

מפרץ אילת – מפלט אקלימי מול אתגר מקומי

צפיות, אי-צפיות והתאמות של אלמוגים בקווי רוחב גבוהים משוניות רדודות ועד לעומקים מזופוטיים

גל אייל¹

gal.eval1@biu.ac.il

1. אוניברסיטת בר אילן

מערכות אקולוגיות מורכבות בקווי רוחב גבוהים ובעומקי ביניים בים מהוות מקלט אקלימי פוטנציאלי לשוניות אלמוגים רדודות, אך יציבותן וחוסןן לטווח ארוך, לנוכח החרפת שינויי האקלים הגלובליים, עדיין אינן ברורות. כאן אני משווה את ההיסטוריות האקולוגיות של שני מקלטים פוטנציאליים כאלה: שוניות המים הרדודים בקווי רוחב גבוהים של מפרץ מורטון (קווינסלנד, אוסטרליה), שנוטרו עונתית במשך 3 שנים (2021-2024), ובהן כיסוי האלמוגים החיים ירד בכ-30%; ומערכת האלמוגים המזופוטית של אילת (ים סוף, ישראל), שנוטרה מדי שנה במשך שני עשורים, שבה כיסוי האלמוגים ירד בכ-50% מאז 2010. בשתי המערכות נצפו שינויים משמעותיים לאורך ההיסטוריה, המערכות שנשלטו על-ידי מינים של אלמוגים, עברו למצב עכשווי הנשלט יותר ויותר על-ידי אצות מרבד (turf algae) ומאקרואצות, בעוד שמיני אלמוגים גושיים וסבילים לעקה מוסיפים להתקיים בשפע נמוך. מעברים אלה קשורים לאינטראקציה בין אירועי קיצון ימיים (למשל גלי חום ימיים, פרקי קור קיצוני, שיטפונות, עבירות, אנומליות טמפרטורה המושרות על-ידי גלים עומק) לבין עלייה בשונות הסביבתית. למרות ששתי המערכות נחשבות מקלט אקלימי, אף אחת מהן לא נותרה סטטית. במקום זאת, נראה כי הצפיות היחסית של התנודות הסביבתיות היא שמבססת את המשך השרידות של האלמוגים. ממצאים אלה מערערים את התפיסה שלפיה מקלטי אקלים מוגדרים אך ורק באמצעות יציבות סביבתית, ומציעים כי שונות עונתית או מחזורית צפויה בתנאי הסביבה לטווח ארוך עשויה למתן עקת אקלים על קהילות אלמוגים. לעומת זאת, אירועי קיצון אקוטיים מניעים תנודתיות ומאיציים שינויי פאזה משליטת אלמוגים לאצות. סינתזה זו מדגישה כי צפיות סביבתית, ולא יציבות, מסבירה טוב יותר התאמה אקולוגית בסביבת שוניות אלמוגים. נוסף על כך, היא מרמזת שתיעדוף שימור לנוכח שינויי האקלים צריך להתמקד בבתי גידול שוניות המאופיינים במשטרים סביבתיים צפויים ובאירועי קיצון בני-ניהול, שכן אלה מצויים בעמדה טובה יותר ממערכות בלתי צפויות לשימור בעידן של אי-ודאות אקלימית הולכת וגוברת. המחקר תורם להבנה כי צפיות סביבתית, ולא יציבות מוחלטת, מאפשרת שרידות של אלמוגים במקלטים אקלימיים, ומאתגר תפיסות שימור מקובלות. ממצאיו חשובים למדיניות ולציבור משום שהם מדגישים ניהול אירועי קיצון ולא רק שימור "אזורים יציבים". בישראל ניתן ליישם את התובנות בניהול ושימור שוניות אילת, במיוחד המערכת המזופוטית, כחלק מהמדיניות הסביבתית.

מפרץ אילת – מפלט אקלימי מול אתגר מקומי

שוניות אילת – מיזם חדשני להנגשת מדע ושמירת טבע

יעל פרוינד אברהם¹

redsea@spni.org.il

. החברה להגנת הטבע¹

מדע איכותי הוא תנאי למדיניות סביבתית מושכלת. אולם, המדע אינו מזין אוטומטית את המדיניות, בגלל שורה של חסמים, הכוללים היעדר אוריינות מדעית בקרב קובעי מדיניות, היעדר מודעות ולחץ ציבורי על קובעי המדיניות אל מול אינטרסים סותרים, תוצרים מדעיים המוגשים בשפה מדעית שאינה נגישה לציבור ולקובעי מדיניות, ועוד. מפרץ אילת מהווה מוקד מחקרי לאקולוגיה ימית מזה עשרות שנים. מחקרים אלה חשפו מחד את חשיבותו העצומה של הטבע הימי, במיוחד שוניות אלמוגים המפגינות עמידות בפני אירועי הלבנה המוניים, ומאידך את פגיעותו של הטבע הימי ללחצים מקומיים. מיזם שוניות אילת נועד להנגיש את חשיבות הטבע הימי ואת החדשנות המדעית של מדעי הים במפרץ, בצורה חוויתית, לציבור ולקובעי המדיניות, באמצעות אתר אינטרנט חדשני העושה שימוש במגוון אמצעי מדיה, תוכן ואינטראקציה עם הגולש. האתר כולל תוכן ויזואלי מרהיב, משחק סימולציה, צ'אט עם יצורי השוניות, כתבות המוגשות בצורה נגישה לציבור, ועוד. בנוסף כולל המיזם סדנאות ומיזמי חלוץ להטמעת שיקולים מדעיים במדיניות מעשית במפרץ. שוניות אילת הוא מיזם משותף של החברה להגנת הטבע ושל המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת, בתמיכת קרן רוטשילד – יד הנדיב.

מפרץ אילת – מפלט אקלימי מול אתגר מקומי

קטסטרופות מקומיות, יציבות אזורית: חוסנם של עשבי הים תחת לחץ תרמי מואץ במפרץ עקבה – עד מתי?

גדעון וינטרס¹, נטע לי ליפקין², מורן קמינר², ד"ר הונג מן גוויין¹, גלעד אנטלר¹, נטע סוטו¹, יונתן שקד³, אסף זבולוני⁴, גיל רילוב⁵

wintersg@bgu.ac.il

1. אוניברסיטת בן גוריון
2. אוניברסיטת חיפה
3. האוניברסיטה העברית
4. רשות הטבע והגנים
5. חקר ימים ואגמים

המחקר בוחן כיצד עשב הים *Halophila stipulacea* במפרץ עקבה שומר על יציבות אזורית למרות סדרה של הפרעות חריפות ומתמשכות, בתקופה שבה המפרץ מתחמם בקצב מהמהירים בעולם. לאורך עשור של ניטור רב-קני-מידה (2015–2024), החוקרים מצאו כי אזורי הרדוד (>5 מ') חווים שוב ושוב "קטסטרופות מקומיות" – סערת דרום נדירה בעוצמתה, שיטפונות, פריחת אצות עונתית ועשבונות קיצוניים של קיפודי ים – שגורמות לאובדן כמעט מוחלט של הכיסוי. לעומת זאת, המדרונות העמוקים יותר (≤ 10 מ') מפגינים יציבות יוצאת דופן, כמעט ללא שינוי לאורך כל התקופה. המחקר מראה כי שני מנגנונים מרכזיים מאפשרים את היציבות האזורית: (1) מקלטי עומק – עומקים גדולים יותר מוגנים מפני אנרגיית גלים, עבירות, אנוקסיה וסחף, ולכן משמשים מקור להתחדשות המדרונות הרדודים לאחר כל אירוע. (2) טלאיות מרחבית – דפוסי הפרעה לא אחידים מונעים קריסה סינכרונית ומאפשרים התאוששות מהירה מאזורים סמוכים שלא נפגעו. למרות יציבות זו, "הלחץ התרמי" הולך ומתגבר: טמפרטורות אוגוסט עלו בקצב של 0.85°C לעשור, ומשך גלי החום הימיים עלה ב-127% מאז 2016. אף שלא נצפתה קריסה אזורית, סימנים כמו התאוששות איטית ברדוד, עלייה בכלורופיל-*a* ורמות סולפיד גבוהות בעונות הפריחה מצביעים על כך שהמערכת מתקרבת לגבולות העמידות שלה. המחקר מדגיש כי הערכת יציבות אקולוגית תלויה בקנה המידה: ניטור מקומי בלבד היה מצביע על קריסה, בעוד שניטור אזורי מגלה מערכת יציבה. המסקנה הניהולית המרכזית: הפחתת עומסי נוטריינטים היא המנוף היעיל ביותר להארכת חלון העמידות של המערכת מול התחממות מואצת.

המחקר מדגים כי יציבות מרבית עשב הים במפרץ אילת נשענת על מקלטי עומק הרגישים ללחצי *press* מתגברים. ממצאיו מספקים בסיס ישיר למדיניות סביבתית: הפחתת עומסי נוטריינטים, צמצום זיהום מקומי ושימור אזורי עומק כמרחבי ליבה אקולוגיים. יישום המלצות אלו יכול לחזק את עמידות המערכת, להגן על שירותי המערכת האקולוגית ולתמוך בקבלת החלטות לאומית מבוססת-ידע לטובת הציבור והסביבה.

מפרץ אילת – מפלט אקלימי מול אתגר מקומי

דיכוי אקלימי של ערבוב מים עמוקים מנציח העשרת חומרים מזינים אנתרופוגנית בשוניות האלמוגים במפרץ אילת

דוד אילוז¹, הונתן ארז², סעיד אבו גוש³, ג'ק סילברמן⁴, בעז לזר²

iluzda@gmail.com

1. אחר
2. האוניברסיטה העברית
3. אוניברסיטת בר אילן
4. חקר ימים ואגמים

שוניות האלמוגים בעולם מאוימות על ידי שילוב של שינויי אקלים ולחצים אנושיים מקומיים, אולם נתונים ארוכי טווח על ההשפעות המשולבות הם נדירים. במחקר זה אנו מציגים תיעוד רציף ייחודי בן 35 שנה ממפרץ אילת, מערכת אקולוגית של שונית אלמוגים בים סוף, החושף מעבר מואץ ממצב אוליגוטרופי למצב אֶאוֹטרופִיק בִּינוֹי. תמורה זו, המהווה איום משמעותי ומיידי על שוניות האלמוגים באזור, מונעת על ידי סינרגיה קריטית בין שני גורמים. ראשית, האֶאוֹטרופִיקצְיָה אנתרופוגנית כרונית מגידול דגים אינטנסיבי גרמה לעלייה של יותר מפי שניים בייצור הראשוני, ורמות החומרים המזינים הנותרות ממשיכות לעלות עשור לאחר הסרת כלובי הדגים. שנית, מגמת התחממות אזורית מעכבת ערבוב הסעתי עמוק טבעי, תהליך שבעבר הוביל מים עשירים בחומרים מזינים הרחק מפני השטח. מחקר זה מספק אמת מידה קריטית להבנת האופן שבו לחצים כפולים של שינוי מונע אקלים ופעילות אנושית מקומית יכולים לשנות במהירות מערכת אקולוגית ימית, ומציע מקרה בוחן דחוף למאמצי שימור שוניות עולמיים.

מחקר זה מספק עדויות מדעיות חיוניות לקובעי המדיניות בישראל להבנת הנזק ארוך הטווח של גידול דגים אינטנסיבי על מפרץ אילת. הממצאים מדגימים כי הסרת מקורות הזיהום (כלובי הדגים) אינה מספיקה - ההשפעות נמשכות עשור לאחר מכן, ומחמירות בשל התחממות אקלימית. המחקר תומך בצורך בתכנון סביבתי זהיר, ניטור רציף של איכות המים, והגבלה קפדנית של פעילויות מזהמות באזורי שוניות, במיוחד לאור שינויי האקלים המחמירים את המצב

מפרץ אילת – מפלט אקלימי מול אתגר מקומי

מה שומעת השונית? ניטור רציף בזמן אמת של רעש תת-ימי במפרץ אילת/עקבה

רועי דיאמנט¹, אסף זבולוני²

roee.d@univ.haifa.ac.il

1. אוניברסיטת חיפה
2. רשות הטבע והגנים

רעש מוקרן תת-ימי (רמ"ת) הוא גורם לחץ אנתרופוגני חשוב ומוכר יותר ויותר בסביבות ימיות המשפיע על אורגניזמים מחסרי חוליות ועד יונקים ימיים. השפעותיו כוללות תגובות התנהגותיות, מיסוך אקוסטי, תגובות לחץ ושינויים פיזיולוגיים ברגישות השמיעה. כימות הרמ"ת חיוני לכן לניהול שמורות טבע ימיות, החל מקביעת תנאי בסיס ועד לגילוי והערכת אירועי הפרעה. הגישות הקיימות מבוססות במידה רבה על מקליטי אקוסטיקה תת מימית יקרים לטווח ארוך הדורשים אחזור וניתוח נתונים לא מקוון ושאינו בזמן אמת. כאן, אנו מציגים תוצאות ההערכה רציפה ראשונה בזמן אמת של רמ"ת במפרץ אילת באמצעות מערכת ניטור אוטונומית שפותחה עצמאית בעלות נמוכה. המערכת כוללת מצוף "חכם" הנטען באנרגיה סולארית והמצויד בשני הידרופונים לקליטת אותות אקוסטיים רחבי סרט ומעבד לעיבוד עוצמת הקול בספקטרום ע"ג המצוף. משדר סלולארי משדר את תוצאות הניתוח האקוסטי לשרת בזמן אמת. גילוי אוטומטי של רעשי ספינות ע"ג המצוף נתמך במצלמה יבשתית המספקת מידע על פעילות כלי שיט סמוכים. המערכת מאפשרת פעולה אוטונומית מלאה וגישה מיידית למסד נתונים רמ"ת ברזולוציה של דקה. ניתוח המידע התומך בהשוואות ארוכות טווח בין תקופות לחץ אנתרופוגני ומאפשר גיבוש תובנות ניהול כמעט בזמן אמת. לדוגמא, ניתן לחזות בשינוי מידי ברמות הרמ"ת כתוצאה משינוי מדיניות או כתוצאה מפעילות אנתרופוגנית. המערכת הוצבה בעומק של 8 מטר בשמורת הטבע חוף האלמוגים באילת החל מנובמבר 2025 ומספקת נתונים בזמן אמת וללא הפסקה. תוצאות בחינת רמות הרמ"ת לפני, במהלך ואחרי תקופת התיירות של חנוכה הראתה ירידה ברורה במהלך חנוכה של כמעט פי שתיים בעוצמת הרעש על פני הספקטרום. תוצאה זו עשויה להיות מיוחסת לירידת פעילות בשמורה בעקבות פעילות אנתרופוגנית. ההרצאה תתאר את תכנון המערכת, תציג השוואת רמות רמ"ת בתקופות שונות לאורך השנה, תתאר את ההשלכות הרלוונטיות לניהול של הנתונים שנאספו, ותציג הדגמה של מדידות רמ"ת בזמן אמת. זהו מחקר ראשון המתיימר לנתח נתוני רעש רציפים שנאספים במפרץ אילת. מיקום המערכת בשמורת אלמוג מאפשר לבדוק היפותזות על השפעת לחץ תיירות ימית על תפקוד השמורה כפי שמתבטא בשדה האקוסטי. המערכת שפותחה מהווה כלי טכנולוגי התומך בניתוח נתוני אקוסטיה בזמן אמת. התוצאה היא כלי השוואתי המאפשר בחינה בשטח של מדיניות ניהול השמורה. הציבור הרחב יוכל להבין את הקשר בין רעש תת מימי לפעילות ביולוגית ולהיחשף לתחום הענף של רעש ים.

מפרץ אילת – מפלט אקלימי מול אתגר מקומי

אנליזת רעש פלואורסנטי של אלמוגים במפרץ אילת מצביעה על רגישות גבוהה לזיהום אור

Karin שירה יוכליס¹, ניר קרן¹, Abhinav Gupta², Walker Noah Lebeck², Ethan Andrew Mullen², נעמה מרודס-סקליר¹
מעוז פיין¹, יוסי פלטיאל¹, Dahmen²

naama.maroudas-sa@mail.huji.ac.il

1. האוניברסיטה העברית

2. University of Illinois at Urbana Champaign

שוניות אלמוגים הן מהמערכות האקולוגיות המגוונות והיצרניות ביותר בכדור הארץ, אך הן נתונות ללחצים גוברים כגון התחממות האוקיינוסים, חמצון, זיהום ואור מלאכותי בלילה (Artificial Light at Night- ALAN). תפקודן תלוי בפעילות הפוטוסינתטית של הדינופלגטים הסימביונטיים (Symbiodiniaceae), הנמדדת לרוב באמצעות פלואורסנציה של כלורופיל בשיטות של PAM Spectroscopy (Pulse Amplitude Modulated). מדדים מקובלים, כגון Φ_{PSII} , מתבססים על עוצמת האות הממוצעת, ומתעלמים ממידע דינמי העשוי להיות חבוי בתנודות (noise) של האות. מטרת מחקר זה היא לבחון האם ניתוח תנודות הפלואורסנציה יכול לחשוף מידע ביופיזיקלי חדש על דינמיקת הפוטוסינתזה באלמוגים, ובפרט על הבדלים בין יום ללילה ועומק רדוד לעומק מזופוטי. המחקר מבוסס על מערך ניטור רב-שנתי (2021–הווה) בתחנת ניטור אלמוגים במפרץ אילת, הכולל 16 מושבות אלמוגים בשתי שכבות עומק (7 ו-42 מ'). פלואורסנציה נמדדה כל 10 שניות באמצעות חיישני PAM תת-ימיים, לצד מדידת ערכי Φ_{PSII} כל חצי שעה בפרוטוקול PAM YII. שיטת המחקר משלבת ניתוח רעש סטטיסטי וספקטרלי: חישוב היסטוגרמות של סטיות מהאות הממוצע, ניתוח צפיפות ספקטרלית לבחינת הרכב התדרים הדומיננטיים בסיגנל (Power Spectral Density- PSD), וניתוח דינמיקות "מפולת" (avalanche dynamics) של התנודות, לצד השוואה למדד Φ_{PSII} . התוצאות מראות שבכל העומקים, המינים והעונות, תנודות הפלואורסנציה חזקות משמעותית בלילה לעומת היום, במיוחד בתדרים נמוכים ($\sim 10^{-3}$ Hz). בלילה זוהתה דינמיקת מפולת אופיינית, שאינה קיימת ביום. בנוסף, הבדלי Φ_{PSII} בין יום ללילה קטנים בהרבה. ההבדל בתנודות המתרכז בתדרים הנמוכים (אשר אופייניים לתהליכים כימיים) לצד דינמיקת המפולות הנוכחת רק בלילה, מעידים על מנגנון משוב חיובי חזק כתגובה לזיהום אור נמוך מאוד. הממצאים מצביעים על כך שמערכת הפוטוסינתזה של האלמוגים נותרת תגובתית גם בלילה, ומגיבה בעוצמה גם לרמות אור נמוכות ביותר, כולל אור מדידה או זיהום אור סביבתי. ניתוח רעש פלואורסנטי מהווה לפיכך כלי רגיש וחזק לחשיפת מצבי צימוד אנרגטי ורגישות סביבתית, ומדגיש את הפוטנציאל של אור מלאכותי בלילה להשפיע על שוניות אלמוגים בדרכים שלא נמדדו עד כה. המחקר מספק כלי רגיש חדש לניטור בריאות אלמוגים וזיהוי השפעות של אור מלאכותי בלילה ברמות שאינן נמדדות בשיטות רגילות. הממצאים תומכים בקביעת תקני תאורה לחופים ושוניות במפרץ אילת, בתכנון תשתיות חוף ותאורה חכמה, ובהערכת סיכונים סביבתיים. בכך הוא תורם ישירות למדיניות הגנת שוניות בישראל ולניהול חופי בר-קיימא.