



תקציר

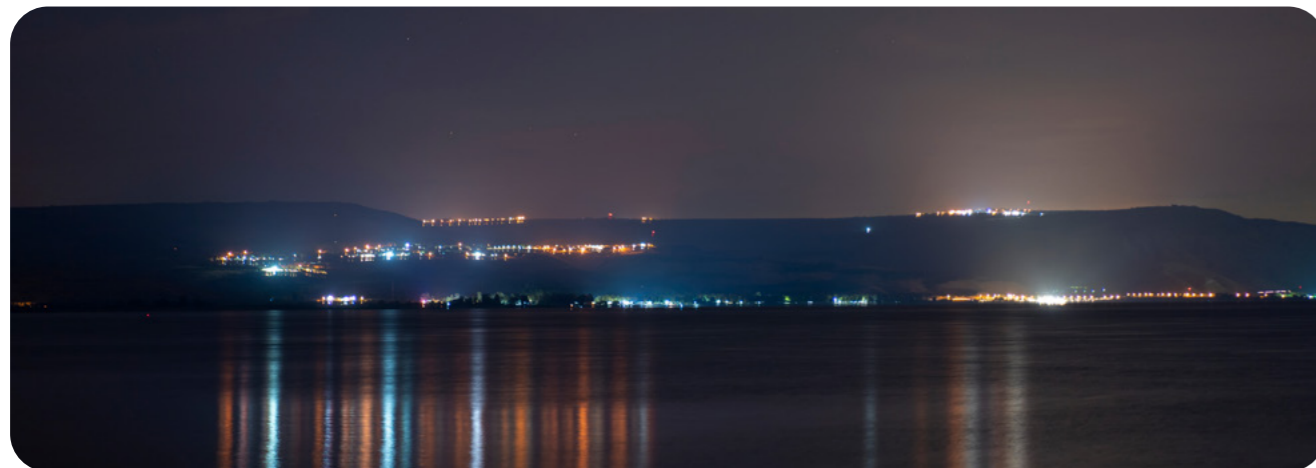
ישראל היא אחת המדינות המוארות בעולם בהתחשב בשטחה. לתאורת הלילה המלאכותית השפעות שליליות על מערכות אקולוגיות ועל תפקודם של האורגניזמים החיים בהן. פרק זה בוחן את היקף התופעה והמגמות בה בעשור האחרון, ומתמקד בשטחים הפתוחים בישראל.

עיקרי הפרק:

- עוצמות תאורת הלילה המלאכותית בשטחים הפתוחים בישראל והיקף השטחים המוארים נמצאים במגמת עלייה רציפה.
- 67% משטחי ישראל מצפון לבאר שבע מוארים בלילה בעוצמות תאורה שנמצאו ככאלה המסיבות נזק למערכות אקולוגיות ולתפקודם של אורגניזמים החיים בהן.
- גם שטחים מוגנים, כגון שמורות טבע, מושפעים מזיהום אור החודר אליהם ממקורות סמוכים: 30% משטחי יערות קק"ל ו-16% משטחי שמורות הטבע מצפון לבאר שבע חשופים באופן קבוע לתאורת לילה מלאכותית בעוצמה גבוהה מזו של תאורת ירח מלא. שמורות קטנות ובעלות פרופיל צר מושפעות במיוחד מזיהום אור, מאחר שאין מספיק שטח החוצץ ביניהן לבין מקורות זיהום אור חיצוניים.
- בתווך הימי בים התיכון בישראל, שהיה חשוך ברובו עד לפני כעשור, הוכנסו מקורות תאורה קבועים כחלק מפיתוח תשתיות הגז בים.
- כמעט כל חופי ישראל חשופים לתאורת לילה מלאכותית, וכ-78% מהם חשופים לעוצמות תאורה לילה מלאכותית הגבוהות מעוצמות תאורה של ירח מלא. באילת זיהום האור החופי מסכן את שוניית האלמונים.

רקע

תאורת לילה מלאכותית היא אחד הגורמים השכיחים ביותר – ועם זאת שאינם מוכרים דיים – לזיהום סביבתי. כיום תאורת לילה מלאכותית מלווה את האדם בכל מקום שהוא נמצא על פני כדור הארץ, ועוצמתה הגלובלית עולה בקצב ממוצע של 6% כל שנה¹. בצד היתרונות הברורים שמספקת תאורת הלילה המלאכותית, לשינוי דפוסי ההארה הטבעיים בעולם ישנם היבטים שליליים, למשל הגבלת הראות של גרמי שמיים מהקרנע ("זיהום אור אסטרונומי" שבעטיו, למשל, נוסעים תושבי האזורים העירוניים בארץ לאזורי מדבר מרוחקים כדי לחזות ב"מטר מטאורים"), ואף היבטים פוגעניים והרסניים, כמו השלכות על בריאות האדם או על התנהגות בעלי החיים. זיהום אור מוגדר במסמך זה כתאורה מלאכותית המשנה את דגמי ההארה והחשכה הטבעיים. השינויים מתבטאים בעוצמת התאורה, במאפייני האור (אורכי הגל), במשך ההארה ובתזמונה, והם גורמים למכלול השפעות שליליות על תפקוד אורגניזמים שונים ומערכות אקולוגיות. הצטברות תוצאות מחקרים מדעיים, יחד עם התפתחות יכולת המדידה של עוצמות האור ברחבי העולם, מעלות את המודעות לנושא זיהום האור ואת זיהויו כאיום משמעותי על הטבע (למשל בדו"ח מצב הטבע של בריטניה², בדו"ח מיוחד של האו"ם³, וכן פורסמו החלטות בנושא באמנת המינים הנודדים⁴). לכן, החליטו המארג והוועדות המייעצות לכלול התייחסות לנושא זה לראשונה בדו"ח מצב הטבע של ישראל 2022 ולעקוב אחר הנושא גם בדו"חות הבאים.



תאורת כבישים ויישובים במורדות רמת הגולן ולאוורך חוף הכינרת. צילום: שאטרסטוק.

פרק 1

זיהום אור בישראל – היבטים אקולוגיים ומרחביים

חשיבות האור ומשטרי הארה הטבעיים

לאור יש השפעה על כלל החיים על פני כדור הארץ. הוא משמש מקור לאנרגיה לחימום ולפוטוסינתזה, משמש בעלי חיים המסתמכים על חוש הראייה, ומספק מידע מרחבי ועיתי. אור טבעי הוא אות מהימן לזמן ביממה (יום ולילה), למועד בחודש (מחזור הירח) ולעונת השנה (משך שעות האור ביממה). מהימנות מחזוריות האור בסקאלות השונות הובילה להתפתחות שעונים ביולוגיים שקיימים בכל האורגניזמים החיים שנחקרו – חיידקים, צמחים, פטריות ובעלי החיים. השעון הביולוגי מאפשר ליצורים החיים לחזות את השינויים הסביבתיים ולסנכרן את הפיזיולוגיה וההתנהגות לתנאים הסביבתיים המשתנים: הסוג, הכיוון, המֶשך והעוצמה של האור משפיעים על מועדי הנביטה, הלבלבוב, הפריחה וההבשלה של צמחים, ועל זמני פעילות, עונות רבייה, נדידה, ניווט ותקשורת תוך-מינית ובין-מינית אצל בעלי חיים.

שימוש גובר בתאורת לילה מלאכותית, הנובע מהתפתחות טכנולוגיות ומהוזלת מקורות האנרגיה, לצד הגידול המואץ באוכלוסיית בני האדם, הביאו לכך ששטחים נרחבים בעולם אינם מוארים במשטרי הארה טבעיים. בעקבות זאת, באזורי תאורה מלאכותית האור אינו אות אמין לתנאי הסביבה. ההשפעות של שינויי משטרי ההארה הטבעיים על הפיזיולוגיה

השפעות זיהום אור על מערכות אקולוגיות

לשינויים במשטרי ההארה הטבעיים בעקבות זיהום אור יש השלכות מגוונות על הסביבה הטבעית, והיקפן הולך ונחשף ככל שמצטברות עדויות מדעיות⁷. כיום הנושא מוגדר כאחד הנושאים המשמעותיים מבחינת היקף הפגיעה במגוון הביולוגי ובתפקוד מערכות אקולוגיות⁸.

רשימה חלקית של השפעות אלה כוללת:

1. שיבוש מקצבים ביולוגיים

אורח חייהם ופעילותם של מרבית בעלי החיים והצמחים מסונכרן לתנאי ההארה הטבעית⁹. קולטנים הרגישים לעוצמות האור בנוף האורגניזמים (אצל יונקים, למשל, קולטנים אלה נמצאים בעיניים) מזהים את השינויים החלים בעוצמות האור ובתדירותו, ומתרגמים אותם למנגנון ביולוגי מתוזמן – השעון הצירקדי (circadian clock). קולטני האור (פוטורצפטורים) רגישים רק לחלק מסוים מספקטרום האור הטבעי שמקורו אור השמש – לרוב לאורכי הנל שמאפיינים גם סוגי תאורה מלאכותית, כמו נורות לבנות. התיווך בין מאפייני התאורה לנוף האורגניזם נעשה על ידי ויסות הורמונלי (במיוחד דרך הפרשת ההורמון מלטונין, המתרחשת לאחר ירידה בעוצמות האור) ומשפיע על תפקודים פיזיולוגיים, כדוגמת שינה, ועל דפוסים של ביטוי גנים3. בעוד שמחקרים רבים בדקו את ההשפעות הקליניות של שינויים בשעון הצירקדי של בני האדם בעקבות חשיפה לתאורה מלאכותית (ומצאו מגוון השלכות בריאותיות, כמו עלייה במקרי סרטן, סוכרת, השמנה ואף קיצור תוחלת חיים)¹⁰, חקר ההשפעות על בעלי חיים וצמחים צבר תאוצה רק בעשור האחרון.

אצל דו-חיים נמצא כי שינויים בתזמון השעון הביולוגי בעקבות חשיפה לתאורה מלאכותית גרמו לעיכוב בגלגול ולמחלות עקב תפקוד לקוי, שמקורו בדיכוי מערכת החיסון ובהפרעות בחילוף

והתפקוד הקוגניטיבי של האדם ידועות מזה שנים רבות. דוגמה לכך היא תופעת הנ'ט-לג בטיסות ("יעפת" – תשישות הנגרמת לאדם עקב חוסר סנכרון בין תנאי האור במוצא הטיסה לבין אלה שביעדה). לעיתים השינוי אף נעשה בכוונה לצורכי שיבוש פעילות האדם, למשל בחקירות אלימות ובבתי קזינו⁵. שיבוש זמני ההארה הטבעיים נעשה גם בלולים ליצירת מניפולציה הגורמת לתרנגולות להישאר במצב פיזיולוגי המתאים לקיץ, ולהטיל ביצה מדי יום, ובגידולי פרחים במטרה להגדיל את היבול ולשלוט בזמני פריחה מחוץ לעונה. עם זאת, ההבנה שתאורת לילה מלאכותית היא גורם בעל השפעה מזהמת על הסביבה הטבעית היא חדשה יחסית, והמודעות לנושא עדיין נמוכה, הן בקרב הציבור הן בקרב מקבלי החלטות. בשנים האחרונות מצטברות עדויות רבות להשפעות שליליות של תאורה מלאכותית על מערכות טבעיות, והמחקר המדעי בתחום מתרחב.

רקע נרחב על תופעת זיהום האור והיקפה בישראל ניתן למצוא במסמך "זיהום אור וצמצומו – רקע מדעי ותמונת מצב ודרכי פעולה אפשריות" שפרסמה האגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה ב-2017⁶.

תמונת לילה של שמי הלילה, המראה את כוכבי הלילה, את המעינות והגלקסיות, כפי שצולמו באזור החומרים

החומרים¹¹. ניסויים בזבובי פירות הראו שתאורה מלאכותית בלילה יכולה לגרום לעקרות זכרית¹². צמחים, שאינם יכולים לנוע ולהתחמק מזיהום אור, פגיעים במיוחד להשפעות של תאורה מלאכותית. השעון הצירקדי מווסת את הגדילה וההתפתחות של הצמח בכל שלבי חייו. ההשפעות הן על תזמון הפריחה ומועדי הרבייה, על חילוף החומרים בתהליך הפוטוסינתזה, על המעבר בין עונות צימוח לבין תרדמה, על ביטוי גנים ותיקון נזקים בדי-אן-איי ועל התמודדות עם שינויים סביבתיים ומחלות¹³. באזורים עירוניים, למשל, ניתן לראות עיכוב בשלכת של עצים הממוקמים סמוך לפנסי רחוב¹⁴.

2. משיכה והיצמדות למקור אור מלאכותי או לחילופין, התרחקות ממנו

קבוצות שונות של בעלי חיים, כגון חרקים, דו-חיים, זוחלים, דגים וציפורים, נמשכות למקורות אור ("פוטוטקסיס חיובי") בשל מנגנוני התנהגות הקשורים לתקשורת רבייתית, לניווט ולזיהוי בתי גידול על פי מקור אור. מכיוון שמקור האור המלאכותי אינו מספק את הצורך שגורם למשיכה אליו, במקרים רבים הם נפגעים ומתים מתשישות, ממחסור במזון ומחשיפה לטריפה בשל עלייה בפעילות הטורפים סביב מקור האור^{15,16}. משיכה של עשים אל מקור תאורה מלאכותי היא מקרה מייצג לפגיעה במארג מזון אקולוגי שנגרם מפגיעה במין מפתח. נקבת העש משקיעה בתעופה סביב מוקדי תאורה אנרגיה רבה, וכך נפגעת יכולתה למצוא בן זוג ומקום ראוי להטיל את הביצים. נוסף על כך, עטלפים הניזונים מעשים, מתקבצים סביב עמודי תאורה שטרפם נמשך אליהם. בארץ נמצא שהמין עטלפון לבן שוליים (Pipistrellus kuhlii) משחר למזון סביב עמודי תאורה המושכים חרקים, וכך, ככל הנראה, הרחיב את תפוצת לאזורים שונים בנגב. ייתכן שאגב כך הוא דוחק את המין המקומי והנדיר יותר, אפלוכל הנגב (*Eptesicus bottae*)¹⁷.

מינים אחרים של בעלי חיים פעילי לילה נמנעים מהתקרבות לאזורים מוארים ("פוטוטקסיס שלילי"), והתפשטות זיהום האור לשטחים הפתוחים מצמצמת את מרחב המחיה שלהם. תשתיות אורך מוארות, כדוגמת כבישים, יוצרות מחסום המונע מעבר בין השטחים מצידי התשתית המוארת, ופוגעות בקישוריות בין אוכלוסיות של חיות בר¹⁸. מינים מסוימים של ציפורים הפסיקו לקנן באזורים שנוצר בהם זיהום אור¹⁹.

3. פגיעה בהתמצאות במרחב

בעלי חיים רבים מנווטים בלילה באמצעות מקורות אור טבעיים – מיקומם של כוכבים למשל, או החזר תאורת הכוכבים על פני גופי מים. אחת ההשפעות המשמעותיות שנמצאו בנושא היא סטייה במסכולי נדידה של ציפורים, עד כדי אובדן מוחלט של צירי נדידה, ועקב כך תמותה של העופות מתשישות או מהתנגשות בנורמי תאורה¹⁹. בארה"ב הוערך מספר מקרי המוות של ציפורים עקב התנגשות בבניינים גבוהים המוארים בלילה בכ-6.7 מיליון בשנה, 97% מהן ציפורים נודדות²⁰. ישראל היא צוואר בקבוק באחד מצירי הנדידה המרכזיים בעולם, וחולפות בו מעל 500 מיליון ציפורים בשנה. היות שכך, השפעות אלה עלולות להיות בה קריטיות במיוחד, אך הן טרם נבדקו. יונקים מאבדים את ההתמצאות במרחב סביב כבישים עקב סנוור מתאורת הכביש, דבר הגורם לתנועה לאורך הכביש במקום לחצייתו ולסכנת דריסה מוגברת. תופעה מוכרת שנחקרה רבות היא משיכה של צבי ים הבוקעים מהביצים ("אבקועים") אל שטחים מוארים בחוף וביבשה במקום אל הים. זיהום אור יבשתי מוגדר כיום כאחד הגורמים המאיימים ביותר על צבי ים בכל העולם^{22,21}.

צילום לילה של שמי הלילה, המראה את כוכבי הלילה, את המעינות והגלקסיות, כפי שצולמו באזור החומרים

4. פגיעה בפעולות הנחוצות לקיום (רבייה, תקשורת, שינה ועוד)

חרקים, התלויים באור לצורך תקשורת רבייתית, מתקשים להתרבות, ונכחדים מאזורים שיש בהם זיהום אור גבוה^{15,16}. מחקר ישראלי מצא שאצל צרצרים מהמין צרצר דו-כתמי (*Gryllus bimaculatus*) שנחשפו לתאורה פלואורסצנטית בלילה, היו שיבושים משמעותיים בהרגלי התנועה ובתקשורת הקולית שנעשית בשעות החשכה ומשמשת גם למשיכת נקבות על ידי הזכרים, לעומת קבוצת ביקורת שגדלה בתנאי הארה טבעיים. למשל, הצרצרים שגודלו בתאורה מלאכותית החלו להשמיע קולות גם ביום. שיבושים אלה החריפו ככל שעוצמת התאורה הייתה גבוהה יותר²³. תאורת לילה מלאכותית, הממסכת את הבהוב הנחליליות שמשמש לתקשורת תוך-מינית, נחשבת לאחד הגורמים לצמצום גודלי האוכלוסיות של נחליליות באזורים מיושבים²⁴, וניסויים הציגו שינויים קיצוניים בהתנהגות נחליליות נקבות בעת חשיפה לתאורה מלאכותית²⁵. צפרדעים וקרפדות מתקשרות באמצעות השמעת קול לצורכי רבייה, אך ממעטות לקרקר במקווי מים מוארים, ועקב כך התרבותן מצטמצמת, ואוכלוסיות שלמות נפגעות²⁶.

נמצא שחשיפה של עופות לזיהום אור פוגעת בשינה, וגורמת לשינוי בשעות שיחור המזון וכדחיקתו לשעות שאינן מתאימות עקב חשיפה לטריפה או לתנאי טמפרטורה לא מיטביים^{28,27}. בניסוי שנערך עם טווסים נמצא שבהשוואה לקבוצת ביקורת, הטווסים שנחשפו לתאורה בלילה היו דרוכים וערניים בלילות, המעיטו בשינה, והפסיקו לקנן²⁹. תופעה נפוצה ומוכרת היא שתאורת רחוב בעיר גורמת לציפורי שיר, פעילות יום, להמשיך ולשיר בלילה³⁰, ויוצרת בזבז אנרגיה וחשיפה לטריפה.



מראה שמי הלילה בדרום הנגב, צפון שמורת מסיב אילת. ניתן לראות את שביל החלב, אך גם את הילת תאורת הלילה מבסיס צבא מרוחק

שיטות ותהליך ניתוח הנתונים

תמונות לוויין שמראות את עוצמת תאורת הלילה המלאכותית הנפלטת אל החלל מספקות עדות חזותית לרמות הפיתוח ובמידה רבה גם לצפיפות האוכלוסייה האנושית באזורים השונים של כדור הארץ. ערכי התאורה המתקבלים מהווים מדד לזיהום האור, ומאפשרים להעריך את ההשפעה הנלווית על המערכות האקולוגיות של כדור הארץ.

מגבלות השיטה

החיישן בלוויין מזהה קרינה בטווח הקרוב לזה הנראה בעין האדם, באורכי גל של 500–900 ננומטר (ירוק-צהוב-אדום-אינפרה אדום קצר גל) ויש לו ערוץ בודד בתחום זה (פנכרומטי), שממצע את כל התחום.

כמו בכל חיישן על לוויין – הנתונים מייצגים רק את הקרינה שהגיעה אל החיישן – כתלות בזווית הלוויין ובהחזר הקרינה (חלק ממנה אינו מוחזר כלפי מעלה או שנתקל בעננים ובגזים שונים הנמצאים באטמוספירה). כלומר, הקרינה האופקית, שהאורגניזמים שעל הקרקע חשופים אליה, אינה בהכרח נקלטת בחיישנים לווייניים³¹. נוסף על כך, חיישן ה-VIIRS אינו רגיש לפליטה של אור כחול (400–500 ננומטר), שנמצא כבעל השפעה רבה על השעון הביולוגי של בעלי חיים³². בנורות מסוימות שיא הפליטה הוא של אור כחול, וייתכן שנורות אלה ייקלטו ב-VIIRS- כבעלות פליטה בעוצמה נמוכה או לא ייראו

הגדרת ערכי סף לנתוני זיהום אור

השפעתה של תאורה מלאכותית על אורגניזמים מגוונת ומשתנה בין מינים, היות שהם מגיבים לעוצמות אור, למשכי זמן הארה ולאורכי הגל באופן שונה. כדי להגדיר ערך סף מדיד לעוצמת תאורה מלאכותית, שמעבר לו ישנה בסבירות גבוהה השפעה שלילית משמעותית על מרכיבי מערכות אקולוגיות, התבססו על עוצמות אור ירח (מקור האור הטבעי המרבי בשעות החשכה) באותם ערכי המדידה שבשימוש חיישן ה-VIIRS עבור עוצמות תאורה מלאכותית. אור הירח ידוע כגורם בעל השפעה ביולוגית ניכרת על תפקודים פיזיולוגיים והתנהגותיים, כמו שיחור מזון, סנכרון אירועי רבייה, ניווט, התמצאות במרחב ועוד³⁹. במהלך מחזור מופע הירח החודשי (lunar cycle) משתנים תנאי ההארה הלילית הטבעיים (ממונד הירח לירח מלא) בעוצמות המשתוות לערכים של 2–5 nW/cm²*sr, בהתאם למופע ירח הזרח החל מ-80% ממזואו ועד לירח מלא (100%)³⁶. מתוך כך ניתן להסיק

ניתוח הנתונים במסמך זה מבוסס על תוצרי החיישן הלווייני VIIRS, שזמינים מאפריל 2012, ברזולוציה (גודל פיקסל) של 750 מ'. התוצר הוא ממוצע חודשי, עד נובמבר 2020, של קרינה נפלטת בשעות החשכה, הנמדדת בכל לילה למעט בלילות ירח מלא או עננות מלאה. הנתונים עוברים תהליך של "ניקוי" השפעות של גורמים ממסכים (עננות למשל), ומכילים רדיומטרית לערכי ננו-ואט לסמ"ר סטרדיאן (nW/cm²*sr).

כלל, בעוד שבפועל הן פולטות קרינה בעוצמה גבוהה. גם רזולוציית הנתונים הזמינים, במשבצות (פיקסלים) שדפנותיהן 750 מ', מקשה להבחין בין גורמי זיהום אור מקומיים (אם כי באזורים חשוכים מאוד הרזולוציה מספקת).

כיום קיימים נתוני לוויין ברזולוציות ספקטריות ומרחביות גבוהות יותר^{34,33}, אך עלויות המיפוי בקנה מידה ארצי גבוהות במיוחד. ישנם מכשירים קרקעיים לבדיקת עוצמות זיהום אור המאפשרים הערכה של צורות שונות של זיהום (למשל, חיישנים הבודקים את זהירות הרקיע מפני הקרקע³⁵), אך הם מספקים מידע מקומי בלבד.

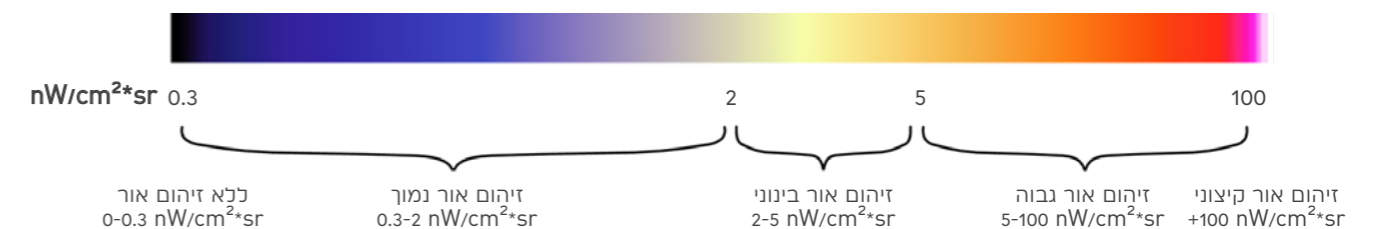
חרף מגבלות השיטה המפורטות בסעיף זה, השימוש בנתוני VIIRS מקובל ונפוץ בדו"חות מקצועיים ובמאמרים מדעיים ככלי אמין למדידת עוצמות התאורה המלאכותית^{38,37,36,1}.

שתאורת לילה מלאכותית קבועה, גם בעוצמה נמוכה של 2 nW/cm²*sr, ובוודאי כזו העולה בעוצמתה על זו של אור הירח המלא (כ-5 nW/cm²*sr), כבר מהווה זיהום אור, שעלול לפגוע בתפקודה התקין וביציבותה של המערכת האקולוגית הטבעית.

לדוגמה, נמצא כי בחופים שעוצמות האור בהם עולות על 2 nW/cm²*sr, ישנה השפעה שלילית מובהקת על עלייה של צבות ים להטיל את ביציהן^{22,40}. עוצמות תאורה כאלה מאפיינות, למשל, ערכים ממוצעים באזורים שיש בהם יישובים עירוניים קטנים בארה"ב⁴¹ ובהודו⁴².

אזורים המוארים בעוצמת תאורת הלילה מלאכותית גבוהה במיוחד <100 nW/cm²*sr, למשל מרכזי ערים גדולות, מסומנים במסמך זה כ"זיהום אור קיצוני".

באזור 1 מופיעות קטגוריות עוצמות זיהום אור כפי שהן מוגדרות בפרק זה:

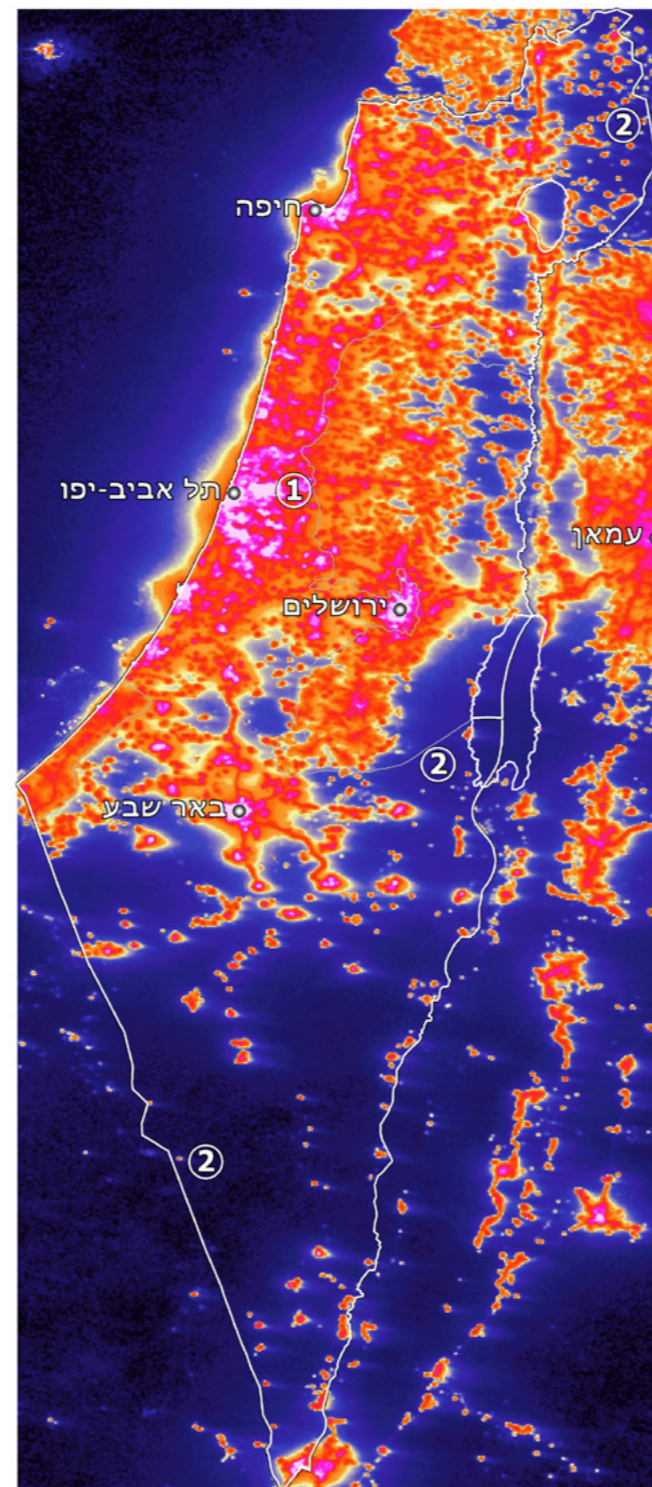


איור 1:

סרגל לוגרמי של עוצמות תאורה מלאכותית המאפשר הבחנה בין התחומים שהוגדרו כעוצמות זיהום אור שונות. ערכי הסף מייצגים ערכי תאורת לילה מלאכותית שהם כמעט פי 7 ופי 17 לעומת שטח חשוך (עבור הדירוג הנמוך והבינוני בהתאמה). יפירוט לבני ניתוח נתוני ה-VIIRS ואופן העבודה ניתן למצוא בנספח הטכני של דו"ח זה.

היקף זיהום האור בישראל

והפסקה אחריה: ישראל מדורגת כאחת המדינות עם שיעור האוכלוסייה הגבוה ביותר החי באזורים עם זיהום אור גבוה. מחקר שפורסם בשנת 2017 בדק את בהירות שמי הלילה ברחבי העולם ומצא כי-97% מאוכלוסיית ישראל חיים במקומות שעוצמת תאורת הלילה המלאכותית אינה מאפשרת לראות מהם את שביל החלב, ולמעשה לא ניתן כלל לראותו ב-45% משטח ישראל²².



מפה 1:

רמות זיהום האור בישראל 2020

אין בישראל כיום אתרי תצפית הנקיים מזיהום אור מאופק עד אופק. עם זאת, עדיין קיימים שטחים חופשיים למדי מזיהום אור לתצפית לזנית ולסביבתה.

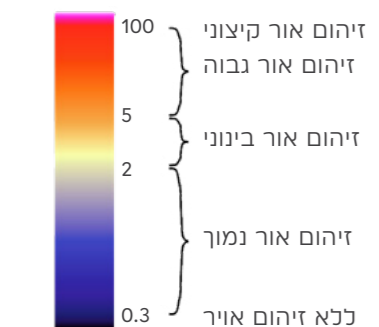
רמות זיהום האור בישראל 2020

1. אחד השטחים הפתוחים המוארים בישראל הוא המסדרון האקולוגי במרכז הארץ (אזור "ציר הגבעות"). מקור עוצמות התאורה הגבוהות הוא ברצף הערים של מישור החוף ובכבישים מרכזיים העוברים בסמיכות למסדרון. רוב השטחים הפתוחים במרכז הארץ ובצפונה אינם חשוכים לגמרי, וחשופים לרמות שונות של זיהום אור.

2. השטחים הפתוחים החשוכים בישראל נמצאים ברמת הגולן, במדבר יהודה ובדרום הנגב.

3. האזור החשוך ביותר בישראל נמצא סביב חלקו התיכון של אגן פארן, ושטחו כ-1,800 קמ"ר. רוב השטח (כ-80%) נמצא בתחום שמורות טבע (שמורת הר הנגב ושמורת הנחלים הגדולים), אך מרכז השטח אינו מוגן בסטטוס כלשהו ומהווה שטחי אימונים של צה"ל. בשולי אזור זה נמצא מכתש רמון, שהוכר ב-2017 כ"שמורת אור כוכבים בין-לאומית" על ידי ארגון International Dark Sky Association⁴³.

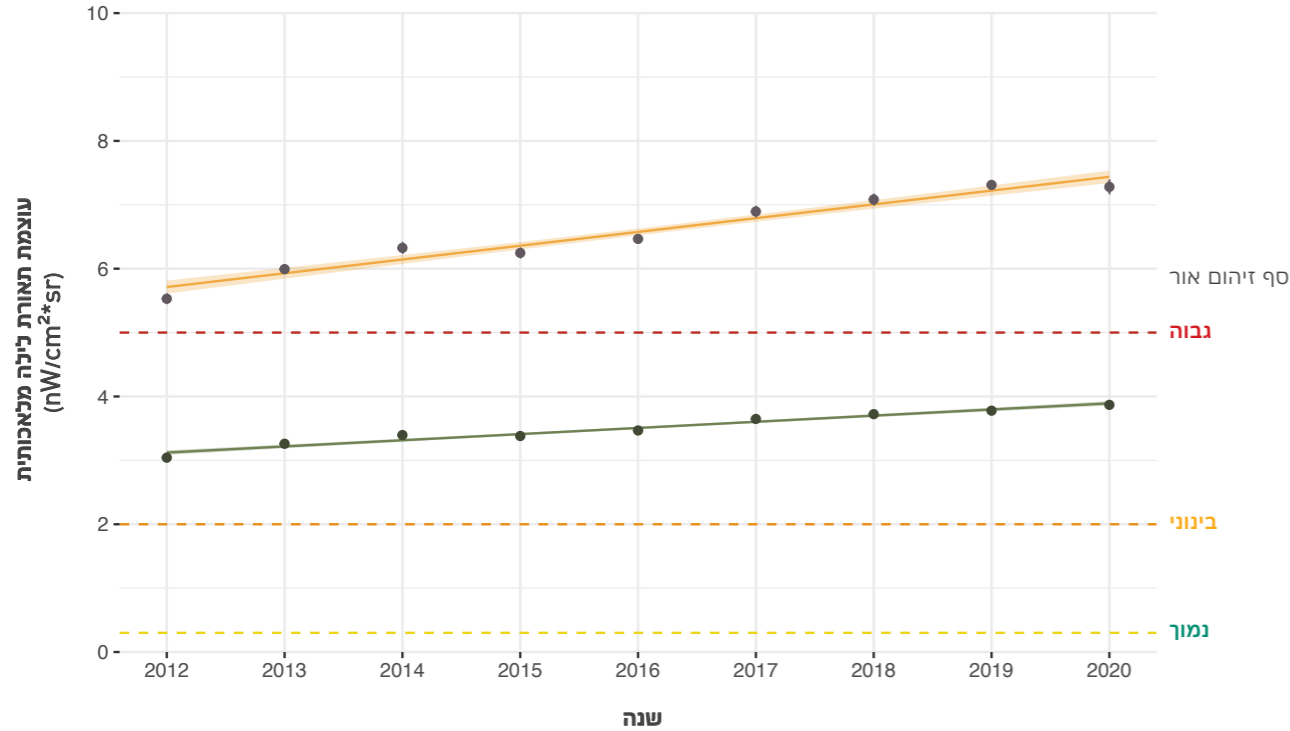
רמת זיהום אור



תאורת לילה מלאכותית בשטחים הפתוחים

במקביל לעוצמות התאורה שנמצאות במגמת עלייה בשטחים הבנויים בישראל, זיהום האור מתפשט גם לשטחים הפתוחים (איור 3 – קו ירוק).

מפה 2 מאפשרת לאפיין מבחינה מרחבית את השינויים המרכזיים בעוצמות זיהום האור בישראל בשנים האחרונות:



איור 3:

עוצמות תאורת הלילה המלאכותית בישראל בין השנים 2012-2020 – בכלל ישראל (קו תום) ובשטחים הפתוחים (קו ירוק). הנתונים מציגים את ערכי הממוצע החודשיים בכל שנה.

מכון סטאי (מפה ג2). תוכניות פיתוח חדשות המתכננות בגולן כוללות הקמת יישובים חדשים והרחבת יישובים קיימים. תוכניות אלה וכן תוכניות בנייה של מלונות חדשים סמוך לקו החוף של הכינרת עלולות ליצור מקורות זיהום אור חדשים במרחב.



עמק הצבאים בירושלים בשעות הלילה. השטחים הפתוחים במרכז הארץ מושפעים מזליגה של אור מהאזורים המאוכלסים. צילום: עמיר בלבן.

א. זיהום האור בישראל עלה ברוב אזורי הארץ. ירידה בעוצמות זיהום האור חלה רק בשטחים מצומצמים.

ב. העלייה בעוצמות התאורה באזורים הבנויים, ובייחוד בערים וביישובים הגדולים, זולגת לשטחים הפתוחים וגורמת לעלייה בעוצמות התאורה הנמדדות שם.

ג. מקורות אור שנוספו בשטחים הפתוחים גורמים להארה של אזורים שהיו חשוכים לפני כעשור. חלק גדול ממקורות תאורה אלה קשור לעבודות שדרוג של כבישים, ובייחוד לתאורת צמתים. בעוטף באר שבע (מפה א2) נוספו תשתיות תאורה בשטחים הפתוחים עקב הקמת יישובים חדשים (כרמית ושיזף), בסיס גדול (עיר הבה"דים – מחנה שרון) וכחלק מהפיתוח הנלווה להכרה ביישובים בפזורה הבדואית. בדרום הערבה (מפה ג2) נבנה בעשור האחרון שדה התעופה הבין-לאומי רמון, המהווה מוקד מרכזי של זיהום אור באזור, וכן נוספו מוקדי תאורה לאורך כביש 90, כחלק מעבודות הרחבה של הכביש והסדרת הצמתים לאורכו.

ד. האזור החשוך בארץ (מרחב פארן), נשאר חשוך. רמת הגולן היא המרחב הלא-מדברי החשוך בישראל, ובעשור האחרון נוספו בו גורמי תאורה משמעותיים חדשים, בעיקר סביב היישובים הדרוזיים בצפון הגולן וכן בחוף המזרחי של הכינרת סביב

עוצמות תאורת לילה גבוהות נמדדו ברוב שטחי מרכז הארץ, לאורך כל שפלת החוף ובמרבית שטחי הגליל. המערכות האקולוגיות המושפעות ביותר מתאורת לילה מלאכותית הן אלה הקרובות ליישובים הגדולים והמצומצמות בשטחן – חולות מישור החוף ורכסי הכורכר. 78% מחופי הים בישראל גם הם חשופים לזיהום אור גבוה (ראו בהמשך הפרק). ברוב שטחי הנגב עוצמות תאורת הלילה המלאכותית נמוכות, ואף קיימים בו מספר אזורים חשוכים נגמרי. אזורים נוספים בארץ שערכי תאורת הלילה בהם נמוכים הם רוב שטחי רמת הגולן ומדבר יהודה.

על קצה המזלג:

24.5% משטח ישראל מושפעים מזיהום אור גבוה, 13% מזיהום אור בינוני, 54.4% מזיהום אור נמוך, ו-8.1% משטח ישראל הם ללא זיהום אור. מכלל השטחים הפתוחים (כולל חקלאות) – 17% מושפעים מזיהום אור גבוה, 13% מזיהום אור בינוני, 60% מזיהום אור נמוך, ו-10% הם ללא זיהום אור – רובם המכריע בדרום הנגב.

ממפת זיהום האור בישראל 2020 לפי ממוצעי ערכים חודשיים עולה כי 92% משטח ישראל חשופים להשפעת תאורת לילה מלאכותית (מפה 1). ברוב המקרים קיים קשר ישיר בין מידת הפיתוח וצפיפות האוכלוסייה לעוצמות התאורה (ראו מפה 1 בפרק שימושי קרקע בישראל [תכסית] בד"ח זה).

ניתן לסווג את מקורות תאורת הלילה המלאכותית בארץ לשלושה גורמים מרכזיים:

א. יישובים: יישובים הם מוקדי זיהום האור המרכזיים, ובהם גם נמדדות עוצמות תאורת הלילה הגבוהות ביותר. ריכוזי היישובים שעוצמות התאורה בהם הן הגבוהות והרציפות ביותר נמצאים לאורך מישור החוף, בירושלים, בחיפה והקריות ובאזור באר שבע.

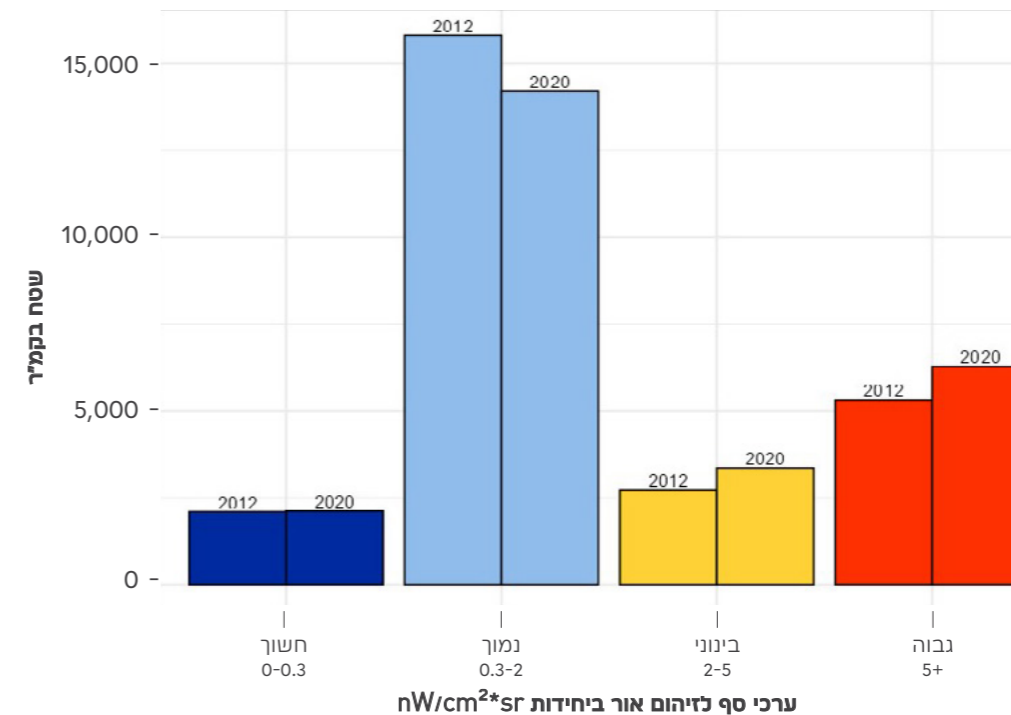
ב. כבישים: התאורה לאורך כבישים והחזר האור מהם יוצרים מוקד אור בעל פרופיל אורכי ורצוף. דרכים מוארות החוצות שטחים פתוחים יוצרות קיטוע מרחבי של אזורים חשוכים.

ג. מתקנים: למוקדי תאורת לילה מבודדים יש השפעה ניכרת במרחב. חלק מהם מתפרסים על שטח נרחב, כמו שדות תעופה ובסיסי צבא; חלק הם מתקנים מקומיים, למשל פנס תאורה על קידוח מים. חלק מהמתקנים פזורים בשטחים הפתוחים החשוכים ביותר בארץ, ולכן התאורה שבהם, גם כשהיא מצומצמת, עלולה להיות בעלת השפעה מרחבית למרחקים ניכרים.

מגמות בעוצמות תאורת הלילה המלאכותית בישראל

האור ב-2012 וב-2020. הנתונים מראים שהיקף השטחים שזיהום האור מוגדר בהם כגבוה וכבינוני עלה, והיקף השטחים שזיהום האור בהם היה נמוך ירד. היקף השטחים שלא נמדד בהם זיהום אור לא השתנה.

בין השנים 2012-2020 ניכרת מגמת עלייה עקבית בעוצמות תאורת הלילה המלאכותית הממוצעת בשטח ישראל. בשנים אלה עלה הממוצע הארצי של ערכי עוצמות האור (כפי שהן נקלטות על ידי חיישן ה-VIIRS) ב-30%. באיור 2 מוצג היקף השטחים בישראל – בנויים ופתוחים יחד – לפי עוצמות זיהום



איור 2:

היקף השטחים בישראל לפי רמות זיהום האור בשנים 2012 ו-2020

על קצה המזכנ:

ישנה מגמת עלייה עקבית בזיהום האור בשטחים הפתוחים בישראל. בצפון הארץ ובמרכז העלייה בזיהום האור נובעת ברובה מעלייה בעוצמות התאורה באזורים המאוכלסים ומזליגה של אור מהם. נוסף על כך, לאורך השנים נוספו מוקדי תאורה חדשים בלב השטחים הפתוחים. מוקדים אלה הם בעיקר סביב מתקנים, כבישים ויישובים חדשים.

במרחב הימי של ישראל השתנו משטרי האור והחושך הטבעיים בצורה משמעותית. באזור זה, אשר עד לפני כעשור נעדר מקורות אור קבועים והיה חשוך ברובו, הוקמו מתקנים הקשורים לתעשיית האנרגיה, ומתקנים ביטחוניים הכוללים אמצעי תאורה רבים. בהיעדר מחסום פיזי בים, תאורת הלילה מהמתקנים הימיים זולגת למרחקים (ראו מפות בסעיף זיהום אור בסביבה החופית ובסביבה הימית בישראל).

שמורות טבע

שמורות קטנות וצרות נעדרות אזור חיץ שממסך את חדירת התאורה מבחוץ. הסיבה השנייה קשורה למיקום השמורות. רוב השמורות הקטנות (עד 100 דונם) והבינוניות (100 עד 1,000 דונם) מרוכזות במרכז הארץ ובצפונה ובסמיכות ליישובים ולמוקדי תאורה שאור זולג מתוכם לשמורות. המערכות האקולוגיות שמיוצגות בשמורות טבע וחשופות לזיהום האור הגבוה ביותר הן בריכות חורף, נחלי החוף, רכסי הכורכר וחולות מישור החוף.

רוב השמורות בנגב גדולות (מעל 1,000 דונם) ורחוקות יחסית ממוקדי פיתוח, ועקב כך חשוכות יחסית. אף על פי כן, חלק מהן חשופות למוקדי תאורה של בסיסי צבא (דוגמה ג במפה 3 - שמורת מסיב אילת) ולמתקנים שונים הפזורים בשטחם - למשל תחנות שאיבה.

מפת עוצמות תאורת הלילה המלאכותית בשמורות הטבע בישראל משקפת את עוצמות זליגת התאורה ממוקדי ההארה (מפה 3 וטבלה 1). השמורות עם ערכי התאורה הגבוהים ביותר נמצאות במישור החוף, בהרי יהודה ובמערב הנגב. גם שמורות גדולות הנמצאות במרכז הארץ ובצפונה מושפעות מזיהום אור. למשל, שמורת הר מירון, הגדולה בשמורות הטבע בארץ מחוץ לנגב, מושפעת הן ממקורות אור מהיישובים המקיפים אותה, הן מיישובים ומבסיסי צבא הנמצאים בתוכה (מפה 3א). מרבית שטחי שמורות הטבע נמצאים בנגב ובמרחק מיישובים וממוקדי תאורה, ולכן ברוב שטחי השמורות בישראל זיהום האור נמוך (איור 4).

שמורות קטנות רגישות יותר לזיהום אור משמורות גדולות (ראו בהמשך). סיבה אחת לכך קשורה למבנה המרחבי של השמורה -

שם שמורת הטבע

זו השמורה הגדולה בשמורות הטבע בארץ מחוץ לנגב (שטחה 91,000 דונם). היא מושפעת הן ממקורות אור מהיישובים המקיפים אותה הן מיישובים ומבסיסי צבא הנמצאים בתוכה. עם זאת, ליבת השמורה היא אחד השטחים החשוכים ביותר בנגב.

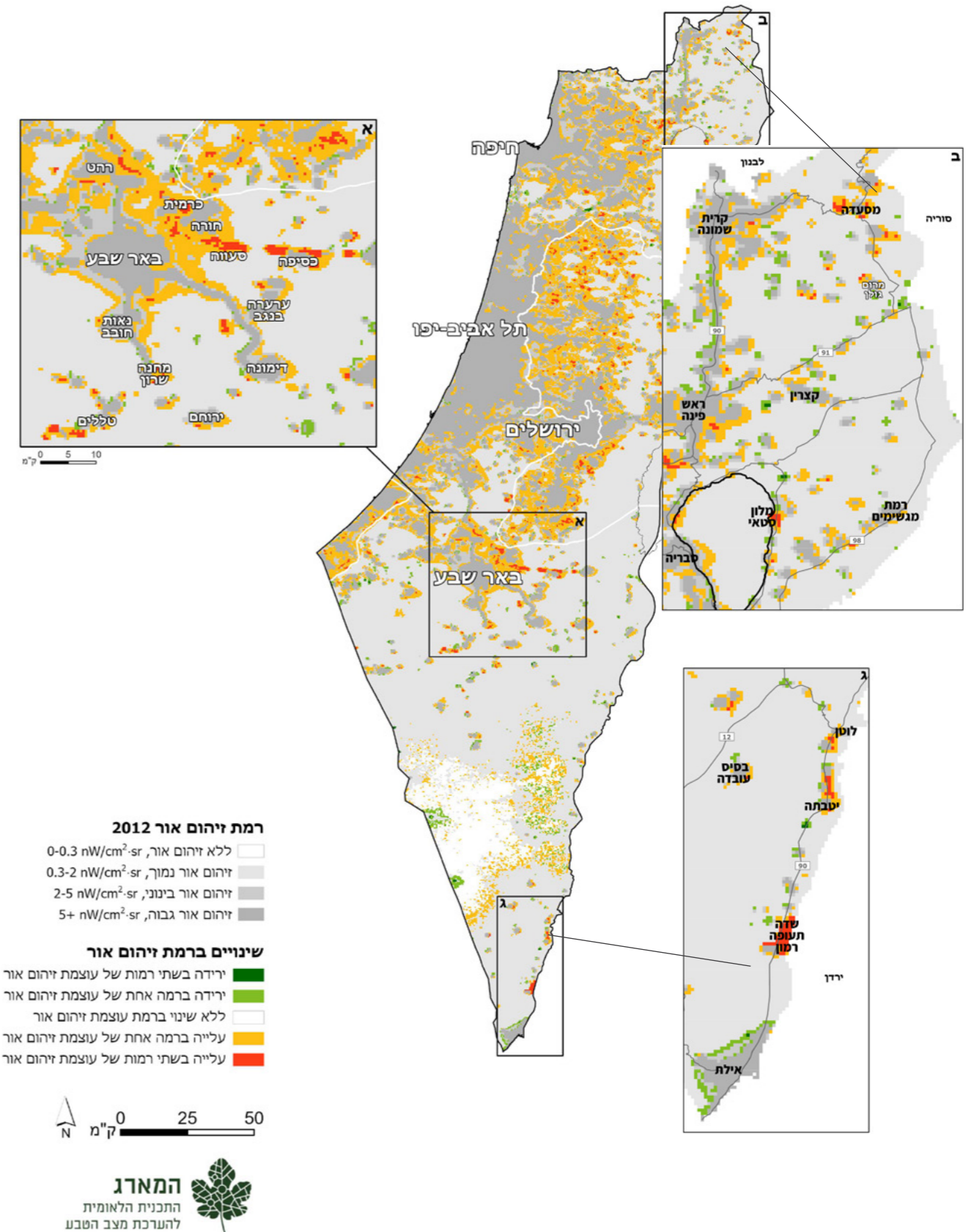
שמורת הר מירון

השמורות קטנות, וסמוכות ליישובים גדולים וללא שטחי חיץ ביניהן לבין מקורות תאורת הלילה. שמורות אלה סובלות מערכי זיהום אור גבוהים במיוחד.

שמורות נחל הירקון (ושמורות נוספות במישור החוף - נחל אלכסנדר, חוף השרון, חולות ראשון לציון)

שמורת מסיב אילת

שמורה מדברית, ובתוכה בסיסי צבא המוארים בלילה. התאורה זולגת מהם גם לטווח של מספר קילומטרים. חלקה הדרומי והמזרחי של השמורה מושפעים ישירות מתאורת העיר אילת, יישובי הערבה, כבישים ושדה התעופה החדש ברמון. חלקה המערבי, ההררי, חשוך ברובו.

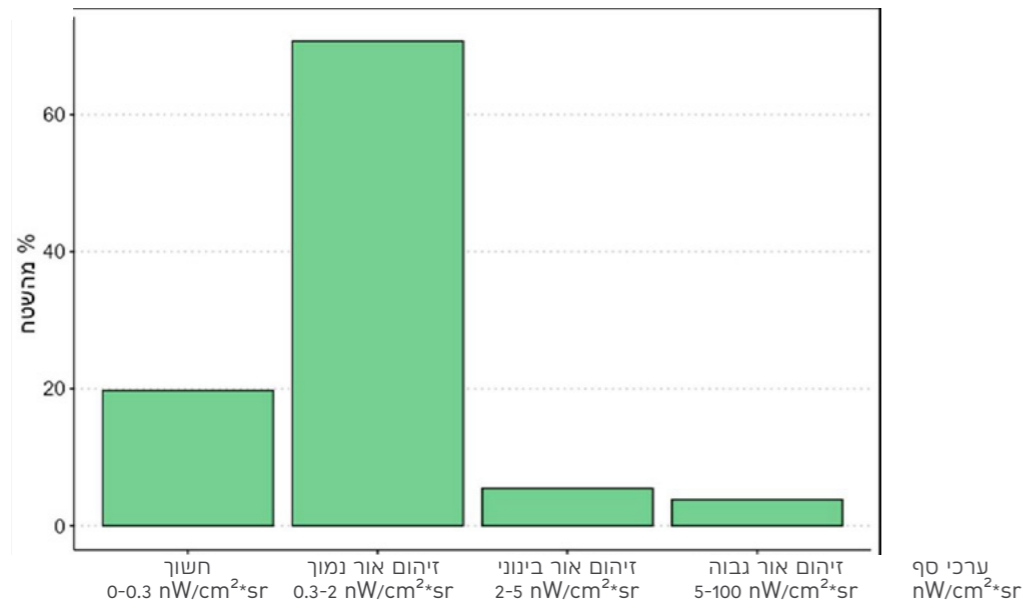


טבלה 1:

דוגמאות לנורמי זיהום אור בשמורות טבע בישראל (מיקומי השמורות במפה 3)

מפה 2:

שינויים ברמות זיהום האור בישראל בין השנים 2012-2020



איור 4:

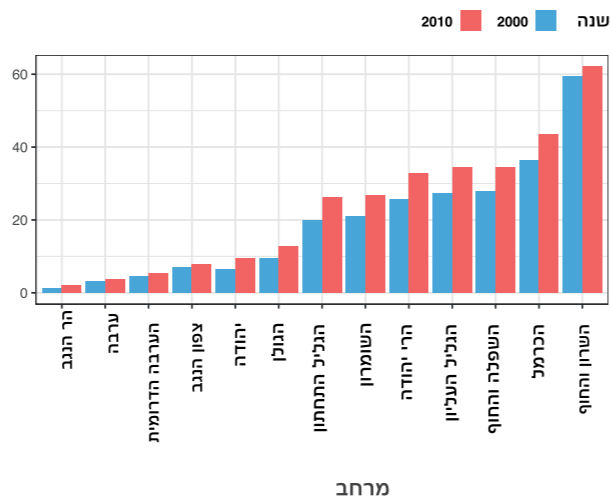
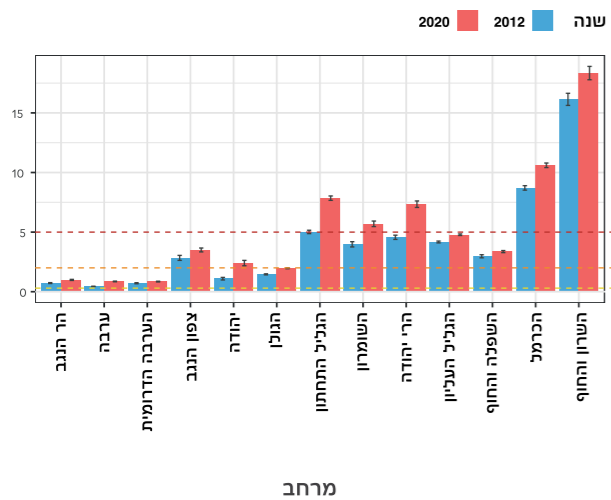
אחוז שטחי שמורות טבע בחלוקה לערכי זיהום אור בשנת 2020

מגמות

לפי חלוקת יחידות הניהול המרחביות של רט"ג נמצא כי ישנה עלייה רצופה בזיהום האור בשני העשורים האחרונים בשמורות טבע בכל המרחבים בישראל. עוצמות זיהום האור הממוצעות הגבוהות ביותר הן בשמורות מישור החוף והכרמל. העליות היחסיות הגבוהות ביותר בתקופה זו נמדדו במרחבים הרי יהודה והגליל התחתון.

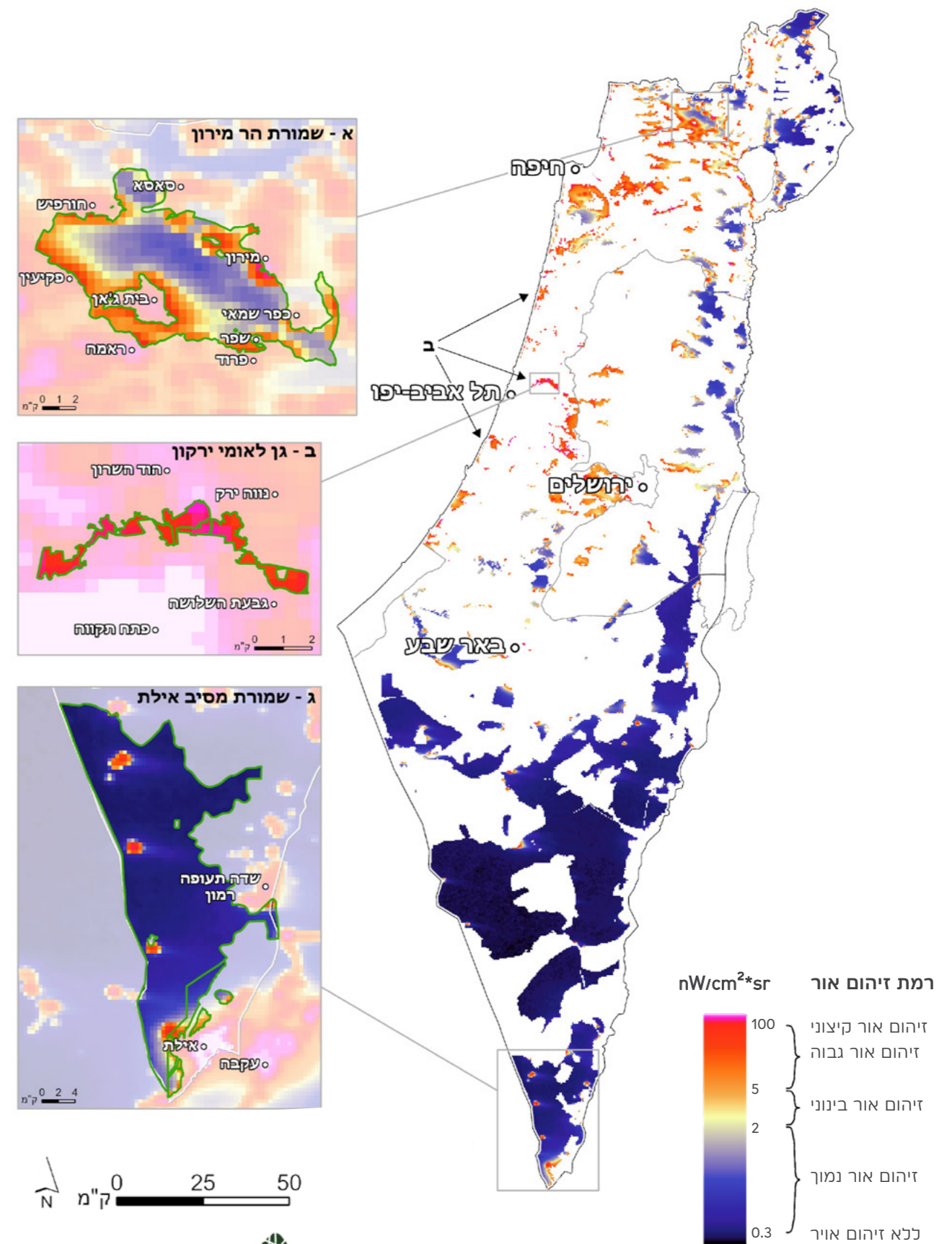
בשמורות טבע בישראל ישנה מגמת עלייה רצופה בעוצמות התאורה. בשנים 2012-2020 זיהום האור עלה בממוצע ב-21%. ממוצע זה נמוך מהעלייה הממוצעת בכל שטחי ישראל (30%), אך המגמה מצביעה על היקף זכיגת התאורה מאזורי הפיתוח אל האזורים המוגנים.

השינויים בעוצמות תאורת הלילה המלאכותית בשמורות נבחנו על ידי רשות הטבע והגנים (רט"ג) בשנים 2000-2010²³ וכן על ידי עורכי הדו"ח הנוכחי בין השנים 2012-2020 (איור 5).



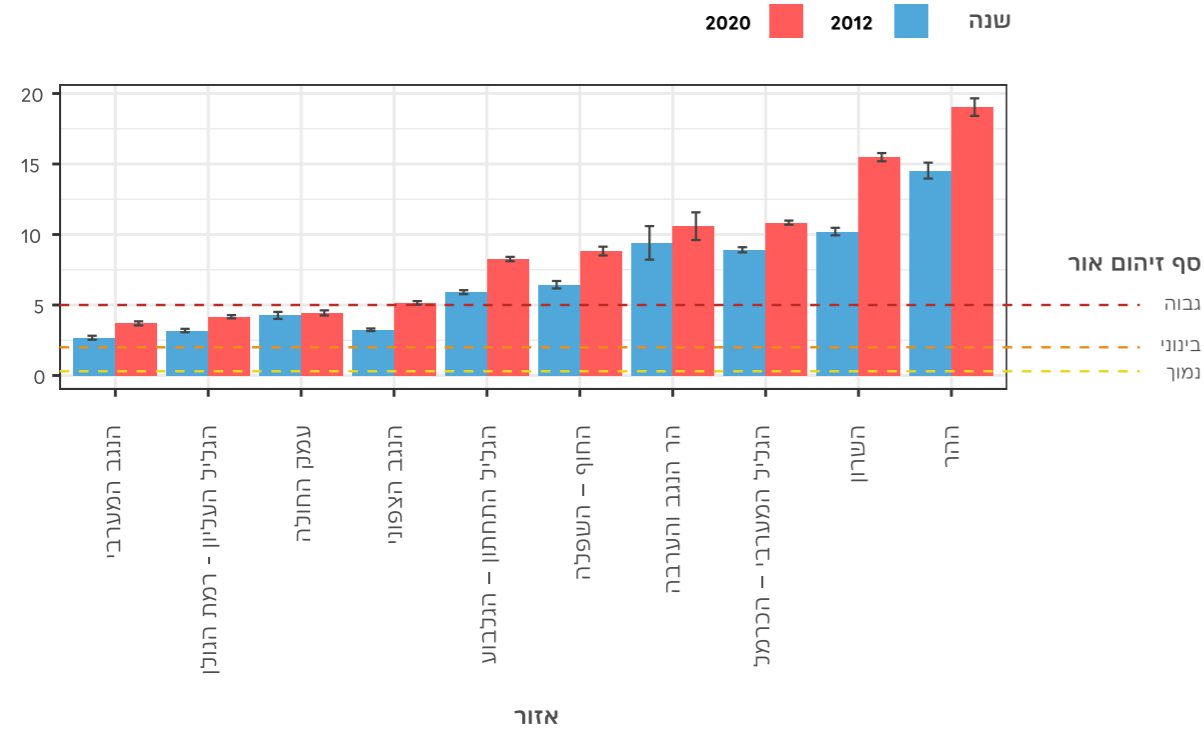
איור 5:

השוואה בין ממוצע ערכי תאורת הלילה המלאכותית בשטחי שמורות מאושרות ומוכרזות, לפי מרחבי רט"ג, בשנים 2000 ו-2010⁴⁴ (ימין) ובשנים 2012 ו-2020 (שמאל)



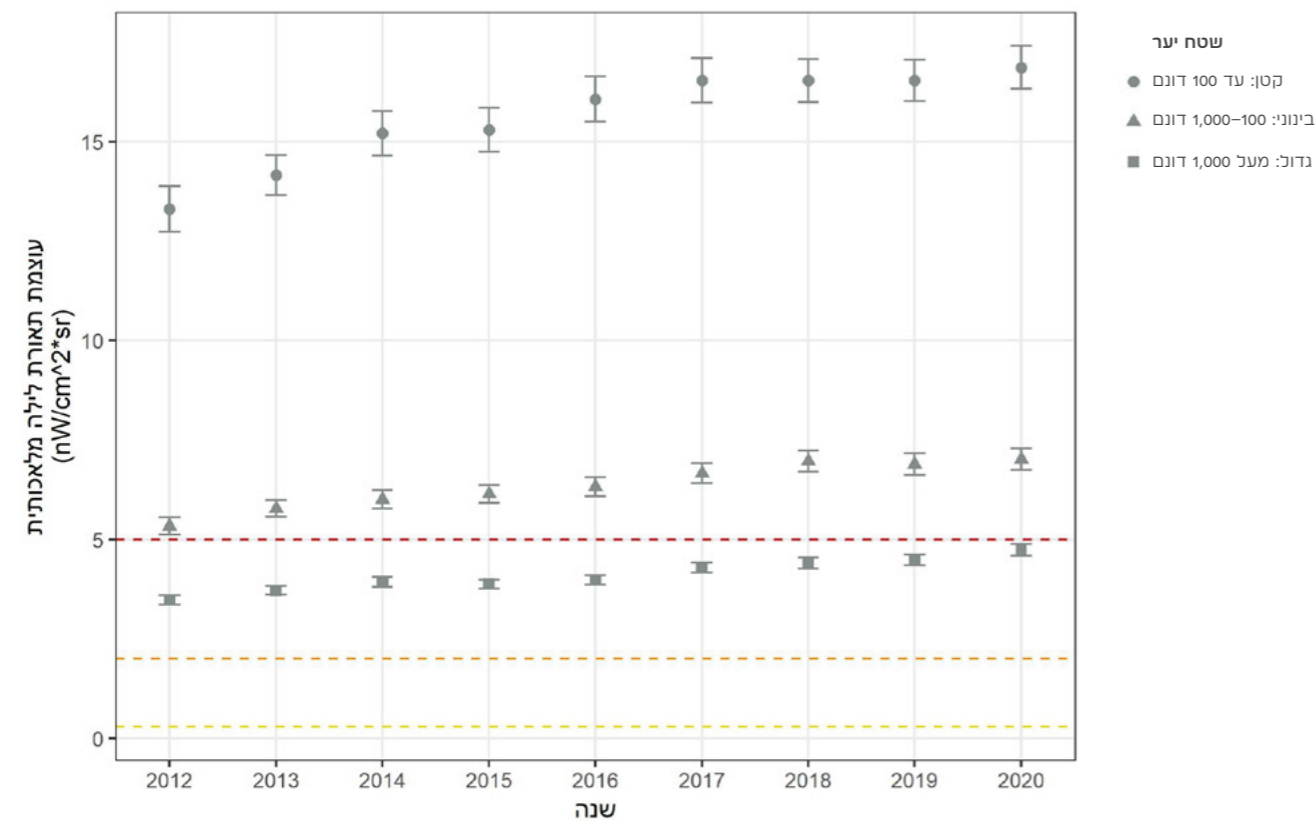
מפה 3:

עוצמות תאורה לילה מלאכותית בשמורות טבע בישראל 2020



איור 7:

השוואה בין ממוצע ערכי התאורה בשטחי היערות בחלוקה לאזורי קק"ל בשנים 2012 ו-2020

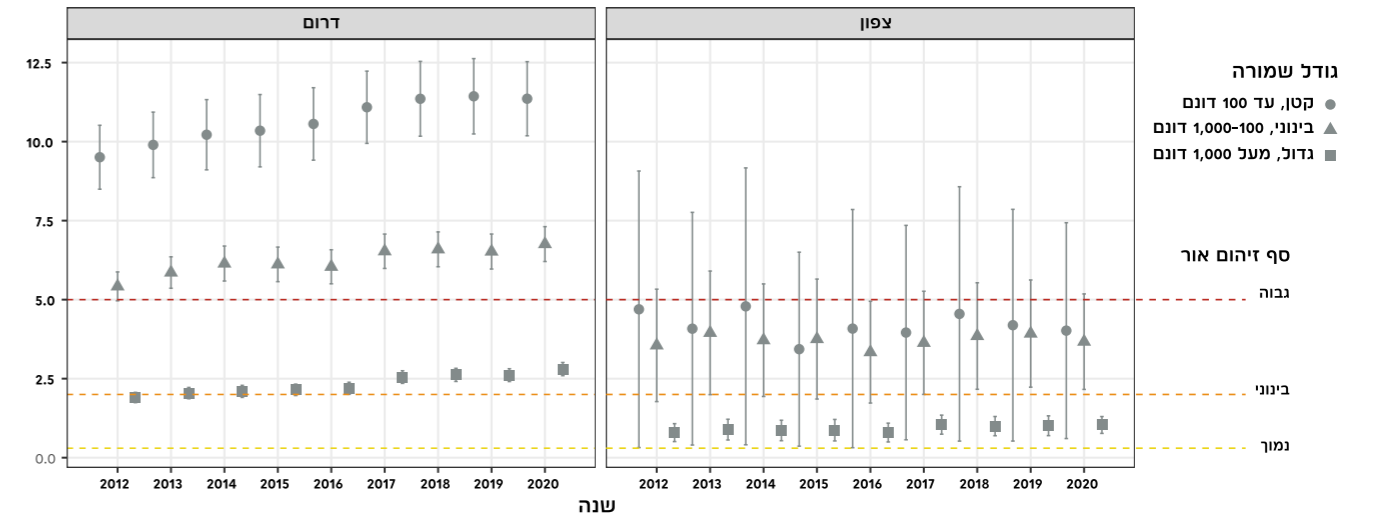


איור 8:

ממוצע ערכי תאורת הלילה בשנים 2012-2020 בגושי יער קטנים (עד 100 דונם; עיגול), בינוניים (100 עד 1,000 דונם; משולש) וגדולים (מעל 1,000 דונם; ריבוע). קווים אנכיים מסמנים את שגיאת התקן.

בעוד שמצפון לנגב ניתן להבחין בהשפעת גודל השמורה על מידת זיהום האור שבה, בנגב לא נמצא הבדל סטטיסטי בין השמורות הקטנות והבינוניות. ממצאים אלה מדגימים את ההשפעה השלילית של אפקט השוליים, את פגיעות השמורות הקטנות ואת חשיבות השמורות הגדולות.

בהשוואה בין עוצמות זיהום האור בשמורות בצפון הארץ ובמרכזה לדרום הארץ בין השנים 2012-2020 ובחלוקה לפי גודל השמורות, נמצא שקצב עליית עוצמות התאורה בשמורות בצפון הארץ ובמרכזה גבוה יותר מאשר בשמורות הדרומיות (איור 6). השמורות הקטנות, מעבר לכך שהן גם המוארות ביותר, גם מאוימות מקצב העלייה הגבוה ביותר בעוצמות התאורה.



איור 6:

ממוצע ערכי תאורת הלילה בשנים 2012-2020 בשמורות קטנות (עד 100 דונם; עיגול), בינוניות (עד 1,000 דונם; משולש) וגדולות (מעל 1,000 דונם; ריבוע) בחלוקה בין דרום הארץ (ימין) לצפון הארץ ולמרכזה (שמאל). קווים אנכיים מסמנים את שגיאת התקן.

יערות בניהול הקרן הקימת לישראל

התעשייה של באר שבע) או לאורך כבישים מוארים (יער צומת הנגב ויער משאבים), בעוד האחרים נמצאים באזורים חשוכים (יער יתיר, יער עזוז, בארותיים).

כמו בשמורות הטבע בצפון הארץ ובמרכזה, גם ביערות בניהול קק"ל עוצמת תאורת הלילה המלאכותית שהיער חשוף אליה תלויה בגודלו - היערות הקטנים (עד 100 דונם) הם המוארים ביותר. ביערות גדולים יש שטחי ליבה נרחבים יותר, והארה מגורמי תאורה שנמצאים בעיקר מחוץ ליער, לא זוכנת אליהם.

היערות הקטנים סובלים מעוצמות תאורה גבוהות. כמו כן, קצב עליית זיהום האור בשטחי היער הקטנים גבוה מאלה של גושי היער הבינוניים והגדולים.

ביערות בניהול הקרן הקימת לישראל (קק"ל) עלתה עוצמת תאורת הלילה ב-31% בין השנים 2012-2020, קצת מעל הממוצע הארצי, מכיוון שרוב שטחי היערות בניהול קק"ל נמצאים בצפון הארץ ובמרכזה, בקרבת אזורי הפיתוח המרכזיים בישראל. עוצמות התאורה הממוצעות הגבוהות ביותר נמדדו ביערות מישור החוף ובכרמל (איור 7). העליית המשמעותית ביותר בעוצמות התאורה בין שנת 2012 לשנת 2020 נמדדה במרחבים הרי יהודה והנגליל התחתון. הערכים הגבוהים יחסית והשונות הגבוהה של ערכי התאורה ביערות באזורי הר הנגב והערבה נובעים מהמספר הנמוך של היערות בדרום הארץ, וכיוון שחלק מהם נמצאים בתחומים מוניציפליים שיש בהם תאורה חזקה (יער הולנד באילת, פארק נחל באר שבע הסמוך לעיר ולאזור

מסדרונות אקולוגיים

מסדרון אקולוגי הוא רצועה רציפה של שטחים פתוחים, המקשרת בין שטחים טבעיים במוקדים שונים ומאפשרת תנועת חיות בר והפצה של צמחי בר. תפקודו התקין של מסדרון אקולוגי תלוי בכך שלא חלים בו שינויים תדירים במרחב ובזמן שמונעים תנועה או קיום של האורגניזמים החיים או נעים בו⁴⁵. ממפת עוצמות התאורה במסדרונות האקולוגיים בישראל (מפה 5) עולה כי בצפון הארץ ובמרכזה המסדרונות מושפעים מעוצמת תאורה גבוהה הזולגת הן בצורה ישירה (תאורת כבישים החוצים אותם, למשל) הן עקב זהירות הרקיע הנוצרת סביב אזורים מוארים. המסדרונות הארציים המערביים נתונים לעוצמות התאורה הגבוהות ביותר: "ציר הגבעות" ברובו מואר בעוצמות אור גבוהות, ומערב השומרון מואר ברובו בעוצמות אור בינוניות עד גבוהות. כך גם המסדרונות החוצים את הגליל בציר מזרח-מערב וכן מסדרונות מישור החוף.

עם זאת, עוצמת התאורה במסדרונות לרוב נמוכה מאשר בשטחים הבנויים הסמוכים להם. מכאן, שהמסדרונות מתפקדים כאזורי חיץ בסביבה המוארת.

על קצה המזלג:

חלקים משמעותיים מהמסדרונות האקולוגיים במרכז הארץ ובייחוד בקרבת מישור החוף, סובלים מזיהום אור גבוה עד בינוני שמקורו ביישובים ובכבישים סמוכים. בעשור האחרון ישנה מגמת עלייה בעוצמות האור במסדרונות. ההשפעות השליליות של האור על המסדרונות פוגעות בתפקוד המערכות האקולוגיות.

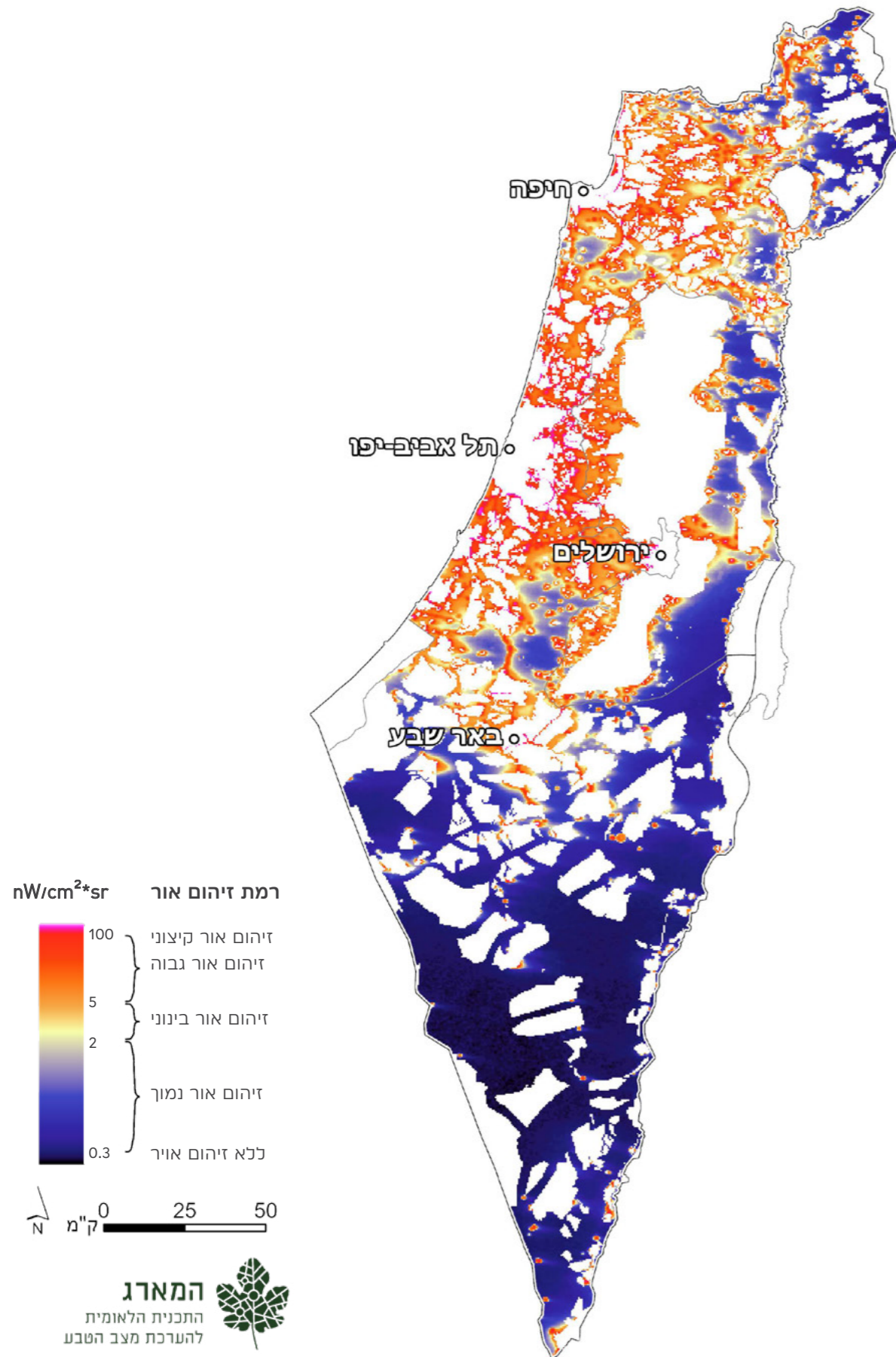
מרחבים ביוספריים

מרחבים ביוספריים הם שטחים בעלי ייחוד אקולוגי וביו-גאוגרפי, והם מנוהלים בשיתוף ובמעורבות של קהילות האדם החיות בתוכם או בסמיכות אליהם, ומשרתים גם את צורכיהן הכלכליים והתרבותיים. הם מתוכננים כך שבלב המרחב (הליבה) מתקיים אזור מוגן שחלות בו הגבלות רבות על פיתוח, וככל שמתרחקים מאזור זה אל כיוון המעטפת, מותרים יותר פעילות אנושית וגורמי פיתוח (כולל בנייה), אך במגבלות המאפשרות לשמור את ייחודיות המרחב והטבע שבו.

רמות מנשה והכרמל הם שני המרחבים הביוספריים היחידים בישראל המוכרים על ידי אונסק"ו והם שוכנים בסמיכות אחד לשני. במפות ניתן לזהות את האזור המפריד ביניהם - רצועת ואדי מילק (נחל יקנעם ונחל דליה) שכביש 67 עובר בה, ושהתאורה לאורכו יוצרת עוצמת אור גבוהה. בשני המרחבים הביוספריים אזור ה"גלעין" הוא בעל ערכי תאורה שהוגדרו כנמוכים, אך השטח החשוך מצטמצם עקב עלייה בעוצמות התאורה באזורי החיץ של המרחבים וביישובים שבהיקפים (מפה 4).

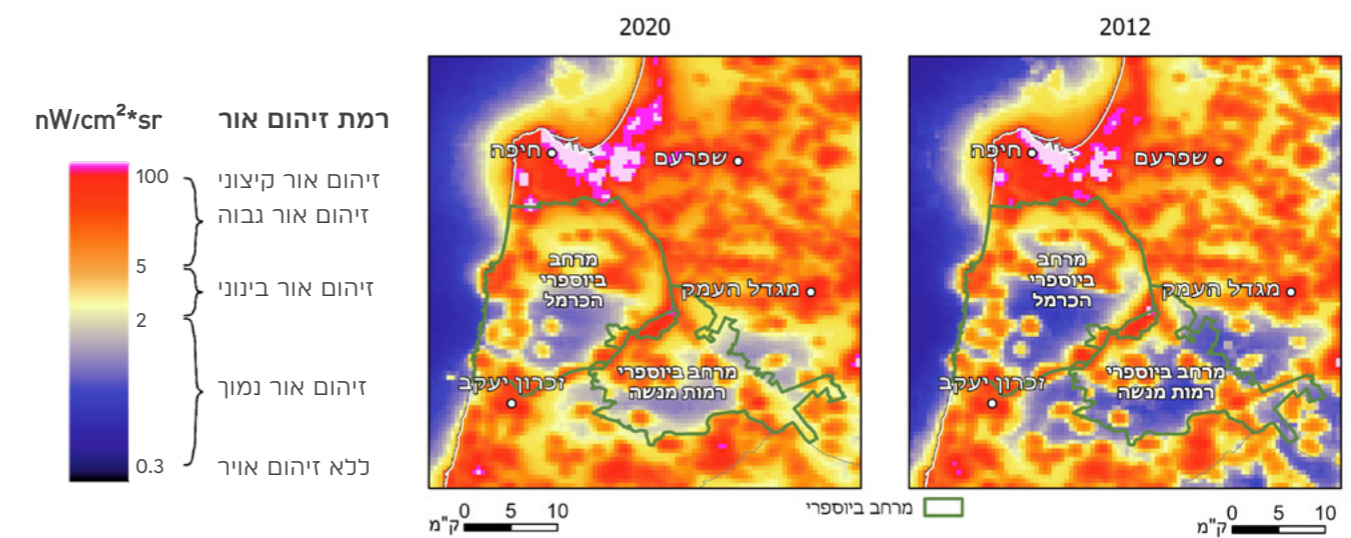
על קצה המזלג:

השטחים הפתוחים בישראל חשופים לזיהום אור עקב זליגת תאורה ממוקדי הארה סמוכים. הזליגות המשמעותיות ביותר הן בצפון ישראל ובמרכזה.



מפה 5:

עוצמות זיהום האור במסדרונות האקולוגיים



מפה 4:

עוצמות תאורת לילה מלאכותית במרחבים הביוספריים כרמל ומגידו בשנים 2012 ו-2020

זיהום אור בסביבה החופית ובסביבה הימית בישראל

השפעות אקולוגיות של זיהום אור בים ובחוף

לתאורת לילה מלאכותית השפעה רבה גם במערכות אקולוגיות ימיות וחופיות. אחת התופעות הנחקרות ביותר היא השפעת זיהום האור במרחב החופי על הטלות של צבי ים. נקבות צבי ים נרתעות מלעלות ולהטייל את ביציהן בחופים מוארים²². גם כאלה שהטיילו בהם ביצים בעבר. במחקר שבדק את השפעת זיהום האור על הטלות צבות הים לאורך כל חופי הים התיכון בישראל, נסקרו מיקומי כל הקינים בין השנים 1993–2011 ועוצמות האור בחופים²¹. החוקרים מצאו שעוצמות האור בחופים היו הגורם המשמעותי ביותר שהשפיע על דגמי הפיזור של הקינים לאורך החופים, ושמשפר הקינים ירד ככל שעוצמת התאורה עלתה.

השפעה נוספת של תאורת לילה מלאכותית על צבי הים היא אובדן יכולת ההתמצאות של האבקועים (הצאצאים הבוקעים מהביצים) שנמשכים למקור האור בחוף במקום אל הים⁴⁶. כדי למנוע פגיעה בביצים ובאבקועים נערכים בעונת ההטלה של צבות הים סיורים יזומים על ידי פקחי רט"ג ומתנדבים, המאתרים קינים חדשים ומעתיקים את הביצים לאתרים מוגנים בחופים שעוצמות התאורה בהם נמוכות. עם זאת, במחקר שנערך ב-2021, נמצא שבחמישה מתוך ששת חופים שהביצים מועברות אליהם (בצת, גלים, גדור, פלמחים, ניצנים וזיקים), עוצמות התאורה עדיין גבוהות מערך $2nW/cm^2 \cdot sr$, הסף שנמצא כבעל השפעה משמעותית על ההתמצאות של האבקועים⁴⁷.

הזואופלנקטון, המהווה את הבסיס של מארג המזון הימי, מבצע נדידה אנכית בים בהתאם לתנאי החשכה ואור הירח: במשך שעות האור אותם אורגניזמים זעירים נמצאים בעומק הים, אך הם עולים כשתנאי החשכה מאפשרים להם להיזון מהפיטופלנקטון הנמצא במים הרדודים מבלי להיחשף לעיני טורפים. נמצא שזואופלנקטון שעולה לפני השטח בלילות חשוכים, נמנע מלעשות זאת כאשר הופעלה תאורה מלאכותית⁴⁸. באופן הפוך, מינים שונים של דיונונים ודגים נמשכים אל מקורות אור, באופן שמשבש פעילויות חיוניות כמו רבייה ושיחור מזון, ומעמיד אותם בפני סכנת טריפה או תשישות⁴⁹.

בשוניות אלמוגים יש לאור תפקיד מכריע בהשקעת הסיידן ובתהליכי הפוטוסינתזה של האצות הסימביוטיות החיות באלמוגים⁵⁰. נוסף על כך, תהליכי הרבייה של האלמוגים ובעלי חיים רבים אחרים בשונית מתוזמנים לפי עוצמות אור הירח⁵¹. בשנים האחרונות נערכו מספר מחקרים שבחנו את השפעת התאורה המלאכותית על השונית באילת. אחד המחקרים מצא כי חשיפה של אלמוגים לתאורת לילה מלאכותית, וזו לטווח זמן קצר, משפיעה באופן שלילי על הפיזיולוגיה שלהם. אלמוגים שגודלו בתנאי תאורה דומים לאלה הקיימים בחוף, הראו שינויים בהתבטאות הגנים שגרמו לחלוקת תא מואצת ולשינויים תאיים, כולל פגיעה בתאי הרבייה⁵². מחקר נוסף מצא פגיעה שנגרמת לרבייה של אלמוגים שהצלחתה מותנית בשחרור מתוזמן של תאי

האלמוג היה נמוך באופן מובהק ממספרן בקבוצת הביקורת ששהתה בחשכה⁵⁴.

השפעת תאורת לילה מלאכותית במרחב הימי אינה רק בתווך הימי: ריכוז תוצאות של 24 מחקרים שבדקו השפעת תאורה של אסדות ימיות, מצא שתאורת לילה באסדות מהווה גורם משיכה לציפורים ויכולה להטות דפוסי נדידה, בעיקר בלילות עם ערפל או עננות נמוכה⁵⁵. בלילות כאלה הציפורים מתקשות לראות את שמי הלילה, מאבדות את יכולת ההתמצאות, ונוטות לעוף לעבר מקורות אור בולטים בסביבה החשוכה. מספר מאמרים שנסקרו דיווחו על אירועי התנגשות ליליים המוניים של מאות ואף אלפי ציפורים באסדות קידוח ימיות.



החוף הצפוני באילת. צילום: דורון ניסים. זיהום אור חופי באילת מאיים על עתידה של שונית האלמוגים

המצב הקיים

לאורך החוף, הממצאים שלנו משנת 2020 מראים כי האזורים החשוכים יותר בחוף הישראלי הם לפיכך מצומצמים ומקוטעים, ומרוכזים בשמורות טבע (מפה 7). החופים החשוכים ביותר הם ראש הנקרה עד בצת, חוף דור-הבונים, חוף ניצנים וחוף זיקים.

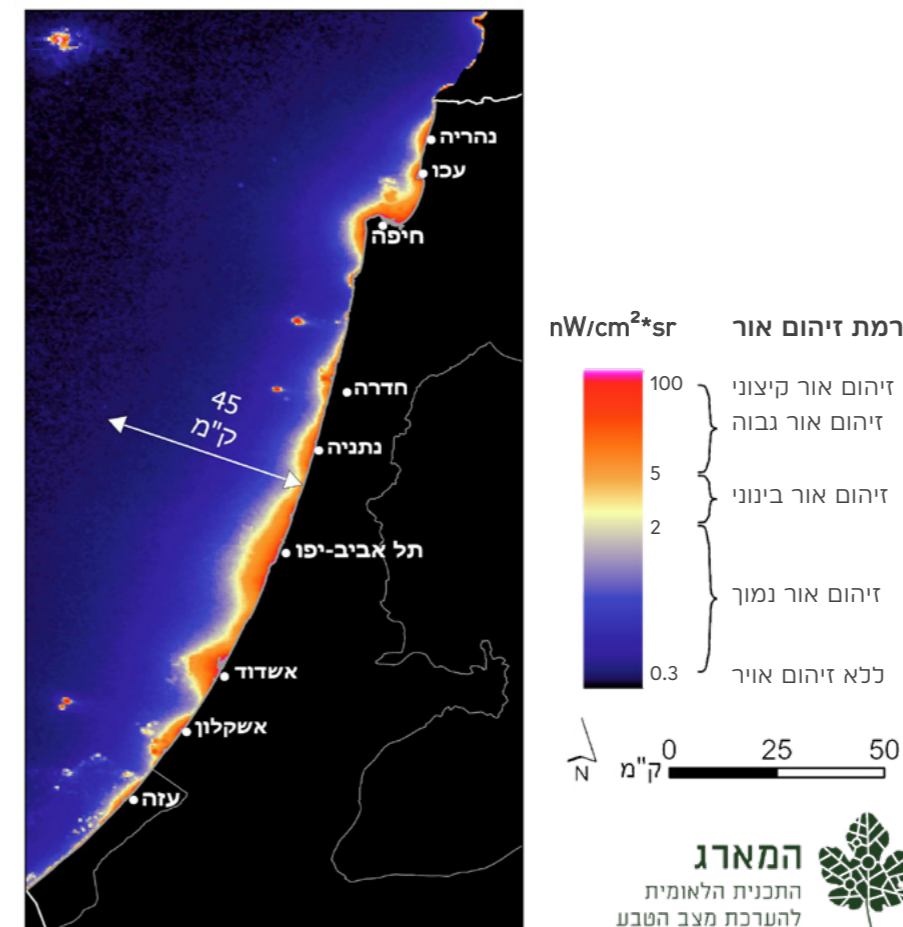
בתוך שטחי הים, במרחק קילומטרים רבים מהחוף, ניכרת השפעה הולכת וגדלה של זיהום אור שמקורו בתאורה מלאכותית בחוף.

בתווך הימי בישראל, שהיה חשוך ברובו עד לפני כעשור, הוקמו מקורות תאורת לילה חדשים בשנים האחרונות כחלק ממערך פיתוח מקורות הגז הכוללים אסדות קבועות וזמניות. כיום פועלות בישראל שלוש אסדות הפקת גז המהוות מקור אור קבוע: מרי בי שהוקמה ב-2003 ותמר שהוקמה ב-2013 נמצאות כ-24 ק"מ מול חופי אשקלון, ולווייתן שהחלה לפעול ב-2020 נמצאת כ-10 ק"מ מול חוף דור. החל משנת 2013 עוגנת אנייה מגזת (מכלית גז טבעי נוזלי) דרך קבע כ-10 ק"מ מול תחנת הכוח אורות רבין בחדרה ומהווה גם היא מקור אור קבוע במרחב הימי.

מין למים – אלמוגים שהיו חשופים לתאורה לא שחררו את תוצרי הרבייה בתזמון ביניהם, ואילו קבוצת הביקורת שהייתה בתנאי חשכה כן עשתה זאת. החוקרים סיכמו שהמשמעות היא ירידה במספרי גיוס האלמוגים (התפתחות אלמוגים צעירים) והגדלת הסיכון להתדלדלות השונית בטווח הרחוק⁵³. מחקר נוסף בחן את השפעת אורכי גל כחול, לבן וצהוב בעוצמת אור המדמה את האור המלאכותי הנמצא בשימוש בקרבת החוף באילת, על הפיזיולוגיה של שני סוגי אלמוגים ממפרץ אילת. תוצאות המחקר מעידות כי אלמוגים הנחשפים לתאורה מלאכותית במהלך הלילה נמצאים במצב עקה, המוביל לפגיעה בחומר התורשתי וברקמות תאי השומן והחלבונים. כמו כן, היעילות הפוטוסינתטית נפגעה, וכן מספר האצות השיתופיות ברקמת

הים התיכון הוא גוף המים הגדול שבו היקף הפיתוח החופי הוא הגבוה ביותר בעולם⁵⁶, ורבים מכלל החופים לאורכו ומשטחי הים הסמוכים להם חשופים להשפעה של תאורת לילה מלאכותית^{47,57}. בישראל, שילוב של צפיפות אוכלוסייה ופיתוח לאורך כל מישור החוף, היעדר מחסומים טופוגרפיים וקו חוף שאינו מפורץ, גורמים לכך שרוב החופים נמצאים במשטר תאורת לילה בעוצמות גבוהות, גם אם לא ישיר (בשל זהירות רקיע). השפעת תאורת הלילה ממקורות יבשתיים נקלטת על ידי חיישן VIIRS למרחק של כ-45 ק"מ מהחוף לכל ים (מפה 6).

גם מימי מפרץ אילת וחופיו נמצאים בהשפעה של גורמי תאורה רבים שמקורם בערי הנמל של צפון המפרץ (אילת, עקבה בירדן וח'קל בסעודיה) ובפיתוח חופי נרחב לצרכים שונים⁵⁸. בישראל אין למעשה מקטעי חוף ארוכים שאינם חשופים לתאורת לילה. הסיבות המרכזיות לכך הן צפיפות אוכלוסייה גבוהה במיוחד לאורך אזורי החוף ותוואי חוף ישר ברובו ונעדר מחסומים טופוגרפיים או צמחייה גבוהה שיכולים למסך תאורה (מפה 6). גם חופים המוגנים מתאורה ישירה על ידי המצוק החופי סובלים מזיהום אור בשל זהירות הרקיע של ריכוז היישובים



מפה 6:

חידרת תאורת הלילה המלאכותית בישראל לתוך המרחב הימי

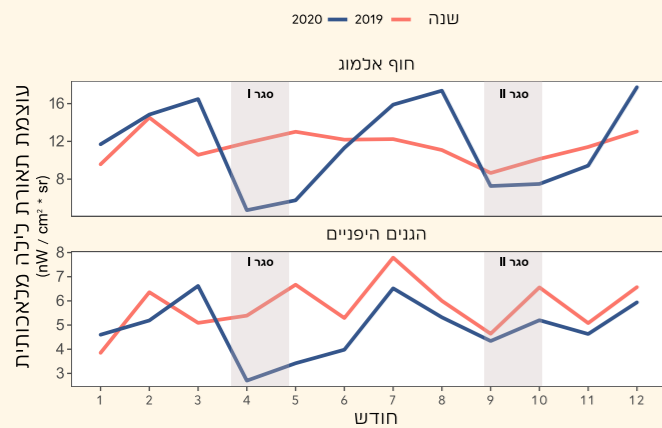


השפעת הקורונה על עוצמות תאורת הלילה המלאכותית בשונית האלמוגים באילת

2. אזור הגנים היפניים בשמורת חוף אלמוג - מקטע החוף שלידו סגור לפעילות אדם (מלבד מתחם המצפה התת-ימי שפעיל ביום בלבד). בקרבת השמורה נמצאים מלון אחד ומתחם תיירות קטן שאינו פעיל בלילה.

תוצאות הבדיקה מראות שבחוף אלמוג עוצמות תאורת הלילה המלאכותית היו נמוכות בכ-35-75 אחוזים בתקופת הסגרים במהלך שנת 2020 לעומת התקופה המקבילה להם בשנת 2019.

בתוך השמורה הסגורה ("הגנים היפניים") עוצמות זיהום האור היו נמוכות בכ-35-40 אחוזים. חלק מההבדלים בין עוצמות זיהום האור בין החופים נובעים מכך שכפועל יוצא מעבודת רשות הטבע והגנים, צומצמה התאורה בטיילת בין חוף אלמוג למצפה התת-ימי והונמכו גופי התאורה שלאורך הטיילת.



שנת 2020 תיזכר כ"שנת הקורונה", שבה פעילות האדם בכל העולם הצטמצמה באחת. סגרים והגבלות ממושכות על תנועת אנשים ופעילותם מעבר לאזור מגוריהם יצרו מצב לא שגרתי של אתרי טבע ונופש שוממים מפעילות אנושית.

חופי אילת הם מאתרי הנופש שהושפעו בצורה המשמעותית ביותר מההגבלות שהוטלו ב-2020. מעבר לתקופות עוצר, אילת נסגרה לקבלת נופשים למשך תקופות ארוכות. בחופים הדרומיים של אילת נמצאת שמורת האלמוגים הצפונית בעולם, והיא מהווה את אחד מגורמי המשיכה החשובים ביותר לתיירות באילת. השונית באילת מוגנת ברובה הגדול בתחום שמורת טבע, והחוף שלצידה סגור לפעילות בשעות החשכה. עם זאת, מאחר שהיא קרובה לחוף ולעיר, השונית באילת היא בין השונות שסובלות מעוצמות התאורה הגבוהות ביותר בעולם. מוקדי התאורה סביב השמורה, שרחוקה מספר קילומטרים מהעיר, קשורים רובם לתעשיית התיירות והנופש, ומתבססים ברובם על שונית האלמוגים כגורם משיכה מרכזי. למשל, כאן נמצא ריכוז מועדוני הצלילה הגדול באילת ושירותי החוף הנלווים אליהם, כדוגמת מסעדות ומקומות לינה. בדיקת עוצמות התאורה בחופים הדרומיים של אילת בזמן הגבלות הקורונה והשוואתה לאלה של התקופה המקבילה בשנה הקודמת מאפשרת לבחון את השפעת תעשייה זו על השונית.

נבדקו עוצמות התאורה בשני מוקדי חוף:

1. חוף אלמוג - אזור נופש ותיירות, המרכז את רוב מועדוני הצלילה באילת ואת פעילות הנופש הנלווית, הכוללת מסעדות חוף ואכסניות צוללנים. שמורת שונית האלמוגים באילת גובלת בחוף זה מדרום.

הבדל בין 2020 לתקופה מקבילה ב-2019

אזור	אתר	מאפיין	הבדל בין 2020 לתקופה מקבילה ב-2019	
			סגר I	סגר II
החופים הדרומיים של אילת	חוף אלמוג	מסעדות, מועדוני צלילה, אכסניות צוללנים	-75%	-30%
שמורת חוף אלמוג - הגנים היפניים	שמורה סגורה	שמורה סגורה	-40%	-35%

על קצה המזלג:

חופי ישראל חשופים לזיהום אור בעוצמות גבוהות. בהעדר מחסומים טופוגרפיים, אור מערי החוף נראה למרחק רב לים. לזיהום אור ישנן השפעות שליליות משמעותיות על המערכות האקולוגיות החופיות והימיות. בעשור האחרון נוספו מקורות אור חדשים הקשורים לתעשיות הגז בתווך הימי, שעד לפני כעשור היה חשוך ברובו ונעדר מקורות אור קבועים. זיהום אור גבוה בחופים הדרומיים של אילת יוצר עקה לשונית האלמוגים.

השפעות תאורת לילה מלאכותית על שונית האלמוגים במפרץ אילת גדולות במיוחד עקב קרבת השונית לקו החוף ולמוקדי תאורה יבשתיים (ראו חלונות). זאת ועוד, השונית נמצאת במים רדודים וצלולים, והאור חודר אליהם בקלות. תוצאות המחקרים העדכניים שנעשו באילת על השפעת זיהום האור^{50,51,52,53,54}, יחד עם נתוני התאורה במפרץ אילת, מצביעים על תאורת לילה מלאכותית כאיום משמעותי על מצב השונית באילת בשנים הבאות.

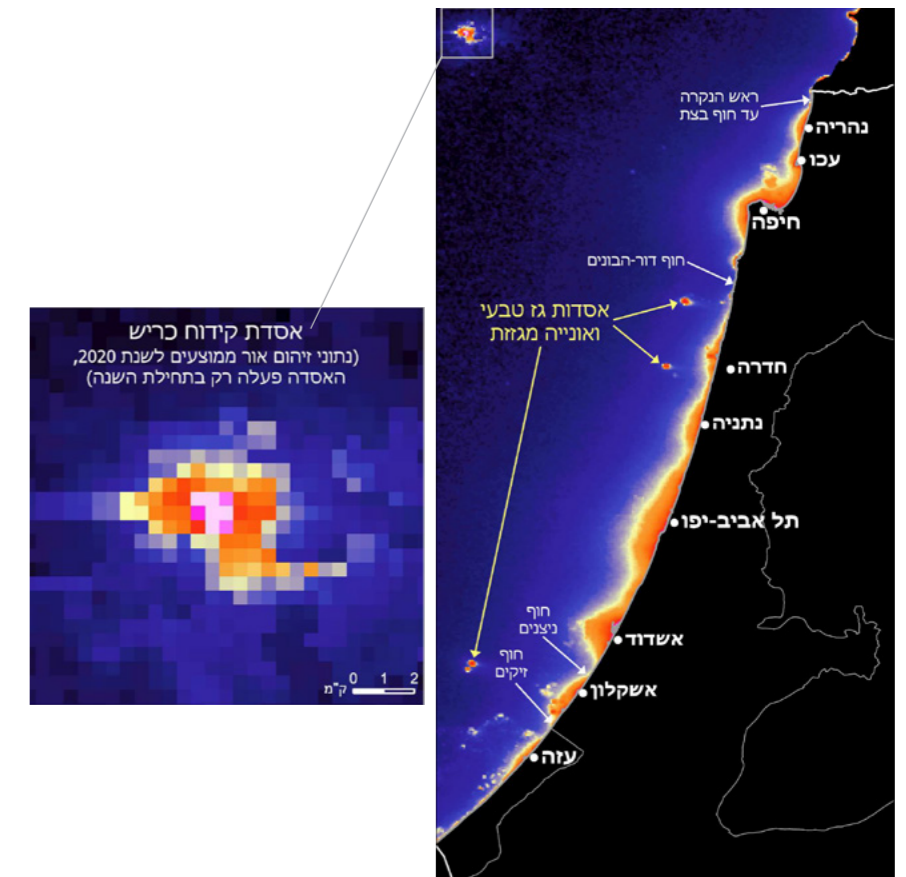
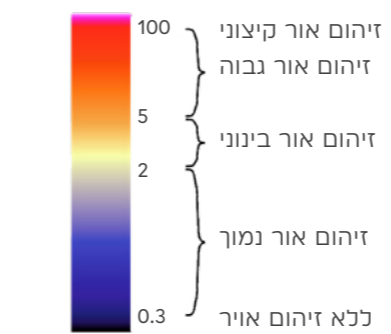


מראה אסדת לווייתן מחוף נחשולים. צילום: ענבל בן-יעקב.

נוסף על כך, מתקיימים לעיתים קידוחי גז בתחומי האזור הכלכלי הבלעדי (EEZ) של ישראל, והם יוצרים הפרעות עיתיות ומקומיות של תאורת לילה מלאכותית למשך מספר שבועות עד חודשים בשלבי ההקמה של כל קידוח. מתקני קידוח זמניים אלה, הפועלים עשרות ק"מ מחופי ישראל, מייצרים למשך תקופות קצובות עוצמות אור גבוהות במיוחד (עד ערכים של מעל $1,000 \text{ nW/cm}^2 \cdot \text{sr}$) - פי שלושה מעוצמת התאורה השנתית הממוצעת הגבוהה ביותר שנמדדה בשטח היבשתי בישראל בשנת 2020 בחיפוש ה-VIIRS), שמקורן בתאורת העבודה על מתקן הקידוח ובלהבה ששורפת את הגז שמשחרר במבחי ההפקה.

השפעות תאורת המתקנים הימיים החדשים על המערכות הימיות בישראל טרם נבדקו. מחקר חדש, במימון משרד האנרגיה, נערך במעבדתו של ניר ספיר מאוניברסיטת חיפה ובדק את השפעת אסדת לווייתן על נתיבי נדידה של עופות. בעת כתיבת דו"ח זה (סוף 2021) המחקר נמצא בתחילתו.

רמת זיהום אור $\text{nW/cm}^2 \cdot \text{sr}$



מפה 7:

גורמי תאורת לילה מלאכותית ועוצמותיה בחופים ובמרחב הים התיכון בישראל

לציטוט הפרק:

בן משה, נ., ליבנה, ע., סכינגרה, ש. ורנן, א. זיהום אור בתוך: בן משה, נ., רנן, א. (עורכים). דו"ח מצב הטבע 2022, המארג – התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע. מוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט, אוניברסיטת תל אביב.

מקורות

ניתוח הנתונים בפרק זה מבוסס על האתר:

Radiance Light Trends
https://lighttrends.lightpollutionmap.info

1. Falchi F, Cinzano P, Duriscoe D, Kyba CC, Elvidge CD, Baugh K, Portnov BA, Rybnikova NA, Furgoni R (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. Science Advances 2(6): e160037.

2. Hayhow DB, Eaton MA, Stanbury AJ, Burns F, Kirby WB, Bailey N, Beckmann B, Bedford J, Boersch-Supan PH, Coomber F, Dennis EB, Dolman SJ, Dunn E, Hall J, Harrower C, Hatfield JH, Hawley J, Haysom K, Hughes J, Johns DG, Mathews F, McQuatters-Gollop A, Noble DG, Outhwaite CL, Pearce-Higgins JW, Pescott OL, Powney GD and Symes N (2019). The State of Nature (UK) 2019. The State of Nature partnership. Nottingham, UK: The National Biodiversity Network.

3. UN Environment Programme (2020). Global light pollution is affecting ecosystems–what can we do? www.unep.org/news-and-stories/story/global-light-pollution-affecting-ecosystems-what-can-we-do

4. Secretariat of the Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (2008). CMS Capacity Building Strategy. https://www.cms.int/sites/default/files/document/Doc_30_Rev3_CapacityBuildingStrategy_E_o.pdf

5. Brevers D, Noël X, Bechara A, Vanavermaete N, Verbanck P, Kornreich C (2015). Effect of casino-related sound, red light and pairs on decision-making during the Iowa gambling task. Journal of Gambling Studies 31: 409-421.

6. לבין צ, אבישר א, ברנד-קליבנסקי ש, ברנע ע, גוזני ג, גולדין א, גלוסשניידר א, טרכטנברוט א, כהן י, לוין נ, לידר נ, ניסנבאום א, סביצקי ב, סטמבלר נ, פונציק ט, צמח שמיר ש, קרונופלד-שור נ, רוטשילד א, רינות א, ברוקוביץ ע (2017). זיהום אור וצמצומו. רקע מדעי, תמונת מצב ודרכי פעולה אפשריות. סיכום ותובנות של ועדת מומחים. האגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה.

7. Longcore T, Rich C (2004). Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2: 191-198.

8. Hölker F, Wolter C, Perkin EK, Tockner K (2010). Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology and Evolution* 25: 681-682.

9. Gaston KJ, Davies TW, Nedelec SL, Holt LA (2017). Impacts of artificial light at night on biological timings. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 48: 49-68.

10. Chepesiuk R (2009). Missing the dark: Health effects of light pollution. *Environmental Health Perspectives* 117(1): A20-A27.

11. Wise S (2007). Studying the ecological impacts of light pollution on wildlife: amphibians as models. In: Cipriano M, Jafar J (Eds). *Starlight: A Common Heritage*. pp 209-218.

12. McLay LK, Green MP, Jones TM (2017). Chronic exposure to dim artificial light at night decreases fecundity and adult survival in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Insect Physiology* 100: 15-20.

13. Harmer SL (2009). The circadian system in higher plants. *Annual Review of Plant Biology* 60: 357-377.

14. Škvareninová J, Tuhárska M, Škvarenina J, Babálová D, Slobodníková L, Slobodník B, Středová H, Mindaš J (2017). Effects of light pollution on tree phenology in the urban environment. *Moravian Geographical Reports* 25: 282-290.

15. Firebaugh A, Haynes KJ (2019). Light pollution may create demographic traps for nocturnal insects. *Basic and Applied Ecology* 34: 118-125.

16. Owens AC, Cochard P, Durrant J, Farnworth B, Perkin EK, Seymoure B (2020). Light pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation* 241.

17. Polak T, Korine C, Yair S, Holderied MW (2011). Differential effects of artificial lighting on flight and foraging behaviour of two sympatric bat species in a desert. *Journal of Zoology* 285: 7-21.

18. Bliss-Ketchum LL, de Rivera CE, Turner BC, Weisbaum DM (2016). The effect of artificial light on wildlife use of a passage structure. *Biological Conservation* 199: 8-25.

19. Adams CA, Blumenthal A, Fernández-Juricic E, Bayne E, St Clair CC (2019). Effect of anthropogenic light on bird movement, habitat selection, and distribution: a systematic map protocol. *Environmental Evidence* 8: 1-16.

20. Longcore T, Rich C, Mineau P, MacDonald B, Bert DG, Sullivan LM, Mutrie E, Gauthreaux Jr SA, Avery ML, Crawford RL, Manville II AM (2013). Avian mortality at communication towers in the United States and Canada: which species, how many, and where? *Biological Conservation* 158: 410-419.

21. Mazor T, Levin N, Possingham HP, Levy Y, Rocchini D, Richardson AJ, Kark S (2013). Can satellite-based night lights be used for conservation? The case of nesting sea turtles in the Mediterranean. *Biological Conservation* 159: 63-72.

22. Silva E, Marco A, da Graça J, Pérez H, Abella E, Patino-Martinez J, Martins S, Almeida C (2017). Light pollution affects nesting behavior of loggerhead turtles and predation risk of nests and hatchlings. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 173: 240-249.

23. Levy K, Wegrzyn Y, Efronny R, Barnea A, Ayali A (2021). Lifelong exposure to artificial light at night impacts stridulation and locomotion activity patterns in the cricket *Gryllus bimaculatus*. *Proceedings of the Royal Society B* 288: 20211626.

24. Lewis SM, Wong CH, Owens A, Fallon C, Jepsen S, Thancharoen A, Wu C, De Cock R, Novák M, López-Palafox T, Khoo V (2020). A global perspective on firefly extinction threats. *BioScience* 70: 157-167.

25. פישמן א, לייב א, פרידמן ל, ברונשטיין ע, דורצ'ין נ (2021). מיהן הגחליליות של ישראל, היכן הן נמצאות והאם הן מושפעות מזיהום אור? הכנס ה-58 של הנעמותה לזואולוגיה בישראל; 13 במרץ 2021; מוזיאון הטבע על שם שטיינהרדט, אוניברסיטת תל-אביב.

26. Dutta H (2018). Insights into the impacts of three current environmental problems on amphibians. *European Journal of Ecology* 4: 15-27.

27. Raap T, Pinxten R, Eens M (2015). Light pollution disrupts sleep in free-living animals. *Scientific Reports* 5: 13557.

28. Raap T, Sun J, Pinxten R, Eens M (2017). Disruptive effects of light pollution on sleep in free-living birds: Season and/or light intensity-dependent? *Behavioural Processes* 144: 13-19.

29. Yorzinski JL, Chisholm S, Byerley SD, Coy JR, Aziz A, Wolf JA, Gnerlich AC (2015). Artificial light pollution increases nocturnal vigilance in peahens. *PeerJ* 3: e1174.

30. Miller MW (2006). Apparent effects of light pollution on singing behavior of American robins. *The Condor* 108: 130-139.

31. Vandersteen J, Kark S, Sorrell K, Levin N (2020). Quantifying the impact of light pollution on sea turtle nesting using ground-based imagery. *Remote Sensing* 12: 1785.

32. Longcore T, Rodriguez A, Witherington B, Penniman JF, Herf L, Herf M (2018). Rapid assessment of lamp spectrum to quantify ecological effects of light at night. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology* 329: 511-521.

33. Levin N, Johansen K, Hacker JM, Phinn S (2014). A new source for high spatial resolution night time images - The EROS-B commercial satellite. *Remote Sensing of Environment* 149: 1-12.

34. Guk E, Levin N (2020). Analyzing spatial variability in night-time lights using a high spatial resolution color Jilin-1 image - Jerusalem as a case study. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 163: 121-136.

35. Hänel A, Posch T, Ribas SJ, Aubé M, Duriscoe D, Jechow A, Kollath Z, Lolkema DE, Moore C, Schmidt N, Spoelstra H (2018). Measuring night sky brightness: methods and challenges. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 205: 278-290.

36. Román MO, Wang Z, Sun Q, Kalb V, Miller SD, Molthan A, Schultz L, Bell J, Stokes EC, Pandey B, Seto KC (2018). NASA's Black Marble nighttime lights product suite. *Remote Sensing of Environment* 210: 113-143.

37. Nurbandi W, Yusuf FR, Prasetya R, Afrizal MD. (2016). Using visible infrared imaging radiometer suite (VIIRS) imagery to identify and analyze light pollution. *InIOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 47: 012040.

38. Levin N, Kyba CC, Zhang Q, de Miguel AS, Román MO, Li X, Portnov BA, Molthan AL, Jechow A, Miller SD, Wang Z (2020). Remote sensing of night lights: A review and an outlook for the future. *Remote Sensing of Environment* 237: 111443.

39. Kronfeld-Schor N, Dominoni D, De la Iglesia H, Levy O, Herzog ED, Dayan T, Helfrich-Forster C (2013). Chronobiology by moonlight. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280: 20123088.

40. Kamrowski RL, Limpus C, Moloney J, Hamann M (2012). Coastal light pollution and marine turtles: assessing the magnitude of the problem. *Endangered Species Research* 19: 85-98.

41. Kyba CC, Kuester T, Sánchez de Miguel A, Baugh K, Jechow A, Hölker F, Bennie J, Elvidge CD, Gaston KJ, Guanter L (2017). Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances* 3: 1701528.

42. Bedi TK, Puntambekar K, Singh S (2021). Light pollution in India: appraisal of artificial night sky brightness of cities. *Environment, Development and Sustainability* 23: 18582-18597.

43. Leader N, Rotem G (2017). Ramon Crater International Starlight Reserve: International Dark Sky Park Designation Nomination Package. Israel Nature and Parks Authority.

44. וייל ג, לידר נ (2010). ניתוח מרחבי של זיהום אור באמצעות חישה מרחוק. רשות הטבע והגנים. מצגת.

45. Vos CC, Baveco H, Grashof-Bokdam CJ (2002). Corridors and species dispersal. In: Gutzwiller JK (Eds). *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation*. New York: Springer. pp: 84-104.

46. Lorne JK, Salmon M (2007). Effects of exposure to artificial lighting on orientation of hatchling sea turtles on the beach and in the ocean. *Endangered Species Research* 3: 23-30.

47. Leader N, Levy Y. (2021) Artificial light at night on nesting beaches of the green sea turtle, *Chelonia mydas* in the eastern Mediterranean and its possible effect on turtle populations. Report to the IUCN red list Mediterranean sea turtle specialist group.

48. Ludvigsen M, Berge J, Geoffroy M, Cohen JH, De La Torre PR, Nornes SM, Singh H, Sørensen AJ, Daase M, Johnsen G (2018). Use of an autonomous surface vehicle reveals small-scale diel vertical migrations of zooplankton and susceptibility to light pollution under low solar irradiance. *Science Advances* 4: 9887.

49. Depledge MH, Godard-Codding CAJ, Bowen RE (2010). Light pollution in the sea. *Marine Pollution Bulletin* 60: 1383-1385.

50. Levy O, Dubinsky Z, Achituv Y (2003). Photobehavior of stony corals: responses to light spectra and intensity. *Journal of Experimental Biology* 206: 4041-4049.

51. Gorbunov MY, Falkowski PG (2002). Photoreceptors in the cnidarian hosts allow symbiotic corals to sense blue moonlight. *Limnology and Oceanography* 47: 309-315.

52. Rosenberg Y, Doniger T, Levy O (2019). Sustainability of coral reefs are affected by ecological light pollution in the Gulf of Aqaba/Eilat. *Communications Biology* 2: 289.

53. Ayalon I, Rosenberg Y, Benichou JI, Campos CL, Sayco SL, Nada MA, Baquiran JI, Ligson CA, Avisar D, Conaco C, Kuechly HU (2021). Coral gametogenesis collapse under artificial light pollution. *Current Biology* 31: 413-419.

54. Ayalon I, de Barros Marangoni LF, Benichou JI, Avisar D, Levy O (2019). Red Sea corals under Artificial Light Pollution at Night (ALAN) undergo oxidative stress and photosynthetic impairment. *Global Change Biology* 25: 4194-4207.

55. Ronconi RA, Allard KA, Taylor PD (2015). Bird interactions with offshore oil and gas platforms: review of impacts and monitoring techniques. *Journal of Environmental Management* 147: 34-45.

.56

Biddiscombe SJ, Smith EA, Hawkes LA (2022). A global analysis of anthropogenic development of marine turtle nesting beaches. *Remote Sensing* 12: 1492.

.57

Smyth TJ, Wright AE, Mckee D, Tidau S, Tamir R, Dubinsky Z, Iluz D, Davies TW (2021). A global atlas of artificial light at night under the sea. *Elementa: Science of Anthropocene* 9: 00049.

.58

Tamir R, Lerner A, Haspel C, Dubinsky Z, Iluz D (2017). The spectral and spatial distribution of light pollution in the waters of the northern Gulf of Aqaba (Eilat). *Scientific Reports* 7: 1-10.