

זהר ברנט-יצחקי

המרכז האקדמי רופין, קבוצת
המחקר לקיימות סביבתית וחברתית,
המרכז האקדמי רופין

יהב מסיקה

קבוצת המחקר לקיימות סביבתית
וחברתית, המרכז האקדמי רופין

עדו שורצמן

קבוצת המחקר לקיימות סביבתית
וחברתית, המרכז האקדמי רופין

ליעד רחמנוב

קבוצת המחקר לקיימות סביבתית
וחברתית, המרכז האקדמי רופין

ציטוט מומלץ

ברנט-יצחקי ז, מסיקה י, שורצמן ע
ורחמנוב ל. 2023. השפעת
משקעים, מליחות ורמות חמצן על
ריכוזי חיידקים באסטואר נחל
אלכסנדר. *אקולוגיה וסביבה* 14(4).



חיבור האסטואר עם הים | צילום: יהב מסיקה

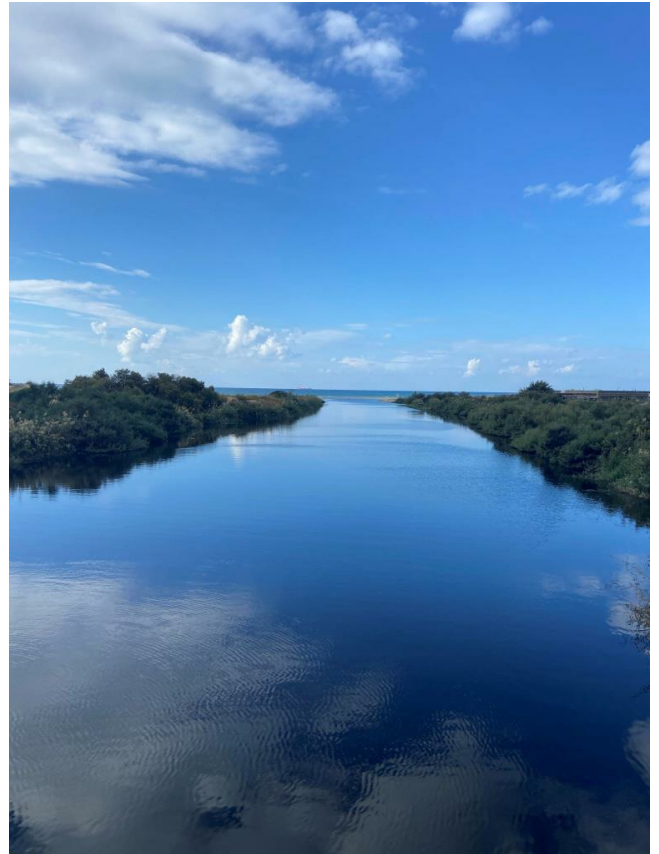
השפעת משקעים, מליחות ורמות חמצן על ריכוזי חיידקים באסטואר נחל אלכסנדר

[בקצרה](#)

גיליון חורף 2023 / כרך 14(4) 23 בינואר, 2024

אסטואר הוא אזור בנחל המשלב מי נחל מתוקים עם מים מלוחים המגיעים מהים. אל אסטואר נחל אלכסנדר שבעמק חפר זורמים שפכים משני מכוני טיהור שפכים (מט"ש): מט"ש תנובות ומט"ש שכם (שבתחומי הרשות הפלסטינית). בשנים האחרונות פועלת רשות הטבע והגנים בשיתוף עם המכון לחקר האסטוארים בישראל לשיקום נחל אלכסנדר והאסטואר בפרט, במטרה שנוכל לבלות באחד מהמקומות היפים בישראל.

בשל מקורות הזיהום של הנחל, הכוללים שפכים, חומרי הדברה ודישון, ריכוז החמצן בו נמוך ^[3], וכמות החיידקים (בדגש על חיידקים צואתיים) גבוהה. שיפועו המתון של נחל אלכסנדר והמבנה ההידרולוגי שלו מכתיבים זמן שהייה ארוך יחסית של המים באסטואר ברוב השנה. יתר על כן, בתקופות מסוימות חלה עלייה משמעותית בצמיחת אצות על פני האסטואר, שמכסות אותו ומונעות חדירה של קרני השמש לעומקו. ריכוז נמוך של חמצן, ריכוזים גבוהים מאוד של כימיקלים ושל חיידקים ומניעת חדירת קרני השמש לאסטואר פוגעים במערכת האקולוגית של הנחל, בין היתר בצמחי הנחל ובדגים החיים בו ^[2].



מבט אל האסטואר מכיוון מזרח/צילום: יהב מסיקה

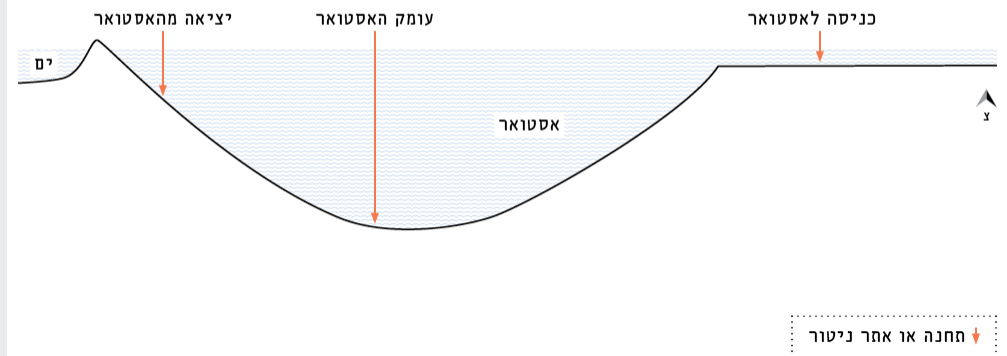
כחלק מהמאמצים לשיקום הנחל והאסטואר בפרט, מתבצע ניטור שוטף של האסטואר על-ידי [המרכז הישראלי לחקר האסטוארים](#). הניטור נעשה באמצעות חיישנים בשלושה אתרים באסטואר: בכניסה לאסטואר, בעומק האסטואר וביציאה ממנו ([איור 1](#)) וכן באמצעות דגימות שנאספות מאותם מקומות ומנותחות במעבדה.

במסגרת הניטור השוטף נמדדים הטמפרטורה, המליחות, עכירות המים, ריכוז החמצן וריכוז הכלורופיל. בבדיקות המעבדה נמדדים, בין היתר, ריכוזי חיידקים מסוג סטרפטוקוק צואתי ומסוג קוליפורמים צואתיים, ריכוז החיידקים הכולל, כלל המוצקים המרחפים במים (TSS), ריכוז חנקן אורגני ואי-אורגני מומסים וריכוז צריכת החמצן (BOD).

במחקר זה ניתחנו נתונים שנאספו בשנים 2014–2022, מתוצאות מדידות החיישנים ובדיקות המעבדה במטרה להבין מה משפיע על ריכוזי החיידקים השונים באסטואר וכדי לפתח מודל לניבוי ריכוזי החיידקים באסטואר. את נתוני הניטור הצלבנו מול נתוני משקעים באזור האסטואר ^[1].

מצאנו מתאם חיובי מובהק בין כמות המשקעים באזור הנחל לבין ריכוז החיידקים (מקדם מתאם פירסון = 0.4, $P < 0.001$). להערכתנו, הסיבה למתאם היא שעם הגשמים והשיטפונות זורמים לנחל חומרים מזהמים וכן חומרי דישון, שמביאים לשגשוג אוכלוסיות החיידקים. בשל האופי ההידרולוגי של האסטואר החומרים המזהמים נשארים בו ואינם נשטפים החוצה. נוסף על כך, מצאנו שריכוזי החיידקים השונים (סטרפטוקוק צואתי, קוליפורמים צואתיים וריכוז החיידקים הכולל) בעונות החורף גבוהים יותר מאשר בעונות הקיץ ([איור 2](#)).

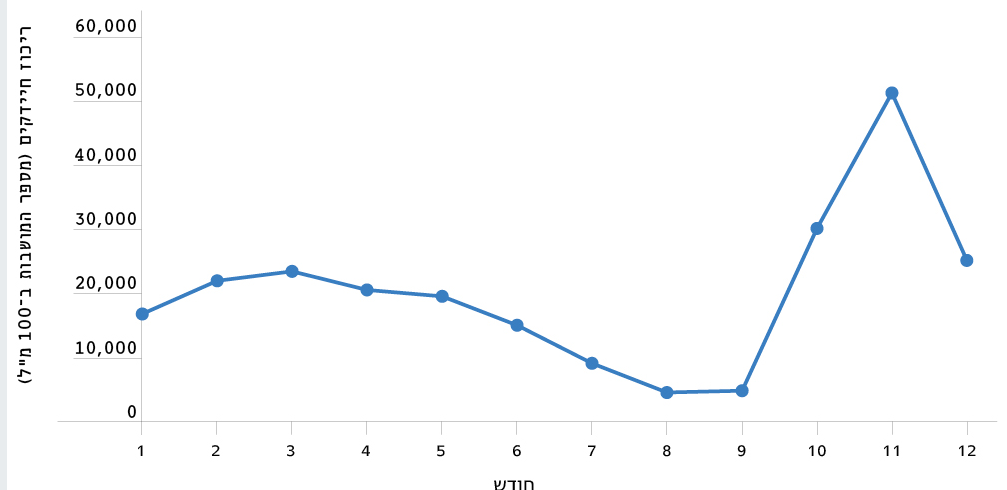
איור 1. מבנה אסטואר נחל אלכסנדר, בחתך מזרח-מערב



איור 1

מבנה אסטואר נחל אלכסנדר, בחתך מזרח-מערב

איור 2. השינוי בריכוז החיידקים הכולל באסטואר נחל אלכסנדר לאורך השנה



איור 2

השינוי בריכוז החיידקים הכולל באסטואר נחל אלכסנדר לאורך השנה

עכירות מים גבוהה מפחיתה את כמות האור המגיעה למעמקים, ובכך עלולה למנוע גדילה של צמחי מים בעומק הנחל, דבר המקטין את ריכוז החמצן באסטואר. נמצא מתאם חיובי גם בין עכירות המים לריכוז החיידקים (מקדם מתאם פירסון = 0.38, $P=0.03$). עכירות במים פתוחים היא בחלקה תוצאה של פעילויות אנושיות באגן הניקוז, כגון בנייה, השלכת אשפה, שפכי דלק וכדומה, שבימים גשומים מביאות לסחיפת המזהמים אל הנחל מהכבישים ומהשטחים הסמוכים.

מליחות גבוהה מקשה על שגשוגם של חיידקים. נמצא מתאם שלילי בין מליחות המים לבין ריכוז החיידקים (מקדם מתאם פירסון = -0.44, $P<0.001$). כלומר, ככל שהמים מלוחים יותר, כך ריכוז החיידקים קטן. באזור הקרוב יותר לים (נקודת המדידה המערבית, סמוך לשפך הנחל) נמצא ריכוז חיידקים נמוך בהשוואה לריכוזם בכניסה לאסטואר. מבחני T לבדיקת הבדלים בין ריכוזי החיידקים בתחנות השונות בנחל הראו כי הממוצע השנתי של ריכוז החיידקים שנמדד בתחנת היציאה מהאסטואר קטן באופן מובהק סטטיסטית מהממוצע השנתי של ריכוז החיידקים בכניסה לאסטואר, ככל הנראה בשל ריכוז מליחות גבוה יותר במים בתחנת היציאה הקרובה לים. הממוצע השנתי של ריכוז המליחות במים בתחנת היציאה הוא (Practical Salinity Units) 8.4PSU לעומת זה שבתחנת הכניסה העומד על 0.8PSU.

חמצן מומס במים חיוני למערכות האקולוגיות על האורגניזמים השונים בהן. גם ריכוז החמצן באסטואר (DO) נמצא במתאם שלילי (מקדם מתאם פירסון = -0.3, $P<0.001$) עם ריכוז החיידקים. יצוין כי רמות החמצן באסטואר נמוכות בשל התפשטות אצות על פני האסטואר בעונות שונות במהלך השנה [3]. עוד גילינו שריכוז החמצן בכניסה לאסטואר (ממוצע שנתי של 131.25 μM) נמוך מזה שביציאה (ממוצע שנתי של 192.13 μM), וייתכן שהסיבה לכך היא התפשטות אצות בעיקר באזור



עכירות המים באסטואר. נובמבר 2022 / צילום: יהב מסיקה

מדית ריכוז החיידקים אינה מתרחשת כיום בתדירות מספקת בשל העלות הכספית והלוגיסטיקה הכרוכה בהעברת הדגימות למעבדה. כדי להתגבר על אתגר זה ניתן להשתמש באלגוריתמים של חיזוי, שיעריכו את ריכוז החיידקים על סמך הפרמטרים הפיזיקליים והכימיים הנמדדים בניטור השוטף, וללא צורך בניטור אוכלוסיות החיידקים ובהעברת הדגימות למעבדה.

בחרנו להשתמש באלגוריתמים של רגרסיה המנבאים ערכים רציפים על סמך פרמטרים קיימים. בתום הרצה של מספר מודלים ובחינתם נמצא מודל היערות האקראיים (Random Forest) כבעל הביצועים הטובים ביותר. מבדיקות שערכנו עולה כי המודל אינו סובל מהתאמת יתר (overfitting) לסט האימון, מה שמצביע על אמינותו. בהמשך ניתחנו את הפרמטרים במודל שנמצאו כמשפיעים ביותר בניבוי ריכוז החיידקים, כך שכל פרמטר קיבל מדד לגבי האופי וההיקף של השפעתו; פרמטרים שקיבלו מדדים שליליים הם אלה שנמצאו ביחס הפוך לריכוז החיידקים, כלומר שעלייה בהם מביאה לירידה בריכוז החיידקים, ופרמטרים שקיבלו מדדים חיוביים נמצאו ביחס ישר לריכוז החיידקים. ככל שהערכים המוחלטים של המדדים גבוהים יותר, כך השפעתו של הפרמטר על ריכוז החיידקים משמעותית יותר. המדדים שמצאנו עבור הפרמטרים הם: ריכוזי חנקן אורגני ואי-אורגני (0.94), עכירות המים וריכוז המליחות במים (-0.89), כמות המשקעים (0.85) וריכוז החמצן (-0.65). ממצאים אלה עולים בקנה אחד עם הממצאים במבחנים הסטטיסטיים שלעיל. עוד יצוין כי החומרים האורגניים והאי-אורגניים המצטברים על המוצקים הצפים במים, הם מזון לחיידקים, ומכאן השפעתם החיובית על ריכוז החיידקים [2].

לסיכום, תהליכי בניית מאגר הנתונים והצלבתו עם מאגרי הנתונים של השירות המטאורולוגי תרמו בצורה משמעותית לבנייה של מודלים שמאפשרים חיזוי אמיני של ריכוז החיידקים באסטואר. מהמודלים עולה שכמות המשקעים באזור האסטואר היא פרמטר משמעותי במיוחד בניבוי ריכוז החיידקים, זאת לצד ריכוז המליחות, ריכוז החמצן, חומר אורגני ואי-אורגני ומדד עכירות המים.

מחקר זה, המבוסס על נתונים שנאספו במרכז לחקר האסטוארים, מדגיש את חשיבות הניטור הרציף של מקורות מים, בדגש על הנחלים בישראל. תמונה מדויקת ורציפה יותר של איכות המים באסטואר ובנחל אלכסנדר, בדגש על ריכוז החיידקים בנחל, כפי שקודמה במחקר זה, תסייע להבנה טובה יותר של משמעויות הזרמת שפכים למקורות מים בישראל, ואנו מקווים שגם תסייע למאמצי השיקום של הנחל.

מקורות

1. השירות המטאורולוגי הישראלי. [מאגרי נתונים מטאורולוגיים](#).
2. סוארי י, מילשטיין ד, גלבע מ ואחרים. 2022. [רעילות אמוניה כהסבר אפשרי לתמותות דגים באסטוארים של נחלי החוף](#). אקולוגיה וסביבה **13**(2).
3. סוארי י, שיש ל, גפני ש ואחרים. 2017. [עקות חמצן מתמשכות באסטואר של נחל אלכסנדר](#). אקולוגיה וסביבה **8**(3): 44-52.