

אוניברסיטת תל-אביב
הפקולטה למדעי החיים ע"ש ג'ורג' ס. וייז
המדרשה לתארים מתקדמים

היבטים ברבייה של לבנון הירקון
(*Acanthobrama telavivensis*)
השפעת הטמפרטורה וזמינות מצעי ההטלה

חיבור זה הוגש כעבודת גמר לקראת התואר "מוסמך אוניברסיטה"
במסלול אקולוגיה ואיכות הסביבה באוניברסיטת תל-אביב

על-ידי

בעז ליבס

העבודה הוכנה במחלקה לזואולוגיה של אוניברסיטת תל-אביב

בהנחיית

ד"ר מנחם גורן

דצמבר 2003

אוניברסיטת תל-אביב
הפקולטה למדעי החיים ע"ש ג'ורג' ס. וייז
המדרשה לתארים מתקדמים

היבטים ברבייה של לבנון הירקון
(*Acanthobrama telavivensis*)
השפעת הטמפרטורה וזמינות מצעי ההטלה

חיבור זה הוגש כעבודת גמר לקראת התואר "מוסמך אוניברסיטה"
במסלול אקולוגיה ואיכות הסביבה באוניברסיטת תל-אביב

על-ידי

בעז ליבס

העבודה הוכנה במחלקה לזואולוגיה של אוניברסיטת תל-אביב

בהנחיית

ד"ר מנחם גורן

יועץ

ד"ר שריג גפני

אוניברסיטת תל-אביב/המכון לשמירת הטבע

תודות

- ❖ לד"ר שריג גפני – הפקולטה למדעי החיים (המכון לשמירת הטבע), אוניברסיטת תל-אביב, על הייעוץ, ההכוונה הטובה ועל ההשקעה הרבה.
- ❖ לד"ר לילי פלח – הפקולטה לכימיה, אוניברסיטת בן-גוריון, על הייעוץ בכתיבת העבודה.
- ❖ לד"ר שמעון קריציאק – המחלקה לגיאופיזיקה, אוניברסיטת תל-אביב, שסיפק לי נתונים מטראולוגיים מפורטים.
- ❖ לרשות הטבע והגנים – אנשי חטיבת המדע, ואנשי מחוז מרכז ובעיקר ליוני שילה על הקמת החווה לגידול לבנון הירקון והסיוע בהחזקתה.
- ❖ לרשות נחל הירקון – דוד פרגמנט ורוזי רז, על העזרה במימון המחקר ובאחזקת גרעין הרבייה וליונתן רז ופיליפ רובינזפט על הליווי בעבודת השטח, בדיגומים ובהשבות לטבע.
- ❖ לאנשי המשרד לאיכות הסביבה – על הליווי בהשבות בדגים לטבע.
- ❖ לאלדד אלרון – על הייעוץ המקצועי וההדרכה בשטח.
- ❖ לד"ר אהובה אלמוגי-לבין, שונית פלקוביץ' ואנשי המעבדה הגיאולוגית באוניברסיטת בן-גוריון, על שיתוף הפעולה בעבודה בעינות תמסח.
- ❖ לצוות המעבדה – אנדריי אהרונוב, אנדראה הלוי, רוויטל בן-דויד, תירצה שטרן, נטע דסה-טויטו, ירון קרוטמן, יפעת גואטה ונורית לוי, על הייעוץ, התמיכה, האווירה והעזרה באחזקת גרעין הרבייה, ולראובן אוגורוק על אספקת גליל הניילון הענקי, שבלעדיו ניסוי השפעת הפוטופריודה על עוצמת ההטלה לא היה יוצא לפועל.
- ❖ לפרויקטנטים – שי שפירא, מיה פרשט ואבי קופלוביץ', על עבודתנו המשותפת, שהוסיפה מידע רב לעבודת המחקר.
- ❖ למשפחתי – לאחי, משה ליבס שעזר ימים כלילות בעבודות הקמה של מיכלי הניסוי, מדידה ומיון של דגים, הדגרת ביצים והשבת דגים לטבע, לאחותי, חמדה ליבס שליוותה את המחקר עם מצלמת ווידאו, להוריי – ד"ר אסתר ליבס ופרופ' יהודה ליבס – על העזרה הלשונית, לחנית עזרא – על העזרה בשקילות ומדידות הדגים, לאישתי האהובה סמדר ולבני נעים.
- ❖ ברצוני להביע תודה מיוחדת לד"ר מנחם גורן על שהנחה אותי והשקיע זמן ומרץ רב בייעוץ, בתכנון ובעבודה משותפת, ועל יחס חברי שאיפשר לי להיעזר בו בכל עת.

תוכן העניינים

תקציר בעברית

	א	מבוא	1
	א.1	לבנון הירקון	1
	א.2	הירקון ונחל תות	2
	א.3	הקשר בין המשקל לאורך הדג	3
	א.4	אינדקס הגורם הגופני (Condition factor)	4
	א.5	קצב הגידול	5
11	א.6	השפעת טמפרטורת המים והפוטופריודה על הרבייה	
15	א.7	השפעת הזרימה, מפלס המים ומצעי ההטלה על הרבייה	
16	א.8	תלות בין חזרות	
17	א.9	מטרות והשערות המחקר	
18	ב	שיטות	
19	ב.1	הקשר בין האורך למשקל הדג	
24	ב.2	מצעי הטלה	
32	ב.3	השפעת הטמפרטורה על הרבייה	
34	ב.4	השפעת הפוטופריודה על הרבייה	
37	ב.5	השפעת זרימת המים על הרבייה	
39	ב.6	בחירת בית גידול	
41	ג	תוצאות	
41	ג.1	הקשר בין האורך למשקל הדג	
50	ג.2	קצב הגידול	
63	ג.3	התפתחות ביצים	
63	ג.4	מצעי הטלה	
71	ג.5	השפעת הצפיפות על הרבייה	
73	ג.6	השפעת הטמפרטורה על הרבייה	
78	ג.7	השפעת הפוטופריודה על הרבייה	
80	ג.8	עונתיות ברבייה	
83	ג.9	השפעת זרימת המים על הרבייה	
85	ג.10	בחירת בית גידול	
86	ד	דיון	

רשימת ספרות

תקציר באנגלית (Abstract)

תקציר

לבנון הירקון (*Acanthobrama telavivensis*) דג ממשפחת הקרפיוניים (Cyprinidae), אנדמי למערכת נחלי החוף בישראל נמצא כיום בסכנת הכחדה מיידית. בספטמבר 1999, לפני העלמות הדגים ממעלה הירקון ומנחל תות (יובל של נחל דליה) הועברו כ- 210 פרטים מנחלים אלה לן הזואולוגי באוניברסיטת תל-אביב לשם הקמת גרעין רבייה במטרה להציל את המין מהכחדה. מחקר זה נערך בגרעין הרבייה על דגים אלה.

הנושאים שנבדקו הם היבטים בגידול ורבייה של לבנון הירקון בסביבה מבוקרת (הקשר בין האורך למשקל הדג, אינדקס המצב הגופני, קצבי הגידול, התפתחות ביצים, מצעי הטלה, השפעת הצפיפות, הטמפרטורה, הפוטופריודה ומשטר הזרימה על הרבייה, עונתיות ברבייה, בחירת בית גידול וקניבליות) וכמו כן נעשתה השוואה, לגבי רוב הנושאים הנבדקים, בין הדגים מנחל ירקון ונחל תות.

הממצאים העיקריים היו:

1. גידול הדגים:

- **הקשר בין המשקל לאורך הדג** – הגידול בדגי לבנון הירקון הוא אלומטרי והדגים נעשים עגלגלים יותר עם גדילתם.
- **קצב הגידול** של דגי לבנון הירקון ניתן לתיאור על ידי פונקציה הגידול של Von Bertalanffy, עם זאת יש לשקול שימוש בפונקציה חזקה לתיאור מדויק יותר של הגידול. בשלבי ההתפתחות הראשונים הדג מתארך מהר ומשקל גופו עולה לאט, מגמה זו משתנה עם הגיל.
- **הזדקנות והגורם הגופני** – השינויים הגדולים ביותר בערכי אינדקס הגורם הגופני חלים בשלבי ההתפתחות הראשונים של הדג. ערכי אינדקס הגורם הגופני וערכי הגידול במשקל עולים עם הגיל עד לגיל 3 שנים ו-4 חודשים. לאחר גיל זה ("גיל המעבר") ישנה ירידה בערכים אלה. ירידה ניכרת בעוצמת ההטלה לאחר גיל שנתיים וחצי.

2. מצעי הטלה:

- **הפרמטרים המועדפים לבחירת מצע הטלה** הינם: חיספוס, סדקים ברוחב של כ- 3 מ"מ שעומקם 2.5 ס"מ לפחות והם מצויים באוריינטציה מאונכת.
- **זמינות המצע** מהווה גורם מגביל להטלה אפילו התנאי הניסוי.

3. **השפעת הצפיפות על הרבייה** – עם העלייה בצפיפות הדגים קיימת ירידה בעוצמת ההטלה ועם העלייה בצפיפות הביצים קיימת ירידה בהישרדות החרות.

4. עונתיות:

- לאחר תקופת החורף ערכי **אינדקס הגורם הגופני וקצב העלייה במשקל** גדולים יותר מהערכים בתקופת הקיץ, ככל הנראה בשל הבשלת הגונדות בתקופת הרבייה (בחורף). תוספת המשקל היחסית גדולה באופן מובהק בדגים שנמדדו לאחר תקופת החורף על פני דגים שנמדדו לאחר תקופת הקיץ.
- **השפעת הטמפרטורה על הרבייה** – הטמפרטורה מהווה זרז להתפתחות הביצים ומעלה את אחוזי ההישרדות של החרות.

- **השפעת הפוטופריודה על הרבייה** – עוצמת ההטלה יורדת עם התארכות הפוטופריודה.
 - קיימת **בקרה דואלית** של טמפרטורת המים והפוטופריודה על הרבייה – עליית הטמפרטורה בשילוב עם פוטופריודה קצרה מהווים טריגר להתחלת הטלת הביצים. פוטופריודה ארוכה (14.25L) בשילוב עם טמפרטורה גבוהה מפסיקים את ההטלה.
5. **השפעת זרימת המים על הרבייה** – הדגים מעדיפים להטיל את ביציהם באזורים ללא זרימת מים.
6. **בחירת בית גידול:**
- ניתן לראות **הפרדת נישות** בין דגיגים לרוות וישנה העדפה של דגיגים לבתי גידול מוגנים בקרבת מפל (אזורים אלה עשירים בחמצן).
 - **גיוס פרטים חדשים** ניצפה במיכלים חשופים לקרינת שמש ישירה ותופעה זו מוסברת בין היתר על ידי פריחת האצות במיכלים אלה שנתנה מקור מזון, העכירה את המים וסיפקה מקומות מסתור לדגיגים החדשים.
7. **קניבליזם** - בלבנון הירקון קיימת תופעה של **קניבליזם של ביצים ושל פגיות**. ביצים חשופות ניטרפות ע"י הדגים בשיעור של למעלה מ-99% לאחר לילה אחד.
8. **הבדלים בין גרעיני הרבייה "ירקון" ו-"תות":**
- **ערכי אינדקס הגורם הגופני** גבוהים יותר בגרעין "תות".
 - **עונתיות:**
- i. בתנאי תאורה מלאכותית ערכי **אינדקס הגורם הגופני** בגרעין "ירקון" הופכים להיות גבוהים יותר בקיץ.
- ii. בגרעין "ירקון" **הגדילה אלומטרית** ומתאפיינת ב- "התעגלות" בעונת החורף (בעונת הרבייה) ובהתארכות בקיץ. בגרעין "תות" המגמה דומה אך אינה מובהקת והדגים נוטים להתארך גם בחורף.
- **קצב הגידול** גבוה יותר בגרעין "תות", וכן הפרמטרים: L_{∞} , W_{∞} , k (3k) של VBGF.
 - **עוצמת ההטלה** של דגי גרעין "תות" גבוהה באופן מובהק מזו של דגי גרעין "ירקון".
 - **לעלייה בצפיפות הדגים** השפעה שלילית גדולה יותר על עוצמת ההטלה בגרעין "ירקון" מאשר בגרעין "תות".
 - **לעלייה בפוטופריודה** השפעה שלילית גדולה יותר על עוצמת ההטלה בגרעין "ירקון" מאשר בגרעין "תות".

1.א לבנון הירקון (*Acanthobrama telavivensis*)

איור 1.1.א לבנון הירקון (צילום: עמיקם שוב)

לבנון הירקון (*Acanthobrama telavivensis*, Goren, Fishelson and Trewavas, 1973) [איור 1.1.א] הוא דג ממשפחת הקרפיוניים (Cyprinidae). הסוג לבנון מונה 9 מינים (Goren & Ortal 1999): 5 מינים מצויים בתורכיה, עיראק, סוריה וערב הסעודית ו-3 מינים מצויים כיום בישראל: לבנון הכנרת *Mirogrex terrae-sanctae*, לבנון ליסנר *A. lissneri* ולבנון הירקון. מין רביעי לבנון החולה *M. hulensis* נכחד (גורן, 1999).

לבנון הירקון הוא מין אנדמי לנחלי החוף של ישראל. הלבנון היה מצוי עד אמצע שנות החמישים בחמישה מנחלי החוף בישראל – נחל נעמן, נחל תנינים, נחל דליה, נחל ירקון ונחל שורק. ממחקרים חדשים (גורן, 2002), עולה שמין זה נמצא כיום בסכנת הכחדה מידית. הוא נעלם מנחל נעמן, מנחל שורק ומרוב קטעי שלושת הנחלים האחרים בהם נכח בעבר. נכון לעכשיו, ניתן למוצאו בנחל תנינים בלבד. ב-1999 נכחדה האוכלוסייה הזעירה שהייתה בנחל דליה (במקטע של נחל תות) וכן האוכלוסייה הגדולה, במקורות הירקון, שמנתה עשרות אלפי פרטים. מאמצים נעשים בניסיון להשיב את הלבנון לחלק מהנחלים בהם נכח בעבר, וכן למאגרי מים בקרבתם, שבהם איכות המים סבירה, ולא צפוי נזק אקולוגי כתוצאה מההשבה.

לבנון הירקון יכול להגיע לאורכים (TL) של עד 120 מילימטר, אולם נדיר למצוא פרטים גדולים מ-100 מ"מ. תוחלת החיים של הדג מגיעה ל-4 שנים. רוב הפרטים שנבדקו ושאוּרְכַם היה מעל 80 מילימטר היו מקבוצת הגיל +3. מעבודתו של אלרון (2000) עולה גם שהאורך הממוצע של דגי הלבנון בירקון, בקבוצת הגיל +0, +1, ו-+2, בין אפריל ליולי, הוא 22, 47 ו-67 מ"מ, בהתאמה.

לבנון הירקון הוא אוכל כל (Omnivore) הניזון בטבע בעיקר מאצות צורניות (Diatoms), אצות חוטיות מסועפות מהסוג *Cladophora* ומתמחה בטריפת חסרי חוליות, בעיקר זחלי יתושים ממשפחת הימשושיים (Chironomidae), וסרטנים ממשפחת השטרגליים (Copepoda) (אלרון, 2000). לבנון הירקון מתאים לשמש כאינדיקטור ביולוגי לאיכות המים בנחל על פי קריטריונים של: מקור המין, קלות בזיהוי ודיגום, רגישות לתנאים סביבתיים (כגון זיהום ומחסור בחמצן), רב שנתיות, ייצוג חברה וקלות גידול במעבדה (Hallawell, 1986; Munkittrick & Dixon, 1989).

לבנון הירקון מראה תגובה בולטת ברמת האוכלוסייה לשינוי באיכות המים בירקון, הן בצורת קטיעה ברצף התפוצה באזורים בהם איכות המים ירודה והן בהטיה של התפלגות גדלי הפרטים לכיוון אורך ומשקל גוף גדולים עם הירידה באיכות המים (גפני ועמיתיו, 1997).

2.א הירקון ונחל תות

הגידול הדמוגרפי בארץ בשילוב עם עלייה ברמת החיים ופיתוח החקלאות מאז קום המדינה, גרמו לעלייה בכמויות השפכים המוזרמים לנחלים ובמקביל לדרישה מוגברת למים. תהליכים אלה גרמו לפגיעה בבתי הגידול המימיים (Gasith, 1992). ב-1999 כתוצאה מפעילות האדם ומן הבצורת נכחד לבנון הירקון ממערכת נחל דליה.

נחל הירקון הוא הגדול בנחלי החוף, שטח אגן ההיקוות שלו הוא כ-1800 קמ"ר ואורכו ממעיינות ראש העין ועד לשפך הירקון לים הוא 27.5 ק"מ. יובליו עיקריים הם - נחל רבה, נחל שילה, נחל קנה ונחל איילון.

בשנות החמישים המוקדמות זרמו בירקון כ-220 מליון מטר קוב מים בשנה – בעיקר מי מעיינות ראש העין אך גם מי שיטפונות. מאז פתיחת מפעל ירקון-נגב ב-1955 הוסטו המים וכמות המים ירדה לפחות מ-1% ובשנים האחרונות אף פחות מ-0.5%.

קטע הנחל העליון מראש העין עד המפגש עם נחל קנה ניצל בעבר מהתייבשות בשל זכויות מים של חקלאים והזרמת מים מכוונת. כיום מזרימה חברת מקורות לירקון, בלחץ רשות נחל הירקון, 1.2 מלמ"ק מים לשנה.

קטע הנחל השני (17 הקילומטרים הבאים עד אתר שבע טחנות), מאופיין במים באיכות ירודה בשל קולחים עירוניים ברמת טיפול משתנה שמקורם בעיקר בכפר-סבא, בהוד השרון ובקלקיליה, וקולחים ברמה גבוהה יותר שמקורם ברמת השרון.

הירקון "המלוח" (התחתון) – 4 הקילומטרים משבע טחנות עד השפך לים מושפע מגאות ושפל, ובו רמת מליחות משתנה. איכות המים בקטע זה מושפעת בעיקר ממשטר הזרימה ומאיכות המים בקטע הנחל השני וכן מזיהום שמקורו בנחל איילון. תהליכי "טיהור עצמי" ומהילה עם מי ים משפרים את איכות המים במורד הנחל.

נחל תות הוא אחד היובלים של נחל דליה. יחד עם נחל שלף ונחל מנשה. מקורותיו באזור אליקים והוא מתחבר לנחל דליה בין בת שלמה לשפיה. את הנחל מזינים שמונה מעיינות. מקורות הנחל בעין אליקים, עין יואח ועין תות.

א.2.1 גרעין הרבייה בגן הזואולוגי

אירועי התייבשות קשים בשנת 1999 נחל תות ובירקון (במאגר חברת "מקורות" ליד ראש העין) חייבו נקיטת צעדים להצלת אוכלוסיות לבנון הירקון. בספטמבר 1999 הועברו כ- 50 פרטים מנחל תות וכ- 150 פרטים מהירקון למערכת גידול ורבייה מבוקרת שהוקמה במעבדה האיכטיולוגית בגן הזואולוגי באוניברסיטת תל-אביב [איור א.2.1]. בתקופה הראשונה לאחר הבאתם למעבדה מתו כ- 50 מדגי נחל ירקון, יתר הדגים שרדו והתרבו. בשנת 2000 גדל הגרעין כתוצאה מרביית הדגים לכ- 490 דגים מרבייה של הדגים מהירקון, וכ- 50 מרבייה של הדגים מנחל תות (אלרון, 2000). במהלך 2001, לפני תחילת המחקר, טיפלתי בגרעין הרבייה. סה"כ היו בגרעין כ- 9,500 דגים שמתוכם הושבו לנחלים כ- 5,000 דגים, כ- 800 דגים מתו בנסיבות שונות ויתר 3700 הדגים השתתפו בניסויים וכיום הם ממשיכים לשמש גרעין רבייה.

א.3 הקשר בין המשקל לאורך הדג

מצבו הגופני של הדג, כפי שמתבטא ביחס אורך-משקל, משקף בין היתר - התפתחות גונדות, מצב תזונתי או מצב בריאותי (למשל כתגובה לתנאי עקה) (Anderson and Gutreuter, 1983). ליחסי משקל-אורך מספר שימושים במחקר האיכטיולוגי:

1. חישוב אינדקסים של הגורם הגופני (Anderson and Gutreuter, 1983).
2. השוואות מורפולוגיות והשוואות של היסטוריית חיים של אוכלוסיות מאזורים שונים.
3. הערכת משקל בהינתן אורך הדג, הערכת משקל לקבוצת אורך של דגים והערכת ביומסת יבול הדגים כאשר התפלגות שכיחות-האורכים ידועה (Goncalves et al., 1997).
4. תרגום משוואות גידול-באורך לגידול-במשקל לשם ניבוי המשקל לגיל הדג ולשימוש במודלים של הערכת מצאי הדגה (Pauly, 1993).
5. במספר מינים ניתן לזהות דימורפיזם זוויגי, וללמוד על מידת ההטרוגניות בפרופורציות הגוף בתוך אוכלוסיית דגים ואף על קיום אוכלוסיות שונות או תת-מינים באזור מסוים (Anderson and Gutreuter, 1983).

הקשר בין האורך למשקל הדגים נבחן בעזרת הנוסחה (LeCren, 1951):

$$W = a \cdot L^b$$

- | | | |
|-------|---|---|
| W | - | משקל הדג (גרם). |
| L | - | אורך הדג הכללי - מהחרטום ועד לקצה זנב מתוח (מ"מ). |
| a ו-b | - | מקדמים. |

על פי Bagenal and Tesch (1978) הפרמטר b בד"כ אינו משתנה באופן מובהק לאורך השנה, שלא כמו הפרמטר a שיכול להשתנות עונתית, יומית, ובין בתי גידול שונים. דוגמה לערך אופייני

לפרמטר b עבור דגי ים שנתפסו בדיג רשתות בקנה מידה קטן לאורך חופיה הדרומיים והדרום מערביים של פורטוגל הוא 3 (Goncalves et al., 1997).

כאשר $b = 3$ הדג גדל באופן איזומטרי (מבלי לשנות צורה). כאשר b שונה מ-3 הדג משנה צורה תוך כדי גדילה (גדילה אלומטרית). אם הדג נעשה באופן יחסי דק יותר b יהיה קטן מ-3. אם הדג נעשה באופן יחסי עגול יותר b יהיה גדול מ-3 (Wootton, 1992). השימוש ביחסים הללו צריך להיות מוגבל לגדלים ששימשו להערכת הפרמטרים. במיוחד מסוכנת ההשלכה לשלבים לרווליים או טרום בוגרים (Bagenal and Tesch, 1978).

4.א אינדקס הגורם הגופני - (CF) Condition Factor

ישנן שלוש וריאציות בסיסיות לאינדקסים של הגורם הגופני לדגים – אינדקס הגורם הגופני של פולטון (K), אינדקס הגורם הגופני היחסי (Kn) (LeCren, 1951) ואינדקס המשקל היחסי (Wt) (Anderson) and Gutreuter, 1983.

1. אינדקס הגורם הגופני על פי פולטון, Fulton's condition factor (K), הוא אינדקס שנועד לבדוק את המצב הגופני של בעלי חיים. מצב גופני טוב מתבטא בערכי אינדקס גבוהים (Wootton, 1992).

חישוב האינדקס על ידי הנוסחה:

$$K = \frac{W}{L^3} \cdot X$$

W – משקל הדג (גרם).

L – אורך הדג הכללי (מ"מ).

X – קבוע התלוי ביחידות המדידה.

על מנת שערכי האינדקס לא יהיו קטנים (לא נוחים לשימוש), ולא ישתנו עם השימוש ביחידות שונות נקבע סטנדרט שלפיו כאשר משתמשים ביחידות של גרם ומילימטר $X = 100,000$ (Anderson and) Gutreuter, 1983. סטנדרט זה נקבע כדי שערכי K ממוצעים יהיו קרובים במידת האפשר ל-1.

כיוון שערכי האינדקס יכולים להשתנות במהלך התפתחות הדג, השוואת הערכים מוגבלת לדגים מאותו מין (בעלי אותה צורה) ובאותה קבוצת אורך.

2. אינדקס הגורם הגופני היחסי (Kn) מפצה על גדילה אלומטרית (שינוי צורה עם הגדילה) (LeCren, 1951).

חישוב האינדקס על ידי הנוסחה (ביאור פרמטרים בסעיף 1.א הקשר בין המשקל לאורך הדג):

$$Kn = \frac{W}{aL^b}$$

אינדקס זה משמש למשל בהשוואה בין זכרים לנקבות שנאספו בעונות שונות, כאשר קיים דימורפיזם זוויגי באוכלוסייה. יתרון בשימוש באינדקס זה הוא שהממוצעים וסטיות התקן שלו

מהווים בסיס סטטיסטי טוב יותר להשוואה מאשר השוואות בין ערכי a ו- b של משוואות משקל-אורך.

הפרמטרים a ו- b מתקבלים ממשוואת הרגרסיה של היחס משקל-אורך של כלל הדגים ולכן בכל נקודה על קו הרגרסיה $K_n = 1$. יתרון פרקטי של שיטה זו הוא שלדגים ממוצעים מכל הגדלים ערך אינדקס שווה 1, ללא תלות במין או ביחידת מדידה. החיסרון הוא שהממוצע אינו מתאר בהכרח דגים במצב טוב.

3. אינדקס המשקל היחסי (W_r) מתבסס על (K_n).

חישוב האינדקס על ידי הנוסחה:

$$W_r = \frac{W}{W_s} \cdot 100$$

— W_s הוא משקל סטנדרטי הספציפי לאורך המחושב על ידי הנוסחה:

$$W = a' \cdot L^{b'}$$

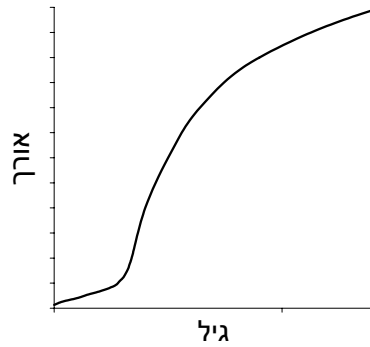
כאשר a' ו- b' הם, באופן אידיאלי, פרמטרים הלוקחים בחשבון מאפייני צורה גנטיים של מין, ונותנים את ערך האינדקס 100 בזמנים מסוימים בשנה לדגים שקיבלו שפע של מזון Anderson (and Gutreuter,) 1983.

א.1.5 קצב גידול באורך הגוף

קצב הגידול בדגים ככלל איננו קבוע. לכל הגילאים והגדלים פוטנציאל גדילה **מורש**. קביעת האורך לכל גיל והערכת ההתארכות השנתית משמשות כמדד של תהליך הגדילה. האורך הוא לעיתים קרובות מדד טוב יותר לבגרות מינית מאשר גיל הדג. המשקל לגיל והתוספת השנתית למשקל הגוף הן מדידות אחרות המתארות את תהליך הגידול (Anderson and Gutreuter, 1983).

בניגוד לאורך, המשקל מושפע מזמינות המזון ויכול להשתנות אפילו בקנה מידה יומי (לפני ואחרי ארוחה דשנה). לפיכך, מדידת המשקל לגיל ומדידת התוספת השנתית למשקל הגוף צריכה להתקבל כממוצע של מדידות על מספר גדול של פרטים, בזמנים שונים של היממה.

קצב הגידול הוא אחד המשתנים החשובים במחקרי מחזור חיים, דינאמיקה של אוכלוסיות, יצרנות, והייחוד האקולוגי של מינים במערכות גידול אקוויטיות (Ostrovsky and Walline, 1999). ניתן לבטא גידול כשינוי במשקל (או בתכולת האנרגיה) או באורך הדג Wootton (1992) על פי עם הזמן. אם גודל הדג נמדד במרווחי זמן גדולים מספיק על מנת לטשטש שינויי גודל קצרי Wootton מועד הנגרמים מעונתיות או מחזורי רבייה, דגם הגידול הרגיל המתקבל אינו סימטרי, " [איור א.1.5]. S shaped מכנה דגם גידול זה "



איור 1.5. א. עקומת גידול אי סימטרית בצורת S.

פונקציית הגידול VBGF (Von Bertalanffy Growth Function)

במהלך חיי הדג קצב הגידול הספציפי גבוה בדרך כלל בשלבי התפתחותו הראשונים ויורד עם הזדקנות הדג והעלייה בגודלו ובמחקרים העוסקים בדייג נהוג לתאר את דגם הגידול בזמן בעזרת עקומת גידול המתקבלת מהנוסחה הבאה (Wootton, 1992):

$$L_t = L_\infty \cdot (1 - e^{-K \cdot (t - t_0)})$$

- L_t אורך הדג בגיל t (נמדד בשנים).
- L_∞ האורך האסימפטוטי, האורך המקסימאלי הממוצע של הדג (בזמן $t = \infty$).
- t_0 הזמן ההיפותטי שבו אורך הדג הוא אפס (לש לו תמיד ערך שלילי).
- k קבוע הגדילה (או קבוע הקצב) ביחידות year^{-1} .

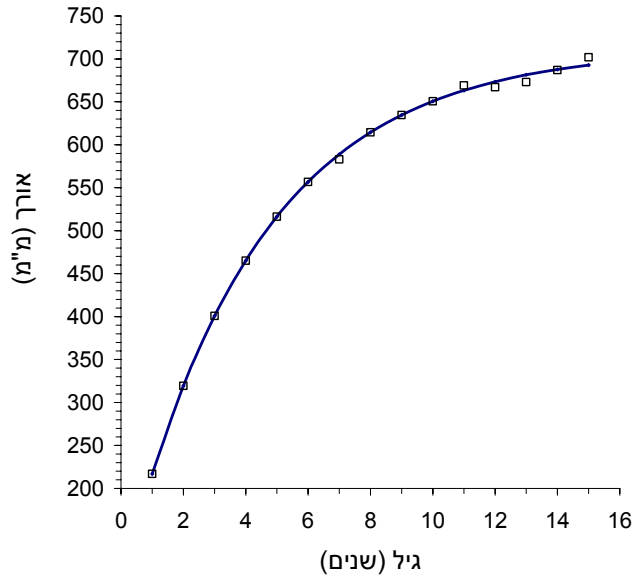
עקומה זו נקראת עקומת Von Bertalanffy והיא פחות מתאימה לתיאור שלבי גידול מוקדמים, או במקרים בהם פרקי הזמן בין מדידות גידול עוקבות קטנים [איור 2.5. א.] (Wootton, 1992). מקובל להניח ש- t_0 הוא הזמן מההפריה ועד ללידה (הבקיעה מהביצה) (Holden, 1974) אך הנחה זו מבוססת על כך שגדילה אמבריונלית מקיימת את אותם חוקים המכתיבים את הגדילה לאחר הבקיעה. עד היום שום מחקר לא תמך בהשערה זו, ואילו נתונים קיימים של גדילה אמבריונלית מראים שהיא שונה מהגדילה לאחר הבקיעה ולכן דורשת עקומת גידול נפרדת. בשל כך הזמן t_0 הוא בעל משמעות מוגבלת ועדיף להשתמש במידת האפשר בנוסחה המקורית להלן. עבודתו של von Bertalanffy (1938) מתייחסת לגדילה של כרישים. והנוסחה שהציע היא:

$$L_t = L_\infty - (L_\infty - L_0) \cdot e^{-k \cdot t}$$

נוסחה זו תיקרא להלן VBGF.

- L_0 האורך הממוצע בלידה (בזמן $t = 0$).

לפי תיאוריה זו אורך הדג מתקרב ל- L_∞ בקצב שדועך באופן אקספוננציאלי התלוי בפרמטר k .



איור 2.5.א גידול באורך – של דגי *Stizostedion vitreum* מאגם אונטריו. עקומת Von Bertalanffy הותאמה לנתונים. הפרמטרים של העקומה הם:
 $L_{\infty} = 712 \text{ mm}; k = 0.232 \text{ years}^{-1}; t_0 = -0.566 \text{ years}$

VBGF משמשת לתיאור הגידול של דגי סחוס בעיקר. דגים אלה הם לרוב בעלי אורך מוגדר בזמן הלידה. במחקר הנוכחי השתמשתי בנוסחה זו כאשר L_0 היה אורך הפגית בעת הבקיעה. בדג לבנון הירקון ערכו של פרמטר זה הוא 4.8 ± 0.58 מ"מ (אלרון, 2000).

ניתן לעבור באופן חישובי בין הפרמטרים t_0 ו- L_0 בעזרת הנוסחאות הבאות:

$$L_0 = L_{\infty} \cdot (1 - e^{k \cdot t_0}), t_0 = \frac{1}{k} \cdot \ln\left(\frac{L_{\infty} - L_0}{L_{\infty}}\right)$$

years שנים כאשר האורך האסימפטוטי שהתקבל הוא $L_{\infty} = 712 \text{ mm}$ וקבוע הגדילה שהתקבל הוא $k = 0.232 \text{ years}^{-1}$ $L_0 = 87.6 \text{ mm}$ יהיה בזמן הלידה

תוחלת החיים של הדג תלויה בפרמטר k . כאשר יחידות הזמן הן שנים, לאחר זמן של

$$t = \ln\left(\frac{2}{k}\right) \text{ ("זמן המחצית") הדג יגדל מחצית מפוטנציאל הגידול שלו } \left(\frac{L_{\infty} - L_0}{2}\right). \text{ פרקי זמן של}$$

$$t = 5 \cdot \ln\left(\frac{2}{k}\right) \text{ ו- } t = 7 \cdot \ln\left(\frac{2}{k}\right) \text{ הינם אומדן טוב לתוחלת חיים. לאחר פרקי זמן אלה יגיע הדג}$$

ל- 95% ול- 99% (בהתאמה) מהאורך המקסימאלי הממוצע (L_{∞}) (Fabens, 1965).

את קצב הגידול באורך הדג הכללי, לפי VBGF, מקובל להציג בשני אופנים:
 1. קצב הגידול ביחידות אורך לזמן כתלות בגיל (תלות מפורשת בגיל):

$$L'(t) = \frac{dL}{dt} = k \cdot (L_\infty - L_0) \cdot e^{-k \cdot t}$$

2. בשיטת Gulland-Holt – קצב הגידול ביחידות אורך ליחידת זמן כתלות באורך הגוף (תלות עקיפה בגיל) (Gulland, 1969; Holt, 1960).

$$L'(t) = \frac{dL}{dt} = k \cdot (L_\infty - L_t)$$

השם "קבוע הגדילה" מטעה. למעשה k אינו קבוע כלל והוא עשוי להשתנות עם הזדקנות הדגים. קבוע הגדילה (קבוע הקצב) קשור ל- dL/dt (קצב הגידול) באופן הבא (von Bertalanffy, 1960):

$$k = \frac{dL/dt}{L_\infty - L_t}$$

דגים קטנים מקבלים ערכי k גבוהים יותר (Dykhuisen and Mollet, 1992).

א.2.5 קצב גידול במסת הגוף

הפרמטר k של VBGF [ראה סעיף א.1.5] מוחלף בטעות עם קצב גידול. למעשה von Bertalanffy תאר את הקבוע $3k$ (מסומן בד"כ באות היוונית kappa). זהו הקבוע הקטבולי (קבוע הפירוק) והוא נמדד ביחידות של time^{-1} . למעשה ככל ש-k גבוה יותר נקבל בוגר בעל מסת גוף נמוכה יותר ובפרק זמן קצר יותר. קצב הגידול (ביחידות של משקל ליחידת זמן) יהיה קטן יותר ככל ש-k יהיה גדול יותר (Dykhuisen and Mollet, 1992).

את קצב הגידול באורך הדג הכללי, לפי VBGF, מקובל להציג בשלושה אופנים:
 1. קצב הגידול ביחידות מסת גוף לזמן כתלות בגיל (תלות מפורשת בגיל):

VBGF בהנחה שאורך הגוף מתנהג כשורש שלישי של משקל הגוף תראה כך (Fabens, 1965).

$$W(t) = \left[\sqrt[3]{W_\infty} - \left(\sqrt[3]{W_\infty} - \sqrt[3]{W_0} \right) \cdot e^{-k \cdot t} \right]^3$$

משוואת קצב הגידול מתקבלת כנגזרת של משוואה זו.

$$W'(t) = \frac{dW}{dt} = 3 \cdot k \cdot \left(\sqrt[3]{W_\infty} - \sqrt[3]{W_0} \right) \cdot e^{-k \cdot t} \cdot \left[\sqrt[3]{W_\infty} - \left(\sqrt[3]{W_\infty} - \sqrt[3]{W_0} \right) \cdot e^{-k \cdot t} \right]^2$$

בהמשך לכך ניתן לרשום משוואה לקצב הגידול היחסי במשקל הגוף (תוספת משקל באחוזים ממשקל הגוף), הקשורה לצריכת מזון כתלות בגיל (Fabens, 1965).

$$\frac{W'(t)}{W(t)} = 3 \cdot k \cdot \left(\sqrt[3]{W_\infty} - \sqrt[3]{W_0} \right) \cdot e^{-kt} \cdot \left[\sqrt[3]{W_\infty} - \left(\sqrt[3]{W_\infty} - \sqrt[3]{W_0} \right) \cdot e^{-kt} \right]^{-1}$$

2. קצב הגידול ביחידות מסה ליחידת זמן כתלות במסת הגוף (תלות עקיפה בגיל).
Fabens (1965) מתאר את הצורה הדיפרנציאלית של VBGF עם מסת גוף ליחידת זמן במשוואה:

$$W'(t) = \frac{dW}{dt} = a \cdot W_t^{\frac{2}{3}} - 3 \cdot k \cdot W_t$$

a – קבוע זה נבחר כך שמשוואת הגידול תגיע ל- W_∞ עם k מסוים (קבוע אנבולי).
הנוסחה לקצב הגידול היחסי למשקל הגוף (תוספת משקל באחוזים ממשקל הגוף), הקשורה

$$\frac{W'(t)}{W_t} = \frac{a}{\sqrt[3]{W_t}} - 3 \cdot k \quad \text{לצריכת מזון כתלות במשקל הגוף תהיה:}$$

3. קצב הגידול ביחידות מסה ליחידת זמן כתלות במסה ובאורך הגוף (תלות עקיפה בגיל).
עייף Ostrovsky and Walline (1999) הצורה הדיפרנציאלית של VBGF תראה כך:

$$W'(t) = W_t \cdot b \cdot k \cdot \frac{L_\infty - L_t}{L_t}$$

עם נשלב בין השיטות ונציב במשוואה האחרונה את קצב הגידול ביחידות אורך ליחידת זמן כתלות באורך הגוף (שיטת Gulland-Holt) נקבל את הקשר בין קצב הגידול היחסי במשקל הגוף (תוספת משקל באחוזים ממשקל הגוף) לקצב הגידול היחסי באורך הגוף (תוספת אורך באחוזים מאורך הגוף הכללי).

$$\frac{W'(t)}{W_t} = b \cdot \frac{L'(t)}{L_t}$$

b – האקספוננט ביחס משקל-אורך [ראה סעיף א.1]
פיתוח זה ממחיש את משמעותו הביולוגית של הפרמטר b כיחס בין קצבי גידול. פרמטר זה הוא היחס בין תוספת המשקל היחסית להתארכות היחסית. לכן b גדול מתאר תוספת גדולה למשקל יחסית לתוספת באורך, או במילים אחרות התעגלות יחסית של הדג, לעומת התארכות יחסית כאשר b קטן.

לסיכום ניתן לרשום את משוואת היחס בין ערכי K (אינדקס הגורם הגופני לפי פולטון) לגיל הדגים, על סמך המשוואות לעיל, באופן הבא:

$$K = 10^5 \cdot \frac{W_t}{L_t^3} = 10^5 \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{W_\infty} - \left(\sqrt[3]{W_\infty} - \sqrt[3]{W_0} \right) \cdot e^{-kt}}{L_\infty - (L_\infty - L_0) \cdot e^{-kt}} \right)^3$$

3.5. א. שיעור הגידול

עריכת מספר מדידות לאורך זמן על אותם דגים מאפשרת מעקב אחר שיעור הגידול (שינויי משקל ואורך) וכן השוואת שיעור הגידול בין העונות השונות. ניתן לבדוק בהמשך השפעות של תנאי גידול או הבדלים בין אוכלוסיות.

קצב הגידול האבסולוטי הוא פונקציה של גודל הדג. דג שעולה במשקלו ב-1 גרם מ-1000 גרם ל-1001 גרם, הוא בעל אותו קצב גידול אבסולוטי כמו דג שעולה במשקל מ-1 גרם ל-2 גרם באותה תקופת זמן, אולם האחרון הכפיל את משקל גופו. מדד לקצב גידול בלתי תלוי בגודל הוא קצב הגידול הספציפי.

קצב הגידול הספציפי מתקבל מהנוסחה (Ostrovsky and Walline, 1999):

$$(\ln S_t - \ln S_0) / t$$

— S_t הגודל הסופי

— S_0 הגודל ההתחלתי

— t הזמן שעבר בין המדידות

לחלופין מקובל להגדיר קצב גידול יחסי באורך או במשקל (RGL או RGW) כתוספת הגידול בזמן קבוע באחוזים מהגודל הקודם, לפי הנוסחאות הבאות (Unlu, 1994):

$$RGL = \frac{L_t - L_{t-1}}{L_{t-1}} \cdot 100, \quad RGW = \frac{W_t - W_{t-1}}{W_{t-1}} \cdot 100$$

הזמן t נלקח באופן דיסקרטי כמספר המדידה. וקצב הגידול הוא התוספת באחוזים לזמן שעבר מזמן $t-1$.

4.5. א. קביעת גיל הדגים

לקביעת גיל הדגים התפתחו שלוש גישות בסיסיות:

1. גישה אמפירית – המבוססת על תצפיות ישירות של פרטים המוחזקים בבידוד או של פרטים שסומנו ונתפסו מחדש.
2. גישה סטטיסטית – המבוססת על התפלגות שכיחות אורכי הדגים.
3. גישה אנטומית – המבוססת על מתן גיל לפרטים על פי קשקשים, עצמות ומבנים אחרים.

הגישה האמפירית לקביעת גיל שמשה לראשונה מגדלי דגים, היא ישנה בהרבה משתי השיטות האחרות ומוגבלת לדגים בגידולים מבוקרים. יתרונה של גישה זו באמינותה (Jearald, 1983). הגישה הסטטיסטית, ניתוח שכיחות אורכים (LFA) length-frequency analysis, היא שיטה מקובלת המאפשרת הערכה של אורך ממוצע לגיל, של מספר קבוצות הגיל וכן של רמת הגיוס והתמותה באוכלוסיית הדגים. זהו ניתוח מורכב הדורש מידע על פרמטרים כגון שונות האורכים בכל קבוצת גיל, דגם גיוס הפרטים (מחזוריות, תדירות או רצף בזמני ההטלה והישרדות הפרטים), קצב גידול וגודל מקסימאלי לקביעת גודל האינטרוול. גודל המדגם צריך להיות מעל 1,000 פרטים על מנת לזהות יותר מ-50% מהתפלגות האורכים בקבוצות הגיל (Erzini, 1990).

היסודות התיאורטיים והאמפיריים לגישה האנטומית פורסמו לראשונה ב- 1759 על ידי הכומר הנס הדרסטורם (Jearald, 1983) שהראה שניתן להסיק את גיל הדג מסימנים על עמוד השדרה שלו. ב- 1898 פרסמו זוג המדענים הופבאוור ורביש (Jearald, 1983) מחקר המתבסס על קשקשים לקביעת גילם של קרפיונים. שנה לאחר מכן השתמש האחרון באוטוליטים (עצמות האוזן) לקביעת גיל דגים. השיטה מתבססת על הבדלים עונתיים בגידול הדג המתבטאים בצורת הטבעות או סימני הגידול על חלקי גוף אלה. הבדלים עונתיים אלה נגרמים בעיקר מעונתיות בהרכב המזון וזמינותו. הבדלים אלה ניכרים בתהליך בניית העצם או הקשקש כשינויי צבע וצפיפות. מספר טבעות הגידול על חלקי גוף אלה זהה למספר העונות שעבר הדג במשך חייו. גיל הדג ניתן על ידי מספר טבעות הגידול מחולק במספר מחזורי העונות בשנה. זו ללא ספק השיטה המועדפת והנפוצה ביותר לקביעת גיל בדגים (Jearald, 1983).

6.א השפעת טמפרטורת המים והפוטופריודה על הרבייה

כיצד יכולים בעלי חיים להתאים את חייהם לשינויים עונתיים בתנאי הסביבה, ואף לצפות שינויים אלה? איך יכולה ציפור לדעת מספיק בכדי לעוף דרומה לפני בוא החורף? על מנת שבעלי חיים יהיו מסוגלים להתאים את מהלך חייהם לשינויים עונתיים בטרם התרחשו שינויים במזג האוויר, שני דברים מוכרחים לקרות – בעל החיים צריך לקבל רמז (סיגנל סביבתי) אמין על השינוי העונתי המתקרב והסיגנל צריך ליצור שינוי בהתנהגות או בפזיולוגיה של בעל החיים (Lofts, 1970).

שינויים עונתיים חשובים המשפיעים על בעלי חיים כוללים – טמפרטורה, כמויות משקעים והפוטופריודה.

השפעות הטמפרטורה

המדד למצב הרבייתי הוא על פי רוב מצב הבשלות של הגונדות (Snyder, 1983). מדד מקובל למצב בשלות הגונדות הוא האינדקס הגונדו-סומטי (GSI), המתקבל מהיחס באחוזים בין משקל

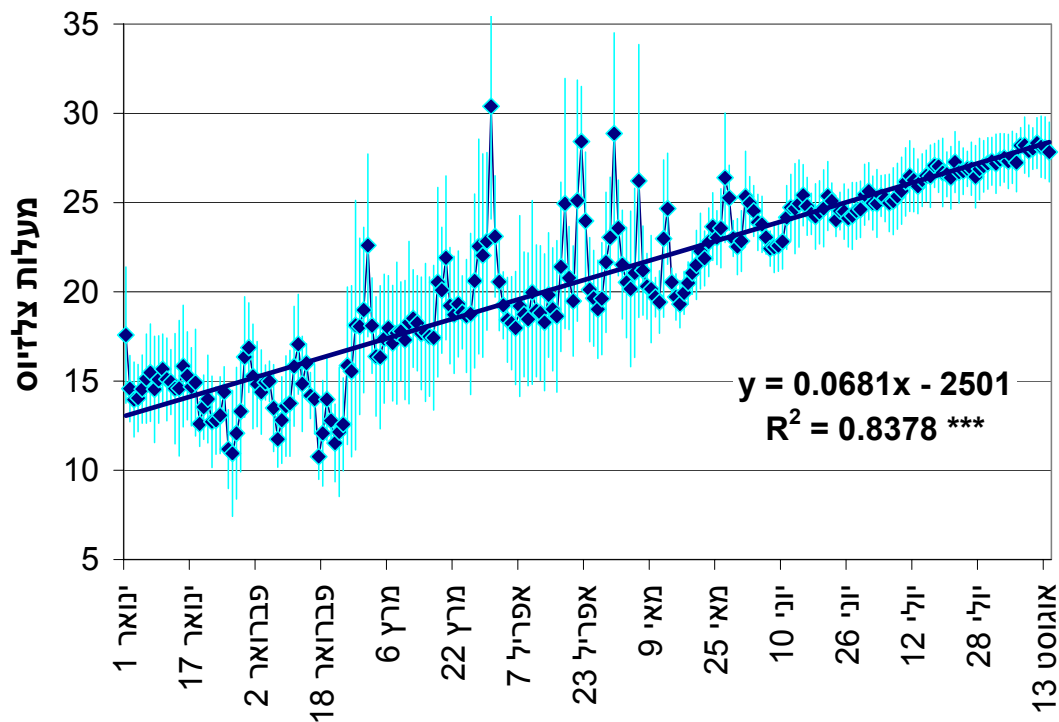
$$\text{הגונדה למשקל הדג הכללי } (GSI = \frac{Gw}{W} \cdot 100)$$

השפעת הטמפרטורה על הרבייה מוכרת במקרים רבים במשפחת הקרפיוניים. זמני ההטלה בדגי בינית גדולים באפריקה ובאסיה (*Barbus holubi*, *B. kimberleyensis*) מוכתבים על ידי טמפרטורות המים (Tomasson et al., 1984). בדגים אלה קיים ערך סף של טמפרטורת המינימום היומית. הרבייה מתחילה מרגע שעוברים את ערך הסף, כאשר כל ירידה מערך זה מפסיקה את הטלת הביצים (Baras, 1999).

בתקופת הרבייה, הטמפרטורה משפיעה על יצור הורמונים סטרואידים. (Kime et al., 1986) מצאו שהשפעת הטמפרטורה על התפתחות אשך של הקרפיון (*Cyprinus carpio*) תלויה בדרגת הבררות של הדג. בדגים בוגרים, ניתן להעלות את רמה האנדרוגן ואת ערכי האינדקס הגונדו סומטי (GSI) על ידי תקופות קצרות של חשיפה למים חמים (29°C). מחקרים של King et al.,

(1998) בנושא השפעת הצפות הנגרמות מפתחת סכרים והשפעת טמפרטורת המים על ההטלה בקרפיונאי *Barbus capensis* בנהר אוליפנטס בדרום אפריקה, הראה כי כאשר ההצפה נעשתה על ידי מים חמים (19-21°C) מהחלק העליון של הבריכה (epilimnion) עוצמת ההטלה עלתה. במקרים אלה נצפתה תנועת דגים לעבר משטחי ההטלה, כמו גם התנהגות קדם-רבייתית של דגים (pre-spawning behavior). לעומת זאת, בהצפות של מים קרים (16-18°C) מחלקו התחתון של המאגר (hypolimnion) הדגים נעו במורד הזרם הרחק ממשטחי ההטלה. Kestemont (1990), הראה שההבשלה הסופית של הגונדות בדג *Gobio-gobio* תלויה בעיקר בטמפרטורה. בתקופת הרבייה בקרפיונאי *Cyprinion watsoni* רק הטמפרטורה היתה חשובה להבשלה הסופית של הגונדות ולהטלת הביצים (Shaikh, 1993).

הטמפרטורות האופייניות באזור המחקר בתקופת הניסוי, התקבלו מנתונים שנאספו באוניברסיטת תל-אביב, בתחנה המטאורולוגית על גג בניין "קפלון" [איור א.1.6].



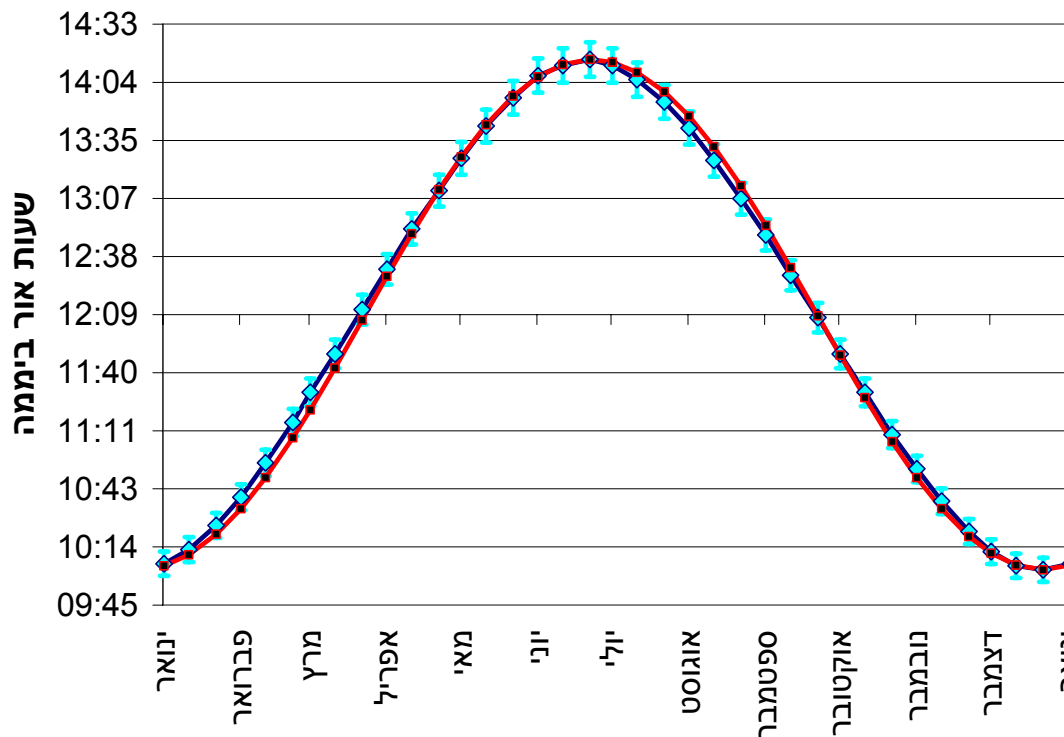
איור א.1.6 טמפרטורה עונתית היצונית 2001 – ממוצע יומי של טמפרטורות היצונית לאורך תקופת הניסוי, כפי שנמדדו בתחנה המטאורולוגית על גג בניין קפלון, באוניברסיטת ת"א. קווי השגיאה מציינים את סטית התקן היומיות (למידות שהתבצעו כל 30 דקות). הסימון *** מציינ רמת מובהקות $p < 0.0005$.

פוטופריודיזם

המילה photoperiod מורכבת משתי מילים ביונית, photos - שמשמעותה אור ו- periodos - שמשמעותה להקיף. המילה משמשת לתאר את מספר השעות של אור יום ושל חשכה במשך כל תקופה של 24 שעות. בתרגום חפשי לעברית "תקופת אור".
המונח פוטופריודיזם מתאר את תגובת האורגניזם לפוטופריודה (Beck, 1963).

העיר ת"א ממוקמת בקו הרוחב 32.1°N . על פי נתוני המעבדה למטאורולוגיה סינופטית, הממוקמת בהר-הצופים בירושלים, הפוטופריודה ביום הארוך ביותר בת"א היא 14.25 שעות אור והפוטופריודה ביום הקצר ביותר היא 10.05 שעות אור. מחזוריות הפוטופריודה השנתית בקו הרוחב של תל-אביב, על פי נתונים אלה, ניתנת לתיאור על ידי פונקציה סינוס שמשוואתה:

$$12:09 + 2:06 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot \Delta t\right) \quad [\text{איור א.3.6}]$$



איור א.3.6 מחזור הפוטופריודה השנתי בת"א – הפוטופריודה לאורך השנה האזור תל-אביב על פי נתוני המעבדה למטאורולוגיה סינופטית, שהר-הצופים בירושלים. הקו האדום התחום בין קווי השגיאה של נקודות הגרף ($\pm 1\%$ מגודל הפוטופריודה, רמת דיוק של 10 \pm דקות) מתאר פונקציה סינוס שמשוואתה: $12.15 + 2.1 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot \Delta t\right)$. הם שעות האור בתחילת האביב ובתחילת הסתיו, $\pm 2.1 =$ משרעת הפוטופריודה השנתית. $\Delta t =$ המרחק בימים מ-22 במרץ, תחילת האביב (vernal equinox). בנקודה זו ערך זווית הסינוס היא 0. על מנת לעבור מיחידות של ימים למעלות, יש להכפיל ב-360 ולחלק במספר הימים בשנה (הפוטופריודה עושה מחזור אחד כל שנה).

השפעת הפוטופריודה

עלייה בפעילות רבייתית באביב, עם התארכות תקופת האור, נצפתה בדג גופי ודגי זנב חרב טרופיים. לעומת זאת, בדגי זהב ששהו תקופות ארוכות בתנאי חשכה נמצא ניוון של גונדות. הקדמת הבשלות המינית בחודשים רבים בקרפיונאים צעירים מתבצעת על ידי חשיפת הדגים לפוטופריודות ארוכות (Lofts, 1970).

גם פיזור שעות האור לאורך היממה (הכנסת שעות חושך לתוך תקופת האור) משפיע על הפעילות הרבייתית. במחקר שנערך על הקרפיונאי *Barbus barbatus* נמצא שישנו קצב יממי של רגישות לאור. לפוטופריודה כללית של 8 שעות הוכנסו תקופות חשוכות (2 שעות בניסוי אחד ו- 8.5 שעות בניסוי השני). עוצמת ההטלה גדלה עם הכנסת תקופות החושך (Poncin, 1992).

מחקר שנערך על נקבות של דגי זהב *Carassius auratus* מצביע על מחזוריות ברמות הגונדוטרופין בסרום במהלך הפוטופריודה. בפוטופריודות ארוכות (16 שעות אור) מתבצע הביוץ בסוף התקופה החשוכה. רמות הגונדוטרופין עולות בקצב הולך וגובר בתקופת האור, מגיעות לשיאן בתחילת תקופת החושך, נשארות קבועות במהלך תקופה זו ויורדות ירידה חדה עם תחילת הפוטופריודה הבאה (Stacey et al., 1979).

השפעה משולבת של הטמפרטורה והפוטופריודה (בקרה דואלית)

למרות קיום תגובה גונדו-טרופית להארכה מלאכותית של הפוטופריודה בהרבה מיני דגים, אין פירוש הדבר שהפוטופריודות הטבעיות הן תמיד הגורם החשוב המשפיע על מחזור הרבייה בטבע. במינים אחדים אור וטמפרטורה משמשים בקרה דואלית למחזור הרבייה. דוגמה טובה לכך היא דג הלבנונית (*Phoxinus phoxinus*) המתרבה במאי וביוני. מיד לאחר ההטלה מתחדשת הפעילות הגמטו-גנית בגונדות, ויצירת תאי זרע חדשים נמשכת כל הסתיו ונפסקת בחורף. עם בוא האביב מתחדשת פעילות הגונדות והבשלת הזכרים והנקבות מושלמת במהירות. הגעה לבשלות מינית של כל אחד מהזוויגים דורשת תנאים של יום ארוך וטמפרטורות גבוהות (תנאים הקיימים באביב). בהעדר שילוב זה, בפוטופריודות קצרות אפילו בטמפרטורות גבוהות, נעצרת הבשלת הביצים בשחלות והספרמטוגנזה בזכרים נפסקת בשלב הספרמטוציט. פוטופריודות ארוכות בטמפרטורות נמוכות גורמות לדג להיכנס לתקופת רבייה אך התפתחות הביצים מעוכבת (התפתחות איטית עד לשלבים המוקדמים של אגירת החלמון). תופעה דומה מוכרת גם בקרפיונאים מהסוגים *Rhodeus*, *Apeltes* ו-*Notropis*. במינים אחדים נעשה שימוש בבקרה דואלית זו ליצירת עונת רבייה אחרת על ידי העתקת דגים להמיספרה הדרומית (Lofts, 1970).

במינים המתרבים באביב ובקיץ, נצפתה התפתחות גונדות בהשפעת טמפרטורה גבוהה ללא קשר לפוטופריודה. פוטופריודה ארוכה נדרשה בתקופת הסתיו להבשלת גונדות (Asahina, 1983).

מחזור הרבייה הטבעי מורכב, ופוטופריודה וטמפרטורת המים משפיעים באופן שונה לאורך המחזור הטבעי. כך למשל, במחקר שנערך על הקרפיון *Cyprinion watsoni*, נערכו השוואות בין העונה הקודמת להטלה (prespawning season), עונת ההטלה (spawning season) והעונה שלאחר ההטלה (postspawning season). ברוב העונות התפתחות הגונדות היתה תלויה בשילוב של טמפרטורה ופוטופריודה. אולם בתקופת הרבייה הפוטופריודה לא השפיעה כלל על ההבשלה הסופית של הגונדות ועל הטלת הביצים (Shaikh, 1993). מחקר על הדג *Gobio-gobio* מראה

שניתן לגרום להטלות מחוץ לעונת הרבייה על ידי קיצור מלאכותי של מחזור הטמפרטורה והפוטופריודה. מחקר זה מראה שהחשיבות היחסית של הפוטופריודה וטמפרטורת המים תלויה בשלב הגמטוגני שבו מצוי הדג (Kestemont, 1990).

עבודתו של אלרון (2000) מצביעה על קיום עונת רבייה קצרה (חודשיים שלושה) לדגי לבנון הירקון בטבע. בניסויים הפרלימינאריים בתנאי המעבדה נמשכה עונת הרבייה ששה חודשים ויותר. ואכן בלבנון הכנרת (*Mirogrex terrae-sanctae*) נמצא קשר בין פוריות הדגים, התפתחות הגונדות, והתפתחות הביצים במעבדה לבין לטמפרטורת המים והפוטופריודה. (Yaron et al., 1980) מצאו ש :

- 1) מדד הפוריות האינדקס הגונדו-סומאטי (GSI) מקבל ערך מקסימאלי בתנאי חורף (9 שעות אור וטמפרטורה של 16°C).
- 2) התפתחות החלמון בביצה Vitelogenesis קיימת רק בטמפרטורות נמוכות (טמפרטורה של 16°C). הטמפרטורה הנמוכה מבקרת את רמת האסטרון בכבד ובקרת רמות של סידן ומגנזיום בנוזל הדם.
- 3) חלוקות הרבייה של תאי מין בגונדה היו מקסימאליות בטמפרטורות גבוהות (טמפרטורה של 27°C).

7.א השפעת הזרימה, מפלס המים ומצעי ההטלה על הרבייה

מחקרים רבים מראים קשר בין שיטפונות לרבייה : בדגי *Labeo umbratus* (Pisces, Cyprinidae) בנהר Orange בדרום אפריקה נמצא ששיטפונות בעונת הרבייה מעוררים הטלה (Gaigher, 1983). באזור זה, בנהר Olifants, בקרפיון *Barbus capensis*, נמצאה תופעה של עלייה בפעילות ההטלה כתוצאה מהזרמת מים. דג זה, בנוסף להיותו multiple spawner, מסוגל להטיל מספר ימים ברציפות (Cambray, 1997). דגי *Barbus* גדולים באפריקה ובאסיה מטילים על אבנים בזמן שטפונות (Tomasson et al., 1984). זרימת המים קשורה קשר הדוק למאפיינים שונים של בית הגידול. שינויים באופי הזרימה יכולים להשפיע על עכירות המים ועל עומק המים ולגרום לחשיפה של אזורי נחל או להצפה של אזורי צמחיה.

עוצמת האור תלויה גם היא במשטר הזרימה ובמפלס המים. בתקופת הגשמים מוצפים במערב אפריקה אזורים של צמחיה צפופה ועולה עכירות המים. גורמים אלה מורידים את חדירות האור למים, ופעילות הרבייה של דגי *Tilapia* יורדת (Lofts, 1970).

דוגמה להשפעת עוצמת האור היא תופעת ננסות בדגי אמנון *Tilapia* באפריקה. עוצמת התאורה גרמה להאצה בהתפתחות הדגים שגודלו במים רדודים (עד 30 ס"מ עומק), ודגים אלה הגיעו לבגרות מינית כשאורך גופם היה 5 ס"מ בלבד. העמקת מאגר המים (ליצירת מים בעומק של 150

ס"מ) הורידה את חדירות אור השמש ואת עוצמת האור אליה הדגים נחשפו. הדגים הגיעו לאורכים של 30 ס"מ לפני התחלת רבייה (Lofts, 1970).

דגי נחל רבים מטילים ביצים דמרסליות. מינים אחדים מפזרים את ביציהם על פני המצע, אך רבים ממקמים את ביציהם באזורים מוגנים כגון חריצים בסלע (למשל סוג הקרפיונאים *Cyprinella*) (Baker, 1994). ביצים המוטלות בסדקים עשויות לחוות התארכות בזמן ההתפתחות או הישרדות עוברים נמוכה כתוצאה מהפחתה בקצב תחלופת המים ביחס לאתרי הטלה פתוחים יותר. אם כך, המצאות זרם בקרבת הסדק עשויה להיות חשובה לתחלופת המים. אולם, זרמים חזקים מדי עשויים למנוע הפריה מלאה או למנוע מהביצה את ההיצמדות למצע לפני שהיא נשטפת מהסדק. Baker (1994) במחקרו על המין *Cyprinella venusta* הראה העדפה למהירויות זרימה של 30 ס"מ לשניה והימנעות מהטלה בזרימה איטית. במחקרו הוא מציין שאוכלוסיות שונות נבדלו על פי מאפייני הזרימה בבית הגידול הטבעי שלהם.

בלבנון הכנרת להקות של דגים מתקרבות בלילה לחוף באזורים סלעיים, ומשחררות ביצים ותאי זרע. הביצים הדביקות נצמדות למשטחי אבנים נקיות מאצות, שהוצפו זמן קצר לפני כן. לגדילת האצות תפקיד מרכזי בקביעת עומק המים המקסימאלי שבו יוטלו הביצים. הצלחת הרבייה בדג זה תלויה בקצב ובמידת העלייה במפלס האגם, הקובעים את הזמינות של מצע הטלה מתאים (Gafny et al., 1992).

בתי גידול שונים מתאפיינים באופי קרקע שונה. קרקע המתאפיינת בסדימנט רך אינה יכולה לשמש מצע הטלה לכל מיני הדגים וזמינות מצעי הטלה מתאימים עשויה להוות גורם מגביל ברביית הדגים (Gafny et al., 1992).

8.א תלות בין חזרות

כאשר עורכים מחקר העוקב אחר אוכלוסיית דגים לאורך זמן יש להימנע ממצב של תלות בין חזרות. במצב כזה הערכים הנמדדים בחזרה אחת משפיעים על הערכים בחזרה אחרת (autocorrelation). דוגמה לכך יכולה להיות מספר הביצים המוטלות על ידי דגה. בכמה מיני קרפיוניים קיימת תקופה רפרקטורית לאחר תקופת ההטלה, שבה אין פעילות גמטוגנית (Lofts, 1970). יתכן שנדרש לדגה פרק זמן העולה על 24 שעות לאחר הטלה מאסיבית בכדי לחזור ולהטיל הטלה כזו. מספר הביצים שידגמו לדגה בשנייה מבין שתי חזרות עוקבות, עם 24 שעות ביניהן, יהיה תלוי במספר הביצים שנדגמו בחזרה הראשונה, ללא קשר לפרמטרים של הניסוי. הניסויים במחקר שדרשו התמודדות עם תלות בין חזרות היו אלה שהגורם הנמדד בהם היה מספר הביצים המוטלות, ולא עסקו בהיבטים שונים של מצעי הטלה. במקרה האחרון ההשוואה היא בין מצעי הטלה, או בין אזורים על גבי מצעי הטלה באותו מיכל. לכמות הביצים יש משמעות יחסית והתלות בין החזרות אינה מפריעה.

מעבודתו של אלרון (2000) עולה שהפוריות הכללית של לבנון הירקון נעה בין 2,800 ל-42,000 ביצים. הפוריות הממוצעת ביחס למשקל הגוף (Fr) היא $2,765 \pm 902$ ביצים לגרם דגים. בניסוי הנוכחי השתתפו כ-2,000 גרם דגים, והמספר המקסימאלי של ביצים שנספרו היה 100,000 לעונת רבייה. פוטנציאל הרבייה הממוצע של כמות דגים זו (בהנחה שיחס הזוויגים הוא

1:1 זכרים לנקבות, ושהדגים קטנים במיוחד ורק 50% מהם בשלים לרבייה) היה $\pm 1,382,500$ ביצים. פוטנציאל הרבייה של הדגים היה גדול לפחות פי 13.8 מכמות הביצים שהוטלה. למרות שאחוז מסוים של הביצים הוטלו מחוץ למצע ההטלה ולא נספרו, וחלק מהביצים נשארו בשחלות ונספגו חזרה לגוף ניתן להניח שהגורם המגביל בהטלת הביצים איננו פוטנציאל הרבייה, ולפיכך אם קיימת תלות בין החזרות היא קטנה ומקורה בשיטת ההטלה. למרות האמור לעיל נעשו מספר פעולות בכדי להקטין את הסיכוי לתלות בין חזרות:

1. ניתן פרק זמן של שבוע או עשרה ימים בין תצפיות חוזרות.
2. תוצאות שבועיות נסכמו לקבלת חזרה אחת.
3. תוצאות הניסוי הושו לניסוי מקביל, זהה.
4. נעשה ניסיון לעבוד עם מספר דגים גדול ככל האפשר.
5. הפעולה הדרסטי ביותר שנעשתה בכדי לבטל תלות בין חזרות הייתה השימוש ב- ANOVA with repeated measures. בהשוואה בין ניסויים ובין קבוצות טמפרטורה. מודל שמרני זה מניח שכל מיכל מהווה חזרה בודדת (יחידת ניסוי) שעליה נערכות מדידות חוזרות.

1.9.א מטרת המחקר

מטרת המחקר הן:

1. לבחון את הקשרים בין טמפרטורה ופוטופריודה לפוריות (עוצמת הטלה) ולהישרדות ביצים ולרוות בדגי לבנון הירקון.
2. להבין את הדינאמיקה של הטלת הביצים ולמצוא פרמטרים לבחירת מצעי הטלה.
3. להשוות בין אוכלוסיות הדגים בנחלים תות וירקון. קבלת החלטות ובניית ממשק להשבת דגי לבנון הירקון לחלק מבתי הגידול הטבעיים שלהם, יסייעו להצלת המין מהכחדה.

2.9.א השערות המחקר

על מנת להשיג את מטרת המחקר נבחנו ההשערות הבאות (ממוספרות בהתאמה למטרות המחקר).

1. קיימת השפעה של טמפרטורה ופוטופריודה על עונתיות הרבייה בלבנון הירקון והטמפרטורה משפיעה על קצב התפתחות העוברים בביצים.
2. לנקבות לבנון הירקון העדפות לגבי מבנה מצעי ההטלה.
3. קיימים הבדלים בפרמטרים ביולוגיים שונים בין אוכלוסיות נחל תות ונחל הירקון.

ב שיטות

רובם המכריע של הניסויים התבצעו בגן הזואולוגי באוניברסיטת תל-אביב. הניסויים שהתבצעו מחוץ לגן כללו תצפיות על התנהגות הדגים, וניסוי של בחירת בתי גידול שהתבצעו במיכל שקוף ובנחל מלאכותי שבניתי בחצר ביתי ברמת השרון.

מבנה מערכת הניסוי בגן הזואולוגי

הדגים הוחזקו במיכלים, שהכילו 500 ליטר מים כל אחד, רובם מיכלי פלסטיק ("דולבים"), ואחדים מהם מזכוכית.

חלק המדולבים עמדו תחת סככה וחלקם במבנה סגור.

בסככת הגידול נערכו הניסויים של השפעת טמפרטורת המים על עוצמת ההטלה וניסוי השפעת זרימת המים על עוצמת ההטלה. מערכת זו כללה 800 דגים – 9 מיכלים מגרעין "ירקון" ו- 4 מיכלים מגרעין "תות" (כ- 30% מהדגים שהיו ברשותינו בזמן הניסוי). 87.5% מדגים אלה נולדו בגן הזואולוגי.

המערכת כללה עוד שישה מיכלים ששימשו לגיבוי ולגידול, וארבעה מיכלי "מעבר" בקיבולת של 100 ליטר, למיון דגים לאחר מדידה שטרם התפנה להם מיכל מתאים.

במבנה נערכו הניסויים של השפעת הפוטופריודה על עוצמת ההטלה וניסוי השפעת צפיפות הדגים על עוצמת ההטלה. מערכת זו כללה 8 מיכלים מכל גרעין רבייה (כ- 1400 דגים מכל גרעין). כל הדגים שהיו במבנה נולדו בגן הזואולוגי.

המערכת כללה עוד שני מיכלים ששימשו לגידול דגיגים, ושישה מיכלי מעבר בקיבולת של 100 ליטר.

סינון ביולוגי של מים התבצע בעזרת משאבת מים בעלת הספק של 250 ליטר לשעה (הספק חשמלי 8W) ששאבה מים מאזור הסמוך לקרקעית המיכל אל האדנית שהונחה מעל למיכל. המים זרמו דרך שכבה של צמר אקרילן שכיסתה את האדנית לתוך מצע של אבני טוף, ומשם חזרה למיכל דרך חורים בתחתית האדנית.

מדחסים סיפקו חמצן אטמוספרי לכל המיכלים דרך צנרת שלקצותיה חוברו אבני אוורור.



איור 1.2.א סככת הגידול – חלק ממערכת גרעין הרבייה בגן הזואולוגי באוניברסיטת ת"א. הסככה כוללת 12 דולבים: 9 של דגי גרעין "ירקון" ו- 3 של דגי גרעין "תות" (צילום אלדד אלרון). דולבים נוספים ומערכת מיכלי הדגרה, נוספו למערכת זו עם הגדלת הסככה, לפני תחילת הניסויים.

1.1 הקשר בין האורך למשקל הדג

1.1.ב מדידת אורך הדגים

מדידת האורך התבצעה על ידי סרגל או קליבר מכוילים למילימטרים, והיא מעוגלת למ"מ שלמים. מדידת האורך שהשתמשת בה היא אורך הדג המקסימאלי הכללי maximum total length. מדד זה הוא האורך מקצה חרטום הדג ועד קצה זנבו המתוח (לחוץ דורזו-ונטרלית) (Anderson and Gutreuter, 1983).

נכונות ודיוק המדידה – נכונות המדידה (ההבדל בין המדידה לערך האמיתי) תלויה במצב הדג, יכולת החוקר ושיטה המדידה. הדג נמדד טרי (חי, ולא מכווץ כתוצאה משימור), ולא נלחץ כנגד שום דבר (Anderson and Gutreuter, 1983). דיוק המדידה כפי שנמצא בבדיקה ראשונית - פרלימינרית (ההבדל בין חזרות על אותה מדידה), עשר מדידות חוזרות של אותו דג הראו טווח שגיאה של ± 3 מ"מ למדידה בודדת. שגיאה זו גדולה בכדי להיות שגיאת מדידה. הסיבה העיקרית לרמת דיוק נמוכה זו היא מצב הדג. דג ששריריו מכווצים, גופו מתקער ואורכו יראה קצר יותר גם לאחר השטחתו (טפיחות על גוף הדג מזיקות ולא שימשו במחקר זה). רמת הדיוק תעלה בהתאם לגודל המדגם כאשר נתייחס למוצע אורכים.

2.1.ב מדידת משקל הדגים

סקילת הדגים התבצעה על ידי משקל אלקטרוני שאופס כשעליו כלי פלסטיק עם כ- 100 מ"מ מים (ממיכל הדגים הנבדקים). שולי הכלי היו גבוהים למניעת בריחת מים כתוצאה מפרפור הדגים. הדגים הוכנסו לכלי בזה אחר זה, לאחר שהות קצרה מחוץ למים (5 שניות). בין דג לדג נרשמה קריאת המשקל המצטברת.

נכונות ודיוק המדידה – למשקל האלקטרוני רמת הדיוק של 0.1 גרם. המשקל אופס לאחר מדידה מצטברת של כעשרה דגים (או לאחר שהצטבר משקל כולל של 50 גרם), ונבדק תקופתית לשמירה על רמת דיוק זו. הטיפול בדגים הנשקלים נעשה על פי Anderson & Gutreuter (1983). יש לקחת בחשבון שבשקילות אלה ישנם אי דיוקים כתוצאה מכמות המים בחלל הפה ועל גבי שטח מעטפת הדג. שגיאה זו תהיה גדולה ככל שהדג קטן, בגלל ערכים גבוהים של יחס שטח פנים – נפח. השהייתם של הדגים מחוץ למים נועדה להעלות את רמת הדיוק על ידי טפטוף עודפי מים מגוף הדג ומידי המודד הרטובות. לא ספגתי את המים מגוף הדג כיוון שקיים חשש ששיטה זו תזיק לדגים. כמו כן, בדגים קטנים כאלה הגורם העיקרי שמשפיע על מידת הדיוק הוא דווקא מידת הרטיבות של היד המחזיקה בדג. ליד שטח פנים גדול ובדיקה ניסיונית מראה שטיפת מים הנוטפת מיד רטובה עשויה לשנות את המשקל בממוצע ב- 0.2 גרם עם סטיית תקן של 0.5 גרם (הרטבת היד וקירורה במים שבהם חי הדג נועדו למנוע שוק תרמי לדג הפויקילותרמי הנגרם מטמפרטורת גוף האדם). קיימת השפעה של תנועת הדגים בכלי המים על המשקל אך הדג נרגע במהרה והמשקל מתייצב לאחר פרק זמן קצר.

מדידת דגים קטנים מ- 45 מ"מ היא בעייתית בגלל רגישות הדגים. מתוך מדגם של 100 דגים בטווח אורכים של 30-45 מ"מ מתו כ- 10% כתוצאה ממדידת אורך ידנית. מסיבה זו ועל מנת לצמצם את זמן הטיפול בדגים ואת מידת העקה, מדגים אלה נלקחה מדידת משקל בלבד. בקבוצת הגודל של 30 מ"מ ומטה הייתה תמותה של מעל 30% במדידת אורך ידנית. כיוון

שמשקל גופם של רוב דגים אלה נפל בתחום השגיאה של מכשיר המדידה (המשקל האלקטרוני המשיך להראות קריאה של 0.0 גרם לאחר הכנסת הדג) שקלנו דגים במשקל מצטבר של 10 גרם. המשקל הממוצע לכל קבוצת דגים התקבל כסכום המשקלים המצטברים חלקי מספר הפרטים. במדידת משקל, התמותה הייתה מתחת ל- 5%, למדגם של 100 פרטים, בשתי קבוצות אורך אלה.

ב.1.3 דגי הניסוי

בניסוי השתתפו כ- 3,700 דגים (להלן קבוצת הניסוי). בין החודשים מרץ-אוקטובר 2001 אספתי 46,750 ביצים להזגרה. כ- 20% מכלל הביצים בקעו ומהירויות הבוקעות כ- 77% הפכו ל- 8,292 דגים. מדגים אלה נלקחה קבוצת הניסוי.

לצורך מדידת קצב גידול וחישוב אינדקס הגורם הגופני נערכו שלוש מדידות של הדגים: באביב 2002, בסתיו 2002 ובאביב 2003. במהלך המדידות נלקחו נתוני אורך ומשקל של כל הדגים בגרעין הרבייה.

המדידה הראשונה, שנערכה טרם השבת הדגים לטבע- באביב 2002, כללה את כל 8292 הדגים. חלק גדול מדגים אלה היו קטנים מכדי שנוכל למדוד את אורכם ומשקלם היה בטווח שגיאת המשקל האלקטרוני. מדידת דגים אלה נעשתה בממוצע למספר הדגים שמשקלם הכולל היה 2 גרם (בין 10 ל- 40 דגיגים למדידה).

לאחר השבת הדגים לטבע נשארה בגרעין קבוצת הניסוי. אורכים ומשקלים של הדגים בקבוצה זו נמדדו גם בשתי המדידות הבאות. השוואה בין המדידה הראשונה לשנייה בקבוצת הניסוי נותנת גידול בתקופת הקיץ והשוואה בין המדידה השנייה לשלישית נותנת גידול בתקופת החורף. תמותת הדגים במהלך הניסוי הייתה קטנה מ- 1% בין המדידה הראשונה לשנייה. כ- 50% מתמותה זו נבעה ממדידת הדגים. בין המדידה השנייה לשלישית עלתה התמותה לכ- 6%, עקב מחלה.

בסך הכל נערכו 7778 מדידות על דגי הניסוי¹ (3 מדידות לדג), 2817 מהמדידות על דגי גרעין "תות" ו- 4961 מדידות על דגי גרעין "ירקון". ממוצע אורכי דגים אלה, לפי גרעיני רבייה, ברמת דיוק של 1 מ"מ, היה 63 ± 9 מ"מ ו- 59 ± 12 מ"מ בהתאמה. ממוצע משקלי דגים אלה, ברמת דיוק של 0.1 גרם, היה 2.6 ± 1.3 גרם ו- 2.3 ± 1.4 גרם בהתאמה.

משקלי ואורכי הדגים נמדדו, ולאחר כל מדידה מוינו הדגים ונרשמו נתוני התחלה חדשים באופן הבא:

1. לפי נחל המוצא – נחל תות או נחל ירקון.
2. כל קבוצה התחלקה לשלוש קבוצות אורך, לפי אורך הגוף הכללי – "דגים קטנים" (45-59 מ"מ), "דגים בינוניים" (60-74 מ"מ) ו- "דגים גדולים" (75-89 מ"מ). קבוצות אורך נקבעו כך שיתאימו ככל הניתן לקבוצות גיל לפי אלרון (2000), ושיהיו שוות מרווח (14 מ"מ הבדל בין הדג הארוך ביותר לקצר ביותר). קבוצת האורך "דגים קטנים" כללה את כל הדגים שהיו גדולים מקבוצת הגיל 0+ (עד גיל שנה) וקטנים מקבוצת הגיל 2+.

¹ מספר המדידות קטן משלוש פעמים מספר הדגים, כי חלק מהמדידות כללו יותר מדג אחד (ראה סעיף ב.1.2).

(שנתיים עד שלוש שנים). לפי עבודתו של אלרון (2000), אנו מניחים שלפחות 50% מדגים אלה היו בשלים לרבייה בתחילת הניסוי, והדגים בקבוצות האורך "דגים בינוניים" ו-"דגים גדולים" היו בוגרים מינית.

3. הדגים בכל קבוצת אורך מוינו לחמש קבוצות צפיפות-ביומסה – 450, 350, 250, 150, 50 גרם דגים למיכל (= 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 ו-0.9 גרם דגים לליטר מים).

4.1.ב חישוב אינדקס הגורם הגופני של פולטון (K)

יחידות המדידה לאורך ומשקל שבהם השתמשתי היו מילימטר וגרם. ערכי K התקבלו לפי הסטנדרט (לאחר הכפלה ב- 100,000) כעשירית מהיחס משקל-אורך בשלישית כאשר היחידות הם גרם לליטר.

5.1.ב קביעת גיל הדגים, שיעור הגיוס והתמותה

בניגוד למחקרים העוסקים בדגים שנלקחו מבתי גידול טבעיים ונתוני הגיל שלהם אינם ידועים, רוב הדגים במחקר זה (87.5% מדגי הסככה וכל דגי המבנה) נולדו בגרעין הרבייה וגילם היה ידוע (בממוצע למיכל), כמו גם שיעור הגיוס והתמותה שלהם. הגישה המתאימה למחקר זה היא הגישה האמפירית, ואין צורך לעסוק בהערכות גיל על סמך התפלגויות אורכים וכדומה. חישובי גיוס ותמותה על סמך שכיחות גילאים המתאימים בחקר אוכלוסיות טבעיות (Mann, 1975 אינם רלוונטיים במחקר זה משתי סיבות.

1. התפלגות הגילאים בגרעין הרבייה נקבעה באופן מלאכותי על ידי מיון הדגים למיכלים.
 2. שעורי הגיוס ותמותת הפרטים ניתנים על ידי השוואה פשוטה בין מדידות עוקבות של אותו מיכל, ומבוקרים על ידי מעקב יומיומי וסילוק דגים מתים.
- הביצים שנדגמו בניסויים השונים הוטלו על גבי אבנים ("אבני הטלה") שאותן העברנו בתוך דלי מים ממכלי הדגים למיכלי הדגרה. מידת הדיוק בנתוני הגיל נקבעה על פי פרק הזמן המקסימאלי שעבר מהכנסת אבן ההטלה הראשונה למיכל ההדגרה ועד להכנסת האבן האחרונה. לפעמים הצטברו במיכל דגים שבקעו מביצים שהוטלו במהלך תקופה של 40 יום. לכן גיל הדגים התקבל בסופו של דבר בממוצע למיכל, ברמת דיוק של ± 20 יום.
- גיל הדגים במחקר הוגדר כאמצע התקופה שבין בקיעת הלווה הראשונה מהביצה (הופעת לרוות בגוף המים) ועד לבקיעת הלווה האחרונה (הוצאת אבן ההטלה האחרונה, ריקה, מהמיכל).

6.1.ב קביעת שיעור הגידול

על מנת לנצל את מרב הנתונים, וגם לשם השוואה קבעתי את שיעור גידול הדגים בשלושה אופנים:

1. מדידה ישירה, 2. בחינת היחס גודל-גיל, 3. מציאת הפרמטרים של עקומת Von Bertalanffy על סמך נתוני גודל וגיל.

המדידה הישירה הציבה בפנינו בעיה. השוואת הגודל מחייבת זיהוי פרטים. בעיה זו קשה במיוחד כאשר מדובר בלמעלה מ- 3,000 דגים קטנים ודומים. הפתרון שמצאנו היה השוואת ממוצעי הגודל של מיכלים שלמים, כשבכל מיכל דגים בני אותו הגיל (± 20 יום).

7.1.ב סטנדרטיזציה במדידות

על מנת לקבל תוצאות אמינות ולפשט את הניתוח הסטטיסטי: 1. נגביל את הדיון להשוואה בין מדידות שנעשו בתנאי טמפרטורה ופוטופריודה דומים ככל האפשר. 2. קבוצות הדגים שנסווה יהיו דומות מבחינת מספר הפרטים וגודל הדגים. 3. הדיון יוגבל לדגים שגודלם מספיק למדידת משקל ואורך. 4. הגידול בין המדידות יחושב לפי פרק זמן של שישה חודשים בין מדידה למדידה, זאת על מנת ליצור רצף בזמן לקביעת קצבי הגידול. להלן פירוט השיטות לקבלת סטנדרטיזציה במדידות:

1. **תנאי טמפרטורה** זהים באופן ממוצע. הניסוי העוסק בהשפעת הטמפרטורה (בסככת הגידול) התחיל ונגמר ללא מדידות ביניים של גודל הדגים. בפרק הזמן בין המדידות, הטמפרטורות השתנו בצורה כזו שכל מיכל קיבל בזמנים שונים את כל טווח הטמפרטורות, והטמפרטורה הממוצעת הייתה זהה בכל המיכלים. באותו אופן **הפוטופריודות** במבנה זהות באופן ממוצע. בשאר המקרים תנאי הטמפרטורה והפוטופריודה היו זהים לכל הדגים בגרעין הרבייה.
2. **בחירת נתונים להשוואה** – השוואה תיעשה בין המדידה השנייה למדידה השלישית בלבד. מדידות אלה דומות מאוד מבחינת מספר הדגים (+6%), טווח הגדלים זהה בשתי המדידות (45 – 74 מ"מ) וטווח הצפיפויות זהה בשתי המדידות (0.1 – 0.9 גרם דגים לליטר מים). בהשוואות בין גרעיני הנחלים נכללו רק דגים בקבוצות של "דגים קטנים" ו-"דגים בינוניים" (טווח אורכים של 45 עד 74 מ"מ). דגים אלה גילם נע מחצי שנה עד שנתיים וחצי. דגים גדולים יותר (75 מ"מ ומעלה) לא נכללו בהשוואה, משום שהתפלגות אורכיהם לא הייתה שווה בשני גרעיני הנחלים.
3. **קצב הגידול והגורם הגופני** – השוואת אורכי הדגים (לחישוב קצב הגידול) והשוואת ערכי אינדקס הגורם הגופני של הדגים נערכה בין עונות השנה ובין מקומות הגידול. בין עונות השנה נערכה ההשוואה רק עבור הדגים בסככת הגידול, ובין מקומות הגידול נערכה ההשוואה בתקופת החורף בלבד. הסיבה לכך היא שגודל הדגים במדידה הראשונה (בקיץ), בסככה, היה ברוב המקרים, קטן מדי לביצוע מדידת אורך.
4. **רווחי הזמן לחישוב קצבי גידול** – פרק הזמן שעבר בין המדידות (אביב, סתיו, אביב) היה 7.5 חודשים ± 10 ימים (משום שפרק הזמן שארכה המדידה היה 20 יום). בעת ובעונה אחת נמדדו דגים בגילאים שונים. על מנת לבחון גידול בזמן, ובתקופה של שנתיים לבחון 6 שנות גדילה, יצרתי רצף בין קבוצות הגיל על ידי תרגום (אקסטרפולציה מתמטית) מידת הגידול לתקופות של ששה חודשים.

8.1.ב מבחנים סטטיסטיים

הקשר בין אורך משקל וגיל הדג

מובהקות הקשר נבדקה בעזרת רגרסיה ליניארית ורגרסיית חזקה. נבדק הקשר בין תוספת המשקל להתארכות הדג. ההבדלים ביחס אורך-משקל נבחנו על ידי השוואת אינדקס הגורם הגופני היחסי (K_n).

השפעת תנאי ההתחלה על השינוי בערך אינדקס הגורם הגופני

בבחינת ההבדלים בקשר בין ערכי אינדקס הגורם הגופני של פולטון (K) ובין השינוי בערכים אלה, נוסף אורך הדגים כשונות משותפת (Covariant), לשם השוואת ערכים בין דגים שווי אורך בלבד. בוצעה השוואה בין **מתקני הגידול** (סככת הגידול כנגד המבנה), **עונות שנה** (קפיץ מול חורף), **גרעיני הרבייה** ("ירקון" מול "תות") ונבדק הקשר לצפיפות הדגים (ביומסה ליחידת נפח מים ומספר דגים ליחידת נפח מים). לשם כך השתמשתי ב- Three Way ANCOVA. ההבדלים בין חמישה אזורי **חשיפה לשמש** נבחנו על ידי מבחני One Way ANCOVA. נבדקו הקשרים בין השינוי בערכי אינדקס הגורם הגופני לאורך, משקל, גיל התחלתי וכן לערכו ההתחלתי של האינדקס.

השפעת הצפיפות על קצב הגידול

נתוני האורך, המשקל והגיל בממוצע למיכל הושוו לנתוני אותו מיכל כעבור תקופה של שבעה חודשים (לפני ארגון מחדש של אותו מיכל) במהלך הקפיץ ושוב לאחר שבעה חודשים במהלך החורף. נתוני הגידול נרשמו במילימטרים לשנה או באחוזים ממשקל הגוף ההתחלתי, ונבחנה השפעת צפיפות הדגים ההתחלתית על קצב הגידול. ההבדלים בקצב הגידול (התארכות ותוספת משקל) בין הקבוצות השונות לעיל נבחנו באופן דומה, כאשר הוספתי לניתוח את נתוני **הצפיפות** (ביומסה לנפח מים ומספר דגים לנפח מים) במיכלים כ- Covariates נוספים. נבחנה גם השפעת נתוני אורך, משקל וגיל התחלתיים על קצב הגידול של הדגים. על מנת לבקר את תהליך הסקת המסקנות, העברתי קו מגמה בגרף המתאר את התארכות הדג כתלות בגילו ההתחלתי. הנוסחה המתקבלת מקו מגמה זה שימשה לחישוב האורך הצפוי של הדג בהינתן גילו.

מציאת אינדקס הגורם גופני (K) המאפיין קבוצת דגים

במציאת ההבדלים ביחס משקל-אורך בין קבוצות דגים משתמשים בווריאציות על אינדקסים של גורם גופני. באופן ויזואלי – כאשר מעבירים קו רגרסיה ליניארית בגרף המתאר את משקל הדגים כתלות באורכם בשלישית ומאלצים מעבר דרך ראשית הצירים (אורכו של דג השוקל 0 גרם יהיה 0 מילימטר), שיפוע הקו הוא קבוע K האופייני לקבוצת הדגים. אין זה ממוצע רגיל של ערכי האינדקסים, אך השוואה ויזואלית של קווי רגרסיה אלה לקבוצות דגים שונות ממחישה את ההבדלים בערכי האינדקסים שלהם (הבדלים שנמצאו מובהקים במבחן t סטטיסטי על ערכי K של קבוצות דגים שונות).

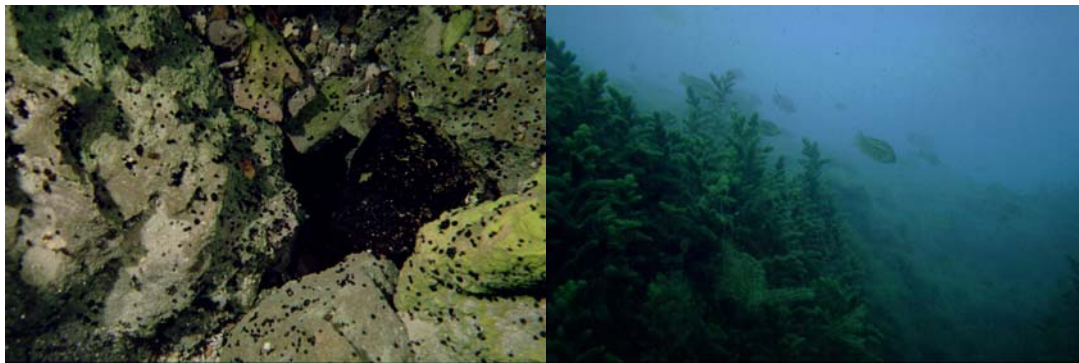
9.1.ב נתונים חסרים

המדידה הראשונה סיפקה נתוני משקל בלבד לדגי המבנה (ראה סעיף דגי הניסוי) נתונים אלה הצטרפו לנתונים ששמשו לקביעת קצב הגידול במשקל על ידי השוואה בין מדידות משקל הדגים בתקופות שונות.

את מידת ההתארכות בדגי המבנה בין המדידה הראשונה לשנייה אין אפשרות לקבוע ולכן גם לא את השינוי בערכי אינדקס הגורם הגופני (הדורשים נתוני משקל ואורך). הנתונים קיימים במלואם בתקופת החורף וכן לדגי הסככה בתקופת הקיץ. השוואות אורך ואינדקס הגורם הגופני בין עונות השנה יינתנו בסככה בלבד. לכן, השוואות אורך ואינדקס הגורם הגופני בין מקומות הגידול יינתנו בתקופת החורף בלבד.

2.ב מצעי הטלה

הדגים עושים שימוש בסוגי המצע העומדים לרשותם בבית הגידול. בתקופת המחקר, התחנה שבה נמצאה האוכלוסייה הגדולה ביותר של דגי לבנון הירקון הייתה מאגר המים הגדול בעינות תמסח. במאגר זה נביעת מים מליחים, ופרט לצמחיית גדות הכוללת שורשים של פטל קדוש, נמצא בו מגוון של מצעי הטלה פוטנציאליים [איור ב.1.2].



איור ב.1.2 מצעי הטלה פוטנציאליים בטבע (עינות תמסח) – מצד ימין צמחיית מים אופיינית מעל סדימנט רך, ומצד שמאל אזור נביעה סלעי ועליו שפע של חלזונות מהסוג שחריר (*Melanopsis sp.*)

בניסויים פרלימינאריים, במהלך 2001, בדקתי את העדפת הדגים, ואת הישרדות הביצים במצעי הטלה מחומרים שונים ומבנים גיאומטריים שונים.

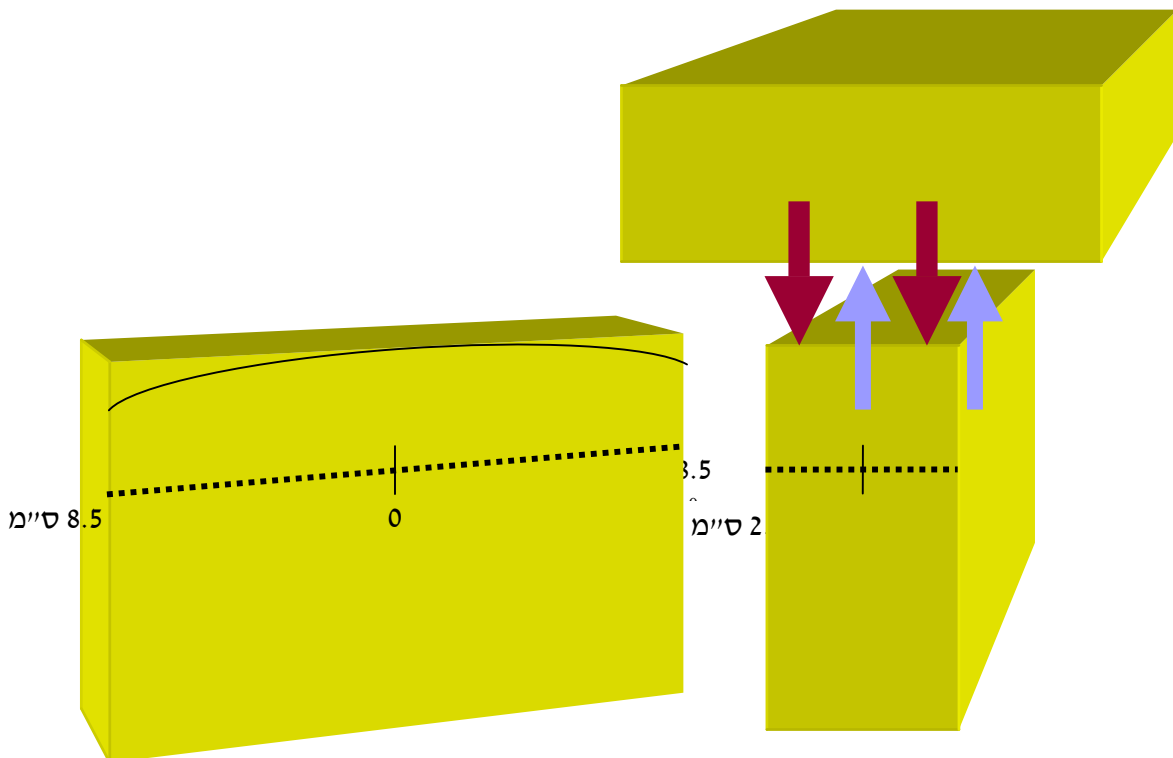
לאור מסקנות ניסויים אלה נבדקו, במחקר זה פרמטרים נוספים שכללו: חספוס המשטח, אוריינטציית המשטח ופרמטרים של חריצי הטלה – רוחב הסדק ועומק ההטלה בתוך הסדק.

רוחב הסדק – שיפוע משתנה בין שתי אבנים נותן רצף של מרווחים לאורך מרחק של 170 מילימטר (אורך האבן). ניסויים פרלימינאריים הראו שהשיפוע נוצר באופן מלאכותי על ידי הגבהת אחד הצדדים של האבן נותן רוחב סדק גדול מדי ברוב שטח הפנים של הסדק, והתטולה

מתרכזת רובה ככולה לאורך הפס הצר המתקבל מנקודת המפגש בין שתי האבנים. הנחת זוג אבנים זו על גבי זו יוצרת סדק טבעי בין האבנים. טטולה נמצאה על רוב שטח הפנים של סדקים אלה. תכונות הסדק נקבעות על ידי עקמומיות האבנים. כל נקודה על השטח שבין שתי האבנים מאופיינת ברוחב סדק, שהוא המרחק בין האבן העליונה לאבן התחתונה. מדידת העקמומיות של אבנים אלה אפשרה תרגום של מיקום הביצה על גבי האבן ביחס לנקודת המגע בין האבנים, לרוחב הסדק בנקודה שבא מוקמה הביצה.

רוחב הסדק נקבע על ידי השיפוע בין אבני הטלה

אבני "אקרשטיין" המונחות זו על גבי זו, דופן לבסיס שטוח רחב [איור ב.2.2].

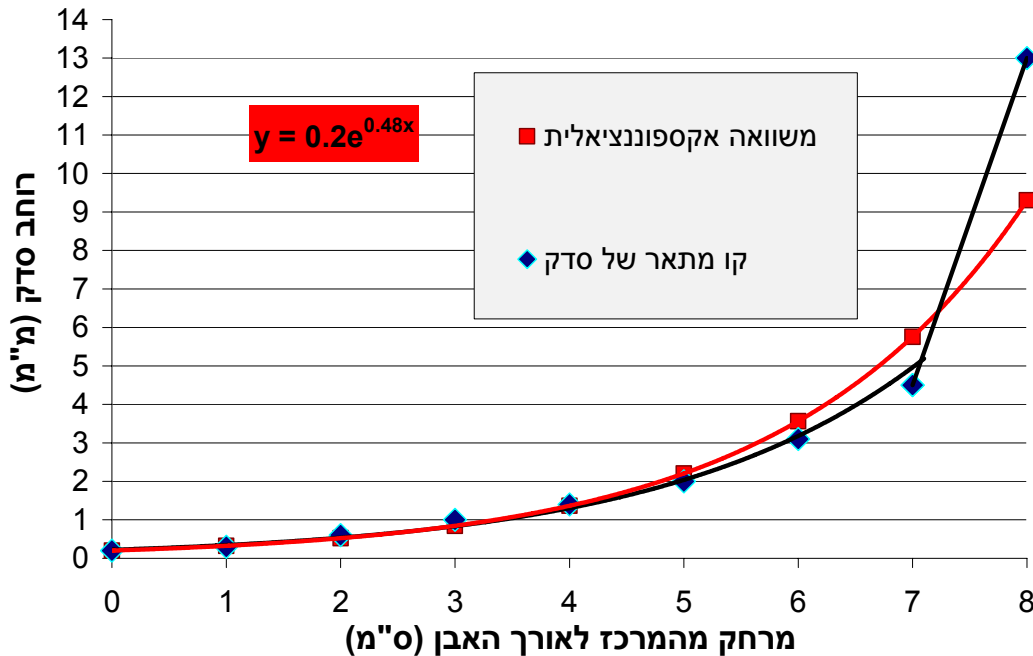


איור ב.2.2 מצע ההטלה הסטנדרטי – זוגות של אבני ריצוף מלבניות מסוג "אקרשטיין"

מונחות בצורת האות T, כאשר הבסיס החלק של האבן העליונה מונח על גבי דופן האבן התחתונה. רוב הביצים מוטלות בסדק בין שתי האבנים, כ- 80% מהן מודבקות לדופן המכוסה של האבן התחתונה – המיקום מסומן בחיצים עבים. כ- 20% מהביצים מודבקות לתקרת הסדק (לבסיס האבן העליונה) – המיקום מסומן בחיצים דקים. פחות מ- 1% מהביצים מוטלות במקומות אחרים על גבי האבנים. הסימון השחור מראה את הבסיס למיפוי הביצים על גבי אבני ההטלה. הנקודות המסומנות ב- 0 מציינות את ציר מרכז האבן. בתרשים בצד שמאל משורטטת באופן סכמטי, העקמומיות לאורך האבן. הציר המרכזי הוא האזור הסביר ביותר לנקודת המגע בין האבנים. עם ההתרחקות מציר זה גדל רוחב הסדק עד לרוחב מקסימאלי של 11 מ"מ (במרחק 7 ס"מ מהציר רוחב הסדק הוא 4.5 מ"מ) לפי הנוסחה המקורבת $y = 0.2 \cdot e^{0.5 \cdot x}$ כאשר x הוא רוחב הסדק ו-y המרחק מציר האורך של האבן. לעומת זאת, עם ההתרחקות מהציר המרכזי בתרשים בצד ימין לא יהיה שינוי ברוחב הסדק.

המרווח בין שתי האבנים נבדק על ידי העתק תוואי האבנים על גבי נייר מילימטרי. על סמך תרשים זה נקבעו ערכי רוחב סדק לכל נקודה לאורך האבן, קו גרסיה העובר דרך נקודות אלה

נותן ביטוי לרוחב הסדק כפונקציה של המרחק ממרכז האבן (נקודת המפגש הממוצעת בין האבנים) על ציר האורך של האבן. המשוואה האקספוננציאלית נמצאה המתאימה ביותר לתיאור צורת האבן מבין סוגים שונים של קווי רגרסיה שהותאמו לנקודות אלה. משוואה זו נתנה מידת התאמה $R^2 = 0.99$ כאשר מספר הנקודות שנבדקו לאורך האבן היה 8 [איור ב.3.2].



איור ב.3.2 רוחב הסדק כפונקציה של המרחק ממרכז האבן – תרגום המרחק מהמרכז לאורך האבן הטלה לרוחב סדק. המשוואה האקספוננציאלית, קו עליון, נותנת ביטוי מתמטי מקורב ליחס מרחק מהמרכז-רוחב סדק. קו המתאר של הסדק קו תחתון, מתייחס לשולי האבן בנפרד.

1.2.ב ספירת ביצים ומדידת קצב התפתחות

ספירת הביצים התבצעה בפרק זמן של חמש דקות לכל היותר שבו נמצאה אבן הטלה מחוץ למים. לאחר מכן הוכנסו האבנים למיכלי זכוכית קטנים לשם הדגרה. ביצי לבנון הירקון מוטלות שקופות. לאחר פרק זמן, כאשר ההתפתחות תקינה, ניתן לזהות תנועה בתוך הביצה ולהבחין בעין שחורה מבעד לקליפה. לפי קצב התפתחותו של העובר, שלבי התפתחות שונים יראו לאחר פרק זמן זהה. חלק מהביצים מפסיקות להתפתח. וניתן לראות עליהן שלבים שונים של התפתחות פטריות בצורת כתם לבן.

הביצים נספרו לפי מאפיינים ההתפתחות הבאים :

1. ביצה שקופה
 2. ביצה לבנה או לבנה חלקית (נגועה בפטרייה)
 3. ביצים שנראות ספוגות (שארית של ביצה שקופה)
 4. עין ניכרת מבעד לקליפה (ניתן לראות תנועה של לרווה בתוך הביצה) [איור ב.4.2]
 5. ביצים מעוכות (שארית של ביצה לבנה)
- ביצים בעלות מאפיינים 1,2 נחשבו ביצים ויטליות במחקר זה.



איור ב.4.2 למעלה עובר לבנון הירקון יומיים לפני הבקיעה מן הביצה, למטה לרווה מיד לאחר הבקיעה (צילום אלדד אלרון).

ביצים בנות יום הן ביצים שהוטלו במהלך היממה האחרונה. רק ביצים כאלה השתתפו בניסוי. הביצים שנמצאו ביום ראשון היו בנות יום עד שלושה ימים (ולאחר הפסקה אף יותר). ביצים אלה לא השתתפו בניסוי אך נספרו לשם השוואה, ולשם חישוב קצב התפתחות הביצים. במקרים בהם הוצגה עוצמת ההטלה בביצים בנות יום, בסמוך להצגת עוצמת ההטלה בביצים שנאספו ביום א' (ביצים שעברו סוף שבוע או שלושה ימים ללא בדיקה) הנחתי שמספר הביצים המוטלות על האבן ביום השני והשלישי אינו מושפע ממספר הביצים שהוטלו ביום הקודם על אותה אבן, לכן ממוצע הגיל של הביצים הוא יומיים וניתן לחלק את מספר הביצים ל- 2 ולדבר על ביצים בנות יום.

2.2.ב מערכת מיכלי ההדגרה

מערכת של 55 מיכלי זכוכית בעלי נפח מים ממוצע של 40 ליטר שימשו להדגרת הביצים בצמוד למערכות ה- "דולבים", הן בסככה והן במבנה. מיכלים אלה נוקו (ללא שימוש בדטרגנטים), מולאו במי ברז וחוטאו בעזרת "מטילן בלו". כל מיכל צויד בגוף חימום בעל תרמוסטט, מד טמפרטורה ואבן אוורור שהתחברה למערכת האוויר. לאחר תקופה של 24 שעות ניתן היה להכניס למיכל אבנים שעליהן הוטלו ביצים. לאחר בקיעת הביצים ניתן ללרוות אוכל נזולי (liquid small fry), בשבועיים הראשונים טיפה לכל 20 לרוות 5 פעמים בשבוע, ובשלושת השבועות הבאים – שתי טיפות.

3.2.ב איסוף ביצים להדגרה ונוהל העבודה עם מצעי הטלה

איסוף הביצים התבצע בין תקופות הניסוי ובתקופת הניסוי לביצים בנות יום, כאשר מספר הביצים הויטליות שהוטלו על האבן היה גדול מ-25. ביצים אלה שימשו לניסויי בקיעה, הישרדות ועונתיות בגיוס של פרטים חדשים.

לאחר ספירת הביצים שהוטלו על גבי אבן ההטלה נלקחו חלק מהאבנים להדגרה והוכנסו אבנים נקיות במקומן. יתר האבנים נוקו מאצות במידת הצורך והוחזרו למיכל שממנו נלקחו בצורה כזו שהסדק בין האבנים נקי מביצים, הצד שעליו הוטלו הביצים חשוף לטריפה ופונה לכיוון המעבר שבין הדולבים. אבנים מכוסות אצות נוקו בעזרת מברשת פלדה ומים.

לכאורה, באופן כזה אין מעקב אחר ביצים המוטלות על אותה הדופן שעליה הוטלו הביצים ביום הקודם, אולם בפועל שיטה זו נבחרה מכיוון שרובן המכריע של הביצים החשופות היו נעלמות במהלך הלילה. רק במקרים בודדים התגלו הטלות על דופן חשופה, ורק כשהדופן זו הייתה הדופן שעליה הוטלו הביצים ביום הקודם לא ניתן היה לקבוע האם אלה ביצים בנות יום או בנות יומיים.

4.2.ב קניבלזם (טריפה של ביצים) – אבני ההטלה שלא נלקחו להדגרה הוחזרו למקומן לאחר ספירת הביצים והונחו במהופך. בצורה זו הדופן שעליה הוטלו הביצים (שהייתה מכוסה על ידי האבן השנייה) נשארה חשופה לטריפה על ידי דגים. ספירת הביצים שנותרו על דופן זו היא מדד למינימום שיעור טריפת הביצים. יתכן ששיעור טריפת הביצים האמיתי גבוהה יותר ממדד זה מאחר שמספר הביצים שהוטלו באותו לילה על הדופן החשופה (ונטרפו) אינו ידוע.²

5.2.ב מיפוי ביצים על גבי אבני הטלה

בנוסף לספירת ביצים ע"פ מאפייני התפתחות, בניסויים מסוימים התבצע מיפוי ביצים על גבי אבני הטלה. למעשה התבצעו שלושה סוגים של מיפוי: 1. מיפוי סדק – בניסוי העדפת רוחב סדק

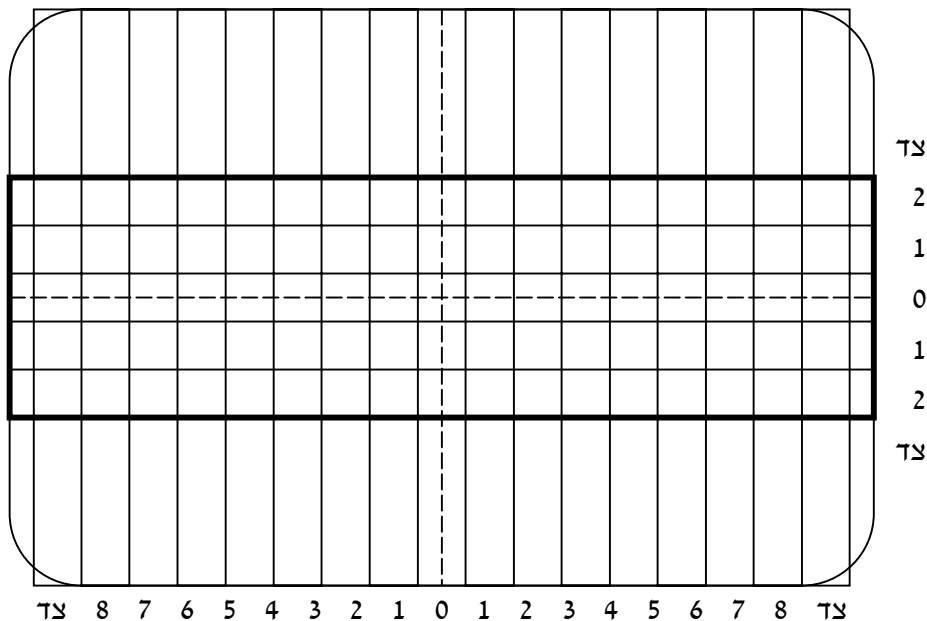
² במיכלי הדגרה (ללא דגים), ביצים חשופות נשארו במקומן מספר ימים ובמקרים אחדים נרשמה בקיעה של 100% של הביצים.

להטלה, 2. מיפוי אוריינטציית ההטלה – בניסוי לבחינת השפעת אוריינטציית הסדק וחספוס המצע על עוצמת ההטלה, 3. מיפוי הטלה בזרם – בניסוי השפעת משטר הזרימה על הרבייה (סעיף ב.5).

במיפוי הסדק מספר הביצים נירשם כתלות במרחק ממרכז האבן, פעם לאורך האבן ופעם לרוחב האבן כביקורת. פיסת ניילון שקופה ועליה רשת עם סימוני שנתות [איור ב.5.2] שימשה למיפוי הביצים על גבי אבני ההטלה. הביצים בניסוי זה נספרו פעמיים לכל אבן הטלה עליונה ותחתונה. בפעם הראשונה נספרו הביצים בטבלה על פי מרחקן מציר האורך של האבן (נסכמו כלל הביצים בשתי רצועות ברוחב סנטימטר משני צידי הציר בכל מרחק 0 עד 8 ס"מ ± 0.5 ס"מ). בפעם השנייה נספרו הביצים, באותו אופן, בטבלה על פי מרחקן מציר הרוחב של האבן.

מיפוי זה בוצע עבור ביצים ויטליות ועבור יתר הביצים. המיפוי צריך להיעשות בזמן קצר ככל האפשר. שיטת מיפוי זו קשה ומועדת לטעויות. הספירה השנייה (לרוחב האבן) שמשה ביקורת לספירה הראשונה (המספר הכולל של הביצים צריך להיות זהה בשתי הספירות). המיפוי לרוחב שימש קבוצת ביקורת בניסוי, ואיפשר הבחנה בין השפעת רוחב הסדק להשפעת עומק הסדק על עוצמת ההטלה, וכן זיהוי תופעות ממסכות כגון הטלה כתמית (מקבצי ביצים).

במיפוי ביצים התלוי ברוחב סדק אחד הגורמים שיש לקחת בחשבון הוא קוטר הביצה. גודל זה, למרות גמישות הביצה, מהווה גורם מגביל לרוחב הסדק המינימאלי האפשרי להטלה. עם זאת, אין הדבר מחייב שביצה בקוטר 1 מ"מ לא תמצא כלל ברוחב סדק קטן מ-1 מ"מ, משום שרוחב הסדק נמדד בממוצע, וחספוס האבן מכיל לעתים שקעים בקוטר דומה לקוטר הביצה.



איור ב.5.2 מיפוי זוג אבני הטלה לאורך ולרוחב – המלבן הצר המודגש משמש למיפוי דופן האבן התחתונה. והתרשים כולו משמש למיפוי בסיס האבן העליונה. הציר האופקי למטה מציין את מרחק הביצה בסנטימטרים מציר האורך (ברמת דיוק ± 0.5 ס"מ). נרשמות גם ביצים שהוטלו בצד באבן (על הדופן). הציר האנכי מצד ימין מציין, באותו אופן, את מרחק הביצה מציר הרוחב. פיזור הביצים לרוחב האבן משמש ניסוי ביקורת לפיזורם לאורך האבן.

מיפוי לפי מאפייני מיקום מיוחדים – ביצים בכל אחד ממאפייני ההתפתחות נספרו פעם שנייה אם הראו מאפיינים מיוחדים של מיקום ואוריינטציה. מספר ביצים אלה נרשם ליד המספר הכללי של הביצים בעלי אותו מאפיין התפתחות, כשסימון מיוחד ציין את מיקומם או האוריינטציה שלהם. סה"כ נבחנו 4 מאפיינים.

1. ביצים הנמצאות בערמה.
2. ביצים צמודות דופן.
3. ביצים צמודות תקרה.
4. ביצים צמודות למצע אופקי.

מיפוי לפי אוריינטציית ההטלה – אבני הטלה הונחו צמודות, זו על גבי זו או זו לצד זו, ונבדקה עוצמת ההטלה ומאפייניה על כל אחת מפאות האבנים. במקרה זה מופו הביצים על פי אזור מיקומן על גבי פאות האבנים היוצרות ביניהן את הסדק. המיפוי נעשה לאזורים הבאים: מרכז הפאה (האזור מנקודת המרכז עד למחצית הדרך לכל אחד מהצדדים), צד הפאה (האזור מסביב למרכז ללא שולי האבן), שולי האבן (האזור המשופע סביב לפאה, כולל את מסגרת האבן) ודפנות האבן (כל האזור מחוץ לסדק) [איור ב.6.2].

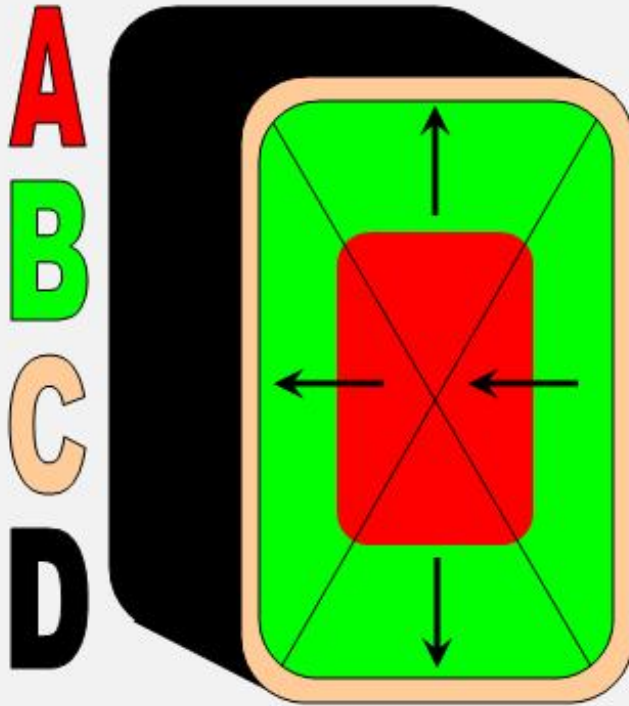
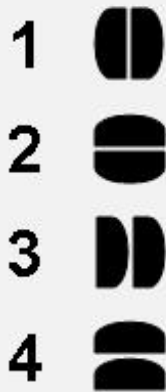
6.2.2 מהלך הניסוי

לאחר כל מדידה ומיון דגים ניתנה לדגים תקופת הסתגלות של שבועיים לפני התחלת ניסוי העדפת המצע להטלה. מערכת הניסוי טופלה על בסיס יומי. מזון יבש ניתן לדגים חמש פעמים בשבוע וחלבונים (זחלי ימשושים) ניתנו כתוספת פעמיים בשבוע. כמויות המזון לכל האכלה נקבעו כ- 1% מביומסת הדגים. כמות זו נקבעה באופן אמפירי, בניסויים פרלימינאריים, ככמות המזון המקסימאלית הנאכלת במלואה על ידי הדגים בפרק זמן של 10 דקות. כמות מזון גדולה מזו יצרה משקעים, העכירה את המים ויצרה סתימות תכופות (יותר מאחת לשבוע) במערכת הסינון.

אבני הטלה הונחו לפי צרכי הניסוי (גם בתקופת ההסתגלות) והטלות נבדקו על בסיס יומי (חמש פעמים בשבוע, בימי ראשון עד חמישי). אבני הטלה פוזרו בדגם סדור ואחיד על קרקעית הדולבים, תוך שמירה על מרחק של 10 ס"מ לפחות מקיר הדולב.

ניסוי השפעת רוחב הסדק על עוצמת ההטלה – הניסוי התבצע בסככה במשך ארבעה שבועות (בין התאריכים 26.5.02 ו- 6.6.02). לפני תחילת הניסוי לא נדרשה תקופת הסתגלות שכן הניסוי היה המשך לניסויים שבהם התנאים וצורת הבדיקה היו זהים. בכל מיכל הוצבו 2 זוגות של אבני הטלה והתבצעו 16 חזרות בלתי תלויות בהם נבדקו ביצים בנות יום, וכן 4 חזרות בלתי תלויות בהן נבדקו ביצים בנות יום אחד עד שלושה ימים (יום א, לאחר סוף שבוע ללא טיפול). הניסוי נערך ב- 9 מיכלים של דגי גרעין "ירקון", שהיו מחולקים ל- 3 קבוצות האורך (3 מיכלים מכל קבוצה) ובשלוש טמפרטורות שונות (20, 24 ו- 28 מעלות צלזיוס, לכל קבוצת אורך) ובמקביל ב- 3 מיכלים של דגי גרעין "תות" באותן קבוצות אורך.

תרשימים



איור 6.2.ב בצד ימין: תרשימים סכמתי של אבן ריצוף מסוג "אקרשטיין", ששימשה כמצע להטלה בניסוי לבחינת השפעת אוריינטציית הסדק וחספוס המצע על עוצמת ההטלה. מצד ימין מיפוי האזור שעליו הוטלו הביצים. האות A מציינת את האזור המרכזי (רבע משטח בסיס האבן). האות B מציינת את שטח הבסיס הנותר ללא השוליים המעוגלים. האות C מציינת את שטח השוליים המעוגלים, והאות D מציינת את דפנות האבן. החצים מציינים את אזור ההטלה במצעי הטלה אנכיים. חץ כלפי מטה מציין הטלה בחלק התחתון של בסיס האבן, וכי החלוקה על ידי האלכסונים משמשת לתיאור מיקום ההטלה על בסיס האבן כאשר אין הבדל בין צדי בסיס האבן (שני הצדדים מסומנים בחץ הצדה). בצד שמאל: שתי אוריינטציות של סדקי הטלה (אנכי 1 ו-3, אופקי 2 ו-4), 1 ו-2 הם סדקים בין בסיסים חלקים, 3 ו-4 הם סדקים בין בסיס חלק למחוספס.

בכל חזרה התבצע מיפוי לשני זוגות אבני ההטלה יחד (ראה סעיף 2.2.ב). מיפוי נפרד התבצע לביצים ויטליות ולביצים נגועות בפטריה (ראה סעיף 1.2.ב).
לאחר כל חזרה חלק מהאבנים נלקחו להדגרה ובוצע נוהל העבודה עם מצעי הטלה (ראה סעיף 3.3).

ניסוי השפעת אוריינטציית הסדק על עוצמת ההטלה – בניסוי זה פוזרו במיכל זוגות צמודים של אבני הטלה, אופקיים ואנכיים. העדפת הדגים נמדדה על ידי ספירה ומיפוי הביצים בסדקים השונים.

ביצים שהוטלו מחוץ לסדקים (חשופות לטריפה) נספרו אף הן.
הניסוי התבצע בסככה במשך שבועיים שבועות (בין התאריכים 10.6.02 ו-18.7.02) לא נדרשה תקופת הסתגלות שכן הניסוי היה המשך לניסויים שבהם התנאים וצורת הבדיקה היו זהים. בכל

מיכל הוצבו 4 זוגות של אבני הטלה והתבצעו 8 חזרות בלתי תלויות בהם נבדקו ביצים בנות יום, בימי א התבצעה החלפת אבנים בלבד.

נבחנו אוריינטציות אופקיות [תרחישים 2, 4 איור ב.3.2] ואנכיות [תרחישים 1, 3 איור ב.3.2] של סדקי הטלה בשני אופנים, כאשר הדפנות הישרות פונות אחת כלפי השנייה וכאשר דופן מחוספסת פונה לדופן ישרה.

הניסוי נערך בסככה ב- 9 מיכלים של גרעין "ירקון" ו- 3 מיכלים של גרעין "תות" בתנאי הניסוי של השפעת רוחב הסדק על עוצמת ההטלה.

בכל חזרה התבצע מיפוי לשני זוגות אבני הטלה יחד (ראה סעיף ב.2.2). מיפוי נפרד התבצע לביצים ויטליות ולביצים נגועות בפטריה (ראה סעיף ב.1.2).

לאחר כל חזרה חלק מהאבנים נלקחו להדגרה ובוצע נוהל העבודה עם מצעי הטלה (ראה סעיף ב.3.3).

ניסוי השפעת זמינות מצע הטלה על עוצמת ההטלה – 1 עד 3 זוגות של אבני הטלה מרובעות (שטח המגע בין זוגות האבנים 5 x 11 סמ"ר). הונחו במיכלים.

הניסוי התבצע בסככה במשך 24 שבועות (בין התאריכים 20.1.02 ו- 4.7.02) לאחר תקופת הסתגלות של 10 ימים. חזרה כללה את סך כל הביצים שנצפו במשך שבוע ימים (5 תצפיות). על מנת לא להגביל את כלליות התוצאות, הניסוי נערך ב- 9 מיכלים של דגי גרעין "ירקון", שהיו מחולקים ל- 3 קבוצות האורך (3 מיכלים מכל קבוצה). למעשה התבצע ניסוי נפרד לכל קבוצת אורך. מיכל של דגי גרעין "תות" באותה קבוצת אורך עם 2 זוגות של אבני הטלה שימש קבוצת הביקורת לכל ניסוי.

התבצעה ספירת ביצים (ראה סעיף ב.1.2), ועוצמת ההטלה נמדדה כתלות במספר זוגות אבני הטלה במיכל.

לאחר כל חזרה חלק מהאבנים נלקחו להדגרה ובוצע נוהל העבודה עם מצעי הטלה (ראה סעיף ב.3.3).

3.2 השפעת הטמפרטורה על הרבייה

1.3.2 בקיעה והישרדות

ניסוי השפעת הטמפרטורה על בקיעת הביצים ועל הישרדות החרות היה כדלהלן: אבני הטלה ועליהן 100 ביצים ויטליות (עודפי הביצים נוקו מן האבן בזהירות) הוכנסו למיכלי הדגרה בעלי אותו נפח בטמפרטורות מים שונות (18°C עד 28°C). טמפרטורת המים בכל מיכל הדגרה הייתה דומה לטמפרטורת המים במיכל ממנו נלקחו אבני הטלה. לכל מיכל נרשמו טמפרטורת המים, תאריך הכנסת הביצים, התאריך שבו הופיעה החרות הראשונה במי המיכל, התאריך שבו לא נותרו ביצים על גבי אבני הטלה, ומספר הדגיגים ששרדו חודש ימים מרגע ההטלה.

בניסוי נוסף שנערך מאוחר יותר נבדקה השפעת צפיפות הביצים על הבקיעה וההישרדות, בניסוי זה טמפרטורת המים במיכלי הדגרה הייתה $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, מספר אבני הטלה ומספר הביצים

על גבי אבני ההטלה השתנה ממיכל הדגרה אחד למשנהו. צפיפות הביצים במיכלי ההדגרה נעה מביצה אחת לליטר מים ועד לכ- 100 ביצים לליטר מים (כ- 3000 ביצים למיכל הדגרה).

2.3.3 ספירת דגים ולרוות, גיוס ותמותה.

חודש לאחר הכנסת הביצים למיכלי ההדגרה הועברו הלרוות לדולבים יעודיים לשם גידול. ספירת הלרוות נעשתה בעזרת רשת קטנה וצפופה שצבעה לבן. בכל פעם הועלתה הרשת באופן חלקי, כאשר קבוצה של כ- 10 לרוות שוחה במים בתוכה. אם היו די מים בתוך הרשת, הלרוות היו רגועות וניתן היה לספור אותן, לפני העברתן לדולב. דגים מתים נמדדו ונרשמו. במדידות חוזרת של הדגים בדולבים לא נמצאו הבדלים משמעותיים בין מספר הדגים במדידה למספר הדגים המשוער (מספר דגים התחלתי פחות מספר הדגים שנמצאו מתים). במדידות החוזרות נמצאו מספר דגים קטנים מגודל הדג המינימאלי במדידה הראשונה. דגים אלה בקעו מביצים חשופות שהוטלו בחלקם מחוץ למצע ההטלה. דגים אלה מהווים אינדיקציה לגיוס בהעדר מצעי הטלה מוגנים.

3.3.3 מבנה מערכת הניסוי

הניסוי נערך בסככה וכלל 800 דגים – 9 מיכלים מגרעין "ירקון" ו- 4 מיכלים מגרעין "תות" (כ- 30% מהדגים שהיו ברשותנו בזמן הניסוי). 87.5% מדגים אלה נולדו בגן הזואולוגי. מיכלי גרעין "תות" כללו את שלושת קבוצות האורך - "דגים קטנים" (45-59 מ"מ), "דגים בינוניים" (60-74 מ"מ) ו- "דגים גדולים" (75-89 מ"מ), בתוספת קבוצת דגים "גדולים מאוד" (90-104 מ"מ), וכל המיכלים היו בקבוצת צפיפות ביומסה 0.3 גרם לליטר. מיכלי גרעין "ירקון" שמשו כקבוצת הניסוי והם כללו את שלושת קבוצות האורך (דגים קטנים, בינוניים וגדולים). המערכת כללה עוד שישה מיכלים ששימשו לגיבוי ולגידול, וארבעה מיכלים בקיבולת של 100 ליטר, לדגים לאחר מדידה שטרם התפנה להם מיכל מתאים.

4.3.3 קבוצות טמפרטורה

עוצמת ההטלה נבדקה בשש טמפרטורות מים שונות, בשני ניסויים עוקבים. בניסוי הראשון בטמפרטורות מים 18°C, 22°C ו- 26°C ובניסוי השני בטמפרטורות מים 20°C, 24°C ו- 28°C. לשם פשטות הדיון נקרא למים בטמפרטורות 18°C ו- 20°C מים קרים, למים בטמפרטורות 22°C ו- 24°C מים פושרים ולמים בטמפרטורות 26°C ו- 28°C מים חמים. הטמפרטורה במיכלים נשמרה, ברמת דיוק של ±1°C, על ידי גופי חימום, בעלי תרמוסטט פנימי, בהספק של 2W לליטר מים. קבוצת הביקורת לא חוממה. הדגים בקבוצת הניסוי חולקו למיכלים לפי קבוצות האורך כשכל קבוצת אורך כללה שלושה דולבים שחוממו לטמפרטורות שונות. טמפרטורות אלה התחלפו ביניהן לאחר כל חזרה. סדר החלפת הטמפרטורות השתנה באופן הבא: בסט הראשון של החזרות היה חימום הדרגתי וקירור מהיר (מים קרים הפכו למים פושרים, מים פושרים הפכו למים חמים, ומים חמים הפכו למים קרים). בסט השני היה קירור הדרגתי וחימום מהיר (מים חמים הפכו למים פושרים, מים

פושרים הפכו למים קרים, ומים קרים הפכו למים חמים). תהליך זה חוזר על עצמו 6 פעמים בכל ניסוי.

5.3.3 מעקב טמפרטורה

כל מערכות הניסויי כללו ניטור טמפרטורות מים יומי הכולל טמפרטורת מקסימום ומינימום למיכל. במקביל נמדדה טמפרטורת האוויר מחוץ למיכלים. כמו כן התקבלו נתוני טמפרטורה מפורטים מהתחנה המטאורולוגית שעל גג בניין "קפלון" באוניברסיטת תל-אביב. נתונים אלה התקבלו אחת לחצי שעה.

6.3.3 מהלך הניסוי

כל אחד מן הניסויים ארך 9 שבועות. החלפת הטמפרטורות בין המיכלים התבצעה פעם בשלושה שבועות. עשרת הימים הראשונים לאחר שינוי הטמפרטורות שימשו תקופת התרגלות. בתקופה זו נבדקו מצעי ההטלה לשם אחידות הטיפול, אך נתוני הביצים לא נכללו בניתוח התוצאות.

4.2 השפעת הפוטופריודה (Photoperiod) על הרבייה

1.4.2 קבוצות ביומסה

המשתנה התלוי העיקרי ששימש במחקר זה הוא מספר ביצים בנות יום שהתגלו על גבי אבני ההטלה. משתנה זה הוא מדד לעוצמת ההטלה. על מנת שמדד זה לא יהיה מוטה החלטתי לחלק את הדגים לקבוצות לפי ביומסת דגים לנפח מים (ולא לפי מספר דגים לנפח מים). להלן ההיגיון שבחלוקה זו.

בקרפיונאים נמצא שפוריות הגונדות עולה באופן ליניארי עם מסת הגוף (Gaigher, 1984), וממחקרו של אלרון (2000) על לבנון הירקון נובע כי:

1. הביצים של דגי לבנון הירקון הן בעלות גודל שאינו תלוי במשקל הדג או בגיל הדג.

2. משקל הגונדות בדגי הלבנון עומד ביחס ישר למשקל הדג.

משתי מסקנות אלה אפשר להניח שמספר הביצים בלבנון ירקון בוגר מינית עומדות ביחס ישר למשקל הדג. על מנת לבדוק הבדלים בגודל התטולה בין דגים בוגרים מינית באורכים שונים יש לחלק את הדגים לקבוצות בעלות מסת דגים שווה. לקבוצות כאלה יש לתת את אותה כמות מזון ליום ולשמור על נפח מים ועל טמפרטורה זהה.

גודל ביצי הדגים נשאר קבוע עם הגיל ולפיכך ניתן לבטא פוריות (F) כפונקציה של האורך, באופן דומה למשקל $F = aL^b$ (Wootton, 1992).

בהעדר דימורפיזם זוויגי אין באפשרותנו לקבוע את זוויג הדג ללא ניתוח, קבוצת הביומסה הקטנה ביותר נקבעה כך שבקבוצת "הדגים הגדולים" יהיו לפחות 6 דגים כדי להבטיח המצאות נקבות. יחס הזוויגים בדגי לבנון הירקון בטבע אינו ידוע ובהעדר ממצאים סותרים, אם נניח יחס

זוויגים 1:1 זכרים לנקבות אזי ההסתברות לקבל נקבה כבר בדג הראשון היא $\frac{1}{2}$. ההסתברות לקבל נקבה אחת לפחות מתוך n דגים היא ההסתברות לא לקבל רק זכרים, לפי הנוסחה:

$$P(n) = 1 - \left(1 - \frac{1}{2}\right)^n = 1 - 2^{-n}$$

$p(n)$ – ההסתברות לקבל נקבה אחת לפחות מתוך n דגים.

על פי נוסחה זו על מנת להבטיח המצאות נקבה בהסתברות של 95% יש לקחת מספר (n) של דגים

$$\text{כך ש- } 2^{-n} = 0.05 = 20^{-1} \text{ כלומר יש לקחת 5 דגים } (n = \frac{\log 20}{\log 2} \cong 4.3)$$

בפועל הקבוצה הקטנה ביותר מנתה 7 דגים ($p(7) = 0.99219$) והקבוצה השנייה בגודלה מנתה 15 דגים ($p(15) = 0.99997$). הקבוצה הקטנה ביותר בניסוי השפעת הטמפרטורה על עוצמת ההטלה מנתה 18 דגים. ההסתברות שבקבוצה זו לא תהיה אף נקבה ביחס זכרים-נקבות לעיל היא 4 למיליון.

חמישה "דגים גדולים" בחישוב של 10 גרם לדג (המשקל המקסימאלי שנמדד לדג בקבוצה זו) ישקלו יחד 50 גרם. לכן קבוצת הביומסה הקטנה ביותר הייתה 50 גרם דגים המיכל 500 ליטר מים) או 0.1 גרם דגים לליטר. (בדיעבד בחירה זו הוכיחה את עצמה, ובכל המיכלים נמצאו ביצים מופרות)

הדגים נחלקו לחמש קבוצות ביומסה כך שהקבוצה הצפופה ביותר הייתה צפופה פי 9 מהקבוצה הכי פחות צפופה (כמעט בסדר גודל מהראשונה). החלטה זו נבעה ממספר המיכלים ומספר הדגים המוגבל שעמדו לרשותנו. מסיבה זו בניסוי הראשון היו רק שלוש קבוצות ביומסה, ובניסוי השני, לאחר שהדגים שבקעו בעונה הקודמת הגיעו לגודל מספיק, הגענו לחמש קבוצות ביומסה.

ההבדל בין קבוצה לקבוצה היה 100 גרם כדי לאפשר, במגבלות הניסוי, טווח צפיפויות גדול ככל האפשר. וקבוצות הביומסה שהתקבלו היו 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 ו-0.9 גרם דגים לליטר מים. לאחר ניסוי השפעת הטמפרטורה על עוצמת ההטלה, הדגים במבנה ודגי גרעין "ירקון" בסככה היו מחולקים לקבוצות ביומסה. **השפעת צפיפות הדגים על עוצמת ההטלה** נבדקה בסככה ובמבנה כאחד.

את צפיפות הדגים ניתן לבטא בשני אופנים – מספר דגים לליטר מים או ביומסת דגים לליטר מים. קבוצות דגים שוות ביומסה, בניסוי זה, נבדלו זו מזו במספר הדגים, בהתאם לקבוצת הגודל שממנה הורכבה הקבוצה. לדוגמה: קבוצת ביומסה של 0.3 גרם לליטר או 150 גרם דגים למיכל (כל המיכלים הכילו 500 ליטר מים). אם בקבוצה זו היו דגים קטנים (45-59 מ"מ) מספר הדגים בה היה בסביבות 100. אם היו בה דגים גדולים (75-89 מ"מ) מספר הדגים היה בסביבות 25.

בניסוי נכללו 5 קבוצות צפיפות ביומסה ומספר רב של קבוצות צפיפות מבחינת מספר הפרטים. מבנה מערכת הניסוי שנערך בסככה היה זהה למבנה מערכת הניסוי של השפעת טמפרטורת המים על עוצמת ההטלה, אך טמפרטורת המים הייתה זהה ($21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) ובכל קבוצת אורך ב-9 המיכלים של גרעין "ירקון" היה מיכל אחד מכל אחת מקבוצות הביומסה 0.1, 0.3, 0.5 גרם

לליטר. מיכלי גרעין "תות" נותרו ללא שינוי (המים לא חוממו אך טמפרטורת המים הייתה 1°C $\pm 21^{\circ}\text{C}$, וכל הדגים היו בצפיפות ביומסה של 0.3 גרם לליטר).
הניסוי במבנה נערך במקביל לניסוי השפעת הפוטופריודה על עוצמת ההטלה, ובאותה מערכת. מבנה המערכת מפורט להלן. מהלך הניסוי זהה אף הוא למהלך הניסוי להלן.

2.4.ב מבנה מערכת הניסוי

הניסוי נערך במבנה וכלל 8 מיכלים ("דולבים"), בנפח של 500 ליטר, מכל גרעין רבייה (כ- 1400 דגים מכל גרעין). כל הדגים שהשתתפו בניסוי נולדו בגן הזואולוגי. הניסוי כלל "דגים קטנים" בלבד (קבוצת אורך 45-59 מ"מ), בחמש קבוצות צפיפות ביומסה. קבוצות הביומסה 0.1, 0.5 ו- 0.9 גרם לליטר הופיעו פעמיים בכל גרעין. בכל המיכלים היו 2 זוגות של אבני הטלה. המערכת כללה עוד שני מיכלים ששימשו לגידול דגים, ושישה מיכלי מיון (זמניים) בקיבולת של 100 ליטר, לדגים לאחר מדידה שטרם התפנה להם מיכל מתאים.
שישה חודשים לפני תחילת הניסוי כוסה המבנה כולו ביריעת ניילון עבה – לבנה בצידה החיצוני ושחורה בצידה הפנימי. מיכלי הניסוי סודרו בתוך המבנה ב- 3 שורות (בנות 5 ו- 6 דולבים). בין שורות אלה נתלו יריעות ניילון מתקרת המבנה עד לרצפה. בצורה זו נוצרו 3 חללים אטומים לאור. יש לציין שדרך חלונות המבנה הייתה זרימה של אוויר וטמפרטורת החדר לא השתנתה באופן ניכר לאחר הצבת הניסוי.
2 נורות פלורוסנט (day light) האירו מעל כל אחד ממיכלי הניסוי. הנורות חוברו יחד בכל שורה, וכל שורת זוגות פלורוסנטים התחברה לשעון זמן (שעון שבת) המאפשר בחירה בין הדלקה לכיבוי בכל שעה משעות היממה. שעוני הזמן הוצבו במבנה באזור מבודד מבחינת תאורה משאר המערכת והתאפשרה בקרה על הפוטופריודות בכל שעה.

3.4.ב מהלך הניסוי

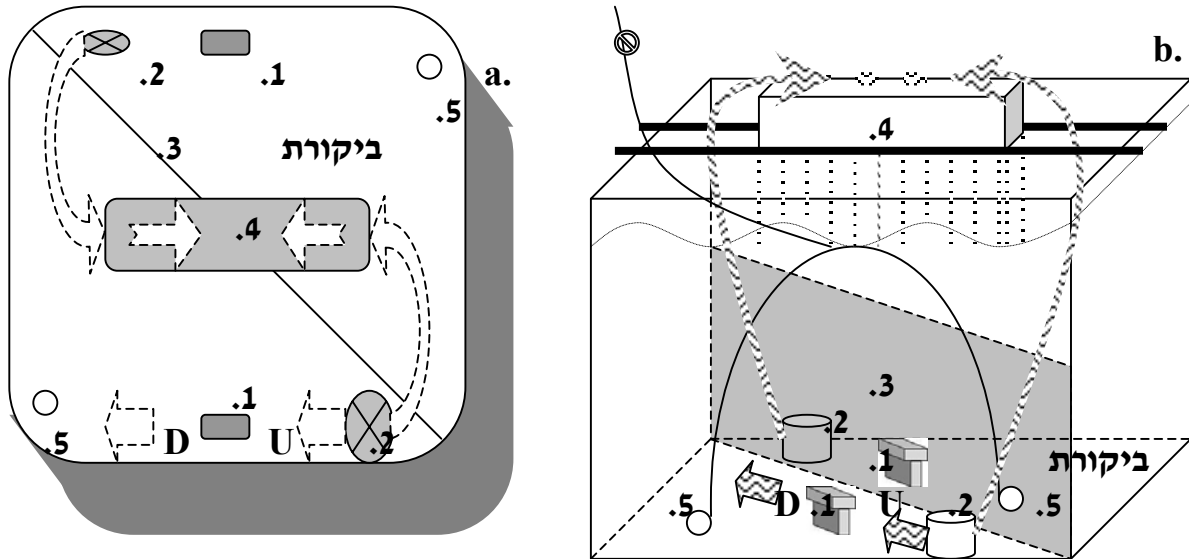
המיכלים סודרו ב- 3 קבוצות לפי פוטופריודות – 15, 12, 9 שעות אור ביממה. הניסוי ארך 18 שבועות. הפוטופריודות התחלפו בין הקבוצות אחת לשלושה שבועות, בשני סטים, בדומה להחלפת הטמפרטורות בניסוי לעיל. כל חזרה כללה תקופת התאקלמות בת 10 ימים. בסט הראשון הפוטופריודות התארכו עד ל 15 שעות ואז ירדו ל- 9 שעות. ובסט השני הפוטופריודות התקצרו עד ל- 9 שעות ואז עלו ל- 15 שעות.
ספירה ומיפוי של ביצים על גבי מצעי ההטלה התבצעה כמתואר בסעיף 3.ב, בהבדל אחד. שני זוגות אבני ההטלה הוצמדו זה לזה ליצירת סדק הטלה נוסף (אנכי) בין הזוגות.
כל המיכלים חוממו לטמפרטורה של $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
התצפיות נערכו על בסיס יומי. וכללו רישום טמפרטורות מקסימום ומינימום יומיות במבנה ובכל "דולב". בכל "דולב" נרשמו בנפרד מספר הביצים שהוטלו על כל אבן משני זוגות האבנים. כמו כן נעשתה הפרדה ברישום של ביצים שהוטלו על האבן העליונה (במהופך), ביצים שהוטלו על האבן התחתונה, ביצים שהוטלו על הדופן וביצים שהוטלו בנקודת המגע בין שני זוגות האבנים (בסדק אנכי). מיפוי האבנים התבצע לפי מאפייני הביצים ומיקומם המיוחד.

4.4.ב קבוצות פוטופריודה

כל שורה תחומה של מיכלים הייתה מצויה באחת מ- 3 פוטופריודות (9, 12 ו- 15 שעות). קבוצות אלה התחלפו ביניהם 6 פעמים במהלך הניסוי.

5.ב השפעת זרימת המים על הרבייה

1.5.ב מבנה מערכת הניסוי [איור 1.4.ב]



איור 1.4.ב תרשים סכמתי של מערך ניסוי השפעת משטר הזרימה על עוצמת ההטלה בדגי לבנון הירקון a מבט ממעוף הציפור, b הצגה תלת ממדית. 1. זוג אבני הטלה מסודרות בצורת T, משאבות המעלות מים לפילטר הביולוגי. המשאבה, בחלק התחתון של שני האוורים, גדולה יותר ומזרימה מים לעבר צורת ה-T של זוג אבני הטלה הסמוך אליה. ביחס לזוגות אבני ההטלה, האות U מציינת את חזית הזרם והאות D מציינת את צל הזרם (זוגות האבני ההטלה בצד הביקורת אינם חשופים לזרימת מים, אך לשם האחידות הצד הקרוב למשאבה יסומן כחזית הזרם והצד הנגדי יסומן כצל הזרם), 3. מחיצת פלסטיק, מחוספסת בצידה האחד, חדירה לאור, 4. פילטר ביולוגי, המורכב מאדנית מאורכת ומחוררת בקרקעיתה, המכילה שכבת אבני טוף ומעליהם צמר אקרילן, 5. אבן אוורור המחוברת בצינור פלסטי למערכת האוויר של המעבדה. בנוסף, כל החיצים מציינים זרימה של מים.

הניסוי נערך בסככה בתנאי ניסוי השפעת צפיפות הדגים על עוצמת ההטלה (ראה סעיף 2.4.ב). כל דולב נחלק באלכסון לשני חצאים על ידי מחיצת פלסטיק חצי שקופה, מחוספסת באחד מצדדיה, שנלחצה בין שתי פינות מנוגדות. גובה המחיצה היה 25 ס"מ. בצורה זו התקבלה הפרדה בין משטרי הזרימה בשני חצאי הדולב תוך מתן אפשרות מעבר חופשי לדגים בין שני הצדדים.

מחיצות הפלסטיק סודרו במיכלים השונים לסירוגין בשני האלכסונים על מנת לבטל השפעה של מפנה, וגם הצד המחוספס פנה בכל פעם לצד אחר.

אבני אוורור מוקמו באופן סימטרי משני צידי המחיצה, והפילטר הביולוגי מוקם מעל לדולב במרכז, כך שהשפעתו תהיה זהה בשני הצדדים. גם זוג משאבות (בהספק 6W - 250 ליטר לשעה) השואבות מים אל הפילטר מוקמו באופן סימטרי משני צידי המחיצה. בשניים מכל שלשה של מיכלים, באותה קבוצת אורך, בקבוצת הניסוי, הוחלפה אחת המשאבות במשאבת מזרקות המזרימה 2500 ליטר לשעה (הספק 60W). במשאבות אלה מהירות הזרימה ניתנת לשינוי. 2 צינורות יצאו מפתח המשאבה, האחד הזרים מים לפילטר הביולוגי, במידה שווה למשאבה בצד השני, והשני הזרים מים באחד החצאים במקביל לדופן המיכל. זוג אבני ההטלה מוקם לאורך הזרם (באופן שצורת ה-T נראית מכיוון המשאבה). הצד המופנה לפתח היציאה של המשאבה הוא הצד הנמצא בחזית הזרם. הצד הנגדי נמצא בצל הזרם. זוג האבנים בחצי השני של הדולב מוקם באופן דומה למרות שבצד זה לא הוזרם זרם. זוג אבנים זה כמו גם 3 המיכלים שלא הוזרם בהם זרם ומיכלי גרעין תות שימשו קבוצת ביקורת לניסוי.

2.5.2 מהלך הניסוי

כל אחד מן הניסויים ארך 4 שבועות. החלפת משאבות בין צדי המיכלים התבצעה פעם בשבועיים. עשרת הימים הראשונים לאחר שינוי זה שימשו תקופת התרגלות וניטור זרימה התבצע בעזרת מד זרם אלקטרוני. בתקופה זו נבדקו מצעי ההטלה לשם אחידות הטיפול, אך נתוני הביצים לא נכללו בניתוח התוצאות. נתוני מהירות הזרם שנרשמו בניטור הזרימה נדגמו בצמוד לאבני ההטלה – בחזית הזרם, בצל הזרם, בצד הפונה לדופן המיכל, בצד הפונה למרכז המיכל ובאזור זוג אבני הביקורת (בחצי השני של המיכל). גם במיכלי הביקורת התבצע ניטור מהירות זרימה.

טמפרטורה של $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ נשמרה קבועה בין המיכלים. מיפוי הביצים על גבי אבני ההטלה התבצע בהתאם לאמור בסעיף 2.2, גם בניסוי זה נעשה שימוש בפיסת ניילון ועליה רשת עם סימוני שנתות [ראה תרשים 5.2]. המיפוי נעשה פעמים, פעם בשני צדי ציר האורך של האבן ופעם משני צידי ציר הרוחב שלה.

נתוני הביצים התקבלו לאזורים הבאים באבנים החשופות לזרימה:

1. חזית הזרם.

2. צל הזרם.

3. הצד הפונה לדופן הדולב.

4. הצד הפונה למרכז הדולב.

נתוני הביצים בסעיפים 3, 4 שמשו ביקורת למיפוי הביצים בסעיפים 1, 2 (הסכומים הכללים צריכים היו להיות זהים).

6.6 בחירת בית גידול

מאפייני בית גידול שונים יכולים להופיע באותו הנחל. משטרי זרימה שונים, נוכחות שונה של אצות, תצורות סדימנט וכו'. הדג יכול לבחור באופן אקטיבי את מקומו בנחל. מידת ההעדפה של מיקום מסוים בנחל (Habitat preference) נמדדת על ידי המספר היחסי של בחירות מיקום מסוים על פני מיקום אחר (Kramer et al., 1997). אם הדג חוזר באופן עקבי על אותה בחירה נאמר שהדג "מעדיף" את בית הגידול (Noakes & Baylis, 1990).

1.6.6 מבנה מערכת הניסוי

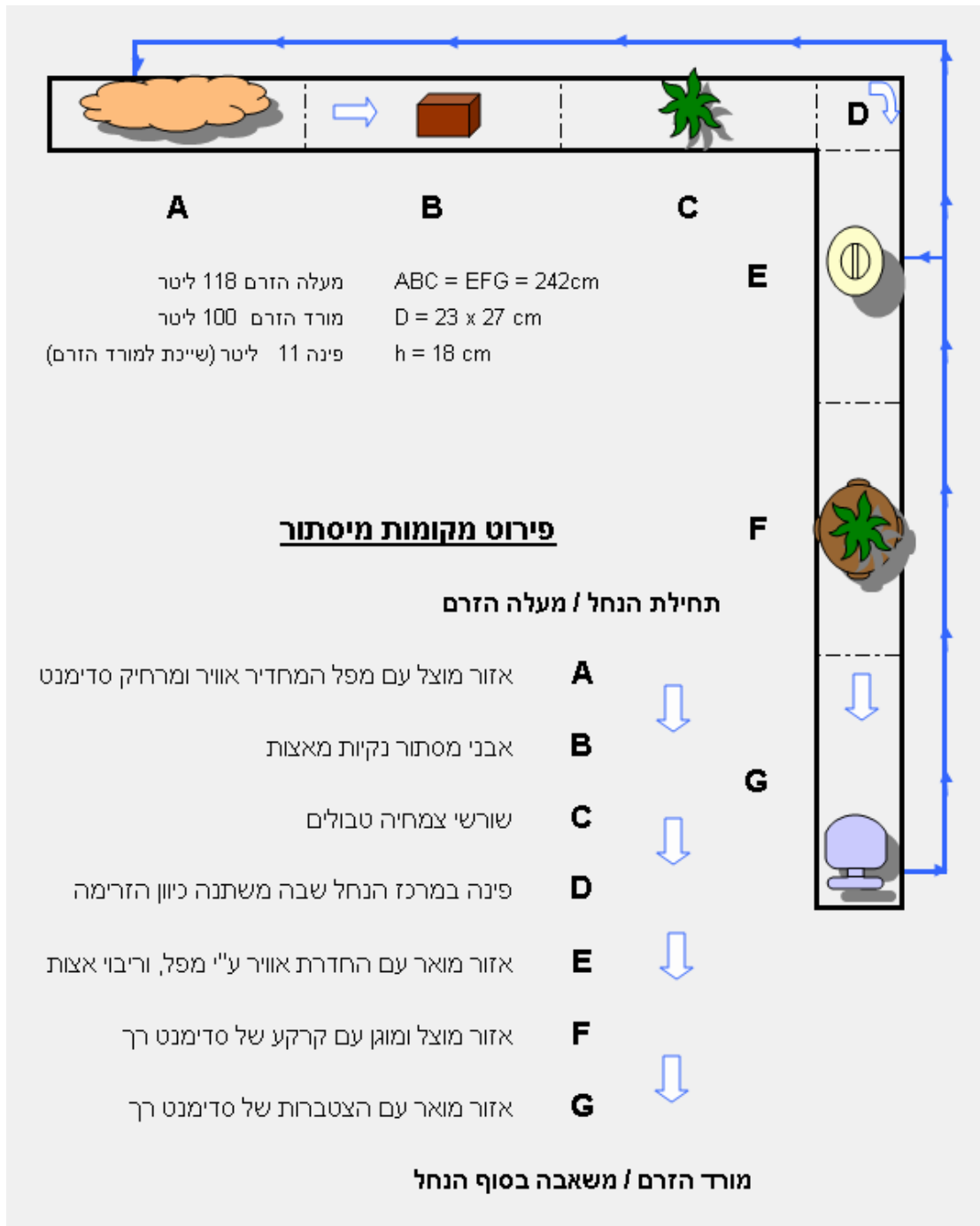
הנחל נבנה כתעלת בטון ריבועית היצוקה בין 2 קירות של אבני ריצוף מסוג "אקרשטיין". בניסוי השתתפו כ- 150 דגים מקבוצות אורך שונות.

הנחל המלאכותי כלל מספר מאפיינים אופייניים למערכות נחלים [איור 1.6.6]:

- A – אזור מוצל עם מפל המחדיר אוויר ומרחיק סדימנט (תחילת הנחל / מעלה הזרם).
- B – אבני הטלה ומסתור נקיות מאצות.
- C – שורשי צמחיה טבולים.
- D – פינה במרכז הנחל שבה משתנה כיוון הזרימה.
- E – אזור מואר עם החדרת אוויר על ידי מפל, וריבוי אצות.
- F – אזור מוצל ומוגן עם קרקע של סדימנט רך.
- G – אזור מואר עם הצטברות של סדימנט רך (סוף הנחל / מורד הזרם).

2.6.6 מהלך הניסוי

התצפיות נערכו אחת ל 6-שעות לפחות, על מנת לאפשר לדגים זמן התאוששות ולצמצם את הטלות בין תצפיות. בסוף כל תצפית נוקה הנחל והדגים נדחקו באיטיות על ידי רשתות לפינה במרכז הנחל. כמו כן מיקום תחנות המסתור הוזז. כל אחת מ- 24 התצפיות בסט נערכה בשעה אחרת ביממה על מנת לבטל את השפעת שעת התצפית וכדי לקבל תמונה של השינוי היממי במיקום הדגים. כל תצפית כללה ספירה של דגים, דגיגים, לרוות וביצים (ויטליות ונגועות) בכל אחת מהתחנות לאורך הנחל. התצפיות כללו הפרעה לדגים רק בשלב הסופי ולכן לא נרשמה תנועה של פרטים בין תחנות. שינוי במספר הפרטים בכלל והלרוות בפרט נותן אינפורמציה על גיוס, תמותה וקניבליזם בדגים. רישום מדויק של מיקום הביצים בנחל נותן אינפורמציה על העדפה של אזורי הטלה בנחל המלאכותי.

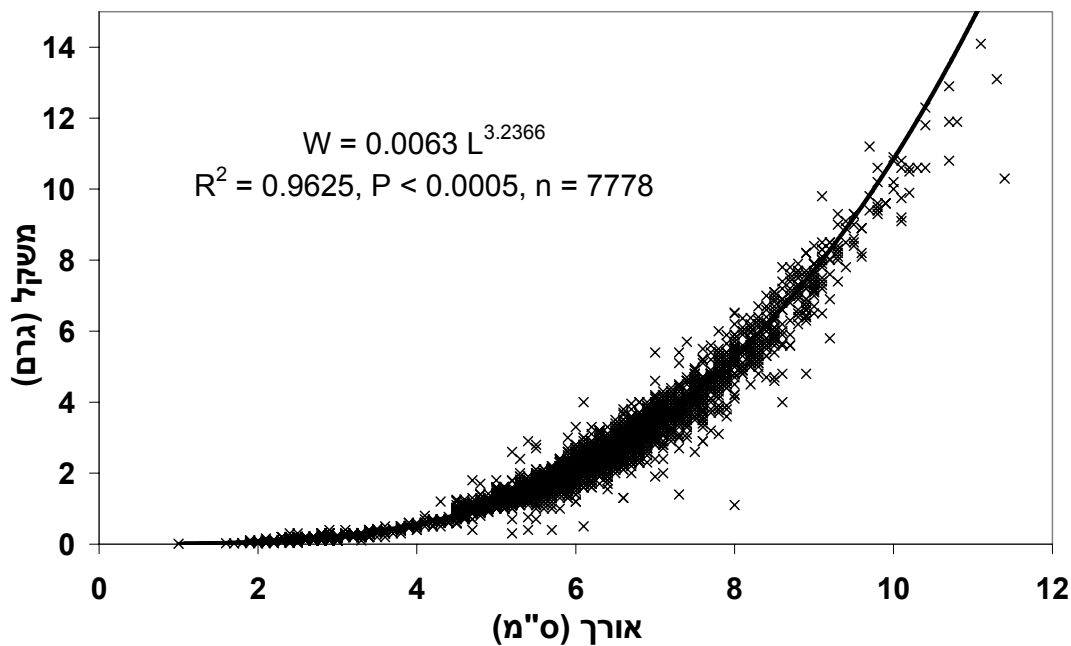


איור 1.6.ב מראה מערכת הנחל המלאכותי – צורת האות ר, באורך של כ- 5 מטרים ובעומק של כ- 18 ס"מ. משאבה הממוקמת בצידו האחד של הנחל מזרימה מים, בהספק של כ- 2500 ליטר לשעה לפילטר ביולוגי הנשפך כמפל בצידו השני, וכן כמות מועטה של מים למפל קטן סמוך למרכז הנחל. מאפיינים של בתי גידול לאורך הנחל מפורטים ומוסברים באותיות A עד G.

ב תוצאות

1.ג הקשר בין אורך הדג למשקל הדג

בדיקת הקשר בין אורך הדגים (L) למשקלם (W) התבססה על סך כל מדידות הדגים בגרעין הרבייה במהלך המחקר. התוצאות מלמדות על מתאם מובהק בין שני המדדים ($p < 0.0005$). מקדם המתאם היה $R^2 = 0.9625$ והנוסחה המתארת את הקשר הייתה: $W = 0.0063 \cdot L^{3.2366}$. [איור 1.1.ג.]



איור 1.1.ג יחסי משקל-אורך של דגי לבנון הירקון בגרעין הרבייה – מבוסס על סך כל המדידות.

אם נחלק את הדגים לקבוצות, לפי גרעיני רבייה ולפי עונות השנה ונבדוק את יחסי משקל-אורך לכל קבוצה נקבל קשרים מסוג זה - $W = aL^b$, ברמת מובהקות $p < 0.0005$ [טבלה 1.1.ג]. הממצאים מלמדים על מגמת גדילה הפוכה ועל שינויים עונתיים הפוכים בין דגי גרעין "ירקון" לדגי גרעין "תות". דגי גרעין "ירקון" מראים עלייה בערכי a בין הקיץ לחורף, ודגי גרעין "תות" מראים ירידה בערכי a בין הקיץ לחורף. דגי גרעין "ירקון" מראים עלייה בערכי b מהחורף לקיץ ודגי גרעין "תות" מראים ירידה בערכי b מהחורף לקיץ, או מגמה של מעבר לצורה עגלגלה במהלך הגידול בדגי גרעין "ירקון" כנגד מגמה של מעבר לצורה מאורכת יותר במהלך הגידול בדגי גרעין "תות".

הקשר מתואר על ידי רגרסיית חזקה. לפי מודל זה דג ששוקל 0 גרם יהיה באורך 0 סנטימטר. מקדם החזקה (b) גדול מ-3 לכל קבוצות הדגים. משמעות הדבר היא שהגידול הנו אלומטרי במקצת, והדגים נעשים עגלגלים יותר עם גדילתם. בהשוואה בין גרעיני הרבייה נראית מגמה

הפוכה. בגרעין "תות", מגמת "ההתעגלות" גבוהה בחורף יותר מאשר בקיץ ולעומת זאת בגרעין "ירקון" נראית מגמה הפוכה.

טבלה ג.1.1 הפרמטרים של רגרסיית חזקה מהצורה $W = aL^b$, כולל מובהקות סטטיסטית (p) ומספר המדידות (N) נתונים בטבלה הבאה עבור צרופים של עונה וגרעין רבייה. רמת המובהקות בכל הקשרים הייתה $p < 0.0005$. b' ו- N' מובאים מהיחס בין קצב הגידול היחסי במשקל ובאורך לקבוצות דגים שונות (בממוצע למיכל). לפי הנוסחה $W'(t)/W_t = b \cdot L'(t)/L_t$. סה"כ – משמעו חישוב על פי איחוד הקבוצות המצוינות מעל.

N'	N	R ²	b' (± stdev)	b	a	עונה	גרעין
12	2212	0.9676	2.7366 ± 0.8652	3.3069	0.0054	קיץ	ירקון
19	2749	0.9620	3.2215 ± 0.6477	3.1450	0.0076	חורף	
6	1083	0.9301	2.6886 ± 0.4128	3.1495	0.0074	קיץ	תות
14	1424	0.9296	2.9659 ± 0.5169	3.2494	0.0061	חורף	
31	4961	0.9646	3.0338 ± 0.7013	3.2470	0.0062		ירקון
20	2507	0.9378	2.8827 ± 0.5907	3.1766	0.0070		תות
18	3295	0.9642	2.7205 ± 0.7314	3.3016	0.0055		קיץ
33	4173	0.9593	3.1131 ± 0.5802	3.1410	0.0076		חורף
51	7468	0.9625	2.9745 ± 0.6582	3.2366	0.0063		סה"כ

הפרמטר b משמש גם בבדיקה ישירה של שינויים שחלו בזמן הניסוי. היחס בין קצב הגידול

$$\left(\frac{W'(t)}{W_t}\right) = b \cdot \left(\frac{L'(t)}{L_t}\right) \text{ VBGF}$$

שמתקבל בפיתוח של

[ראה סעיף א.2.5]. למעשה ניתן לבחון סטטיסטית קיום הבדלים בצורת הגדילה (בערכי b) בין קבוצות שונות של דגים (או בין עונות שנה) על ידי השוואת היחס בין קצב הגידול היחסי במשקל ובאורך לקבוצות דגים שונות.

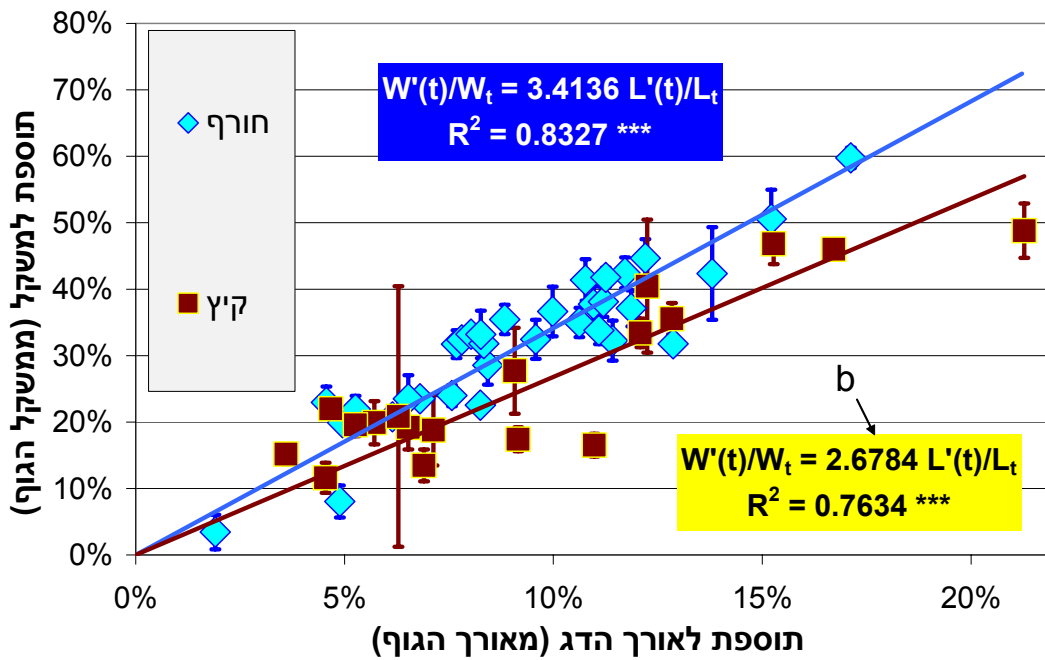
ערכי הפרמטר b היו באופן מובהק גבוהים יותר בחורף ($b = 3.1131$) מאשר בקיץ ($b = 2.7205$). [ראה טבלאות ג.1.1, ג.2.1, ואיור ג.2.1].

טבלה ג.2.1 תוצאות מבחני t להשוואת ערכי הפרמטר b (ממוצע למיכל) בין גרעיני הרבייה ובין עונות השנה. N_1 , N_2 הם מספר מיכלי הדגים שהיו בכל אחת מקבוצות המבחן בהתאמה. הבדלים שלא נמצאו מובהקים מסומנים באפור.

df	N ₂	N ₁	t	p	השוואה בין דגי קבוצות המבחן
49	33	18	-2.4570	0.0176	בעונות השנה קיץ ובחורף
49	31	20	0.5245	0.6023	בין גרעיני הרבייה "תות" ו-"ירקון"
29	19	12	-1.9630	0.0500	בגרעין "ירקון" בעונות השנה
18	14	6	-0.9608	0.3494	בגרעין "תות" בעונות השנה
31	19	14	1.2622	0.2163	בעונת החורף בין גרעיני הרבייה
16	12	6	0.1277	0.9000	בעונת הקיץ בין גרעיני הרבייה

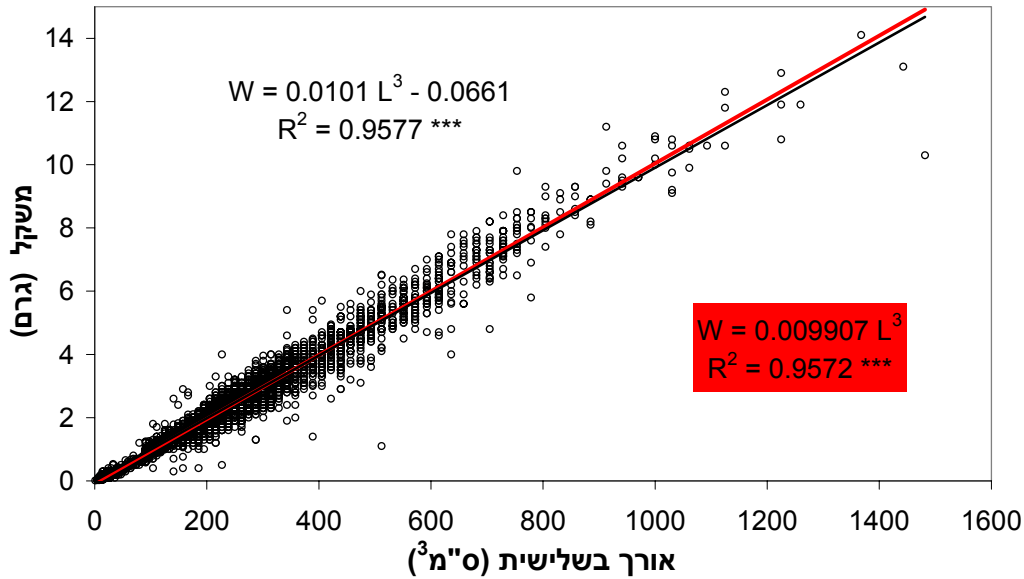
בתקופת החורף הדגים משמינים יותר וחלק מהמשקל שהם מוסיפים אינו מתבטא בתוספת לאורך הדג.

בין גרעיני הרבייה לא נמצא הבדל מובהק, כללי, בערכי הפרמטר b. הבדלים מובהקים בערכי b נמצאו בין עונות השנה (ובפרט בין עונות השנה בגרעין ירקון).



איור 2.1.ג תוספת יחסית למשקל הגוף כפונקציה של התוספת היחסית לאורך הדג הכללי
 – הרגרסיה הליניארית עוברת באופן מאולץ דרך ראשית הצירים לקבלת רגרסיה מהצורה $W'(t)/W_t = b L'(t)/L_t$, לפי VBGF. הסימון *** מציין רמת מובהקות $p < 0.0005$.

הצגת משקל הדגים לפי אורכם בשלישית הופכת את הקשר לליניארי, $W = a \cdot L^3 + b$. הפרמטרים a ו-b מייצגים את שיפוע הגרף ואת נקודת החיתוך עם ציר המשקל בהתאמה [איור 3.1.ג].



איור ג.3.1 יחס משקל לאורך הדג בשלישית – משקל דגי לבנון הירקון כפונקציה של אורך גופם הכללי בשלישית. קו המגמה העליון והמשוואה בפנינה הימנית התחתונה מתארים את הרגרסיה הליניארית כאשר מאלצים מעבר דרך ראשית הצירים (אורכו של דג השוקל 0 גרם יהיה 0 מילימטר). קו המגמה התחתון והמשוואה בפנינה השמאלית העליונה מתארים את הרגרסיה הליניארית ללא אילוץ זה. הסימון *** מציינ רמת מובהקות $p < 0.0005$.

אילוץ קו המגמה למעבר דרך ראשית הצירים מוריד את הפרמטר b ונשארים עם פרמטר יחיד a') שיפוע הגרף החדש). אם נבחר את יחידת הנפח (אורך בשלישית) כסנטימטר בשלישית (ולא מ"מ³) פרמטר שיפוע הגרף שנקבל יהיה אינדקס הגורם הגופני על פי פולטון, חלקי 100.

$$a' = \frac{W[gr]}{L^3[cm^3]} = \frac{K}{100}$$

1.1.1 Condition factor - אינדקס הגורם הגופני (K)

חלוקת הדגים לפי מקומות גידול, עונות שנה וגרעיני רבייה אפשרה מציאת ערכי אינדקס אופייניים לקבוצות אלה [טבלה ג.3.1].

טבלה ג.3.1 התפלגות ערכי K של דגי לבנון הירקון (ממוצע וסטיית תקן) לפי גרעיני רבייה עונות שנה ומקומות גידול. N – מספר המדידות שהתבצעו. סה"כ – משמעו חישוב על פי איחוד הקבוצות המצוינות מעל.

ערכי אינדקס הגורם הגופני – K					
N	סטיית תקן	ממוצע			
		מיקום	עונה	גרעין	
1113	0.1116	1.0096	סככה	חורף	נחל ירקון
1636	0.1455	0.9888	מבנה		
2749	0.1332	0.9972	סה"כ		
1018	0.1772	0.9086	סככה	קיץ	
1194	0.0918	0.9395	מבנה		
2212	0.1387	0.9253	סה"כ		

2131	0.1550	0.9614	סככה	
2830	0.1280	0.9680	מבנה	
4961	0.1403	0.9652	סה"כ	
265	0.0745	1.0202	סככה	חורף
1159	0.1031	0.9651	מבנה	
1424	0.1007	0.9753	סה"כ	
310	0.1314	0.9743	סככה	קיץ
1083	0.0873	0.9723	מבנה	
1393	0.0988	0.9728	סה"כ	
575	0.1113	0.9955	סככה	נחל תות
2242	0.0958	0.9686	מבנה	
2817	0.0998	0.9741	סה"כ	
1378	0.1055	1.0117	סככה	חורף
2795	0.1301	0.9790	מבנה	
4173	0.1235	0.9898	סה"כ	
1328	0.1699	0.9240	סככה	קיץ
2277	0.0912	0.9551	מבנה	
3605	0.1269	0.9436	סה"כ	
2706	0.1475	0.9686	סככה	
5072	0.1149	0.9683	מבנה	
7778	0.1272	0.9684	סה"כ	

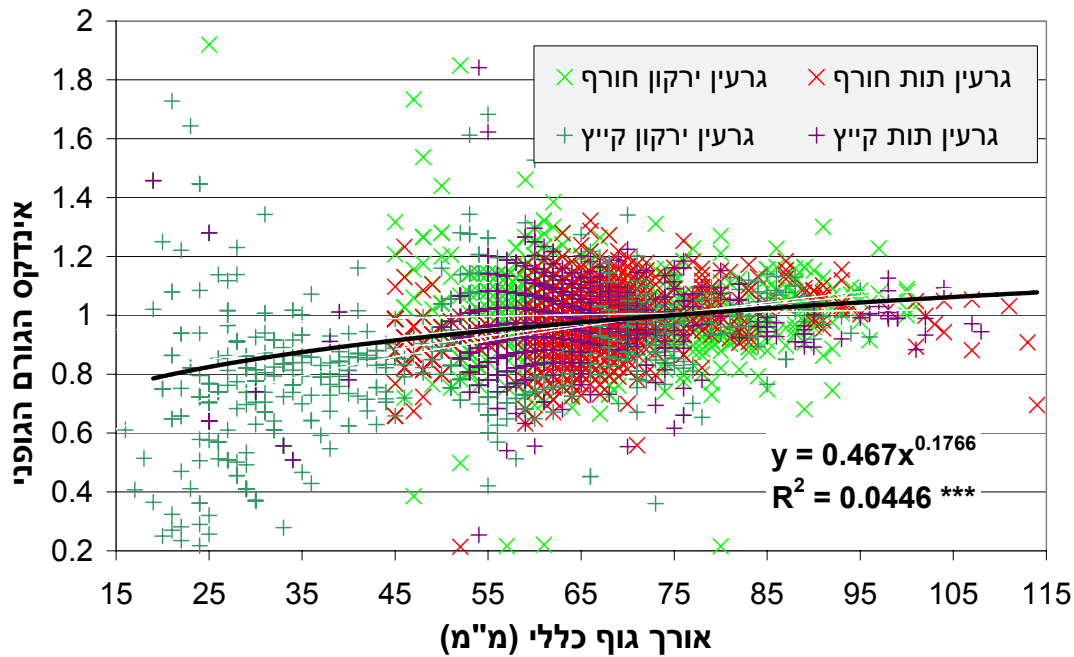
ערכו של K נמצא קרוב ל-1 ($K = 0.9907$). צורת חישוב זו נותנת את ערך אינדקס הגורם הגופני הקרוב ביותר לערכי אינדקס הגורם הגופני של כלל הדגים שנמדדו. מובהקות המתאם נשאת גבוהה עם וללא אילוץ קו המגמה למעבר דרך ראשית הצירים ($p < 0.0005$) והמתאם הגבוה נשאר כמעט ללא שינוי ($R^2 = 0.9572$ במקום $R^2 = 0.9577$).

לשם ההשוואה נבדקה התפלגות ערכי אינדקס הגורם הגופני לדגים נורמאליים (ללא מאפיינים חריגים) ולדגים בעלי גונדות בולטות לעין. והתקבלו התפלגויות פעמון סימטריות כאשר לדגים בעלי גונדות מפותחות ערך אינדקס של 1.06 בממוצע ערכים אלה גבוהים ב-0.1 מהערך הממוצע של יתר הדגים.

להלן כמה השפעות ישירות על ערכי האינדקס.

2.1.1 הקשר בין הגורם הגופני לגודל הדג

על פי Anderson and Gutreuter (1983) השוואת ערכי אינדקס הגורם הגופני על פי פולטון (K) מוגבלת לדגים בעלי אורך דומה. הסיבה לכך היא גדילה אלומטרית הגורמת לגורם הגופני להשתנות עם הגדילה. כך דגים באורכים שונים מתאפיינים בערכי אינדקס שונים. [איור ג.1.4].



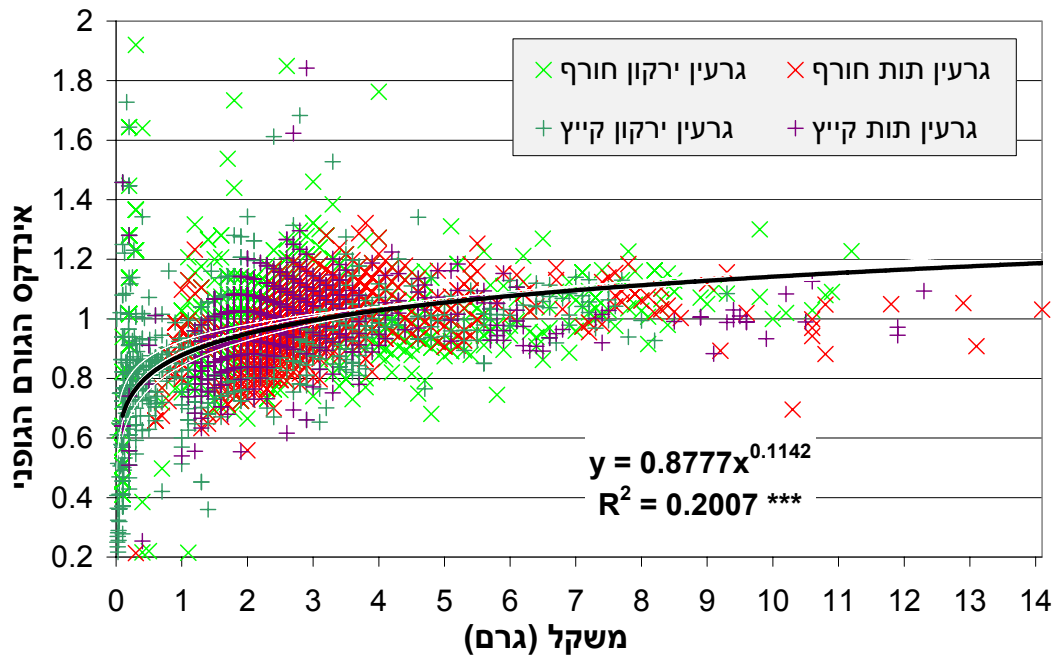
איור ג.4.1 ערכי אינדקס הגורם הגופני כתלות באורך הגוף הכללי – הסימון *** מציינ רמת מובהקות $p < 0.0005$.

המתאם נעשה על קבוצה של 7778 דגים. פחות מ- 5% מהשונות ב- K הוסברה על ידי אורך הדג, אך הקשר היה מובהק מאוד ($p < 0.0005$). טווח השינוי בערכי האינדקס 0.8 עד 1.1 כלל בתוכו יותר מ- 85% מהתפלגות ערכי האינדקס.

היחס בין ערכי K לאורך הדג היה מעריכי ישר, כאשר התוספת לערכי K ירדה במקצת עם העלייה באורך. משוואת הרגרסיה הייתה $K = 0.467 L^{0.1766}$.

למרות ההיגיון בהחלטה להשוות דגים שווי אורך, משקל הדגים הסביר טוב יותר את התפלגות ערכי K, ובאותה רמת מובהקות. 20% מהשונות של ערכי K הוסברה על ידי משקל הדג. ערכי אינדקס הגורם הגופני עלו עם העלייה במשקל הדג. הקשר בין האינדקס למשקל הדג היה דומה לקשר לאורך הדג אולם בשלבים הראשונים של התפתחות הדג נראו שינויים גדולים במיוחד

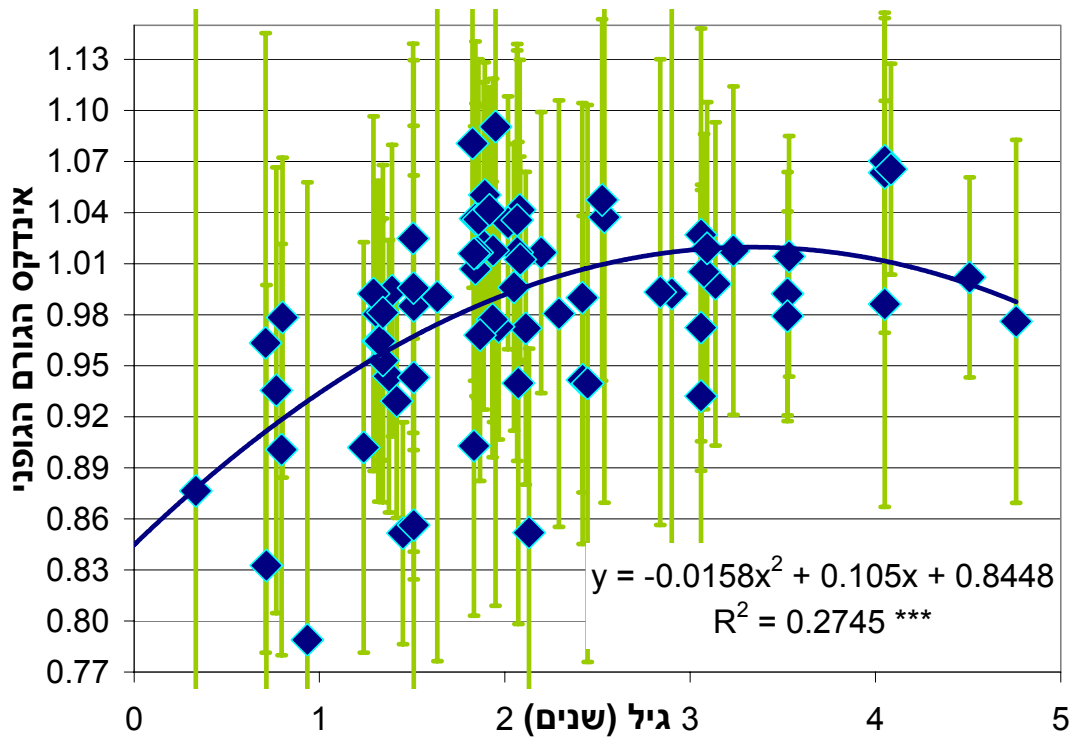
[איור ג.5.1]. משוואת הרגרסיה הייתה $K = 0.8777 W^{0.1142}$.



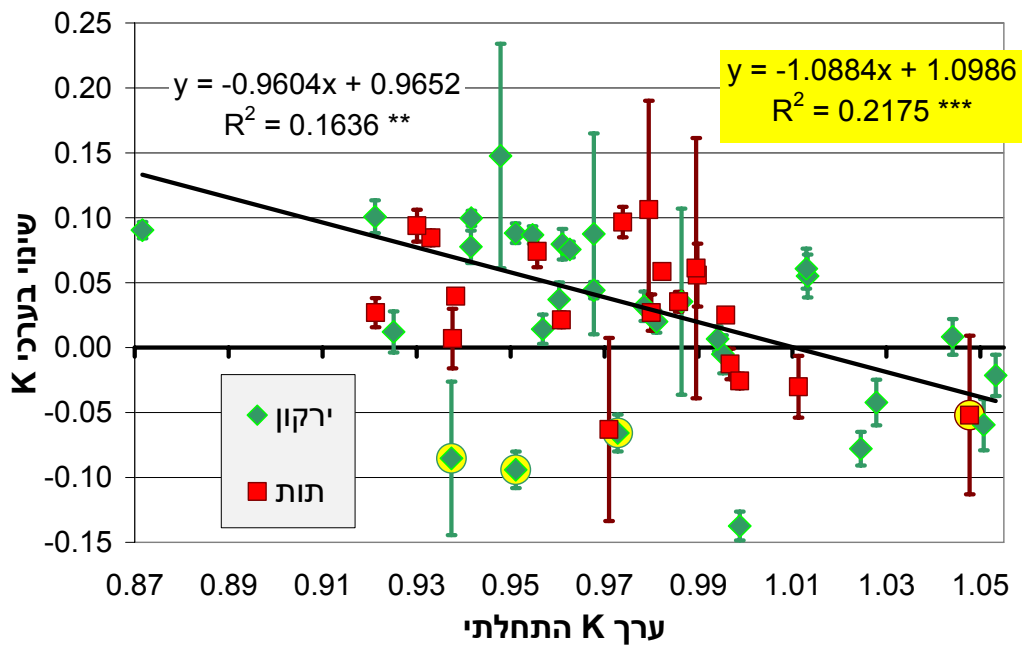
איור 5.1 ג. ערכי אינדקס הגורם הגופני כתלות במשקל הדג – הסימון *** מציינ רמת מובהקות $p < 0.0005$.

העלייה בערכי אינדקס הגורם הגופני לא נמשכה לאורך כל חיי הדג. ניתן היה לראות סימני "הזדקנות". רגרסיה ריבועית הותאמה להציג קשר אפשרי בין ערכי האינדקס לגיל הדג. רגרסיה זו שמשוואתה $K = -0.0158 t^2 + 0.105 t + 0.8448$ מסבירה 27.45% מהשוונות של ערכי K ברמת מובהקות $p < 0.005$ [איור 6.1]. לפי משוואה זו (משוואה בעלת נקודת מקסימום) הדגים הגיעו לערכי האינדקס המקסימאליים (1.02) בגיל 3 שנים ו- 4 חודשים ("גיל המעבר"). ערכים אלה ירדו מעט (עד לערכים קרובים ל- 1) עם הזדקנות הדג. עדות נוספת להזדקנות הדגים ניתן למצוא בקשר בין השינוי בערכי אינדקס הגורם הגופני (בתקופה של חצי שנה) לערך ההתחלתי של האינדקס [איור 7.1].

קשר זה מתואר בעזרת רגרסיה ליניארית בעלת שיפוע שלילי. הנקודות בתרשים נמצאות משני צידי ציר האיקס (ציר ערך האינדקס ההתחלתי).



איור ג.1.6 ערכי אינדקס הגורם הגופני (ממוצע למיכל) כתלות בגיל הדגים – קווי השגיאה האנכיים מציינים את סטיית התקן עבור ערכי K. משוואת רגרסיה ריבועית וערכי R^2 בפינה הימנית התחתונה. הסימון *** מציין רמת מובהקות $p < 0.0005$.



איור ג.1.7 השינוי בערכי אינדקס הגורם הגופני כפונקציה של ערכו ההתחלתי (ממוצע למיכל) – קווי השגיאה מציינים את סטיית התקן של השינוי הממוצע בערכי K. קו אופקי מודגש מציין חוסר שינוי בערכי K. 4 נקודות מוקפות בעיגול מייצגות מכלים, ששהו בתנאי חשיפה לשמש ישירה. נוסחת הריגרסיה הליניארית ו- R^2 לכלל המיכלים,

בפינה השמאלית העליונה. בפינה הימנית העליונה הרגרסיה ללא מיכלים אלו. הסימון ** מציין רמת מובהקות $p=0.005$. והסימון *** מציין רמת מובהקות קשר $p < 0.0005$. נקודת החיתוך של הרגרסיה עם הציר היא נקודת שיווי משקל. נקודת זו נשארה כמעט ללא שינוי כאשר הורדתי מהדיון את 4 המיכלים שהיו חשופים לשמש. ערכי K ההתחלתיים יכולים להסביר מעל 20% מהשינוי ב-K. מיכלים שנמצאו מעל לקו האופקי מראים עלייה בערכי K, ואלה שמתחת לקו מראים ירידה בערכי K. רוב הדגים נמצאו בעלייה "מגמת שיפור במצבם הגופני". ניתן לראות מגמה של שיווי משקל – התכנסות האינדקס לערך יציב 1.01 (גבוהה ב-0.04 מהערך הממוצע). בנקודה זו השינוי הממוצע בערך האינדקס הוא אפס. דגים גדולים הם בעלי ערכי K גבוהים [ראה איורים ג.1.4 - ג.1.5] וימצאו מתחת לקו האופקי. זוהי עדות נוספת להזדקנות, דגים מעל לגודל מסוים (מעל לגיל מסוים) מראים ירידה בערכי האינדקס.

הקשר בין הגורם הגופני לצפיפות הדגים

בבדיקת הקשר בין הגורם הגופני לצפיפות הדגים (מספר פרטים או ביומסה) לא נמצא קשר מובהק לערכי אינדקס הגורם הגופני או לשינויים בערכי האינדקס [טבלה ג.1.4].

טבלה ג.1.4 תוצאות מבחני קורלציה ומבחני t לבדיקת הקשר בין הגורם הגופני של הדג (K) לצפיפות שבה הדג מצוי (מספר פרטים לנפח מים או ביומסת דגים לנפח מים) בדגי לבנון הירקון בגרעין הרבייה. N – מספר הדגים.

N	t	מבחן קורלציה	הקשר הנבחן	גרעין רבייה
4961	48.235	0.04	K - ביומסה	"ירקון"
4961	-70.684	-0.03	K - מס. דגים	
2817	29.765	-0.18	K - ביומסה	"תות"
2817	-74.674	-0.16	K - מס. דגים	
7778	56.247	-0.01	K – ביומסה	
7778	-96.739	-0.06	K - מס. דגים	

איפיון קבוצות דגים על פי הגורם הגופני

הדגים התחלקו לקבוצות לפי גרעיני רבייה, מקומות גידול ולפי עונות השנה. על מנת לדעת איזה מערכי האינדקס גדול יותר נעשתה השוואה של ערכי הממוצעים לאחר תיקון המודל הסטטיסטי. והדבר נעשה על ידי מבחני One-way ANCOVA לבחינת ההבדלים בערכי K בין קבוצות [טבלה ג.1.5].

ערכי האינדקס היו גבוהים יותר בחורף. חריגים לכלל זה הם דגי גרעין "ירקון" בתנאי תאורה מלאכותיים (עם פוטופריודות מבוקרות). לדגים אלה היו ערכי אינדקס גבוהים יותר בקיץ.

טבלה ג.5.1 השוואת ערכי K לדגי לבנון הירקון – תוצאות שאינן מובהקות סטטיסטית כתובות באפור. העמודה האמצעית מציינת את הקבוצה שערכי האינדקס שלה בהשוואה הסטטיסטית גבוהים יותר.

K – אינדקס הגורם הגופני			בתנאים		השוואת
F	מובהקות p	יתרון ל	מקום	עונה	הבדל בין
0.950	0.330	תות	סככה	קיץ סתיו	גרעיני רבייה תות / ירקון
45.078	< 0.0005	תות	מבנה		
2.638	0.104	תות		חורף אביב	
0.700	0.791	תות	סככה		
79.046	< 0.0005	ירקון	מבנה		
15.516	< 0.0005	ירקון			
8.250	0.004	תות	סככה		
4.919	0.027	ירקון	מבנה		
3.893	0.049	תות			
35.749	< 0.0005	חורף	סככה	ירקון	
14.458	< 0.0005	קיץ	מבנה		
120.405	< 0.0005	חורף		תות	
7.670	0.006	חורף	סככה		
67.719	< 0.0005	חורף	מבנה		
36.519	< 0.0005	חורף			
8.250	0.004	חורף	סככה		
10.151	0.001	חורף	מבנה		
74.717	< 0.0005	חורף			
22.224	< 0.0005	סככה	קיץ סתיו	ירקון	מקומות סככה / מבנה
21.589	< 0.0005	מבנה	חורף אביב		
3.102	0.780	מבנה		תות	
0.073	0.787	סככה	קיץ סתיו		
8.256	0.004	מבנה	חורף אביב		
46.180	< 0.0005	סככה			
13.477	< 0.0005	סככה	קיץ סתיו		
24.857	< 0.0005	מבנה	חורף אביב		
10.762	0.001	מבנה			

בתנאי תאורה מלאכותיים (עם פוטופריודות מבוקרות) דגי גרעין "ירקון" הראו היפוך מגמה בין החורף לקיץ (ערכי האינדקס הגבוהים מתקבלים בתקופת הקיץ). דגי גרעין "תות", תחת אותם תנאים, לא הראו היפוך מגמה, ואף על פי כן, בתקופת הקיץ ערכי האינדקס שלהם היו גבוהים משל דגי גרעין "ירקון".

דגי גרעין "ירקון" קיבלו ערכי אינדקס גבוהים יותר בתנאי תאורה מלאכותיים. אך בסיכום הכללי ערכי האינדקס היו גבוהים יותר לדגי גרעין "תות".

סיכום ההבדלים מתוך תוצאות המבחנים:

1. מסיכום כלל הנתונים עולה שלאחר תקופת החורף ערכי K גבוהים יותר מערכיו לאחר תקופת הקיץ.
2. מסיכום כלל הנתונים עולה שבמבנה ערכי K גבוהים יותר מאשר בסככה.
3. לאחר תקופת החורף, במבנה התקבלו ערכי K גבוהים יותר מאשר בסככה. לאחר תקופת הקיץ המגמה הייתה הפוכה.
4. נמצא הבדל בין גרעיני הרבייה הבא לידי ביטוי בערכי K גבוהים יותר לגרעין "תות".
5. בגרעין "ירקון", במבנה התקבלו ערכי K גבוהים יותר מאשר בסככה. בגרעין "תות" המגמה הייתה הפוכה.
6. במבנה, בגרעין "תות", לאחר תקופת החורף התקבלו ערכי K גבוהים יותר מהערכים שהתקבלו לאחר תקופת הקיץ. בגרעין "ירקון" המגמה הפוכה.
7. במבנה, לאחר תקופת הקיץ, בגרעין "תות" התקבלו ערכי K גבוהים יותר מאשר בגרעין "ירקון". לאחר תקופת החורף המגמה הפוכה.

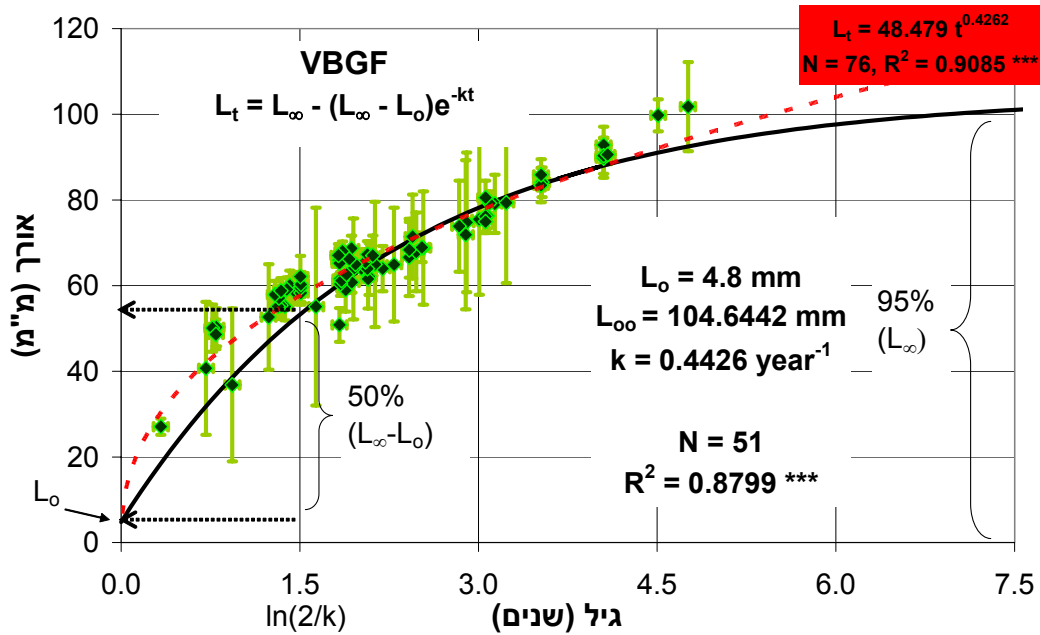
2. ג. קצב הגידול

1.2. ג. קצבי גידול לאורך

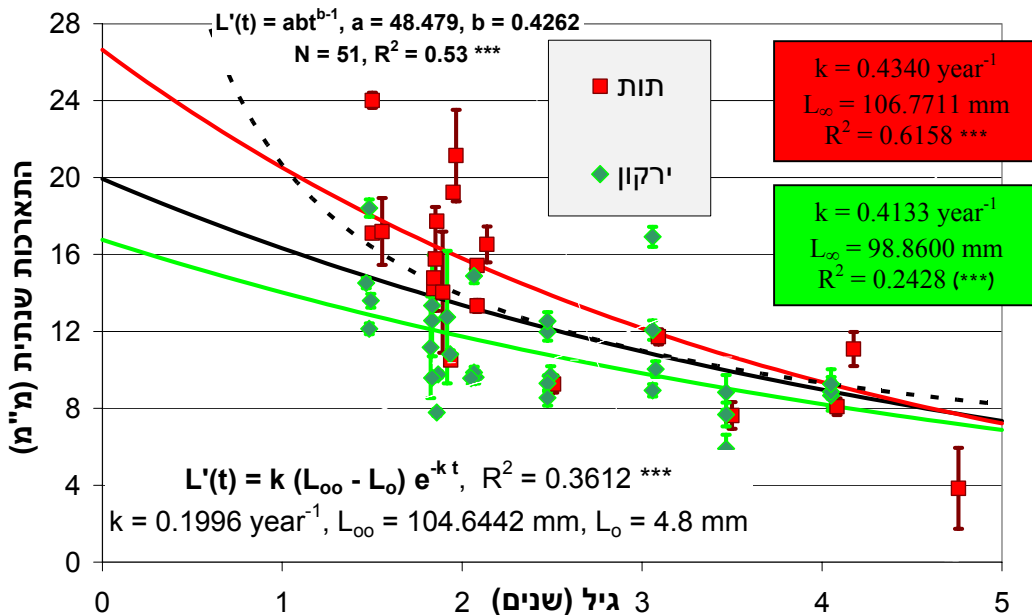
לנתוני האורך והגיל של הדגים בגרעין הרבייה (ממוצעים למיכל) הותאמה VBGF כאשר $L_0 = 4.8\text{mm}$ (אלרון, 2000). והתקבלו הפרמטרים $k = 0.4426 \text{ year}^{-1}$, $L_\infty = 104.6436 \text{ mm}$. מידת ההתאמה של קו הרגרסיה הייתה $R^2 = 0.8799$ לגודל מדגם $N = 51$ [איור 1.2. ג.]. לשם השוואה הותאם קו גרסיית חזקה לנתוני האורך והגיל. הפרמטרים שהתקבלו היו $a = 48.479$, $b = 0.4262$ במשוואה $L_t = a \cdot t^b$. מידת ההתאמה של קו הרגרסיה הייתה $R^2 = 0.9085$ לגודל מדגם $N = 76$.

בפועל הדגים הזקנים ביותר שהיו ברשותי היו בני 6 שנים והארוך ביותר הגיע ל-114 מ"מ. הירידה בקצב הגידול עם הזדקנות הדג נראתה גם בבדיקה ישירה של שעור התארכות הדגים כפונקציה של גילם ההתחלתי. קו הרגרסיה שבו השתמשנו לנתוני קצב הגידול והגיל התקבל מפיתוח של VBGF. במשוואה זו היו ידועים הפרמטר L_0 והפרמטרים L_∞ , לכלל הנתונים [ראה איור 1.1. ג.] ולכל גרעין רביה בנפרד (לגרעין "ירקון" $L_\infty = 98.8600 \text{ mm}$ לגרעין "תות" 106.7711 $(L_\infty = \text{mm})$ התקבלו מהיחס אורך-גיל.

שיעור ההתארכות (במילימטרים לשנה) ירד עם הזדקנות הדגים, לפי הנוסחה $L'(t) = \frac{dL}{dt} = k \cdot (L_\infty - L_0) \cdot e^{-k \cdot t}$ [ראה סעיף 1.5. א.]. מהתאמת משוואת רגרסיה זו התקבל הפרמטר $k = 0.1996 \text{ year}^{-1}$ לכלל התצפיות. מידת ההתאמה של קו הרגרסיה הייתה $R^2 = 0.612$ ורמת מובהקות הקשר הייתה $p < 0.0005$ [איור 2.2. ג.].



איור 1.2.ג. ממוצע אורך הדג הכללי כפונקציה של גיל הדג ההתחלתי למיכל – קווי השגיאה האנכיים מציינים את סטיית התקן של אורכי הדגים במיכל. קווי השגיאה האופקיים מציינים את טווח הגילים של הדגים במיכל. הקו השחור מתאר את עקומת הגידול לפי Von Bertalanffy. עקומה זו הותאמה לנתוני הגיל והאורך ונמצאו הפרמטרים k ו- L_{∞} המתאימים ביותר. מידת ההתאמה של הפונקציה VBGF ליחס בין נתוני האורך והגיל מצוינת ב- R^2 . קו רגרסיית חזקה שמשוואתו בפינה הימנית העליונה מסומן במקווקו, כאלטרנטיבה ל-VBGF. הסימון * מציינ רמת מובהקות $p < 0.0005$.**



איור 2.2.ג. התארכות דגים שנתית (ממוצעת למיכל) כפונקציה של גילם ההתחלתי – קווי השגיאה האנכיים מציינים את סטיית התקן של התארכויות הדגים במיכל. משוואות וערכי R^2 לקווי רגרסיה לפי VBGF מצויינים בחלקו התחתון של האיור, ובפינה הימנית העליונה עבור כל גרעין רבייה בנפרד. הפרמטרים המצויינים הם: k קבוע הגדילה ו- L_{∞} האורך האסימפטוטי של קבוצות הדגים. בפינה השמאלית העליונה משוואתו של קו רגרסיית חזקה כללית המסומן במקווקו. הסימון * מציינ רמת מובהקות $p < 0.0005$, והסימון (**) מציינ רמת מובהקות $p = 0.001$.**

הפרמטר שהתקבל עבור גרעין "ירקון" היה $k = 0.4133 \text{ year}^{-1}$ ועבור גרעין "תות" $k = 0.4340 \text{ year}^{-1}$. מידת ההתאמה של קווי הרגרסיה הייתה $R^2 = 0.2428$ ו- $R^2 = 0.6158$ במתאמה ורמת מובהקות הקשרים הייתה $p = 0.001$ ו- $p < 0.0005$ בהתאמה.

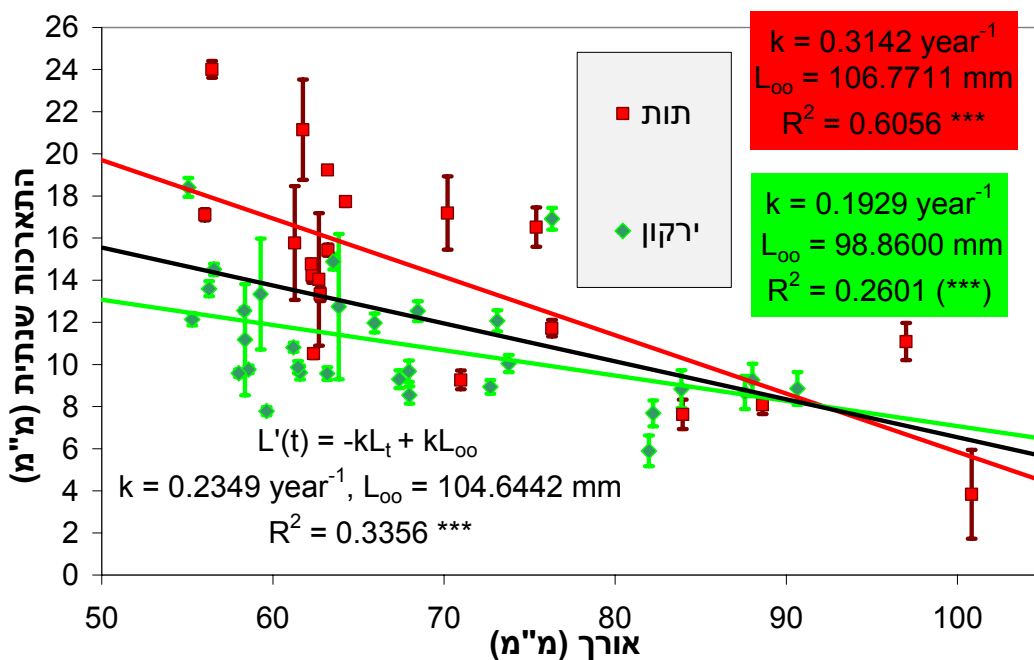
לשם השוואה נבחן קו רגרסיית חזקה לנתוני ההתארכות והגיל. הפרמטרים a , b נלקחו מקו רגרסיית החזקה שהותאם לנתוני האורך והגיל ונבדקה מידת ההתאמה לנתונים. משוואת הרגרסיה לנתוני ההתארכות והגיל חושבה כנגזרת של משוואת החזקה של הקשר אורך-גיל בזמן $(L'(t) = a \cdot b \cdot t^{b-1})$. מידת ההתאמה של קו הרגרסיה הייתה $R^2 = 0.53$ ורמת המובהקות $p < 0.0005$.

יחסי התארכות לגיל הדגים נמצאו גבוהים באופן מובהק בגרעין "תות" על פני גרעין "ירקון" (One-Way ANCOVA; $df=1$; $F=5.380$; $p=0.025$).

תמונה דומה התקבלה בבחינת הקשר בין התארכות הדגים לאורכם ההתחלתי [איור ג.3.2]. שיעור ההתארכות (במילימטרים לשנה) ירד באופן ליניארי עם העלייה באורך הגוף ההתחלתי,

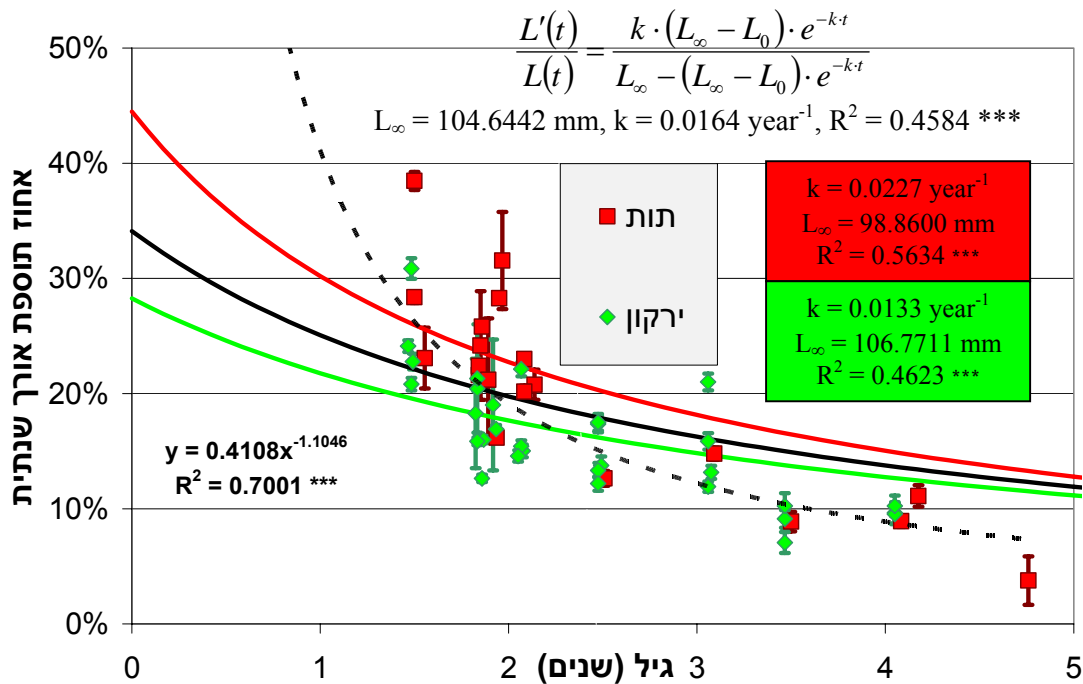
לפי הנוסחה $L'(t) = \frac{dL}{dt} = k \cdot (L_{\infty} - L_t)$ (פיתוח של VBGF) (ראה סעיף א.1.5). בצורה זו

התקבל הפרמטר $k = 0.2349 \text{ year}^{-1}$. מידת ההתאמה של קו הרגרסיה הייתה $R^2 = 0.3356$ ורמת מובהקות הקשר הייתה $p < 0.0005$ [איור ג.2.2].



איור ג.3.2. ממוצע ההתארכות שנתית במילימטרים כפונקציה של ממוצע אורך הדגים ההתחלתי (למיכל) – קווי השגיאה בציר ההתארכות מציינים את סטיית התקן הדגים במיכל. בפינה הימנית העליונה משוואות וערכי R^2 לקווי רגרסיה ליניארית לפי VBGF הפרמטרים המצויינים הם: k קבוע הגדילה ו- L_{∞} האורך האסימפטוטי של קבוצת הדגים. בפינה השמאלית התחתונה ובקו האמצעי הרגרסיה הכללית (כולל משוואת הרגרסיה). הסימון ** מציינ רמת מובהקות $p = 0.005$ והסימון * מציינ $p < 0.0005$.**

הפרמטר שהתקבלו עבור גרעין "ירקון" היה $k = 0.1929 \text{ year}^{-1}$ ועבור גרעין "תות" $k = 0.3142 \text{ year}^{-1}$. מידת ההתאמה של קוי הרגרסיה הייתה $R^2 = 0.2601$ ו- $R^2 = 0.6056$ במתאמה ורמת מובהקות הקשרים הייתה $p = 0.001$ ו- $p < 0.0005$ בהתאמה. התארכות הדגים היחסית, נמצאה גבוהה באופן מובהק בגרעין "תות" (One-Way ANCOVA; $df=1$; $F=10.603$; $p=0.002$). משרעת השינוי בהתארכות הייתה גדולה יותר כתלות בגיל מאשר כתלות באורך, לכן מדובר בהתארכות תלוית גיל. השינוי הממוצע באורך נע בין 17 מ"מ לשנה לדג בן שנה ל- 7 מ"מ לשנה לדג בין 5 שנים. אם במשך הזמן הזה גדל אורך הדג ביותר 100% (מ- 41 מ"מ ל- 94 מ"מ) [איור ג.1.2] אזי בגיל חמש שנים קצב גידול הדג היה כ- 41% מקצב הגידול שלו בגיל שנה. המגמה הכללית של התוספת לאורך הדג עם הגיל, כאשר גודל הדג בכל גיל נלקח בחשבון, כלומר: התארכות הדג נלקחה באחוזים מאורכו בתחילת הניסוי (RGL) לפי VBGF הייתה ירידה בקצב המתמתנת עם הגיל. גם במקרה זה רגרסיית החזקה מסבירה את הקשר טוב יותר מ- VBGF ($R^2 = 0.7001$) לעומת $R^2 = 0.4584$ [איור ג.2.4].



איור ג.2.4 ממוצע התוספת השנתית היחסית לאורך הדג (RGL למיכל) כפונקציה של גיל הדג ההתחלתי – קווי השגיאה בציר האנכי מציינים את סטיית התקן. בחלקו העליון של האיור משוואות וערכי R^2 לקווי רגרסיה כללית לפי VBGF הפרמטרים המצויינים הם: k קבוע הגדילה ו- L_{∞} האורך האסימפטוטי של קבוצת הדגים. קוי רגרסיה והפרמטרים מצויינים לכל הדגים (קו אמצעי) ובנפרד לכל גרעין רבייה. בפניה השמאלית התחתונה משוואתו של קו רגרסיית חזקה כללית המסומן במקווקו. הסימון * מצייין רמת מובהקות $p < 0.0005$.**

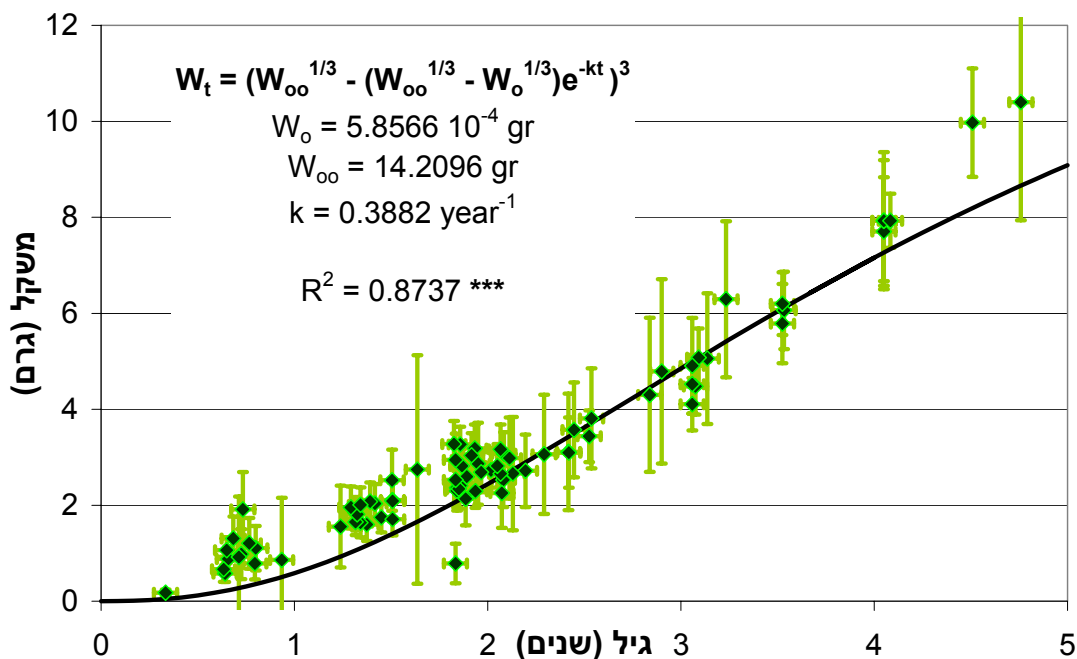
2.2.ג קצבי גידול במשקל.

לעומת הגידול המהיר באורך הדג בשלבי חייו הראשונים [איור ג.1.2] הגידול במשקל הדג בשלבי חייו הראשונים היה איטי. קשר זה מוצג כנגד רגרסיה לפי VBGF המתארת עלייה הדרגתית בתוספת למשקל עם העלייה בגיל. משוואת הרגרסיה הייתה $W_t = \left[\sqrt[3]{W_\infty} - \left(\sqrt[3]{W_\infty} - \sqrt[3]{W_0} \right) \cdot e^{-k \cdot t} \right]^3$ [ראה סעיף א.2.5]. לחישוב הפרמטר W_0 השתמשנו ביחס אורך-משקל של דגי הניסוי ($W = 0.0063 \cdot L^{3.2366}$), ובערך של L_0 (0.48 ס"מ). התוצאה שהתקבלה היא $W_0 = 5.8566 \times 10^{-4}$ gr, והפרמטרים שהתקבלו לאחר התאמת העקומה לנתונים היו $W_\infty = 14.2096$ gr ו- $k = 0.3882 \text{ year}^{-1}$. מידת ההתאמה של קו הרגרסיה הייתה $R^2 = 0.8737$ ורמת המובהקות $p < 0.0005$ [איור ג.5.2].

תמונה מפורטת יותר התקבלה כאשר נבחנה התוספת במשקל כפונקציה של גיל הדג. המגמה הכללית שהתקבלה הייתה הפוכה למגמת הגידול באורך. דג בגיל 5 התארך כ- 41% מההתארכות של דג בגיל שנה [איור ג.3.2], דג זה עלה במשקל כ- 235% מהעלייה במשקל של דג בגיל שנה (2 גרם בשנה לדג בגיל 5 שנים לעומת 0.85 גרם לשנה לדג בגיל שנה). יש לציין שנקודת השיא בקצב העלייה במשקל הייתה בגיל 3.5, בשלב זה בחייו עלה הדג במשקל בקצב השווה ל- 255% ביחס לקצב העלייה במשקל בגיל שנה [קו המגמה הכללי, איור ג.5.2]. לנתוני התוספת במשקל כפונקציה של גיל הדג הותאמה רגרסיה לפי VBGF שמשוואתה הייתה:

$$W'(t) = \frac{dW}{dt} = 3 \cdot k \cdot \left(\sqrt[3]{W_\infty} - \sqrt[3]{W_0} \right) \cdot e^{-k \cdot t} \cdot \left[\sqrt[3]{W_\infty} - \left(\sqrt[3]{W_\infty} - \sqrt[3]{W_0} \right) \cdot e^{-k \cdot t} \right]^2$$

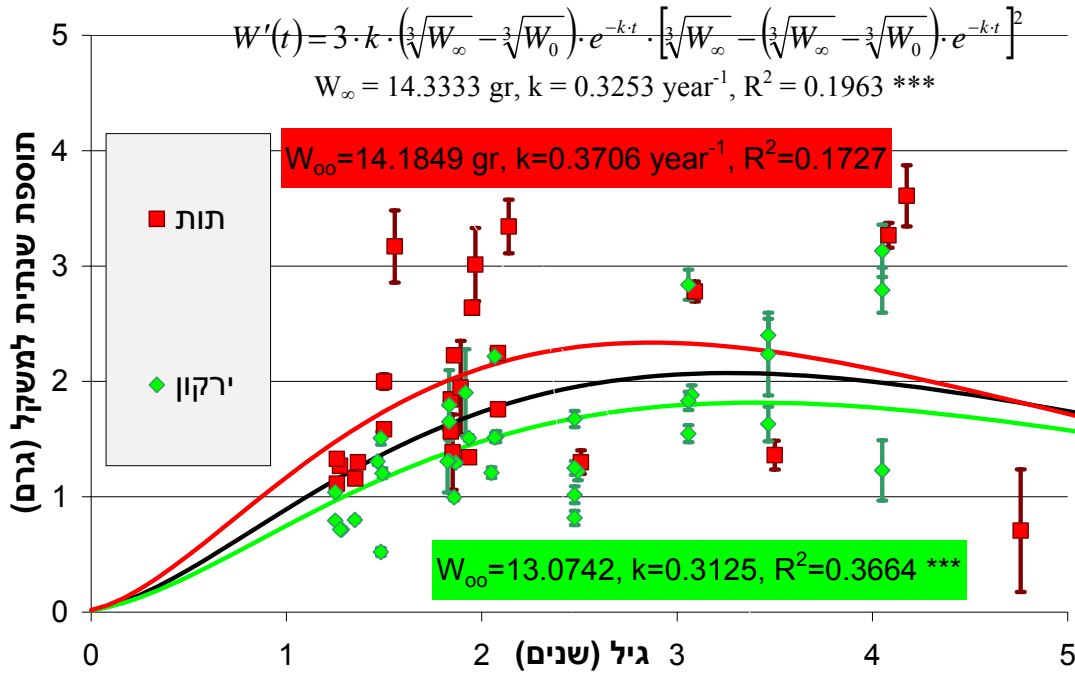
[ראה סעיף א.2.5].



איור ג.5.2 ממוצע משקל הדג כפונקציה של גיל הדג – קווי השגיאה האנכיים מציינים את סטיית התקן. קווי השגיאה האופקיים מציינים את טווח הגילים של כל הדגים במיכל. פיתוח של VBGF, עם הפרמטר $W_0 = 5.8566 \times 10^{-4}$ חתום כקו רגרסיה, והתקבלו

הפרמטרים W_∞ ו- k . כמו כן מוצגת מידת ההתאמה R^2 . הסימון *** מציינ רמת מובהקות $p < 0.0005$.

במשוואה זו היו ידועים הפרמטר W_0 והפרמטרים W_∞ , לכלל הנתונים [ראה איור ג.1.1] ולכל גרעין רביה בנפרד (לגרעין "ירקון" $W_\infty = 13.0742 \text{ gr}$ ולגרעין "תות" $W_\infty = 14.1849 \text{ gr}$) התקבלו מהיחס אורך-גיל. הפרמטר שהתקבל לאחר התאמת העקומה לנתונים היה $k = 0.3253 \text{ year}^{-1}$. מידת ההתאמה של קו הרגרסיה הייתה $R^2 = 0.1963$ ורמת המובהקות $p < 0.0005$ [איור ג.2.1].



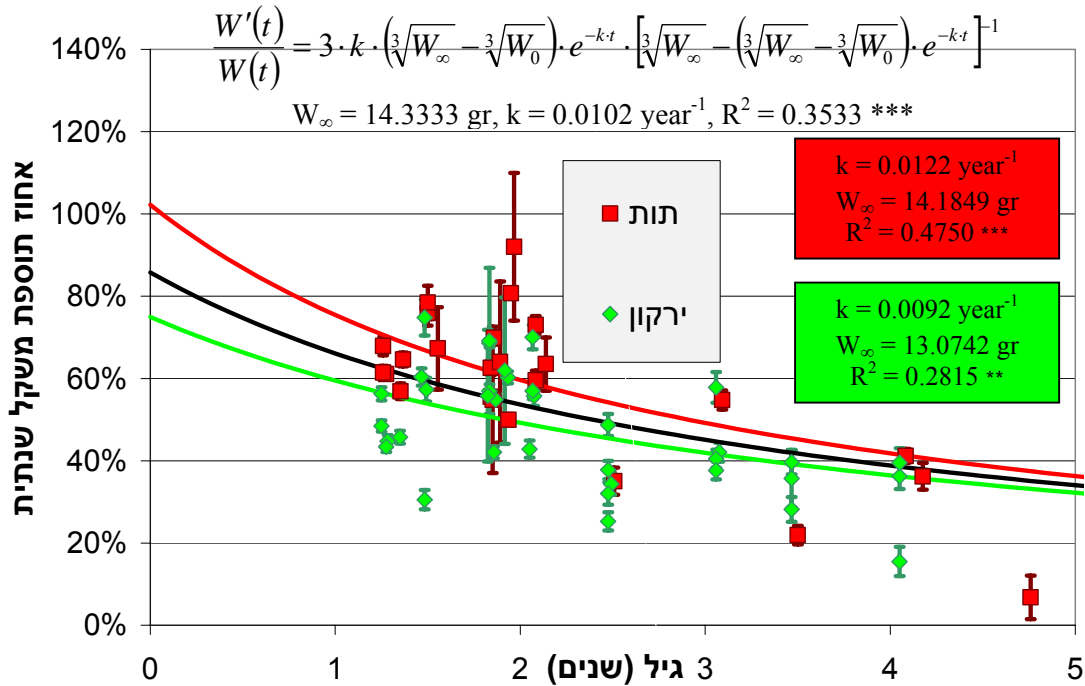
איור ג.2.1 ממוצע התוספת למשקל הדג (לששה חודשים, למיכל) כפונקציה של גיל הדג ההתחלתי – קווי השגיאה בציר המשקל מציינים את סטיית התקן. בחלקו העליון של האיור משוואות וערכי R^2 לקווי רגרסיה כללית לפי VBGF הפרמטרים המצויינים הם: k קבוע הגדילה ו- W_∞ המשקל האסימפטוטי של קבוצות הדגים. קווי רגרסיה והפרמטרים מצויינים לכל הדגים (קו אמצעי) ובנפרד לכל גרעין רבייה. הסימון *** מציינ רמת מובהקות $p < 0.0005$.

התייחסות נפרדת לגרעיני הרבייה הראתה אסטרטגיות שונות של גדילה בין גרעיני הנחלים ירקון ותות. בגרעין "ירקון" קצב העלייה במשקל והתוספת המקסימלית למשקל ($k = 0.3125 \text{ year}^{-1}$) היו נמוכים יותר מבגרעין "תות" ($k = 0.3706 \text{ year}^{-1}$). מידת ההתאמה של קו הרגרסיה הייתה $R^2 = 0.3664$ בגרעין "תות" ו- $R^2 = 0.1727$ בגרעין ירקון ורמת המובהקות הייתה $p < 0.0005$ בגרעין "ירקון" ו- $p > 0.05$ בגרעין "תות". ההבדל בין גרעיני הרבייה בקצב העלייה במשקל עם הגיל נמצא מובהק (One-Way ANCOVA; $df=1$; $F=9.9395$; $p=0.0025$). המגמה הכללית של התוספת למשקל הדג עם הגיל, כאשר גודל הדג בכל גיל נלקח בחשבון, כלומר: העלייה במשקל הדג נלקחה באחוזים ממשקלו ההתחלתי (RGW) לפי VBGF הייתה ירידה בקצב המתמתנת עם הגיל. קצב זה קשור כאמור לקצב תצרוכת המזון [איור ג.2.7].

הגידול במקרה זה היה 65% לדג בגיל שנה ו- 32.5% לדג בגיל 5 שנים. כלומר בגיל 5 שנים כשתי חמישיות מהגידול בגיל שנה.

כאשר הוצגה התוספת במשקל כפונקציה של משקל הדגים ההתחלתי, למרות ההבדלים בגודל התוספת במשקל, בשני גרעיני הרבייה נראה דגם דומה של עלייה בתוספת המשקל עם העלייה במשקל הדג עד למשקל של 5.6 גרם.

העלייה היחסית במשקל הדגים הייתה גבוהה באופן מובהק בגרעין "תות" (One-Way ANCOVA; df=1; F=8.301; p=0.006).



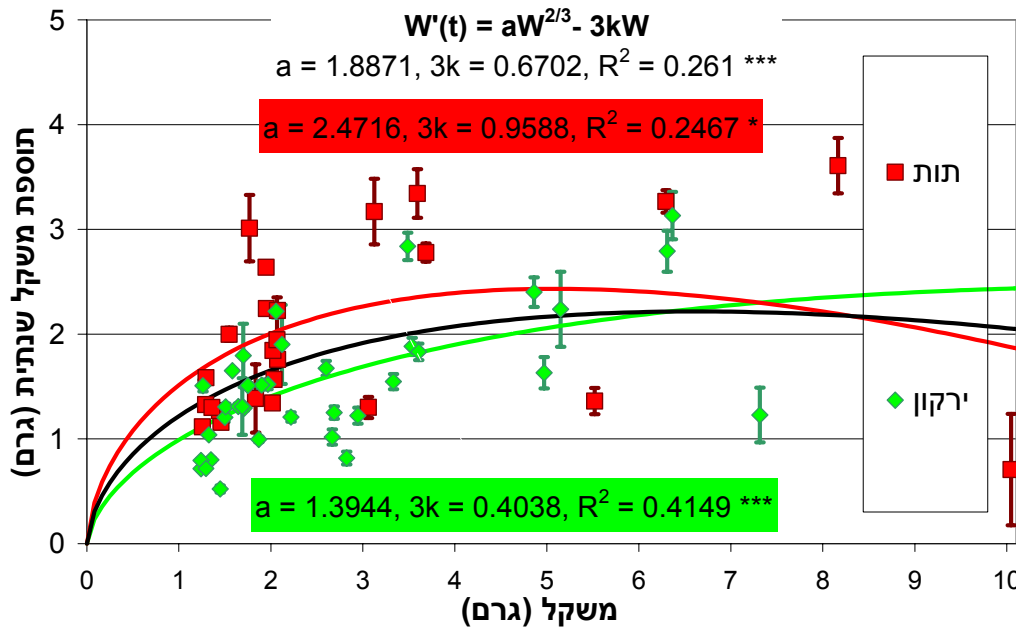
איור ג.7.2 ממוצע התוספת השנתית היחסית למשקל הדג (RGW למיכל) כפונקציה של גיל הדג ההתחלתי – קווי השגיאה בציר האנכי מציינים את סטיית התקן. בחלקו העליון של האיור משוואות וערכי R² לקווי רגרסיה כללית לפי VBGF הפרמטרים המצויינים הם: k קבוע הגדילה ו- W_∞ המשקל האסימפטוטי של קבוצת הדגים. קווי רגרסיה והפרמטרים מצויינים לכל הדגים (קו אמצעי) ובנפרד לכל גרעין רבייה. הסימון * מציינ רמת מובהקות p < 0.0005.**

השפעה ישירה של גיל הדגים על קצב העלייה במשקל הגוף התבטאה בכך שתוספת משקל של 2.17 גרם לשנה התקבלה בממוצע לדגים בגיל 3.5 שנים [איור ג.5.2]. כלומר לדגים שהגיעו ל-גיל מעברי [איור ג.6.1]. לאחר מכן נראתה ירידה בתוספת המשקל ותוספת המשקל שאפה לערך יציב.

השפעה עקיפה של גיל הדגים על קצב העלייה במשקל נראתה בבחינת הקשר בין קצב העלייה במשקל למשקל הגוף ההתחלתי. ככל שהמשקל ההתחלתי היה גבוה יותר התוספת למשקל הדג הייתה קטנה יותר [איור ג.8.2].

כשתוספת המשקל נמדדה באחוזים ממשקל הדג ההתחלתי התקבל קשר הדומה לקשר בין התוספת למשקל וגיל הדגים [איור ג.7.2].

התוספת למשקל הדג באחוזים ממשקל גופו ההתחלתי כפונקציה של המשקל ההתחלתי נבחנה בתקופת הקיץ ובתקופת החורף [איור ג.2.8]. הערכים שהתקבלו היו גבוהים באופן מובהק לדגים שנמדדו לאחר תקופת החורף על פני דגים שנמדדו לאחר תקופת הקיץ (Tree-Way ANCOVA; df =1; F=12.155; p=0.001).



איור ג.2.8 התוספת למשקל הדג (לששה חודשים, למיכל) כפונקציה של משקל הדג ההתחלתי – קווי השגיאה בציר התוספת למשקל מציינים את סטיית התקן. בחלקו העליון של האיור משוואות וערכי R^2 לקווי רגרסיה כללית לפי VBGF הפרמטרים המצויינים הם: a הקבוע האנבולי ו- $3k$ הקבוע הקטבולי. קוי רגרסיה והפרמטרים מצויינים לכל הדגים (קו אמצעי) ובנפרד לכל גרעין רבייה. הסימון *** מצייין $p < 0.0005$, והסימון * מצייין רמת מובהקות $p = 0.05$.

ניתן לחלק את הדגים לקבוצות לפי מקומות גידול, לפי עונות שנה, ולפי גרעיני רבייה. כל קבוצת דגים התאפיינה בקצב גידול משלה [טבלה ג.1.2]. קצבי גידול אלה יכולים להיות זהים או שונים מבחינה סטטיסטית. ניתן ללמוד על הקשר בין מקום הגידול, עונות השנה, ונחל המוצא לקצב הגידול על ידי השוואה בין קבוצות דגים בעלות מאפיינים אלו. להלן סיכום ההבדלים בקצב הגידול בין קבוצות דגים [ראה גם טבלה ג.2.2].

ג.2.3 הבדלים בקצב הגידול בין אוכלוסיות הנחלים ירקון ותות

התפלגויות משקלי הדגים בגרעיני הרבייה "תות" ו"ירקון" לא הייתה סימטרית (ניכרה הטיה לכיוון המשקלים הנמוכים). מסיכום סך כל משקלי הדגים של גרעיני הרבייה "תות" ו-"ירקון" נמצא שדגי גרעין "תות" שקלו בממוצע 300 מ"ג יותר מדגי גרעין "ירקון". דגי גרעין "תות" התארכו בקצב מהיר יותר מדגי גרעין "ירקון" (Tree-Way ANCOVA; df =1; F=10.772; p=0.002).

בגרעין תות גיל הדג הסביר כ- 71% מהתארכות הדגים, התארכות הדגים הקטנים (45 – 59 מ"מ) הייתה גדולה בלמעלה מ- 50% מהתארכות הדגים המקבילים מגרעין ירקון, לתקופה של חצי שנה. קצב ההתארכות השתווה בדגים הגדולים (75-89 מ"מ). דגי נחל תות עלו במשקל בקצב מהיר יותר מדגי נחל ירקון. כמו בהתארכות הדגים, הדבר התבטא בעיקר בדגים הקטנים. דגים במשקל של גרם אחד עלו במשקל בגרעין נחל תות בכ- 20% יותר מהדגים בגרעין נחל ירקון. הבדלים אלה נעלמו כשבחנו דגים השוקלים 7 גרם ויותר.

טבלה ג.1.2 התוספת הממוצעת למשקל דגי לבנון הירקון בגרעין הרבייה באחוזים ממשקל הדג ההתחלתי והתוספת הממוצעת לאורך הדג (מ"מ). N – מספר המיכלים שנבדקו.

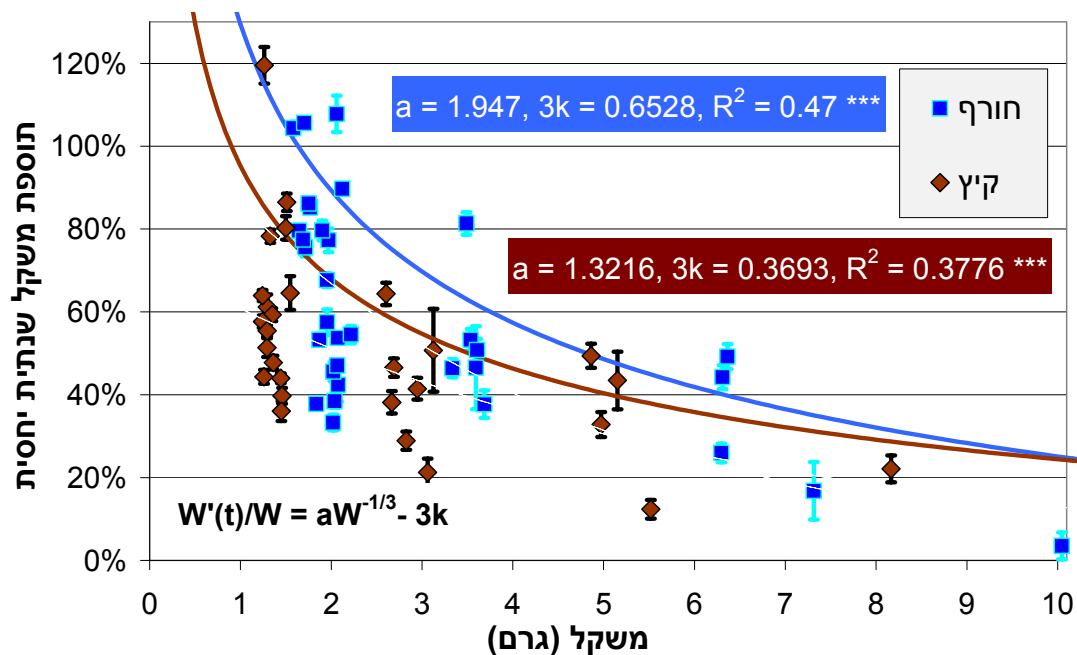
$\Delta Length(mm)$			$\frac{\Delta Weight}{Weight}$					
התארכות הדגים (מ"מ)			תוספת משקל הדגים באחוזים מהמשקל ההתחלתי					
N	סטיית תקן	ממוצע	N	סטיית תקן	ממוצע	מיקום	עונה	גרעין
			12	13.58	27.81	סככה	קיץ	נחל ירקון
			5	4.57	31.46	מבנה		
			17	11.61	28.88	סה"כ		
			11	12.25	30.06	סככה	חורף	
			8	8.45	41.99	מבנה		
			19	12.15	35.08	סה"כ		
23	1.5288	5.4730	23	12.72	28.88	סככה		
8	0.9429	5.4854	13	8.78	37.94	מבנה		
31	1.3862	5.4762	36	12.15	32.15	סה"כ		
			6	22.77	38.68	סככה	קיץ	נחל תות
			5	4.38	45.43	מבנה		
			11	16.72	41.75	סה"כ		
			6	18.83	35.60	סככה	חורף	
			8	17.51	51.09	מבנה		
			14	19.10	44.45	סה"כ		
12	2.7400	6.4673	12	19.99	37.14	סככה		
8	1.6747	7.9639	13	13.91	48.91	מבנה		
20	2.4383	7.0659	25	17.77	43.26	סה"כ		
			18	17.31	31.43	סככה	קיץ	
			10	8.48	38.45	מבנה		
			28	14.98	33.94	סה"כ		
			17	14.56	32.01	סככה	חורף	
			16	14.09	46.54	מבנה		
			33	15.92	39.06	סה"כ		
35	2.0422	5.8139	35	15.80	31.71	סככה		
16	1.8335	6.7246	26	12.69	43.43	מבנה		
51	2.0067	6.0996	61	15.58	36.71	סה"כ		

ג.2.4 עונתיות בקצב הגידול

תוספת המשקל (באחוזים מהמשקל ההתחלתי) הייתה גדולה באופן מובהק לדגים שנמדדו לאחר תקופת החורף על פני דגים שנמדדו לאחר תקופת הקיץ. עלייה זו נמדדה בדגים לפני "גיל המעבר" [איור 9.2.ג]. הבדל זה הלך והצטמצם עם הזדקנות הדגים (הירידה בקצה הגידול).

טבלה 1.2.ג הבדלים במידת התארכות הדגים וביחס תוספת משקל למשקל התחלתי (בתקופה של שבעה וחצי חודשים) לפי גרעין רבייה ומקומות גידול על פי מבחני One-way ANCOVA. שש העמודות השמאליות מסכמות את תוצאות המבחנים. תוצאות שאינן מובהקות סטטיסטית כתובות באפור.

תוספת משקל \ משקל התחלתי			תוספת אורך			בתנאים		השוואה
F	מובהקות p	יתרון	F	מובהקות p	יתרון	מקום	עונה	הבדל בין
1.503	0.244	תות	1.092	0.319	תות	סככה	חורף	גרעיני רבייה תות / ירקון
12.469	0.004	תות	23.421	0.001	תות	מבנה		
3.863	0.060	תות	10.839	0.003	תות			
6.686	0.023	תות	8.903	0.011	תות	סככה		
6.657	0.015	תות	7.413	0.110	תות	סככה		
22.763	< 0.0005	תות	21.625	0.001	תות	מבנה		
16.440	< 0.0005	תות	23.249	< 0.0005	תות			
3.559	0.075	חורף	1.269	0.276	חורף	ירקון	סככה	עונות קיץ / חורף
1.210	0.308	חורף	0.105	0.757	קיץ	תות		
2.746	0.109	חורף	0.015	0.904	קיץ			
0.501	0.491	מבנה	0.091	0.768	מבנה	ירקון	חורף	מקומות סככה / מבנה
0.277	0.611	מבנה	0.603	0.460	מבנה	תות		
1.494	0.233	מבנה	0.934	0.343	מבנה			



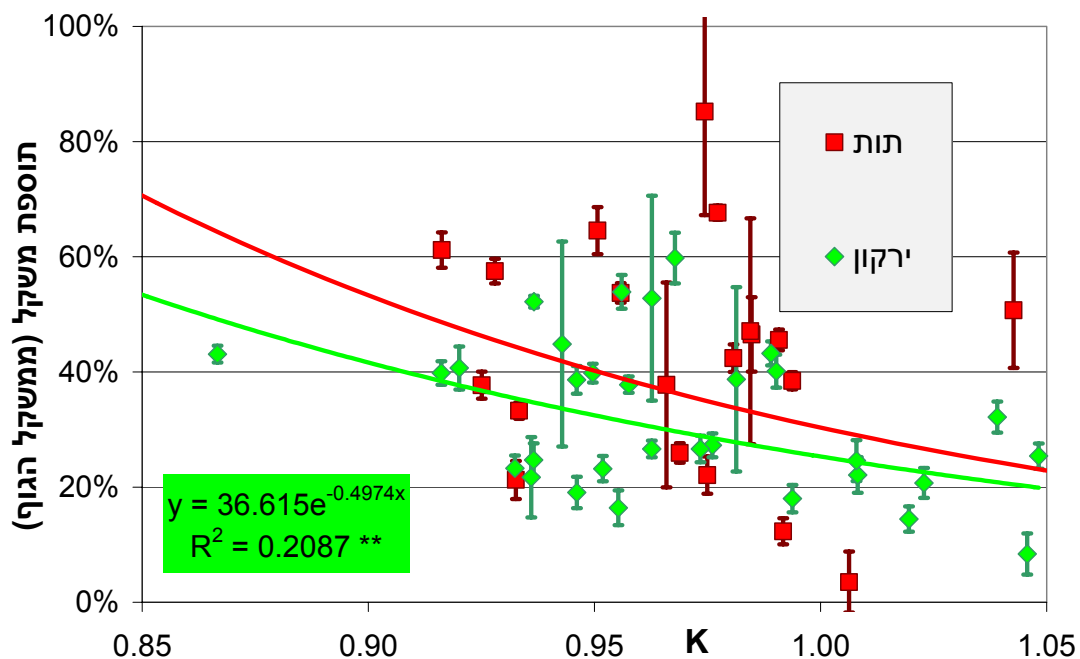
איור 9.2.ג תוספת למשקל הדג (לששה חודשים, למיכל) באחוזים מהמשקל ההתחלתי –
 קווי השגיאה בציר התוספת למשקל מציינים את סטיית התקן. בחלקו העליון של
 האיור ערכי R^2 לקווי רגרסיה לפי VBGF לעונת החורף ולעונת הקיץ הפרמטרים
 המצויינים הם: a : הקבוע האנבולי ו- k הקבוע הקטבולי. משוואת הרגרסיה בפניה
 השמאלית התחתונה. הסימון *** מציין רמת מובהקות קשר $p < 0.0005$.

5.2.ג השפעת תנאים סביבתיים על קצב הגידול

למרות שלא נמצאו הבדלים מובהקים בקצב הגידול בין מקומות הגידול (סככה ומבנה) בכל
 אחד מגרעיני הרבייה בנפרד ניתן לראות שהפער בקצב התארכות, והעלייה במשקל הדגים
 בין גרעיני הרבייה היו גדולים באופן מובהק בדגים שגדלו במבנה לעומת דגים שגדלו בסככה.
 (התארכות – Two-Way ANCOVA; $df=1$; $F=5.583$; $p=0.023$ – Two-Way ANCOVA; $df=1$; $F=6.044$; $p=0.017$).

6.2.ג השפעת הגורם הגופני על קצב הגידול

בחינת קצב הגידול כתלות בערכי אינדקס הגורם הגופני מלמדת על השפעת תנאי ההתחלה.
 נמצא הבדל ביחס בין תוספת המשקל (באחוזים ממשקל בגוף ההתחלתי) לערכי האינדקס בין
 גרעיני הרבייה.
 היחס בין התוספת במשקל הדגים לערך אינדקס הגורם הגופני ההתחלתי שונה בין גרעיני
 הרבייה (טבלה ג.3.2). בהשוואה סטטיסטית בין גרעיני הרבייה נמצא יתרון לגרעין "תות" על פני
 גרעין "ירקון" (One-Way ANCOVA; $df=1$; $F=6.424$; $p=0.015$).
 יחס הפוך נמצא בין ערכי אינדקס הגורם הגופני לתוספת במשקל הדג. הקשר בין גורמים אלו לא
 נמצא מובהק בגרעין "תות" [איור ג.10.2].



איור ג.10.2 התוספת למשקל הדג (באחוזים מהמשקל ההתחלתי) למיכל, לששה חודשים, כפונקציה של ערך אינדקס הגורם הגופני ההתחלתי – קווי השגיאה בציר התוספת למשקל מציינים את סטיית התקן. בפינה השמאלית התחתונה משוואת וערך R^2 לקו הרגרסיה אקספוננציאלית. משוואת הרגרסיה לגרעין "תות" לא מופיעה כי הקשר אינו מובהק סטטיסטית. הסימון ** מציינ רמת מובהקות $p = 0.005$.

טבלה ג.3.2 היחס בין תוספת המשקל בגרם לערך אינדקס הגורם הגופני $\frac{\Delta Weight}{K}$ בגרעיני

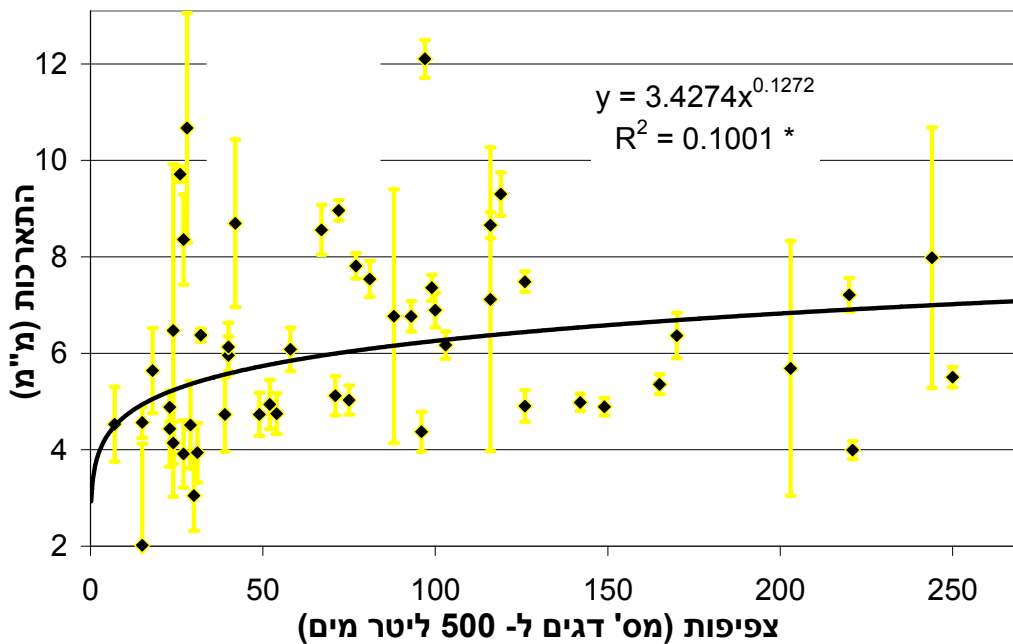
הרבייה השונים. N – מספר המיכלים שנבדקו.

N	סטיית תקן	ממוצע	גרעין
31	0.310	0.839	נחל ירקון
20	0.417	1.111	נחל תות
51	0.376	0.946	סה"כ

7.2.2 השפעת צפיפות הדגים על קצב הגידול

השפעת הצפיפות על התארכות הדגים

הבחנתי בניסוי בין שני סוגים של צפיפות – ביומסת דגים לנפח מים, ומספר דגים לנפח מים. לא נמצא קשר מובהק בין הצפיפות מבחינת ביומסה לקצבי הגידול ולכן בהמשך פרק זה נעסוק בהשפעת צפיפות הפרטים על קצב הגידול. חשוב לציין ששתי קבוצות צפיפות הביומסה האחרונות (0.7, 0.9 גרם לליטר) היו קיימות בתוך המבנה אך לא בסככה. התארכות הדגים עלתה עם צפיפות הפרטים [איור ג.11.2].



איור ג.11.2 התוספת לאורך הדג (מ"מ) למיכל, לששה חודשים, כפונקציה של מספר הדגים במיכל – קווי השגיאה בציר התוספת למשקל מציינים את סטיית התקן. משוואת וערך R^2 לקו רגרסיית חזקה מוצגים. הסימון * מצייין רמת מובהקות $p = 0.05$.

השפעת הצפיפות על העלייה במשקל הדגים

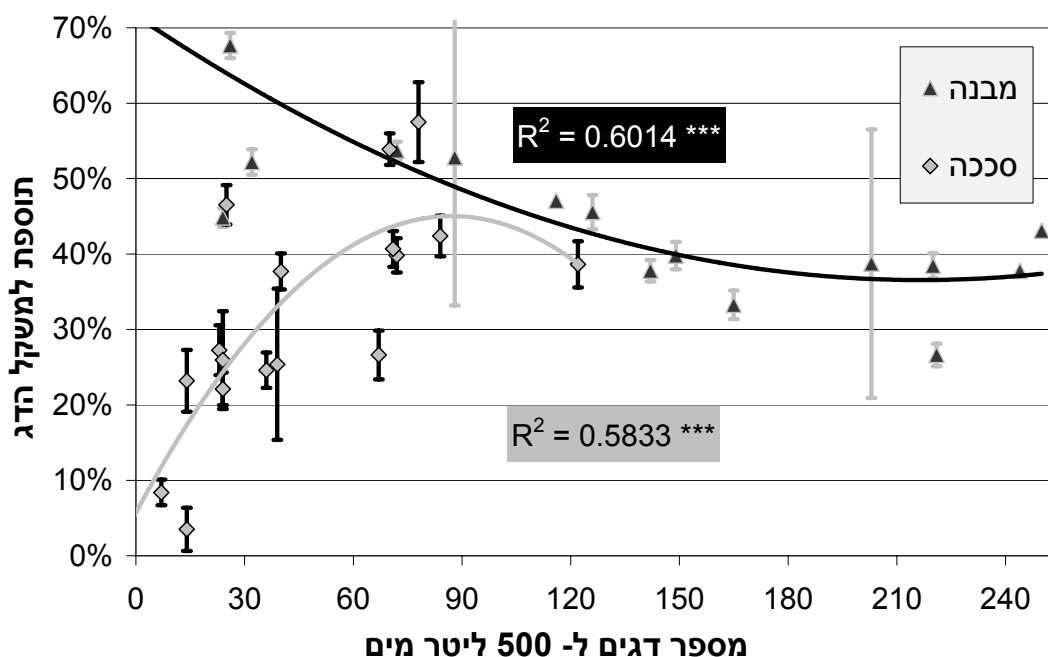
בעונת החורף, היחס בין תוספת במשקל באחוזים ממשקל הדג למספר הפרטים לליטר מים היה שונה בין מקומות הגידול [טבלה ג.4.2]. בבחינה סטטיסטית תוך השוואת מיכלים דומים בלבד נמצא יתרון למבנה על פני הסככה (One-Way ANCOVA; $df=1$; $F=4.237$; $p=0.049$) [איור ג.12.2].

טבלה ג.4.2 היחס תוספת משקל באחוזים ממשקל הדג למספר הפרטים לליטר מים

$$N = \text{מספר המיכלים שנבדקו} \cdot \frac{\Delta Weight\%}{\# Fish}$$

N	סטיית תקן	ממוצע	מיקום
17	0.4249	0.8134	סככה
16	0.9474	0.8004	מבנה
33	0.7149	0.8071	סה"כ

יש לציין שבמבנה כל הדגים היו שייכים לאותה קבוצת אורך (45-59 מ"מ) ואילו בסככה הדגים היו בטווחי אורכים: 45-59 מ"מ, 60-74 מ"מ ו- 75-89 מ"מ. צפיפות הפרטים הייתה מקבילה יחסית לצפיפות הביומסה והסתמנה השפעה של צפיפות זו בירידה של עד 30% בתוספת למשקל הדג.



איור ג.12.2 תוספת למשקל הדג (באחוזים ממשקל הגוף ההתחלתי) למיכל, לששה חודשים, כפונקציה של מספר הדגים במיכל בתקופת החורף – קווי השגיאה בציר התוספת למשקל מציינים את סטיית התקן. ערכי R^2 לקווי הרגרסיה הריבועית מוצגים. עליון בשחור עבור המבנה, תחתון באפור עבור הסככה. הסימון * מציינ רמת מובהקות $p < 0.0005$.**

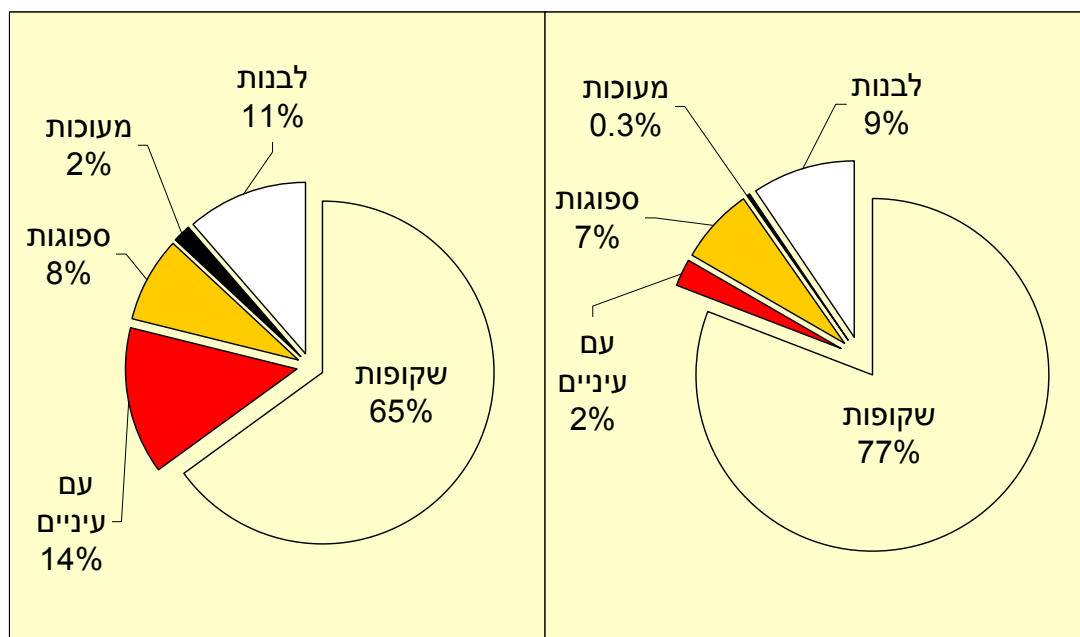
בסככה לעומת זאת היו דגים מארבע קבוצות אורך, וקצבי גידול שונים [איור ג.3.2].

3.ג התפתחות ביצים

המעקב אחר התפתחות הביצים נעשה על ידי מדידת הזמן מהטלת הביצים ועד לבקיעתם, והשוואת התפלגות שלבי ההתפתחות בפרקי זמן שונים מההטלה. התפלגות כלל הביצים שנספרו כללה חמישה סוגים – ביצים שקופות, ביצים עם עיניים (לרווה נעה בתוך הביצה), ביצים לבנות (נגועות בפטריה), ביצים מעוכות (ביצים מכוסות בפטריה) וביצים ספוגות (שאריות ביצים שנטרפו).

בביצים בנות יומיים בממוצע נראתה מגמה של ירידה באחוז הביצים השקופות, שחלקן הפכו לביצים עם עיניים, כאשר ההתפתחות הייתה תקינה, או לביצים לבנות כאשר ההתפתחות לא הייתה תקינה. העלייה שנצפתה באחוז הביצים המעוכות מתארת התפתחות של פטריות על ביצים נגועות. כמו כן נראתה עלייה מסוימת באחוז הביצים הספוגות. עלייה זו נגרמה כנראה מטריפה [איור ג.1.3].

השינוי באחוז הביצים שבהן ניכרות עיניים מבעד לקליפה בין ביצים בנות יום לביצים בנות יומיים מהווה אינדיקציה לקצב התפתחות הביצים. אחוז זה היה גדול יותר בביצים בנות יומיים, ובביצים מגרעין נחל ירקון.



איור ג.1.3 התפלגות ביצי לבנון הירקון על פי מאפייני התפתחות – בצד ימין ביצים בנות יום (נספרו בימים ב' עד ה'). בצד שמאל ביצים בנות יום עד שלושה ימים – בממוצע יומיים (נספרו בימי א').

4.ג מצעי הטלה

בניסויים פרלימינאריים, במהלך 2001, בדקתי את העדפת הדגים, ואת הישרדות הביצים במצעי הטלה מחומרים שונים ומבנים גיאומטריים שונים.

החומרים שנבדקו כללו – 2 סוגים של חרס, אבני אקרשטיין, חבלי ניילון. מצעים שנאספו בשדה (בעינות תמסח ובפארק מקורות הירקון) וכללו – שורשי-אוויר של פטל קדוש (*Rubus sanctus*) וענפי אורן.

מצעי ההטלה המועדפים היו זוגות אבני ריצוף מסוג "אקרשטיין" (90% מכלל הביצים שנאספו). כ- 10% מביצים הוטלו על מצעי חרס וביצים בודדות נמצאו על שורשים של פטל קדוש. על יתר מצעי ההטלה לא נמצאו ביצים.

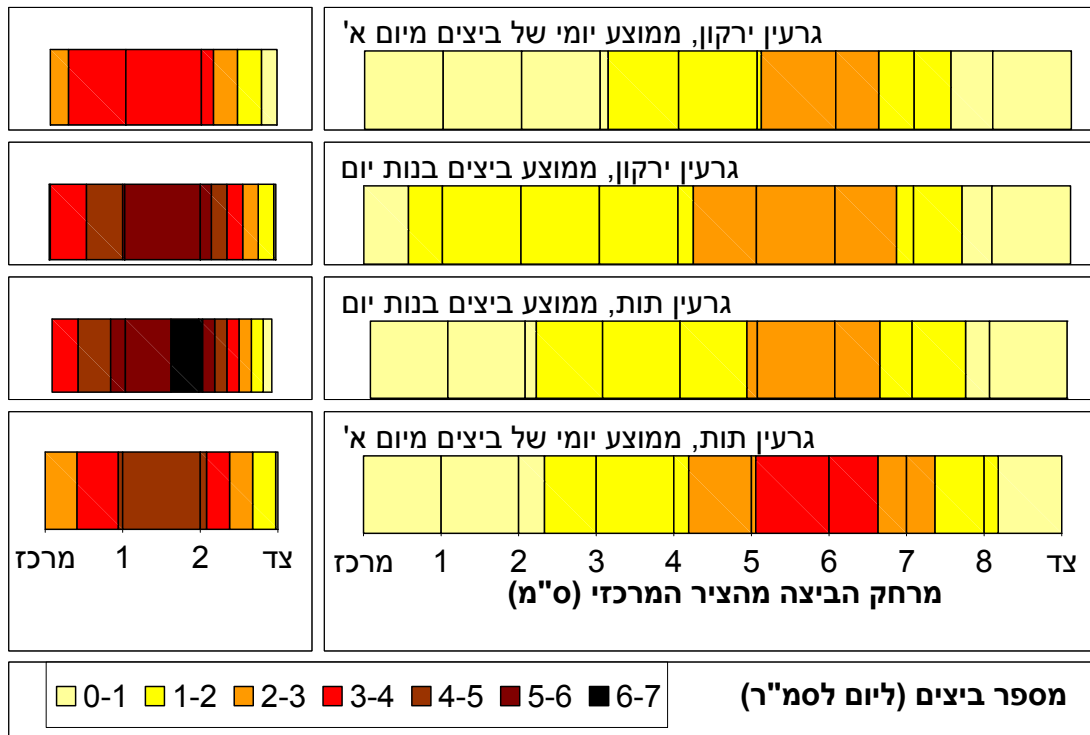
גיאומטריה של מצעי הטלה – עציצי חרס עם וללא פתח ניקוז הונחו ישר ובמהופך וכן במהופך על גבי אבן (לאפשר גישה לדגים מלמטה). אבני ריצוף מסוג "אקרשטיין" הושענו האחת כלפי השנייה בצורות ובזוויות מפגש שונות. ולבסוף הונחו האחת על גבי השנייה בכמה אופנים. על עציצי החרס נמצאו הטלות ספוראדיות אולם למעלה מ- 90% מהביצים הוטלו על אבני הריצוף בנקודות המפגש שבין אבני הריצוף. מצעי ההטלה שעליהם הוטל המספר הגדול ביותר של ביצים היו זוגות אבני "אקרשטיין" שהונחו אחת על השנייה. אבנים אלה בצינן האחד חלקות וישרות יחסית ובצד השני מחוספסות ומעוגלות במקצת, בשוליים. דופן האבן לאורכה חלק ומעוגל במקצת ועוביו כ- 5 ס"מ. ניתן להניח זוגות אבנים אחת על גבי השנייה כאשר צד חלק מונח על צד חלק, צד מחוספס מונח על צד מחוספס, צד חלק מונח על צד מחוספס או שאחד הצדדים של אבן אחת הונח על הדופן של האבן השנייה.

למעלה מ- 99% מכלל הביצים שהוטלו נמצאו בסדק שנוצר בין אבנים. מבין צורות הנחת האבנים זו על גבי זו מספר הביצים הגדול ביותר נמצא בזוגות אבנים שהונחו זו על גבי זו בצורת T [איור ב.3.2]. מצעי הטלה אלה שמשו כמצע הסטנדרטי בניסויים השונים. מידות האבנים הסטנדרטיות ששימשו בניסוי היו – 170 ± 3 מילימטר אורך ו- 110 ± 4 מילימטר רוחב (השגיאה נגרמה מעגלגלות האבן). בניסוי הבוחן את השפעת זמינות מצע ההטלה על עוצמת ההטלה נעשה שימוש גם באבן קטנה יותר שאורכה 110 ± 4 מילימטר. לאור מסקנות ניסויים אלה, נבדקו במחקר זה פרמטרים נוספים שכללו: חספוס המשטח, אוריינטציית המשטח ופרמטרים של חריצי הטלה – רוחב הסדק ועומק ההטלה בתוך הסדק.

1.4.ג השפעת רוחב הסדק על עוצמת ההטלה

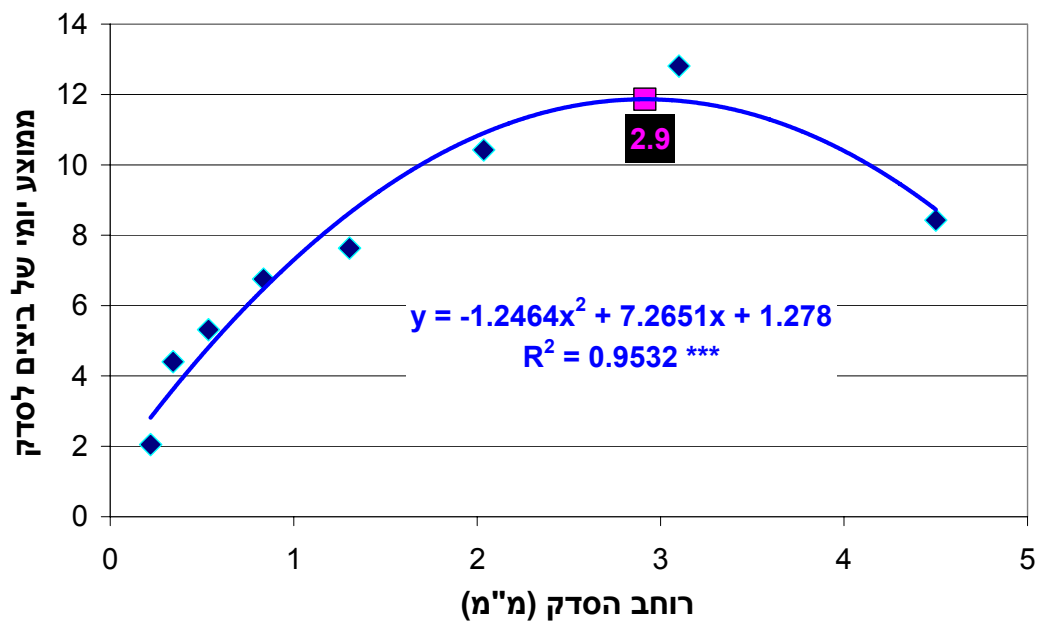
רוב הביצים שהוטלו במהלך תקופת הניסוי, הוטלו בסדקים בין אבני המצע. ממיפוי אבני ההטלה התקבלה תמונה של עוצמת ההטלה באזורים השונים של הסדק: לאורך הסדק ולרוחבו, ביצים שהיו מונחות (על אבן הבסיס) וביצים שהיו תלויות (על תקרת האבן העליונה). מספר הביצים נבחן כתלות במרחק מציר האבן לאורך האבן (המשתנה עם רוחב הסדק), והמרחק מציר האבן לרוחב האבן (מדד לעומק ההטלה), בגרעיני הרבייה השונים עבור ביצים בנות יום ובנות יומיים בממוצע.

בכל המקרים, ההטלה המסיבית ביותר התרחשה באזור המרוחק כ- 6 ס"מ ממרכז האבן. ולרוחב האבן ההטלה המסיבית ביותר התרחשה במרחק 1.5 ס"מ ממרכז האבן [איור ג.1.4].



איור 1.4.ג עוצמת ההטלה כפונקציה של המרחק ממרכז אבן הבסיס של הסדק – מפת קונטורים (קווים שווי ערך) למיפוי ביצים – הצד הימני מתאר התפלגות ביצים לאורך האבן, והצד השמאלי - לרוחב האבן.

רוחב הסדק האופטימלי להטלה לדגי לבנון הירקון היה 2.9 מ"מ [איור 1.4.ג]. גם ברוחב סדק של 0 מ"מ נמצאו הטלות. למעשה חספוס האבן איפשר אזורי הטלה נקודתיים. תרגום המרחק ממרכז האבן לרוחב הסדק נעשה לפי צורת האבן [איור 1.4.ב].

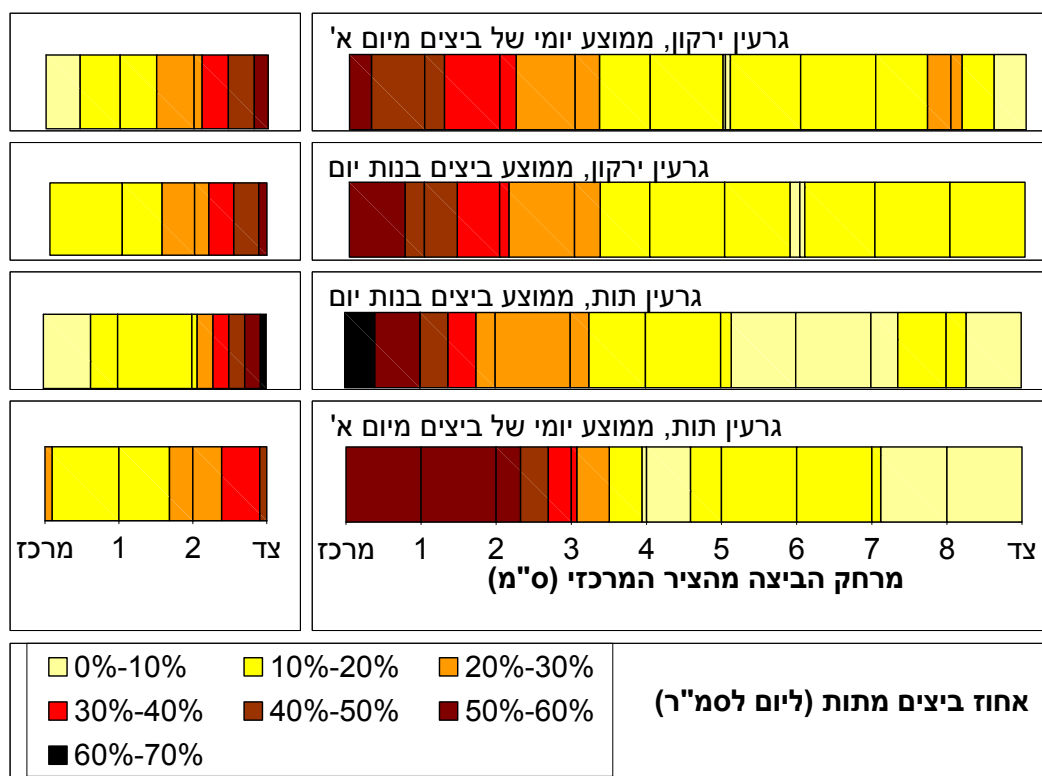


איור ג.2.4 עוצמת הטלה כתלות ברוחב הסדק - התפלגות הביצים המונחות לאורך האבן לפי רוחב הסדק. המספר 2.9 מציין את רוחב הסדק בנקודת המקסימום של הרגרסיה הריבועית.

כדי להשלים את התמונה נבדקה תמותת הביצים לאורך ולרוחב הסדק. המדד לתמותת הביצים היה אחוז הביצים הלבנות, הספוגות והמעוכות מכלל הביצים [איור ג.3.4 ו איור ג.4.4]. מדידות נערכו לחוד, עבור כל גרעין רבייה ועבור ביצים מיום א' – בנות יום וביצים בנות עד שלושה ימים (בממוצע יומיים).

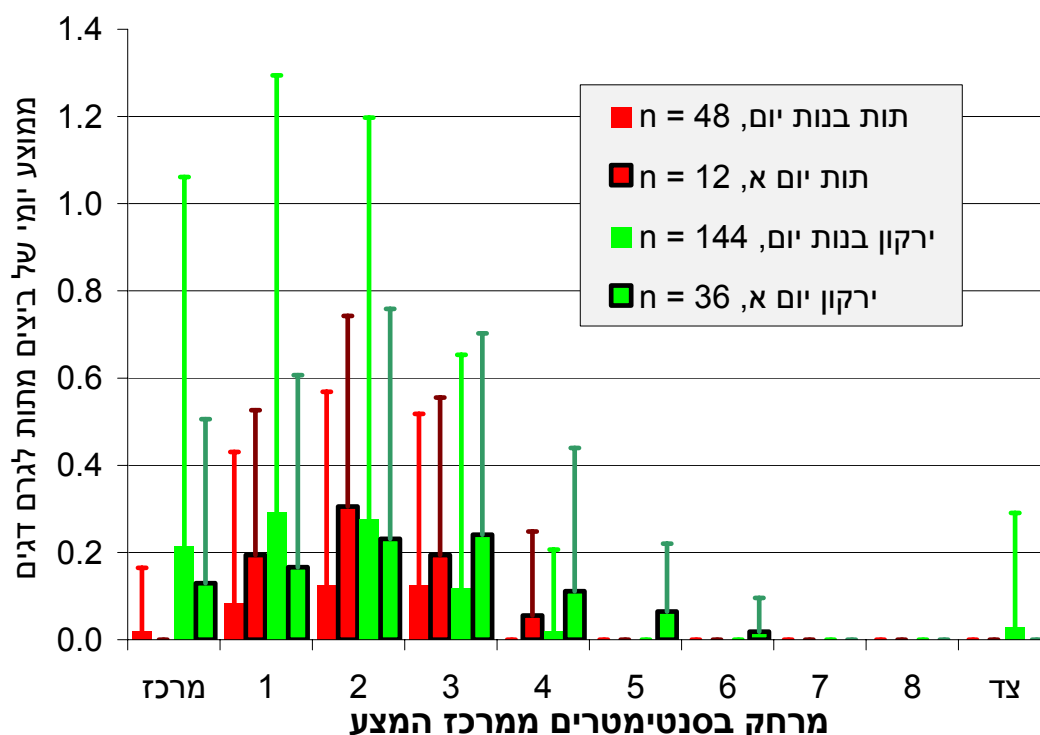
- לרוחב האבן ההשרדות הטובה ביותר של ביצים הייתה בעומק, קרוב לציר האבן.
- לאורך האבן אחוזי התמותה הנמוכים ביותר היו באזור המרוחק כ- 6 ס"מ ממרכז האבן. ולרוחב האבן התמותה המסיבית ביותר התרחשה לאורך דפנות האבן.

תמונה דומה מתקבלת כאשר בודקים את מספר הביצים המתות לרוחב האבן. לרוחב האבן נראתה גם תמותה מאסיבית של ביצים בשולי האבנים [איור ג.3.4]. בבחינת התפלגות הביצים בסדקים אופקיים לפי מקום הטלתן נמצא ש- 80% מכלל הביצים היו מונחות על גבי האבן התחתונה ו- 20% תלויות על האבן העליונה.



איור ג.3.4 אחוז הביצים המתות כפונקציה של המרחק ממרכז האבן אבן הבסיס של הסדק – מפת קונטורים (קווים שווי ערך) למיפוי אחוז תמותת הביצים הצד הימני מתאר אחוזי תמותת ביצים לאורך האבן, והצד השמאלי - לרוחב האבן.

במבחן (t-test) לבחינת ההבדל בין כמות הביצים התלויות לכמות הביצים המונחות נמצא שכמות הביצים המונחות הייתה גדולה באופן מובהק מכמות הביצים התלויות ($t = 11.9053$; $p < 0.0005$; $N=559$). כמו כן נמצא שפרופורציית הביצים התלויות גדולה בגרעין "ירקון" באופן מובהק מפרופורציית הביצים התלויות בגרעין "תות" ($t = 2.1992$; $p = 0.0285$; $N=363$). גודל המדגם במבחנים אלה נקבע לאחר מיצוע והשמטת המיכלים שבהם מספר הביצים הכללי היה 0.



איור ג.4.4 ממוצע הביצים המתות כפונקציה של המרחק מציר מרכז האבן, לאורך אבן הבסיס של הסדק – מדידות נערכו לחוד, עבור כל גרעין רביה ועבור ביצים בנות יום וביצים בנות עד שלושה ימים. קווי השגיאה מציינים את סטיית התקן.

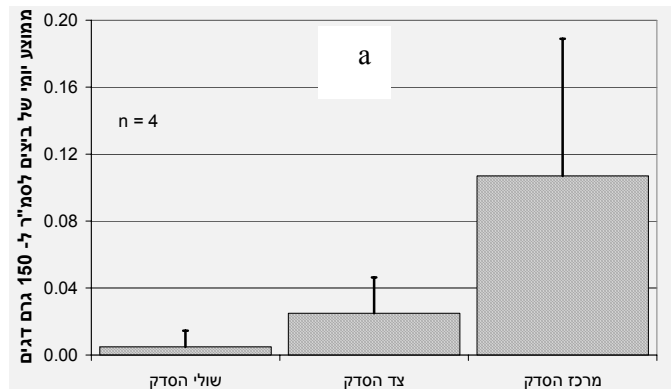
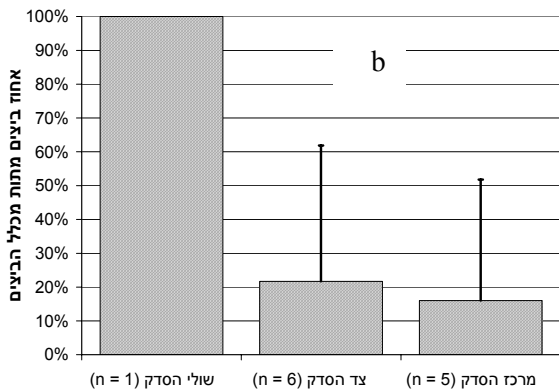
פיזור ההטלות על גבי הסדקים

מיפוי אבני הטלה בסדקים אנכיים מראה תמונה שונה במקצת. המיפוי נעשה לאזורים על פני אבני ההטלה [איור ב.6.2]: מרכז הסדק (A), צד הסדק (B), שולי הסדק (C) ודפנות האבן (D). שטח הפנים של כל אחד מהאזורים נמדד ומספר הביצים המוטלות ביום חושב ליחידת שטח (ביצים לסמ"ר).

הביצים שהוטלו על דפנות האבן (D) נטרפו ברובן ולכן לא נכללו באיורים. באזורים שבהם עוצמת ההטלה הייתה גבוהה, נמצאו אחוזי תמותה נמוכים ולהפך. כמו כן, נצפתה העדפה להטלה בקרבת מרכז הסדק [איור ג.5.4].

במבחני One Way ANOVA נמצאו הבדלים בעוצמת ההטלה בין אזורים שונים על פני אבני הטלה לאזור ($F = 3.508$, $p = 0.18$) וליחידת שטח ($F = 17.203$, $p < 0.0005$) נמצא שעל דופן

האבן ועל שולי האבן עוצמת ההטלה הייתה קטנה יותר מאשר על צד האבן (בתוך שטח הסדק) [טבלה ג.1.4].



איור ג.5.4 הטלה ותמותה כתלות במיקום על גבי האבן בסדקים אנכיים – באיור הימני a) (, ממוצע הביצים המוטלות ליום, ליחידת שטח, בסדקי הטלה אנכיים לפי מיקומן על גבי האבן. באיור השמאלי (b), אחוז הביצים המתות מכלל הביצים המוטלות ליום באזורי הטלה שונים על גבי האבן בסדקים אנכיים. קווי השגיאה מציינים את סטיית התקן. N הוא מספר החזרות לקבוצת בדיקה. מספר החזרות משתנה בין קבוצות הבדיקה בגלל הורדת חזרות בהן לא התרחשה הטלה.

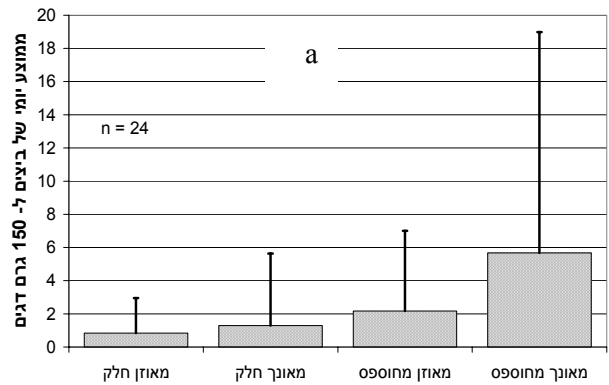
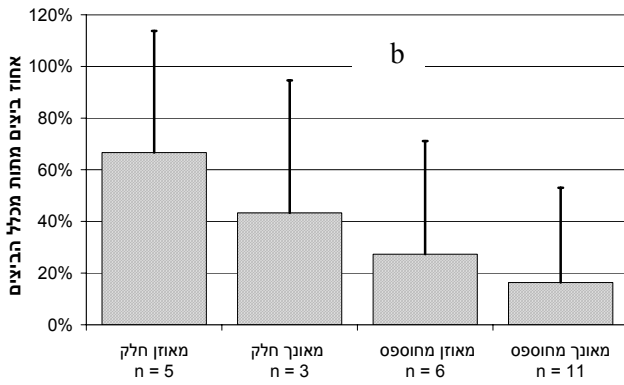
טבלה ג.1.4 תוצאות מבחני One Way ANOVA להשוואת עוצמת הטלה בין אזורים שונים על פני אבני ההטלה. התוצאות מובאות ליחידת שטח בכל אזור. האזורים מרכז וצד נמצאים בתחום הסדק, והאזורים שוליים ודופן נמצאים מחוץ לתחום הסדק. תוצאות לא מובהקות מסומנות באפור.

עוצמת הטלה לסמ"ר			אזור על האבן
F	מובהקות p	יתרון	הבדל בין
0.000	0.992	צד	מרכז - צד
3.301	0.072	מרכז	מרכז - שוליים
4.144	0.048	מרכז	מרכז - דופן
7.811	0.008	צד	צד - שוליים
10.354	0.002	צד	צד - דופן
0.761	0.388	שוליים	שוליים - דופן

2.4.ג השפעת חספוס המצע ואוריינטציית הסדק על עוצמת ההטלה

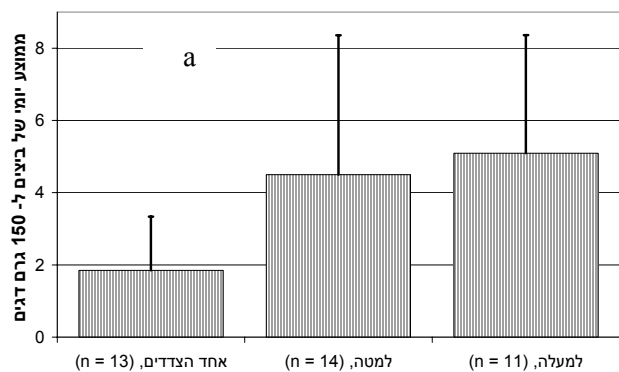
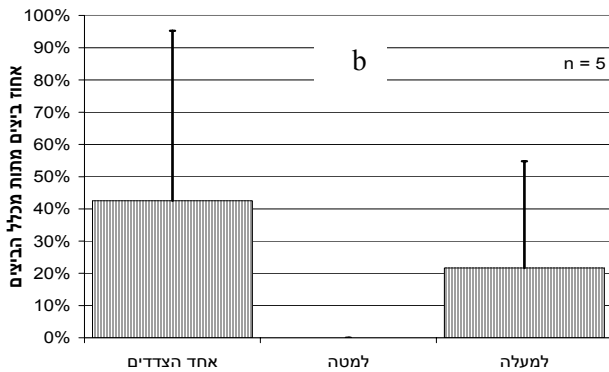
בעבודה עם אבני "אקרשטיין" נבחנה השפעת חספוס המצע על עוצמת ההטלה באוריינטציה אופקית (הטלה מונחת) ובאוריינטציה אנכית. ההבדלים בעוצמת ההטלה ובתמותת ביצים, בין הבסיס המחוספס של האבן (המכיל שקעים שעומקם כקוטר הביצה) לבין הבסיס החלק נבחנו בשתי האוריינטציות.

בסדקים שבהם עוצמת ההטלה הייתה גבוהה, אחוזי התמותה היו נמוכים ולהפך. אותן העדפות נראו באופן עקבי – הדגים העדיפו סדק בעל משטח מחוספס ולאחר מכן אוריינטציית סדק אנכית [איור ג.4.6].



איור 6.4.ג. הטלה ותמותה כתלות באוריינטציית הסדק וחוספוס האבן – באיור הימני (a), ממוצע הביצים המוטלות ליום בסדקי הטלה שונים. באיור השמאלי (b), אחוז הביצים המתות מכלל הביצים המוטלות ליום בסדקי הטלה שונים. קווי השגיאה מציינים את סטיית התקן. N הוא מספר החזרות לקבוצת בדיקה. מספר החזרות משתנה בין קבוצות הבדיקה בגלל הורדת חזרות בהן לא התרחשה הטלה.

ניתן לראות שלדגים הייתה העדפה להטלה בחלק העליון של הסדק והם נמנעו בד"כ מהטלה בצדי הסדק. כמו כן נצפתה תמותה מוגברת בצדי הסדק. יש לקחת בחשבון את אחוזי התמותה האפסיים בתחתית הסדק שנתנו לאזור זה עדיפות על פני האזורים האחרים [איור 7.4.ג].



איור 7.4.ג. הטלה ותמותה כתלות במרחק מהקרע בסדקים אנכיים – באיור הימני (a), ממוצע ביצים מוטלות ליום, בסדקי הטלה אנכיים לפי מיקומן יחסית לקרע. באיור השמאלי (b), אחוז הביצים המתות מכלל הביצים המוטלות ליום, בסדקי הטלה אנכיים לפי מיקומן יחסית לקרע. קווי השגיאה מציינים את סטיית התקן. N הוא מספר החזרות לקבוצת בדיקה. מספר החזרות משתנה בין קבוצות הבדיקה בגלל הורדת חזרות בהן לא התרחשה הטלה.

במבחני One Way ANOVA נמצאו הבדלים בעוצמת ההטלה בין אוריינטציות אופקיות ואנכיות של סדקים ובין משטחים חלקים ומחוספסים.

- בסדקים שבהם היה משטח מחוספס עוצמת ההטלה הייתה גבוהה יותר מעוצמת ההטלה שנצפתה בסדקים בהם שני המשטחים היו חלקים ($F = 10.862; p = 0.001$).

▪ בסדקים בעלי אוריינטציה מאונכת עוצמת ההטלה הייתה גבוהה יותר מעוצמת ההטלה שנצפתה בסדקים בעלי אוריינטציה מאוזנת (בסדקים חלקים ומחוספסים, $F = 5.034, p = 0.025$).

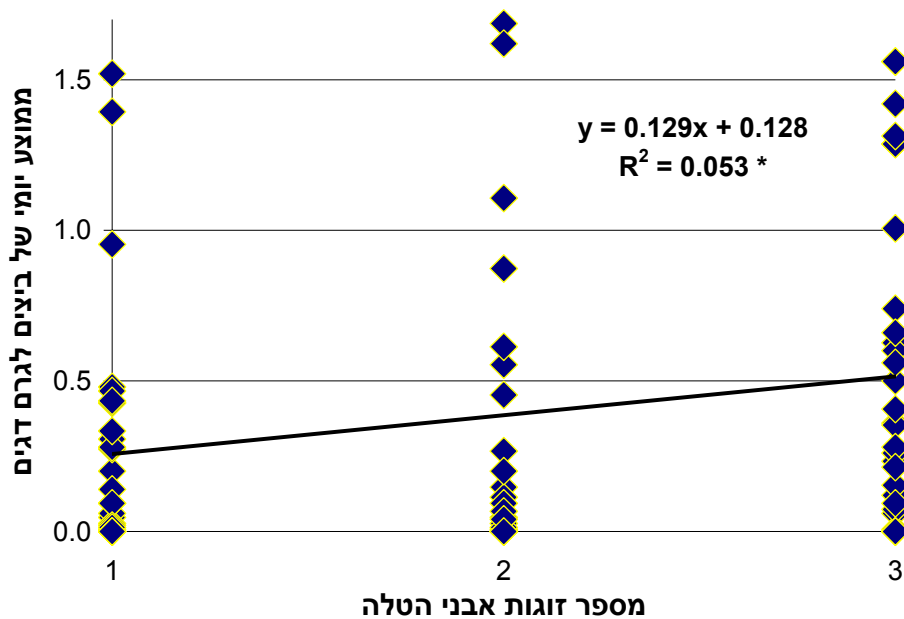
במו כן נמצאו הבדלים בעוצמת ההטלה בין אזורים שונים על פני אבני הטלה בהתאם למרחק מהקרקע - חלק עליון, צדדי ותחתון של סדק ההטלה ($F = 3.873, p < 0.021$), ובתמותת ביצים בין אזורים אלה ($F = 11.864, p = 0.001$), נמצא שעוצמת ההטלה הגדולה ביותר הייתה בחלק התחתון של הסדק (בתוך שטח הסדק) [טבלה ג.2.4].

טבלה ג.2.4 תוצאות מבחני One Way ANOVA להשוואת עוצמת הטלה ואחוזי תמותת הביצים בין אזורים שונים על פני אבני ההטלה. תוצאות לא מובהקות מסומנות באפור.

עוצמת הטלה			אחוזי תמותה			אזור על האבן		
F	p	מובהקות	יתרון	F	p	מובהקות	יתרון	הבדל בין
0.092	0.762	חלק עליון	0.048	0.829	חלק עליון	חלק עליון - צד		
4.148	0.042	חלק תחתון	0.000	0.968	חלק תחתון	חלק עליון - חלק תחתון		
5.486	0.019	חלק תחתון	0.088	0.768	חלק תחתון	חלק תחתון - צד		

3.4.ג השפעת זמינות המצע על עוצמת ההטלה

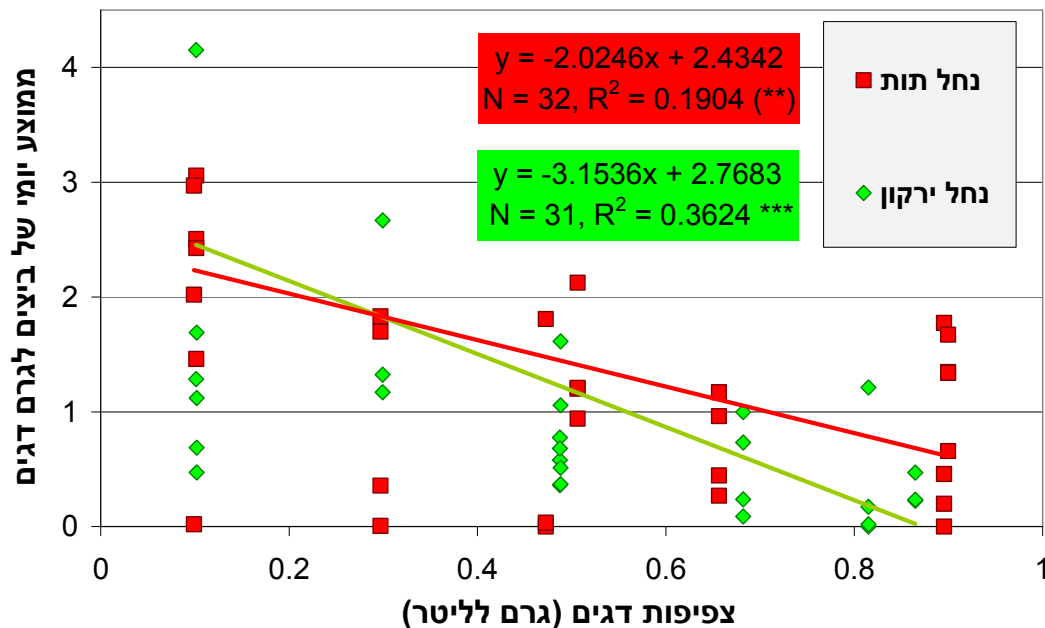
השפעת זמינות מצע ההטלה נבדקה לאורך זמן בזוג אחד, שני זוגות ושלושה זוגות של אבני הטלה. נמצא קשר ליניארי חיובי בין זמינות מצע ההטלה לעוצמת ההטלה. זמינות המצע מסבירה 5.3% מהשונויות שנצפתה בעוצמת ההטלה [איור ג.8.4].



איור 8.4.g עוצמת ההטלה כתלות בזמינות המצע – ממוצע יומי של הביצים מוטלות על גבי אבני הטלה, כפונקציה של מספר זוגות מצעי הטלה במיכל. הסימן * מציינ רמת מובהקות קשר $p = 0.05$. במבחני One-Way ANOVA למדגמים בלתי תלויים, המשווים את עוצמת ההטלה היומית (לגרם דגים) במיכלים עם זמינות שונה של מצעי הטלה התקבל הבדל משמעותי רק בין המצבים הקיצוניים (זוג אחד מול שלושה זוגות של אבני הטלה) ($F = 4.181, p = 0.045, df = 58$).

5.g השפעת צפיפות הדגים על הרבייה

השפעת הצפיפות על עוצמת ההטלה נבחנה במבנה ובסככה. הצפיפות נמדדה בביומסה לליטר מים או במספר פרטים לליטר מים. בגרעין ירקון נמצאה ירידה ליניארית בעוצמת ההטלה עם העלייה בצפיפות הדגים. גרעין תות הראה ירידה בעוצמת ההטלה עם הצפיפות אך מגמה זו התהפכה בצפיפות הגדולה ביותר ונצפתה עלייה קטנה בעוצמת ההטלה [איור 1.5.g].



איור 1.5.g עוצמת ההטלה כפונקציה של צפיפות ביומסה של דגים במבנה – ממוצע יומי של ביצים מוטלות, לגרם דגים, כפונקציה של צפיפות הדגים (ביומסה לליטר), בשני גרעיני הרבייה. גרעין תות בקו הרגרסיה העליון, וגרעין ירקון בקו הרגרסיה התחתון. הסימון *** מציינ רמת מובהקות קשר $p < 0.0005$, והסימון ** מציינ רמת מובהקות קשר $p = 0.001$.

השפעת גודל הדג על עוצמת ההטלה

לצורך בדיקת השפעת גודל הדג על עוצמת ההטלה, הושוו שלוש קבוצות אורך: A - "דגים גדולים", B - "דגים בינוניים" ו-C - "דגים קטנים" (65-79 מ"מ, 60-64 מ"מ, 45-59 מ"מ בהתאמה).

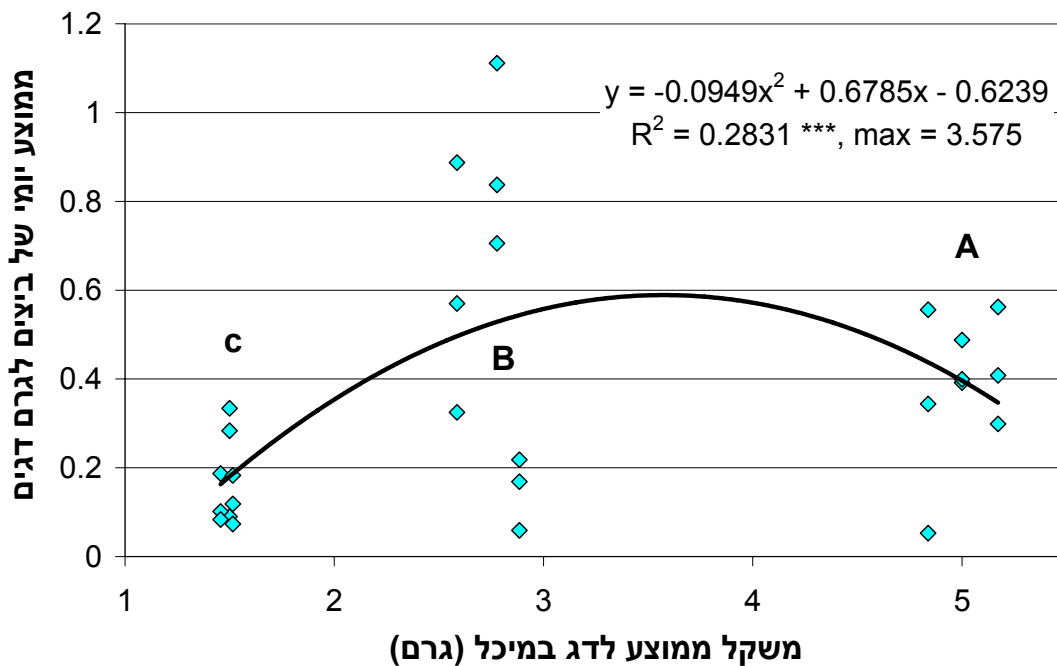
נמצא שעוצמת ההטלה (מספר ביצים לגרם ביום), הנמוכה ביותר הייתה בדגים קטנים, והגבוהה ביותר התקבלה לדגים במשקל 3.575 גרם בקבוצת האורך B, אורך ממוצע 70.9 מ"מ (החישוב על פי היחס אורך-משקל בסעיף ג.1) [איור ג.2.5].

השפעת הצפיפות על הישרדות הלרות

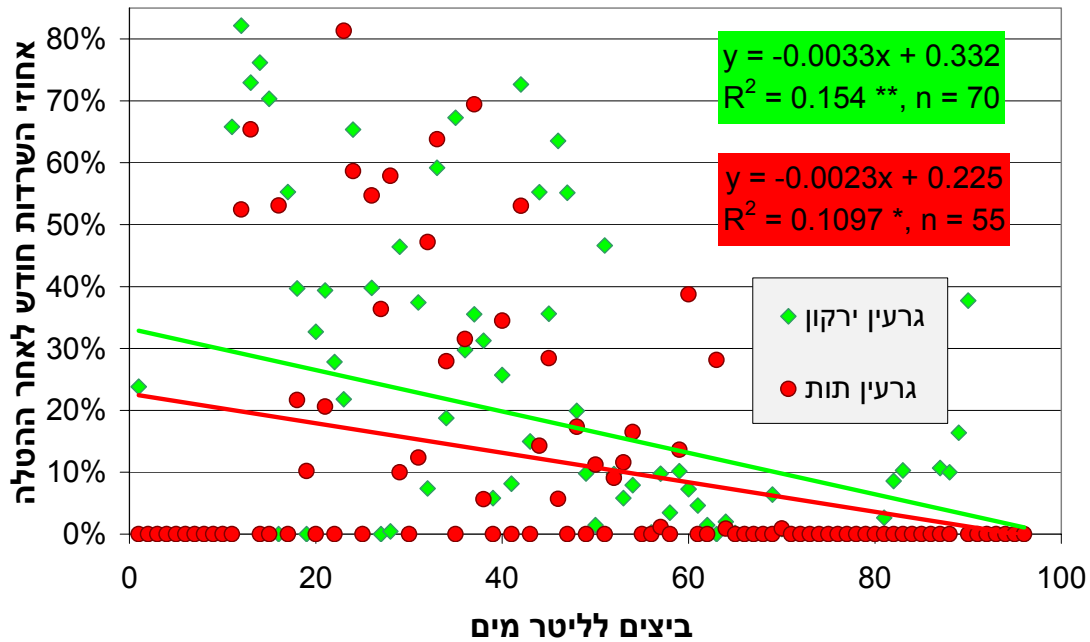
בחודשים מרץ-נובמבר 2001, הודגרו (כולל חזרות) 125 מיכלי ההדגרה. המיכלים עמדו במבנה סגור. הצפיפות נמדדה כמספר הביצים לליטר מים. השפעת הצפיפות על הישרדות הלרות חודש לאחר ההטלה נבחנה בשני גרעיני הרבייה, ונמצא שהישרדות הלרות ירדה עם העלייה בצפיפות הפרטים [איור ג.4.4].

במבחן Two Way ANOVA לבחינת הקשר בין צפיפות הביצים וגרעין הרבייה להישרדות לרות נמצא ש:

- צפיפות הביצים לליטר מים השפיעה על הישרדות הלרות ($F = 7.253, p = 0.008$).
- לא נמצא הבדל בהישרדות הלרות בין גרעיני הרבייה השונים ($F = 2.453, p = 0.120$).



איור ג.2.5 עוצמת ההטלה כפונקציה של גודל הדגים – ממוצע יומי של ביצים מוטלות, לגרם דגים, כפונקציה של משקל הדג הממוצע במיכל, בגרעין ירקון. A, B ו-C מציינים את קבוצות האורך של הדגים. משקל הדג שבו עוצמת ההטלה מקסימלית מסומן כ-max. הסימון *** מצוין רמת מובהקות קשר $p < 0.0005$.



איור ג.3.5 הישרדות לרות כפונקציה של צפיפות הביצים – אחוזי הישרדות חודש לאחר ההטלה. בתקופה מרץ-נובמבר 2001. N הוא מספר מיכלי ההדגרה לקבוצת בדיקה. *, ** מציינים $p = 0.05$, $p = 0.005$ בהתאמה.

6. ג. השפעת הטמפרטורה על הרבייה

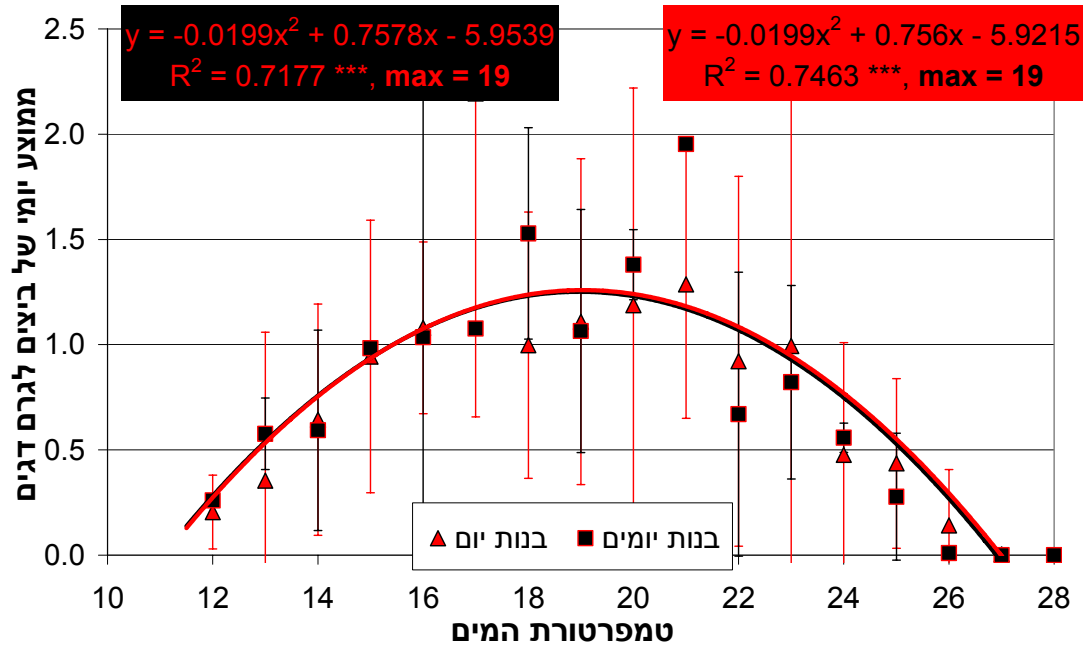
1.6. ג. הבדלים בעוצמת הטלה ובהתפתחות ביצים בין גרעיני הרבייה

ההבדלים בעוצמת ההטלה בין גרעיני הרבייה נבחנו בעזרת One Way ANCOVA. כאשר השונות המשותפת (covariant) היו טמפרטורת המים והפוטופריודה. למעשה הבדיקה דרשה בניסוי השפעת הטמפרטורה על עוצמת ההטלה, רק את הטמפרטורה כשונות משותפת, שכן הפוטופריודה השתנתה בשני גרעיני הרבייה באופן זהה. בניסוי השפעת הפוטופריודה על עוצמת ההטלה, נדרשה רק הפוטופריודה כשונות משותפת, שכן הטמפרטורה הייתה קבועה בשני גרעיני הרבייה. תוצאות מבחנים היו:

- עוצמת ההטלה הייתה גדולה יותר באופן מובהק בגרעין נחל תות ($F=40.463$; $p < 0.0005$).
- אחוז הביצים שניכרו בהן עיניים היה גדול יותר בגרעין נחל ירקון ($F=14.013$; $p < 0.0005$) גם כאשר לא נמצא הבדל בטמפרטורת המים בין גרעיני הרבייה ($F=0.000$; $p=0.996$). התפתחות הביצים הייתה מהירה יותר בגרעין נחל ירקון.

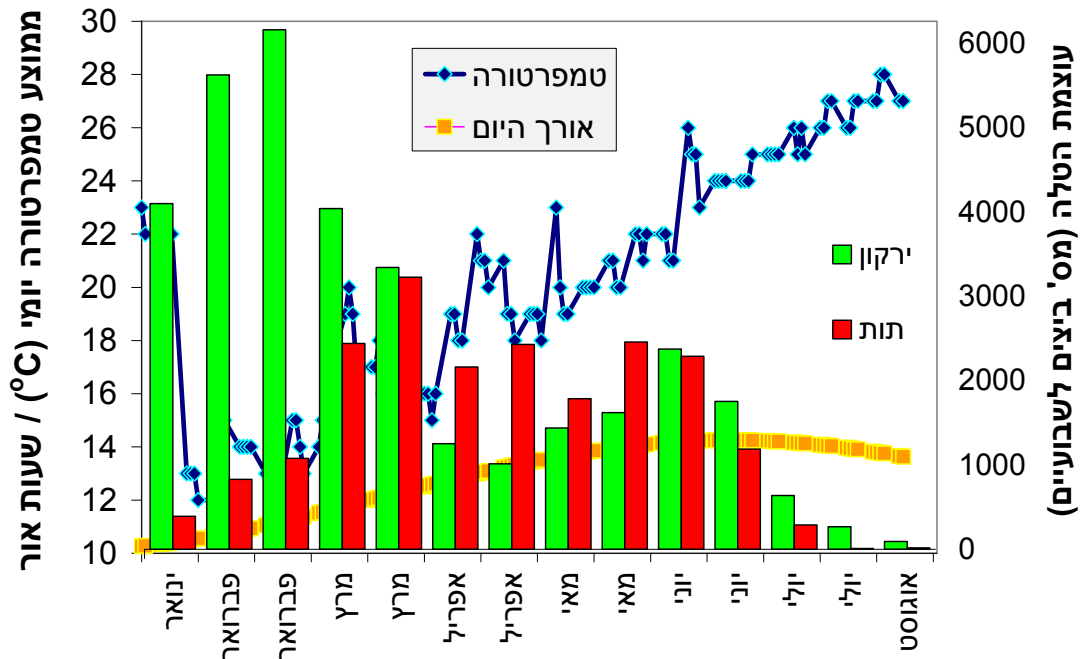
2.6. ג. השפעת הטמפרטורה על עוצמת ההטלה.

ניסוי השפעת טמפרטורת המים על עוצמת ההטלה נערך בגרעין נחל ירקון בין החודשים ינואר למאי 2002, בשני ניסויים עוקבים. שלוש טמפרטורות מים שונות נשמרו במיכלים שונים, על ידי



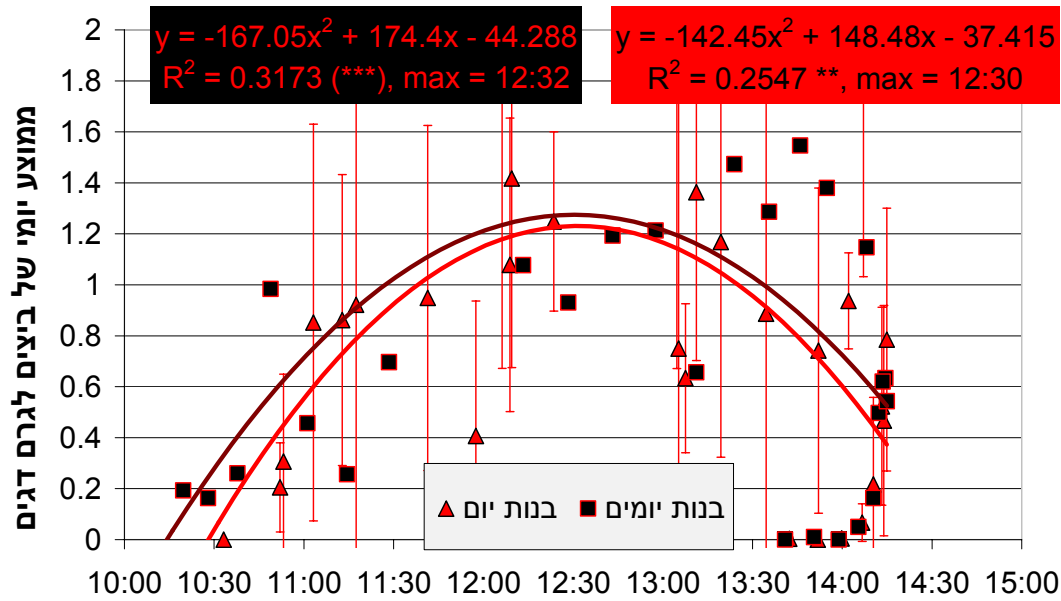
איור ג.2.6 עוצמת ההטלה כפונקציה של טמפרטורת המים בגרעין "תות" – ממוצע יומי של ביצים כתלות בטמפרטורת המים בגרעין נחל תות בתקופת ניסוי השפעת הטמפרטורה על עוצמת ההטלה. הטמפרטורה שבה עוצמת ההטלה מגיעה למקסימום לפי קווי הרגרסיה מסומנת ב-max. הסימון *** מצייין רמת מובהקות קשר $p < 0.0005$.

כדי לבחון אפשרות של בקרה דואלית טמפרטורה-פוטופריודה, נבחנה העונתיות בעוצמת ההטלה בתקופת הניסוי לשני גרעיני הרבייה, ובמקביל את השינוי בפוטופריודה לאורך העונה ואת השינוי בטמפרטורת המים בגרעין נחל תות לאורך העונה [איור ג.3.6].



איור ג.3.6 עונתיות טמפרטורה, פוטופריודה ועוצמת ההטלה בניסוי השפעת הטמפרטורה 2002 – עונתיות בהטלה בגרעיני הרבייה, בטמפרטורת המים בגרעין נחל תות, ובפוטופריודה בזמן ניסוי השפעת הטמפרטורה על עוצמת ההטלה.

זכור ממוצע הטמפרטורה בגרעין נחל ירקון נשאר קבוע לאורך העונה. גרעין נחל ירקון שהיה תחת טמפרטורה מבוקרת (גבוהה), הראה שיא של עונת רבייה מיד בתחילת הניסוי (בחודשים ינואר ופברואר). בגרעין נחל תות נמצא שמרגע שהטמפרטורה הסביבתית הגיעה ל- 18°C הייתה חפיפה בעונת הרבייה. עונת הרבייה בשני גרעיני הרבייה הפסיקה מרגע הגעת הפוטופריודה לערכה המרבי. את עוצמת ההטלה בגרעין נחל תות ניתן להביע גם כתלות בפוטופריודה, ושוב נראתה מגמה דומה למגמת השינוי בעוצמת ההטלה עם הטמפרטורה בגרעין נחל תות. התאמה בין עוצמת ההטלה בגרעין נחל תות לפוטופריודה. עלייה בעוצמת ההטלה התקבלה עד לפוטופריודה של 12.5 שעות אור, ולאחר מכן נצפתה ירידה בעוצמת ההטלה [איור ג.3.6].

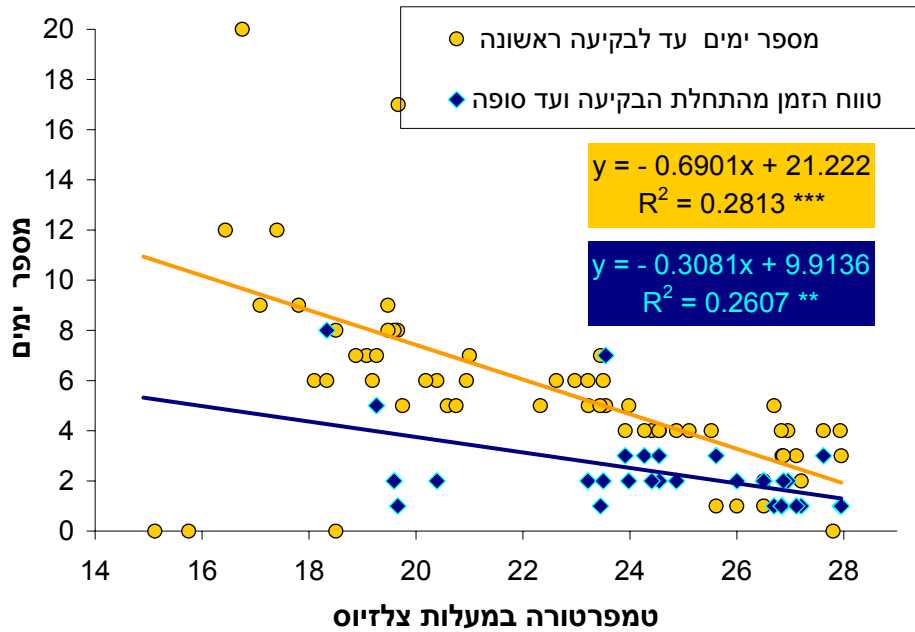


פוטופריודה (שעות אור ביממה)

איור ג.4.6 עוצמת ההטלה כפונקציה של הפוטופריודה בגרעין "תות" – ממוצע יומי של ביצים כתלות בפוטופריודה. הטמפרטורה שבה עוצמת ההטלה מגיעה למקסימום לפי קווי הרגרסיה מסומנת ב-max. הסימון ** מציין רמת מובהקות קשר $p = 0.005$, הסימון (***) מציין רמת מובהקות קשר $p = 0.0001$.

ג.3.6 השפעת הטמפרטורה על התפתחות העוברים

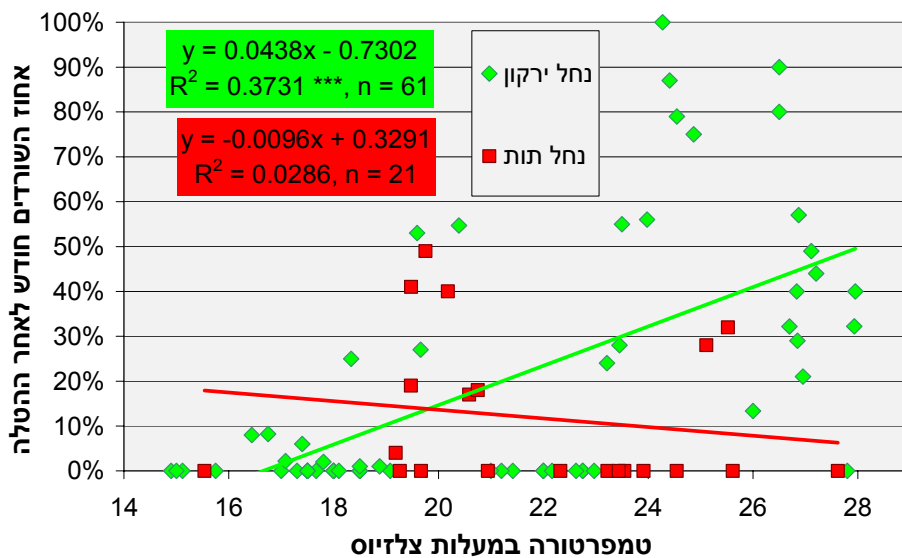
כדי לבדוק את השפעת הטמפרטורה על קצב ההתפתחות של הביצים נבדק אחוז העוברים בהם הופיעו עיניים בביצים בנות יום. מדד זה לא הראה קשר מובהק לטמפרטורת המים ולכן עברתי למדידה ישירה של זמני התפתחות, מספר הימים מהטלת הביצים ועד להתחלת הבקיעה וכן מדידת טווח הזמן מתחילת הבקיעה ועד סופה [איור ג.5.6]. פרק הזמן עד לבקיעה הראשונה וכן טווח הזמן מהתחלת הבקיעה ועד סופה, מתקצרים עם העלייה בטמפרטורה. מספר הימים לבקיעה הוא יום 1 ± 1 ימים בטמפרטורה של 28°C ו- 12 ± 5 יום בטמפרטורה של 17°C .



איור ג.5.6 הזמן הדרוש לבקיעת הביצים כפונקציה של טמפרטורת המים – הסימון ** מצייין רמת המובהקות $p = 0.005$. והסימון *** מצייין רמת מובהקות קשר $p < 0.0005$.

4.6.ג השפעת הטמפרטורה על הישרדות העוברים והפגיות (לרוות)

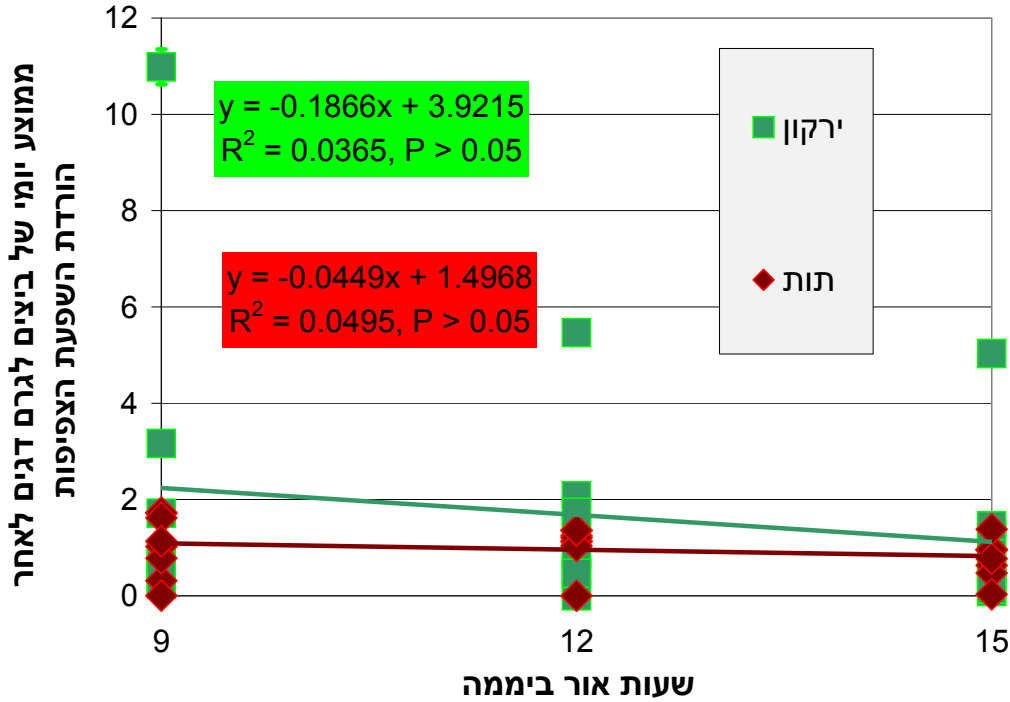
בבדיקת השפעת הטמפרטורה על אחוזי הבקיעה של הביצים, לא נמצא קשר בין השניים. בבדיקת הישרדות הלוות חודש לאחר הטלת הביצים נמצא שאחוזי ההישרדות עלו עם העלייה בטמפרטורה בגרעין נחל ירקון. אולם בגרעין נחל תות לא נמצא קשר בין ההישרדות לעלייה בטמפרטורת המים [איור ג.6.6].



איור ג.6.6 הישרדות לרוות כפונקציה של טמפרטורת המים – אחוז הדגיגים שבקעו ושדרו מביצים על גבי אבני הטלה, שהונחו במיכלי הדגרה בטמפרטורות מים שונות. N הוא מספר מיכלי ההדגרה שהשתתפו בניסוי. הסימון *** מצייין רמת מובהקות קשר $p < 0.0005$ (רמת המובהקות בגרסיה השנייה $p > 0.05$).

7.ג השפעת הפוטופריודה על הרבייה

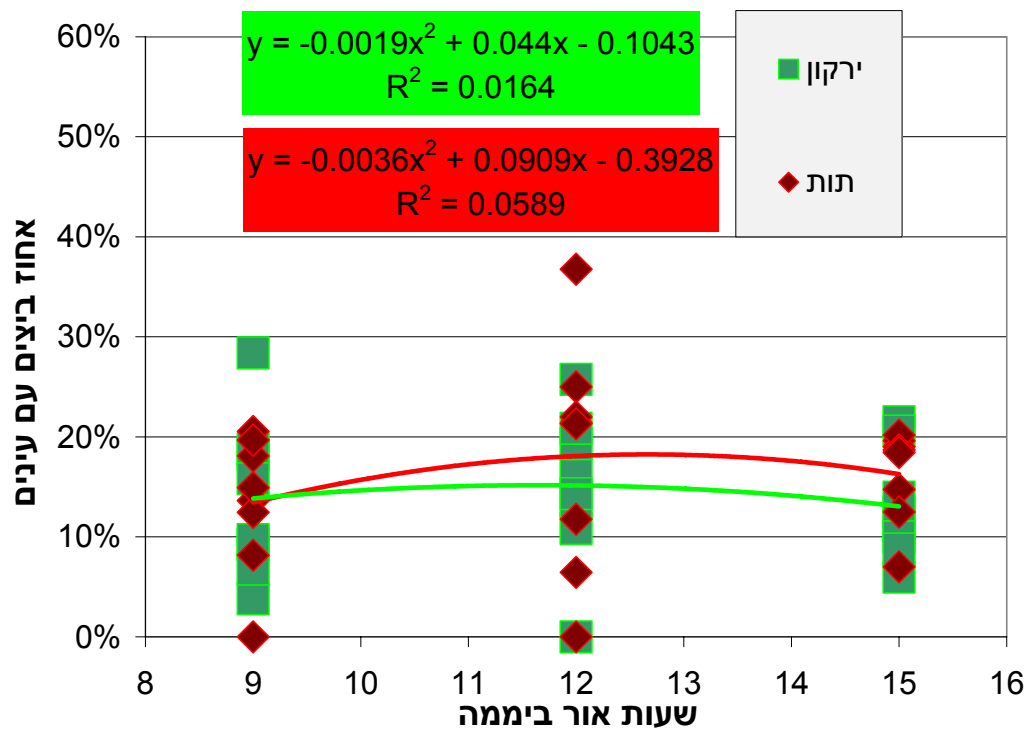
ניסוי השפעת הפוטופריודה על עוצמת ההטלה נערך על שני גרעיני הרבייה בין החודשים נובמבר 2002 ופברואר 2003. שלוש פוטופריודות שונות נשמרו במיכלים שונים, לאורך כל הניסוי. הממוצע היומי של עוצמת ההטלה ניתן לגרם דגים והשפעת הצפיפות [ראה איור ג.1.4] נוטלה על ידי חלוקת עוצמת ההטלה בפרמטר שנקבע על פי משוואות הרגרסיה של השפעת הצפיפות [איור ג.1.7].



איור ג.1.7 עוצמת ההטלה כפונקציה של הפוטופריודה – בכל המשוואות רמת המובהקות נמוכה ($p > 0.05$).

בניסוי זה לא נמצא קשר בין הפוטופריודה לעוצמת ההטלה, לא נמצאו הבדלים מובהקים בעוצמת ההטלה בין הסבב הראשון לסבב השני של התצפיות בניסוי ($N_1=N_2=24$; $t=1.5077$; $p=0.1385$) ולא נמצאו הבדלים מובהקים בעוצמת ההטלה בין גרעיני הרבייה "ירקון" ו-"תות" ($N_1=N_2=24$; $t=1.4217$; $p=0.1619$).

גם בבדיקת השפעת הפוטופריודה על קצב התפתחות הביצים, לא נמצא קשר בין אחוז הביצים שבו נראית התפתחות של לרווה לפוטופריודה [איור ג.2.7]. הביצים שנבדקו הן ביצים בנות יום ובמבחני התאמה התקבלה רמת מובהקות של $p > 0.05$.

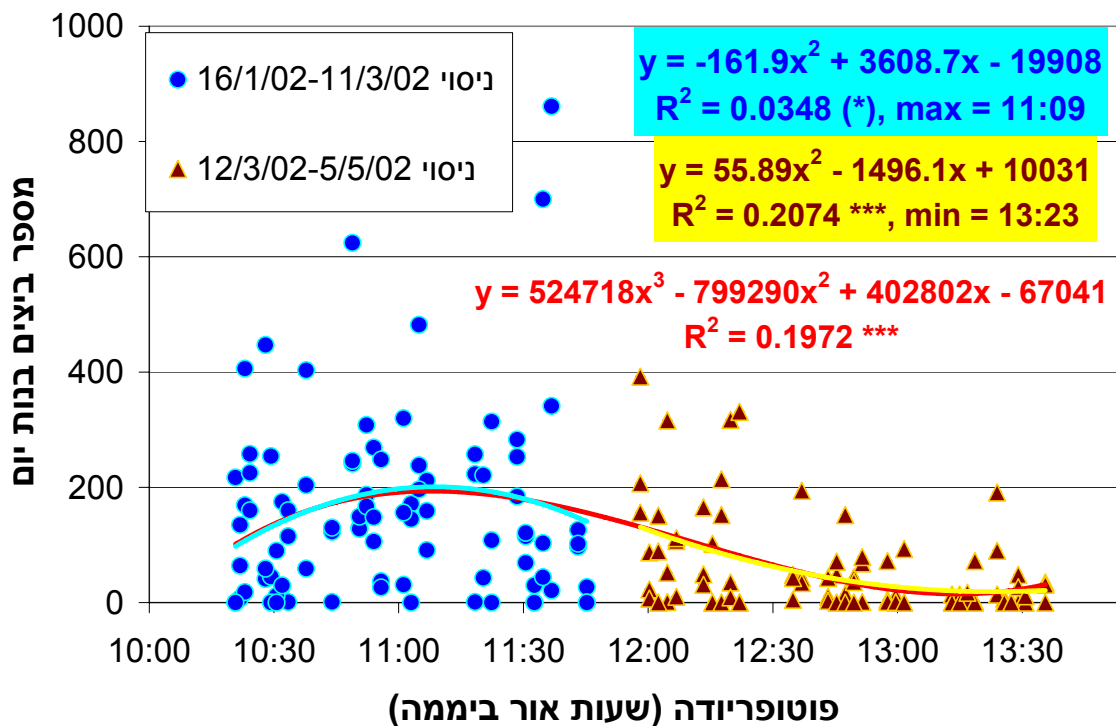


איור ג.2.7 התפתחות ביצים כפונקציה של הפוטופריודה – רמת המובהקות של שני קווי הרגרסיה $p > 0.05$.

בדיקה נוספת של השפעת הפוטופריודה על עוצמת ההטלה נעשתה על ידי התאמת הפוטופריודה הטבעית לכל תאריך בניסוי השפעת הטמפרטורה על עוצמת ההטלה (ניסוי זה נערך בחוץ, בתנאי פוטופריודה טבעיים). התאמה זו נעשתה לפי המשוואה: $12:09 + 2:06 \cdot \sin((360/365) \cdot \Delta t)$. כאשר Δt הוא המרחק בימים מה-22 במרץ [איור א.3.6].

בדיקת השפעת הפוטופריודה על עוצמת ההטלה בניסוי השפעת הטמפרטורה הייתה אפשרית משום שבכל תאריך היה ייצוג לכל טמפרטורה ובאופן ממוצע טמפרטורת המים לא השתנתה. הניסוי התחלק לשני סבבים (חזרות על אותו ניסוי). בסבב הראשון (בין התאריכים 16/1/02 ו-11/3/02) מובהקות הקשר בין הפוטופריודה לעוצמת ההטלה הייתה גבולית אולם לאחר תחילת האביב (22 במרץ), עם התחלת הסבב השני התחילה ירידה בעוצמת ההטלה. בסבב השני (בין התאריכים 12/3/02 ו-5/5/02) עוצמת ההטלה הגיעה לרמתה הנמוכה כאשר הפוטופריודה התארכה מעל ל-12.5 שעות אור [איור ג.3.7].

סה"כ נמצאה התאמה ברמת מובהקות $p < 0.0005$ בין פונקציה ממעלה שלישית (פונקציה מהמעלה הנמוכה ביותר שיש בה גם מינימום וגם מקסימום) לנתוני הפוטופריודה כנגד עוצמת ההטלה. עוצמת ההטלה המקסימלית הייתה כשארורך היום היה 11.15 שעות ועוצמת ההטלה המינימלית הייתה כשארורך היום היה 13.4 שעות.



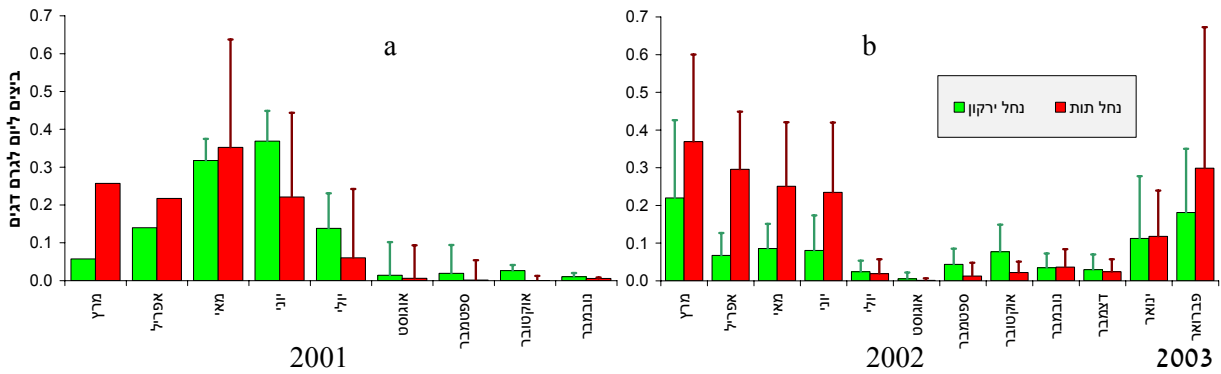
איור ג.3.7 עוצמת ההטלה היומית כפונקציה של הפוטופריודה בניסוי השפעת הטמפרטורה – מספר החזרות בכל אחד מהניסויים $N = 90$. ערכי min ו-max הם ערכי הפוטופריודה שבהם עצמת ההטלה מגיעה למינימום ו- למקסימום בהתאמה. הסימון (*) מציינ רמת מובהקות קשר גבולית $p = 0.1$. הסימון *** מציינ $p < 0.0005$. חיבור של שני הניסויים לאחד נותן קו רגרסיה ממעלה שלישית.

8.ג עונתיות ברבייה

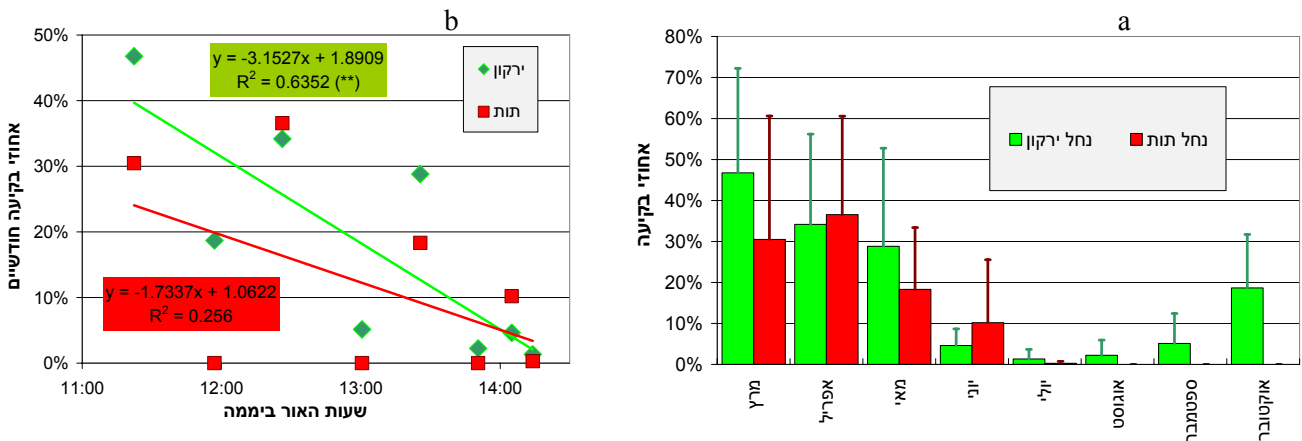
בחינת עונתיות הרבייה התבצעה בתקופות מרץ-נובמבר 2001 ומרץ 2002 – פברואר 2003, בתקופה שבה לא נערכו ניסויי השפעת הטמפרטורה והפוטופריודה (טמפרטורת המים והפוטופריודה השתנו באופן טבעי בהתאם לתנאי מזג האוויר ועונות השנה). בניסוי זה נצפתה עלייה הדרגתית בעוצמת ההטלה עם העלייה בטמפרטורת המים (מעל ל- 18°C) כאשר הפוטופריודה הייתה קצרה מ- 12 שעות אור (עד ה- 22 במרץ, תחילת האביב). עונת הרבייה נמשכה עד ליום הארוך ביותר בשנה (ה- 22 ביוני) ללא תלות בטמפרטורת המים (בטמפרטורות מים גבוהות מ- 18°C) ולאחר מכן ירדה עוצמת הרבייה עד לרמתה הנמוכה ביותר באוגוסט. רמה מסוימת של הטלה נמשכה לאורך כל השנה [איור ג.1.8].

בכל זמן שהייתה הטלה הייתה גם בקיעה של ביצים, אולם אחוזי הבקיעה השתנו לאורך העונה. אחוזי הבקיעה מהווים מרכיב נוסף בעונתיות הרבייה.

אחוז בקיעת הביצים בגרעין נחל ירקון היה גבוה יותר ככל שהפוטופריודה הייתה קצרה יותר. בגרעין נחל תות נצפתה תופעה דומה בחורף אולם עם התקצרות הימים בקיץ לא נמצאה עלייה באחוז הבקיעה [איור ג.2.8].



איור 1.8. עונתיות בהטלה בגרעיני הרבייה – האיור השמאלי (a) לתקופה מרץ-נובמבר 2001 והאיור הימני (b) לתקופה מרץ 2002 – פברואר 2003. גרעין נחל תות בעמודות הימניות, וגרעין נחל ירקון בעמודות השמאליות. תחילת עונת ההטלה בשנת 2001 אינה מופיעה בגרף, משום שהניסויים התחילו במרץ.

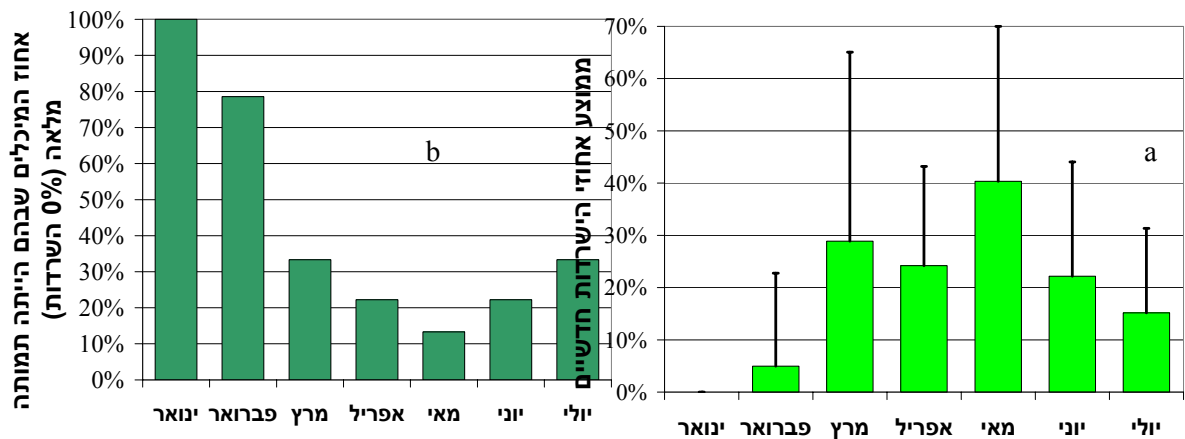


איור 2.8. בקיעת הביצים בתקופה מרץ-אוקטובר 2001. עונתיות מימין (a) והשפעת הפוטופריודה משמאל (b) – אחוז הביצים שבקעו מכלל הביצים שהוכנסו למיכלי ההדגרה במשך חודש. הסימון () מציינ רמת מובהקות קשר $p = 0.01$. עבור גרעין תות $p > 0.05$.**

תוצאות המחקר מלמדות על עונתיות בהישרדות הלוות חודש לאחר הטלת הביצים. בחלקם של מיכלי ההדגרה כל הלוות מתו. אחוז המיכלים האלה מכלל מיכלי ההדגרה בחודש יכול להיות אף הוא מדד להישרדות. אחוזי ההישרדות בעונת הרבייה עולים עד לשיא בחודש מאי ויורדים לאחר מכן. תמונה דומה התקבלה באחוז המיכלים שכל הלוות בהם מתו. האחוז הקטן ביותר של מיכלים אלה (מינימום תמותה) התקבל בחודש מאי [איור 3.8].

גיוס וטריפה

כדי לבדוק האם קיימת טריפת ביצים, הושארו אבנים עם ביצים חשופות במיכלים שכללו דגים בוגרים. רוב הביצים שנשארו חשופות בתוך מכלי הדגים (מעל 99%) נטרפו לאחר יום. תועדו 2 ביצים חשופות שנשארו במיכל עם דגים לאחר שלושה ימים.

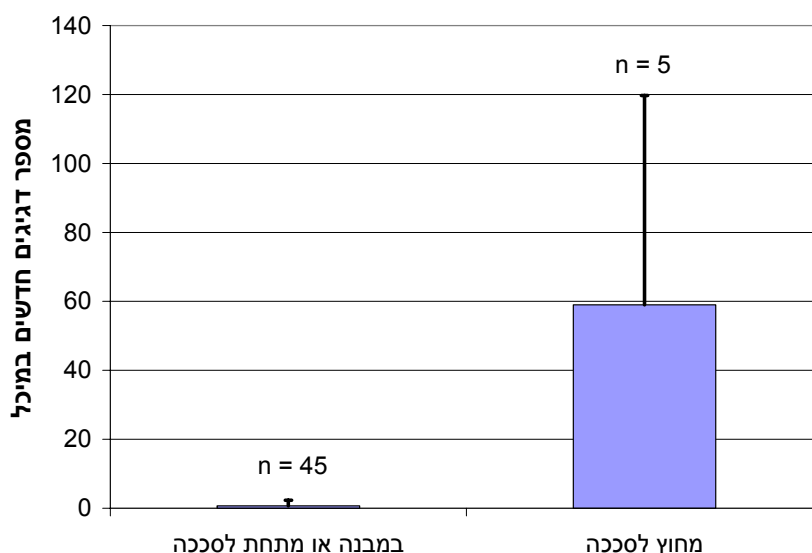


איור ג.3.8 הישרדות לרוות בתקופה ינואר-יולי 2002 – עונתיות בהישרדות הלרוות בזמן עונת הרבייה. מצד ימין (a) אחוזי ההישרדות. קווי השגיאה מציינים את סטיית התקן. מצד שמאל (b) אחוז המיכלים שבהם כל הלרוות מתו מכלל מיכלי ההדגרה באותו חודש.

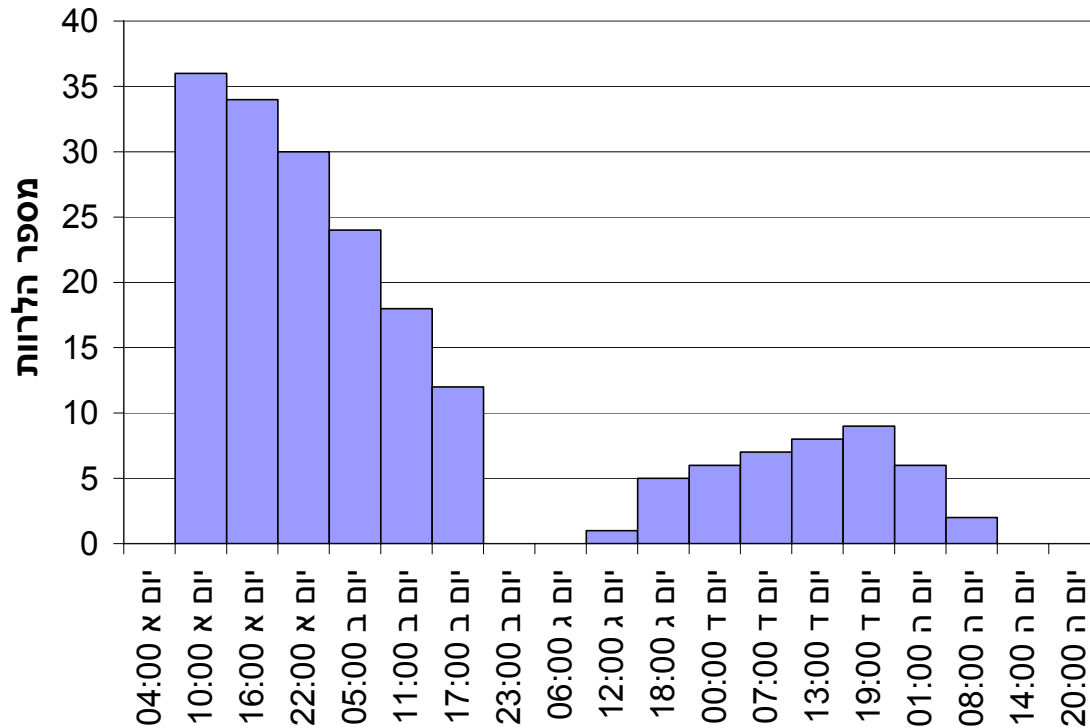
בבדיקת הופעה של דגים חדשים במיכלים (מביצים שהוטלו על גבי דופן או רצפת המיכל) הסתבר שבמיכלים שעמדו חשופים לשמש ישירה שרדו בממוצע 60 דגיגים למיכל בעונה, לעומת פרטים בודדים ששרדו בשאר המיכלים שהיו במקומות מוצלים. במבחן t-test התקבל הבדל מובהק (N=29; t=-5.06722; p=0.000025) בין הגיוס במיכלים מחוץ לסככה (מיכלים חשופים לשמש) לגיוס ביתר המיכלים. [איור ג.4.8].

גם לאחר בקיעת הביצים הלרוות היו חשופות לטריפה.

במעקב שבועי נערכו תצפיות אחת ל-6 עד 7 שעות, בתנאי מעבדה, אחר מספר הלרוות במערכת נחל מלאכותי. במעקב זה נצפתה הופעה של לרוות בגוף המים זמן מה לאחר בקיעת הביצים ולאחר מכן ירידה הדרגתית במספר הלרוות עד להיעלמותן מהמערכת יום-יומיים לאחר הופעתן [איור ג.5.8].



איור ג.4.8 גיוס בהשפעת חשיפה לאור השמש כפונקציה של צפיפות הדגים – מתוך 50 המיכלים בגרעין הרבייה 5 מיכלים עמדו חשופים לשמש ישירה.



איור 5.8.g. הופעה והעלמות של לירות – מספר הירוות במערכת נחל מלאכותי כתלות בזמן. ציר הזמן משמאל לימין. וטווח הזמן בין התצפיות נע בין 6 ל- 7 שעות.

9.g השפעת זרימת המים על הרבייה

משטר הזרימה הוא מאפיין חשוב של בית הגידול. העדפה של משטר זרימה מסוים יכולה להכתיב בחירה של בית גידול. בבחינת השפעת זרימת המים על עוצמת ההטלה ניתן לראות שעוצמת ההטלה יורדת עם העלייה במהירות הזרימה [איור 1.9.g].

מהירות הזרימה נמדדה ב- 5 נקודות במיכל. בכל נקודה נלקחו הערכים הממוצעים ל- 12 מדידות זרם. נמצא שמהירויות המים נעו בין 0.1 ל- 2.1 מטרים לשנייה [טבלה 1.9.g].

טבלה 1.9.g מהירות הזרימה, ביחידות של מטר לשנייה, ב- 5 נקודות במיכל ההטלה. מסביב לאבן ההטלה החשופה לזרם וסביב אבני הביקורת.

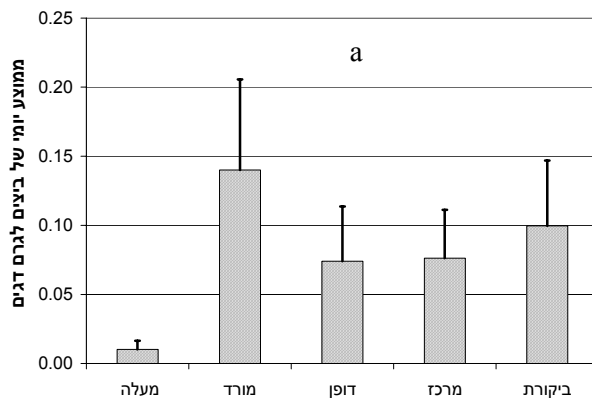
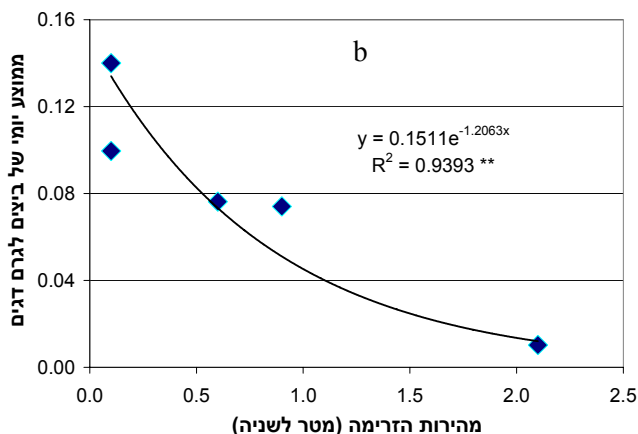
חזית הזרם	צל הזרם	הצד הפונה לדופן	הצד הפונה למרכז	ביקורת
2.1±0.3	0.1±0.1	0.9±0.3	0.6±0.4	0.1±0.1

בבחינה סטטיסטית ANOVA with repeated measures נבחן האזור היחסי לזרם כפקטור של repeated measure (שעובר כל אחד מהמיכלים) – חזית הזרם, צל הזרם, צד האבן הפונה לדופן המיכל, צד האבן הפונה למרכז המיכל, אזור ביקורת ללא זרימה.

פקטור נוסף שנלקח בחשבון הוא השפעת גודל הדגים – 3 קבוצות אורך שלפיהם נחלקו המיכלים.

במבחן זה נמצאו הבדלים המובהקים:

1. בין כיווני הזרימה ($F = 32.636, p < 0.001$).
2. בין קבוצות האורך ($F = 14.997, p = 0.027$).



איור ג.1.9 עוצמת ההטלה כתלות בזרימת המים – ממוצע יומי של ביצים לגרם דגים
 כפונקציה של האזור (יחסית לזרם) עליו הוטלו הביצים, מצד ימין וכפונקציה של מהירות הזרימה הממוצעת באזור זה, מצד שמאל. הסימון ** מצייין רמת מובהקות קשר $p = 0.005$.

בהמשך לכך התבצעו מבחני paired t-test for dependent samples על עוצמת הטלה כתלות במיקום הביצים ביחס לזרם המים והתקבלו ההבדלים המובהקים הבאים [טבלה ג.2.9]:

טבלה ג.2.9 תוצאות מבחני paired t-test for dependent samples להשוואת עוצמת הטלה ממוצעת למיכל (למסת דגים) כתלות במיקום הביצים ביחס לזרם המים. מספר המיכלים שהשתתפו בניסוי היה 6. ההבדלים הלא מובהקים מסומנים באפור, וסימן המבחן (+ או -) מצייין עם הגורם הראשון היה קטן יותר (-) או גדול יותר (+) מהגורם

t	מובהקות p	הבדל בין	
-5.1932	0.0035	צל הזרם	חזית הזרם ל-
-4.4431	0.0067	מרכז (דופן חיצונית)	
-5.1871	0.0035	מרכז (דופן פנימית)	
-4.7964	0.0049	ביקורת (ללא זרם)	
5.1870	0.0035	מרכז (דופן חיצונית)	צל הזרם ל-
4.4431	0.0067	מרכז (דופן פנימית)	
2.5748	0.0497	ביקורת (ללא זרם)	
-0.2077	0.8436	מרכז (דופן פנימית)	מרכז (דופן חיצונית) ל-
-2.3516	0.0654	ביקורת (ללא זרם)	
-1.5742	0.1763	ביקורת (ללא זרם)	מרכז (דופן פנימית) ל-

- השני.
- עוצמת ההטלה בחזית הזרם קטנה מעוצמת ההטלה בצל הזרם, ובשתי דפנות האבנים וכן באזור הביקורת ($p < 0.007$).
 - עוצמת ההטלה בצל הזרם גדולה מעוצמת ההטלה בשתי דפנות האבנים ($p < 0.007$), ובאזור הביקורת ($p < 0.05$).
 - לא נמצאו הבדלים בעוצמת ההטלה בין צדי האבנים ובין כל צד לאזור הביקורת.
- בכל המבחנים הנתונים התקבלו בממוצע למיכל (למסת דגים), ומספר המיכלים כמספר החזרות $N = 6$.

10.ג בחירת בית גידול

במעקב אחר התנהגות פרטים במערכת הנחל המלאכותי, התגלו העדפות שונות לאזורים בנחל בשלבים שונים של התפתחות הדג. הנחל המלאכותי כלל מספר מאפיינים אופייניים למערכות נחלים:

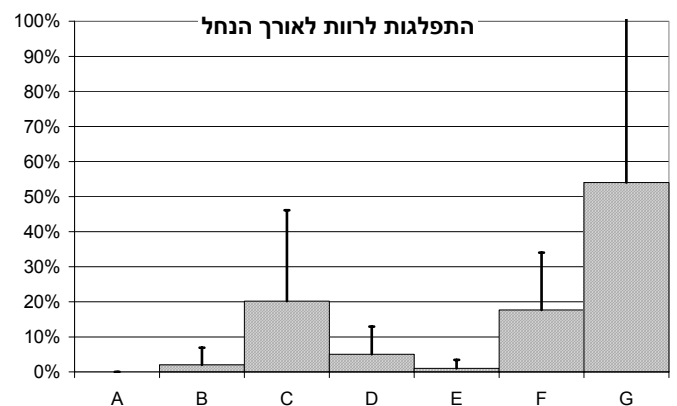
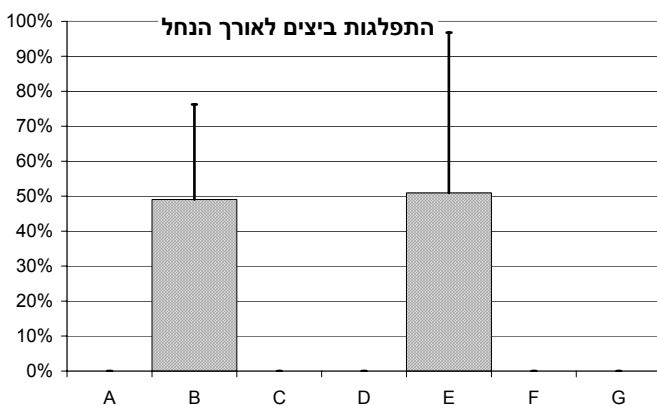
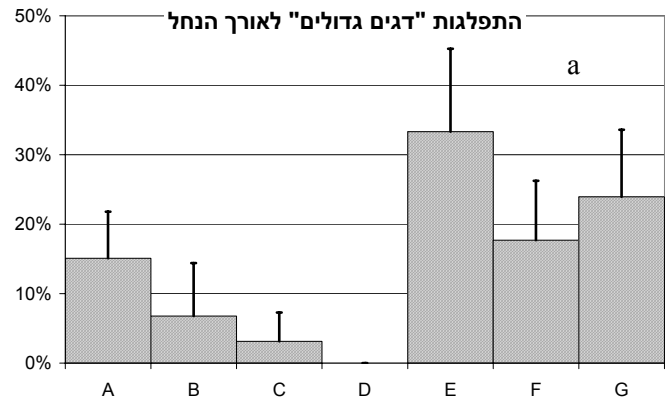
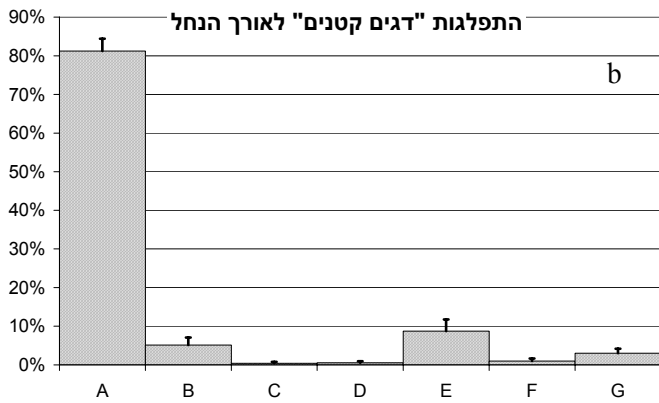
- A – אזור מוצל עם מפל המחדיר אוויר ומרחיק סדימנט (תחילת הנחל / חזית הזרם).
- B – אבני הטלה ומסתור נקיות מאצות.
- C – שורשי צמחיה טבולים.
- D – פינה במרכז הנחל שבה משתנה כיוון הזרימה.
- E – אזור מואר עם החדרת אוויר על ידי מפל, וריבוי אצות.
- F – אזור מוצל ומוגן עם קרקע של סדימנט רך.
- G – אזור מואר עם הצטברות של סדימנט רך (סוף הנחל / מורד הזרם).

מתוצאות תצפיות אלה ניתן לראות שהדגים הגדולים נמצאו ברוב בתי בגידול וגם באזורי ההטלה. רובם הגדול של הדגים הקטנים היו מרוכזים באזור המוגן שמתחת למפל. הירוות לעומת זאת התרכזו בקצהו השני של הנחל, ובכל האזורים שבהם לא היו דגיגים. כמו כן הירוות התרכזו, גלויות לעיין, במים רדודים (בדרך כלל בשכבת המים העליונה), בעוד שהדגים היו חבויים בעומק המים במקומות מסתור [איור ג.10.1].

באזורי ההטלה ביצים הוטלו תמיד על מצע נקי מאצות. גם באזורים מכוסים אצות בין באבנים היו לעיתים אזורים כאלה.

סה"כ הוטלו בתקופת ניסוי זה (במשך שבועיים) כ- 1300 ביצים שמתוכם בקעו ונטרפו כ- 50 לרוות.

בנחל היו 90 דגיגים ו- 7 דגים גדולים. כל הדגיגים גויסו לנחל בשנה שלפני התצפית.



איור ג.10 מאפיינים של בית הגידול – התפלגות הפרטים בין אזורי הנחל (בתי הגידול) השונים. דגים גדולים – מעל 75 מ"מ, דגים קטנים – מתחת ל-45 מ"מ. (a) דגים גדולים, (b) דגים קטנים (c) פגיות ו- (d) ביצים.

4-ג דיון

4.4-1.4 הקשר בין האורך למשקל הדג

מסיכום כללי של היחס משקל-אורך נמצא במחקר זה שהפרמטרים a ו- b (בנוסחה $W = aL^b$) הם 0.0063 ו- 3.2366 בהתאמה. מהשוואה לנתוני מינים קרובים [טבלה ד.1.1] עולה שערכי הפרמטר b מצביעים על דמיון בין לבנון הירקון ללבנון הכינרת ולאחד ממיני הליבקית (*Leuciscus pyrenaicus*), וכן על דמיון בין מיני הלבנונית *Phoxinus perenurus* ו- *P. phoxinus*. במחקר הנוכחי נמצאו הבדלים מובהקים בין עונתיות ובין גרעיני הרבייה לגבי הקשר משקל-אורך. כמו כן נמצאו קשרים בין ערכי האינדקס הגורם הגופני (לפי פולטון) לגודל הדג (אורך ומשקל) ולגיל הדג. ערכי האינדקס השתנו בהתאם לצפיפות הדגים ונמצאו הבדלים בערכי האינדקס בין מקומות הגידול, בין עונות השנה ובין גרעיני הרבייה.

טבלה ד.1.1 השוואת פרמטרים של יחס משקל-אורך ($W = aL^b$) בין לבנון הירקון למינים קרובים (יחידות המדידה: גרם וסנטימטר).

שם המין	שם עממי	a	b	ארץ מוצא	מקור המידע
<i>Acanthobrama telavivensis</i>	לבנון הירקון	0.0063	3.24	ישראל	המחקר הנוכחי
<i>Mirogrex terraesanctae</i>	לבנון הכינרת	0.0029	3.24	ישראל	(Landau, 1991)
<i>Leuciscus cephalus</i>	ליבקית	0.0027	3.44	יון	(Neophitou, 1988)
<i>L. pyrenaicus</i>	"	0.0068	3.26	פורטוגל	(Pires et al., 2000)
<i>L. leuciscus</i>	"	0.0063	3.15	גרמניה	(Wüstemann and Kammerad, 1995)
<i>Phoxinus perenurus</i>	לבנונית	0.0245	2.99	סיביר	(Hanel, 1995)
<i>P. phoxinus</i>	"	0.0107	3.00	צרפת	(Bauchot and Bauchot, 1978)

עונתיות – על פי Bagenal and Tesch (1978) הפרמטר a במשוואת הקשר בין אורך הדג למשקלו ($W = a \cdot L^b$) יכול להשתנות עונתית, יומית, ובין בתי גידול שונים. הפרמטר b בד"כ אינו משתנה באופן מובהק לאורך השנה. בניגוד לתוצאות מחקרם של Bagenal and Tesch במחקר זה הפרמטר b השתנה בעיקר לאורך השנה. לפיכך בבחינת גודל הבדלים בקשר משקל-אורך בין גרעיני הרבייה, מקומות הגידול ועונות השנה הצריכו מדד נוסף. מדידה עקיפה של הפרמטר b מתקבלת מתוך מדידות קצבי הגידול היחסיים באורך ובמשקל הדג, בממוצע למיכל. קצב הגידול היחסי במשקל הגוף קשור לצריכת מזון (Fabens, 1965) והיחס בינו לבין קצב הגידול היחסי באורך הגוף הכללי נותן את הפרמטר b. היחס $\frac{W'(t)}{W_t} = b \cdot \frac{L'(t)}{L_t}$, שנגזר מ-VBGF, נותן פרמטר

b המשמש כמדד נוסף. מדד זה היה בעל רגישות פחותה מזו שהתקבלה ממדידות המשקל ואורך הדגים בלבד, משום שהוא מסתמך על גודל המדגם קטן יחסית (נתונים שהתקבלו בממוצע למיכל). הפרמטר b שהתקבל בצורה זו הראה הבדלים מובהקים בין עונות השנה. ערכי b היו גבוהים יותר בחורף מאשר בקיץ, כלומר יש נטייה של הדגים "להתעלות" בעונת החורף. לא ניתן להסביר תופעה זו על ידי שפע מזון במיכלים בתקופת החורף שכן כמות המזון שניתנה לדגים הייתה קבועה תמיד וגבוהה מיכולת הדגים לאכול.

גרעיני הרבייה – בהשוואת הפרמטר b הנגזר מ-VBGF נמצא שבגרעין "ירקון" הגדילה אלומטרית והיא מתאפיינת ב-"התעלות" בעונת החורף (בעונת הרבייה) והתארכות בעונת הקיץ. מגמה זו קיימת בגרעין "תות" אך היא אינה מובהקת, והדגים נוטים להתארך גם בעונת הרבייה. תופעה זו יכולה להצביע על הבדל בתאריכי השיא בעונת הרבייה. השוואה בין הדגים בקיץ לדגים בחורף, בעזרת ערכי אינדקס הגורם הגופני היחסי (K_n) מפצה על גדילה אלומטרית (שינוי צורה עם הגדילה) (LeCren, 1951).

Condition factor - אינדקס הגורם הגופני (K)

אינדקס הגורם הגופני על פי פולטון , Fulton's condition factor (K), הוא אינדקס שנועד לבדוק את המצב הגופני של בעלי חיים. מצב גופני טוב מתבטא בערכי אינדקס גבוהים (Wootton, 1992). השיפוע ברגרסיה ליניארית, המותאמת לנתוני משקל-אורך בשלישית של כלל הדגים, ואולצה למעבר דרך ראשית הצירים, נותן (לאחר הכפלת ערכו בקבוע היחידות 100) ערך אופייני לאינדקס הגורם הגופני לכלל הדגים. ערך זה קרוב לערך 1 (0.9907).

הזדקנות – בעבודה זו נמצאה עלייה בערכי האינדקס עם העלייה בגיל הדג עד לגיל 3 שנים ו-4 חודשים ("גיל המעבר") וירידה מתונה לאחר מכן. בגיל זה אורך הדג הוא בממוצע 83 מ"מ. ערכי האינדקס המקסימאליים 1.02 מתקבלים בגיל המעבר. ערכים אלה יורדים מעט (עד לערכים קרובים ל-1) עם הזדקנות הדג.

בשינוי בערכי האינדקס כתלות בתנאי ההתחלה ניתן לראות מגמה של שיווי משקל – התכנסות האינדקס לערך יציב (גבוה ב-0.04 מהערך הממוצע). דגים גדולים (בעלי ערכי K גבוהים מהערך היציב) עברו ככל הנראה את "גיל המעבר" ומצבם הגופני מתדרדר.

ארבעת המיכלים ששהו בתנאי חשיפה לשמש ישירה הראו ירידה בערכי אינדקס הגורם הגופני ללא קשר לערכו ההתחלתי. תופעה דומה בה עוצמת התאורה גורמת להאצה בהתפתחות הדגים המגיעים לבשלות מינית כשאורך גופם קטן נמצאה בדגי אמנון (*Tilapia*) באפריקה (Lofts, 1970). האצת ההתפתחות יכולה לקבל ביטוי בירידה בערכי אינדקס הגורם הגופני כתוצאה מכך שקצב התארכות הגוף עולה ביחס לקצב העלייה במשקל הגוף או בגלל ירידה במשקל הגוף כתוצאה מהשקעת משאבים בהתפתחות.

גודל – מצאנו שהיחס בין ערכי K לאורך הדג קרוב ליחס ליניארי חיובי (ישר), כאשר התוספת לערכי K יורדת במקצת עם העלייה באורך. Wootton (1992) מסביר תופעה זו כאופיינית לגידול אלומטרי שבו הדגים נעשים מאורכים יותר עם גדילתם. הקשר בין האינדקס למשקל הדג דומה לקשר לאורך הדג כשבשלבם הראשוניים של התפתחות הדג נראים שינויים גדולים במיוחד בערכי האינדקס.

צפיפות – בעבודה הנוכחית, בתנאי הגידול במעבדה, צפיפות הדגים לא השפיעה על ערכי אינדקס הגורם הגופני. ממצא זה תואם את ממצאיהם של Feldlite & Milstein (1999) בדגי קוי, בדגי זהב (*Carassius auratus*) ובדגי קרפיון מצוי (*Cyprinus carpio*), בגידולים מסחריים בישראל, רמות הצפיפות שבהן נמצאה השפעה שלילית היו גבוהות יותר מרמות הצפיפות במחקר הנוכחי. יתכן שברמת צפיפות גבוהה יותר הינו מקבלים ירידה בערכי אינדקס הגורם הגופני. דבר זה מצריך בדיקה נוספת.

עונתיות – ערכי האינדקס נמצאו גבוהים יותר לאחר תקופת החורף (עונת רבייה) לגרעין "ירקון". מצבו הגופני של הדג, כפי שמתבטא ביחס אורך-משקל, משקף בין היתר - התפתחות גונדות, מצב תזונתי או מצב בריאותי (למשל כתגובה לתנאי עקה) (Anderson and Gutreuter, 1983). ערכי האינדקס הגבוהים משקפים ככל הנראה עלייה ברמת הבשלות המינית, כלומר, הבשלה מוגברת של הגונדות בתקופת החורף (עונת הרבייה). מתאם כזה, בין הגורם הגופני לבשלות גונדות (ערכי GSI), מוכר למשל ממחקרם של Encina & Granado-Lorencio (1997) על

דגי בינית בנהר גואדלטה בדרום ספרד. גם בדגי לבקית מהמין *Zacco temmincki* נרשמה תופעה דומה של עלייה משמעותית בערכי הגורם הגופני ובערכי GSI כהקדמה לעונת הרבייה (Katano, 1990). במחקר הנוכחי בתנאי תאורה מלאכותיים, אשר יצרו פוטופריודות ארוכות בחורף וקצרות בקיץ, הופיעה הבשלה מוקדמות של גונדות במהלך הקיץ ועיכובים בהבשלת גונדות בתקופת החורף. מסקנה דומה התקבלה ממחקר בדג *Gobio gobio*. מחקר זה מראה שניתן ליצור הטלות מחוץ לעונת הרבייה על ידי קיצור מלאכותי של מחזור הטמפרטורה והפוטופריודה (Kestemont, 1990). Yaron (1980) במחקרו על לבנון הכינרת (*Mirogrex terrae-sanctae*) מציע השפעה משולבת של טמפרטורת המים והפוטופריודה על ה-GSI. טמפרטורת המים משפיעה על התפתחות החלמון בגונדות והפוטופריודה משפיעה על ה-GSI. טמפרטורת המים משפיעה על מצאו שערכי האינדקס המקסימליים, בלבנון הכינרת, מתקבלים בתנאי חורף (פוטופריודה קצרה – 9L וטמפרטורת מים נמוכה – 16°C).

מקומות גידול – במהלך הקיץ, הדגים במבנה גדלו לאט יותר יחסית לדגים בסככה. ממצא זה מסביר את ערכי K הנמוכים יותר במבנה בתקופה זו. למרות זאת, בשקלול שנתי (הכולל את תקופת החורף), ערכי K במבנה נמצאו גבוהים מהערכים בסככה. ממצא זה מצביע על תנאי גידול טובים יותר. באיפיון התנאים במבנה לעומת הסככה לא נמצאו הבדלים בין השניים פרט לשינויי הטמפרטורה שהיו מתונים יותר במבנה יחסית לסככה. יתכן שבבדיקה מעמיקה יותר ניתן יהיה למצוא הבדלים בין מקומות גידול אלה.

גרעיני הרבייה – ניתן לזהות דימורפיזם זוויגי, וללמוד על מידת ההטרונגניות בפרופורציות הגוף בתוך אוכלוסיית דגים ואף על קיום אוכלוסיות שונות או תת-מינים באזור מסוים (Anderson and Gutreuter, 1983). ערכי האינדקס גבוהים יותר שנמצאו בדגי גרעין "תות" יכולים להצביע על הבדל מורפולוגי בין האוכלוסיות (דגי נחל תות עגלגלים יותר), או על מצב גופני טוב יותר, לדגים אלה. ניתן להסביר מצב גופני טוב יותר בדגי גרעין "תות" על ידי כושר הסתגלות טוב יותר לתנאי הסביבה במעבדה.

קצב הגידול

נמצאו קשרים בין גודל הדג (אורך ומשקל) וגיל הדג לקצב הגידול. קצב הגידול השתנה עם צפיפות הדגים, ונמצאו הבדלים בין מקומות הגידול, בין עונות השנה ובין גרעיני הרבייה. **המודל התיאורטי** – מתוצאות המחקר עולה שמשוואת הרגרסיה המתאימה ביותר לנתונים בתיאור הקשר בין אורך הדג (L) לגילו (A) לדגים מעל לגיל חמישה חודשים (דגים קטנים יותר לא ניתן למדוד מבלי לפגוע בהם) היא רגרסיה ריבועית (מתוארת על ידי משוואת חזקה ממעלה שנייה). ברגרסיה ריבועית גיל הדגים מסביר 93.17% מהתפלגות אורכי הדגים ($R^2 = 0.9317$). המצב דומה מאוד ($R^2 = 0.9304$) ברגרסיה ליניארית שמשוואתה: $L = 13.318 \cdot A + 37.355$ (אורך הדגים נמדד במ"מ וגיל הדגים נמדד בשנים). שני הקווים כמעט חופפים ולפיהם הדגים יבקעו כשאורכם מעל ל- 37 מ"מ (ממצא שאינו תואם את המציאות. בפועל הדגיגים בקעו כשאורך גופם 4-5 מ"מ). אם נניח שדג בזמן לידתו הוא בעל אורך ומשקל קרובים לאפס אזי רגרסיית החזקה, למרות ערכי R^2 נמוכים יותר, מנבאת את התמונה הכללית טוב יותר.

עקומת von Bertalanffy נבחרה כמודל ביולוגי המסביר את הקשר אורך-גיל, והיא עדיפה על משוואות הרגרסיה המוזכרות לעיל למרות ההתאמה הנמוכה יחסית לנתוני הדגים ($R^2 = 0.8439$). הסיבות לכך הן שהמודל משלב את אורך הדג בזמן בקיעתו מהביצה, ומספק מידע, לגבי קצב הגידול של הדגים, תוחלת החיים שלהם וגודלם המקסימלי הממוצע. זוהי הצורה המקובלת להצגת עקומות גידול ולכן המידע יכול לשמש חוקרים אחרים והוא מספק כלי להשוואה בין נתוני מינים שונים. ההנחה שלכל מין או אוכלוסייה קיים אורך אסימפטוטי אופייני שהוא פוטנציאל הגידול של האוכלוסייה (גם אם פוטנציאל זה כולל השפעות סביבתית) ושקצב הגידול יורד עם הזדקנות הדגים מספקת הסבר ביולוגי לגידול. הפרמטרים המתקבלים מעקומה זו הם: k (קבוע הקצב) ו- L_∞ (האורך האסימפטוטי). כאמור, k אינו קבוע והוא משתנה עם אורכם וגילם של הדגים (von Bertalanffy, 1960). האורך האסימפטוטי הוא גודל קבוע המאפיין את האוכלוסייה. במחקר הנוכחי, מנתוני האורך והגיל עולה ש: $L_\infty = 104.6442 \text{ mm}$ וערכו הממוצע של קבוע הקצב הוא $k = 0.4426 \text{ year}^{-1}$. קבוע קצב $k = 0.1996 \text{ year}^{-1}$ התקבל מהצבת ערכו של הפרמטר L_∞ ב-VBGF והתאמת הפרמטר הנותר (k) לקבלת קו רגרסיה של נתוני הגידול באורך והגיל. זמן המחצית הוא הזמן שלוקח לדג ממוצע לגדול 50% מפוטנציאל הגידול שלו והוא נקבע לפי הפרמטר k . זמן המחצית לפי $k = 0.4426$ הוא $\ln(2/k) = 1.5 \text{ years}$. אומדן טוב לתוחלת חיים ממוצעת יכול להיות $5 \times \ln(2/k) = 7.5 \text{ years}$, ואז הדג יגיע לאורך גוף כללי של 95% מ- L_∞ , או 7 שנים $x \ln(2/k) = 10.5 \text{ years}$, ואז הדג יגיע לאורך גוף כללי של 99% מ- L_∞ (Fabens, 1965). זמן של 7.5 שנים הוא זמן מתאים להערכה של תוחלת החיים של לבנון הירקון (אלרון, 2000) ולכן ניתן להניח שהדג הממוצע יגיע לגודל מקסימלי של 95% מ- L_∞ , או ליתר דיוק לאורך של $L_0 + (L_\infty - L_0) \cdot 0.95 = 4.8 + 99.8436 \cdot 0.95 \cong 100 \text{ mm}$. בפועל הדג הארוך ביותר שנמדד היה באורך 114mm.

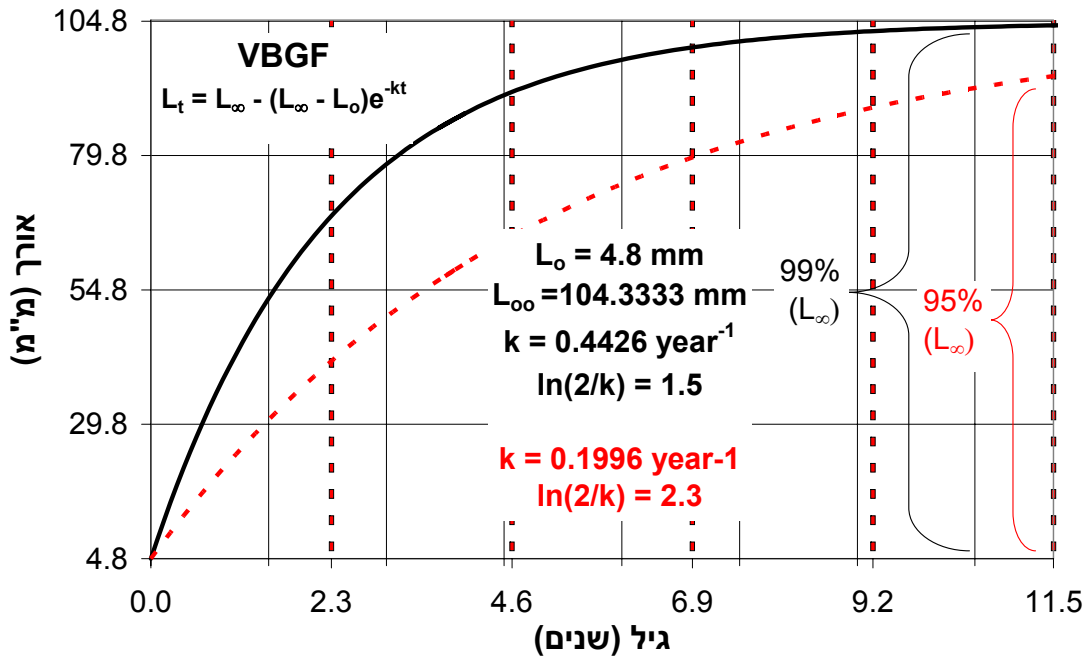
באותו אופן זמן המחצית של עקומה עם קבוע קצב $k = 0.1996$ הוא 1.3 שנים והדג הממוצע יגיע לאורך גוף כללי של 95% מ- L_∞ בגיל 11.5 שנים [איור ד.1.1].

ערך קבוע קצב $k = 0.1996 \text{ year}^{-1}$ נמוך מהערך הצפוי לעקומה עם $L_\infty = 104.6442 \text{ mm}$ ו- $L_0 = 4.8 \text{ mm}$ וניתן לראות, שלאחר זמן מחצית 1.3 שנים, לא מתקבל אורך של 50% מפוטנציאל הגידול.

בטבע קבוע הקצב קשור לאורך האסימפטוטי ובמקרים רבים ככל ש- k גבוה יותר נקבל בוגר בעל מסת גוף נמוכה יותר ובפרק זמן קצר יותר. קצב הגידול (ביחידות של משקל ליחידת זמן) יהיה קטן יותר ככל ש- k יהיה גדול יותר וממצע זה תואם את ממצאיהם של Dykhuizen and Mollet (1992).

ממחקרם על הכריש *Notorynchus cepedianus* (1992) מראה חוסר עקביות בפרמטרים (בעיקר בפרמטר k) בין הקשר אורך-גיל לקשר התארכות-אורך והתארכות-גיל. מודל מעריכי מסביר את הקשרים טוב יותר, והפרמטרים שלו נשארים קבועים. הצורה הבסיסית היא הקשר אורך-גיל שמשוואתו $L_t = a \cdot t^b$. ביחידת הזמן הראשונה הדג מגיע לאורך a אופייני ולאחריו ישנה דעיכה בזמן. קצב הדעיכה נקבע על ידי הפרמטר b . על פי מודל זה אין לדג גודל אסימפטוטי ואורך הדג המקסימלי תלוי בתוחלת החיים

של הדג. משוואת הקשר התארכות-גיל תהיה משוואת חזקה שהיא הנגזרת של משוואת החזקה של הקשר אורך-גיל בזמן ($L'(t) = a \cdot b \cdot t^{b-1}$). נתוני התארכות הדגים ניתנים על ידי מדידה ישירה (השוואת מדידות אורך ממוצעות למיכל במדידות עוקבות). הצבת אותם הפרמטרים a ו-b שהתקבלו במשוואת הרגרסיה של הקשר אורך-גיל במשוואת הרגרסיה של הקשר התארכות-גיל נותנת ערכי R^2 גבוהים יותר מאלה המתקבל על ידי VBGF.



1.1.4 איור

השוואה בין עקומות אורך-גיל לפי VBGF הנבדלות ביניהן בפרמטר k. הקו המקווקו מראה את העקומה לפי קבוע קצב נמוך יחסית (הפרמטר בתחתית הגרף). הקווים האנכיים המקווקווים והשנתות בציר הזמן מציינות מרווחים של זמן מחצית לעקומה התחתונה. מרווחי זמן המחצית לעקומה העליונה מצויינים בקווים רציפים. ראשית הצירים מציינת את הזמן והאורך בלידה (בבקיעה).

השוואה בין קצב הגידול לפי VBGF של לבנון הירקון ומינים קרובים [טבלה 2.1.ד] מראה שללבנון הירקון קבוע קצב גבוה יחסית. קבוע זה מתאים לגדלו הקטן של הבוגר, אולם הוא גבוהה גם בהשוואה למיני בינית בהם גודל הבוגר קטן. הכלל עובד בהשוואה למיני לבנונית, ערכו של k גדול יותר מזה של לבנון הירקון כאשר האורך האסימפטוטי קטן מזה של הלבנון וערכו של k קטן יותר כאשר האורך האסימפטוטי גדול יותר. האורכים האסימפטוטיים בהשוואה זו היו שונים ב-20% לכל היותר מהאורך האסימפטוטי של לבנון הירקון. כמו כן ההבדלים בערכי קבוע הקצב נראים קטנים יותר בדגים גדולים.

טבלה 2.1.ד השוואת פרמטרים של VBGF בין לבנון הירקון למינים קרובים (יחידות המדידה: שנים וסנטימטרים).

מראה מקום	ארץ מוצא	L_∞ (cm)	k (y^{-1})	שם עממי	שם המין
המחקר הנוכחי	ישראל	10.4644	0.4426	לבנון הירקון	<i>Acanthobrama telavivensis</i>

(Landau, 1991)	ישראל	19.7	0.1	לבנון הכינרת	<i>Mirogrex terraesanctae</i>
(Treer et al., 1997)	קרואטיה	31.8	0.280	ליבקית	<i>Leuciscus cephalus</i>
(Wüstemann and Kammerad, 1995)	גרמניה	30.5	0.183	"	<i>L. leuciscus</i>
(Pires et al., 2000)	פורטוגל	25.2	0.1738	"	<i>L. pyrenaicus</i>
(Hanel, 1995)	סיביר	11.95	0.2075	לבנונית	<i>Phoxinus phoxinus</i>
(Beverton and Holt, 1959)	אנגליה	9.1	0.55	"	<i>P. phoxinus</i>
(Cambay and Hecht, 1995)	דרום אפריקה	9.55	0.173	בינית	<i>Pseudobarbus afer</i>
(Cambay and Hecht, 1995)	דרום אפריקה	9.23	0.262	"	<i>P. asper</i>

הזדקנות – לפי VBGF קצב הגידול באורך הדג יורד כמעט באופן ליניארי עם הגיל (ישנה התמתנות מסוימת בירידה עם הגיל). לפי תיאוריה זו קצב הגידול באורך הדג יורד באופן ליניארי עם הגידול באורך הדג. הדבר נובע ישירות מההנחה שישנו אורך אסימפטוטי שאליו שואפים הדגים להגיע (מובן מאליו שבאופן ממוצע לא ניתן לעבור את האורך האסימפטוטי). ברגרסיית החזקה שהותאמה לנתוני קצב הגידול באורך-גיל הדגים מתבססת על התארכות התחלתית של 48.479 mm בשנה הראשונה שהולכת ודועכת עם הגיל. כאמור רגרסיה זו מראה התאמה טובה וקונסיסטנטית לתצפיות יותר מאשר VBGF. באופן תיאורטי לפי VBGF קצב הגידול באורך ירד מ- 1 cm/year לדג בן 3.5 שנים ל- 0.5 cm/year לאחר 3 שנים ול- 0.1 cm/year לאחר 8.1 שנים נוספות. לפי מודל החזקה אותה ירידה בקצב הגידול מתחילה באופן דומה מ- 1 cm/year לדג בן 3.5 שנים אך יורדת ל- 0.5 cm/year רק לאחר 8.4 שנים ול- 0.1 cm/year רק לאחר 184 שנים נוספות. למעשה משמעות הדבר היא שלפי מודל החזקה דגים לאחר "גיל המעבר" ימשיכו לגדול באורך בקצב כמעט קבוע, בעוד שלפי מודל VBGF קצב מגידול יורד מאוד בשנות חיוו האחרונות של הדג.

העקומה משקל גוף-גיל הדג היא עקומה אי סימטרית בצורת האות S. עקומה מצורה זו צפויה על פי Wootton (1992) בקשר אורך-גיל. מנתוני המשקל והגיל עולה ש: $W_{\infty} = 14.2096 \text{ gr}$ וערכו הממוצע של קבוע הקצב הוא $k = 0.3882 \text{ year}^{-1}$. קבוע קצב $k = 0.3253 \text{ year}^{-1}$ התקבל מהצבת ערכו של הפרמטר W_{∞} ב- VBGF והתאמת הפרמטר הנותר (k) לקבלת קו רגרסיה של נתוני הגידול במשקל והגיל. מרגרסיה זו עולה שהשיא בקצב העלייה במשקל נמדד לדגים במשקל 5.5 גרם באורך 83 מ"מ ("בגיל המעבר" - 3 שנים ו- 4 חודשים). עד לגיל זה צפוי גידול בקצב העלייה במשקל ולאחריו ירידה מתונה בקצב העלייה במשקל.

גודל – מצאנו שבלבנון הירקון ישנה עלייה מהירה באורך הדג בשלבי הגידול הראשונים, עלייה זו מתמתנת עם הגיל. מדד לקצב גידול שהוא בלתי תלוי בגודל הדג, הוא קצב הגידול הספציפי, קצב גידול יחסי באורך או קצב גידול יחסי במשקל (RGL או RGW), כתוספת הגידול בזמן קבוע באחוזים מהגודל הקודם (Unlu, 1994). קצב הגידול היחסי יורד וקצב ירידתו מתמתן עם גיל הדג. מדד זה קשור לקצב תצרוכת המזון כתלות בגיל (Fabens, 1965). דגים קטנים צורכים יחסית יותר מזון מדגים גדולים עקב קצב חילוף חומרים וקצב גידול גבוה יותר.

התפלגויות משקלי הדגים אינה סימטרית, וישנה הטיה לכיוון המשקלים הנמוכים. העלייה במשקל האבסולוטי של הדג איטית בשלבי הגידול הראשונים. לעומת זאת העלייה היחסית במשקל היא תלויה גיל ויורדת עם גיל הדג. בגיל חמש שנים קצב הגידול השנתי של הדג לשנה הוא 39% ממשקלו ההתחלתי. קצב זה מהווה כשני חמישיות מקצב הגידול שלו בגיל שנה.

צפיפות – ניתן להגדיר את הצפיפות מבחינת ביומסת דגים, או מספר פרטים לנפח מים. אם נסתכל על הצפיפות מבחינת ביומסה, החל מצפיפות מסוימת צפיפות הלווית בקרפיון המצוי משפיעה על גודלם הסופי של הדגים בזמן האיסוף. רמות הצפיפות שבהן נמצאה השפעה שלילית בלווית הקרפיון המצוי היו גבוהות יותר מרמת צפיפות הלווית המקסימלית במחקר הנוכחי (Feldlitz & Milstein, 1999).

בדגים בוגרים, השפעת הצפיפות מבחינת מספר הפרטים ניתנת לפרשנויות שונות במקומות המחקר השונים. בסככה נמצא שהתארכות הדגים עולה עם צפיפות הפרטים. ניתן לייחס תוצאה זו לעובדה שגרעין הרבייה בסככה סודר בקבוצות אורך וביומסה. כתוצאה מכך מיכלים בעלי מספר רב של פרטים אוכלסו בדגים קטנים, שלהם קצב גידול מהיר יחסית. למעשה תוצאה זו מתארת התארכות דגים היורדת עם העלייה בגודל הדג (ולא כתלות בצפיפות הדגים). כל הדגים במבנה היו שייכים לאותה קבוצת אורך ולכן צפיפות הפרטים דומה לצפיפות הביומסה, ונמצא שהעלייה בצפיפות הפרטים במבנה גורמת לירידה של עד 30% בתוספת למשקל הדג. ממצא זה תואם את ממצאו של Matthews (2001) במחקר על הדג *Cyprinella lutrensis*. במחקר זה נמצא שבצפיפות אופיינית לנחל רוב הדגים הגיעו לאחר שנה לגודל בוגר, בעוד שבצפיפויות גדולות יותר רוב הדגים לא הגיעו לבגרות כלל.

עונתיות – תוספת המשקל באחוזים מהמשקל ההתחלתי (RGW) נמצאה גדולה באופן מובהק בדגים שנמדדו לאחר תקופת החורף על פני דגים שנמדדו לאחר תקופת הקיץ. תוספת משקל זו נובעת ככל הנראה מצריכת מזון מוגברת של הדגים בעונת הרבייה (בחורף) למטרות רבייה, כגון התפתחות גונדות.

בשתי העונות נשמרה טמפרטורת מים שווה. לו היו הבדלי טמפרטורה היינו מצפים שהדגים יגדלו יותר בתקופת הקיץ שכן על פי מחקרו של Dias (1998), בנושא העדפת טמפרטורה על ידי הקרפיונאים *Ctenopharyngodon idella* ו- *Megalobrama amblycephala*, טמפרטורת המים עומדת ביחס ישר לקצב הגידול. לפיכך הבדלי טמפרטורה אינם יכולים להסביר את ההבדלים העונתיים בתוספת המשקל.

RGW (קצב צריכת המזון) יורד עם משקל הדג וקצב הירידה מתמתן עם המשקל. ממצאים אלה תואמים ל-VBGF ומראים את ההבדלים הבאים בין עונות השנה: מקדם הבניה (מקדם אנבולי – a) ומקדם הפירוק (מקדם קטבולי – 3k) גבוהים יותר בחורף מאשר בקיץ. מקדם הבניה גדול ב- 47% ומקדם הפירוק גדול ב- 73%. ממצאים אלה מוסברים על ידי תקופת הרבייה המתרחשת בחורף.

מקומות גידול – לא נמצאו הבדלים מובהקים בקצב הגידול בין מקומות הגידול (מבנה וסככה) בכל אחד מגרעיני הרבייה. עם זאת ניתן לראות שהפער בקצב הגידול בין גרעיני הרבייה ("תות" ו-"ירקון") גדול באופן מובהק בדגים שגדלו במבנה לעומת דגים שגדלו בסככה. יתכן שזוהי תוצאה של יציבות התנאים הסביבתיים במבנה המנוצלת בצורה טובה יותר על ידי הדגים בגרעין "תות".

גרעיני הרבייה – הפרמטרים של עקומות הגידול על פי von Bertalanffy מראים קצב גידול וגודל מקסימלי גדולים יותר לגרעין "תות". האורך האסימפטוטי (L_{∞}) גדול בכ- 8 מ"מ והמשקל

האסימפטוטי (W_∞) גבוה ב- 1.1 גרם בגרעין "תות" וקבוע הקצב (k) בעקומות הגידול במשקל ובאורך עם הגיל גבוה בגרעין "תות". בעקומת הגידול באורך כתלות באורך ההתחלתי, k גדול בגרעין "תות" בכ- 63%. מעקומת הגידול במשקל כתלות במשקל ההתחלתי נובע שהמקדם האנבולי (מקדם "הבניה" - a) גדול ב- 77% והקבוע הקטבולי (מקדם "הפירוק" - 3k) גדול ב- 137% בגרעין "תות". פרמטרים אלה מצביעים על עליה תמידית בקצב העלייה במשקל (בקצב הולך ויורד עם המשקל) בגרעין "ירקון". ובגרעין "תות" הגעה לקצב גידול מקסימלי של 2.4 גרם לשנה, בגיל 3 שנים ו- 4 חודשים ("גיל המעבר"), במשקל גוף של 5.3 גרם, ולאחר מכן ירידה בקצב הגידול במשקל.

דגי גרעין "תות" שוקלים בממוצע 300 מ"ג יותר מדגי גרעין "ירקון" בני אותו גיל והם מתארכים בקצב מהיר יותר מדגי גרעין "ירקון".

דגי גרעין "תות" מותאמים טוב יותר לסביבה בעלת יציבות נמוכה. התאמה זו מתבטאת בניצול טוב יותר של משאבים המתבטא בפער בקצב הגידול בין גרעיני הרבייה במקומות הגידול השונים. פער זה גדל כאשר מקום הגידול מתאפיין ביציבות גדולה יותר. קצב גידול מהיר מאפשר להגיע לרבייה מהר יותר. בנוסף לכך פוטנציאל הטלה גבוה יותר מפצה על תמותה גבוהה יותר של ביצים ופגיות. הסיבה להבדלים אלה היא ככל הנראה ההבדל בין בתי הגידול הטבעיים. נחל הירקון שהיה עד לפני כמה עשרות שנים, בית גידול יציב של נחל המקיים זרימת מים רצופה בכל ימות השנה, לעומת נחל תות ושאר חלקי מערכת נחל דליה המתאפיינים בחוסר יציבות ובתקופות שבהן חלה התייבשות של קטעים נרחבים מהנחל. בתקופות אלה חיים הדגים בבריכות קטנות ללא זרימת מים. יש לציין שבתקופת המחקר (שלא כבעבר) נחל הירקון התאים אף הוא לתיאור זה.

הבדלים בין אוכלוסיות הנחלים ירקון ותות צפויים ממספר סיבות:

1. genetic drift – בתקופה ארוכה של הפרדה בין האוכלוסיות מופיעות מוטציות אקראיות. במקרים שלמוטציות אלה אין חיסרון תחרותי הן יכנסו לתוך המאגר הגנטי של האוכלוסיה. במקרים שיש למוטציות אלה יתרון אבולוציוני הן ישתלטו על האוכלוסיה. הסבר זה ניתן לשונות גנטית למשל באוכלוסיה של הקרפיונאי *Chondrostoma lusitanicum* (Alves and Coelho, 1994).
2. תקופות של צוואר בקבוק גנטי (bottleneck) – אירועים של תמותה מסיבית של פרטים באוכלוסיה המותירים אוכלוסיה המונה מספר קטן של פרטים (מאגר גנטי קטן) הגורם לאפקט מייסדים, אובדן תכונות גנטיות ויצירה של תכונות חדשות על ידי genetic drift על בסיס מאגר גנטי קטן יותר. אפקט צוואר הבקבוק גדל ככל שמספר הפרטים שנותרו לאחר אירוע התמותה היה קטן יותר וככל שקצב הגידול באוכלוסייה גדול יותר (Nei et al., 1975). אירועים כאלה יכולים להיגרם מבצורת ויבוש קטעי נחל נרחבים, מגפות וכו'.
3. לחצי סלקציה של בית הגידול – בתי גידול בעלי אופי שונה יוצרים לחצי סלקציה שונים. והתמחויות שונות של הפרטים באוכלוסיה. התמחות באכילת סוגי מזון יחודיים, התמחות בהשרדות במצבי עקה, שינויים בתכונות

היסטוריית חיים (צורת גידול, אסטרטגיות רבייה וכו'). דוגמה ללחצי סלקציה כאלה ניתן למצוא בקרפיונאי *Leuciscus cephalus* ביון. במין זה נראים שינויים דמוגרפיים כתלות בשינוי מימדי בית הגידול (Guinand et al., 2001).

5.ד מצעי הטלה

היעלמות הלרוות ממערכת הנחל המלאכותי מעידה על קניבליזם (טריפת לרוות על ידי הדגים). הטריפה העיקרית היא טריפה של ביצים חשופות ביום הראשון לחשיפתם (מעל 99% מכלל הביצים החשופות), ומתבצעת על ידי דגי הלבנון בעצמם. מצע ההטלה האופטימלי צריך להיות מוגן מטריפה. יכולת הטלה בסדקים מאפשרת את בחירתם כמצע להטלה תוך התחשבות במספר אילוצים: 1) תחרות – המצע צריך להיות נקי מאצות, 2) זרימה – יש להתחשב בכושר ההיצמדות של הביצה 3) גודל הסדק – יש להתחשב בגודלה הפיזי של הביצה. אזורים מוצלים, בעלי זרימה חלשה, תשתית סלעית וללא כיסוי סדימנט רך יחשבו בעלי פוטנציאל טוב להטלה. כפי שתואר בפרק התוצאות נמצא קשרים מובהקים בין עוצמת ההטלה לרוחב הסדק, לעומק ההטלה בתוך הסדק, לאוריינטציית הסדק וכן לזמינות של מצעי ההטלה.

רוחב הסדק – ריכוז מרב הביצים במרחק של כ- 6 ס"מ מציר האבן כאשר רוחב הסדק האופטימלי הוא 2.9 מ"מ מגן על הביצים על ידי מניעת הגעתם של דגים בוגרים או צעירים אל הביצים. תמותת הביצים הגבוהה ביותר בקרבת ציר האבן (נקודת המפגש בין האבנים) ניתנת להסבר על ידי שחיקת הביצים כתוצאה מתזוזות האבנים או מחוסר במים בסביבת הביצה. התמותה הנמוכה ביותר קיימת באזור שבו ההטלה היא המאסיבית ביותר שהוא כנראה רוחב הסדק האופטימלי.

היתרון באזורי מצע מחוספס נובע מכך שמצע כזה נותן גומחות רחבות מספיק להטלה גם בסדקים צרים. יתכן שמצע כזה נותן הגנה טובה יותר והיצמדות הביצים חזקה יותר. **עומק ההטלה** – העומק המועדף להטלה בסדקים אופקיים הוא כ- 1 ס"מ לתוך הסדק. עומק זה נמצא בטווח הקרוב ביותר מחוץ לטווח הטריפה של הדג. עם זאת ההטלות מפורזות לכל רוחב האבן (בכל עומק אפשרי). בעומק זה ישנו שילוב בין אחוזי הטלה גבוהים לאחוזי תמותה נמוכים. על יתרון להטלה בעומק הסדק, בעומק של 2.5 סנטימטר לפחות, מעידים אחוזי ההישרדות הגבוהים. אחוזי הישרדות גבוהים אינם תוצאה של צפיפות נמוכה של ביצים שכן אחוזי תמותה כאלה מתקבלים לאורך הסדק באזורי ההטלה הצפופים ביותר. אחוזי התמותה הגבוהים בשולי הסדק הם כנראה תוצאה ישירה של טריפה.

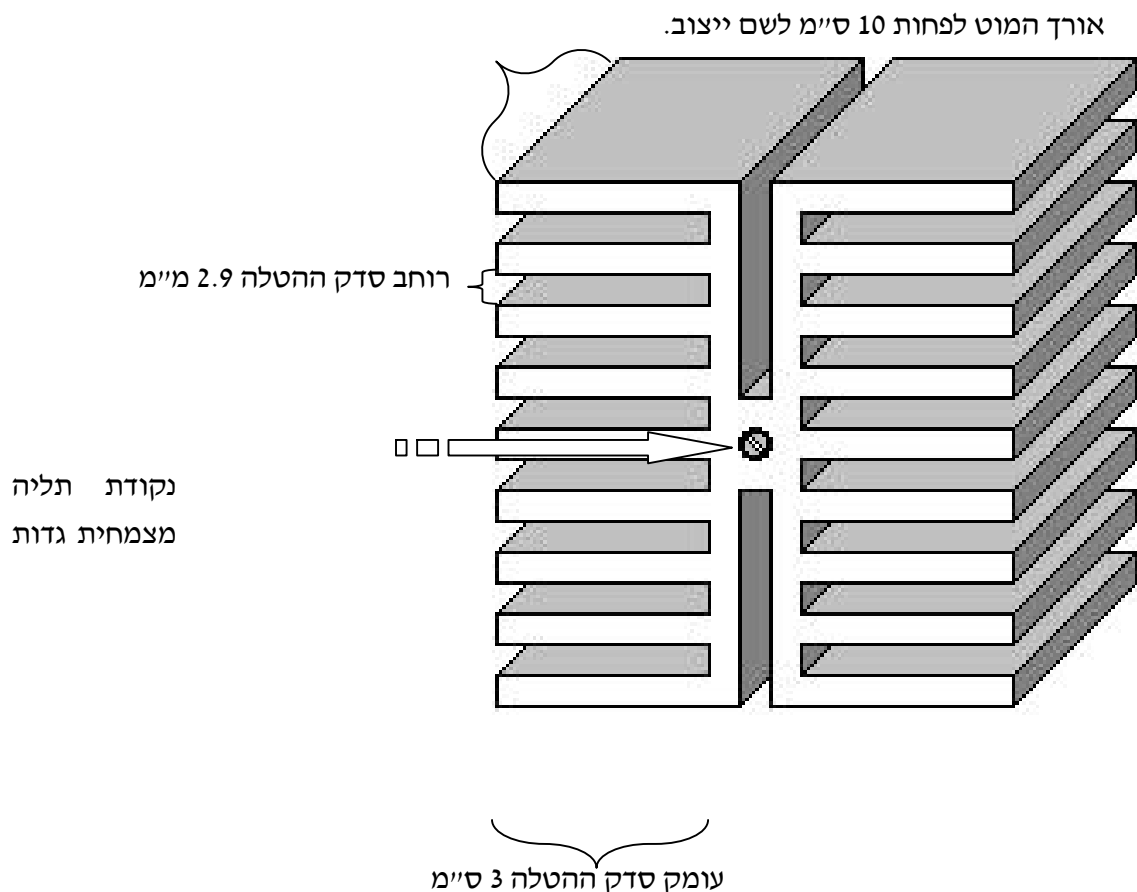
אוריינטציית ההטלה – היתרון בהטלה בסדקים אנכיים נובע מכך שמגע בין אבני ההטלה אינו הכרחי. ופחות ביצים נמעכות באזור נקודות המגע בין האבנים. יתכן שזווית ההטלה נוחה יותר בסדקים אנכיים. היתרון בהטלה בחלק העליון של הסדק קשור אולי לזווית הטלה נוחה. זווית זו יכולה לאפשר לחלק ניכר מהביצים להגיע לחלקו התחתון של הסדק.

אחוזי ההישרדות נמוכים בצדי הסדק וגבוהים בתחתית הסדק. יתכן כי שרידות גבוהה זו היא תוצאה של חשיפה מוגברת לטורפים בצדי הסדק.

זמינות מצע ההטלה – נמצא שהדגים מטילים יותר כאשר מצע ההטלה זמין יותר. לפיכך זמינות מצע ההטלה מהווה גורם מגביל לרבייה במערכת הניסוי.

קיימות אפשרויות רבות לבניית מצע הטלה אופטימלי לפי הקריטריונים לעיל. להלן הצעה למצע הטלה כזה, בצורת מוט, הנותן דגש למאפיינים הבאים [דוגמה למצע כזה באיור ד.3.2]:

1. משופע בחריצי הטלה.
2. רוחב סדק הטלה של 2.9 מ"מ.
3. עומק סדק הטלה של 3 ס"מ.
4. אורך מוט הטלה לפחות 10 ס"מ (לשם ייצוב).
5. בעל אוריינטציה מאונכת, ללא מגע עם סדימנט רך (תלוי כשורש צמחיה).
6. בעל שטח פנים מחוספס.



איור ד.3.2 דוגמה למודל מצע הטלה (מוט) הבנוי לפי מסקנות המחקר – מבט ממעוף הציפור.

בתי גידול שונים מתאפיינים באופי קרקע שונה. קרקע המתאפיינת בסדימנט רך אינה יכולה לשמש מצע הטלה לכל מיני הדגים וזמינות מצעי ההטלה מתאימים עשויה להוות גורם מגביל ברביית הדגים (Gafny et al., 1992). בלבנון הכנרת הביצים נצמדות למשטחי אבנים נקיות מאצות, הצלחת הרבייה בדג זה תלויה בקצב ובגובה העלייה במפלס האגם, הקובעים את הזמינות של מצע הטלה מתאים (Gafny et al., 1992). גם מצעי ההטלה שנבחרו על ידי דג לבנון

הירקון היו נקיים מאצות. התייבשויות עונתיות של קטעי נחל, כמו גם אזורים מוצלים, יכולים להוות גורם להימצאות מצעי הטלה כאלה.

6.ד השפעת הצפיפות על הרבייה

המחקר הנוכחי מראה שצפיפות הדגים משפיעה באופן שלילי על עוצמת ההטלה וצפיפות הביצים באופן שלילי משפיעה על הישרדות החרויות. עוצמת ההטלה והישרדות החרויות יורדות עם העלייה בצפיפות. ניתן להסביר ירידה זו על ידי כושר הנשיאה המוגבל של בית הגידול. ככל שגודל האוכלוסייה מתקרב לכושר הנשיאה יורדת רמת גיוס הפרטים. אחת השיטות האפשריות של אוכלוסיית הדגים להוריד את רמת גיוס הפרטים היא הטלה של פחות ביצים. דוגמה לוויות גודל האוכלוסייה על ידי הורדה של רמת הגיוס, מוכרת באוכלוסיות שבלול החרמון (*Helix* *texta*). בשנים כתיקונם, האוכלוסייה רוויה ומורכבת ברובה מפרטים בוגרים. צעירים רבים אמנם בוקעים מדי שנה, אך בשל עיקוב בגידולם, רק מיעוט קטן מהם שורד ומצליח לגדול ולהצטרף לאוכלוסייה. מצב זה השתנה לאחר אירוע שבו חיסלו שני חזירי בר תוך יומיים כ-60% מהאוכלוסייה. לאחר האירוע צעירים רבים הצליחו לגדול ולהגיע לבגרות, וכך חזרה האוכלוסייה לגודלה המקורי (הלר, 1993).

הירידה בהישרדות החרויות עם העלייה בצפיפות מתאימה לממצאי מחקרם של Feldlite & Milstein (1999). כושר הנשיאה של מקום הגידול (למשל זמינות חומרי מזון כגון מיקרואורגניזמים המאפשרת קיום של דגיגים) לפי מחקרם מהווה אחד מצווארי הבקבוק בתעשיית דגי נוי של מים קרים בישראל. הדבר מתבטא באובדן גדול של דגים בשלב הפוסט-לרוולי. Feldlite & Milstein טוענים שכשלב ראשון בהעלאת אחוזי ההישרדות צריכים לקבוע את הצפיפות האופטימלית לגידול לרוות לכל מין. במחקרם נבחנה השפעת צפיפות החרויות בדגי זהב (*Carassius auratus*), בדגי קרפיון מצוי ובדגי קוי (*Cyprinus carpio*). החרויות בדגי קוי יכולות לחיות בצפיפות של 2000 פרטים לליטר מבלי להראות השפעה מזיקה של הצפיפות. בדגי זהב נמצאה אותה צפיפות אופטימלית בתקופת החורף. צפיפות זו יורדת ל-500 עד 1000 דגים לליטר באביב.

במחקר הנוכחי נמצא כי השפעת הצפיפות ניכרת כבר בצפיפויות נמוכות ובצפיפות של 100 פרטים לליטר אחוזי ההישרדות יורדים ל-0%.

7.ד השפעת הטמפרטורה על הרבייה

עוצמת ההטלה – מחקרים רבים מראים השפעה של טמפרטורה על הרבייה (Kime et al., 1986; Kestemont, 1990; Shaikh, 1993; Tomasson et al., 1984; Poncin, 1989).

בניסוי הנוכחי, בגרעין נחל ירקון חוממו המים לטמפרטורות קבועות ולא נמצא קשר בין טמפרטורת המים לעוצמת ההטלה. הסיבה לכך יכולה להיות שהטמפרטורות שנבדקו בניסוי היו מעל לטמפרטורת סף האופיינית לתחילת עונת הרבייה (18°C) ומעל לסף זה אין קשר בין טמפרטורה לעוצמת ההטלה. טמפרטורת סף שמעליה לא נמצא קשר בין טמפרטורה ורבייה נמצאה במחקרים רבים נוספים לדוגמה, מחקרם של King et al. (1998). במחקר זה נמצא בדגי בינית (*Barbus*) גדולים ערך סף של טמפרטורת מינימום יומית שמעליה מתחילה עונת הרבייה. ככל הנראה בחלק מהדגים טמפרטורת המים מהווה טריגר להתחלת הרבייה, אך אינה משפיעה

על עוצמתה. הרבייה מתחילה מרגע שעוברים את ערך הסף, וכל ירידה מערך זה מפסיקה את הטלת הביצים (Baras, 1999). לעומת זאת, עוצמת ההטלה בגרעין נחל תות נמצאה במתאם לטמפרטורת המים (שהשתנתה בהתאם לטמפרטורת הסביבה). הסיבה לכך איננה נובעת מהבדל בין גרעיני הרבייה, שכן נתונים של עונתיות בעוצמת ההטלה מראים דגם דומה של שני גרעיני הרבייה [איור ג.1.8]. בניסוי לא נמצאה השפעה לטמפרטורה (בטווח הנמדד) על עוצמת ההטלה בגרעין נחל ירקון, ולכן עוצמת ההטלה בגרעין נחל תות מוכתבת כנראה על ידי גורם אחר הנמצא במתאם לטמפרטורת המים (כגון פוטופריודה). השפעת הטמפרטורה ניכרת רק מתחת לטמפרטורת הסף. תוצאה זו דומה לתוצאת המחקר של Weddle & Burr (1991). במחקר זה נמצאה קורלציה ישירה בין פוריות הדגים לטמפרטורת המים מתחת לטמפרטורה של 21.5°C . בטמפרטורות גבוהות מטמפרטורת הסף פוריות הדגים הייתה גבוהה ללא קשר לשינויים בטמפרטורה.

השיא בעונת הרבייה שנרשם מיד בתחילת ניסוי השפעת הטמפרטורה בגרעין נחל ירקון נובע ככל הנראה מטמפרטורת הניסוי הגבוהה באופן חריג לעונה זו. יתכן ששילוב טמפרטורות גבוהות עם פוטופריודה קצרה גרם לעוצמת ההטלה החריגה בעונה זו [איור ג.5.3].

התפתחות ביצים – בדומה לכך במחקר הנוכחי נצפתה ירידה במשך הזמן עד לבקיעת הביצים עם העלייה בטמפרטורת המים. עלייה בקצב התפתחות הביצים עם עליית הטמפרטורה צפויה בבעלי חיים פויקלותרמיים שקצב חילוף החומרים שלהם מושפע מטמפרטורת הסביבה.

הישרדות לרוות – נמצאה עלייה באחוזי ההישרדות עם עליית הטמפרטורה בגרעין נחל ירקון. תופעה זו מוסברת על ידי עלייה בקצב ההתפתחות שגרמה לקיצור משך התפתחות הביצה. זמן זה הוא קריטי להישרדות, ובו נרשמו אחוזי תמותה גבוהים ביותר (עד 100% תמותה חודשית).

תופעה דומה נצפתה במחקרם של King et al. (1998) בנהר אוליפנטס בדרום אפריקה. רמת גיוס הלוות עלתה בהצפה על ידי מים חמים ($19-21^{\circ}\text{C}$) בקרפיונאי *Barbus capensis*, ולעומת זאת בהצפות של מים קרים ($16-18^{\circ}\text{C}$) נצפו דגיגים מתים ודגיגים מעוותים.

בגרעין נחל תות, לא נמצא קשר בין משך התפתחות הביצה לתמותת הלוות. יתכן שהתאמה לתנאי נחל לא יציבים מתבטאת בעמידות טובה יותר של הביצים.

8.4 השפעת הפוטופריודה על הרבייה

דגים רבים מראים שינויים בפעילות הרבייתית במתאם לשינוי בפוטופריודה. בדגי גופי ודגי זנב חרב טרופיים נצפתה עלייה בפעילות הרבייתית באביב, עם התארכות תקופת האור (Lofis, 1970). בניסוי השפעת הפוטופריודה על עוצמת ההטלה במחקר הנוכחי לא נמצא קשר בין השניים. ולא נמצא הבדל מובהק בין הסבבים (חזרות על הניסוי, שנערכו בתאריכים שונים). בדג הגרם טרוטת הקשת (*Salmo gairdneri*), קצב אנדוגני מכתוב את מחזור הרבייה בהעדר סיגנל חיכוני (Whitehead et al., 1978). כנראה שמנגנון כזה אינו קיים בדג קברנון של שפכי נחלים מהמין *Gillichthys mirabilis* (de Vlaming, 1972). לפי תוצאות אלה כנראה שמנגנון כזה אינו קיים גם בלבנון הירקון.

בדיקה נוספת של השפעת הפוטופריודה על עוצמת ההטלה מתקבלת מניתוח התוצאות של ניסוי השפעת הטמפרטורה על עוצמת ההטלה (בתנאי פוטופריודה טבעיים). בניסוי זה בכל פוטופריודה דגים היו חשופים לכל טווח הטמפרטורות שנבדקו. דגי לבנון הירקון מראים בניסוי זה מגמת ירידה בעוצמת ההטלה עם התארכות הפוטופריודה ומגמת עליה בעוצמת ההטלה עם התקצרות הפוטופריודה.

בסבב הראשון של ניסוי השפעת הטמפרטורה על עוצמת הרבייה הקשר בין הפוטופריודה לעוצמת ההטלה לא היה מובהק. כנראה שהרבייה מתרחשת לאחר מעבר סף הטמפרטורה כשהפוטופריודה קצרה מ- 12 שעות אור.

בסבב השני, לאחר תחילת האביב (22 במרץ) עוצמת ההטלה יורדת. עוצמת ההטלה מגיעה לרמתה הנמוכה כאשר הפוטופריודה מתארכת מעל 12.5 שעות אור. כזכור בפוטופריודה זו היה שיא הרבייה בגרעין "תות" ולאחריו ירידה בעוצמת ההטלה ללא קשר לטמפרטורת המים. התארכות הפוטופריודה משמשת ככל הנראה טריגר להפסקת עונת הרבייה.

משני הניסויים הללו נראה שהבקרה על הרבייה היא בקרה דואלית (טמפרטורה - פוטופריודה). מחקרים רבים מראים תופעה דומה של השפעה משולבת של הטמפרטורה והפוטופריודה בקרפיונאים (Lofts, 1970; Asahina, 1983; Shaikh, 1993; Yaron, 1980).

9.4 עונתיות ברבייה

עבודתו של אלרון (2000) מצביעה על קיום עונת רבייה קצרה בטבע (חודשיים שלושה). בניסויים הפרלימינאריים בתנאי המעבדה נמשכה עונת הרבייה ששה חודשים ויותר. כאמור ניתן לגרום להטלות מחוץ לעונת הרבייה על ידי שינוי מלאכותי של מחזור הטמפרטורה והפוטופריודה. כפי שנעשה במחקרים במינים רבים כגון מחקריו של Kestemont (1990) בקרפיונאי *Gobio-gobio* ומחקרם של Yaron et al. (1980) בלבנון הכינרת.

על מנת שבעלי חיים יהיו מסוגלים להתאים את מהלך חייהם לשינויים עונתיים בטרם התרחשו שינויים במזג האוויר, מוכרחים לקרות שני דברים – בעל החיים צריך לקבל רמז (סיגנל סביבתי) על השינוי העונתי המתקרב והסיגנל צריך ליצור שינוי בהתנהגות או בפיזיולוגיה של בעל החיים (Lofts, 1970). שינויים בעוצמת הרבייה בדגי לבנון הירקון בהתאמה לשילוב של שינויי טמפרטורה ופוטופריודה יכולים להעיד ששילוב זה מהווה סיגנל סביבתי.

עוצמת ההטלה – ההתאמה בין עוצמת ההטלה בגרעין נחל תות לפוטופריודה יכולה להיות מוסברת על ידי גורם אחר שנמצא במתאם לפוטופריודה, או שמדובר בבקרה דואלית שבה שני הגורמים שנמצאים במתאם זה לזה משפיעים כל אחד בתורו על עוצמת ההטלה.

ניתן לזהות בקרה דואלית של טמפרטורה ופוטופריודה: פוטופריודה קצרה בשילוב עם טמפרטורת סף הם הטריגר להעלאת רמת הרבייה בסוף החורף ופוטופריודה ארוכה מהווה טריגר להורדת רמת הרבייה בתחילת הקיץ.

ממחקרו של אלרון (2000) עולה שבלבנון הירקון בטבע תחילת התפתחות האשכים מתרחשת בנובמבר והשחלות בדצמבר. בתקופה זו הטמפרטורות יורדות למינימום השנתי בירקון (12°C)

והפוטופריודה במינימום השנתי. לאחר מכן התפתחות הגונדות מקבילה לעליית הטמפרטורה ולעלייה בפוטופריודה. עד לתחילת תקופת הרבייה בינואר (14°C, 11.5L). תקופת הרבייה מסתיימת באפריל.

המחקר הנוכחי מחזק את הממצאים בדבר קיום בקרה דואלית של טמפרטורה ופוטופריודה, עם הבדל אחד. עונת הרבייה נמשכה בניסוי עד יוני, עד למקסימום השנתי של הפוטופריודה, ודעכה עם תחילת הירידה בפוטופריודה.

עוצמת ההטלה של דגי גרעין "תות" גבוהה באופן מובהק מזו של גרעין "ירקון". ניתן להסביר תופעה זו על ידי הסתגלות לתנאי יציבות נמוכה. במחקרים על הקרפיונאי *Barbus barbatus* נמצא שבתנאים של יציבות נמוכה ישנן תופעות כגון, מעבר מהטלת יום להטלת לילה (Baras, 1995). כמו כן נמצא במין זה שהעברה של דגים המורגלים בתנאים כאלה לתנאים יציבים יותר יכולה לגרום לעוצמת הטלה שנתי גדולה פי כמה (Poncin, 1989).

התפתחות ביצים – בגרעין נחל ירקון נמצא שאחוז הבקיעה של הביצים עולה עם הירידה באורך היום. תופעה זו מתאימה לעונתיות בהטלת הביצים בחודשי החורף. בחודשי הקיץ, עם התקצרות אורך היום עולה אחוז הבקיעה למרות שעוצמת הטלת הביצים נמצאת ברמה נמוכה. תופעה זו מאפשרת גיוס פרטים מחוץ לעונת הרבייה.

בגרעין נחל תות נמצא שאחוזי הבקיעה מתאימים לעונת הרבייה. ככל הנראה גם כאן ישנה בקרה דואלית של טמפרטורה ופוטופריודה.

הישרדות לרוות – הרבייה מורכבת מהטלה והישרדות. במחקר הנוכחי השיא בהישרדות הלוות בחודש מאי חופף לשיא בעונת ההטלה בשנת 2001. שיא זה נגרם בין היתר משילוב של טמפרטורת מים גבוהה מטמפרטורת הסף ופוטופריודה שלא הגיעה לערכה המקסימאלי. טמפרטורת המים עשויה לשפר את הישרדות הלוות, כפי שמראה מחקרם של King et al. (1998) בקרפיונאי *Barbus capensis*.

10.ד גיוס וטריפה

במערכת הניסוי גיוס פרטים חדשים התרחש ברובו הגדול במיכלים חשופים לקרינת שמש ישירה. תופעה זו מוסברת בין היתר על ידי פריחת האצות במיכלים אלה שנתנה מקור מזון, העכירה את המים וסיפקה מקומות מסתור לדגיגים החדשים. הסבר לתופעה זו ניתן למצוא במחקרו של Schlosser (1988) על קרפיונאי נחלים, המראה שסיכוני היטרפות שונים לקבוצות גודל שונות גורמים לבחירת בתי גידול שונים.

היעלמות הלוות ממערכת הנחל המלאכותי מעידה על קניבליזם (טריפת לרוות על ידי הדגים), שכן קצב התמותה במיכלי הדגרה ללא דגים הוא איטי (ימים עד שבועות) וניתן לראות את שרידי הלוות שמתו.

הטריפה העיקרית במערכת הניסוי (מעל 99% מכלל הביצים החשופות) היא טריפה של ביצים חשופות ביום הראשון לחשיפתם, ומתבצעת ככל הנראה על ידי הדגים.

קניבליזם (טריפת ביצים של נקבות אחרות) היא תופעה מוכרת בקרפיונאים. העדר השגחה הורית ונוכחות דגים לוויינים (satellites) כתוצאה משיטת ההזדווגות הפוליגנית, גורמת

לקניבליזם ברמות גבוהות. במחקרו של Katano (1992) נמצא שדגי *Zacco temmincki* טורפים לפחות 97.1% מכלל הביצים. הביצים נקברו על ידי ערבול הסדימנט בקרקעית הנהר ולמרות זאת ברגע ההטלה נטרפו ביצים על ידי זכרים ונקבות. במחקר הנ"ל התנהגות קבירת הביצים נזנחה בנוכחות דגים נוספים וזכרים מזדווגים סבלו מתחרות זרע באזורי הטלה רחוקים ממחסה. זוגות אלה הראו אסטרטגיה של הטלות חוזרות והחלפה תכופה של אזורי הטלה שנועדה לבלבל דגים מלווים. במחקר שנערך על ידי Katano ו-Maekawa (1995) נמצא ש-9 מתוך 41 נקבות הדג *Zacco temmincki* בנהר טרפו ביצים של נקבות אחרות. הקניבליזם לא היו שונות בגודל גופן או בערכי אינדקס הגורם הגופני שלהן. אולם בנקבות אלו מספר מחזורי ההטלה היה גדול באופן מובהק ומספר הביצים המוטלות היה גדול פי 1.55 ממספר הביצים המוטלות על ידי יתר הדגות. במעבדה, כאשר הוכנסו שתי נקבות וזכר לתא ההטלה, 15 מתוך 16 נקבות הראו קניבליזם על ביצים.

יתכן שקניבליזם מהווה מנגנון לוויסות גודל האוכלוסייה ויתכן שזהו ביטוי לתחרות בין נקבות על משאבים לצאצאים. ככל שאוכלוסיית הדגים קטנה יותר יהיה קל יותר למצוא אזורי הטלה מבודדים ולהסתיר ביצים, שיעור הקניבליזם יקטן ושיעור הגיוס יגדל.

11.ד השפעת זרימת המים על הרבייה

דגי נחל רבים מטילים ביצים דמרסליות. מינים אחדים מפזרים את ביציהם על פני המצע, אך רבים ממקמים את ביציהם באזורים מוגנים כגון חריצים בסלע (למשל סוג הקרפיונאים *Cyprinella*) (Baker, 1994). ביצים המוטלות בסדקים עשויות לחוות התארכות בזמן ההתפתחות או הישרדות עוברים נמוכה כתוצאה מהפחתה בקצב תחלופת המים ביחס לאתרי הטלה פתוחים יותר. אם כך, המצאות זרם בקרבת הסדק עשויה להיות חשובה לתחלופת המים. אולם ממחקרו של Baker (1994) בקרפיונאי *Zacco temmincki*, עולה שזרמים חזקים מדי עשויים למנוע הפריה מלאה או למנוע מהביצה את ההיצמדות למצע לפני שהיא נשטפת מהסדק. הסיבה לירידה בעוצמת ההטלה עם העלייה במהירות הזרימה במחקר הנוכחי איננה סחיפה של ביצים עם זרם המים, שכן בקבוצת הביקורת לא נראתה כמות גדולה יותר של ביצים מהכמות הממוצעת במיכלי הניסוי. מאידך יותר ביצים מרוכזות בצל הזרם (אזור כמעט ללא זרימה). הדבר מעיד על העדפת הדגים להטיל את ביציהם דווקא באזורים ללא זרם. התנהגות זו שונה מהתנהגות דגי מין קרוב – *Leuciscus cephalus* שלרוב מעדיפים להטיל ביצים בזרם (Arlinghaus & Wolter, 2003), אך תואמת התנהגות מיני קרפיונאים רבים. באזורים רבים בעולם קרפיונאים הם השולטים בבתי גידול בעלי אופי בריכתי (Martin-Smith, 1998). בריכות עשויות להיווצר באופן עונתי ע"י שינוי במפלס המים כתוצאה משטפונות או מאירועי התייבשות. מחקרים רבים מראים קשר בין שטפונות לרבייה בקרפיונאים (Cambray, 1997; Tomasson et al., 1984). זרימת המים קשורה קשר הדוק למאפיינים שונים של בית הגידול: שינויים באופי הזרימה יכולים להשפיע על עכירות המים ועל עומק המים, ולגרום לחשיפה של אזורי נחל או להצפה של אזורי צמחיה.

עוצמת האור תלויה גם היא במשטר הזרימה ובמפלס המים. ירידה בעוצמת האור החודר למים יכולה להיגרם למשל מהצפה של אזורי צמחיה סבוכה או הרחפת סדימנט כתוצאה מערבול המים על ידי זרימה (Lofts, 1970).

12.ד בחירת בית גידול

ניתן לראות הפרדת נישות ברורה בין דגיגים לרמות. הפרדות כאלה נעשות על מנת להימנע מתחרות וטריפה. אילוצים של טורפים יכולים להביא דגיגים לבתי גידול של בריכות רדודות המקשרות בין אזורי נחל, שבהן בגלל גודל הגוף הם מוגנים מטורפים (Matthews et al., 1994). דוגמה נוספת להפרדת נישות קיימת באזורים בהם קיים גרדיאנט של טמפרטורות. מחקרו של Diaz (1998) בקרפיונאים *Ctenopharyngodon idella*, *Megalobrama amblycephala* מראה שבאזורים כאלה מתבצעת בחירה של אזור בעל טמפרטורה מועדפת פחות על ידי אחד הצדדים. מצב זה יגרום לשינוי בקצב הגידול של הדג "המקופח". אם קיים מצב כזה בלבנון הירקון הרי שדגים קטנים המצויים בשכבות העליונות של גוף המים יחשפו לטמפרטורה גבוהה יותר, קצב הגידול שלהם יגדל והם עשויים להגיע לדרגת בוגר תוך זמן קצר יחסית, כשאורך גופם קטן יחסית.

במחקר הנוכחי נראה יותר שההפרדה מתבצעת על ידי בחירת עומק. תופעה זו מוכרת מהמין *Chondrostoma nasus* בו 60% מהדגים שניצפו שהו בעומקים של 20-30cm, הראו העדפה לעוצמת זרם ספציפית (בין 0.4 ל- 0.6 מטר לשניה) ולסביבה בעלת סדימנט עשיר בחלוקי נחל (Keckeis, 2001).

במחקר הנוכחי נמצא שדגיגים מראים העדפה לבתי גידול מוגנים בקרבת מפל, אזורים אלה מועדפים של דגים רבים, כמו *Phoxinus Phoxinus*, משום שהם עשירים בחמצן (Frost, 1943). יתכן שהמובהקות הגבוהה בהפרדת הנישות בניסוי בחירת בית הגידול אינה קשורה רק לבחירה של בית גידול ונובעת בין היתר מהנטייה להתלהקות לאחר פיזור הדגים. ניתן לראות תופעה זו בהתביינות של דגים ששחררו באזורים שונים בנחל על מקומות של פעילות ועל בתי גידול מועדפים שנחקרה בדגי *Barbus barbus*. מרכזי פעילות מושכים את הדגים אף יותר מבתי הגידול מועדפים. הסבר לתופעה זו היא שנוכחות של דגים "תושבים" מאותו מין עשויה להקל על ניצול סביבה בלתי מוכרת על ידי הדג וזה מפצה, (בתלות בזמינות המזון) על היתרון שמספקת נאמנות לאתר בית (Baras, 1997).

13.ד סיכום

המסקנות העיקריות העולות מעבודה זו הן כדלקמן:

1. גידול הדגים:

- הקשר בין האורך למשקל הדג – הגידול בדגי לבנון הירקון הוא אלומטרי והדגים נעשים עגלגלים יותר עם גדילתם.

- **קצב הגידול** של דגי לבנון הירקון ניתן לתיאור על ידי פונקציה הגידול של Von Bertalanffy (VBGF) עם זאת יש לשקול שימוש בפונקציה חזקה לתיאור מדויק יותר של הגידול. בשלבי ההתפתחות הראשוניים הדג מתארך מהר ומשקל גופו עולה לאט, מגמה זו משתנה עם הגיל.

- **הזדקנות והגורם הגופני** – השינויים הגדולים ביותר בערכי אינדקס הגורם הגופני חלים בשלבי ההתפתחות הראשוניים של הדג. ערכי אינדקס הגורם הגופני עולים עם הגיל עד לגיל 3 שנים ו-4 חודשים. לאחר גיל זה ("גיל המעבר") ישנה ירידה בערכי האינדקס. ירידה ניכרת בעוצמת ההטלה לאחר גיל שנתיים וחצי.

2. מצעי הטלה:

- **הפרמטרים המועדפים לבחירת מצע הטלה** הינם: חיספוס, אוריינטציה מאונכת, קיום סדקים ברוחב של כ-3 מ"מ שעומקם 2.5 ס"מ לפחות.

- **זמינות המצע** מהווה גורם מגביל להטלה אפילו התנאי הניסוי.

3. **השפעת הצפיפות על הרבייה** – עם העלייה בצפיפות הדגים קיימת ירידה בעוצמת ההטלה, ועם העלייה בצפיפות הביצים קיימת ירידה בהישרדות הלריות.

4. עונתיות:

- לאחר תקופת החורף ערכי **אינדקס הגורם הגופני וקצב העלייה במשקל** גדולים יותר מהערכים בתקופת הקיץ, ככל הנראה בשל התפתחות גונדות בתקופת הרבייה (בחורף). תוספת המשקל (באחוזים מהמשקל ההתחלתי) גדולה באופן מובהק בדגים שנמדדו לאחר תקופת החורף על פני דגים שנמדדו לאחר תקופת הקיץ.

- **השפעת הטמפרטורה על הרבייה** – הטמפרטורה מהווה זרז להתפתחות הביצים ומעלה את אחוזי ההישרדות של הלריות.

± **השפעת הפוטופריודה על הרבייה** – עוצמת הרבייה יורדת עם העלייה בפוטופריודה.

- קיימת **בקרה זואלית** של טמפרטורת המים והפוטופריודה על הרבייה – עליית הטמפרטורה בשילוב עם פוטופריודה קצרה מהווים טריגר להתחלת הרבייה, פוטופריודה ארוכה (14.25L) בשילוב עם טמפרטורה גבוהה מפסיקים את עונת הרבייה. ככל הנראה ללבנון הירקון אין מנגנון קצב אנדוגני המכתיב את מחזור הרבייה בהעדר סיגנל חיצוני.

5. **השפעת זרימת המים על הרבייה** – הדגים מעדיפים להטיל את ביציהם באזורים ללא זרימת מים.

6. בחירת בית גידול:

- ניתן לראות **הפרדת נישות** בין דגיגים ללריות וישנה העדפה של דגיגים לבתי גידול מוגנים בקרבת מפל (אזורים אלה עשירים בחמצן).

- **גיוס פרטים חדשים** ניצפה במיכלים חשופים לקרינת שמש ישירה ותופעה זו מוסברת בין היתר על ידי פריחת האצות במיכלים אלה שנתנה מקור מזון, העכירה את המים וסיפקה מקומות מסתור לדגיגים החדשים.

7. **קניבליזם** – בלבנון הירקון קיימת תופעה של **קניבליזם של ביצים ושל פגיות**. ביצים חשופות נטרפות ע"י הדגים בשיעור של למעלה מ-99% לאחר לילה אחד.

8. **הבדלים בין גרעיני הרבייה "ירקון" ו-"תות"**:

- **ערכי אינדקס הגורם הגופני** בסה"כ גבוהים יותר בגרעין "תות", אולם בחורף הם גבוהים יותר בגרעין "ירקון".

- **עונתיות:**

i. דגי גרעין "ירקון" מראים מאין חילוף עונת רבייה (לעונת הקיץ), בערכי אינדקס הגורם הגופני בתנאי תאורה מלאכותית. תופעה זו היא עדות לכך שהפוטופריודה היא פקטור מרכזי בקביעת עונת הרבייה, בעיקר לגבי אוכלוסיית נחל ירקון.

ii. נמצאה בהשתנות הפרמטר b של יחסי קצב הגידול היחסי במשקל ובאורך. בגרעין "ירקון" הגדילה אלומטרית ומתאפיינת ב-"התעגלות" בעונת החורף (בעונת הרבייה) ובהתארכות הקיץ. בגרעין "תות" המגמה דומה אך אינה מובהקת והדגים נוטים להתארך גם בחורף. תופעה זו יכולה להצביע על הבדל בתאריכי השיא בעונת הרבייה.

- **קצב הגידול** גבוה יותר בגרעין "תות", וכן הפרמטרים: L_{∞} , W_{∞} , k (3k) של VBGF.

- **עוצמת ההטלה** של דגי גרעין "תות" גבוהה באופן מובהק מזו של דגי גרעין "ירקון".

- **לעלייה בצפיפות הדגים** השפעה שלילית גדולה יותר על עוצמת ההטלה בגרעין "ירקון" מאשר בגרעין "תות".

- **לעלייה בפוטופריודה** השפעה שלילית גדולה יותר על עוצמת ההטלה בגרעין "ירקון" מאשר בגרעין "תות".

ההבדלים בין אוכלוסיות הנחלים הם תוצאה של סחיפה גנטית (genetic drift) בעקבות תקופה ארוכה של היפרדות, תקופות של צוואר בקבוק גנטי (bottleneck) והבדלים בין בתי הגידול הטבעיים.

רשימת ספרות

- אלרון, א., 2000. עבודת גמר לקראת תואר "מוסמך האוניברסיטה" במחלקה לזואולוגיה באוניברסיטת ת"א: היבטים בביולוגיה ובאקולוגיה של לבנון הירקון (*Acanthobrama telavivensis*) מין בסכנת הכחדה.
- גורן, מ., ברנס, א. ודיאמנט, א., 1999. מגדיר לדגי נחלים ואגמים בישראל. עמ' 20-35.
- גורן, מ., 1969. תפוצה וטקסונומיה של דגי מים מתוקים בישראל, עם דגש על הסוגים: *Acanthobrama*, *Phoxinellus*, *Garra*, *Aphnius*, *Hoemacheilus*. חיבור לשם קבלת התואר "מוסמך למדעי הטבע". אוניברסיטת ת"א.
- גורן, מ., 2002. דגים. הספר האדום של החולייתנים בישראל, עורכים: ע. דולב, א. פרבולוצקי. הוצאת רשות הטבע והגנים והחברה להגנת הטבע. ירושלים. 304 עמ'.
- גפני, ש., גורן, מ. וגזית, א., 1997. הקשר בין תנאי בית הגידול והתגובה הביולוגית של דגים בנחל הירקון, דו"ח מסכם לתקופה דצמבר 1996 דצמבר 1997 מחקר מס, 6-123, המכון לחקר שמירת טבע והמחלקה לזואולוגיה, אוניברסיטת תל אביב.
- הלר, י., 1993. שבלולי ארץ ישראל אורחות חיים ומגדיר. הוצאת משרד הביטחון. 271 עמ'.
- Alves, M. J. and Coelho, M. M., 1994. Genetic variation and population subdivision of the endangered Iberian cyprinid *Chondrostoma lusitanicum*. J. Fish. Biol. (44)4:627-636.
- Anderson, R. O., Gutreuter, and S. J., 1983. Length, weight, and associated structural indices. In: Nielsen L. A. and Johnson, D. L. (eds.), Fishery Techniques. pp. 283-300. Southern Printing Co., Blacksburg, Virginia.
- Arlighaus, R., and Wolter, C., 2003. Amplitude of ecological potential: chub *Leuciscus cephalus* (L.) spawning in an artificial lowland canal. J. Applied Ichthyology. 19:52-55.
- Asahina, K., and Hanyu, I., 1983. Role of temperature and photoperiod in annual reproductive cycle of the rose bitterling *Rhodeus ocellatus*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 49(1):61-67.
- Bagenal, T. B., and Tesch, F. W., 1978. Length, weight and associated structural indices. In: Bagenal, T. (Editor). Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters. IBP Handbook No. 3, Blackwell Scientific Publications, 3rd edn, pp.101-136.

- Baker, J. A., Killgore, K. J. and Foster, S. A., 1994. Population variation in spawning, current speed selection in the blacktail shiner, *Cyprinella venusta* (Pisces: Cyprinidae). *Environ. Biol. Fish.* 39(4):357-364.
- Baras, E., 1995. Thermal related variations of seasonal and daily spawning periodicity in *Barbus barbus*. *J. Fish Biol.* 46:915-917.
- Baras, E., 1997. Environmental determinants of residence area selection by *Barbus barbus* in the River Ourthe. *Aquatic Living Resources.* 10(4):195-206.
- Baras, E., and Philippart, J. C. 1999. Adaptive and evolutionary significance of a reproductive thermal threshold in *Barbus barbus*. *J. Fish Biol.* 55:354-375.
- Bauchot, R. and Bauchot, M. L., 1978. Coefficient de condition et indice pondéral chez les téléostéens. *Cybium.* 3(4):3-16.
- Beck, S. D., 1963. *Animal Photoperiodism.* Holt, Rinehart and Winston, New York. 124 pp.
- Bertalanffy, L. von, 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). *Human Biol.* 10: 181-213.
- Bertalanffy, L. von, 1960. Principles and theory of growth, pp 137-259. In *Fundamental aspects of normal and malignant growth.* W. W. Wowinski ed. Elseviers, Amsterdam.
- Beverton, R. J. H. and Holt, S. J., 1959. A review of the lifespans and mortality rates of fish in nature and their relation to growth and other physiological characteristics. In G. E. W. Wolstenholme and M. O'Connor (eds.) *CIBA Foundation colloquia on ageing: the lifespan of animals.* vol. 5. J and A Churchill Ltd, London. pp. 142-180.
- Cambray, J. A. and Hecht, T., 1995. Comparison of the growth of two closely related redfin minnows, *Pseudobarbus afer* (Peters, 1864) and *P. asper* (Boulenger, 1911) (Pisces, Cyprinidae), in the Gamtoos River System, South Africa. *J. Afr. Zool.* 109(4):349-376.
- Cambray, J. A., King, J. M. and Bruwer, C., 1997. Spawning behavior and early development of the Clanwilliam Yellowfish (*Barbus capensis*; Cyprinidae), linked to experimental dam releases in the Olifants River, South Africa. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.* 13(6):579-602.

- de Vlaming, V. L., 1972. The effects of temperature and photoperiod on reproductive cycling in the estuarine gobiid fish, *Gillichthys mirabilis*. Fish. Bull. 70:1137-1152.
- Diaz, F., Espina, S., Rodriguez, C. and Soto F. Sept., 1998. Preferred temperature of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes), and brema carp, *Megalobrama amblycephala* (Yih), (Pisces, Cyprinidae) in horizontal and vertical gradients. Aquaculture Research. 29(9). 643-648.
- Dykhuizen, G.V. and Mollet, H. F., 1992. Growth, age estimation and feeding of captive sevengill sharks, *Notorynchus cepedianus*, at the Monterey Bay Aquarium. Aust. J. Mar. Freshwat. Res. 43(1):297-318.
- Encina, L., and Granado-Lorencio C., 1997. Seasonal change in condition, nutrition, gonad maturation and energy content in barbel, *Barbus sclateri*, inhabiting a fluctuating river. Environ. Biol. Fish. 50:75-84
- Erzini, K., 1990. Sample size and grouping of data for length-frequency analysis. Fish. Res. 9:255-366.
- Fabens, A. J., 1965. Properties and fitting of the von Bertalanffy growth curve. Growth 29: 265-289.
- Feldlitz, M. and Milstein, A., 1999. Effect of density on survival and growth of cyprinid fish fry. Aquaculture International. 7:399-411.
- Frost, W. E., 1943. The natural history of the minnow, *Phoxinus phoxinus*. J. Anim. Ecol. 12:139-162.
- Gafny, S., Gasith, A., and Goren M., 1992. Effect of water level fluctuation on shore spawning of *Mirogrex terrae-sanctae* (Steinitz), (Cyprinidae) in Lake Kinneret, Israel. J. Fish Biol. 41:863-971.
- Gaigher, I. G., 1984. Reproduction of *Labeo umbratus* (Pisces, Cyprinidae) in Wuras Dam, a shallow, turbid impoundment. S. Afr. J. Zool. 19:105-108.
- Gasith, A., 1992. Conservation and management of the costal streams of Israel: An assessment of stream status and prospect for rehabilitation. River Conservation and Management. 26:51-64.
- Goncalves, J. M. S., Bentes, L., Lino, P. J., Ribeiro, J., Canario, A. V. M. and Erzini, K., 1997. Weight-length relationship for selected fish species of the small-

- scale demersal fisheries of the south and south-west coast of Portugal. Fish. Res. 30:253-256.
- Goren, M., Fishelson, L. and Trewavas, E., 1973. The cyprinid fishes of *Acanthobrama* Heckel and related genera. Bull. Brit. Mus. Nat. Hist. (Zool.) 24(6):291-315.
- Goren, M., 1974. The freshwater fishes of Israel. Israel J. Zool. 23:67-118.
- Goren, M. and Ortal, R., 1999. Biogeography, diversity and conservation of the inland water fish communities in Israel. Biol. Cons. 89:1-9.
- Guinand, B., Durandb, J. D., and Larocheb, J., 2001. Identifying main evolutionary mechanisms shaping genetic variation of *Leuciscus cephalus* (L. 1758) (Cyprinidae) in Western Greece: discordance between methods. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie. pp. 1045-1060.
- Gulland, J.A., 1969. Manual of methods for fish stock assessment. I. Fish population analysis. FAO Man. Fish. Sci. (4): 154.
- Hallawell, J. M., 1986. Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management. Elsevier, London. pp. 10-20.
- Hanel, L., 1995. Ecological comments on the swamp minnow *Phoxinus phoxinus* (Pisces: Cyprinidae) from the Svjatoj Nos wetlands, Lake Baikal. Siberian Naturalist. 1:25-30.
- Holden, M.T., 1974. Problems in the rational exploitation of elasmobranch populations and some suggested solutions. pp. 117-137. In F.R. Harden Jones (ed.) Sea Fisheries Research. Elek Scientific Books, Ltd. London. 510 p.
- Holt, S.J., 1960. A preliminary comparative study of the growth, maturity and mortality of sardines. pp. 553-561. In H. Rosa, Jr. and G. Murphy (eds.) Proc. World. Scient. Meet. Biology Sardines and Related Species. 2(2), Subject Synops. (2), FAO , Rome.
- Jearald, A. J. R., 1983. Age determination. In: Nielsen L. A. and Johnson, D. L. (eds.), Fishery techniques. pp. 301-324. Southern Printing Co., Blacksburg, Virginia.

- Katano, O., 1990. Seasonal sexual and individual variations in gonad weight and secondary sexual characters of the dark chub, *Zacco temmincki*. Jap. J. Ichthyology. 37(3):246-255.
- Katano, O., 1992. Cannibalism on eggs by dark chub, *Zacco temmincki* (Temminck and Schlegel) (Cyprinidae). J. Fish. Biol. 41(4):655-661.
- Katano, O., 1992. Spawning tactics of paired males of the dark chub, *Zacco temmincki*, reflect potential fitness costs of satellites. Environ. Biol. Fish. 35(4):343-350.
- Katano, O., and Maekawa, K. 1995. Individual differences in egg Cannibalism in female dark chub (Pisces: Cyprinidae) Behaviour. 132(3-4):237-253.
- Keckeis, H., 2001. Influence of river morphology and current velocity conditions on spawning site selection of *Chondrostoma nasus* (L.). Algological Studies. 135(2-4) 341-356.
- Kestemont, P., 1990. Dynamic aspects of ovogenesis in an asynchronous fish, the gudgeon *Gobio-gobio* L. Teleostei Cyprinida, under controlled temperature and photoperiod conditions. Aquatic Living Resources. 3(1):61-74.
- Kime, D. E., and Manning, N. J., 1986. Maturational and temperature effects on steroid hormone production by testes of the carp, *Cyprinus caprio*. Aquaculture. 54:49-55.
- King, J., Cambray, J. A., and Dean Impson, N., 1998. Linked effects of dam-released floods and water temperature on spawning of the Clanwilliam yellowfish *Barbus capensis*. Hydrobiologia. 384:245-265.
- Kramer, D. L., Rangeley, R. W. and Chapman, L. J., 1997. Habitat selection: patterns of spatial distribution from behavioral decisions. In: Godin, J. G. (ed.), Behavioral ecology of teleost fishes, pp. 37-80. Oxford university press.
- Landau, R., 1991. *Mirogrex terraesanctae* (Cyprinidae) of Lake Kinneret: biomass changes in relation to inflow; growth rate in relation to fish zooplankton interaction. Hydrobiologia. 218:1-14.
- LeCren, E. D., 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch *Perca fluviatilis*. J. Animal Ecol. 20:201-219.

- Lofts, B., 1970. Animal Photoperiodism. William Clowes and Sons Ltd, London and Beccles. pp. 1-20.
- Mann, R. H. K., 1975. Observations on the age, growth, reproduction and food of the pike *Esox lucius* (L.) in two rivers in southern England. Freshwater Biological Association, River Laboratory, East Stoke, Wareham, Dorset, England. pp. 179-197.
- Martin-Smith, K. M., 1998. Relationships between fishes and habitat in rainforest streams in Sabah, Malaysia. *J. Fish. Biol.* 52:458-482.
- Matthews, W. J., Harvey, B. C. and Power, M. E., 1994. Spatial and temporal patterns in the fish assemblages of individual pools in a midwestern stream (USA). *Environ. Biol. Fish.* 39(4):381-397.
- Matthews, W. J., Gido, K. B. and Marsh-Matthews, E., 2001. Density-dependent overwinter survival and growth of red shiners from a southwestern river. *Transactions of the American Fisheries Society.* 130(3):478-488.
- Munkittrick, K. R., and Dixon, D. G., 1989. Use of White sucker (*Catostomus commersoni*) population to assess the health of aquatic ecosystem exposed to low-level contaminant stress. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46:1455-1462.
- Nei, M., Maruyama, T. and Chakraborty, R., 1975. The bottleneck effect and genetic variability in populations. *Evolution.* (29)1-10.
- Noakes, D. G., and Baylis, J. R., 1990. Behavior. In: Schreck, C. B and Moyle, P. B. (eds.), *Methods Fish. Biol.*, pp. 555-583. American fishery society, Bethesda, Maryland.
- Neophitou, C., 1988. Autecology of chub, *Leuciscus cephalus* (L.) in a Greek stream and the use of the pharyngeal bone in fish predator-prey. *Aquac. Fish. Manage.* 19:179-190.
- Ostrovsky, I., and Walline, P., 1999. Growth and production of a dominant pelagic fish, *Acanthobrama terrae-sanctae*, in subtropical Lake Kinneret, (Israel). *J. Fish. Biol.* 54:18-32.
- Pauly, D., 1993. Fishbyte Section Editorial. *Naga, ICLARM Quart.*, 16:26.
- Pires, A. M., Cowx, I. G. and Coelho, M. M., 2000. Life history strategy of *Leuciscus pyrenaicus* (Cyprinidae) in intermittent streams of the Guadiana basin (Portugal). *Cybium.* 24(3):287-297.

- Poncin, P., 1992. Influence of the daily distribution of light on the reproduction of the barbel *Barbus barbus* (L.). J. Fish. Biol. 41(6):993-997.
- Poncin, P., 1989. Effects of different photoperiods of the reproduction of the barbell, *Barbus barbus* (L.), reared at constant temperature. J. Fish. Biol. 35:395-400.
- Schlosser, I. J., 1988. Predation risk and habitat selection by two size classes of a stream cyprinid experimental test of a hypothesis. Oikos. 52(1):36-40.
- Shaikh, S. A., and Hafeez, M. A., 1993. Effects of photoperiod and temperature on gonadal response in the cyprinid fish, *Cyprinion watsoni*. Pakistan J. Zool. 25(3):233-241.
- Snyder, D. E., 1983. Fish eggs and larvae. In: Nielsen L. A. and Johnson, D. L. (eds.), Fishery techniques. Southern Printing Co., Blacksburg, Virginia. pp. 165-198.
- Stacey, N. E., Cook, A. F. and Peter, R. E., 1979. Ovulatory surge of gonadotropin in the goldfish *Carassius auratus*. General and Comparative Endocrinology. 37:246-249.
- Treer, T., Habekovic D., Anicic, I., Safner, R. and Kolak, A., 1997. Standard growth curve for chub (*Leuciscus cephalus* L. 1758) in Croatia. Ribarstvo. 55(2):47-52.
- Tomasson, T., Cambray, J. A. and Jackson, P. B. N., 1984. Reproductive biology of four large riverine fishes (Cyprinidae) in a man-made lake, Orange River, Sth. Afr. Hydrobiol. 112(3):179-195.
- Unlu, E., and Balci, K., 1994. Some biological characteristics of the *Acanthobrama marmid* Heckel, 1843 in the Tigris River (Turkey). Tr. J. Zool. 18:131-139.
- Yaron Z., Cocos, M. and Salazar, H., 1980. Effects of temperature and photoperiod on ovarian recrudescence in the cyprinid fish *Mirogrex terrae-sanctae*. J. Fish. Biol. 16:371-382.
- Weddle, G. K., and Burr, B. M., 1991. Fecundity and dynamics of multiple spawning in darters: an in-stream study of *Etheostoma rafinesquei*. Copeia. 1991:419-433.
- Whitehead, C., Bromage, N. R., Forster, J. R. M. and Matty, A. J., 1978. The effects of alterations in photoperiod on ovarian development and spawning time in

the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*
18:1035-1043.

Wootton, R. J. (ed.), 1992. Feeding and growth. In: *Fish. Ecol.* Blackie and Son,
Glasgow and London. pp. 98-131.

Wootton, R. J. (ed.), 1992. Life-histories and population dynamics. In: *Fish. Ecol.*
Blackie and Son, Glasgow and London. pp. 132-160.

Wüstemann, O. and Kammerad, B., 1995. *Der Hasel, Leuciscus leuciscus*. Westarp
Wissenschaften, Magdeburg, Germany. 195 p.

Abstract

Lavnun hayarqon (*Acanthobrama telavivensis*) an endemic cyprinid fish to Israel's costal stream system is currently facing an immediate threat of extinction. In September 1999, before the extinction of the fish from the upstream part of the Yarqon stream and from Tut stream (one of the sources of Dalia stream) about 210 individual fish were transferred from these streams to the zoological garden at the Tel-Aviv University, for the establishment of a breeding stock aimed to saving the species from extinction. Most of the experiments in this study were preformed on these fish.

The study includes aspects of breeding and growth of Lavnun hayarqon fish in a controlled environment (weight-length relationship, Fulton's condition factor index (K), growth rates, egg development, breeding platforms, influence of density, temperature photoperiod and water flow on reproduction, reproduction seasonality, habitat selection and cannibalism) further more a comparison was held between the two breeding socks ("Yarqon" and "Tut") for most aspects of the research study.

The main conclusions derived from this study are:

1. Fish growth:

- **Weight-length relationship** – the growth of *A. telavivensis* is allometric and fish become plumper with growth.
- **Growth rate** of *A. telavivensis* can be described by the Von Bertalanffy Growth Function (VBGF), nevertheless the use of a power function should be considered in order to get a more accurate description of growth. In the first stages of development the fish's body grows rapidly in length but gains weight slowly, this tendency changes with age.
- **Aging and condition factor** – the biggest changes in K value take place in the fish's early development stages. These values and values of growth in weight increase with age until the age of 3 years and 4 month. After this age there is a decline in these values. Spawning magnitude declines after the age of two and a half.

2. Breeding platforms:

- **Preferred parameters in choosing breeding platforms** are: surface roughness, 3 mm wide crevices with depth of at least 2.5 cm that are oriented vertically.
- **Availability of breeding grounds** is a limiting factor for spawning even in the study's conditions.

3. **Influence of density on reproduction** – Spawning magnitude decreases with the increase of fish density and fry survival rate decreases with increase of egg density.

4. Seasonality:

- After winter **K values and growth rate in weight** are bigger than in summer, apparently owing to gonad maturation during the breeding season (during winter). The relative growth in weight is significantly higher for fish being measured after winter than for those being measured after summer.
- **The influence of temperature on breeding** – Temperature serves as a catalyzator for egg development and increases fry survival rate.
- **The influence of temperature on breeding** – Spawning magnitude declines with the prolonging of photoperiods.
- A **dual control** of water temperature and photoperiod governs breeding – the rising of water temperature combined with a short photoperiod initiates the spawning of eggs. Long photoperiods (14.25L) combined with high temperatures stops the spawning.

5. **Influence of water flow on reproduction** – The fish prefer to spawn their eggs on spawning grounds with no water flow.

6. Habitat selection:

- **Niche separation** is noticed between small fish and fry and small fish tend to select protected habitats in the vicinity of a waterfall (these habitats are commonly rich in oxygen).
- **Recruitment of new individuals** was observed in those water tanks being exposed to direct solar radiation. This phenomenon can be explained, among other things by the bloom of algae in these tanks providing shelter and food to the new fry.

7. **Cannibalism of eggs and fry** exists in *A. telavivensis*. Exposed eggs are being eaten by fish in the rate of over 99% over one night.

8. Differences between “Yarqon” and “Tut” breeding stocks:

- **Condition factor** values are higher in the “Tut” breeding stock.
- **Seasonality:**
 - i. In artificial illumination **Condition factor** values in the “Yarqon” breeding stock turned to be higher in summer.
 - ii. **Allometric growth** in the “Yarqon” breeding stock is characterized by the fish getting plumper with growth during winter (breeding season) and getting more elongated with growth during summer. In the “Tut” breeding stock the tendency is similar but not significant and the fish tend to get more elongated also at winter.
- **Growth rate** and the VBGF parameters: L_{∞} , W_{∞} , k ($3k$) and a are higher in the “Tut” breeding stock.
- **Spawning magnitude** of the fish in the “Tut” breeding stock is significantly higher than that of the fish in the “Yarqon” breeding stock.
- **Increase in fish density** has a bigger negative effect on the spawning magnitude of the fish in the “Yarqon” breeding stock than on that of the fish in the “Tut” breeding stock.
- **The prolongation of the photoperiod** has a bigger negative effect on the spawning magnitude of the fish in the “Yarqon” breeding stock than on that of the fish in the “Tut” breeding stock.

TEL-AVIV UNIVERSITY
GEORGE S. WISE FACULTY OF LIFE SCIENCES
GRADUATE SCHOOL

**Aspects of Reproduction in
“Lavnun Hayarqon”
(*Acanthobrama telavivensis*)**

**Effect of Temperature and Availability of
Spawning Ground**

Thesis submitted towards the M.Sc. degree in Ecology and
Environmental Quality at the Tel-Aviv University

By
Boaz Liebes

The research was performed in the Department of Zoology
Under the supervision of

Dr. Menahem Goren
Advisor Dr. Sarig Gafny

December 2003

TEL-AVIV UNIVERSITY
GEORGE S. WISE FACULTY OF LIFE SCIENCES
GRADUATE SCHOOL

**Aspects of Reproduction in
“Lavnun Hayarqon”
(*Acanthobrama telavivensis*)**

**Effect of Temperature and Availability of
Spawning Ground**

Thesis submitted towards the M.Sc. degree in Ecology and
Environmental Quality at the Tel-Aviv University

By
Boaz Liebes

The research was performed in the Department of Zoology
Under the supervision of

Dr. Menahem Goren

December 2003