

# סחרור מים בנחל

## הירקון

**תמונת מצב הנחל לפני תחילת  
הסחרור ובחינת השפעת  
השיפור באיכות הקולחים על  
המקטע התיכון של הנחל**

שריג גפני וטלי יוגב

ביה"ס למדעי הים המרכז האקדמי רופין

מוגש לרשות נחל ירקון  
יוני 2015

## תקציר הממצאים והמסקנות

- מי הנחל במורד כניסת הקולחים צלולים יותר בהשוואה לצלילות המים במקטע העליון.
- טמפרטורת מי הנחל עולה בסדר גודל של כשתי מעלות במוצא לאחר כניסת הקולחים המטוהרים לנחל.
- עקב תכולת המלחים הגבוהה יותר במי הקולחים בהשוואה למי הנחל הזורמים במקטע העליון המוליכות החשמלית של מי הנחל עולה בכ-  $250\mu S$ .
- הקולחים המטוהרים הנכנסים לנחל עשירים יותר בחמצן ויש עליה ממוצעת של כ-2 מ"ג ללי בריכוז החמצן במקטע התיכון שמשמעותה עלייה של כ-15% בריכוזי הרוויה.
- שינוי הסכר המפריד בין המקטע העליון למקטע התחתון של הנחל לא בא על ביטוייו בכל המקטע העליון. בהשוואה בין חתכי הנחל ב-2010 וב-2012 בבית הבטון נרשמה דווקא ירידה מסוימת בעומק המים המקסימאלי.
- במקביל חלה בבית הבטון עלייה של כ-30 ס"מ ברוחב התעלה הרטובה.
- במקטע התיכון של הנחל לא נרשם שינוי מובהק בחתך המים הרטוב בין 2010 ל-2012.
- מהירות הזרימה של המים במקטע העליון (בית הבטון) כמעט והוכפלה ב-2012 בהשוואה למהירות ב-2010. מהירות הזרימה במקטע התיכון כמעט ולא השתנתה בין השנים,
- התפלגות המהירויות בחתך הנחל הייתה שונה בין השנים.
- בחינה של הביומסה העומדת מלמדת על הבדלים בדינמיקה של ההתפתחות של הביומסה וגם בביומסה המירבית המתפתחת בכל תחנה. נראה כי ההבדל נעוץ ככל הנראה משונות יותר מזמינות אור.
- במקטע העליון של הירקון קיים דגם הופעה טיפוסי של מקרופיטים טבולים שעיקרו שליטה של קרנו טבוע במעלה המקטע ומעבר לשליטה של נהרונית צפה במורד המקטע. הנופר הצהוב מתפתח בעומדים צפופים בנקודות שונות לאורך המקטע העליון
- קיימת דינאמיקה עונתית של התפתחות הביומסה העומדת של הנופר המתאפיינת בביומסה נמוכה מאד בחודשי החורף ובהתפתחות מהירה של הביומסה עם בוא האביב.
- למרות השיפור המובהק באיכות הקולחים המוזרמים לנחל עדיין אין כל סימן להתפתחות מקרופיטים טבולים או נופר צהוב במקטע התיכון של הנחל.
- בחינה של אסופת חסרי החוליות הגדולים במקטע העליון והתיכון של הנחל מלמדת כי אין כיום הבדל בעושר הטקסונים של חסרי החוליות בין המקטע העליון למקטע התיכון.
- הן במקטע העליון והן במקטע התיכון, עושר הטקסונים גילה דינאמיקה עונתית של שפל בסתיו ובחורף ושיא בחודש האביב והקיץ.
- עיקר ההבדל בהרכב האסופה של חסרי החוליות הגדולים בין המקטעים השונים של הנחל ובין התחנות השונות בתוך כל מקטע נובע ממינים שתדירות הופעתם נדירה.
- בחינה של דינאמיקת הפרוק של חבילות גבעולים מלמדת כי בשתי התחנות שנבחנו דינאמיקת הפרוק במקטע העליון היה איטי יותר בהשוואה למקטע התיכון.

## א. מבוא

### 1. מבוא ורקע מדעי

המערכת האקולוגית הטבעית של נחלים היא מהמגוונות בין המערכות האקולוגיות המוכרות בביוספרה (Pringle et al., 1988). ההטרוגניות המרחבית המאפיינת את מערכת הנחל באה לידי ביטוי במרכיבים האביוטיים של המערכת והיא מוצאת את ביטוייה גם במרכיבים הביוטיים (Palmer and Poff, 1997 ; Palmer et al., 1997). היותה של מערכת הנחל מערכת זורמת המתאפיינת בכיוונית בולטת מעלה עוד יותר את ההטרוגניות הן במרכיבים המורפולוגיים (למשל, מבנה תעלת הנחל, אופי התשתית), הן במרכיבים הכימיים (מרכיבים של איכות המים) והן במרכיבים הביוטיים (ביופילם, אצות, מקרופיטים, חסרי חוליות ודגים) תוך אינטראקציות בין מרכיבים אלה (Vannote et al., 1980 ; D'Angelo et al., 1997). בין המרכיבים האביוטיים המשמעותיים המשפיעים על האקולוגיה של נחלים ניתן למנות את התנאים ההידרולוגיים ובעיקר את מהירות הזרימה ואת אופי התשתית. שני מרכיבים אלה קשורים ביניהם קשר מובהק והם משפיעים זה על זה (Gordon et al., 1992) ועל מאכלסי הנחל (Allan, 1995).

יחסי הגומלין בין מהירות הזרימה ואופי התשתית משפיעים על מבנה אסופת חסרי החוליות והדגים. אורגניזמים המאכלסים מקטעי נחל (Malmqvist, 2002 ; Simpson et al., 1986) פיתחו אדפטציות המאפשרות להם להתמודד עם (runs) המתאפיינים במהירויות זרימה גבוהות הכוחות הפיזיקאליים החזקים המאפיינים תנאים אלה. מיני אורגניזמים המאכלסים בתי גידול בריכתיים חסרים בדרך כלל התאמות אלה, אך מינים אלה עמידים יותר לתנאים ירודים של בית הגידול שלהם כסדימנטציה מוגברת או ריכוזי חמצן נמוכים.

יחסי הגומלין בין מהירות הזרימה ואופי התשתית משפיעים על מבנה אסופת חסרי החוליות והדגים (Malmqvist, 2002 ; Simpson et al., 1986) והדגים. אורגניזמים המאכלסים מקטעי נחל המתאפיינים במהירויות זרימה גבוהות (runs) פיתחו אדפטציות המאפשרות להם להתמודד עם הכוחות הפיזיקאליים החזקים המאפיינים תנאים אלה. מיני אורגניזמים המאכלסים בתי גידול בריכתיים חסרים בדרך כלל התאמות אלה, אך מינים אלה עמידים יותר לתנאים ירודים של בית הגידול שלהם כסדימנטציה מוגברת או ריכוזי חמצן נמוכים.

השפעת האדם על המערכת האקולוגית של נחלים מובילה בדרך כלל להפחתה בהטרוגניות של מערכת הנחל וגוררת אובדן של המגוון הביולוגי של מאכלסי המערכת (בעיקר חסרי חוליות ודגים). מהירות הזרימה והספיקה הם מהגורמים האביוטיים המשמעותיים המשפיעים על האקולוגיה של נחלים. פגיעה בגורמים אלה משפיעה על מבנה אסופת החי והצומח בנחל ומובילה בדרך כלל להפחתה בהטרוגניות של מערכת הנחל. הפחתה זו בהטרוגניות של מערכת הנחל גוררת אחריה גם אובדן של המגוון הביולוגי (Giller and Malmqvist, 1998). התהליך של אובדן הולך וגובר של מגוון הביולוגי הוא תהליך עולמי המאפיין גם בתי גידול אקוטיים בישראל ובכלל זה נחל הירקון.

נחל הירקון הוא הגדול שבנחלי ישראל הנשפכים לים התיכון והשני בגודלו אחרי נהר הירדן. הירקון הוא נחל שפלה טיפוסי "lowland stream" בעל שיפוע קטן (כ- 60 ס"מ לכל ק"מ) (Avitsur, 1957). שטח אגן הניקוז שלו הוא כ- 1805 קמ"ר וכמות המשקעים הממוצעת באגן היא כ- 600 מ"מ בשנה שהם 1100 מלמ"ק. רק חלק קטן ממי הנגר היורדים באגן הניקוז של הנחל מגיע אל הירקון כנגר עילי (Gafni et al, 1989), בעיקר בצורת שטפונות קצרי טווח שמתמשכים ימים ספורים בלבד.

עיקר זרימת הבסיס של נחל הירקון התקבלה ממעיינות הירקון הנובעים למרגלות תל אפק. הספיקה ההיסטורית של מעיינות אלה הייתה 25,000 מ"ק/ש. אולם תפיסת מי המעיינות והפנייתם לשימושי האדם החל משנות ה-40 של המאה ה-20 הביאה להתדלדלות הולכת וגוברת של תרומת מקור מים זה לספיקה הזורמת בנחל. שאיבה הולכת וגוברת הביאה לכך שבמשך השנים ירדו מפלסי מי התהום ואיתם שפיעת המעיינות, עד למצב שבו מפלס מי התהום ירד אל מתחת למפלס הנביעה והדרך היחידה להביא לזרימת מי מקור מהאקוויפר המזין בירקון הייתה לשאוב מים מהאקוויפר ולשחרר אותם לנחל. תפיסת המים ממקורות הירקון גרמה לשינוי הידרולוגי קיצוני במבנה ובתפקוד מערכת הנחל. כמויות המים השפירים שזרמו בנחל לא הספיקו עוד להחזקה של זרימת מים קבועה לאורך כל מקטע הנחל העליון ובחודשי הקיץ הוא התייבש. שינוי זה גרם לשינויים קיצוניים במבנה ובאופי בתי הגידול של הנחל (Gasith, 1992; Bar-Or, 2000).

לפגיעה במערכת הנחל השפעה החורגת מהמסגרת הצרה של הנחל עצמו. נחל הירקון זורם בלב אזור צפוף אוכלוסייה ויש לו תפקיד חשוב ביותר בשמירה על פסיפס אקולוגי בריא ומתפקד שיהווה ריאה ירוקה לאזור האורבאני שמסביבו. אולם, על מנת להשיג מטרה זו יש צורך לשמר את תפקודו האקולוגי של הנחל. במסגרת זו הוכנה לנחל תוכנית אב שמטרתה להתוות קווים מנחים לשיפור מצבו הבריאותי של הנחל שסבל קשות מהשפעות אנושיות, כצעד לקראת שיקומו של הנחל. במסגרת תכנית אב זו נקבע כי הספיקה הרצויה לשיקום הנחל היא 2,500 מ"ק/ש המהווים כ-10% מהספיקה ההיסטורית של מעיינות הירקון.

בשנת 2003 קיבלה ממשלת ישראל החלטה על שיקום הירקון. אולם, בהחלטה זו נקבע כי במקטע העליון של הירקון יזרמו רק 400 מ"ק/ש, המהווים רק 16% מהספיקה המינימאלית שנקבעה בתכנית האב ורק 1.6% משפיעת המעיינות ההיסטורית. ספיקה זו נופלת באופן משמעותי אפילו מהספיקה המינימאלית שנקבעה בתוכנית האב, ואין בה כדי להביא לשיפור משמעותי בתפקוד המערכת האקולוגית של הנחל. לשם כך נדרשים צעדים נוספים שישפרו את הספיקה ואת מהירויות הזרימה שהמקטע העליון של הנחל.

הרצון לייצר תנאים משופרים של זרימה במקטע העליון ולשפר את "מופע המים" הובילו להחלטה לשחרר מים בקטע שבין מפגש הנחלים קנה וירקון לסכר ההידרומטרי באל-מיר. הסחרור מתוכנן לספיקה של 1,200 מ"ק/ש והתוצאה תהיה שסך הספיקה בקטע שבו יבוצע סחרור יהיה 1,600 מ"ק/ש, בניקוי איבודי חלחול ואידוי. באופן זה, ספיקת המים שהמקטע העליון של הנחל יחווה יהיו גבוהות באופן משמעותי מכמות המים המופנית לנחל ממקורות

הירקון. סחרור המים צפוי להתחיל במהלך שנת 2010 ועם תחילת יישומו צפוי לחול שינוי משמעותי באופי ובמשטר הזרימה במקטע העליון של נחל הירקון. על פי תוכנית הסחרור המים הזורמים במקטע העליון של הנחל צפויים להיתפס באזור מפגש הנחלים ירקון/קנה, להישאב ולהיות מוזרמים למרחק של כ-6.5 ק"מ ולהשתחרר בחזרה אל הנחל במעלה הקטע העליון, באזור הסכר ההידרומטרי באל-מיר.

המקטע העליון של נחל הירקון משתרע לאורך כ-7 ק"מ ממקורות הירקון שלמרגלות תל אפק (בריכת הנופרים) ועד מפגש הנחלים ירקון/קנה, מקום בו נכנסים אל הנחל קולחים מטוהרים ברמה שניונית ממט"ש כפר סבא- הוד השרון. מקטע נחל זה מתאפיין בדרך כלל במים נקיים ללא תרומת מזהמים ממקור נקודתי. שיפוע הנחל במקטע זה בדי"כ מתון (0.14% במעלה מפגש ירקון קנה (גפני, 2002). תשתית הנחל רכה ומורכבת מ-37% חול גס, 15% חול דק, 17% טין ו-30% חרסית (רבינסקי, 2007). המוליכות החשמלית של המים נעה סביב  $1,150 \mu S$ . תכולת החומר האורגני המומס נמוכה בהשוואה למורד הנחל וריכוזי הפחמן האורגני המומס נעים סביב  $3.5 \text{ mg/l}$ . גם ריכוזי החנקן האנאורגני המומס נמוכים יחסית והצורון השולט (מעל 95% מכלל החנקן האנאורגני המומס) הוא הניטראט. גם ריכוזי הזרחה נמוכים יחסית ונעים סביב כ-  $0.25 \text{ mg/l}$  (רבינסקי, 2007). משמעות ממצאים אלה היא שאיכות המים במקטע הירקון העליון גבוהה יחסית ותואמת את המקובל בנחלים נקיים בישראל. בשל האופי הבריכתי של מקטע הנחל העליון מתפתחת בחלקים ממנו צמחייה מקרופיטית טבולה וצפת עלים. במעלה המקטע (בריכת הנופרים) עומדים צפופים של נופר צהוב (*Nuphar luteum*) ובהמשך ניתן לצפות בהתפתחות צופה של קרנן טבוע (*Ceratophyllum demersum*). במורד המקטע ניתן לראות התפתחות של נהרונית צפה (*Potamogeton nodosus*). בעבר, לפני הפגיעה המשמעותית במשטר הזרימה בנחל ניתן היה למצוא במקטע זה גם נימפאה לבנה (*Nymphaea alba*)

לסחרור המים המתוכנן במקטע העליון של הירקון יכולים להיות כמה יתרונות ברורים ובצידם גם כמה סיכונים. הגדלת הספיקה אותה הנחל חווה צפויה להשפיע באופן חיובי על תפקוד המערכת האקולוגית של הנחל. כיום, לפני תחילת הסחרור, בית הגידול של הנחל הוא בעיקרו בית גידול בריכתי. שילוב של שיפוע נמוך וספיקה נמוכה מביא למהירויות זרימה נמוכות יחסית היכולות להגיע עד רמה של זרימה למינרית (כלומר, ללא ערבול). המהירויות הנמוכות מקטינות את רמת הערבול של המים ומקטינות את מידת האוורור שלהם. לתופעה זו יכולה להיות השפעה שלילית על מאכלסי הנחל בעיקר בשעות הלילה המאוחרות. המהירויות הנמוכות מובילות לעכירות גבוהה יחסית בהשוואה לנחלים נקיים מהירי זרימה, להשקעה מוגברת של סדימנטים ולהצטברות טין וחרסיות בקרקעית הנחל. כפועל יוצא מתפתחים בנחל (באזור הגן הלאומי) עומדים צפופים של קרנן טבול, הסותמים את תעלת הנחל. אסופת חסרי החוליות והדגים המאכלסת את המקטע העליון כיום מוגבלת בעיקרה גם היא למינים המאפיינים בתי גידול בריכתיים ומינים האופייניים לזרימות מהירות יותר נעדרים.

הגברת הספיקה וההגברה הצפויה של מהירות הזרימה צפויים להביא להסעה של הסדימנטים הרכים, להגבלת התפתחות המקרופיטים הטבולים לבתי גידול בריכתיים, להעלאת רמת האוורור של מי הנחל, ובכך להביא להעלאת ההטרוגניות של בתי הגידול הנחליים. בהחלט יתכן כי בעקבות

סחרור המים בנחל המקטע העליון יתאכלס במיני חסרי חוליות גדולים שלא אפיינו אותו קודם לכן והמגוון הביולוגי בנחל יגבר.

מאידך, סחרור המים טומן בחובו גם סכנות לא מועטות. הזרמה חוזרת ונשנית של אותה מסת מים בנחל יכולה להביא לתהליכי הגברה של היזון חוזר חיובי (Positive feedback) של מזהמים ופתוגנים בנחל. ריכוזי החומר האורגאני, הנוטריאנטים בנחל עלולים לעלות ובמקרים של הרעלה המשמעות יכולה להיות הרסנית אף יותר.

לאור ההשפעות החיוביות והשליליות שיכולות להיות לסחרור המים במקטע הירקון העליון חיוני לקיים ניטור צמוד של המתרחש במקטע נחל זה צורך זה מודגש עוד יותר לאור הניסיון העולמי המועט שיש לפעולות ממשק כאלה בנחלים. מטרתה של העבודה הנוכחית היא לבצע פעולות ניטור בנחל על מנת לאפיין את השינויים הנגרמים במערכת הנחל כתוצאה מהפעלת סחרור המים בנחל.

## 2. מטרות המחקר

בשלב הראשון, לפני תחילת המחקר. הוא התמקד בבחינת השפעות הסחרור על המקטע העליון של הנחל. השפעות אלה נבחנו בהיבט אורכי, בתחנות שונות לאורך המקטע העליון של הנחל.

מטרות המחקר המקוריות היו:

1. בחינת השפעת הסחרור על תנאי בית הגידול במקטע העליון של נחל הירקון ;
  2. בחינת השפעת הסחרור על איכות המים במקטע הנחל העליון ;
  3. בחינת השפעת הסחרור על היצרנים הראשוניים במערכת הנחל (פיטובנתוס, מקרופיטים טבולים) ;
  4. בחינת השפעת הסחרור על היצרנים השניוניים (חסרי חוליות) ;
  5. בחינת השפעת הסחרור על היבטים תפקודיים של מערכת הנחל.
- בהמשך, בעקבות בקשה מרשות נחל הירקון לבחון את השפעת השיפור באיכות הקולחים המוזרמים לנחל על המקטע התיכון הורחבו מטרות המחקר והתווספו למחקר המטרות הבאות:
1. בחינת השיפור באיכות הקולחים על תנאי בית הגידול במקטע העליון של נחל הירקון ;
  2. בחינת השפעת השיפור באיכות הקולחים על היצרנים הראשוניים במערכת הנחל (פיטובנתוס, מקרופיטים טבולים) ;
  4. בחינת השפעת השיפור באיכות הקולחים על היצרנים השניוניים (חסרי חוליות) ;
  5. בחינת השפעת השיפור באיכות הקולחים על היבטים תפקודיים של מערכת הנחל.
- מטרות אלה נבחנו בשתי תחנות במעלה המקטע התיכון של הנחל.

## ב. צוות הדיגום ולוחות זמנים

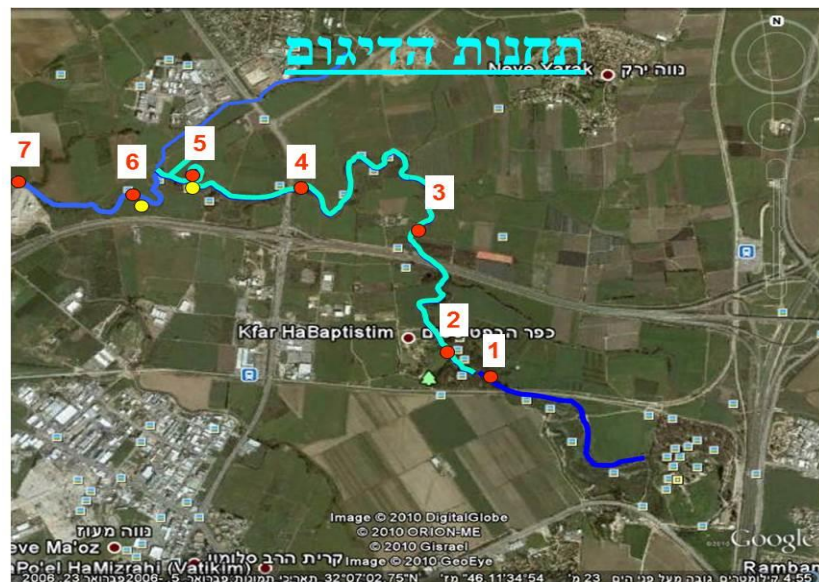
דיגום השדה התבצע ע"י שריג גפני וצוותי סטודנטים מבית הספר למדעי הים במכמורת. ב-2011 צוות הדיגום בנושא זואובנתוס כלל את הסטודנטים: יעל בלון, צחי בוכניק, פאני ברסלבסקי, מורן עזרא ורגינה יצקוביץ'. צוות הדיגום בנושא יצרנים ראשוניים ב-2011 כלל את הסטודנטים: גיל הלוי, אלון אמיר, גיל קלקס, פז פרנק ורועי נחמני. ב-2012 צוות הדיגום בנושא זואובנתוס כלל את הסטודנטים: עודד גון, הילה בן ציון, עידן בן יעקוב, נילי בן יוסף, רון קורדיטי וחמוטל בן ישי. צוות הדיגום בנושא יצרנים ראשוניים ב-2012 כלל את הסטודנטים אלעד בן דוד, יוסי בן סימון, מתן יפתח ויובל רותם. איפיון חתכי הנחל, מהירויות זרימה וספיקות בוצעו ע"י נמרוד אבני בסיוע ד"ר שי ארנון. אנליזת הדגימות במעבדה בוצעה ע"י אירינה ויטלין, נטשה סגל, יבגניה מושאיב, זיו אברמוביץ וסיון גולצמן.

בתוכנית המקורית של המחקר תוכנן כי הסחרור יתחיל במהלך שנת 2012. בהתאם תוכנן כי איסוף הנתונים בתקופה שלפני תחילת הסחרור ימשך כשנה. אולם מועד תחילת הסחרור התאחר מאד. במקביל התבקשו ע"י רשות נחל הירקון להרחיב את איסוף הנתונים ואת שאלת המחקר ולבחון את השפעת השינוי באיכות הקולחים על המקטע התיכון של הנחל. בהתאם, טיסוף הנתונים בתקופה שלפני תחילת הסחרור התבצעה בשנים 2012, 2013 ו-2014. הדו"ח הנוכחי מסכם את ממצאי התקופה הנ"ל.

## ג. שיטות העבודה

### 2.1. אתרי הדיגום

במטרה לאפיין את התנאים השוררים בירקון לפני התחלת פעולת הסחרור ולאפיין את השפעת השיפור באיכות הקולחים על המקטע התיכון בירקון נבחרו שבע תחנות דיגום. חמש תחנות שונות היו לאורך המקטע העליון של נחל הירקון ושתי תחנות נבחרו במקטע התיכון. התחנות נבחרו כך שייצגו תנאים שונים של בתי גידול (איור 1).



איור 1: אתרי הדיגום לאורך המקטע העליון ומעלה המקטע התיכון בנחל הירקון. מקטע עליון (בכחול): מהמעלה למורד: 1. מעלה סכר אל מיר; 2. מורד סכר אל מיר; 3. מעלה סכר נווה ירק; 4. מורד סכר 40; 5. מעלה מפגש ירקון קנה. המקטע התיכון (בתכלת): 6. פרדס פרשקובסקי; 7. מיתוג.

כל תחנות הדיגום היו על תשתית רכה, חול או טין. תחנות הדיגום שנבחרו במקטע העליון היו:

#### **א. תחנות במקטע העליון של הירקון**

- **תחנה 1. מעלה סכר אל מיר**

תחנה הממוקמת בתחומי הגן הלאומי מקורות הירקון כ-50 מ' לפני הכניסה המתוכננת של המים המסוחררים אל הנחל. עומק המים כ-1 מ'. תחנה זו מייצגת קטע נחל בעל אופי בריכתי המתאפיין כיום במהירויות זרימה נמוכות (איור 2). בתחילת המחקר התחנה התאפיינה בכיסוי מועט של קרנן טבול (*Ceratophyllum submersum*, כ-30% כיסוי) אולם בהמשך עונת הדיגום כיסוי הקרנן עלה והגיע עד כדי 80%. מאחר ותחנה 1 ממוקמת במעלה כניסת מי הסחרור צפוי כי גם לאחר הפעלת הסחרור אופי בית הגידול בתחנה זו יישאר ללא שינוי. תחנה זו מיועדת לשמש כביקורת מרחבית להשפעות האפשריות של הסחרור על מערכת הנחל.



איור 2. תחנת הדיגום במעלה סכר אל מיר, בגן לאומי "מקורות הירקון"

- **תחנה 2. מורד סכר אל מיר**

תחנה הממוקמת בתחומי הגן הלאומי מקורות הירקון, כ-50 מ' לאחר נקודת שחרור מי הסחרור אל הנחל. עומק המים כ-3 מ'. תחנה זו מייצגת קטע נחל בעל אופי בריכתי המתאפיין כיום במהירויות זרימה נמוכות. במהלך כל המחקר התחנה התאפיינה בכיסוי בינוני של קרנן טבול (כ-50% כיסוי). צפוי כי בעקבות יישום פעולת הסחרור מפלס המים בתחנה יעלה ומהירויות הזרימה יעלו. ובכך ישתנו אופיו ומרכיביו של אתר זה. יחד עם זאת, תוספת הספיקה יכולה לבוא לידי ביטוי בהגדלה משמעותית של חתך הנחל הרטוב (cross section area), הגדלה שיכולה למתן את הגידול במהירויות הזרימה. שינויים בהרכב הכימי של המים כתוצאה מפעולת הסחרור צפויים לבוא לידי ביטוי מיידית בתחנת דיגום זו.





תחנה 2 מורד סכר אל מיר

איור 3. תחנת הדיגום מורד סכר אל מיר בגן לאומי "מקורות הירקון"  
 • תחנה 3. מעלה סכר נווה ירק

תחנה הממוקמת במורד הגן הלאומי מקורות הירקון (מחוץ לתחומי הפארק). עומק המים בתחנה כ-1.2 מ'. התחנה מייצגת מקטע נחל מוצל בעל אופי ללא צומח מים טבול. בית הגידול בריכתי והוא מתאפיין כיום במהירויות זרימה נמוכות יחסית. צפוי כי בעקבות יישום תכנית הסחרור יעלו בו מפלס המים ומהירויות הזרימה יתגברו.



תחנה 3 מעלה סכר נווה ירק

איור 4. תחנת הדיגום במעלה סכר נווה ירק

• תחנה 4. מורד סכר 40

אתר הממוקם כ-50 מ' לפני מפגש נחל הירקון עם כביש ו-30 מ' במורד סכר 40. עומק המים בתחנה כ-70 ס"מ. התחנה מתאפיינת במהירויות זרימה גבוהות יחסית כתוצאה מהפרש הגבהים של סכר כביש 40. במהלך תקופת הדיגום תחנה זו מוקמה בתוך עומד צפוף של נופר צהוב (*Nuphar luteum*). צפוי כי עיקר ההשפעה של העלייה בספיקה הנובעת מיישום הסחרור

תבוא לידי ביטוי בקטע נחל זה בהגברת מהירויות ובבשינוי התאמת בית הגידול לקיום האומד הצפוף של הנופר הצהוב.



איור 5. תחנת מורד סכר 40 בלב עומד צפוף של נופר צהוב

• תחנה 5. מעלה מפגש ירקון קנה

תחנה זו ממוקמת בקצה המקטע העליון של נחל הירקון, בין אתר אבו-רבאח לסכר שבמפגש ירקון קנה. קטע נחל הוא בעל אופי בריכתי ואין בו התפתחות של צומח טבול או בעל עלים צפים. קטע נחל זה, הממוקם במורד המקטע העליון של הנחל. ממוקם לפני נקודת שאיבת המים לפרויקט הסחרור. אתר זה נבחר מאחר והוא צפוי לרכז אליו את כלל ההשפעות הישירות והעקיפות של פעולת סחרור המים. במהלך תקופת הדיגום הוקמה באתר תחנת השאיבה של מי הסחרור וקטע המים הורחב והועמק. יתכן כי עבודות ההקמה השפיעו על האקולוגי של תחנה זו.



איור 6: תחנת מעלה מפגש ירקון קנה – סוף המקטע העליון וקצה הקטע המיועד לסחרור



**ב. תחנות במקטע התיכון של הירקון (התווספו עקב הרחבת המחקר)**

• **תחנה 6. מורד מפגש ירקון קנה (פרדס פרשקובסקי)**

התחנה ממוקמת כק"מ אחד במורד מפגש הנחלים ירקון וקנה. תחנה זו מקבלת תערובת של מי מקור מהמקטע העליון של הנחל קולחים שלישוניים לאחר טיפול באגנים ירוקים, ממט"ש כפר סבא/ הוד השרון. התחנה מתאפיינת בעומק מים רדוד (כ-60 ס"מ) ובמהירות זרימה גבוהה יחסית. אין בתחנה זו התפתחות של צמחייה טבולה או של מקרופיטים בעלי עלים צפים.



איור 7. תחנת הדיגום מורד מפגש ירקון קנה (פרדס פרשקובסקי)

• **תחנה 7. מורד מיתוג**

תחנה הממוקמת ליד הניסה ההיסטורית של נחל הדר לנחל הירקון. גם תחנה זו מקבלת תערובת של מי מקור עם קולחים. עומק המים כ-70 ס"מ ומהירות הזרימה גבוהה יחסית.



איור 8: תחנת הדיגום "מיתוג"

## 2.2. אפיון התנאים הפיזיים והכימיים בתחנות הדיגום לאורך הירקון העליון

### והתיכון

התנאים הפיזיים והכימיים בתחנות הדיגום השונות לאורך המקטע העליון ובמעלה המקטע התיכון של נחל הירקון אופיו בשיטות סטנדרטיות (APHA, 1985) לדלהלן:

1. שקיפות המים – בעזרת דסקית סקי סטנדרטית
2. טמפרטורה, מוליכות חשמלית ומליחות – בעזרת מד טמפי/ מוליכות/ חמצן מוצרת YSI מודל 85 או מודל 550
3. ריכוז חמצן (מבוטא במ"ג ל' ובאחוזים מריכוז הרוויה) - בעזרת מד טמפי/ מוליכות/ חמצן מוצרת YSI מודל 85 או מודל 550

איפיון חתך המים הרדוד והתפלגות מהירויות הזרימה לרוחב חתך המים הרטוב בוצע בשני אתרים – האחד במקטע העליון (בית הבטון) והשני במקטע התיכון (תחנה 5) בעזרת מד מהירות זרימה דופלר (ADV – Acoustic Doppler Velocity) מתוצרת SonTech.

### 3. אפיון ביולוגי

#### 3.1 ביומסת האצות הבנטוניות (פיטובנתוס)

לבחינת ההשפעה של הסחרור ושל השיפור באיכות הקולחים, על ביומסת הפיטובנתוס בנחל הוצבו בתחנות הנבחרות מצעים מלאכותיים העשויים ממשטחי קרמיקה בעלי שטח ידוע. בכל תחנה הוצבו 3 מקבצי משטחים, וכל מקבץ כלל 15 אריחי קרמיקה (0 (סה"כ 45 אריחים לתחנה). האריחים הוצבו בגובה של 20 ס"מ מעל קרקעית הנחל ויושארם לאקלום למשך חודשים. בתום תקופת האקלום האריחים הוצאו מהנחל, נעטפו בנייר אלומיניום והועברו בתוך כשעתיים בקירור למעבדה להמשך אנליזה. במהלך השנתיים הראשונות לניטור אנו נבחנו בשיטה זו ביומסת הפיטובנתוס בכל שבע התחנות הנבחרות.



איור 9. מקבץ אריחי קרמיקה שהוצב בתחנות שונות לאורך המקטע העליון והתיכון של נחל הירקון

במעבדה האריחים הוקפאו לשבירת התאים ולאחר מכן מוצה הכלורופיל שבאצות בעזרת אצטון 90% רווי. ריכוז הכלורופיל נקרא באמצעות ספקטרופוטומטר, באורכי הגל הרלוונטיים (לפרוט שיטת המיצוי והמדדים השונים שיבחנו, ראה אצל רבינסקי, 2007).

### 3.2. איפיון רמת הכיסוי ובהימסה העומדת של צמחייה מקרופיטית טבולה

צמחיה טבולה מהווה במחקרים רבים אינדיקטור למצב הנחל (למשל, Wade et al., 2002 ; Kolada et al., 2014 ; Aguiar et al., 2011 ; Franklin et al., 2008). נחל הירקון התאפיין בעבר בשפע של מיני מקרופיטים טבולים ובעלי עלים צפים (אגמי, 1973). זיהום המים הביא להיעלמות מוחלטת של המקרופיטים הטבולים מהמקטע התיכון והתחתון של הנחל ואילו במקטע העליון נותרו רק שני מיני מקרופיטים טבולים ומין אחד בעל עלים צפים.

לבחינת הדינאמיקה של המקרופיטים הטבולים במקטע העליון והתיכון של נחל הירקון ולבחינת ההשפעה של השיפור באיכות הקולחים על התפתחות המקרופיטים הטבולים במקטע התיכון נעזרנו בצילומים מפורטים של הנחל. הצילומים נותחו במעבדה לבחינת אחוז הכיסוי של הצמחייה הטבולה. בנוסף, נבחנה הביומסה העומדת (משקל יבש למ<sup>2</sup>) במדגם עומדים שמקטע העליון של הנחל. הביומסה אופיינה באמצעות קצירת המקרופיטים מריבועי דיגום בשטח 0.25 מ<sup>2</sup>. בכל עומד שנבחר לאיפיון הביומסה נדגמו שלושה ריבועי דיגום. המקרופיטים נקצרו קרוב ככל האפשר לקרקעית הנחל והביומסה הרטובה נשקלה. דגימה מהמקרופיטים שנקצרו הובאה למעבדה, נשקה, יובשה בתנור ב-60°C למשך יומיים וב-100°C למשך יום נוסף. מהדגימות המיובשות חושב אחוז המשקל היבש והכפלתו במשקל הרטוב של הדגימה נתנה את המשקל היבש ליחידת שטח,

### 3.3. איפיון אסופת חסרי החוליות הגדולים

התפוצה המרחבית של חסרי חוליות בנחלים מתאפיינת בוריאביליות מרחבית גבוהה ומושפעת מגורמים רבים הפועלים בסקאלות שונות (למשל Tate and Heiny, 1995 ; Li et al., 2001). הוריאביליות והדינאמיקה של חסרי החוליות גבוהה בטווחי זמן קצרים אך קבועה בטווחי זמן ארוכים (Eby et al., 2003). הנחה כוללת היא שחסרי חוליות של נחלים רגישים לאיכות בית הגידול שלהם ולכן חסרי החוליות הגדולים בנחל משמשים כאינדיקטור ביולוגי להערכת ההשפעה של פעילות אנושית על הנחלים (למשל, Rosenberg and Resh 1993). המטרה העיקרית של הניטור המוצע כאן היא ניטור ההשפעות של סחרור המים במקטע העליון של הירקון על הרכב ומבנה אסופת חסרי החוליות הגדולים בנחל. אופי הדיגום למחקר שמטרתו הערכת ההשפעה של משתנה סביבתי נתון על המערכת האקולוגית שונה מאופי הדיגום הנדרש לבחינה שוטפת של האינדיקטור הביולוגי של הנחל. לשם השגת מטרה זו יש צורך בישום שיטה המפחיתה ככל האפשר השפעות אחרות על אסופת חסרי החוליות, כגון, אופי המצע, המרכבות המבנית של בית הגידול ועוד. לפיכך, נעשה שימוש במצע מלאכותי סטנדרטי שהוכנס למערכת הנחל על מנת שיאוכלס ע"י חסרי החוליות. לשם כך השתמשנו במלכודות דנדי – (Beak et al, 1973 ; Hester Dendy traps) כשיטה להערכת ההשפעה של סחרור המים על אסופת מסרי החוליות בנחל.



היתרון בשיטה זו הוא בכך שהמלכודות מהוות מצע סטנדרטי בעל שטח פנים קבוע ומורכבות מבנית קבועה, ולכן מאפשרות השוואות כמותיות בין אזורים שונים. כמו כן המלכודות משקפות תמונת מצב מתמשכת ומסכמות למעשה את השפעת כלל התהליכים המקטע הנחל מרגע הכנסתן



איור 10: הצבת מלכודות הדנדי בירקון



איור 11: הוצאת מלכודות הדנדי מהמים

בכל תחנה הוכנסו למים בכל חודש שלוש מלכודות דנדי (איור 10). המלכודות הושארו במים למשך חודשיים ואז נאספו מהמים, הוכנסו לשקיות פלסטיק (איור 11) והועברו בקרור למעבדה בתוך שלוש שעות מרגע ההוצאה מהמים. במעבדה הדגימות מלכודות הדנדי פורקו והוברשו במברשת עדינה להסרת חסרי החוליות שהתיישבו על הלוחות המרכיבים אותן. חסרי החוליות סוננו לרשת בגודל עין של  $250\mu$  והדגימות שומרו באתנול 75% להמשך אנליזה. בהמשך חסרי החוליות מוינו, והטקסונים השונים של חסרי החוליות הוגדרו לטקסון הנמוך האפשרי, ונספרו הפרטים מכל טקסון. מהנתונים חושבו הפרמטרים הבאים:

1. **עושר הטקסונים** (Taxa richness) - הטקסונים יסווגו טקסונומית וגם על פי קבוצות הזנה תפקודיות (Functional Feeding Groups, FFG), חלוקה שתסייע בהערכת ההשפעה שיש לסחרור מי המקטע העליון של הירקון על אסופת חסרי החוליות הבנתוניים (Rawer-Jost et al., 2000).

2. **הרכב הטקסונים**. מרבית הטקסונים הוגדרו לרמת הסוג, מיעוטם לרמת המשפחה או לרמת המין ומספר נמוך של טקסונים הוגדר רק לרמת הסדרה.

3. **שכיחות יחסית של הטקסונים השונים** - הטקסונים שזוהו סווגו לפי שכיחותם לטקסונים נפוצים (שכיחות יחסית  $< 1\%$ ), לטקסונים נדירים (שכיחות יחסית בין  $1\%$  ל- $0.01\%$ ) ולטקסונים ספורדיים (שכיחות יחסית  $> 0.01\%$ ). קבוצת הטקסונים הספורדיים מייצגת טקסונים שהופיעו בדגימות במספרים נמוכים ביותר ורק במקרים בודדים לאורך המחקר.

4. **ציון מגוון המינים** - (Species diversity index) וציון האחידות (Evenness). הנתונים לקבלת מדדים אלה נאספו, אולם אנליזת הנתונים והחישובים הנדרשים עדיין לא הסתיימו ולכן הדו"ח הנוכחי אינו כולל ממצאים על ציון מגוון המינים.

לבחינת ההשפעה של השינויים בהרכב אסופת חסרי החוליות עקב השיפור באיכות הקולחים המוזרמים למקטע הנחל התיכון נתוני השכיחות היחסית של חסרי החוליות הושוו לנתונים שנאספו על ידינו באותם מקטעי נחל בשנים 2002-2004 (רבינסקי, 2006).

### 3.4. אפיון דינאמיקת הפרוק של חבילות עלים

קצב הפרוק של חומר אורגני חלקיקי גס (CPOM) הוא מדד מקובל לאיפיון הרמה התפקודית של מערכת הנחל (Nelson et al., 1990 ; Benfield et al., 1979). קצב הפרוק משתנה בעקבות שינויים באיכות המים, במשטר הזרימה, במשטר הטמפרטורות וכד'. במקטע הירקון הנקי אפשר כי קצב הפרוק יזרוז לאחר יישום סחרור המים באם תהייה הגברה משמעותית של מהירות הזרימה. מדד זה נבדק ע"י הצבת סלים ובהם חבילות של קנה מצוי טרי (איור 12) בשלוש תחנות שונות לאורך המקטע העליון והמקטע התיכון של הנחל (תחנות: 1 - מעלה סכר אל מיר, 2 - מורד סכר אל מיר ו-6 - מורד ירקון קנה).



איור 12. חבילות גבעולים שהוצבו בתחנות שונות לאורך הירקון לבחינת קצב הפרוק של חומר אורגני צמחי

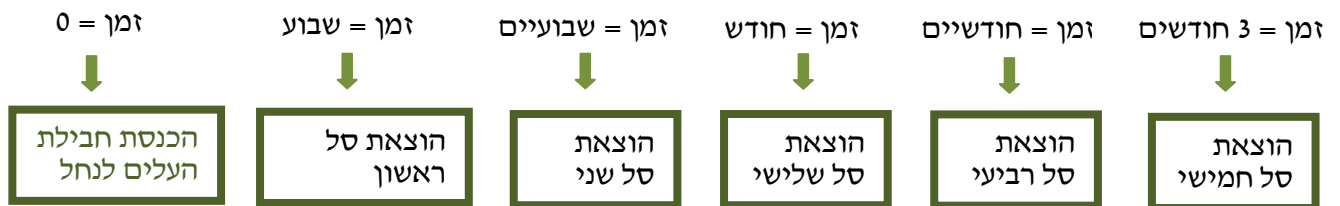
הקנה ששימש לניסוי נקצר מגדות הירקון, באזור מפגש הנחלים ירקון קנה. הקנה שנקצר הובא למעבדה והוכנו ממנו חבילות חבילות גבעולים כמתואר באיור 12. כל החבילות שהוכנו נשקלו במעבדה לבחינת משקל הרטוב ההתחלתי. בשלב זה מדגם מתוך החבילות הטריות ייובש בתנור (ב-100°C) לקבלת אחוז המשקל היבש ההתחלתי ולאפיון היחס בין משקל רטוב למשקל יבש. שאר החבילות הוכנסו לסלי רשת (בגודל 40X30 ס"מ, גודל עין 2 ס"מ) – שלוש חבילות לכל סל. בכל תחנה הוכנסו למים 5 סלים (סה"כ 15 חבילות לתחנה). לאחר שבועיים, חודש, חודשיים, שלושה חודשים וארבעה חודשים הסלים הוצאו מהמים (סל אחד מכל תחנת דיגום בנחל בכל תאריך), נארזו (כל סל בנפרד) בשקיות ניילון והובלו למעבדה (איור 13) להמשך אנליזה.





איור 13. הוצאת סלי חבילות גבעולים שהוצבו בתחנות שונות לאורך הירקון לאחר הזגרה במי הנחל

סדר ומועדי הוצאת הסלים מתוארים בדיאגרמה הבאה :



איור 6. תרשים זרימה המתאר את מהלך ניסוי הפרוק של חומר אורגני חלקיקי גס

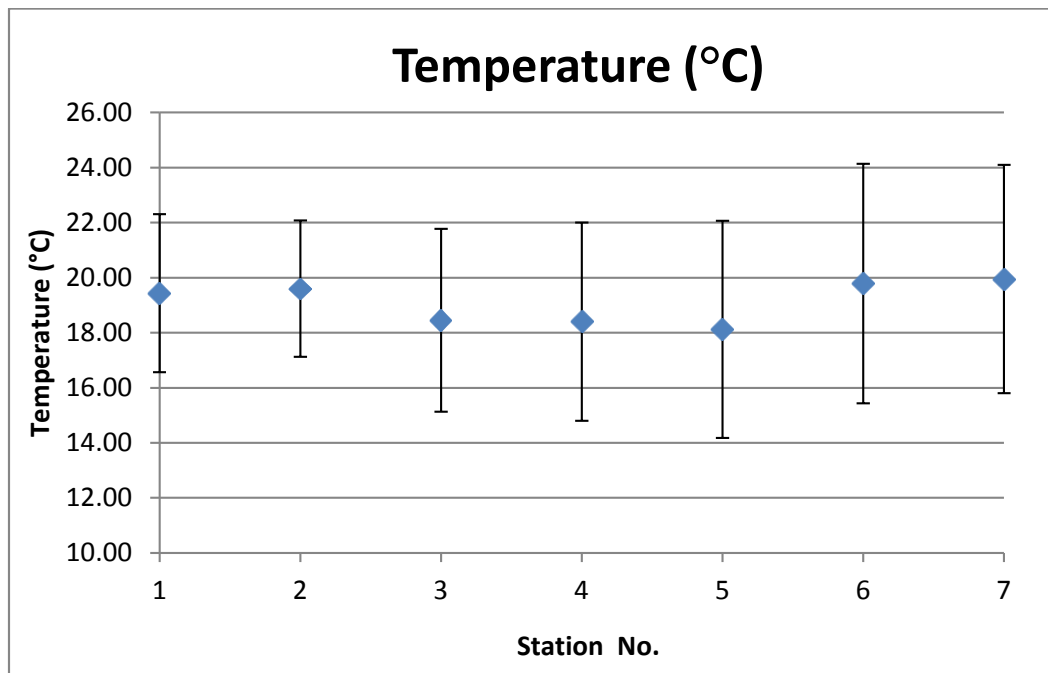
במעבדה, חבילות העלים הוצאו מהסלים, נשטפו היטב להסרת החול שהצטבר עליהם וייבושו בתנור (ב-100°C), לאחר הייבוש החבילות נשקלו וחושב אחוז המשקל היבש הנותר מתוך המשקל היבש ההתחלתי של כל חבילה. תת דגימה מכל חבילת עלים מיובשת נטחנה ונשרפה בתנור שריפה (ב-550°C) לקבלת אחוז החומר האורגני מתוך החומר היבש. מהתוצאות שהתקבלו חושבה כמות החומר האורגני שנותרה בכל חבילת עלים וחושב באחוז החומר האורגני הנותר מהחומר המקורי שהיה בחבילת העלים לפני הכנסתה למים. מתוצאות הניסוי חושב קצב הפרוק של חומר אורגני חלקיקי גס בנחל. מדד זה מספק לנו מידע על רמת תפקוד הנחל בפרוק חומר אורגני חלקיקי לפני קטע הנחל המיועד להיות נתון לסחרור, בתוך קטע הנחל המתוכנן להיות נתון לסחרור ובקטע הנחל התיכון המקבל קולחים מטוהרים.

## ד. תוצאות

### 4.1. אפיון התנאים הכימיים והפיזיים בתחנות הדיגום לאורך הירקון העליון והתיכון

#### 4.1.1. השתנות הטמפרטורה בתחנות השונות

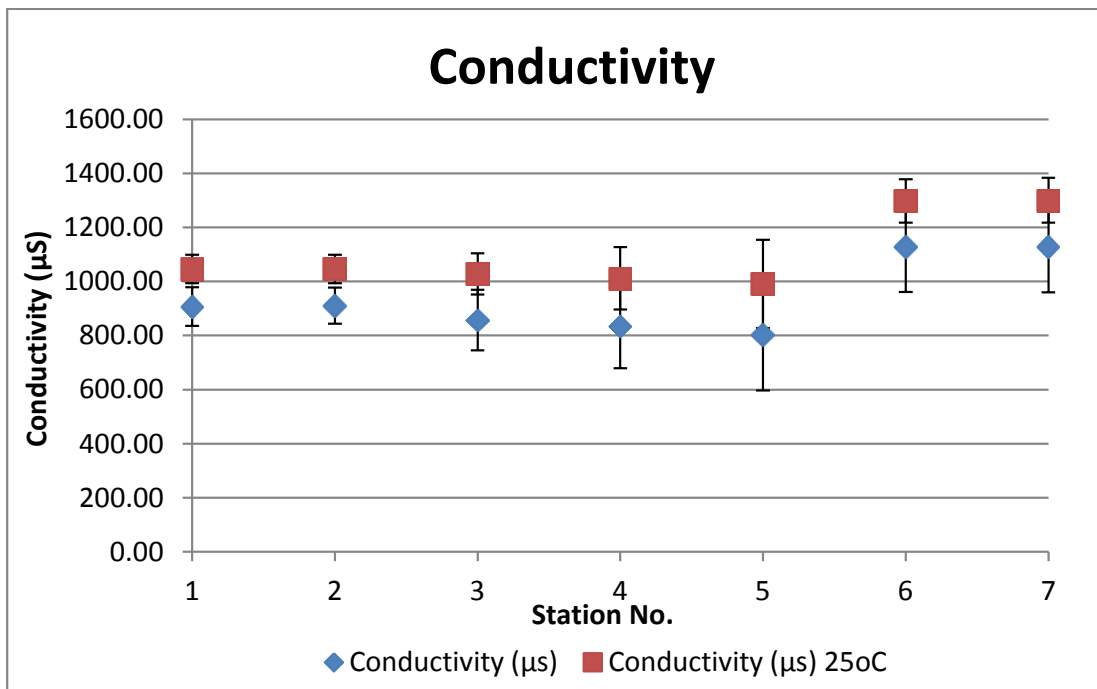
דגם ההשתנות של טמפרטורת המים מלמד על כי בסביבות סכר אל מיר טמפרטורת המים הממוצעת נעה סביב  $20^{\circ}\text{C}$  ואילו בהמשך הזרימה במקטע העליון חלה ירידה של  $1.5-2.0^{\circ}\text{C}$  בטמפרטורת המים. בהמשך, עם כניסת הקולחים המטוהרים במפגש קנה ירקון חלה עלייה של כ-  $2.0^{\circ}\text{C}$  (איור 14) בטמפרטורת המים הממוצעת והיא שבה להיות סביב  $20^{\circ}\text{C}$ . כצפוי, בשל ההשתנות העונתית הגבוהה במהלך השנה, סטיית התקן סביב הטמפרטורה הממוצעת גבוהה וההבדלים בין תחנות הדיגום אינם מובהקים, אולם הדגם של טמפרטורות גבוהות יותר במעלה המקטע העליון, ירידה בטמפרטורה בהמשך הזרימה במקטע העליון ועליה חזרה בטמפרטורה לאחר כניסת הקולחים חזר על עצמו באופן קבוע במעלך כל תקופת הדיגום. ירידת הטמפרטורה במורד המקטע העליון יכולה להיות תוצאה של זרימה באזור מוצל יחסית. עליית הטמפרטורה במעלה המקטע העליון משקפת טמפרטורה גבוהה יחסית (בעד  $4.0^{\circ}\text{C}$ ) של הקולחים המגיעים מנחל קנה.



איור 14. השתנות הטמפרטורה (ממוצע  $\pm$  סטיית תקן) בתחנות שונות לאורך הירקון

#### 4.1.2. השתנות המוליכות החשמלית בתחנות השונות

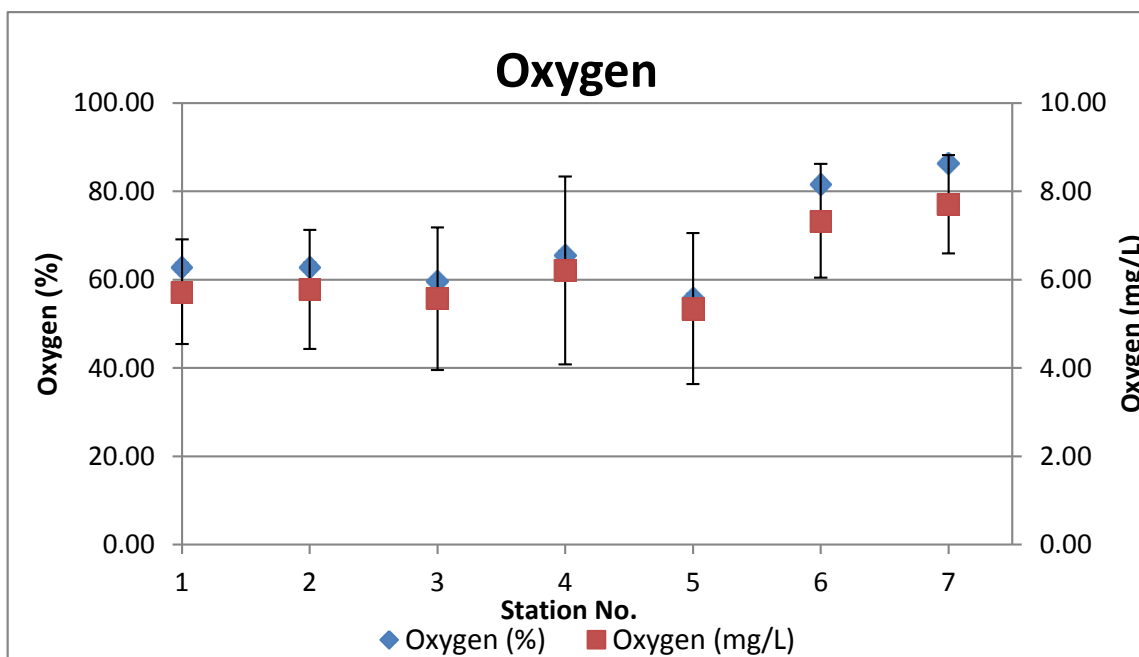
דגם ההשתנות של המוליכות החשמלית של המים מלמד על כי במקטע העליון של נחל הירקון המוליכות החשמלית הממוצעת (מתוקנת ל- $25^{\circ}\text{C}$ ) נעה סביב  $1000\mu\text{S}$  ואילו בהמשך הזרימה, עם כניסת הקולחים המטוהרים במפגש קנה ירקון חלה עלייה מובהקת של כ- $250\mu\text{S}$  והיא נעה סביב  $1250\mu\text{S}$  (איור 15). סטיית התקן מהמוליכות הממוצעת במעלה המקטע העליון של הירקון הייתה נמוכה מאד ( $\pm 25\mu\text{S}$ ) ועלתה במורד המקטע העליון (כ- $\pm 160\mu\text{S}$  בתחנה 5). לאחר כניסת הקולחים שבו ערכי המוליכות החשמלית והתייצבו וסטיית התקן שלהם לא עלתה על  $\pm 50\mu\text{S}$ . מליחות המים הממוצעת במקטע העליון עמדה על  $0.4\text{ppt}$  ואילו במקטע התחתון היא הייתה  $0.5\text{ppt}$ . העלייה במוליכות החשמלית של המים במעלה המקטע התיכון מיוחסת לתכולת יונים גבוהה יותר במי הקולחים המגיעים מהאגנים הירוקים.



איור 15. השתנות המוליכות החשמלית (ממוצעת  $\pm$  סטיית תקן) בתחנות שונות לאורך הירקון

### 4.1.3. השתנות ריכוזי החמצן בתחנות השונות

ככלל, ריכוזי החמצן במקטע העליון ובמקטע התיכון של נחל הירקון אינם מהווים גורם מגביל להתפתחות בעלי חיים (איור 16). ממוצע ריכוז החמצן (אחוז מרוויה) במקטע העליון של הנחל נע בין 60-70% (כ-6 מ"ג ל"ל) ואילו המקטע התיכון מתאפיין בריכוזי חמצן גבוהים יותר הנעים בין 80-90% (כ-7.5 מ"ג ל"ל). משרעת השינויים בריכוזי החמצן במקטע העליון (סטיית תקן) הייתה קטנה יחסית במעלה המקטע ( $\pm 10\%$  מרוויה) וגדולה יותר במורד המקטע העליון (כ- $\pm 20\%$  מרוויה). אולם, גם כאשר משרעת השינויים בריכוזי החמצן הייתה גדולה יחסית, ריכוזי החמצן בנחל במהלך היום לא ירדו אל מתחת ל-40% - ריכוז שאינו מגביל התפתחות חסרי חוליות גדולים או דגים. במקטע התיכון משרעת ריכוז החמצן שבה הפחתה ( $\pm 10\%$  מרוויה). בניגוד לעבר (נתוני 2002-2004), ריכוזי החמצן הממוצעים במקטע התיכון היו גבוהים יחסית וכך גם ריכוזי המינימום (60% לפחות)



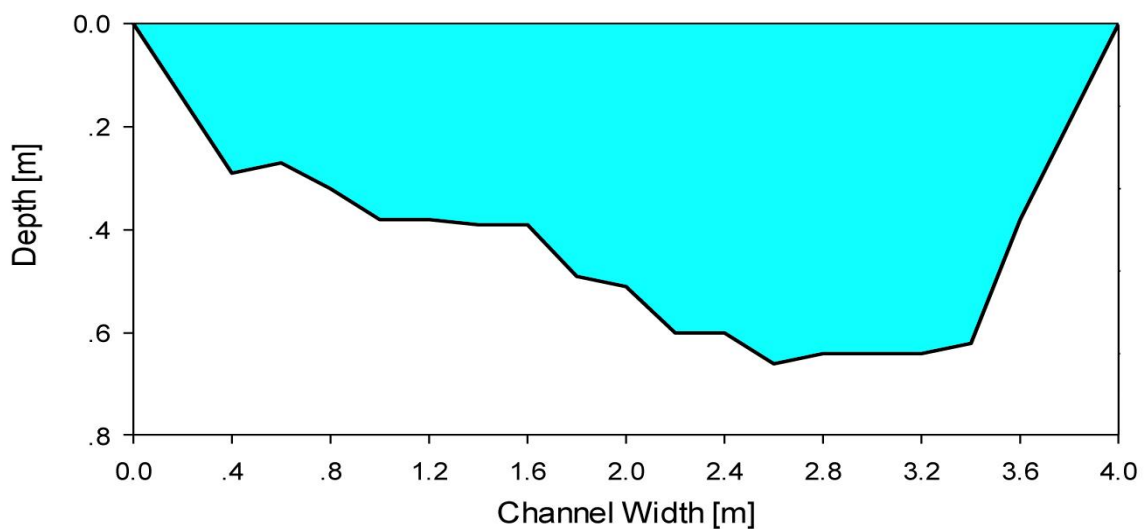
איור 16. השתנות ריכוזי החמצן (ממוצע  $\pm$  סטיית תקן) בתחנות שונות לאורך הירקון

## 4.2. אפיון חתכי הנחל ומהירויות הזרימה

### 4.2.1. חתכי הנחל במקטע העליון ובמקטע התיכון

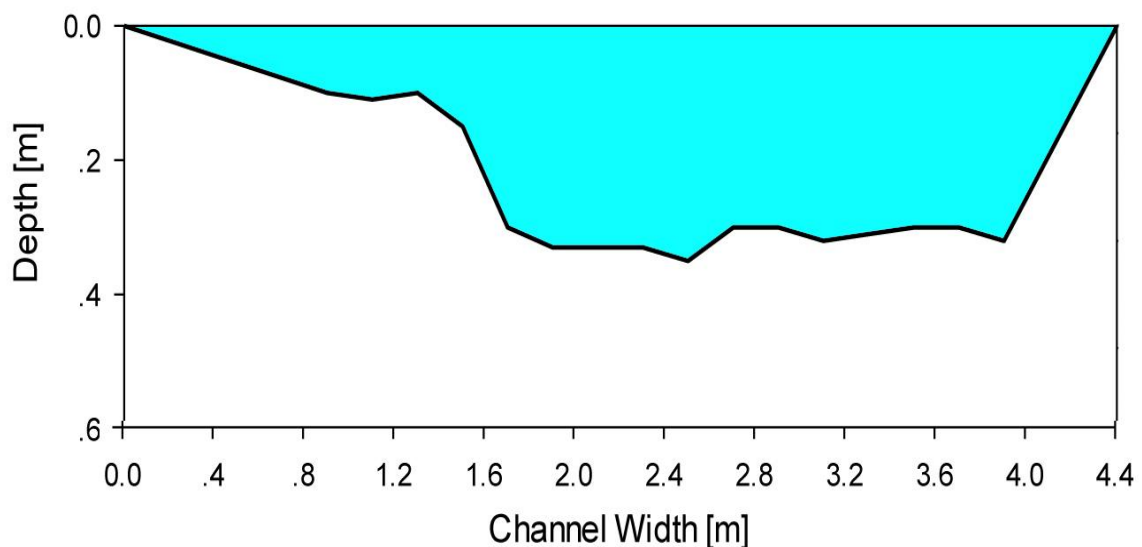
חתך הנחל הוא מרכיב מבני דינאמי ביותר והוא יכול להשתנות במהלך הזמן באופן ניכר. הפעולות להקמת מתקן השאיבה שהתבצעו במהלך שנות הדיגום הביאו לשינויים בעומק המים במקטע העליון (מעל בריכת השאיבה). בקטע הנחל הקרוב לבריכת השאיבה מפלס המים עלה ועומק המים עלה גם כן. אולם, בנקודת הדיגום הנמצאת באמצע המקטע העליון (בית הבטון) ניתן לראות כי בין התקופה שלפני הקמת הבריכה (נובמבר 2010) לבין התקופה שאחרי הקמת הבריכה רוחב התעלה הרטובה עלה (מ-4.0 מ' ל-4.5 מ') ואילו העומק המקסימאלי של חתך הנחל קטן מ-60 ס"מ ל-40 ס"מ (איורים 17 ו-18).

21.11.2010 Y UP



איור 17. חתך נחל מייצג במקטע העליון של נחל הירקון (בית הבטון) בנובמבר 2010

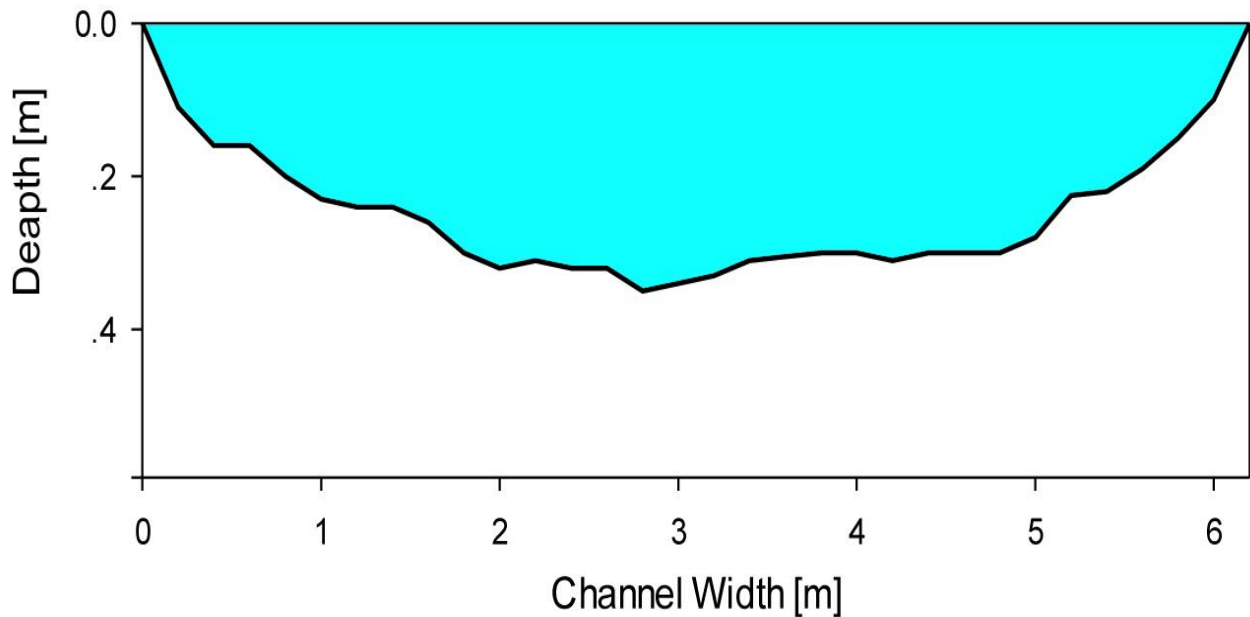
22.06.2012 YU Cross Section



איור 18. חתך נחל מייצג במקטע העליון של נחל הירקון (בית הבטון) ביוני 2006

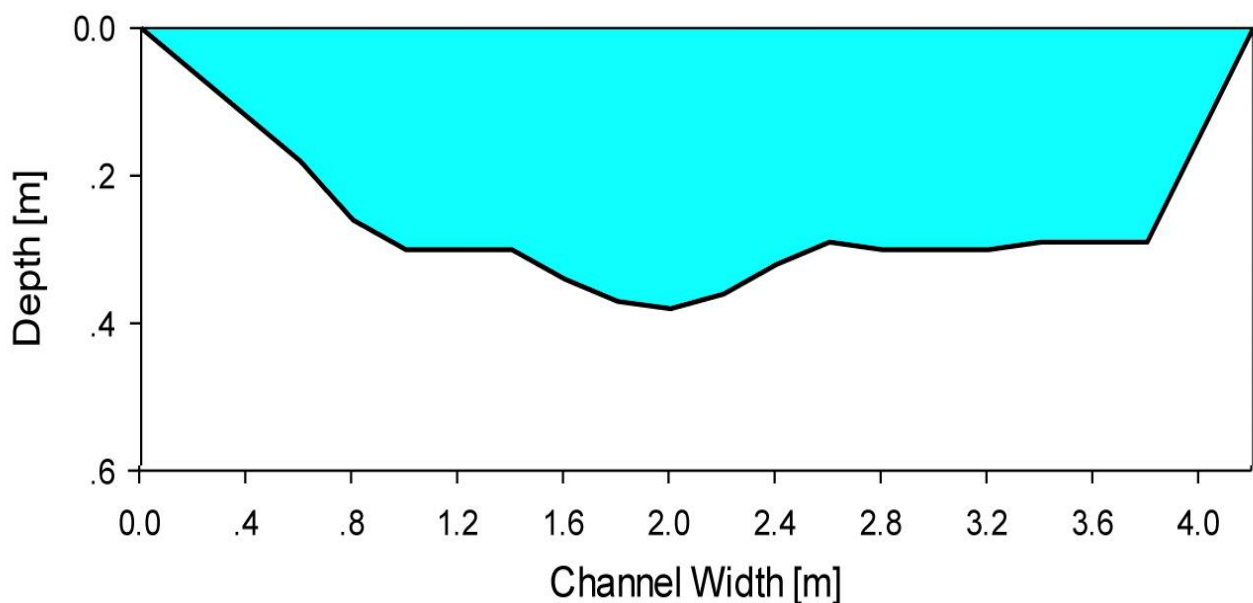
המקטע התיכון של הנחל הנמצא במורד בריכת השאיבה הושפע גם הוא באופן ניכר מפעילות הקמת הבריכה. ההשפעה באה לידי ביטוי בהסעה משמעותית של סדימנטים שהשפיעו על המבנה המורפולוגי של תעלת הנחל. רוחב תעלת הנחל הרטובה במקטע המייצג (תחנה 5) היה 6 מ' לפני תחילת העבודות להקמת הבריכה (2010) וירד ל-4 מ' לאחר הקמת הבריכה (2012). לעומת זאת, עומק המים המקסימאלי בחתך הנחל לא השתנה בין שני התאריכים ועמד על כ-35 ס"מ (איורים 19 ו-20).

### 21.11.2010 YD Cross Section



איור 19. חתך נחל מייצג במקטע התיכון של נחל הירקון (תחנה 5) בנובמבר 2010

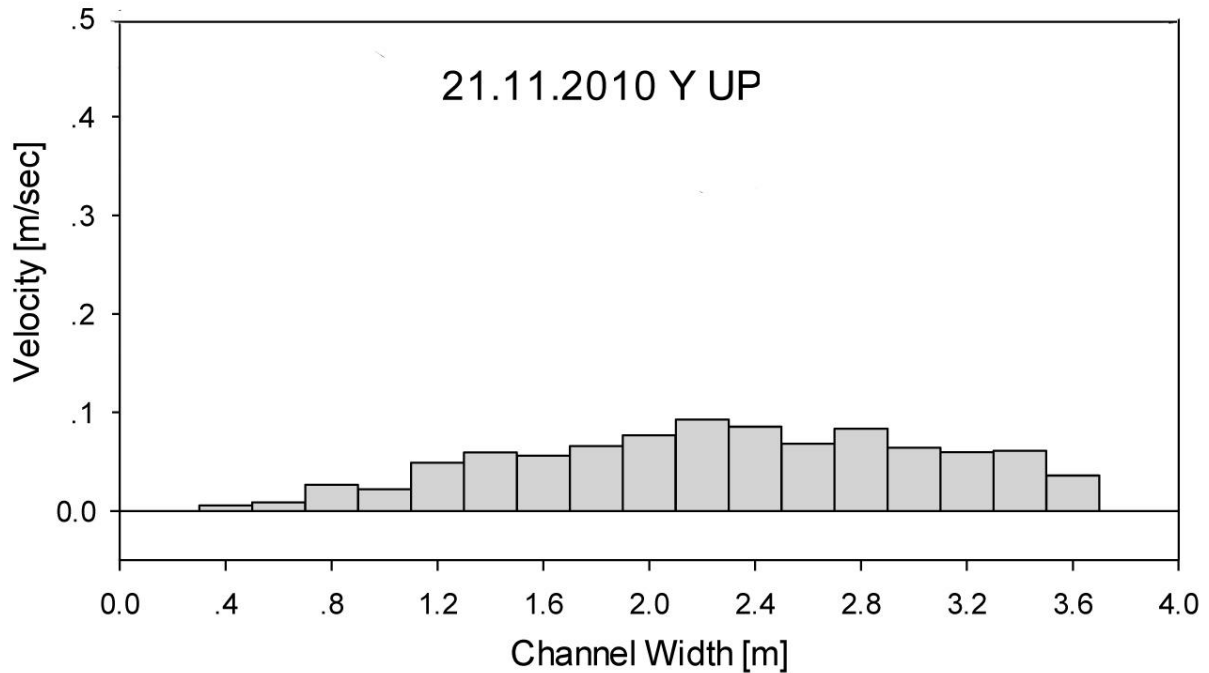
### 21.06.2012 YD Cross Section



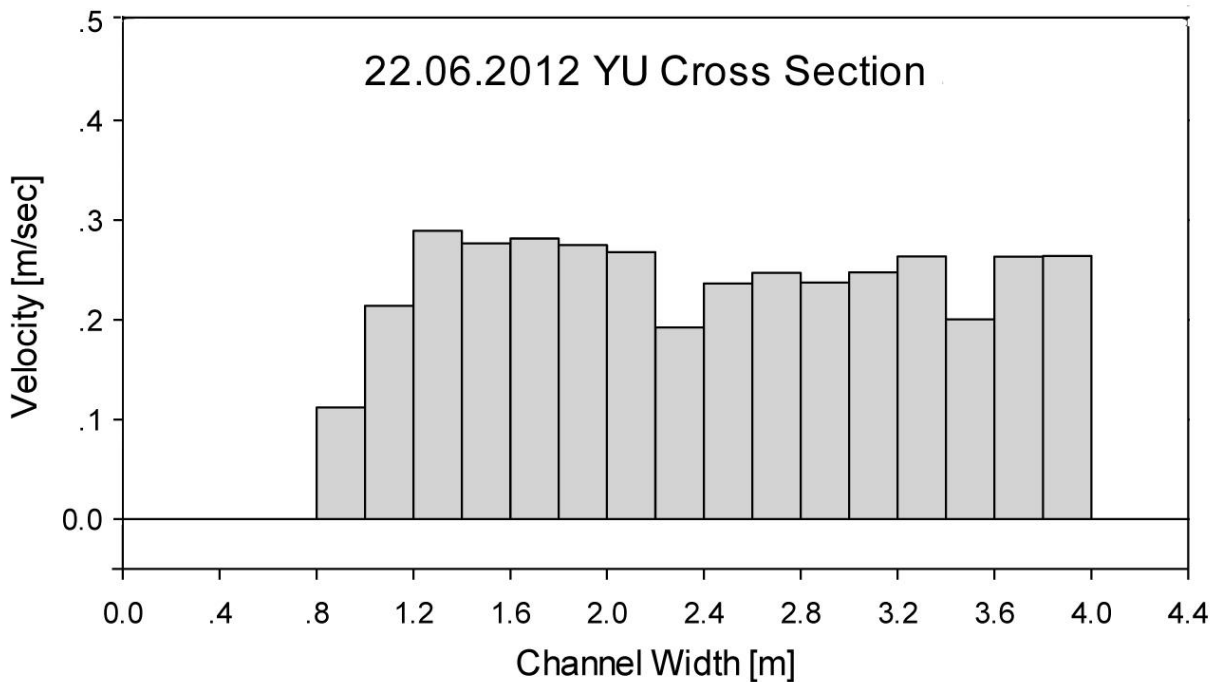
איור 20. חתך נחל מייצג במקטע התיכון של נחל הירקון (תחנה 5) ביוני 2012

#### 4.2.2. מהירות הזרימה בחתכי הנחל במקטע העליון ובמקטע התיכון

מהירות הזרימה במקטע הנחל העליון השתנתה בין השנים 2010 ל-2012. ב-2010 מהירות הזרימה המקסימאלית שנמדדה בחתך הנחל נעה סביב 0.1 מ"שני (איור 21) ואילו ב-2012 מהירות הזרימה המקסימאלית בחתך הנחל נעה סביב 0.3 מ"שני (איור 22). במידת מה ניתן לייחס הבדל זה לשינוי במורפולוגיית החתך ולירידה בשטח חתך הנחל, אולם נראה כי גורמים נוספים, כגון עלייה בספיקת המים שהוזרמו במקטע העליון תרמו להבדל זה.

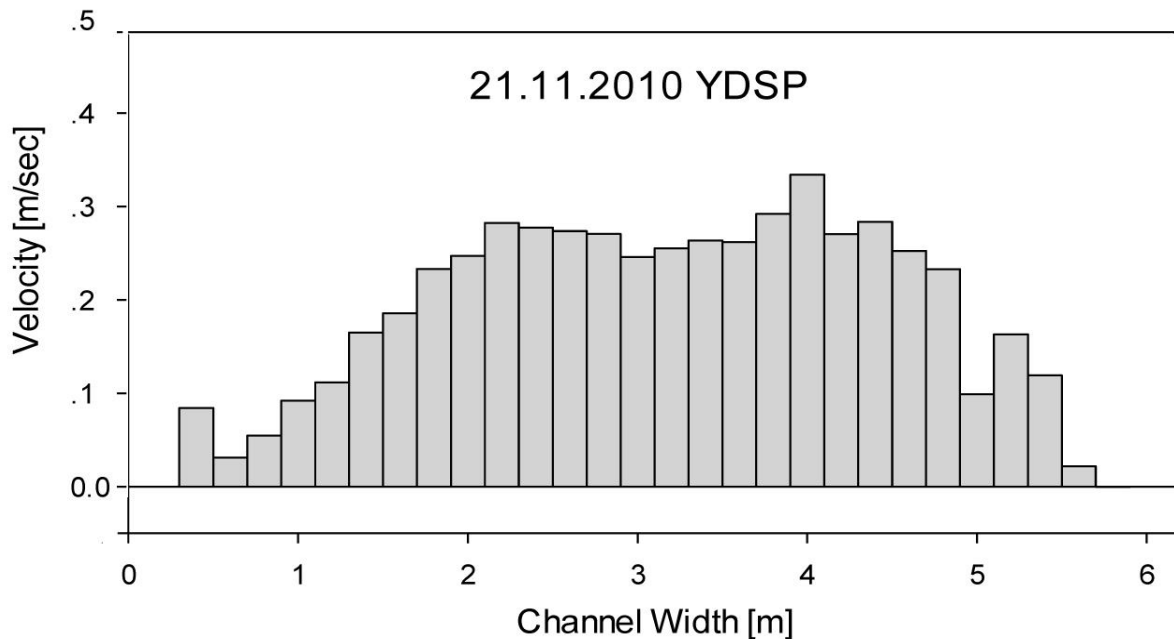


איור 21. התפלגות מהירויות הזרימה בחתך הנחל במקטע העליון של נחל הירקון (בית הבטון) בנובמבר 2010

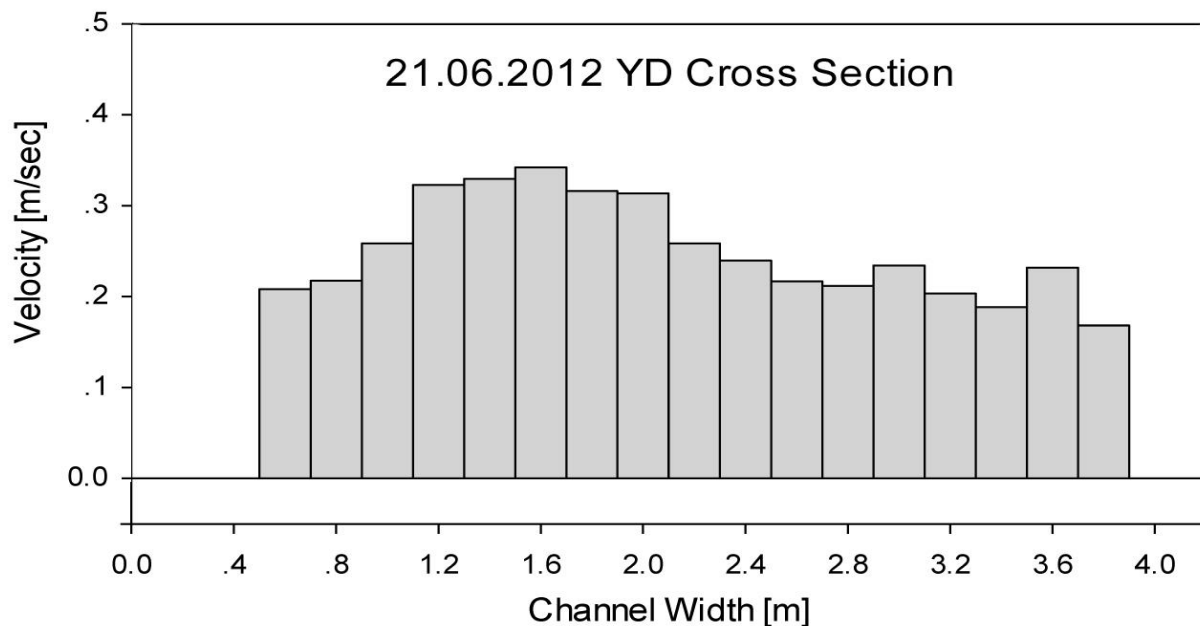


איור 22. התפלגות מהירויות הזרימה בחתך הנחל במקטע העליון של נחל הירקון (בית הבטון) ביוני 2012

במקטע התיכון, מהירות הזרימה המקסימאלית ב-2010 נעה סביב כ-0.35 ס"מ/שני (איור 23) ומהירות דומה נמדדה גם ב-2012 (איור 24). ראוי לציין כי בשל ההפחתה בשטח החתך בנקי המדידה בין השנים 2010 ל-2012, משמעותו של נתון זה היא בעצם הפחתה בספיקת המים שזרמה בנחל, אולם מכיוון שעם הפעלת האגנים הירוקים השונות השעתית בספיקת המים מהאגנים הירוקים לנחל הפכה גבוהה (בגלל שיטת התפעול של פריקת המים מהאגנים לנחל), ייתכן כי ההבדלים שמצאנו משקפים השפעה זו ולא הבדל משמעותי בספיקת המים שהוזרמו במקטע התיכון.



איור 23. התפלגות מהירויות הזרימה בחתך הנחל במקטע התיכון של נחל הירקון (תחנה 5) בנובמבר 2010



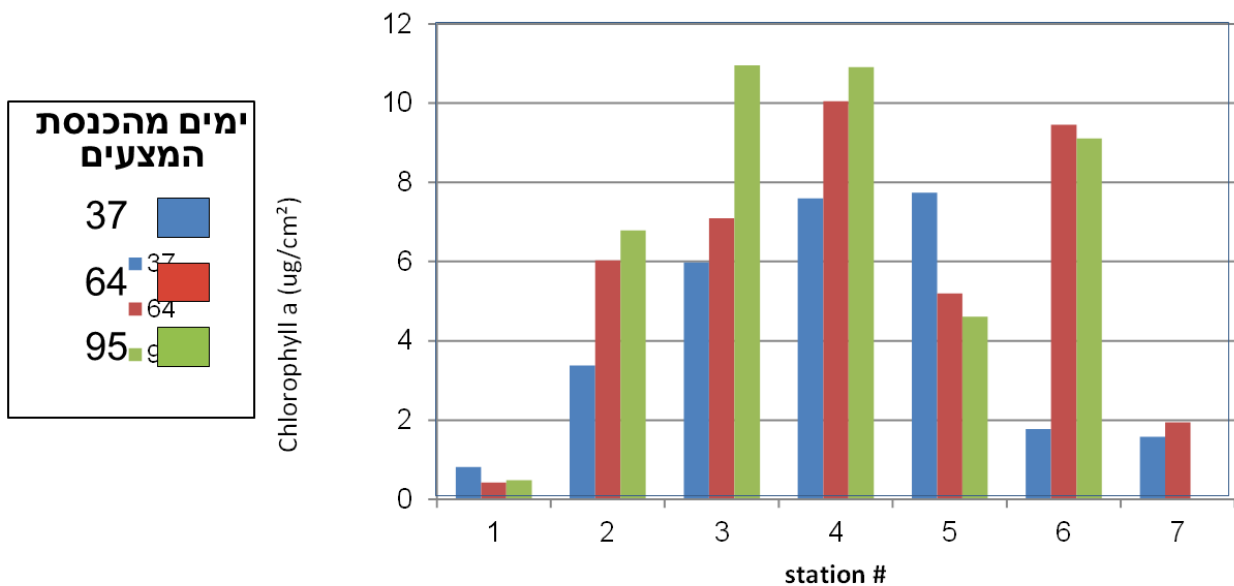
איור 24. התפלגות מהירויות הזרימה בחתך הנחל במקטע התיכון של נחל הירקון (תחנה 5) ביוני 2012



### 4.3. דינמיקת ההתפתחות של היצרנים הראשוניים בירקון

#### 3.3.1 ביומסה עומדת של אצות בתוניות

הביומסה העומדת שהתפתחה על המצעים המלאכותיים שהוצבו בתחנות השונות בירקון לאחר 37, 64 ו-95 יום מוצגת באיור 25. לאחר כ-90 יום חלה התייצבות בביומסת הפיטובנתוס ולכן הניסוי הסתיים. ככלל, במרבית תחנות הדיגום ניתן לראות דגם אחיד וצפוי של התפתחות ביומסה של פיטובנתוס, שעלתה ונבנתה עם הזמן (איור 25) עד לבנייה של ביומסה גבוהה של כ-12 מ"ג לס"מ<sup>2</sup> כלורופיל *a* בחלוף כ-3 חודשים מהצבת אריחי הקרמיקה במים (איור 26). שתי תחנות במקטע העליון של הנחל חרגו מדגם זה – תחנת מעלה סכר אל מיר (תחנה 1) שבה ביומסת האצות שהתפתחו על אריחי הקרמיקה נשארה נמוכה לאורך כל תקופת הניסוי (פחות מ-1 מ"ג לס"מ<sup>2</sup> כלורופיל *a*), והשנייה, התחנה שבמעלה סכר מפגש ירקון קנה (תחנה 5), בה ביומסת הפיטובנתוס נבנתה באופן דומה למרבית התחנות במהלך החודש הראשון מהצבת האריחים במים, אולם בחודשיים שלאחר מכן חלה נסיגה בביומסה העומדת של הפיטובנתוס בתחנה זו והיא ירדה בכ-40% (איור 25). ייתכן כי השונות בביומסה העומדת המקסימאלית בתחנות השונות במקטע העליון קשורה בעיכוב פוטי ובהעדפה שיש לאצות בנתוניות דווקא לרמות אור נמוכות יותר. תחנת מעלה סכר אל מיר (תחנה 1) מתאפיינת ברמה הגבוהה ביותר של חשיפה לשמש הבאה לידי ביטוי גם בטמפרטורת מים גבוהה יחסית (0 איור 14) והביומסה העומדת שהתפתחה בה הייתה הנמוכה ביותר. התחנה במורד סכר אל מיר (2) מתאפיינת ברמה בינונית של חשיפה לשמש ונהבימסה שהתפתחה בה הייתה ממוצעת. התחנות שבמעלה סכר נווה ירק (3) ובמורד סכר ה-40 (4) היו מוצלות במהלך כל שעות היום ובהן התפתחה הביומסה הגבוהה ביותר של הפיטובנתוס. כאשר החלו המדידות בתחנת מעלה מפגש קנה ירקון (5), היא הייתה תחנה מוצלת מאד. אולם, במהלך הניסוי חל חישוף של צמחיית הגדות ובעיקר של עצי הערבה בתחנה זו והיא הפכה חשופה לשמש. בהתאם, חלה ירידה בביומסה העומדת של אצות הפיטובנתוס בתחנה זו.



איור 25. התפלגות הביומסה העומדת של הפיטובנתוס על אריחי קרמיקה בתחנות שונות לאורך המקטע העליון והתיכון של הירקון לאחר 37, 64 ו-95 יום מהכנסת האריחים לנחל

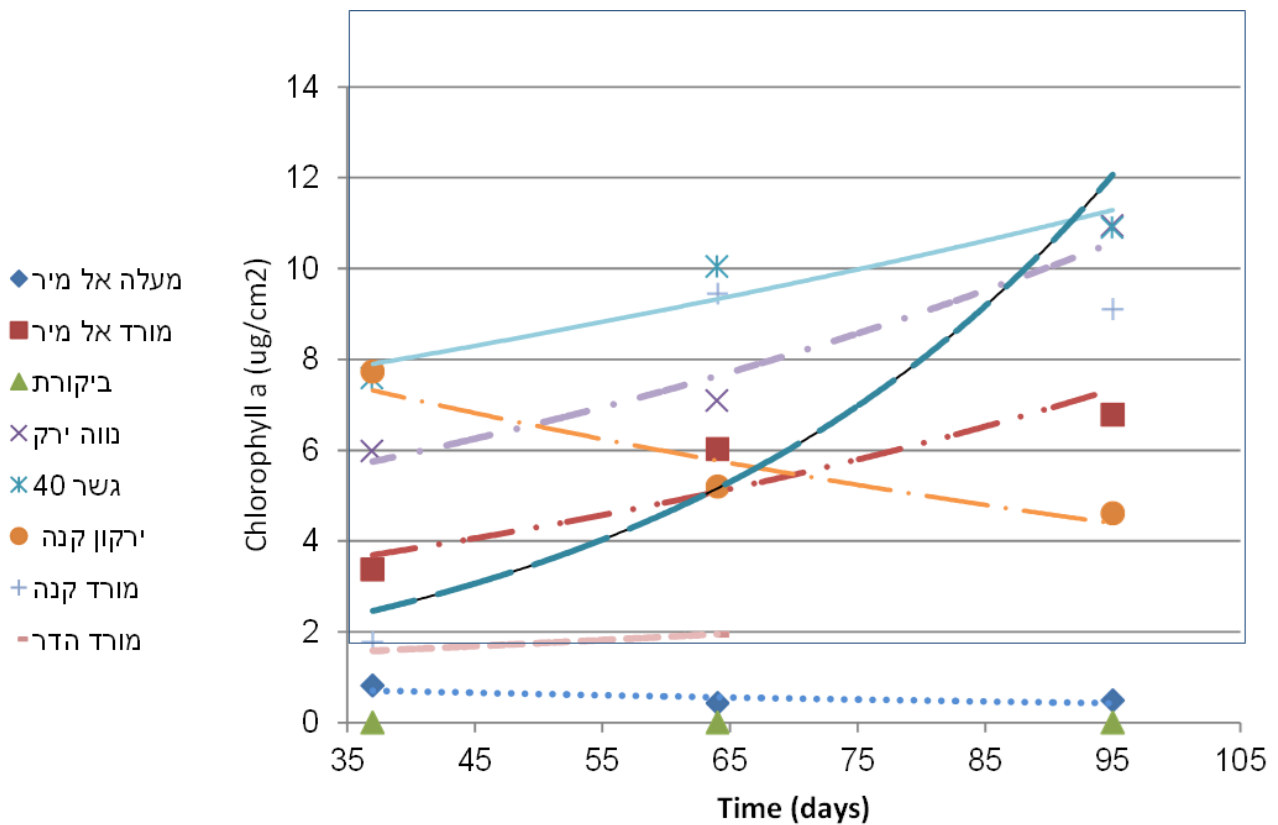
הדינאמיקה של התפתחות הפיטובנתוס במקטע התיכון הייתה שונה והושפעה מאד מהסחף שזרם במקטע זה עקב עבודות ההקמה של בריכת השאיבה למשאבת הסחרור. בתחנת מורד מפגש קנה ירקון (פרדס פרשקובסקי, תחנה 6) חלה עלייה בבימסה העומדת במהלך החודשיים הראשונים ממועד הצבת אריחי הקרמיקה במים (איור 25). במהלך תקופה זו נבנתה בתחנה 6 ביומסה של כ-9 מ"ג לס"מ<sup>2</sup> כלורופיל *a*. אולם, בחודש שלאחר מכן חלה עצירה בהתפתחות הביומסה העומדת של הפיטובנתוס בתחנה זו. ההשפעה הגדולה ביותר של הסחף הייתה בתחנת מיתוג (תחנה 7). בתחנה זו יש נטייה חזקה להצטברות סחף שהלך וכיסה את המשטחים של אריחי הקרמיקה. למרות שבכל פעם שדגמנו את אריחי הקרמיקה חילצנו אותם מהסחף שהצטבר סביבם. המשטחים שבו ונקברו לחלוטין בסחף חול. בהתאם, לאחר החודש הראשון, הביומסה העומדת שהתפתחה בתחנה זו דומה לביומסה שהתפתחה בתחנת 6. בחודש שלאחר מכן התפתחות הביומסה העומדת של הפיטובנתוס נעצרה כמעט לחלוטין ואילו בחודש השלישי מאז שמשטחי הקרמיקה הוצבו בנחל, הם כוסו לחלוטין בסחף ולא היה ניתן לקרוא את הביומסה שהתפתחה עליהם (איור 25).



**איור 26. התפתחות אצות בנתוניות עלי אריחי קרמיקה שהוכנסו לנחל הירקון לאחר 95 יום מהכנסת האריחים לנחל**

### **3.2.2. קצב התפתחות האצות הבנתוניות**

קצב התפתחות הביומסה של אצות הפיטובנתוס משקף נאמנה את המתואר בסעיף 3.2.1. במרבית התחנות (תחנות 2, 3, 4 ו-6) תאם דגם ההתפתחות של האצות מודל אקספוננציאלי מתון (איור 27). בתחנה 1 נמצא קצב התפתחות שלילי ו מתון ובתחנה 5 קצב שלילי של התפתחות.



איור 27. קצב התפתחות אצות בנתוניות בתחנות שונות לאורך המקטע העליון והתיכון של נחל הירקון

### 2.3. התפתחות צמחייה מקרופיטית טבולה

הצמחייה המקרופיטית הטבולה מדגימה דגם התפתחות שונה לאורך הירקון. במעלה המקטע העליון ניכרת שליטה של קרנן טבוע (*Ceratophyllum demersum*) הנמצא במים בעומדים צפופים (איור 28) ערכי הביומסה של הקרנן הטבוע הגיעו בשיא ללמעלה מ-3 ק"ג חומר יבש למ<sup>2</sup>. במורד המקטע העליון נעלם הקרנן ואת מקומו תופסת הנהרונית הצפה (*Potamogeton nodosus*) שגם היא מתפתחת בעומדים צפופים (איור 29). ערכי הביומסה של הנהרונית הצפה בעומדים בהם היא מתפתחת הגיעו לכ-1.2 ק"ג חומר יבש למ<sup>2</sup>. לאורך כל המקטע העליון מתפתחים עומדים צפופים של נופר צהוב (*Nuphar luteum*). המקטע התיכון של הירקון התאפיין בהעדר מוחלט של צמחייה טבולה לאורך כל תקופת המחקר (איור 30).

בשל פעילות ממשק ודילול של הצומח הימי שהתבצעו בחלק מהתחנות (למשל, בתחומי הגן הלאומי) לא ניתן להביא תוצאות כמותיות של אחוז כיסוי וביומסה של הצומח הטבול. אולם ככלל ניתן להגיד כי דגם ההתפתחות של הצומח הטבול בירקון הוא עונתי עם ביומסה ואחוזי כיסוי נמוכים בתקופת החורף, עלייה בביומסה בחודשי האביב ושמירה על אחוזי כיסוי גבוהים וביומסה גבוהה בחודשי הקיץ.





איור 28. התפתחות קרנן טבוע במעלה המקטע העליון של נחל הירקון



איור 29. התפתחות נהרונית צפה במורד המקטע העליון של נחל הירקון





איור 30. עומד צפוף של נופר צהוב במקטע העליון של נחל הירקון

### 3. איפיון אסופת חסרי חוליות גדולים (חח"ג)

#### 3.1. הרכב אסופת החח"ג בתחנות הדיגום השונות

רשימת הטקסונים ושפיעות הפרטים היחסית של חסרי החוליות שנמצאו בתחנות השונות בדיגום הנוכחי, מוצגת בטבלה 1. בדיגום זה תועדו סה"כ בכל התחנות שנדגמו בנחל 26 טקסונים שונים של חסרי חוליות. כמו כן נצפתה נוכחות ספורדית של של שני טקסונים – סרטן הנחלים שנצפה בגדות לעיתים פעמיים במהלך המחקר, ואטיופרה שפרטים שלהם לא נלכדו במלכודות הדנדי ולכן טקסונים אלה אינם נכללים בין הטקסונים המדווחים להלן. מרבית הטקסונים שתועדו במחקר (כ-58%, 15 טקסונים) השתייכו למחלקת החרקים המיוצגת ע"י נציגים של שש סדרות: בריומאי אחד ממשפחת ה-Baetidae, שלושה טקסונים של שפיריות (Anisoptera) המשתייכים לשתי משפחות שונות (Libellulidae ו-Aeshnidae), 6 טקסונים של שפיריות (Zygoptera) המשתייכים לשתי משפחות שונות (Coenagrionidae ו-Platycnemididae), טקסון אחד של חיפושיות מים (Coleoptera) ו-4 טקסונים של זבובאים המשתייכים ל-4 משפחות שונות (Ceratopogoniidae, Tanypoinae, Chironomidae ו-Ephydriidae). בנוסף לחרקים תועדו במחקר טקסון אחד של תולעים שטוחות (Turbellaria), טקסון אחד של תולעים עגולות (Nematoda), טקסון אחד של תולעים דל זיפיות (Oligocheta) וטקסון אחד של עלוקות (Hirudinida). כמו כן נמצאו בדגימות שלושה טקסונים של סרטנים

ירודים (טקסון אחד אחד של שט רגליים (Copepoda), טקסון אחד אחד של דפניתיים (Cladocera) וטקסון אחד של צדפוניות (Ostracoda). בנוסף לטקסונים הנ"ל תועדו במהלך המחקר בתחנות הדיגום השונות בנחל הירקון שני טקסונים של חלזונות (Molusca) המשתייכים לשתי משפחות (Physidae ו-Planorbidae), טקסון אחד של נבוביים (Hydrozoa) וטקסון אחד של אקריות מים (Hydracarina). פרוט הטקסונים שתועדו בכל תחנה מוצג בטבלה 1.

טבלה 1. הרכב המינים בתחנות הדיגום השונות לאורך הירקון במהלך 2011 ו-2012

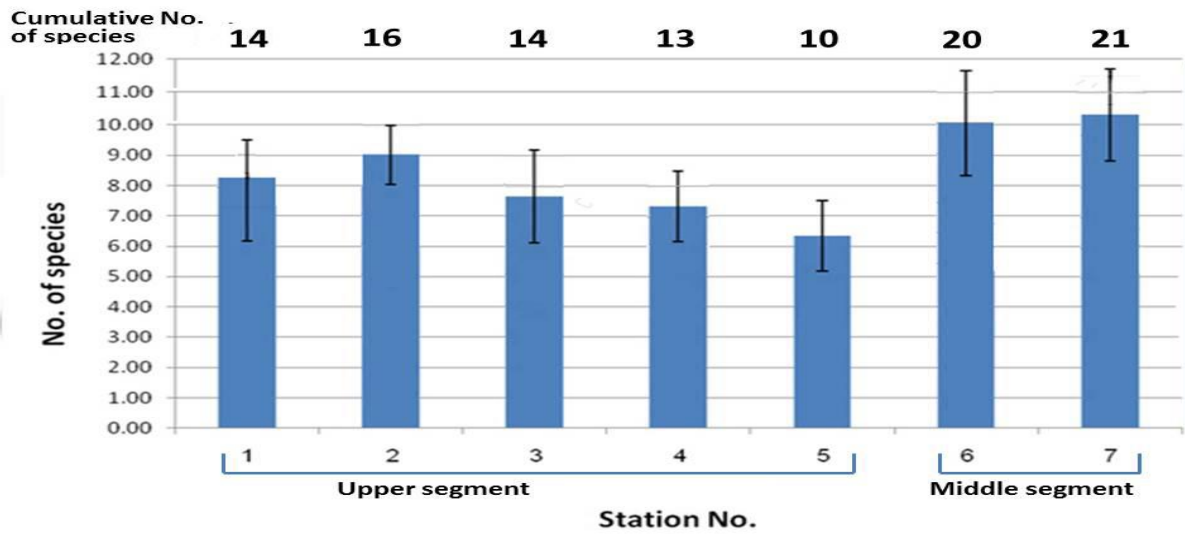
| Sampling Station                | Upper segment |   |   |   | 5 | Middle segment |   |
|---------------------------------|---------------|---|---|---|---|----------------|---|
|                                 | 1             | 2 | 3 | 4 |   | 6              | 7 |
| <b>Taxon</b>                    |               |   |   |   |   |                |   |
| <b>Hydrozoa</b>                 |               |   |   |   |   |                |   |
| <i>Hydra</i> sp.                | -             | - | - | + | - | +              | - |
| <b>Turbellaria</b>              |               |   |   |   |   |                |   |
| Dugesiidae                      |               |   |   |   |   |                |   |
| <i>Dugesia</i> sp.              | -             | + | - | + | - | -              | + |
| <b>Nematoda</b>                 |               |   |   |   |   |                |   |
| Unidentified sp.                | +             | + | + | + | + | +              | + |
| <b>Oligocheta</b>               |               |   |   |   |   |                |   |
| Tubificidae                     |               |   |   |   |   |                |   |
| <i>Tubifex tubifex</i>          | +             | + | + | + | + | +              | + |
| <b>Hirudinida</b>               |               |   |   |   |   |                |   |
| Glossiphoniidae                 |               |   |   |   |   |                |   |
| <i>Helobdella</i> sp.           | +             | + | + | - | - | +              | + |
| <b>Copepoda</b>                 |               |   |   |   |   |                |   |
| Cyclopoidae                     |               |   |   |   |   |                |   |
| <i>Cyclops</i> sp.              | +             | - | + | + | - | +              | + |
| <b>Cladocera</b>                |               |   |   |   |   |                |   |
| Daphniidae                      |               |   |   |   |   |                |   |
| <i>Daphnia</i> sp.              | +             | + | - | + | + | +              | + |
| <b>Ostracoda</b>                |               |   |   |   |   |                |   |
| Unidentified sp.                | -             | - | - | - | - | +              | + |
| <b>Hydracarina</b>              |               |   |   |   |   |                |   |
| Unidentified sp.                | +             | - | + | + | - | +              | + |
| <b>Ephemeroptera</b>            |               |   |   |   |   |                |   |
| Baetidae                        |               |   |   |   |   |                |   |
| <i>Cloeon dipterum</i>          | -             | + | + | - | + | +              | + |
| <b>Anizoptera</b>               |               |   |   |   |   |                |   |
| Aeshnidae                       |               |   |   |   |   |                |   |
| <i>Anax parthenope</i>          | +             | + | - | - | - | -              | - |
| Libellulidae                    |               |   |   |   |   |                |   |
| <i>Crocothemis erythraea</i>    | +             | + | + | + | + | +              | + |
| <i>Brachythemis leucosticta</i> | +             | - | + | + | + | -              | + |
| <b>Zigoptera</b>                |               |   |   |   |   |                |   |
| Coenagrionidae                  |               |   |   |   |   |                |   |
| <i>Ischnura elegans</i>         | +             | + | + | - | - | +              | + |

## טבלה 1. המשך

| Sampling Station              | Upper segment |           |           |           |           | Middle segment |           |
|-------------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|-----------|
|                               | 1             | 2         | 3         | 4         | 5         | 6              | 7         |
| <i>Ischnura evansi</i>        | -             | -         | -         | -         | -         | +              | +         |
| <i>Agriocnemis sania</i>      | -             | -         | -         | -         | -         | +              | +         |
| <i>Pseudagrion niloticum</i>  | -             | +         | -         | -         | +         | -              | +         |
| <b>Platycnemididae</b>        |               |           |           |           |           |                |           |
| <i>Platycnemis dealbata</i>   | -             | +         | +         | -         | -         | +              | +         |
| <i>Trithemis annulata</i>     | +             | +         | -         | +         | -         | -              | -         |
| <b>Coleoptera</b>             |               |           |           |           |           |                |           |
| <b>Helophoridae</b>           |               |           |           |           |           |                |           |
| <i>Helophorus brevipalpis</i> | -             | -         | -         | -         | --        | +              | -         |
| <b>Diptera</b>                |               |           |           |           |           |                |           |
| <b>Chironomidae</b>           |               |           |           |           |           |                |           |
| <i>Chironomus</i> sp.         | +             | +         | +         | +         | +         | +              | +         |
| <b>Tanyptoinae</b>            |               |           |           |           |           |                |           |
| <i>Tanyptus</i> sp.           | -             | +         | +         | -         | -         | -              | -         |
| <b>Ceratopogoniidea</b>       |               |           |           |           |           |                |           |
| <i>Culicoides</i> sp.         | +             | +         | -         | +         | +         | +              | +         |
| <b>Ephydriidae</b>            |               |           |           |           |           |                |           |
| <i>Notiphila</i> sp.          | -             | -         | +         | -         | +         | +              | +         |
| <b>Mollusca</b>               |               |           |           |           |           |                |           |
| <b>Physidae</b>               |               |           |           |           |           |                |           |
| <i>Haitia acuta</i>           | +             | +         | +         | +         | -         | +              | +         |
| <b>Planorbidae</b>            |               |           |           |           |           |                |           |
| <i>Ferrissia clessiniana</i>  | -             | -         | -         | -         | -         | +              | +         |
| <b>Sub total</b>              | <b>14</b>     | <b>16</b> | <b>14</b> | <b>13</b> | <b>10</b> | <b>20</b>      | <b>21</b> |
| <b>Segment total</b>          | <b>21</b>     |           |           |           |           | <b>23</b>      |           |

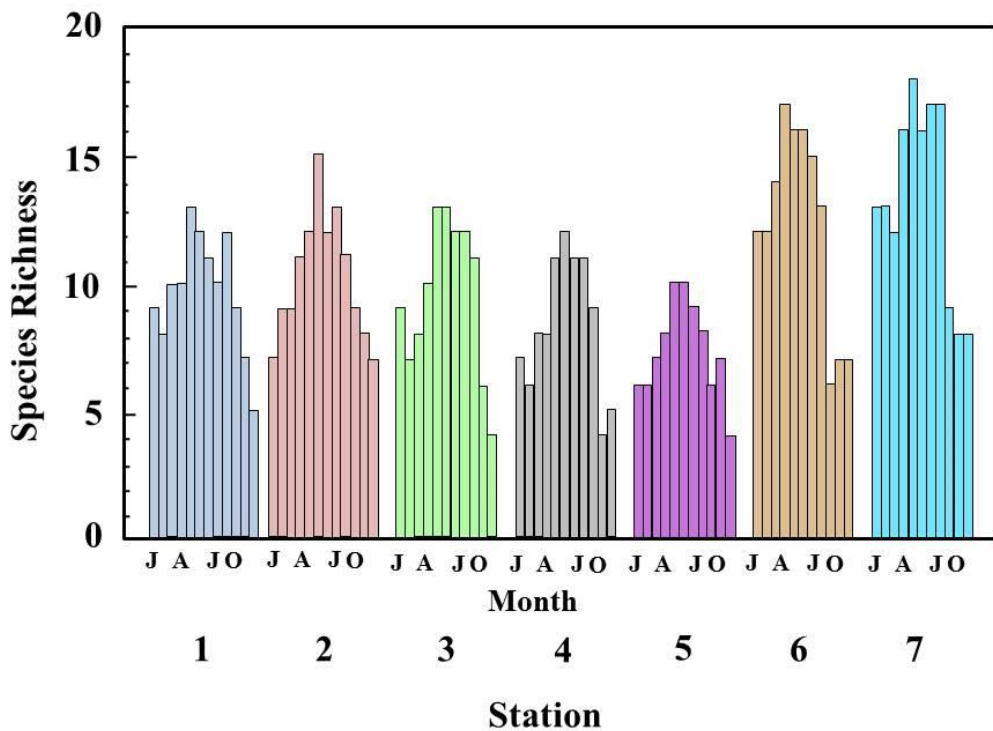
## 3.2. עושר הטקסונים

עושר הטקסונים לתאריך דיגום של חסרי החוליות הגדולים בתחנות השונות נע בין 5 טקסונים לתחנה ל-12 טקסונים לתחנה. אולם עושר המינים במצטבר בתחנות השונות נע בין 10 טקסונים לתחנה ל-21 טקסונים לתחנה (איור 31). השוואה בין המקטע העליון למקטע התיכון מלמדת כי במהלך המחקר הנוכחי, עושר הטקסונים במקטע התיכון (23 טקסונים) היה גבוה בהשוואה למקטע העליון (21 טקסונים; טבלה 1). זאת בהשוואה לתמונה הפוכה שהתקבלה בשנים 2002-2004 שבמהלכן נמצאו במקטע העליון 19 טקסונים ובמקטע התיכון רק 9 טקסונים (רבינסקי, 2006).



איור 31. עושר הטקסונים של חסרי חוליות גדולים בתחנות שונות לאורך המקטע העליון והתיכון של נחל הירקון

עושר הטקסונים הראה דינאמיקה עונתית של מיעוט יחסי של טקסונים בחודשי הסתיו והחורף והגעה לשיא באמצע הקיץ. דגם זה חוזר על עצמו בכל התחנות (איור 32)

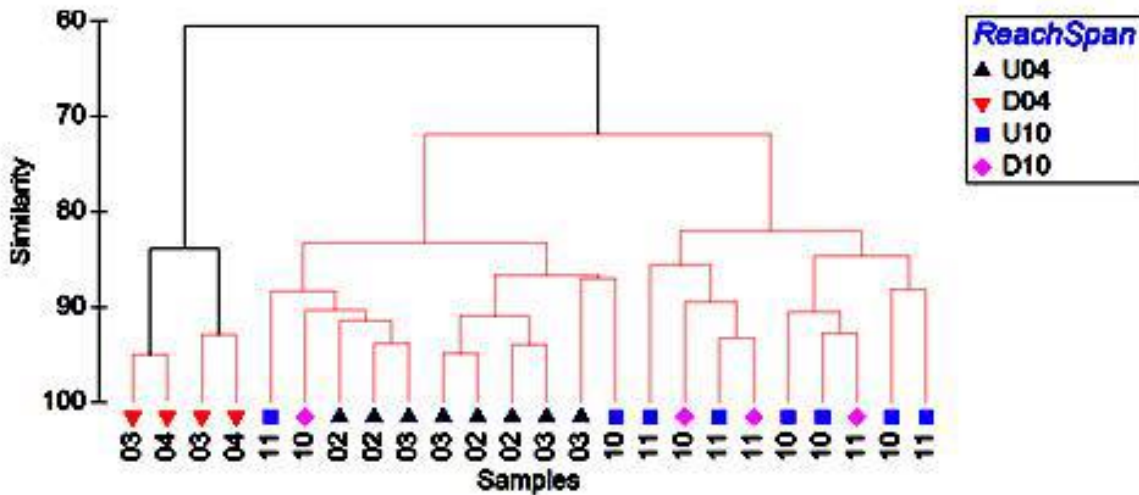


איור 32. השתנות עונתית של עושר הטקסונים של חסרי חוליות גדולים בתחנות שונות לאורך המקטע העליון והתיכון של נחל הירקון

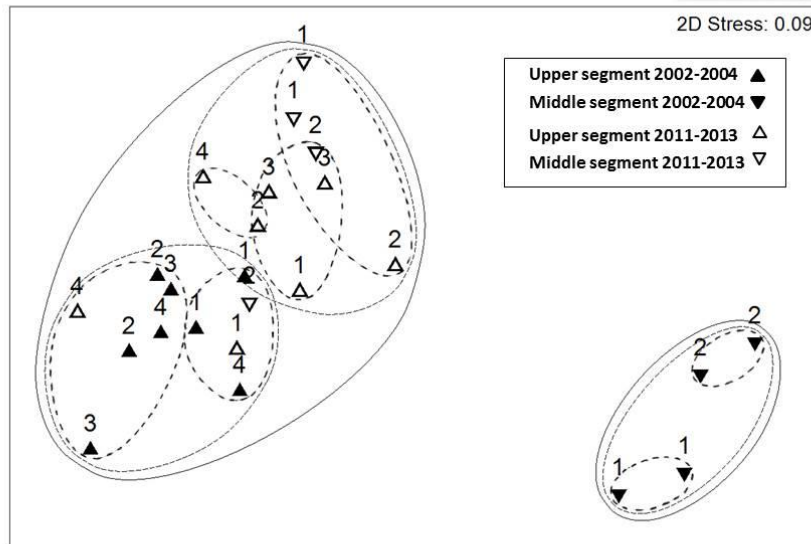


### 3.4 שפיעות יחסית, דומיננטיות ונדירות

השפיעות היחסית של הטקסונים השונים שתועדו במחקר מובאת בטבלה 3. על מנת להשוות בין השכיחות היחסית של הטקסונים השונים של חסרי החוליות הגדולים במקטע העליון ובמקטע התיכון של הירקון הנתונים מהתחנות השונות בכל מקטע קובצו יחדיו (טבלה 3) נתוני השכיחות היחסית עברו טרנספורמציה  $\log(x+1)$  ומידת הדמיון בין המקטעים השונים חושבה תוך שימוש באינדקס של ברי קרטיס (Bray-Curtis Index) (איור 33). לאחר מכן, הנתונים נותחו באנליזה רבת מימדים (non-dimensional MDS ordination). אנליזה ה-MDS מלמדת על דמיון של 70% בין כל תחנות הדיגום במקטע העליון בשנים 2002-2004, במקטע העליון במחקר הנוכחי ובמקטע התיכון במחקר הנוכחי.. לעומת זאת, נתוני המקטע התיכון ב-2002-2004 יצרו קבוצה נפרדת (איור 33).



איור 33. אנליזה Bray-Curtis לבחינת רמת הדמיון לנתוני השכיחות היחסית של חסרי החוליות הגדולים במקטע העליון והתיכון של נחל הירקון



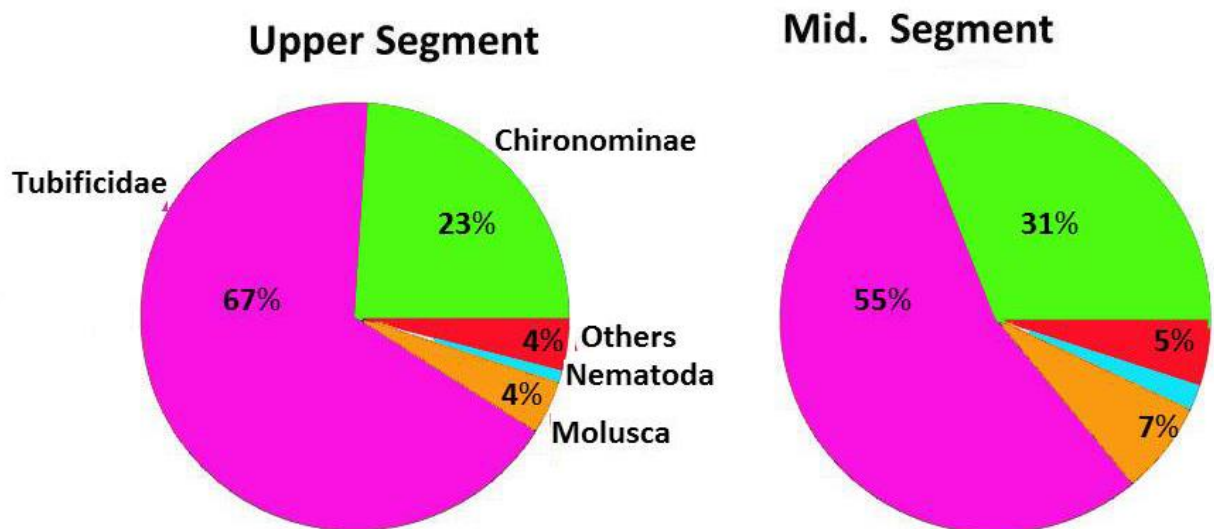
איור 34. תוצאות אנליזה רב משתנית (MDS) של נתוני השכיחות היחסית של חסרי החוליות הגדולים במקטע העליון והתיכון של נחל הירקון

השונויות בין נתוני המקטעים בשנים השונות נבחנו באמצעות מבחן אנליזה זהות חד כיוונית (One Way ANOSIM - Analysis of Similarity) על מנת לאפשר השוואה בין קבוצות הנתונים השונות התוצאות נבחנו באמצעות post hoc pairwise comparison between the groups השימוש באנליזה זו העלה מקדם מתאם מובהק ( $P < 0.001$ ;  $R = 0.679$ ). תוצאות מבחן זה מלמדות על הבדל משמעותי בין כל הקבוצות למעט המקטע העליון והתיכון בתקופה של 2011-2013 (טבלה 2).

טבלה 2. ממצאי האנליזה הסטטיסטית של המתאם נתוני השכיחות היחסית של חסרי החוליות הגדולים במקטע העליון (U) ובמקטע התחתון (D) בשנים 2002-2003 (03) ו-2011-2013 (10). באדום – הבדלים מובהקים.

| Groups   | R Statistic | Significance level % | Possible Permutations | Actual Permutations | Number >= Observed |
|----------|-------------|----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|
| U03, D03 | 1           | 0.2                  | 495                   | 495                 | 1                  |
| U03, U10 | 0.452       | 0.09                 | 6435                  | 6435                | 6                  |
| U03, D10 | 0.763       | 0.2                  | 495                   | 495                 | 1                  |
| D03, U10 | 0.998       | 0.2                  | 495                   | 495                 | 1                  |
| D03, D10 | 1           | 2.9                  | 35                    | 35                  | 1                  |
| U10, D10 | 0.224       | 8.5                  | 495                   | 495                 | 42                 |

בחינה של נתוני השכיחות היחסית מלמדת כי הן במקטע העליון והן במקטע התיכון הקבוצה הטקסונומית הדומיננטית הייתה של התולעים הדל זיפיות (*Tubifex tubifex*) (67% משפיעות הפרטים הכוללת במקטע העליון ו-55% מהשפיעות הכוללת במקטע התיכון). הקבוצה הטקסונומית השנייה בשכיחותה הייתה של זחלי הימשושים (*Chironomus thummi*). השכיחות היחסית של החלזונות הייתה נמוכה בהרבה וקבוצה טקסונומית זו היוותה כ-4% במקטע העליון ו-7% במקטע התיכון. השכיחות היחסית של כל שאר הטקסונים ביחד לא עלתה על 4% במקטע העליון ו-5% במקטע התיכון (איור 35). דרגת השכיחות והנדירות של הטקסונים השונים מובאת בטבלה 3.



איור 35. השכיחות היחסית של קבוצות דומיננטיות של חסרי חוליות גדולים במקטע העליון ובמקטע התיכון של נחל הירקון

טבלה 3. השכיחות היחסית ודרגת הנדירות של הטקסונים השונים שנמצאו במקטע העליון והתיכון של נחל הירקון

| Reach                           | Taxa status | Upper segment | Middle segment |
|---------------------------------|-------------|---------------|----------------|
| <b>Taxon</b>                    |             |               |                |
| <b>Hydrozoa</b>                 |             |               |                |
| <i>Hydra</i> sp.                | S           | 0             | 0.002          |
| <b>Turbellaria</b>              |             |               |                |
| <i>Dugesia</i> sp.              | S           | 0.004         | 0.006          |
| <b>Nematoda</b>                 |             |               |                |
| Unidentified sp.                | C           | 1             | 2              |
| <b>Oligocheta</b>               |             |               |                |
| <i>Tubifex tubifex</i>          | C           | 67            | 55             |
| <b>Hirudinidea</b>              |             |               |                |
| <i>Helobdella conifera</i>      | R           | 0.38          | 0.59           |
| <b>Copepoda</b>                 |             |               |                |
| Cyclopoidae                     | R           | 0.42          | 0.31           |
| <b>Cladocera</b>                |             |               |                |
| <i>Daphnia</i> sp.              | R           | 0.13          | 0.48           |
| <b>Ostracoda</b>                |             |               |                |
| Unidentified sp.                | R           | 0             | 0.40           |
| <b>Hydracarina</b>              | R           | 0.82          | 0.66           |
| Unidentified sp.                |             |               |                |
| <b>Ephemeroptera</b>            |             |               |                |
| <i>Cloeon dipterum</i>          | R           | 0.48          | 0.56           |
| <b>Odonata</b>                  |             |               |                |
| <i>Anax parthenope</i>          | S           | 0.006         | 0              |
| <i>Crocothemis erythraea</i>    | R           | 0.16          | 0.27           |
| <i>Brachythemis leucosticta</i> | S           | 0.005         | 0.008          |
| <i>Ischnura elegans</i>         | R           | 0.63          | 0.52           |
| <i>Ischnura evansi</i>          | R           | 0             | 0.14           |
| <i>Pseudagrion niloticum</i>    | R           | 0.10          | 0.18           |
| <i>Agriocnemis sania</i>        | S           | 0             | 0.003          |
| <i>Platycnemis dealbata</i>     | R           | 0.39          | 0.29           |
| <i>Trithemis annulata</i>       | S           | 0.008         | 0              |
| <b>Coleoptera</b>               |             |               |                |
| Helophoridae                    |             |               |                |
| <i>Helophorus brevipalpis</i>   | R           | 0             | 0.10           |
| Hydrophilidae                   | S           | 0.005         | 0              |
| <b>Diptera</b>                  |             |               |                |
| Chironomidae                    |             |               |                |
| <i>Chironomus thummi</i>        | C           | 23            | 31             |
| <i>Tanypus</i> sp.              | R           | 0.18          | 0              |
| <i>Culicoides</i> sp.           | R           | 0.32          | 0.14           |
| <i>Notiphila</i> sp.            | R           | 0.14          | 0.12           |
| <b>Mollusca</b>                 |             |               |                |
| <i>Haitia acuta</i>             | C           | 4             | 7              |
| <i>Ferrissia clessiniana</i>    | R           | 0             | 0.22           |

#### 4.4 דינאמיקת פרוק של חומר אורגני גס

דינאמיקת הפרוק של חומר אורגני גס נבדק בשתי תחנות במקטע העליון ובתחנה נוספת במקטע התיכון של נחל הירקון. מתוצאות המחקר עולה כי דינאמיקת הפרוק של החומר האורגני בשתי התחנות במקטע העליון הייתה דומה (איור 35). דינאמיקת הפרוק הותאמה למשוואת דעיכה אקספוננציאלית. המודל המתאר את דינאמיקת הפרוק בתחנת מעלה אל מיר (תחנה 1) היה:

$$Y=89.524e^{0.004X}$$

והמודל המתאר את דינאמיקת הפרוק במורד סכר אל מיר (תחנה 2) היה:

$$Y=87.413e^{0.004X}$$

כאשר:

$Y$  = אחוז החומר האורגני הנוותר

$X$  = זמן בימים

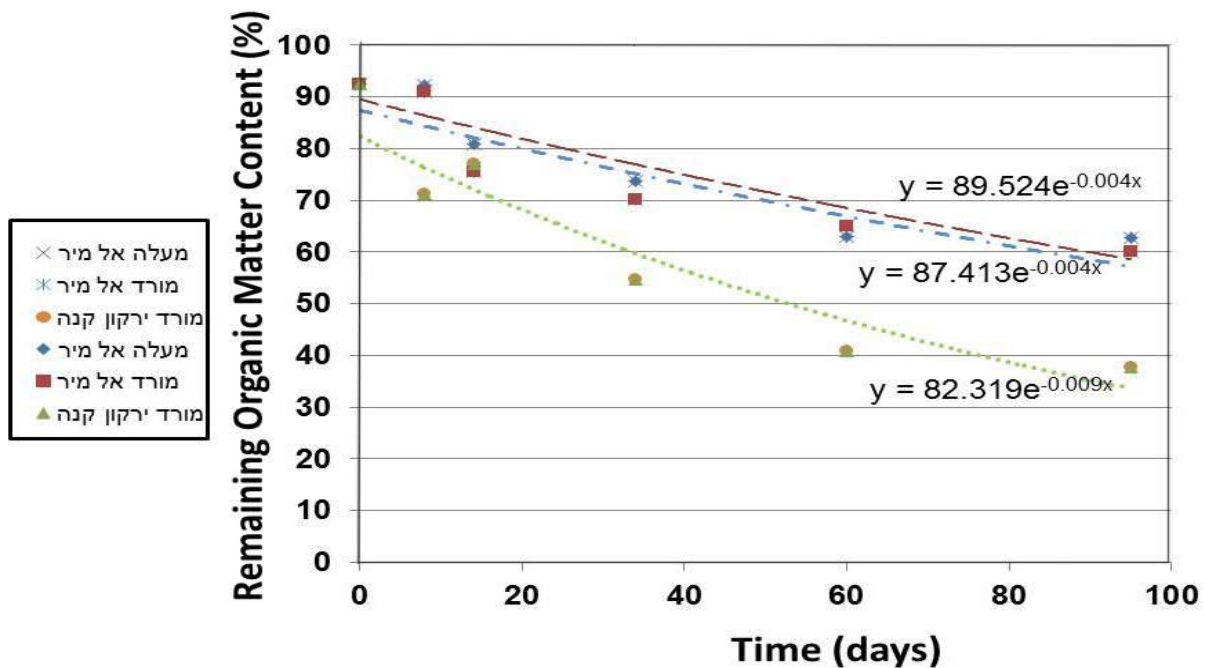
$e$  – בסיס הלוגריתם הטבעי

קצב הפרוק הממוצע בשתי התחנות במקטע העליון של הירקון היה 0.4% ביום.

לעומת זאת, דינאמיקת הפרוק בתחנה שבמקטע התיכון (מורד ירקון קנה – תחנה 6) תאמה את המודל:

$$Y=82.319e^{0.009X}$$

וקצב הפרוק במקטע זה היה מהיר יותר – כ-0.82% ליום (איור 35).



איור 35. דינאמיקת הפרוק של חומר אורגני חלקיקי גס (חבילות גבעולים של קנה מצוי) בשתי תחנות במקטע העליון של הירקון (מעלה ומורד סכר אל מיר) ובתחנה במקטע התיכון של הירקון (מורד מפגד ירקון קנה).

ככלל קצב הפרוק שנמדד בירקון היה מהיר יותר בהשוואה לקצבי פרוק שנמדדו בנחלים נקיים בגליל (0.34% ליום; כורם 2010).

## ה. דיון

המטרה הראשונית של שלב א' של המחקר הנוכחי הייתה לבחון נתוני בסיס של השפעת סחרור המים על המקטע העליון של הירקון. בהמשך התבקשנו גם לבחון את השפעת השיפור באיכות הקולחים המוזרמים למקטע התיכון של הירקון על המבנה והתפקוד של הנחל. בשלב ב' של המחקר היינו אמורים לבחון את השפעת סחרור המים על המקטע העליון ולהשוות את הנתונים לנתוני הבסיס של שלב א'.

הדו"ח הנוכחי מציג את נתוני הבסיס של שלב א' (כלומר לפני תחילת הסחרור). בשל התאחרות בהפעלת סחרור המים לא התחלנו עדיין לאסוף נתונים הבוחנים את השפעת הסחרור. לכן בינתיים, המשמעות העיקרית של דו"ח זה היא בחינת ההשפעה של השיפור באיכות הקולחים על המבנה והתפקוד של המקטע התיכון בנחל.

בחינת הנתונים של איכות המים במקטע התיכון מלמדת כי כניסת הקולחים המטופלים לרמה גבוהה גורמת לשינויים הבאים באיכות מי הנחל:

1. מי הנחל במורד כניסת הקולחים צלולים יותר בהשוואה לצלילות המים במקטע העליון.
2. טמפרטורת מי הנחל עולה בסדר גודל של כשתי מעלות במוצא לאחר כניסת הקולחים המטוהרים לנחל. סביר להניח כי שינוי זה נובע מכך שהקולחים הנכנסים לנחל שוהים באגנים הירוקים כשהם חשופים יותר לשמש.
3. עקב תכולת המלחים הגבוהה יותר במי הקולחים בהשוואה למי הנחל הזורמים במקטע העליון המוליכות החשמלית של מי הנחל עולה בכ-  $250\mu S$ .
4. הקולחים המטוהרים הנכנסים לנחל עשירים יותר בחמצן ויש עליה ממוצעת של כ-2 מ"ג ללי בריכוז החמצן במקטע התיכון שמשמעותה עלייה של כ-15% בריכוזי הרוויה.
5. שינוי הסכר המפריד בין המקטע העליון למקטע התחתון של הנחל גרם לעלייה בעומק המים במעלה מפגש ירקון קנה. אולם, שינוי זה לא בא על ביטוייו בכל המקטע העליון. בהשוואה בין חתכי הנחל ב-2010 וב-2012 בנקודה בה ביצענו חתכי נחל אופייניים (בית הבטון) נרשמה דווקא ירידה מסוימת בעומק המים המקסימאלי. אולם, במקביל חלה עלייה של כ-30 ס"מ ברוחב התעלה הרטובה. ראוי לזכור כי חתכי הנחל הם דינאמיים ביותר ותלויים בין השאר בספיקה. לכן לא ברור האם לממצא הנ"ל יש משמעות רבה בעיצוב תעלת הנחל. במקטע התיכון של הנחל לא נרשם שינוי מובהק בחתך המים הרטוב בין 2010 ל-2012. ממצא זה מעניין במיוחד מכיוון שבמהלך עבודות ההקמה של בריכת השאיבה לסחרור זרמו במורד הנחל כמויות גדולות של בחף וסדימנטים. אולם נראה כל לאחור תום העבודות אפיק הנחל התייצב וחזר כמעט במדויק למבנהו הקודם.
6. מהירות הזרימה של המים במקטע העליון (בית הבטון) כמעט והוכפלה ב-2012 בהשוואה למהירות ב-2010. מהירות הזרימה במקטע התיכון כמעט ולא השתנתה בין השנים, אם כי התפלגות המהירויות בחתך הנחל הייתה שונה בין השנים.
7. בחינה של הביומסה העומדת מלמדת על הבדלים בדינמיקה של ההתפתחות של הביומסה וגם בביומסה המרבית המתפתחת בכל תחנה. אולם, נראה כי גורמים אלה נשלטים ע"י כוחות אחרים, שאינם תלויים במהירות הזרימה או בספיקה וכי היא משופעת יותר מזמינות אור. ככלל, התמונה המצטיירת היא של ביומסה נמוכה יותר בתחנות החשופות לאור בהשוואה

- לתחנות מוצלות. למרות שהתפתחות הביומסה העומדת נבחנה על מצעים מלאכותיים שלא הושפעו ישירות מעבודות ההקמה של בריכת השאיבה במפגש ירקון קנה, נראה כי לעבודות אלה הייתה השפעה שלילית מכרעת על התפתחות הביומסה העומדת של הפיטובנתוס. אולם השפעה זו הייתה מקומית ולא זלגה למקטעים אחרים של הנחל.
8. התפתחות צמחייה מקרופיטית טבולה תלויה בגורמים סביבתיים שונים כגון שינויי טמפרטורה (Wong et al., 1978), אופי הסדימנט (Barko et al., 1991), זמינות אור (Spence, 1982). במקטע העליון של הירקון קיים דגם הופעה טיפוסי של מקרופיטים טבולים שעיקרו שליטה של קרנו טבוע במעלה המקטע (באזור פארק מקורות הירקון) ומעבר לשליטה של נהרונית צפה במורד המקטע (באזור אבו רבאח). הנופר הצהוב מתפתח בנקודות שונות לאורך המקטע העליון, בעומדים צפופים אך מבודדים. קיימת דינאמיקה עונתית של התפתחות הביומסה העומדת של הנופר המתאפיינת בביומסה נמוכה מאד בחודשי החורף ובהתפתחות מהירה של הביומסה עם בוא האביב.
9. למרות השיפור המובהק באיכות הקולחים המוזרמים לנחל עדיין אין כל סימן להתפתחות מקרופיטים טבולים או נופר צהוב במקטע התיכון של הנחל.
10. בחינה של אסופת חסרי החוליות הגדולים במקטע העליון והתיכון של הנחל מלמדת כי בניגוד לעבר (נתונים מ-2003, כאשר הקולחים שהוזרמו בנחל היו עדיין ברמה שניונית בלבד), אין כיום הבדל בעושר הטקסונים של חסרי החוליות בין המקטע העליון למקטע התיכון. יתרה מזאת, במקטע התיכון נרשם עושר טקסונים מעט גבוה יותר. חשוב לציין כי המדד של עושר הטקסונים הוא רגיש ביותר ובמדידות שנעשו ב-2014-2015 שוב ירד עושר הטקסונים במקטע התיכון (נתונים שלא נכללו בדו"ח זה).
11. הן במקטע העליון והן במקטע התיכון, עושר הטקסונים גילה דינאמיקה עונתית של שפל בסתיו ובחורף ושיא בחודש האביב והקיץ.
12. עיקר ההבדל בהרכב האסופה של חסרי החוליות הדגולים בין המקטעים השונים של הנחל ובין התחנות השונות בתוך כל מקטע נובע ממינים שתדירות הופעתם נדירה. שני מקטעי הנחל מתאפיינים בנוכחות דומה של מינים עמידים ודומיננטיים כזחלו ימשושים ותולעים דל זיפיות. בהקשר זה ראוי לציין את הופעתם של טקסונים כביומאים זחלי שפיריות במקטע התיכון. טקסונים אלה לא נכללו באסופה שאפיינה את המקטע התיכון של הנחל לפני השיפור באיכות הקולחים. גם בהקשר זה ראוי לציין כי בחינה ראשונית של נתוני 2014-2015 מלמדת כי בשנה זו שוב לא נמצאו זחלי בריומאים במקטע התיכון. לעומת זאת, זחלי שפיריות שמרו על נוכחותם גם בעונת 2014-2015.
13. בחינה של דינאמיקת הפרוק של חבילות גבעולים מלמדת כי בשתי התחנות שנבחנו במקטע העליון של הנחל דינאמיקת הפרוק הייתה דומה. לעומת זאת הפרוק של חבילות הגבעולים במקטע התיכון היה מהיר יותר. ממצא זה מלמד כי למרות השיפור באיכות הקולחים, בהיבט זה עדיין קיים הבדל בין המקטע העליון של הנחל לבין המקטע התיכון.

## מקורות ספרותיים

- אגמי, מ. 1973. השפעת הזיהום של מי נחל אלכסנדר על צמחייתם. *טבע וארץ*, 15: 242–247.
- כורם, מ. 2010. היבטים בהשפעת פעילות נופש (הליכה) בתוואי הערוץ הרטוב בנחלים. עבודה לקראת התואר מוסמך למדעים, אוני' ת"א, 121 עמ'
- רבינסקי, א. 2007. השפעת כניסה של קולחים ממקורות נקודתיים ותנאים סביבתיים אחרים על חברת חסרי החוליות והאצות הבנתוניות במשקעים דקים בנחל הירקון. חיבור לקראת התואר מוסמך למדעים. אוני' תל אביב. 103 עמ'
- Aguiara, F.C., João Feio, M. and Ferreira, M.T. 2011. Choosing the best method for stream bioassessment using macrophyte communities: Indices and predictive models. *Ecological Indicators*, 11: 379–388.
- Allan, D.J. 1995. *Stream ecology: structure and function of running waters*. Chapman & Hall, London, UK. 388 pp.
- APHA, 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. 16th Ed. 1268pp
- Avitsur, S. 1957. The Yarkon, the River and its Environment, In: Gabbay, S. *The environment in Israel. National report to the United Nations conference on environment and development*. Ministry of the Environment, State of Israel. 157p.
- Barko, J.W., Gunnison, D. and Carpenter, S.R. 1991. Sediment interactions with submersed macrophyte growth and community dynamics. *Aquatic Botany*, 41:41-65.
- Bar-Or, Y. 2000. Restoration of the rivers in Israel's coastal plain. *Water, Air, and Soil Pollution* 123: 311–321
- Beak, T.W., Griffing, T.C. and Appleby, A.G. 1973. Use of artificial substrate samplers to assess water pollution. In: *Biological methods for assessment of water quality*. ASTM STP 528. American Society for Testing and Materials. Pp: 227-241.
- Benfield, E.F., Paul, R.W. and Webster, J.B. 1979. Influence of exposure technique on leaf breakdown rates in streams. *Oikos*. 33:386-391.
- D'Angelo, D.J., Gregory, S.V., Ashkenas, L.R., and Meyer, J.L. 1997. Physical and biological linkages within a stream geomorphic hierarchy: a modeling approach. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 16: 480-502.
- Eby, L.A., Fagan, W.F. and Minckley, W.L. 2003. Variability and dynamics of a desert stream community. *Ecological Applications* 13: 1566-1579.
- Franklin, P., Dunbar, M. and Whitehead, P. 2008. Flow controls on lowland river macrophytes: A review. *Science of the Total Environment*, 400: 369-378.



- Gafni, G., Ortal, R., Kuller, Z., Keshet, N., Glazman, H., Pergament, D., and Bachar, E. (1989). The Streams of Israel, 1982-1987, Water Commission, Ministry of Agriculture and Nature Reserve Authority, Jerusalem, Report No. 3 (in Hebrew).
- Gasith, A. 1992. Conservation and management of the coastal streams of Israel: An assessment of stream status and prospects for rehabilitation. In: Boon, P.J., Calow, P. and Petts, G.E. (eds.). *River conservation and management*. John Wiley and Sons. Pp: 51=64.
- Giller, P.M. and Malmqvist, B. 1998. *The biology of streams and rivers*. Oxford University Press. 296. pp.
- Gordon, N.D., McMahon, T.A. and Finlayson, B.L. 1992. *Stream hydrology: an introduction for ecologists*. 526pp.
- Kolada, A., Willby, N., Dudley, B., Nögesd, P., Søndergaard, M., Hellsten, S., Mjelde, M., Penning, E., van Geest, G., Bertrini, V., Ecke, F., Mäemets, H., and KarusdaInstitut, K. 2014. The applicability of macrophyte compositional metrics for assessing eutrophication in European lakes. *Ecological Indicators*, 15: 407–415.
- Li, J., Herlihy, A., Gerth, W. Kaufmann, P., Gregory, S., Urquhart, S., and Larsen D.P. 2001. Variability in stream macroinvertebrates at multiple spatial scale. *Freshwater Biology* 46: 87-97.
- Malmqvist, B. 2002. Aquatic invertebrates in riverine landscapes. *Freshwater Biology* 47: 679-694.
- Nelson, J.W., Kadlec, J.A. and Murkin, H.M. 1990. Seasonal comparison of weight loss for two types of *Typha gluca* leaf litter. *Aquat. Bot.* 37:299-314.
- Palmer, M.A., and Poff, N.L. 1997. Heterogeneity in streams: the influence of environmental heterogeneity on patterns and processes in streams. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 16: 169-173.
- Palmer, M.A., Hakenkamp, C.C. and Nelson-Baker, K. 1997. Ecological heterogeneity in streams: why variance matters. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 16: 189-202.
- Rawer-Jost, C., Bohmer, J., Blank, J. and Rahmann, H. 2000. Macroinvertebrate functional feeding group methods in ecological assessment. *Hydrobiologia* 422/423: 225-232.
- Rawer-Jost, C., Bohmer, J., Blank, J. and Rahmann, H. 2000. Macroinvertebrate functional feeding group methods in ecological assessment. *Hydrobiologia* 422/423: 225-232.
- Rosenberg, D.M. and Resh, V.H. 1993. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall, NY.
- Simpson, K.W., Fagnani, J.P., Bode, R.W., DeNicola, D.M. and Abele L.E. 1986. Organism-substrate relationships in the main channel of the Lower Hudson River. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 5: 41-57.

- Spence, D.H.N. 1982. The zonation of plants in freshwater lakes. *Adv. Ecol. Res.* 12:37-126.
- Tate, C.M. and Heiny, J.S. 1995. The ordination of benthic invertebrate communities in the South Platte River Basin in relation to environmental factors. *Freshwater Biology* 33: 439-454.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. and Cushing, C.E. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137.
- Wade, A.J., Whitehead, P.G., Hornberger, G.M. and Snook, D.L. 2002. On modelling the flow controls on macrophyte and epiphyte dynamics in a lowland permeable catchment: the River Kennet, southern England. *The Science of the Total Environment* , 282/283: 375-393.
- Wong, S.L., B. Clark, H. Kirby and R.E. Kosciuw. 1978. Water temperature fluctuation and seasonal periodicity of *Cladophora* and *Potamogeton* in sallow rivers. *J. Fish. Res. Bd. Canada.* 35:866-870.