

שנאור מגזין מבית

הנדסת מים

מגזין המים הישראלי

גיליון מס' 109 2017



ניבוי התפרצות זיהום בקטריאלי בבארות סים באמצעות קידוד דלי

לווי פרוילר¹, דלית ויזל אוחיון², ברק פישבין¹

ספירת החיידקים מושפעת משני כוחות עיקריים:

1. גידול החיידקים.

2. קצב הדגימה.

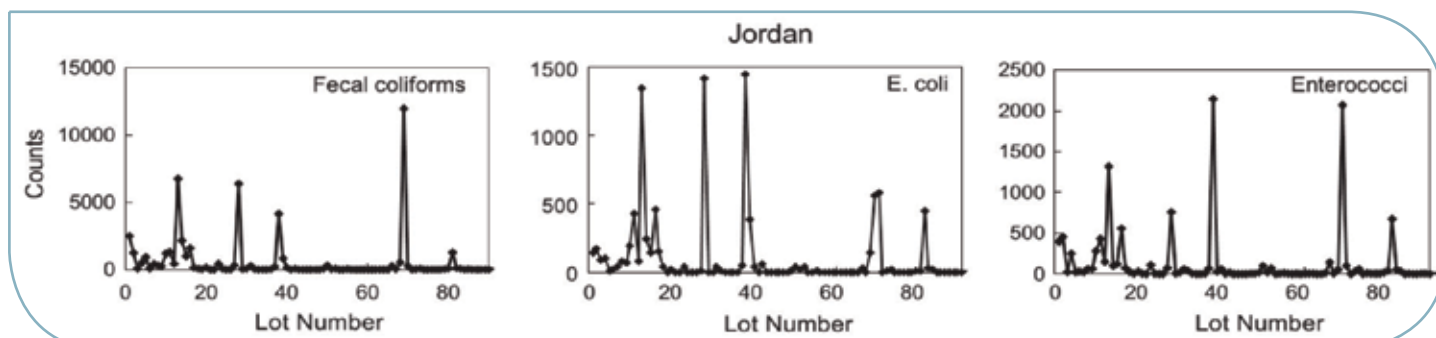
ההתנהגות הטבעית של גידול החיידקים מאופיינת על ידי קפיצות מעריכיות בניגוד ליצירה ליניארית, והיא אינה ניתנת לחיזוי בשל ריבוי התופעות המשפיעות על גידול החיידקים. התקנות קובעות כי יש לדגום בארות מי תהום אחת לשלושה חודשים, בהתאם לתקנות, דבר הגורם להידלדלות הנתונים איתם ניתן לעבוד. הדבר גורם לנקודות אפס רבות בסדרות הזמן של המדידות (דבר המגדיר אותן כדלילות) במציינים שלא ניתנים לניבוי, וכתוצאה מכך מתקבלת התפלגות לא גאוסית (כנ"ל) של הספירות. הדבר מתואר יפה בסדרת זמן טיפוסית של ספירת חיידקים עבור נהר הירדן¹ ובספירת קוליפורמים צואתיים מבאר המים 4 בראש העין, המוצגים בתמונה 1. חשוב לציין כי, בעוד שמחקר זה מתמקד במי תהום ומי הירדן נחשבים מים עיליים, שניהם מפגינים אותה התנהגות. ההבדלים בין השניים יידונו בהמשך, אבל באמצעות התאמות נכונות, ניתן להשתמש בשיטות המפורטות כאן גם עבור מים עיליים.

ספירת קוליפורמים צואתיים בבאר 4 ראש העין

בספרות הדרכים המקובלות לחיזוי התפרצות זיהום חיידקי הן בניית מודל לגדילת החיידקים (Hadas et. al., 2004) ושימוש בשיטות בקרת איכות סטטיסטית (Zhou et. al., 2008) (SQC). מרבית המודלים שנבנו לתיאור גידול החיידקים מתייחסים לגידול חיידקים במים עיליים, ולא במי תהום, וסובלים מבעיות כיוול ודיוק. יתרה מזאת, המודלים נמצאו מתאימים לייצוג גידול חיידקים במצב יציב, אך נכשלו בניבוי התפרצויות. מודלים מסוג SQC מתארים את תהליך גדילת החיידקים בהתאם להתפלגות ידועה. אחת ההתפלגויות הנפוצות היא ההתפלגות הנורמלית. במקרה זה, המדידות מושוות לפרמטרים של ההתפלגות, כגון חציון וסטיית תקן והתהליך מוגדר

כל ספקי שירותי המים מחויבים לשמור על איכותם הגבוהה של המים. על חנת להבטיח זאת, משרד הבריאות בישראל מתקין תקנות המגדירות את הכמויות המותרות של כל החומרים העלולים להיות מזיקים ושעשויים לחדור למים, ואת משטר הדגימה של אותם מקורות מים (תקנות בריאות העם, 2013). מחקר זה מתמקד ביכולת לנבא התפרצות בקטריאלית במי תהום מטופלים שמקורם בבארות, אשר מהווים כ- 40% מהמים המחולקים בישראל (מקורות, 2015) על סמך היסטוריה של ספירת החיידקים בבאר.

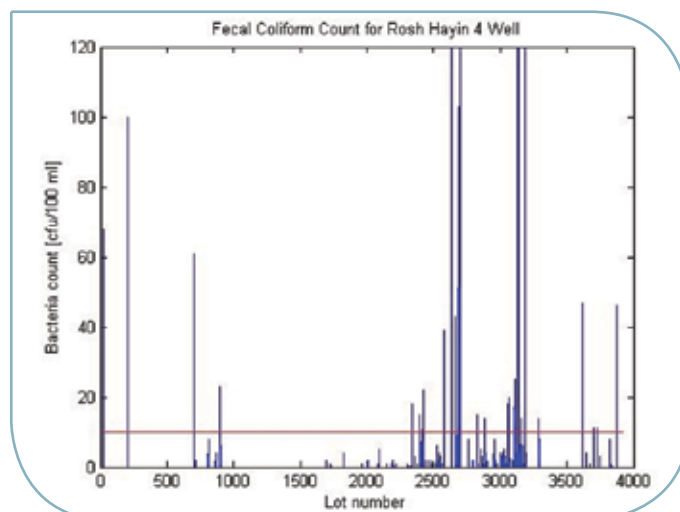
ההתפלגות הלא טיפוסית של ספירת החיידקים אינה מאפשרת יישום שיטות SQC טיפוסיות ומסיבה זאת יוצרות קשיים בבקרת וניבוי התפרצויות חיידקים



ירדן - למרות שנהר הירדן נחשב למים עיליים, ומחקר זה מתייחס למי תהום (והבדל בין השניים יידון בהמשך), סדרת זמן זאת נותנת מושג לגבי צורת סדרת זמן של חיידקים

1. טכניון, מעבדה למדעי הסביבה (TechEL), הפקולטה להנדסה אזרחית והנדסת הסביבה, טכניון - מכון טכנולוגי לישראל, חיפה 3200003, ישראל
2. מקורות - מעבדה לאומית לבדיקות מים, חברת המים הלאומית של מדינת ישראל, אשקול, ת"ד 610, 1710502
המחבר האחראי לתקשורת: fishbain@technion.ac.il

הנתונים לייצוג הספקטראלי שלהם, המבטל את הדלילות. על סמך הייצוג הספקטראלי, ממדי הבעיה מצטמצמים. לאחר מכן מיושמות על הייצוג המצומצם שיטות של למידה חישובית כדי לנבא התפרצויות חיידקים על סמך היסטוריית ספירת החיידקים בבאר. (תמונה 2). התוצאות מראות כי בבארות עליהן יושמה השיטה, התפרצות הזיהום התגלתה כ-80 יום, בממוצע, לפני ההתפרצות עצמה, ומספר התרעות השווא ומספר האירועים שלא דווחו עד לאירוע ההתפרצות עצמו היוו פחות מ-1% מכלל המקרים על פני טווח זמן של 10 שנים. תוצאות אלה מצביעות בצורה ברורה כי כלים אלה ניתנים ליישום על ידי קהילת הנדסת איכות המים על מנת ליצור טכניקות בקרת איכות אובייקטיביות, איתנות יותר לאבטחת חלוקת מים בטוחה יותר.



תמונה 1: למעלה: קפיצות גדולה טיפוסיות של חיידקים (מקור: Hadas et al., 2004). למטה: ספירת קוליופורמים צואתיים בבאר 4 ראש העין (מקור: מקורות)

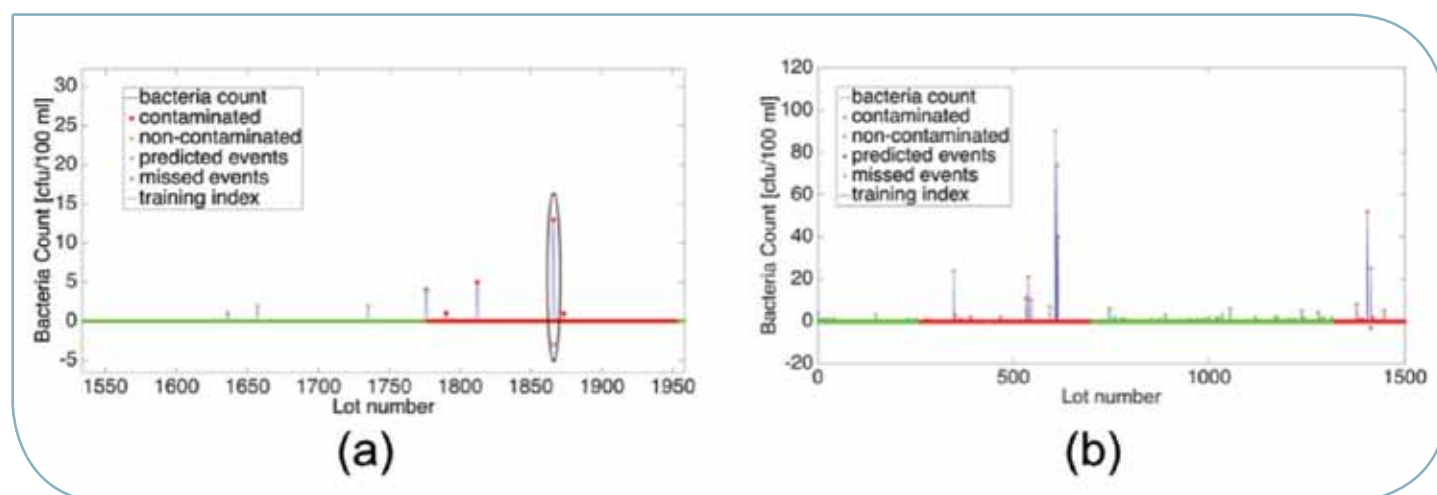
כמבוקר או לא מבוקר על סמך רמת הסמך. ההתפלגות הלא טיפוסית של ספירת החיידקים אינה מאפשרת יישום שיטות SQC טיפוסיות ומסיבה זאת יוצרות קשיים בבקרת וניבוי התפרצויות חיידקים.

בהתחשב בקושי בשימוש שיטות SQC רגילות, המצב הנורמטיבי של באר נקבע היום על פי החלטתו של מהנדס ממונה. המהנדס משתמש בחשיבתו הסובייקטיבית, ולמעשה מסתמך על "ניחוש מושכל". תהליך זה אינו אובייקטיבי ואינו יעיל. מכאן שנדרשת גישה שיטתית אובייקטיבית לניבוי טוב יותר של התפרצויות חיידקים בבארות מים.

מחקר זה פיתח שיטה חדשה, יעילה מבחינת העלות, המתבססת על דלילות סדרות הזמן של ספירות החיידקים. השיטה המוצעת ממירה תחילה את

שיטה חדשה, יעילה מבחינת העלות, המתבססת על דלילות סדרות הזמן של ספירות החיידקים

- Hadas, O., Corradini, M. G. & Peleg, M. Statistical analysis of the fluctuating counts of fecal bacteria in the water of Lake Kinneret. Water Res. 38, 79–88 (2004).
- Zhou, W., Beck, B. F., Pettit, A. J. & Wang, J. Application of water quality control charts to spring monitoring in karst terranes. Environ. Geol. 53, 1311–1321 (2008).



תמונה 2: ניתוח ראש העין 5 SVM: (א) קטע קצר מסדרות הזמן של הספירות בראש העין 5 (1 באפריל 2005 – 30 ביוני 2006), ניתן לראות כי האלגוריתם מזהה (סימון אדום) את ההתפרצות ב-1775 לפני ההתפרצות הממשית ב-1860. (ב) (21 בפברואר 2001 – 30 ביוני 2005) האלגוריתם מזהה את הזיהום לפני ההתפרצות הראשונה בנקודת זמן 400.