

נגה סטמבלר

המגמה לביולוגיה וביוטכנולוגיה ימית, המחלקה למדעי החיים, קמפוס אילת, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב; סטמבלר יעוץ מדעי

עדי לוי

האגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה

גד וייס

המחלקה למדעי הצמח והסביבה, האוניברסיטה העברית בירושלים

גידי לוי

המחלקה למניעת מפגעים ורישוי סביבתי, חברת החשמל

דן-רובין מילר

המעבדה לאקולוגיה אקוטיית ואוקיאנוגרפיה ביולוגית, הפקולטה למדעי החיים, אוניברסיטת בר אילן

טל קדוש

בית הספר למדעי הים, המרכז האקדמי רופין

תומר בורובסקי

שירות ההדרכה והמקצוע, משרד החקלאות ופיתוח הכפר

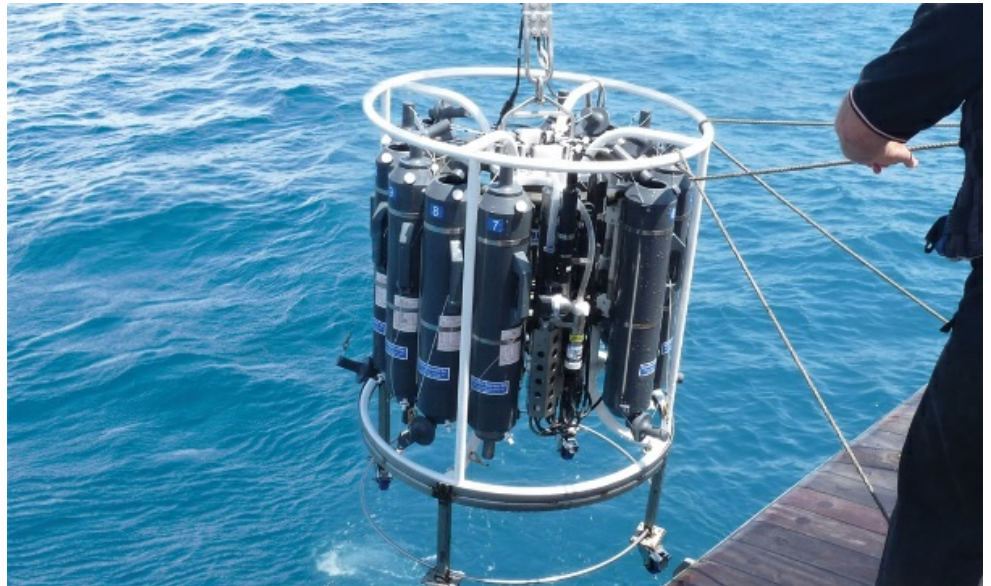
אלה אלסטר

המעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל

מאמר זה עבר שיפוט עמיתים

ציטוט מומלץ

סטמבלר נ, לוי ע, וייס ג ואחרים. 2018. פריחות של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים בסביבה הימית והסיכונים מהן. אקולוגיה וסביבה 9(1).



דגימת מי הים הפתוח במפרץ חיפה, מאי 2012. צבעם הכחול של המים מלמד על מיעוט חומרי הזנה במים ועל ריכוזי מיקרו-אצות נמוכים. מתקן הדגימה ('רוזטה') כולל בקבוקים לדגימת מי הים ומכשור למדידת לחץ (עומק), טמפרטורה, מליחות וריכוזי כלורופיל | צילום: נגה סטמבלר

פריחות של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים בסביבה הימית והסיכונים מהן

30 באפריל, 2018

גיליון אביב 2018 / כרך 9(1)

[סקירות](#)

על קצה המזלג

- מיקרו-אצות וחיידקים כחולים נמצאים כל העת בגופי המים של ישראל. בתנאי סביבה מתאימים תפתח פריחה, שעלולה לגרום לקריסת המערכת האקולוגית. חלק מהפריחות שעשויות להתפתח הן של מינים רעילים, שעלולים לפגוע באורגניזמים ימיים ואף בבני אדם.
- תדירות התפתחות הפריחות, היקפן והנזק הכלכלי מהן עלולים להתגבר בעקבות שינויים במפלס המים (למשל בכינרת), או בכמות בעלי החיים הניזונים מהאצות, שינוי האקלים ודישון יתר של גידולים ביבשה ובחקלאות הימית שמביא להעשרה בחומרי הזנה.
- יש להעמיק את הידע בדבר גורמי התפתחותן של פריחות מיקרו-אצות וחיידקים כחולים תוך התמקדות בתנאי סביבה וזיהוי טקסונומי ומולקולרי של המינים הרעילים ושל הרעלנים.
- יש להגביר את הניטור הסביבתי של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים בכלל השטח הימי של מדינת ישראל (כולל מפרץ אילת) ובפרט באזורים הקרובים לחוף, באזורים שקיבלו היתרי הזרמה, ובשטחן של שמורות ימיות.

המערכת

תקציר

מיקרו-אצות וחיידקים כחולים (ציאנובקטריה) המייצרים ומפרישים רעלנים, מצויים בגופי מים בישראל וברחבי העולם. התפתחות פריחות של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים, כלומר עלייה בריכוזם, יכולה להוביל לקריסה של כל המערכת האקולוגית, ולעיתים לפגוע בבריאות האדם. שינויים מקומיים, גלובליים, שינוי אקלים וכן לחצים הנובעים מפעילות האדם עשויים להוביל לפריחה של המיקרו-אצות והחיידקים הכחולים כולל פריחה של מינים רעילים. במאמר זה מובאת סקירה של ספרות המחקר בנושא פריחות ומינים רעילים של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים בעולם ובארץ. המאמר נועד להעביר את הידע העדכני בנושא תוך דגש על הצורך במעקב רציף ובניטור כולל אחר פריחות ופריחות רעילות. בניטור מתבצע זיהוי מינים של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים, ונקבע ריכוזם בגופי המים תוך התייחסות לתנאי הסביבה. המעקב כולל זיהוי מיקרוסקופי, שימוש בחישה מרחוק, שיטות מולקולריות וזיהוי רעלנים. בכל גופי המים של ישראל מצויים מיני מיקרו-אצות וחיידקים כחולים רעילים, ולעיתים מתרחשות פריחות של מינים רעילים ושאנים רעילים שיש להם פוטנציאל לנזק סביבתי. בכינתר מבוצע ניטור מקיף לאורך עשרות שנים, בעוד שבים התיכון יש כיום ניטור חלקי, ובמפרץ אילת אין כלל ניטור מסוג זה. כדי למנוע פריחות רעילות יש לפעול להקטנת ההפרעה לסביבת גופי המים ולהפחתת המזהמים המוזרמים אליהם. כדי להבין את המערכת ולאפשר חיזוי של פריחות והתמודדות איתן מומלץ לבצע מעקב רציף תוך זיהוי מיני המיקרו-אצות והחיידקים הכחולים בכל גופי המים של ישראל.

גילוי נאות: עבודתה של הכותבת נגה סטמבלר כיועצת מדעית נעשית, בין השאר, בתחום של ניטור מיקרו-אצות וחיידקים כחולים בסביבה המימית.

מיקרו-אצות, חיידקים כחולים ופריחות

מיקרו-אצות מהמערכות השונות, כדוגמת צורניות (Diatom), דינופלגלטים (Dinoflagellate) וירוקיות (Chlorophyta), וחיידקים כחולים (Cyanobacteria), ציאנובקטריה, שבעבר כונו אצות כחוליות) הם יצרנים ראשוניים המבצעים פוטוסינתזה, מקבעים פחמן דו-חמצני ומשחררים חמצן אל המים ומשם אל האטמוספירה. כ-45% מהיצרנות הראשונית העולמית מתבצעת בים [14]. היצרנים הראשוניים עומדים בבסיס מארג המזון וקובעים את בריאות המערכת האקולוגית המימית (aquatic). נוסף על כך, לחלק מהחיידקים הכחולים חשיבות גדולה בקיבוע חנקן אטמוספרי והפיכתו לחנקן זמין ביולוגית. למיקרו-אצות ולחיידקים הכחולים חלק משמעותי במעגלי ביוגאוכימיים [14] והם מקור לכימיקלים שונים ולביומסה המשמשת מזון לבעלי חיים ולבני האדם. זאת ועוד, מיקרו-אצות וחיידקים כחולים הם סמן סביבתי המעיד על איכות מקור המים ועל שינויים המתרחשים בו. מטרת מאמר זה היא הצגת המתרחש כיום בעולם ובארץ וריכוז הידע בנושא פריחות ופריחות רעילות של פייטופלנקטון (יצרנים ראשוניים, אצות וחיידקים כחולים, בגוף המים שהם חסרי תנועה נגד הזרם).

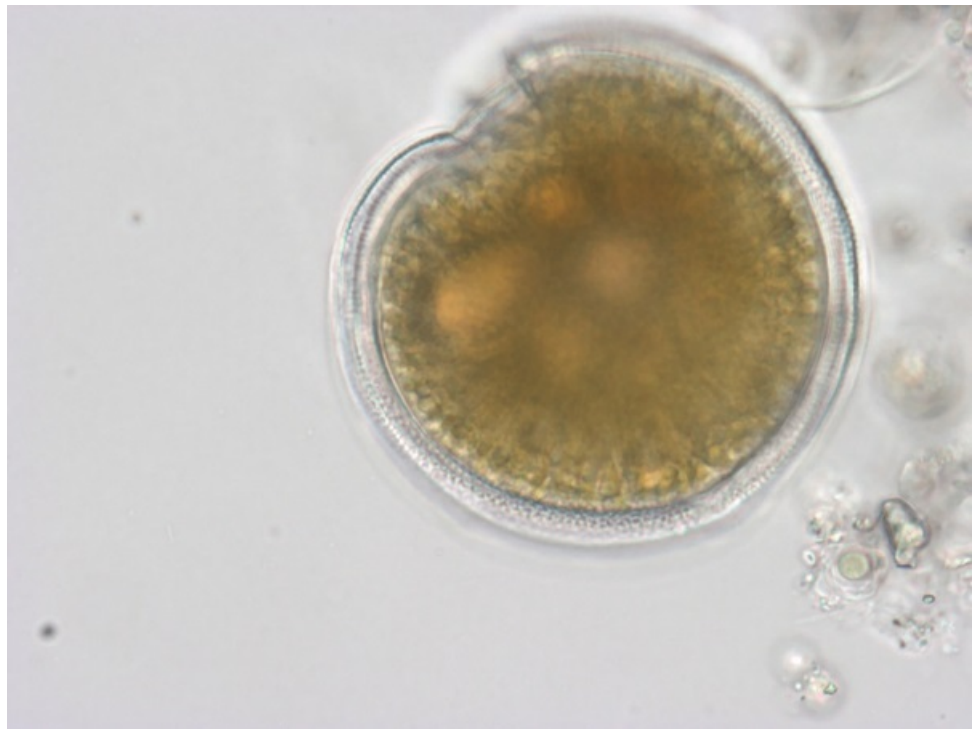
מהי פריחה?

פריחה של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים היא עלייה מהירה בריכוז של מין מסוים או של מספר מינים. הפריחה מזיקה כאשר מדובר בריכוזים גבוהים (ממיליון תאים לליטר עד מאות מיליוני תאים לליטר, כתלות במין) [27]. עבור בני האדם, הפריחה מייצגת סיכון לשתיה מריכוז של 20 מיליון תאים לליטר [13]. לעיתים מתייחסים לפריחה גם כאשר מדובר בהופעה של מיני מיקרו-אצות וחיידקים כחולים שמכילים רעלנים (טוקסינים) כשהם בריכוזים נמוכים (אלפי תאים לליטר), מאחר שהרעלנים מסכנים את הסביבה הימית [27, 19]. פריחות מזיקות של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים (Harmful Algal Bloom, HAB) מובילות לפגיעה ישירה או עקיפה במערכת האקולוגית המימית. הפריחות עלולות לגרום לתמותה של דגה, סרטנים וצדפות, ואף לנזקים לבריאותם של בני אדם הנחשפים למים בשעת הפריחה או ניזונים מבעלי חיים ימיים או מימיים שנחשפו לפריחות. כ-300 מיני פייטופלנקטון נחשבים כיוצרי פריחות, ומתוכם רבע ידועים כמינים רעילים. בקבוצת המינים המזיקים או הרעילים נכללים בעיקר דינופלגלטים, צורניות וחיידקים כחולים. פריחות של מיני דינופלגלטים גורמות למים להיצבע בצבע אדום ולכן נקראות "red tide". כיום המונח משמש סלנג לציון פריחות רעילות ללא קשר לצבע הפריחה או למין האצה [19, 17].

הצורך בניטור מיקרו-אצות וחיידקים כחולים

חופי ישראל, אך גם הים הפתוח, הכולל את המים הטריטוריאליים ואת האזור הכלכלי הבלעדי (EEZ) של ישראל, חשופים ללחצי פיתוח גדולים ולהשפעות שמקורן בפעילות אנושית (אנתרופוגניות). באזור החופי: זיהומים מקומיים בחומרי הזנה (דשנים, נוטריינטים) ממקור יבשתי; השפעות של תמלחת ההתפלה; פליטת מי קירור מתחנות כוח ובניית מעגנות ונמלים חדשים. בים הפתוח ובאזור הכלכלי הבלעדי: הלחצים הנובעים מקידוחים לחיפוש גז ונפט; הקמת אסדות קידוח וטיפול בהן; הפקת גז ונפט; הנחת צנרת הובלה; הנחת כבלי תקשורת. כל אלה חוברים לשינוי האקלים שבימים אלה נדמה שקצבו מואץ ביחס לתחזיות. בשלושת העשורים האחרונים חלה עלייה של 3°C בטמפרטורת המים בים הפתוח, כמעלה בעשור, והמלחה של מי הים בכ-0.05 בעשור, וההנחה היא שהתהליכים יימשכו [4]. ההתמקדות בבעלי חיים גדולים, כגון דולפינים וצבי ים, איננה מספיקה, ואנו חייבים לזכור כי בבסיס המערכת האקולוגית עומדים היצרנים הראשוניים. ההכרה בצורך לחקור את מגוון המינים של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים ולעקוב אחריו נעשתה בשנים האחרונות מובנת מאליה בעולם כולו, כיוון שפריחות רעילות מתרחשות כיום בעולם בתדירות הולכת ועולה, ומשביתות את התיירות, הדיג והחקלאות הימית באזורים שונים.

בגופי המים של ישראל ניתן למצוא נוכחות בריכוזים נמוכים של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים רעילים [7], ופריחות נרחבות שלהם נצפו בים התיכון, במפרץ אילת, בכינרת ובנחלים. שינויים סביבתיים ביוטיים ואביוטיים הכוללים שינויים בפזיקה ובכימיה של המים, עלולים להוביל לעלייה בריכוז המיקרו-אצות והחיידקים הכחולים. למרות זאת, ולמרות הצפי לעלייה במספר הפריחות הרעילות, שיכולות להוביל לתמותה של דגה ולנזקים כלכליים ובריאותיים לבני אדם, נושא זה אינו נמצא בראש סדר העדיפויות של מדענים, אנשי סביבה וקובעי מדיניות, ואנו מבקשים להעלותו למודעות.



Jacob Larsen - דינופלגט שוכן קרקעית ממפרץ אילת. רחבו 75 מיקרון | צילום: Jacob Larsen

הגורמים האפשריים לפריחה

מיקרו-אצות וחיידקים כחולים היוצרים פריחות מזיקות מצויים כמעט בכל הסביבות המימיות, כולל מים מתוקים, מים מליחים ומי ים. פריחה יכולה להתפתח בעקבות שינויים אביוטיים וביוטיים. השינויים האביוטיים כוללים זיהומים, עלייה בריכוז חומרים אורגניים, שינויים בטמפרטורת המים, במליחות מי הים, בעוצמת האור, בערך ההגבה (רמת חומציות, pH), בשיכוב עמודת המים ובזרמים במים, וכן העשרה בחומרי הזנה ברוב המקרים. בים הפתוח ובאזורים בקרבת החוף חנקן נחשב לגורם המגביל, שההעשרה בו מובילה לפריחת מיקרו-אצות. בים התיכון

ההגבלה היא של חנקן וזרחן, בעוד שבמים מתוקים העשרה בזרחן היא זו שתוביל לפריחה. העלייה בריכוז חומרי ההזנה (חנקן, זרחן) מובילה לעלייה בריכוזים ובביומסה של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים, לרוב עם דומיננטיות של מין בודד או קבוצה מסוימת. קיים קשר בין התגברות השפעות האדם באזורים החופיים, למשל העלאת ריכוזי חומרי ההזנה בגלל מקורות של שפכים או של גידולים חקלאיים בים וביבשה, לבין פריחות בכלל ופריחות רעילות בפרט [19, 17].

נכחות אורגניזמים נוספים, כגון טורפים, וירוסים וחיידקים, שהמיקרו-אצות והחיידקים הכחולים מנהלים איתם יחסי גומלין מורכבים בגוף המים, קובעת את צפיפותם [23]. השינויים הביוטיים שייתכן שיובילו לפריחה כוללים ירידה בכמות בעלי החיים הניזונים מהמיקרו-אצות ומהחיידקים הכחולים, לחץ טריפה גבוה יותר על זנים לא רעילים או בעלי רעילות נמוכה והימנעות מהזנים בעלי הרעילות הגבוהה. כל אלה עשויים לעצב את אוכלוסיית המיקרו-אצות והחיידקים הכחולים בעת הפריחה. גם פריחות אחרות יכולות להשפיע על פריחת חיידקים כחולים, למשל בכירת פריחת מיקרוציסטיס (Microcystis) מושפעת מפריחת פרידיניום (Peridinium gatunense) וסנדסמוס (Scenedesmus) [15]. חדירה של מינים פולשים יכולה לשנות את הרכב החברה של המיקרו-אצות והחיידקים הכחולים ולהביא להתפתחות פריחה.

הנזקים מפריחה ומהעלייה בריכוז הרעלנים

ביומסה גדולה של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים או הפרשה גבוהה של רעלנים למים מובילות לפגיעה בסביבה המימית – בצומח, בבעלי חיים ובני אדם. הפגיעה באדם היא ישירה בחשיפה למים המכילים את הרעלנים או דרך צריכת מזון ממקור ימי. פריחת מיקרו-אצות וחיידקים כחולים, אפילו אם אינה של כאלה שמייצרים רעלנים, משמעה ביומסה גדולה, והיא עלולה להוביל לפגיעה במארג המזון [17].

עלייה בפריחת המיקרו-אצות מובילה לעכירות של המים ולהצללה (פחות אור חודר לעומק המים), והן משפיעות על מיקרו-אצות, על עשבי ים ועל אלמוגים המקובעים לקרקעית. הפריחה מובילה גם לירידה בריכוז החמצן במים במהלך הלילה עקב נשימת המיקרו-אצות והחיידקים הכחולים (ביום קצב שחרור החמצן בפוטוסינתזה גבוה מקצב צריכתו לנשימה). ישנן פריחות גורמות נזק לזימים, נזק המוביל להפרשת ריר (mucus) מוגברת, ובעקבות זאת לסתימת הזימים ולפגיעה ביכולת קליטת החמצן של דגים וצדפות, דבר שעלול להסתיים במותם מחנק [17].

בזמן פריחה, קצב האכילה של בעלי חיים צמחוניים (grazing) נמוך, שכן במקרים רבים דגים אינם ניזונים מהמינים שהופכים לדומיננטיים. המינים הפורחים מתחרים עם המינים האחרים על חומרי ההזנה ועל האור, ולעיתים אף משחררים חומרים אללופתיים (המזיקים ליצורים אחרים אך אינם מזיקים ליצור שמשחרר אותם) שפוגעים באוכלוסיות המיקרו-אצות המקומיות.

קריסה של פריחה

התפתחות ביומסה גדולה של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים במהלך פריחה מסתיימת בקריסה פתאומית של הפריחה, שנובעת לרוב ממחסור בחומרי הזנה או בחמצן או מפעילות וירוסים. הירידה בחמצן תיתכן עקב מספר גורמים: א. צריכת חמצן לנשימה של המיקרו-אצות והחיידקים הכחולים במהלך הלילה; ב. עלייה בצפיפות הזואופלנקטון (הניזונים ממיקרו-אצות וחיידקים כחולים) שצורכים חמצן; ג. תהליכי פירוק של החומר האורגני (המיקרו-אצות והחיידקים הכחולים). הקריסה מותירה כמות גדולה של חומר אורגני במים, הנצרך על-ידי חיידקים הצורכים את החמצן המומס במים. המחסור החמור בחמצן בעקבות הקריסה יוצר אזורים ללא חמצן בגוף המים, דבר המוביל למותם של בעלי חיים נוספים [17]. הקריסה גורמת גם לשחרור רעלנים מתוך התאים, כמו המיקרוציסטיין. שחרור המיקרוציסטיין מוביל במשלב חיובי ליצירה מוגברת של הרעלן בתאים סמוכים [16].



צבעם הכחול של המים במעגן סמוך לשדות ים מלמד על מיעוט מיקרו-אצות בהם בגלל מגבלת חומרי הזנה. יוני 2015 | צילום: נגה סטמבלר

עלייה בריכוז רעלנים

אינטראקציות בין אורגניזמים, כדוגמת יחסי טורף נטרף, יחסי תחרות וסימביוזה, יכולות להוביל להפרשת כימיקלים רעילים בחלק מהמינים. הכימיקלים יכולים לשמש לתקשורת בין-תאית וגם כמטבוליטים שניוניים. כימיקלים רעילים אלה נקלטים על-ידי אורגניזמים מימיים כגון צדפות, המסננים מים לצורך תזונתם. הרעלנים מצטברים בגופם, והם מעבירים אותם הלאה במארג המזון. במקרים מסוימים הרעלנים משפיעים רק על חלק מהמינים, במקרים אחרים הם יביאו לתחלואה ולתמותה של חלק גדול מאוכלוסיית המינים שנחשפו אליהם, כולל צדפות, דגים, כלבי ים, מנטות, צבים, ואף בני אדם, בעיקר דרך צריכה של מאכלים מן הים. [בטבלה 1](#) מוצגים נזקים שמיקרו-אצות וחיידקים כחולים גורמים לאדם.

העשרה בחומרי הזנה, כגון חנקן וזרחן, יכולה להוביל לעלייה בהשפעת הרעילות של מיני מיקרו-אצות וחיידקים כחולים בשני תרחישים: א. עלייה בביומסה של כלל המיקרו-אצות. אומנם החלק היחסי של המיקרו-אצות הרעילות בתוך החברה לא משתנה, אך הביומסה הכללית שלהן עולה, ולכן יהיו יותר רעלנים במים; ב. דומיננטיות של מינים רעילים. תרחיש זה הוא התרחיש הסביר יותר. נדגיש שפריחות רעילות יכולות להיות פריחות של מיקרו-אצות רעילות מאוד, כמו *Dinophysis sp.* גם כשריכוזן במים נמוך יחסית (אפילו פחות מאלף תאים לליטר) ^[27].

נוסף על העלייה בחומרי הזנה, תנאים מסוימים עשויים להוביל לעליית זנים רעילים על פני זנים אחרים: למשל, עקה חמצונית (oxidative stress) תוביל ליצירה מוגברת של הרעלן מיקרוציסטין אצל החיידקים הכחולים. מיקרוציסטינים הם קבוצה של חומרים בעלי מבנה דומה. למיקרוציסטין תפקיד מרכזי בהגנה על החיידקים הכחולים, והפרשתו למים על-ידי תאים מתמוטטים מידעת את האוכלוסייה שלפחות חלק מהתאים מצויים בעקה. בעקבות זאת מתבצעת הפעלה של גנים המעורבים בעמידות לעקה. פעילויות אלה של המיקרוציסטין מעלות את הסברה שפעילותו כרעלן היא התפתחות אבולוציונית מאוחרת ולא תפקידו הביולוגי העיקרי, בעוד שאצל מיני מיקרו-אצות וחיידקים כחולים אחרים יש לרעלנים תפקיד הגנתי כנגד טורפים ומתחרים.

טבלה 1. מיקרו-אצות וחיידקים כחולים רעילים והפגיעות שהם גורמים לבני אדם (19, 20, 21)

הרעלן	שם הסוג והמין של המיקרו-אצה / החיידקים הכחולים הרעילים	סוג הפגיעה
Anatoxins	<i>Anabaena</i> spp., <i>Aphanizomenon</i> spp., <i>Planktothrix</i> spp., <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> , <i>Oscillatoria</i> spp.	מניעה במערכת העצבים
Apiysiatoxin	<i>Lyngbya</i> spp., <i>Schizothrix</i> spp., <i>Oscillatoria</i> spp.	מניעה בעור
Azspirazids	<i>Azadinium spinosum</i>	הרעלת מעיים מצדמות Azaspiracid poisoning (AZP)
BMAA β-Methylamino-L-Alanine	<i>Nostoc</i> spp., <i>Microcystis</i> spp., <i>Anabaena</i> spp., <i>Aphanizomenon</i> spp., <i>Nodularia</i> spp.	מניעה במערכת העצבים
Brevetoxins	<i>Karenia brevis</i> , <i>Chattonella</i> spp.	מניעה במערכת העצבים והנושימה Neurotoxic shellfish poisoning (NSP)
Ciguatoxins Maitotoxins	<i>Gambierdiscus</i> spp.	הרעלה מדגים הנושעים בסיגואטרה Ciguateric fish poisoning (CFP)
Cylindrospermopsin	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> , <i>Anabaena</i> spp., <i>Aphanizomenon</i> spp., <i>Raphidiopsis</i> spp., <i>Oscillatoria</i> spp., <i>Lyngbya</i> spp., <i>Umezakia</i> spp.	מניעה בכבד
Domoic acids	<i>Pseudo-nitzschia</i> spp., <i>Nitzschia navisvirvingica</i> , <i>Amphora coffeaeformis</i>	מניעה בשיכרון Amnesic shellfish poisoning (ASP)
Lyngbyatoxins	<i>Lyngbya</i> spp.	מניעה בעור Dermatotoxicity (DTT)
Lypopolysaccharide	<i>Synechococcus</i> spp., <i>Microcystis</i> spp., <i>Anacystis</i> spp., <i>Oscillatoria</i> spp., <i>Schizothrix</i> spp., <i>Anabaena</i> spp.	מניעה בעור
Microcystins	<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Microcystis botrys</i> , <i>Anabaena</i> spp., <i>Anabaenopsis</i> spp., <i>Aphanizomenon</i> spp., <i>Planktothrix</i> spp., <i>Oscillatoria</i> spp., <i>Phormidium</i> spp.	מניעה בכבד, טרטן
Nodularnis	<i>Nodularia spumigena</i> , <i>Nostoc</i> spp.	הרעלת כבד Hepato-toxicity (HPT)
Okadaic acid Dinophysis toxins	<i>Dinophysis</i> spp., <i>Prorocentrum</i> spp.	הרעלת מעיים מצדמות Diarrhetic shellfish poisoning (DSP)
Saxitoxins	<i>Anabaena</i> spp., <i>Aphanizomenon</i> spp., <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> , <i>Lyngbya</i> spp., <i>Planktothrix</i> spp., <i>Raphidiopsis</i> spp., <i>Trichodesmium erythraeum</i>	מניעה במערכת העצבים (עד שיחוק)
Saxitoxins and saxitoxin derivatives	<i>Alexandrium</i> spp., <i>Gymnodinium catenatum</i> , <i>Pyrodinium bahamense</i> var. <i>Compressum</i>	שינוק מהרעלת צדמות Paralytic shellfish poisoning (PSP)

טבלה 1

מיקרו-אצות וחיידקים כחולים רעילים והפגיעות שהם גורמים לבני אדם (19, 20, 21)

נזקים כלכליים

באזורים חופיים פריחות מובילות לפגיעה בסביבה שיכולה להתבטא בנראות – צבע, עכירות או קצף שאינם רעילים – או בהימצאותם של רעלנים. פריחות שכוללות גם הפרשת רעלנים למים עלולות לגרום דרישה להימנעות מחשיפה למים או לרסס הגלים, ועל כן להשביח כליל פעילות תיירותית בחוף ופעילות דיג בחוף. לכך מתלווה כמובן פגיעה כלכלית בעוסקים בענפים אלה. הנזק הכלכלי הנובע מפריחות מיקרו-אצות וחיידקים כחולים בסביבה הימית עצום, ובארה"ב לבדה פריחות גורמות לנזק ממוצע של כ-85 מיליון דולר בשנה. באירופה לעומת זאת, הנזק השנתי חוצה את ה-850 מיליון דולר. פריחות כאלה במים מתוקים גורמות לנזק של כ-5 מיליון דולר בשנה בארה"ב ושל כ-150 מיליון דולר באוסטרליה ובבריטניה [17, 11]. המורכבות הרבה של תופעת הפריחה וההשפעות ההדדיות של הגורמים המעורבים בה, מגבילות באופן ניכר את היכולת לחזות את היווצרותה של פריחה בכלל ופריחה רעילה בפרט, ובכך מדגישות את הצורך לעקוב באופן תדיר אחר אוכלוסיות המיקרו-אצות וחיידקים הכחולים.

זיהוי פריחות ומינים רעילים

הצורך להבין את הבסיס המדעי להתפתחות פריחות מחייב זיהוי, ניטור ומחקר, שיאפשרו להקטין את תדירות

הפריחות ועוצמתן ולהפחית את הנזקים לסביבה ולאורגניזמים השונים. כאשר מזהים התפתחות של פריחה ניתן להתריע ולסגור חופים ואזורים שלמים לרחצה ולדיג, ולהוציא מהמים בעוד מועד בעלי חיים הגדלים בחקלאות ימית או לנקוט צעדים להגנה על בעלי חיים מוגנים. כמו כן, ניתן להתריע מפני שתיית מים מתוקים שהתפתחו בהם מיקרו-אצות וחיידקים כחולים רעילים. זיהוי מינים מתבצע בשטח או בדוגמאות הנבדקות במעבדה. הדגימה בשטח יכולה להיות ידנית או אוטומטית, רציפה או תקופתית.



פריחת מיקרו-אצות במעגן הדיג בנחל הקישון, מאי 2009. הפריחה מתאפשרת בגלל רמות גבוהות של חומרי הזנה | צילום: נגה סטמבלר

זיהוי של פריחה של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים יכול להיעשות במספר רמות (ראו [נספח 1](#)): א. זיהוי של עלייה בריכוז במים של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים; ב. זיהוי מינים רעילים של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים בריכוזים נמוכים ובריכוזים גבוהים; ג. זיהוי של רעלנים ספציפיים בגוף המים.

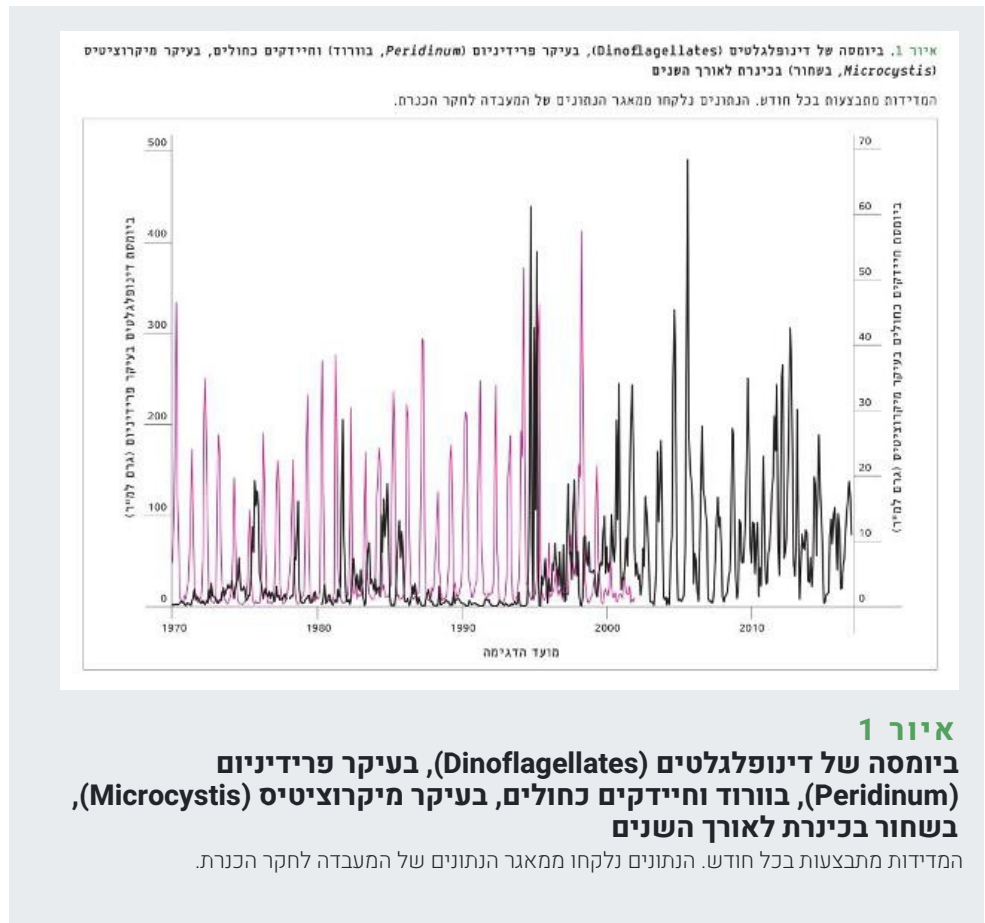
פריחות ומיני מיקרו-אצות וחיידקים כחולים רעילים בישראל

הכינרת

בכינרת יש מגוון של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים שחלק מהם יוצרים פריחות ומיעוטם רעילים ([נספח 2](#)). למיני הפיטופלנקטון בכינרת השפעה מכרעת על איכות מי הכינרת, והרכב מיני הפיטופלנקטון הוא סמן ראשוני ליציבות המערכת האקולוגית ^[32].

שינויים שחלו במהלך השנים בביומסה של דינופלגלטים, בעיקר פרידיניום (*Peridinium gatunense*), מוצגים באיור 1. פריחה של מיקרו-אצות בכינרת היא אירוע חוזר מדי שנה. בין השנים 1969–1995 פרחה הפרידיניום בכמויות גדולות באביב, בין פברואר למאי ^[31,32,33]. מאז 1995 הפריחות של הפרידיניום נדירות ולא סדירות, אף על פי שגם ב-2003 וב-2004 הייתה ביומסה גבוהה של פריחות פרידיניום. פריחת אביב מתרחשת בעקבות עלייה בזמינות חומרי הזנה, שמתרחשת בגלל שילוב של עמודת מים מעורבלת וטמפרטורות נוחות. הפריחה קורסת בתחילת הקיץ כאשר ריכוז חומרי הזנה יורד ונעשה גורם מגביל, וטמפרטורת המים עולה. השינויים האקולוגיים – בכמות המשקעים השנתית, בכמות הנגר העילי מאגן החולה וברום מפלס מי הכינרת – שמביאים לשינויים בזמינות חומרי הזנה, במליחות, בטמפרטורה ועוד, הם הגורם העיקרי לאי-סדירות בפריחה האביבית של הפרידיניום. כמו כן, תחרות עם מיני מיקרו-אצות וחיידקים כחולים מגבילה את הפריחה, לדוגמה באמצעות הפרשת חומרים אללופתיים

על-ידי החיידקים הכחולים מיקרוציסטיס (*Microcystis spp.*) שמעכבים את גידול הפרידניום [30].



משנת 1995 הפריחות בכינרת הן בעיקר של מינים אחרים מקבוצות שונות, והן מתרחשות לרוב בשנים גשומות מאוד. הפריחות נצפו לאורך השנים ללא עקביות ברורה. המיקרו-אצה הירוקית *Mougeotia sp.* פרחו ב-2005, ב-2010 וב-2014 [32], הצורנית *Aulacoseira granulate* פרחו בחורף בשנים שונות מ-1982, ולאחרונה ב-2007 [32]. שינויים בפריחות של חיידקים כחולים (בעיקר מיקרוציסטיס) מוצגים באיור 1, שמראה את התעצמות הפריחה ואת העלייה בתדירותה בשנים האחרונות. יש לציין שהביומסה של פריחת דינופלגלטים גדולה בהרבה מהביומסה בעת פריחת חיידקים כחולים, אולם החיידקים הכחולים שפורחים הם מינים רעילים. הפריחה הרעילה הראשונה של החיידקים הכחולים מסוג אפינוזומנון תועדה ב-1994. בשנים האחרונות חלה עלייה בשכיחותן של פריחות חיידקים כחולים רעילים כדוגמת האפינוזומנון, המופיעות לרוב בחודשי הקיץ-סתיו כאשר טמפרטורות המים מעל 27 מעלות צלזיוס, אז ישנה ירידה בריכוזי חנקן אי-אורגני מומס (DIN), המקנה יתרון לחיידקים כחולים שמקבעים חנקן אטמוספרי. גם עלייה במליחות מי הכינרת (עקב מיעוט בגשמים) יוצרת תנאים טובים להתפתחות אפינוזומנון [3]. נוסף על כך, מיקרוציסטיס פורחים בחורף, ופריחתם הנרחבת בשנת 2016 הובילה להמלצה שלא לשחות במי הכינרת בתקופה זו [איור 1]. גם החיידקים הכחולים מהמין *Cylindrospermopsis raciborskii* מופיעים בכינרת מין זה ידוע בעולם כרעיל, אולם הזן בכינרת אינו רעיל [9]. באופן כללי, הירידה בזמינות כלל הפוספט המומס וכלל החנקן המומס בשילוב עם עלייה באלקליניות, בחומציות (pH) ובמליחות הן הגורמים לעלייה בריכוזי החיידקים הכחולים בכינרת. הפריחות הנרחבות של החיידקים הכחולים בשנים 1994 ו-2005 לא גרמו לתמותה של דגים, בעוד ברחבי העולם נרשמו בעקבות פריחות דומות תמותות של דגים בכמויות גדולות.

לסיכום, בכינרת יש פריחות שחלק מהן רעילות, והגורמים לפריחות ולשינויים בהן כוללים: א. תנודות במפלס – הגדלת טווח ניווד המפלסים של הכינרת בעקבות שנים גשומות יותר או פחות ושאיבת מים מהכינרת – המתבטאת כאמור בשינוי במליחות, בערבול עמודת המים, בשינוי בטמפרטורת המים ובשינוי בריכוזי חומרי ההזנה, ב. קיטון באוכלוסיית הדגים הניזונים ממיקרו-אצות – ירידה בכמות הדגים הכוללת ובפרט באמנון הגליל, בעקבות דיג ובעקבות מחסור באזורי מסתור להטלה לדגים עקב ירידת המפלס; ג. שינויים הידרולוגיים באגן ההיקוות עקב הצפת שטחי הכבול בעמק החולה (האגמון); ד. כניסת חומרי הדברה לאגם [32].

המגוון הביולוגי של המיקרו-אצות והחיידקים הכחולים מנוטר בכינרת משנת 1969 על-ידי המעבדה לחקר הכנרת (חקר ימים ואגמים)^[32] ניטור זה צריך לשמש בסיס ודוגמה לניטור הים התיכון ומפרץ אילת.

נחלים

בנחלי הארץ נצפות לעיתים פריחות של מיקרו-אצות. פריחות בנחלים מתרחשות לרוב באביב ובקיץ כשטמפרטורת המים אינה קרה, וכן לאחר אירועי זיהום משמעותיים. הפריחות מושפעות ככל הנראה מההעשרה הגבוהה בחומרי הזנה הנגרמת בגלל הזרמת שפכים ומי ביוב מטופלים. פריחה כזו של המין מיקרוציסטיס (*Microcystis aeruginosa*) שפורח גם בכינרת, התרחשה לאחרונה בנובמבר 2016 בנחל אלכסנדר. חלק מהגנוטיפים של מין זה הם רעילים. הפריחה התרחשה לאחר אירוע זיהום חמור בנחל, שנגרם עקב הזרמת שפכים ועקר (תוצר לוואי של תעשיית שמן הזית) שהביא לתמותת דגים נרחבת במורד הנחל.

בחלקו המלוח של נחל קישון מנוטר ריכוז המיקרו-אצות והחיידקים הכחולים ניטור עונתי באופן קבוע החל בשנת 2002. גוף המים מועשר בחומרי הזנה שמקורם במפעלים הסמוכים לנחל ובחקלאות הפזורה באגן ההיקוות של הנחל, והם מובילים לפריחת מיקרו-אצות מוגברת בקיץ. בתקופה זו עולה בשעות היום ריכוז החמצן המומס במים לערכי על-רוויה בעקבות פוטוסינתזה מוגברת, ובלילה יורדים ערכי החמצן לריכוז נמוך, עד כדי חוסר חמצן (anoxia), בשל נשימה תאית של האורגניזמים.

בפתח הקישון נמצאו במהלך השנים מינים בעלי פוטנציאל רעיל בריכוזים נמוכים עד גבוהים (תאים בודדים עד אלפים לליטר) ובהם הדינופלגלטים *Dinophysis caudata* sp., *Alexandrium* והמין *Heterosigma cf. akashiwo* מה-Raphidophyceae. קיימות מגמת ירידה בכמות פריחת המיקרו-אצות בנחל הקישון וכן עלייה במגוון המינים, הנובעות מהפחתה בעומס חומרי הזנה המזורמים לנחל במהלך השנים^[6].

בנחל הירקון לא מבוצע ניטור של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים, וזאת אף על פי שבירקון יש ריכוזים גבוהים של חומרי הזנה, כולל ריכוז זרחן גבוה היוצר יחסי זרחן-חנקן גבוהים, דבר שעשוי לעודד פריחה של חיידקים כחולים מקבעי חנקן^[8].

עומסי המזהמים בנחלי הארץ עלולים להוביל לפריחת מיקרו-אצות וחיידקים כחולים בנחלים עצמם וכן בים התיכון ובכינרת שהנחלים נשפכים אליהם, ולכן ניטורם צריך להיות חלק מהניטור הקבוע המתבצע בהם.

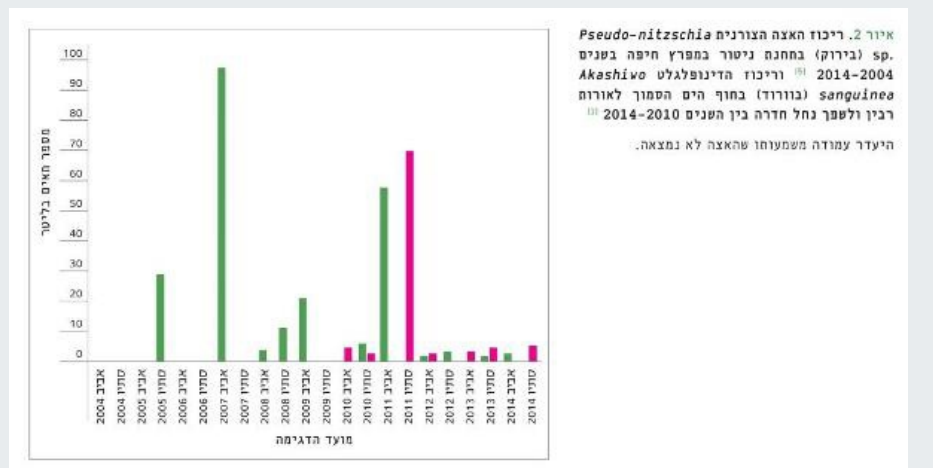
הים התיכון

שמירה על ריכוזי חומרי הזנה נמוכים בים התיכון חיונית כדי למנוע פריחה של מיקרו-אצות מזיקות. מקור חומרי הזנה המרכזי של מזרח הים התיכון היה במשך שנים רבות נהר הנילוס. סכירת הנילוס בשנות ה-60 של המאה ה-20 בסכר אסואן הובילה לכך שכיום אזור זה מוגדר כדל ביותר בחומרי הזנה (ultra oligotrophic). למרות זאת, קיימת העשרה בחומרי הזנה מהיבשה בעקבות הזרמת שפכים לים (לעיתים גם בהיתר של המשרד להגנת הסביבה) וסחיפה של קרקע ודשנים חקלאיים אל הים עם הנגר העילי. בעקבות כניסת חומרי הזנה ממקורות אלה אל הים נוצרים לעיתים ריכוזים מקומיים גבוהים יותר ממה שהיו לפני סכירת הנילוס^[22]. באזורי ההזרמה טרם הפיזור בים הפתוח רואים בביורו עלייה בריכוזי הכלורופיל. עלייה משמעותית נוספת של חומרי הזנה עלולה להוביל גם לפריחה של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים רעילים^[12].

בים התיכון נצפו לאורך השנים פריחות, בעיקר של מינים השייכים למיקרו-אצות מקבוצת הדינופלגלטים אך גם לצורניות וחיידקים הכחולים^[4,5,7,24]. בכל הדגימות הלאומיות שנערכו במסגרת הניטור הלאומי וכן בדגימות המקומיות נמצאו במי הים ריכוזים נמוכים של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים רעילים. רשימת המינים שנמצאו בניטורים שונים בים התיכון מוצגת בנספח 2 על פי שיוכם הטקסונומי. לא ידוע על פריחות שגרמו נזק משמעותי לאדם או לדגה. הימצאותם של פרטים ממינים רעילים ומינים שעשויים לפרוח ולגרום נזק כללי ובריאותי לסביבה מחייבת מעקב רציף אחר ריכוזם וכן צמצום ההפרעות לסביבה, כדוגמת העשרה בכמות גדולה של חומרי הזנה שעלולה לגרום לפריחתם. יש לציין שבתנאים הדלים במיוחד בחומרי הזנה, הקיימים במזרח הים התיכון, באזורים שהריכוז הכולל של מיקרו-אצות נמוך, אורגניזמים כגון דגים וצדפות, הניזונים מן היצרנים הראשוניים, צריכים לסנן כמויות גדולות של מים כדי לצרוך כמות מספקת של חומרי מזון. לכן, בתנאים כאלה גם ריכוזים נמוכים יחסית של תאים רעילים עלולים להיות מתורגמים לריכוזים משמעותיים של רעלנים המצטברים אצל סרטנים, דגים, צדפות ואחרים הניזונים מהם, וחלק מהם עלול להיצרך על-ידי בני אדם.

רוב הפריחות הלא רעילות שנצפו בישראל מתרחשות בקרוב לחופי הארץ, באזורים הסמוכים לשפכי הנחלים

שמובילים איתם אל הים דשנים שנשטפו מקרקע חקלאית ולעיתים גם שפכים גולמיים. בעבר (2012) נצפתה פריחה של מיקרו-אצה לא רעילה, הצורנית *Asterionellopsis glacialis*, במפרץ חיפה, והופעתה שויכה לטמפרטורות נמוכות ששררו באותה התקופה. מיקרו-אצה זו נפוצה בכל העולם ומצויה בחופי ישראל לרוב בריכוז נמוך. המקרה המתועד היחידי של פריחת מיקרו-אצה רעילה בישראל אירע במפרץ חיפה בשנת 1993. באירוע זה פרחו דינופלגלטים מהמין *Karenia brevis* המכילים רעלן בשם Brevetoxin. רעלן זה מוכר בעולם כגורם לתמותה משמעותית של דגים רבים וכגורם המסכן את החקלאות הימית. בצפיפות ובריכוז של המיקרו-אצות הרעילות בים התיכון ובמפרץ חיפה חלים שינויים עונתיים וכן שינויים התלויים בתנאי הסביבה. באיור 2 מוצגת דוגמה לריכוזן של מיקרו-אצות רעילות שנמצאות בחופי ישראל. האחת *Pseudo-nitzschia* (במפרץ חיפה), משתייכת לצורניות, והשנייה *Akashiwo sanguinea* (בחדרה) לדינופלגלטים. ניתן לראות שינויים בריכוזן בין השנים, וחלק מהם ניתן לקשר לשינויים עונתיים. בכל מקרה, עד היום לא נצפו פריחה נרחבת שלהן או נזק מהימצאותן במי הים.



איור 2
ריכוז האצה הצורנית *Pseudo-nitzschia* sp. (בירוק) בתחנת ניטור במפרץ חיפה בשנים 2004 – 2014^[5] וריכוז הדינופלגלט *Akashiwo sanguinea* (בזרוד) בחוף הים הסמוך לאורות רבין ולשפך נחל חדרה בין השנים 2010 – 2014^[1]

היעדר עמודה משמעותו שהאצה לא נמצאה.

מיקרו-אצות וחיידקים כחולים רעילים נמצאים לפחות חלק ממחזור חייהם גם בקרקעית. אף על פי כן, קיימים מחקרים מעטים שבדקו נוכחות מיקרו-אצות רעילות במשקע. במחקר שבדק את המשקע במפרץ חיפה נמצאו מיקרו-אצות רעילות מסוגים שונים (*Scripsiella acuminata*, *Alexandrium minutum*, *Gymnodinium*)^[26] (*uncatenatum*, *Lingulodinium polyedrum*, *Akashiwo sanguinea*). הימצאותן בקרקעית המפרץ ובמי המפרץ מחייבת מעקב צמוד, בייחוד לנוכח ההעשרה בחומרי הזנה מנחל הקישון והפעולות הרבות הקשורות להרחבת הנמל באזור זה. לאחרונה נצפתה פריחה של החיידקים הכחולים *Trichodesmium* בעקבות שפך ביוב לים התיכון באזור חיפה^[24].

באופן מצער, במקום להגביר את ניטור המיקרו-אצות והחיידקים הכחולים בים התיכון נוכח נתוני העבר והצפי העולמי לפריחת, יש בשנים האחרונות הפחתה בניטור.

כדי להקטין את עומס חומרי ההזנה והזיהום שמגיעים לים יש לדאוג לטיפול מיטבי בשפכים לאורך כל השנה, שיקטין את עומס החומר האורגני ואת ריכוז חומרי ההזנה בסביבה החופית. כמו כן, יש להימנע מהטמנה של בוצה קרוב לחופי הארץ, לתת עדיפות להורמה של תמלחות ומי קירור לעומק הים תוך שימוש במפזרים (דיפוזרים) במתקני התפלה ובתחנות כוח, ולהימנע ככל הניתן מהזרמה ישירה לחוף. אשר לחקלאות הימית המתוכננת לאורך חופי הים התיכון של ישראל, יש להעדיף מיקום חוות דגים שאינן סמוך לחוף, בעומק מים העולה על 30 מטר ושאינן מעל מצע סלעי. מיקום כזה יאפשר פיזור מהיר יותר של שאריות המזון וחומרי ההזנה שהדגים מפרישים.

מפרץ אילת

במפרץ אילת לא דווח עד כה על פריחות של מיקרו-אצות רעילות, אולם מדי מספר שנים מדווח על פריחות של החיידקים הכחולים^[25] *Trichodesmium* שיש להם פוטנציאל לייצור רעלים. בפברואר 2017 נצפו במכון הבין-אוניברסיטאי באילת בבריכת מי ים זרמים מיקרו-אצות רעילות שוכנות קרקע שונות (*Gambierdiscus*, *excentricus*, *Gambier-discus* sp., *Prorocentrum hoffmannianum*, *Prorocentrum* cf. *borbonicum*, *Coolia* sp., *Ostreopsis* cf. *ovata*, *Amphidinium carterae*, *A.* cf. *operculatum*, *Bysmatrum* sp [לריסו, 2017]). יש להביא בחשבון, גם בהיערכות הלאומית, את העובדה שבמפרץ אילת נמצאו מיקרו-אצות רעילות. נכון להיום, לא מתבצע ניטור מיני מיקרו-אצות במפרץ אילת.

הצורך בהרחבת המעקב אחרי מיקרו-אצות וחיידקים כחולים

בשנים האחרונות התדירות והעוצמה של פריחות רעילות בעולם והטווח הביוגיאוגרפי שלהן נמצאים בעלייה^[17,18]. לדוגמה, ב-1970 דווח על 13 פריחות ש-7 מתוכן בחוף המערבי של אמריקה הצפונית, ואילו ב-2015 נצפו כ-126 פריחות ברוב חופי העולם^[10]. הסיבות לכך מורכבות, אך בחלק מהמקרים הן קשורות להשפעות האדם, וכוללות העתרה (איטרופיקציה – העשרה בחומרי הזנה), שינויים בבתי גידול, כניסה של מינים חדשים לסביבה (מינים פולשים) ואף שינוי אקלים^[17].

שינוי האקלים העולמי צפוי להוביל בעתיד לעלייה בשכיחות, בתדירות ובעוצמה של פריחות רעילות בעולם וייתכן שגם בישראל. אומנם לא ניתן למנוע פריחות רעילות, אך שנים של מחקרים וניטור עולמי הובילו להבנה וליכולת חיזוי של פריחות אלה. פריחות רעילות הן תופעה כלל-עולמית המחייבת התייחסות גם ברמה הלאומית באמצעות מחקרים, ניטור וחיזוי, במטרה להקטין את שכיחותן. נתונים בזמן אמת על מיקרו-אצות וחיידקים כחולים ועל הרעלים שלהם חיוניים לצורך בניית מודלים של חיזוי פריחות^[21]. הקטנת ההפרעות לסביבה – הפחתת שטף חומרי הזנה והמזהמים האחרים המוזרמים לים סמוך לחוף; הימנעות מהזרמות ביוב גולמי לים גם באירועי קיצון; הפחתת כמות טיהור השפכים הביתיים והתעשייתיים המוזרמים לים בהיתר והעלאת איכותם – עשויה להפחית את הסיכוי להיווצרות פריחות רעילות של מיקרו-אצות וחיידקים כחולים בעתיד. מידע מדויק ורציף על תנאי הסביבה ומיני המיקרו-אצות והחיידקים הכחולים המצויים בגופי המים של ישראל יאפשר לבצע הערכות אסטרטגיות ולקבוע את פוטנציאל הסיכוי לפריחות רעילות ואת הסיכונים מהן.

תודות

ד"ר יעקב לרסן, למרכז הישראלי לחקר הים התיכון, ליוזמה הישראלית לטקסונומיה, למרכז קרן המסלי לחקר הים התיכון בקיבוץ שדות ים.

הלכה למעשה

ד"ר דרור צוראל, מרכז מדעי לניטור ומחקר בים, היחידה הארצית להגנת הסביבה הימית, המשרד להגנת הסביבה:

המשרד להגנת הסביבה מכיר היטב את הסיכונים ממיקרו-אצות רעילות בים. הרכב חברת המיקרו-אצות בים התיכון מנוטר על-ידי המכון לחקר ימים ואגמים לישראל במסגרת תוכנית הניטור הלאומי בהנחיית המשרד ובמימונו, במקביל למעקב לווייני אחר ריכוזן לאורך החוף. ניטור זה לא רק שלא צומצם, אלא הורחב לאחרונה לאזור הכלכלי הבלעדי (EEZ). פריחות חריגות בחופים נדגמות על-ידי מפקחי היחידה הארצית להגנת הסביבה הימית, והדגימות מועברות למכון לחקר ימים ואגמים לזיהוי. משנת 2012 מנוטר הרכב חברת המיקרו-אצות והחיידקים הכחולים במפרץ אילת במסגרת הניטור הלאומי של מפרץ אילת. כמו כן, הרכב חברת המיקרו-אצות מנוטר גם כחלק מתוכניות הניטור הנדרשות במסגרת היתרי ההזרמה לים. באתרים שהניטור הרב-שנתי של פרמטר זה לא העיד על בעיה או שנמצא כלא יעיל לצורך בחינת השפעת ההזרמה על הים, הניטור אכן בוטל.

מקורות

1. אברמזון כ ושפיר ו (עורכים). 2016. ניטור הסביבה הימית והחופית אתר תחנות הכח "אורות רבין" H2ID מתקן להתפלת מי ים דו"ח לשנת 2015. חברת חשמל.
2. גל ג. 2016. [פריחה ולא מהסוג הטוב](#). זווית. 25.2.2016.
3. הדס א, קפלן א, רימר א וסוקניק א. 2011. חדירה והתבססות של ציאנובקטריה (אצות כחוליות) מסדרת ה Nostocales בכנרת. *חדשות הכנרת* **32**: 5–8.
4. חרות ב, שפר ע, גורדון נ ואחרים. 2015. תכנית הניטור הלאומית של ישראל בים התיכון דו"ח מדעי ל-2013/14. חקר ימים ואגמים. דוח חיא"ל H21/2015.
5. מידר א, ארז י, לזר ב וסטמבלר נ. 2016. ניטור ימי במפרץ חיפה ע"י המפעלים המזרימים קולחים תעשייתיים לנחל הקישון ולים. דו"ח מסכם 2015. מוגש ע"י סינפסה בע"מ להתאחדות התעשיינים.
6. נסים ש וקובליו ר. 2015 דו"ח מסכם לשנת 2015 רשות נחל הקישון.
7. סוקניק א וגורדון נ. 2014. אצות ובקטריות כחוליות (Cyanobacteria) רעילות בסביבה הימית והימית של ישראל. בתוך: סטמבלר נ (עורכת ראשית). הוד הים – יציבות ושינוי במערכות הימיות של ישראל. הוצאת העמותה הישראלית למדעי הים.
8. רז י. 2016. נחל הירקון דוח מצב 2015/6 המערכת האקולוגית, איכות המים, ממשק ותחזוקה. רשות נחל קישון.
9. Alster ARN, Kaplan-Levy A, Sukenik A, and Zohary T. 2009. Morphology and phylogeny of a non-toxic invasive *Cylindrospermopsis raciborskii* from a Mediterranean Lake. *Hydrobiologia* **639**: 115–128.
10. Anderson DM and Richlen ML. 2017. [Distribution of HABs throughout the World. Harmful Algae](#). U.S. National Office for Harmful Algal Blooms.
11. Bernard S, Kudela R, and Velo-Suarez L. 2014. Developing global capabilities for the observation and prediction of harmful algal blooms. In: Djavidnia S, Cheung V, Ott M, and Seeyave S (Eds). *Oceans and society: Blue planet*. Cambridge Scholars Publishing.
12. Efrati S, Lehahn Y, Rahav E, et al. 2013. Intrusion of coastal waters into the pelagic eastern Mediterranean: In situ and satellite-based characterization. *Biogeosciences* **10**: 3349–3357.
13. EPA. 2015. [Cyanobacterial Harmful Algal Blooms in Water](#).
14. Falkowski PG and Raven JA. 2007. *Aquatic photosynthesis*. Princeton University Press.

15. Harel M, Weiss G, Lieman-Hurwitz J, et al. 2013. Interactions between *Scenedesmus* and *Microcystis* may be used to clarify the role of secondary metabolites. *Environmental Microbiology Reports* **5**: 97-104.
16. Kaplan A, Harel M, Kaplan-Levy RN, et al. 2012. The languages spoken in the water body (or the biological role of cyanobacterial toxins). *Frontiers in Microbiology* **3**: 1-11.
17. Kudela RM, Berdalet E, Bernard S, et al. 2015. Harmful Algal Blooms. A scientific summary for policy makers. IOC/UNESCO, Paris (IOC/INF-1320).
18. Kudela RM, Berdalet E, Enevoldsen H, et al. 2017. GEOHAB – The Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms Program: Motivation, goals, and legacy. *Oceanography* **30**(1):12–21.
19. Lassus P, Chomérat N, Hess P, and Nézan E. 2016. Toxic and harmful microalgae of the world ocean. International Society for the Study of Harmful Algae/Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Denmark. IOC manuals and guides **68**.
20. Lone Y, Koiri RK, and Bhide M. 2015. An overview of the toxic effect of potential human carcinogen Microcystin-LR on testis. *Toxicology Reports* **2**: 289-296.
21. McPartlin DA, Loftus JH, Crawley AS, et al. 2017. Biosensors for the monitoring of harmful algal blooms. *Current Opinion in Biotechnology* **45**: 164-169.
22. Nixon S. 2003. Replacing the Nile: Are anthropogenic nutrients providing the fertility once brought to the Mediterranean by a great river? *Ambio* **32**: 30-39.
23. Paerl HW and Otten TG. 2013. Blooms bite the hand that feeds them. *Science* **342**(6157): 433-434
24. ahav E and Bar-Zeev E. 2017. Sewage outburst triggers *Trichodesmium* bloom and enhance N₂ fixation rates. *Scientific Reports* **7**: 4367.
25. Rubin M, Berman-Frank I, and Shaked Y. 2011. Dust- and mineral-iron utilization by the marine dinitrogen-fixer *Trichodesmium*. *Nature Geoscience* **4**: 529-534.
26. Rubino F, Belmonte M, and Galil BS. 2017. Plankton resting stages in recent sediments of Haifa port, Israel (Eastern Mediterranean) – Distribution, viability and potential environmental consequences. *Marine Pollution Bulletin* **116**: 258-269.
27. Smayda TJ. 1997. What is a bloom? A commentary. *Limnology and Oceanography* **42**: 1132-1136.

28. Sanseverino I, Conduto D, Pozzoli L et al. 2016. Algal bloom and its economic impact; EUR 27905 EN; doi:10.2788/660478.
29. Santi Delia A, Caruso G, Melcarne L, et al. 2015. Biological toxins from marine and freshwater microalgae. In: Laganà P, Caruso G, Barone C, et al. (Eds). Microbial toxins and related contamination in the food industry. Cham: Springer International Publishing.
30. Sukenik A, Eshkol R, Livne A, et al. 2002. Inhibition of growth and photosynthesis of the dinoflagellate *Peridinium gatunense* by *Microcystis* sp. (cyanobacteria): A novel allelopathic mechanism. *Limnology and Oceanography* **47**: 1656-1663.
31. Sukenik A, Quesada A, and Salmaso N. 2015 Global expansion of toxic and non-toxic cyanobacteria effect on ecosystem functioning. *Biodiversity and Conservation* **24**: 889-908.
32. Zohary T, Yacobi Y Z, Alster A, et al. 2014. Phytoplankton. In: Zohary T, Sukenik A, Berman T, and Nishri A (Eds). Lake Kinneret: Ecology and management. Heidelberg: Springer.
33. Zohary T, Sukenik A, and Berman T. 2014. *Peridinium gatunense*. In: Zohary T, Sukenik A, Berman T, and Nishri A (Eds). Lake Kinneret: Ecology and management. Heidelberg: Springer.

נספחים (זמינים באתר)

נספח 1

[להורדה](#)

נספח 2. רשימת מינים היוצרים פריחות ומינים רעילים (שיכולים גם הם ליצור פריחות) הנמצאים בכינרת ובחופי הים התיכון בישראל

[להורדה](#)