

האיומים על המגוון הביולוגי בישראל בעידן של שינוי אקלים – קריאה להקמת מרכז לאומי לחקר שינוי האקלים בישראל

סקירות

גיליון קיץ 2014 / כרך 5(2)

3 באוגוסט, 2014

עפרי גבאי

המחלקה לביולוגיה מולקולרית ואקולוגיה של צמחים, אוניברסיטת תל-אביב

מרסלו שטרנברג

המחלקה לביולוגיה מולקולרית ואקולוגיה של צמחים, אוניברסיטת תל-אביב

דרור אנג'ל

בית הספר למדעי הים על שם לאון צ'רני, אוניברסיטת חיפה

אורית ברנע

בית הספר למדעי הים, המרכז האקדמי רופין

מנחם גורן

המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל-אביב

אביטל גזית

המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל-אביב

שריג גפני

בית הספר למדעי הים, המרכז האקדמי רופין

ז'וזפה גרינצוויג

המכון למדעי הצמח וגנטיקה בחקלאות, הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים

ירון הרשקוביץ

המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל-אביב, Aquatic Ecology Department, University of Duisburg-Essen, Germany

תמר זהרי

המעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל

יורם יום-טוב

המחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת

על קצה המזלג

- הצפי לשינוי האקלים העולמי גורר צפי להשפעות רבות על המערכות האקולוגיות הטבעיות ועל המגוון הביולוגי שלהן.
- לנוכח שינוי האקלים הצפוי וחוסר הוודאות הטמון בו, יש צורך בנקיטת פעולות שיגדילו את החוסן של המגוון הביולוגי בישראל.
- החוקרים ערכו סקר בקרב מומחים ישראליים כדי לזהות את האיומים העיקריים על המגוון הביולוגי בישראל ואת הפעולות הנדרשות לצמצום איומים אלה.
- המאמר מפרט בהרחבה את המלצות המומחים, רקע מדעי מקיף והמלצות מדיניות.

המערכת

תקציר

בעשורים הקרובים צפוי שינוי אקלים הכולל עלייה בטמפרטורות, עלייה בשכיחותם של אירועי מזג אוויר קיצוניים, שנות בצורת, שיטפונות ואירועי שרב. שינויים אלה במשתני האקלים צפויים להשפיע על המערכות הטבעיות, על תפקודן ועל המגוון הביולוגי שבהן. מאמר זה מתאר את ההשפעות האפשריות של שינוי האקלים על המגוון הביולוגי בישראל והמלצות ראשוניות להיערכות לקראתן, על בסיס סקרי מומחים ופעילות של צוותי מומחים. 103 מומחים השתתפו באופן ישיר ועקיף בעבודה זאת. על פי הערכות סקר המומחים, ההשפעות העיקריות של שינוי האקלים בישראל הן התדרדרות נוספת במצבם של בתי הגידול של מים מתוקים, התייבשות של שיחים ועצים ועלייה בתדירות ובעוצמה של השקפות ביערות ובחורשים. כמו כן, צפויים שינויים בתחומי התפוצה של מינים שונים. בים התיכון צפויים המשך ההתפשטות וההתבססות של מינים פולשים מים סוף, בליה מואצת של סלעי החוף וקריסה של טבלאות הגידול הייחודיות לחופי הארץ. במפרץ אילת הראו האלמוגים עמידות לעלייה בטמפרטורת הים.

בשלב זה ההשלכות של שינוי האקלים על המגוון הביולוגי בישראל אינן ברורות במלואן, וגם הידע לגבי התרומה של פעולות ממשק לצמצום השפעות שינוי האקלים לוקה בחסר. לפיכך, ראוי לנקוט פעולות היערכות בעלות השפעה חיובית על המגוון הביולוגי בכל תרחיש של שינוי אקלים. המכלול השלם של המערכת האקולוגית עמיד לשינויים ממקור אנושי יותר מאשר חלקיו השונים, ולכן יכולתה של המערכת השלמה להתמודד עם שינוי האקלים גבוהה יותר. בהתאם לכך, הכלי החשוב ביותר לשמירה על המגוון הביולוגי לנוכח שינוי האקלים הוא שמירה על שלמות המערכת האקולוגית ככל שניתן, תוך ניהול מדיניות המיועדת להפחית את גורמי הפגיעה שאינם קשורים לשינוי האקלים. מדיניות סביבתית מושכלת והגדלת המאמץ בשמירת הטבע בישראל, הכרחיות כדי לשמור על המגוון הביולוגי מול לחצי הפיתוח. הצורך במדיניות זו גובר מאוד לנוכח הלחץ הנוסף על המערכות הטבעיות בעידן של שינוי אקלים.

אנו מעוניינים להגיע למצב של חוסן מרבי של שטחים, כדי שיהיו מוגנים מפני השפעת שינוי אקלים בעתיד. מתוצאות סקר המומחים ניתן להסיק כי לשם כך צריכים האזורים המוגנים להתאפיין בעושר מינים גבוה או לכלול מארג של בתי גידול רבים ושונים. אם באתרים המוגנים יתקיים שיעור סף של אוכלוסייה אזורית או עולמית, יגדל עוד יותר חוסן

תל-אביב

אלוארו ישראל

המכון הלאומי לאוקיינוגרפיה, חקר ימים ואגמים לישראל

דנה מילשטיין

דנה מילשטיין, חטיבת המדע, רשות הטבע והגנים

גיל רילוב

המכון הלאומי לאוקיינוגרפיה, חקר ימים ואגמים לישראל

יוסף שטיינברג

הפקולטה למדעי החיים ע"ש מינה ואבררד גודמן, אוניברסיטת בר-אילן

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

גבאי ע, שטרנברג מ, אנג'ל ד ואחרים. 2014. האיומים על המגוון הביולוגי בישראל בעידן של שינוי אקלים – קריאה להקמת מרכז לאומי לחקר שינוי האקלים בישראל. *אקולוגיה וסביבה* 5(2): 161–171.

המערכת הטבעית לשינוי אקלים עתיד. מארג אזורי רחב של תחומים מוגנים יהיה כלי שימור משמעותי ביותר בתנאי אקלים דינמיים. לסיכום, מודגשת כאן הקריאה להקמת מרכז לאומי לחקר שינוי האקלים בישראל, שיכלול תשתיות מחקר כדי לצמצם את פערי הידע שזוהו במחקר הנוכחי.



ררות מצויות, ציפורים ממין פולש, מסלקות נקר סורי מקינו / צילום: שרגא אלון

מבוא

אנו חיים בעידן שמתרחש בו שינוי אקלים בכל רחבי העולם, לרבות באגן הים התיכון ובישראל. אחת ההמלצות של צוות

המדענים הבין-משלתי המיינץ לאו"ם בנושא שינוי האקלים (IPCC) היא לגבש מדיניות ולנקוט את הצעדים המתחייבים להיערכות לשינוי האקלים באופן שיצמצם את הנזקים מההליך. ההיערכות מתבצעת בשני אופנים: צמצום פליטות גזי החממה (mitigation) והסתגלות של מערכות אנושיות וטבעיות לצורך מיתון הפגיעה בהן ^[24] (adaptation). רוב המדינות המפותחות הכינו תכנית פעולה לקראת שינוי האקלים, הכוללת אסטרטגיות היערכות במגוון של תחומים, שנכללים בהם גם המגוון הביולוגי ותפקוד המערכות האקולוגיות. בתחום זה, "הסתגלות" פירושה הגדלת היכולת של מערכות טבעיות להגיב לשינויים תוך שמירה על המגוון הביולוגי שבהן.

המושג **מגוון ביולוגי** מתייחס למספר רמות ארגון היררכיות: מגוון גנטי (מגוון תוך-מיני המתבטא בהבדלים גנטיים בין אוכלוסיות ובין פרטים של אותו המין), מגוון של מינים ומגוון של מערכות אקולוגיות. המגוון תלוי לא רק במספר הרכיבים במערכת האקולוגית (גנים, מינים או יחידות נוף), אלא גם ביחסים הכמותיים בין הרכיבים ובהבדלים ביניהם במבנה ובתפקוד ^[22]. כאן אנו מתייחסים למגוון ביולוגי כאל מדד הקשור למספר, למבנה ולתפקוד של מינים, אוכלוסיות, ומערכות אקולוגיות.

כדי לדון בצעדים שניתן לנקוט כהיערכות לשינוי האקלים, יש צורך להעריך תחילה את ההשפעות הצפויות. אף על פי שבעשור האחרון הולך וגדל מספר המחקרים העוסקים בנושא, בישראל נעשו מעט מחקרים בתחום. כמו כן, המודלים האקלימיים העוסקים בהשפעות שינוי האקלים על אגן הים התיכון, כמעט שלא מתייחסים לאזורנו. לאור מיעוט הידע המבוסס מחקרית בנושא השפעות שינוי האקלים על המערכות הטבעיות בישראל, יש קושי להצביע על ההשפעות הצפויות, לא כל שכן לתכנן פעולות היערכות.

במחקר זה שנערך ב-2012, נעשה שימוש בסקרי מומחים ובעבודה של צוותי מומחים לשם גיבוש הערכות לגבי השפעות שינוי האקלים על המגוון הביולוגי בישראל, ותכנון היערכות לקראתו. המחקר נערך במסגרת הפעילות של מרכז הידע להיערכות לשינוי אקלים בישראל, שהקים המשרד להגנת הסביבה כמרכיב בהכנת תכנית לאומית להיערכות ישראל לשינוי האקלים.

תרחישי האקלים שהמחקר מתייחס אליהם הועלו על-ידי ועדת ההיגוי לנושא האקלים במרכז הידע. למרות הבדלים בתחזיות של מודלים אקלימיים שונים, יש הסכמה לגבי המשך מגמת ההתחממות בעשורים הקרובים בשיעור ממוצע שבין 0.4 ל-0.8 מעלות צלזיוס לעשור, שתלוי באזור ובעונה. באופן כללי ניתן לומר שכמויות המשקעים צפויות לרדת ברוב האזורים, אם כי מגמה זו בלתי מובהקת ברובה. נוסף על כך, צפויה עלייה בשכיחותם של אירועי מזג אוויר קיצוניים, שנות בצורת חריפות, שיטפונות ואירועי שרב ^[12], כמו גם עלייה מתמדת במפלס פני הים והתחממותו.

שיטות

אחת השיטות להתמודדות עם בעיות מורכבות היא באמצעות סינתזה של דעות מומחים. במחקר זה נעשה שימוש בגרסה של שיטת דלפי, המתאימה לנושאים שיש בהם מחסור במידע אמפירי, שחוסר הוודאות בהם גדול, וכאשר המקור העיקרי של המידע הוא הנחות מושכלות ^[8]. השיטה מתבססת על שילוב של פעולת צוותי מומחים וסקרי מומחים. צוותי המומחים ניסחו שאלונים בנושא הערכת ההשפעות של שינוי האקלים על המגוון הביולוגי ולגבי פעולות היערכות להסתגלות של המגוון לשינוי אקלים. השאלונים הופצו למספר רב של מומחים מתחום האקולוגיה והביולוגיה מגופים שונים (האקדמיה, רשות הטבע והגנים, קק"ל, החברה להגנת הטבע, חקר ימים ואגמים לישראל ואחרים). בסקר התבקשו המומחים להעריך כמותית את עוצמת ההשפעות הצפויות של שינוי האקלים על המגוון הביולוגי ואת מידת יעילות הדרכים האפשריות להתמודדות עמן (בסולם של 1 עד 5), וכן להביע את דעתם באופן מילולי. לאחר מילוי הסקר על-ידי המומחים נפגשו הצוותים לפגישה שנייה. בפגישה זו סוכמו תוצאות השאלונים ונוסחו ההסכמות שעלו מהם. בשל ההבדלים המובנים בין המערכות האקולוגיות השונות, הוקמו לצוותי המומחים שלושה צוותי משנה: האחד למערכות יבשתיות (כולל מערכות יער נטוע), השני למערכות מים מתוקים ביבשה (כולל נחלים, מקווי מים עונתיים, מעיינות והכנירות), והשלישי למערכות ימיות (ים סוף והים התיכון). נוסחי הסקרים השתנו בהתאם לכל מערכת, וכל צוות ניסח בנפרד את הערכותיו ומסקנותיו.

להלן יוצגו הדעות העיקריות שעלו מהסקרים ומעבודות הצוותים.

תוצאות ודיון

45 מומחים מילאו את הסקר בשלמותו. 58 מומחים טענו שלא יוכלו לענות על הסקר, מכיוון שלא ידוע מספיק על הנושא ולפיכך יש קושי לתת תחזיות לגבי השפעות אפשריות, לא כל שכן לגבי דרכי פעולה. 14 מתוך 58 המומחים האלה לא מילאו את טופסי הסקר, אולם נתנו את הערכותיהם בכתב או בעל פה. המספר הגדול של מומחים שלא ענו על השאלון, מצביע על פערי ידע משמעותיים שיש הכרח להתמודד איתם בעתיד. ההערכות המוצגות כאן מייצגות את ההסכמות שעלו בסקרים (סך הכול 59 מומחים) ובעבודות הצוותים.

שינוי האקלים כרוך בתמורות במספר רכיבים (טמפרטורות, כמות משקעים ופיזורם, רוחות) ^[5]. כל אחד מהגורמים עשוי

להשפיע בצורה שונה על המגוון הביולוגי בכל אחת מהמערכות האקולוגיות. מרבית המומחים הצביעו על טמפרטורה ועל הפחתה בכמות המשקעים כגורמים שניתן לייחס להם השפעה מרכזית על המגוון הביולוגי (איור 1). גם שינויים במשטר הגשמים נחשבו משמעותיים, בעיקר במערכות יבשתיות ובמערכות של מים מתוקים.



כל אחד מן המומחים ציין את ההשפעות העיקריות של שינוי האקלים במערכות שהוא מתמצא בהן. להלן מתוארות ההשפעות העיקריות על המערכות הטבעיות ועל המגוון הביולוגי שבהן.

השפעות שינוי האקלים על המגוון הביולוגי במערכות יבשתיות

אחת ההשלכות המשמעותיות של הפחתה בכמות המשקעים היא התייבשות ותמותה של שיחים ועצים. בעשור האחרון, שהתאפיין בתדירות גבוהה של שנות בצורת, נראתה תופעה זו באתרים רבים בישראל, מדרום הערבה ועד הגליל^[7]. אמנם מקובל להניח שהחי והצומח באזורנו מותאמים לתנאים של חוסר ודאות אקלימית, אולם באזור המדברי הצחיח, שהתנאים הפיזיים בו לצומח ולחי קיצוניים וקשים, הפחתה נוספת בכמות המשקעים ובסדירותם עלולה להביא להתייבשות של עצים ושיחים^[26]. ככל הנראה, באזור הים תיכוני התייבשות האלונים היא תופעה מחזורית, המתרחשת בעקבות רצף של שנים שחונות. במשטר האקלים הנוכחי התייבשות אינה איום ממש, ואינה גורמת פגיעה מתמשכת באוכלוסיית האלונים. עם זאת, עלייה בתדירות ההופעה של רצף שנים שחונות בעקבות שינוי האקלים עלולה לגרום להתגברות תופעה זו ולסכן באופן משמעותי את אוכלוסיית האלונים בפרט ואת החורש הים תיכוני בכלל^[3]. התייבשות צמחים מעוצים עשויה להשפיע על תפקוד המערכת האקולוגית כולה מבחינת משטר המים, סחיפת קרקע, ייצור ראשוני ומחזור היסודות^[11].

תוצאה חשובה נוספת של שינוי האקלים היא עלייה בסיכון לשכפות באזורים ים תיכוניים כתוצאה מעלייה במספר התקופות היבשות ובאורךן^[32]. שכפות יכולות אמנם להגדיל את מגוון מיני הצמחים העשבוניים^[15], אולם שכפות חוזרות ונשנות עשויות לשנות בצורה דרמטית את מבנה חברת הצומח ואת המערכת האקולוגית. לפיכך, שילוב ההשפעות של שינוי אקלים ושכפות עלול להביא לשינוי ניכר של המגוון הביולוגי ללא יכולת התאוששות במשך מספר עשורים^[13].

שינוי אקלים, ובעיקר עלייה בטמפרטורות, עשוי להשפיע על תזמון מחזורי החיים (phenology) של אורגניזמים שונים. בישראל נצפו שינויים במחזורי החיים בעיקר בהקשר של נדידת עופות^[44]. אף על פי ששינויים אלה היו במתאם לעלייה בטמפרטורה, ייתכן כי שינוי האקלים אינו הגורם היחיד לתופעה זו, ושיש לה סיבות נוספות, כגון שינוי בשימושי קרקע שמשפיע על זמינות המזון. קשה להעריך את החלק היחסי של כל גורם בהשפעה על השינוי בתזמון הנדידה.

מינים מסוימים יוכלו, כנראה, להסתגל לתנאי הסביבה החדשים ולהמשיך להתקיים באותם אזורים גאוגרפיים שהם מתקיימים בהם כיום. מינים שלא יוכלו להסתגל עשויים להגר אל אזורים שיהיו בהם תנאים דומים לאלה הקיימים בהם כיום. בו-בזמן, ייתכן כניסה של מינים חדשים לאזורים שלא יכלו להתקיים בהם קודם. כתוצאה מכך, ייתכנו הסטה של תחומי תפוצה של בעלי חיים לכיוון צפון וצפון-מערב ("northward movement"), ו"הזזה" גבולות אזורי המעבר בין אזור המדבר לאזור הים תיכוני, תוך שינויים בהרכבים של חברות הצומח ובעלי החיים ובמבנה ובתפקוד של המערכות האקולוגיות במקומות רבים בארץ [41]. שינוי תחום התפוצה תלוי במידה רבה ברציפות השטחים הפתוחים שהמינים יכולים לעבור דרכם, וגורמים שונים (שטחים בנויים, תשתיות תחבורה ותקשורת ומערכות חקלאיות) עלולים לחסום את מעבר המינים צפונה או לרום גבוה יותר. לפיכך, ייתכן שמינים רבים לא יוכלו להסיט את טווח התפוצה שלהם, ואם לא יסתגלו לתנאי הסביבה החדשים הם ייעלמו. מכיוון שהשפעות שינוי האקלים הן ספציפיות למין או לקבוצות של מינים, ומשתנות באופן קיצוני בהתאם לאורגניזמים הנחקרים ולאזורי המחקר, קשה לחזות את השפעת שינוי האקלים על הרכבים של חברות בעלי חיים וצמחים [28].

האזורים שזוהו כרגישים ביותר לשינוי האקלים הם אזורי המעבר בין האקלים הצחיח למחצה לאקלים הים תיכוני (דרום שפלת יהודה-צפון הנגב), מכיוון שהם עשירים במינים ומהווים את קצה גבול התפוצה של מינים רבים, שעשויים להיעלם בעקבות שינוי בתנאי האקלים [36].

ההשלכות של השפעות שינוי האקלים על המגוון הביולוגי במערכות מים מתוקים

הגידול של מים מתוקים בישראל נפגעו לאורך השנים מזיהום, מניצול המים לחקלאות ולצרכים אחרים ומלחצי פיתוח [30]. בשל כך, קיים קושי להפריד בין ההשפעה השלילית של גורמי ההפרעה הללו לבין ההשפעות הצפויות של שינוי האקלים. ככלל, נראה כי בבתי גידול אלה, השפעות שינוי האקלים יהיו קטנות ביחס להשפעות האדם. אולם הפחתת זמינות המים בעקבות שינוי האקלים עלולה להגדיל את התחרות על מקורות המים לצורכי האדם על חשבון הקצאת המים לטבע, ובכך להביא לפגיעה נוספת בבתי הגידול של מים מתוקים [35]. נוסף על כך, שינוי משטר הגשמים יחד עם עלייה בטמפרטורות והגברת האידוי יגרמו המלחה של המים ועלייה בריכוזי החומרים המזינים (nutrients) בהם (כמו חנקן וזרחן), ויכולים לגרום איטרופיקציה והרעה באיכות המים, למשל דרך שינוי בריכוז החמצן המומס. שינויים אלה ישפיעו על הרכב החברות בכל בתי הגידול של מים מתוקים, ובמיוחד במקווי מים רדודים ללא זרימה (כמו ברכות חורף וביצות). מינים בעלי ספציפיות גבוהה לבית גידול (למשל מינים "חובבי זרימה" התלויים בזרימת המים לשם קיומם) או בעלי רגישות גבוהה למליחות, לטמפרטורות גבוהות או לריכוזי חמצן נמוכים, עשויים להיעלם מהחברה. את מקומם יתפסו מינים עמידים יותר, מקומיים או פולשים. היווצרות תנאים נוחים למינים בעלי כושר תחרות גבוה עשויה להמשיך את הפגיעה במגוון המקומי [10].

בכינרת, תנאים מטאורולוגיים קיצוניים יותר, של בצורות ממושכות ושיטפונות חזקים, יגדילו את טווח תנודות המפלס, שכבר כיום הוא פי ארבעה מהטווח הטבעי לאגם [47, 46]. הגדלת טווח תנודות המפלס פוגעת בראש ובראשונה באזור הקרוב לחוף (litoral), שם שינויי המפלס משפיעים על התכנסות הפיזית (שמשנתה מאבנית במפלסים גבוהים לחולית ולטינית במפלסים נמוכים). השינויים משפיעים גם על צמחיית החוף [20], ובכך משפיעים על מגוון בעלי החיים, הצמחים והמיקרואורגניזמים שנמצאים באזור הקרוב לחוף לפחות בחלק ממחזור חייהם. דוגמה לכך היא לבנון הכינרת (*Mirogrex terraesanctae*) – מין הדג הנפוץ ביותר בכינרת, המטיל את ביציו על אבנים במים רדודים, והצלחת רבייתו קשורה לפיכך ישירות לתנודות המפלס [17]. נוסף על כך, הגדלת טווח תנודות המפלס משפיעה גם על מחזור החומרים המזינים באגם: במפלס שמשנתה באופן קיצוני, מתחזק המחזור הפנימי ותורם לאיטרופיקציה מוגברת [17].

שינויים קיצוניים בתנאי הסביבה במערכת האקולוגית גורמים גם להיעלמות מינים טבעיים, להופעת מינים פולשים ולהשתלטות שלהם. לדוגמה, אצת הפרדיניום (*Peridinium gatunense*), שבעבר יצרה פריחה אביבית טיפוסית מדי שנה בכינרת, פורחת מאז אמצע שנות ה-90 רק בשנים גשומות במיוחד [45]. באותה תקופה פלשו לכינרת שני מינים של אצות כחוליות מקבעות חנקן מקבוצת ה-Nostocales, קבוצה שבעבר נציגיה היו נדירים ביותר בכינרת. שני המינים הפולשים מופיעים בכל קיץ, ובחלק מהשנים יוצרים פריחות קיציות נרחבות, שכמותן לא נצפו בעבר בכינרת. אחד משני המינים הפולשים מייצר רעלנים שפוגעים באיכות המים כמקור למי שתייה. ככלל, לאצות כחוליות יתרון בטמפרטורות גבוהות, וסביר שעם ההתחממות העולמית הן יתרבו. דוגמה נוספת היא של החילזון הפולש *Thiara (Pseudoplotia) scabra* – מין שמקורו במזרח אסיה ומגדלים אותו באקווריומים. מין זה הגיע לכינרת כנראה באמצע שנות ה-2000, כאשר החלזונות הטבעיים באגם היו בשפל (מסיבה שאינה ידועה אך אולי קשורה לשינוי המפלס הקיצוניים). במהלך 2010 השתלט מין זה על האגם כולו, וכיום הוא מהווה 95% מפאונת החלזונות, תוך דחיקת שלושת המינים הטבעיים. אחד מהם, מגדלית הנחלים (*Melanoides tuberculata*), שהייתה בעבר המין הדומיננטי בחופים חוליים, נעלמה כמעט לגמרי [2].

עם כל זאת, יש לציין שלהחלטות מנהליות לגבי שיעור השאיבות מהכינרת השפעה משמעותית לא פחות על תפקוד האגם כמערכת אקולוגית [39].

בתי גידול הרגישים במיוחד לתנודות מקומיות בכמות המים ובאיכותם הם מקווי מים עונתיים (למשל ברכות חורף), מעיינות ששפיעת מימיהם נמוכה וניזונים מאקוות רדודות, וכן אזורי ביצה. הפחתת כמויות המשקעים והעלייה באידוי יביאו לקיצור משך הזמן שיתקיימו בו ברכות עונתיות (hydroperiod) ואולי אף לא יאפשרו את קיומן^[43]. קיצור תקופת קיום המים במקווי מים עונתיים יגרום לקושי בהשלמת מחזור החיים של בעלי חיים מקבוצות שונות (כגון דו-חיים וסרטנים ירודים). עליית הטמפרטורות צפויה להביא להאצה במחזור החיים של מינים שונים, וכתוצאה מכך, הפרטים הבוגרים של אותם מינים יהיו קטנים יותר, ופגיעותם תגדל.



איקסק בברכת מים מתוקים / צילום: רון אלמוג

כתוצאה מהשינויים הצפויים במשטר הגשמים, חלק מנחלי האיתן יהפכו לנחלים עונתיים, ונחלי אכזב הזורמים כיום לאורך כל עונת הגשמים יזרמו רק בזמן שיטפונות. לפיכך, לא יוכלו להתקיים בהם אותם מחזורי חיים המתקיימים כיום. התייבשות של אתרי מפלט במעלה הנחלים, המשמשים להשלמת מחזור החיים של מינים שונים, תהיה קריטית במיוחד עבור מינים התלויים במים בכל מחזור החיים שלהם (רכיכות מסוימות, סרטנים, דגים)^[34]. עלייה בתדירות ובעוצמה של סופות גשם עזות ושל הצפות צפויה להגביר את הסחיפה בנחלי איתן ובנחלי אכזב. ניתן להעריך שעיקר הבעיה תהיה בנחלים שאפיקם מוסדר (מיושר או מבוסס). שיטפונות הם אמנם חלק מהמערכת הטבעית הים תיכונית, ובאופן טבעי המערכות עמידות להפרעה זו^[21], אולם במקרים שהנחלים איבדו את המורכבות המבנית הטבעית שלהם, המערכות מתקשות להתאושש מההפרעה. נוסף על כך, מכיוון שעלייה בעוצמת השיטפונות תגביר את תדירות ההצפות ואת סחיפת הקרקע, צפוי להתגבר הלחץ של רשויות הניקוז לביצוע "הסדרה" של הנחלים ותחזוקה אגרסיבית יותר של נחלים "מוסדרים", דבר שיביא לדרדור נוסף במצב הנחלים. מצד שני, הפחתה בכמות המים והפיכתם של נחלי איתן לנחלי אכזב, עשויה להביא להיווצרות תנאים שיתאימו להתפתחותם של זחלי יתושים, ועם תחול עלייה בלחץ מצד התושבים והרשויות לטיפול במפגעים.

היערכות להגנה על מערכות מים מתוקים מחייבת בראש ובראשונה הבטחה למקור מים קבוע, באיכות ובכמות שמתאימות לכל בית גידול. כמו כן, הגנה על אזורי מפלט במקומות שהם עדיין קיימים בהם, או יצירה של אזורים כאלה אם אינם זמינים כיום, יסייעו בשמירה על המגוון הביולוגי באזורים שצפויים להיפגע בעתיד משינוי האקלים.

השפעת שינוי האקלים על המגוון הביולוגי במערכות ימיות

שינוי האקלים בשילוב הפרעות ממקור אנושי הוא האיום החמור ביותר על מגוון המינים בים התיכון^[12]. במהלך 40 השנים האחרונות מתרחשת התחממות של מי הים התיכון, המקלה על כניסה של מינים זרים מים סוף דרך תעלת סואץ, ומסייעת להתפשטות מהירה ולהתבססות שלהם צפונה ומערבה^[33]. בעקבות ההתחממות יש להניח שלמרבית המינים הזרים התרמופיליים יתרון על פני המינים המקומיים. דומיננטיות של מינים רבים ממוצא טרופי בולטת במיוחד באזורים הדרום-מזרחיים של הים התיכון, ומינים ממוצא טרופי הם כעת חלק משמעותי מהביוטה שם. התבססות של מינים פולשים טרופיים עלולה לגרום לחברות הים התיכון לאבד את האופי הייחודי שלהן ולהיעשות דומות יותר לחברות טרופיות^[21]. התחממות נוספת

של האגן יכולה להיות קריטית עבור המינים ממוצא אטלנטי, שנכנסו לים התיכון בתקופות הקרח והתבססו באזורים הצפוניים והקרים של האגן. מכיוון שהם לא יכולים לנוע הלאה צפונה, האוכלוסיות שלהם עשויות להצטמצם באופן דרמטי או להיכחד מהאזור [38]. מניתוח ראשוני של סדרות זמן מנתוני לוויין וממדי טמפרטורה של חברת CAMERI מסתמן כי בחופי ישראל עלתה טמפרטורת פני הים בין 1.5 ל-2.5 מעלות בשלושת העשורים האחרונים (רילוב, נתונים לא מפורסמים). מדידות שנעשו בשלושים השנה האחרונות במי השטח מעבר למדף היבשת מול חופי חיפה, מצביעות על עלייה של יותר משלוש מעלות. ערכים אלה גבוהים מאוד באזור שמלכתחילה הטמפרטורות בו הן הקיצוניות ביותר בים התיכון, ולפיכך יכולה להיות לשינוי זה השפעה רבה על המגוון הביולוגי לאורך החוף הישראלי. ניסויים המתבצעים בימים אלה על הסבילות הפיזיולוגית של מספר מינים חופיים אכן מראים כי טמפרטורות הקיץ כיום הן מעבר לאופטימום הפעילות של מרבית המינים המקומיים שנבחנו (רילוב ואחרים, נתונים לא מפורסמים).

נוסף על כך, עליית רמות הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה מביאה לעלייה בחומציות מי הים, שעלולה לפגוע במיני פטופלנקטון משקיעי גיר כדוגמת קוקוליתופורים, שהם גורמי מפתח ביצרנות הראשונית בים התיכון [12]. נוסף על כך, היא עשויה לפגוע בתהליך הפוטוסינתזה התקין של אצות ועשבי ים, ובכך לגרום עקה נוספת במערכת הביולוגית באזור הקרית, שמושפע מהגאות ומהשפל [25]. בחופי ישראל, שהמצע הסלעי העיקרי שלהם הוא כורכר, שמורכב מגיר, עלולה החמצת האוקיינוסים לגרום בליה מואצת של סלעי החוף. נוסף על כך, להחמצה יכולה להיות השפעה גם על מגוון בעלי חיים המשקיעים שלד גירני (חלזונות, צדפות, אלמוגים וכדומה), ובכלל זה על החלזונות קבועי המקום מהמין צינוריר בונה (*Dendropoma petraeum*), היוצרים צברים צפופים שתורמים למבנה הגירני הנרחב של טבלאות הגידול. צברי הקונכיות של החלזונות צינוריר בונה ושלשולן משולש (*Vermetus triqueter*) ואצות גירניות שמצויות ביניהם, תורמים לבנייה הטבעית שבמצב רגיל נמצאת בשיווי משקל דינמי עם תהליכי בליה [42]. הצינוריר הבונה, היוצר את הכרכוב המוגבה בשולי הטבלה (ובכך אוחד מים על טבלאות הגידול בזמן השפל), כבר נעלם כמעט לחלוטין מחופינו בשנים האחרונות מסיבות שעדיין אינן ידועות. משמעות היעלמותו יכולה להיות בליה מהירה במיוחד של הסלע, שינוי בתנאים האביוטיים על הטבלאות, וייתכן שאפילו קריסתן המוחלטת בתוך כמה עשרות או מאות שנים [14].

עלייה בטמפרטורה והמסת קרחונים גם מעלות את מפלס פני הים, עלייה שצפויה להשפיע על אזור הקרית ותת-הקרית הרדוד. במאה השנים האחרונות עלה מפלס הים באזורנו בכ-20 ס"מ. מדידות של חקר ימים ואגמים לישראל (חיא"ל) משנת 1992 ועד 2010 מראות עלייה של המפלס בחופי ישראל ב-10.5 ס"מ, שהם כשליש מן המשרעת היומית הממוצעת. סדרת זמן ארוכה יותר (משנות ה-50) של המרכז למיפוי ישראל מראה תנודות רבות בתקופה זו, כולל ירידות לפני שנות ה-90, כך שבסופו של דבר לא היה שינוי של ממש בטווח זמן זה. לפיכך, עיקר העלייה במאה השנים האחרונות התרחשה עוד לפני שנות ה-50. יש להניח כי עלייה נוספת בגובה מפלס הים עלולה לשנות את מגוון המינים לאורך החוף ואף לפגוע בו, בעיקר בחופים שמשרעת הגאות והשפל בהם מזערית כמו בחוף הישראלי. זאת כיוון שמרבית שטח טבלאות הגידול "יטבע" מתחת לפני המים, ויהפוך לאזור תת-קרית, שהוא עני יותר (בעיקר באצות). באותו זמן, בשל היעלמותו של הצינוריר הבונה לא ייבנו טבלאות חדשות במפלסים גבוהים יותר [6]. נוסף על כך, אחד הביטויים של שינוי האקלים צפוי להיות עלייה בתדירות ובעוצמה של אירועי קיצון. התגברות של עוצמת הסערות ותדירותן עלולה ליצור בעיה לאוכלוסיות רגישות לאורך החוף, שיתקשו להתאושש מההפרעות הנגרמות מפעילות גלים עזה. גם עלייה אפשרית בעוצמה ובתדירות של אירועי שרב, המייבשים את טבלאות הגידול לאורך זמן, עלולה ליצור בעיה לבתי גידול באזור הקרית.

סביבת החיים של הים העמוק עתידה גם היא להיות מושפעת משינוי האקלים. אף על פי שהים העמוק נחשב סביבה יציבה, שינויים שמתרחשים סמוך לפני הים עתידים לקבל ביטוי גם במעמקים. יתרה מכך, מאחר שהאורגניזמים בים העמוק מותאמים לחיים בסביבה יציבה, כל שינוי, ולו הקטן ביותר, עתיד להשפיע על מגוון המינים ועל הרכב החברה [14].

מערכת ימית נוספת שרגישה ביותר לשינוי אקלים היא שונית האלמוגים במפרץ אילת. אחת ההשפעות המובהקות של התחממות מי הים היא "הלבנת אלמוגים" (bleaching), הנובעת מאיבוד האצות השיתופיות או מאיבוד הפיגמנט שבאצות [11]. הלבנת אלמוגים מוכרת כמצב עקה שעלול להסתיים במוות, אך מחקרים שונים מצביעים על פלסטיות ביחסי הסימביוזה אלמוג-אצה. מן המחקרים עולה כי אלמוגים יכולים להתמודד עם שינויי טמפרטורה על-ידי תהליך של ערבוב (shuffling) בין סימביונטים מגוונים שונים, הנבדלים בעמידותם לטמפרטורות גבוהות [11]. נוסף על כך, נמצא כי בשוניות אלמוגים שנחשפו לאירועים חוזרים של הלבנה, אחוז גבוה של האלמוגים נמצאים בסימביוזה עם אצות השייכות ליחידת מין (taxon) מסוימת [9]. אף על פי שעד היום האלמוגים במפרץ אילת לא נפגעו בצורה משמעותית מתופעה זו, עלייה של טמפרטורת המים במפרץ עלולה לגרום להתגברות ההלבנה גם באזור זה [29]. נוסף על כך, עליית חומציות הים פוגעת בהשקעת השלד הגירני של האלמוגים, ואף ממיסה שלדי אלמוגים, ולכן עלולה להיות קריטית בעתיד עבור שוניות האלמוגים [40]. מחקר שנעשה לאחרונה במפרץ אילת הראה עמידות מפתיעה של אלמוגי האזור לעלייה בטמפרטורת הים. הסברה היא כי עמידות זו היא תוצאה של תהליך ברירה רב-שנים לטמפרטורה גבוהה שעברו האלמוגים. התהליך החל עם אכלוס ים סוף מחדש לאחר תקופת הקרח, בעת מעבר הפגיות (larva) דרך מחסום תרמי בדרום ים סוף [16]. לפיכך, החוקרים טוענים ששוניות מפרץ אילת הן "מקלט" מהלבנה, לפחות במאה הקרובה.

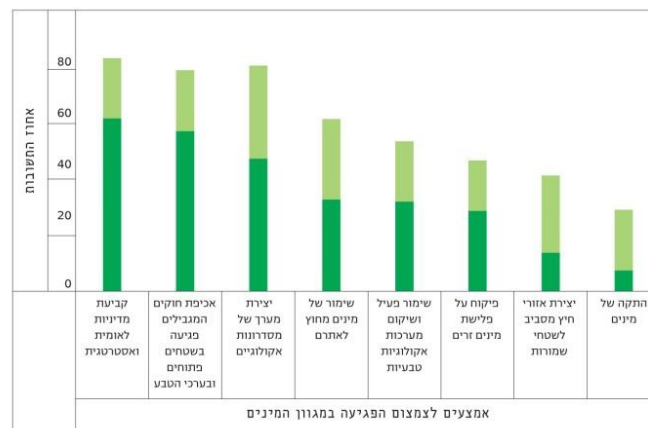


שונית אלמוגים ליד 'סלע משה' במפרץ אילת / צילום: אסף זבולוני

זמלצות על פעולות להיערכות לשינוי האקלים

הבעיה המהותית בדיון על פעולות היערכות לשינוי אקלים בתחום המגוון הביולוגי היא שהידע באשר למהות השינויים מוגבל ביותר, ולכן יש קושי לגבש מסקנות לגבי דרכי פעולה אפשריות. מומחים רבים שפנינו אליהם ענו שלא יוכלו לענות על הסקר, מכיוון שאין מספיק ידע בנושא. גם בין המומחים שענו על הסקר, רבים ביקשו לציין שתשובותיהם לא מסתמכות על ידע מחקרי מבוסס, אלא בעיקר על היכרות רבת שנים עם המערכות המוכרות להם. נקודה זו מדגישה את המחסור בידע מדעי מבוסס ואת הקושי לחזות את השלכות שינוי האקלים, לא כל שכן להתכונן לקראתן, לנוכח המחסור הזה.

הפעולות שהוערכו על-ידי המספר הגבוה ביותר של מומחים מכל שלוש המערכות כבעלות יעילות גבוהה או גבוהה מאוד לצמצום הפגיעה הצפויה במגוון הביולוגי, הן קביעת מדיניות לאומית ואסטרטגיה וכן פעולות אכיפה של חוקים המגבילים פגיעה בטבע (איוור 2). במערכות יבשתיות ובמערכות של מים מתוקים גם תכנון מסדרונות אקולוגיים ופיקוח על כניסת מינים פולשים צוינו כאמצעים יעילים. במערכות ימיות, שימור של מינים מחוץ לאתרם (למשל בגנים בוטנים או זואולוגיים) וכן שימור פעיל ושיקום מערכות אקולוגיות פגועות הוערכו כאמצעים יעילים. יש לציין שגם בין מומחים לאותן מערכות לא הייתה הסכמה רחבה לגבי יעילות הפעולות השונות, דבר שמדגיש את חוסר הוודאות בנושא.



איור 2. מידת ההסכמה על יעילות

האמצעים השונים לצמצום

הפגיעה הצפויה במגוון הביולוגי

ציר X: דרכי הפעולה השונות.

ציר Y: אחוז המומחים שדירגו את

יעילות דרכי הפעולה כגבוהה (בהיר)

או כגבוהה מאוד (כהה). מבוסס על דעות

מומחים משלוש מערכות שונות: מערכות

יבשתיות (21 שאלונים); מערכות מים

מחקרים (7); מערכות ימיות (18).

איור 2

מידת ההסכמה על יעילות האמצעים השונים לצמצום הפגיעה הצפויה במגוון הביולוגי

ציר X: דרכי הפעולה השונות.

ציר Y: אחוז המומחים שדירגו את יעילות דרכי הפעולה כגבוהה (בהיר) או כגבוהה מאוד (כהה). מבוסס על דעות

מומחים משלוש מערכות שונות: מערכות יבשתיות (21 שאלונים); מערכות מים מתוקים (7); מערכות ימיות (18).

לנוכח המחסור בידע והקושי לחזות את השלכות שינוי האקלים, חשוב ללמוד לנהל את המערכות האקולוגיות השונות תוך התחשבות בחוסר הוודאות. יש לנקוט פעולות שעל בסיס העדויות המדעיות שהצטברו, תהיה להן השפעה חיובית על המגוון בכל היקף, קצב או מגמה של שינוי האקלים. יש לבחון את התכנית מחדש מדי כמה שנים, להעריך את יעילותה ולשקול שיטות חדשות, בהתבסס על ידע נוסף שיצטבר. נוסף על כך, כדי לשפר את היכולת להיערך לשינוי האקלים יש הכרח להרחיב את הידע המדעי לגבי השפעות שינוי האקלים על מערכות טבעיות ולגבי דרכי ממשק להגברת עמידות של מערכות, וזאת באמצעות מחקר מדעי ייעודי. על סמך הסקרים ופגישות צוותי המומחים, גובשה טבלה המציגה את הערכות המומחים לגבי השפעות צפויות של שינוי האקלים על חלק משרותי המערכת אקולוגית (טבלה 1).

טבלה 1. שינוי אקלים ושירותי המערכת האקולוגית בישראל

המושג "שירותי מערכת אקולוגית" (ecosystem services) מתייחס לתועלת שהאדם מפיק ממערכות טבעיות, כגון מחזור חומרים, סילוק טבעי של מזהמים (למשל על-ידי פירוק חיידקי שלהם), ייצוב קרקע ומניעת סחיפה, יצרנות ראשונית ועוד. מכיוון שהמגוון הביולוגי קשור להבדלים תפקודיים בין רכיבים של המערכת, הוא משפיע גם על כמות השירותים שהמערכת יכולה לספק לאדם וגם על איכותם. שינוי האקלים צפוי להשפיע, בין השאר, גם על היכולת של המערכות האקולוגיות לספק את השירותים האלה, ובכך להשפיע על רווחת האדם.^[33] נושא השפעות שינוי האקלים על שירותי המערכת נחקר מעט בישראל, וסקר המומחים הצביע על מחסור ניכר בידע בנושא זה. הטבלה מציגה את הערכות המומחים לגבי השפעות צפויות של שינוי האקלים על חלק משירותי המערכת האקולוגית.

סוגי השירותים של המערכת האקולוגית	התועלת שהאדם מפיק משירותי המערכת האקולוגית	השפעות צפויות של שינוי האקלים על שירותי המערכת האקולוגית, לפי הערכת מומחים
שירותי אספקה - טובין או המוצרים המופקים מן המערכות האקולוגיות	אספקת מים שפירים באיכות טובה למי שתייה	עלייה באידוי כתוצאה מההתחממות וירידה בכמות המשקעים צפויות להקטין את כמויות המים הזמינות במאגרי המים. עם זאת, ההשפעות של שאיבות וקידוחים הן משמעותיות ביותר, ולכן יכולת המערכת לספק מים מתוקים תלויה במדיניות יותר מאשר בתנאי האקלים. אם תגבר התלות באספקת מים מותמלים, ירד הלחץ ממקורות המים הטבעיים.
	דגה	אחוזים גבוהים מדגי המכמרות ומהסרטנים הנתפסים בחופים המזרחיים של אגן הים התיכון מוצאם מים סוף, והתחממות מי הים התיכון צפויה להגדיל מגמה זו. ^[39] עם זאת, קשה להפריד בין השפעות של שינוי אקלים להשפעות אחרות, כמו דיג יתר, הרס בתי גידול וזיהום. במקרים רבים ההשפעות שלובות זו בזו ויש ביניהן יחסי גומלין. ^[38] בכינרת, השפעות אלה משמעותיות כנראה לא פחות מההשפעות הצפויות של שינוי האקלים.
	משאבים גנטיים	שינוי אקלים שיביא להכחדה של מינים יצמצם את מאגר הגנים במערכת. הכחדה של אוכלוסיות הנמצאות בבודל התפוצה הדרומי של המין שלהן תפגע במגוון הגנטי של המין, ותוריד את כמות המשאבים הגנטיים במערכת. ^[37]
	מרעה	גבולות האזור הצחיח למחצה בישראל, כמות הביומסה החד-שניתית כנראה לא מושפעת מירידה או מעלייה של 20-30% בכמויות המשקעים, שכן מיני הצומח העשבוני מותאמים לתנודות כאלה. עם זאת, תקופות יובש תוך-עונתיות ממושכות עשויות לפגוע משמעותית בייצור הראשוני של צומח עשבוני ובכמות המרעה הזמין למקנה. ^[7]
שירותי ויסות - התועלת שניתן להפיק מתהליכי הוויסות של המערכות האקולוגיות	מניעת סחיפת קרקע	שינויים בעוצמות המשקעים יגדילו את כושר הבליה של הגשם, את פוטנציאל סחיפת הקרקע ואת שיעורי אבדן הקרקעות. ^[41]
	ויסות מזיקים ופתוגנים	שינוי האקלים יכול להשפיע על דמוסי שפע ופיזור של פתוגנים ושל המעבירים (vectors) שלהם. ^[33] ולשינויים אלה יש פוטנציאל לפגוע במינים שונים. במערכות יבשתיות, ייתכן שעלייה בתדירותם של אירועי בצורת תביא עמה עלייה בהתבססות של צמחים פולשים. ^[42] בים התיכון, התחממות מי הים מעודדת ככל הנראה התפשטות של מינים תרמופיליים, שמקורם בים סוף. ^[40] גם בכינרת נצפית התדרדרות ביכולת של המערכת למנוע השתלטות של מינים פולשים תוך דחיקת המינים הטבעיים.
	קביעת פחמן	קצב אגירת הפחמן במערכת צמח-קרקע צפוי לרדת עם הפיכת האקלים ליבש יותר. הסיבות לכך הן ירידה ביצרנות, שמירה על קצבי פירוק גבוהים יחסית ומעבר לצומח יצרני פחות.
שירותי תרבות - התועלת הלא-חומרית המופקת משירותי המערכת האקולוגית	נופש בחיק הטבע, השראה ואסתטיקה	הכחדה של מינים ובתי גידול תפגע בערך האסתטי של מערכות רבות. להתדרדרות בתי הגידול תהיה השפעה על התיירות. למשל, שונות האלמוגים שהיא גורם משיכה עיקרי באילת, או נוכחות מדוזות שפוגעת בפעילות נופש לאורך חופי הים התיכון.
שירותי תמיכה - תהליכי היסוד שהם הבסיס להיווצרות כל שאר שירותי המערכת האקולוגית	ייצור ראשוני	לעלייה ברמת ה-CO ₂ ובטמפרטורה יש פוטנציאל להגדיל את הייצור הראשוני, אולם ההשפעה זו עשויה להתאזן עם השפעות אחרות, כגון הפחתת זמינות המים.

טבלה 1

שינוי אקלים ושירותי המערכות האקולוגיות בישראל

המושג "שירותי מערכת אקולוגית" (ecosystem services) מתייחס לתועלת שהאדם מפיק ממערכות טבעיות, כגון מחזור חומרים, סילוק טבעי של מזהמים (למשל על-ידי פירוק חיידקי שלהם), ייצוב קרקע ומניעת סחיפה, יצרנות ראשונית ועוד. מכיוון שהמגוון הביולוגי קשור להבדלים תפקודיים בין רכיבים של המערכת, הוא משפיע גם על כמות השירותים שהמערכת יכולה לספק לאדם וגם על איכותם. שינוי האקלים צפוי להשפיע, בין השאר, גם על היכולת של המערכות האקולוגיות לספק את השירותים האלה, ובכך להשפיע על רווחת האדם.^[31] נושא השפעות שינוי האקלים על שירותי המערכת נחקר מעט בישראל, וסקר המומחים הצביע על מחסור ניכר בידע בנושא זה. הטבלה מציגה את הערכות המומחים לגבי השפעות צפויות של שינוי האקלים על חלק משירותי המערכת האקולוגית.

שינוי האקלים הוא אחד משלושת האיומים העיקריים על המגוון הביולוגי בישראל, יחד עם התפשטות מינים פולשים (בעיקר בים התיכון) והמשך פיתוח תשתיות מואץ כתוצאה מגידול האוכלוסייה וצרכיה. השפעות שינוי האקלים צפויות להגביר את הלחץ על המערכות הטבעיות, ולפעול באגבור (בסינרגיה) עם השפעות האדם להחרפת האיומים על המגוון הביולוגי.^[4]

הכלי החשוב ביותר לשמירה על המגוון הביולוגי לנוכח שינוי האקלים הוא שמירה על שלמות המערכת האקולוגית ככל שניתן,

תוך ניהול מדיניות המיועדת להפחית את גורמי הפגיעה שאינם קשורים לשינוי האקלים^[27]. מדיניות סביבתית מושכלת, שתכלול בתוכה את הגדלת המאמץ בשמירת הטבע בישראל, הכרחית כדי לשמור על המגוון הביולוגי מול לחצי הפיתוח. הצורך במדיניות זו גובר מאוד לנוכח הלחץ הנוסף על המערכות הטבעיות בעידן של שינוי אקלים. תוצאות סקר המומחים מצביעות על כך שכדי להגיע למרב החוסן של התחומים מפני השפעת שינוי האקלים בעתיד, צריכים התחומים המוגנים להתאפיין בעושר מינים גבוה או לכלול מארג של בתי גידול רבים ושונים. אם באתרים המוגנים יתקיים שיעור סף של אוכלוסייה אזורית או עולמית, יגדל עוד יותר חוסן המערכת הטבעית לשינוי אקלים עתידי. מארג אזורי רחב של תחומים מוגנים יהיה כלי שימור משמעותי ביותר בתנאי אקלים דינמיים.

לסיכום, מודגשת כאן הקריאה להקמת **מרכז לאומי לחקר שינוי האקלים בישראל** שיכלול תשתיות מחקר כדי לצמצם את פערי הידע שזוהו במחקר הנוכחי. מרכז זה יקבע את המדיניות הטובה ביותר שתאפשר להתמודד עם האיומים על מגוון הביולוגי בישראל בעידן של שינוי אקלים.

תודות

מחקר זה נעשה במסגרת מרכז הידע להיערכות לשינוי האקלים בישראל שבמימון המשרד להגנת הסביבה. אנו מודים לכל האנשים שענו על השאלונים במסגרת סקר המומחים.



נחל חלוקים, ליד שדה בוקר. דוגמה לערוץ צחיח שהצמחייה שבו עלולה להתייבש כתוצאה מירידה בכמות המשקעים / צילום: מרסלו שטרנברג

מקורות

1. אביעד י, ויטנברג ל, מילגרום ת ואחרים. 2010. השלכות שינוי אקלים על סחיפה ואובדן קרקעות. המדען הראשי, המשרד לאיכות הסביבה.

2. דולב ע. 2012. חידת המין הפולש. *ארץ הכנת* **3**: 38.
3. סבר נ ונאמן ג. 2008. התייבשות והתאוששות של עצי אלון מצוי בישראל לאחר רצף של שנות בצורת. *יער* **10**: 10-16.
4. ספריאל א. 2010. הצעה לתכנית פעולה. בתוך: ספריאל א (עורך). התכנית הלאומית למגוון ביולוגי בישראל. אשכול מדיניות ותכנון, אגף שטחים פתוחים ומגוון ביולוגי, המשרד להגנת הסביבה.
5. קותיאל ח וקלדרון ס. 2011. שינויי האקלים. פרק מתוך מסמך היערכות לשינויי אקלים בישראל, סקירת ידע קיים, זיהוי פערי ידע ועדיפות להשלמתם. המשרד להגנת הסביבה.
6. רילוב ג וטרבס ח. 2010. השפעות שינויי אקלים גלובלי על מערכות אקולוגיות ימיות: תמונת מצב עולמית והשלכות על הסביבה הימית בישראל. אקולוגיה וסביבה **1**: 57-65.
7. שחק מ וקרניאלי א. 2009. עלייה בתדירות הבצורות וקריסת מערכות אקולוגיות בנגב: הקשר בין שינויי אקלים ותפקוד אקו-סיסטמות. כנס שינויי אקלים בישראל 2009 – הערכת מצב. חוברת תקצירים של הכנס. המשרד להגנת הסביבה, המדען הראשי.
8. Adler M and Ziglio E. 1996. Gazing into the oracle. Bristol (PA): Jessica Kingsley Publishers.
9. Baker A, Starger C, McClanahan T, and Glynn P. 2004. Corals' adaptive response to climate. *Nature* **430**: 741.
10. Beche L, Connors P, Resh V, and Merenlender A. 2009. Resilience of fishes and invertebrates to prolonged drought in two California streams. *Ecography* **32**: 778-788.
11. Berkelmans R and van Oppen MJH. 2006. The role of zooxanthellae in the thermal tolerance of corals: A 'nugget of hope' for coral reefs in an era of climate change. *Proceedings of the Royal Society B – Biological Sciences* **273**: 2305-2312.
12. Coll M, Piroddi C, Steenbeek J, et al. 2010. The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, patterns, and threats. *PLoS ONE* **5**: e11842.
13. Colombaroli D, Marchetto A, and Tinner W. 2007. Long-term interactions between Mediterranean climate, vegetation and fire regime at Lago di Massaciuccoli (Tuscany, Italy). *Journal of Ecology* **95**: 755-770.
14. Danovaro R, Dell'Anno A, and Pusceddu A. 2004. Biodiversity response to climate change in a warm deep sea. *Ecology Letters* **7**: 821-828.
15. Delitti W, Ferran A, Trabaud L, and Vallejo VR. 2005. Effects of fire recurrence in *Quercus coccifera* L. shrublands of the Valencia Region (Spain): I. Plant composition and productivity. *Plant Ecology* **177**: 57-70.
16. Fine M, Gildor H, and Genin A. 2013. A coral reef refuge in the Red Sea. *Global Change Biology* **19**: 3640-3647.
17. Gafny S, Gasith A, and Goren M. 1992. Effect of water level fluctuation on the shore spawning of *Mirogrex terraesanctae* (Steinitz), (Cyprinidae) in Lake Kinneret, Israel. *Journal of Fish Biology* **41**: 863-871.
18. Galil B. 2008. Alien species in the Mediterranean Sea – Which, when, where, why?

- Hydrobiologia* **606**: 105-116.
19. Galil BS and Zenetos A. 2002. A sea change-exotics in the eastern Mediterranean Sea. In: Leppäkoski E, Gollasch S, and Olenin S (Eds). Invasive aquatic species of Europe: Distribution, impacts and management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
 20. Gasith A and Gafny S. 1990. Effects of water level fluctuation on the structure and function of the littoral zone. In: Tilzer M, Serruya C (Eds). Large lakes: Ecological structure and function. Berlin: Springer-Verlag.
 21. Gasith A and Resh VH. 1999. Streams in Mediterranean climate regions: Abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. In: Fautin DG, Futuyma DJ, and James FC (Eds). Annual review of ecology and systematics, vol. 30. Palo Alto, CA, USA: Annual Reviews.
 22. Gaston KJ. 1996. What is biodiversity? In: Gaston KJ (Ed). Biodiversity: A biology of numbers and difference. Oxford: Blackwell Science.
 23. Harvell C, Mitchell C, Ward J, et al. Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science* **296**: 2158-2162.
 24. IPCC. 2013. Climate Change 2013. The physical science basis, Working group I; Contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for Policymakers.
 25. Israel A and Hophy M. 2002. Growth, photosynthetic properties and rubisco activities and amounts of marine macroalgae grown under current and elevated seawater CO₂ concentrations. *Global Change Biology* **8**: 1-10.
 26. Jiménez M, Jaksic F, Armesto J, et al. 2011. Extreme climatic events change the dynamics and invisibility of semi-arid annual plant communities. *Ecology Letters* **14**: 1227-1235.
 27. Johnston A, Ausden M, Dodd AM, et al. 2013. Observed and predicted effects of climate change on species abundance in protected areas. *Nature Climate Change* **3**: 1055-1061.
 28. Lavergne S, Mouquet N, Thuiller W, and Ronce O. 2010. Biodiversity and climate change: Integrating evolutionary and ecological responses of species and communities. *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **41**: 321-350.
 29. Loya Y. 2004. The coral reefs of Eilat – Past, present and future: Three decades of coral community structure studies. In: Rosenberg E, Loya Y (Eds). Coral reef health and disease. Berlin Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
 30. Maruani T and Amit-Cohen I. 2009. The effectiveness of the protection of riparian landscapes in Israel. *Land Use Policy* **26**: 911-918.
 31. Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being. Synthesis. Washington, D.C.
 32. Moriando M, Good P, Durao R, et al. 2006. Potential impact of climate change on fire

- risk in the Mediterranean area. *Climate Research* **31**: 85–95
33. Morri C, Puce S, Bianchi CN, et al. 2009. Hydroids (Cnidaria: Hydrozoa) from the Levant Sea (mainly Lebanon), with emphasis on alien species. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **89**: 49-62.
- Otero I, Boada M, Badia A, et al. 2011. Loss of water availability and stream biodiversity under land abandonment and climate change in a Mediterranean catchment (Olzinelles, NE Spain). *Land Use Policy* **28**: 207-218 .34
- Palmer M, Lettenmaier D, Poff N, et al. 2009. Climate change and river ecosystems: Protection and adaptation options. *Environmental Management* **44**: 1053-1068 .35
- Pe'er G and Safriel U. 2000. Climate change. Israel national report under the United Nations framework convention on climate change: Impact, vulnerability and adaptation: Commissioned by the Ministry of Environment from the Blaustein institute for desert research, Sede Boqer Campus of Ben-Gurion University of the Negev .36
- Provan J and Maggs C. 2012. Unique genetic variation at a species' rear edge is under threat from global climate change. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* **279**: 39-47 .37
- Quignard J and Raibaut A. 1993. Ichthyofauna of the Languedocian Coast (Gulf of Lion): Faunistic and demographic modifications. *Vie Milieu* **43**: 191-195 .38
- Rijnsdorp A, Peck M, Engelhard G, et al. 2009. Resolving the effect of climate change on fish populations. *ICES Journal of Marine Science* **66**: 1570-1583 .39
- Rimmer A, Gal G, Opher T, et al. 2011. Mechanisms of long-term variations in the thermal structure of a warm lake. *Limnology and Oceanography* **56**: 974–988 .40
- Silverman J, Lazar B, Cao L, et al. 2009. Coral reefs may start dissolving when atmospheric CO2 doubles. *Geophysical Research Letters* **36**, doi:10.1029/2008GL036282 .41
- Steinitz H. 2010. The effects of global climate change on the distribution of terrestrial mammals in Israel (PhD dissertation). Tel Aviv: Tel Aviv University .42
- Tzur Y and Safriel U. 1978. Vermetid platforms as indicators of coastal movements. *Israel Journal of Earth Sciences* **27**: 124–127 .43
- Zacharias I and Zamparas M. 2010. Mediterranean temporary ponds. A disappearing ecosystem. *Biodiversity and Conservation* **19**: 3827–3834 .44
- Zduniak P, Yosef R, Sparks T, et al. 2010. Rapid advances in the timing of the spring passage migration through Israel of the steppe eagle *Aquila nipalensis*. *Climate Research* **42**: 227–222 .45
- Zohary T. 2004. Changes to the phytoplankton assemblage of Lake Kinneret after decades of a predictable, repetitive pattern. *Freshwater Biology* **49**: 1355–1371 .46
- Zohary T and Ostrovsky I. 2011. Ecological impacts of excessive water level fluctuations in stratified freshwater lake. *Inland Waters* **1**: 47–59 .47

