

זיהום נחלים ועקרונות ניטור ביולוגי

דוקטורנט ירון הרשקוביץ

[הודעות:

באתר שאלות לדוגמא; הבחינה תכלול את חומר ההרצאות וחומר הקריאה – בטוח יופיעו שאלות מחומר הקריאה.]

רקע:

עד אמצע המאה ה-20 הארץ היתה מלאה בנופי מים רבים. כיום במקומות רבים מהצפון לדרום יש נחלים רבים (שורק, קישון, ירקון, נעמן, נחל חדרה) – נראה כי נחלי החוף במצב עגום למדי. כיצד הגענו לזה? מזה עשרות שנים נחלי ישראל נוצלו עד תום. מים נלקחו לשתייה, להשקייה, ומצד שני נשפכו פנימה ביוב, שפכים, חלקם באיכות יותר טובה גכון באזור הירקון וחלקם באיכות פחות טובה נעשתה פגיעה קשה בערכי טבע – דגים מתים, פגיעה בבריאות האדם, אסון המכביה, אסון השייטת בקישון. פגיעה אקולוגית מתמשכת.

מדוע המצב חמור כל כך:

- חוסר מודעות בציבור, חוסר אכפתיות. הסביבה רשות הרבים, אפשר לעשות בה מה שרוצים, וזה נכון לא רק לנחלים. דוגמא: פסולת בניין שנזרקה בשטח שמורת טבע.
- אכיפה מוגבלת, אין פקחים רבים העוסקים באכיפה. גם כאשר תופסים אנשים, משחררים עבריינים בקנסות פעוטים ולא משמעותיים, יד רכה. למשל: המדינה העניקה מענקים למפעלים מזהמים, וקנסה אותם.
- תקנות איכות מים שנחשבו טובות בעבר, אינן מתאימות לצרכי הנחלים בישראל.

צרכי הנחלים בישראל:

- מה מייחד נחלים כמערכות אקולוגיות? מה עלול להפגע בו שמיידח אותו.
- נקודה נוספת (במצגת).

מה מייחד מקווי מים כמערכות אקולוגיות:

1. היחידות הנמוכות ביותר בנוף – בור, שקע, נחל, כיוון שהמים זורמים בממקום גבוה לנמוך.
2. יחסי הגומלין כתוצאה מכך היא בד"כ חד צדדית – חומרים זורמים מהיבשה במורד אל מקווי המים. אם אינם נשטפים בזרם חזק, יכולים להצטבר באגם ולעבור צבירת חומרים במערכת.
3. בשונה ממערכות יבשתיות, כל צרכי החיים – נשימה, תזונה, רבייה – מתקיימים בתוך אותו התווך, בתוך המים. תוצאה של מערכת כזו סגורה: רגישות גבוהה יחסית להפרעות.

ייחודם של נחלים כמקווי מים יבשתיים:

- לנחלים ייחוד נוסף. הנחלים הם ארוכים, ויחסית צרים (מערכת לינארית). זה חושף אותם לסביבה בצורה רבה יותר.
- הזרימה היא חד כיוונית בד"כ מהמעלה למורד. כאשר מגיע לים לעתים עם הגאות והשפל יש זרימה מהים ליבשה
- כיווני השפעה בעיקרם חד כיווניים – חומרים זולגים מהסביבה לתוך המים.

בנחלים השפעה רבה של המעלה על המורד.

פעולות שגורמות לשינוי בהרכב פיס, פיסיקלי – אור, ביולוגי – הוספת חומרים ביולוגיים, יכולים להביא לשינוי בתנאי החיים ושוכני הנחל (צמחים ובע"ח). למשל: זיהום.

מהו זיהום מים:

לפי חוק המים הישראלי, שהוא אכן חוק טוב שאינו נאכף כראוי: שינוי בתכונות המים מבחינה פיס יקלית, כימית, ביולוגית... או אחרת, או ששינוי הגורם לסכנה לבריאות הציבור, או עלולים לפגוע בחי והצומח, או פחות ראויים למטרה לה משמשים או נועדו לשמש. למשל, ביוב הזורם למקווה מאגר טיהור שפכים – לא זיהום; לאגם – כן זיהום.

טיפוסי זיהום עיקריים:

- זיהום פיסיקלי: עכירות גבוהה, פגיעה בפוטוסינתזה ופעילות צמחים; תרמי – תחנות כוח המזרימות את מי הקירור של הטורבינות לאחר חימום (מגיעים ל-34 מעלות) חזרה לנחל; רדיואקטיבי.
- זיהום כימי: חומרים אורגניים: רעילים ולא רעילים, בעלי השפעה ביולוגית כמו הורמונים. חומרים אנאורגניים: חומצות בסיסים, זיהום תעשייתי.
- זיהום ביולוגי: החדרת מינים זרים למערכת שיכולים להשתלט על המערכת. למשל דג הגמבוזיה שהובא לאכול יתושים, ופגע על חברת חסרי החוליות בכלל.

2 דרכים לכניסת מזהמים לנחל:

- זיהום נקודתי, point source: נקודה בה יש כניסת שפכים. יתרון: ידוע מהיכן בא, מי המפעל ומה מייצר, חסרון: עשוי להכיל חומרים רעילים בריכוז גבוה.

- זיהום דיפוזי: *non-point*: אין נקודה אחת שאפשר ממש לזהות כמקור, אלא מקורות מרובים. למשל, שדות חקלאיים או שטחים עירוניים ונגר המגיע מהם ולא ידועים המקורות של הזיהום. לרוב הריכוזים קטנים אך יכולים להצטבר במערכת וקשה לנטר אותם ולאכוף המזהמים עלולים לשנות את ההרכב ותכולת החומרים המצויים באופן טבעי במי נחל למשל:
- רמת חומציות *PH* – שינוי בחומציות המים שהיא בישראל 8-9, שירדה בקישון ל-3-2 (חומצי מאוד).
- ריכוז יונים: חומרי דיזון, מזינים הגורמים לפריחת אצות, להם משלימים את החומרים שחסרים להם בנחל מילוי הנחל בביומסה.
- חומרים בעלי השפעה הורמונלית: דובר הרצאה שעברה, יכול לשנות פעילות ביולוגית של בע"ח.
- צלילות המים: שינוי כתוצאה מכניסת חומרים הגורמים לעכירות המים, הפחתת עוצמת האור הנכנס לנחל, פגיעה בפעילות צמחייה ופוטוסינתזה. חומר אורגני צמחי שמתפתח בנחל נאכל ע"י בע"ח אחרים, שינוי מארג המזון.
- ריכוז החומרים האורגניים: *Biological Oxygen Demand (BOD)*

תקן 20/30:

- *BOD* – צריכת החמצן הביולוגית, מדידת ריכוז החמצן כאינדיקציה לריכוז החומר האורגני בנחל. ככל שיש יותר חומר אורגני, ריכוז ה-*BOD* גבוה יותר. איכות הקולחין שניתן להזרים לנחלים לפי התקן הוא 20 מג"ל (מ"ג לליטר).
- *TSS* – חלקיקים מרחפים, עד 30 מג"ל.

מובסס על תקני פליטה לנהרות באירופה וארה"ב. יש להעלות את השאלה האם נהרות עליהם מתבססים התקנים הללו מתאימים לנחלים הקטנים בארץ? למשל, הצח"ב (*BOD*), 20 מג"ל: ריכוז הצח"ב לרוב בנחלים טבעיים לא עולה על 5 מג"ל, בנחלי חוף יכול להגיע עד 8 במקרים קיצוניים. התקן למעשה אפשר לכמות החומר האורגני להיות פי 4 מהמצוי בטבעי, וזאת גם רק בתנאי שעומדים בתקן. נתן לטעון כי הזרימה גורמת לאיזון וירידה ל-5 מג"ל, אך זה תלוי במשטר הזרימה של הנחל וזה לא נכון בכל מקום.

נחלים רבים הם ים תיכוניים, זרימות חזקות בחורף, אך מרבית השנה הנחל עם זרימה מופחתת, שכן מבוסס על זרימת מעיינות. המאפיין של נחלים ים תיכוניים: מדצמבר עד סוף מאי, יש שיטפונות, סחיפת האפיק ושטיפת המים. אם הוכנס חומר זיהום אורגני, יתכן ולא היה מורגש זיהום. אבל מרבית השנה – יוני עד ינואר – זרימה מועטת מאוד, והזרמת חומר אורגני תגרום להשפעה חזקה.

מסקנה: בנחלי אכזב, נחלים המתייבשים בקיץ, השפעת הדילול של הזרימה הטבעית מצומצמת מאוד, ומה שנכנס נשאר – אם צינור מכניס שפכים, הם ישארו ויכתבו את איכות המים בנחל.

דוגמא: מטבלת נחלים בארץ ניתן לראות נתונים מדהימים של מעל 400 מג"ל (!) בנחלים שונים. חומרים אלו משפיעים דרמטית על הנחל. זיהום זה הוא זיהום אורגני והוא הנפוץ ביותר בנחלים שלנו כיום. השפעת הזיהום האורגני על מגוון תהליכים כימיים פיזיקליים וביולוגיים:

- ריכוז החמצן המומס: ירידה בריכוז החמצן המומס בשל שימוש לתהליכים אנארוביים של חיידקים. גורם לעקה ואף תמותת בע"ח שזקוקים לחמצן בריכוז גבוה.
- ריכוז מזינים כמו זרחות לגדילת אצות, תוצרי פירוק רעילים – שחרור אמוניה.
- שינוי הרכב מיקרואורגניזמים, אצות ופטירות – משגשגים.
- בע"ח – חסרי חוליות ודגים – נפגעים. בע"ח אחרים עמידים באמוניה גבוהה וחמצן נמד מחליפים מקומם.

מה נעשה עד כה:

בשנת 93 הוקמה מנהלת שיקום הנחלים. איגדה מספר גופים בעלי עניין לשיקום נחלים בישראל – נציבות המים, משרד התיירות וכו'. עד היום הוחל שיקום 14 נחלים, מהצפון ועד הדרום, כולל הירדן הדרומי.

נקודת מפתח נוספות בהכרה בצורך בשיקום נחלים: רצף שנים שחונות, משרד איכות הסביבה בחן את האפשרות לשימוש בקולחים מטהרים לשיקום נחלי החוף בישראל. המשמעות: בנחלי החוף של ישראל לא יזרמו מים שפירים אלא קולחים מטהרים! לא ניתן לשחות או לשתות אותם.

ליישום הוקמה ועדת ענבר, שבחנה מספר פרמטרים של איכות מים: קביעת תקן לפרמטרים של ריכוזי חומרים שמוותר יהיה להזרים לנחל תקן לשפכים וקולחים שמוזרמים לנחלים. למשל, *BOD* – ירד ל-10 מג"ל. האם זה מספיק? תקנים אלו התבססו על השקיה בשדות, ולא התבססו על צרכים אקולוגיים של נחלים. דבר נוסף, לא בטוח שחומרים אלו מכסים את כל הנדרש, למשל חומרים משבשי פעילות הורמונלית

מליוני שקלים מושקעים מדי שנה בשיקום נחלים, למשל נחל הירקון: מתוך מנהלת הנחלים, תקציב רשות נחל הירקון הוא 1.2 מליון ש"ח ל-09, ועוד 10 מליון שיוזרמו בעתיד – כסף רב. כציבור ומתכננים יש לשאול האם למאמצי השיקום יש תוצאות, שלא נבדקות בצורה ברורה.

ניטור ביולוגי והערכת בריאות נחלים:

שיטה שקיימת בעולם מספר שנים הותאמה לצרכים של ישראל כיצד ניתן לבחון את מצב הנחל:

- ניטור איכות המים – דגימות ישירות.
- ניטור ביולוגי – לבדוק מה מתקיים במים באותם תנאים, בדיקה עקיפה.

ניטור איכות המים :

- א. משתנים לימנולוגיים: PH , מהירות זרימה, מפורט במצגת.
- ב. משתנים כימיים שונים: מזינים, BOD , חומרים רעילים שונים.

האם עומד בתקן ענבר או לא? האם בכיוון הנכון?

יתרונות ניטור מים:

- קל למדידה
- מידע מיידי יחסית, ניתן תוך מספר שבועות בלבד.
- מאפשר זיהוי גורמי סיכון ומקורות זיהום – אפשר לנטר ולהצביע על אשמים.

חסרונות:

- מאות חומרים בריכוזים שונים.
- תגובות סינרגיסטיות, אנטגוניסטיות – חומרים הסותרים אחד את השני.
- מתי למדוד: יתכן שבדקו בדיוק לאחר שהנחל השתקם זמנית לאחר גל זיהום שעבר בו – snapshot, מייצג רגעי בלבד.

מה המשמעות הביולוגית? מה משפיע יותר? מה ההשפעה של כל החומרים על החי והצומח הנחל.

סה"כ מצב המערכת הוא תוצאה של מכלול מורכב של יחסי גומלין בין גורמי שונים אביוטים וביוטים ולא ניתן לבודד ולהצביא על גורמים שהשפיעו לבדם באופן מובהק.

הפתרון המעשי – מציאת אבן בוחן מייצגת:

נעזרים במידע ביולוגי לאבחון וניטור מערכת אקולוגיות מאפשר הערכה אינטגרטיבית – סוכם את כלל ההשפעות של כלל החומרים על המערכת, למשל דג מת מצביע שסה"כ יש משהו לא בסדר. ניתן לבדוק מינים, אוכלוסיות ומערכת אקולוגית שלמה. רמות שונות של ניטור ביולוגי:

- שינויים בדנ"א.
- פעילות אנזימים שונים בתנאים.
- אורגניזמים: דג ספציים כביואינדיקטור, רגיש לסביבה. אם דג המשמש לכך לא נמצא באזור מסוים, מצביע על בעייתיות.
- אוכלוסיות שלמות או חברות המכילות מינים שונים.

מידת הרלוונטיות עולה ככל שבוחנים מערכת גבוהה יותר, שכן המטרה לשקם בסופו של דבר את החברה כולה, צבירה של עקות עם עליה ברמה. מצד שני, ככל שהשכבה נמוכה יותר, כך האזהרה יותר מקדמת. למשל, ריכוזים נמוכים הפוגעים בדנ"א של מינים מסוימים, שינויי מין – השפעה הורמונלית.

ניטור ביולוגי בנחלים:

צומח (אצות/צמחי מים), חסרי החוליות הגדולים ודגים.

חסרי החוליות הגדולים: הם מוקד העניין של ניטור ביולוגי – חסרי שלד פנימי המתקיימים במקווי מים (בשליבים מסוימים). למשל: רכיכות, חיפושיות מים וכו'. יתרונותיהם כאמצעי לניטור ביולוגי:

- חברה עשירה מאוד במינים, עשרות אלפי מינים שונים.
- מאכלסים מגוון רחב מאוד של בתי גידול. אם נחל זרימה חזקה או איטית – בשניהם ימצאו (מינים שונים) חסרי חוליות.
- מרכיב מרכזי במארג המזון: ניזונים מאצות וחיידקים ונאכלים ע"י בע"ח גדולים יותר – דגים, דו"ח ועופות. אם מוציאים את הקבוצה הזו, ממוטטים את המערכת.
- גודלם עד 0.4 mm . ניתן לאסוף אותם יחסית בקלות.
- יושבים על הקרקעית – אם יש זיהום הוא מצטבר על הקרקע ולכן יגיבו ויושפעו מאותם חומרים
- המגוון הגדול מספק טווח רחב של רגישויות להתראה: יש חסרי חוליות שמשגשים בביוב עם ריכוזי חמצן אפסיים, ובצד השני יש חסרי חוליות רגישים מאוד לחמצן – זקוקים ל-10 מ"ג לליטר חמצן, וכבר ב-7-8 ימותו.
- בע"ח בשונה מדגים, מרביתם, בעלי תנועה מוגבלת במים, קל לתפוס אותם.

אומצו ככלי לניטור נחלים במדינות רבות – אסטרליה, ארה"ב, ולאחרונה גם האיחוד האירופאי מחייב את חברותיו לניטור ביולוגי של נחלים, ומוטלים קנסות על איכות נחלים ירודה.

הערכת בריאות נחלים:

כיצד ניתן להשתמש בכלי הזה להבנת מצבו של הנחל? שלבים בהערכת בריאות הנחל:

דגים אסופות*** מחלצים מאפיינים של האסופיה, מחשבים מדדים ביוטיים, מוצאים ציין ביוטי ומשם למדים על בריאות המערכת (שלמות ביולוגית).

1. דיגום אסופות חסרי חוליות ומשמרים אותם באלכוהול במעבדה סופרים וממיינים למשפחות ומינים.

2. חישוב משתני אסופה: חילוץ פרמטרים – מספר המינים, כאשר ככל שהמערכת בריאה יותר, כך מספר המינים גבוה יותר; מספר פרטים, קבוצות הזנה פונקציונליות – האם טורפים וכו'; שכיחות מינים עמידים אל מול רגישים; צינים ביוטיים. מעל 50 משתני אסופה ידועים כיום.
3. בחירת מדדים: למשל, עושר המינים. למשתנה הביולוגי קשר מובהק עם בית הגידול, למשל – העלאת הזיהום ועליית מספר הפרטים – מדובר במין עמיד. דוגמא אחרת: מגמה יציבה ללא תלות בזיהום – יבחר מדד אחר.

נערך מבחן סטטיסטי ונבדק קשר בין איכות המים ל: TSI , BOD וכו'. לכל מדד נבדקת מובהקות התוצאות וחוזק הקשר הסטטיסטי.

4. שילוב צינים ביוטיים לציין ביוטי מורכב – מדדים רבים המרכיבים ערך – $BIBI$. הבעיה: המדדים לא נמצאים תמיד באותה סקלה, למשל עושר מינים – בדיד, עם אחוזים במדדים אחרים. מה שעושים הוא נרמול הערכים ע"י חלוקה שרירותית. לוקחים למשל מדד שיורד עם עליה בזיהום, כמו עושר מינים. למעלה מערך מסויים נותנים ציון 5, מתחת – 1, וטווח ביניים – 3. כך הכל הופך לסקאלה בין 1 ל-5. למשל: כל מה שגבוה מתשעה מינים, יקבל ציון 5, כל מה שנמוך מ-4 יקבל 1. כך מתקבל ציין שלמות ביולוגי. סוכמים את כלל המדדים, הציין הוא הערך הממוצע של כלל המדדים, ומתקבל ציון בין 1 ל-5, וזאת מחלקים ב-5. מתקבל אחוז האיכות. ערכי הציין לאחר מכן מחולקים ע"ג סקאלה המעריכה את הבריאות של ערכים אלו – בין 30% ל-100%, כאשר 100% הוא מקום שהוא שווה ערך לאתר ייחוס, אתר לא פגוע. אם אין התאמה כלל בין אתר ייחוס לאתר שנבדק, אז אתר זה פגוע.

ניטור ביולוגי של נחל הירקון:

עד שנות ה-50 הירקון היה שופע מים. מאמצע שנות ה-50 הוקם קו ירקון נגב, מים הוזרמו להפרחת השממה, נלקחו מעל 95% מהמים ולירקון נותר אחוז בודד מהזרימה שהיתה בו בעבר. סה"כ 1% מזרימת הירקון כיום זורם בירקון מהזרמת חברת מקורות הירקון מחולק ל-3 מקטעים:

- המעלה, המקבל מים טובים, עד למפגש עם אחד יובלי הירקון: נחל קנה.
- נחל קנה מזרים שפכים ולכן בקטע האמצעי זורמים מים באיכות ירודה.
- לאחר מכן מפעל נוסף מזרים שפכים לירקון, ולקראת הים הנחל מתחיל להמליח.

המעלה לרוב נקי, עשיר בבתי גידול, ולעומתו הקטע התיכון מנחל קנה ומטה מזוהם בשפכים ביתיים. רוב המים שזורמים הם קולחים, אין אפקט דילול משמעותי (זרימה טבעית שמשפרת את מי הנחל). הירקון חשוף גם לשפכים תעשייתיים. אין כיום אמצעי הגנה למנוע אירועים קטסטרופליים כמו פגיעה במפעל סנו, שגרם לזיהום קשה בירקון.

BOD בירקון:

קטן מ-5 – טבעי. 3 התחנות הראשונות שנדגמו בקטה מעלה הירקון, ממוצע ה- BOD לא היה גבוה. לעומת זאת, מכניסת נחל קנה יש זינוק בכמות החומר האורגני. ככל שמתרחקים במורד הנחל יש ירידה באותו חומר אורגני כתוצאה מפירוק חומר אורגני ע"י חיידקים, שגורמים גם לירידה בריכוז החמצן. נקלחו דגימות ביולוגיות בכל אחת מהתחנות, ורוצים לבדוק עד כמה תואם לאיכות המים בירקון. מה שהיה נצפה הוא שערך הציין ($BIBI$) במפגש עם נחל הקנה יפגע, ולאחר מכן ילך וישתפר. אבל, נמצא כבר בקטע הנקי ירידה בציין – שינוי בחברת חסרי החוליות. לאחר כניסת הזיהום הוא ירד עוד יותר, והלך ועלה עם התקדמות הזרימה. מה קרה בשתי התחנות הראשונות? בתקופה בה נדגם היתה שנת בצורת, הירקון דולל ממים, ולכן נפגע הציין בקטע הראשוני שלו. כיום מצב זה לא יתקיים כי הטבע מוכר כצרכן מים לכל דבר – זכות הטבע למים (או משהו כזה). ההשפעה השלילית על חסרי החוליות העידה על זיהום שאינו אורגני אמנם בחלק הראשון, אך ישנה הפרעה במערכת – במקרה זה הפרעה מהתייבשות.

ניטור ביולוגי משפיע אם כן על שינויים שאינם ביולוגיים בלבד איכות מים לצד הפרעות נוספות.

תקן ענבר: האם ה- BOD בירקון עומד בתקן (10 מג"ל)? הציין הולך ויורד ככל שריכוז החומר האורגני עולה, ומתקבל בפחות מ-50% - כלומר החברה פגועה, כ-50% מאשר אם איכות המים היתה טובה.

סיכום:

נחלי ישראל נפגעו והוזרמו להם שפכים במהלך השנים. תקנים בלתי מתאימים במשך עשרות שנים הביאו להדרדרות המצב האקולוגי ואף בלתי הפיך. יש ספק בשימוש בקולחים לשיקום. עם זאת העליה במודעות הציבור, שקיום הנחלים, תיקון לתקן ענבר – שיפר את המצב, אך עדיין בלתי מספק.

פתרונות מוצעים:

- ניצול המים במורד – ניתן למים לזרום, ונשתמש בהם רק במורד.
- ליטוש קולחים שלישוניים – לקחת קולחים אלו שעומדים בתקן ענבר, ולשפרם עוד יותר, למשל על ידי *constructed wetlands*.
- לעבור באופן הדרגתי למים מותפלים. מים אלו ישלחו לחקלאות וישחררו יותר מים לקליחה טבעית בנחלים
- חייבים לבדוק כל הזמן את עצמנו – את המצב האקולוגי בשילוב ניטור ביולוגי, ולדאוג לדרישות הנחל מבחינת כמויות מים, זרימות וכו'.