



איור 2. צילום מקרוב של גבעולי קנה מצופים מושבות גליאוטריכיה, בקערת פלסטיק. צברי מושבות שנפלו מהקנה נמצאות על הקרקעית.



איור 1. גבעול של קנה שנמשה מהכינרת ובו חלקים כהים מכוסים במושבות גליאוטריכיה וחלקים בהירים ללא מושבות. צילומים: תמר זהרי

# גליאוטריכיה -

## כחולית מושבתית שנתגלתה לאחרונה בכינרת. מין פולש בהתפשטות?

### הקדמה

באוגוסט 2020 מצאנו באזור המים הרדודים בכינרת מושבות של מיקרוואצות מקבוצת הציאנובקטריה (כחוליות), ממין שלא נצפה בעבר. המושבות גדולות יחסית ולפיכך נראות גם בלי מיקרוסקופ, אך למרות זאת, לא דווח עליהן אף פעם בעבר. השם המדעי של כחולית זו - *Gloeotrichia pisum*. אין לה שם עברי ולכן אקרא לה גליאוטריכיה. מושבות הגליאוטריכיה הן בצבע חאקי, צמודות-מצע, וגדלות בעיקר על גבעולים של קנה מצוי (*Phragmites australis*) שטבולים במים בעקבות עליית מפלס האגם. קוטר מושבה בודדת מגיע לכחצי ס"מ. עם הזמן המושבות מתרבות ונעשות כל כך צפופות עד שהן מכסות את הענף במעטה חום-חאקי רצוף (איור 1), שמגעו חלקלק והוא מתקלף מהענף בלחיצה קלה (איור 2). באוגוסט וספטמבר 2020 התופעה הייתה כל כך נפוצה בדרום הכינרת עד שכמעט ולא ניתן היה למצוא שם גבעול קנה טבול במים ללא מעטה של מושבות של גליאוטריכיה. למי שלא יודע כי מדובר באצה כחולית - המראה נראה דוחה ומעורר תגובה מסוג: "מה זה הציפוי המגעיל הזה?". כתבה זו באה לתאר את התופעה ולסכם את המידע שנאסף עד כה על ידי צוות 'המעבדה לחקר הכינרת' של חקר ימים ואגמים לישראל' לגבי מין חדש זה של ציאנובקטריה. ננסה להבין האם הגליאוטריכיה עונה לקטגוריה של מין פולש, ואם כן - מהן ההשלכות למערכת האקולוגית של הכינרת וגם לנו, בני האדם.

### ד"ר תמר זהרי

המעבדה לחקר הכינרת, חקר ימים ואגמים לישראל

### תפוצה במרחב

קיץ 2020 התאפיין במפלס מים גבוה, כזה שלא נראה בכינרת מאז 2003. עקב עליית המפלס הוצפו חופי הכינרת, על צמחיית הקנה והאשל הצפופה והמאסיבית שהתפתחה בהם במהלך שנות המפלסים הנמוכים. גליאוטריכיה נראתה לראשונה במקרה, ב-8 באוגוסט 2020, על



איור 3. נוף אופייני של קנה מוצף בכינרת (בקדמת התמונה), 3 בספטמבר 2020. בנוף כזה מצאנו את מושבות הגליאוטריכיה הצמודות לגבעולי קנה, בחלק התחתון שלהם הקרוב לקרקעית, בדרום הכינרת, אך לא בצפונה.

גבעולי קנה, טבולים במים הרדודים בין אוהלו לשפך הירדן בדגניה, במהלך חתירה בקיאק. בהמשך נמצא שהיא מאכלסת בעיקר את החלק התחתון הקרוב לקרקעית של גבעולי הקנה המוצפים וכמעט לא נמצאת בחלק העליון הקרוב לפני המים של אותם גבעולים. למשל, באזור האי שמול קיבוץ מעגן, מצאנו שעל גבעולי קנה מושרשים במים שעומקם כארבעה מטרים, הגליאוטריכיה מצפה את הגבעולים בשני המטרים התחתונים שלהם, אך היא חסרה לגמרי בשני המטרים העליונים של הצמחים. מאידך, קורה שגבעולי הקנה נעקרים מהקרקע וצפים, יחד עם המושבות הצמודות אליהם. במקרים אלו מוצאים את המושבות גם בפני המים. במקרים בודדים מצאנו מושבות גליאוטריכיה גם על גבעולי אשל מוצפים, אך התופעה הייתה נדירה יחסית וצפיפות המושבות הייתה נמוכה.

בסקר סובב-כינרת שבוצע מסירה עם דייב קמינגס, ב-2-3 בספטמבר 2020, מצאנו שהמושבות נפוצות על גבעולי קנה שהוצפו במים עקב עליית המפלס המאסיבית בחורף שקדם לכך (איור 3), בכל החלק הדרומי של הכינרת, מחוף צינברי במערב, דרך צמח, ועד חוף שיזף במזרח. בחלק הצפוני של הכינרת, נראו מושבות בודדות באזור טבחה וגינוסר בלבד. ברוב החופים האחרים שנבדקו, משקמים שמדרום לטבריה ועד הבטיחה בצפון ושיזף במזרח, המושבות לא נמצאו כלל (איור 4). פרישה מרחבית כזו מתיישבת עם הדפוס המקובל של תנועת המים העליונים בכינרת בשתי "גירות" (gyres): גירה צפונית גדולה יותר בה למים תנועה כנגד כיוון השעון, גירה דרומית בה התנועה עם כיוון השעון, ויחסית מעט ערבוב בין שתי הגירות (איור 4). אם לפנינו מין חדש שהגיע לכינרת רק לאחרונה, אז נראה שהוא מוגבל בינתיים לגירה הדרומית של הכינרת, אך סביר שעם הזמן הוא יתפשט גם לגירה הצפונית.

#### תפוצה בזמן

במהלך חורף 2020/21 רוב צמחיית הקנה המוצף בכינרת נעלמה מהנוף - הסופות עקרו את הצמחים מהשורש, הם צפו, נרקבו, נסחפו ונערמו על החופים או לחילופין שקעו לקרקעית האגם. את מושבות הגליאוטריכיה המשכנו למצוא בדרום הכינרת כל עוד נמצאו בה גבעולי קנה מוצף - בנובמבר ודצמבר 2020, ובפברואר ובאפריל 2021. בעת כתיבת המאמר בסוף מאי 2021 כמעט ולא נותרו צמחי קנה חיים בכינרת, אך את הגליאוטריכיה ממשיכים למצוא על גבעולי קנה מתים שנמשים מקרקעית האגם.

#### מבנה מיקרוסקופי והגדרה טקסונומית

התבוננות בגליאוטריכיה בבינוקולר, בהגדלה של פי 50-80, הראתה שמדובר במושבה שצורתה צורת פונפון שנמחץ בצד שבו הוא דבוק למצע (איור 5). כמו פונפון העשוי מחוטים שמתכנסים בנקודה מרכזית אחת, מושבת הגליאוטריכיה בנויה מאוסף סיבים/חוטים ישרים או כמעט ישרים, שכל אחד מהם דבוק למרכז המושבה בקצה אחד בעוד הקצה האחר של הסיב חופשי. מבנה מושבה זה אופייני לסוג גליאוטריכיה. צורת פונפון מלא (לא מחוץ) אופיינית

**אם לפנינו מין חדש  
שהגיע לכינרת רק  
לאחרונה, אז נראה  
שהוא מוגבל בינתיים  
לגירה הדרומית של  
הכינרת, אך סביר שעם  
הזמן הוא יתפשט גם  
לגירה הצפונית**



למינים פלנקטוניים (שאינם צמודי מצע) של הסוג, כמו המין *Gloeotrichia echinulata* הנפוץ באגמים בצפון אירופה, למשל אגם ארקן בשוודיה ואגם לדוגה ברוסיה.

ד"ר אלה אלסטר בדקה וצילמה את מושבות הגליאוטריכיה בהגדלה גבוהה יותר (400x) במיקרוסקופ אור, ומצאה שכל סיב עשוי שרשרת תאים מאורכים בצורת צילינדר הדומים לזה לזה במראה, מלבד התא שבקצה הפנימי של הסיב, שהוא כדורי וקוטרו גדול מזה של יתר התאים באותו סיב (איור 6). תא זה, הנקרא heterocyst, הוא תא ייעודי לקיבוע חנקן שמאפיין מינים רבים של ציאנובקטריה מקבוצת ה-Nostocales, אליה שייכת הגליאוטריכיה. את המין שבכינרת ד"ר אלסטר הגדירה כ-*Gloeotrichia pisum* על סמך הספרות הטקסונומית המקצועית. הגדרה זו אומתה על ידי ריצוף ה-DNA שלו, עבודה שנעשתה על ידי ד"ר רות נ. קפלן-לוי. מין זה של גליאוטריכיה שנמצא בכינרת מוכר בספרות המדעית כאפיפיט, כלומר הגדל על צמחי מים, ממינים שונים.

### המיקרוביום של גליאוטריכיה

אם אתה חיידיק או מיקרואורגניזם זעיר אחר - המרחב שבין הסיבים הרבים שיוצרים את חצי הפונפון של גליאוטריכיה יהוו מעין יער עבות המשופע במסתור ומזון. ואכן, באמצעות כלים מולקולריים, ד"ר נעמה לנג'יונה מצאה מגוון עצום של רצפי DNA שמקורם במיקרואורגניזמים שונים שמאכלסים את מושבות הגליאוטריכיה. במושבת הגליאוטריכיה נמצא בין היתר DNA של מינים שונים של אצות, פטריות ואורגניזמים חד תאים אאוקריוטים אחרים, כמו גם מגוון רחב של חיידקים כולל ציאנובקטריה אחרות (חלקן אף בשכיחות גבוהה).

ביחד, מינים מיקרוסקופיים אלו מהווים מיקרוביום (microbiome) של המושבה. לפיכך, נראה שמושבת הגליאוטריכיה מהווה מעין מערכת אקולוגית בזעיר אנפין ובית גידול מורכב של מספר מינים.

### קיבוע חנקן

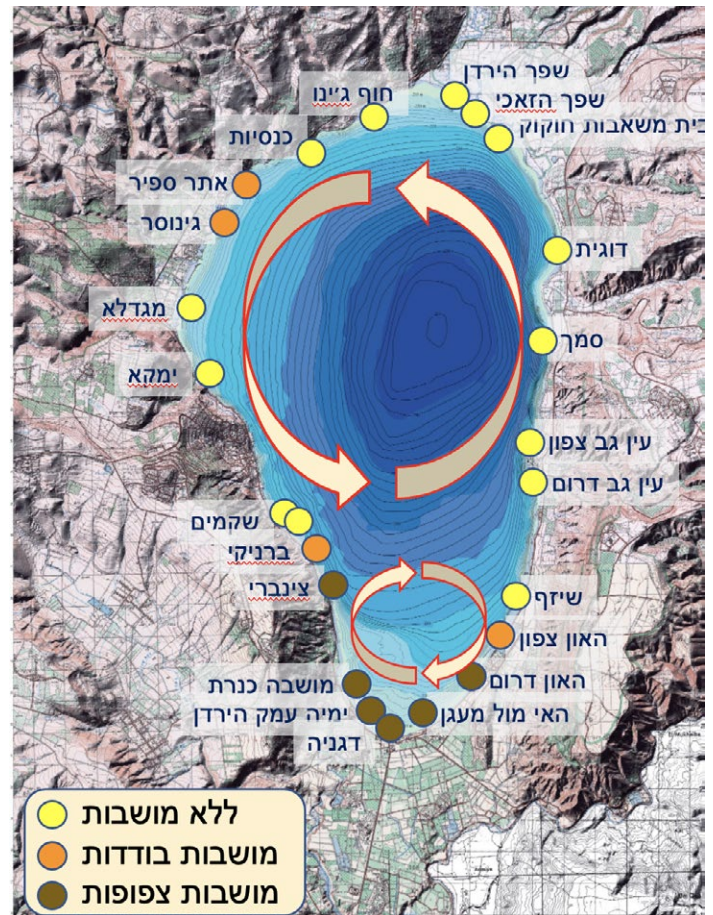
מינים שונים של הסוג גליאוטריכיה ידועים ביכולתם לקבוע חנקן אטמוספירי. מכיוון שמצאנו את תאי ההטרופיסט האופייניים למקבעי חנקן (איור 6), שערנו שלפנינו מין עם יכולת של קיבוע חנקן. יכולת זו מעניקה יתרון בתנאים של מחסור בחנקן מומס זמין במים, תנאים הטיפוסיים לשכבת המים העליונה בכינרת בחודשי הקיץ. ד"ר שירה ניניו וד"ר עכסה לופו ערכו אנליזה גנטית של מושבות הגליאוטריכיה על מנת לזהות מינים בעלי מערכת אנזימתית המאפשרת קיבוע חנקן אטמוספירי. נמצא שבמושבות שעל גבי הקנה קיים ערב רב של מיני חיידקים וכחוליות להם פוטנציאל לקיבוע חנקן אטמוספירי, ומינים אלה שונים מהמינים שנמצאים על גבי קנה ללא גליאוטריכיה. ואכן, במדידות של קצבי קיבוע חנקן שביצעו ד"ר זוהר פריימן וד"ר חמי רושנסקי במושבות גליאוטריכיה, נמצא כי בתנאי הרעבה לחנקן מתקיים במושבות אלה תהליך של קיבוע חנקן אטמוספירי. פעילות הקיבוע נובעת גם מפעילותם של תאי הגליאוטריכיה עצמם וגם מפעילותם של מיני מיקרואורגניזמים אחרים המתקיימים בתוך מושבות הגליאוטריכיה.

### רעילות

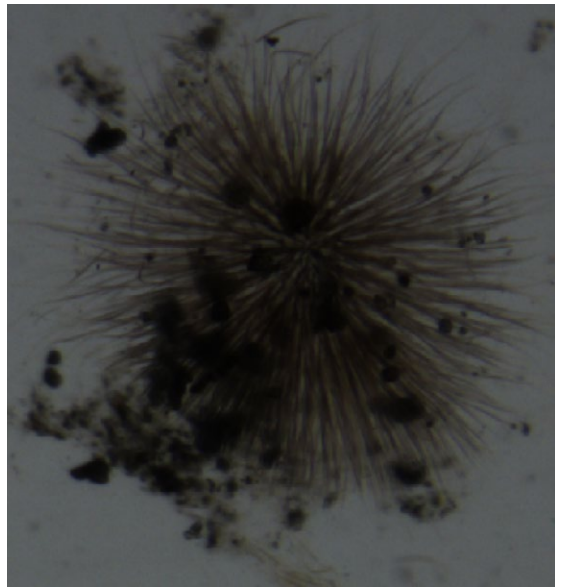
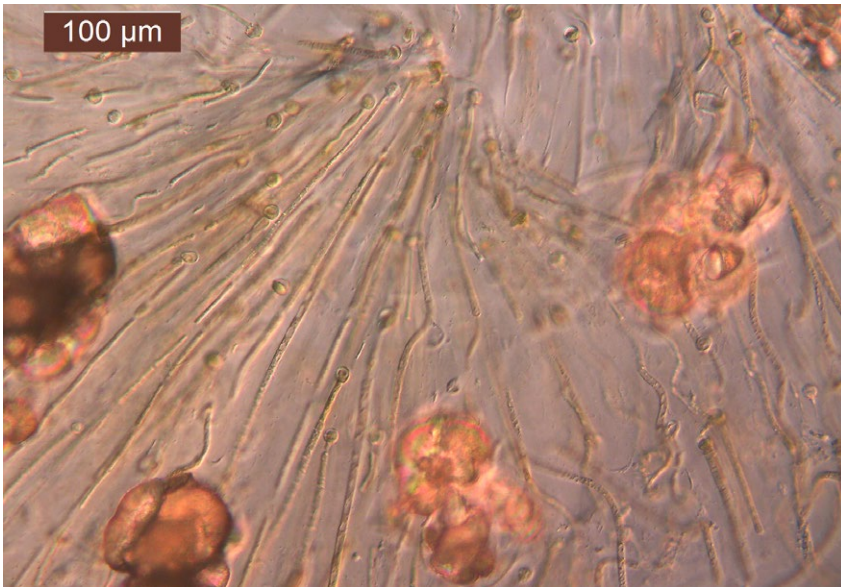
מהספרות המקצועית עולה האפשרות שמינים של הסוג גליאוטריכיה יכולים לייצר רעלנים מקבוצת המיקרוציסטינים. פרופ' אסף סוקניק וד"ר וינר-מוציני 'מהמעבדה לחקר הכנרת', בדקו את מושבות הגליאוטריכיה מהכינרת לנוכחות רעלנים מקבוצת המיקרוציסטינים וכן לנוכחות רעלנים מקבוצת הצילינדרוספרמופסטינים, בשיטות המקובלות בניטור כינרת. בדוגמאות לא נמצאו רעלנים ברמה שמעבר לסף הגילוי האנליטי. ד"ר רות נ. קפלן-לוי בודקת כעת אם במיקרוביום של גליאוטריכיה קיימים גנים לייצור הרעלנים צילינדרוספרמופסין ומיקרוציסטין, כלומר היא בודקת אם הפוטנציאל לייצור רעלנים קיים ויתכן שיתבטא בתנאים מסויימים.

### לסיכום

לא ידוע מה מקור הגליאוטריכיה. לא ידוע מתי ואיך הגיעה לכינרת. מין זה לא מוזכר במאמרים הבודדים שפורסמו על אוכלוסיית אצות הבנתוס או הפריפיטון בכינרת, וגם לא ברשימות



איור 4. מפה בטימטריה של הכינרת (באדיבות ד"ר גדעון טיבור, חי"ל) ועליה מסומנות 24 נקודות הדיגום בסקר לנוכחות מושבות גליאוטריכיה באתרים עם מקבצי קנה מוצף. הסקר בוצע מסירה ב-2-3 בספטמבר 2020. החיצים מסמנים את תנועת המים העליונים העיקרית בכינרת, נגד כיוון השעות בגירה (gyre) הצפונית הגדולה יותר ועם כיוון השעון בדרומית. בולטת העובדה שמושבות גליאוטריכיה מרוכזות בגירה הדרומית.



איור 6. מושבת גליאוטריכיה בהגדלת שמן אימריסה במיקרוסקופ ישר (ראו קנ"מ של 100 מיקרון). רואים כאן את מבנה הסיבים הארוכים, עם תא כדורי בראש כל סיב ובהמשכו תאים בצורת צילינדר צרים יותר. התא הכדורי הוא הטרוציסט ובו מתבצע קיבוע חנקן. בינות הסיבים רואים גם ארבעה גופים גדולים, אותם גבישים/אגרגטים לא מזוהים שהופיעו באיור 5. צילמה: ד"ר אלה אלסטר

איור 5. מושבת גליאוטריכיה בהגדלה 60 בבינוקולר, המראה את צורת הפונפון האופיינית לסוג זה, עם סיבים רבים שיוצאים מנקודה מרכזית אחת. הכתמים השחורים הם גבישים או אגרגטים שנתפסו בין הסיבים, הרכבם הכימי לא ידוע עדיין אבל נוכחותם אופיינית. שרון וורולקר צילמה: שרון וורולקר

מיני הציאנובקטריה של ישראל שפורסמו בעבר (Dor 1998, Nevo & Wasser 2000). בפרט, ברשימת המינים שפרסמה אינקה דור ב-1998 היא ציינה שהוסיפה לרשימה 69 מיני ציאנובקטריה שלא דווח עליהם בעבר, אך גליאוטריכיה לא הייתה כלולה ביניהם. כלומר, לא רק שהמין לא מוכר מהכינרת, הוא גם לא מוכר מישראל. לפיכך מסקנה מקדמית היא, שהגליאוטריכיה היא מין פולש שהגיע לאחרונה לכינרת, אם כי קיימת האפשרות החלופית שזהו מין מתפרץ, שהיה נדיר בעבר (ולכן לא תועד) ונעשה נפוץ מאוד לאחרונה עקב שינוי בתנאי הסביבה. כך או כך, גליאוטריכיה מצטרפת לשורת מינים אחרים שפלשו לכינרת בעשורים האחרונים, כמו ציאנובקטריה מקבעות חנקן אחרות, *Aphanizomenon ovalisporum*, *Cylindropermopsis raciborskii* וכמו החילזון הפולש *Thiara scabra*, שהתפשט בכינרת בשנים 2009-2010 ומאז הוא החילזון הדומיננטי באגם.

יתכן שתפסנו את הגליאוטריכיה בשלב מוקדם של התפשטותה, לפני שהגיעה לחלק הצפוני של הכינרת. אם כך הדבר, סביר שתגיע לשם בעתיד ותכסה גם שם כל גבעול טבול של קנה. מאידך, יתכן שהתנאים בגירה הצפונית פחות מתאימים ולכן אנו רואים את הגליאוטריכיה רק בדרום. אנו נותרים עם שאלות רבות שמצריכות מחקר המשכי: אם הגליאוטריכיה היא מין פולש, מאין הוא הגיע? האם בדרום האגם הגליאוטריכיה מוצאת תנאים עדיפים? אם כן, מה הם? האם גבעולי קנה הם המצע היחיד או המועדף להתפתחות הגליאוטריכיה? אם ישמר מפלס מים קבוע ולא ימצאו צמחי קנה טבולים בכינרת: האם העלמות הקנה תביא להעלמות הגליאוטריכיה? האם התפתחות גליאוטריכיה קשורה לפירוק גבעולי הקנה? האם יש בכינרת יצור שניזון ממנה? מה התרומה האפשרית של מין זה למערכת האקולוגית של האגם? סביר שגליאוטריכיה תישאר בכינרת בעתיד. ההשלכות לגבי המערכת האקולוגית עדיין לא ידועות. בגלל יכולת קיבוע החנקן סביר שהיא תתרום למאזן החנקן בכינרת. זהו דיווח מקדמי ועוד עבודת מחקר רבה לפנינו.

**תודות:** המחקר בוצע במימון חלקי מרשות המים.

**במידות של קצבי  
קיבוע חנקן שביצעו  
ד"ר זוהר פריימן וד"ר  
חמי רושנסקי במושבות  
גליאוטריכיה, נמצא כי  
בתנאי הרעבה לחנקן  
מתקיים במושבות אלה  
תהליך של קיבוע חנקן  
אטמוספרי**

## ספרות

Dor I. 1998. A checklist of Cyanophyta (Cyanobacteria) of Israel and adjacent regions. *Isr. J. Plant Sci.* 46: 239-254.

Wasser SP, Nevo E (eds), 2000. *Cyanoprocaroyotes and algae of continental Israel*. Ruggell Publ. 629 pp.