

הנדסה גנטית מתחת למים

מצבם של האלמוגים ברחבי העולם [הולך ומידרדר](#), ובתנאים הנוכחיים קשה מאוד להיות אופטימיים בקשר לעתידם. המאבק להצלת האלמוגים, כמו מאבקים נגד נזקים רבים אחרים של ההתחממות הגלובלית, מרגיש לפעמים כמו מלחמה של ממש. אבל האם במלחמה כמו במלחמה, כל האמצעים כשרים? האם הגיע הזמן לנקוט צעדים קיצוניים במאבק להצלת האלמוגים, כדי להתמודד עם מצב שהוא קיצוני בעצמו? יש מדענים שסבורים שכן. לטענתם, הדרך היחידה להציל את שוניות האלמוגים היא ליישם שיטות מסוכנות יותר ושנויות במחלוקת, שמדענים לא נוהגים להשתמש בהן בטבע, ושניתן לפרש אותן כמעין ניסיון "לשחק את אלוהים".

התערבות בגנים של האלמוגים

כחמישית משוניות האלמוגים בעולם נפגעו בצורה קשה עד בלתי הפיכה משינוי האקלים. [לפי תחזיות](#), בתרחיש שבו לא יינקטו צעדים למיתון שינויי האקלים, כיסוי האלמוגים בשונית המחסום הגדולה שבאוסטרליה, השונית הגדולה בעולם, יירד אל מתחת לחמישה אחוזים עד לסוף המאה הנוכחית. אחד האיומים הגדולים על האלמוגים כיום הוא תופעת [הלבנת האלמוגים](#) עליית כאשר שמתרחשת (Coral bleaching), טמפרטורת מי הים, המתרחשת עקב שינוי האקלים, גורמת להפרה של יחסי הגומלין הייחודיים בין האלמוג לבין האצות השיתופיות אשר נמצאות בתוך התאים שלו. במצב התקין, אצות אלה מבצעות פוטוסינתזה ומעבירות כ-90 אחוז מתוצריהן אל האלמוג, וכך מהוות את מקור האנרגיה העיקרי שלו לצורך בניית השלד הגירני, שיוצר את בית הגידול המורכב של שונית האלמוגים. כשטמפרטורת המים עוברת סף מסוים, האצות נפגעות ונפלטות אל מחוץ לרקמת האלמוג ומותירות אותה שקופה, דבר אשר חושף את שלדו הלבן. אירוע הלבנה שנמשך לאורך זמן עלול להוביל למוות נרחב של אלמוגים בשונית. חלק ממיני האלמוגים עלולים למות תוך זמן קצר בעוד שאחרים מגלים עמידות טובה יותר אך גם הם עלולים למות ככל שאירוע ההלבנה מתמשך וככל שתדירותם של אירועים מסוג זה עולה. תופעה זו, שתועדה לראשונה בשנות השמונים, הופכת תכופה וחמורה יותר ומתרחשת כיום במרבית השוניות בעולם. עם זאת, על פי קבוצת מדענים, רובם אוסטרלים, שפרסמו את טענותיהם ב[מאמר](#) שהתפרסם בכתב העת Nature האלמוגים על להגן מנת על כיום שימוש נעשה שבהן השיטות Ecology & Evolution – כגון שיפור איכות המים בסביבת השוניות והטלת מגבלות על דיג – אינן יעילות מספיק. לטענתם, גם אם יעדי הסכם פריז יתממשו, וכדור הארץ לא יתחמם ביותר מ-1.5 מעלות צלזיוס עד סוף המאה ה-21, זה לא יהיה מספיק כדי לעצור את הלבנת האלמוגים. מדענים אלה מציעים דרכי פעולה אחרות להתמודדות עם המצב. דרך אחת כזאת נקראת evolution Assisted ("אבולוציה נתמכת"): אוסף שיטות לברירה מלאכותית על ידי האדם של מיני אלמוגים שעמידים יותר בטמפרטורות הגבוהות שבשוניות. זאת בדומה לשיטה שנפוצה בעולם החקלאי, שבמסגרתה בני אדם מכליאים צמחים או בעלי חיים על מנת שהדור הבא יהיה בעל תכונות מסוימות, כמו למשל צמחים שעמידים בפני

מזיקים. דרך פעולה שנייה היא flow gene Assisted ("זרימת גנים נתמכת"): העברת אלמוגים בוגרים או תוצרי רבייה של אלמוגים שיכולים להתמודד עם טמפרטורות גבוהות לאזורים שאלמוגים מתים בהם, כך שהגנים של העמידות לחום יהיו נפוצים גם באזורים אלה. בשלב מתקדם הרבה יותר, מציעים המדענים להשתמש בביולוגיה סינתטית. כלומר, ליצור או לשנות מרכיבים ישירות בגנום של האלמוגים על מנת שיהיו עמידים יותר. יש לציין שהמדענים מציעים להשתמש בשיטות האלה במקביל לשיטות שקיימות כיום, ולא במקומן.

עלויות אסטרונומיות

ההצעות שהועלו במאמר, מטבע היותן שנויות במחלוקת, עוררו סערה בקרב מדענים בתחום, כולל מדענים ישראליים שכצפוי דואגים גם לגורל [האלמוגים המקומיים](#). "אנחנו מנהלים ויכוחים רבים בעניין הזה", אומר פרופ' מעוז פיין מהפקולטה למדעי הים באוניברסיטת בר אילן והמכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת. בראש ובראשונה, מומחים שונים מזהירים שעלולים להיות קשיים טכניים רבים בביצוע השיטות שמועלות במאמר, עובדה שגם כותביו מכירים בה. קושי מרכזי אחד, שמאפיין תהליכים של ברירה מלאכותית, הוא שכאשר תכונה רצויה מתחזקת בצאצאים - פעמים רבות תכונות חשובות אחרות נעלמות בתהליך או לא מותאמות למצב החדש של החיה או הצמח. דוגמאות רבות לכך ניתן למצוא בגזעי כלבים שנוצרו על ידי האדם וסובלים מ**מבעיות בריאותיות**. עמידות לתנאי חום היא תכונה שחשובה לאלמוגים בתנאי הסביבה המשתנים, אבל האלמוג זקוק גם לתכונות רבות אחרות על מנת לשרוד, כמו יכולות תקשורת, ותכונות אלה עלולות להיפגע בברירה מלאכותית. בנוסף, הצעדים שמוצעים במאמר ידרשו זריעה מחדש של אלפי קילומטרים של שוניות אלמוגים, דבר שמהווה אתגר טכני משמעותי. גם אם הזריעה תצליח, האלמוגים שהוזזו ממקומם עלולים שלא להתאים לתנאים השונים באזור החדש שהם הועברו אליו, ועקב כך למות. מעבר לכך, כשמעבירים אלמוגים למיקום חדש - גורמים מזיקים עלולים לעבור ביחד איתם, והם עלולים לפגוע בסביבה החדשה. [התערבויות שכאלה בטבע יוצאות פעמים רבות משליטה](#), ויש לזכור שכל אלמוג הוא מרכיב בסיסי במערכת אקולוגית שלמה, מלאה בפרטים שמקיימים יחסי גומלין בינם לבין עצמם, ויש להתחשב בה כשמזיזים אלמוג

בעתיד ניתן יהיה ליצור או לשנות מרכיבים ישירות בגנום של האלמוגים, על מנת שיהיו עמידים יותר. תצלום: nylund linus פעולות קיצוניות כמו אלה שמוצעות במאמר כרוכות פעמים רבות גם בעלויות אסטרונומיות. העלויות של פעולות שחזור שוניות אלמוגים שמתבצעות כיום מגיעות ל**מיליוני דולרים לכל הקטאר** (עשרת אלפים מטרים רבועים), כששטח שוניית המחסום **ממקלה אלמשל שואתעל אתפן קהקטאר**. הערכות גסות לעלויות הצעדים שמוצעים במאמר מגיעות אף ל**עשרות מיליארדי דולרים**. מעבר לכל השיקולים המעשיים, אי אפשר להתעלם מהסוגיות המוסריות שעולות מההצעות שבמאמר. האם זה נכון שמדענים יתערבו בצורה בוטה כל כך בטבע? האם שוניות האלמוגים שיווצרו עקב צעדים כאלה יהיו "טבעיות" בכלל? השאלות המוסריות האלה ישפיעו בוודאי גם על התגובה הציבורית להצעות האלה, אם יתממשו.

להתמקד בבעיה האמיתית

בין אם השיטות האלה ייושמו ובין אם לא, חשוב לזכור שהן לא מהוות מענה לגורם

שבגללו האלמוגים נמצאים במצוקה מלכתחילה: שינוי האקלים. "קודם כל צריך להביא את התנאים בים למצב שמעודד גידול של אלמוגים במקום תמותה שלהם, כלומר להפחית את פליטות גזי החממה כדי שהטמפרטורה תרד או לפחות תפסיק לעלות וכדי לעצור את [החממת האוקיינוסים](#)", אומר פיין. לדעתו, חשיבותן של השיטות שמוצעות היא מדעית בלבד. "בעיניי זה חשוב מאוד שיהיה לנו את השיטות האלה, מבחינה מדעית הן מקדמות את ההבנה שלנו לגבי רגישויות שונות של אלמוגים, אבל להגיד שזה הפתרון? אני לא מקבל את זה בשום פנים ואופן". מעבר לכך, פיין חושש שהצעות כאלה אף יפגעו במאבק להצלת האלמוגים, בכך שהן יגרמו למקבלי ההחלטות להפחית בחשיבות המאבק בשינוי האקלים. "לדעתי זו טעות לזרות מלח בעיני מקבלי ההחלטות ולומר להם שיש פתרונות לבעיות הקיימות. ברור לכולנו שקודם כל צריך להפחית את פליטות גזי החממה, ובמקביל להסיר הפרעות מקומיות לשוניות, כלומר להעלות את העמידות של האלמוגים בפני השינויים הגלובליים האדירים האלה. אני לא רוצה לתת למקבלי ההחלטות שום תקווה אחרת שאפשר לפתור את זה עם קסמים".