

קוד זיהוי 459-4255-08

פיתוח כלי ממוחשב לניהול היצור במדגה מתועש

Developing a computerized simulation model for optimizing the design and operational of re-circulating aquaculture system

דוח מפורט למחקר תלת שנתי

קרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י:

אילן הלחמי - המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי

יצחק סימון – ממ"ר דגים, האגף לבעלי חיים, שרות ההדרכה והמקצוע

אבי סלומון – משרד החקלאות

הממצאים בדוח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא

חתימת החוקר

רשימת פרסומים:

Halachmi. Use of simulation models to shift from marine netcages to inland recirculating systems. Submitted on 2009.

Seginer I, Halachmi I (2008) Optimal stocking in intensive aquaculture under sinusoidal temperature, price and marketing conditions. Aquacultural Engineering 39 (2-3):103-112

Halachmi I. (2007) Biomass management in re-circulating aquaculture systems using queuing networks. Aquaculture 262: 514-520

Halachmi I (2006) Systems engineering for ornamental fish production in a recirculating aquaculture system Aquaculture 259(1-4): 300-314

Halachmi I; Simon Y*; Guetta R; Hallerman E. M. (2005) A novel computer simulation model for design and management of recirculating aquaculture systems" Aquacultural Engineering. 32 (3-4): 443–464

Halachmi I, Simon Y, Guetta R, (2004) Aquaculture system engineering – novel simulation model for designing and managing RAS. (in Hebrew). Proceedings of the annual conference of the Israel association for agricultural Engineering (ISAE), February 5, Bet-Dagan, Israel,

Halachmi I, Y Simon (2004). Developing simulation model for designing a RAS (in Hebrew). Proceedings of the 10th annual conference of the Israeli association for aquaculture. February 22-24 Ambassador Hotel Eilat, Israel p 26-27

Simon Y, Halachmi I, (2004). What is 'recirculating aquaculture system' (in Hebrew) Proceedings of the 10th annual conference of the Israeli association for aquaculture. February 22-24 Ambassador Hotel Eilat, Israel P 28

Halachmi I, Y Simon (2004). Fish-growth based simulation model for recirculating aquaculture system. Proceedings of the 8th Annual Dan popper annual symposium. February 21. National Center for Mariculture Israel Oceanographic and Limnological Research. Eilat, Israel P 21

Simon Y, Halachmi I (2004). Applying simulation-based management tool in aquaculture. Proceedings of the 8th annual Dan popper annual symposium. February 21. National Center for Mariculture Israel Oceanographic and Limnological Research. Eilat, Israel P 20

Halachmi I, Simon Y (2004). Simulation modelling the re-circulating aquaculture system. AgEng 2004 conference engineering the future, 12-16 September, Leuven, Belgium P 608-609

Simon Y, Guetta R, Zaslavski D, Halachmi I (2005). Characterization of the operational model and optimal management of a Recirculation Aquaculture System (RAS). Proceedings of the annual conference of the Israel association for agricultural Engineering (ISAE), March 3, Technion, Haifa, Israel,

הלחמי א., סימון י., גואטה ר. 2004. פיתוח מודל סימולציה לתכנון וניהול מדגה מתועש לגידול דג אמנון. דיג ומדגה בישראל . 5:745-758

הלחמי א., סימון י. 2004. ישום מודל סימולציה לתכנון וניהול מדגה מתועש. דיג ומדגה בישראל. 35(1):647-649

הלחמי וסימון פיתוח מודל סימולציה לניהול מדגה מתועש לגידול דגי באס בחוות שדי תרומות. דייג ומדגה 2/2005

סימון יצחק. 2005. אפיון מודל סימולציה לתכנון תפעול וניהול 'מדגה מתועש'. עבודת גמר לתואר מוסמך בהנחיית מנחים: פרופ' זסלבסקי, דר' גואטה ודר' הלחמי. הטכניון מכון טכנולוגי בישראל, חיפה.

ינאי בן דוד מ., טביביאן ש. 2004. פיתוח מודל תפעול של מדגה מתועש באמצעות סימולציה. עבודת גמר בהנחיית פרופ' כספי ודר' הלחמי. המחלקה להנדסת תעשייה וניהול, הפקולטה למדעי ההנדסה, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

מאיה בירנבאום - (2006), קביעת מדיניות תפעול יעילה של מדגה מתועש לגידול דגי באס – נתונים מקצריין. פרויקט גמר, אוניברסיטת בן גוריון בנגב, הפקולטה למדעי ההנדסה, המחלקה להנדסת תעשייה וניהול. בהנחיית פרופ' יעל אידן ודר' אילן הלחמי

עינב לבנוני (2006), תכנון יעיל של מדגה מתועש לגידול דגי באס – מודל קצריין. פרויקט גמר, אוניברסיטת בן גוריון בנגב, הפקולטה למדעי ההנדסה, המחלקה להנדסת תעשייה וניהול. בהנחיית פרופ' יעל אידן ודר' אילן הלחמי
אלברט סטולר ו-דנה יוסף (2005), ניהול מדגה מתועש באמצעות סימולציה – משק בשדי תרומות. פרויקט גמר, אוניברסיטת בן גוריון בנגב, הפקולטה למדעי ההנדסה, המחלקה להנדסת תעשייה וניהול. בהנחיית פרופ' יעל אידן ודר' אילן הלחמי

ניצן יודן ואיתי נעום (2006), פיתוח מודל אופטימאלי לניהול ותפעול מדגה מתועש באילת. פרויקט גמר, אוניברסיטת בן גוריון בנגב, הפקולטה למדעי ההנדסה, המחלקה להנדסת תעשייה וניהול. בהנחיית פרופ' יעל אידן ודר' אילן הלחמי

סימון והלחמי (2005) יישום מודל סימולציה לניהול מדגה מתועש לגידול דגי באס בחוות שדי תרומות. דיג ומדגה בישראל, כרך ל"ו חוברת 4, 914-931

יצחק סימון הוא עורך כתב העת 'דיג ומדגה בישראל' – הרבעון המקצועי של ארגון מגדלי הדגים. במאמר המערכת של כמעט כל מהדורה מובא המידע לחקלאים, גם לגבי המתקנים מתועשים.

רשימת הרצאות בארץ:

The 10th annual conference of the Israeli association for aquaculture. Ambassador Hotel Eilat. February 22-24. **Invited lecture** and paper titled: Developing simulation model for designing a RAS (in Hebrew)

The annual aquaculture farmers' desk (שולחן מגדלים), 21 July 2005, Afula. **Invited lecture:** Developing system engineering tools for managing re-circulating aquaculture facilities; a case study of Sde Truomot (in Hebrew)

Industrial Engineering and management department, Weekly seminar, 21 November 2005, Ben Gurion University campus. **Invited lecture:** Developing a simulation model for ornamental fish growing (in Hebrew)

Ohio Delegation mission and Israeli fisheries hosted by the Emek Hyarden municipality's mayor (Ms. Yael Shaltiel). 12 December 2005 **Invited lecture:** Opportunities for joint research in the field of edible or ornamental fish

The 12th annual conference of the Israeli association for aquaculture. Nir Ezion Hotel, Nir Ezion. March 7-8. **Invited lecture** and paper titled: Design the rearing process of ornamental fish in recirculating aquaculture system – kibbutz Hazorea case study, (in Hebrew)

A session chairman in the 13th annual conference of the Israeli association for aquaculture. Renascence Hotel in Jerusalem Feb 20-21. Session title: re-circulating Aquaculture systems in Israel; exploring five farm models. In this session, the models were presented by the students, colleagues and the farmers (in Hebrew)

How to manage the aquaculture farm?. Farmers' course held in Afula at 9 May 2007 organized by the Israeli Extension Service (SHA'HAM). **Invited Lecture:** Behavioral based Simultaion in Aquaculture (in Hebrew)

Arenasphere 2007. Simulation conference in Kfar Hamakabia conference centre, Ramat Gan, 20/6/07
Invited Lecture: Optimization and validation of livestock simulation models (in Hebrew)

One day in the Fishery department course seminar. Agri Minestry Bet Dagan Chairman by Igal Magen. 8 January 2008. **Invited Lecture:** Aquaculture production management by using computer simulation
הרצאה ניתנה בקורס ניהול היצור –אגף הדיג משרד החקלאות, בית דגן

ארליך רוברטו - כותרת ההרצאה: שימוש בסימולציה לניהול גידול 120 טון דגי דניס כפיילוט בשיטת 'מגה פלאו' - אילת 1 ינואר 2009. ההרצאה ניתנה בקורס של שה"מ - מחלקת מדגה – ניהול למגדלי הדגים' (ארליך רוברטו הוא מנהל עבודה בחברת ערדג)

הצגת הבעיה. מערכת אינטנסיבית לגידול דגי מאכל מאופיינת על ידי צפיפות גידול גבוהה המותירה מרחב מחייה מצומצם לכל דג. על הצמצום הזה בשולי הביטחון אמורה לחפות שקילת דגים תכופה, ספירת מתים, התבוננות על חיוניות הדגים (vitality), צבעם והתנהגותם ומערכת סנסורים הקולטת כל בעיה במים. כאשר צפיפות הדגים גדלה, דרוש ניטור תכוף יותר בכל בריכה וצורך קבלת החלטות מהירה. מערכות גידול דגים אינטנסיביות (מסחררת את המים, להלן יקרא 'מדגה מתועש', באנגלית RAS – re-circulating aquaculture system, לא כלובים בים ולא מערכת תעלות פתוחות צמודות לנהר). דורשת השקעה כספית ניכרת בתשתית, בציוד ובאנרגיה להפעלת מתקני המערכת וסחרור המים. המגדל חייב לקבל: (1) החלטות אסטרטגיות כגון נפח מים לגידול, מספר מיכלי גידול, מיקומם היחסי, תעלות שינוע מים ודגים, סוג וגודל פילטרים, סוג דג. (2) ההחלטות תפעוליות כגון תדירות אכלוס, גודל דגיג, מועדי מכירה (תלוי מחיר ועונה) ומספר דגים באצווה. החלטות ברמת התפעול נגזרות החלטות אסטרטגיות ובתלות ההדדית עם (3) החלטות ביולוגיות הקשורות לאיכות מים, מזון וגנטיקה ועומס ביולוגי על הפילטר המשותף. מקובל שהחלטות לגבי אצווה אחת הן גבול היכולת של מגדל לתפישת המכלול - בכל מתקן יש עשרות אצוות בגדלים שונים. האצוות/החלטות תלויות זו בזו ויש צורך בפתרון כולל של המערכת כדי להשיג את האופטימום המבוקש. העלות הגבוהה של מדגה מתועש - בתשתית ובתפעול יום יומי יחד עם מחיר שוק נמוך שנקבע על ידי לכידה בטבע וגידול במערכות מסורתיות זולות יותר לייצור ויבוא גורמים לרווח נמוך יחסית. החלטות שגויות מעבירות מיד מרווח להפסד.

מהלך המחקר ושיטות העבודה. המחקר כלל פיתוח מודל ניהול ביומסה עם קלט ביולוגי – קצב גדילת הדג בהקשרים תפעוליים, איכות מים, תחזית תפוקה ועומס בתרחישים שונים. שלב א: בעת הגשת התוכנית וההמתנה לקבלת מימון, נאספו נתונים והוחל בבניית מודלי סימולציה על ידי 8 סטודנטים שלומדו את הקורס 'סימולציה מתקדם' שאילן העביר במחלקה לתעשייה וניהול, אוניברסיטת בן גוריון. שלב ב: עבודה עם המודל בתהליך קבלת ההחלטות במשקים. שלב ג: המודל פורסם, המידע הופץ לחקלאים.

תוצאות עיקריות. מדעית: פותחו שלושה מודלים. נערכה בדיקת תקפות (validation) סטטיסטית. המודל לא נדחה ברמת מובהקות של 90%. יישומית: משק אחד קיבל החלטות כתוצאה מהמודל, למד את המודל וקיבל את כל העזרה על מנת לעבוד איתו לבד. משקים אחרים נעזרים במודל דרך מחלקת ההדרכה (שה"מ, יצחק סימון) על מנת להריץ את המודלים.

מסקנות והמלצות והפקת לקחים.

1. מערכת מדגה מתועש לדגי מאכל ניתנת למידול ברמת מובהקות מספקת לקבלת החלטות. מומלץ לקבל החלטות אחרי ניסויי סימולציה ולא אחרי התנסות במערכת האמיתית.
2. בעקבות פרסום המודל בספרות המקצועית, הדרישה למודל, בארץ ובעולם היא גדולה!. מינהל המחקר לא בנויי לספק "שירותי מידול וסימולציה" למשקים מסחריים. כמו בכל מחקר, מערכת המחקר הראתה את הכיוון ועכשיו תפקיד מערכת ההדרכה (ואולי חברות יעוץ) להטמיע מודלי סימולציה במשקים כפי שנפוץ בתעשייה הלא חקלאית.

הביקוש לדגים עולה בגלל (1) גידול טבעי של האוכלוסייה האנושית, (2) תדמית של מזון בעל סגולות בריאותיות ו- (3) התפרצות מחלות בבשר אחר (שפעת העופות, שפעת החזירים, פרה משוגעת וכ"ד). אולם מכסות הדייג בעולם נשארות קבועות או יורדות כתוצאה מלחצי "ארגונים ירוקים" והמצאי ביים. אילוצים של זמינות קרקע, זמינות מים וזיהום סביבה מעודדים מעבר חקלאי מים למערכות גידול דגים אינטנסיביות מסוחררות ('מדגה מתועש' RAS). מתקנים אלו דורשים השקעה כספית ניכרת בתשתית, בציוד ובאנרגיה להפעלת מתקני המערכת וסחרור המים.

המגדל חייב לקבל: (1) החלטות אסטרטגיות כגון נפח מים לגידול, מספר מיכלי גידול, מיקומם היחסי, תעלות שינוע מים ודגים, סוג וגודל פילטרים, סוג דג. (2) ההחלטות תפעוליות כגון תדירות אכלוס, גודל דגים, מועדי מכירה (תלוי מחיר ועונה) ומספר דגים באצווה. החלטות ברמת התפעול נגזרות החלטות אסטרטגיות ובתלות ההדדית עם (3) החלטות ביולוגיות הקשורות לאיכות מים, מזון וגנטיקה ועומס ביולוגי על הפילטר המשותף. החלטות לגבי אצווה אחת הן גבול היכולת של מגדל לתפישת המכלול - בכל מתקן יש עשרות אצוות בגדלים שונים. ההחלטות תלויות זו בזו ויש צורך בפתרון כולל של המערכת כדי להשיג את האופטימום המבוקש. העלות הגבוהה של מדגה מתועש - בתשתית ובתפעול יום יומי יחד עם מחיר שוק נמוך שנקבע על ידי גידול במערכות מסורתיות זולות יותר ויבוא גורמים לרווח נמוך יחסית. החלטות שגויות מעבירות מייד את המתקן מרווח להפסד.

מורכבותה של מערכת RAS הן מהבחינה הביולוגית והן מהבחינה הניהולית-תפעולית-כלכלית משכה את תשומת ליבם של חוקרים רבים מתחומים שונים. פותחו מודלים לצריכת החמצן כתלות בגיל הדג, כמות מזון, הפסד משקל, שטח זימים ופחת טבעי (Ursin 1967). פותחו מודלים לקצב יצור פסולת מטבולית המבוסס על איכות המים (Weatherley & Colt, 1991) והשפעת הגדלת היקף הייצור על גורמים אחרים: ריכוז פחמן דו חמצני, אמוניה, פסולת מוצקה וחומרים אורגניים במים. וגם נעשו עבודות רבות בתחום הביופילטר (Weatherley, Hill & Macmillan, 1993) Timmons, Summerfely & (1995) Singh & Marsh(1995) Ellner, Neori, Krom, Tsai & Easterling (1998) Vinci (1998) Losordo (1999). כל מודל שמצאנו בחן אספקט אחד ויחיד של הבעיה. מתוך שלל המודלים שמצאנו בספרות, לא נמצא מודל העוסק ישירות בתחום ניהול ותפעול מדגה מתועש כמערכת שמתאים ליישום בתנאי המדגה המתועש שהתפתח בארץ. תחומים אחרים משתמשי בניסוי סימולציה כאשר המערכת מורכבת מידי, אינה ניתנת לפתרון אנליטי. לשימוש בסימולציה ישנם מספר יתרונות: (1) בסימולציה ניתן להשיג שליטה טובה יותר על תנאי הניסוי (Law & Kelton, 1991). (2) הסימולציה מאפשרת לחקור מערכות בעלות מסגרת זמן רחבה בזמן מצומצם, או לחלופין, לפרוס תהליכים מורכבים המתרחשים בזמן קצר על פני זמן ארוך (Law & Kelton, 1991). בכמה שניות מחשב אפשר להריץ תרחישי גידול דגים שבמציאות גדלים במשך שבועות וחודשים - ניסוי סימולציה לוקח פחות זמן. (3) ניסוי סימולציה במחשב זול יותר מניסוי במערכת אמיתית, במיוחד אם המערכת האמיתית חשופה לתקלות שעלולות לשבש את הניסוי. (4) סימולציה ממקדת את התוצאות בגלל תכונת ה- 100% הדירות (repeatability) והאפשרות לשנות רק פרמטר יחיד במערכת לעומת מערכת אמיתית בה רוב הפרמטרים תלויים זה בזה (איכות מים תלויה במזון, טמפרטורה משפיעה, עיוותים - גנטיקה או מים וכ"ו) - במציאות קשה לבדוד השפעת פרמטר יחיד - בסימולציה אפשר. (5) ברוב תוכנות הסימולציה ישנה אפשרות להצגת המודל בעזרת אנימציה דינאמית. אנימציה זו מאפשרת להמחיש את פעולת המודל, ולאפשר ניתוח שלו על ידי גורמים בלתי מקצועיים בתחום (Chung, 2004). (6) מערכות בעלות אלמנטים סטוכסטיים לעיתים אינן ניתנות לתיאור מדויק בעזרת מודלים מתמטיים שניתנים לפתרון אנליטי. במקרים כאלו,

הסימולציה היא הדרך היחידה למדל את המערכת (Law & Kelton, 1991). לכן, מטרת המחקר הייתה: פיתוח כלי סימולציה ממוחשב לניהול היצור במדגה מתועש.

עיקרי הניסויים לתקופת הדוח

למודל יש שני רבדים (שכבות, layers). האחד מודל המבוסס על תורת התורים, מודל אנליטי והשני מודל סימולציה קלסי שמטפל באותם תרחישים שאינם ניתנים לפיתרון באופן אנליטי. המאמר אחד פורסם (1) והשני, (2) נשלח לפרסום:

(1) Halachmi I. (2007) Biomass management in re-circulating aquaculture systems using queuing networks. Aquaculture 262: 514-520

(2) Halachmi I and Mozes N (2009) Simulating the shift from marine netcages to inland recirculating aquaculture systems. Submitted

והם מצורפים לדוח בנספח ב' ו-ג'.

להלן עיקרי הניסויים

איסוף נתונים:

אילת. הנתונים נאספו ב- 22 כלובים של חברת ערדג, 17 מתוכם בגודל רגיל (כ-70,000 דגים) ו-5 גדולים יותר (כ-120,000 דגים). בשנים 2003-2005, וכללו דגימות חודשיות מכל כלוב של הנתונים הבאים: משקל הדגים באכלוס והביומסה של אצוות הדגים בזמן האכלוס. בעזרתם חושב מספר הדגיגים בכלוב. כמו כן, נמדדה הטמפרטורה בים, כמות המזון שניתנה לדגים ומספר הדגים המתים.

פונקציות הגידול שהשתמשו במודל הסימולציה כיולה לפי Lupatsch, (2004)

$$\frac{dw}{dt} = \Gamma f_1(w) f_2(\theta) f_3(r) \quad (1)$$

כאשר הביטוי $\frac{dw}{dt}$ מציין את העלייה במשקל, $f_1(w)$ היא פונקצית המשקל, $f_2(\theta)$ היא הפונקציה התרמית ו- $f_3(r)$ היא פונקצית יחס הגודל. הפרמטר Γ מאגד בתוכו את כל שאר הגורמים המשפיעים על המודל.

$$\text{Weight gain (g/fish/day)} = 0.024 \times \text{body weight (g)}^{0.514} \times e^{0.060 \times \text{temperature}} \quad (2)$$

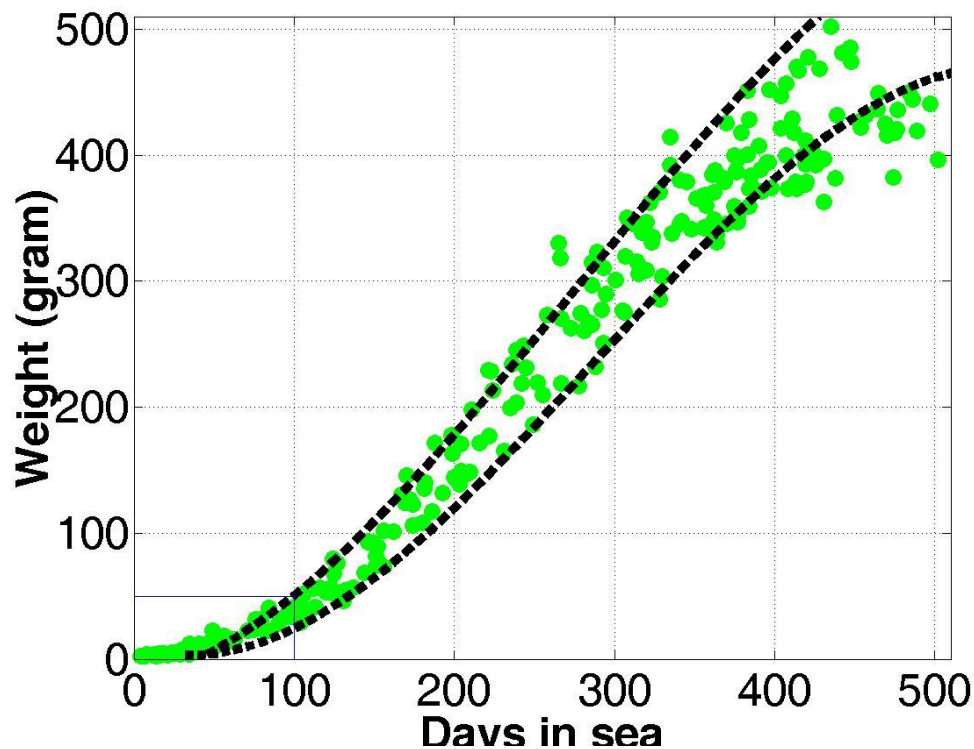


Fig. 2 Observed fish growth, the species is gilthead seabream (*Sparus aurata*), the culture volume is defined by cages in Eilat in the Red Sea. Data were recorded from Sept. 2003 to July 2005, 22 fish batches were sampled 314 times. Note, the fish batches attained the target weight within 330-450 days. Source: Halachmi (2007)

מודל הסימולציה

מטרת מודל הסימולציה היא לדמות את פעילות המדגה המתועש, החל מקבלת אצוות דגים לבריכות האימון, דרך כל שלבי הגידול ועד לשיווק הדגים. כמו כן, במודל באים לידי ביטוי המדדים הביולוגיים של צריכת הביופילטר, וכן צריכת החמצן על ידי הדגים. מודל הסימולציה נבנה בתוכנת ה-Arena.

קלט המודל

- מספר הדגיגים בכל אצווה בכניסה למדגה
- תדירות הגעת אצווה למדגה
- מספר הבריכות מכל סוג
- טמפרטורת המים

פלט המודל

- תפוקת הדגים בשנה
- העומס על הביופילטר
- צריכת החמצן במערכת
- נצילות הבריכות

- הרווח השנתי

מדדי הביצוע

- הרווח המקסימאלי בשנה
- העומס על הביופילטר

אימות ותיקוף המודל

בוצע אימות למודל על מנת לבדוק שהמודל אכן מבצע את מה שתוכנן לבצע. האימות בוצע בעזרת תוכנת ה-Arena, שימוש באנימציה וכן בדיקה שאין פלטים חריגים. תיקוף המודל על פי Kleijnen (1998) הינו "קביעה האם ניתן לקבל את מודל הסימולציה כמייצג המערכת האמיתית, בהינתן מטרת המודל". בשלב התיקוף בוצעו ארבעה מבחני תקפות:

1. Visual Validation

2. T-test

3. Regression test

4. Kleijnen test

התיקוף בוצע על קצב גידול הדגים והשווה לנתונים שנאספו מחברת ערד"ג בכלובי הדגים.

פתרון אופטימאלי

לצורך מציאת הפתרון האופטימאלי נעשה שימוש בשיטת חמשת השלבים של Kleijnen & Sargent (1998). השלבים שבוצעו הם:

1. תכנון ניסוי (DOE (Design of experiments
2. D-optimal design באמצעות תוכנת Matlab
3. בניית Meta Model
4. שימוש בשיטת RSM (Response surface methodology)
5. הרצת הפתרון במודל הסימולציה, וביצוע תיקוני רציפות.

חלופות

מספר חלופות ניהוליות נבחנו תוך שימוש במודל:

- שינוי מספר הבריכות
- שינוי מספר הימים בכל שלב גידול
- אכלוס הדגים שיוצאו מכלובי הדגים במפרץ אילת בתדירויות שונות

חלופה נוספת אשר נבדקה היא האפשרות להוספת חישנים. חישנים אלו יספקו מידע בזמן-אמת על משקל הדגים הממוצע בבריכה. נבחנה השפעת המידע על יכולת קבלת ההחלטות בכל הנוגע להעברת הדגים בין הבריכות, כך שתמנע המתנה של דגים בבריכות לאחר הגעתם לגודל הרצוי, לצורך ניצול טוב יותר של הבריכות. כמו כן, דגים אשר מוכנים לשיווק לפני הזמן ישווקו, ובכך יפנו מקום בבריכות לדגים אחרים, וכן יחסכו עלויות המזון והמים של האצווה המוכנה לשיווק. באמצעות הסימולציה נמצאה ההשפעה של קבלת החלטות בהינתן מידע מושלם במצבים משתנים על מדדי הביצוע של המודל, וחושב החיסכון הכספי בעקבות ביטול ההמתנה של אצוות הדגים ושיווק והגדלת ניצולת הבריכות. ההשוואה בין החלופות בוצעה בעזרת מבחן t בכלי ה-Output Analyzer של תוכנת ה-Arena.

ניתוחי רגישות

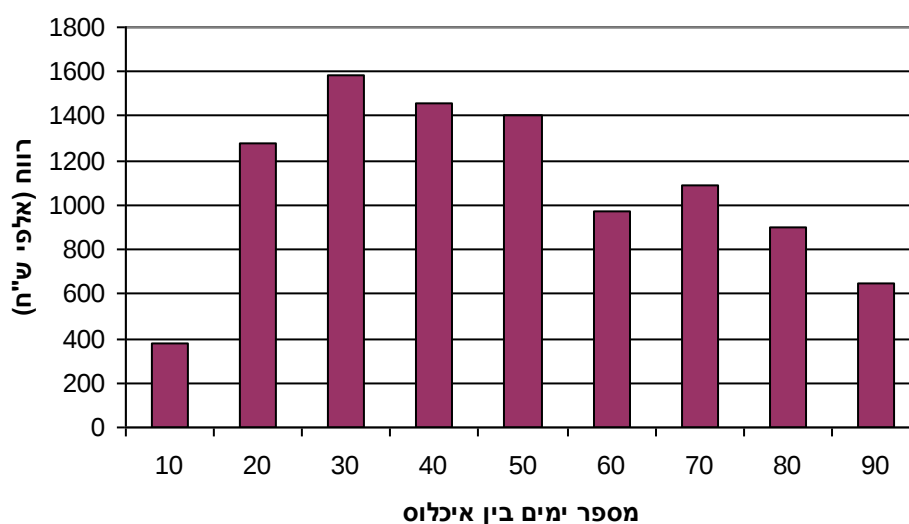
ניתוחי הרגישות בוצעו בעזרת כלי ה- process analyzer של תוכנת ה-Arena. בחירת המשתנים התבססה על המשתנים המרכזיים במודל והמשתנים ברי השליטה. ניתוחי הרגישות כללו את בחינת ההשפעה של המשתנים הבאים על הרווח השנתי:

- מספר הדגיגים באצווה
- תדירות הגעת אצווה למדגה
- מספר הבריכות במדגה
- מחיר המכירה של ק"ג דג

4.8 פיתוח מערכת תומכת החלטה

פותחה מערכת בעלת ממשק ידידותי לתפעול המדגה, אשר תוכל לשמש גם משתמש אשר אינו מכיר את תוכנת ה-Arena. המערכת מאפשרת שליטה בכל הפרמטרים הקשורים בניהול ותפעול המדגה, וכן בכל העלויות של המדגה. כמו כן, ניתן להשוות תוצאות הרצה להרצה קודמת.

תוצאות לדוגמא



איור 3. השפעת תדירות הגעת אצווה על הרווח השנתי

המספרים שבטבלה שלהלן (Halachmi 2007) יושמו בתחילת דרכו של הפיילוט. בהמשך היה צורך לעדכן לפי קצב הגידול שנמצא בפועל.

Table 2. '2,4,8 layout'; the influence of the growth period on the optimal parameters

Inputs ¹	Model Outputs ²					
Total growth period	Arrival interval	Phase I growth period	Phase II growth period	Phase III growth period	Cycles/year	Turnover
ΣSi (days)	$1/\lambda$ (days)	S_1 (days)	S_2 (days)	S_3 (days)		(ton/year)
330	33	66	132	132	11.1	163

350	35	70	140	140	10.4	154
370	37	74	148	148	9.9	146
390	39	78	156	156	9.4	138
410	41	82	164	164	8.9	131
430	43	86	172	172	8.5	125
450	45	90	180	180	8.1	120

¹ According to our measurements the total growth period (ΣSi) might range from 330 to 450 days;

² The model outputs were calculated according to Eq. 8 and Eq.9 where number of resources (ponds) at each growth phase in the 2,4,8 layout were $c1 = 2$; $c2 = 4$; $c3 = 8$; the numbers of batch splits were $P1 = 1$; $P2 = 1$; $P3 = 2$, and number of fish per batch was 37,000.

Source: Halachmi (2007)

- באופן דומה נאספו נתונים ופותחו מודלים עבור קצירין ושדי תרומות – ראה דוח מפורט עבור כל משק בנספח ד'.

דיון ובעיות שהתגלו בעת ביצוע המחקר

1. היה העדר סנכרון בין מועד אישור הקמת המתקנים (מינהלת ההשקעות של משרד החקלאות) לבין מועד האישור התקציבי של המחקר (לשכת המדען של משרד החקלאות). לכן לא הינו מוכנים עם המודל בזמן על מנת לשפר דרמטית את התכנון של רוב המערכות המתועשות שקיבלו מימון ממינהלת ההשקעות. כתוצאה מכך, ההשפעה על התכנון הייתה בשוליים, קרי רק שינויים קטנים שאפשריים במערכת קיימת או בשלבי בנייה אחרונים. הסיבה היא שהפרויקטים אושרו ותכננו בתחילת שנות ה-2000 אולם התקציב שלנו אושר רק ב-2006/2005. למעשה התחלנו לעבוד מוקדם יותר (ראה רשימת פרסומים כבר ב-2004) ללא מימון מסודר אבל עד אישור התקציב, העניין של המשקים ירד, בגלל שכבר סיימו את התכנון והיו "שקועים" בבנייה והאיכלוס. הלקח לעתיד, כאשר מאושרת תמיכה ממשלתית למשקים, צריך ללוות את התמיכה בליווי מדעי – מהתחלת הפרויקט באופן אפקטיבי. מחקר בנושא תכנון ובנייה צריך להיות מאושר לפני התכנון. (למען גילוי נאות צריך לציין: 1. כן מומנו צוותי מחקר אחרים בתחום של ניתור איכות מים אחרי הקמת המתקנים. 2. כן היה ליווי טוב של מדריכים (לא חוקרים) 3. באותה שנה גם היה עיכוב כללי באישור תקציב הממשלה).

2. בעת ביצוע המחקר היה קושי טכני בהעברת תוכנת הסימולציה מסביבת הפיתוח למשק המגדל דגים. המודל מפותח בתוכנת סימולציה מקצועית יקרה מאוד. אנו, מכון אקדמי והאוניברסיטה מקבלים הנחה משמעותית אבל הנחה זו אינה ניתנת למשקי הדגים. בשנים הבאות נצטרך למצוא פתרון טכני - לפתור את הבעיה על ידי: רכישה מערכתית של משרד החקלאות – לכל המדגים או לחילופין כתיבת התוכנה על ידי תכנת, בשפה אחרת שאינה יקרה או לחילופין חילופין הקמת מנגנון, כמו ספר העדר ברפת, שעוסק בהרצת סימולציה למשקי מדגה. למדריכים של אגף הדיג או שה"מ יהיה תפקיד מרכזי גם בפעילות כזאת.

סיכום עם שאלות מנחות

נא לענות על כל השאלות, בקצרה ולעניין, ב 3 עד 4 שורות מכסימום לכל שאלה. נא לציין הפנייה לדו"ח אם נכללו בו נקודות נוספות לאלה שבסיכום.

1. מטרת המחקר לתקופת הדו"ח תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
מטרת המחקר בשלב א' הייתה איסוף נתונים משלוש מערכות: קצרים, שדי תרומות ואילת. על מנת לבנות מודל סימולציה עבור כל מתקן. מטרת המחקר בשלב ב' הייתה פיתוח המודל ובחינת תקפותו. מטרת המחקר בשלב ג' הייתה הפצת המידע לחקלאים
2. עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח.
נאספו נתונים ופותח מודל עבור: קצרים, שדי תרומות, מתקן הפילוט באילת. נערכה בדיקת תקפות (validation) סטטיסטית. המודל לא נדחה ברמת מובהקות של 90%. ראה מאמרים מצורפים. תוצאות המודל והתובנה המערכתית (insight) שהוא מספק, ברמת המתקן, מעל ומעבר לרמת האצווה, הופצו לחקלאים.
3. מסקנות מדעיות והשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרת המחקר בתקופת הדו"ח.
המסקנה המדעית היא שאפשר לפתח מודל סימולציה תקף של משק מדגה מתועש ולהשתמש לו לקבלת החלטות. מטרת המחקר לשנה זו ולכל המחקר - הושגו. ההשלכות המדעיות והיישום – אפשר לבצע ניסויי סימולציה לפני קבלת החלטה על שינוי תפעולי או סימולציה לצרכי תכנון מתקן חדש. ניסוי סימולציה במחשב זול יותר מניסוי במערכת אמיתית, במיוחד אם במערכת האמיתית עלולה לקרות תקלה שפגמה בניסוי או הרגה את הדגים. ניסוי סימולציה לוקח פחות זמן - בכמה שניות מחשב אפשר להריץ תרחישי גידול דגים שבמציאות גדלים במשך שבועות וחודשים. סימולציה ממקדת את התוצאות בגלל תכונתה - 100% הדירות (repeatability) והאפשרות לשנות רק פרמטר יחיד. לעומת הסימולציה, במערכת אמיתית בה רוב הפרמטרים תלויים זה בזה (איכות מים תלויה במזון, טמפרטורה משפיעה, עיוותים – גנטיקה או מים וכ"ו) – קשה לבודד השפעת פרמטר יחיד – בסימולציה אפשר.
4. הבעיות שנותרו לפתרון ו/או השינויים שחלו במהלך העבודה (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים); התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרת המחקר בתקופה שנותרה לביצוע תוכנית המחקר.
פיתוח המודל הסתיים כמתוכנן ומבחינת התקפות הסתיימו בהצלחה. יצחק סימון (שה"מ) יכול להטמיע את המודל במשקים. משקים שירצו בכך, ויש להם את כוח האדם המתאים ומעדיפים להימנע מחשיפת יתרונותיהם המיצועים יכולים להריץ את המודל לבד.
5. האם הוחל כבר בהפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח - יש לפרט: פרסומים – כמקובל בביבליוגרפיה, פטנטים - יש לציין מס' פטנט, הרצאות וימי עיון - יש לפרט מקום ותאריך.
המודלים הופצו בימי העיון שארגן שה"מ/ אגף הדייג. לאחרונה נלמד בקורס תכנון וניהול היצור שארגן אגף הדייג (8 ינואר 2008 בית דגן 1 ינואר 2009 אילת). ראה רשימת מאמרים והרצאות בתחילת הדוח
פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)
רק בספריות
ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט) ☒
חסוי – לא לפרסם ☐

נספחים

נספח א' - לדוח שנה א' צורף דיסקט ובו מתוארים המודלים בעבודות מחקר של 6 סטודנטים להנדסת תעשייה וניהול, שעבדו על קצרין (עינב ומאיה – האחת עבדה על מודל לתכנון המדגה והשנייה על מודל לתפעול המדגה), שדי תרומות (סטולר ויוסף) ומתקן הפיילוט ב- אילת (איתי וניצן) בהנחייתי. כל עבודה כ 70-90 עמודים לכן לא הודפסו. עותק מודפס של העבודות נמצא בספריה של אוניברסיטת בן גוריון.

נספח ב' - מאמר תורת התורים – רצ"ב בקובץ נפרד

נספח ג' - מאמר הסימולציה – רצ"ב בקובץ נפרד

נספח ד' - הוכן על ידי ממ"ר יצחק סימון –מצב "המתועשים" אחרי הפרויקט.

נספח ד' – הוכן על ידי מ"ר יצחק סימון – "מצב המתועשים אחרי הפרויקט". מרץ 2009.

בפרויקט זה בוצע (1) אפיון מודל לתכנון וניהול מדגה מתועש לדגי באס, אמנון ודניס, (2) לימוד תהליך הגידול לימוד מרכיבי התפעול ומדידות בשטח, (3) יישום בשטח.

הצגת הבעיה (חשיבות, מטרות) –

אחת הבעיות שזוהו בדגי המאכל, הכנסה נמוכה לתפוקת הדגים שאינה מספיקה לכיסוי עלויות ההשקעה ב-RAS (Recirculating aquaculture system) זאת אחת מהסיבות שאנו מנסים ליישם את ה-RAS בייצור דגים שהכנסתם ל-1 ק"ג יחסית גבוהה, כמו דגי הדניס, ועל ידי כך להצדיק כלכלית את ההשקעות.

המתקן בעין המפרץ

מערכת RAS לדגי דניס מתפקדת בהצלחה מקצועית וכלכלית בקיבוץ עין המפרץ. בשלוש השנים הראשונות להפעלתו על בסיס ייצור דגי אמנון אדום, לאחר ניתוח כלכלי של צוות המחקר עם מר עוזי בן אשר, מנהל המדגה המתועש כאן, התקבלו נתוני כדאיות גבוליים להשאת הרווחיות מהמתקן. עין המפרץ ערכו הסבה ומעבר לגידול דגי הדניס אשר הכנסתם ל-1 ק"ג בשערי המתקן גבוהה פי 2.5 מההכנסה לדגי האמנון.

בסיוע מודל הסימולציה שפותח בעבר, יחד עם תכנון פיננסי, בדקנו את תהליך ההסבה של המערכת לדגי דניס. הבדיקה התמקדה בעיקר בהתאמת הממשק החדש, למערכת הקיימת, קרי: מספר בריכות מתאים לשלב האימון, כנ"ל לפיטום. הגדרת סעיפי הוצאות הייצור למחירים המעודכנים ומכאן, בחינה כלכלית של הצפי בהוצאות הייצור החדשות, עבור דגי הדניס. הבדיקה הראתה ייתכנות כלכלית מובהקת. ואכן, בניהול מוצלח של צוות עין המפרץ, הייצור השנתי של דגי הדניס הגיע לכדי 70 טון וזאת הסיבה העיקרית כיום, להצלחה כלכלית ומקצועית של החווה.

התקבלו נתונים ברצף, מהמתקן, במהלך הגידול. ביצוע האכלוס היה מקצועי מאוד. בוצע בשלבים מדורגים והגיע לכדי כ-65% מהביומאסה המכסימלית המתוכננת. את התכנון ביצע הצוות בסיוע כלי הסימולציה שפותח.

כאשר צוות המתקן ביצע שיווק ראשון של כ-6 טון דגים, ניתן היה להריץ נתונים אלו, שוב בסיוע סימולציה, שצפי השיווק השנתי – ע"ס 70 טון, יעמוד במבחן הכלכלי.

גם הזנת דגי הדניס כ-400 ק"ג ביום המבוצעת ידנית ב-4 מנות יומיות, אינה דומה לממשק הקודם – אמנון האדום. דגי הדניס ניזון במזון המוגש כמזון שוקע בניגוד לאמנון מצוץ צף.

אמנם ההזנה כאן דורשת יותר ימי עבודה בייצור שאינו דומה לממשק האמנון, בהזנה אוטומאטית, אבל ההשפעה הכלכלית על כדאיות ייצור דגי הדניס, הייתה מזערית.

המתקן בקצרין

גם כאן הרצנו נתוני החווה בסימולציה שפיתחנו. הנתונים הראו אפשרות לרווח במידה והמתקן יגיע לכדי 120 טון ייצור דגי באס, לשנה, במחירים של 27 ₪ למגדל בשערי החווה. לצערנו, עקב בעיות פיננסיות ומתח בין המשקיעים, לא הופעל המתקן ולמעשה הוא לא מייצר כרגע דגים. המתקן בשלביו הראשונים קלט 40,000 דגיגים במתקן האימון למרות שבהרצת הנתונים בסימולציה, היה ברור שכמות דגיגים זו אינה מספקת להשגת התפוקה השנתית. תוכננה קניית דגיגים נוספת שלא בוצעה. שוב הוכח שאי אספקת דגיגים רציפה מונעת את השגת התפוקה השנתית המתוכננת ומכאן הדרך לחוסר ייתכנות כלכלית קצרה.

חמרה

שיטת הייצור כאן מבוססת על רעיון ה'תרחיף הפעיל' (activated sludge) בחמרה נבנו בעבר 20 בריכות בטון של 85 קוב מים כ"א. בריכות אלו היו המודל לבניית 40 בריכות דומות הן במבנה והן בשיטה. זה מביא את החווה להיות בעלת שטח הגדול ביותר בישראל לגידול דגים במערכות סגורות. לא היה ניתן להפעיל כאן כל מודל או כלי דומה למה שפותח היות והמערכת לא תפקדה באופן מלא מעולם. רוב הבריכות כאן ריקות מדגים בעיקר עקב בעיה פיננסית של המשקיע שאינו מסוגל לרכוש דגיגים לאכלוסם ומזון לגידולם. בעבר, בבריכות ה'ויתקות' נערכה תצפית לבחינת שיטת התרחיף פעיל יחד עם פרופסור אבנימלך. התצפית בוצעה בבריכה אחת במתקן הישן עם מזון 20% חלבון.

שדי תרומות

המערכת מתוכננת לייצר 100 טון דגי באס לשנה. תקלה במערכת אספקת החמצן (שסתום בטחון לא נסגר) גרמה לתמותת דגיגים במתקן בלילה שבין ה-6 ל-7 באוגוסט. נספרו כ- 2 טון דגיגים מתים, והנזק נעמד בלמעלה מ- 200,000 ₪. מערכת הגיבוי לא הופעלה עקב בעיות ברגש החמצן.

נבדקה בסיוע הסימולציה אפשרות לייצור במתקן דגי 'לברק', שוב, להשיא את ההכנסה לק"ג דגים משווקים ולהביא את המתקן לכדאיות כלכלית. בהרצת מודל שפותח, תוך הכנסת הנתונים של הממשק החדש התברר שכמות הייצור השנתית לא תעלה על 50 טון, עקב עקומת גידול איטית יותר של 'לברק' לעומת באס. כמות כזו אינה יכולה להבטיח כדאיות כלכלית. כיום המתקן ממשיך ליצר באס והפך למתקן המוביל בישראל ליצור דגי זה. המחיר ל 1 ק"ג מגיע לכדי 30 ₪ ומבטיח כלכליות נאותה בשדי תרומות, למרות שהתפוקה נמוכה יותר מהתכנון. בהרצת המודל זיהינו שלמתקן חסרות בריכות גידול על מנת להביא את התפוקה לייצור של 100 טון לשנה. אולם, המחיר המצוין המתקבל, מוכיח כדאיות כלכלית למרות אי הגעה ליעד הייצור השנתי. מה שאומר, שהמתקן ברמת סיכון גבוהה במידה ומחיר הדגים ירדו לסף ה- 24 ₪ ל 1 ק"ג.

יזרעאל

המתקן מדשדש מאד, ללא סיכוי מקצועי וכלכלי. הסיבות לכך אינן ברורות. למעשה הטכנולוגיה מבוססת על אותה חברה שהעמידה את המתקן בעין המפרץ (HESY) אולם כאן ביזרעאל, החלו בניסיון לגדל באס. הגידול נתקל בקשיים רבים שאין להם הסבר חד משמעי.

התמונה כרגע, עגומה ביותר. המתקן מעולם לא הגיע לייצור של יותר מ-20 טון לשנה ולמעשה הופסקה בו הפעילות המקורית אשר לשמה נבנתה.