאובנים, הנזקים הבריאותיים הפוטנציאליים מטורבינות רוח הם מועטים,

אולם אין בכך בכדי לבטל לחלוטין את האפשרות לקיומם של נזקים כאלו. לפיכך ממליץ הדוח על זהירות מונעת בעת תכנון והקמה של טורבינות רוח⁴¹.

סקירת מחקרים שפורסמה בקנדה⁴⁵ בשנת 2013 מתארת דוח של האקדמיה הרפואית הצרפתית שפורסם בשנת 2006 הקובע כי הרעש שיוצרות טורבינות רוח הוא המטרד העיקרי. הרעש מטריד ולעיתים אף מפתיע כיוון שעוצמתו משתנה בהתאם לעוצמת הרוח. הרעש מפריע בעיקר בעת מנוחה ולעיתים מעיר מתוך שינה. תופעות בריאותיות נוספות שתוארו על-ידי תושבים המתגוררים בסמוך לטורבינות היו: כאבי ראש, סחרחורות, בחילות, אבדן שיווי משקל זמני, הקאות, נדודי שינה ודפיקות לב. החוקר הקנדי הראשי, ד"ר ג'פרי, רופא משפחה קנדי, מתאר במאמר מספר דוחות נוספים ובהם מגוון של בעיות בריאות שמדווחות על-ידי תושבים המתגוררים בסמיכות לטורבינות רוח, ואף מקרים בהם תושבים שסבלו מבעיות בריאות נטשו את בתיהם והגיעו להסכמי פיצוי עם החברות המפעילות את טורבינות הרוח. ג'פרי וחבריו צופים כי רופאי המשפחה בקנדה יתקלו במקרים נוספים של בעיות בריאות הנובעות ממגורים בסמיכות לטורבינות הרוח, וכי תופעה זו תגבר ככל שייבנו עוד טורבינות רוח בקנדה. היו אפילו מאמרים שהציעו קריטריונים רפואיים דיאגנוסטיים שעל רופאי משפחה כפריים בקנדה לבחון בבואם לטפל בפציינטים המתגוררים בסמיכות לטורבינות רוח⁴⁶. בסקירה של ג'פרי גם מצוטטת הגדרת המושג "בריאות" של ארגון הבריאות העולמי (WHO) שנוסחה עוד בשנת 1946 ולפיה: "בריאות היא מצב של רווחה גופנית, נפשית וחברתית מושלמת, ולא רק היעדר מחלה". בשנים האחרונות הגדרה זו שונתה מעט ועתה היא מכילה אף את היכולת לנהל "חיים פוריים מבחינה חברתית וכלכלית". בהתאם להגדרות אלו, קובעים מחברי המאמר, טורבינות הרוח בהחלט פוגעות בבריאותם המלאה של התושבים, וזאת גם ללא הוכחת המנגנון הפיזיולוגי של הפגיעה. במאמר נוסף של אותם מחברים³⁰ הם מכירים ביתרונות הבריאותיים של טורבינות רוח, שמייצרות "חשמל נקי", אולם טוענים שיש הכרח לשמור על מרחקים מינימליים בין הטורבינות לבתי התושבים וכן להקפיד על ספי רעש מדויקים, על מנת למקסם את היתרונות הבריאותיים הגלומים בהקמת טורבינות רוח, תוך מניעת פגיעה כלשהי בבריאות התושבים הגרים בסמוך לטורבינות.

כאמור, עבודה זו סקרה רק את הספרות המקצועית (ודיווחים אחרים) על מנת להעריך את ההשפעות של הפעלת טורבינות רוח על בריאות התושבים, על חיות המשק וחיות הבר בישראל. בניגוד לחלק מהדוחות שנסקרו לעיל, עבודה זו לא עוסקת בפן התכנוני של הקמת טורבינות הרוח ולא מציעה חלופות או צעדים להפחתת הפגיעה הצפויה. מומלץ כי שלבים אלו יושלמו בהקדם, עוד טרם סיום הקמת הטורבינות החדשות או למצער עם הפעלתן, על מנת שמדינת ישראל תוכל להפחית את הנזקים שצפויות לגרום טורבינות הרוח לבריאות התושבים ולסביבה.

1.8 השפעה על חיות משק

בדוחות המוזכרים לעיל ובתקשורת הועלו חששות לגבי האפשרות שחיות משק יכולות להיות מושפעות מאפקט הריצוד. הדוח של ממשלת בריטניה⁵ סוקר מספר מחקרים בנושא ומסכם כי חיות משק וסוסים מסתגלים לסביבה החדשה לאחר תקופה. לטענת מסמך קנדי⁴⁷ ממדינת אונטריו, שמסכם מחקרים רלוונטיים אודות השפעות חיצוניות של טורבינות רוח על בריאות האדם והסביבה, אפקט הריצוד יוצר תחושת סכנה, בלבול והימנעות מפעילות שגרתית בקרב בעלי חיים². הדוח הקנדי מונה עדויות לירידה בתפוקת הביצים בתרנגולות ובתפוקת החלב של הצאן, להפרשת הורמונים מוגברת בחזירים, ואי שקט של חיות המשק. למרות פרסומים רבים בעיתונות הפופולרית, מצאנו מעט מאוד מחקרים מדעיים המתארים תופעות כאלו⁴⁷.

במחקר של Seddig מ-2004 (תורגם מגרמנית, נסקר בדוח של הסוכנות השבדית להגנת הסביבה)⁴⁸, נערך סקר בקרב בעלי סוסים שנשאלו על תגובות הסוסים לטורבינות רוח. בקרב סוסים אלו נצפתה תגובה של דאגה או הימנעות של הסוסים מהצל שהטילו כנפי הטורבינה כנגד חלון האורווה או האדמה שלאורך מסלול הסוסים בקרב 11 מתוך 424 הסוסים שנבדקו, אבל התגובות תוארו כמתונות וגם 11 הסוסים האלו הסתגלו במהירות². ריצוד גורם לסוסים לעצור למשך זמן קצר ולא להיענות להוראות הרוכבים, אולם אפקט זה מתפוגג לאחר זמן קצר⁶. עבודת מאסטר (תיזה) מפורטוגל, שמעולם לא פורסמה בספרות המדעית-מקצועית למרות שהוגשה כבר ב-2012, טענה כי מחלה אורתופדית מסתורית שבה לקו 11 סוסים בחווה הנמצאת סמוך לחוות רוח נובעת מהשינויים הסביבתיים שקרו עם הפעלת טורבינות הרוח – בין אם זה הרעש או הוויברציות. העבודה מתבססת על בדיקות מקיפות שנעשו לסוסים ושללו כל שינוי בתזונה, בטיפול, ובסביבת המחיה של הסוסים – למעט הפעלת הטורבינות. עם זאת, המסקנות בסוף העבודה קובעות כי גם אם לא נמצא כל גורם אחר לתחלואה, עדיין יש הכרח להמשיך לחקור ולמצוא האמנם טורבינות הרוח הן הגורם לתחלואה הזו בסוסים⁴⁹.

מחקר בפולין השווה את עקומות הגדילה ואת רמות הקורטיזול (הורמון המקושר לעקה – stress) באוזנים שגודלו בסמוך לטורבינת רוח לעומת קבוצת ביקורת של אוזנים שגודלו הרחק מהטורבינה⁵⁰. המחקר מצא שהאוזנים שגודלו בסמוך לטורבינות הרוח גדלו פחות (משקלם היה קטן יותר), ובדם שלהם נמצאו רמות מוגברות של קורטיזול. נראה, אם כן, שלפחות בחלק מהמקרים, חיות משק לא תמיד מצליחות להסתגל לטורבינות רוח – ומופיעים אצלם בעיות התפתחותיות ופיסילוגיות ארוכות-טווח. לבעיות בריאות כאלו יכולות להיות השפעות כלכליות משמעותיות בשל הפחתת כמות התוצרת החקלאית או פגיעה באיכותה. כיום אין

מספיק מידע או מחקרים שעוסקים בסוגיה של השפעת טורבינות רוח על חיות משק, וניתן אולי ללמוד מעט על פוטנציאל הפגיעה ממחקרים אחרים שבדקו השפעה של גורמי עקה (סטריס) אחרים על חיות משק, בריאותן ותפוקתן.

1.9 סיכום והמלצות

כפי שתואר לעיל, מידע רב על "סינדרום טורבינות רוח" קיים ברחבי האינטרנט, אולם העדויות המקצועיות אינן ברמת ביטחון מספקת לצורך הכרזה על קיומו של סינדרום שכזה באופן חד משמעי. עם זאת יש להדגיש כי מבחינה ביולוגית ופיזיולוגית המנגנונים שעשויים להיות מעורבים ב"סינדרום טורבינות רוח" מוכרים וידועים כבר שנים רבות, ואילו טורבינות הרוח, בסמיכות למגורי תושבים, קיימות רק עשורים בודדים וגם זאת רק במקומות ספורים בעולם^{7, 18}. עם העלייה הצפויה במספרן ועם התקרבותן של טורבינות הרוח למגורי האדם, צפוי להיחסף מידע וודאי ומבוסס יותר על הסינדרום, ככל שהוא אכן קיים, או על תוצאי בריאות שליליים אחרים. מעבר לכך, נדרש מחקר נוסף על מנת להבין מדוע אנשים מסוימים רגישים יותר מאחרים לאינפרה-סאונד ולתדרים נמוכים, לצורך יצירה של מודלים להערכת חשיפה ולאומדן הנזקים³³. החשדות למחלה ויברו-אקוסטית והתאוריה הראשונית (אך בהחלט אפשרית וסבירה להבנתנו) לקיומה של מחלת ים כתוצאה מהפעלת טורבינות רוח, דורשים מחקר ייעודי ומעקב מדוקדק אחר התושבים המתגוררים בסמיכות לטורבינות רוח. כל ההשפעות הבריאותיות על בני האדם, המיוחסות לטורבינות רוח, מסוכמות בטבלה 4 להלן.

נכון להיום (2016) הקביעה היחידה שניתן לקבוע היא שעל-פי הידוע למדע, לא ניתן לומר שהשפעת האינפרה-סאונד ורעש בתדרים נמוכים מטורבינות רוח, ובכלל - השפעתן של טורבינות רוח על בריאותם של בני האדם ושל חיות המשק - היא זניחה או בלתי משמעותית.

לפיכך, על גורמי התכנון המאשרים הקמה של טורבינות רוח בישראל לתכנן בתבונה ותוך שימת לב להשפעות שליליות אפשריות על הבריאות. יש להקפיד על טווחים שיבטיחו הפרעה מינימלית - או מוטב, מניעת כל הפרעה - לציבור הרחב ולחיות המשק הסמוכות לטורבינות. במדינת ישראל הצפופה, טווחים אלו עלולים להצטמצם בשל אילוצי תכנון וביצוע, ולגבות מחיר בריאותי כלשהו מהתושבים. בחוות הטורבינות החדשה במעלה גלבע, הטורבינות במרחק של כחצי ק"מ מבתי הישוב, ועשרות מטרים ממקומות תעסוקה בהם אנשים מבילים שעות רבות כל יום (ראה תרשימים 1 ו-17). טווחים אלו נמצאים בהחלט בטווח ההשפעות המוזכרות של הטורבינות.

בנוסף, עם פיתוחן של טורבינות חדשות, גדולות או יעילות יותר, יש להקפיד על כך שהוויברציות הנוצרות לא יהיו בתחום התדרים הגורם למחלת ים, ו/או שעוצמת הוויברציות תהיה נמוכה ו/או שהמרחק מבתי התושבים וממקומות העבודה/לימודים/שהיה שלהם יהיה מספק למניעת מחלת הים. מכיוון שהמנגנון של מחלת הים שנגרמת כתוצאה מרעידות הטורבינה הוצע רק השנה, יש לעקוב אחר הספרות המקצועית ולהתעדכן בשנים הקרובות אודות הוכחות או סתירות למנגנון מוצע זה. מוצע לקיים התייעצויות עם רופאים מומחים לתחום ועם גורמי בריאות נוספים על-מנת לחקור וללמוד את התחום, לבנות מודלים מתאימים לחיזוי הוויברציות ולנסות לצמצם את ההשפעה השלילית הפוטנציאלית על בריאות התושבים.

על-מנת להקטין את הפגיעה בחיות הבר (ראו פרקים 2 ו-3 להלן), יתכן ויוצע להקים בישראל טורבינות גדולות יותר או טורבינות מדור חדש יותר, בשיפורים טכנולוגיים כלשהם. יש לבחון היטב את הנתונים הטכניים של כל טורבינה מוצעת ולחשב (בסימולציות) את נתוני המטרדים שטורבינה זו עלולה ליצור לאדם, לסביבה ולחיות המשק, על –מנת לבצע הערכת סיכונים מושכלת שתשווה בין חלופות אפשריות, יתרונותיהן וחסרונותיהן. אין להניח כי טורבינה חדשה יותר, חזקה יותר, גדולה יותר, אשר מייצרת יותר חשמל, תגרום למטרד דומה בהשוואה לטורבינות הקיימות כיום.

לאחר ביצוע הערכת סיכונים עבור המיקום המוצע לטורבינות, הטופוגרפיה, סוג הטורבינות ומיקום התושבים- יש לנהל את הסיכונים. כלומר, לצפות את בעיות הבריאות שעלולות לצוץ, לאבחן אותן במהרה ולתת להן מענה ראוי. מומלץ להכין מראש חלופות לפעולה, בהתאם להתפתחויות שונות שניתן לצפות כי יקרו בעת הקמת הטורבינות ולאחר הפעלתן.

הציבור במדינת ישראל נוטה להיות מעורב, מודע ואקטיבי בכל הקשור לפרויקטי בנייה ותשתית גדולים הסמוכים למקום מגוריו. בכל פרויקט גדול אשר נקשרים אליו חששות בריאותיים, ינסה הציבור לגייס את מלוא יכולתו להתנגדות לפרויקט המוצע, והדבר עשוי להיות נכון גם לגבי טורבינות הרוח. לפיכך, ובהתאם לממצאי המחקרים שתוארו לעיל על ההשפעות הפסיכולוגיות של טורבינות רוח (פרק 1.6 לעיל), צפויות השלכות בריאותיות של ממש עם הקמת טורבינות הרוח, רק מעצם החשש מהקמתן ומהפעלתן. בין אם חשש זה מבוסס גם על מנגנון פיזיולוגי (כפי שתואר ופורט בפרק זה), או רק על מנגנון פסיכולוגי (כפי שהוכיחו החוקרים בניו זילנד⁴² – אפקט NOCEBO), אין הדבר משנה: כך או כך **התושבים צפויים לחוות מגוון של בעיות בריאות אמיתיות עם הפעלת הטורבינות הסמוכות אליהם**^{37,42} – ולמצב זה חייבים להתכונן גורמי התכנון, הניהול והרישוי במדינת ישראל.

טבלה 4: סיכום ההשפעות הבריאותיות של טורבינות רוח
סיכום ההשפעות הבריאותיות של טורבינות רוח ומרב הפרטים הידועים בספרות המדעית.

תת-פרק	התופעה	המנגנון	טווח ההשפעה	רמת הוודאות
1.2 ריצוד	אפילפסיה	התקפים אפילפטיים בריצוד בתדירויות גבוהות	קילומטרים, תלוי בטופוגרפיה ובגודל הטורבינה	מנגנון מוכר אולם נדרשת קונסטלציה נדירה (1 ל-10 מיליון)
	עייפות, פגיעה בריכוז, דיכאון, עקה	כנראה הפרעה ויזואלית	כנראה מאות מטרים, תלוי בטופוגרפיה	אין מנגנון ברור
1.3 רעש	הפרעות שינה כרוניות	לא ברור	מאות מטרים, עד קילומטר. מחקרים בודדים מדווחים על טווח של 2-10 ק"מ	מחקרים רבים מעידים על תופעה זו
	"סינדרום טורבינות רוח": בעיות שינה, כאבי ראש, סחרחורת ובחילה, בעיות בריכוז ובלמידה וטינטון	לא ידוע יתכן עקה? אפקט פיזיולוגי באוזן?	לא ברור	נמוכה - פורסם רק בספר ולא במאמר שעבר ביקורת עמיתים
	מחלה ויברו-אקוסטית VAD	לא ידוע	לא ברור	נמוכה - רק צוות חוקרים אחד מדווח על ה-VAD בעשור האחרון
1.4 ויברציות	מחלת ים	אברונים באוזן הפנימית	מאות מטרים ומעלה, תלוי בסוג הטורבינה ובטופוגרפיה	מוערכת כגבוהה, עדיין זקוקה לתימוכין כיוון שהמנגנון הוצע רק לאחרונה
	1.5.1 קרינה אלקטרומגנטית	זהירות מונעת		אין סיכון
1.5.2 סנור מלהבים	אין דיווחים בשנים האחרונות			אין סיכון
1.6 השפעות פסיכולוגיות	בעיות בריאות	ציפייה יוצרת בעיות - NOCEBO	מספר קילומטרים	וודאי

2 - השפעת טורבינות רוח על חיות בר יבשתיות



עופות בקרבת טורבינות רוח, דרבישייר, אנגליה, 2013. צילום: steve p2008 @ flickr.com

2.1 מבוא

פרק זה יעסוק בהשפעת טורבינות רוח על בעלי חיים ובתי גידול יבשתיים. טורבינות רוח הן כלי חשוב במעבר לאנרגיות מתחדשות ובהפחתת פליטות גזי חממה. עם זאת, מועלים חששות רבים בנוגע לפגיעתן בסביבה ובעיקר בבעלי חיים מעופפים. ישראל, בהיותה מוקד למגוון גדול של עטלפים ועופות ונתיב נדידת עופות מהגדולים בעולם, מהווה נקודה גאוגרפית מיוחדת הדורשת בחינה מעמיקה של הסיכונים לחיות הבר. פרק ההשפעה על הסביבה מחולק על פי קבוצות בעלי החיים ובתוך כל קבוצה, לאחר הסקירה הכללית, תינתן התייחסות למחקרים שנערכו במקומות הדומים ככל הניתן לישראל. דהיינו, נתיבי נדידה ראשיים ואזורים בהם יש מגוון ביולוגי עשיר. בכל קבוצת בעלי חיים ניתנת התייחסות גם להשפעות עקיפות על בעלי חיים בדרך של פגיעה בבית הגידול עצמו. בכדי למנוע חזרתיות מיותרת, הערכת הפגיעה בתפקוד המערכת האקולוגית מפורטת בתוך תתי-הפרקים על בעלי החיים השונים ולא בפרק נפרד. פרק זה סוקר את הפגיעה של הטורבינות עצמן; הפרק הבא (פרק 3) סוקר את הפגיעות הנוספות הנגרמות כתוצאה מהקמת התשתיות הנלוות לטורבינות רוח ותפעול תשתיות אלו.

2.2 השפעת טורבינות רוח על עופות

2.2.1 השפעות עיקריות

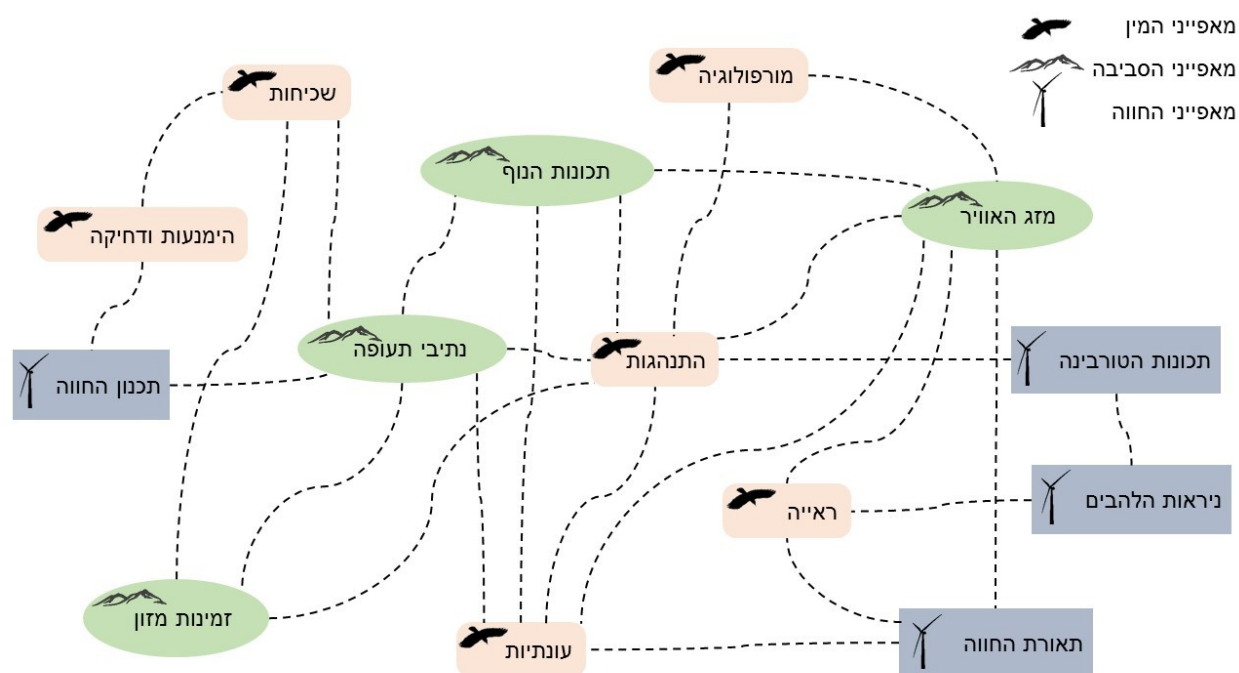
ההשפעות העיקריות שנצפו בעולם ועלולות להתרחש בישראל כוללות מוות מהתנגשות, הרס או שינוי בית הגידול ובעקבותיו דחיקה ממקום המחיה, וחסימה וקיטוע של בתי גידול⁵¹. הועלו היפותזות רבות לגבי ההשפעה של חוות טורבינות רוח על התנהגות ציפורים והשפעה על אורח חייהן כמו למשל על הרבייה, שהיית חורף, ומעבר בשטחים פתוחים ובכך השפעה גם על גודל האוכלוסייה ושרידותה. סקירת ההיפותזות השונות ומחקרן העלו סימוכין למגוון רב של הפרעות הטורבינות לציפורים⁵² ויפורטו בהמשך בחלק הבוחן השפעות פרטניות יותר.

2.2.1.1 התנגשויות

הסיבות להתנגשות ולתמותה הנגרמת ממנה רבות ושונות, וקשורות אחת בשנייה (ראו תרשים 4 ופירוט בהמשך). הסיכוי להתנגשות תלוי במין הציפור, באתר הספציפי ובפרמטרים הקשורים לחווה⁵³. מין הציפור קשור לפרמטרים כמו שכיחות, מבנה מורפולוגי, יכולת ראייה, עונתיות והתנהגות, בעיקר ביחס לנוכחות הטורבינות. האתר הספציפי מאופיין במבנים טופוגרפיים ותכסית שיכולים להשפיע על מזג אוויר מקומי, כיוון דאייה ותעופה, שימוש בשטחי שיחור מזון,

מעקב אחר תכנית לצורך ניווט ונתיבי תעופה עמוסים. ולבסוף, פרמטרים הקשורים במבנה הטורבינות ותכנון החווה, כמו גובה ⁵⁴, אורך הלהבים, נראות הלהבים, מהירות הסיבוב וכדומה, וכן מבנה מרחבי ומיקום בשטח גם הם בעלי השפעה על הסיכון ^{53, 54, 55}. יש לזכור כי הכפלה של הספק הטורבינה מ-1.5 ל-3 מגה-וואט משמעו הגדלה של רק 19% בשטח הלהבים ותוספת לגובה המקסימלי של פחות מכך⁷. מכאן שאם הספק החווה הוא הגורם המגביל, הרי שעדיף להקים ולהפעיל פחות טורבינות ולהגדיל משמעותית את ההספק.

מחקרים באירופה ובארצות הברית מראים טווח רחב של מקרי תמותת עופות עקב התנגשות בטורבינות ⁵⁵. החציון נמוך ועומד על 2.3 ציפורים לשנה, בשל כך שרוב הטורבינות הורגות מעט ציפורים, אך יש טורבינות מסוימות שהורגות מעל 60 ציפורים בשנה (טבלה 5 וטבלה 6 מפרטות כמות תמותה לטורבינה לשנה, ויש צורך להכפיל במספר הטורבינות בחווה בכדי לקבל אמדן מספרי) ⁵⁵. בארה"ב מדווחים כ-3-8 מקרי מוות בממוצע לטורבינה לשנה ובאופן כללי מעריכים כי יותר מ-44,000 טורבינות הורגות בארה"ב בין 140,000-570,000 עופות לשנה ^{54, 56}. בקנדה מעריכים כי 233,000 ציפורים נהרגות מדי שנה (כ-8 ציפורים לטורבינה לשנה) ⁵⁷. מיקום הטורבינה ביחס לטופוגרפיה בסביבה ובית הגידול בסמיכות לטורבינה הם המשפיעים העיקריים על מספר מקרי המוות המדווחים ⁵⁵.

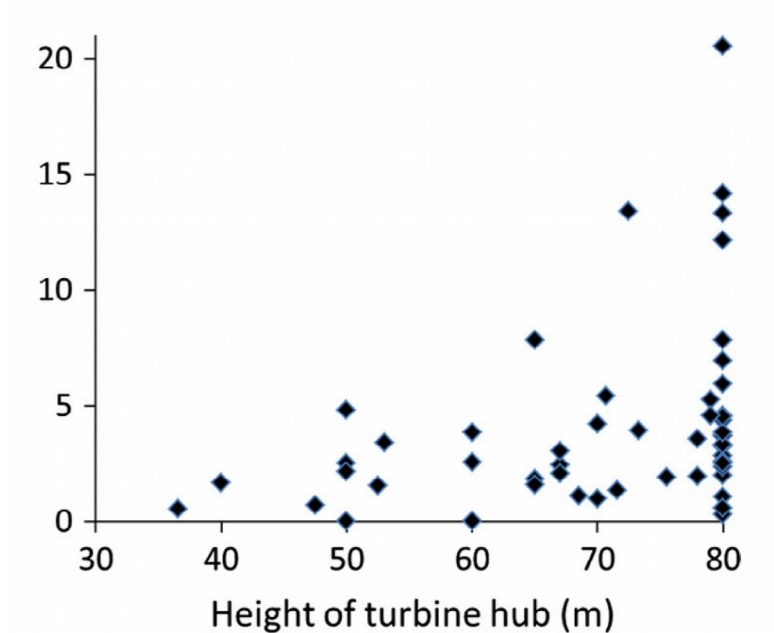


תרשים 4: גורמים המשפיעים על הסיכון להתנגשות עם טורבינה והקשרים ביניהם
גורמים הקשורים למין הציפור, לסביבת האתר ולחווה הטורבינות. מבוסס על ⁵³.

רוב התאונות מתרחשות במקומות בהם יש התקבצות של עופות, כגון ליד מקורות מים ולפעמים באזורי רכסי הרים, באזור פסגות ושלוחות, בנתיבי נדידה, ובמיוחד באזורים היוצרים צוואר בקבוק דרך חוות טורבינות רוח⁵⁸. מיקום טורבינות באזורים פתוחים ובשטחים חקלאיים מקטין את כמות מקרי המוות של הציפורים. בארה"ב רוב הטורבינות ממוקמות באזורים חקלאיים שטוחים במרכז היבשת וזו כנראה הסיבה שכמות מקרי המוות בארה"ב הינה כרבע מכמות מקרי המוות באירופה (חציון של 1.6 בארה"ב לעומת 6.5 עופות מתים לטורבינה בשנה באירופה)⁵⁵. כמות הפרמטרים הקובעים את הסיכון לתמותת ציפורים היא כה גבוהה עד שיש להחשיב שיקולים מאד פרטניים לכל פרויקט מוצע. חוץ מלהבי הטורבינות, עופות מתים גם כתוצאה מפגיעה במגדלי תקשורת, בכבלי מתח גבוה ובבניינים הקשורים לחוות הרוח (ראו פירוט בפרק 3 להלן).

עפ"י נתונים מהמועצה העולמית לאנרגיית רוח (GWEC- Global Wind Energy Council), ההערכה היא כי בסוף 2015 היו כ- 400 אלף טורבינות רוח בעולם^{59 60}. אם לוקחים בחשבון קטילה ממוצעת של 2-8 עופות לטורבינה בשנה, מקבלים כי ב-2015 נקטלו 0.8-3.2 מיליון עופות מטורבינות רוח.

חשוב לציין כי קיימת ביקורת רבה ברשת האינטרנט, בעיקר על ידי עמותות ציפורים שונות, שהערכת כמות התמותה היא הערכת חסר, ויש הטוענים להערכת חסר קיצונית של 90%. הסיבות הנמנות להערכת החסר הן רבות: פגרי הציפורים מסולקים על ידי טורפים במהירות רבה, ובאזורים המאופיינים בצמחיה סבוכה לא בטוח שכל הפגרים יימצאו. מכך יוצא שכל אומדן המוערך על ידי ספירת פגרים ליד הטורבינות יהיה אומדן בחסר, ואם הספירה איננה יום-יומית, אז האומדן יהיה בחסר גדול⁵⁵. בנוסף במספר מקומות נטען כי בטורבינות החדשות רדיוס החיפוש בפועל הינו קטן מדי, ומקטין בכך את מספר הפגרים הנמצאים. מעבר לכך, נשמעות האשמות שהקבלנים מבצעי הסקר עצמם יודעים כי יתקבלו לעבודה (או שיחודש החוזה שלהם) רק אם ייספרו באופן עקבי מעט פגרים בסקרים שלהם. אמנם ביקורות אלו אינן מבוססות מדעית, אך גם אם נכונות הן במקצת, יש להתחשב בהן בעת הערכת הסיכונים לפגיעה של טורבינות רוח בעופות.



תרשים 5: הקשר בין גובה הטורבינה ותמותת עופות

טורבינות גבוהות הורגות יותר לכל טורבינה, אך הורגות פחות למגה-וואט מותקן. מספר מקרי המוות לטורבינה לשנה (ציר Y) בארה"ב כפונקציה של גובה הטורבינה (ציר X)⁵⁴. כפי שנכתב לעיל, יש לזכור כי אם יש מגבלת הספק לחווה - אזי עדיף כנראה מספר מועט של טורבינות גדולות על מספר רב של טורבינות קטנות, כי בסך הכל יהרגו כנראה פחות ציפורים.

אין אינדיקציה לכך שחוות גדולות יהרגו יותר ציפורים לכל טורבינה, אך ההשפעה השלילית שלהן גדולה יותר, כי בסך הכל יהרגו יותר ציפורים. למיקום הטורבינה בתוך החווה יש לעיתים משמעות רבה ומיקומה ליד טופוגרפיה או בית גידול החשובים לעופות תהפוך אותה לקטלנית יותר. לדוגמה, נשרים שנקטלים בספרד מטורבינות (ראה תרשים 6) הנמצאות על מדרונות ובפסגות הרים באתרים בהם הנשרים מנסים להמריא⁵⁵. המקרה של ספרד הוא קיצוני במיוחד. בדוח שנכתב ב- 2001 הוערך (בהערכת חסר) ש-6450 ציפורים נקטלו מלהבי טורבינות רוח ב-4 חוות רוח בנוורה בשנה אחת, בממוצע של בין 3.5 ל 64 ציפורים מתות לטורבינה לשנה (בכל חווה בין 33 ל-145 טורבינות). בסיכום הדוח שנכתב על ידי הממשלה המקומית שונו המספרים לכדי 135 מקרי מוות בשנה בלבד (בסתירה גמורה לדוח עצמו)⁶¹. הדיווח היה בהערכת חסר ממשית עקב פעילות גבוהה ביותר של אוכלי נבלות וחוסר יכולת לדגום את כל שטח החוות, במיוחד בכמה מיקומים המועדים לפורענות. בין הציפורים המתות היו 409 נשרים מקראיים ו-24 מינים אחרים של דורסים מוגנים (בנוורה אוכלוסייה מקומית יציבה של נשרים מקראיים, כ-2800 זוגות מקננים⁶²). הדוח מציין שעופות דואים גדולים רגישים ביותר לטורבינות רוח עקב

סרבולם בהמראה ובנחיתה, ורבים מהם הפגינו תעופה המסכנת את חייהם בקרבת הטורבינות.



תרשים 6: פגרי נשרים מקראיים שנחתכו באוויר על ידי טורבינת רוח בספרד מתוך ⁶³.

בביקורת אינטרנטית על דוח זה הוערך כי עם הרצון להגדלת מספר חוות טורבינות הרוח בספרד והתשתיות הנלוות להם, צפויים 500,000 מקרי מוות של ציפורים בכל שנה כתוצאה מהתנגשויות, ובכלל במערב אירופה צפויים לפחות 2 מיליון מקרי מוות כתוצאה מהתנגשות אם יגדילו את החוות על פי התוכניות ⁶¹.

במקרים רבים עולה הטענה כי טורבינות רוח קוטלות פחות ציפורים בהשוואה לגורמי מוות אחרים כגון בניינים גבוהים, חתולים וקווי חשמל. טענה זו אינה מתחשבת בכמה עובדות: מספר הטורבינות נמצא בעלייה מתמדת, דבר המגדיל את קצב התמותה כתוצאה מהתנגשויות. חתולים וחלונות של בניינים קוטלים בעיקר ציפורים קטנות ובעיקר בתוך ובשולי הערים, ואינם הורגים נשרים, חסידות ועופות דואים אחרים. מעבר לכך, ככל שיהיו יותר חוות רוח יהיו גם יותר קווי חשמל הקוטלים בעצמם מספר גבוה של ציפורים, וחסימה רחבה של שטחי תעופה בתשתיות תגביר עוד יותר את התמותה, לאו דווקא באופן לינארי. לבסוף,

הדאגה האמתית היא ההשפעה המצטברת של כל הגורמים יחדיו. פירוט מלא של ההשפעות המצטברות, ראו להלן בפרק 3.

2.2.1.1.1 השפעת התמותה על האוכלוסייה

קשה לחזות השפעה של תמותה מתמשכת על גודל האוכלוסייה כולה. מודלים המעריכים תמותה מנסים לחזות תמותה בעתיד על פי נתוני ההווה⁶⁴. כמובן שכל הערכה שכזו חייבת להתבסס על בסיס נתונים רחב ככל האפשר ובמקרים רבים בסיס נתונים זה אינו קיים. במחקר בקנדה העריכו כי למרות מספרי תמותה גבוהים, פחות מ-0.2% מאוכלוסיות העופות מושפעות מטורבינות רוח⁵⁷. הציפורים המושפעות יותר יהיו כאלו שהן נדירות יותר, חשופות יותר לפגיעת להבי הטורבינות, וחשופות להשפעות שליליות נוספות. מחקר על אוכלוסיית רחם בספרד מראה כי בכדי לעצור את ההידרדרות בגודל האוכלוסייה יש להקטין את מספר מקרי ההרעלות, לשלוט בכמות ובמיקום טורבינות הרוח הקטלניות, ואף להוסיף צעירים לאוכלוסייה ממקומות אחרים⁶⁵. ניתן להסיק כי ההשפעה בישראל תהיה תלויה במיקום הטורבינות ובסוגן, ותשפיע בעיקר על ציפורים המועדות להתנגשות ועל אוכלוסיות ציפורים בסיכון שרבייתן איטית.

טבלה 5: מספר העופות הנהרגים בחוות רוח באירופה

מספר העופות הנהרגים לכל טורבינה מדי שנה במבחר חוות רוח באירופה. עופות מתים נאספו לפחות בעונה אחת. המספרים הותאמו להבדלים בין סוקרים, לתנאי הסקר, ולמספר הפגרים שסולקו מהשטח על ידי אוכלי נבלות בין ימי הסקרים. לפיכך, הערכת העופות המתים בטבלה גבוהה מכמות הפגרים שנמצאה בפועל⁵⁵.

Name of wind farm	Location	No. of turbines	Fatality rate	References
Belgium				
Oostdam	Wetland	25	21.0	Everaert & Kuijken 2007
Boudewijnkanal 1	Wetland	14	26.0	Everaert & Kuijken 2007
Boudewijnkanal 2	Wetland	7	43.0	Everaert & Kuijken 2007
Te Schelle	Wetland	3	12.0	Everaert & Kuijken 2007
Gent 1		11	7.0	Everaert & Kuijken 2007
Gent 2		2	2.0	Everaert & Kuijken 2007
Nieuwkapelle		2	1.0	Everaert & Kuijken 2007
The Netherlands				
Jaap Rodenburg	Fields*	10	20.0	Krijgsveld et al.2009
Waterkaapocht	Fields*	8	39.0	Krijgsveld et al.2009
Groettocht	Fields*	7	20.0	Krijgsveld et al.2009
Osterbierum	Grassland	18	1.8	Winkelman 1992a
Kreekraak sluice	Wetland	5	3.7	Musters et al. 1996
Urk	Wetland	25	1.7	Winkelman 1989
Great Britain				
Blyth harbour	Grassland	9	19.0	Newton & Little 2009
Bryn Tytli	Grassland	?	0.0	Philips 1994
Burgar Hill, Orkney	Grassland	?	0.2	Percival 2000
Haverigg Cumbria	Grassland	?	0.0	Percival 2000
Ovenden Moor	Grassland	?	0.04	Percival 2000
Cemmaes	Grassland	?	0.04	Percival 2000
Germany				
Bremerhaven	Wetlands	?	9.0	Scherner 1999b
Denmark				
Tjaereborg	Wetlands	?	3.0	Pedersen & Poulsen 1991
Sweden				
Näsudden	Forest		0.7	Percival 2000
Norway				
Smøla	Heath	68	0.4	Bevanger et al. 2009
Spain				
Salajones	Ridge	33	21.7	Leukona 2001
Izco-Albar	Ridge	75	22.6	Leukona 2001
Alaiz	Ridge	75	3.6	Leukona 2001
Guerinda	Ridge	145	8.5	Leukona 2001
El Perdon	Ridge	40	64.3	Leukona 2001
Basque Country		40	6.0	Onrubia et al. 2002
PESUR, Tarifa	Ridge	190	0.07**	de Lucas et al. 2008
E3, Tarifa	Ridge	66	0.04**	de Lucas et al. 2008

* large scale daily movements of birds from the fields to nearby wetlands occurred

** only large birds were sampled; this figure is not used to calculate averages

? the number of turbines in the park was not provided in the report

טבלה 6: מספר העופות הנהרגים בחוות רוח בצפון אמריקה

מספר העופות הנהרגים לכל טורבינה מדי שנה במבחר חוות רוח בצפון אמריקה. עופות מתים נאספו לפחות בעונה אחת. המספרים הותאמו להבדלים בין סוקרים, לתנאי הסקר, ולמספר הפגרים שסולקו מהשטח על ידי אוכלי נבלות בין ימי הסקרים. לפיכך, הערכת העופות המתים בטבלה גבוהה מכמות הפגרים שנמצאה בפועל⁵⁵.

Name of wind farm	Location	No. of turbines	Fatality rate	References
Eastern USA				
Searsborg	Mountain	11	0.0	Kerlinger 2002
Maple Ridge 1	Grassland	120	3.9	Jain et al. 2007
Casselman	Mountain	23	4.7	Arnett et al. 2009
Meyersdale	Mountain	20	0.9	Kerns et al. 2005
Mountaineer	Mountain	44	2.6	Kerns & Kerlinger 2004
Buffalo Mountain 1	Mountain	18	1.8	Fiedler et al. 2007
Somerset County	Ridge	8	0.0	Kerlinger 2000
Central USA				
Buffalo Ridge 1	Grassland	733	0.9	Johnson et al. 2003a
Buffalo Ridge 2	Grassland	143	2.3	Johnson et al. 2004
Buffalo Ridge 3	Grassland	138	4.4	Johnson et al. 2004
Lincoln	Fields	31	1.3	Howe et al. 2002
Top of Iowa	Fields, wetland	98	0.6	Koford et al. 2004
IDGWP	Ridge	3	0.0	Erickson et al. 2001
Western USA				
Judith Gap	Pass, grassland	90	4.5	TRC 2008
Klondike	Fields	16	1.4	Johnson et al. 2003b
Vansycle	Grassland	38	0.6	Erickson et al. 2000
Stateline	Grassland	454	1.9	Erickson et al. 2003a
Foot Creek Rim	Grassland	69	1.5	Young et al. 2003
Nine Canyon	Grassland	37	3.6	Erickson et al. 2003b
High Winds	Grassland	90	2.3	Kerlinger et al. 2006
Altamont	Pass, grassland	1526	0.8	Smallwood et al. 2006
Diablo Winds		31	1.2	WEST Inc. 2006
San Geronio	Ridge	2947	2.3	Erickson et al. 2001
Canada				
McBride Lake	Fields, grassland	114	0.4	Brown & Hamilton 2004
Magrath		20	2.6	Brown, cited in Barclay 2007
Summerview	Fields	39	1.9	Brown & Hamilton 2006b
Cypress		16	1.4	NE Ltd. 2004
Pickering	Lake shore	1	4.0	James 2003

2.2.1.2 הרס בית הגידול

הרס בית הגידול כתוצאה מתהליך בניית חווה בודדת לרוב לא יהיה מסיבי, כך שדחיקת הציפורים משטח החווה עצמה לא תעשה משטח גדול, וכתלות באזור הספציפי ההשפעה לרוב לא צפויה להיות הרת אסון. ההשפעה המשנית של דחיקה משטח רחב מסביב לחוות הטורבינות הינה חמורה יותר ועלולה להשפיע על כל אורחות חייהן של הציפורים⁵⁵. ההשפעה וחומרתה יהיו תלויות בחשיבות בית הגידול שאבד עבור הציפורים והדחיקה עשויה לחשוף אותם לתחרות מוגברת, ירידה בזמינות מזון, חשיפה לטורפים וכדומה. בנוסף, חווה שמוקמת באזור טבעי לחלוטין תצריך פריסת תשתיות חדשה אשר עשויה לקטוע בתי גידול ולחלק אותם לחלקים קטנים, דבר שכפי הנראה יסב יותר נזק מאשר חוות הטורבינות עצמה⁵⁵. לאיבוד בית הגידול כתוצאה מכך שציפורים יימנעו מלגשת לאזור הטורבינות השפעה גדולה יותר עקב שטח פוטנציאלי גדול שהעופות נמנעים מלשהות בו. מחקר קנדי מעריך כי 3000 הטורבינות במדינה גרמו להרס אתרי קינון של כ- 5700 זוגות עופות⁵⁷. עוד על כך ראו בפירוט בפרק 3.

2.2.1.3 קיטוע בית הגידול

קיטוע בית הגידול ויצירת מחסומים, יחד עם התנהגות של הימנעות מקרבה לחוות הרוח, מורידים אמנם את סיכויי ההתנגשות, אך עשויים להוביל לשינוי אורחות התעופה למסלולים עוקפי חוות. מסלולים אלו דורשים השקעת אנרגיה רבה יותר ועשויים להביא לפגיעה בבריאות העופות. אם מדובר בסביבה הקרובה ובמסלולים קצרים, זה אולי עניין של מה בכך, אך אם מדובר בעופות העוברים דרך ארוכה או בעופות הנמצאים בנדידה, אז תוספת האורך למסלול עשויה להיות משמעותית אם יש מספר רב של חוות בדרכם⁵⁵. שינוי מסלול הנדידה אף עשוי להרחיק ציפורים ממקורות מזון ומים. בישראל, מקורות אלו מצומצמים גם כך, והרחקה פוטנציאלית של ציפורים נודדות מאתרי מנוחה, שיחור מזון ושתייה עשויה להזיק מאד.

2.2.2 השפעות פרטניות

עקב הבדלים מהותיים בהתנהגות בין מיני הציפורים, ומכיוון שלהתנהגות הספציפית של המין יש השלכות על ההשפעה של הטורבינות על הציפורים, חילקנו את התייחסותנו לנושא לשלושה חלקים. בראשון נתייחס לציפורים שונות באזורי קינון ומנוחה וההשפעה של שלבים שונים בפעילות החווה, בשני לעופות דורסים ובשלישי לעופות במהלך נדידה שנתית.

2.2.2.1 ציפורי שיר, חופמאים ואווזים באתרי קינון ומנוחה

2.2.2.1.1 השפעות במהלך בניית חוות טורבינות רוח

נמצאו השפעות חיוביות ושליליות של שלב הבנייה על ציפורים. מספר מינים נדחקו החוצה מאתר הבנייה^{66, 67}, בעוד מינים אחרים נמשכו לאתר⁵². בנוסף, קיימים מספר דיווחים על השפעות רחבות היקף של רעש בנייה, קידוחים ופעילות האדם על פעילות רבייה של שכוים, ותוצאות של הקטנה בפועל של הצלחת הרבייה בעקבותיהם⁶⁸. אמנם דיווחים אלו אינם לגבי בנייה ספציפית של חוות רוח, אך סביר שפעילות אנושית תעשייתית, ובכלל זה הקמת טורבינות רוח, תשפיע באותה מידה.

הקטנת שטח בית הגידול כתוצאה מתשתיות הקשורות בבנייה אינה עניין של מה בכך⁶⁹ אך אבדן שטחי הקינון הינו קטן ביחס לפעילויות אחרות הפוגעות בבית הגידול כמו יערנות, חקלאות וכרייה⁵⁷.

2.2.2.1.2 השפעות התפעול

אמנם טורבינות רוח אינן תופסות מקום פיזי רב אך הן עשויות לגרום לבעלי חיים לעבור מקום או להימנע ממקום כלשהו. הימנעות מאזור מסוים תפגע באיסוף מזון או בבחירת אתרי קינון ותגרום לירידת בערכיות בית הגידול⁷⁰. בבריטניה לא נראתה השפעה על ציפורים חורפות כתוצאה מתפעול חוות הרוח, אך עופות גדולים יותר ומוגבלי תנועה, כדוגמת פסיונים, נצפו פחות באזורים אלו, כלומר נמנעו מהחוות⁷¹. במינים הנמנעים מקרבה לטורבינות נמדד טווח הימנעות של 100-800 מטרים, שגרר ירידה בצפיפות קינון של 50%⁷². בארה"ב נמצא שרוב מיני הציפורים המקננות נמנעו מאתר טורבינות לטווח של עד 300 מטרים, וכן שהתנהגות זו נצפתה לאורך 5 שנים לאחר הקמת הטורבינות⁷³. מין אחד מתוך 15 המינים שנסקרו במחקר (מהסוג חופמי) הפגין משיכה לאזור הטורבינות מפני שהוא מעדיף אזורי חצץ לקינון ונמשך לדרכים המובילות לטורבינות. לעומת זאת, יש מספר מחקרים אשר לא מצאו סימוכין לפגיעה באוכלוסיות או ברבייתן^{74, 75, 76}.

2.2.2.1.3 דינמיקה תוך שנתית וספציפיות מינית

ההשפעה על עופות קשורה בין השאר להתנהגות של המין ולאופן השימוש בבית הגידול (מנוחה, רבייה, או שיחור אחר מזון). ייתכן וההשפעה באזורי מנוחה חזקה יותר מאשר באזורי רבייה בהם הציפורים נשארות באזור הקן^{52, 77}. עם זאת, ייתכן וציפורים יכולות למתן את ההשפעה על ידי חיפוש אתרים אלטרנטיביים². שינוי אתר חיפוש המזון יכול להיחשב כהעתקה חלקית של אזור המחיה⁵².

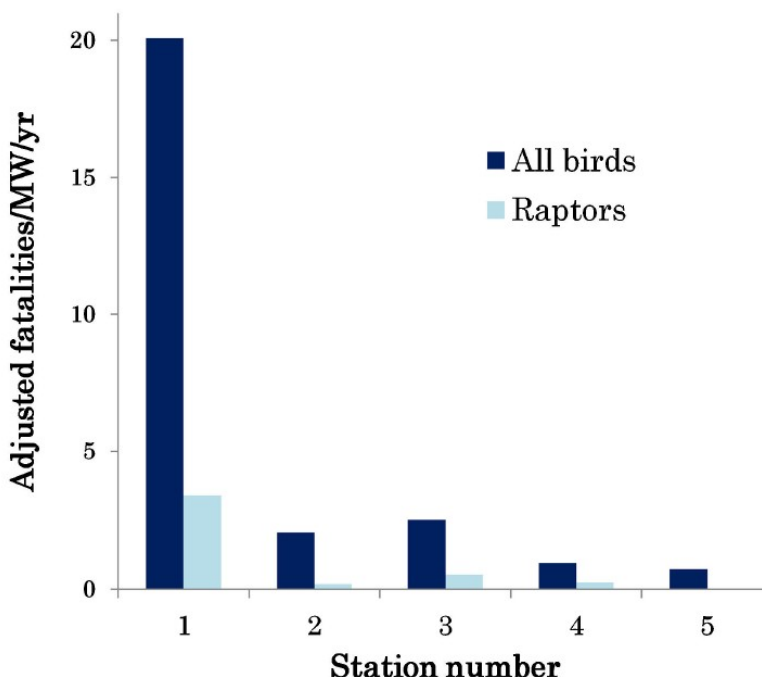
מספר העופות הנפגעים מהתנגשויות הינו גבוה בעיקר במיני העופות השכיחים באזור^{57 78}. אף על פי כן, בעופות שכיחים כנראה שלא תהיה פגיעה באוכלוסייה עצמה מפני שהיא גדולה מספיק, אבל בתחזיות לטווח ארוך המבוצעות באמצעות מודלים ממוחשבים השוקלים את הרס בתי הגידול יחד עם עליה בצפיפות הטורבינות באזור, ניתן לראות עלייה גדולה בעצמת ההשפעה על זוגות מתרבים עד לקטילת 4% מהם⁷⁹. המינים שנפגעו לא הראו סימני הימנעות מאזור הטורבינות⁷⁸. מינים ליליים או מינים בעלי תעופה מהירה כמו ברווזים אינם מראים התנהגות של הימנעות מהאזור ולפיכך קצב התמותה של מינים מסוימים יהיה גדול יותר. גובה התעופה גם הוא גורם חשוב ברמת הסכנה ויש מינים אשר עפים מהר אך נמוך מספיק ובכך יינצלו מפגיעה⁸⁰.

מינים שוכני קרקע כדוגמת שכוים אינם מגביהי עוף וסכנת ההתנגשות שלהם עם להבי הטורבינות קטנה ביותר^{81 82}. יש לציין כי נרשמו התנגשויות של מיני שכוים שוכני עשב בעמוד הטורבינה עצמו^{83 84}. ייתכן גם ומינים שוכני עשב יימנעו לחלוטין משהיה ליד טורבינות בחשש שעצמים גבוהים אלו ישמשו כעמדת תצפית לעופות דורסים⁸⁵.

שטחי הטורבינות יכולים להוות מחסום עבור ציפורים שעפות מדי יום מאזורי מנוחה ורבייה לאזורי שיחור מזון. עיקר הדאגה היא לציפורים שעפות מרחק גדול ולעיתים תכופות כגון אווזים, עגורים וחופמאים⁷⁷. שינויי נתיבי תעופה, בזבז אנרגיה והתנגשויות של עופות המבצעים תעופה יממתית לא נחקרו מספיק. מספר מועט של מינים (שחפים, ברבור בוויק וקיווית מצויצת) נמנעים מטורבינות בודדות תוך כדי תעופתם^{52 86 87}, אך ברוב המינים לא נצפתה התנהגות שכזו^{52 72}. עם חלוף העונה והירידה במזון בשטחי השיחור ניתן לראות התקרבות של מינים מסוימים כמו ברבור בוויק לשטחי הטורבינות⁸⁶. כמו כן במינים מסוימים נצפו הבדלים בהתנהגות בשלבי חיים שונים (לדוגמה קיווית מצויצת)⁵². סיכון מוגבר להתנגשות בלהבי טורבינות קיים במינים אשר מראים התנהגות ספציפית לזווית כגון תעופת-שירה של עפרוני שדה⁸⁸.

2.2.2.1.4 השפעות הקשורות לסביבת האתרים

ההבדלים הגדולים בתוצאות מחקרים על אותם מינים במקומות שונים מדגישים את חשיבות האתר עצמו ומאפייניו לקביעת רמת הסיכון של טורבינות הרוח או החווה. התבליט והתכסית במקום יהיו בעלי השפעה גבוהה על התנהגות הציפור, ובעקבות כך גם על רמת הסיכון בו תימצא⁸⁹.



תרשים 7: הערכת תמותת עופות למגה-וואט לשנה בחמש תחנות ביון

תחנה 1 ממוקמת ליד טורבינות על מצוק חופי, תחנה 2 על רכס (>200 מטרים מהחוף), תחנה 3 על גבעות חופיות, תחנה 4 בתחתית עמק, תחנה 5 על רכס קילומטר וחצי מהחוף. מתוך ⁸⁷

גורמים הכוללים דינמיקה תוך שנתית ויחס לאתר מסוים עשויים להשפיע על תוצאות מחקרים ולגרום לתוצאות שונות, ואף סותרות, באתרים שונים. לדוגמה, במחקר אחד, אוכלוסיות דוגרות של חרמשון גדול צוינו כרגישות מאד לטורבינות ובעלי מרחק הימנעות של 800 מטרים ⁷⁰. אך במחקרים אחרים נצפו מרחקים קצרים בהרבה של 50 מטרים ^{52 76}. כנראה שלגורמים אחרים, כגון שימוש בבית הגידול, שכיחות טרף ומזג האוויר (למשל רוחות, ערפל או עננים נמוכים) יש השפעה גדולה יותר על שכיחות ציפורים מאשר מרחק מהטורבינות ^{52 53 72 74}. חלק מהחוקרים משערים כי עופות המורגלים בנוכחות אדם והשפעותיו יהיו רגישים פחות לטורבינות רוח מאשר עופות החיים באזורים טבעיים יותר ⁷².

2.2.2.1.5 השפעות חוות הטורבינות, תכנונה ומאפייני הטורבינות עצמן

מבנה הטורבינות ותכנון האתר (גובה ורוחב המגדל, אורך הלהבים והשטח אותו הם תופסים) משפיעים על תפיסת הציפור את תא השטח. הציפורים עשויות להימנע מכניסה לאזור בו יש מבנים גבוהים שעשויים לשמש אתרי תצפית לעופות דורסים. וכן מושפעים מגובה המגדל והרוטור ⁵². נצפו הבדלים בין ציפורים ברבייה אשר לא מושפעות מגובה המגדל בעוד ציפורים בשטחי מנוחה מגדילות את מרחק ההימנעות על פי גודל המגדל ⁹⁰. במחקר אחד נמצא כי כל

ההתנגשויות עם הטורבינות אירעו בטורבינות בעלות צבע אחיד - לבן או אפור, ואילו בטורבינות שהיו צבועות בתחתיתן בצבע ירוק שהתמזג לאיטו לתוך הצבע בחלק העליון מעלה לא היו התנגשויות⁵². צבעי הלבן והאפור גם מושכים יותר חרקים מאשר צבעים כמו סגול למשל, ואולי משיכת חרקים יכולה להסביר את המשיכה של ציפורים שונות ועטלפים לטורבינות⁹¹ למיטב ידיעתנו, לא נעשה מחקר המשך בכיוון זה של השפעת הצביעה על התנהגות הציפורים.

תכנון החוות וסידור הטורבינות במרחב גם הם משפיעים על רמת ההפרעה לציפורים. סידור לינארי משפיע פחות מאשר סידור בקבוצות קטנות ועוד פחות מסידור פזור על פני שטח נרחב. כמו כן, סידור לינארי בצמידות לתשתיות אחרות גם הוא מקטין את החתימה הספציפית של הטורבינות בנוף⁶⁹.

גובה הטורבינות השפיע בחלק מהמחקרים ובאחרים לא, ולפיכך כנראה שגם השפעתו תלויה באתר הספציפי ובגורמים נוספים. מהירות גבוהה של תנועת הלהבים עשויה ליצור מראה שווא של מריחה של הלהבים ואי-יכולת של הציפורים לקלוט שהם נמצאים בתנועה. פיזור הטורבינות במרחב, בטור או בניצב לנתיבי תנועה וכן ליד טופוגרפיה מיוחדת או תכסית המשמשת עופות, עשויה גם היא להשפיע על מידת הסכנה לעופות⁵³. תאורה על גבי הטורבינות עשויה למשוך ציפורים, בעיקר בלילה במזג אוויר גרוע, ולגרום להתנגשויות לא רצויות^{53 92}.

בניתוח המחקרים יש לזכור כי גורמים רבים עשויים להשפיע על תוצאות מחקרי התנהגות. למשל שיטות מחקר שונות, חוסר יכולת להשוות אתרים בצורה סטטיסטית וכן שינויים בשימושי קרקע במשך זמן המחקר. רוב המחקרים נמשכים רק 1-3 שנים ויש השפעות שניתן למדוד רק לאורך זמן רב יותר^{52 93}. ישנם עופות כדוגמת האווז (*Anser pink-footed goose*) ו-*brachyrhynchus* אשר לאחר תקופה ארוכה יתרגלו לנוכחות הטורבינות, יתקרבו אליהן ואפילו ירעו בינות לעמודים⁹³. מצד שני, המשך התפתחות חוות טורבינות רוח עשויה בהחלט ליצור השפעות מצטברות על אוכלוסיות ציפורים⁹⁴.

2.2.2.2 עופות דורסים ועופות דואים אחרים

מחקרים שונים הראו כי עופות דורסים מועדים במיוחד להתנגשות עם להבי טורבינות רוח^{95 96}. עם זאת, בסינתזה של מחקרים אירופיים דווח על קצבי תמותה נמוכים יחסית^{97 98 99 100 101 102}. למרות קצבי תמותה יחסית נמוכים, ואחוזים נמוכים של דורסי יום מסך העופות המתים¹⁰³, עדיין נחשבות אוכלוסיות העופות הדורסים לרגישות ביותר למקרי מוות מטורבינות רוח. חייהם הארוכים וקצבי רבייה אטיים מקשים עליהם לאזן תמותה עודפת מטורבינות רוח^{104 105 106 104}. באתרים מסוימים מדווחים על מקרי מוות רבים, למשל בספרד מדובר בכ-2000 נשרים מתים

בשנה ⁵⁵ שהם כ-2.5% מהאוכלוסייה המקומית ⁶². **הסיבה שעופות דורסים נוטים להתנגש בלהבי הטורבינות היא כנראה שילוב מורכב של התנהגויות אתר-מין-עונה ספציפיים.**

2.2.2.2.1 שכיחות מינים ופעילות תעופה

סיכון גבוה להתנגשות קיים בעיקר בזמן ובמיקום בהם שכיחות הדורסים גבוהה ^{107 108 99 109}. אזורים של מסדרונות תעופה הנוצרים בעקבות טופוגרפיה לינארית ומסדרונות רוח, תחומי רבייה ואזורי שיחור לטרף הם אזורים בעלי פעילות תעופה עמוסה ^{104 98 99 110 111}. יש לצין כי מספר חוקרים לא מצאו קשר בין שכיחות הדורסים וקצב מקרי תמותה ^{112 113}.

2.2.2.2.2 התנהגות בתעופה ותמרון

צורת התעופה של דורסים מסוימים קשורה כפי הנראה לסיכון. דאייה תוך חיפוש מזון, כמו אצל דיה ועקב, מציבה אותם לזמנים ממושכים בקרבת להבי טורבינות. בבזים, הריחוף במקום, בעיקר ברוחות חזקות, ומתן תשומת הלב לחיפוש טרף, עשויים להיות הגורמים להיפגעות מלהבי הטורבינות במינים אלו. שהייה באזור עם רוחות חזקות חושפת את הציפור למשבי רוח פתאומיים וחזקים אשר עלולים להכניס אותה לתחום הלהבים, בעיקר אם תשומת ליבם מופנית לשיחור אחר מזון ⁵³. בעופות הגדולים, התנהגות הדאייה ותפיסת זרמי אוויר תוך כדי סיבוב מגדילה את כמות האינטראקציות בין הטורבינות לדורסים ^{101 97}. דורסי יום עפים בקרבה ללהבי הטורבינות לאורך זמן בעת שיחור אחר טרף ¹⁰¹. עקב גודלם והעומס על הכנפיים, עופות דורסים דואים למעלה מ-90% מזמן תעופתם וכמעט ולא מנופפים בכנפיהם בכדי לחסוך באנרגיה ⁹⁶. צורת תעופה זו מורידה את יכולת התמרון ^{95 101} וגוררת תלות במזג האוויר ובעיקר בזרמי אוויר עולים המושפעים מצידם מהטופוגרפיה ומהטמפרטורה בקרבת הטורבינות ^{104 114}. ¹¹⁵ תכונות אלו מצביעות על כך שהסיכון להתנגשות עשוי לעלות עקב נוכחות זרמי אוויר עולים, חלשים יחסית, כשהטמפרטורות נמוכות. בנוסף, הסיכוי להתנגשות עולה בקרבת שיפועים ופסגות, כאשר הדורסים מנצלים זרמי אוויר העולים כתוצאה מהטופוגרפיה. בשני המקרים העופות הדורסים עפים בגובה נמוך ובאזור הלהבים המסתובבים ^{104 114}. לפרטים צעירים של עיט זהוב יש סיכוי כפול מהבוגרים לעבור רכס בגובה נמוך, עובדה שתסכן אותם אם תהינה שם טורבינות רוח. התנהגות זו הייתה תלויה בכמות העיטים שעברו באזור ובטמפרטורה, כיוון שמזג אוויר קר גורם לתעופה נמוכה ¹¹⁶. צורת תעופה נמוכה זו מסכנת מינים מקומיים יותר מאשר מינים נודדים ¹⁰⁴.

2.2.2.2.3 התנהגות תעופה עונתית

פעילות התעופה, יחד עם הסיכון להתנגשות, מושפעים מהתנהגות עונתית ושינויים תוך-שנתיים בשכיחות מקומית^{107 108 114}. פעילות התעופה פוחתת בעונת הרבייה בעוד היא עולה בזמן הבקיעה והאכלת הגוזלים, יציאה לנדידה השנתית ופעילות בזוגות^{114 117}. קיימת עליה בתמותה בסתיו ובחורף כאשר העופות עפים קרוב יותר לטורבינות¹⁰⁷. תקופת הנדידה גם היא תקופה מסוכנת הגובה קורבנות רבים יותר¹¹⁸. לעומת זאת במינים כגון עיטם לבן זנב נצפתה עליה בפעילות תעופתית ובהתנגשויות רבות יותר בתקופת הרבייה¹¹⁰.

2.2.2.2.4 זמינות מזון ושיחור לטרף

חוות טורבינות רוח ממוקמות לרוב בשטחי חקלאות פתוחים החביבים על דורסים לציד^{105 117}. החוות עשויות להגביר זמינות טרף בתחומן ולמשוך בכך עופות דורסים. ייתכן כי נוכחות פרות בשטחי הטורבינות ודישונם את הקרקע יוצרים בית גידול עשיר במיוחד במזון. באזורים בהם זמינות המזון גבוהה בקרבה לטורבינות תהיה התמותה גבוהה יותר¹¹⁸. ייתכן והתמותה הגבוהה נגרמת מבילוי זמן ממושך יותר בקרבת הטורבינות או חוסר תשומת לב לטורבינות בזמן הציד^{109 120}.

2.2.2.2.5 אינטראקציות תוך- ובין-מינית

אינטראקציות חברתיות שונות יכולות להוביל לחוסר תשומת לב ולהגברת מקרי מוות, בעיקר בעונות בהן ההתנהגות החברתית עולה בקרב עופות בוגרים^{96 105 109 114 121 122}. כמו כן, עופות צעירים יכולים גם הם להיפגע, אם בגלל חוסר ניסיונם ואם בגלל שעופות בוגרים טריטוריאליים רודפים אחריהם לתוך שטח הטורבינות^{96 123}.

2.2.2.2.6 הימנעות מהטורבינות

החוקרים חלוקים ביניהם בקשר לשאלה האם עופות דורסים נמנעים אקטיבית מטורבינות רוח. יש מחקרים המראים פעילות דורסים דומה מחוץ לאזור חוות הרוח ובתוכן^{96 110}, בעוד מחקרים אחרים מראים הימנעות ברורה המושפעת מטריגר ויזואלי, למשל תעופה בדיוק בקו האמצע בין חוות^{112 124} או התאמת הקרבה לטורבינות על פי שלבי ביצוע הקמת החווה, על פי עצמת הרוח¹²⁴, בהתאמה למהירות סיבוב הלהבים ולצפיפות הטורבינות^{101 118}. מחקר באיטליה הראה ירידה של 50% בתצפיות דורסים לאחר הקמת חוות הרוח, בעיקר בקרבה לטורבינות ובגובה נמוך, אך ההשפעה נצפתה לטווחים של לפחות קילומטר מהטורבינות וגם בגובה של מעל 100 מטרים¹²⁵. יש הטוענים שמינים מסויימים של עופות דורסים נמשכים לטורבינות¹⁰¹.

עובדות אלו מובילות להערכה כי קצבי התמותה וההשפעה על אורח החיים תלויים בסביבת הטורבינה, אופי פעילותה, ואף עיצובה. כמו כן, מאוסף התוצאות ומשונותן, ניתן להסיק כי הימנעות מהטורבינות תלויה גם במין הציפור. רבים הדורסים המפגינים התנהגות של הימנעות מהטורבינות עצמן ומהסביבה בכלל, ובשל כך סכנת המוות מפגיעה נמוכה יחסית. ישנם מינים מעטים אשר רגישים לטורבינות, כדוגמת העקב (*Buteo jamaicensis*) **red-tailed hawk**, שנקטל בכמויות יחסית גדולות באזורי טורבינות, והנשר (*Cathartes aura*) **turkey vulture**, המפגינים התנהגות תעופה מסכנת וחוסר הימנעות מסביבת הטורבינות¹¹².

2.2.2.2.7 העתקת דורסים למיקום אחר ואיבוד בית גידול

העתקת מקום מחיה עקב טורבינות רוח עשויה להוריד את שכיחות הדורסים^{112 124} ואת צפיפות הרבייה¹⁰⁶. אולם יש מחקרים שלא נצפו בהם העתקה למיקום חדש או שינוי בדפוסי תעופה בתוך חוות הרוח ומחוץ לה^{96 100 124} ואף לא הבדלים משמעותיים בין התקופה לפני הבנייה ולאחריה¹²⁶. במינים מסוימים בהם נצפתה ירידה בכמות הדורסים לאחר סיום בניית הטורבינות, מייחסים זאת לעיתים לגורמים עקיפים כמו ירידה בצמחיה שעשויה להשפיע על מין כמו הבז המצוי¹²⁶. עם זאת, נמצאו מספר ראיות לנטישת קינים עקב בניית חוות רוח בקרבתם, לכן לא ניתן לפסול השפעות ברמת האוכלוסייה^{100 123}.

2.2.2.2.8 השפעות ארוכות טווח ומתווספות

ייתכן כי עופות דורסים מתרגלים לנוכחות טורבינות רוח, דבר שיכול גם לגרום להעלאת סיכון ההתנגשות¹²⁶. מצד שני מספר מקרי המוות יחסית קבוע ולא מראה על התרגלות, על זהירות או על סיכון מוגבר לאורך זמן⁵⁵. לצד הסכנות הישירות של התנגשות עם להבי הטורבינות ישנן סכנות עקיפות העשויות להשפיע ברמת האוכלוסייה המקומית כגון דילוג עונת רבייה כתוצאה ממות עופות בוגרים^{97, 99, 110}. אין לזלזל בהשפעות רבייה לא מוצלחת על אוכלוסיית הדורסים⁵⁵. בכמה מקרים חוקרים העריכו כי ירידה ברבייה מובילה לירידה בגודל האוכלוסייה וכי פיתוח של חוות רוח יוביל לפגיעה בשכיחות מינים מסוימים^{97, 99, 105}.

2.2.2.3 עופות נודדים

את העופות הנודדים נהוג לחלק לנודדי יום ונודדי לילה. נודדי היום הם בדרך כלל עופות דואים גדולים שצריכים להיעזר בזרמי אוויר חמים בכדי לעלות גבוה לצורך דאייתם. לפיכך עופות אלו מוגבלים ליום וכן ידאו בעיקר מעל היבשה שם יש זרמי אוויר מתאימים יותר. עופות אלו יוצרים נתיבי נדידה צרים יחסית לאורך נתיבים ישרים וברורים. לעומת זאת, ציפורים הנודדות בלילה,

כגון ציפורי שיר, ינדדו בחזית רחבה ואף יעופו מעל ימים גדולים כך שבדרך כלל לא ייכנסו לצוואר בקבוק.

מקובל לחשוב שבניית טורבינות רוח בנתיבי נדידה של ציפורים מעלה את הסיכון להתנגשות ועל כן יצאו כללים מנחים בנושא^{127 128}, בארה"ב הכללים הפדרליים קובעים כי בין הגורמים שיש לסקור לפני התכנית זה אתרי מנוחה בנדידה ומסדרונות נדידה^{129 130}.

הסיכוי של עוף מסוים להתנגש בלהבי טורבינת רוח עולה ככל שהזמן שהוא נמצא באזור הטורבינה עולה. לפיכך עופות הנמצאים בנדידה ויעברו טורבינה מסוימת רק פעמיים בשנה נמצאים תיאורטית בפחות סיכון מאשר עופות פעילים באזור הטורבינות לתקופה ארוכה⁵⁵. עם זאת, יש לזכור כי כמות הטורבינות שעוף עשוי לעבור בנדידתו היא גדולה, ותלך ותגדל עם התפתחות הענף. כמו כן, כמות הפרטים הנודדים היא עצומה, והתקבצותם בקרבת הטורבינות לשיחור אחר טרף או למנוחת לילה מעלה את הסיכוי למקרי מוות רבים^{118,131} ואכן במחקרים בארה"ב מדווח כי רוב התמותה שייכת לציפורי שיר בעונת הנדידה בלילה¹³². בזמן התעופה עצמה רוב מיני העופות הדורסים עפים בגבהים בהם רוב הטורבינות אינן מהוות סיכון. אבל, כאשר הם מנמיכים למנוחה, לשתייה או לחיפוש מזון, פגיעותן עולה וכן פגיעותן רבה בשעת ההמראה, בעיקר כאשר תנאי הדאיה אינם מושלמים. בנוסף, הטורבינות המסחריות הולכות וגדלות ויש כאלו המגיעות גם לכ-200 מטר גובה (למשל ENERCON E-126¹³³). בגובה זה, הטורבינות מתחילות להוות סכנה ממשית לרבים מהעופות הנודדים גם במסלול התעופה היומי. ציפורים הנודדות בלילה עשויות לנדוד בגבהים נמוכים יותר ואף נמצא כי בתחילת עונת הנדידה רובן יתרכז ברצועה צרה עד 500 מטרים גובה¹³⁴. ציפורים הנודדות בגובה נמוך חשופות כמובן הרבה יותר לסכנות של טורבינות, ובעיקר בלילה הסכנה עולה. באתר במדינת ניויורק נמצא כי 80% מ-1151 הציפורים שנקטלו היו נודדי לילה¹³⁵.

בישראל דווח שהמינים העיקריים נודדים בגבהים מעל 340 מטרים¹³⁶ ובדרך כלל רוב המסה של הנדידה מתבצעת בין 250-400 מטרים¹³⁷, אך ייתכן שאף נמוך יותר עקב מגבלות המכ"ם שערך את המחקר. בשנים האחרונות עם התרבות סקרים הבוחנים את גובה התעופה מתברר שאחוזים ניכרים מהעופות הנודדים בישראל נמצאים בסכנה מהטורבינות, ועל כך נרחיב בתת-הפרק על ישראל בהמשך.

במספר אזורים המשמשים לנדידה (למשל מעבר האלטמונט בקליפורניה) נצפתה תמותה עודפת של ציפורים בגלל התנגשות בלהבי טורבינות¹¹⁸ (דוגמאות בטבלה 8). הכמויות הם אלפי עופות בשנה לחווה. אך יש גם עדויות לכך שעופות דורסים נודדים, ממינים אחרים, נמנעים לטוס מעל לשטחי חוות הטורבינות¹³⁸. יש לתת תשומת לב מיוחדת לאזורים אשר בהם

מתקבצים העופות בזמן הנדידה, אם ללינה ואם למציאת מזון. אזורים אלו יהיו רגישים ביותר למיקום טורבינות רוח.

טבלה 7: גובה התעופה של מינים הנוודים בלילה מתוך¹³⁴.

Altitudes of nocturnal bird migration according to various radar and tower mortality studies: *pas* – data for passerine spp., *sho* – shorebirds, *wfo* – waterfowl

Study	Locality	Birds	Altitude (m), comments
Able 1970	USA		< 915 – 75%
Adams 1962	USA	<i>pas</i>	900-1800, over water
Bellrose 1967	USA	<i>pas</i>	< 1500 – 50-100%
Bellrose 1971	USA	<i>pas</i>	150-310 – 50%
Gauthreaux 1972	USA	<i>pas</i>	244-488, over water
Gauthreaux 1991	USA	<i>pas</i>	< 500
Houghton 1964	USA	<i>pas</i>	≤ 1500
Williams <i>et al.</i> 1972a, b	USA	<i>sho</i>	1000-3000, over water
Williams <i>et al.</i> 1977	USA	<i>pas</i>	1000-2000, over water
Williams and Williams 1979	USA	<i>pas</i>	2000-3500, over water
Beason 1978	USA	<i>wfo</i>	500-2000
Crawford 1981a, b	USA	<i>pas</i>	< 380, tower mortality
Blockpoel and Burton 1975	Canada	<i>pas</i>	1400-3780
Blockpoel and Burton 1975	Canada	<i>wfo</i>	3780 (max)
Richardson 1972a	Canada	<i>pas</i>	< 610
Richardson 1972b	Canada	<i>sho</i>	1300 (average), over water
Richardson 1976	Canada	<i>sho</i>	2000-4000, over land and water
Richardson 1979	Canada	<i>sho</i>	2000 (average), 6650 (max)
Eastwood and Rider 1965	England	<i>pas</i>	< 760 – 80%
Bruderer and Liechti 1995	Israel	<i>pas</i>	< 1800 – 90%

טבלה 8. תמותת עופות מטורבינות רוח הנמצאות בנתיבי נדידה של עופות

אזור נדידה	מין הציפור	השפעה שנתית של החווה	מספר הטורבינות באזור	סימוכין
Altamont Pass, California	כוס המחילות (<i>Athene cunicularia hypugaea</i>)	<100 מתים	5400	Smallwood et al, 2007
the Isthmus of Tehuantepec, southern Mexico	קתרס תרנגולי (<i>Cathartes aura</i>) בונאפרטי (<i>Buteo swainsoni</i>) ועוד 25 מינים.	נמנעים לעבור מעל החווה	98	Villegas-Patraca et al, 2014
Maple Ridge NY	מינים נודדי לילה	<1100 עופות מתים, 80% מזה נודדי לילה	120	Aaftab et al. 2007
Tuscany, Italy	זרון וציפורים מקומיות רבות	ירידה דרסטית בתצפיות כ-50%	6	Campedelli et al, 2014
Buffalo ridge, Minnesota	בעיקר ציפורי שיר נודדות	631 מתים	?	Johnson, 2002

2.2.3 עופות בישראל

בישראל עושר מיני עופות גדול מאד ביחס לשטחה ונצפו בה, במהלך השנים, כ- 550 מיני עופות^{139, 140}.

הגורמים העיקריים לעושר במיני העופות הינם שישראל מהווה צוואר בקבוק בנתיב נדידת ציפורים בעל חשיבות עולמית¹⁴¹. לכל אורך המדינה, ישראל היא חלק מנתיב הנדידה יורו-אסיה למזרח אפריקה, נתיב הנדידה השני בחשיבותו בעולם (ראה תרשים 9). בנוסף לכך, ישראל כוללת מגוון אזורים ביוגיאוגרפיים כמו החבל הים תיכוני, החבל המדברי, אזורים הרריים ומישורים, ומאחדת עופות שמקורם בשלושת היבשות המשיקות בישראל.

2.2.3.1 מצב העופות בישראל

על פי אתר¹⁴² Birdlife International מתוך כ 386 מיני ציפורים הנפוצות בישראל, 314 הן ציפורים נודדות. מתוך שפע הציפורים, 14 מוגדרות בסכנה על פי IUCN ויש לנקוט במשנה זהירות בקרבן או באזורי מעבר שלהן (פירוט מינים אלו בטבלה 9).

טבלה 9. מינים הנמצאים בישראל אשר נמצאים בסיכון על פי ¹⁴².

שם	קטגוריה	מין
קיווית להקנית	CR	<i>Vanellus gregarius</i>
מגלן מצויץ	CR	<i>Geronticus eremita</i>
צחראש לבן	EN	<i>Oxyura leucocephala</i>
רחם מדברי	EN	<i>Neophron percnopterus</i>
בז ציידים	EN	<i>Falco cherrug</i>
קנית בצרה	EN	<i>Acrocephalus griseldis</i>
ברווז משוש	VU	<i>Marmaronetta angustirostris</i>
עזניית הנגב	VU	<i>Torgos tracheliotos</i>
עיט צפרדעים	VU	<i>Clanga clanga</i>
עיט שמש	VU	<i>Aquila heliaca</i>
שקנאי מסולסל	VU	<i>Pelecanus crispus</i>
בזבוז לבנון	VU	<i>Serinus syriacus</i>
יסעור מצוי	VU	<i>Puffinus yelkouan</i>
חברה מדברית	VU	<i>Chlamydotis macqueenii</i>

מבחינה מקומית מוכרים עשרות מינים הנמצאים במצב סכנה זה או אחר (טבלה 10). המינים בקטגוריות CR, EN, VU, הוגדרו בקטגוריות אלו בגלל שאוכלוסייתם מוגבלת בגדלה או ששטח המחיה הזמין מצומצם, או שהאוכלוסייה מראה מגמות של אוכלוסייה בהידרדרות. האיומים על אוכלוסיות העופות בישראל רבים. גורמי הסיכון העיקריים כיום הם הרס או שינוי מקומות החיות הטבעיים, שימוש ברעלים, התחשמלות, ציד והיפגעות על ידי רשתות בשימוש חקלאי ¹³⁹.

טבלה 10: קטגוריות הסיכון של מיני העופות המקננים בישראל לא כולל מינים גרים. מתוך ¹³⁹.

DD	LC	NT	VU	EN	CR	RE* (as breeder)	RE	Total
חסר מידע	לא בסיכון	בסיכון נמוך	עתידי בסכנה	בסכנת הכחדה	בסכנת הכחדה חמורה	נכחד כמקנן	נכחד באזורינו	סה"כ
14	82	56	16	8	15	11	4	206

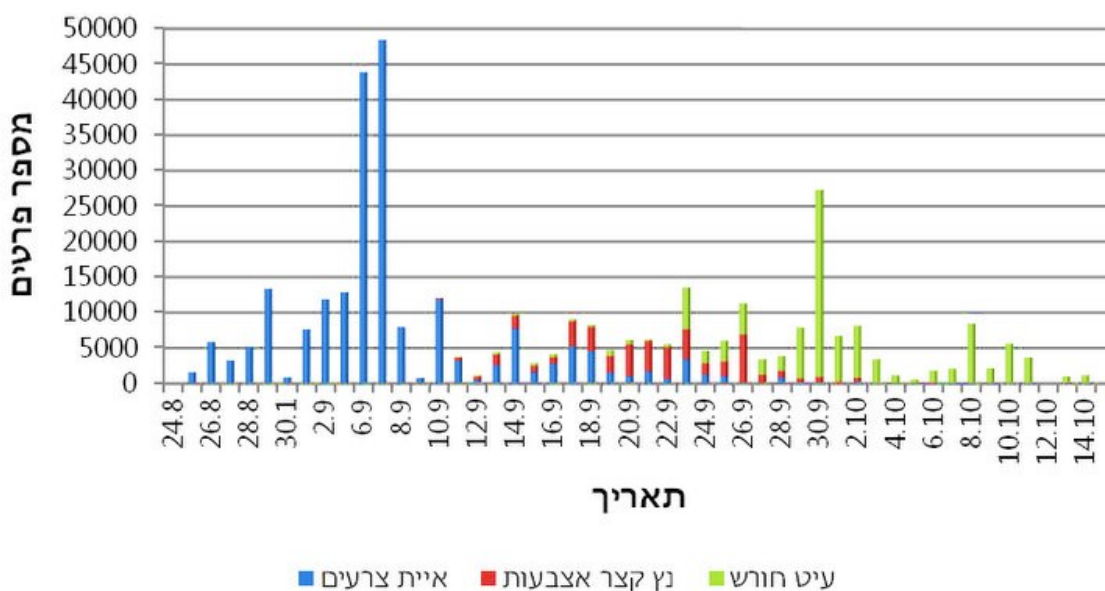
* מין אחד נכחד מאזורינו ונמצא בתהליך השבה – עיטס לבן זנב.

2.2.3.2 עופות נודדים בישראל

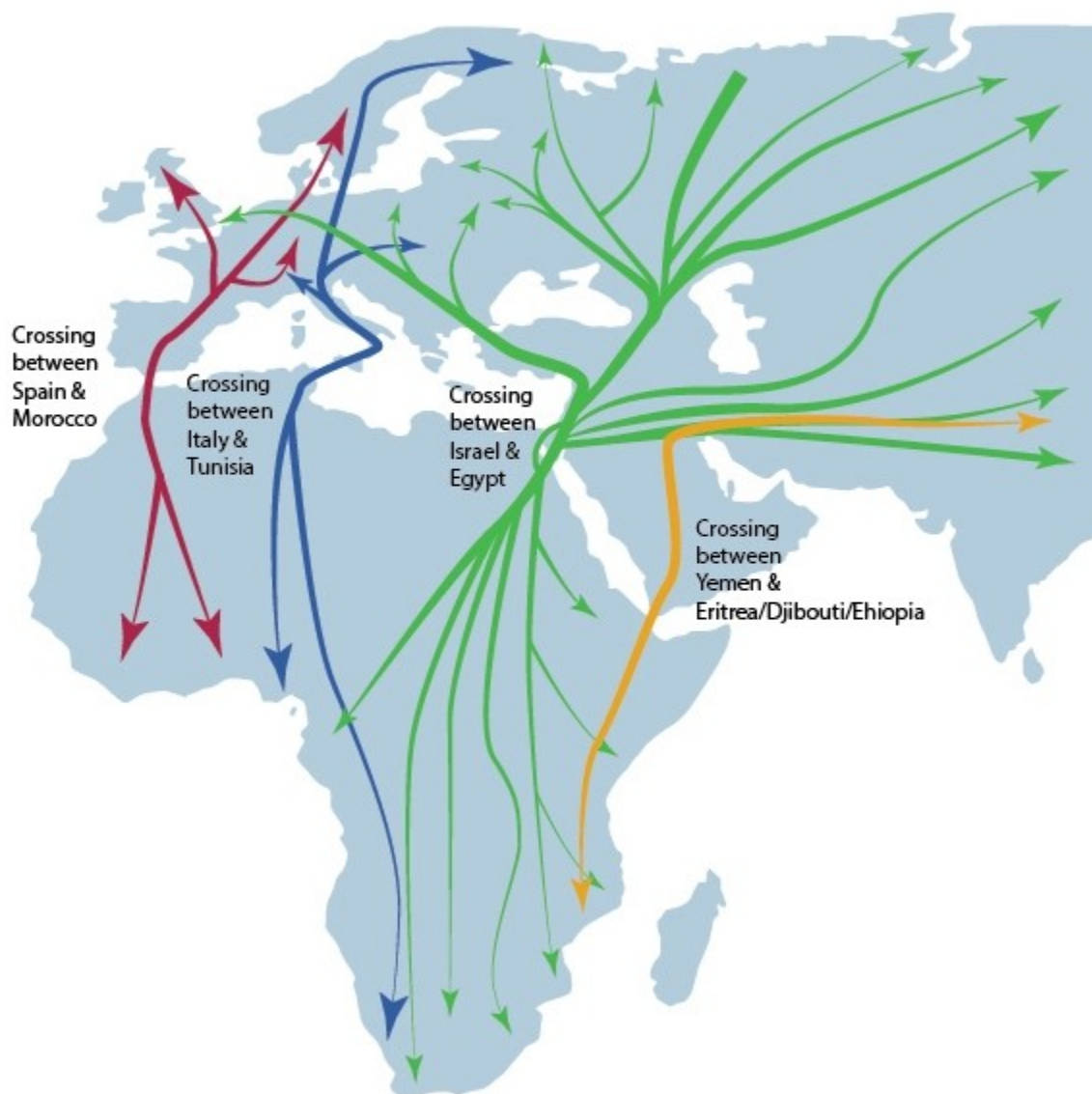
כ-500 מיליון עופות עוברים בישראל במשך נדידות האביב והסתיו ¹⁴¹. מבחינה כמותית, רק במקומות כמו וורה-קרוז במקסיקו או בפנמה נספרים יותר עופות. לגבי מספר מינים, וביניהם עיט החורש ונץ קצר-אצבעות, כמעט כל האוכלוסייה העולמית עוברת דרך ישראל. חלק גדול

מהאוכלוסייה האירופית של החסידה הלבנה עובר מעל ישראל, כמו גם החלק הגדול ביותר באוכלוסייה המזרח אירופית והאסייתית של איית הצרעים.¹⁴¹ ישראל מוכרת כנתיב נדידה עיקרי מאפריקה לאירופה ובחזרה ומיקום של טורבינות רוח בנתיבי נדידה נחשב מסוכן לעופות. כמו כן, עקב כך שמסלולי הנדידה הם ברוחב מדינה שלמה וצפויים שינויים בתוכם בין השנים, קשה מאד לדעת מה ההשפעה על מקום מסוים ואם בשנה שנתיים שלאחר ביצוע סקר ציפורים יהיו שינויים או לא.¹⁴³

הנדידה בישראל נמשכת כמעט כל השנה. נדידת הסתיו מתחילה באמצע יוני עד דצמבר ונדידת האביב מתחילה באמצע ינואר למינים מסוימים ועד לאמצע או סוף יוני. רוב המינים ומספר העופות הגבוה ביותר נצפים בין אוגוסט לנובמבר ובין מרץ למאי.¹⁴¹ נתיבי הנדידה ואורכם משתנים בין מינים ובין עונות, והווריאציה רבה ביותר בהתאם לאתרי הקינון והחריפה, וכן בהתאם לצורכי המין, העונה, מזג האוויר, זמינות המזון, אתרי המנוחה ועוד.



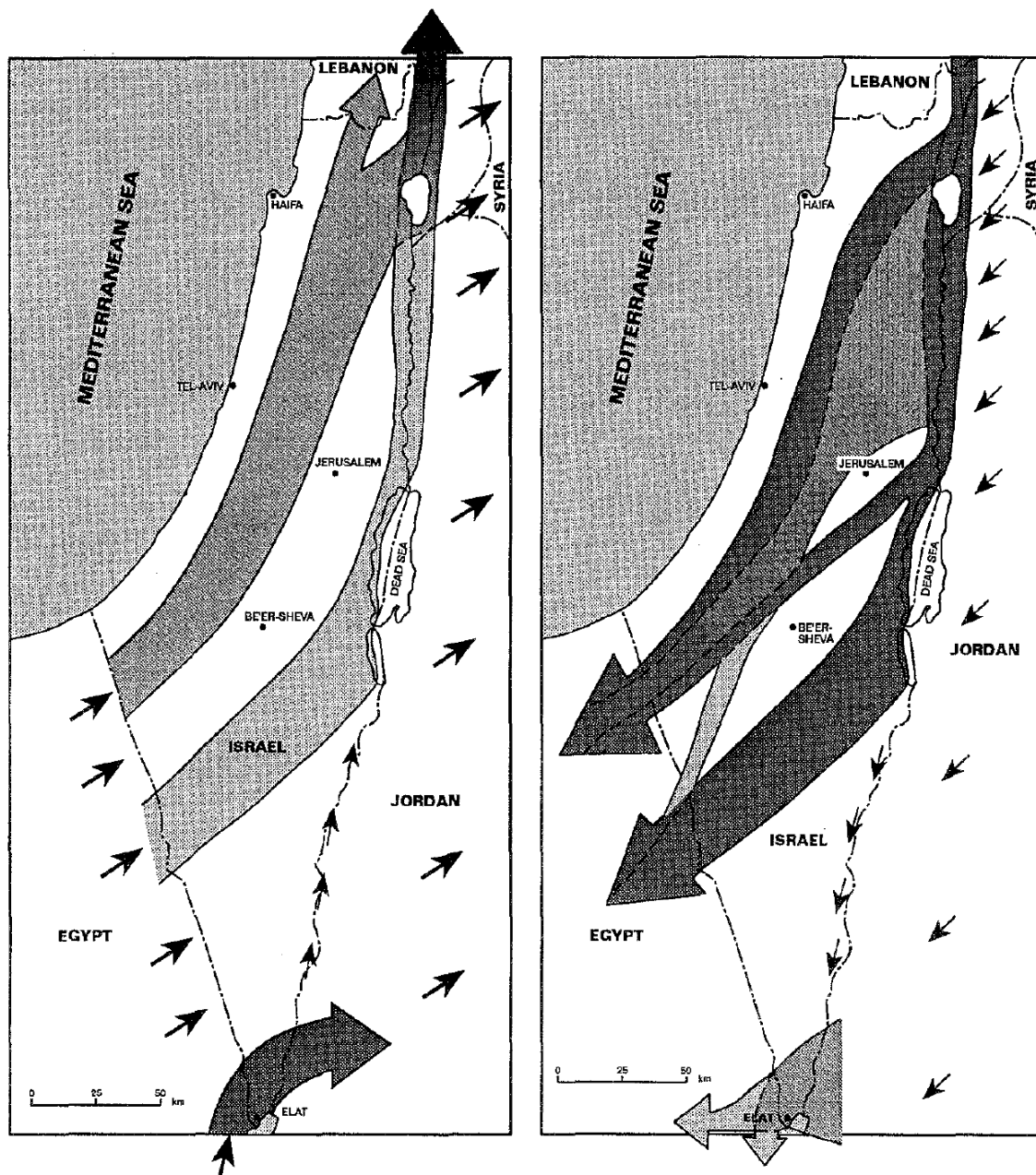
תרשים 8: דוגמה לתאריכי מעבר וכמויות של שלושה מיני דורסים בישראל בנדידת הסתיו 2013
עיט חורש, נץ קצר אצבעות ואיית צרעים. מתוך אתר הצפרות הישראלי.¹⁴⁴



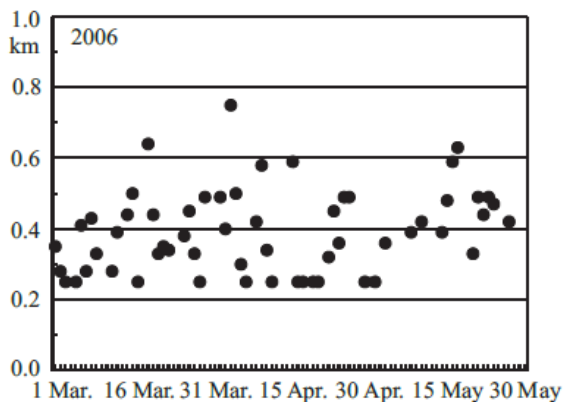
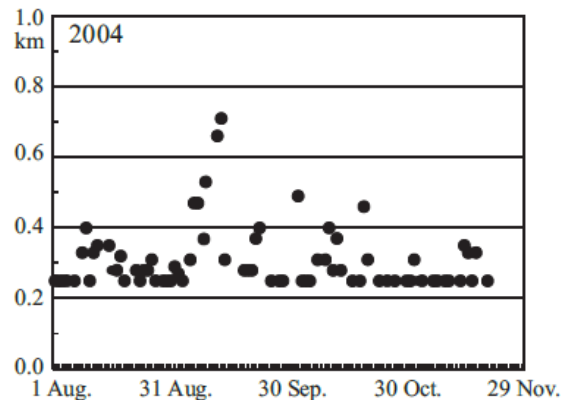
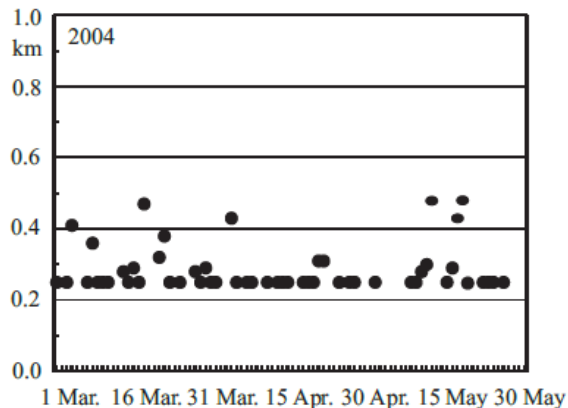
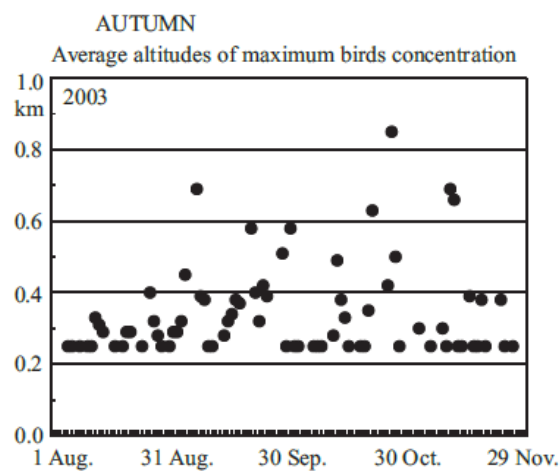
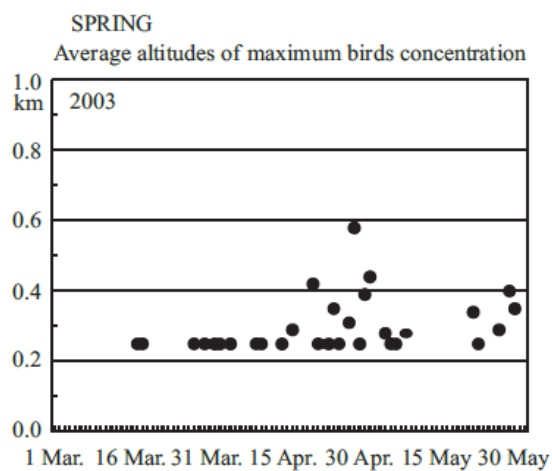
תרשים 9: נתיבי נדידת עופות באזור הים התיכון
מתוך ¹⁴⁵.

פרומקין וחבריו הגדירו נתיבי נדידה עיקריים לעופות הנוודים ביום והבדילו בין נתיבי נדידת הסתיו לאביב עבור עופות דואים (תרשים 10)¹³⁶. העופות דואים במשך היום בעיקר ברצועה אנכית בגובה שבין 250-500 מטרים (תרשים 11)¹³⁷, אך ייתכן וגם נמוך מכך, ועקב מגבלות המכ"ם הם לא נספרו. את הנתונים של פרומקין עדכנו מחקרים וסקרים רבים ונראה כי תמונת הנדידה מורכבת יותר ומעבר עופות נודדים רבים נמצאת גם באזורים שמחוץ למפה הסכמטית

של פרומקין (תרשים 12). לדוגמה, סקר שנעשה בבקעת ערד אשר נמצאת מחוץ למפה של פרומקין מראה מעבר של מעל 240,000 ציפורים בסתיו, רובן חסידות¹⁴⁶. מנתוני סקרים של החברה להגנת הטבע ואחרים ניתן להבין כי מסלולי הנדידה וההתקבצות החשובים כוללים את רמת הגולן, עמק החולה, הגלבוע, עמק המעיינות, עמק יזרעאל, עמק חרוד, כביש 5 מרמת השרון ועד הבקעה, מצוק הצינים לכל אורכו, הנגב המערבי כולל אזור ניצנה, אזור ערד ואזור הבקעה ואילת.

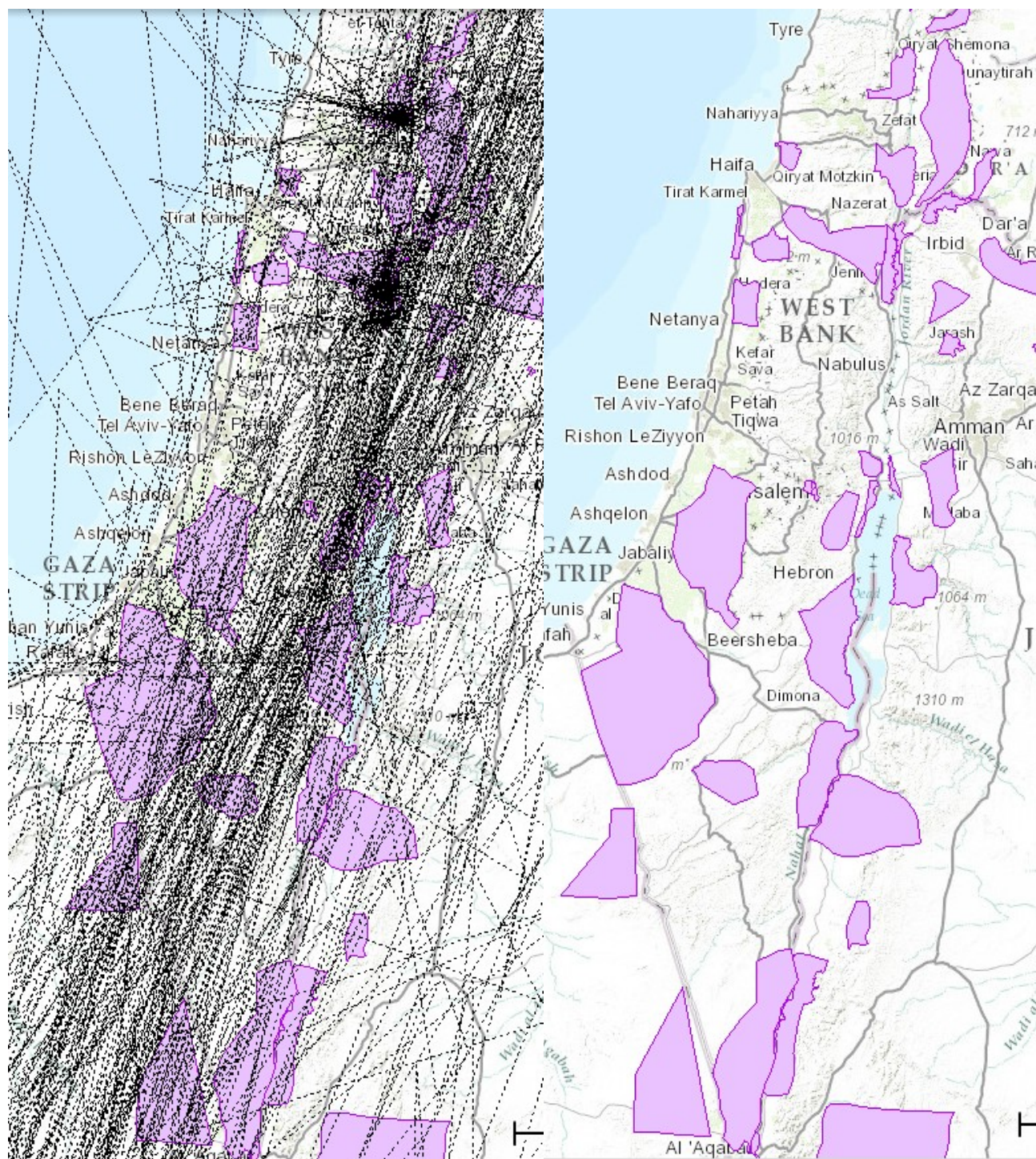


תרשים 10: נתיבי הנדידה העיקריים של עופות דואים בישראל
נתיבי נדידה באביב (שמאל) ובסתיו (ימין)¹³⁶.



תרשים 11: מדידות מכ"ם של גובה עופות נודדים

הגובה הממוצע של מירב צפיפות עופות נודדי יום הינו בין 250-500 מטרים. זאת על פי מדידות מכ"ם¹³². העובדה כי התפלגות גובה התעופה של הציפורים אינה התפלגות נורמלית, אלא נגדעת מתחת ל- 250 מטר גורמת למחברי מסמך זה לחשוב כי יש מגבלה טכנולוגית למכ"ם הספציפי באיתור ציפורים מתחת ל-250 מטרים. לכן סביר מאד כי גם מתחת ל- 250 מטרים מתרחשות נדידות עופות.



תרשים 12: אזורי צפרות ונתיבי נדידה מלוויינים בישראל

אזורי צפרות חשובים בישראל (ימין) ומסלולי נדידת עופות דואים מנתוני לוויינים (שמאל) ¹⁴⁷.

עופות הנוודים בלילה בישראל, בעיקר ציפורי שיר, מראים דגמי תעופה גבוהים משל נודדי היום אך עדיין נמוכים יחסית בחלק גדול מהשנה¹³⁴. טורבינות מודרניות גבוהות (למעלה מ-200 מטרים) עשויות לסכן אותם. יש להוסיף לכך את הסכנה שנוודי הלילה לא יראו את הלהבים¹⁴³.

כפי שנמצא בנתיבי נדידה אחרים, עופות דורסים ועופות דואים אחרים רגישים ביותר לטורבינות רוח ולכן יש לנקוט משנה זהירות בנתיבי הנדידה ומקומות המנוחה הידועים. בישראל אתרים רבים בעלי חשיבות לאומית ובינלאומית לציפורים¹⁴⁸. כמו כן עופות דואים עפים בגובה נמוך במעבר של רכסים. אתרים שכאלה יהיו רגישים יחסית¹⁴³.

2.2.3.3 הערכת הסיכונים לעופות בישראל

הערכת הסיכון להיפגעות עופות תלויה במספר גורמים עיקריים: כמות ומיני העופות באזור הפרויקט, כמות העופות שעפים בגובה או בקרבה למיקומי הטורבינות, התנהגות עופות המעלה את רמת הסיכון, שטחי מנוחה קרובים ותנאי מזג אוויר המגבירים את הסיכון. ממחקרים בעולם נראה כי מינים מסוימים אינם מראים שינוי בהתנהגות בעקבות הקמת הטורבינות וממשיכים בהתנהגות תעופה נמוכה המסכנת אותם¹⁰⁶.

עפ"י ממוצע הקטילה המדווח בעולם^{54 57 56 55}, הערכה גסה היא כי הקמה של 1000 טורבינות בישראל, תגרום לקטילה של כ- 2000-8000 עופות בשנה. עם זאת, המחקרים עליהם מבוססים מספרים אלו בוצעו באזורים עם מספרים קטנים יחסית של עופות נודדים. כפי שנכתב לעיל, ישראל מהווה ציר נדידה מהגדולים בעולם. כמות העופות הדואים, הרגישים לטורבינות, עשויה להגיע למאות אלפים בעונת נדידה אחת במיקום ספציפי ולעשרות אלפים ביום.

כמו כן ידוע לנו כי כל המידע הקיים בישראל מתייחס רק לעופות הנוודים ביום ויש לזכור כי **עיקר הנדידה נעשית בלילה**, ואין לנו בשלב זה כל דרך לאמוד את הסכנה למאות מיליוני עופות נודדי לילה (כפי שצינו, בארה"ב הראו פגיעה משמעותית בציפורי שיר שנוודות בלילה¹³²). לכן, יש לבצע מחקרים מקיפים ותוכניות ניטור ארוכות טווח בכדי להבין את המשמעות כלפי העופות בישראל.

במספר אתרים בארץ נערכו הערכות לסיכון פגיעה על ידי טורבינות על ידי סקרי עופות יום והערכת גובה תעופתן. במקרים מסוימים, כמו למשל בעמק הבכא ברמת הגולן, ניתן לראות כי בממוצע מעל 50% מהפרטים עפים בגובה המהווה סיכון לטורבינות (מתחת ל-150 מטרים) ובמינים מסוימים כמו עיטים, עקבים, בזים וחסידות לבנות רובם המוחלט של הפרטים עפו בגובה המסכן אותם (טבלה 11)¹⁴⁹.

SP Interface

טבלה 11: התפלגות עופות נצפים בקטגוריות הגובה השונות בעמק הבכא מתוך ¹⁴⁹.

מספר פרטים	מעל גובה מסוכן	בגובה מסוכן עד 200 מטר	מעל 500 מטר	200-500 מטר	150-200 מטר	100-150 מטר	50-100 מטר	עד 50 מטר	עומד על הקרקע	מין
14114	92%	8%	8%	84%	2%	2%	2%	2%	0%	איית צרעים
86	12%	88%	0%	12%	10%	14%	7%	30%	27%	בז מצוי
12	17%	83%	17%	0%	8%	25%	8%	33%	8%	בז עצים
17	82%	18%	0%	82%	0%	0%	12%	6%	0%	בז ערב
17	71%	29%	35%	35%	29%	0%	0%	0%	0%	דורס
295	40%	60%	12%	28%	27%	6%	12%	14%	1%	דיה שחורה
40	70%	30%	5%	65%	8%	3%	8%	5%	8%	זרון סוף
35	3%	97%	0%	3%	3%	9%	11%	40%	34%	זרון פס
1682	55%	45%	2%	53%	12%	21%	2%	9%	0%	ח. שחורה
370	51%	49%	9%	42%	7%	17%	9%	9%	6%	חיוויאי
18880	14%	86%	1%	13%	1%	56%	6%	8%	14%	חסידה לבנה
88	52%	48%	31%	22%	16%	8%	5%	11%	8%	נץ מצוי
159	91%	9%	0%	91%	4%	1%	2%	3%	0%	נץ קצר
84	61%	39%	26%	35%	21%	7%	8%	2%	0%	נשר
62	48%	52%	48%	0%	0%	19%	32%	0%	0%	סיס הרים
118	58%	42%	0%	58%	17%	0%	25%	0%	0%	עגור אפור
41	24%	76%	2%	22%	29%	17%	15%	12%	2%	עית גמדי
135	25%	75%	1%	24%	51%	13%	7%	4%	0%	עית חורש
8	13%	88%	0%	13%	13%	50%	25%	0%	0%	עית ערבות
486	1%	99%	0%	0%	19%	6%	3%	70%	0%	עקב חורף
4826	54%	46%	31%	24%	21%	16%	7%	1%	0%	עקב מזרחי
47	15%	85%	0%	15%	6%	28%	17%	21%	13%	עקב עיטי
41602	48%	52%	7%	41%	5%	29%	5%	6%	7%	ממוצע שכיחות וסכום הפרטים

בבקעת ערד כ- 60% מכלל העופות עברו בגובה טיסה המסכן אותם ¹⁴⁶, בגלובע 30-50% עפו בקרבה מסוכנת למיקום הטורבינות ¹⁵⁰, וברמת סירין גם בסביבות 30-40% מהפרטים נצפו

בסיכון גבוה¹⁵¹. נראה שאלו מספרים לא מבוטלים כלל המייצגים עשרות עד מאות אלפי עופות בסכנת פגיעה בכל מיקום שנבדק.

כמו כן נראה כי בעמק הבכא אזור הקמת הטורבינות משמש כאזור לינה, דבר המגביר את הסיכון להתנגשות בהמראה ובנחיתה. חשוב לציין כי נמצא הבדל בין שנים שונות בניצול השטח על ידי העופות¹⁴⁹. דבר זה מקשה על קביעה מדויקת של סכנה זו או אחרת בחלק מסוים של חוות טורבינות רוח מתוכננת.

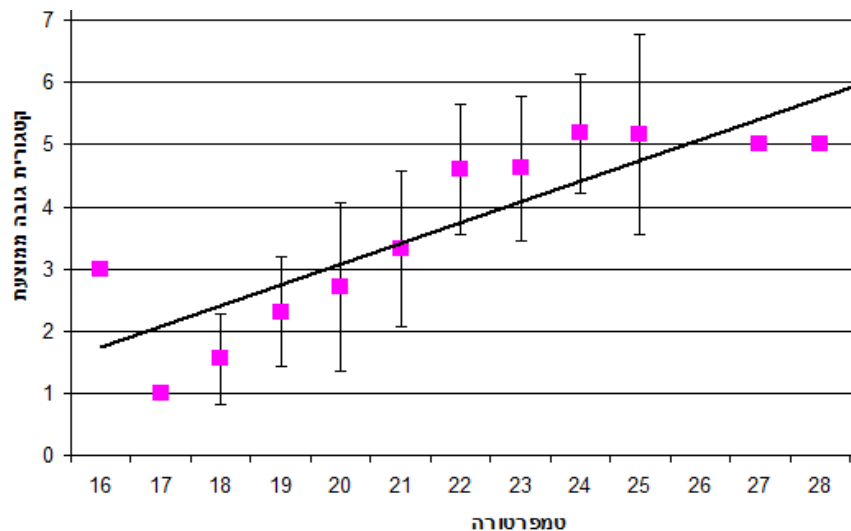
2.2.3.3.1 השפעת תנאי מזג האוויר על העופות ועל סכנת ההתנגשות

במקומות מסוימים ניכרת השפעת תנאי מזג האוויר על העופות, לפחות על מספר מינים. ככל שהטמפרטורה עולה – עולה גם גובה התעופה (לדוגמה איית צרעים, עקב עיטי, חיוואי, חסידה לבנה בעמק הבכא)^{146 149}.

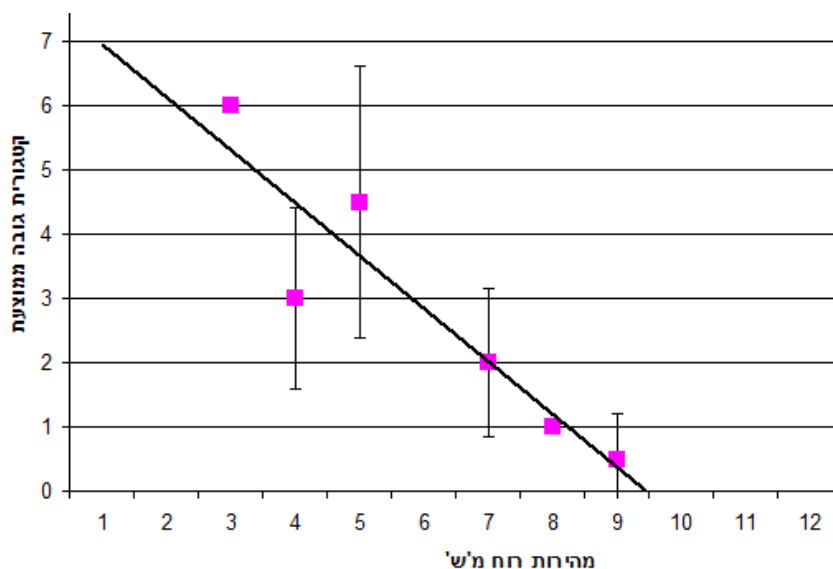
הקשר בין מהירות הרוח לגובה התעופה אינו מובהק כל-כך ומשתנה בין אתרים שונים בארץ. בעמק הבכא ככל שמהירות הרוח עולה – גובה התעופה יורד (בז עצים, עקב חורף ודיה שחורה בעמק הבכא) (תרשים 13), ואילו בבקעת ערד נמצאה לרוב השפעה הפוכה כך שעם העלייה בעוצמת הרוח הייתה עלייה בגובה התעופה. ייתכן כי התנאים הטופוגרפיים המקומיים קשורים לכך.

על מנת להעריך את רמת הסיכון הספציפית למין מסוים במיקום כלשהו, יש לחשב זאת על-ידי ספירת העופות בסיכון מבחינת גובה הטיסה אשר היו שם במהירות רוח מעל למינימום הנדרש לתחילת פעילות הטורבינה.

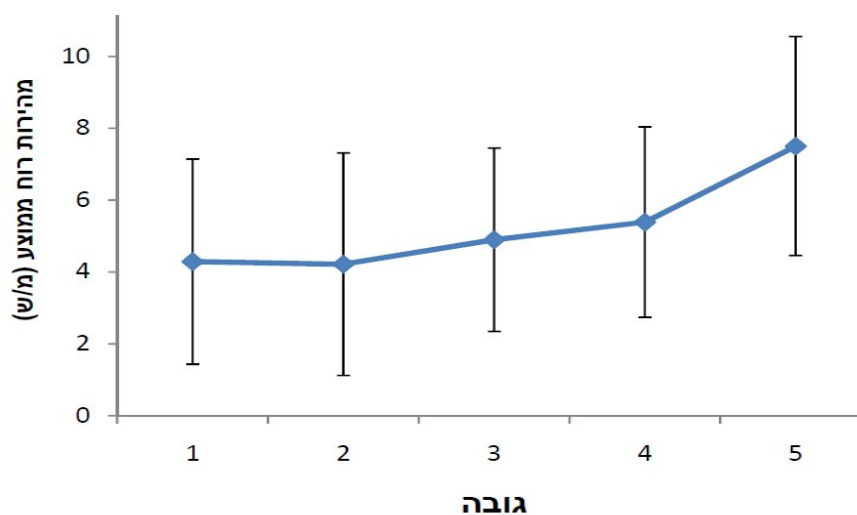
תרשים 13: דוגמאות לקשר בין גובה תעופת עופות לתנאי מזג אוויר מקומיים
 קטגוריות הגובה הם 50 מטרים לכל יחידה עד 4 (200 מ') יחידה 5 בין 200-500 מ' ויחידה 6 מעל 500 מ'.
גרף עליון- העלייה בגובה התעופה של איית צרעים עם העליה בטמפרטורה בעמק הבכא.¹⁴⁸



גרף אמצעי- ירידה בגובה התעופה של בז עצים עם העליה במהירות הרוח (מטר לשנייה) בעמק הבכא.



גרף תחתון- רואים מגמה הפוכה לגרף האמצעי, גובה התעופה עולה עם מהירות הרוח (מטר לשנייה)- ממוצע העופות בבקעת ערד.¹⁴⁴



2.3 השפעת טורבינות רוח על עטלפים

העובדה כי טורבינות רוח הורגות עטלפים ידועה זה מכבר, אך רק בשנים האחרונות הבינו את גודל הבעיה. רגישות העטלפים לטורבינות הוכרה כבעיה אתית וכן בעיה לשימורם. אוכלוסיות מסוימות בעולם אף נמצאות בסכנה ממשית של הכחדה בשל טורבינות רוח. עטלפים חיים שנים רבות, מתרבים לאט ובדרך כלל בעלי שרידות גבוהה. מכך נובע שאם עטלפים נקטלים בכמויות גבוהות בחוות טורבינות רוח הרי שבהכרח תהיה לזה השפעה משמעותית על האוכלוסיות⁵⁵.

2.3.1 קטילת עטלפים כתוצאה מהתנגשויות בטורבינות רוח

2.3.1.1 הערכות כמותיות לתמותה

כמו במחקרי ציפורים, גם במחקרי עטלפים נכנסות הרבה מאד הטיות העשויות לגרום לשינויים בתוצאות. סילוק פגרי עטלפים על ידי אוכלי נבלות מהווה בעיה רצינית שיש להתייחס אליה בהערכות ההשפעה של הטורבינות. פגר עטלף נעלם תוך שעות ספורות מזירת האירוע¹⁵². מציאת כל פגרי העטלפים הינה בעייתית, בעיקר בסבך צמחיה, עקב גודל גופם הקטן. מציאת הפגרים תלויה מאד ביכולות של הסוקר ותשתנה בין אנשים. בנוסף, תוצאות מחקרים אשר חיפשו פגרים אחת ליום יהיו שונות מאד מאלו שחיפשו אחת לשבוע או יותר, ויש לקחת זאת בחשבון. ברוב המחקרים תהיה הערכת חסר של מספר הפגרים⁵⁵. בחלק מהמחקרים, שימוש בכלב גישוש העלה את כמות הפגרים שנמצאו^{153, 154, 155}. מחקרים שונים שניסו להתחשב בהטיות הללו ולחשבם בנוסחה להערכה כוללת של התמותה השתמשו בשיטות שונות, כך שקשה להשוות ביניהם⁵⁵.

במרכז ארה"ב חושבו קצבי תמותה גבוהים של 30-40 עטלפים לכל טורבינה לשנה. בקצב שכזה, עם העלייה המתוכננת בכמות הטורבינות, חושבה תמותה של בין 33,000-110,000 עטלפים לאזור זה¹⁵². קצבים אלו הם מהקיצוניים יותר שחושבו, אך יש דומים להם גם באירופה⁵⁵. במחקר שנערך בשנת 2013 העריכו מחדש את קצבי התמותה בארה"ב כולה והגיעו למסקנה שכמעט 900,000 עטלפים נקטלים מטורבינות רוח בכל שנה בארה"ב⁵⁶.

באירופה נמצאו עדויות ספורדיות לקטל עטלפים שהסתכמו ב-5139 עטלפים מתים בין השנים 2003-2012¹⁵⁶. אלו כמובן הערכות חסר שלחלוטין לא מכסות את היקף התופעה¹⁵⁷. ביער השחור באירופה יש הרבה מאוד טורבינות קטנות, ונהרגים שם כ-18 עטלפים לטורבינה לשנה. בהרי ג'ורה בשווייץ הקטל דומה. באזורים שטוחים וחקלאיים ללא יערות התמותה בדרך כלל בסביבות 3 עטלפים לטורבינה לשנה⁵⁵.

טבלה 12: קצבי קטילת עטלפים בצפון אמריקה
מתוך ⁵⁵.

Table 4.1. Estimated fatality rates (the numbers of bats killed annually per turbine) at wind farms in North America. In each study reviewed here, dead bats were collected regularly throughout most of a season or more. The numbers have been adjusted for differences between observers and observation conditions and also for the removal of carcasses by scavengers. For more details we refer to Kunz et al. (2007a), Arnett et al. (2008) and Rydell et al. (2010a).

Name of wind farm	Location	No. of turbines	Fatality rate	References
Eastern USA				
Searsborg	Mountain	11	0.0	Kerlinger 2002
Maple Ridge 1	Grassland, hill	120	24.5	Jain et al. 2007
Maple Ridge 2	Grassland, hill	195	12.3	Jain et al. 2009
Casselman	Mountain	23	32.3	Arnett et al. 2009
Meyersdale	Mountain	20	25.6	Kearns et al. 2005
Mountaineer	Mountain	44	47.5	Kerns & Kerlinger 2004
Buffalo Mountain 1	Mountain	3	28.0	Nicholson 2003
Buffalo Mountain 2	Mountain	15	69.6	Fiedler et al 2007
Central USA				
Buffalo Ridge 1	Grassland	73	0.1	Johnson et al. 2003a
Buffalo Ridge 2	Grassland	143	2.0	Johnson et al. 2004
Buffalo Ridge 3	Grassland	138	2.1	Johnson et al. 2004
Lincoln	Fields	31	4.3	Howe et al. 2002
Top of Iowa	Fields	98	7.8	Koford et al. 2004
Western USA				
Judit Gap	Grassland	90	13.4	TRC 2008
Klondike	Fields	16	1.2	Johnson et al. 2003b
Vansycle	Grassland	38	0.8	Erickson et al. 2000
Stateline	Grassland	454	1.1	Erickson et al. 2003a
Foote Creek Rim	Grassland	69	1.3	Young et al. 2003
Nine Canyon	Grassland	37	3.2	Erickson et al. 2003b
High Winds	Grassland	90	3.7	Kerlinger et al. 2006
Canada				
McBride Lake	Fields	114	0.5	Brown & Hamilton 2004
Castle River	Fields	60	0.6	Brown & Hamilton 2006a
Summerview	Fields	39	18.5	Brown & Hamilton 2006b
Pickering	Lake shore	1	10.7	James 2002

Table 4.2. Estimated fatality rates (the numbers of bats killed annually per turbine) at wind farms in northern and central Europe. In each study reviewed here, dead bats were collected regularly throughout most of a season or more. With the exception of three studies where the fatality rate is given in parenthesis, the numbers have been adjusted for differences between observers and observation conditions and also for the removal of carcasses by scavengers. For more details we refer to Rydell et al. (2010a).

Name of wind farm	Location	No. of turbines	Fatality rate	References
Northwestern Germany				
Blumendorf	Fields	2	(2.0)	Göbel & Götsche 2005
Tralau	Fields	4	(2.0)	Götsche & Göbel 2007
Friedrich-Wilhelm Lübke Koog	Fields	13	0.0	Grünkorn et al. 2005
Bosbüll	Fields	4	0.0	Grünkorn et al. 2005
Marienkoog	Fields	15	0.0	Grünkorn et al. 2005
Reussenköge	Fields	17	0.0	Grünkorn et al. 2005
Breklumer Koog	Fields	11	0.0	Grünkorn et al. 2005
Simonsberger Koog	Fields	13	0.0	Grünkorn et al. 2005
Uelvesbüller Koog	Fields	4	0.0	Grünkorn et al. 2005
Cappel-Neufeld	Fields	5	3.1	Bach & Bach 2010
Langwedel	Fields	5	3.0	Bach & Niermann 2011
Eastern Germany				
Puschwitz	Woodland	10	4.1	Endl et al. 2004
Wendischbora	Fields	17	3.6	Endl et al. 2004
Bayerhöhe	Hill, fields	5	4.0	Endl et al. 2004
Wachau	Fields	5	0.0	Endl et al. 2004
Bernsdorf	Woodland	3	0.0	Endl et al. 2004
Röhrsdorf	Fields	4	0.0	Endl et al. 2004
Ludwigsdorf	Fields	18	1.1	Endl et al. 2004
Thornberg	Fields	12	1.1	Endl et al. 2004
Kleinröhrsdorf	Fields	3	2.2	Endl et al. 2004
Melaune	Fields	7	2.6	Endl et al. 2004
Reichenbach	Fields	7	1.9	Endl et al. 2004
Eckardsberg	Fields	5	2.6	Endl et al. 2004
Southern Germany				
Lahr	Mountain	3	(0.6)	Behr & Helversen 2005
Ittenschwander Horn	Mountain	2	18.3	Behr et al. 2006
Roskopf	Mountain	4	26.0	Brinkmann et al. 2006
Brudergarten	Mountain	3	15.0	Brinkmann et al. 2006
Hohe Eck	Mountain	1	41.1	Brinkmann et al. 2006

טבלה 13 (המשך).

Name of wind farm	Location	No. of turbines	Fatality rate	References
Schillinger Berg	Mountain	2	31.6	Brinkmann et al. 2006
Holzschlägermatte	Mountain	2	13.3	Brinkmann et al. 2006
Plattenhöfe	Grassland, hill	4	3.9	Brinkmann et al. 2006
Fürstenberg	Grassland, hill	1	0.0	Brinkmann et al. 2006
Austria				
Oberdorf	Fields	5	0.0	Traxler et al. 2004
Prellenkirchen	Fields	8	8.8	Traxler et al. 2004
Steinberg	Fields	9	5.3	Traxler et al. 2004
Switzerland				
Mont Soleil	Grassland, hill	3	13.6	Leuzinger et al. 2008
Feldmos	Grassland, hill	1	0.0	Leuzinger et al. 2008
Tramelan	Grassland, hill	1	0.0	Leuzinger et al. 2008
England				
Coldham 1	Fields	8	1.2	Bioscan 2008
France				
Bouin	Coast, fields	8	19.0	Dulac 2008

עפ"י נתונים מהמועצה העולמית לאנרגיית רוח (GWEC- Global Wind Energy Council), ההערכה היא כי בסוף 2015 היו כ- 400 אלף טורבינות רוח בעולם^{59 60}. היות ונראה כי בהערכה גסה, פי 2 עטלפים נקטלים לעומת ציפורים, ניתן להסיק כי בקירוב נקטלים בשנה 1.6-6.4 מיליון עטלפים.

2.3.2 מדוע מתים העטלפים ?

עטלפים אינם נוהגים להתנגש בעצמים דוממים כשם שציפורים עושות. סיבת המוות קשורה ישירות לתנאים בסביבת הלהבים ולהתנהגות העטלפים המגיבה לעצמים בטווח מרחקים קצר ביותר באופן טבעי. מהירות הלהב אינה מאפשרת לעטלף לזהות אותו בזמן ממרחק כה קצר. איהיכולת לזהות את הסכנה, יחד עם קטלניות הלהבים, אינה מאפשרת לעטלף ללמוד מטעויות ולהתרגל לפעילות הטורבינה^{52 55}.

הפציעות הנפוצות הינם דימומים מהראש, שברים בכנפיים, פגיעות חיצוניות ודימומים פנימיים⁵⁵, לעיתים נצפו גם פגיעות המראות על ברו-טראומה (נזק לרקמות פנימיות כתוצאה מהפרשי לחץ גבוהים בין פנים הגוף לעומת חוץ הגוף, למשל קריסת הריאות) ומוות כתוצאה מנפילת לחץ מאחורי הלהב ללא פגיעה ישירה בלהב עצמו^{55, 158}, אך כנראה שמספר מקרי הברו-טראומה קטנים ממה שסברו בעבר^{159, 52}.

2.3.2.1 תמותה תלויה מיקום ופעילות

מקרי המוות משתנים מאד בעיקר בהתאמה למיקום החווה ביחס לצמחיה ולטופוגרפיה. רוב העטלפים נהרגים לאורך החוף או בפסגות של גבעות והרים מיוערים (פי 5-10). יש דוגמאות מעטות לקצבי תמותה בינוניים באזורי ביצות וחסרים נתונים לגבי קצבי תמותה ליד תכסית ותשתיות לינאריות אחרות כגון נחלים, שפת אגמים וכבישים, בעיקר אלו המוארים בפנסים מושכי חרקים⁵⁵.

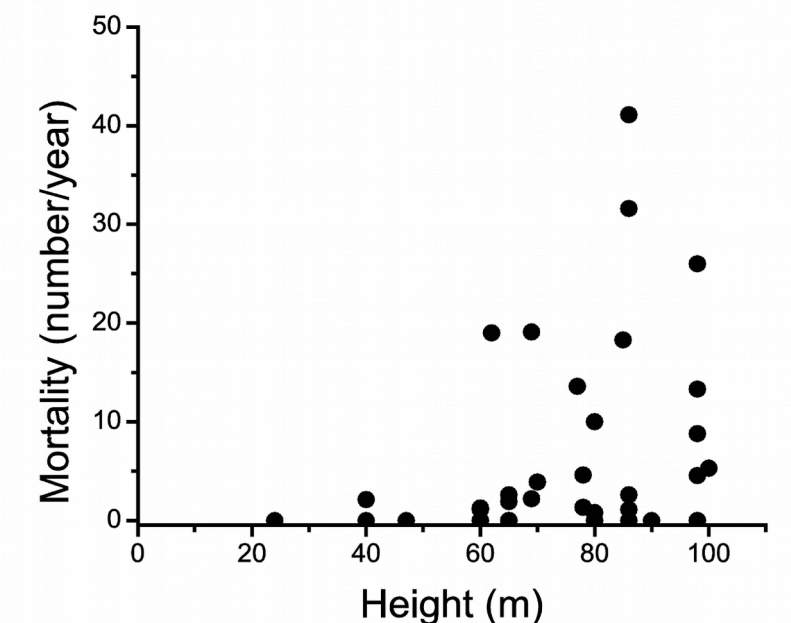
באזורים חקלאיים נרחבים או הרחק מאזורים מיוערים, נרשמים קצבי תמותה נמוכים¹⁵². עם זאת, באזורים חקלאיים הקרובים לשורת עצים או חלקת יער (100-200 מטר) יירשמו יותר מקרי מוות⁵⁵.

2.3.2.2 הקשר לרמת פעילות ולמזון

כמות העטלפים הנפגעים קשורה לכמות העטלפים במקום ולכמות הפעילות שלהם. טורבינות הנמצאות בנתיבי נדידה יקטלו יותר עטלפים^{160, 161}. נמצא כי טורבינות קוטלות גם עטלפים שמקורם בארצות שכנות ולא מוגבלות לעטלפים הנמצאים באזור בלבד¹⁶². כמו כן, ככל הנראה פעילות העטלפים בקרבת הטורבינה נובעת מהתנהגות ציד¹⁶³ וקשורה למשיכה לחרקים הרבים שנמצאים באזור הטורבינה⁵². ייתכן ופעילות החרקים שם מוגברת עקב חום הטורבינות, אותות ויזואליים או סביבה שונה. נמצא כי התנהגות העטלפים זהה בין אם הלהבים מסתובבים ובין אם לא. העטלפים אינם מגיבים להשמעת הקלטות של צלילי הטורבינות⁵⁵. מכאן נובע כי, ככל הנראה, העטלפים לא נמשכים פיזית לטורבינה ולא לצליל שהיא משמיעה או לשדה האלקטרומגנטי, כפי שהוצע בהיפותזות שונות¹⁵², אלא נמשכים לחרקים. בנוסף, ייתכן כי תקופות נדידה של חרקים בסוף הקיץ, בגובה רב (100-1200 מטר) מושכות את העטלפים וגורמות לנפח פעילות גבוה. גובה הטורבינות כיום מביא להצטברות חרקים נודדים בקרבתן ולשיחור מזון של העטלפים בסביבת הלהבים⁵⁵. אחד ההסברים למשיכה של העטלפים לטורבינות הוא שהעטלפים חושבים שהטורבינה הינה עץ שאפשר לנצל לתועלתם. אולי זו הסיבה שיותר מינים מקנני עצים נפגעים מאשר מינים מקנני מערות⁵².

2.3.2.3 תמותה תלוית טורבינה

לגודל הטורבינה השפעה על כמות העטלפים המתים. ככל שהטורבינה גבוהה יותר והלהבים גדולים יותר היא תהרוג יותר עטלפים⁵⁵. אבל, מכיוון שההחלטה על כמות הטורבינות וגודלן קשורה לעיתים לכמה אנרגיה על החווה לספק, החישוב הרלוונטי להשוואה הינו כמה עטלפים ייהרגו לכל מגה-וואט חשמל במקרה של טורבינות גדולות לעומת מספר רב יותר של טורבינות קטנות. במחקר אחד בארה"ב חישוב זאת עבור שני סוגי טורבינות. הקטנה בגובה מקסימלי של כ- 90 מטרים עם קוטר סיבוב של 46 מטרים. והגדולה בגובה מקסימלי של 120 מטרים וקוטר סיבוב של 80 מטרים. תמותת העטלפים הייתה כמעט כפולה בטורבינות הגדולות. אבל, מכיוון שהטורבינות הקטנות מייצרות 0.66 מגה-וואט והגדולות 1.8 מגה-וואט, אזי לכל מגה-וואט חשמל מיוצר, הטורבינות הגדולות הורגות פחות עטלפים. בחישוב שטח הלהבים של טורבינות מודרניות נדרשת הגדלה של 19% בלבד בשטח הלהבים בכדי להכפיל את הספק הטורבינה מ-1.5 מגה-וואט ל-3 מגה-וואט⁵⁷.

**תרשים 14: הקשר בין גובה הטורבינה לתמותת עטלפים**

טורבינות גבוהות הורגות יותר עטלפים לכל טורבינה, אך כנראה פחות לכל מגה-וואט מותקן. הקשר בין גובה טורבינות רוח בצפון אירופה לקצבי הריגת עטלפים. כל נקודה היא חווה של טורבינות. הקשר המוצג בתרשים לא כולל תיקון לאורך הלהבים ולשטח אותו הם מכסים⁵⁵.

מיקום הטורבינה בתוך החווה גם הוא בעל השפעה על כמות העטלפים המתים והתמותה עשויה להיות קשורה גם לסביבה הקרובה לטורבינה כמו נוכחות של ערוץ נחל או פיסת יער קרובה⁵².

2.3.2.4 תמותה תלויה מין וגיל – מינים בסיכון

תמותת עטלפים מוטה מאד לרעת מינים מסוימים. בארה"ב, 11 מינים מתוך 45 החיים שם, נמצאו מתים באזור טורבינות. מתוך כמות העטלפים ההרוגים, 75% היו שייכים לשלושה מינים הידועים כנודדים, מהסוגים *Lasiurus* ו *Lasionycteris*. גם באירופה יש 45 מיני עטלפים ובשבדיה חיים 19 מיני עטלפים. מתוך העטלפים בשבדיה, 98% אחוזים מהפגרים שייכים לשמונה מינים בלבד מהסוגים *Nyctalus*, *Pipistrellus*, *Vespertilio* ו *Eptesicus*. שלושה מסוגים אלו קיימים גם בישראל (פירוט בטבלה 14).

המינים הנפגעים מחפשים את מזונם באזור קצה מגדל הטורבינה, וכך מוצאים את מותם. שיעור התמותה של המינים הפגיעים האלו הינו בהתאם לשכיחותם באזור הטורבינות⁵⁵. בספרות האמריקאית נתקלים בסברה כי מיני עטלפים נודדים חשופים יותר לפגיעה¹⁵² אבל באירופה אין לכך ראיות מוצקות והמינים הפגיעים הם ברובם מקומיים⁵⁵ אך לא רק¹⁶². המינים שבסיכון גבוה הם אלו שמותאמים לציד באוויר הפתוח, או לפחות במרחק מספר מטרים מהעץ הקרוב או מכשולים אחרים. מינים אלו בדרך כלל יעופו בקווים ישרים ומהר וישתמשו בסוג אקולוקציה המתאים לסביבה פתוחה וללא מכשולים⁵⁵ (עצמה גבוהה ורוחב-פס צר). מינים הנמצאים בסיכון מופחת הם אלו שעפים נמוך ואינם מגיעים לאזור הלהבים וכן כאלו הנמנעים משטחים פתוחים. באירופה, עקב המידע המוגבל, לא נמצאו הבדלים בין תמותת זכרים לנקבות או לצעירים, ובאמריקה אין ממצאים חד משמעיים והתוצאות משתנות בין מחקרים⁵².

טבלה 14: טבלת מינים שנפגעו באירופה ומצויים בשבדיה
 שמונה מינים בשבדיה נחשבים מינים בסיכון גבוה להיפגע מטורבינות רוח⁵⁵.

Species	Latin name	Number of dead bats			Total
		Sweden	Germany	Other	
High-risk species					
Common noctule	<i>Nyctalus noctula</i>	1	374	15	390
Leisler’s bat	<i>Nyctalus leisleri</i>	0	52	28	80
Nathusius’ pipistrelle	<i>Pipistrellus nathusii</i>	5	284	57	346
Common pipistrelle	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	1	230	139	370
Pygmy pipistrelle	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	1	21	14	36
Parti-colored bat	<i>Vespertilio murinus</i>	1	44	2	47
Northern bat	<i>Eptesicus nilssonii</i>	8	2	0	10
Serotine	<i>Eptesicus serotinus</i>	0	25	15	40
Other species					
Alcathoe whiskered bat	<i>Myotis alcathoe</i>	0	0	0	0
Greater mouse-eared bat	<i>Myotis myotis</i> *	0	2	1	3
Pond bat	<i>Myotis dasycneme</i> *	0	1	0	1
Daubenton’s bat	<i>Myotis daubentonii</i>	0	3	2	5
Brandt’s bat	<i>Myotis brandtii</i>	0	1	0	1
Whiskered bat	<i>Myotis mystacinus</i>	0	2	0	2
Natterer’s bat	<i>Myotis nattereri</i>	0	0	0	0
Bechstein’s bat	<i>Myotis bechsteinii</i> *	0	0	1	1
Grey long-eared bat	<i>Plecotus austriacus</i>	0	6	1	7
Brown long-eared bat	<i>Plecotus auritus</i>	0	3	0	3
Barbastelle	<i>Barbastella barbastellus</i> *	0	0	1	1
Unidentified		0	41	131	172
Total		17	1091	407	1505

2.3.2.5 השפעות מזג אוויר על תמותה

גם באירופה וגם בארה"ב רוב התמותה שנרשמה (מעל 90%) התרחשה בסוף הקיץ ובתחילת הסתיו. זו עונת נדידת הסתיו וייתכן שהיא הגורמת לפעילות מוגברת באזורים מסוימים ומובילה לפגיעה⁵². לעיתים נרשמה תמותה מסוימת גם בסוף האביב, וזו מהווה כ-10% מהתמותה. בתוך תקופות הקטל השינויים הם יומיים ותואמים לשינויים במזג האוויר. עצמת הרוח משפיעה מאד על פעילות עטלפים: העטלפים משחרים לטרף כמעט תמיד רק בלילות בהם הרוח חלשה (עד 4 מטר\שניה), ואלו הלילות בהן קורות רוב התאונות. ככל שרמת הפעילות תעלה כך יעלה גם הסיכוי לתמותה. פעילות העטלפים פוחתת במהירויות רוח בין 4-8 מטר\שניה וכמעט שלא קיימת במהירויות גבוהות מכך, אם כי יש מינים ומקומות יוצאי דופן. רמשן לילי למשל, כנראה

עקב גדלו, מסוגל לעמוד במהירויות רוח גבוהות יותר מהעטלפון ואף נקטל בתנאי רוח מוגברים שכאלו. מחקרים אלו מראים כי רוב העטלפים נקטלים בלילות בהם הלהבים מסתובבים לאט יחסית ומייצרים מעט מאד חשמל. קביעת ערכי סף להסתובבות הלהבים למהירות רוח מעל 6 מטר לשנייה תחסוך כ 80% מהתמותה⁵⁵. מספר מחקרים בארה"ב ואירופה הראו דגמי תמותה יומיים דומים בין חוות רוח מרוחקות שהקשר היחיד ביניהם היה דגמי מזג האוויר^{55, 164, 165}. מודלים הכוללים רמת פעילות יחד עם עצמת הרוח נמצאו טובים בהערכת מקרי תמותה למקום מסוים וניתן אולי להשתמש בהם במקומות נוספים לאחר מחקר מקדים והתאמת הפרמטרים¹⁶⁶. חוץ ממהירות הרוח נרשמו גם השפעת טמפרטורות גבוהות, גשם, לחץ ברומטרי ותאורת ירח כגורמים הקשורים או לפעילות העטלפים או למותם⁵².

2.3.3 השפעות עקיפות של טורבינות על עטלפים

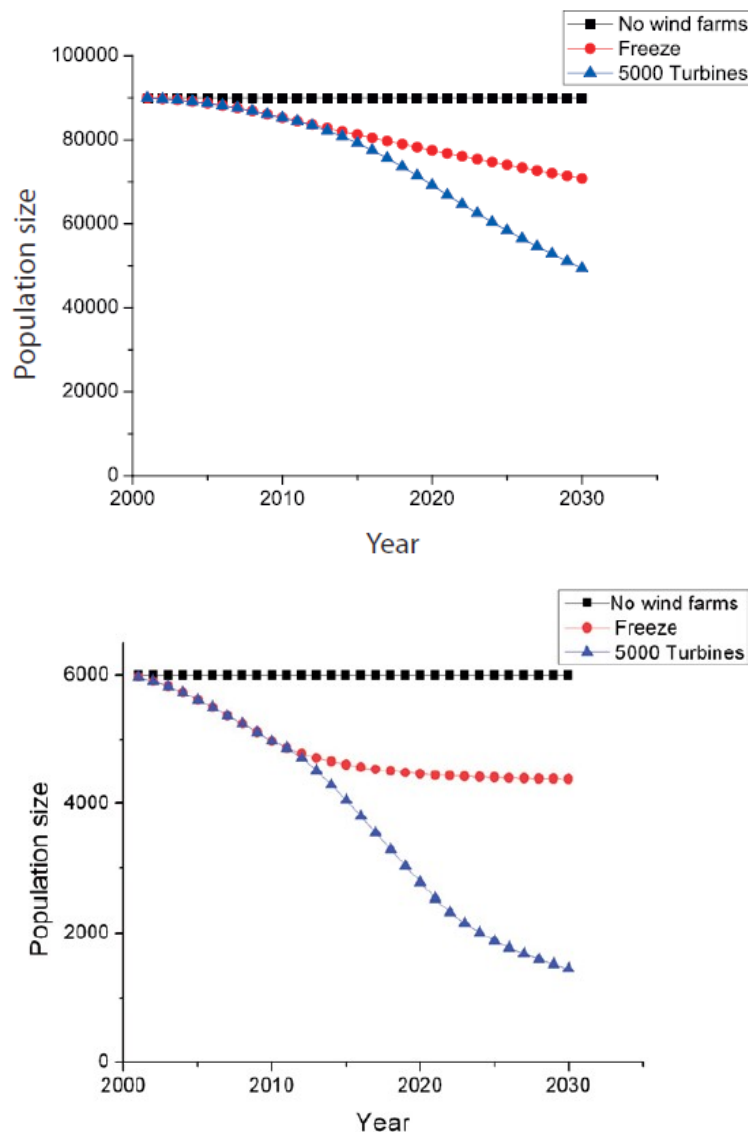
שינוי התכסית באזור חוות טורבינות עקב הבנייה של החוות והתשתיות הנלוות עשוי לשנות את התנהגות העטלפים ולגרום למשיכה לאזור החווה או לדחייה ממנו. אלה שיישארו באזור עשויים להיות מושפעים מבחינת הרבייה והשרידות. עצמת ההשפעות תהיה קשורה לגודל חוות הרוח. חוות שימוקמו בשטחי יערות ישפיעו כנראה פחות מפעילות יערנית אחרת, אבל הכבישים אל החוות עשויים לשמש נתיבי תעופה לעטלפים ולמשכם ישירות אל טורבינות הרוח⁵⁵. בנוסף, בחוות גדולות כבישי השירות מוארים לעיתים, דבר המשפיע מאד על עטלפים עקב משיכת חרקים לנורות.

הערכת חשיבות ההשפעות העקיפות תדרוש מחקר ארוך ואיסוף מידע דקדקני לגבי חברת העטלפים באזור כולל הרכב המינים, מספר הפרטים בכל אוכלוסייה, חלוקה לזוויגים, הצלחה הרבייה, שכיחות מזון, אתרי קינון ועוד. בגלל שעטלפים מתרבים לאט ומאריכי-חיים, ההשפעה של הטורבינות על אתרי קינון וזמינות מזון תתבטא בצורה איטית במספר הפרטים באוכלוסייה. כמו כן גם התמותה מהטורבינות וגם ההצלחה של הרבייה יהיו תלויים במזג האוויר וישתנו מאד משנה לשנה, דבר שיקשה עוד יותר על איסוף נתונים מוצלח וניתוחם הסטטיסטי. ניתוח מקרי המוות חשוב יותר⁵⁵, בניגוד לדעת חוקרים אחרים השמים דגש על הצורך לבחון את ההשפעות העקיפות ביתר תשומת לב^{152, 167}.

2.3.3.1 השפעות ברמת האוכלוסייה

ריידל וחובריו פיתחו מודל להשפעת חוות הרוח העכשוויות ועתידיות על אוכלוסיית עטלפים בשבדיה. הם מראים, תוך הסתייגויות רבות והנחות רבות, כי לחוות הרוח ובעיקר להרחבתן

תהיה השפעה שלילית על אוכלוסיות של שני מיני עטלפים, בהנחה שכיום האוכלוסיות יציבות. אם האוכלוסיות גדלות אז ייתכן שיואט קצב גדילתם, ואם האוכלוסיות קטנות, יואץ קצב התדרדרותם.⁵⁵ בארה"ב העריכו בעשרות אלפים את קצב התמותה השנתי במרכז ארה"ב בשנת 2020 ולמרות שאין מספיק מידע בכדי להעריך את גודל האוכלוסיות הקיימות, סבורים כי תהיה לכך השפעה גדולה על האוכלוסיות המקומיות.¹⁵²



תרשים 15: מגמות באוכלוסיות עטלפים בשבדיה תחת שלושה תרחישים

ריבועים שחורים - ללא מוות מטורבינות רוח. עיגולים אדומים - הקפאת כמות הטורבינות ברמתן היום. משולשים כחולים - עלייה של פי חמישה בכמות הטורבינות עד 2020 ולאחריה הקפאת הכמות. כמו כן הניחו החוקרים כי האוכלוסיות יציבות ללא השפעת הטורבינות, דבר שכמובן לא נכון לכל מין.⁵⁵

גרף עליון - עטלף ממין *Nyctalus noctula*.
גרף תחתון - עטלף ממין *Pipistrellus nathusii*.

2.3.3.2 היפותזות (שלא נבחנו) למשיכת מינים לסביבת הטורבינות ולמותם

מתוך^{152 55}.

- תנועה ביערות במסדרונות לינאריים שנוצרו על ידי תשתיות החווה.
- תנאים אקלימיים נוחים יותר בסביבת הטורבינות על פסגות, גם לחרקים וגם לעטלפים¹⁵² אבל התנאים הללו אינם מסבירים את צפיפות התמותה בזמנים מסוימים, כי הם חלים גם בחודשים בהם כמעט ולא קורים מקרי מוות⁵⁵.
- מנוחה על גבי הטורבינות או בסביבתן¹⁵². עם זאת, גם עטלפים שאינם שוכני עצים נקטלים בטורבינות, ובנוסף ההתנהגות ליד הטורבינות היא של חיפוש מזון ולא חיפוש אתר מנוחה או קינון⁵⁵.
- זרמי אוויר באזור הטורבינה - ייתכן ודומים לזרמי אוויר שיוצרים עצים גבוהים והתנאים הדומים מושכים את העטלפים, אשר מעלים פעילות בצמידות לטורבינה וגורמים לקצב תמותה מוגבר¹⁶⁸.
- עטלפים נודדים עשויים להשתמש הרבה פחות באקולוקציה בכדי לחסוך באנרגיה כאשר עפים מעל העצים ואינם מאתרים את הטורבינות בזמן¹⁵². ריידל חולק על היפותזה זו⁵⁵.
- ישנה אפשרות כי הטורבינות משמשות כאתרים שהזכרים מגנים עליהם בעונת הרבייה¹⁶⁸.
- האקולוקציה עלולה להיפגע בקרבת הלהבים.
- יתכן שהשדה האלקטרומגנטי בסמוך לטורבינות משבש את חושי העטלפים.

2.3.4 עטלפים בישראל

בישראל 34 מיני עטלפים משמונה משפחות ו-16 סוגים, אשר רובם נמצאים בסכנת הכחדה ברמה זו או אחרת. ארבעה מהמינים הנמצאים בסיכון גבוה מטורבינות בשבדיה, נמצאים גם בישראל (אפלול מצוי, רמשן לילי ועטלפון אירופי על שני מיניו). כמו כן נמצאים בישראל מינים נוספים מאותם סוגים וייתכן שגם הם יהיו בסכנה. בכל מקרה, התנהגות העטלפים בסמיכות לטורבינות אינה צפויה לחלוטין ועשויה להשתנות גם עם האזור והעונה⁵⁵, כך שיש לבצע מעקב אחריהם בארץ.

טבלה 15: מיני העטלפים בישראל ומצבם בארץ על פי הספר האדום

מיני העטלפים בישראל ומצבם בארץ על פי הספר האדום ¹³⁹. *מסמן מינים הנחשבים בסיכון גבוה מטורבינות רוח על פי מחקרים באירופה ⁵⁵. \$ מסמן מינים בישראל אשר נמצאו מתים בטורבינות באירופה. @ מסמן מינים בישראל אשר מינים אחרים בני אותו סוג נמצאים בסכנה מטורבינות באירופה. הטבלה הורכבה ממידע באתר מין השדה ¹⁶⁹, ויקיפדיה תחת הערך "פורטל:החי והצומח בארץ ישראל/יונקים" והספר האדום של החולייתנים בישראל ¹³⁹.

סיכון אזורי	שם עברי	מין	משפחה
	אשף מצוי	<i>Tadarida teniotis</i>	אשפיים (Molossidae) -
EN	בלומף שחור	<i>Barbastella leucomelas</i> [@]	נישפוניים (Vespertilionidae) -
EN	אפלול מצוי	<i>Eptesicus serotinus</i> ^{*\$}	
VU	אפלול הנגב	<i>Eptesicus bottae</i> [@]	
EN	עטלפון סאבי	<i>Hypsugo savii</i> ^{\$}	
	עטלפון אריאל	<i>Hypsugo ariel</i>	
EN (NT בעולם)	עטלפון בודנהיימר	<i>Hypsugo bodenheimeri</i>	
EN (NT בעולם)	כנפן	<i>Miniopterus schreibersii</i> ^{\$}	
CR (VU בעולם)	נשפון פגום אוזן	<i>Myotis emarginatus</i>	
EN	נשפון דק אוזן	<i>Myotis nattereri</i>	
VU (VU בעולם)	נשפון הגדות	<i>Myotis capaccinii</i>	
CR (NT בעולם)	נשפון גדול	<i>Myotis myotis</i>	
CR	נשפון מצוי	<i>macrocephalicus</i> ^{\$}	
EN	נשפון משופם	<i>Myotis blythii</i> ^{\$}	
EN	רמשן לילי	<i>Myotis mystacinus</i> ^{\$}	
VU	אודנן	<i>Nyctalus noctula</i> ^{*\$}	
	עטלפון לבן שוליים	<i>Otonycteris hemprichi</i>	
EN	עטלפון אירופי	<i>Pipistrellus kuhli</i> ^{@\$}	
	מין חדש	<i>Pipistrellus pipistrellus</i> ^{\$}	
EN	עטלפון ריפל	<i>Pipistrellus pygmaeus</i> ^{*\$}	
EN	אוזנן	<i>Pipistrellus rueppellii</i> [@]	
		<i>Plecotus austriacus</i> ^{\$}	
EN	אשמן מצוי או אשמן גדול	<i>Taphozous nudiventris</i>	אשמניים (Emballonuridae) -
EN	אשמן מצוי או אשמן קטן	<i>Taphozous perporatus</i>	
VU	ינזוב גדול	<i>Rhinopoma microphyllum</i>	ינזוביים (Rhinopomatidae) -
VU	ינזוב קטן	<i>Rhinopoma hardwickei</i>	
EN	לילן	<i>Nycteris thebaica</i>	לילניים (Nycteridae) -
	עטלף פירות מצוי	<i>Rousettus aegyptiacus</i>	עטלפי פירות (Pteropodidae) -
VU	פרספון	<i>Asellia tridens</i>	פרספוניים (Hipposideridae) -
EN (NT בעולם)	פרסף מצוי	<i>Rhinolophus blasii</i>	פרספיים (Rhinolophidae) -
VU	פרסף הנגב	<i>Rhinolophus clivosus</i>	
CR (VU בעולם)	פרסף בהיר	<i>Rhinolophus euryale</i>	
EN (NT בעולם)	פרסף גדול	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i> ^{\$}	
VU (VU בעולם)	פרסף גמדי	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	
RE נכחד באזורנו	פרסף חיזור	<i>Rhinolophus mehelyi</i> ^{\$}	

מספר מינים בארץ עלולים להיות חשופים במיוחד לסיכון מטורבינות רוח עקב התנהגות הציד שלהם: ינזוב קטן נוהג לצוד בשטחים פתוחים בגובה רב ואשמן קטן נוהג לצוד בגובה עשרות מטרים. דפוסי התנהגות כאלה חושפים מינים אלו לסיכון תמותה מוגברת מטורבינות רוח. מינים

כמו נישפון מצוי, נישפון דק-אוזן, פרספ גדול ופרספ מצוי הצדים באזורי חורש יהיו חשופים לסיכון מטורבינות שיוקמו באזורים אלו. אפלול מצוי אוסף באירופה מזון לאורך משוכות שיחים גבוהות¹³⁹. מכאן, שמין זה יכול להיות מושפע מתשתיות לינאריות כגון שדרות עצים בקרבת טורבינות או כריתה של חורש ויער בקו ישר בכדי למקם טורבינות, קווי מתח או דרכי גישה. רמסן לילי הינו מין נודד, שוכן עצים לרוב, שיכול לשחרר למזון אפילו 20 קילומטרים ממקום המנוחה שלו¹⁵⁷. מין זה נפגע רבות מטורבינות באירופה ולכן סביר להניח שגם בישראל הוא יימצא בסכנה.

קצב גבוה של תמותת עטלפים בעולם עשוי להגדיל את האיום על מינים נדירים בארץ ועל אוכלוסיות המאוימות באופן תדיר. לעטלפים חשיבות אקולוגית רבה כטורפים וכנטרפים, בקרת אוכלוסיות של פרוקי רגליים (רבים מהם מינים המזיקים לאדם ולחקלאות), מפצי זרעים, מאביקים ומפצי חומרי דשן¹⁷⁰. במספר פרויקטים בספרד הראו כי הקמת אתרי מנוחה לעטלפים עוזרת בשליטה על מזיקים לחקלאות כמו עשים וזבוב הזית¹⁷¹. עפ"י ממוצע הקטילה המדווח בעולם, הערכה גסה היא כי הקמה של 1000 טורבינות בישראל, תגרום לקטילה של כ- 4000-16,000 עטלפים בשנה^{55 56}.

2.4 השפעת טורבינות רוח על חיות שאינן מעופפות

בהשוואה לעופות ולעטלפים, כמות המחקרים הקיימת לגבי ההשפעות של חוות טורבינות רוח על בעלי חיים שאינם מעופפים היא קטנה ביותר. רוב ההשפעות הן בתחומים כללים המשפיעים על כלל המערכת האקולוגית כמו הרס בתי גידול, קיטוע בתי גידול, הפרעה בזמן הבנייה והתפעול לאורך חיי בעלי החיים, ולעיתים השפעות חיוביות יותר כמו אספקת פגרים טריים לאוכלי נבלות. ההשפעות האפשריות, בעיקר על מינים בסכנה, חייבות להיחקר ולהילקח בחשבון בזמן תכנון חוות רוח ותפעול¹⁷². פירוט נרחב של נושא זה, בפרק 3 להלן.

2.4.1 השפעות כתוצאה מעבודות בנייה ופירוק

בנייה ופירוק של מתקני חוות טורבינות רוח היא עבודה הנדסית משמעותית הגורמת להפרעות ישירות לבעלי חיים (מוות) והפרעות עקיפות (הרס בית הגידול, פגיעה בתפקודו ושינויו)¹⁷³. פרויקטים משמעותיים של טורבינות רוח תופסים (ברוטו) שטח יחסית גדול שמוערך ב- 2600-6000 מטרים רבועים לכל מגה-וואט שמופק¹⁴³. גודל בית הגידול שאובד תלוי בגודל החווה, במיקום החווה, אם באזור מופרע או באזור טבעי וכן בשלב החווה (הקמה, תפעול או פירוק). למרות שהשטח הדרוש לתפעול חוות הרוח משתנה בהתאם לכתוב לעיל, עדיין בזבז השטח

עולה על זה של דלקים מאובנים ואנרגיה סולארית, דומה לזה של אנרגיה הידרואלקטרית, וקטן מזה של ביומסה^{174 175 176}. למרות שהטורבינות עצמן יתפסו רק 5-10% משטח החווה, שטח זה אינו כולל את התשתיות הנלוות ואת הנזקים הישירים והעקיפים שלהם (כבישים, גדרות כבלי חשמל, שנאים, תחנות משנה ובניינים, אשר יידונו בפרק 3). יש חוקרים הסבורים כי לאבדן בית הגידול יש השפעות גדולות יותר על אוכלוסיות מאשר למקרי ההתנגשות בלהבי הטורבינות¹⁷³.

השפעת בניית הטורבינות מורגשת באבדן עושר מינים של דו-חיים, זוחלים, עופות ויונקים גם ללא קשר למקרי מוות¹⁷⁷. עצמת ההשפעה תהיה קשורה לטיב בית הגידול לפני הבנייה ולחברת בעלי החיים במקום, ולפיכך בנייה באזורים חקלאיים, לעומת טבעיים, תסב פחות נזק¹⁷⁸.

לעיתים שינוי פני הקרקע ובית הגידול יכולים להיות חיוביים ולהקל על בעל החיים. בעלי חיים יכולים ללכת ביתר קלות על כבישים וגם לחפור מחילות קל יותר באדמה מופרעת מאשר באדמה שאינה מופרעת ויש עליה שכבת אדמה קשה מאד¹⁷². בכל מקרה של השפעה שלילית או חיובית מדובר בהפרעת האיזון הטבעי ודבר חיובי למין אחד יהיה שלילי לאחר כך שיציבות המערכת האקולוגית עלולה להיפגע.

2.4.2 תמותת בעלי חיים תת-קרקעיים

מעט מחקרים מראים תמותת בעלי חיים קרקעיים כתוצאה מטורבינת רוח. בדרך כלל תמותה שכזו תהיה קשורה לתשתיות נלוות כמו כבישי גישה ותעלות ניקוז¹⁷⁹ ותהיה בקנה מידה קטן. דחיסת הקרקע בזמן הבנייה, אם מהטורבינה עצמה או כתוצאה מעבודת כלים הנדסיים כבדים, יכולה למוטט מחילות עד לעומק של כ- 60 ס"מ ולהרוג חיות תת-קרקעיות שלא ניתן לגלות בסקרים. מינים בשנת חורף או קיץ חשופים במיוחד להשפעה זו¹⁷².

2.4.3 השפעות במשך תקופת הפעילות של חוות הטורבינות

לאחר הרס בית הגידול, קיטוע בתי גידול הוא אחד הגורמים העיקריים שגורם לירידה באוכלוסיות בעלי חיים ועשוי להוביל להכחדתן. טורבינות רוח יכולות להוביל לקיטוע בעצם נוכחותן, על ידי תשתיות הכבישים וכבלי החשמל ונוכחות גדרות⁴⁸. הקיטוע מכיל בתוכו הרס של חלק מבית הגידול, הקטנת אזור המחיה, הגדלת מרחק בין אתרים חשובים (למשל בין אזור מנוחה לאזור שיחור לטרף), הגדלת תחומי בית גידול השונה מהדרוש לבעל החיים ושילובים שונים של הכתוב לעיל¹⁷². קיטוע עשוי למנוע חיבוריות בין אוכלוסיות שונות ולפגוע ברבייה. למרות הקושי בבחינה של השפעת הקיטוע בכל פרויקט, הרי שהשפעת קיטוע בתי

גידול באופן כללי ותאורטי מובנת היטב. ניתן להתבונן בקיטוע בשתי דרכים: ההשפעה על מין מסוים והשפעה על תבניות מרחביות (תרשים 16)¹⁸⁰.

התבוננות במינים ספציפיים נשענת על ההבנה שכל מין יגיב אחרת לשינויים בתנאים הסביבתיים על פי צרכי המזון שלו, מחסה, מרחב ואקלים טיפוסי ותהליכים בין מיניים כדוגמת טריפה ותחרות. מגבלה משמעותית בגישה על פי מינים היא שלא ניתן באמת ללמוד את כל ההשפעות על כל המינים. בחינת ההשפעה על תבניות מרחביות והבנתן תלויה בתפיסת האדם את התבניות במרחב והקשר שבין לבין מדדים של מינים הנמצאים בשטח, כולל מדדים מאגדים כדוגמת עושר מינים. גישות הנסמכות על תבניות מרחביות מקורן בגאוגרפיה של איים וכוללות מודלים שונים להימצאות מינים במרחב ולהשפעת תהליכים שונים עליהם. גישות אלו מאמצות נקודת מבט אנושית לגבי התבניות המרחביות ובודקות איך ישתנו מדדי בעלי החיים בהתאם לתבניות אלו. המגבלה העיקרית של הגישה הזו היא שהיא כוללת יחדיו תהליכים ומינים רבים בצורה יחסית כוללתית ופשטנית. שילוב של התבוננות רחבה על התמונה הכללית וגם על מינים מסוימים וההשפעה עליהם תוביל למחקר יעיל יותר ולניהול טוב יותר¹⁸⁰.



תרשים 16: גישות לבחינה והתייחסות לקיטוע בתי גידול ולשינוי הנוף
 הגישות מתחלקות לגישת מחקר הרואה את המין במרכז וגישה אחרת המסתכלת על תבניות מרחביות ודפוסים כלליים המתאימים לתבניות אלה¹⁶⁹.

השפעת טורבינות הרוח ביצירת קיטוע, או מחסום, הודגמה במחקרי עטלפים¹⁸¹ וניתן להניח כי גם בעלי חיים אחרים יושפעו. ניתן לחשוב על השפעה על פרסתניים כמו הפרעה לשיטוט חפשי, יצירת צווארי בקבוק בתנועה והקטנת שטחי רעייה. לעיתים ניתן למצוא התנהגות של הימנעות מאזור הטורבינות, למשל על ידי אייל פרדי בצפון ארה"ב^{172, 178}. לעומת זאת, מספר מחקרים הראו כי חיות מסוימות, כגון אייל אציל ואייל הצפון, לא שינו את אורח חייהן^{182, 183}. במחקר ארוך טווח על צבים החיים ליד טורבינות רוח נמצאה שרידות זהה של הצבים באזור הטורבינות ומחוצה לו. כך שלמעשה לא נרשמה ירידה משמעותית באוכלוסיית הבוגרים¹⁸⁴.



תרשים 17: טורבינות הרוח במעלה גלבע סמוכות לחיות משק

טורבינות הרוח במעלה גלבע מרוחקות עשרות מטרים בודדים מחיות משק, במתחם בו עובדים בני אדם שעות בכל יום. צילום: דניאל מדר, 2016.

2.4.4 השפעה מרעש הטורבינות

רעש הקמת טורבינות רוח עשוי להשפיע על בעלי חיים על ידי שינוי הרגלי השימוש בבית הגידול ובפעילותם במרחב, העלאת הלחץ (עקה, stress), ירידה בפעילות המערכת החיסונית, ירידה בהצלחת הרבייה, העלאת סכנת הטריפה, ירידה בתקשורת תוך מינית ופגיעה בשמיעה¹⁸⁵. כפי שפורט בפרק 1 לעיל, בזמן פעילות, הטורבינות משמיעות רעשים: רעש המכשירים ורעש הלהבים. הטורבינה מסוגלת גם לייצר רעשים בתדרים נמוכים שאינם נשמעים על ידי בני אדם¹⁷². במחקר על התנהגות של סנאים נמצא כי הסנאים מראים סימני עקה ושינויי התנהגות בסביבת הטורבינה כמו ערנות וחרדה מוגברת¹⁸⁶. חיות רגישות יותר לרעש

מאשר בני אדם כך שסביר שרמות הרעש הנסבלות לאוזן האנושית אינן תקפות לאוזניים רגישות של בעלי חיים ויש לנקוט משנה זהירות¹⁷⁸. במספר מחקרים, פרסתניים הראו נטייה להישאר בסביבת הטורבינות, כך שכפי הנראה הרעש אינו מפריע להם¹⁷².

2.4.5 השפעה של ויברציות וריצוד

כפי שהוסבר בפרק 1 לעיל, טורבינות הרוח יוצרות ויברציות אינפרה-סאונד שנמדדות גם במרחק עשרות קילומטרים. ישנם בעלי חיים הרגישים לתחום תדירויות הנמוך מ-40 הרץ וייתכן שיושפעו מהטורבינות. הטורבינות גם יוצרות ריצוד על-ידי צל הלהבים וכן עשויות לסנוור עקב החזרת אור השמש מהלהבים. צל הלהבים יכול להשפיע למרחקים ארוכים בעיקר כאשר השמש נמוכה ובאזורים הרריים. ריצודים עשויים במקרים מסוימים להיות גורם להתקפי אפילפסיה בבני אדם (ראו פרק 1 לעיל) ולכן עלולים אולי גם להזיק לבעלי חיים¹⁷². באותה מידה, גם קרינה אלקטרומגנטית מעל סף מסוים נמצאה מזיקה לבני אדם, אך לא נחקרה בבעלי חיים ועשויה להזיק לבע"ח היושבים על הטורבינות ממש.

2.4.6 השפעות נוספות

טורבינות רוח משפיעות על מיקרו-האקלים סביבן על ידי שינוי משטר הרוח המקומי. יש לכך פוטנציאל לשינוי התנאים המקומיים ולהשפעה על בעלי החיים¹⁷². הטורבינות עשויות למשוך טורפים ולהזין אוכלי נבלות בעופות ועטלפים פגועים. לא ממש ידועה ההשפעה הפוטנציאלית של נקודות אלו.



איל צפון (*Rangifer tarandus*)
חצי-מבוית בשבדיה⁴⁸.

3 - השפעת תשתיות נלוות של טורבינות הרוח על הסביבה



חוות הטורבינות הוותיקה בתל ע'סניה (הר בני רסן) שבגולן. צילום: רפי שרגאי.

3.1 מבוא

בפרקים הקודמים עסקנו בהשפעות הבריאותיות של טורבינות רוח, ובהשפעות הסביבתיות שלהן על בעלי כנף ובעלי חיים שאינם מעופפים. לרוב, תופסות השפעות אלו את הכותרות הגדולות בתחום זה. חלק מהציבור מוטרד מההשפעות הבריאותיות בלבד, וחלק אחר מתעניין גם בהשפעות הסביבתיות. קטילת בעלי כנף (עופות ועטלפים) הינה נזק מיד, אשר נראה לעין בסמיכות לטורבינות. נזק זה מאתגר את התפיסה כי טורבינות רוח הן אמצעי 'ירוק' להפקת אנרגיה. אין ספק שנזק זה קיים, הינו משמעותי באזורים מסוימים, ולעיתים הינו הנזק המשמעותי ביותר לבעלי כנף באותו אזור. יחד עם זאת, התמונה מורכבת יותר. חוקרים רבים סבורים כי התשתיות הנלוות לטורבינות הרוח הרסניות יותר לטבע מאשר טורבינות הרוח עצמן. עם זאת, יתכן ומכיוון שתשתיות נלוות אלו נתפסות כ'רגילות' ולא 'מיוחדות' (בשונה מטורבינות הרוח שהן טכנולוגיה חדשה ו'ירוקה' ובעלת השלכות חדשות על בעלי-כנף), יש המפחיתים בערכן של השפעות התשתיות הללו על הסביבה, ופעמים רבות השפעות אלו לא נלקחות בחשבון.

לתשתיות אנושיות כמובן השפעה פיזית על הטבע ועל שטחים פתוחים, כמו שמפורט בהמשך הפרק. יחד עם זאת, לתשתיות אנושיות ולפעילות אנושית יש גם השפעה פסיכולוגית ניכרת על בעלי-חיים, אשר לעיתים משמעותית הרבה יותר מאשר ההשפעות הפיזיות.

המושג **מרחב הפחד** או נוף הפחד באקולוגיה (landscape of fear), מתאר התנהגות בעלי-חיים אשר מוגבלת במרחב בשל פחד מטריפה או מפגיעה¹⁸⁷. לדוגמה, התנהגותה של זברה בסוואנה מלווה ביותר חשש וערנות כאשר היא באה לשתות מבור מים, לעומת רעה בשטח הפתוח. הזברה מצמצמת את זמני הביקור שלה בבור המים למינימום, ומכוונת את ביקוריה לזמנים מסוימים. מדוע? מכיוון שהזברה למדה שבורות מים הם נקודות בהן סביר מאוד שאריה יארוב לה בפרק זמן בו היא פגיעה ומוגבלת בתנועתה. פעילויות ותשתיות אנושיות משפיעות מאוד על מרחב הפחד של כל בעלי החיים, ודוחקות אותם אל מחוץ לאותם אזורים בהם הן קיימות. חיות גדולות נמנעות מאזורים עם הפרעות אנושיות דוממות (כבישים, תשתיות), במידה והן יכולות. עם זאת, אצל חלק מהחיות, כאשר הן כבר שוכנות באזור אשר קיימות בו הפרעות אלו, הן לרוב לא מראות סימנים של הימנעות מהפרעות אלו (כלומר, הן מתרגלות לקיומן של ההפרעות האלו).

תשתיות אנושיות נשארות בסביבה עשרות שנים לפחות ונוטות להאיץ התפתחות תשתיות ופעילויות אנושיות נוספות באותו אזור, במשוב חיובי (positive feedback). כל תשתית או פעילות חדשה מגבירה את הסיכוי להקמת עוד תשתית חדשה או לפעילות אנושית נוספת. למשל, לאחר סלילת דרך עפר לנקודה מסוימת בשטח טבעי, הולכת ועולה תנועת הרכבים אל אותה נקודה: תחזוקה, חקלאות, מטיילים, ציידים. פעמים רבות, יקשרו נקודה מסוימת זו

בכביש נוסף לאזור אחר. במידה והדרך החדשה מאפשרת קיצור דרך, התנועה באותו ציר תלך ותעלה, עם הזמן יתווספו תשתיות נוספות כמו תחנת דלק, קו מים וחשמל.

3.2 דרכים

אל כל אתר בו מוקמת טורבינת רוח בחוות טורבינות יבשתית נסללת דרך (עפר בדרך כלל) על-מנת לאפשר את שינוע חלקי הטורבינה ואת הכלים הנחוצים להקמתה. דרכים אלו משמשות גם לתחזוקה שוטפת, ובבוא העת גם ישמשו לפירוק הטורבינות. הדרכים בחוות טורבינות תופסות בעצם את השטח הגדול ביותר: כל טורבינה תופסת בממוצע כ- 5 דונם, בעוד הדרך לאותה טורבינה תופסת כ- 15 דונם⁴⁸. גם כאשר חוות טורבינות חדשה מסתמכת באופן חלקי על דרכים קיימות, לעיתים יש להרחיב או לשפר אותן ע"מ שיתאימו למשאיות ולמנופי ההתקנה הגדולים של הטורבינות.

בעלי-חיים קטנים לרוב מדירים עצמם מדרכים. כמות ומגוון המינים של קרפדות וצפרדעים למשל יורדים במרחק של 1000-250 מ' מכבישים. דרכים יכולות להעלות את מספרם של פרטים ממינים מסוימים, כמו מיני צבים אשר מעדיפים לחפור מחילות בסמוך לדרכים בארה"ב, או טורפים בינוניים אשר נהנים מתנועה קלה לאורך דרכים. אבל הסתמכות זו על דרכים גם חושפת אותם לפגיעה מוגברת מכלי רכב. בעלי-חיים גדולים בדרך כלל רגישים פחות לדרכים צרות, לעומת בעלי-חיים קטנים. בסך הכל, לדרכים אפקט שלילי¹⁷². יחד עם זאת, אי אפשר לקבוע מראש איך תשפיע הקמת חוות טורבינות על אוכלוסיית בעלי-חיים מקומית, שכן יש שונות בהסתגלות גם בתוך אותו מין. בניגוד לחיות בר, לדרכים השפעה זניחה על חיות משק⁴⁸. דרכים משפיעות על הסביבה במספר רב של אופנים. להלן יפורטו השפעות השונות של הדרכים על הסביבה.

3.2.1 שינוי פיזי של השטח

סלילת הדרכים גורמת לסילוק צמחיה מהשטח, לשיטוח ולהעלמת מאפיינים קרקעיים המשמשים צמחים ובעלי-חיים (סלעים, מערות, מחילות, מצוקים, גבעות, נקיקים). הקמה של טורבינות בשטחים נידחים, שטחי בר, הרים, או יערות ללא דרכים, צפויה לגרום לנזק הגדול ביותר - אבדן בפועל של בתי גידול. אלו שטחי המפלט של חיות הבר. נזק קטן בהרבה נצפה בחוות טורבינות אשר מוקמות בשטחים חקלאיים⁴⁸, זאת מכיוון שבשטחים אלו אוכלוסיית חיות הבר כבר אינה האוכלוסייה הטבעית המקורית והיא כבר מותאמת לחיים בצל האדם - היא יותר סבילה לנוכחות האדם ותשתיותיו. בנוסף, בשטחים חקלאיים יש תשתית קיימת של דרכים

ולעיתים אף קיימת תשתית של קווי הולכת חשמל עליהן ניתן להסתמך לפחות באופן חלקי, מבלי להקים תשתיות חדשות.

בשבדיה, הדרכים לטורבינות הן במצב פיתוח שבין דרך עפר פשוטה לבין כביש סלול, על מנת לאפשר מעבר משאיות עם חלקי טורבינות ⁴⁸. בארה"ב רוחב הדרכים נע בין 3-10 מ', כתלות באזור ובטופוגרפיה ¹⁷⁸. סלילת דרכים עלולה לגרום לשינויים הידרולוגיים בזרימת מים על פני הקרקע. המשמעות היא כי אזורים שזכו לאספקת מים ניכרת בעבר עלולים להתייבש ¹⁸⁸, ואיתם תפגע הצמחייה ואוכלוסיית בעלי-חיים המסתמכת עליהם.



תרשים 18: תפיסת השטח של חוות טורבינות רוח.

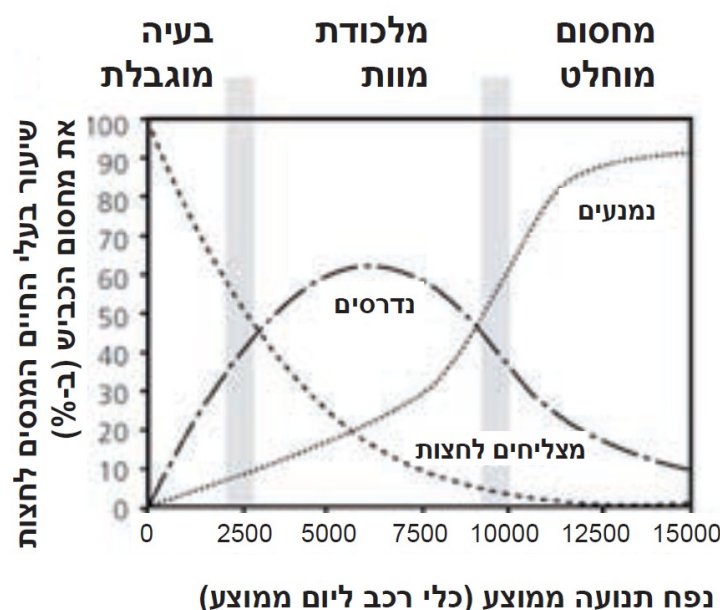
חוות טורבינות בשבדיה, בה נסללו דרכים חדשות באורך 9 ק"מ. רוחב הדרך כ- 21 מ'. אורך הקו הצהוב שבצד שמאל הינו 500 מ' לקנה מידה ¹⁸⁹. רוב תפיסת הקרקע היא של דרכי השירות לטורבינות.

3.2.2 דריסה

דריסה נתפסת לעיתים כפגיעה הכי חמורה של דרכים בבעלי-חיים. זאת מכיוון שבדומה לקטילת בעלי כנף ע"י טורבינות, אפשר לראות בעין את הנזקים והם אכן יותר דרמטיים מאשר העלמות "שקטה" של מין זה או אחר עקב אבדן בית גידול וקיטוע. למרות זאת, אין ספק כי האחרונים משמעותיים יותר.

כאשר מדובר על דרך שירות לא סלולה ורעועה, דריסת בעלי-חיים מהווה בעיה יחסית קטנה היות ועל הדרך נוסעים מעט רכבים ובמהירות נמוכה. שיעור דריסת בעלי-חיים עולה כמובן ככל שהדרך הופכת סלולה ועמוסה יותר בכלי רכב. כאשר הדרך מתרחבת לדרך מהירה, עם מספר נתיבים, מכוניות רבות וקירות הפרדה - סכנת הדריסה יורדת כי החיות מפחדות, ופחות מנסות לחצות את הדרך. הכביש, במקרה כזה, הופך לאזור חיץ בלתי עביר.

כמו שהוזכר קודם לכן, דרכים יכולות למשוך בעלי-חיים, והדבר עלול להעלות את מספר מקרי הדריסה¹⁷². גם עופות יכולים להידרס - בעיקר כאלו בעלי מעוף מגושם, כדוגמת חוגלות. פגרים של חיות שנדרסו בדרכי הגישה של הטורבינות, עלולים למשוך עופות דורסים, שעלולים להיפגע מהטורבינות הסמוכות או מרכבים חולפים בדרך. סכנת הדריסה של טורפים ואוכלי נבלות קרקעיים גם עולה כאשר הללו מגיעים לאכול את פגרי הדריסה.



תרשים 19: הקשר בין נפחי תנועה לבין יכולת בעלי-חיים לחצות כביש.

מודל עקרוני המתאר את ההשפעה של נפח התנועה על חלקם היחסי מכלל הפרטים הנמצאים בסביבת הכביש של אלה אשר: חוצים את הכביש בבטחה (מקווקו), נמנעים מלחצותו (קו רציף), או נדרסים למוות בעת ניסיון החציה (נקודה-קו). מתוך: ¹⁸⁸.

3.2.3 אזור חיץ

דרכים מהוות אזור חיץ לבעלי-חיים קטנים כגון יונקים, דו-חיים, זוחלים קטנים, וחרקים. מבחינת בעלי-חיים אלו, זהו שטח נרחב, חם, יבש, נעדר צמחיה מגוננת, חושף לטריפה ועוין. לכן, רבות מהחיות נמנעות או ממעטות מלעבור בדרכים, גם אם אין בהן תנועת רכבים ניכרת. ישנם מיני דו-חיים אשר נמצאים בסכנת הכחדה עקב נוכחות כבישים (דריסה, קיטוע). זוחלים משתמשים בדרכים החשופות לשמש לחימום דם הקר - ולכן פגיעים במיוחד ^{172 48 178 173 188}.

¹⁹⁰.

גם לבעלי-חיים בינוניים וגדולים, דרכים יכולות להוות אזור חיץ. למשל, לאלק אמריקאי (*Cervus canadensis*) אין בעיה לחצות דרכי עפר, אבל הוא נמנע מכבישים רחבים יותר ¹⁷⁸.

3.2.4 הידוק קרקע

עבודות התשתית לסלילת דרכים כוללות פעולות להידוק הקרקע. הידוק זה גורם להתמוטטות מחילות, ופוגע בחיות אשר שוכנות במחילות בקרקע עד לעומק של 60 ס"מ (חולדים, שועלים, מכרסמים). הידוק הקרקע, כמו שמתבצע בדרכים ובתשתיות נוספות, מהווה את ההשפעה הסביבתית בעלת הטווח הארוך ביותר מלכל שאר ההשפעות הסביבתיות. הידוק קרקע יכול להשפיע על הסביבה למשך עשרות עד מאות שנים¹⁷⁸.

3.2.5 "אפקט שוליים"

אזורי שוליים (edge zones) הם מפגש של שני בתי גידול. **אפקט שוליים** הינו השפעות הדדיות של שני בתי הגידול על אזור השוליים. אפקט שוליים יכול לגרום לעליה במגוון המינים. בשטחים מיוערים, דרכים יכולות לעודד התבססות או התרבות של מינים מסוימים - בשל "אפקט שוליים" באזורי השוליים. יצירת הדרכים קוטעת את רצף היער, מאפשרת חדירה של אור רב יותר אל פני השטח ומאפשרת את התבססותם של מיני צומח חד-שנתי ושיחים. שונות גבוהה בכמות האור ובכיוונים מהם הוא מגיע מעלה את מספר מיני הצומח ויכולה להעלות את מספר בעלי-חיים - באזורי שוליים יש לעיתים קרובות יותר מינים מאשר בשטח הומוגני. כמו כן, קיטוע זה של היער מקל על רעיה, מקל על תנועה בשטח ומספק הקלה מחרקים טפילים (בשבדיה היערות שורצים יתושים באביב-סתיו. בארץ, אם קיים הבדל, הוא כנראה פחות מובהק בין יער לשטח פתוח)⁴⁸. השפעות אלו חיוביות למינים מסוימים, אבל יכולות להיות שליליות למינים אחרים - כמו למשל פטריות אשר משגשגות במעבה היער ללא אור רב ובלחות גבוהה.

דרכים יוצרות אפקט מסדרון: ישנם בעלי-חיים אשר מעדיפים לנוע לאורך דרכים עם תנועת רכבים מועטה. תנועה זו, בדומה לתנועה לאורך ערוצי זרימה של מים, קלה יותר מאשר בתוך יער או חורש, וכן יש שדה ראייה נרחב יותר. דרכים, אם כן, מיטיבות למשל עם שועלים וזאבים. הדבר טוב לאותם מינים, אבל רע לטרפם - אשר הופך חשוף ופגיע יותר. גם בגלל שתנועת הטורפים נעשית קלה יותר והם יכולים לכסות מרחק גישוש גדול יותר, גם מכיוון שנשאר להם פחות יער, וגם מכיוון שהמרחק מקצה היער ללב חלקת היער יורד (עליה ביחס קוטר\ שטח)⁴⁸.

בקנדה, אוכלוסיית אייל הצפון (קאריבו, *Rangifer tarandus*) לא מתאוששת למרות הגבלות על הצייד שלהם ע"י האדם, ולמרות שמתבצע צייד יזום של טורפיהם (זאבים ודובים). האשם העיקרי נעוץ בכך שתשתיות אנושיות רבות וכריתת חלקות עצים לתעשיית העץ יצרו קיטוע

"אזורי שוליים" רבים ביערות. הקיטוע הנרחב הגדיל עד מאוד את מרחב/ נוף הפחד של אייל הצפון, ונתרו יחסית מעט אזורים במעבה היערות בהם הם יכולים להוריד את הערנות והחשש שלהם מטורפים. כאשר הם נמצאים רוב הזמן במצב עקה (stress) עקב קרבה לשולי היער, הם מבזבזים יותר אנרגיה, אוכלים פחות ותפקוד מערכת החיסון שלהם יורד. הזאבים עושים שימוש נרחב בדרכים על-מנת להגיע לאיילי הצפון בקלות, מצליחים לצוד יותר פרטים תשושים, ומתרבים תוך פגיעה באוכלוסיית האיילים¹⁹¹.

3.2.6 מינים פולשים ומינים מתפרצים

קרקעות מופרות הינן קרקעות אשר לא נמצאות במצב הטבעי שלהן, עקב הפיכה, הידוק, תיחוח וחפירה. בקרקעות מופרות נפגעת הצמחייה המקומית, נפגעת האקולוגיה של קרום הקרקע ומסולקים בעלי-חיים צמחוניים וטורפים. כל אלו מקלים על התבססות מינים פולשים בשטח הפנוי, כיוון שהתחרות קטנה יותר בשטחים מופרים. המינים הפולשים צומחים ומתרבים מהר, מונעים צמיחה ורבייה של מינים מקומיים, פוגעים בבסיס המערכת האקולוגית, חלקם לא נאכל על-ידי בעלי-חיים מקומיים, והאחרונים צריכים למצוא להם מקום אחר לאכול ולחיות בו. עבודות להקמת תשתיות חדשות בדרך כלל הופכות את הקרקעות למופרות, ומאפשרות התפשטות מינים פולשים. כל עבודות התשתית בחוות טורבינות רוח גורמות לאפקטים אלו, אך התשתיות "המצטיינות" בכך הן דרכים. קודם כל, דרכים תופסות את השטח הנרחב ביותר בחוות טורבינות. שנית, הדרכים בדרך כלל מובילות משטחים מופרים קיימים בהם כבר קיימים מינים פולשים, אל שטחים "בתוליים" מבחינת מינים פולשים. כך, המינים הפולשים יכולים להתקדם לאורך הקרקעות המופרות שלאורך הדרכים החדשות. לעיתים יש מינים פולשים אשר "תופסים טרמפ" על כלי תחבורה ומופצים במהירות (בעלי-חיים קטנים, זרעים של צמחים, נבגי פטריות)^{178 173 188 192}. דוגמאות קלסיות למינים פולשים בארץ הם צמח השיטה המכחילה (*Acacia saligna*) ושני מיני עופות- הדרה (*Psittacula krameri*) והמינה הודית (*Acridotheres tristis*).

מינים מתפרצים הינם מינים מקומיים אשר משגשגים בסביבה מופרת ובקרבה לאדם. גם הם, בדומה למינים הפולשים, מתפשטים לאורך דרכים ומסכנים את המינים המקומיים שעד אז התקיימו בהצלחה. מוכרים מינים אשר משגשגים בקרבת האדם הודות לשפע מזון (זבל, חקלאות, חיות מבויתות, פגרים), אפקט של הרחקת טורפים גדולים, ובנייה של מבנים אנכיים המשמשים למסתור, קינון ותצפית. דוגמאות למינים כאלו בארץ הם עורבים, תנים, שועלים, דרורים, ויונים. עלייה במספר הפגרים בשטח עקב דריסה ופגיעת להבי הטורבינות, תביא לשגשוג טורפים ואוכלי נבלות בשטח במספרים גבוהים, דבר שעלול לגרום להתמוטטות

אוכלוסיות של טרף טבעי. ישנה סכנה שהקמת טורבינות רוח (או כל תשתית אנושית אחרת) בשטח טבעי תהפוך אותו למתאים יותר למינים חובבי אדם אלו, על חשבון מינים אשר היו נפוצים בטבע קודם לכן^{172 178}.

3.2.7 תעלות

לעיתים מתלוות לתשתיות אנושיות תעלות. לרוב מדובר בתעלות ניקוז או הטיה של מים לשם מניעת נזק לתשתיות. רוב התעלות נמצאות לאורך דרכים, אך תתכנה תעלות גם מסביב לטורבינות או לשנאים. תעלות באופן כללי משנות את זרימת המים על פני הקרקע ויוצרות אזורים עשירים במים ולעומתם אזורים אחרים העניים במים, על כל ההשלכות הנובעות מכך. באופן ספציפי, תעלות בטון או תעלות עמוקות ותלולות גם עלולות ללכוד חיות קטנות כגון צבים¹⁷².

3.2.8 רעש

דרכי עפר נידחות אינן מייצרות רעש ניכר, היות ומעבר הרכבים בהן מועט מאוד. עם זאת, במידה ורכבים רבים יותר ינצלו את הדרכים, הם ייצרו רעש משמעותי. רעש תחבורה של מעל 50 דציבלים מביא לירידה בצפיפות העופות, כאשר בשטחים מיוערים הירידה נצפית בקרב עופות יער כבר מעל ל- 40 דציבלים^{173 188}. גם חיות גדולות ימנעו מאזורים בהם קיים רעש משמעותי⁴⁸.

3.2.9 הגברת נוכחות אנושית

לרוב, דרכי שירות לא סלולות בחוות טורבינות בהן יש מעבר איטי של 0-10 רכבים ביום בלבד, לא יגרמו להשפעה שלילית של רעש, תנועה ודריסה¹⁷². עם זאת, יש מינים של בעלי-חיים גדולים שנמנעים מדרכים כאלו במשך היום ובתקופת גידול הצאצאים, כגון אלק אמריקאי (*Cervus canadensis*), אייל הפרד (*Odocoileus hemionus*) ואייל הצפון (*Rangifer tarandus*). אין מסקנה אחידה לגבי השפעת הרעש והנוכחות האנושית על בעלי-החיים - יש שונות בין המינים השונים ואפילו בתוך אותו מין באזורים שונים⁴⁸. צריך לקחת בחשבון, שבחווות בהן יש תהליכי פיתוח לאורך שנים, האזורים "החמים" בהם יש הרבה פעילות (כבישי גישה למשל), מרחיקים בעלי-חיים לאורך כל אותן שנים. דרכים חדשות מגבירות תנועת רכבים ותנועה רגלית של אנשים: מטיילים, ציידים (חוקיים ולא חוקיים) ועובדים^{172 48}. טורבינות הרוח עצמן צפויות להפוך לאטרקציה ולאתר עלייה לרגל בארץ, לפחות בשנים הראשונות כאשר עדיין יהיו מראה חדש לרוב האוכלוסייה. תנועת

מטיילים וציידים הרבה יותר משמעותית ומשפיעה מרכבי שירות. כאשר מספר הרכבים עולה לעשרות עד מאות רכבים ביום - נצפות עליה בדריסות, שרידות נמוכה יותר, ירידה בפוריות ובהתרבות, ירידה בצפיפות החיות והימנעות מאזורים נרחבים עקב רעש ותנועה. במקרים חמורים בית הגידול אובד: צבאים, זאבים, מוס (*Alces alces*), אייל הפרד (*Odocoileus hemionus*), מיני שונר (*Lynx*), זאב (*Canis lupus*), אייל אדום (*Cervus elaphus*), אייל הצפון (*Rangifer tarandus*), דוב שחור (*Ursus americanus*) אלק אמריקאי (*Cervus canadensis*), גרגון (*Gulo gulo*)^{172 48 173}.

גם אם חוסמים את דרכי השירות אל הטורבינות לכל כלי הרכב, ומאפשרים מעבר רכבי שירות בלבד, עדיין יתכן ניצול של הדרכים על-ידי מטיילים רגליים, רוכבי אופניים, אופנועים וטרקטורונים אשר משפיעים לרעה על בעלי-חיים בסביבה⁴⁸.

3.3 קווי הולכת חשמל ושנאים

על פני כדור הארץ פרושים כ- 80 מיליון ק"מ של קווי הולכת חשמל במתח גבוה, עם גידול שנתי של כ- 5%^{193 194}. קווי הולכת חשמל נחוצים להולכת החשמל הנוצר בטורבינות אל רשת חלוקת החשמל. בדרך כלל, קווי ההולכה הם תת קרקעיים בתוך חוות טורבינות הרוח עד לשנאי של החווה, ומשם הופכים לעיליים. קווי מתח תת קרקעיים מהווים סכנה מינימלית לסביבה הכרוכה בעיקר חפירות בקרקע, ולעיתים משפיעים על זרימת מים תת קרקעית. עם זאת, לקווי הולכה עיליים יש השפעות שליליות על הסביבה.

3.3.1 התנגשות והתחשמלות

קווי הולכת חשמל ועמודי חשמל מהווים מכשול תעופתי לבעלי כנף. לרוב, הם אינם מסומנים בצורה בולטת וצבעם אפור או חום בהיר. גם בתנאי ראות טובה עופות מתנגשים בקווי מתח, והסיכון עולה עם ירידה בראות כתוצאה ממזג אוויר (סערה, ערפל, סופת אבק) או בלילה. ישנם גם בעלי כנף רבים אשר מתחשמלים כתוצאה ממגע עם קווי הולכת חשמל. מחקרים אמריקאים מצאו כי ברווזים, אווזים, ברבורים ועגורים רגישים לקווי מתח בסביבות מקווי מים; וכי דורסים וציפורי שיר (*passerines*) רגישים ברמות ובהרים. מחקרים אירופיים מצאו כי דורסים, שקנאים, עגורים, ביצניות, רליתיים, חסידאים, חופמאים, יונים, ינשופים וחובות הכי פגיעים לקווי מתח¹⁷³. בקנדה, המינים הרגישים הם ברווזים, אווזים, ברבורים, טבלניים, עגורים, עופות חוף, חסידאים וחופמאים¹⁹⁵.

ישנם לא מעט מחקרים אשר בחנו תמותת בעלי כנף עקב התנגשות בקווי הולכת חשמל והתחשמלות, ויש טווח רחב של סיכון ותמותה. בארה"ב למשל, מחקרים שונים מעריכים כי בכל שנה מתים בין מאות אלפים ל- 174 מיליון עופות עקב התנגשות בקווי הולכת חשמל ועקב התחשמלות¹⁷³. גם אם בוחנים תמותת עופות לכל ק"מ קו הולכת חשמל בשנה, הטווח רחב מאוד ועומד על 0.01-480 עופות מתים לכל ק"מ קו הולכת חשמל בשנה. טווחים עצומים אלו המשתרעים על פני 5 סדרי גודל, משקפים את המורכבות שבתחום. טווחים רחבים אלו משקפים את השונות בתמותה בין מיני בעלי כנף שונים, שונות עונתית וכן את השונות בין אתרי מחקר שונים. מחקר שניתח עשרות מחקרים אלו הצליח לצמצם את הטווח ומעריך כי בארה"ב מתים 12-64 מיליון עופות כל שנה עקב התנגשות בקווי הולכת חשמל ומתחשמלות¹⁹⁶.

לדוגמה, על-מנת להבין כמה עופות צפויים למות כתוצאה מהוספת 20 ק"מ של קו עילי להולכת חשמל כתוצאה מהקמת חוות טורבינות רוח בגולן, יש למדוד את מספר העופות המתים מקווי הולכת חשמל באזור לאורך כל השנה (כולל עונות הנדידה), ולהשליך מתוצאות אלו על צפי התמותה עם הקמת קווים חדשים.

3.3.2 מסדרונות קווי מתח

באזורים מיוערים, מלווים את קווי המתח מסדרונות בהם שומרים את הצמחייה נמוכה, על-מנת להקטין סיכון לקווי ההולכה בעת שריפות, להקטין פגיעה בקווים מעצים וכן על-מנת לאפשר טיפול ותיקון פשוט יותר בקווים. באזורים מדבריים, אזורי בתה ובאזורים חקלאיים, השפעה זו אינה משמעותית.

באזורים מיוערים, מסדרון קווי הולכת חשמל יוצר "אפקט שוליים" ליער וגורם לקיטועו (ראו פרק 3.2.5 לעיל). קיים מידע סותר בנושא ההשפעה של מסדרונות אלו על בעלי-חיים קרקעיים, המשקף שוני בין מינים שונים ובין אתרים שונים. עם זאת, נראה כי איילי צפון (*Rangifer tarandus*) אשר הטריטוריה שלהם מרוחקת מעל מספר ק"מ ממסדרונות קווי חשמל באזורים מיוערים, ממעטים להשתמש בהם במסדרונות, ואלו מהווים מחסומים עבורם. זאת מכיוון שזהו שטח פתוח ונתיב תנועה המקל על גילוי על-ידי טורפים (בדומה לדרכים) וכן כנראה שגם משמש את הטורפים כדי למצוא את האיילים. איילים אשר הטריטוריה שלהם נמצאת בקרבת מסדרונות אלו, לא נמנעים מהמסדרונות ונראה שהסתגלו אליהם^{191 48}.

3.3.3 שריפות

כמו כל נוכחות אנושית אחרת, בעיקר כזו המערבת חשמל - נוכחות טורבינות רוח, שנאים וקווי הולכת חשמל מגבירה את הסכנות לשריפות. כבר קרו מקרים בהם גיצים מטורבינות רוח תקולות גרמו לשריפות^{172 178}.

3.3.4 קרינה אלקטרומגנטית

כפי שתואר בפרק 1 לעיל, מספר מחקרים אשר התבצעו על חיות משק אשר נחשפו לקרינה אלקטרומגנטית בעוצמה הדומה לזו הקיימת בטווח של מטרים בודדים משנאי, לא מצאו ראיות לפגיעה בבריאות או בפוריות של אותן חיות משק. עם זאת, כן נמצאו שינויים ברמות הורמונים, ירידה מסוימת בצריכת מזון ובייצור חלב, אך לא ברמות הפוגעות בבריאות החיות. בטורבינות רוח, הגנרטורים נמצאים בראש הטורבינות והחשמל זורם בכבלים גבוה באוויר, או בכבלים מבודדים בעומק האדמה. ריחוק ובידוד זה גורמים לכך שעוצמת הקרינה הנמדדת על פני הקרקע זניחה לחלוטין ב- 99.9% משטח חוות רוח. רק בצמוד לשנאי תתכן חשיפה לקרינה אלקטרומגנטית גבוהה⁴⁸.



תרשים 20: בקר בקרבת חוות טורבינות בהוואי שבארה"ב
צילום: חגית אולנובסקי, 2016.

עופות אשר נוטים לעמוד על קווי מתח, כן חשופים לקרינה אלקטרומגנטית גבוהה. חשיפה זו גורמת לשינויים בהתנהגות, בשיעור רבייה, בגדילה, בהתפתחות, בפיזיולוגיה, באנדוקרינולוגיה (רמות הורמונים) ובעקה חימצונית^{197 198 199}. עם זאת, שינויים אלו אינם עקביים ואינם תמיד שליליים. למשל, יש כאלו אשר רואים ירידה בפריור, בעוד אחרים מוצאים עליה במספר ובגודל הביצים. נראה כי ההשפעות משתנות בהתאם למין ולאתר, אך בכל מקרה אינן דרמטיות ברמה של צמצום או גדילה של אוכלוסיות.

3.3.5 מבנים אנכיים

עמודי חשמל, בדומה לטורבינות הרוח, הינם מבנים אנכיים. ישנם בעלי-חיים אשר נמנעים מקרבה לעצמים אנכיים, כמו עצים, אנטנות, עמודי תאורה וטורבינות. אלו בעיקר מינים החשופים לטריפה מצד עופות דורסים, אשר מנצלים את העצמים האנכיים לתצפית ולקינור. בעלי-חיים אלו ימנעו מעצמים אנכיים גם בהעדר עופות דורסים¹⁷². דוגמאות לבעלי-חיים כאלו הם עופות שוכני קרקע כגון מיני שכווי (*Centrocercus urophasianus*, *Tympanuchus*)²⁰⁰. בארץ, יתכן וציפורים שוכנות קרקע ימנעו מאזורים אלו.

3.3.6 פגיעה נופית

קווי הולכת חשמל גורמים לפגיעה נופית משמעותית. זאת מכיוון שמתנשאים לגובה ומשתרעים לאורך ק"מ רבים. בשטחים טבעיים הפגיעה משמעותית יותר, בעוד שבשטחים חקלאיים הפגיעה נמוכה יותר.

3.4 גדרות

גדרות משמשות למניעת מעבר של כלי רכב, אנשים ו/או בעלי-חיים. ישנם סוגים רבים של גדרות, ויש להן השפעות חיוביות ושליליות על הסביבה. נכון להיום, לא מתוכננות גדרות בחוות טורבינות רוח בישראל. עם זאת, יתכן ובעתיד גישה זו תשתנה וחוות הרוח יגודרו – אם כי אין יכולת להעריך היום איזה סוג גידור יתווסף לחוות הרוח (אם בכלל).

3.4.1 השפעות חיוביות של גידור

לגידור יכולות להיות השפעות חיוביות על בע"ח - בעיקר מניעת השפעות שליליות של גורמים אנתרופוגנים (שמקורם בפעילות האדם). דוגמאות בולטות לכך הן מניעת כניסה ליישובים או דריסה על-ידי רכבים. גדרות יכולות להגן על אזורים רגישים אקולוגית מפני לחץ של מטיילים

או מפני רעיית יתר ורמיסה על-ידי בקר. גידור שטחים חקלאיים מקטין נזקים מחיות בר לחקלאות, ולכן מסייע בהקטנת "פעולות ענישה" והדברה של חיות בר על-ידי חקלאים. הגידור מקטין השענות של יונקים בינוניים וגדולים על שטחים חקלאיים כמקור מזון, אך לא יכול למנוע זאת מעופות ובעלי-חיים קטנים²⁰¹. גידור יכול לתעל בעלי-חיים לאזורים רצויים ומוגנים. גדרות יכולות לשפר שרידות של עופות דורסים באמצעות מתן נקודות תצפית ומנוחה, על-חשבון הטרף של אותם עופות.

גידור צבאי (וגם מיקוש) מקטין נוכחות ופעילות צבאית אנושית ורכובה, ומקטין את הפגיעה במערכת האקולוגית. ישנם מקרים בהם נוכחות צבאית וגידור הצילו מערכות אקולוגיות מכליה. הדוגמה המובהקת ביותר היא אזור הזור בבקעת הירדן שם המערכת האקולוגית משגשגת הודות להיעדרות האדם. גם ביהודה ושומרון בסיסי צה"ל משמשים מחסה למערכות אקולוגיות - עדרי רועים לא מתקרבים לבסיסים, הצמחייה משגשגת, וכן ציידים לא מתקרבים לבסיסים ומאפשרים שגשוג של בעלי-חיים. גם במרכז הארץ, בסיסי צבא בעלי שטח ניכר שאינו בנוי, משמרים פעמים רבות את האקולוגיה המקורית ומונעים פיתוח של השטח²⁰².

3.4.2 השפעות שליליות

עם זאת, לגידור גם השפעות הרסניות על בעלי-חיים. ברמת הפרט, גידור יכול להגביל גישה למקורות מים ומזון, ולהגביל פעילויות רבייה, נדידה, תפיסת טרף או בריחה מטורף. כל אלו מקטינים את יכולת ההישרדות של הפרט - וכך, גם את יכולת ההישרדות של האוכלוסייה. גדרות רגילות, אך בעיקר תלתליות או קוצניות, גורמות פגיעות פיזיות שחלקן קטלניות בבעלי-חיים יבשתיים ובבעלי כנף. גדר מסיבית יכולה גם לחסום ולהטות נחלים, ובכך לשנות מערכות אקולוגיות.

ברמת האוכלוסייה, גידור מקטע בתי גידול ליחידות שטח קטנות אשר המעבר ביניהן קשה ולעתים בלתי אפשרי. קיטוע מקטין את המגוון הגנטי של האוכלוסייה ובכך מגדיל את פגיעותה למגוון איומים. ישנם בעלי-חיים (בעיקר טורפים) שלא יכולים לשרוד בבית גידול קטן כיוון שהם צריכים שטח גדול לשם שרידותם, והם יכחדו כתוצאה מקיטוע בית הגידול שלהם.

בעיית הגידור קיימת בכל הארץ, אם כי בדרום במידה פחותה. בצפון, הגידור החקלאי הולך ותופס תאוצה בשנים האחרונות. שטחים חקלאיים רבים בצפון כבר אינם שטחים פתוחים, ובעלי החיים הגדולים מודרים מהם. מציאת האיזון בין גידור לשם הגנה על החקלאים, על מבני התשתית ועל החיות, לבין גידור יתר מקטע אשר מחסל מסדרונות אקולוגיים, מהווה אתגר משמעותי. גידור ערוצי זרימה של מים, גידור בניצב לדרכים, וחיבור גדרות בין משקים/ ישובים/ חלקות - מונעים תנועה חופשית של בעלי-חיים, ופוגעים בהם²⁰¹.

3.5 תאורה מלאכותית וזיהום אור

ישנם מספר סוגים של תאורות מלאכותיות בחוות טורבינות רוח. ישנן נורות לסימון לילי של ראשי הטורבינות, עמודי חשמל, ומגדלי מדידה. לעיתים יש תאורה חזקה בדרכי גישה או במבנה השנאי ותאורה בסביבת בסיס הטורבינות. **זיהום אור** הינו אור מלאכותי בשעות החשכה אשר מביא לשינוי בפעילות בעלי-חיים וצמחים.

3.5.1 משיכה

תאורה מלאכותית בתשתיות הנלוות לטורבינות הרוח יכולה למשוך בעלי-חיים אשר משתמשים בה לניווט לילי: למשל חרקים, דו-חיים, זוחלים, עטלפים ועופות נודדים. אותם בעלי-חיים יכולים להסתובב שעות סביב מקור האור, לאבד את יכולת ההתמצאות במרחב, לבזבז אנרגיה וזמן עד למצב של פגיעה באורך החיים, פגיעה בהתרבות, תשישות ומוות. התקבצות בעלי-חיים סביב מקורות אור מושכת טורפים שזוכים לארוחות קלות. כך בעלי-החיים הנטרפים נפגעים והטורפים משגשגים, אך לעיתים על-חשבון טורפים אחרים אשר מתרחקים ממקורות אור. טורפים אשר נמשכים לריכוז טרף באזורי התאורה יכולים להיפגע מהטורבינות עצמן או מהתשתיות הנלוות^{178 188 203}.

3.5.2 דחייה ושיבוש

מצד שני, ידוע גם על בעלי-חיים אשר מתרחקים ממקורות אור וחווים פגיעה בשיחור וברבייה כאשר נוספים מקורות אור לסביבתם. בכך מקורות תאורה ליליים יוצרים מחסומים למינים מסוימים וגורמים להרס בתי גידול בפועל. תאורה לבנה הפולטת אור באורכי גל בתחום הכחול, עלולה לשבש מקצבים ביולוגיים המושפעים משעות התאורה ביממה, בצמחים ובעלי-חיים. כתוצאה משיבוש זה עלולים להיגרם תשישות ומוות, או רבייה במועדים שגויים מבחינת עונות השנה, כאשר אין מספיק אוכל או טמפרטורה מתאימה. מקורות תאורה רבים באזור מסוים עלולים לגרום לפגיעה ביציבותן של מערכות אקולוגיות שלמות^{178 188 203}.

3.6 הקמה, תפעול ופירוק של טורבינות רוח

בנייה ופירוק של חוות טורבינות רוח הן עבודות הנדסית משמעותית הגורמות להפרעות ישירות לבעלי-חיים (מוות) ולהפרעות עקיפות (הרס בית הגידול, פגיעה בתפקודו ושינויו)¹⁷³. פרויקטים משמעותיים של טורבינות רוח תופסים שטח יחסית גדול (ראו גם תת-פרק 3.7

להלן, "השפעות מצטברות של היקפים הולכים וגדלים של תשתיות ופעילות אנושית". יש חוקרים הסבורים כי לאבדן בית הגידול יש השפעות גדולות יותר על אוכלוסיות מאשר למקרי ההתנגשות בלהבי הטורבינות ¹⁷³. השפעת בניית הטורבינות מורגשת באבדן עושר מינים של דו-חיים, זוחלים, עופות ויונקים גם ללא קשר למקרי מוות ¹⁷⁷. עצמת ההשפעה תהיה קשורה לטיב בית הגידול לפני הבנייה ולחברת בעלי החיים במקום, ולפיכך בנייה באזורים חקלאיים, לעומת טבעיים, תסב פחות נזק ¹⁷⁸.

רעשים, תנועת רכבים ערה ונוכחות אנושית מוגברת בעת הקמת טורבינות רוח עשוי להשפיע על בעלי-חיים על ידי שינוי הרגלי השימוש בבית הגידול ובפעילותם במרחב, עליה בעקה (stress), ירידה בפעילות המערכת החיסונית, ירידה בהצלחת הרבייה, העלאת סכנת הטריפה, ירידה בתקשורת תוך מינית, פגיעה בשמיעה ¹⁸⁵, ודריסה. במהלך עבודות הבניה, יש עבודות המראות כי בעלי-חיים גדולים כמו זאב (*Canis lupus*), אייל אדום (*Cervus elaphus*), אייל הצפון (*Rangifer tarandus*), דוב שחור (*Ursus americanus*) ואחרים נמנעים מאזור הבניה לפרקי זמן של חודשים ועד 3 שנים מסיום הבניה. ההימנעות היא מהדרכים, שטח הטורבינות וכמה מאות מטרים מהם. ישנם בעלי-חיים אחרים, אודותיהם התוצאות אינן חד-משמעיות, כמו אלק אמריקאי (*Cervus canadensis*) וגרגרן (*Gulo gulo*) ⁴⁸.

ישנן השפעות על הסביבה במשך תקופת הפעילות של חוות הטורבינות. לאחר הרס בית הגידול, קיטוע בתי גידול הוא אחד הגורמים העיקריים שגורם לירידה באוכלוסיות בעלי-חיים ועשוי להוביל להכחדתן. עוד על קיטוע פורט בתתי הפרקים "דרכים" ו- "גידור" לעיל, וכן יפורט בפרק "השפעות מצטברות של היקפים הולכים וגדלים של תשתיות ופעילות אנושית", להלן. מלבד השפעות אלו, תנועת הרכבים ופעילות תחזוקה בשגרת חוות טורבינות נמוכה משמעותית מאשר בתקופת ההקמה של החווה, ויכולה להסתכם במספר נסיעות בודדות ביום בחווה. עם זאת, רעשים משמעותיים עלולים להיגרם גם במהלך עבודות תחזוקה ובמהלך הפעילות השוטפת של טורבינות רוח.

כיום אין עדיין מידע על ההשפעות הסביבתיות של שלב פירוק טורבינות רוח, היות ואלו טכנולוגיות חדשות, אבל ההנחה היא כי האפקט יהיה זהה לאפקט בעת שלב הבניה של הטורבינות.

3.7 השפעות מצטברות של היקפים הולכים וגדלים של תשתיות

ופעילות אנושית

עקב אכילס של חלק מהאנרגיות המתחדשות הינו יעילות נמוכה לתא שטח, יחסית לדלקי מאובנים. יעילות זו נמדדת בשטח המתקן חלקי כושר היצור שלו בשנה (מ"ר-שנה למגה-וואט שעה, m^2a/MWh).

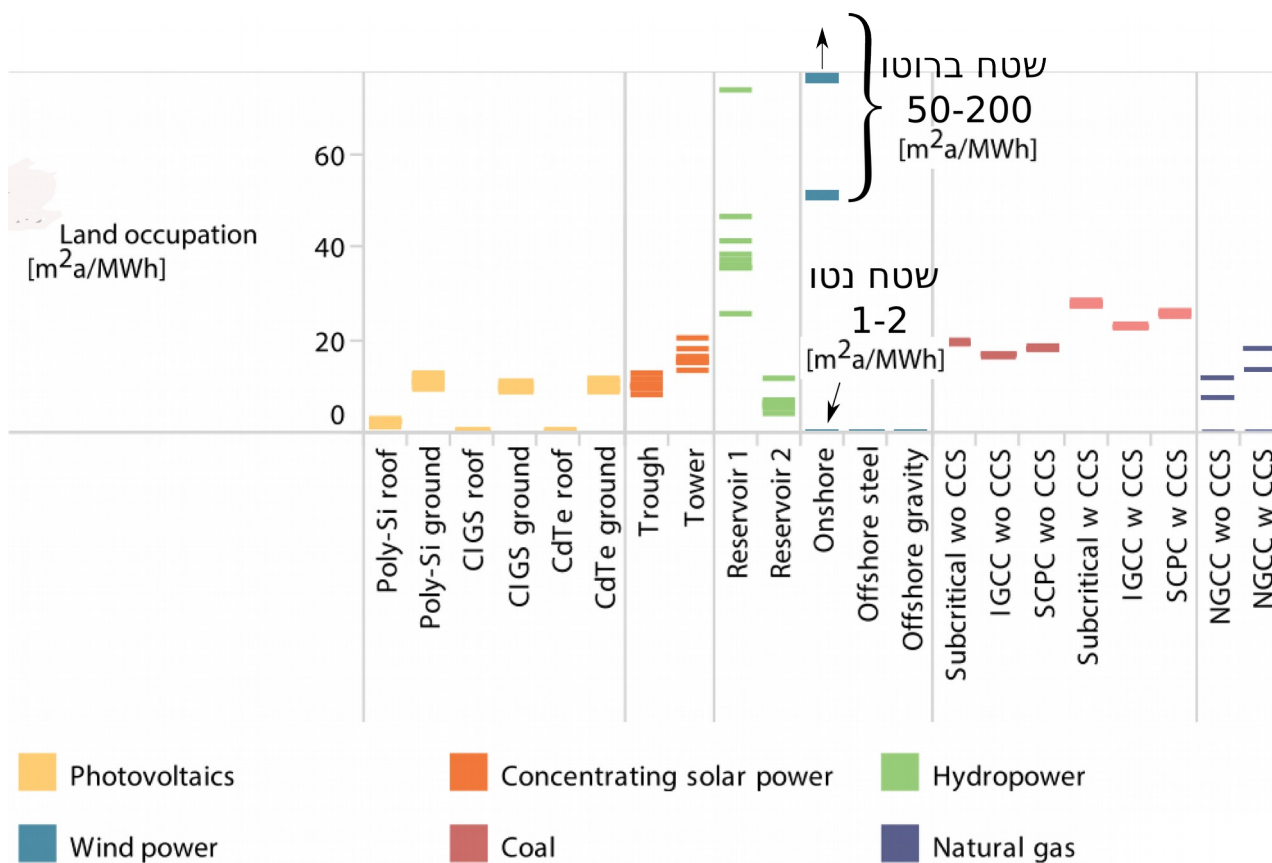
חוות טורבינות רוח בנויה מטורבינות אשר מרוחקות אחת מהשנייה (מרחקי בטיחות וכן מרחקים לצמצום הפרעות בזרימת הרוח בין טורבינות), לכן אין מדובר במתקן צפוף עם כיסוי שטח גבוה. בשל כך, בטורבינות רוח ישנה תפיסת שטח נטו, אשר כוללת רק את השטחים אשר נתפסו בפועל ע"י תשתיות חדשות (בסיס הטורבינה, דרכים, שנאים, קווי חשמל). שטח זה תופס $1-2 m^2a/MWh$, המהווה עד 10% משטח החווה כולה בלבד. שאר שטח החווה יכול לשמש למטרות אחרות כגון שטח בר פתוח ושטח חקלאי (עם מגבלות). השפעת שטח נטו רלוונטית בעיקר לסילוק צמחיה, ולהשפעה ישירה על בע"ח קטנים. לבעלי חיים גדולים אשר יכולים לגמוע מרחקים גדולים, בד"כ אין חשיבות רבה לשינוי טבעי של עד 10% מהשטח (למעט במקרים בהם מדובר באתר ייחודי כמו פגיעה במקווה מים או אתר רבייה). תפיסת שטח נטו זו היא בין הנמוכות בין מתקני הפקת אנרגיה.

מכיוון ששינוי שטח נטו בחוות טורבינות אינו טבעי אלא מעשה ידי אדם, יש לו השלכות אל מעבר לשינוי השטח הנטו בלבד. לכן, בחוות טורבינות רוח מתייחסים גם לתפיסת שטח ברוטו ע"י החווה, אשר היקפה $50-200 m^2a/MWh$. תפיסת השטח ברוטו היא בין הגבוהות בין מתקני הפקת אנרגיה: גבוהה מאנרגיה סולארית ומדלקים קונבנציונליים, דומה למתקנים הידרואלקטרים, קטנה מהפקת אנרגיה מביומסה (תרשים 21) ^{175 174 176}.

תפיסת שטח ברוטו רלוונטית בעיקר לבע"ח גדולים, אשר מודרים מהחווה באופן מלא מכל השטח או חלקי, כלומר אינם מתקרבים מעבר לטווח של מאות מטרים לתשתיות הקרקעיות. שינוי זה עשוי להיות זמני (למשך עבודות ההקמה או למספר שנים בודדות מההקמה) או לצמיתות. מבחינה אקולוגית, למינים רבים, במקרים מסוימים (כמפורט לעיל), הקיטוע והרס בתי הגידול יכול להיות ניכר ^{178 175}.

אלק אמריקאי (*Cervus canadensis*) ואייל הפרד (*Odocoileus hemionus*) נמנעים במשך שנים מאתרים עם פעילות אנושית נרחבת, כמו קידוחי נפט - ובעצם יש כאן אבדן בית גידול למרות שרוב האזור לא פותח ולא השתנה ^{180 178}. לעומת מקרים אלו, איל צפון (*Rangifer tarandus*) חצי-מבוית בשבדיה לא מראה ירידה בצפיפות בתחום חוות טורבינות רוח בחצי אי עם מרעה דל, לעומת איזור הביקורת. עם זאת, נצפתה הימנעות לאורך 3 שנים

מתחילת הבניה בטווחים של 100 מ' מדרכי גישה לטורבינות. אלו השפעות קלות בסה"כ, עם זאת, לא ניתן להשליך מתוצאות מחקר זה על אזורים עשירים יותר, או באזורים פתוחים ולא מוגבלים כמו חצי אי ¹⁸³.



תרשים 21: תפיסת קרקע ע"י מתקני הפקת אנרגיה שונים

ניתוח מחזור חיים של תפיסת קרקע (מ"ר-שנה) ליחידת חשמל מופקת (מגה-וואט שעה) (m²a/MWh), למקורות שונים של הפקת חשמל. ניתן לראות כי הפקת חשמל מטורבינות רוח (בתכלת) תופסת נטו שטח קטן מאוד. ועם זאת, תפיסת שטח ברוטו הינה גבוהה. מבוסס על ^{175 174 176}.

הקיטוע המתקיים עקב פעילות ותשתיות הכרוכות בחוות טורבינות הוא רב-מימדי: עד עומק 60 ס"מ מתחת לפני הקרקע (הידוק), על פני הקרקע (דרכים, תעלות), ומתנשא לגובה (טורבינות, קווי הולכת חשמל). הקיטוע הוא רב-חשוני: ראייה (תנועת רכבים ואנשים, נוכחות פיזית של תשתיות, תאורה בלילה), ריח (מתכת, דלקים, גזי פליטה, אנשים), שמיעה (רכבים, טורבינות) וויברציות (טורבינות, רכבים). הקיטוע הוא גם פיזי בשטח: שינוי משטח פתוח לשטח בנוי.

קיטוע יתר משמיד פיזית מערכות אקולוגיות באמצעות שינוי השטח משטחים פתוחים לשטח בנוי/ מפותח, ודוחק את בעלי-חיים באמצעות שינוי מרחב הפחד שלהם. אם שטח מפותח חדש זה נופל בין מערכות אקולוגיות ביניהן יש קשר (לדוגמה: מעבר מינים, פרטים, זרעים, אבקנים), הקשר בין המערכות נחלש. אם מערכת אחת נסמכת על מערכת אחרת כמקור לפרטים - המערכת האחת תקרוס עקב פגיעה באספקת הפרטים¹⁸⁸.



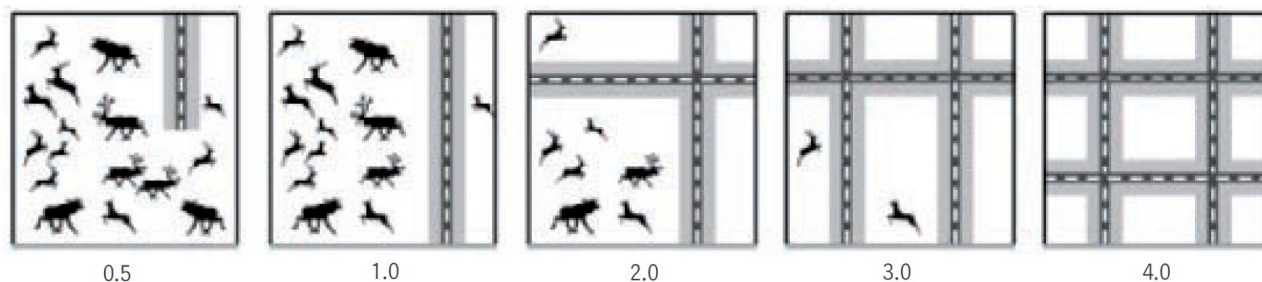
תרשים 22: חשיבות הקישוריות להשפעת תשתיות קוויות על מטה-אוכלוסיות

לא כל השטח מתאים לקיום אוכלוסיית בע"ח. העיגולים מייצגים היכן מתקיימות אוכלוסיות במרחב. שאר השטח עניידי, אינו מכיל מקומות מסתור או בשימוש חקלאי. העיגולים השחורים מייצגים אוכלוסיות יציבות אשר משמשות כמקור (source) לפרטים לאוכלוסיות הלבנות אשר אינן יציבות ומשמשות מבלע לפרטים (sink).
(א) לפני סלילת כביש, ניתן לראות מספר גדול של אוכלוסיות מקור ומבלע, עם קשרים ביניהן, כאשר מתאפשר מעבר פרטים חופשי בין האוכלוסיות, וכן החלפת גנים ביניהן.
(ב) לאחר סלילת כביש נעלמות האוכלוסיות אשר היו בתוואי הכביש. מעבר לכך, גם אוכלוסיות אשר היו מרוחקות מהכביש נעלמו. זאת עקב שבירת הקשר בין אוכלוסיות המקור לאוכלוסיות המבלע- אין עוד אפשרות למעבר פרטים מאוכלוסיות המקור שנותרו אל אוכלוסיות המבלע. מתוך¹⁸⁸.

מבחינת תשתיות נלוות, השפעת תשתיות של טורבינות רוח דומה בעיקרה להשפעת תשתיות מתחומים אחרים, כגון תחבורה, הקמת ישובים או הרחבתם. עם זאת, בתחומים אלו לרוב מדובר על תשתיות דו-מימדיות, צמודות לקרקע, אשר משפיעות בעיקר על בעלי-חיים שאינם מעופפים. רק לגורדי שחקים ולקווי מתח ראשיים השפעה תלת-מימדית על עופות, אשר דומה להשפעה של הטורבינות. עם זאת, לטורבינות יש השפעה שלילית גדולה יותר, היות ואלו אינן ממוקמות בתוך אזורים אורבניים, אשר לרוב אינם אזורי מחייה מועדפים של עופות בר, אלא בשטחים פתוחים.

הסכנה העיקרית בתחום התשתיות, אם כן, איננה רק בהוספת מספר מסוים כלשהו של טורבינות רוח, ובנזק שגורמות הטורבינות עצמן, אלא באפקט המצטבר של פיתוח אזורי הכולל

טורבינות רוח, קווי חשמל, כבישים, ישובים, אזורי תעשייה, אתרי תיירות, בסיסי צבא, צייד, פעילות חקלאית, והרעלות - והלחץ המצטבר שכל אלו יוצרים על המערכת האקולוגית. חוקרים רבים סבורים כי לקיטוע ולפרגמנטציה הנגרמים עקב בניית חוות טורבינות, השפעה שלילית חמורה יותר על הסביבה מעבר לקטילה ישירה של בעלי כנף ע"י הטורבינות^{172 178 173}.⁴⁸ לכן, כביכול, נראה כי עדיף להוסיף טורבינות באזור מפותח על-פני הוספת טורבינות באזור לא מפותח/ נידח/ בתולי, אשר יגרמו לנזק משמעותי יותר לסביבה. באזור מפותח יש כבר תשתיות מתאימות ונדרשת פחות עבודת פיתוח. אולם, מהצד השני, הוספה של טורבינות באזור מפותח/ חקלאי רגיש - עלולה להוות את "הקש ששבר את גב הגמל", ולמוטט אוכלוסיות. לכן, יש להיזהר משימוש בכלל אצבע במקרים אלו. יש לבחון כל מקרה לגופו ולא לאפשר אישור גורף להקמת טורבינות רוח בשטחים חקלאיים למשל. כיום חסר ידע על השפעת הפרעות ויזואליות ורעשים של הטורבינות על חיות קרקע וכן חסר ידע על אפקט מצטבר של פרויקטי פיתוח מסוג זה. בהינתן מחסור בנתונים, ותוך ביצוע הערכת סיכונים מושכלת, יש לבדוק היטב את מצב הפיתוח באזור המדובר, את עבודות הפיתוח הנדרשות, ולהעריך כיצד ישפיעו עבודות אלו והפיתוח הנוסף של האזור על בעלי החיים ועל המערכות האקולוגיות הספציפיות באזור זה, עם כל עבודות הפיתוח, הפעילות האנושית ומתקני התשתית הקיימים באזור.



צפיפות הכבישים (ק"מ/קמ"ר)

תרשים 23: שינוי בחלק היחסי של שולי כבישים במרחב

עליה בצפיפות הכבישים ליחידת שטח מגדילה הן את החלק היחסי של שולי בתי גידול והן את שטח שולי הכבישים (השטחים האפורים) באותו המרחב. הכתמים הנותרים יהפכו קטנים ומבודדים מדי מכדי לאפשר לאוכלוסיות להתקיים. הסף הקריטי להישרדות אוכלוסייה הוא תלוי-מין, אך תלוי גם במאפייני הנוף והתשתית. מתוך¹⁸⁸.

3.8 השפעת בניית תשתיות לטורבינות רוח בישראל

בארץ, נכון לסוף 2015, לא מתוכננות ולכן לא מאושרות גדרות לחוות טורבינות בארץ. כמו כן, כרגע לא מתוכננים כבישים סלולים אספלט לטורבינות, אך בעיקר מכיוון שזה מסבך את קבלת ההיתרים ומייקר את הפרויקט. אין כרגע איסור על סלילת כבישי אספלט לטורבינות. דרכי עפר

חדשות לטורבינות נסללות בתחילה ברוחב של 8 מ', על-מנת לאפשר את תנועת המשאיות בעבודות ההקמה, ולאחר סיום עבודות ההקמה הדרכים מוצרות לרוחב של 4 מ'. בהליך התכנוני ניתנת העדפה להישענות על דרכים קיימות ואכן חלק מהתכנון נשענות על דרכים קיימות.

במחוז צפון, הקיטוע הפך לאיום משמעותי; במחוז מרכז הקיטוע הוא כמעט מלא; מחוז יו"ש מנותק פחות או יותר משאר הארץ עקב גדר ההפרדה. בתוך המחוז עצמו הקיטוע יחסית נמוך לעומת המרכז והצפון, אך גבוה מהדרום; במחוז דרום ואילת- ברוב השטח הקיטוע נמוך עד מתון ²⁰¹.

לפיכך, בישראל, במרכז ובצפון אין באמת שטחי בר בתוליים נרחבים. השטחים הפתוחים רובם מקוטעים, מופרים, חקלאיים וכו'. תוספת של עוד כביש או עוד קו מתח לא תהרוס בית גידול בתולי, אך כן תצמצם שטחים פתוחים (גם אם תתבצע בשטח חקלאי). ניתן להניח כי החיות אשר מסתובבות באזור כבר רגילות להפרעות ברמה מסוימת. יחד עם זאת, הצטברות של איזמים ותשתיות מעבר לסף קריטי (שלא תמיד ברור בדיוק מהו, וברור כי כבר עברו אותו באזורים מסוימים), יכולים שלא להשאיר לבעלי-חיים במרחב המופר, שום מרחב מחיה והם ייעלמו. בשל הפיתוח הגובר, השטחים החקלאיים בישראל מהווים מסדרונות אקולוגיים חשובים, ולעיתים קיומם הוא המאפשר הישרדות של המערכות האקולוגיות עצמן. כל תוספת קיטוע עלולה להיות הרסנית למערכות אקולוגיות שלמות ²⁰¹.

דוגמה לכך הן הוספת טורבינות רוח בגללובע במרחב מירב ומעלה גללובע, אשר ביחד עם המאגר העליון של פרויקט האגירה השאובה- יוצרים בלב הגללובע אזור חיץ בעומק של כחצי ק"מ ובאורך מספר ק"מ. דוגמה נוספת היא אזור רמת צבאים וגבעת המורה, אשר לאורך כל עמק המעינות בינו לבין הגללובע - מתוכננות לקום טורבינות רוח, ישנן הרחבות בישובים באזור, מתוכננת הרחבת כביש 71 (דו-מסלולי עם שני נתיבים לכל צד), מבוצעת סלילת קו הרכבת לבית שאן ומתוכנן עיבוי קו מתח גבוה. כל עבודות הפיתוח הללו צפויות לנתק את הגללובע מכיוון צפון ולהפוך אותו לאי (מנותק מדרום וממערב ע"י גדר ההפרדה, מצפון ע"י התשתיות אשר נסקרו עתה וממזרח על ידי הגבול עם ירדן). יתכן ועומס התשתיות והפעילות האנושית יביאו להעלמות הצבאים מרמת צבאים.



חוות הטורבינות החדשה במעלה גלבוע. צילום: נימרוד מדר, 2016.

4 - רשימת מקורות

1. Phillips, C. V. Properly Interpreting the Epidemiologic Evidence About the Health Effects of Industrial Wind Turbines on Nearby Residents. *Bull. Sci. Technol. Soc.* **31**, 303–315 (2011).
2. ריצוד טורבינות רוח- סקירה רגולטורית השוואתית. (MeiData, 2013).
3. Harding, G., Harding, P. & Wilkins, A. Wind turbines, flicker, and photosensitive epilepsy: Characterizing the flashing that may precipitate seizures and optimizing guidelines to prevent them. *Epilepsia* **49**, 1095–1098 (2008).
4. Smedley, A. R. D., Webb, A. R. & Wilkins, A. J. Potential of wind turbines to elicit seizures under various meteorological conditions. *Epilepsia* **51**, 1146–1151 (2010).
5. *Update of UK Shadow Flicker Evidence Base*. (Parsons Brinckerhoff, 2010).
6. Gipe, P. *Wind Power: Renewable Energy for Home, Farm, and Business, 2nd Edition*. (Chelsea Green Publishing, 2004).
7. Farboud, A., Crunkhorn, R. & Trinidad, A. 'Wind turbine syndrome': fact or fiction? *J. Laryngol. Otol.* **127**, 222–226 (2013).
8. O'Neal, R., Hellweg, R. & Lampeter, R. *A Study of Low Frequency Noise and Infrasound from Wind Turbines*. (Epsilon Associates, 2009).
9. Laratro, A., Arjomandi, M., Kelso, R. & Cazzolato, B. A discussion of wind turbine interaction and stall contributions to wind farm noise. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* **127**, 1–10 (2014).
10. Hensel, J., Scholz, G., Hurttig, U., Mrowinski, D. & Janssen, T. Impact of infrasound on the human cochlea. *Hear. Res.* **233**, 67–76 (2007).

11. Salt, A. N. & Hullar, T. E. Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. *Hear. Res.* **268**, 12–21 (2010).
12. Schmidt, J. H. & Klokke, M. Health Effects Related to Wind Turbine Noise Exposure: A Systematic Review. *PLoS ONE* **9**, e114183 (2014).
13. Knopper, L. D. & Ollson, C. A. Health effects and wind turbines: A review of the literature. *Environ. Health* **10**, 78 (2011).
14. Dai, K., Bergot, A., Liang, C., Xiang, W.-N. & Huang, Z. Environmental issues associated with wind energy – A review. *Renew. Energy* **75**, 911–921 (2015).
15. Doolan, C., Moreau, D. & Brooks, L. Wind turbine noise mechanisms and some concepts for its control. *Acoust. Aust.* **40**, 7–13 (2012).
16. Takahashi, Y. A study on the contribution of body vibrations to the vibratory sensation induced by high-level, complex low-frequency noise. *Noise Health* **13**, 2 (2011).
17. Pedersen, E. & Larsman, P. The impact of visual factors on noise annoyance among people living in the vicinity of wind turbines. *J. Environ. Psychol.* **28**, 379–389 (2008).
18. Pedersen, E., van den Berg, F., Bakker, R. & Bouma, J. Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. *J. Acoust. Soc. Am.* **126**, 634–643 (2009).
19. Pedersen, E. & Waye, K. P. Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. *Occup. Environ. Med.* **64**, 480–486 (2007).
20. Bolin, K., Bluhm, G., Eriksson, G. & Nilsson, M. E. Infrasound and low frequency noise from wind turbines: exposure and health effects. *Environ. Res. Lett.* **6**, 035103 (2011).

21. *Provision of Expert Opinion concerning the Adverse Impacts of Wind Turbine Noise*. (The Waubra Foundation, 2014).
22. Pedersen, E. Health aspects associated with wind turbine noise—Results from three field studies. *Noise Control Eng. J.* **59**, 47–53 (2011).
23. Bakker, R. H. et al. Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress. *Sci. Total Environ.* **425**, 42–51 (2012).
24. Pawlaczyk-Łuszczynska, M., Dudarewicz, A., Zaborowski, K., Zamojska-Daniszewska, M. & Waszkowska, M. Evaluation of annoyance from the wind turbine noise: A pilot study. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* **27**, 364–388 (2014).
25. Nissenbaum, M., Aramini, J. & Hanning, C. Effects of industrial wind turbine noise on sleep and health. *Noise Health* **14**, 237 (2012).
26. Kuwano, S., Yano, T., Kageyama, T., Sueoka, S. & Tachibana, H. Social survey on community response to wind turbine noise in Japan. in (2013).
27. Shepherd, D., Welch, D., Hill, E., McBride, D. & Dirks, K. Evaluating the impact of wind turbine noise on health-related quality of life. *Noise Health* **13**, 333 (2011).
28. Pierpont, N. *Wind turbine syndrome: a report on a natural experiment*. (K-Selected Books, 2009).
29. Pedersen, E. & Wayne, K. P. Perception and annoyance due to wind turbine noise--a dose-response relationship. *J. Acoust. Soc. Am.* **116**, 3460–3470 (2004).
30. Jeffery, R. D., Krogh, C. M. E. & Horner, B. Industrial wind turbines and adverse health effects. *Can. J. Rural Med. Off. J. Soc. Rural Physicians Can. J. Can. Médecine Rurale J. Off. Société Médecine Rurale Can.* **19**, 21–26 (2014).

31. McCunney, R. J. *et al.* Wind Turbines and Health: A Critical Review of the Scientific Literature. *J. Occup. Environ. Med.* **56**, e108–e130 (2014).
32. Leventhall, G. What is infrasound? *Prog. Biophys. Mol. Biol.* **93**, 130–137 (2007).
33. *A Cooperative Measurement Survey and Analysis of Low Frequency and Infrasound at the Shirley Wind Farm in Brown County, Wisconsin.* (Channel Islands Acoustics, Hessler Associates Inc., Rand Acoustics, Schomer and Associates Inc., 2012).
34. Alves-Pereira, M. & Castelo Branco, N. A. A. Vibroacoustic disease: Biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signalling. *Prog. Biophys. Mol. Biol.* **93**, 256–279 (2007).
35. *The results of an acoustic testing program- Cape Bridgewater wind farm.* (The Acoustic Group, 2014).
36. Chapman, S. & St George, A. How the factoid of wind turbines causing 'vibroacoustic disease' came to be 'irrefutably demonstrated'. *Aust. N. Z. J. Public Health* **37**, 244–249 (2013).
37. Alves-Pereira, M. & Branco, N. A. A. C. Letter to the Editor re: 'How the factoid of wind turbines causing 'vibroacoustic disease' came to be 'irrefutably demonstrated'. *Aust. N. Z. J. Public Health* **38**, 191–192 (2014).
38. Schomer, P. D., Erdreich, J., Pamidighantam, P. K. & Boyle, J. H. A theory to explain some physiological effects of the infrasonic emissions at some wind farm sites. *J. Acoust. Soc. Am.* **137**, 1356–1365 (2015).
39. Knopper, L. D. *et al.* Wind turbines and human health. *Epidemiology* **2**, 63 (2014).
40. הגבלת החשיפה לשדה מגנטי כתלות במשך החשיפה. (אגף מניעת רעש וקרינה, המשרד להגנת הסביבה, 2013).

41. *Wind Turbines and Health- A Rapid Review of the Evidence*. (National Health and Medical Research Council, Australian Government, 2010).
42. Crichton, F., Dodd, G., Schmid, G., Gamble, G. & Petrie, K. J. Can expectations produce symptoms from infrasound associated with wind turbines? *Health Psychol.* **33**, 360–364 (2014).
43. Chapman, S., St. George, A., Waller, K. & Cakic, V. The Pattern of Complaints about Australian Wind Farms Does Not Match the Establishment and Distribution of Turbines: Support for the Psychogenic, ‘Communicated Disease’ Hypothesis. *PLoS ONE* **8**, (2013).
44. *Environmental Impacts of Wind-Energy Projects*. (National Academies Press, 2007).
45. Jeffery, R. D., Krogh, C. & Horner, B. Adverse health effects of industrial wind turbines. *Can. Fam. Physician* **59**, 921–925 (2013).
46. McMurtry, R. Y. & Krogh, C. M. Diagnostic criteria for adverse health effects in the environs of wind turbines. *JRSM Open* **5**, (2014).
47. Stelling, K. *Summary of recent research on adverse health effects of wind turbines*. (2009).
48. Helldin, J. O. *et al. The Impacts of Wind Power on Terrestrial Mammals: A Synthesis*. 53 (Swedish University of Agricultural Sciences, 2012).
49. e Curto, T. Acquired flexural deformation of the distal interphalangeal joint in foals. (Faculty of Veterinary Medicine, Technical University of Lisbon, 2012).
50. Mikołajczak, J. *et al.* Preliminary studies on the reaction of growing geese (*Anser anser f. domestica*) to the proximity of wind turbines. *Pol. J. Vet. Sci.* **16**, 679–686 (2014).
51. Drewitt, A. L. & Langston, R. H. W. Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis* **148**, 29–42 (2006).

52. Schuster, E., Bulling, L. & Köppel, J. Consolidating the State of Knowledge: A Synoptical Review of Wind Energy's Wildlife Effects. *Environ. Manage.* **56**, 300–331 (2015).
53. Marques, A. T. *et al.* Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biol. Conserv.* **179**, 40–52 (2014).
54. Loss, S. R., Will, T. & Marra, P. P. Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. *Biol. Conserv.* **168**, 201–209 (2013).
55. Rydell, J. *et al.* *The effect of wind power on birds and bats- A synthesis.* (Swedish Environmental Protection Agency, 2012).
56. Smallwood, K. S. Comparing bird and bat fatality-rate estimates among North American wind-energy projects. *Wildl. Soc. Bull.* **37**, 19–33 (2013).
57. Zimmerling, J. R., Pomeroy, A. C., d'Entremont, M. V. & Francis, C. M. Canadian Estimate of Bird Mortality Due to Collisions and Direct Habitat Loss Associated with Wind Turbine Developments. *Avian Conserv. Ecol.* **8**, (2013).
58. Wang, S., Wang, S. & Smith, P. Ecological impacts of wind farms on birds: Questions, hypotheses, and research needs. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **44**, 599–607 (2015).
59. WIND IN NUMBERS - GWECCWEC.
60. *Global Wind Statistics 2015.* (Global Wind Energy Council, 2016).
61. Duchamp, M. *Birds and windfarms - Critical analysis of 4 reports on bird mortality at windfarm sites.* (Iberica 2000, 2003).
62. Monografías – Principales censos de aves en España | SEO/BirdLife. Available at: <http://www.seo.org/2012/07/02/monografias-seuimiento-de-aves/>. (Accessed: 16th February 2016)

63. Vultures killed by wind turbines. *Save the Eagles International* Available at:
<http://savetheeaglesinternational.org/multimedia/vultures-killed.html>.
(Accessed: 16th February 2016)
64. Diffendorfer, J. E. *et al.* *Preliminary methodology to assess the national and regional impact of U.S. wind energy development on birds and bats*. 51 (U.S. Geological Survey, 2015).
65. Sanz-Aguilar, A. *et al.* Action on multiple fronts, illegal poisoning and wind farm planning, is required to reverse the decline of the Egyptian vulture in southern Spain. *Biol. Conserv.* **187**, 10–18 (2015).
66. Pearce-Higgins, J. W., Stephen, L., Douse, A. & Langston, R. H. W. Greater impacts of wind farms on bird populations during construction than subsequent operation: results of a multi-site and multi-species analysis. *J. Appl. Ecol.* **49**, 386–394 (2012).
67. Astiaso Garcia, D., Canavero, G., Ardenghi, F. & Zambon, M. Analysis of wind farm effects on the surrounding environment: Assessing population trends of breeding passerines. *Renew. Energy* **80**, 190–196 (2015).
68. Holloran, M. Greater Sage-Grouse (*Centrocercus urophasianus*) Population Response to Natural Gas Field Development in Western Wyoming. (Department of Zoology and Physiology and The Graduate School of The University of Wyoming, 2005).
69. Larsen, J. K. & Madsen, J. Effects of wind turbines and other physical elements on field utilization by pink-footed geese (*Anser brachyrhynchus*): A landscape perspective. *Landsc. Ecol.* **15**, 755–764 (2000).
70. Rees, E. C. Impacts of wind farms on swans and geese: a review. *Wildfowl* **62**, 37–72 (2012).

71. Devereux, C. L., Denny, M. J. H. & Whittingham, M. J. Minimal effects of wind turbines on the distribution of wintering farmland birds. *J. Appl. Ecol.* **45**, 1689–1694 (2008).
72. Pearce-Higgins, J. W., Stephen, L., Langston, R. H. W., Bainbridge, I. P. & Bullman, R. The distribution of breeding birds around upland wind farms. *J. Appl. Ecol.* **46**, 1323–1331 (2009).
73. Shaffer, J. A. & Buhl, D. A. Effects of wind-energy facilities on breeding grassland bird distributions. *Conserv. Biol.* **30**, 59–71 (2016).
74. Douglas, D. J. T., Bellamy, P. E. & Pearce-Higgins, J. W. Changes in the abundance and distribution of upland breeding birds at an operational wind farm. *Bird Study* **58**, 37–43 (2011).
75. Lucas, M. de, Janss, G. F. E. & Ferrer, M. A Bird and Small Mammal BACI and IG Design Studies in a Wind Farm in Malpica (Spain). *Biodivers. Conserv.* **14**, 3289–3303 (2005).
76. Marc Reichenbach, H. S. Windkraft, Vögel, Lebensräume–Ergebnisse einer fünfjährigen BACI-Studie zum Einfluss von Windkraftanlagen und Habitatparametern auf Wiesenvögel. *Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen Band* **32**, 243–259 (2006).
77. Hötter, H., Thompson, K.-M. & Köster, H. *Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse*. (BFN, NABU, 2005).
78. Grünkorn, T., Diederichs, A., Poszig, D., Diederichs, B. & Nehls, G. Wie viele Vögel kollidieren mit Windenergieanlagen? How many birds collide with wind turbines? *Nat Landsch* **84**, 309–314 (2009).
79. Bastos, R. *et al.* Evaluating the regional cumulative impact of wind farms on birds: how can spatially explicit dynamic modelling improve impact

- assessments and monitoring? *J. Appl. Ecol.* n/a–n/a (2015). doi:10.1111/1365-2664.12451
80. Gue, C. T. *et al.* The effects of a large-scale wind farm on breeding season survival of female mallards and blue-winged teal in the Prairie Pothole Region. *J. Wildl. Manag.* **77**, 1360–1371 (2013).
81. Brennan, L., Perez, R., DeMaso, S., Ballard, B. & Kuvlesky, W. Potential impacts of wind farm energy development on upland game birds: Questions and concerns. in *Tundra to Tropics: Connecting Birds, Habitats and People* 179–183 (McAllen, 2009).
82. Pruet, C. L., Patten, M. A. & Wolfe, D. H. It's Not Easy Being Green: Wind Energy and a Declining Grassland Bird. *BioScience* **59**, 257–262 (2009).
83. Falkdalen, L., Falkdalen, U. & Nygård, T. Pre- and post-construction studies on the effects on birds at Storrun wind farm in the mountain-region of Jämtland, Sweden. in **Report**, **6546**, 53–54 (2013).
84. Zeiler, H. P. & Gruenschachner-Berger, V. Impact of wind power plants on black grouse, *Lyrurus tetrix* in Alpine regions. *Folia Zool.* **58**, 173–182 (2009).
85. Pruet, C. L., Patten, M. A. & Wolfe, D. H. Avoidance behavior by prairie grouse: implications for development of wind energy. *Conserv. Biol. J. Soc. Conserv. Biol.* **23**, 1253–1259 (2009).
86. Fijn, R. C., Krijgsveld, K. L., Tijssen, W., Prinsen, H. A. M. & Dirksen, S. Habitat use, disturbance and collision risks for Bewick's Swans *Cygnus columbianus bewickii* wintering near a wind farm in the Netherlands. *Wildfowl* **62**, 97–116 (2012).
87. Everaert, J. Collision risk and micro-avoidance rates of birds with wind turbines in Flanders. *Bird Study* **61**, 220–230 (2014).

88. Morinha, F. *et al.* Differential mortality of birds killed at wind farms in Northern Portugal. *Bird Study* **61**, 255–259 (2014).
89. Kitano, M. & Shiraki, S. Estimation of bird fatalities at wind farms with complex topography and vegetation in Hokkaido, Japan. *Wildl. Soc. Bull.* **37**, 41–48 (2013).
90. Hötter, H., Thomsen, K. & Jeromin, H. *Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources: the example of birds and bats - facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation*. (Michael-Otto-Institut im NABU, Bergenhusen, 2006).
91. Long, C. V., Flint, J. A. & Lepper, P. A. Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? *Eur. J. Wildl. Res.* **57**, 323–331 (2010).
92. Gauthreraux, S. & Belser, C. in *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting* 67–93 (Island Press, 2006).
93. Madsen, J. & Boertmann, D. Animal behavioral adaptation to changing landscapes: spring-staging geese habituate to wind farms. *Landsc. Ecol.* **23**, 1007–1011 (2008).
94. Pearce-Higgins, J., Stephen, L., Langston, R. & Bright, J. Assessing the cumulative impacts of wind farms on peatland birds: a case study of golden plover *Pluvialis apricaria* in Scotland. *Mires Peat* **4**, (2008).
95. Baisner, A. J. *et al.* Minimizing Collision Risk Between Migrating Raptors and Marine Wind Farms: Development of a Spatial Planning Tool. *Environ. Manage.* **46**, 801–808 (2010).
96. Dahl, E. L. *et al.* White-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*) at the Smøla wind-power plant, Central Norway, lack behavioral flight responses to wind turbines. *Wildl. Soc. Bull.* **37**, 66–74 (2013).

97. Ledec, G., Rapp, K. & Aiello, R. *Greening the Wind. Environmental and social considerations for wind power development*. (World Bank, 2011).
98. de Lucas, M., Ferrer, M. & Janss, G. F. E. Using Wind Tunnels to Predict Bird Mortality in Wind Farms: The Case of Griffon Vultures. *PLoS ONE* **7**, e48092 (2012).
99. Martínez-Abraín, A. et al. Effects of wind farms and food scarcity on a large scavenging bird species following an epidemic of bovine spongiform encephalopathy. *J. Appl. Ecol.* **49**, 109–117 (2012).
100. Madders, M. & Whitfield, D. P. Upland raptors and the assessment of wind farm impacts. *Ibis* **148**, 43–56 (2006).
101. Smallwood, K. & Thelander, C. *Developing Methods To Reduce Bird Mortality In The Altamont Pass Wind Resource Area*. 363 (BioResource Consultants, 2004).
102. Smallwood, K. S. & Thelander, C. Bird Mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area, California. *J. Wildl. Manag.* **72**, 215–223 (2008).
103. Erickson, W. et al. *Synthesis and comparison of baseline avian and bat use, raptor nesting and mortality information from proposed and existing wind developments*. (Western EcoSystems Technology Inc).
104. Katzner, T. E. et al. Topography drives migratory flight altitude of golden eagles: implications for on-shore wind energy development. *J. Appl. Ecol.* **49**, 1178–1186 (2012).
105. Bellebaum, J., Korner-Nievergelt, F., Dürr, T. & Mammen, U. Wind turbine fatalities approach a level of concern in a raptor population. *J. Nat. Conserv.* **21**, 394–400 (2013).
106. Dahl, E. L., Bevanger, K., Nygård, T., Røskoft, E. & Stokke, B. G. Reduced breeding success in white-tailed eagles at Smøla windfarm, western Norway, is caused by mortality and displacement. *Biol. Conserv.* **145**, 79–85 (2012).

107. Barrios, L. & Rodríguez, A. Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. *J. Appl. Ecol.* **41**, 72–81 (2004).
108. Carrete, M. *et al.* Mortality at wind-farms is positively related to large-scale distribution and aggregation in griffon vultures. *Biol. Conserv.* **145**, 102–108 (2012).
109. Smallwood, K. S., Rugge, L. & Morrison, M. L. Influence of Behavior on Bird Mortality in Wind Energy Developments. *J. Wildl. Manag.* **73**, 1082–1098 (2009).
110. Bevanger, K. *et al.* *Pre- and post- construction Studies of Conflicts between Birds and Wind Turbines in Coastal Norway (BirdWind) Report on Findings 2007-2010.* (Norwegian Institute for Nature Research (NINA), 2010).
111. Eichhorn, M., Johst, K., Seppelt, R. & Drechsler, M. Model-Based Estimation of Collision Risks of Predatory Birds with Wind Turbines. *Ecol. Soc.* **17**, (2012).
112. Garvin, J. C., Jennelle, C. S., Drake, D. & Grodsky, S. M. Response of raptors to a windfarm. *J. Appl. Ecol.* **48**, 199–209 (2011).
113. de Lucas, M., Janss, G. F. E., Whitfield, D. P. & Ferrer, M. Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. *J. Appl. Ecol.* **45**, 1695–1703 (2008).
114. Camiña, A. The effects of wind farms on vultures in Northern Spain—Fatalities behavior and correction measures. in *Proceedings. Conference on Wind energy and Wildlife impacts* (Norwegian Institute for Nature Research, 2011).
115. Hoover, S. *The Response of Red-Tailed Hawks and Golden Eagles to Topographical Features, Weather, and Abundance of a Dominant Prey Species at the Altamont Pass Wind Resource Area, California. April 1999–December 2000.* 76 (California State University Sacramento, California, 2002).

116. Johnston, N. N., Bradley, J. E., Pomeroy, A. C. & Otter, K. A. Flight Paths of Migrating Golden Eagles and the Risk Associated with Wind Energy Development in the Rocky Mountains. *Avian Conserv. Ecol.* **8**, (2013).
117. Dürr, T. Zur Gefährdung des Rotmilans *Milvus milvus* durch Windenergieanlagen in Deutschland. *Inf Dienst Nat Schutz Niedersachs* **29**, 185–191 (2009).
118. Smallwood, K. S., Thelander, C. G., Morrison, M. L. & Rugge, L. M. Burrowing Owl Mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area. *J. Wildl. Manag.* **71**, 1513–1524 (2007).
119. Mammen, U., Mammen, K., Heinrichs, N. & Resetaritz, A. Red Kite (*Milvus milvus*) fatalities at wind turbines – why do they occur and how they are to prevent? in *Proceedings conference on wind energy and wildlife impacts* 108 (Norwegian Institute for Nature Research (NINA), 2011).
120. Orloff, S. & Flannery, A. *Wind Turbine Effects on Avian Activity, Habitat Use, and Mortality in the Altamont Pass and Solano County Wind Resource Areas, 1989-1991*. 199 (BioSystems Analysis Inc, 1992).
121. May, R. et al. *Collision Risk in White-Tailed Eagles: Modelling Collision Risk Using Vantage Point Observations in Smøla Wind-Power Plant*. (Norwegian Institute for Nature Research (NINA), 2010).
122. May, R., Nygård, T., Dahl, E., Reitan, O. & Bevanger, K. *Collision Risk in White-Tailed Eagles Modelling Kernel-Based Collision Risk Using Satellite Telemetry Data in Smøla Wind-Power Plant*. (Norwegian Institute for Nature Research (NINA), 2011).
123. Powlesland, R. *Bird species of concern at wind farms in New Zealand*. (Department of Conservation, New Zealand).
124. Hull, C. L. & Muir, S. C. Behavior and turbine avoidance rates of eagles at two wind farms in Tasmania, Australia. *Wildl. Soc. Bull.* **37**, 49–58 (2013).

125. Campedelli, T., Londi, G., Cutini, S., Sorace, A. & Florenzano, G. T. Raptor displacement due to the construction of a wind farm: preliminary results after the first 2 years since the construction. *Ethol. Ecol. Evol.* **26**, 376–391 (2014).
126. Lucas, M. de, Janss, G. F. E. & Ferrer, M. The effects of a wind farm on birds in a migration point: the Strait of Gibraltar. *Biodivers. Conserv.* **13**, 395–407 (2004).
127. Atienza, J., Fierro, I., Infante, O. & Valls, J. *Directrices para la evaluaci n del impacto de los parques e licos en aves y murci lagos*. (SEO/BirdLife, 2009).
128. Anderson, R., Sanders, S., Flint, S. & Sterner, D. *California Guidelines for Reducing Impacts to Birds and Bats from Wind Energy Development*. (California Department of Fish and Wildlife, California Energy Commission, 2007).
129. *U.S. Fish and Wildlife Service Land-Based Wind Energy Guidelines*. (U.S. Fish and Wildlife Service, 2012).
130. *Eagle Conservation Plan Guidance: Module 1 – Land-based Wind Energy-Version 2*. (U.S. Fish and Wildlife Service, 2013).
131. Johnson, G. D. et al. Collision Mortality of Local and Migrant Birds at a Large-Scale Wind-Power Development on Buffalo Ridge, Minnesota. *Wildl. Soc. Bull.* **1973-2006** **30**, 879–887 (2002).
132. Comprehensive Guide | National Wind Coordinating Collaborative.
133. E-126. Available at: <http://www.enercon.de/en/products/ep-8/e-126/>. (Accessed: 20th February 2016)
134. Dinevich, L., Leshem, Y. & Matsyura, A. Some Characteristics of Nocturnal Bird Migration in Israel According to Radar Monitoring. *Ring* **27**, 197–213 (2009).
135. *Annual report for the Maple Ridge wind power project post-construction bird and bat fatality study-2006*. (Curry and Kerlinger LLC, 2007).
136. Frumkin, R., Pinshow, B. & Kleinhaus, S. A review of bird migration over Israel. *J. Für Ornithol.* **146**, 127–147 (1995).

137. Dinevich, L. & Leshem, Y. Some Characteristics of Daytime Bird Migration in Israel: Radar Monitoring Data. *Ring* **30**, 3-17 (2009).
138. Villegas-Patraca, R., Cabrera-Cruz, S. A. & Herrera-Alsina, L. Soaring Migratory Birds Avoid Wind Farm in the Isthmus of Tehuantepec, Southern Mexico. *PLoS ONE* **9**, e92462 (2014).
139. הספר האדום של החולייתנים בישראל. (החברה להגנת הטבע ורשות הטבע והגנים, 2002).
140. Birds of Israel - The Checklist. פורטל צפרות Available at:
<http://www.birds.org.il/en/article-page.aspx?articleId=439>. (Accessed: 21st February 2016)
141. Krumenacker, T. The migration of Lesser Spotted Eagle *Aquila pomarina*, European Honey Buzzard *Pernis apivorus*, Levant Sparrowhawk *Accipiter brevipes* and White Stork *Ciconia ciconia* over Northern Israel - a balance over 30 years of counts. *Stud. Mater. CEPL W Rogowie* **36**, 247-267 (2013).
142. Israel - BirdLife country details. Available at:
<http://www.birdlife.org/datazone/country/israel>. (Accessed: 21st February 2016)
143. Kikuchi, R. Adverse impacts of wind power generation on collision behaviour of birds and anti-predator behaviour of squirrels. *J. Nat. Conserv.* **16**, 44-55 (2008).
144. עיט חורש | דורסי יום | ציפורים בישראל - אתר הצפרות הישראלי. Available at:
<http://www.birds.org.il/he/species-page.aspx?speciesId=141>. (Accessed: 21st February 2016)
145. Wysinfo Docuwebs - Migratory, Nomadic and Wandering Birds. Available at:
http://www.wysinfo.com/Migratory_Birds/Migratory_Birds_Without_Boundaries.htm. (Accessed: 29th February 2016)
146. לבינגר & אלון. סקר עופות דואים בקעת ערד, דו"ח מסכם, מרץ 2009 עד פברואר 2010. (החברה להגנת הטבע, מרכז הצפרות הישראלי, 2010).

147. MSB Web Tool. Available at: <http://maps.birdlife.org/MSBtool/>. (Accessed: 21st February 2016)
148. Birdlife Data Zone. Available at:
<http://www.birdlife.org/datazone/sitesearchresults.php?cty=104&fam=0&gen=0>. (Accessed: 21st February 2016)
149. אלון & לבינגר. ניתוח נתוני סקר ציפורים חוות הטורבינות עמק הבכא 2009-2010. (החברה להגנת הטבע, מרכז הצפרות הישראלי, 2010).
150. פרומקין, ר. & אחירון-פרומקין, ת. סקר מצאי עופות דואים באזור אתר חוות טורבינות הרוח. המתוכננת 'מעלה גלבע', דוח מסכם. מוגש לחברת החשמל. (2006)
151. פרומקין, ר. & אחירון-פרומקין, ת. סקר מצאי עופות דואים באזור אתר חוות טורבינות הרוח. המתוכננת 'רמת סירין', דוח מסכם. מוגש לחברת החשמל. (2006)
152. Kunz, T. H. et al. Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Front. Ecol. Environ.* **5**, 315–324 (2007).
153. Paula, J. et al. Dogs as a tool to improve bird-strike mortality estimates at wind farms. *J. Nat. Conserv.* **19**, 202–208 (2011).
154. Arnett, E. B. A Preliminary Evaluation on the Use of Dogs to Recover Bat Fatalities at Wind Energy Facilities. *Wildl. Soc. Bull.* **34**, 1440–1445 (2006).
155. Paulding, E., Nowakowski, J. & Grainger, W. The use of dogs to perform mortality searches: cost effective and efficient. in *Proceedings conference on wind energy and wildlife impacts* 114 (Norwegian Institute for Nature Research (NINA), 2011).
156. Rodrigues, L. *Progress Report of the IWG on Wind Turbines and Bat Populations 2013- 18th Meeting of the EUROBATs Advisory Committee*. 30 (EUROBATs Advisory Committee, 2013).

157. Peste, F. *et al.* How to mitigate impacts of wind farms on bats? A review of potential conservation measures in the European context. *Environ. Impact Assess. Rev.* **51**, 10–22 (2015).
158. Baerwald, E. F., D'Amours, G. H., Klug, B. J. & Barclay, R. M. R. Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Curr. Biol.* **18**, R695–R696 (2008).
159. Rollins, K. E., Meyerholz, D. K., Johnson, G. D., Capparella, A. P. & Loew, S. S. A Forensic Investigation Into the Etiology of Bat Mortality at a Wind Farm: Barotrauma or Traumatic Injury? *Vet. Pathol. Online* **49**, 362–371 (2012).
160. Baerwald, E. F. & Barclay, R. M. R. Geographic Variation in Activity and Fatality of Migratory Bats at Wind Energy Facilities. *J. Mammal.* **90**, 1341–1349 (2009).
161. Baerwald, E. F. & Barclay, R. M. R. Patterns of activity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada. *J. Wildl. Manag.* **75**, 1103–1114 (2011).
162. Voigt, C. C., Popa-Lisseanu, A. G., Niermann, I. & Kramer-Schadt, S. The catchment area of wind farms for European bats: A plea for international regulations. *Biol. Conserv.* **153**, 80–86 (2012).
163. Gorresen, P. *et al.* *Behavior of the Hawaiian Hoary Bat (Lasiurus cinereus semotus) at Wind Turbines and its Distribution Across the North Ko'olau Mountains, O'ahu.* (Bat Conservation International, University of Hawaii, US Geological Survey (USGS), 2015).
164. Kerns, J., Erickson, W. & Arnett, E. *Bat and bird fatality at wind energy facilities in Pennsylvania and West Virginia. Pages 24–95 in: Arnett E. B. (ed.) Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia: an assessment of bat fatality search protocols, patterns of fatality, and*

- behavioral interactions with wind turbines. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative.* (Bat Conservation International, 2005).
165. Arnett, E. B. *et al.* Patterns of Bat Fatalities at Wind Energy Facilities in North America. *J. Wildl. Manag.* **72**, 61–78 (2008).
166. Korner-Nievergelt, F., Brinkmann, R., Niermann, I. & Behr, O. Estimating Bat and Bird Mortality Occurring at Wind Energy Turbines from Covariates and Carcass Searches Using Mixture Models. *PLoS ONE* **8**, e67997 (2013).
167. Rodrigues, L. *et al.* *Guidelines for Consideration of Bats in Wind Farm Projects Revision 2014.* 133 (EUROBATS, 2015).
168. Cryan, P. M. *et al.* Behavior of bats at wind turbines. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **111**, 15126–15131 (2014).
169. השדה, מן | עטלפי ישראל. Available at: <http://www.wildisrael.com/?q=content/%D7%A2%D7%98%D7%9C%D7%A4%D7%99-%D7%99%D7%A9%D7%A8%D7%90%D7%9C-0>. (Accessed: 21st February 2016)
170. Kasso, M. & Balakrishnan, M. Ecological and Economic Importance of Bats (Order Chiroptera). *Int. Sch. Res. Not.* **2013**, e187415 (2013).
171. Riccucci, M. & Lanza, B. Bats and insect pest control: a review. *Vespertilio* **17**, 161–169 (2014).
172. Lovich, J. E. & Ennen, J. R. Assessing the state of knowledge of utility-scale wind energy development and operation on non-volant terrestrial and marine wildlife. *Appl. Energy* **103**, 52–60 (2013).
173. Kuvlesky, W. P. *et al.* Wind Energy Development and Wildlife Conservation: Challenges and Opportunities. *J. Wildl. Manag.* **71**, 2487–2498 (2007).

174. Denholm, P., Hand, M., Jackson, M. & Ong, S. *Land-Use Requirements of Modern Wind Power Plants in the United States*. (National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2009).
175. Hertwich, E. G. et al. Integrated life-cycle assessment of electricity-supply scenarios confirms global environmental benefit of low-carbon technologies. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **112**, 6277–6282 (2015).
176. Fthenakis, V. & Kim, H. C. Land use and electricity generation: A life-cycle analysis. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **13**, 1465–1474 (2009).
177. Santos, M. et al. Predicting the trends of vertebrate species richness as a response to wind farms installation in mountain ecosystems of northwest Portugal. *Ecol. Indic.* **10**, 192–205 (2010).
178. Mockrin, M. H. & Gravenmier, R. A. ; *Synthesis of wind energy development and potential impacts on wildlife in the Pacific Northwest, Oregon and Washington*. (2012).
179. Lovich, J. E. et al. Effects of wind energy production on growth, demography, and survivorship of a Desert Tortoise (*Gopherus agassizii*) population in Southern California with comparisons to natural populations. *Herpetol. Conserv. Biol.* **6**, 161–174 (2011).
180. Fischer, J. & Lindenmayer, D. B. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **16**, 265–280 (2007).
181. Cryan, P. Wind Turbines as Landscape Impediments to the Migratory Connectivity of Bats. *Environ. Law* **41**, 355–370 (2012).
182. Walter, W. D., Leslie, D. M. & Jenks, J. A. Response of Rocky Mountain Elk (*Cervus elaphus*) to Wind-Power Development. *Am. Midl. Nat.* **156**, 363–375 (2006).

183. Colman, J. E., Eftestøl, S., Tsegaye, D., Flydal, K. & Mysterud, A. Summer distribution of semi-domesticated reindeer relative to a new wind-power plant. *Eur. J. Wildl. Res.* **59**, 359–370 (2012).
184. Agha, M. *et al.* Turbines and Terrestrial Vertebrates: Variation in Tortoise Survivorship Between a Wind Energy Facility and an Adjacent Undisturbed Wildland Area in the Desert Southwest (USA). *Environ. Manage.* **56**, 332–341 (2015).
185. Pater, L. L., Grubb, T. G. & Delaney, D. K. Recommendations for Improved Assessment of Noise Impacts on Wildlife. *J. Wildl. Manag.* **73**, 788–795 (2009).
186. Rabin, L. A., Coss, R. G. & Owings, D. H. The effects of wind turbines on antipredator behavior in California ground squirrels (*Spermophilus beecheyi*). *Biol. Conserv.* **131**, 410–420 (2006).
187. Laundre, J. W., Hernandez, L. & Ripple, W. J. The Landscape of Fear: Ecological Implications of Being Afraid~!2009-09-09~!2009-11-16~!2010-02-02~! *Open Ecol. J.* **3**, 1–7 (2010).
188. קיטוע בתי גידול על ידי תשתיות תחבורה: מדריך לאיתור קונפליקטים ולתכנון. מז, אחירון-פרומקין. פתרונות. (2012).
189. Rönnqvist, M. *Vägar och markanspråk inom vindkraftsparker i Västerbottens län : Hur verkliga mått förhåller sig till vad som uppges i miljökonsekvensbeskrivningar.* (2011).
190. בקי, א. מעברי בעלי חיים בכבישים- מסמך רקע למדיניות. 50 (הוועדה לבחינת מעברי בעלי חיים בכבישים, החברה לזאולוגיה בישראל, 2000).
191. Hervieux, D., Hebblewhite, M., Stepnisky, D., Bacon, M. & Boutin, S. Managing wolves (*Canis lupus*) to recover threatened woodland caribou (*Rangifer tarandus caribou*) in Alberta. *Can. J. Zool.* **92**, 1029–1037 (2014).

192. וולצ'אק, מ. & אנגרט, נ. טיפול בצמחים פולשים ומתפרצים בעבודות תשתית בדגש תשתיות. אורכיות. (2012).
193. New report from ABS Energy Research reveals surge in global T&D market. Available at: <http://www.elp.com/articles/2008/04/new-report-from-abs-energy-research-reveals-surge-in-global-td-market.html>. (Accessed: 26th November 2015)
194. Power Generation Systems, Power Transmission Equipment Manufacturers & Suppliers. Available at: <http://www.digitivity.com/power-generation/>. (Accessed: 26th November 2015)
195. Rioux, S., Savard, J.-P. L. & Gerick, A. A. Avian mortalities due to transmission line collisions: a review of current estimates and field methods with an emphasis on applications to the Canadian electric network. *Avian Conserv. Ecol.* **8**, (2013).
196. Loss, S. R., Will, T. & Marra, P. P. Refining Estimates of Bird Collision and Electrocution Mortality at Power Lines in the United States. *PLoS ONE* **9**, e101565 (2014).
197. Fernie, K. J. & Reynolds, S. J. The effects of electromagnetic fields from power lines on avian reproductive biology and physiology: a review. *J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev.* **8**, 127–140 (2005).
198. Vaitkuvienė, D. & Dagys, M. Possible effects of electromagnetic field on White Storks *Ciconia ciconia* breeding on low-voltage electricity line poles. *Zool. Ecol.* **24**, 289–296 (2014).
199. Tomás, G., Barba, E., Merino, S. & Martínez, J. Clutch size and egg volume in great tits (*Parus major*) increase under low intensity electromagnetic fields: A long-term field study. *Environ. Res.* **118**, 40–46 (2012).

200. Kiesecker, J. M. *et al.* Win-Win for Wind and Wildlife: A Vision to Facilitate Sustainable Development. *PLoS ONE* **6**, e17566 (2011).
201. רותם, ד. השפעת גידור על שטחים פתוחים- מדיניות והמלצות לפעולה. (2014).
202. החברה להגנת הטבע - צה"ל כקהילה שומרת טבע – חיל האוויר כפרויקט חלוץ. Available at: <http://www.teva.org.il/?CategoryID=881&ArticleID=20949>. (Accessed: 26th November 2015)
203. לידר, נ. השלכות אקולוגיות של תאורת כבישים בישראל והצעות לפתרון. (2008).