

דו"ח סופי (2010) לתכנית מחקר מספר 458-0363-08

קרן המדען הראשי של משרד החקלאות ופיתוח הכפר

פיתוח טכנולוגיה חדשה בחוואות מים - גידול דגים ב"כלובים וירטואליים"

Development of a "Virtual-Cage Culture" Technology for Ranching of Fish

מגישים:

המכון להנדסה חקלאית, מנהל המחקר החקלאי בעז ציון

boazz@volcani.agri.gov.il Boaz Zion

המכון לחקר בעלי-חיים, מנהל המחקר החקלאי אילן קרפלוס

karplus@volcani.agri.gov.il Ilan Karplus

המכון לחקר בעלי-חיים, מנהל המחקר החקלאי אסף ברקי

barkia@volcani.agri.gov.il Assaf Barki

המכון להנדסה חקלאית, מנהל המחקר החקלאי יוסף גרינשפון

yosephg@volcani.agri.gov.il Yoseph Grienshpon

המכון להנדסה חקלאית, מנהל המחקר החקלאי לביא רוזנפלד

lavir@volcani.agri.gov.il Lavi Rosenfeld

הממצאים בדו"ח זה הנם תוצאות ניסויים

ואינם מהווים המלצות לחקלאים

חתימת החוקר: _____

תקציר

בוססה תשתית לשיטה חדשה לגידול דגים בכלובים מדומים. שיטת הגידול המוצעת מבוססת על אימון דגיגים (בשלב המדגרה) להתכנס לכיוון מקור אותות אקוסטיים באמצעות קישור האותות להזנתם. עם סיום אימון משוחררים הדגיגים המאומנים לבית הגידול הטבעי. בהמשך, נשמר קשר רצוף עם הדגים החופשיים אימוני רענון תקופתיים ובסיום הם נלכדים עם הגעתם אל מקור הקול. הפוטנציאל של השיטה גדול מאד ועשוי להפוך מרחבי ים גדולים ורצועות חוף ארוכות ל'שטחי מרעה' לדגים.

פותחה מכונת דיג אוטומטית בעלת אמצעים לשידור אותות שמע במים ולצילום התרחשויות בסביבתה. המתקן מצויד במשטחים סולאריים לאספקת אנרגיה ובאמצעי תקשורת סולאריים המאפשרים צפייה באירועים בזמן אמיתי ושמירת תמונות. בהגיע הדגים לגודל שיווק, משודרים מהמתקן אותות המושכים את הדגים להתקבץ תחתיו ונסגרת סביבת רשת באופן אוטומטי.

המחקר בשנה הראשונה התמקד בבחינת משך התקופה בה זוכרים דגים מאומנים את ההתניה והצימוד של אות שמע ומזון וכן מרווח הזמן בין 'אימוני רענון' עוקבים הנחוצים לשימורה של ההתניה הנלמדת לאורך זמן. נמצא כי תגובת דגי אמנון הגליל שאומנו במשך 28 יום להגיב לאות שמע דועכת עם הזמן. 12 יום לאחר סיום האימונים תגובתם הייתה מלאה והחלה לדעוך באופן חד כך שלאחר כ-100 יום תגובתם הייתה חלשה מאד ולאחר 6 חודשים נעלמה כליל. באמצעות אימוני רענון תקופתיים (יומיים לאחר 15 ימי הפסקה) ניתן לשמר את תגובת הדגים במלואה במשך 6 חודשים וכנראה למשך תקופות ארוכות מאד. בשנה השנייה נבדקו שיטות רענון זיכרון נוספות תוך חיפוש אחר המתכון המיטבי. במקביל, הוצבה מכונת הדיג במאגר מים מתוקים גדול. תפקוד המערכת נבדק לאורך זמן ונמצא שהיא לוכדת דגים ממינים שונים המצויים במאגר. בשנה שלישית אוכלסו במאגר דגים מאומנים ושיעור לכידתם לאחר זמן נבדק. נמצא ש 65% מקרפיונים ו 13% מאמנונים שאוכלסו נלכדו במהלך 9 לכידות על-פני שלושה חודשים. אלה משכו איתם דגים נוספים מהמאגר וסה"כ נלכדו יותר דגים מאלה שאוכלסו. בניסוי אחר נמצא כי ניתן "לרעות" דגים במאגר ע"י שידור אותות אקוסטיים ממקומות שונים במאגר אליהם נמשכו דגים.

תוכן עניינים

3	מבוא ותיאור הבעיה (מתוך הצעת המחקר)
4	מטרות המחקר והפיתוח כפי שהוגדרו בתכנית המקורית
5	<u>העבודה אשר התבצעה בשנה הראשונה (2008) ותוצאותיה</u>
5	בדיקת זיכרון הדגים
6	שימור ההתניה ההתנהגותית לאורך זמן
10	<u>העבודה אשר התבצעה בשנה השנייה (2009) ותוצאותיה</u>
10	רענון זיכרון הדגים ושימור ההתניה ההתנהגותית
12	ניסוי במאגר מים גדול
14	בדיקת דינמיקה של אוכלוסיות
15	<u>העבודה אשר התבצעה בשנה השלישית (2010) ותוצאותיה</u>
15	משיכת דגים באמצעות סדרת אימונים, אות בלבד, או מזון בלבד
16	בדיקת שיעורי לכידה של דגים מאומנים
17	משיכת דגים באמצעות מערכת ניידת
19	ריכוז מסקנות והמשך העבודה
20	רשימת ספרות
21	שאלות מנחות
22	מאמרים שפורסמו או הוגשו לפרסום כתוצאה מהמחקר

מבוא ותיאור הבעיה (מתוך הצעת המחקר)

אחת מהמשימות שחקלאות המים מתמודדת איתן בעשור האחרון, לאור הצרכים הגוברים של חסכון במים מתוקים שפירים ושל הגנת הסביבה המימית, היא ניצול מיטבי ומושכל של משאבי מים לגידול דגים. אחת השיטות שהתפתחה באופן מואץ בעיקר בסביבה הימית היא גידול דגים בכלובים. גידול דגים בכלובים בגופי מים מתוקים ובים נעשה בעיקר באזורים חופיים מוגנים ומהווה אחת משיטות הגידול הנפוצות ביותר כיום בעולם. השיטה מחייבת השקעות מסיביות בכלובים עצמם, ברפסודות שירות ובכוח אדם הנדרש לשם העברת המזון למזינים אוטומטיים, ביקורת מתמידה של תקינות הכלובים, אכלוס, דילולים ואסיף. שיטה נוספת מכונה בשם הכללי חוואות מים (sea ranching) ומוגדרת כפעילות להגדלת היבול באמצעות אכלוס מסיבי של ימים וגופי מים מתוקים בדגיגים שרובו וגודלו במדגרות ובבתי-אימון. למעשה, חוואות מים כיום מתייחסת בעיקר למושג של הגברת הדגה (stock enhancement) שבו הדגיגים המשוחררים ניזונים וגדלים על מזון טבעי ולאחר מכן נתפסים בשיטות הדיג הנהוגות. שחרור דגיגים שרובו בשבי הינו שכיח במקומות שבהם חלה ירידה קריטית בדגה כתוצאה משינויי סביבה, דיג ביתר או ירידה בקצב רבייה או התיישבות של מיני דגים מסיבה כלשהי. רווחיות חוואות המים תלויה במידה רבה במחיר הדגיגים, בשיעור הלכידה שלהם ובמחיר השלל. שיעור הלכידה של דגיגים מאוכלסים הנו נמוך יחסית, ובמקרה של דגי ים בד"כ לא עולה על 20%, להוציא את דגי הסלמון האנאדרומים שחוזרים באופן טבעי למקום היוולדם כדי להתרבות (שיעור תפיסה של עד 90%).

בהצעת מחקר זו מוצע לפתח ולבסס שיטה אחרת לגידול דגים באמצעות שימוש בחוואות מים מתוחכמת. שיטת הגידול המוצעת מבוססת על אימון דגיגים להתכנס לכיוון מקור אותות אקוסטיים ו/או אופטיים באמצעות קישור האותות להזנתם. עם סיום אימון משוחררים הדגיגים המאומנים לבית הגידול הטבעי שלהם. במשך כל תקופת גידולם נשמר קשר רצוף עם הדגים החופשיים במרחב הטבעי ע"י שימוש תקופתי באותות אליהם הורגלו. בהגיעם לגודל שיווק נאספים הדגים ע"י רשת הרמה עם התקבצותם בתחנת ההאכלה עם מתן האותות המוכרים להם. הדגים גדלים בסביבה הטבעית אך הדבר נעשה ללא כלובים יקרים. ההזנה חסכונית יותר ומבוססת בעיקר על המזון המצוי באופן טבעי במרחב, דבר המבטיח איכות מוצר גבוהה יותר. השיטה כולה חסכונית בכוח אדם ובהשקעות בתשתיות בהשוואה לגידול דגים בכלובים. המחקר יבוצע כמודל במאגר מים גדול בתחילה ובאגם הכנרת בשנה השלישית, תוך שימוש במערכת של אגף הדיג בגנוסר המאכלסת מידי שנה מיליוני דגיגי אמנון הגליל לאגם. אנו מכנים שיטה חדשה זו בשם "חוואות מים בכלובים וירטואליים" (Virtual-Cage Culture).

האפשרות לשילוב אימון דגיגים עם חוואות מים הוכחה לראשונה ביפן בדג הדניס היפני *Pagrus major*. צעירים של דג זה אומנו במעבדה לקשר בין מזון לגירוי אקוסטי. דגיגים מסומנים ומאומנים שוחררו לים במפרץ קטן. שלשה חודשים מאוחר יותר חודשו האימונים והדגים התקהלו ליד משטח ההזנה. תוך חמישה שבועות מחידוש האימון הלך מספר הדגים המתקהלים ועלה לכדי 40% ממספר הדגים ששוחררו כש- 20% מתוכם דגי בר שהצטרפו לדגים המאומנים (1). חוואות ימית ביפן בדג *Pagrus major* משלבת אימון למזון עם גירויים אקוסטיים כחלק מאסטרטגיה שמטרתה להקל על התיישבות דגיגים בסמוך לאתרים מסוימים כגון שוניות מלאכותיות (2).

לאחרונה הוחל בִּיפן בחוואות ימית בדג *Pseudocarnax dentex*. דגים שאומנו לקשר בין מזון לגירוי אקוסטי נותרו בסמיכות לרפסודה ממנה שוחררו וניתן היה גם לאסוף אותם מאותו מקום לאחר מספר חודשים וטרם הגעתם לבגרות מינית, בתנאי שהמשיכו להזין אותם מדי פעם תוך מתן גירויים אקוסטיים (3; 4).

שילוב של חוואות ימית עם התניה למזון מחוץ ליפן נעשה בעיקר בדגי קוד *Gadus morhua*. דגי קוד שאומנו לקשר בין אות אקוסטי ומזון שוחררו לפיורד בנורבגיה ומרביתם התקהלו ליד המזינים עם מתן הגירוי האקוסטי ולא התרחקו מהם מעבר למרחק של כ- 400 מטר (5).

השימוש בצימוד אותות אקוסטיים למזון מתבצע כיום על מנת לסייע בהתיישבות הראשונית של דגים באזור השחרור. הקשר עם הדגיג מסתיים עם אכלוסו ושלייתו מתבצעת בשיטות הדייג המקובלות (6).

כל אחת מהעבודות הנ"ל עסקה בהיבט מסוים של אימון והתנהגות דגים. אולם, למיטב ידיעתנו, אין עד היום דיווח בספרות על עבודות אשר בחנו את האפשרות לחבר אמצעים אקוסטיים, אמצעי בקרה ומחשוב, אימון דגים תוך הסתמכות על יכולות הזיכרון שלהם ואמצעים לאיסוף דגים, לכדי שיטה לגידול דגים איכותיים בים, תוך השקעות קטנות בתשתית ותוך התחשבות מרבית בסביבה.

בשיטה המוצעת בתכנית זו הקשר עם הדג ימשך לאורך תקופת הגידול כולה באמצעות חיזוק תקופתי של התגובה לאותות תוך מתן מזון בכמות מינימאלית כתגמול חיובי על תגובה לאות ויאפשר את שלייתו בהגיעו לגודל המתאים. הפעלה מוצלחת של השיטה מחייבת לימוד והכרת משך זמן הזיכרון של הדגים לאותות הספציפיים אליהם אומנו על מנת לקבוע את מרווחי הזמן המיטיביים בין האימונים החוזרים. אמנון הגליל נבחר כדג המודל בתכנית זו עקב תכנית האכלוס של דג זה בכנרת והאפשרות להשתמש בתשתית הקיימת בתחנה של אגף הדיג בגנוסר לצורך אימון הדגיגים לפני שחרורם וסיוע לוגיסטי לביצוע המחקר בכנרת עצמה.

במדינת ישראל גדול ביקוש הדגים מההיצע וישנו יבוא דגים ממינים שונים. אם יוכח כי הטכנולוגיה המוצעת אפשרית וכלכלית ניתן יהיה להרחיבה למיני דגים ימיים חשובים רבים ולתרום בכך להגדלה משמעותית של ההיצע של דגים איכותיים מבוקשים. שיטת הכלובים הוירטואליים אינה מזהמת את הסביבה ועשויה להפוך אזורי ים נרחבים לשדות מרעה לדגים.

מטרות המחקר והפיתוח כפי שהוגדרו בתכנית המקורית

המטרה העיקרית של המחקר היא לבחון את ייתכנות שיטת הגידול של דגים בכלובים ווירטואלים תוך שימוש במודל הכנרת כגוף מים גדול ודגי אמנון הגליל כדג מודל. המטרות הספציפיות בעבודה זו הינן:

1. בדיקת זיכרון דגי אמנון הגליל לקישור אותות אקוסטיים עם מתן מזון וקביעת הדרך המיטבית לשימור התגובה למשך זמן רב.
2. פיתוח מערכות שליטה ובקרה מרחוק (מהחוף) על מנגנונים שונים הקשורים לכלוב הוירטואלי הנמצאים במים.
3. בדיקת השיטה והמערכות השונות במאגר מים גדול כשלב ביניים בין המעבדה לכנרת.
4. בדיקת ייתכנות השיטה על ידי שחרור מאות אלפי דגיגים קטנים מאומנים לכנרת ושמירת קשר איתם לאורך תקופה ארוכה ולכידתם. <<< מטרה זו שונתה בעקבות ממצאי המחקר בשנה השנייה והמחקר בשנה השלישית המשיך במאגר כשנבדקו שיעורי לכידה של דגים מאומנים ששוחררו למאגר וכן משיכת דגים ממקומות משתנים.

העבודה אשר התבצעה בשנה ראשונה (2008) ותוצאותיה

בדיקת זיכרון הדגים

דגיגי אמנון גליל קטנים (עד 20 גר') אומנו בבריכות במעבדה להגיב לגירויי אקוסטי- פולסים של קול בתדר 400 הרץ במרווחים של שנייה, באמצעות צימוד הגירוי למתן מזון במתקן הזנה. האימון התבצע בשתי בריכות במעבדה הכוללות כ"א מתקן של ארבעה תאים מאורכים ($4.5 \times 0.4 \times 0.4$ מ') המאפשרים אימון של ארבע קבוצות דגים במקביל (תמונה מספר 1). בקצה כל תא הוצב משטח הזנה מוגבה כדי ס"מ בודדים מתחת לפני המים ומעליו מאביס ומצלמה הנשלטים ע"י מערכת בקרה. במרכז הבריכה הוצב רמקול תת-מימי. אימון הדגים התבצע בהתאם למתכונת שנוסתה על ידנו בהצלחה בעבר (Zion et al., 2007b): האיתות האקוסטי מתחיל 30 שניות לפני מתן המזון ונמשך 30 שניות נוספות יחד עם פיזור המזון.

קבוצות של 60 דגים אומנו במשך 28 יום להגיב לאותות האקוסטיים ע"י התקבצות מעל למשטח ההזנה. עם סיום תקופת האימון הם הוצאו מהתקן אל אקווריונים כאשר בכל אקווריום קבוצה בת 15 דגים מאומנים. קבוצות של 15 דגים הוחזרו למתקן האימון לאחר תקופות זמן שונות (עד 188 יום), התאקלמו בו במשך כ-36 שעות ותגובתם לאותות האקוסטיים נבדקה במשך 7 ימים. הניסוי התבצע בארבע חזרות לכל פרק זמן זיכרון. תגובות הדגים לאימונים תועדו ע"י המצלמות אשר הוצבו מעל למשטחי ההזנה ומספר הדגים המרבי אשר הגיב לאות בשלשת האימונים ביום מסוים שימש כמדד לתגובה המקסימאלית באותו יום. השוואת תגובת קבוצות הדגים נעשתה מול עקומות למידה של קבוצות בנות 15 דגים נאיביים אשר אומנו בתחילת הניסויים והראו שבשבוע הראשון לאימונים תגובתם הייתה קרובה לאפס. כמו כן נערכו שתי ביקורות נוספות: (1) ביקורת לשלילת האפשרות שתגובת דגים בעת בחינת זיכרוןם נובעת מהיכרותם עם המתקן- קבוצות דגים של 15 דגים אוכלסו במתקן ושהו בו ללא אימון 28 יום ולאחריו נמדדה תגובתם לאותות האקוסטיים (2) ביקורת לבחינת השפעת פיצול קבוצות של 60 דגים אשר אומנו יחדיו לקבוצות בנות 15 דגים לשם בדיקת זיכרון- אומנו קבוצות בנות 60 דגים במשך 28 יום וזיכרון של 4 קבוצות בנות 15 דגים נבדק לאחר 12 יום, תקופה אשר בניסיון קודם הוכח כי דגים אשר אומנו בקבוצות של 15 דגים זוכרים את האות. בכל הניסויים כמות המזון שניתנה בעת האימונים הייתה כ 1-2% מהביו-מסה של הקבוצה.

איור מספר 2 מראה את תגובות הדגים בניסויים השונים כאשר כל בדיקת זיכרון נמשכה שבוע ימים. תגובת הדגים לאחר 12 ימי שהייה מחוץ למתקן הייתה מלאה כבר מהיום הראשון עובדה שמוכיחה כי פיצול קבוצות של 60 דגים שאומנו יחדיו לקבוצות של 15 דגים בעת בדיקת הזיכרון לא השפיעה על הזיכרון הקבוצתי. כמו כן ברור שהלחץ בו נתונים הדגים בעת נידום אל האקווריום וממנו חזרה אל מתקן האימון אינו משפיע משמעותית, כיוון שתגובתם לאות לאחר 12 יום הייתה חזקה מאד ונראה שהם זוכרים באופן מלא את ההתניה אותה למדו. בחלוף 101 יום מהאימון תגובת הדגים חלשה ביום הראשון לאימון הזיכרון ואולם עדיין יש ניצנים של זיכרון. לעומת זאת 131 יום לאחר האימון תגובת הדגים דעכה לחלוטין וכמובן שגם לאחר 188 יום.

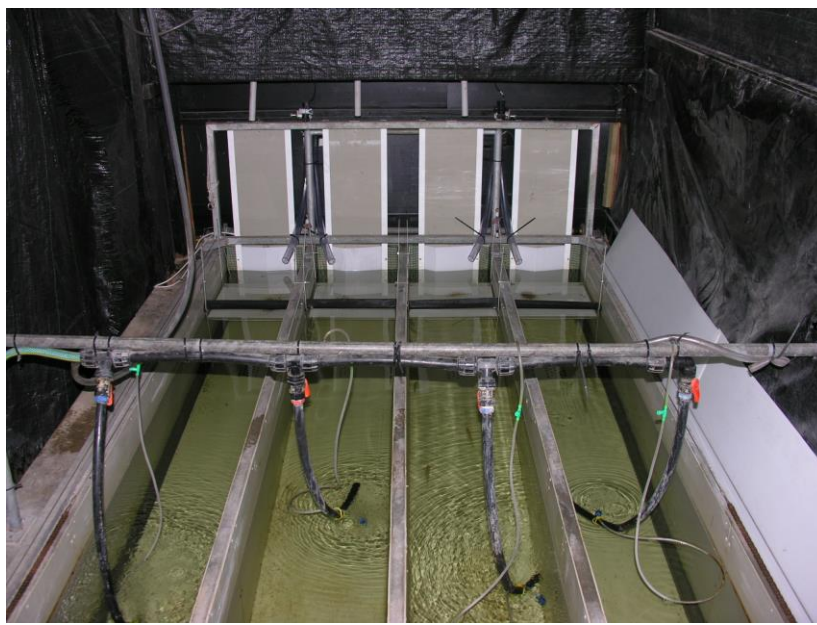
דעיכת זיכרון הדגים במשך תקופת הניסויים מוצגת באיור מספר 3 על פי ההבדלים בתגובתם המרבית ביום הראשון לבדיקת זיכרוןם. השוואת התגובה ביום הראשון של הבדיקה (המבטאת זיכרון) לזו שנצפתה לאחר שבעה ימי בדיקה

מראה תופעה של זיכרון חבוי (latent memory) אשר מאפשר שיקום מהיר של התגובה (הזכרות) תוך מספר ימי אימון גם לאחר 131 ימים, אך לא לאחר 188 ימים.

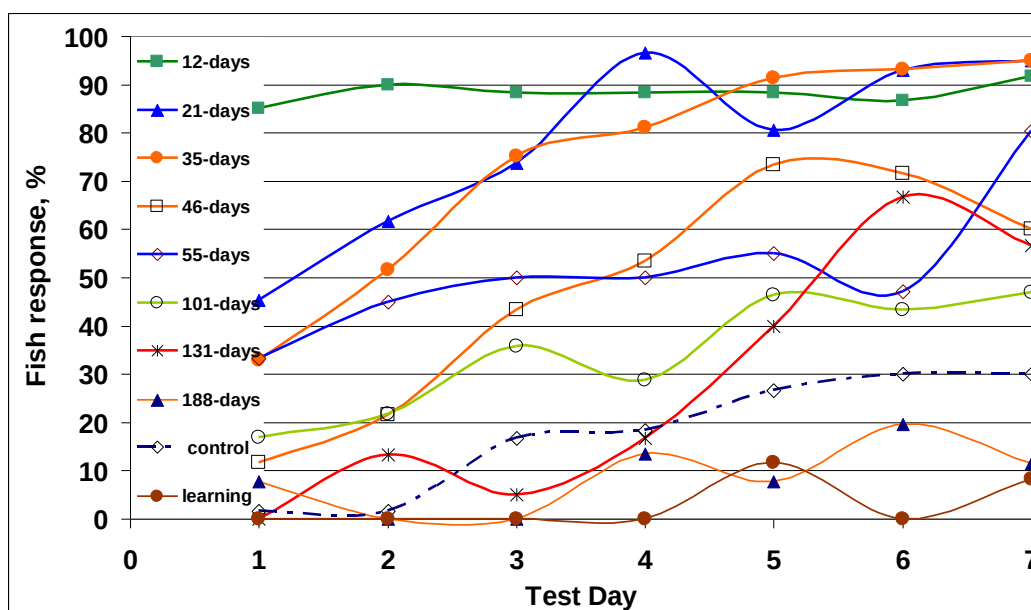
הניסויים הנ"ל חשפו הבדלים בקצב הלמידה של קבוצות דגים בגודל שונה- נושא אשר ייחקר בעתיד (**איור מספר 4**).

שימור ההתניה ההתנהגותית לאורך זמן

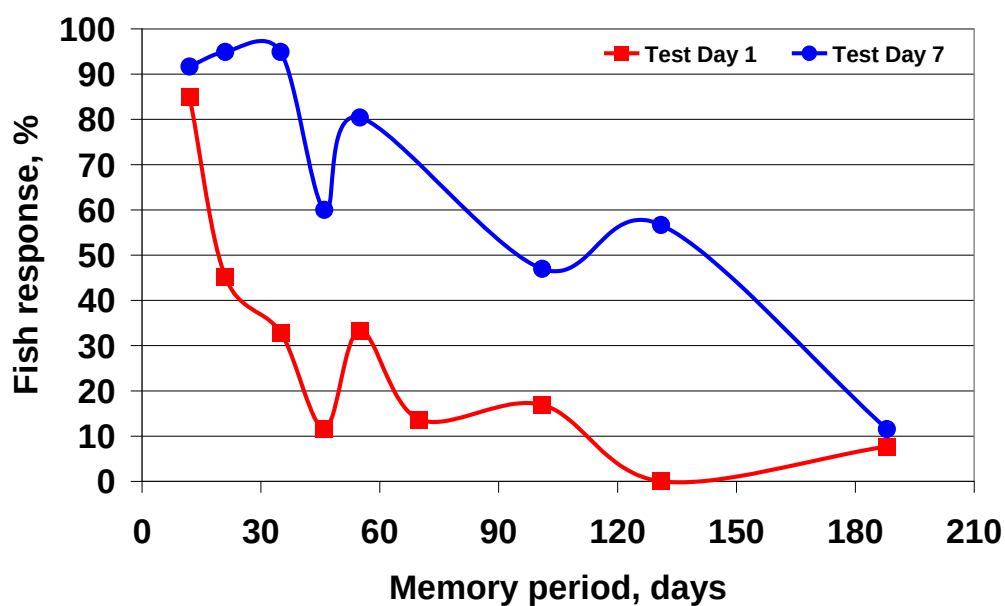
כדי לשמר את ההתניה ההתנהגותית של הדגים יהיה צורך לבצע אימונים חוזרים (רענון או חיזוק) במרווחי זמן הקצרים מטווח הזיכרון שלהם. קבוצות חדשות בנות 15 דגים אומנו במשך 28 יום להגיב לאות האקוסטי בתדר 400 הרץ. הדגים נשארו במתקן האימון וקיבלו מזון מידי יום באופן ידני ללא צימוד לגירוי האקוסטי. במחזורי זמן קבועים מראש – 15 ימי הפסקת אימונים, נערך אימון חוזר במשך יומיים (6 אימונים). האימונים החוזרים נמשכו לאורך שישה חודשים בארבע חזרות. **איור מספר 5** מציג את גרף האימון המקורי של הדגים ואת תוצאות אימוני הרענון התקופתיים. התוצאות מראות בבירור כי אימון הדגים כל 15 יום הצליח לשמר את תגובתם החזקה לאורך כחצי שנה- הרבה מעבר ליכולת הזיכרון שלהם ללא אימוני רענון וממש כמו תגובתם לאחר תקופת זיכרון קצרה מאד. ההנחה שלנו כי כיוון שתגובת הדגים לאות האקוסטי באמצעות אימוני רענון נשמרה למשך זמן ארוך משמעותית מטווח הזיכרון שלהם, ניתן לשמר כך את הזיכרון הזה לאורך תקופה ממושכת ביותר. יתרה מכך- בעת האימון המקורי אחת הקבוצות נחשפה לחולדה אשר טייל ליד המזין שלה ותגובתה צנחה לאפס במשך ימים רבים (**איור מספר 6**). למרות שתחילת תקופת בדיקת אימוני הרענון החלה כאשר תגובתם הייתה אפסית, הם החלו להגיב לאותות הרענון בצורה מלאה מיד עם תחילתם ושמרו על תגובה חזקה במשך כל תקופת הבדיקה.



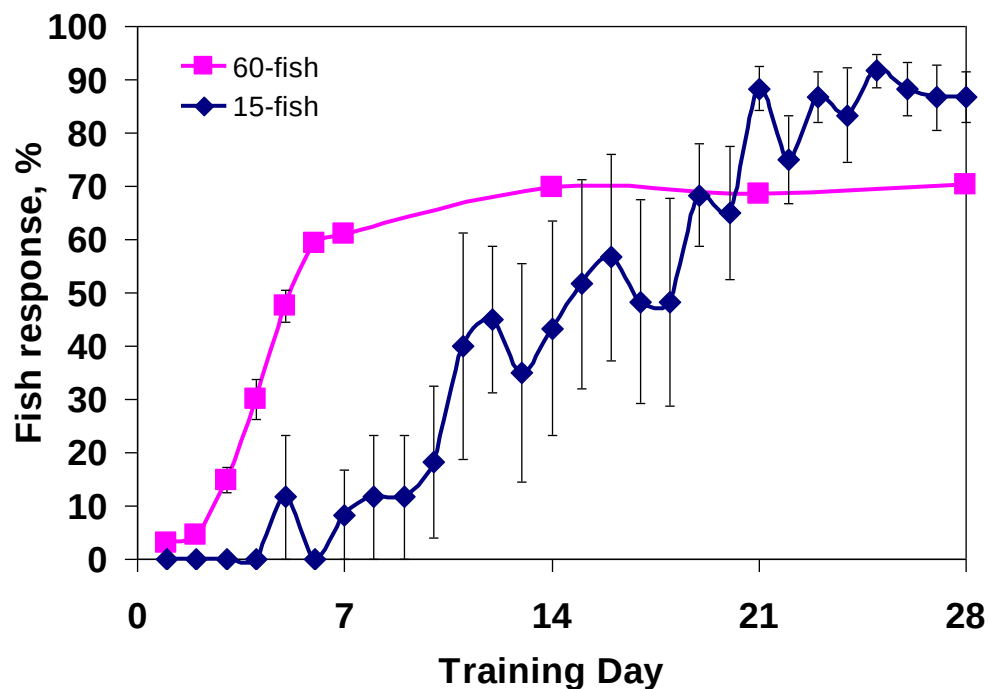
תמונה מס' 1. מתקן לאימון דגים בארבע חזרות ובדיקת זיכרון.



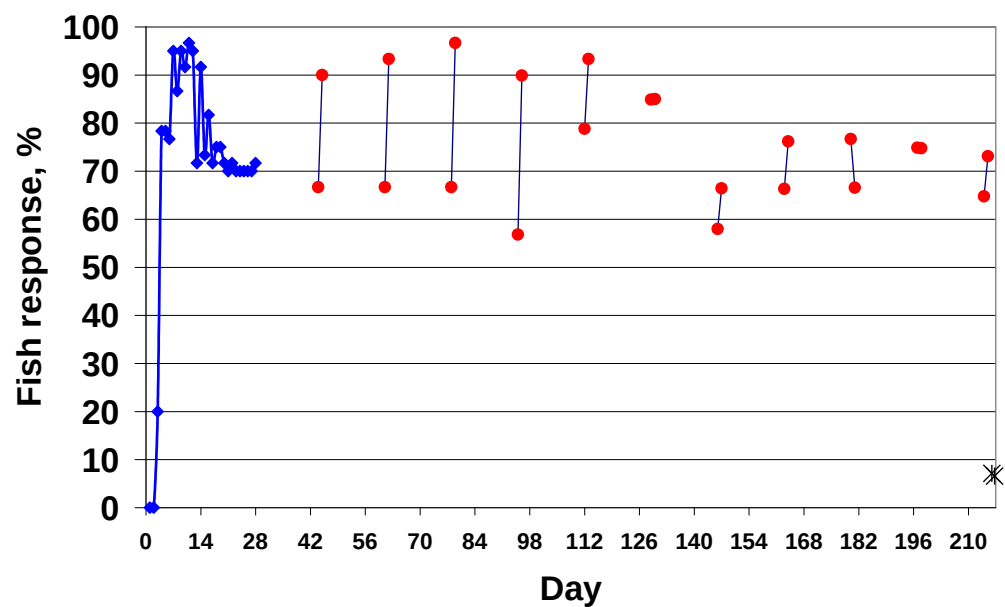
איור מספר 2. תוצאות בדיקת זיכרון דגי אמנון הגליל לאות אקוסטי בתדר 400 הרץ. עקום הייחוס הנו עקום הלימוד של קבוצות בנות 15 דגים נאיביים (קו אדום מעוינים). ביקורת היכרות עם המתקן (control) דגים ששהו במתקן 28 יום ואומנו לאחר מכן. ביקורת פיצול קבוצות של 60 דגים בעת האימון לקבוצות של 15 דגים בעת בדיקת הזיכרון (12-days).



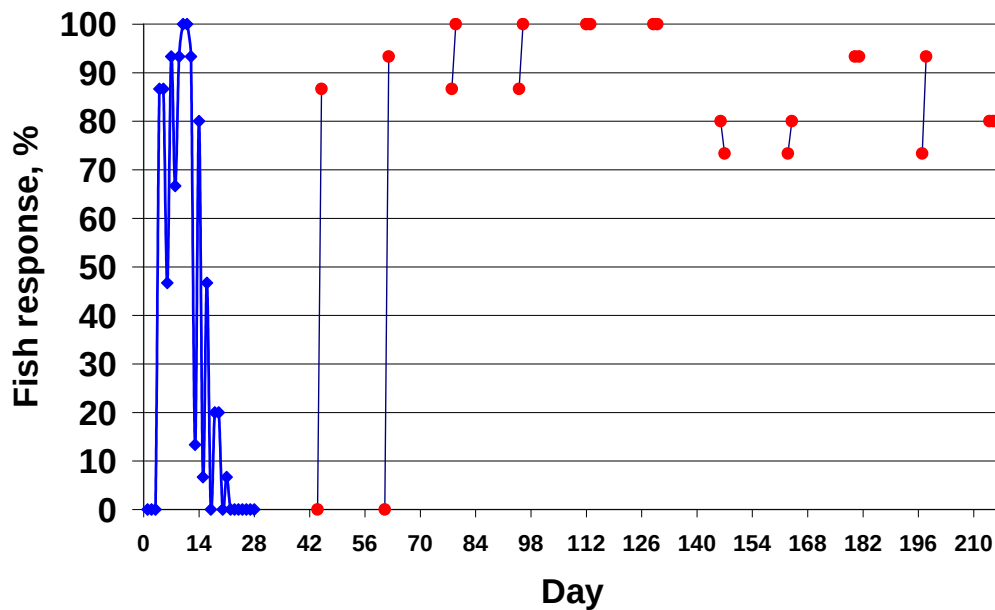
איור מספר 3. עקום דעיכת זיכרון דגי אמנון הגליל כפי שנמדד ע"י תגובתם המרבית ביום הראשון וביום השביעי לבדיקת זיכרון. ההפרש בין העקומות מבטא את "הזיכרון החבוי" (latent memory) המרוענן עם החשיפה מחדש לצימוד בין האות למזון בעת אימוני בדיקת הזיכרון.



איור מספר 4. השפעת גודל קבוצת דגים על קצב הלימוד הקבוצתי.



איור מספר 5. תגובת הדגים לאימוני רענון תקופתיים במשך יומיים בהפסקות במשך 15 יום. בחלק הראשון, בכחול, מוצגת תגובתם בעת האימון המקורי במשך 28 יום וכוללת את תגובת אחת הקבוצות אשר צנחה עקב חשיפה לא מתוכננת לגורם מלחיץ (עכבר מעל המזין). הכוכבית ב 218 יום מציינת את עוצמת תגובת דגים לאחר כשישה חודשים ללא אימוני רענון.



איור מספר 6. תגובת אחת מקבוצות הדגים לאימוני רענון תקופתיים במשך יומיים בהפסקות במשך 15 יום. בחלק הראשון מוצגת תגובתם בעת האימון המקורי במשך 28 יום אשר צנחה לתגובה אפסית עקב חשיפה לא מתוכננת לגורם מלחיץ (חולדה מעל המזין) ושבה ועלתה לרמה גבוהה ביותר עם אימוני הרענון.

העבודה אשר התבצעה בשנה השנייה (2009) ותוצאותיה

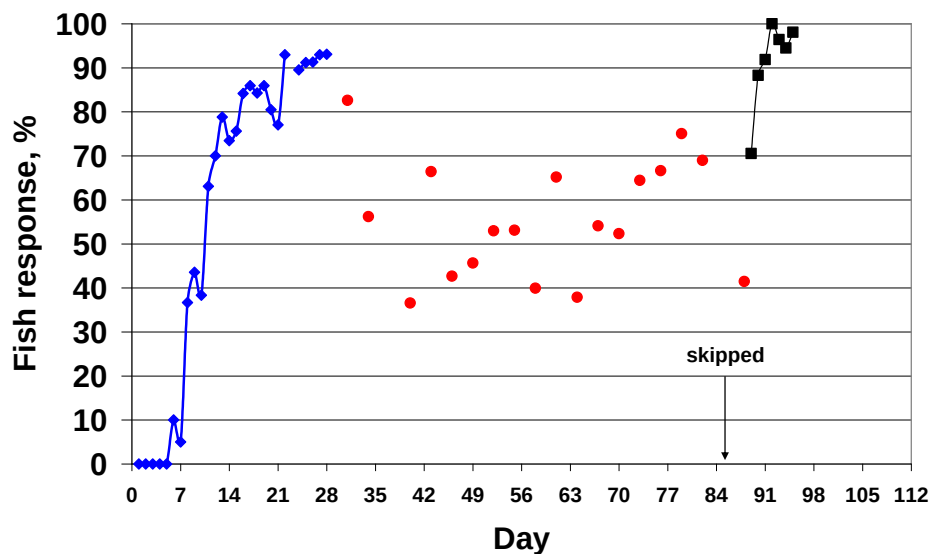
בדיקת מתכונות שונות של אימונים לרענון זיכרון הדגים ושימור ההתניה ההתנהגותית

בשנה הראשונה נמצא שדגיגי אמנון גליל שאומנו במעבדה להגיב לגירוי אקוסטי באמצעות התניה קלאסית (צימוד הגירוי למתן מזון במתקן הזנה) זכרו את ההתניה זמן קצר יחסית. תגובת הדגים המאומנים נעלמה כליל לאחר 6 חודשים- זמן הקצר משמעותית מתקופת גידול של דג לגודל שיווק בתנאים טבעיים. מבדיקות הזיכרון נמצא כי גם כאשר תגובת הדגים ביום הראשון לבדיקה הייתה חלשה מאד (ולכאורה הדגים לא זכרו את ההתניה), ניתן היה לחזק אותה במהירות ע"י אימון מחודש ברצף של מספר ימים הוכחה לקיומו של 'זיכרון חבוי'.

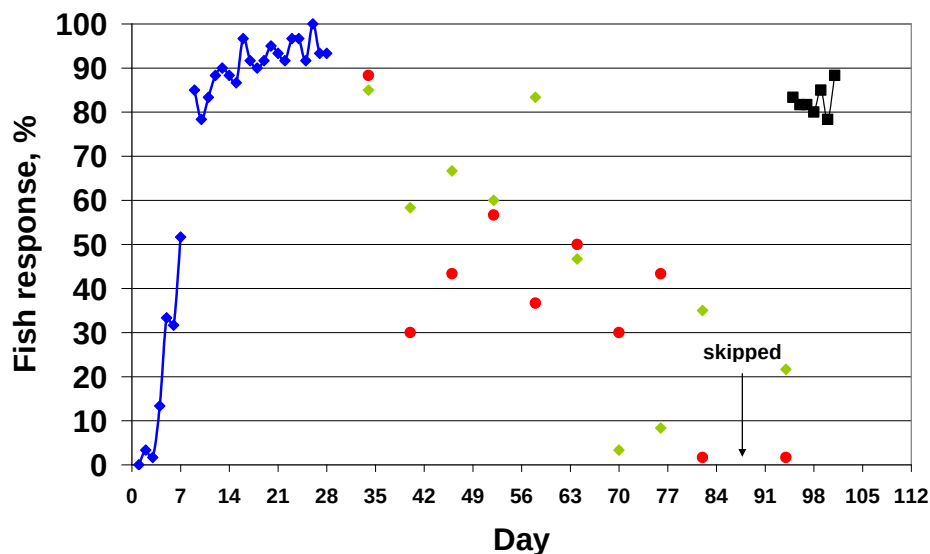
כדי לשמר את ההתניה ההתנהגותית של הדגים במציאות יהיה צורך לבצע אימונים חוזרים (רענון או חיזוק) במרווחי זמן הקצרים מטווח הזיכרון שלהם. את המתכון המיטבי לרענון הזיכרון חיפשנו ע"י השוואת 3 תכניות רענון שונות: רענון אחד כל 3 ימים, 2 רענונים כל 6 ימים, 3 רענונים כל 9 ימים. קבוצות בנות 15 דגים אומנו במשך 28 יום להגיב לאות האקוסטי בתדר 400 הרץ. לאחר תקופת האימון נשארו הדגים במתקן האימון ונחשפו לאימוני רענון על-פי המתכונות הנ"ל. בימים שלא אומנו קיבלו הדגים מזון מידי יום באופן ידני ללא צימוד לגירוי האקוסטי. אימוני הרענון נמשכו 54 ימים בהם הדגים קבלו 18 אימונים במרווחי זמן ורצפי אימונים על-פי המתכונות הנ"ל. לאחר 54 יום הופסקו האימונים למשך זמן הכפול ממתכונת האימון והמרווחים של כל טיפול (ממרווחים בני 3, 6 או 9 ימים ל 6, 12 ו 18, בהתאמה) ותגובת הדגים נבדקה שוב ולאחריה חודשו האימונים במכונת יומית (3 פעמים ביום) למשך שבועה ימים. קבוצות ביקורת אומנו אף הן במשך 28 יום ולאחר מכן שהו במתקן במשך 54 ימים ללא אימוני רענון כלל (כדי

להשוות את השפעת אימוני הרענון לדעיכת תגובת הדגים בפרק זמן זה). לאחר 54 יום חודשו האימונים במכונת יומית (3 פעמים ביום) למשך 12 ימים.

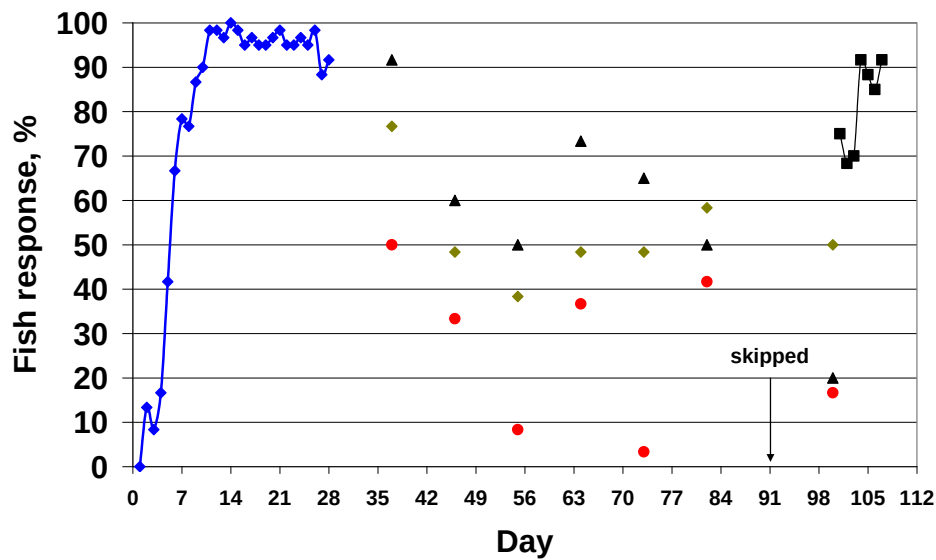
איורים 7-10 מציגים את תוצאות ניסויי הרענון. לא נמצא הבדל משמעותי בין מתכונות הרענון השונות. כולן שמרו על תגובת דגים חזקה יותר מהביקורת אך חלשה מזו שבסוף 28 ימי האימון הראשונים. לא נמצאה השפעה משמעותית להכפלה חד פעמית של מרווח הזמן בין אימונים. אימון רצוף במשך מספר ימים חיזק והחזיר את תגובת הדגים לרמת התגובה שלהם בסוף תקופת האימון בת 28 יום.



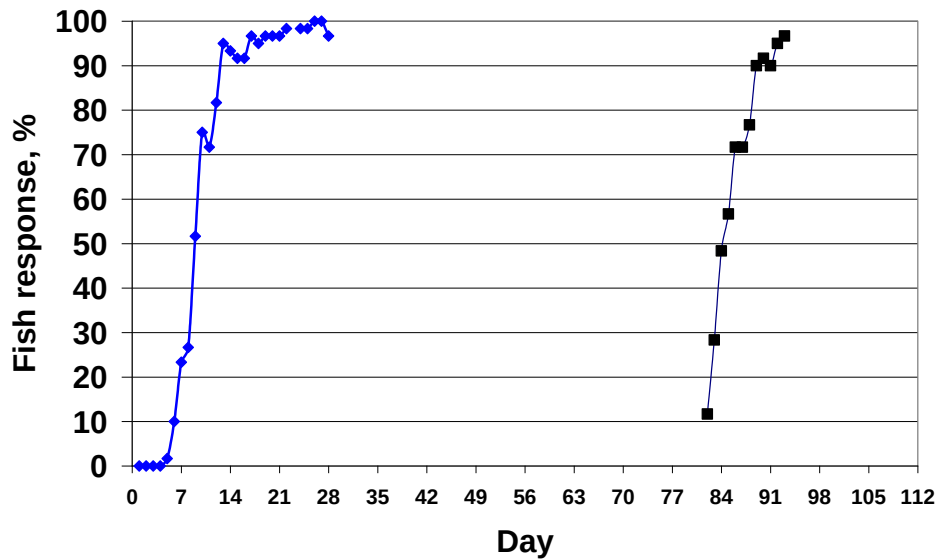
איור מספר 7. ניסוי רענון זיכרון הדגים באמצעות אימון אחד כל 3 ימים. 28 ימים ראשונים- לימוד. 54 ימים נוספים- בדיקת השפעת הרענונים. לאחר מכן ניסוי השפעת "דילוג" מכוון על יום רענונים וחידוש אימונים רצופים.



איור מספר 8. ניסוי רענון זיכרון הדגים באמצעות 2 אימונים כל 6 ימים. 28 ימים ראשונים- לימוד. 54 ימים נוספים- בדיקת השפעת הרענונים. לאחר מכן ניסוי השפעת "דילוג" מכוון על יום רענונים וחידוש אימונים רצופים. נק' אדומות מציינות את התגובה ברענון הראשון והירוקות לאימון השני שבכל סדרת רענונים.



איור מספר 9. ניסוי רענון זיכרון הדגים באמצעות 3 אימונים כל 9 ימים. 28 ימים ראשונים- לימוד. 54 ימים נוספים- בדיקת השפעת הרענונים. לאחר מכן ניסוי השפעת "דילוג" מכוון על יום רענונים וחידוש אימונים רצופים. נק' אדומות מציינות את התגובה ברענון הראשון, הירוקות באימון השני והשחורות באימון השלישי שבכל סדרת רענונים.



איור מספר 10. תגובת קבוצות הביקורת להפסקת אימונים במשך 54 יום וחידושם לאחר מכן. 28 ימים ראשונים- לימוד. 54 ימים נוספים- ללא רענונים כביקורת לניסויי הרענון. לאחר מכן חידוש אימונים רצופים.

ניסוי במאגר מים גדול

איור מספר 11 מציג את המתקן- מכונת דיג אוטומטית, שתוכנן ונבנה לצורך ניסויים במאגר. המתקן, שגודלו כ 4.5X4.5 מ', צף באמצעות צינורות פוליאטילן ובמרכזו, מעל המים, מותקנת קופסה אטומה למים המכילה מערכת בקרה, מערכת תקשורת סלולארית, מזין כופתיות בנפח 30 ליטר ומנועים חשמליים. מערכת הבקרה מונעת ממצברים הנטענים באמצעות פאנלים סולאריים והיא שולטת במגבר שמע המפעיל רמקול תת-ימי, במצלמות מתחת למים ובמזין. תחת המתקן מותקן כלוב רשת אשר שוליו ניתנים להרמה והורדה באמצעות מנוע חשמלי המפוקד ע"י הבקר. שולי

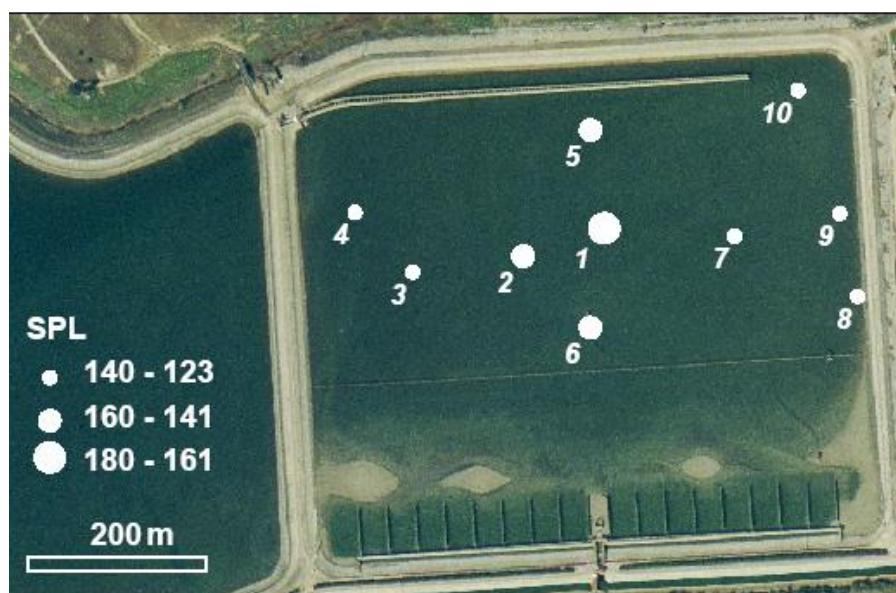
הרשת למעשה פותחים או סוגרים את הכלוב כרצוננו. מערכת תקשורת סלולארית מאפשרת שליטה במערכות השונות דרך רשת האינטרנט וצפייה בזמן אמיתי באירועים שונים באמצעות שלש מצלמות. המערכת הזו משמשת לאימון דגים כשהם כלואים בכלוב ולרענון ההתניה ההתנהגותית שלהם באופן תקופתי כאשר הם משוחררים במאגר. על-פי רצון המפעיל הופכת המערכת למכונת דיג אוטומטית המזמנת את הדגים המאולפים ע"י השמעת אות אקוסטי וסוגרת עליהם את כלוב הרשת כאשר הם מתקבצים כדי לקבל מזון.

איור מספר 12 מציג את עוצמות האות האקוסטי אשר נמדדו בנקודות שונות במאגר לאחר התקנת המתקן. מיד לאחר התקנתו אוכלסו בכלוב הסגור כ- 3500 דגי אמנון הגליל קטנים (משקל ממוצע 23 ג') מאומנים ומסומנים ושהו בכלוב במשך כ- 10 ימים כדי להתרגל לסביבה החדשה. לאחר מכן הם שוחררו למאגר והמערכת עברה למצב של אימוני רענון במשך יומיים לאחר כל 7 ימי הפסקה. לאחר תקופה מסוימת נעשו לכידות דגים בתום יומיים של רענונים ולכידות ביקורת בתום 7 ימי הפסקת אימונים. במשך כל התקופה המצלמות תעדו את אירועי אימוני הרענון וכן נשמרו תמונות כל עשר דקות בכל יום כדי לנטר את המצאות הדגים.

מתוך צפייה במצלמות בזמן אמיתי ומתוך תוצאות הלכידות השונות (להלן) ניתן להסיק כי המערכת פעלה מצוין- הדגים שבמאגר למדו להכיר אותה מהר מאוד ונענו לקריאתה. תוך כדי אילוף דגי אמנון הגליל בכלוב, למדו הדגים שבמאגר את הקשר בין האיתות האקוסטי והמזון והחלו להגיע (כצפוי) כדי לאכול כופתיות מזון שניתנו בצמוד לאיתות. גם בין האיתותים שהו דגים בקרבת המתקן אך במספרים קטנים יותר (ראה פרק דימיקה של אוכלוסיות להלן). בין הדגים שנלכדו הרוב היו קרפיון מצוי וקרפיון עשב כמו גם מספר שפמנונים אפריקאים גדולים ומעט אמנון מצוי. רק דג אמנון גליל מסומן אחד נלכד וגם הוא נפלט מת מבטנו של שפמנון ... אינדיקציה למה שיתכן ועלה בגורלם של האמנונים הקטנים שאכלסנו. יתרה מכך, כמעט כל הדגים אשר נלכדו במערכת היו גדולים ודגים קטנים נמנעו מלהיכנס למתקן או שאינם בנמצא באוכלוסיית המאגר. ממצא זה יש להמשיך ולחקור שכן אם יש בו ממש, יש לו יתרון גדול בסלקציה של גודל הדגים הנלכדים ואולי גם חסרון- אם הדגים הקטנים שוכחים את ההתניה עם הזמן. בשתי לכידות שהתבססו על קריאה לדגים באמצעות האות האקוסטי נלכדו 140 (70+70) קרפיון מצוי, 82 (40+42) קרפיון עשב, ו 21 (10+11) שפמנונים. לעומת זאת בלכידות ביקורת (אשר לא הושמע בהן אות ולא ניתן מזון) נלכדו 63 (55+8) קרפיון מצוי, 33 (28+5) קרפיון עשב ו 0 שפמנונים. כלומר, מכונת הדיג מהווה גורם משיכה לדגים בפני עצמו גם ללא השימוש באותות אקוסטיים (כפי שידוע מהספרות לגבי מבנים צפים), אך האותות האקוסטיים אכן מושכים דגים מהמאגר אל המכונה.



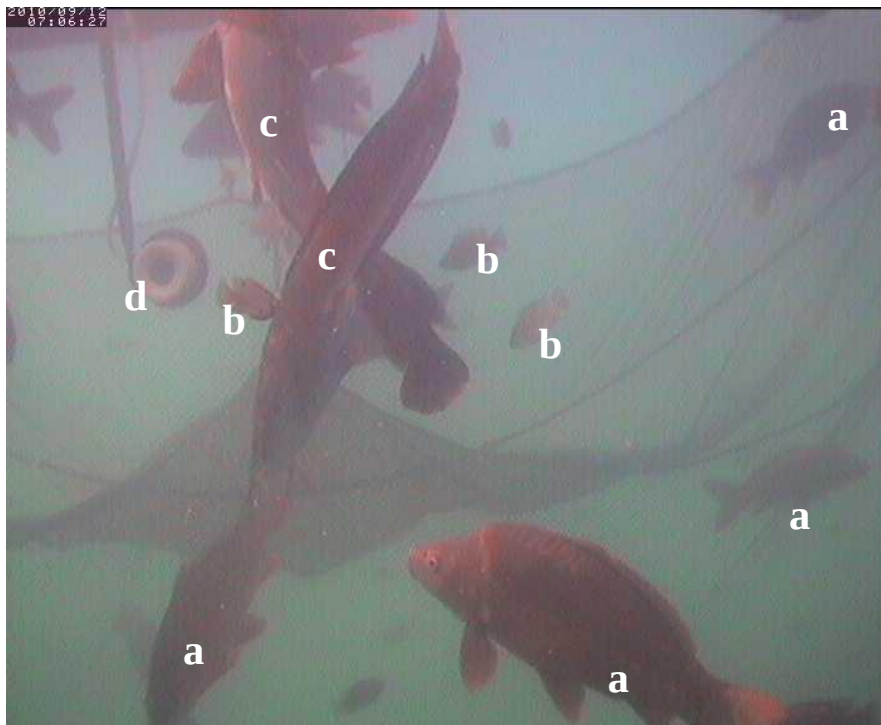
איור מספר 11. מכונת הדיג האוטומטי עגונה במאגר. משמשת לאימון דגים, משחררת אותם מאומנים למאגר ולוכדת אותם על-פי תכנון ותכנות רצוי. a – צינורות פוליאטילן המציפים את המתקן; b – שני פאנלים סולאריים המספקים אנרגיה למצברים; c – מיכל אטום עם מערכות הבקרה השונות; d – תוף אנכי המחובר למנוע שבתוך קופסת הבקרה ואשר מרים את הרשת בהינתן פקודה.



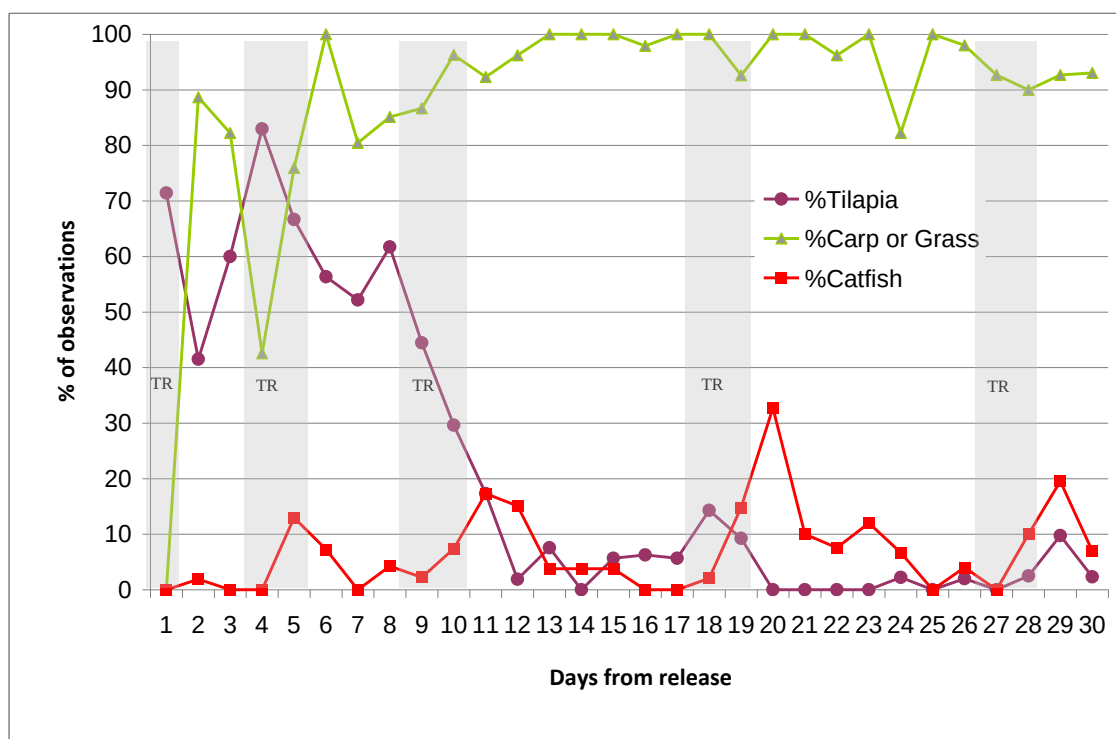
איור מספר 12. מדידות עוצמות האות האקוסטי (dB re 1 μ Pa at 1 m) אשר נמדד בנקודות שונות במאגר ואשר שודרו ממכונת הדיג אשר עגנה בנקודה מספר 1.

בדיקת דינמיקה של אוכלוסיות

עם פתיחת הכלוב ושחרור אמנונים המאומנים למאגר, נעשה מעקב אחר הדינמיקה של אוכלוסיית הדגים אשר נמצאה בתוך הכלוב הפתוח. המעקב נעשה באמצעות צילומים שנשמרו כל 10 דקות במהלך 30 יום (תמונה מס' 13). אחוז התמונות בהן נראו דגים ממין מסוים (מתוך כל התמונות שנשמרו באותו יום) שישמש לייצוג נוכחות דגים מאותו מין. במשך 7 ימים מיום פתיחת הכלוב נשארו האמנונים הקטנים המאומנים בתוך ובסביבת הכלוב ונצפו ב 40-80% מהצילומים שנשמרו (איור מס' 14). לאחר היום התשיעי נוכחותם צנחה באופן משמעותי והגיעה לרמה של 2% ביום ה 12. לעומת זאת, יומיים לאחר פתיחת הכלוב קרפיונים גדולים (קרפיון מצוי וקרפיון עשב) נכנסו לכלוב ונצפו ב 90% של הצילומים. לאחר ימים מועטים נוכחותם התייצבה על רמה של 90-100% מהצילומים. שפמנונים גם כן נכנסו לכלוב, אם כי במספרים קטנים, ונוכחותם עלתה באופן ברור מיד לאחר ימי הרענון. גם האמנונים הקטנים (סביר שאלו לא אמנוני הגליל אלה צילי) הגיבו לאימוני הרענון (למשל ימים 18-19 וימים 27-28) אך נוכחותם נשארה ברמה נמוכה.



תמונה מספר 13. דגים בכלוב צולמו ע"י המצלמות שתחת המים. a – קרפיון; b – אמנון; c – שפמנון; d – מצלמה.



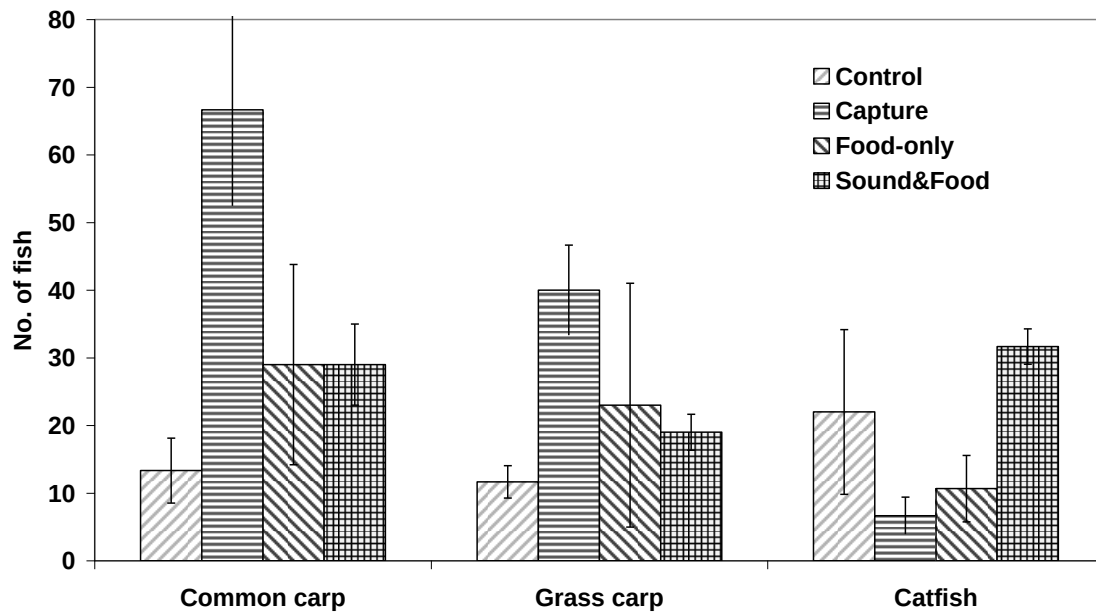
איור מספר 14. דינמיקה של נוכחות הדגים תחת מכונת הדיג על-פי שיעור התמונות בהן נצפו דגים מכל מין במשך 30 יום מעת שחרור הדגים המאומנים. העמודות האפורות מציינות ימים בהן נערכו אימוני רענון (TR).

העבודה אשר התבצעה בשנה השלישית (2010) ותוצאותיה

בשנה האחרונה של המחקר המשכנו לבדוק את תפקוד מכונת הדיג באמצעות הפעלת אות אקוסטי בלבד, מזון בלבד או את שניהם יחדיו. כמו כן, נבדקה הדינמיקה של אוכלוסיות הדגים במתקן בתגובה לאימוני רענון. נבדקו שיעורי לכידה של דגים גדולים מאומנים ששוחררו למאגר וכן משיכת דגים באמצעות האות האקוסטי המשודר ממערכת ניידת ממקומות שונים במאגר.

משיכת דגים באמצעות סדרת אימונים, אות בלבד, או מזון בלבד

ניסוי זה נערך עם דגי המאגר המשוחררים אשר במהלך הניסויים הקודמים אומנו ולמדו את הצימוד בין האותות האקוסטיים לבין מזון. נערכו שלשה צמדים של אירועי לכידה בסוף האימון השמיני של סדרת אימוני רענון) ולכידות ביקורת. כמו כן נערכו שלשה צמדים של אירועי לכידה בסוף אימון רענון ראשון בו המזון נתן בצמוד לאות או ללא אות אקוסטי. נמצא כי פי 2.4 יותר דגים נתפסו באירועי לכידה מלאים (בסוף אימון רענון שמיני) לעומת לכידות ביקורת (בסוף תקופת השקט וללא איתות או מזון). יותר קרפיון מצוי וקרפין עשב אך פחות שפמנונים נלכדו באירועי לכידה שנערכו בתום אימון רענון שמיני לעומת כאלה שנערכו בתום אימון רענון ראשון (איור מספר 15). לא נמצא הבדל בין מספר קרפיון מצוי וקרפיון עשב אך יותר שפמנונים נלכדו באמצעות איתות +מזון לעומת אלה שנלכדו באמצעות מזון בלבד. ממוצע המשקל של הקרפיונים שנלכדו היה 1300 ג' ושל השפמנונים 3700 ג'.



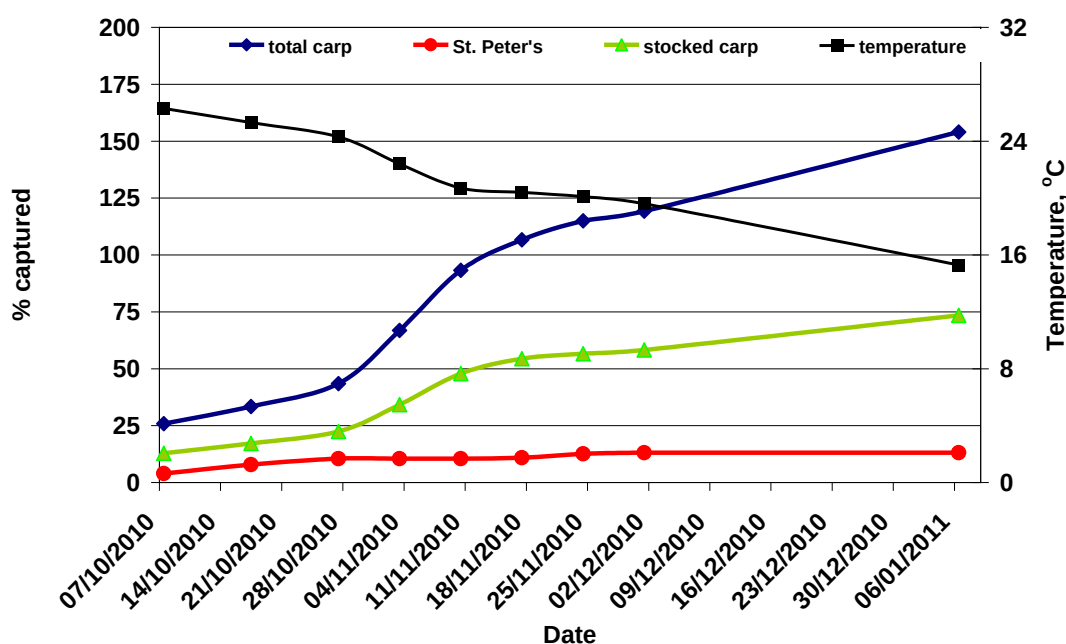
איור מספר 15. מספר דגים מכל מין שנלכדו באירועי לכידה שונים.

בדיקת שיעורי לכידה של דגים מאומנים

כיוון שבניסוי קודם נעלמו כל האמנונים הקטנים המאומנים ולא היה להם סיכוי לשרוד את החורף, נערך ניסוי משלים בו סומנו ואומנו 500 קרפיונים (ממוצע משקל 1200 גר') ו 230 אמנונים (ממוצע משקל 400 גר') ושוחררו למאגר. הרעיון היה לדלג באופן מתודי על תקופה הנדרשת לדגים להגיע לגודל שיווק ולבדוק את שיעור הלכידה שלכם כדגים גדולים. כמו כן, הניסוי נועד לבדוק אם גודל הדגים והמין משפיעים על היכולת ללכוד אותם. הדגים אוכלסו בכלוב הסגור ואומנו באמצעות צימוד האות האקוסטי למזון במשך 16 יום, 5 פעמים ביום. עם תום האימונים הכלוב נפתח, הדגים שוחררו למאגר ומערכת עברה בהדרגה לאימוני רענון שנמשכו 3 ימים לאחר 7 ימים ללא אימונים. כחודש וחצי לאחר פתיחת הכלוב בוצעו 9 אירועי לכידה שנמשכו על-פני כשלושה חודשים (טבלה מספר 1). מספר דומה של דגי קרפיון מסומנים ולא מסומנים נלכדו בארבע מתוך תשע הלכידות, ויותר קרפיונים לא מסומנים בשאר. 65% מתוך 500 הקרפיונים המאומנים ומסומנים נלכדו וסה"כ נלכדו 154% קרפיונים ביחס לאלה שאוכלסו (איור מספר 16). רק 13% מהאמנונים שאוכלסו נלכדו. יחד עם הדגים המאומנים שאוכלסו נלכדו גם דגי המאגר (קרפיון עשב, מצוי ושפמנונים). סה"כ מסת הדגים שנלכדה הגיעה ל 1758 ק"ג, 2.6 פעמים ממסת הדגים שאוכלסה.

טבלה מספר 1. מספר הדגים אשר נלכדו באירועי לכידה. דגים מסומנים- קרפיונים שסומנו ואומנו. דגי אמנון- דגים שאומנו בכלוב ושחררו עם הקרפיונים. כל השאר הם דגי המאגר שהצטרפו למאומנים.

Date	Marked Carp	Non-Marked Carp	Grass Carp	Catfish	Farmed Tilapia	Total catch
07.10.10	50	79	18	42	9	198
17.10.10	19	19	10	8	9	65
27.10.10	24	26	22	12	6	90
03.11.10	52	65	31	14	0	162
10.11.10	65	67	24	1	0	157
17.11.10	31	36	29	0	1	97
24.11.10	11	31	19	2	4	67
01.12.10	8	13	11	1	1	34
06.01.11	65	109	60	0	0	234
Total	325	445	224	80	30	1104



איור מספר 16. אחוזים מצטברים של דגים שנלכדו (ביחס למספר הדגים שאוכלסו) בתשע לכידות וטמפרטורת המים במאגר באותה תשופה.

משיכת דגים באמצעות מערכת ניידת

יישום העתידי של חוואות ימית בשיטה אותה אנו מציעים יתבצע בים פתוח בו הדגים עשויים להתרחק ממקום שחרורם או ממתקן שעגון במקום קבוע. על כן יש צורך לבדוק את הענות דגים שאומנו במקום מסוים ובמתקן מסוים, לאותות אקוסטיים המוכרים להם אך משודרים ממקומות שונים במרחב וממתקן אחר. לשם כך נבנתה מערכת ניידת הכוללת אמצעי שידור ומצלמות לצילום אירועים תחת המים (**איור מספר 17**). המערכת הותקנה על סירה במאגר סמוך לזה שנערכו בו כל הניסויים הקודמים. 500 דגי קרפיון גדולים אומנו בכלוב שתחת מכונת הדיג שבמאגר האחר. לאחר אימונים הועברו למאגר בו נערך הניסוי ושחררו. מספר ימים לאחר אכלוסם הושטה הסירה למקום מסוים במאגר וערכה אימוני רענון תוך השמעת האות ושחרור מעט מזון למים. מהלך זה חזר על עצמו פעמיים בשבוע כאשר הסירה

הושטה למקומות שונים במאגר (איור מספר 18) מהם שודרו האותות האקוסטיים בעת שהמצלמות הופעלו והקליטו את המתרחש בסביבת הסירה. סרטי הוידאו נצפו ותגובת דגים ממנים שונים הוערכה באופן איכותי (ולא כמותי, כיוון שלא התבצעו לכידות בפועל) בשלוש רמות (אין דגים, מעט דגים, הרבה דגים) ע"י הערכת כמות הדגים שנצפתה. טבלה מספר 2 מציגה את התוצאות, אשר על-פיהן ברור כי דגים הגיבו באופן משמעותי לאותו המוכרים להם.



איור מספר 17. מערכת ניידת לשידור אותות אקוסטיים וצילום אירועים מתחת למים.



איור מספר 18. הנקודות בהן עגנה הסירה בניסוי משיכת דגים ממקומות משתנים.

טבלה מספר 2. תוצאות ניסוי משיכת דגים באמצעות מערכת ניידת המותקנת על סירה ששידרה ממקומות משתנים. אדום- לא נצפו דגים; צהב- נצפו מעט דגים (בודדים); ירוק נצפו הרבה מאד דגים (עשרות רבות).

- 1) Fujiya, M. Sakaguchi, S., Fukuhara, O. 1980. Training of fishes applied to ranching of Red-Sea bream in Japan. In: Bardach, J. E. Magnuson, J.J., May R.C., Reinhart, J.M. (Eds.), Fish Behavior and its Use in the Capture and Culture of Fishes. ICLARM, Manila, pp. 200-209.
- 2) Ungson, R.J., Matsuda, Y. and Hirata, H. 1995. Ranching the red sea bream in Japan. World Aquaculture 26: 6-12.
- 3) Masuda, R. and Tsukamoto, K. 2000. Onset of association behavior in striped jack, *Pseudocaranx dentex*, in relation to floating objects. Fish. Bull., 98: 864-869.
- 4) Kuwada, H., Masuda, R., Shiozawa, S., Kogane, T., Imaizumi, K. and Tsukamoto, K. 2000. Effect of fish size, handling stress and training procedure on the swimming behavior of hatchery-reared striped jack: implications for stock enhancement. Aquaculture, 185: 245-256.
- 5) Midling, K.O., Kristiansen, T.S., Ona, E. and Oiesad, V. 1987. Fjord ranching with conditioned cod. ICES C>M>, 1987/F, 29.
- 6) Moksness, E. and Stole, R. 1997. Larviculture of marine fish for ranching purpose: is it profitable? Aquaculture, 155: 341-353.

סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
המטרה העיקרית של המחקר הייתה לבחון את ייתכנות שיטת הגידול של דגים בכלובים ווירטואליים תוך שימוש במודל המאגר כגוף מים גדול. המטרות הספציפיות לשנה המדווחת: (1) בדיקת זיכרון דגים לקישור אותות אקוסטיים עם מתן מזון וקביעת הדרך המיטבית לשימור התגובה למשך זמן רב; (2) פיתוח מערכות שליטה ובקרה מרחוק (מהחוף) על מנגנונים שונים הקשורים לכלוב הווירטואלי הנמצאים במים. (3) בדיקת השיטה וניסוי לכידת דגים במאגר
עיקרי הניסויים והתוצאות.
נבחנו מתכונות אימוני רענון שונות לשמירה על יכולת דגי אמנון גליל לזכור תגובה לאות אקוסטי ונמצא כי ניתן לשמר את ההתניה לאורך זמן ארוך מעבר ליכולת הזיכרון של הדגים ללא אימוני רענון. פותחה מכונת דגי אוטומטי צפה המסוגלת לאמן דגים, לשחררם וללכוד אותם ע"י זימוןם באמצעות האות האקוסטי. מכונת דגי אוטומטית זו מתפקדת בהצלחה מזה כשנתיים ומתאימה לטכנולוגיה של גידול דגים בכלובים ווירטואליים. כמות הדגים אשר נלכדה בניסוי עלתה על כמות הדגים המאומנים שאוכלסה במאגר. דגי המאגר הצטרפו לדגים המאומנים שאוכלסו ונלכדו יחד איתם.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?
מטרות המחקר הושגו במלואן ואף הושגו מטרות מעבר למתוכננות בהצעה המקורית. פיתוח מערכת הדיג מהווה קפיצת דרך משמעותית במחקר ואמצעי חשוב ביותר להמשך המחקר וליישום העתידי. למערכת הזו ייתכנו יישומים נוספים מעבר למטרות המחקר.
בעיות שנוותרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה;
יש לבדוק את השיטה בים הפתוח, במערכת קבועה במקום ומערכת ניידת. בימים אלה נעשים מאמצים לקבל אישור לבצע מחקר ממשיך בנמל אשדוד ובכוונתנו לנסות לערוך מחקר נוסף מול מכמורת בשת"פ עם מכללת רופין.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - ציטט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי; פטנטים - יש לציין שם ומס' פטנט; הרצאות וימי עיון - יש לפרט מקום, תאריך, ציטוט ביבליוגרפי של התקציר כמקובל בפרסום מאמר מדעי.
פורסמו 4 מאמרים הקשורים למחקר ושניים נוספים הוגשו לפרסום- רשימה מלאה בגוף הדו"ח
פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)
לפרסם 

מאמרים שפורסמו או הוגשו לפרסום כתוצאה מהמחקר

הראשון (2007) פורסם כתוצאה מעבודת מחקר מקדימה שנעשתה כהכנה להגשת הצעת מחקר זו. המאמר השני ברשימה כולל תוצאות מחקר שנעשה במקביל לעבודת המחקר זו וכתוספת שלא הייתה כלולה במטרות ההצעה.

ארבעת האחרונים הנם תוצאה ישירה של עבודת המחקר שמומנה במסגרת זו והקורא מופנה אליהם לייתר פירוט אשר לא התאפשר במסגרת מגבלת גודל הדו"ח הנוכחי.

Zion B., Barki A., Grinshpon Y., Rosenfeld L. and Karplus I. (2007).
Social Facilitation of Acoustic Training in the Common Carp *Cyprinus carpio* (L.).
Behaviour, 144: 611-630.

Zion B., Karplus I. and Barki A. (2010).
Generalization and discrimination of positive and negative acoustic stimuli in the common carp (*Cyprinus carpio*).
Behavioural Processes, 83: 306-310.
DOI: 10.1016/j.beproc.2010.01.014

Zion B., Barki A., Grinshpon Y., Rosenfeld L. and Karplus I. (2011).
Retention of acoustic conditioning in St. Peter's fish *Sarotherodon galilaeus*.
Journal of Fish Biology, 78: 838-847.
DOI:10.1111/j.1095-8649.2010.02899.x

Zion B., Karplus I., Grinshpon Y., Rosenfeld L. and Barki A. (2011).
Periodic reinforcement of acoustically conditioned behavior in St. Peter's fish, *Sarotherodon galilaeus*, for ranching purposes.
Aquaculture, 315 (3-4): 394-399
DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.03.001

Zion B., Barki A., Grinshpon Y., Rosenfeld L. and Karplus I. (2011).
An automatic fishing machine based on acoustic conditioning.
Aquacultural Engineering, submitted for publication, April 2011

Zion B., Karplus I. and Barki A. (2011).
Ranching acoustically conditioned fish using an automatic fishing machine.
Aquaculture, submitted for publication, April 2011