

הערכת תרומת זרחן ומזהמים נוספים לנחלים מבקר לבשר מחקר במסגרת פרויקט LIFE – מקורות הירדן

ד"ר דורון מרקל – רשות המים

אייל ווינברג – מיג"ל

יגאל נאור – מנהלת הכנרת

רקע

הכנרת מהווה מקור מים עיקרי בישראל ומשום כך מפעילה רשות המים מערכי ניטור, פיקוח וממשק למניעת זיהום אשר פועלים לצמצום עומסי המזהמים המגיעים לאגם. הזיהום הנותר לכנרת ממקורות זיהום נקודתיים, כגון מפעלים, מכוני ביו, בריכות דגים ורפתות מטופל היטב וצומצם באופן דרסטי בעשור האחרון. אולם, תרומת המזהמים ממקורות לא נקודתיים כגון אזורים חקלאיים ואזורי מרעה נותרה בעינה. בהתאם לכך, הוחלט לפעול לכימות מקורות אלו על מנת להכין תוכנית ארוכת טווח לטיפול בהם. מטרת פרויקט LIFE מקורות הירדן הינה קידום פעולות שונות כגון הסדרת תיירות אקולוגית, ניטור וחינוך אשר נועדו לשפר את מצבו האקולוגי של אזור מקורות הירדן ולצמצם את הזיהום הנפלט ממנו. במסגרת זו, מטרת העבודה הנוכחית לבחון את תרומת הזרחן ומזהמים נוספים ממרעה הבקר במקורות הירדן. הבקר במרעה למעשה "ממחזר" חנקן וזרחן שנמצא בצמחים, על ידי פליטתו בפרש, והפיכתו לזמין כאשר הפרשה נעשית בנחל זורם. תוכניות ניהול עתידיות מדברות על הרחקת הפרות מנחלי איתן הזורמים בקיץ. לשם תכנון נכון של תוכניות אלו יש לבחון קודם מהי התרומה של מזהמים אלו בתלות במספר הפרות ומידת כניסתן לנחל. בעבודה זו נעשה שימוש בדוגמים אוטומטיים מסוג ISCO 3700 אשר נרכשו במסגרת פרויקט LIFE ותחנה למדידת ספיקה כדי לכמת את עומסי הזרחן, החנקן ומזהמים אחרים הנותרים ע"י הפרות בקטע של תעלת הנוחילה מצפון למעיין הדר.

מטרת העבודה

מטרת העבודה הינה כימות עומסי הזרחן, החנקן ומזהמים אחרים הנותרים ע"י פרות מרעה בנחלי מקורות הירדן בתלות במספר הפרות, מידת כניסתן לנחל והתנאים הפיסיים כגון טמפרטורת המים, עוצמת הזרימה, תנאי מזג אויר וכו'.

מטלות להשגת המטרה

לשם השלמת מטרה זו יש להשלים את המטלות הבאות:

1. מציאת נחל איתן הזורם כל השנה בו יש פעילות בקר למרעה ואין בו מקורות זיהום אחרים.
2. מדידת ספיקה רציפה בנחל זה.
3. דיגום מים בשתי נקודות לאורך הנחל באזור בו הפרות נכנסות אליו לשם שתייה. על נקודות אלו להיות במרחק של מאות מטרים זו מזו לפחות וללא כניסות או יציאות מים ביניהן. הדיגום צריך להיות סמי-רציף (בעזרת דוגם אוטומטי) כל כחצי שעה במשך שלושה ימים בעונות שונות.
4. מדידת צורני זרחן וחנקן, כלל מוצקים מרחפים, BOD ו COD בדוגמאות המים השונות.
5. ניתוח התוצאות ע"י חישוב עומסי המזהמים והערכת הפערים בעומסים בין שתי נקודות הדיגום.

שלב העבודה

שלב א' – בחירת הנחל המתאים לביצוע העבודה (הושלם)

הנחל המתאים לדרישות לעיל הינו תעלת הנוחיילה מצפון למעיין הדר, מקור המים העיקרי מבין מקורות הירדן (איור 1). תעלה זו הינה תעלה מלאכותית שנחפרה בשנת 1972 כתעלה שנועדה למנוע זיהום מעיין הדר מגלישות בלתי צפויות מצינור הטפליין שהעביר נפט גולמי מלבנון לסוריה. לתעלה זו מקורות מים קבועים כל השנה (מעיינות הנוחיילה ומעיין אל-בארד) ואין בה יציאות וכניסות לאחר כניסת עין אל-בארד. לאורך התעלה משני צידיה יש ברוב השנה מרעה של קיבוץ שניר. הפרות שותות את מי התעלה לכל אורכה ולכן נכנסות למים באופן תדיר. אין לתעלת הנוחיילה מקורות זיהום אחרים כדוגמת ביוב או בריכות דגים מלבד הבקר.



איור 1: תעלת הנוחיילה מצפון למעיין הדר ותחנות הדיגום שלאורכה.



תמונה 1: פרות יורדות לשותות בתעלת הנוחיילה אשר נבחרה כמקום המחקר.

שלב ב' - התקנת מערכת למדידת ספיקה רציפה (הושלם)

לשם מדידת הספיקה הוצב סכר בטון בתעלה. בסכר הותקן פתח טרפזי ומד מפלס רציף המודד מסוג טלימדס (תמונה 2-4)



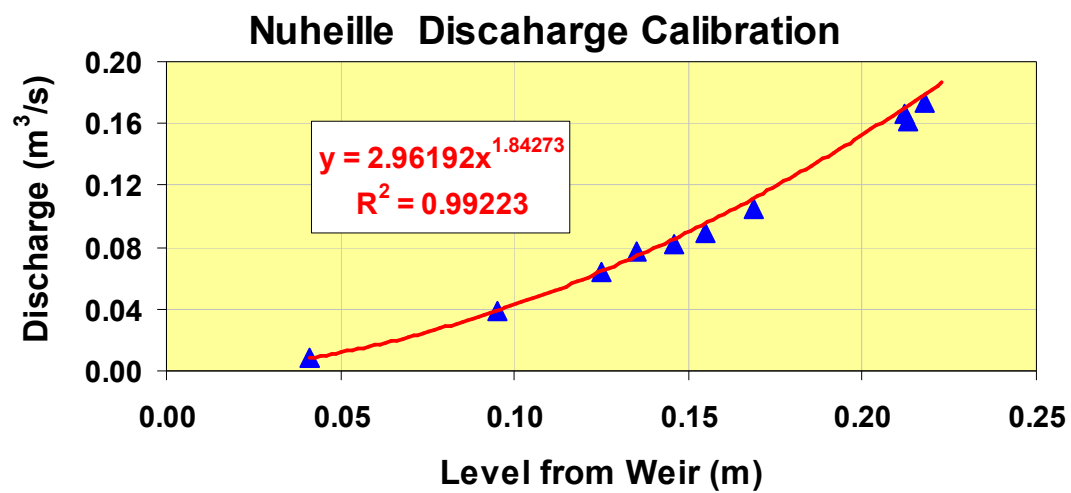
תמונה 2 : סכר ומגלש טרפזי למדידת ספיקה אשר הותקנו בתעלת הנוחילה בשלב השני של העבודה.



תמונה 3 : מד מפלס רציף מסוג טלימדס המבוסס על מצוף, גלגלת ומכשיר רושם נתונים.



תמונה 4 : הורדת נתונים ממד המפלס בתעלת הנוחיילה וכיולו.



איור 2 : גרף כיול למד המפלס הרציף שהותקן בתעלת הנוחיילה.

שלב ג' – דיגום מים בעזרת דוגמים אוטומטיים בתעלת הנוחיילה (תוכנית).

בשלב זה יוצבו דוגמים אוטומטיים קרוסלה מדגם ISCO 3000, אשר נרכשו במסגרת הפרויקט למטרה זו, בתחנות 1 ו-2 ע"פ המפה באיור 1. הדוגמים יכוונו לדגימה של 160 מ"ל כל שעה וחילוף בקבוק כל 3 שעות (בכל בקבוק יש נפח של 500 מ"ל). במעבדה יעורבבו כל שני בקבוקים עוקבים ליצירת דוגמה אינטגרטיבית של 1 ל'. כך נקבל 4 דיגומים אינטגרטיביים ביום במשך שלושה ימים. במבצע כזה של שלושה ימים ידגמו 12 דוגמאות מים בכל תחנה ובסך הכל 24 דוגמאות.

הדוגמים האוטומטיים יוסתרו בתחנות הדיגום ויאובטחו כראוי. במידת הצורך, יוכנס קרח לדוגמים ע"מ לשמור על טמפרטורה קרירה של הדוגמאות ולמנוע תהליכים המשנים את ריכוזי הזרחן והחנקן לאחר הדיגום.

במהלך מבצע הדיגום בן שלושת הימים תתקיים צפייה קבועה במצב הפרות בנחל ואף תבדק האפשרות להציב משדר GPS על אחת מהן ע"מ לעקוב אחר מיקומה ברציפות. המטרה היא קביעה כמותית של כמות הפרות שבקרו בנחל עצמו ולאִיזה זמן במהלך שלושת ימי הדיגום.

הכוונה לערוך בשנה הקרובה 4 מבצעי דיגום – דיגום סתיו באוקטובר-נובמבר, דיגום חורף בינואר-פברואר, דיגום אביב באפריל-מאי ודיגום קיץ ביולי-אוגוסט.

עלות צפויה (לאחר רכישת הדוגמים) – שלושה ימי עבודת טכנאי שדה בכל מבצע דיגום – סה"כ 12 ימי עבודת טכנאי שדה

שלב ד' – ביצוע אנליזות כימיות בדיגומי המים

במסגרת מבצעי הדיגום יועברו דוגמאות המים למעבדת מיג"ל בקריית שמונה. במידת הצורך, הדוגמאות יועברו בקרור. כל שני בקבוקים עוקבים יחולקו לדוגמה אחת בת 1 ל'. בדוגמאות ימדדו הפרמטרים הבאים:

- TP – זרחן כללי.
- TDP – זרחן מומס כללי.
- DP – זרחן מומס.
- NO₃ – ניטראט
- NH₄ – אמוניום
- Norg – חנקן אורגני.
- TN – חנקן כללי
- TSS – כלל מוצקים מרחפים.
- BOD – צריכת חמצן ביולוגית
- COD – צריכת חמצן כימית.

עלות צפויה – 350 ₪ לכל האנליזות בדוגמה אחת X 24 דוגמאות X 4 מבצעי דיגום = 33,600 ₪.

שלב ה' – ניתוח התוצאות וכתובת דו"ח

התרומה היחסית של פרות לעומס חומר ספציפי ניתנם לחישוב ע"י חישוב הפרשי העומס בין התחנה השניה לראשונה תוך הוספת העומס המסולק באופן טבעי ע"י הנחל (כאשר אין פרות בנחל). לפיכך, הערכת תרומה יחסית של פרות לעומס של חומר ספציפי לנחל תתבצע על פי הנוסחה הבאה:

$$\Delta L_d = \frac{\sum_{t=0}^{t=d} [(C_{t,2} * Q_t - C_{t,1} * Q_t) - (C_{t^*,2} * Q_{t^*} - C_{t^*,1} * Q_{t^*})]}{N_t}$$

כאשר:

ΔL_d - תרומה יחסית של חומר ספציפי ביום d.

$C_{t,1}$ - ריכוז החומר הספציפי בתחנה 1 בשעה t.

Q_t - ספיקת המים בנחל בשעה t.

$C_{t^*,1}$ - ריכוז החומר הספציפי בתחנה 1 בשעה t^* בה אין פרות בנחל.

Q_{t^*} - ספיקת המים בנחל בשעה t^* בה אין פרות בנחל.

N_t - מספר הפרות בנחל בשעה t.

בהמשך לחישוב לעיל יתבצע ניתוח של התוצאות בהתאם לכמות הפרות בנחל, התנאים הפיסיים ומזג האוויר בכל דיגום. התוצאות ינותחו ע"י מומחה לגיאוכימיה והידרולוגיה.

מהלך העבודה

הניסוי הראשון היה אמור להיות ניסוי בעונת הסתיו. אולם בחודשים נובמבר ודצמבר 2007 הפסיקה הזרימה בתעלת הנוחיילה לחלוטין. בתחילת ינואר התחדשה הזרימה ולכן נערך הניסוי בתאריכים 6-9/1/2008. התוצאות של ניסוי זה, אשר אינן מוצגות כאן, הראו שתוספת הזרחן והחנקן מכניסת פרות לנחל כמעט שלא הורגשה בתחנת המוצא (תחנה B). המסקנה מכך היא שבסתיו, כאשר הזרימה בנחל הינה מינימלית משמש הנחל כמקבע זרחן וחנקן. הניסוי השני, אמור היה להיות ניסוי חורפי. אולם לצערנו, חורף 2008 היה שחון ולא נוצרה זרימה משמעותית בתעלת הנוחיילה. בסופו של דבר נערך הניסוי השני בתאריכים 6-9/3/2008.



תמונה 4 : סכרון המדידה בעת ניסוי החורף – 6/3/2008



תמונה 5 : מדידת ספיקה לכיול סכרון המדידה בעת הניסוי החורפי ב 6/3/2008.



תמונה 6 : התקנת דוגם אוטומטי בתחנה A בעת ניסוי החורף – 6/3/2008.



תמונה 7 : התקנת דוגם אוטומטי בתחנה B בעת ניסוי החורף – 6/3/2008.

תוצאות

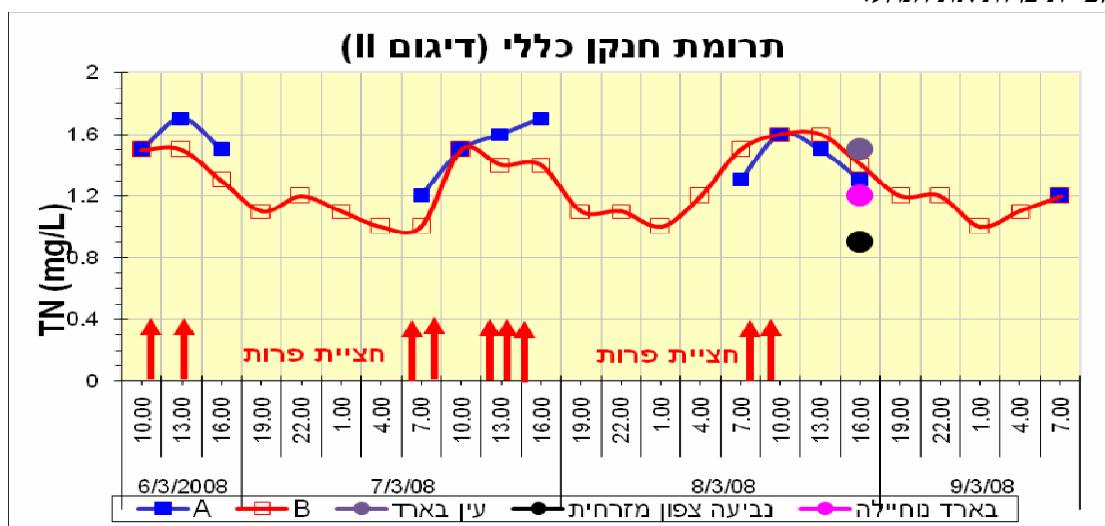
איורים 3 ו 4 מציגים את השינויים בריכוזי חנקן והזרחן בתחנות A ו B בניסוי ומהם עולות מספר נקודות:

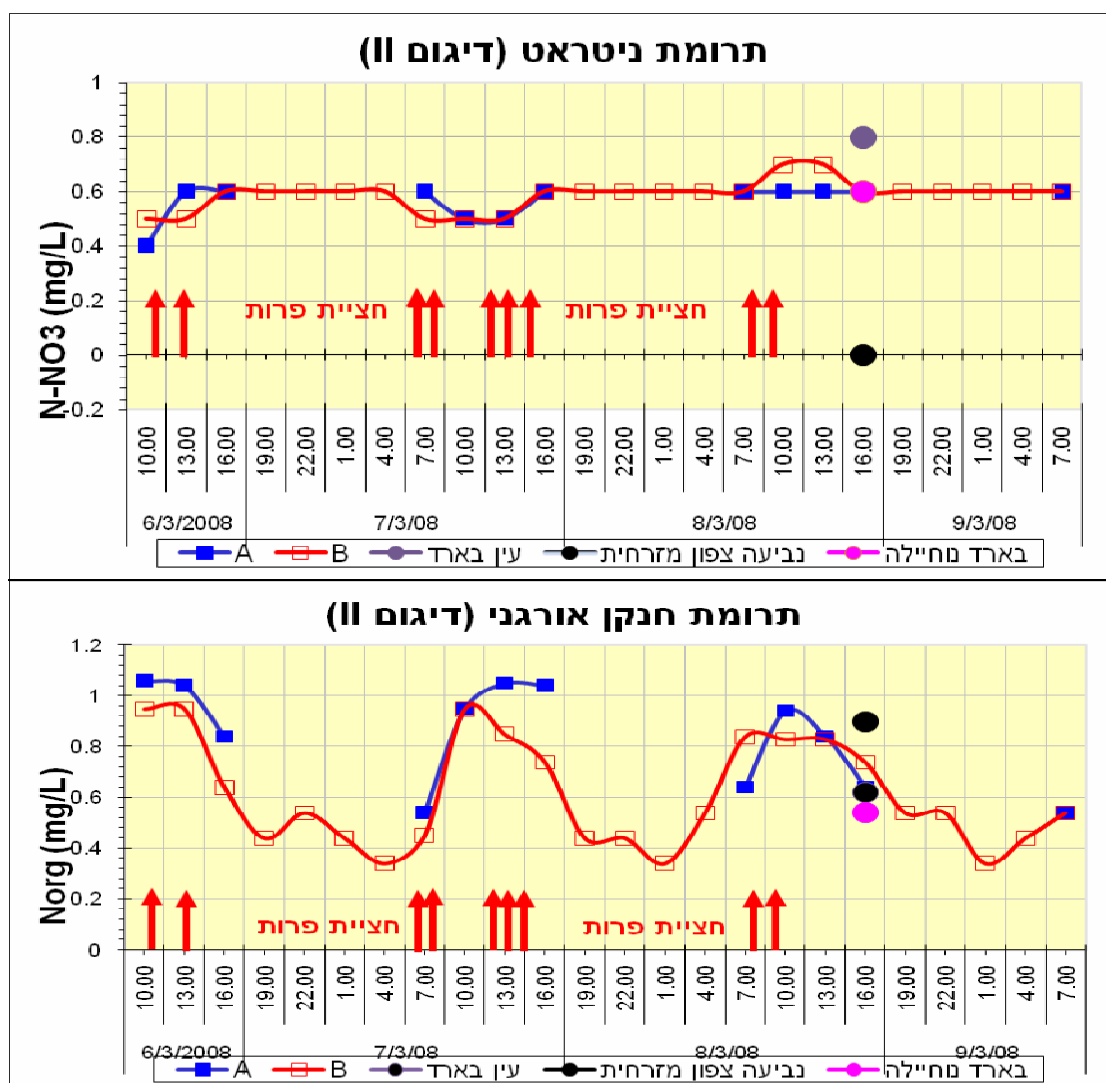
1. כניסת פרות לנחל הביאה לעליית ריכוזי הזרחן והחנקן הן בתחנת התחלת הניסוי (תחנה A) והן בתחנת הסיום (תחנה B).
2. מירב השינוי בצורני החנקן התבטא בחנקן האורגני.
3. מירב השינוי בצורני הזרחן התבטא בזרחן החלקיקי.
4. ההבדלים בין ריכוזי החנקן והזרחן בתחנה A ובתחנה B היו לרוב קטנים ביותר.

איורים 5 ו 6 מציגים את העומסים המחושבים לצורני החנקן והזרחן אשר נוספו או סולקו במקטע הנחל שבין תחנות A ו B. מאיורים אלו עולות התצפיות הבאות:

1. עומס החנקן הכללי הראה סילוק של 0-4 ק"ג חנקן ליום בארועי חציית הפרות הראשון והשני, ותרומה של 0-2 ק"ג ליום בארוע החצייה השלישי.
2. מירב עומס החנקן שסולק או נתרם היה חנקן אורגני.
3. עומס הזרחן הכללי הראה סילוק של 0.6-1 ק"ג זרחן ליום בארוע החצייה הראשון, וסילוק של 0.5 עד תרומה של 0.1 ק"ג זרחן ליום בארוע השני והשלישי.
4. מירב עומס הזרחן שסולק או נתרם היה זרחן חלקיקי.

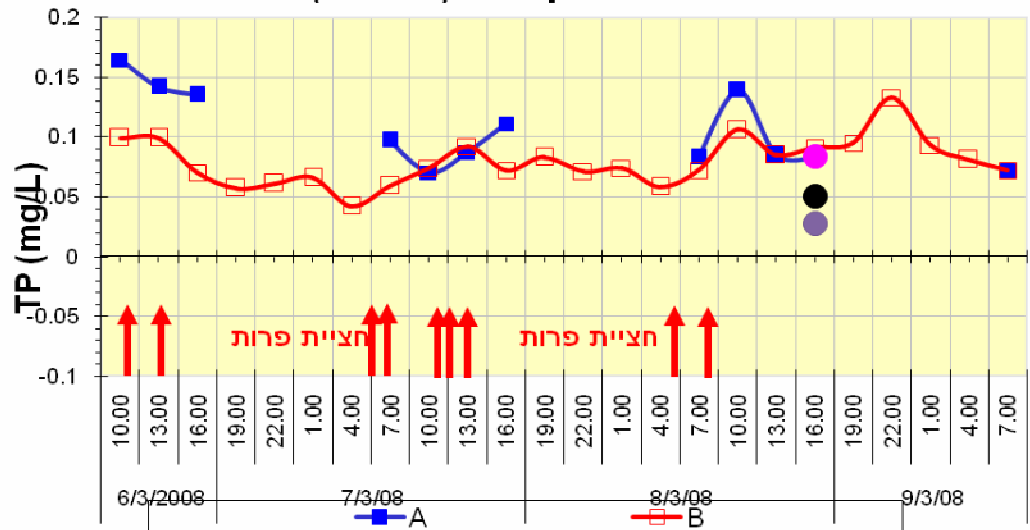
איור 3 – שינויים בריכוזי מרכיבי החנקן (חנקן כללי – TN, חנקן ניטראטי – $N-NO_3$, חנקן אורגני – Norg) בתחנות הדיגום A (קו כחול) ו B (קו אדום) במהלך הניסוי השני ב 6-9/3/2008. החיצים האדומים מסמנים ארועי חציית פרות את הנחל.



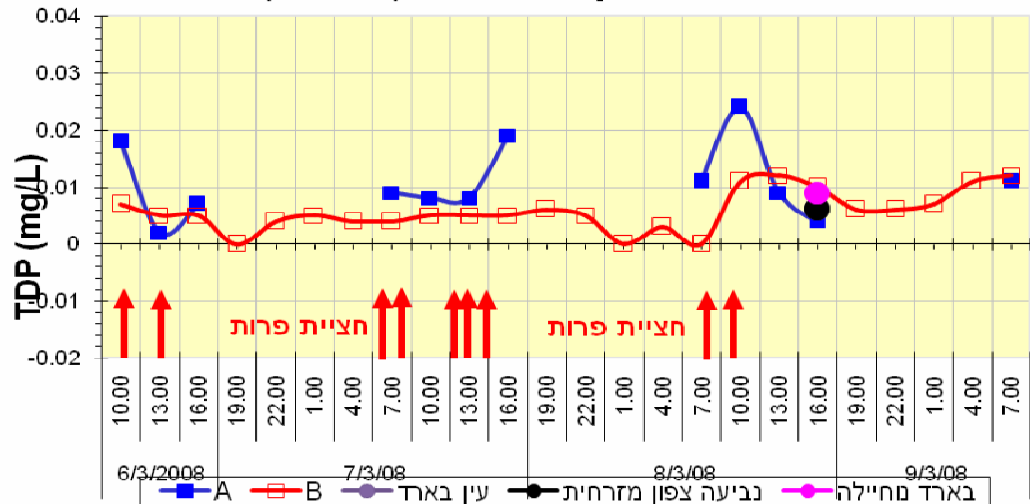


איור 4 – שינויים בריכוזי מרכיבי הזרחן (זרחן כללי – TP, זרחן כללי מומס – TDP, זרחן חלקיקי – PP) בתחנות הדיגום A (קו כחול) ו B (קו אדום) במהלך הניסוי השני ב 6-9/3/2008. החיצים האדומים מסמנים ארועי חציית פרות את הנחל.

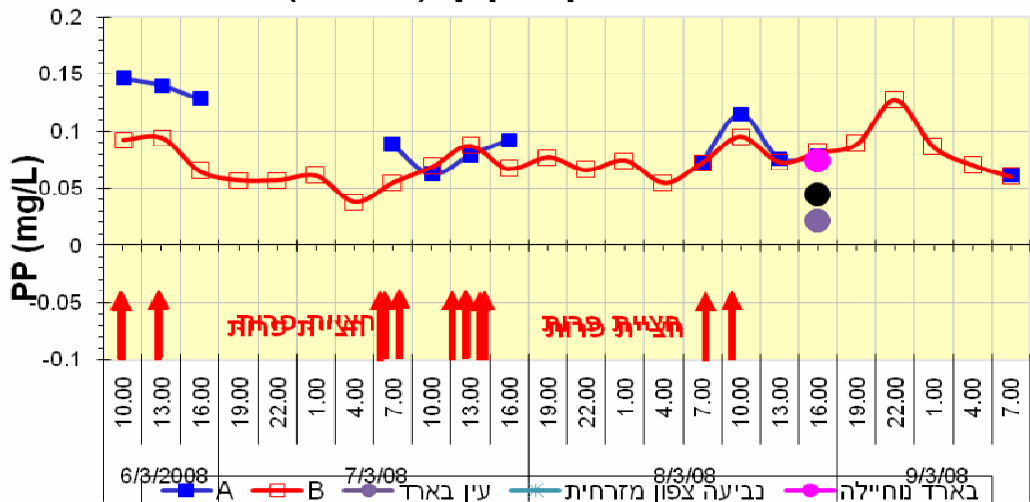
תרומת זרחן כללי (דיגום II)



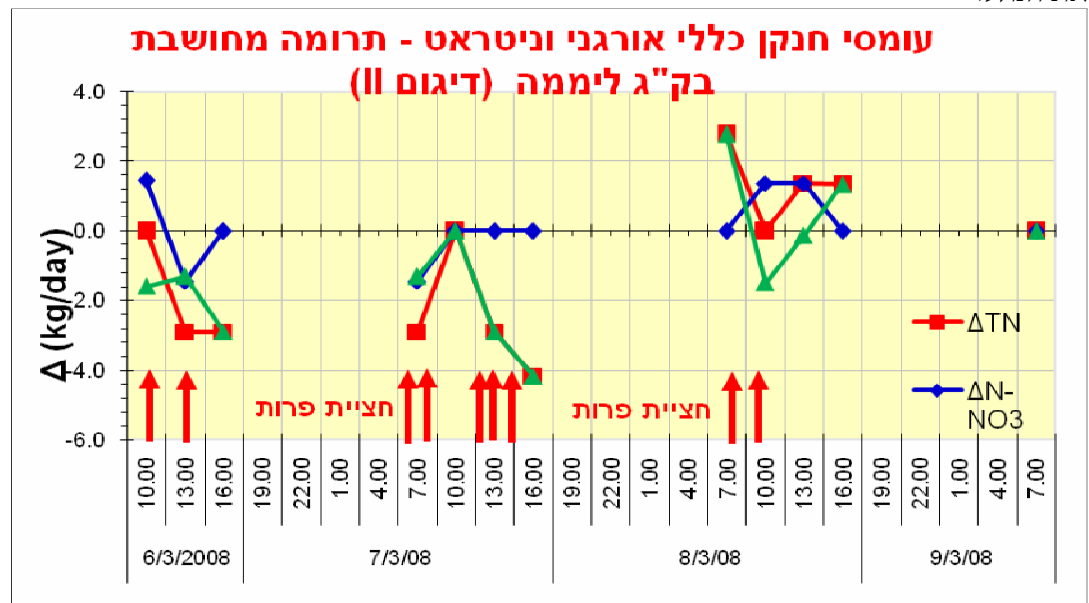
תרומת זרחן מומס (דיגום II)



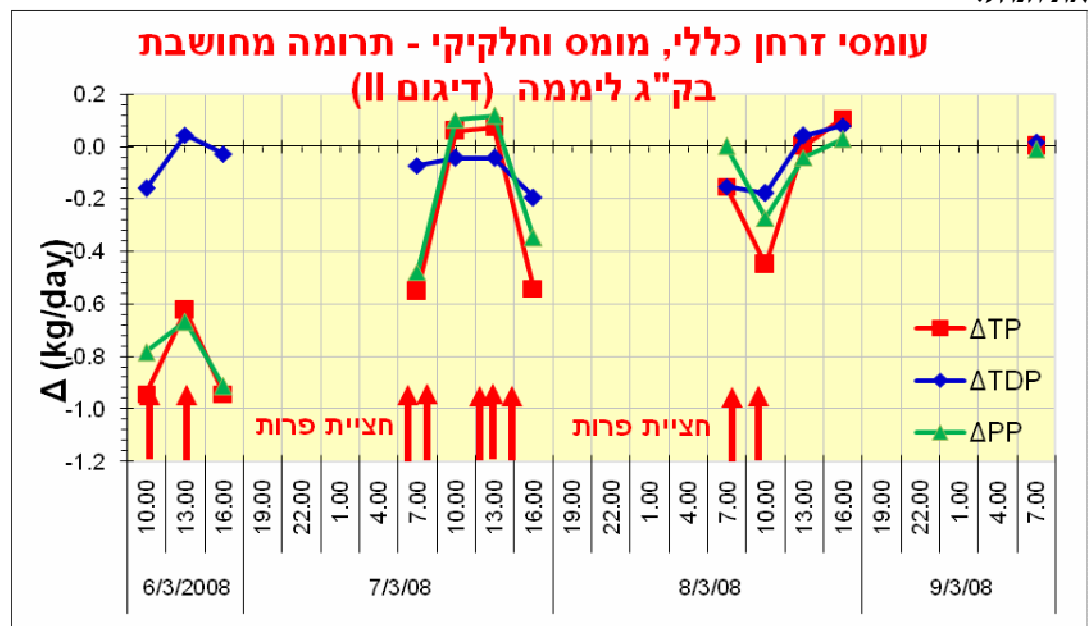
תרומת זרחן חלקיקי (דיגום II)



איור 5 – שינויים בעומסי החנקן (חנקן כללי – TN באדום, חנקן ניטראטי – N-NO₃ בכחול וחנקן אורגני – Norg בירוק) בתחנות הדיגום A ו B במהלך הניסוי השני ב 6-9/3/2008. החיצים האדומים מסמנים ארועי חציית פרות את הנחל.



איור 6 – שינויים בעומסי הזרחן (זרחן כללי – TP באדום, זרחן מומס כללי – TDP בכחול וזרחן חלקיקי – PP בירוק) בתחנות הדיגום A ו B במהלך הניסוי השני ב 6-9/3/2008. החיצים האדומים מסמנים ארועי חציית פרות את הנחל.



מסקנות

מהתוצאות המובאות באיורים 3-4 ניתן להסיק את המסקנות הבאות :

1. פרות נכנסות לתעלת הנוחילה גם לפני תחנה A או בסמוך לתחנה A ויוצרות הפרעה במי הנחל בתחיל הניסוי.
2. תוספת הזרחן והחנקן לנחל עקב כניסת פרות מתבטאת בעיקר בצורנוים החלקיקיים. תופעה זו מוסברת ככל הנראה בהרחפה של חלקיקים מקרקעית הנחל ובהפרשה של הפרות בנחל.
3. הנוטריאנטים שנוספו לנחל בשל כניסת פרות במקטע שבין תחנה A ל B מוסכו בתופעת השיקוע של הנחל אשר נצפתה בניסוי הסתוי.

מהתוצאות המובאות באיורים 5-6 ניתן להסיק את המסקנות הבאות :

1. הניסוי החורפי הראה גם הוא, בדומה לניסוי הסתוי, בעיקר שיקוע של חנקן וזרחן בנחל ולא תרומה. אין להסיק מכך שהפרות החוצות את הנחל או נמצאות בצידו אינן תורמות זרחן וחנקן לנחל, אלא שבשל הזרימה החלשה בשני הניסויים פעל הנחל כמשקע לתרומת הפרות.
2. ניתן להניח שבארועי חציית הפרות הראשון והשני גברה יכולת השיקוע של הנחל על תרומת הפרות ואילו בארוע השלישי גברה תרומת הפרות על יכולת השיקוע. מכאן ניתן לקבל סדר גודל לתרומת הפרות בארועי החציה – 4-6 ק"ג ליום חנקן כללי ו 0.4-0.6 ק"ג ליום זרחן כללי.
3. אם ניקח בחשבון שבימי החצייה חצו כ-20 פרות בכל פעם ניתן לקבל תרומה מוערכת לפרה באנחלי האגן והיא עומדת על כ- 0.2-0.3 ק"ג ליום חנקן כללי ו 0.02-0.03 ק"ג ליום זרחן כללי. בהתחשב בכמות פרות המרעה באגן (כ- 35,000 ראש), הכמות מתוכם הנכנסים לערוצי מים זורמים (כ- 25%) וימי החצייה (כ- 150 יום בשנה) נקבל תרומה של 250-400 טון חנקן ו-25-40 טון זרחן לשנה. ערכים אלו סבירים ביותר ביחס לעומסי החנקן והזרחן המגיעים לכנרת בשנה ממוצעת (כ- 1100 טון חנקן ו 100 טון זרחן).

מסקנות כלליות מהניסוי כולו הינן :

1. יש לחזור על הניסוי במהלך חורף גשום כאשר יתפתחו זרימות גבוהות בנחל. צפוי שבמצב כזה יפלוט הנחל את הזרחן שהפרות תורמות הן מתרומה ישירה שהתרחשה בעת הניסוי והן מתרומות קודמות ששוקעו לקרקעית הנחל.
2. יש לדאוג שפרות לא יכנסו לנחל לפני תחנת הדיגום ההתחלתית (תחנה A). כמו כן, יש למנוע כניסה של פרות לאזור הקרוב לתחנת הדיגום A שכן יש בכך כדי לפגוע בתוצאות הניסוי.