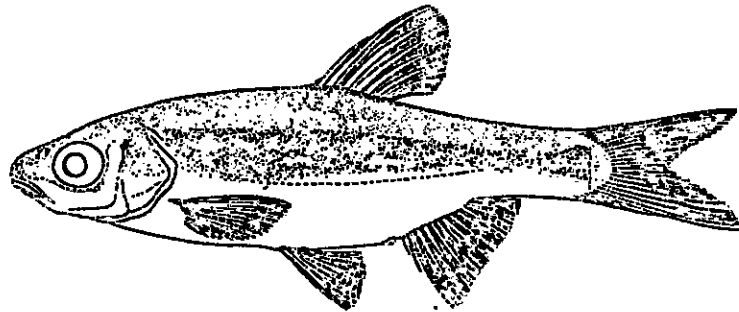


דו"ח התקדמות שנתי

**לבנון הירקון (*Acanthbrama telavivensis*) כאינדיקטור  
לתנאים הסביבתיים הנדרשים לשיקום הירקון**



ע"י

**מנחם גורן, אביטל גזית ואלדד אלרון**

**המחלקה לזואולוגיה והמכון לחקר שירת הטבע  
הפקולטה למדעי החיים  
אוניברסיטת תל-אביב**

**ינואר, 2001**



## רקע

שיקום הנחלים בישראל אינו יכול להתבסס בשלב זה על הזרמת מים שפירים לאפיקי הנחלים. הקצאת המים לנחלים תתבסס על הזרמת מים שוליים ושפכים לאחר טיפול. תנאי מוקדם לשיקום נחלי ישראל הוא בירור איכות המים ותנאי הסביבה הנדרשים להתפתחות מאכלסי חי וצומח בנחל ותפקוד תקין של המערכת ללא צורך בהתערבות מתמשכת של אדם.

אין עדיין קנה מידה ברור לאיכות המים ותנאי הסביבה הנדרשים לשיקום הנחלים בישראל. הידע המצוי במקומות אחרים בעולם לא בהכרח מתאים לתנאי בית הגידול בארץ. שימוש בביו אינדיקטורים לאפיון תנאי בית הגידול נפוץ ברמות הארגון הביולוגי השונות החל מהרמה המולקולרית וכלה ברמת החברה והמערכת האקולוגית כולה (Hawkins et al., 1994).

מחקרים קודמים הצביעו על כך שמבין אוכלוסיות הדגים הקיימות בירקון, תפוצת לבנון הירקון שהוא מין אנדמי לנחלי החוף בישראל (Goren et al 1973, Goren, 1974), תפוצתו מוגבלת למעלה הירקון הבלתי מזוהם (Gasith et al., in press) על אף שבעבר היה נפוץ בכל חלקי הנחל. עובדה זו מצביעה על אפשרות רגישותו של דג זה לזיהום ושינוי תנאי הסביבה שהתרחשו בירקון ובירור רגישות זו תאפשר הבנת וכימות התנאים הנדרשים להבראת הנחל.

המחקר המוצע נועד לברר את יכולת לבנון הירקון לשמש כביו-אינדיקטור לאיכות המים ותנאי בית הגידול הנדרשים לשיקום הירקון ונחלי חוף נוספים.

### מטרות המחקר

המחקר המוצע נועד לברר את יכולת לבנון הירקון לשמש כביו-אינדיקטור לאיכות המים ותנאי בית הגידול הנדרשים לשיקום הירקון ונחלי חוף נוספים. התאמתו של לבנון הירקון לשמש כביו אינדיקטור מחייבת בירור הביולוגיה של המין ורגישותו לשינויים בתנאי בית הגידול.

### השערת העבודה

לבנון הירקון הוא שריד לאוכלוסיות הדגים הטבעיות שהתקיימו בירקון בטרם התרחשו השינויים במשטר ההידרולוגי ובאיכות המים. לפיכך מין זה יכול לשקף את הדרישות האקולוגיות לשיקום הנחל. תפוצתו של הדג הנקטעת באופן חד במקום בו נחל קנה המזרים שפכים נשפך לירקון הנקי מעידה על רגישותו של מין זה לאיכות מים ירודה. התנאים המאפשרים קיום ותפקוד תקין של אוכלוסיית הלבנון יתאימו לתפקוד תקין של מינים אחרים של מים מתוקים בירקון ובנחלי החוף האחרים.

בהתאם נקבעו המטרות הבאות:

א. בחינת מאפייני בית הגידול וההיבטים הביולוגים הבאים:

● מאפיינים אביוטים וביוטים של בית הגידול של הלבנון.

● שינויים עונתיים בהרכב אוכלוסיית הלבנון.

● איפיון המזון והמצב התזונתי (condition factor) של הלבנון.

● בחינת העונתיות ואיפיון אתרי הרבייה של הלבנון.

ב. בחינת רגישות הלבנון לאיכות המים.

● רגישות לזיהום אורגני (חשיפה לשפכים).

● רגישות לריכוזים נמוכים של חמצן וריכוזים גבוהים של אמוניה.

ג. בחינת השלכות החשיפה לזיהום על בריאות הדג.

### חשיבות המחקר

שיקום נחל הירקון (כמו שיקום שאר נחלי החוף בישראל) צריך להתאים לצורכי הביוטה המקומית. לכן יש צורך במציאת בעל חיים מקומי שימש כאינדיקטור לקביעת קריטריונים של איכות מים ותנאי בית הגידול לשיקום הנחלים. לבנון הירקון, שהיה בטרם זיהום הנחלים הדג הטיפוסי לנחלי החוף, הוא מועמד מתאים למטרה זו. בנוסף לכך, בגלל היותו מין אנדמי בסכנת הכחדה, יש חשיבות נוספת בבירור התנאים הדרושים לשיקום אוכלוסייתו בנחלים. המחקר הנוכחי יאפשר להגדיר את הדרישות של איכות מים ומבנה הנופים הדרושים לשיקום הירקון ושאר נחלי מישור החוף.

במהלך שנת המחקר השניה המשכנו לאסוף נתונים בתחנות ובשיטות שעבדנו בהם בשנה הראשונה, ובנוסף לכך ביצענו ניסויי מעבדה בשני תחומים: 1. ניסויי עמידות לבנון הירקון לרעילות של אמוניה; 2. העדפות לבנון הירקון בבחירת בתי גידול.

### שיטות

#### א. תחנות דיגום

התבצע אפיון של הפרמטרים האביוטים והדינמיקה של אוכלוסיית לבנון הירקון בחודשים אפריל-מאי באתרים שונים לאורך מעלה הירקון. נדגמו תחנות בכל אתר על מנת לאפיין את השפעת משטר הזרימה ורמת הזיהום על המדדים האקולוגיים השונים:

1. באתר מפל גשר ה-40, בקטע הירקון הנקי נדגמו שתי תחנות:

א. מעל המפל, בית גידול בעל אופי בריכתי (lentic) - תחנה 2a.

ב. מתחת למפל, בית גידול בעל אופי זרימתי (lotic) - תחנה 2b.

ג. באתר אבו-רבח, בקטע הירקון הנקי נדגמו שתי תחנות:

א. מעל המפל, בית גידול בעל אופי בריכתי (lentic) - תחנה 2-3a.

ב. מתחת למפל, בית גידול בעל אופי זרימתי (lotic) - תחנה 2-3b.

2. באתר מפגש נחל ירקון עם נחל קנה (מהווה את הגבול בין קטע הירקון הנקי והקטע המזוהם) נדגמו ארבע תחנות:

א. מעל המפל, בית גידול בעל אופי בריכתי (lentic) ומים נקיים - תחנה 3a.

ב. מתחת למפל, בית גידול בעל אופי זרימתי (lotic) ומים נקיים - תחנה 3b  
(אפשרית העשרה מסוימת של מי קולחים מנחל קנה)

ג. כניסת נחל קנה, בית גידול המתאפיין בזרימה בינונית, המים בתחנה זו מהווים

תערובת משתנה של מי ירקון נקי ומי קולחים המגיעים מנחל קנה - תחנה 3bc.

ד. במורד הירקון, כ-100 מטר דרומית למפגש ירקון-קנה. בית גידול המתאפיין בזרימה חלשה עד בינונית ובאיכות מים ירודה - 3c.

## ב. אפיון התנאים האביוטיים

אפיון התנאים האביוטיים התבצע באתרים הנ"ל אחת לחודש תוך שימוש בשיטות לימנולוגיות סטנדרטיות (APHA, 1990). המדדים האביוטיים שנמדדו היו:

1) טמפרטורה

2) חמצן מומס (in situ בעזרת מד חמצן דגם ?)

3) מוליכות חשמלית (in situ בעזרת מד מוליכות דגם ?)

4) עומס אורגני (שיטת BOD5, 1990, APHA)

5) עכירות (מד עכירות תוצרת Hatch דגם 2100)

## ג. אפיון אסופת הדגים

אוכלוסיית הדגים אופיינה בתחנות השונות תוך שימוש בדיג חשמלי באמצעות אלקטרושוקר (EFKO דגם 6,000 FEG מתח עבודה 350 וולט, הספק 17A) המופעל מהגדה עם אנודת רשת יד בקוטר 30 ס"מ וקטודת כבל גלוי. המכשיר מהמם את הדגים (Raynolds, 1983). מלבד לבנון הירקון, הדגים שנאספו מוינו, הוגדרו בשטח ונספרו. דגי לבנון הירקון נלקחו למעבדה, ובמועד מאוחר יותר, נשקלו (לאחר ניגוב) בדיוק של 0.1 גרם ונימדד אורך כללי (TL) בעזרת סרגל בדיוק של 0.1 ס"מ.

## ד. רעילות אקוטית של אמוניה

### ניסוי למציאת טווח (Range finding test)

נעשו מספר ניסויים מקדימים על מנת למצוא את טווח ריכוזי האמוניה הרעילים לבנון הירקון (Range finding test). תמותה של דג בודד אובחנה לראשונה בריכוזי אמוניה של 1.32 עד 1.64 מג"ל. בריכוזים גבוהים מהנ"ל החלה תמותה שגדלה עם העלייה בריכוז. מרבית הדגים מתו תוך 48 שעות בטווח ריכוזי אמוניה שבין 1.8 ל-3.3 מג"ל. על סמך הממצאים הנ"ל נקבע טווח הניסוי בין 1.5 ל-2.2 מג"ל.

## תוצאות ודין

### מבנה ודינמיקה של אוכלוסיית לבנון הירקון

במהלך המחקר נתפסו בעזרת אלקטרו-שוקר בדיגום סטנדרטי 743 לבנונים בתחנות השונות בירקון. פרטים נוספים נתפסו במאגר חברת מקורות באזור המעינות ובגן הלאומי מקורות הירקון בעזרת אלקטרו-שוקר או כלוב ורשתות הקפה, כאשר רובם נלקחו לגידול במעבדה ולפרייקט השרידות בגן הזואולוגי באוניברסיטת ת"א ומיעוטם להשלמת נתוני רבייה.

### תפוצה וצפיפות האוכלוסייה בתחנות השונות

נמצא שתפוצת לבנון הירקון בנחל מתחילה במאגר חברת מקורות ונמשכת באופן רציף לאורך כל התחנות שנבדקו עד לתחנה במורד הסכר ליד מפגש ירקון ונחל קנה (Q-Y dam dn). איכות המים בתחנה זו נע בין זיהום קל לזיהום כבד לפי כמויות המים שזורמות בירקון הנקי ונמהלות עם מי נחל קנה. במחקר הנוכחי נמצאו בתחנה זו לבנונים רק בין פברואר ליולי 1998. תפוצת לבנון הירקון נקטעת בצורה חדה מיד לאחר המפגש עם נחל קנה. במורד המפגש נמצא במהלך כל המחקר פרט אחד בלבד של לבנון הירקון (פחות מ-0.5% מכלל הדגים שנתפסו). תוצאה זו מחזקת את התוצאות ממחקרם של גפני ועמיתיו (1997) שכ-95% מכלל הלבנונים נלכדו בתחנות הירקון הנקי ורק פחות מ-5% נלכדו בתחנות המזוהמות. נמצא שהלבנונים חדרו לבית הגידול המזוהם רק בתקופות מוגבלות של שיפור באיכות המים בתחנות אלו. יש לציין, שמספר הלבנונים שנמצאו בתחנה במורד מפגש ירקון עם נחל קנה ע"י גפני ועמיתיו (1997) עדיין נחשב גבוה יחסית לממצאי המחקר הנוכחי.

צפיפות הלבנונים בתחנות שנבדקו בירקון בתקופת אפריל 1998 – יולי 1999 הגיע לערכים מרביים של מעל 100 פרטים בתחנה (אבו-רבח איור), אולם בד"כ בתקופות בהם נמצאו לבנונים נעה צפיפותם בתחנות השונות בין 10-50 פרטים לתחנה. מתוך 63 דיגומים שנערכו בקטע הנקי בתחנות השונות במהלך המחקר נמצא לבנון הירקון ב-21 דיגומים (כ-33%).

הדגם הכללי של השתנות הצפיפות במהלך השנה [איור] היה של עליה בצפיפות הלבנונים בפברואר עד לשיא במרץ-אפריל וירידה בהמשך עד לערכי מינימום מאוגוסט ועד ינואר. צפיפות הלבנונים בין

פברואר ליולי 1998 הייתה גבוהה לאורך כל התקופה והירידה החדה בצפיפות התרחשה באוגוסט, לעומת זאת צפיפות הלבנונים בתקופה המקבילה ב-1999 (לא נבדקו החודשים מאי ויוני) הייתה גבוהה בפברואר ומרץ, אך בניגוד ל-1998 התרחשה ירידה חדה בצפיפות החל מאפריל. נבדקה מובהקות המתאם בין צפיפות הלבנונים בתחנות השונות בירקון הנקי לבין פרמטרים פיסיקלים, כימים וביולוגים. לא נמצא מתאם מובהק בין הצפיפות לבין הפרמטרים הפיסיקלים – טמפרטורה, חמצן מומס, מוליכות חשמלית ועכירות ( $Pearson\ correlation\ p>0.1$ ). לעומת זאת, נמצא מתאם מובהק חיובי בין צפיפות הלבנונים ועוצמת הזרימה באפיק בתחנה מתחת לסכר באבו-רבח ( $Pearson\ correlation\ p<0.05; r=0.56$ ) ובתחנה מעל הסכר במפגש ירקון עם נחל קנה ( $Pearson\ correlation\ p<0.05; r=0.54$ ). לא נמצא בקטע הנקי מתאם מובהק בין הצפיפות לבין אף אחד מהפרמטרים הכימים – עומס אורגני, אמוניה ו-pH, אולם נמצא מקדם מתאם חיובי יחסית גבוה בין הצפיפות בתחנה מעל הסכר במפגש ירקון עם נחל קנה לאינדקס הגונדו-סומטי של הזכרים ( $Pearson\ correlation\ p<0.09; r=0.48$ ).

בנוסף, נבדקה מובהקות המתאם בין צפיפות הלבנונים בתחנה מתחת לסכר במפגש ירקון עם נחל קנה (Y-Q dam dn) ואותם הפרמטרים. תחנה זו מסמנת את הגבול בין הקטע המזוהם לקטע הנקי וסופגת השפעות משניהם. נמצא מתאם מובהק חיובי בין צפיפות הלבנונים ועוצמת הזרימה באפיק ( $Pearson\ correlation\ p<0.01; r=0.66$ ) אולם לא נמצא מתאם מובהק בין הצפיפות לבין שאר הפרמטרים הפיסיקלים. בין הפרמטרים הכימים נמצא מתאם מובהק שלילי בין צפיפות הלבנונים והעומס האורגני בתחנה ( $Pearson\ correlation\ p<0.03; r=-0.56$ ) אך לגבי האמוניה לא היו מספיק נתונים לבדוק זאת.

#### תחנות עם אופי בריכתי וזרימתי

התחנות מעל הסכרים הן בעלות אופי בריכתי (lentic) לעומת התחנות מתחת לסכרים שהן בעלות אופי זרימתי (lotic). מאפיין זה נשמר כל עוד קיים נפח זרימה המאפשר למים לעבור מעל לסכרים. נמצא שקיים הבדל בין צפיפות הדגים הממוצעת בתחנות שנבדקו מעל הסכרים לתחנות שנבדקו מתחת לסכרים [איור]. בתחנות בסכר ליד כביש מס' 40 (Rt 40) ובסכר באבו-רבח (Aburab), מתחת לסכרים צפיפות הלבנונים הממוצעת הייתה הרבה יותר גבוהה מאשר מעל הסכרים. לעומת זאת, בתחנות הסכר במפגש ירקון עם נחל קנה (Y-Q dam) התוצאות היו הפוכות וצפיפות הלבנונים הייתה גבוהה יותר מעל הסכר מאשר מתחתיו. נמצא שבכלל התחנות 64% מהלבנונים נתפסו בתחנות בעלות אופי זרימתי, אולם ללא תחנות הסכר במפגש ירקון עם נחל קנה שמהווה אתר יוצא דופן, נמצא שכ-89% מהלבנונים נתפסו בתחנות בעלות אופי זרימתי. אחוז הדגימות בתחנות בעלות אופי בריכתי בהן לא נמצאו לבנונים הוא כ-41%, לעומת זאת בתחנות בעלות אופי זרימתי רק כ-20% מהדגימות לא נמצאו לבנונים (לא כולל את התחנה מתחת לסכר במפגש ירקון עם נחל קנה).

## התפלגות שכיחות אורכים

התפלגות אורך הגוף של 740 פרטים שנלכדו במהלך המחקר מוצגת באיור. אורך הפרטים נע בין 14-119 מ"מ. כ-52% מהאוכלוסייה נמצאה בטווח האורכים 41-60 מ"מ, 21% נמצאו מעל 60 מ"מ ו-26% מתחת ל-41 מ"מ.

בחינת הרכב הגדלים של אוכלוסיית לבנון הירקון מצביע על הבדלים בקבוצות הגודל השולטות בין התחנות בירקון הנקי והתחנה במורד הסכר ליד מפגש ירקון עם נחל קנה על הגבול בין הקטע הנקי והקטע המזוהם (One way Anova  $p > 0.0001$ ). בתחנות הירקון הנקי מתחת לסכר במפגש עם כביש מס' 40, מתחת לסכר באבו-רבח ומעל לסכר במפגש ירקון עם נחל קנה קבוצת הגודל השולטת הייתה מס' 41-50 מ"מ (ערכי החציון היו 48, 49 ו-42 מ"מ בהתאמה). בתחנות מעל הסכרים במפגש ירקון עם כביש מס' 40 ובאבו-רבח קבוצת הגודל השולטת הייתה מס' 51-60 מ"מ (ערכי החציון היו 47 ו-57 מ"מ בהתאמה). בחלק מהתחנות חלקם של הלבנונים הקטנים מ-30 מ"מ היה גדול עובדה שגרמה להטיה של ההתפלגות הנורמלית לכיוון אורך גוף קטן, לעומת זאת ללבנונים שאורכם מעל 80 מ"מ ומשקלם גבוה מ-6 גרם נעדרו כמעט לחלוטין מתחנות הקטע הנקי. התחנה במורד הסכר ליד מפגש ירקון עם נחל קנה הייתה יוצאת דופן בהרכב אורך הגוף, קבוצות הגודל השולטות באופן כמעט שווה היו 61-70, 71-80, 81-90 מ"מ (ערך החציון היה 67 מ"מ). התפלגות אורך הגוף והמשקל של הלבנונים הייתה מוטית לכיוון אורך ומשקל גוף גדול, כ-30% מהלבנונים בתחנה זו היו בעלי אורך גוף גדול מ-80 מ"מ ומשקל גדול מ-6 גרם.

גפני ועמיתיו מצאו תופעה דומה של ריבוי דגים קטני גוף בתחנות הנקיות והיעדרות כמעט מוחלטת של לבנונים שאורכם גדול מ-80 מ"מ ומשקלם גבוה מ-5 גרם. לעומת זאת, התפלגות אורכי ומשקלי הלבנונים בתחנות בירקון המזוהם הייתה מוטית לכיוון אורך ומשקל גוף גדול ולמעלה מ-80% מאוכלוסיית הלבנונים בקטע נחל זה התאפיינה באורך גוף גדול מ-80 מ"מ ובמשקל גוף גדול מ-10 גרם (גפני ועמיתיו, 1997).

לקבלת מידע על קבוצות הגודל השונות באוכלוסייה והגיל המייצג אותן נעשה שימוש במספר טכניקות, שימוש בשיטה האנטומית לספירת הסימנים השנתיים (annulus) על קשקשי הדגים שנתפסו ביוני 1999, ניתוח התפלגות שכיחות האורכים (LFA) על פי מדגמים מייצגים, ותצפיות ישירות בפרטים שבקעו וגודלו במכלים במעבדה.

הקשקשים של לבנון הירקון הם בעלי צורה של מעגלים המתרחבים כלפי חוץ (cycloid) האופיינית לקרפיונים רבים. הסימנים השנתיים על הקשקש נוחים יותר לזיהוי בשדה הקדמי (anterior field) ופעמים רבות גם בשני השדות הצדדיים (lateral fields). הסימנים השנתיים זהו בעיקר ע"י מספר מעגלים מרווחים שאחריהם הופיעו 2-3 מעגלים צפופים, ולעיתים מעגל הסימן השנתי לא היה שלם ועלה על טבעות קודמות ("cutting over"). בפרטים הקטנים יותר (34-44

מ"מ) לא נמצא סימן שנתי שגוי (false annulus) אלא טבעות מרווחות בלבד.

Table 1: The correspondence between the number of dark rings observed on scales and estimated age for *Acanthobrama telavivensis* collected in June 1999

Number of rings on scale	N	Range (mm)	Mean (mm)	Age
No rings	6	34-44	-	+0
1	14	49-58	53.5	+1
2	13	61-79	70	+2
3	6	77-87	82	+3
4	1	≥107	-	+4

גיל הלבנונים שנתפסו ביוני 1999 נע בין 0 ל-4 שנים, והם מייצגים טווח אורכים של 34-117 מ"מ. בפרטים בטווח האורכים 34-44 מ"מ לא נמצאו סמנים שנתיים על הקשקשים אולם ספק רב אם ניתן לשייכם להטלות מעונת הרבייה 1998-99. גם אם הם תוצר מוקדם של עונת הרבייה, כלומר בקעו בפברואר 1999, לא סביר שקצב הגדילה שלהם היה כה מהיר. פרטים שבקעו במעבדה באפריל 1999 וגדלו בתנאים נוחים של מזון וטמפרטורה, לאחר 15 שבועות היה אורכם 22-23 מ"מ, לאחר שנה 45-48 מ"מ ולאחר שנה ושלושה חודשים 47-52 מ"מ. ידוע שקצב הגדילה בדגים אינו אחיד, וגם בקרב בני אותו מין הוא יכול להיות שונה באופן ניכר (Wootton, 1992), לכן הגיוני לשייך פרטים אלה להטלות מאוחרות מעונת הרבייה ב-1998 שקצב גדילתם היה איטי יותר.

מידע על מאפיינים דמוגרפים של אוכלוסיות דגים ובעייה אחרים ניתן להשיג ממדגמי שכיחות אורכים. המאפיינים המחושבים השכיחים ביותר הם האורך הממוצע לגיל ומספר קבוצות הגילאים המיוצגות (Erzini, 1990). נעשה שימוש בשיטת פטרסון (Peterson's method) המפרידה בין תבניות בהתפלגות שכיחויות (Tesch, 1968). לצורך קביעה של קבוצות הגילאים השונות נבדקו חמישה מדגמים מייצגים [איור].

Table 2: Observed length (min., max., and mean) in each age group (+0, +1, +2) from the length frequency analysis for *Acanthobrama telavivensis* collected in June 1998 (n=544) and in June 1999 (n=102)

Month	Age class	Min. class limit (mm)	Max. class limit (mm)	Mean (mm)	Bimodal (mm)
June 1998	+0	14	32	22	30
	+1	39	56	49	53
	+2	58	79	66	58
June 1999	+0*	-	-	-	-
	+1	40	59	52	-
	+2	59	76	65	62, 69, 73



מניתוח המדגם העיקרי מהתפיסה במאגר מקורות ביוני 1999 נמצא ששני השיאים בקבוצות הגיל +1 ו-2 + היו 52 מ"מ ו-65 מ"מ בהתאמה. מהתפיסה בירקון ביוני 1998 ניתן היה לראות בבירור גם את קבוצת הגיל +0 ששיאה היה 22 מ"מ. ניתן להסביר את חוסר נוכחותה של קבוצת הגיל +0 במדגם מיוני 1999 בצורת התפיסה שהתבססה על גריפת רשתות ולא על אלקטרו-שוקר. התפלגות שכיחות האורכים לאורך החודשים מראה שרק לקבוצת הגיל +0 לא הייתה חפיפה של פרטים עם קבוצת הגיל הבאה אחריה.

מניתוח של כל המדגמים ניתן להבחין במספר מסקנות: (1) קיים קשר חיובי בין הממוצעים של קבוצות הגיל השונות לבין הסימנים השנתיים שנמצאו על הקשקשים. (2) במדגמים בין אפריל ליולי האורך הממוצע בקבוצות הגיל +0 ו-1 + הלך ועלה לקראת יולי, יתכן וקצב הגידול לאורך אותם החודשים הביא לעליה הדרגתית בממוצע הקבוצות. (3) בשלושת קבוצות הגיל הראשונות ניתן לעיתים להבחין בשני שיאים ויותר בכל קבוצה, יתכן והם מייצגים זמני בקיעה שונים באותה עונת רבייה או קצב גידול שונה באותה קבוצת גיל. (4) קבוצת הגיל +1 היא באופן כללי בעלת מספר הפרטים הגדול ביותר שנתפס בדיגומים. (5) האורך נראה כאינדקס טוב להערכת הגיל בלבנון הירקון בעיקר בקבוצות +0 ו-1 + ופחות מדויק בקבוצת הגיל +2 ובקבוצות מבוגרות יותר.

#### אינדקס המצב הגופני (Condition factor)

המצב הגופני של הדגים נבדק ע"י שימוש ב- Fulton's condition factor (k) דגים במצב גופני טוב יהיו בעלי ערכי אינדקס גבוהים מדגים במצב גופני דל (Wootton, 1992). השוואת הערכים מוגבלת לדגים בעלי אורך דומה (Anderson and Gutreuter, 1983). נבדקו לבנונים מאורכים שונים ואכן נמצא שבאופן כללי ככל שהדג גדול יותר אינדקס המצב הגופני יהיה גבוה יותר, לכן כדי להשוות בין החודשים השונים נבדקו רק דגים שהם באופן וודאי מקבוצת הגיל +1 (45-56 מ"מ). נבדקו רק דגים שלא נראו אצלם גונדות כדי להקטין את ההשפעה של עונת הרבייה על המדגם. יש לציין, שבחודשים בהן נצפו ערכים נמוכים מספר הלבנונים שנתפסו בירקון היה יחסית קטן, בעיקר בחודש דצמבר.

תוצאות אינדקס המצב הגופני [איור 3] מצביעות על הבדל מובהק בין החודשים ( $p < 0.001$ ). ערכי האינדקס היו גבוהים בין החודשים ינואר ליולי (8.7-9.2) ומאוגוסט עד דצמבר הייתה ירידה בערכים (6.4-7.9). מסתבר שערכי האינדקס גבוהים בחודשי עונת הרבייה [איור של האינדקס הגונדו-סומטי]. יתכן שלהתפתחות הגונדות, גם שהן לא נראות בבדיקה פשוטה, יש השפעה גדולה על משקל הדג, אולם בנוסף נראה שהלבנונים צוברים בתקופה זו אנרגיה רבה יותר ברקמות ואברי גוף שונים.

נבדק המצב הגופני של הלבנונים בתחנה במורד סכר מפגש ירקון עם נחל קנה (Y-Q dam dn) לעומת לבנונים מתחנות בירקון הנקי. כדי להפחית בהשפעת גורמים נוספים נעשתה השוואה בין פרטים שנתפסו באותה דגימה ושייכים לקבוצת גודל דומה. בתחנה המזוהמת נתפסו לבנונים רק בחודשים אפריל-יולי 1998 ורובם היו גדולים מהממוצע. שתי סיבות אלה גרמו לכך שמספר הפרטים הכללי שניתן להשוות היה יחסית קטן. תוצאות אינדקס המצב הגופני מיולי 1998 לא מצביעות על הבדל מובהק בקבוצות האורכים 25-40 מ"מ ו-41-57 מ"מ (12 ו-7 פרטים בהתאמה מהתחנה במורד סכר מפגש ירקון עם נחל קנה). בחודשים אפריל-יוני 1998 המדגמים היו קטנים יותר והתוצאות היו חלוקות. נבדקו 9 קבוצות של זכרים, נקבות ופרטים ללא גונדות וב-5 מהן היה הבדל מובהק בין התחנות לטובת התחנה במורד הסכר. המדגם שנבדק אינו מספיק גדול לקבלת תוצאה חד-משמעית.

באופן כללי, לא נמצא הבדל ברור במצב הגופני בין הלבנונים משני האזורים, בוודאי לא בפרטים שאורכם עד 50 מ"מ.

#### יחסי אורך-משקל

ליחסי אורך-משקל יש שימושים שונים ובניהם: מבנה הדג בזמן הגדילה, הערכת משקל הדג מהאורך של פרט בודד או קבוצת פרטים והערכה של משקל ייבול הדגים כאשר ידועה התפלגות שכיחות האורכים (Anderson & Gutreuter, 1983; Goncalves et al., 1997). נבדקו היחסים של זכרים (n=178), נקבות (n=81) ושני המינים יחד (n=259) שנתפסו בתקופת עונת הרבייה בין דצמבר ליולי (איורים 4 ו-5). חציון האורכים של הזכרים והנקבות היה 60.5 ו-62 מ"מ בהתאמה, וטווח האורכים היה 40-100 ו-41-107 מ"מ בהתאמה. ניתוח יחסי אורך-משקל היה מבוסס על המשוואה:

$$W = a * L^b$$

או

$$\text{Log } W = \text{Log } a + b * \text{Log } L$$

$$\text{Log } W = -5.39 + 3.24 * \text{Log } L \quad \text{זכרים}$$

$$\text{Log } W = -5.39 + 3.20 * \text{Log } L \quad \text{נקבות}$$

$$\text{Log } W = -5.39 + 3.23 * \text{Log } L \quad \text{שני המינים}$$

הרגרסיות של יחסי אורך-משקל בין זכרים לנקבות באותו טווח אורכים לא היו שונות באופן מובהק (ANCOVA F=1.76; P=0.18), למרות שהזכרים נטו להיות מעט כבדים יותר מהנקבות. השיפוע של יחסי אורך-משקל ( $b = 3.20-3.24 > 3.00$ ) מצביע על כך שלבנון הירקון מייצג דגם גדילה אלומטרי וצורתו הופכת עגלגלה יותר ככל שהוא גדל.

#### רעילות אקוטית של אמוניה

##### ניסוי למציאת טווח (Range finding test)

נעשו מספר ניסויים מקדימים על מנת למצוא את טווח ריכוזי האמוניה הרעילים ללבנון הירקון (Range finding test). תמותה של דג בודד אובחנה לראשונה בריכוזי אמוניה של 1.32 עד 1.64 מג"ל. בריכוזים גבוהים מהני"ל החלה תמותה שגדלה עם העלייה בריכוז. מרבית הדגים מתו תוך 48 שעות בטווח ריכוזי אמוניה שבין 1.8 ל-3.3 מג"ל. על סמך הממצאים הני"ל נקבע טווח הניסוי בין 1.5 ל-2.2 מג"ל.

## רעילות אקוטית של אמוניה

### ניסוי למציאת טווח (Range finding test)

נעשו מספר ניסויים מקדימים על מנת למצוא את טווח ריכוזי האמוניה ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) הרעילים ללבנון הירקון (Range finding test). הריכוז הנמוך ביותר בו אובחנה תמותה (דג בודד) היה 1.32 מג"ל. מספר רב יותר של דגים מתו בריכוזים גבוהים מ-1.6 מג"ל. בטווח ריכוזי אמוניה שבין 1.8 ל-3.3 מג"ל מרבית הדגים מתו תוך 48 שעות. על סמך הממצאים הנייל נקבע טווח הניסוי בין 1.5 ל-2.2 מג"ל.

### קביעת 96H-LC50 לאמוניה (Static short term definitive test)

בשל מגבלות עבודה עם מין בסכנת הכחדה לא ניתן היה לקבוע את ה-LC50 בשיטה הסטנדרטית של חשיפת הדגים לריכוזים עולים בעת ובעונה אחת. לחילופין, בוצעה סידרה של ניסויים עוקבים שאפשרו את התאמת הריכוזים הנבחנים על פי תמותת הדגים בניסויים קודמים.

נתוני איכות המים בניסוי מסוכמים בטבלה [נספח 4א]. ההרכב הכימי של המים (מי ירקון מסוננים) ששימשו בניסוי נבדק (חברת "בקטוכס", נס-ציונה) ומסוכם בטבלה [נספח 4ב]. טווח הטמפרטורה בסדרת הניסויים נע בין 20.2 ל- $21.7^{\circ}\text{C}$ , וה-pH נע בין 7.71 ל-8.14. ריכוז החמצן המומס לא ירד באף אחד מהמכלים מתחת ל-80% רוויה (כ-7.0 מג"ל). ריכוז האמוניה הגבוה ביותר שנמדד במיכל הביקורת בסוף הניסוי לא עלה על 0.15 מג"ל. חלה ירידה בריכוז האמוניה באקווריומים בזמן הניסוי (התנדפות). הירידה בריכוז האמוניה מתחילת הניסוי עד סיומו נעה באקווריומים השונים בין 19 ל-22%. ה-pH הנמדד ירד עם העלייה בריכוז האמוניה הכללית מאחר שתמיסת אמוניה היא חומצית. כ-24 שעות לאחר החשיפה לאמוניה נצפה שינוי בהתנהגות הלבנונים שהלך וגבר עם העלייה בריכוז האמוניה. בתחילה, פעילות השחייה של הדגים הצטמצמה, ובשלב מאוחר יותר נצפה איבוד שיווי משקל שלעיתים כלל סיבובים והתהפכויות מהירות, נשימה מוגברת, ולבסוף מוות.

הישרדות הדגים בביקורת הייתה 100% לאורך כל הניסוי. במבחן  $X^2$  להטרוגניות נמצא שההתאמה של הנתונים למודל ה-probit הייתה טובה (ערך מחושב,  $1.74 >$  ערך טבלה, 9.48). ערך 96H-LC50 של אמוניה היה 1.78 מג"ל (גבולות ברי-סמך: 1.69-1.9). ב-pH=7.89 ובטמפרטורה של  $20.8^{\circ}\text{C}$  [איור 1]. על פי ה-EPA (1999) הערך האקוטי (Acute Value) הוא מושג מקביל ל-LC50. ערך זה מבטא את ריכוז החומר הרעיל שבאופן תיאורטי גורם לתמותה של 50% מהאוכלוסייה והוא שווה-ערך בלבנון הירקון ב-pH=7.89 ל-56 מג"ל אמוניה כללית ול-46.1 מג"ל חנקן אמוניקלי [נוסחה 1]. מקובל בהשוואת תוצאות למחקרים אחרים להשתמש בערך האקוטי (AV) כתלות ב-pH סטנדרטי (pH=8.0). בהתייחסות לחישוב הקודם ערך זה שווה ל-45.6 מג"ל אמוניה כללית ול-37.5 מג"ל חנקן אמוניקלי [נוסחה 2].

לחישוב הערך האקוטי הסופי (Final Acute Value or FAV) משתמשים במירב התוצאות הידועות שנבחנו עם אותו חומר. יש לחשב את הממוצע הגיאומטרי לכל מין (or Species Mean Acute Value) SMAVs. הממוצעים הגיאומטריים של המינים בכל סוג נותנים את הממוצע הגיאומטרי של הסוג

(Genus Mean Acute Value or GMAVs) יש לסדר את ערכי ה-GMAVs מהגבוה לנמוך. בוחרים את ארבעת ערכי ה-GMAVs בעלי הסתברות המצטברת הקרובה ביותר ל-0.05 (the fifth percentile), לרוב אלה ארבעת הערכים הנמוכים ביותר. הערך האקוטי הסופי (FAV) מחושב ע"י נוסחה בעזרת ארבעת ערכים אלה (EPA, 1983). כאשר יש נתון על מין אחד בלבד באותו סוג, כמו במקרה של לבנון הירקון, הוא ישמש גם כערך השוואתי לסוג כולו (GMAV) וכערך האקוטי הסופי (FAV).

הממוצע של הסוג (GMAV) או הערך האקוטי הסופי (FAV) מייצגים את ה-LC50, בעוד שקריטריון הריכוז המרבי (Criteria Maximum Concentration or MCM) מיצג את הריכוזים שהם לטלים לאחוז מזערי של אינדוידואלים (EPA, 1999). ערך זה ב-pH סטנדרטי (pH=8.0) שווה-ערך בלבנון הירקון ל-22.8 מג"ל אמוניה כללית ול-18.7 מג"ל חנקן אמוניקלי [נוסחה 3].

(1) הערך האקוטי (AV)

$$\text{Ammonia} = 1.78 \text{ mg / l ; temperature} = 20.8^\circ\text{C ; pH} = 7.89 ; \text{pKa} = 9.374$$

$$\text{NH}_3 = \frac{\text{Total ammonia}}{1 + 10^{(\text{pKa} - \text{pH})}}$$

$$\text{Total ammonia} = 56 \text{ mg / l}$$

(2) הערך האקוטי (AV) כתלות ב-pH סטנדרטי

$$\text{Acute Value (pH} = 8.0) = \frac{\text{AV}}{\frac{0.0489}{1 + 10^{(7.204 - \text{pH})}} + \frac{6.95}{1 + 10^{(\text{pH} - 7.204)}}$$

$$\text{Acute Value-total ammonia (pH=8.0)} = 45.6 \text{ mg / l} \quad \text{or}$$

$$\text{Acute Value-total ammonia-N (pH=8.0)} = 37.5 \text{ mg / l}$$

(3) קריטריון הריכוז המרבי (CMC)

$$\text{CMC (pH} = 8.0) = \frac{\text{AV}}{2}$$

CMC (pH=8.0) = 22.8 mg total ammonia / l or

CMC (pH=8.0) = 18.7 mg total ammonia / l

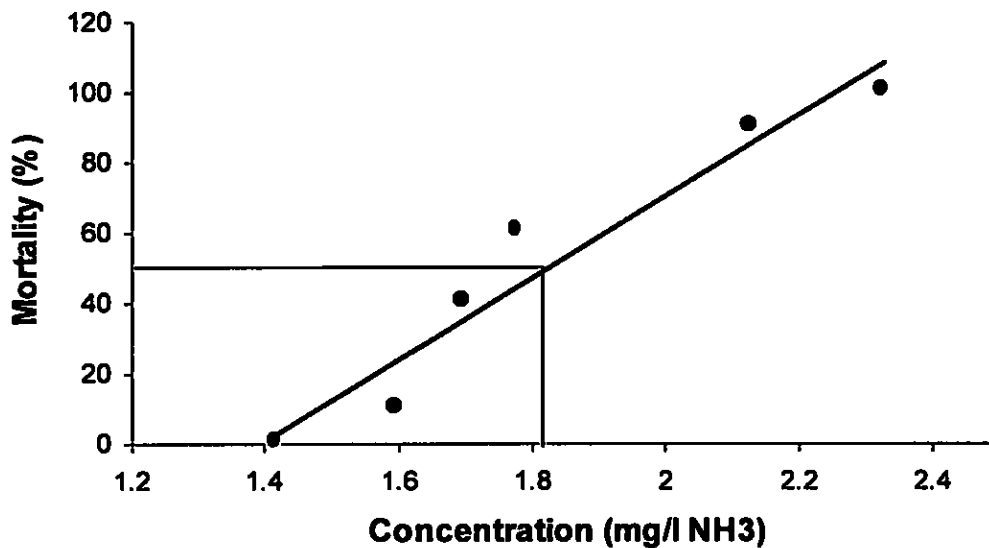


Figure 1: Dose-response curve of *A. telavivensis* to un-ionized ammonia (pH=7.89; T=20.8°C)

#### רעילות כרונית

מעבר להשפעה אקוטית מיידית צפויה גם השפעה כרונית שמקורה מחשיפה מתמשכת או תקופתית לרמות נמוכות של גורמי עקה לאורך שבועות או שנים. חשיפה כרונית גורמת בדרך כלל להשפעות ארוכות טווח ומתאפיינת במעורבות לאורך כל מחזור החיים של האורגניזם. בהתאם לחומרתה, עקה תת-לטלית יכולה להכביד או להגביל מערכות פיסיולוגיות, להאט את קצב הגדילה, לפגוע ברבייה, לגרום לרגישות האורגניזם למחלות, ולהקטין את היכולת של דגים לשאת עקות נוספות. ברמת האוכלוסייה, ההשפעה של עקות יכולה לבוא לידי ביטוי בירידה בגיוס וברזרבות הקיימות, Adams, (1978) (Application Factor) (1978) In: Ryan & Harvey 1977; McFarlane & Franzin) 1990. בהעדר נתונים על השפעות כרוניות של רעלים שונים מקובל להכפיל את ערך ה- LC50 בפקטור יישום (Safe Levels) של אותו רעל (Spargue, 1971), כלומר ריכוז סף של רעל שמתחתיו אין כל השפעה על האורגניזם הנבדק. U.S EPA (1973) המליץ שריכוזי האמוניה הבטוחים לאורגניזמים של מים מתוקים יקבעו ע"י הכפלה בפקטור יישום של 0.05 בניסוי LC50 של 96 שעות. החלה זאת על לבנון הירקון נותנת ריכוז

בטוח של אמוניה לא מיוננת בערך של 0.09 מג"ל ( $\text{pH}=7.85$ ) ואמוניה כללית בערך של 2.2-3.1 מג"ל ( $\text{pH}$ , 7.85-8.0).

#### השפעת האמוניה בירקון על דגי הלבנון

משתנה בולט נוסף שהבדיל בין התחנות הנקיות – מעל מפגש הנחלים ירקון-קנה לבין התחנות המזוהמות - במורד מפגש הנחלים הוא האמוניה הכללית. זו התרכובת השכיחה ביותר המתלווה לזיהום אורגני (Hellawell, 1986). בתחנות הנקיות נמדדו בממוצע בין 0.24-0.34 מג"ל אמוניה כללית עם ערכים מרביים של 1.3 מג"ל, לעומת התחנות המזוהמות בהן נמדדו בממוצע בין 35-40 מג"ל אמוניה כללית עם ערכים מרביים של 56 מג"ל. האמוניה הלא מיוננת ( $\text{NH}_3$  להלן אמוניה) היא הצורה הרעילה וריכוזה מושפע במידה רבה מה- $\text{pH}$  ובמידה פחותה מהטמפרטורה. מקובל להשוות את ריכוזי האמוניה ב- $\text{pH}=8.0$  (EPA, 1999). מכאן שערכי האמוניה במורד מפגש הנחלים הם שווי ערך לריכוז שנע בין כ-1.3-1.5 מג"ל ולערך מרבי של כ-2.15 מג"ל ב- $\text{pH}=8.0$  וטמפרטורה של  $20^\circ\text{C}$ .

קיים מספר יחסית מצומצם של דיגומים בתחנות במורד סכר מפגש הנחלים שבהם נמצאו לבנונים וידוע ריכוזי האמוניה הכללית בזמן הדיגום. מתוך 10 דיגומים (בין יוני 1994 - יוני 1998) לא נמצאו לבנונים ב-8 דיגומים שבהם נמדדו ריכוזי אמוניה כללית  $\geq 6$  מג"ל. לעומת זאת, נמצאו לבנונים ב-2 דיגומים בהם נמדדו ריכוזי אמוניה כללית  $\leq 4$  מג"ל. קיים מתאם שלילי בין שפיעות הלבנונים בתחנה זו לבין ריכוזי האמוניה הכללית ( $\text{Spearman's } r=-0.69; p<0.03$ ). מתאם שלילי בין הספיקה לריכוזי האמוניה שנמדדו בין יוני 1994 - יולי 1999 בתחנה במורד ( $\text{Spearman's } r=-0.64; p<0.05$ ), מתוך את החשיבות של זרימות מים שפירים מהמעלה לדילול ריכוזי האמוניה המגיעים מנחל קנה.

המקור העיקרי של זיהום האמוניה הם שפכים ממעלה נחל קנה וממכון הטיהור של כפר-סבא-הוד-השרון. לא היה הבדל בריכוזי האמוניה הכללית לפני ואחרי הפעלת המכון החדש לטיהור שפכים של כפר סבא-הוד השרון והמכון המשיך להזרים ריכוזי אמוניה כללית גבוהים למורד נחל קנה. ממוצע ריכוזי האמוניה הכללית במכון בין דצמבר 1997 למרץ 2000 היה 42 מג"ל ובמעלה נחל קנה ממוצע הריכוזים היה 40 מג"ל. לשם השוואת יעילות הטיפול לסילוק האמוניה, פתיחתו של המכון לטיהור שפכים החדש של רמת השרון, ביולי 1999, הביאה לירידה ניכרת בריכוזי האמוניה הכללית במי הקולחים. מאז פתיחת מכון זה ועד מרץ 2000 זרמו לירקון קולחים עם ריכוז ממוצע של 5.5 מג"ל, לעומת ריכוז ממוצע של 46 מג"ל שקדם לטיפול של המכון החדש ונמדד בין השנים 1996-1998. ההבדל הניכר בריכוזי האמוניה הכללית בין שני מכוני הטיהור הוא תוצאה של הטיפול השלישוני שמתבצע במכון ברמת השרון.

במבחן הרעילות עם אמוניה המתואר לעיל נמצא שה- $\text{LC}_{50}$  או הערך האקוטי ( $\text{Acute Value} = \text{AV}$ ) של לבנון הירקון, שהתקבל להרצה של 96 שעות, היה כ-1.8 (1.7-1.9) מג"ל. ב- $\text{pH}$  סטנדרטי ( $\text{pH}=8.0$ ) שבו מקובל להשוות בין תוצאות של מחקרים שונים ערך זה שווה לכ-45 מג"ל אמוניה כללית ולכ-37.5 מג"ל חנקן אמוניקלי. כיוון שלא פורסמו שום ממצאים על רגישות לאמוניה של מיני לבנונים אחרים, תוצאה זו תשמש כערך האקוטי הסופי ( $\text{Final Acute Value} = \text{FAV}$ ). ערך קריטריון הריכוז המרבי ( $\text{Criteria Maximum Concentration} = \text{CMC}$ ), המיצג את הריכוזים הגורמים לתמותת אחוז מזערי של פרטים, שווה-ערך בלבנון הירקון לכ-23 מג"ל אמוניה כללית ולכ-19 מג"ל חנקן אמוניקלי

(ammonia-N) ב- $\text{pH}=8.0$ . מכאן שהערך האקוטי המזערי המומלץ לקיום המין צריך להיות  $\leq 23$  מג"ל אמוניה כללית או  $\leq 0.9$  מג"ל אמוניה ב- $\text{pH}=8.0$ .

השוואה של ערכי האמוניה הכללית המומלצים שהתקבלו במבחן הרעילות ללבנון הירקון לערכים בקטע המזוהם בירקון מצביע על חשיפה אקוטית מתמשכת למעט תקופות קצרות של ירידה בריכוזי האמוניה וחשיפה כרונית קבועה. תוצאות אלה מצביעות על האפשרות שהאמוניה היא הגורם העיקרי שמגביל את תפוצת הלבנון בירקון.

לאחר אסון התמוטטות הגשר בזמן המכביה (1997) נשלחו דגימות מים למעבדות Global Geochemistry בארה"ב לצורך ביצוע מבחן רעילות שפכים לדגים. המבחן נעשה בהתאם להנחיות ה-EPA בחשיפה של Fathead minnow (*Pimephales promelas*) ל-96 שעות. בדגימות מאזור עשר טחנות (מורד הקטע המזוהם) אחוז השרידות היה בין 0 ל-5%, לעומת 100% שרידות בדגימות מהירקון הנקי. ריכוז האמוניה הכללית שנמדד במים מעשר טחנות היה בין 20-30 מג"ל אמוניה כללית וה- $\text{pH}$  נע בין 7.3-7.6. (רשות נחל ירקון, 1997). בחשיפה של אוכלוסיית שחריר נחלים למהולים שהכילו עד 50% קולחים מנחל קנה נצפתה לאחר 48 שעות 100% תמותה, במי ירקון שהכילו 25% קולחים נצפתה 66% תמותה. מים אלה הכילו כ-11 מג"ל אמוניה כללית וכ-7.3 צח"ב (גזית, 2000).

בקביעת ריכוזי הסף הרצויים של אמוניה יש לקחת בחשבון גם השפעות סינרגיסטיות יכולות לגרום לריכוזי האמוניה להיות רעילים הרבה יותר. דוגמא להשפעה כזו בירקון היא האפשרות לעליה ברעילות האמוניה עקב ירידות בריכוז החמצן המומס. קיימים בספרות מחקרים שונים התומכים בטענה זו (לדוגמא: Russo, 1985; EPA, 1983).

מחברת הדגים בירקון, המינים שידועה רגישותם האקוטית לאמוניה - גמבוזיה (*Gambusia affinis*), קרפיון מצוי (*Cyprinus carpio*) ומינים קרובים לשפמנון מצוי (*Clarias gariepinus*) ולאמנון מצוי (*Tilapia zillii*), לבנון הירקון הוא הרגיש ביותר (טבלה 13 ו-14). מכאן, שקביעת קריטריון לאמוניה עפ"י לבנון הירקון עשויה לספק את הדרישות של שאר המינים שרגישותם לאמוניה ידועה ולשמש דרישת סף לחברת הדגים בירקון.

מעבר להשפעה אקוטית מיידית צפויה גם השפעה כרונית שמקורה מחשיפה ממושכת לרמות נמוכות של גורמי עקה לאורך שבועות או שנים. חשיפה כרונית גורמת בדרך כלל להשפעות ארוכות טווח ומתאפיינת במעורבות לאורך כל מחזור החיים של האורגניזם. בהתאם לחומרתה, עקה תת-לטלית יכולה להכביד או להגביל מערכות פיסיוולוגיות, להאט את קצב הגדילה, לפגוע ברבייה, לגרום לרגישות האורגניזם למחלות, ולהקטין את היכולת של דגים לשאת עקות נוספות. ברמת האוכלוסייה, ההשפעה של עקות יכולה לבוא לידי ביטוי בירידה בגיוס וברזרבות הקיימות (Adams, 1990).

בהעדר נתונים על השפעות כרוניות של רעלים שונים מקובל להכפיל את ערך ה- $\text{LC}_{50}$  בפקטור יישום (Application Factor) בכדי לקבל "רמות בטוחות" (Safe Levels) של אותו רעל (Spargue, 1971), כלומר ריכוז סף של רעל שמתחתיו אין כל השפעה על האורגניזם הנבדק. ה-US National Technical Advisory Committee (1968) וה-EPA (1973) המליצו על פקטור של 0.05 בכדי להפוך ערך לטלי ( $\text{LC}_{50}$ ) לרמה בטוחה. בהכפלת פקטור זה בערך  $\text{LC}_{50}\text{-H}96$  לאמוניה שהתקבל בעבודה

הנוכחית מקבלים ריכוז בטוח של אמוניה כללית בערך של כ-2.8 מג"ל ואמוניה בערך של כ-0.09 מג"ל ב-pH=8.0.

ישנן שתי שיטות נוספות להערכת הערך הכרוני התיאורטי של לבנון הירקון. השיטה הראשונה היא בחירת מין עם נתונים אקוטיים דומים עבורו נעשו ניסויים כרוניים (table 5, EPA, 1999), שימלא את מקומו של לבנון הירקון ודרכו יקבע הערך הכרוני באופן ישיר. השיטה השנייה היא לבחור יחס אקוטי-כרוני מתאים (table 7, appendix 7, EPA, 1999) וליישם אותו על תוצאות ה-96H-LC50 (Charles Delos, personal communication). לפי השיטה הראשונה בעזרת טבלאות 13 ו-14 נבחר ה-Fathead minnow (*Pimephales promelas*), אם כי רגישותו האקוטית מעט נמוכה משל לבנון הירקון. זהו דג ממשפחת הקרפיוניים שנפוץ בצפון אמריקה, אורכו המרבי הוא 100 מ"מ ונעשה בו שימוש נרחב בארה"ב במבחני רעילות ושפכים. ממוצע הערך הכרוני של המין הוא כ-3.1 מג"ל חנקן אמוניקלי ב-pH=8.0 וטמפרטורה של 25°C, שהוא שווה-ערך לכ-3.7 מג"ל אמוניה כללית ולכ-0.2 מג"ל אמוניה. בדומה לרגישות האקוטית גם הרגישות הכרונית של ה-Fathead minnow מעט נמוכה מהערכים שהתקבלו ללבנון הירקון בשיטת פקטור היישום. לפי השיטה השנייה ישנן שתי אפשרויות. הקריטריון הלאומי של ארה"ב המומלץ ע"י ה-EPA עושה שימוש ביחס אקוטי-כרוני של 16 ב-pH=8.0 וטמפרטורה של 20 °C (EPA, 1985 In: Hickey & Vickers, 1994). הערך האקוטי-כרוני למין של ה-Fathead minnow הוא 10.9 ב-pH=8.0 (EPA, 1999). טווח הערך הכרוני ללבנון הירקון מיישום שני הערכים הוא בין 2.8-4.1 מג"ל אמוניה כללית או בין 0.09-0.16 מג"ל אמוניה ב-pH=8.0. הערכים הכרוניים שמתקבלים מהיחס האקוטי-כרוני של 16 שווים לערכים המתקבלים בשיטת פקטור היישום. מכאן, שהערך הכרוני התיאורטי המרבי המומלץ לקיום המין צריך להיות 3 < מג"ל אמוניה כללית או 0.1 < אמוניה ב-pH=8.0. חשוב לזכור שהמלצה זו היא תאורטית ולא נבדקה באופן מעשי במבחן רעילות כרונית למחזור חיים שלם או לשלבי חיים מוקדמים (כ-34 יום לאחר הבקיעה בדגים).

המלצות המשרד לאיכות הסביבה לאיכות קולחים המוזרם לנחלים (המלצות לתקן) קובעות ריכוז אמוניה שלא עולה על 3 מג"ל ללא תלות ב-pH מכיוון שברוב המקרים הטווח במי קולחים נע בין 7.2-7.7. ריכוז זה ב-pH=8.0 הוא שווה ערך ל-0.11 מג"ל אמוניה, כלומר גבוה מהערך הכרוני התיאורטי המרבי המומלץ לקיום המין. ככל שה-pH יהיה גבוה יותר החריגה תהיה גדולה יותר. קריטריון זה בהשוואה לערך הכרוני המרבי המומלץ על ידינו הוא גבולי.

הקריטריון הלאומי של ארה"ב המומלץ ע"י ה-EPA (1999) קבע סידרה של ערכים אקוטיים וכרוניים לכל ערך pH (בין 6.5-9.0). הקריטריון האקוטי הותאם ל-pH ולרגישות מיני הדגים באותו האזור, בהתאם נקבעו ערכי ריכוז מרבי (MCM) שונים למים עם נוכחות דגים ממשפחת הסלמוניים (Salmonidae) וללא נוכחותם. למשל, ב-pH=8.0 באזורים חמים ללא דגי סלמון הקריטריון האקוטי שווה ל-10.2 מג"ל אמוניה כללית ול-0.4 מג"ל אמוניה. הקריטריון הכרוני המרבי (Criteria Continuous Concentration or CCC) הותאם ל-pH ולטמפרטורה ללא התייחסות למיני הדגים.



בטמפרטורות נמוכות ישנה חשיבות לנוכחות שלבי חיים מוקדמים. למשל, ב-pH=8.0, הוא שווה ל-1.54 מג"ל אמוניה כללית ול-0.06 מג"ל אמוניה, ועם נוכחות שלבי חיים מוקדמים ל-1.21 מג"ל אמוניה כללית (20°C). שני הערכים, האקוטי והכרוני, נמוכים ביותר מ-50% מהערכים המקבילים שמומלצים לקיום לבנון הירקון.

הפסקת הזרמת השפכים ממעלה נחל קנה משאירה את מכון הטיהור של כפר סבא - הוד השרון כמזהם הבולט של אמוניה. שיפור איכות הקולחים בדומה למכון של רמת-השרון יביא לשיפור ניכר באיכות המים ובטווח ארוך (מספר שנים עד עשור) ולהשפעה מטיבה על בריאות המערכת האקולוגית בירקון. למשל, Yoder & Rankin (1998) מציינים שבעקבות דרישה של ה-EPA ב-1982 לשפר את איכות הקולחים ב-5 מתקני טיהור שפכים עיקריים לאורך 120 ק"מ של נהר Miami במערב Ohio, חלה ירידה של כ-75% בריכוזי האמוניה שזרמו לנהר (1988). הירידה המשמעותית בריכוזי האמוניה הביאה כעבור 4-6 שנים לשיפור ניכר באינדקס הביוטי של חברת הדגים (Index of Biotic Integrity or IBI) בהשוואה לאינדקס משנת 1982. ברחבי Ohio קיימים כ-25 מקרים דומים של שיפור הקריטריונים הביולוגיים (כדוגמת IBI) בדומה לנהר Miami. גם השיפור באיכות המים בנהר Trinity בצפון-מרכז Texas הוא בעיקר תרומה של השיפור ביעילות הטיפול בשפכים. הירידה בריכוזי האמוניה החלה ב-1984 בגלל הכנסת דרישות ניטריפיקציה מחמירות לרשיונות הטיפול בשפכים, והיא תרמה לריכוזי חמצן גבוהים יותר ולירידה ברעילות המים. כמו כן היא נחשבת לגורם העיקרי האחראי להפסקת תמותות דגים מאז 1986. בעקבות השיפור באיכות המים האינדקס הביוטי של חסרי החוליות נמצא מאז 1987 בשיפור מתמיד לעומת 1972-1981 (Davis, 1997).

## **בחירת בית גידול**

נערכו ניסויים לבדוק האם קיימת העדפה לבית גידול מורכב הכולל צמחייה או אבנים או לחילופין האם קיימת העדפה לבית גידול פשוט (ללא מבנים מורכבים). הוקמה מערכת להשוואת העדפות הדגים לבתי גידול שונים ע"י חלוקת אקווריומים (בנפח כולל של כ-700 ליטר כל אחד) לשני שטחים שווים, האחד כלל בית גידול צמחי או אבני והאחר כלל בית גידול פתוח.

טווח הטמפרטורה בסדרת הניסויים נע בין 21.0 ל-29.0°C, המוליכות החשמלית נעה בין 1110-1200 מיקרומוס/ס"מ, וריכוז החמצן המומס לא ירד באף אחד מהניסויים מתחת ל-90% רוויה. באופן כללי, הדגים שחו רוב הזמן בחלקה המרכזי של עמודת המים ללא אבחנה לחצי המורכב או הפתוח, שחייה איטית יחסית, לרוב לא בלהקה אם כי לעיתים הראו תגובה לתנועה של פרטים אחרים. לעיתים רחוקות נצפתה שחייה מהירה הרבה יותר, קרובה לקרקעית ולרוב בלהקה שהיא ככל הנראה תגובה להפרעה. בנוסף לכך, נצפו הדגים מלקטים מזון מהקרקעית ואף משטח פני המים.

מבחני העדפה לבית גידול בעל אופי צמחי (צמחייה מלאכותית)

בניתוח תוצאות הניסוי במבחן שונות עם תצפיות חוזרות נמצא שתדירות ההופעה של הלבנונים בחלופה של שטח הבחירה בעל האופי הצמחי באקווריומים הייתה גדולה יותר ( $N=15$ ;  $F=20.2$ );  $p<0.005$ ). לצפיפות הצמחים המלאכותיים הייתה השפעה על תדירות ההופעה בבית הגידול. תדירות ההופעה הייתה גדולה יותר בצמחייה המלאכותית בעלת הצפיפות הנמוכה יותר (25 חבלי ניילון למטר מרובע) לעומת תדירות הופעתם בצמחייה המלאכותית שצפיפותה הייתה גדולה פי ארבע ( $N=15$ ;  $F=6.3$ ;  $p<0.04$ ). אחוז תדירות ההופעה בצמחייה בעלת הצפיפות הנמוכה יותר היה כ-64% לעומת כ-54% בצפיפות הגבוהה [איור 2].

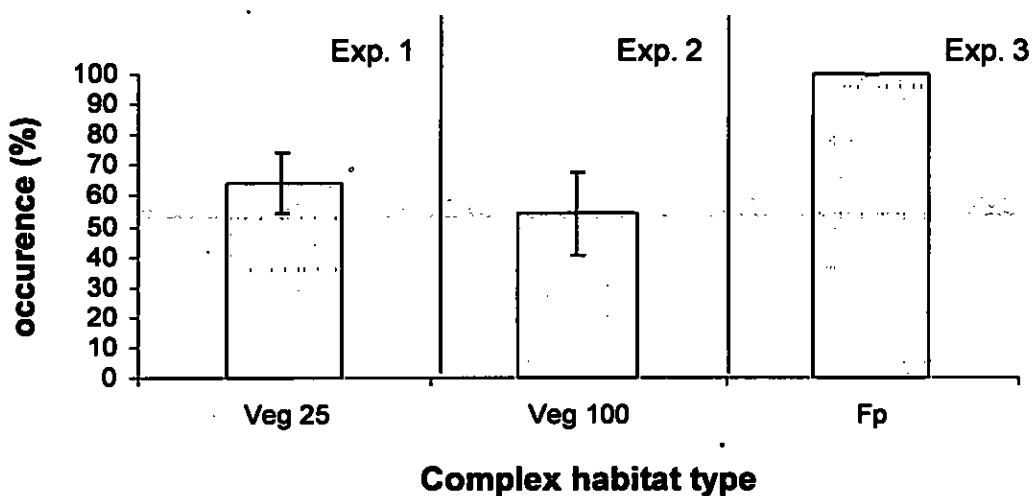


Figure 2: Frequency of occurrence of *A. telavivensis* in low ( $25/m^2$  – Veg 25), and high ( $100/m^2$  – Veg 100) plastic stem density and in “stony formation” (flower pots – Fp). (Recorded every 30 sec., 15 observation).

לא נמצאו הבדלים בין הצדדים בהם מוקמו שטחי הבחירה באקווריום (שמאל או ימין), בין השעות ביום בהן נערך המבחן (בקר או צהריים) או בין הימים השונים (יום 1 עד 5). אולם, נמצא שחץ מהשפעת הצפיפות של הצמחייה המלאכותית, קיימות אינטראקציות בין שטח הבחירה לשעת המבחן ( $N=15$ ;  $F=6.1$ ;  $p<0.04$ ), ובין שטח הבחירה, שעת המבחן והצד באקווריום בו ממוקמים שטחי הבחירה ( $N=15$ ;  $F=9.3$ ;  $p<0.02$ ). אינטראקציות אלה מצביעות על כך שההבדל בבחירה בין השטח הצמחי לשטח הפתוח תלוי גם בשעה ביום בו נערך המבחן ובצד של האקווריום בו מוקמו שטחי הבחירה.

בדיקת אחוז תדירות ההופעה בצמחייה לפי מיקומה באקווריומים, מראה שבצפיפות הנמוכה יותר תדירות ההופעה לא ירדה באף אחד מהצדדים מכ-58%. לעומת זאת, בצפיפות הגבוהה תדירות ההופעה ירדה לכ-44%, אך רק כאשר הצמחייה מוקמה בצד הימני של האקווריומים (איור 3). לא הייתה משיכה עקבית לצד מסוים - בצפיפות הנמוכה יותר תדירות הופעת הדגים בצד הימני של האקווריומים הייתה גדולה יותר, לעומת זאת, בצפיפות הגבוהה תדירות הופעת הדגים בצד השמאלי הייתה גדולה יותר.

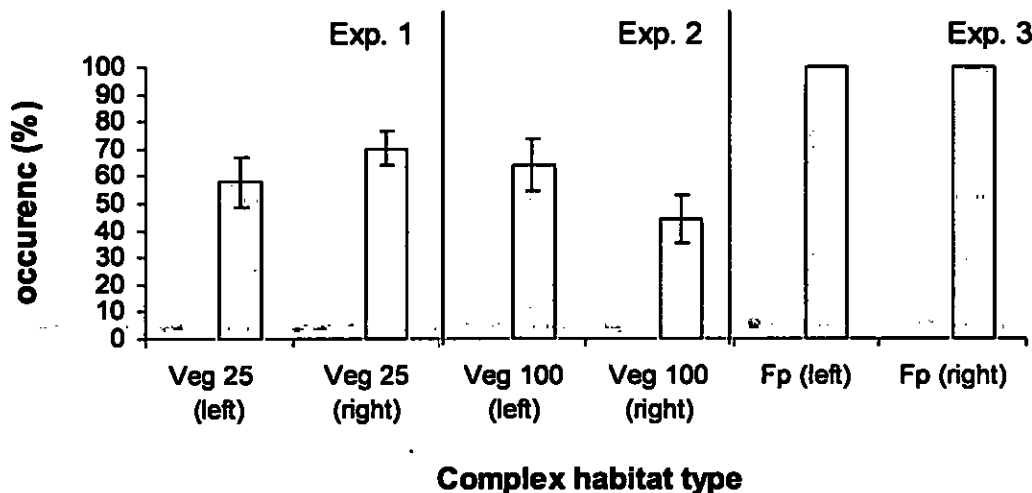


Figure 3: Frequency of occurrence of *A. telavivensis* in either left or right side of the aquarium with low ( $25/m^2$  – Veg 25), and high ( $100/m^2$  – Veg 100) plastic stem density and in “stony formation” (flower pots – Fp). (Recorded every 30 sec., 15 observation).

בדיקת אחוז תדירות ההופעה בצמחייה לפי השעות ביום בהן נערך המבחן מראה שבכל אחת מניסויי הצפיפות תדירות ההופעה הייתה גבוהה יותר בשעות הבוקר לעומת הצוהריים (איור 4). גם בחלוקה לפי שעות נמצאו הבדלים בתדירות ההופעה בין הצמחייה בעלת הצפיפות הנמוכה יותר (בוקר: כ-69%; צוהריים: כ-59%) לצמחייה בעלת הצפיפות הגבוהה (בוקר: כ-56%; צוהריים: כ-52%).

**מבחני העדפה לבית גידול בעל אופי אבני (עציצים)**  
 בניתוח תוצאות הניסוי נמצא שתדירות ההופעה של הלבנונים בחלופה של השטח בעל האופי האבני באקווריומים הייתה גדולה הרבה יותר ( $N=15$ ;  $F=421933.2$ ;  $p<0.0001$ ) (איור 2). לא נמצאו הבדלים בין הצדדים בהם מוקמו שטחי הבחירה באקווריום, בין השעות ביום בהן נערך המבחן או בין הימים השונים.

### מבחני "הפרעות"

בניסויים עם בית הגידול הצמחי והאבני נחשפו הלבנונים להפרעות המורכבות מהזזת עצם לפני האקווריום ומכה על הדופן שלאחריהן נרשם מיקום הדגים באקווריום. בניתוח תוצאות הניסויים נמצא שהלבנונים בחרו בצורה מאד ברורה לשהות לאחר ההפרעות בחלופה של השטח המורכב יותר

הכולל צמחייה מלאכותית ( $N=3$ ;  $t=7.24$ ;  $p<0.0001$ ) או עציצים ( $N=3$ ;  $t=9.65$ ;  $p<0.0001$ ).

בניסויים עם בית הגידול הצמחי, בכ-60% מההפרעות התגובה הראשונית הייתה הימלטות בכיוון ההפוך ממוקד ההפרעה, ורק לאחר שההפרעה נמשכה כ-10 עד 20 שניות נכנסו הדגים אל הצמחייה. לאחר שההפרעה הסתיימה, בכ-75% מהמקרים הלבנונים התאוששו ושבנו לשחות בשטח הפתוח תוך פרק זמן שלא עלה על 60 שניות.

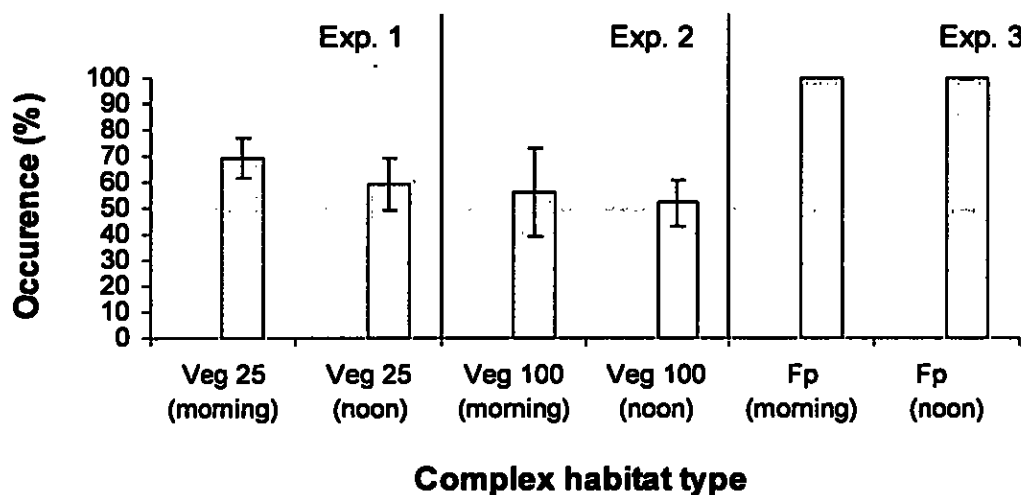


Figure 4: Frequency of occurrence of *A. telavivensis* in either morning or noon with low ( $25/m^2$  – Veg 25), and high ( $100/m^2$  – Veg 100) plastic stem density and in "stony formation" (flower pots – Fp). (Recorded every 30 sec., 15 observation).

תגובת הדג להבדלים שונים במורכבות בית הגידול היא שתיקבע את הצלחת החיפוש, הרבייה וההימנעות מטריפה (Dibble, 1996). בהנחה שהניסויים עם צמחייה מלאכותית משקפים את המציאות, הרי שלבנון הירקון אינו דג בעל העדפות ברורות לבית גידול מורכב, בעל אופי צמחי, על פני בית גידול פתוח. בבית הגידול בעל אופי אבני הייתה העדפה בולטת מאד למבנה המורכב על פני בית הגידול הפשוט (שטח פתוח). יתכן וזמינות חללים וכוכים משמשים ללבנון נקודות שהות בטוחות ומגוננות הרבה יותר מהמבנה בעל האופי הגבעולי של הצמחייה. במידה והדגים היו תחת הפרעה מסוימת מאיזה סיבה שהיא, סביר להניח שהתנהגותם בסביבה בעלת אופי אבני מורכב הוקצנה. הפרעות שונות גרמו ללבנונים לשהות יותר בשטח המורכב הכולל צמחייה מלאכותית או מבנה אבני מורכב. משטחי צמחי מים מספקים לעיתים קרובות מחסה לדגים בוגרים ולצעירים יותר (Dibble, 1996), יתכן והתוצאות מרמזות על שימוש בצמחייה או במבנים אחרים כאזורי מקלט במקרה של הפרעה.

## סיכום

על פי הממצאים בירקון תקופת הרבייה נמשכת מפברואר עד תחילת אפריל והנקבות מטילות ביצים מספר פעמים בעונה (multiple spawner). תקופה זו אופיינית לדגים שהתפתחו בנחלים ים-תיכוניים בשל היתרונות לדגיגים - טמפרטורות נוחות, הימנעות משיטפונות, צמצום סכנת ההתייבשות, ומקורות תזונה רבים יותר. השפעות אנטרופוגניות כגון שאיבת מי מעיינות והזרמת מים שפירים בכמויות שאינן מספקות, גורמות לכך שבעונות שחונות חלה התייבשות של קטעי נחל נקיים. הפגיעה קשה במיוחד בתקופת הרבייה והגדילה של הדגיגים היכולה לבוא לידי ביטוי בירידה בגיוס פרטים חדשים לאוכלוסייה. מפלסים נמוכים גורמים גם לחשיפת קטעים ארוכים של צמחיה לאורך הגדות ומקטינים את פוטנציאל מצעי ההטלה הזמינים של הלבנון.

התגובה הבולטת ביותר ברמת האוכלוסייה בירקון לשינוי באיכות המים היא קטיעת רציפות התפוצה במורד מפגש הנחלים ירקון-קנה בשל איכות מים ירודה. תגובה בולטת נוספת היא ההבדל בהרכב הגדלים של הפרטים בין התחנות הנקיות למזוהמות. קיום של פרטים גדולים יותר בתחילתו של הקטע המזוהם ניתנת להסבר ע"י העשרה אורגנית במזון המגבירה את קצב הגידול וואו רגישות נמוכה יותר של פרטים גדולים לזיהום. אם ההשערה הראשונה נכונה יש בכך להעיד על אפשרות של מגבלת מזון לאוכלוסייה בקטע הנקי. נכונותה של ההשערה השנייה היא עדות לפגיעה של הזיהום בעיקר בפרטים הצעירים יותר.

על פי נתוני המחקר לבנון הירקון התקיים במים בהם ריכוז האמוניה אינו עולה על 3 מג"ל אמוניה כללית או 0.1 מג"ל אמוניה (הערכים מותאמים ל- $pH=8.0$ ). עובדה זו מחזקת את הטענה שתנאי מוקדם לשיקום בקטע המזוהם בירקון הוא שיפור ניכר באיכות הקולחים שמזרים המפעל לטיהור שפכים של כפר סבא - הוד השרון (או מקורות זיהום אחרים). התהליכים הנדרשים הם הורדת רמת העומס האורגני של הקולחים ( $<10$ ), הורדת ריכוזי האמוניה לערכי הסף המומלצים והפסקת הזרמת מזהמים תעשייתיים.

## ביבליוגרפיה

גורן, מ. 1983. דגי המים המתוקים בישראל. הוצאת הקיבוץ המאוחד, תל אביב.  
עמודים : 58 - 61.

- Gasith, A., M. Bing, Y. Raz & M. Goren. 1998. Fish community parameters as indicators of habitat condition: The case of the Yarqon, a lowland, polluted stream in a semi arid region (Israel). Ver. Intern. Verein. Limnol. 26: 1023-1026.
- Gibbons, W.N. & K.R. Munkittrick, 1994. A sentinel monitoring framework for identifying fish population responses to industrial discharges. J. Aquat. Eco. Health 3: 227-237.
- Goren, M., 1974. The freshwater fishes of Israel. Isr. J. Zool., 23(2):67-118.
- Goren, M., L. Fishelson and E. Trewavas, 1973. The Cyprinid fishes of *Acanthobrama* Heckel and related genera. Bull. Br. Mus. Nat. Hist. (Zool.) 24 (6): 291-315.
- Hawkins, S.J., S.V. proud, K. Spence & A.J. Southward. 1994. From the individual to the community and beyond: water quality, stress indicators and key species in coastal ecosystems. In: Sutcliffe (Ed.) Water quality and stress indicators in marine and freshwater systems. :35-62.
- Schreck, B.C. & P.B. Moyle, 1990. Methods for fish biology. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. pp6 84.