השפעת התקנת פאנלים פוטו-וולטאיים צפים על עופות מים בישראל

ד"ר דוד שהמי, ד"ר עופר שטייניץ, שלי אלבז וד"ר דותן רותם

ינואר 2026



תקציר

המחקר בוחן את השפעת הצבת מתקנים של פאנלים פוטו-וולטאיים (PV) צפים במאגרי מים על קבוצות של עופות מים העושים שימוש במאגרים. השפעת המתקנים נבחנה במגוון אפשרויות ובהתייחס לתקופה שטרם הנחתם ולאחריה, וכן בהשוואה לאחר הנחת המתקן ביחס למאגרים סמוכים בהם לא הונחו פאנלים. המחקר התבסס בעיקרו על תוצאות ספירת עופות המים הנערכת בכל שנה בחורף, כבר למעלה מ- 60 שנים, תקופה בה המאגרים משמשים עופות מים רבים, חלקם בסכנת הכחדה, מרביתם שוהים בתקופת החורף בישראל. המחקר עשה שימוש בנתוני התצפית בין השנים 2008–2025. ממצאי הניטור מצביעים על ירידה של 16% עד 40% במספר הפרטים של ברווזים מסננים, בסוג צולל ובסוג טבלן בהם מינים בסכנת הכחדה חמורה כגון צחראש לבן וברווז משויש, כתוצאה מאובדן שטחי מחיה זמינים במרכז המאגר. בעוד שקבוצות אלו נפגעו, בקבוצת האנפות נצפתה מגמת עלייה, ככל הנראה בשל השימוש בפאנלים כעמדות ציד, ומנוחה. לא נמצאו הבדלים מובהקים בעושר ומגוון המינים. לאור היעד הלאומי להשגת 30% אנרגיה מתחדשת עד שנת 2030, יש חשש אמיתי כי אובדן שטח פני המים במרכז המאגרים, עלול להחמיר את הפגיעה בעופות המים, ולבן מומלץ להותיר ללא חיפוי מאגרים חשובים לעופות מים (למשל, באזורים בהם הייתה הפחתה בשטח בתי גידול לחים ביחס לעבר). התוצאות תומכות בכך שהגבלת שטח הכיסוי בפאנלים במאגרים חשובים לעופות מים משמעותית לצמצום הפגיעה בעופות מים. בנוסף יש לנקוט אמצעים לשיקוע כבלי העיגון כך שפני המים הנותרים יוותרו ללא הפרעה.

1. מבוא

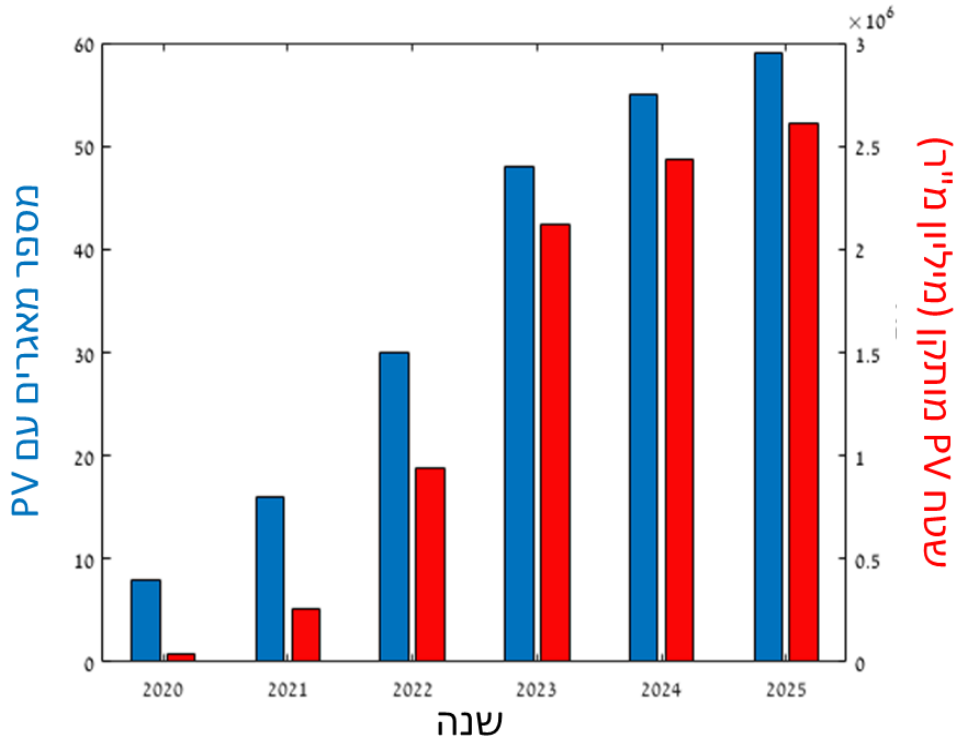
בצל שינוי האקלים החמור שחווה העולם עקב פליטת גזי חממה, אשר חלק משמעותי ביותר מהם מגיע כתוצאה מייצור אנרגיה בשריפת דלקים מאובנים, מעבר לייצור אנרגיה ממקורות מתחדשים ללא פליטת גזי חממה לאחר ההתקנה הוא קריטי. אומנם אנרגיה סולארית היא כיום הרכיב השלישי בהיקפו (21.4%) מתוך סך כל יצור האנרגיה העולמית ממקורות מתחדשים, קצב הגידול השנתי בייצור אנרגיה סולארית הוא הגבוה ביותר מכל מקורות האנרגיה ועמד בשנת 2024 על קצב של 27.6%, הגבוה ביותר מבין כל שיטות יצור האנרגיה (EI 2025). בישראל, 12.6% מייצור האנרגיה בשנת 2024 הגיע מאנרגיה סולארית (עליה של 23.2% לעומת השנה הקודמת) והמדינה הציבה לעצמה כיעד לשנת 2030 יצור סולארי בהיקף של 30% מסך יצור האנרגיה. לשם כך, פאנלים סולאריים (בעיקר בטכנולוגיה פוטו-וולטאית, להלן PV) מותקנים כמתקנים קרקעיים יעודיים, על גבי מבנים, ולאחרונה גם על פני גופי מים. ישראל היא אחת המדינות המובילות בעולם בהתקנת PV צפים על פני מים במאגרים (Nobre et al. 2024). אולם, בצד התרומה הרבה שיש למעבר לאנרגיות מתחדשות במאבק במשבר האקלים, ישנה גם השפעה שלילית של ייצור אנרגיה סולארית על מגוון ביולוגי ושמירת טבע, כאשר מתקני ה- PV תופסים שטח קרקעי או אקווטי ועשויים לגרום לאובדן בתי גידול, לשינוי בתנאים הסביבתיים בבית הגידול, או לחסם לתנועת בעלי חיים (Gómez-Catasús et al. 2024, Hernandez et al. 2025, Schwarz and Ziv 2025) כמו כן, מתקני ה-PV מחייבים קווי הולכה עיליים לאזורי צריכה, המהווים סיכון גבוה להתנגשויות עבור בעלי כנף (Bernardino et al. 2018). בעוד שהמידע הקיים בנוגע לקונפליקט בין שמירת טבע לבין פיתוח מתקני PV מוגבל למדי (Gómez-Catasús et al. 2024, Anderson et al. 2025, Schwarz and Ziv 2025), הוא מוגבל עוד יותר כאשר מדובר במתקנים על מאגרי מים והשפעתם על עופות מים (Nobre et al. 2023, Hernandez et al. 2025, Oliveira et al. 2025).

בישראל, רשות הטבע והגנים מבצעת באופן שיטתי מפקד עופות מים במאגרים, בריכות דגים וגופי מים אחרים במשך עשרות שנים. מאגר נתונים עשיר זה מאפשר בדיקת מגמות רבות, ובהן השפעת התקנת

PV צפים. פיתוח מתקני PV בגופי מים החל בישראל בשנת 2020 וגדל בכל שנה (איור 1). מתוך 334 גופי מים המנוטרים על ידי הרשות בשטח כולל של 238 קמ"ר, ב- 59 גופים (18%) מותקנים פאנלים צפים בשטח כולל של 2.6 קמ"ר (איור 1) ובאחוז כיסוי ממוצע של 27.5% (סטיית תקן 23.5%, מינימום 1%, מקסימום 100%). מטרת עבודה זו היא לבדוק האם קיימת השפעה של מתקני ה- PV בגופי המים, על עושר, מגוון, והרכב מיני עופות המים בגופי מים אלו.

2. שיטות

ניתוח הנתונים בוצע על מאגר נתוני מפקד עופות המים משנת 2008 ועד 2025. במאגר מידע על 334 גופי מים, בחלקם תועדו מערכות PV. שנת הקמה, שטח PV ושטח המאגר, חושבו על ידי יחידת ה- GIS של רשות הטבע והגנים באמצעים של חישה מרחוק. כל גופי המים נבדקו ידנית מול תצלומי אוויר ברזולוציה גבוהה על מנת לסנן גופי מים שעשויים להיות בעיתיים מבחינת השוואה בין-שנתית. הגופים שהוצאו מהניתוח היו: 1) גופים טבעיים (אגמים, בריכות חורף, איגום שטפונות) משום ששטח פני המים שלהם מאוד לא יציב ומשתנה משנה לשנה; 2) גופים מלאכותיים שמסיבות שונות שטח המים שלהם אינו יציב משנה לשנה; ו- 3) פוליגונים של גופי מים המורכבים ממספר רב של יחידות קטנות (בדרך כלל מדובר בבריכות דגים), משום שהמפקד מתייחס לפוליגון כולו בעוד ש-PV עשוי להיות מותקן על יחידות ספורות מתוך כלל גופי המים בפוליגון. לאחר סינון זה נשארו 37 גופי מים עם PV (נספח 1), ו- 123 גופי מים כלפיהם נערכו חלק מההשוואות והניתוח הסטטיסטי.



איור 1. בכחול: מספר גופי המים בהם מותקן PV, מתוך כלל גופי המים המנוטרים על ידי רט"ג במפקד עופות המים השנתי. באדום: שטח מתקני ה- PV על גבי גופי המים הנ"ל, במיליון מ"ר. שני הגרפים הם מצטברים.

מבין מיני העופות המופיעים במפקד, התמקדה עבודה זו בעופות מים, ואלו כללו: ברוזיים (ברכיה, מרית צפונית, שרשיר מצוי, ברווז חד-זנב/צהוב-מצח/משויש, צחראש לבן, טדורנה ירוקת-ראש, צולל ביצות/חלודי/מצויץ), טבלניים (טבלן לבן-לחיים/בינוני/גמדי/מצויץ), אנפות (אנפה אפורה, לבנית קטנה/גדולה), רליתיים (סופית, אגמית מצויה), וחופמאים (חרטומית ביצות, תמירון, והסוגים ביצנית, חופית, חופמי). מלבד בדיקות פרטניות לכל מין, אוחדו גם המינים לחמש קבוצות פונקציונליות על פי אופן שיחור המזון והשימוש שעשויות קבוצות אלה לעשות בגופי המים: 1) ברווזים מסננים (ברכיה, מרית צפונית, שרשיר מצוי, ברווז חד-זנב/צהוב-מצח/משויש, וטדורנה ירוקת-ראש); 2) צוללים – מינים האוספים את מזונם בצלילה, חלקם מסננים (צולל ביצות/חלודי/מצויץ וצחראש לבן) וחלקם צדים ובולעים (טבלן לבן-לחיים/בינוני/גמדי/מצויץ) ; ועל פי הנזכר למעלה: 3) רליתיים; 4) אנפות; 5) חופמאים.

נתוני ספירות, וכן חישובים שמבוצעים על פיהם כגון מגוון ועושר מינים, לרוב אינם מתפלגים נורמלית (וכך גם במקרה זה), ולכן נעשה שימוש במבחנים א-פרמטריים. באמצעות מבחנים מזווגים נערכה השוואה של ממוצעי מגוון מינים ועושר מינים בגופי מים בהם הותקן PV, לפני ואחרי ההתקנה. מגוון מינים חושב באמצעות מדד Shannon, המתייחס הן למספר המינים והן למספר הפרטים (השכיחות היחסית) של כל מין, בעוד שעושר מינים הוא פשוט מספר המינים. על מנת לנטרל השפעות עונתיות או השפעות אקראיות אחרות על נתוני המפקד, לכל אחד מ- 37 גופי המים שהותקנו בהם PV זווג גוף מים שלא הותקן בו PV (נספח 1). לצורך בחירת הזיווג, ובמטרה לצמצם ככל האפשר הבדלים מובנים בין גופי המים הנובעים ממיקום גיאוגרפי וגודל שטח פני המים, לכל גוף מים עם PV נמדדו המרחק ויחס השטחים בינו לבין כל שאר גופי המים ללא PV. יחס השטחים חושב כשטח הגדול מבין הזוג לחלק לשטח הקטן מבין הזוג, כך שהיחס הקטן ביותר הוא 1 (1 כאשר שני השטחים זהים לחלוטין, 2 כאשר אחד השטחים גדול פי 2 מהשני, וכו'). מדדי המרחק ויחס השטחים נורמלו (נירמול מינימום-מקסימום), וגוף המים המזווג נבחר להיות זה שמקיים את מינימום סכום שני המדדים, כאשר מדד השטח קיבל משקל גדול פי 2 ממדד המרחק משום שידועה השפעה חיובית משמעותית לגודל שטח על נוכחות וצפיפות מינים (Rosenzweig 1995) (ממוצע יחס השטח שהתקבל: 1.09, סטיית תקן 0.09, מינימום 1, מקסימום 1.34; ממוצע המרחק שהתקבל: 14.2 ק"מ, סטיית תקן 12.6 ק"מ, מינימום 2.2 ק"מ, מקסימום 50.0 ק"מ; נספח 1). בחינה מזווגת נוספת היתה בתוך קבוצת גופי המים שהותקן בהם PV, לפני ואחרי שנת ההתקנה של כל אחד מהם. כביקורת, לקבוצת גופי המים שלא הותקן בהם PV נבחרה השנה הממוצעת של כל התקנות ה- PV, 2022, כנקודת חיתוך של לפני/אחרי התקנה.

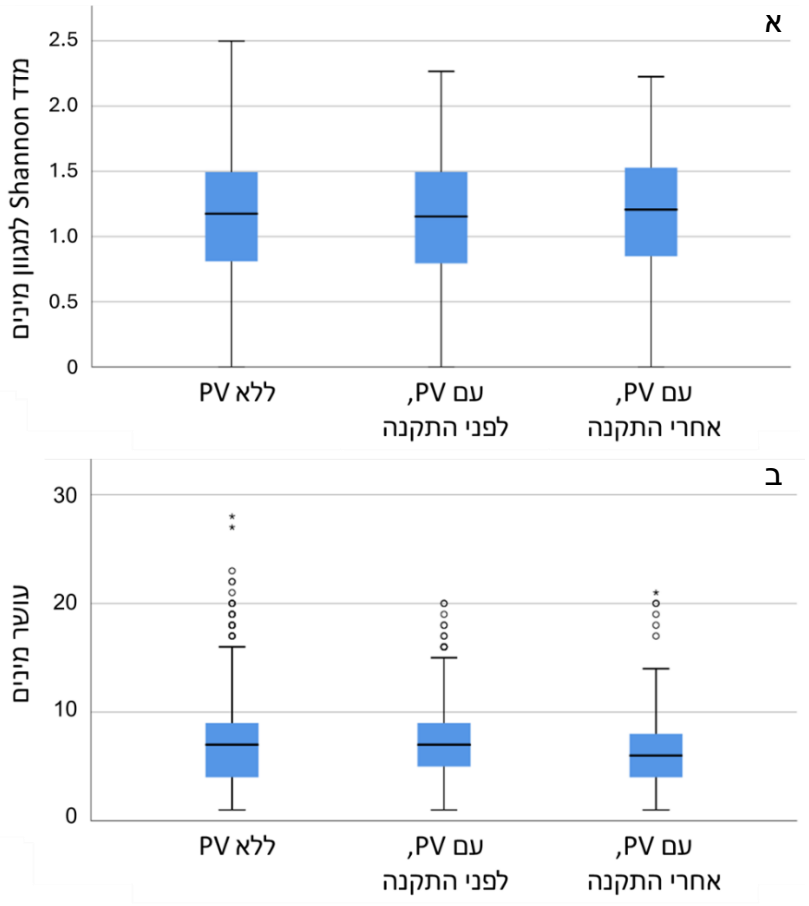
בנוסף, נערך מודל מסוג Repeated Measures Linear Mixed Model (RMLMM) בו הנבדקים (subjects) הם גופי המים, המדידות החוזרות (repeated) הן השנים, המשתנה התלוי הוא מגוון המינים, עושר המינים, או ספירות הקבוצות הפונקציונליות השונות, אחוז ביסוי PV הוא fixed effect, ושטח גוף המים וכמות משקעים מתחילת העונה ועד מועד המפקד - שני משתנים שעשויים להשפיע על הספירות – הם covariates. לבחינת שינוי בהרכב המינים בעקבות התקנת ה- PV, חושבו מדדי הדמיון Jaccard (עושר מינים בלבד) ו- Bray-Curtis (עושר ושפעה) בין כל זוג גופי מים בכל שנה, ונערך מבחן PERMANOVA (Permutational Multivariate Analysis of Variance) בעזרת הפונקציה adonis2 בחבילה vegan (Oksanen et al. 2025). לכל מדד דמיון נבחנו שני מודלים של PERMANOVA: קבוצת המבחן בשניהם הייתה גופי המים שהותקן בהם PV, ואילו קבוצת הביקורת הראשונה הייתה הגופים המזווגים להם, וקבוצת הביקורת השנייה הייתה כל גופי המים שלא הותקן בהם PV. משתנה ה"טיפול" היה לפני ואחרי מועד התקנת ה- PV (שנת ההתקנה בכל זוג במודל הגופים המזווגים, שנת 2022 בקבוצת הביקורת של כל גופי המים). כך, נבחנו 4 מודלים שונים: 1) Bray-Curtis, ביקורת גופים מזווגים; 2) Bray-Curtis, ביקורת כל הגופים שלא הותקן בהם PV; 3) Jaccard, ביקורת גופים מזווגים; 4) Jaccard, ביקורת כל הגופים שלא הותקן בהם PV. כל הניתוחים נעשו בתכנה R גרסה 4.5.1 (R Core Team 2025). האיורים הוכנו בתכנה SPSS גרסה 25 (IBM).

3. תוצאות

בגופי מים בהם הותקנו מערכות סולאריות נמצאו הבדלים משמעותיים במספרי הפרטים של קבוצות מסוימות לאחר התקנת המערכות הסולאריות. לעומת זאת, לא התגלתה השפעה חזקה של המערכות הסולאריות על עושר ומגוון המינים. דגש זה מובא בתחילת פירוט התוצאות מאחר ויש חשיבות לאופן הצגת התוצאות כפי שיוצג להלן והן נבנות בשלבים כדי להסביר את התקפות של התוצאות, שלהן משמעות רבה לשמירה על קבוצות ומינים שונים.

3.1 עושר ומגוון מינים

ממוצע מגוון מיני עופות המים אינו שונה בין גופי המים ללא PV, גופי המים עם PV לפני ההתקנה, וגופי המים עם PV לאחר ההתקנה (Kruskal-Wallis H=0.12, *P*=0.94) (איור 2א). בעושר מינים אין הבדל מובהק בין גופי המים ללא PV לבין עם PV לפני ההתקנה, אך ישנה ירידה קלה (ברמת מובהקות 0.06) בעושר המינים לאחר התקנת PV (Kruskal-Wallis H=5.54, *P*=0.06) (איור 2ב). מבחינת מגוון ועושר המינים, ניכר כי גופי המים שהותקנו בהם המערכות הסולאריות היוו מדגם אקראי מכלל גופי המים עוד לפני שהותקנו בהם המערכות.



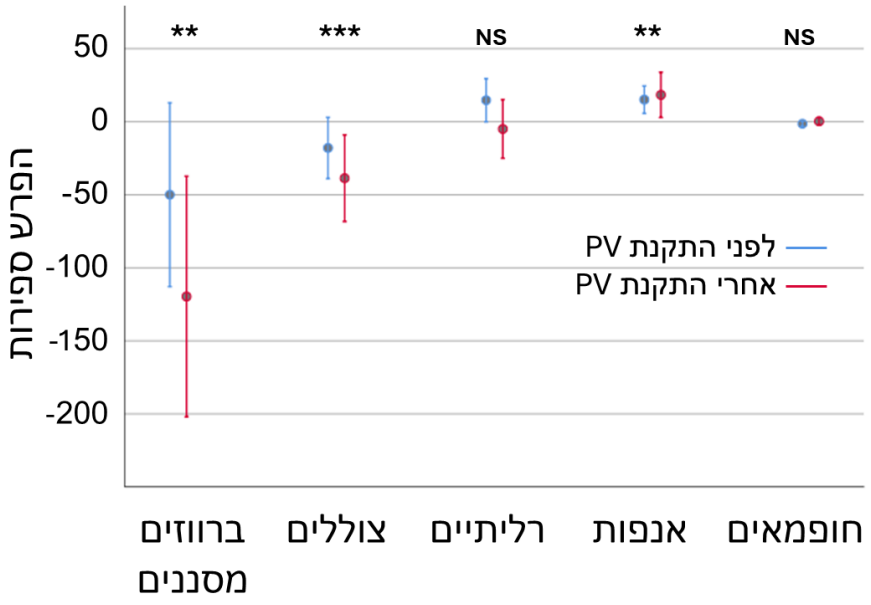
איור 2. Boxplot המשווה מגוון מינים (א) ועושר מינים (ב) בין גופי מים שלא הותקנו בהם PV, גופי מים שהותקנו בהם PV אך לפני ההתקנה, וגופי מים לאחר התקנת PV.

כאשר בוחנים את מגוון ועושר המינים רק בגופי המים בהם הותקנו PV, במבחן מזווג המשווה את הממוצע בכל גוף מים לפני ואחרי ההתקנה, התוצאה דומה: אין הבדל מובהק לפני ואחרי התקנת PV (Wilcoxon signed-rank test, מגוון: P=0.29, עושר: P=0.32). גם כאשר בודקים את השפעת אחוז כיסוי הפאנלים הסולאריים מכלל שטח גוף המים על מגוון ועושר המינים, ולוקחים בחשבון את השונויות הבסיסיות הקיימות בין גופי המים, בשטח גופי המים, ובכמות המשקעים שירדה מתחילת כל עונה ועד מועד כל מפקד – אשר כולם עשויים להשפיע ולמסך על תוצאות מגוון ועושר המינים – התוצאה דומה: לאחוז כיסוי ה- PV אין השפעה מובהקת על המגוון (RMLMM, P=0.82) ועל עושר המינים (RMLMM, P=0.15). לכמות המשקעים הייתה השפעה שלילית מובהקת על מגוון המינים (P=0.01) ומאידך, לשטח גוף המים הייתה השפעה חיובית מובהקת על עושר המינים (P=0.01).

במבחן מזווג של מגוון ועושר המינים בין כל גוף מים שהותקן בו PV לבין גוף המים הקרוב אליו ביותר ובעל הפרש השטח הקטן ביותר שלא הותקן בו PV, נמצא כי לפני התקנת ה- PV לא היה הבדל מובהק בשני המדדים בין שני סוגי גופי המים (Wilcoxon signed-rank test, מגוון: P=0.27, עושר: P=0.47), כך שיש הצדקה להשתמש בזיווג לבחינת השפעת ההתקנה על מדדים אלו. אחרי התקנת ה- PV, לא נמצא הבדל מובהק בין שני סוגי גופי המים במגוון המינים (Wilcoxon signed-rank test, P=0.71), אך חלה ירידה קלה בעושר המינים בגופי המים שהותקן בהם PV לעומת הגופים המזווגים להם (Wilcoxon signed-rank test, P=0.01, עושר ממוצע 6.66 לעומת 7.76). בגופי המים שלא הותקן בהם PV מתוך הזוגות בלבד, אין הבדל במגוון המינים ובעושר המינים לפני ואחרי שנת התקנת ה- PV בגוף המים המזווג להם (Wilcoxon signed-rank test, מגוון: P=0.60, עושר: P=0.41).

3.2 שפע פרטים

לפני התקנת ה- PV, בהשוואת ספירות של קבוצות פונקציונליות (קבוצות מינים דומות מבחינת ניצול גוף המים בחיפוש מזון) בין כל גוף מים שהותקן בו PV לבין גוף המים המזווג אליו שלא הותקן בו PV, לא נמצא הבדל מובהק בספירות של אף אחת מקבוצות המינים (Wilcoxon signed-rank test, 0.11<P<0.72, איור 3, טבלה 1). תוצאה צפויה זו מעידה על כך שאין הבדל משמעותי מובנה בשפע בין המאגרים עם ה-PV לבין המאגרים המזווגים ללא PV שנבחרו טרם ההתקנה. לעומת זאת, **לאחר ההתקנה**, חלו ירידות מובהקות בספירות הברווזים המסננים, הצוללים, והרליתיים, בגופי המים בהם הותקן PV לעומת גופי המים ללא PV המזווגים אליהם (איור 3, טבלה 1). כמו כן, חלה עליה מובהקת בספירות האנפות, ואילו בספירות החופמאים לא חל שינוי מובהק (איור 3, טבלה 1). בקבוצת הברווזים המסננים הירידה מוסברת בעיקר על ידי מרית צפונית, עם ירידה ממוצעת של 56 פרטים בהפרש הספירות (כלומר: הפרש *שלילי* גדול יותר), ושרשיר, עם ירידה ממוצעת של 19 פרטים בהפרש הספירות. פרט לברכיה שעלתה מעט, כל שאר הברווזים בקבוצה חוו ירידות מובהקות אך בעוצמה נמוכה יותר (בין 1 ל- 4 פרטים), שמוסברת בבך שמלכתחילה שפעתם הממוצעת בספירות נמוכה יותר בסדר גודל לעומת המרית הצפונית. כל חברי קבוצת הצוללים ירדו באופן מובהק: הסוג צולל הראה ירידה ממוצעת של 11 פרטים בהפרש הספירות, וצחראש לבן והסוג טבלן ירדו ב- 5 פרטים בממוצע. בקבוצת הרליתיים נרשמה ירידה גדולה ומובהקת באגמית מצויה (ירידה ממוצעת של 21 פרטים בהפרש), ובקבוצת האנפות עלו הלבנית הקטנה והאנפה האפורה ב- 1 עד 3 פרטים בממוצע בהפרש הספירות. באופן כללי, המינים שהראו ירידות מובהקות בהפרש הספירות ירדו ב-17.6% בממוצע (סטיית תקן 11.4%, מינימום 1%, מקסימום 35.4%) מתוך ממוצע הספירות השנתי שלהם על פני כל גופי המים. המינים שפרופורציות הירידות בהפרש הספירות שלהם היו הגבוהות ביותר היו אגמית מצויה (35.4%), מרית צפונית (27.6%), שרשיר מצוי (25.7%) הסוג טבלן (24.8%), הסוג צולל (21.9%) וברווז משויש (18.6%).



איור 3. ממוצע הפרש ספירות מינים, מקובצים לקבוצות פונקציונליות, בין זוגות גופי מים: ספירות בגוף המים שהותקן בו PV פחות ספירות בגוף המים הקרוב ביותר ובעל הפרש השטח הקטן ביותר שלא הותקן בו PV. תוצאה שלילית משמעותה ממוצע נמוך יותר בגופי המים שהותקנו בהם PV. בכחול: לפני ההתקנה, באדום: אחרי ההתקנה. כל התוצאות בכחול אינן שונות באופן מובהק מאפס (Wilcoxon signed-rank test). באדום, התוצאות שונות באופן מובהק מאפס בברווזים המסננים, בצוללים, ברליתיים ובאנפות. ההבדל בהפרש הספירות בין לפני ואחרי ההתקנה מובהק בקבוצות ברווזים מסננים, צוללים, ואנפות (Mann-Whitney U-test, ***P<0.001, **P<0.01). רווח הסמך הוא 95% CI.

טבלה 1. הפרשי ספירות מינים מקובצים לקבוצות פונקציונליות, בין זוגות גופי מים: ספירות בגוף המים שהותקן בו PV פחות ספירות בגוף המים הקרוב ביותר ובעל השטח הדומה ביותר שלא הותקן בו PV. תוצאה שלילית משמעותה ממוצע או חציון נמוך יותר בגופי המים שהותקנו בהם PV. עמודת P-value מציגה את מובהקות שוני ההפרש מ-0 (Wilcoxon signed-rank test). היעדר הבדל מובהק לפני התקנת ה-PV מראה כי בחירת הזיווג טובה שכן אין בה הבדלים משמעותיים מובנים. תוצאה של שפע נמוך במובהק או גבוה במובהק בגופי המים עם PV לעומת הגופים המזווגים מסומנת באדום או בירוק, בהתאמה.

קבוצה פונקציונלית	**לפני התקנת PV**			**אחרי התקנת PV**		
	ממוצע הפרש	חציון הפרש	P-value (הפרש שונה מ- 0)	ממוצע הפרש	חציון הפרש	P-value (הפרש שונה מ- 0)
ברווזים מסננים	-49.9	-1.5	0.41	-119.6	-40	<0.001
צוללים	-17.9	0	0.66	-38.7	-12.5	<0.001
רליתיים	14.8	0	0.25	-4.9	-1	0.05
אנפות	15.1	0	0.08	18.4	1	<0.001
חופמאים	-1.4	0	0.28	0.3	0	0.74

כאשר חוזרים על ניתוח זה כשהזיווג הוא בתוך כל גוף מים שהותקן בו PV **לפני ואחרי התקנת הפאנלים**, התוצאות דומות פרט לאנפות שמספרם לא השתנה (טבלה 2). גם כאן המרית הצפונית ירדה במספר המשמעותי ביותר (ירידה ממוצעת של 83 פרטים לפני ואחרי ההתקנה), וגם ברווז חד-זנב, ברווז צהוב-מצח וטדורנה ירוקת-ראש הראו ירידות מובהקות של 1 – 4 פרטים בממוצע. בצוללים ירדו הסוגים צולל (12-) וטבלן (6-) באופן מובהק, וצחראש לבן הראה ירידה, שאינה מובהקת, של 4 פרטים בממוצע. אגמית מצויה ירדה בממוצע ב- 24 פרטים. הירידה הממוצעת בהפרש הספירות היתה 16.4% מתוך ממוצע הספירות השנתי של כל מין (סטיית תקן 14.9%, מינימום 0.3%, מקסימום 40.1%) – דומה מאוד לניתוח בין המאגרים המזווגים – אך כאן המרית הצפונית מובילה את פרופורצית הירידה בהפרש הספירות (40.8%) ואחריה אגמית מצויה (39.8%), הסוגים טבלן וצולל (29.2% ו- 24.0% בהתאמה) וברווז חד-זנב (17.4%). כהשוואה, כאשר בוחנים את כלל גופי המים בהם לא הותקן PV לפני ואחרי שנת ההתקנה הממוצעת של מתקני ה- PV (2022) לא רואים שינוי מובהק בספירות, פרט לקבוצת הרליתיים שירדה באופן מובהק כתוצאה מירידה ממוצעת של 15 בספירות האגמית המצויה (שהם 25.4% מממוצע הספירות השנתי שלה), וקבוצת החופמאים שאומנם הראתה ירידה מובהקת אך קטנה מאוד. הסוג טבלן ירד בממוצע ב- 2 פרטים בהפרש הספירות, ירידה קטנה אומנם אך עדיין מהווה 9.8% מממוצע הספירות השנתי של הסוג. הירידה באגמיות מצביעה על ירידת רקע בשפעת מין זה בשנים האחרונות שכנראה איננה קשורה להתקנת ה-PV, וכך גם בסוג טבלן.

טבלה 2. הפרש ספירות מינים מקובצים לקבוצות פונקציונליות, בתוך כל גוף מים שהותקן בו PV, לפני ואחרי ההתקנה (מימין, PV) ובתוך כל גוף מים שלא הותקן בו PV, לפני ואחרי 2022 שהיא שנת ההתקנה הממוצעת (משמאל, ביקורת). תוצאה שלילית משמעותה ממוצע או חציון נמוך יותר אחרי ההתקנה. עמודת P-value מציגה את מובהקות שוני ההפרש מ-0 (Wilcoxon signed-rank test). באדום ירידה מובהקת בשפע אחרי תאריך ההתקנה.

קבוצה פונקציונלית	גופי מים PV			גופי מים ביקורת		
	ממוצע הפרש	חציון הפרש	P-value (הפרש שונה מ- 0)	ממוצע הפרש	חציון הפרש	P-value (הפרש שונה מ- 0)
ברווזים מסננים	-97.12	-73	0.02	7.66	-15	0.17
צוללים	-21.67	-7	0.03	-8.98	-2	0.17
רליתיים	-23.50	-7	0.03	-15.92	-8	<0.001
אנפות	0.90	0	0.814	0.03	0	0.50
חופמאים	-0.10	-1	0.07	-1.82	0	0.04

מודל RMLMM אשר נערך על ספירות הקבוצות הפונקציונליות בגופי המים שהותקן בהם PV, הראה כי אחוז כיסוי הפאנלים הסולאריים משטח גוף המים השפיע באופן מובהק ושלילי על מספרי הפרטים בקבוצת הברווזים המסננים וקבוצת הצוללים (מסננים: P=0.02, צוללים: P=0.04), ואילו שטח גוף המים השפיע באופן מובהק וחיובי על ספירות כל הקבוצות הפונקציונליות פרט לצוללים (0.01<P<0.04). לכמות המשקעים לא הייתה השפעה מובהקת על הספירות.

3.3 הרכב מינים

בדיקת הרכב המינים בגופי המים שהותקן בהם PV וגופי המים המזווגים להם, לפני ואחרי ההתקנה, הראתה כי להתקנת ה- PV הייתה אומנם השפעה מובהקת על הרכב המינים, אך זו השפעה מזערית (PERMANOVA, טבלה 3). תוצאה זו חזרה על עצמה בשני מדדי הדמיון ובשני המודלים השונים. באופן כללי, הניתוח הראה כי כל המשתנים מובהקים אך מסבירים כולם ביחד אחוז קטן מאוד (7%) מהשונות, וזאת כאשר השנה לבדה מסבירה 4.5% מהשונות. גודל ההשפעה של התקנת ה- PV (גורם האינטראקציה Group:Treatment, טבלה 3), הוא מזערי ונע בין 0.2% ל- 0.5%. התוצאות דומות מאוד בין אם משתמשים במדד Jaccard הבודק עושר מינים בלבד ובין אם במדד Bray-Curtis המודד עושר ושפעה, ובין אם משווים את זוגות גופי המים בלבד בקבוצות טיפול וביקורת, או את כלל גופי המים (עם PV לאחר ההתקנה בטיפול, ובביקורת עם PV לפני ההתקנה וללא PV). למרות מובהקות התוצאה, לא ניתן לייחס משמעות אקולוגית לגודל ההשפעה המזערי.

טבלה 3. תוצאות מבחן PERMANOVA (Permutational Multivariate Analysis of Variance) על אינדקס דמיון בהרכב מינים (Bray-Curtis). בטבלה מוצג המודל הראשון מבין הארבעה (ראו שיטות) אך התוצאות דומות מאוד בין המודלים השונים. המשתנה Group מחלק את קבוצות המבחן והביקורת(ראו שיטות), ומעיד על הבדל (מזערי) ביניהן ללא קשר להתקנת PV. המשתנה Treatment מחלק את הנתונים לתקופות לפני ואחרי התקנת ה- PV, ומעיד על הבדל רקע בין שתי התקופות שניתן לייחסו לשינויים כלליים בתפוצת חלק מהמינים בישראל (כגון אגמית מצויה והסוג טבלן) אשר חלו לאורך השנים. השנה מעידה על שונות בהרכב המינים משנה לשנה, והשטח מעיד על השפעת שטח גוף המים על הספירות. גורם האינטראקציה Group:Treatment מעיד על השפעת ההתקנה גם לאחר התחשבות בכל השונויות הטבעיות בין השנים וגופי המים. עמודת R^2 מראה כמה מהשונות מוסברת על ידי כל משתנה, כאשר השורה Residual מצביעה על כל השונות שנשארה בלתי מוסברת לאחר הכנסת כל המשתנים למודל.

	d.f.	*SumOfSqs*	R^2	*F*	*P*
Group	1	1.305	0.00501	5.0154	0.001
Treatment	1	0.641	0.00246	2.4643	0.003
Year	17	11.315	0.04347	2.5590	0.001
Area	1	3.565	0.01370	13.7068	0.001
Group:Treatment	1	1.302	0.00500	5.0052	0.001
Residual	931	242.162	0.93035		
Total	952	260.291	1.00000		

4. דיון

ניתוח השפעת פאנלים סולאריים המבוסס על נתונים הנאספים במפקד עופות המים השנתי בגופי מים, סובל ממספר מגבלות בגלל שלא תוכנן בכוונה תחילה כניסוי מתוכנן מראש בגופים שנבחרו על סמך מידע ביוטי וא-ביוטי מדוקדק. תוצאות המפקד מאופיינות בשונות גדולה הנובעת ממשתנים חיצוניים רבים שחלקם עשויים להיות ידועים – כגון שטח גוף המים, אחוז כיסוי הפאנלים משטח המאגר, כמות המשקעים שירדה באותה שנה, וזהות הסוקר – וחלקם סמויים. בעבודה זו, שלא תוכננה מראש כניסוי מבוקר, הגורם העיקרי שיכול להשפיע על אמינות התוצאות הוא בחירת האופי ההשוואתי וקביעת המצב הבסיסי טרם הכנסת המשתנה המסביר העיקרי – התקנת מערכת פוטו-וולטאית צפה.

שיטת זיווג גופי המים ובחירת קבוצת ההשוואה או הביקורת הראתה כי ברוב המינים והקבוצות ניתן לבצע השוואה תקפה בין גופי מים מזווגים עם/בלי פאנלים סולאריים ובתוך גוף מים לפני/אחרי התקנת פאנלים סולאריים. התוצאות היו עקביות ואלו מחזקות את המסקנה שהתקנת פאנלים סולאריים צפים בגופי מים משפיעה על שימוש חלק מעופות המים בגופי מים אלו. נרשמו ירידות מהותיות בספירות רוב הברווזים המסננים ובספירות העופות הצוללים. ראויים לציון המרית הצפונית והשרשיר המצוי שירדו במספרים גדולים, אם כי המרית מופיעה במפקד בשפעה גבוהה בסדר גודל (200 פרטים בממוצע) לעומת ברווז צהוב-מצח, ברווז חד-זנב, ברווז משויש וטדורנה ירוקת-ראש (שפעה ממוצעת של 10 עד 22 פרטים) אשר ירדו בהתאם במספרים קטנים יותר. ואכן, ביחס לממוצעי הספירות השנתיים של כל מין או סוג, הירידות בהפרשי הספירות אחרי התקנת PV היו בהיקפים של 16% עד 40% בסוגים צולל וטבלן, מרית צפונית, ברווז משויש, שרשיר מצוי וברווז חד-זנב. הירידה במספר הפרטים של ברווז משויש וצחראש לבן, שני מינים בסכנת הכחדה אזורית ועולמית (Mayrose et al. 2017), מדליקה נורת אזהרה. הצחראש משתמש במרכז גופי המים לשהייה והזנה בצלילה, ונכון למועד כתיבת עבודה זו ישנן תכניות לחיפוי חלק מהמאגרים המשמשים אותו כאתרי חריפה קבועים ומרכזיים (תשלובת הקישון, ומאגרים נוספים בעמקים יזרעאל, זבולון ושפלת יהודה). ראוי לציין כי כשליש מהאוכלוסייה של מין זה חורפת בישראל והמין מוגדר בסכנת הכחדה חמורה (Mayrose et al. 2017). קבוצות המסננים והצוללים ניזונות בתוך גוף המים ולרוב בחלקים המרכזיים העמוקים שלו, וניתן אולי להסביר את הירידות בהן בכך ששטח גוף המים הזמין לעופות אלו קטן כתוצאה מהתקנת הפאנלים הצפים, בדומה לעקרונות האקולוגיים הבסיסיים הגורסים כי שטח גדול יותר מכיל יותר מינים ובצפיפות גבוהה יותר (Rosenzweig 1995, Bender et al. 1998). ידועה גם השפעה גדולה יותר של שטח הכתם (patch) על צפיפות מינים הנוטים להשתמש במרכז הכתם ולהימנע מהקצוות, לעומת ההשפעה על מינים גנרליסטיים (Bender et al. 1998) כגון הברכיה שספירותיה במחקר הנוכחי אף עלו במקצת בעקבות התקנת ה- PV. הסבר זה עשוי לחול גם על האגמית המצויה שירדה באופן ניכר ועקבי, אך יש לציין כי נרשמו ירידות בספירות האגמית גם בגופי מים ללא PV אחרי שנת ההתייחסות 2022 המעידות על כך שבמין זה מתרחש תהליך כללי אחר המשפיע על תפוצתו בישראל, ויתכן שגם במיני הטבלן השונים. בנוסף, התקנת פאנלים במרכז המאגר מחייבת מערכת כבלים המעגנת את המערכת. במקרים רבים כבלים אלו צפים או נמתחים מעל פני המים באוויר ויתכן ויש לכך השפעה נוספת על יכולת ניצול המאגר על ידי עופות מים. בדיונים עם חברות סולאריות, על מאגרים שהוגדרו ברגישות גבוהה (תמ"א 1/ 10; שטייניץ ועמיתיו, 2018), מבקשת רט"ג לשקע את כבלי העיגון כך שלא יפריעו לעופות מים. בעתיד נוכל לבדוק עד כמה הנחיה זאת משפרת את תנאי המאגר ביחס לממצאים בניתוח הנוכחי. לעומת זאת, לא חל שינוי משמעותי בספירות החופמאים כתוצאה מהתקנת ה-PV, והסיבה לכך יכולה להיות שהם ניזונים ושוהים בגדות גופי המים ולא בתוכם. במקרה זה התקנת פאנלים על דפנות או גדות גוף המים צפויה להשפיע על ספירות החופמאים, ויתכן שהסוקרים המשתתפים במפקד העופות התמקמו מראש בגדה הרחוקה מהפאנלים על מנת לשפר את יכולת הזיהוי והספירה שלהם ובמקרים

רבים חופמאים עומדים על הפאנלים וקל לספרם, למשל המין סיקסק והסוג חופמי. העלייה במספרי האנפות, שלא הייתה אחידה בין שיטות ההשוואה, עשויה להיות מוסברת בכך שאנפות למיניהן, במיוחד הגדולות יותר, לרוב ניזונות באסטרטגיית stand-and-wait (Dimalexis et al. 1997), והפאנלים מספקים להן מקומות ציד חדשים בלב גוף המים, כמו גם מקומות מנוחה מוגנים מטורפים יבשתיים (ראו תמונה בפתיחת העבודה).

למרות השינויים המובהקים בספירות בחלק מהמינים והקבוצות הפונקציונליות, הם לא הובילו לשינויים מובהקים במגוון ובעושר המינים בעקבות התקנת ה- PV. אלו הושפעו בעיקר משטח גוף המים (השפעה חיובית על עושר מינים) ומכמות המשקעים (השפעה שלילית על מגוון מינים). השפעת השטח על עושר המינים עולה בקנה אחד עם עקרון השטח-צפיפות שהוזכר למעלה (Rosenzweig 1995), ואילו את ההשפעה השלילית של כמות המשקעים על מגוון המינים ניתן אולי להסביר בכך שבשנים גשומות מאוד השדות המוצפים ובריכות החורף המלאות מהווים אתרי שיחור מזון ושהייה חלופיים לחלק מעופות המים המעדיפים אותם על פני גופי המים המלאכותיים. התקנת ה- PV גם הסבירה רק חלק קטן מאוד מהשונות הטבעית בהרכב המינים בין גופי המים ובין השנים. כפי הנראה, הירידות בספירות לא הובילו בממוצע להיעלמות או הופעת מינים מגופי המים, או שחלו בעיקר במינים המופיעים במספרים גדולים גם ככה (כגון מרית צפונית). עם זאת, חשוב לציין כי כבל שפיתוח מערכות PV על גופי מים נוספים יתפוס תאוצה, כך ילך ויצטמצם בית הגידול האקווטי הזמין לעופות המים התלויים בו. ריכוז הולך ועולה של עופות מים בפחות ופחות גופי מים, יגביר את הסיכון לפגיעה באוכלוסיותיהם לעומת פיזור אוכלוסיות רחב יותר בגופי מים רבים. החשיבות של שימור גופי המים עולה גם נוכח שינויי האקלים הצפויים להביא לפגיעה בבתי גידול לחים טבעיים כגון בריכות חורף ושדות מוצפים עקב אירועי בצורת ולצמצם את זמינותם לעופות מים. חיזוק לבך מגיע מהממצא של ירידה במגוון המינים בגופי המים שנותחו בחורפים עתירי משקעים.

פורסמו מעט מאוד מאמרים אשר בדקו את השפעת התקנת מערכות פוטו-וולטאיות צפות על בעלי חיים בכלל, ועופות מים בפרט (Oliveira et al. 2025): למיטב ידיעתנו, נכון למועד כתיבת עבודה זו, שלושה בלבד בחנו את ההשפעה על עופות מים. מחקר שנערך בשטחים מוצפים בסין אשר נוצרו משקיעת קרקע בעקבות כריית פחם, מצא עליה בספירות עופות מים בעקבות התקנת PV יחד עם ירידה במגוון המינים, ירידה בפרופורציית העופות הצוללים ועליה בפרופורציית העופות המסננים (שני אלו אינם כוללים ברווזים, שנבדקו בנפרד), ושינויים שונים בקבוצות הפונקציונליות האחרות שנבדקו כתלות בחודש הספירה (Song et al. 2024). מחקר אחר באותו אזור מצא ירידה במספרים, במגוון, ובעושר מינים בעקבות התקנת PV צף, כמו גם שינוי בהרכב המינים (Yang et al. 2025). המחקר השלישי, גם כן באותו אזור בסין, מצא פחות פרטים, מגוון ועושר נמוכים יותר, והרכב מינים שונה של עופות בשטחים המוצפים עם PV לעומת אחרים ללא PV (Yang et al. 2024). למיטב ידיעתנו, זהו המחקר הראשון הבוחן השפעה של התקנת פאנלים סולאריים במאגרי מים ובריכות דגים על עופות מים.

מערכות פוטו-וולטאיות צפות מוזכרות כתחליף "סביבתי" יותר ממערכות קרקעיות עקב תפיסת הקרקע הבזבזנית שפעמים רבות באה על חשבון שימושים טבעיים בקרקע, אך מתוצאות עבודה זו ניכר כי אובדן שטח גופי מים יכול גם הוא להביא לצמצום השטח הזמין לבעלי חיים ולקונפליקט עם מטרות שמירת טבע. עובדה זו מקבלת משנה תוקף במקומות בהם גופי מים טבעיים אבדו כתוצאה מייבוש מכוון, פיתוח או שינויי אקלים – כגון ישראל – והגופים המלאכותיים מהווים בית גידול חלופי לעופות המים התלויים בהם. למרות המגבלות של ניתוח מבוסס ממצאים אמפיריים ולא ניסוי מבוקר נמצאה השפעה מובהקת של התקנת PV בגופי מים על שפעה של קבוצות מינים שונות של עופות ועל הרכב העופות במאגר. ממצאים אלו מחזקים את הצורך לתכנון מושכל של התקנת PV במאגרי מים למזעור הפגיעה בעופות מים ובנקיטת אמצעים למזעור הפגיעה בעופות המים, במתקנים קיימים ומתוכננים להקמה. ראוי לציין כי ממצאים אלו התקבלו על אף מספר

השנים הקטן שעבר מאז ההתקנה ומחייבים המשך ניטור ומעקב. לאור תכניות להרחיב הצבת פאנלים סולאריים במאגרים נוספים יש מקום להוסיף ניטור מעמיק מלווה לפני ואחרי כדי לאמת ולחזק את המגמות שעלו ממחקר זה. מומלץ לנקוט בפרקטיקה לדו-קיום טוב יותר בין עופות מים ומערכות PV צפות: 1) להתמקד בגופי מים שאינם מתאימים לשימוש עופות מים ובגופי מים המשמשים מספר מועט, ומגוון נמוך, של פרטים ומינים שאינם בסכנת הכחדה; 2) לבחור גופי מים גדולים במיוחד, למקם מתקן בשולי השטח כך שאחוז השטח שייתפס על ידי המערכת יהיה קטן, ובהתאם השפעת היחס שטח-צפיפות על נוכחות העופות; 3) להגביל את אחוז כיסוי הפאנלים הסולאריים במאגרים ולנקוט באמצעים לשיקוע כבלי העיגון כדי שימשיכו לתפקד כבית גידול חשוב לעופות מים.

תודות

ספירת עופות המים הנמשכת כבר כמה עשרות שנים מהווה את הבסיס ליכולתנו לבצע השוואות ובחינת מגמות שונות. תודה גדולה לאוהד הצופה אקולוג עופות בחטיבת המדע ברט"ג על ריכוז הסקרים לאורך שנים רבות. תודה לצוות ה"תימי" מערכת המידע של רט"ג על ריכוז הנתונים טיובם בעזרת אסף מירוז, והנגשתם. ולבסוף לעשרות רבות של פקחים עובדי מטה בשטח של רט"ג, למתנדבים וצפרים רבים היוצאים מדי שנה לביצוע ספירת העופות.

5. מקורות

שטייניץ ע., וין ג., הצופה א., כהן א., פיימן ד., רותם ד., אוזן א., קורצנשטיין- לוי ל., כץ י., לידר נ., מגן צ., אלון ד. 2018. הצעה לדירוג מאגרי מים על בסיס תרומתם למגוון הביולוגי. פרסומי חטיבת מדע, רשות הטבע והגנים.

תמ"א 1/ 10. תיקון פרק מתקנים פוטו וולטאיים. https://mavat.iplan.gov.il/SV4/1/99005039628/310

Anderson, C. M., A. P. Hopkins, and J. T. Anderson. 2025. Assessing the Impact of Solar Farms on Waterbirds: A Literature Review of Ecological Interactions and Habitat Alterations. Conservation **5:**4.

Bender, D. J., T. A. Contreras, and L. Fahrig. 1998. Habitat loss and population decline: A meta-analysis of the patch size effect. Ecology **79**:517-533.

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

Dimalexis, A., M. Pyrovetsi, and S. Sgardelis. 1997. Foraging ecology of the Grey Heron (Ardea cinerea), Great Egret (Ardea alba) and Little Egret (Egretta garzetta) in response to habitat, at 2 Greek wetlands. Colonial Waterbirds **20**:261-272.

EI. 2025. 2025 Energy Institute Statistical Review of World Energy. Energy Institute. https://www.energyinst.org/statistical-review

Gómez-Catasús, J., M. B. Morales, D. Giralt, D. G. del Portillo, R. Manzano-Rubio, L. Solé-Bujalance, F. Sardà-Palomera, J. Traba, and G. Bota. 2024. Solar photovoltaic energy development and biodiversity conservation: Current knowledge and research gaps. Conservation Letters **17**: e13025.

Hernandez, R. R., E. Forester, A. E. Cagle, J. T. Rodriguez, T. J. Conkling, S. L. Kelly, G. Exley, A. Armstrong, T. E. Katzner, G. Pasquale, M. L. V. Di Blasi, and E. P. Steele. 2025. Aligning floating photovoltaic solar energy expansion with waterbird conservation. Nature Water **3**:525-536.

Mayrose, A., G. Vine, Z. Labinger, O. Steinitz, O. Hazofe, E. Haviv, Y. Perlman, D. Alon, and N. Leader. 2017. The Israeli Red List of Threatened Breeding Birds. The Society for the Protection of Nature in Israel and the Israel Nature and Parks Authority. https://redlist.parks.org.il/aves/ [downloaded: 29/12/2025];

Nobre, R., S. Boulêtreau, F. Colas, F. Azemar, L. Tudesque, N. Parthuisot, P. Favriou, and J. Cucherousset. 2023. Potential ecological impacts of floating photovoltaics on lake biodiversity and ecosystem functioning. Renewable & Sustainable Energy Reviews **188**:113852.

Nobre, R., S. M. Rocha, S. Healing, Q. F. Ji, S. Boulêtreau, A. Armstrong, and J. Cucherousset. 2024. A global study of freshwater coverage by floating photovoltaics. Solar Energy **267**:112244.

Oksanen, J., G. L. Simpson, F. G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, P. Solymos, M. H. H. Stevens, E. Szoecs, H. Wagner, M. Barbour, M. Bedward, B. Bolker, D. Borcard, T. Borman, G. Carvalho, M. Chirico, M. De Caceres, S. Durand, H. B. A. Evangelista, R. FitzJohn, M. Friendly, B. Furneaux, G. Hannigan, M. O. Hill, L. Lahti, C. Martino, D. McGlinn, M.-H. Ouellette, E. Ribeiro Cunha, T. Smith, A. Stier, C. J. F. Ter Braak, and J. Weedon. 2025. vegan: Community Ecology Package. https://CRAN.R-project.org/package=vegan.

Oliveira, P. M. B., R. M. Almeida, and S. J. Cardoso. 2025. Effects of floating photovoltaics on aquatic organisms: a review. Hydrobiologia **852**:3155-3170.

R Core Team. 2025. R: A language and environment for statistical computing. http://www. R-project. org/. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Rosenzweig, M. L. 1995. *Species Diversity in Space and Time*. Cambridge University Press, Cambrdige, UK.

Schwarz, R., and Y. Ziv. 2025. Shedding light on biodiversity: reviewing existing knowledge and exploring hypothesised impacts of agrophotovoltaics. Biological Reviews **100**:855-870.

Song, X. R., T. T. Liu, G. Y. Wang, Y. Zhang, C. L. Li, and F. D. Willem. 2024. Floating photovoltaic systems homogenize the waterbird communities across subsidence wetlands in the North China Plain. Journal of Environmental Management **349**:119417.

Yang, S., T. Lin, N. N. Liu, K. Cao, and Y. Z. Zhang. 2025. Anthropogenic Wetland Transformation: Impacts of Floating Photovoltaic Systems on Waterbird Diversity in Subsidence Area. Ecosystem Health and Sustainability **11**:0403.

Yang, S., Y. Z. Zhang, D. F. Tian, Z. K. Liu, and Z. J. Ma. 2024. Water-surface photovoltaic systems have affected water physical and chemical properties and biodiversity. Communications Earth & Environment **5**:632.

6. נספח

מאגר PV	אחוז ביסוי PV	מאגר מזווג ללא PV	מרחק למאגר המזווג (ק"מ)	יחס שטחים
מאגר תפרח	47	מאגר רעים	19.2	1.01
צובה-שורש, מאגר	27	כפר מנחם, מאגר 2	5.3	1.26
נחשון, מאגר	30	כפר מנחם, מאגר 2	5.3	1.16
יסודות, מאגר צפון	33	רבדים, מאגר מזרח ב	5.2	1.01
תל יצחק-נתיב, מאגר	41	להבות חביבה, מאגר	20	1.05
בורגתא מאגר צפון	42	להבות חביבה, מאגר	6.4	1.34
בחן ב.ח.	29	דברת-בית קשת	48.1	1.03
שדות ים, מאגר	41	מצר, מאגר	6.3	1.16
גן שומרון, מאגר	83	עין החורש, מאגר	8.8	1.02
תלמי אלעזר, מאגר	68	עין החורש, מאגר	8.3	1.05
יזרעאל עליון, מאגר	12	גניגר מאגר א' 2	12.4	1.09
מעיין צבי, מאגר	57	דברת-בית קשת	42.5	1.14
כפר יהושע, מאגר ב'-דרום	22	גבת, מאגר ב	4.1	1.06
כפר יהושוע, מאגר א'	9	שדה יעקב, מאגר א'-צפון	2.8	1.14
כפר יהושוע, מאגר ג'-צפון	41	גניגר מאגר א' 2	11.9	1.06
בית שערים, מאגר	80	יוקנעם, מאגר א'+ב'	4.3	1.11
ניר-עציון, מאגר	3	כפר חסידים ב'	13.4	1.03
אלונים, מאגר	35	שער העמקים, מאגר בית	4.1	1.01
הזורעים	100	סירין, 2 מאגרים	12	1.11
יגור, מאגר	11	יפעת-רמת דוד-מדרך עוז, מאגר	17.6	1.02
אושא, מאגר	30	יפעת-רמת דוד-מדרך עוז, מאגר	17.9	1.01
כפר המכבי, בריכות	20	נשר, מאגר דרומי (כרמל)	4.2	1.27
בני ישראל, מאגר	12	רוויה, מאגר	2.6	1.27
כפר מסריק, בריכות דגים	18	דלתון, מאגר	35.2	1.05
כפר מסריק-יסעור, מאגר	66	עין המפרץ, מאגר	2.2	1.01
מאגר יסעור גדול-דר לחילזון	31	געתון, מאגרי קולחין	12.7	1.02
מאגר יסעור קטן-מצ' לחילזון	68	עין המפרץ, מאגר	3.1	1.31
שעבנייה, מאגר	1	מרום גולן, מאגר	26.7	1.13
מאגר צור-מול חד נס	5	שמיר, מאגר	22.2	1
לוחמי-הגטאות, בריכות	43	כפר ברוך, אגם	27	1.04
נס, מאגר	8	כפר הנשיא, מאגר קולחין	3.8	1.08
עברון (נתיב השיירה), מאגר קולחין	33	עין המפרץ, מאגר	8.8	1.02
דלווה, מאגר	3	נאות מרדכי, מאגר קולחין	14.1	1.11
עורבים חדש, מאגר	46	רם, בריכה	10.4	1
הגומא, מאגר קולחין	38	דמון, מאגר	50	1.01
ברור חיל, חדש צפון	34	מיש"ע, מאגר	12.1	1.21
ברור חיל, חדש דרום	31	מיש"ע, מאגר	12.9	1.07