

דו"ח מדעי מסכם לתוכנית מחקר 118-0062-16

"פיתוח מודל סימולציה סטוכסטי לאומדן נזק כלכלי ברפת החלב הישראלית"

חוקר ראשי: פרופ' איל קמחי, המחלקה לכלכלת סביבה וניהול, הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה, האוניברסיטה העברית, ירושלים.
חוקר שותף: ד"ר מיכאל ואן-סטרטן, "החקלאית", קיסריה.

תוכן העניינים

2	תקציר בעברית.....
3	1. מבוא.....
5	1.1. מטרות המחקר.....
6	2. חומרים, תהליכי עבודה ושיטות עבודה.....
9	3. תוצאות.....
12	4. דיון ומסקנות.....
12	5. רשימת ספרות.....
14	תקציר באנגלית (Abstract in English).....

תקציר

המטרה העיקרית של תכנית מחקר זו הייתה לפתח מודל כלכלי דינאמי וסטוכסטי לרפת החלב הישראלית, המשלב בתוכו פרמטרים מתחום הבריאות, הממשק, ההזנה, הכלכלה והווטרינריה. מטרה משנית הייתה לחקור ולהשוות בעזרת המודל את התוצאות הכלכליות של החלטות ניהוליות מסוימות ברמת הרפת המשפחתית, השיתופית וכלל ענפית, ולאמוד את הנזק הכלכלי הנגרם לרפת כתוצאה ממחלות ייצור שונות. המודל שנבנה מבוסס על עבודתו של אנדרס ר. קריסטנסן (Anders R. Kristensen), ומבוסס על שיטת Multi-Level Hierarchic Markov Process. המודל משתמש בפרמטרים רבים בכדי לתאר את מחזור החיים של הפרה, ובסופו של דבר מכיל אוסף עצום של צירופי פרמטרים לתיאור "תרחישי" פרות שונים. בשלב הבא המודל אומד את סך ההכנסות וההוצאות הכספיות, הנגזר מהמצב הנוכחי, תוך מקסום של פונקציית המטרה, שביחס אליה מנסים למצוא מדיניות אופטימלית (רווח לפרה, רווח לליטר מכסה וכדומה). בשלב הסופי מוצאים את המדיניות האופטימלית, זו שתניב את תוחלת הרווח הגבוהה ביותר לאורך זמן בהתאם לפונקציית המטרה שהוגדרה. המודל נבנה בתוכנת Python, כאשר ההסתברויות עליהן מסתמך המודל (תמותה בכל שבוע חיים, התעברות בהינתן הזרעה במועד מסוים וכד') חושבו ממסדי נתונים מספר העדר (המב"י) בתוכנת SAS 9.3. בגלל מגבלות זמן ועלויות גבוהות של התכנות, לא הצלחנו להשיג את מטרות של המחקר מבחינת בניית המודל. בניית המודל הסתיימה בשלב בסיסי בו לכל פרה יש מקסימום של 4 תחלובות. ניתן להחליף פרה בסוף כל תחלובה ובמקומה להכניס פרה מ-1 מתוך 3 רמות ייצור (גנטיות) שונות. בכל תחלובה מחושב הערך הכלכלי של הפרה ועל פיו מתבצעת אופטימיזציה (הוצאת הפרה או השארתה בעדר) על פי מקסום 2 פונקציות מטרה אפשריות: 1. הרווח ליחידת זמן (תחלובה) או 2. הרווח ליחידת ייצור (פונקציה המתאימה למדיניות של מכסות).

1. מבוא

בעשרות השנים האחרונות, חלו התפתחויות טכנולוגיות וגנטיות עצומות במשק הבקר לחלב. התפתחויות אלו, ביחד עם שינויים בצריכת חלב ומוצריו, הובילו למצב בו מוחזק מספר גדול יותר של פרות לאדם וליחידת שטח, הפרות יצרניות יותר, והרפתות אינטנסיביות וגדולות יותר. בד בבד עם שינויים אלו, נעשו השווקים תחרותיים יותר, דבר שגרם לצמצום הרווח לפרה. השוק כיום הוא גם מונחה צרכן עד מאוד, מה שגורם לדרישות רבות יותר בתחום רווחת בעלי חיים וטיב המוצר.

כתוצאה מהתפתחויות אלו, הרפתן נדרש לייצר באופן יעיל יותר וברמות איכות גבוהות יותר. מטרתו אלו מושגות בעיקר על ידי יישום של ממשק וניהול טובים יותר. כתוצאה מכך, רפתנים זקוקים לתמיכה באסטרטגיות הניהוליות שלהם על מנת לשרוד מבחינה כלכלית וסביבתית.

הדרך הטובה ביותר לספק תמיכה ניהולית לרפתן היא במסגרת תכנית רפואת עדר שמטרתה לשפר את בריאותם של בעלי החיים ואת הפרודוקטיביות שלהם. על אף השם "רפואת עדר", ייעול הייצור צריך להיות כלול במטרות כיוון שגם כאשר בעלי החיים בעדר נחשבים לבריאים, הדבר אינו מבטיח ייצור מיטבי. יתרה מכך, בהחלט ייתכן שניהול אופטימלי של העדר יחייב השקעה נמוכה יותר בבריאות העדר מאשר זו הדרושה להבטחת בריאות מרבית. על כן, תכנית רפואת עדר מיטבית אינה מתמקדת רק בטיפול ובמניעתן של מחלות ברמת הפרה והעדר, אלא גם ביישום צעדי ממשק והזנה שיובילו לייצור אופטימאלי. כתוצאה מכך, על תכנית כזו לשלב ידע וכלים מתחומים רבים: פיזיולוגיה, וטרניריה, אפידמיולוגיה, הזנה, וכלכלת הרפת. יתר על כן, היא צריכה להיות מבוססת ראיות ועובדות הנגזרות מנתוני הבריאות, הייצור, הפוריות וממשק הרפת.

בעולם מופעלות תכניות רפואת עדר בהצלחה חלקית בלבד. הסיבות העיקריות לכך הן:

א. חוסר בנתוני בריאות, ממשק, ייצור ופוריות ברמת הפרה הבודדת (Nordlund, 2006).

ב. היעדר הכשרה מתאימה לבוגרי בתי הספר לוטרניריה והפקולטות לחקלאות (Cannas da Silva et al., 2006).

בישראל, מופעלת תכנית רפואת עדר מתקדמת מאוד מאז שנות ה-90 המוקדמות של המאה שעברה. התכנית נוסדה על ידי ד"ר עודד ניר ומופעלת עד היום ב"החקלאית", אגודה שיתופית לשירותים וטרניריים. הייחודיות של התכנית היא בכך שהיא מבוססת על מגוון רחב של נתונים בעלי איכות גבוהה, ובכך שהיא משתמשת במודלים סטטיסטיים מתקדמים על מנת לאתר ולכמת קשרים בין גורמי סיכון מסוימים לביצועי ייצור בתנובת חלב, פוריות ותחלואה (van Straten et al., 2009; van Straten et al., 2011). גורמי הסיכון אותם אנו בודקים כוללים מחלות שונות, החלטות ממשקיות (אורך תקופת היובש, אורך תקופת המנוחה הוולונטארית, צפיפות, גיל עגלה בהזרעה ראשונה, עונות השנה ועוד). כאמור, הנזק מכומת באופן ישיר במושגי ק"ג חלב, סיכויים להתעבר וכדומה, אך אין ביכולתנו בשלב זה לכמת את הנזק במונחים כספיים. הסיבות העיקריות לכך הן:

א. שינוי בערכו של משתנה אחד (לדוגמה: אורך תקופת המנוחה הוולונטארית) משפיע על הרבה משתנים אחרים בו זמנית.

- ב. מחלה יכולה לגרום לנזק בכמה תחומים אך הנזק לא יתרחש תמיד בכמה תחומים. דלקת רחם יכולה לגרום לפגיעה בתנובת החלב, פגיעה בהתעברות ופגיעה בסיכוי לשרוד בעדר. פרה, ששרדה דלקת רחם ונשארה בעדר, עלולה להיפגע גם בתנובת החלב וגם בפוריות, וגם לצאת כעקרה מהעדר, אך פרה שמתה 7 ימים מהמלטה כתוצאה מדלקת רחם לא תגרום להפסד בתנובת החלב ולא תיפגע בפוריות. על כן, הנזק הכספי שנגרם כתוצאה ממקרה דלקת רחם יהיה שונה בפרות שונות.
- ג. האירועים המתרחשים ברפת קורים באופן אקראי; יש להם תדירות מסוימת והתפלגות מסוימת והמודלים הנוכחיים אינם מסוגלים לקחת זאת בחשבון.
- ד. מידת הנזק לפרה כתוצאה מגורם מסוים גם היא אקראית. דבר זה לא נלקח בחשבון במודלים הנוכחיים.
- ה. הנזק הכולל המחושב למחלה מסוימת בעזרת המודלים הנוכחיים מחושב בהרבה מקרים תוך הנחה שניתן להגיע למצב בו המחלה מבווערת מהעדר; ברוב המקרים מצב זה אינו אפשרי (דלקת רחם, דלקת עטין) או אינו אופטימלי מבחינה כלכלית. היעדר היכולת לכמת נזקים כספיים כתוצאה ממחלות והחלטות ממשקיות שונות מעמיד אותנו במצב שאיננו מסוגלים לענות על שאלות שהן בבסיס ההחלטות הניהוליות של הרפתן. דוגמאות לשאלות כאלו הן:

1. בהתחשב ביעילות גילוי הדרישות הקיים אצלי ברפת, במחיר חלב קיץ ובביצועי הפוריות והייצור שלי בקיץ, באיזה גיל צריך להזריע את העגלות בפעם הראשונה על מנת למקסם את החוזר בש"ח לליטר מכסה?
2. בהתחשב בעקומות ייצור החלב שלי וביצועי הפוריות שלי, מהי תקופת המנוחה הוולונטארית המיטבית ברפת שלי (מבחינת החוזר בש"ח לליטר מכסה)?
3. בהתחשב בתדירות מחלה מסוימת בעדר שלי ובמחיר טיפול למניעתו (נניח תרכיב נגד דלקת עטין או כל מחלה אחרת) ובתועלת שהוא אמור להניב (נניח במניעת המחלה והנזקים שלה), האם כדאי לי מבחינה כלכלית להשתמש בטיפול?
4. האם כדאי להשתמש בתוסף מזון מסוים?
5. האם כדאי, מבחינת החוזר בש"ח לליטר מכסה, להשתמש בזרמה ממוינת על מנת להגדיל את העדר?

על מנת לפתור בעיות מהסוג הנ"ל יש צורך במודל שיהיה דינאמי, כלומר ייקח בחשבון את כל השינויים המתרחשים בזמנית, וסטוכסטי, כלומר יביא בחשבון אירועים המתרחשים באופן אקראי. ואכן, עם התפתחות היכולות של המחשב בעשורים האחרונים החלו להופיע בספרות המקצועית יותר ויותר דוגמאות של מודלים דינאמיים לפתרון בעיות ניהוליות ובעיות בריאות בתחום הרפת (Dijkhuizen et al., 1986; Houben et al., 1994; Bar et al., 2008; Mohd Nor et al., 2013). אם נתעלם מהבדלים קטנים אחרים, את המודלים הדינאמיים הנ"ל ניתן לסווג לשני סוגים: כאלו המבוססים על אופטימיזציה וכאלו שלא. במודלים מהסוג הראשון, מחושב תחילה מצב של אופטימום: מצב בו נעשו כל החלטות הנכונות על מנת למקסם החזרים. לאחר השגת האופטימום, ניתן להריץ תסריטים שונים ולראות כיצד השתנה החוזר לעומת מצב האופטימום. ההבדל בין השניים נותן את עלות התסריט. מודלים של אופטימיזציה יושמו כבר

לפתרון מספר בעיות ברפת (de Vries 2004, de Vries 2006, Bar et al., 2008). היתרון של מודלים מסוג זה הוא שהם מחשבים אופטימום אליו מושווים כל התסריטים האחרים. החיסרון הגדול של מודלים אלו הוא שהם מוגבלים מאוד במספר המשתנים אותם ניתן לכלול במודל (Kristensen et al., 2010). מודלים מהסוג השני אינם מחשבים מצב של אופטימום. במודלים אלו קובעים מצב ראשוני (על פי נתונים זמינים) ומשווים את התסריטים למצב הראשוני. החיסרון במודלים אלו הוא היעדר מצב "אובייקטיבי" של אופטימום (קיימת אי וודאות לגבי התוקף של המצב הראשוני). היתרון הגדול של מודלים אלו הוא שהם אינם מוגבלים במספר המשתנים שניתן לשלב בתוכם. גם במודלים מסוג זה כבר השתמשו על מנת לפתור בעיות בתחום של ניהול הרפת (Mohd Nor et al., 2012). דוגמה ייחודית למודל מסוג זה הוא SimHerd™. מודל זה נועד לעזור בפתרון של מגוון רחב של בעיות ניהוליות ובריאותיות ברפת. הוא פותח על ידי חוקרים דנים וקיים כמוצר אינטרנטי מסחרי. המודל הדני אינו משלב בתוכו עונתיות ואינו מתאים למדיניות של מכסות חלב ועל כן אינו מתאים לשימוש ברפת הישראלית. בנוסף לכך, השימוש בו יקר מאוד והוא אינו מותאם לקליטה אוטומטית של נתונים המגיעים מחוץ למערכת הדנית.

היעדר כלי כה חשוב לתמיכה ברפתן הישראלי בהחלטות ניהוליות הקשורות לבריאות וייצור העדר בשילוב עם מערכת להפקה, איסוף ועיבוד נתונים מתקדמת אשר כבר קיימת בישראל, הובילה לתכנית המחקר המוצעת. ביסודה של תכנית זו נמצאת בנייה של מודל כלכלי דינמי סטוכסטי לרפת בשיתוף פעולה בין המחלקה לכלכלת סביבה וניהול, הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה, האוניברסיטה העברית, ירושלים, לבין המחלקה לרפואת עדר ואפידמיולוגיה, "החקלאית".

1.1 מטרת המחקר

לצורך ניהול אופטימאלי של הרפת בתנאי שוק תחרותיים, משתנים ומונחי צרכן, נדרש הרפתן לקבל החלטות ניהוליות בתחום הממשק ובריאות בעלי חיים. להחלטות אלו השלכות כלכליות שאת תוצאתן הסופית קשה לכמת מראש כיוון ששינוי במשתנה אחד ברפת גורם לשינויים במשתנים רבים אחרים. החלטות אלו יכולות להתייחס למועד הזרעה אופטימאלית, שימוש בתרופות, תרכיבים ותוספי מזון מסוימים, בניית מערכות ניטור, צינון ושיכון וכדומה. בהיעדר כלי לכימות תוצאות כלכליות של החלטות ניהול תוך התחשבות בכל המשתנים המושפעים, איננו יכולים לתת לרפתן את התמיכה הניהולית לה הוא נזקק.

על כן, **המטרה העיקרית של הצעה זו היא לפתח מודל כלכלי דינמי וסטוכסטי לרפת החלב הישראלית, המשלב בתוכו פרמטרים מתחום הבריאות, הממשק, ההזנה, הכלכלה והווטרינריה.** מטרה משנית היא לחקור ולהשוות בעזרת המודל את התוצאות הכלכליות של החלטות ניהוליות מסוימות ברמת הרפת המשפחתית, השיתופית וכלל ענפית.

המחקר יספק כלי בעל עוצמה רבה, שבעזרתו ניתן יהיה לסייע לרפתן בקבלת החלטות בעלות משמעות כלכלית גדולה. הכלי מתבסס על נתוני רפת מסוימת ולכן הוא יעזור בקבלת ההחלטה הנכונה ביותר מבחינה כלכלית **עבור אותה הרפת.** בנוסף, היות שניתן להזין למודל את הנתונים של רפתות רבות, אפשר גם לנתח בעזרתו השלכות של מדיניות (לדוגמה, מכסות ומחירים) ברמת הענף כולו. ייחודו של המחקר הוא בכך שהוא יספק כלי שלא קיים כעת לרפת

הבודדת ולענף החלב בישראל, ושיהיה תולדה של שיתוף פעולה הדוק בין מומחה לכלכלה
חקלאית וכלכלת הרפת לבין למומחה ברפואת עדר ואפידמיולוגיה. בנוסף, זמינות הנתונים
מתכנית רפואת עדר של "החקלאית" תסייע ביצירת כלי בעל דיוק ואמינות גבוהים בהשוואה
למודל הקיים בדנמרק.

2. חומרים, תהליכי עבודה ושיטות עבודה

2.1 מאפייני המודל העיקריים

מרבית המחקרים הנערכים כיום בעולם בתחום ניהול העדר מהווים שילוב של שני מודולים בלתי תלויים. המודול האחד הינו **המודל הביו-כלכלי** (bio-economic), בו נעזרים בנתונים ובכלים סטטיסטיים בכדי לתאר את מחזור החיים ברפת – עקומות החלב, הסיכויים לחלות, הסיכויים להתעבר, מחיר המטרה, עלויות תפעול וכיו"ב. המודול השני הינו **מודל המדיניות** (policy), בו נעזרים בכלים מתמטיים בכדי לגבש מדיניות אופטימלית (מבחינה כלכלית) עבור מנהל הרפת בהסתמך על נתוני המודל הביו-כלכלי.

הפרויקט הנוכחי כולל את שני המודולים הנ"ל, אולם הוא כולל היבט מרכזי נוסף – **תוכנה** ייעודית למידול ובחינה של מגוון חלופות, הן החלטות ברמת הרפת הבודדת והן מדיניות ענפית כוללת. תוכנה זו הינה למעשה צלע שלישית בפרויקט, ותפקידה הוא לחבר בין שני המודולים (כאמור, נתוני המודל הביו-כלכלי מהווים את הקלט למודל המדיניות) ולהוות ממשק להגדרת מודלים חדשים שיאפשרו לתת מענה לשאלות שונות. בהמשך יפורטו שלבי הפיתוח והמימוש של מודל המדיניות והתוכנה, בהנחה שפרטי המודל הביו-כלכלי ידועים.

1. מודל המדיניות

המודל מבוסס בעיקר על עבודתו של של אנדרס ר. קריסטנסן (Anders R. Kristensen), שהגה ופיתח את המודל המבוסס על שיטת Multi-Level Hierarchic Markov Process (או בקצרה – MLHMP) (Kristensen, 1987; Kristensen and Jorgensen, 1996; Kristensen, 2003). המודל משתמש בפרמטרים רבים בכדי לתאר את מחזור החיים של הפרה, ובסופו של דבר מכיל אוסף עצום של צירופי פרמטרים לתיאור פרות שונות. להלן דוגמאות לסוגי הפרמטרים:

- Stages – סמנים לציר הזמן (מספר תחלובה, חודש קלנדרי, שבוע בתחלובה, שבוע הריון, ניסיונות הזרעה וכיו"ב).
- States – מאפיינים של מצב הפרה (פוטנציאל גנטי, חודש קלנדרי, מצב בריאותי וכיו"ב).
- Actions – פעולות יזומות של מנהל הרפת (הכנסת עגלה, הזרעה, טיפול רפואי, הוצאה מהעדר וכיו"ב. ראוי לציין שהמודל מתייחס לחוסר פעולה כאל פעולה לגיטימית, ולמעשה זוהי הפעולה הנפוצה ביותר).
- Events – אירועים אקראיים בחיי הפרה (תחלואה, הפלה, תמותה וכיו"ב).

בשלב הראשון מרכזים עבור כל צירוף פרמטרים (המתאר, כאמור, פרה) את התרחישים האפשריים עבורו, קרי את המעברים האפשריים מצירוף לצירוף (transitions). לדוגמה, פרה בריאה בשבוע 28 של ההריון יכולה במהלך השבוע להפיל ו/או לחלות, אך היא לא יכולה להמליט (כי אז מדובר בהפלה) ו/או להבריא (כי היא כבר בריאה). כמו-כן ניתן להחליט לייבש אותה או לחילופין להמשיך לחלוב אותה שבוע נוסף. הפעולות והאירועים נגזרים מצירוף הפרמטרים המלא של הפרה, וכך למשל ייתכן שמעברים מסוימים ייתוספו או ייגרעו כפונקציה של מספר התחלובה, החודש הקלנדרי, המצב הרפואי וכיו"ב.

בשלב השני משתמשים בנתוני המודל הביו-כלכלי בכדי להתאים לכל תרחיש שלושה נתונים. בכך נשלם למעשה מידולה של הפרה כההליך החלטה מרקוביאני (MDP), שהוא מודל סטנדרטי בעולם חקר הביצועים. שלושת הנתונים הם:

- Probability – ההסתברות להתרחשותו של המעבר
- Reward – סך ההכנסות וההוצאות הכספיות, הנגזר מהמצב הנוכחי באופן מיידי
- Output – פונקציית המטרה, שביחס אליה מנסים למצוא מדיניות אופטימלית (רווח לפרה, רווח לליטר מכסה, וכדומה)

בשלב השלישי משתמשים בשיטות אופטימיזציה איטרטיביות המבוססות על משוואות Bellman ומוצאים את המדיניות האופטימלית. משמעותה של המדיניות האופטימלית היא כי לכל תרחיש במודל מותאמת הפעולה, שתניב את תוחלת הרווח הגבוהה ביותר לאורך זמן בהתאם לפונקציית המטרה שהוגדרה.

תהליכי MDP ושיטות האופטימיזציה שלהם קיימים כבר משנות ה-50, אולם כמות החישובים הכרוכה בהם הינה עצומה, ובפועל לא ניתן לעשות בהם שימוש במודלים מרובי מצבים. מאז הציג קריסטנסן את המודלים ההיררכיים ואת המודלים מרובי השלבים נסללה הדרך להתמודדות עם מודלים עתירי משתנים, וכיום מודל ה-MLHMP נפוץ למדי, וכבר קיימים מחקרים רבים העושים שימוש בו ובתוצאותיו. עם זאת, כפי שתואר לעיל, לרפת הישראלית ול"החקלאית" יש צרכים ייחודיים, והדבר הציב אתגרים כבדים בתהליך התכנון. שניים מהם היו: 1. הכנסת אפקטים עונתיים למודל (לכל הפרמטרים) 2. התמודדות עם הפלות (לא נכלל במודלים הקיימים).

2.2 חישוב פרמטרים והסתברויות לאירועים שונים במודל

פרמטרים כמו מספר תחלובות מקסימלי ואורך תחלובה מקסימלי חושבו ע"י קביעת אחוזונים לערכים אלו מתוך קובץ נתונים (להלן מדגם 38). קובץ זה המכיל את כל ההמלטות בין מאי 2010 לפברואר 2013 ל-38 רפתות שיתופיות שנבחרו באופן אקראי ופרופורציונאלי לאזור גיאוגרפי מתוך כל הרפתות השיתופיות בארץ. הקובץ כלל 63,227 תצפיות. האחוזון שנקבע לקביעת פרמטרים מסוג זה נע בין 99.0% ל-99.7%, בהתאם לפרמטר. לחישוב הסתברויות לאירועים שונים במודל וכן לזיהוי אירועים המשפיעים על הסתברויות אלו (למשל דלקת רחם על ההסתברות הבסיסית למות אחרי המלטה), השתמשנו במודלים של רגרסיה לוגיסטית כאשר ה-odds לאירוע הומרו להסתברות לאירוע על פי הנוסחה הבאה:

$$P_1 = \frac{odds_{(1)}}{1 + odds_{(1)}}$$

כאשר $P_{(1)}$ היא ההסתברות לאירוע ו- $odds_{(1)}$ הוא ה-odds לאירוע.

2.3 התוכנה

התוכנה נכתבת בשפת Python. Python היא שפה עילית מונחית-עצמים, והיא מתאפיינת בקריאות טובה. מעבר להיותה שפה עשירה וידידותית, אחד היתרונות המובהקים

שלה הוא היותה קוד פתוח (Open source), כלומר שהשימוש בה ובכל התוספות שלה הוא חינמי. הארכיטקטורה כוללת שלושה מודולים עיקריים, המפורטים להלן.

2.3.1 קונפיגורציה

בראייה ארוכת-טווח מדובר על כלי שיאפשר לאנשי "החקלאית" ולמנהלי רפתות כאחד לבדוק כדאיות כלכלית של אסטרטגיות וטקטיקות מגוונות בניהול הרפת. לבחינת תרחישים שונים יידרשו פרמטרים שונים, ולפיכך אחד העקרונות המרכזיים שמנחים אותנו בכתובת התוכנה הוא הנגישות שלה. למטרה זו פיתחנו את תפיסת ה"שלד" – תיאור סכמטי של המודל, ממנו יודעת התוכנה (בהינתן הקבצים הביו-כלכליים המתאימים) לגזור את מרבית הנתונים הנדרשים. היתרון בגישת ה"שלד" בא לידי ביטוי בכך שהוא אינטואיטיבי, ובעובדה שבעתיד ניתן יהיה בקלות יחסית לייצר "אשף ליצירת מודל חדש" (בדומה ל-wizards של תוכנות מסחריות רבות). לשם השוואה, בתוכנה ה-MLHMP של קריסטנסן ניתן לעדכן את המודל באמצעות כתיבה עצמית של סקריפטים ב-java.

2.3.2 אובייקטים

ה-MLHMP מיוצג באמצעות שני class-ים עיקריים: Process לתיאור שלב במודל הרב-שלבי ו-Node לתיאור נקודת החלטה של מנהל הרפת. לשני ה-class-ים יש אוסף מתודות (methods) ושדות (fields) דומים במהות, אך שונים בפונקציונליות. בטבלה שלהלן נערכת השוואה קצרה ביניהם:

PROCESS	NODE	רב-שלביות
שדה בשם children מכיל את כל ה-process-ים וה-node-ים בשלב שמתחת	אין שלב מתחת	
מחושבים בתהליך איטרטיבי רק בשלבי הרצת המודל (אופטימיזציה ו/או חישוב ה-Value)	מחושבים על בסיס נתוני המודל הביו-כלכלי בשלב הבנייה ההתחלתי של המודל	(PHI ו-P) PROBABILITY (M) OUTPUT ו-(R) REWARD

2.3.3 נתונים

הנתונים הנגזרים מהמודל הביו-כלכלי מגיעים כקבצים חיצוניים. מיצוי הנתונים הרלוונטיים מהקבצים ושילובם במקומות המתאימים במודל אינו מובן מאליו (וראו להלן בסעיף האינטגרציה), ולשם כך נוצר מודול ייעודי. המודול מכיל למעשה את כל הפונקציות הנדרשות לשליפה מהירה של הקבצים המתאימים ולביצוע החישובים הרלוונטיים.

2.3.4 האינטגרציה

שפת המודל הביו-כלכלי ושפת מודל המדיניות הינן שונות באופן מהותי, וניתן לומר שהן משקפות את העולמות המשלימים של שני הצדדים בפיתוח – החקלאי והתוכנתי. מתחילת

הפרויקט היה ברור שאיכות שיתוף הפעולה בין העולמות יהיה קריטי להצלחת הפרויקט, ולפיכך הושקע מאמץ רב בתכנון, כך שהנתונים יעברו בין העולמות בצורה ברורה ומסודרת. בסופו של דבר הוגדרו מספר פרמטרים קשיחים לייצוג כל סוגי הנתונים החיצוניים (הסתברויות, מחירים וכיו"ב), ובתהליך בניית המודל הקבצים נבדקים בקפידה בכדי לוודא התאמה להגדרות המודל. כמו-כן הקבצים הרלוונטיים חייבים להיות ממוקמים כהלכה בתיקיית הפרויקט, והדבר מסייע בשמירה על הסדר והבהירות של בניית המודל.

2.3.5 הפרמטרים

בחירת הפרמטרים צריכה להיעשות בקפידה. ריבוי פרמטרים מכביד על המודל ומאריך את הזמן הנדרש לחישוב מצד אחד, ומצד שני הוא מביא לדיוק רב יותר ומאפשר להתחשב ביותר תופעות ולקרוב את המציאות בצורה טובה יותר. ראוי לציין שלפי הידוע לנו, המודל הנוכחי שלנו הינו המורכב ביותר שנחקר מעולם, והוא גם בעל הרזולוציה הגבוהה ביותר בזמן – שבוע. נכון לרגע זה הפרמטרים הקיימים במודל הם:

- שלב 0 (פרה)
 - פרמטרים: פוטנציאל תנובה גנטי, מבנה פרה (פרמטר שמור לתיאור מבנה גוף מולד), חודש קלנדרי
- שלב 1 (תחלובה)
 - סמנים: הפלה
 - פרמטרים: חודש קלנדרי, סוגי המלטה (וולד חי, וולד מת)
- שלב 2 (שלב בתחלובה)
 - פרמטרים: דלקת רחם, שבוע בתחלובה, מצב בריאותי אחרון, תנובה ממשית
- שלב 3 (שבוע בתחלובה)
 - סמנים: סטטוס פוריות, הפלה, יובש, מחלה
 - פרמטרים: תנובה ממשית

3. תוצאות

3.1 פרמטרים והסתברויות לאירועים

3.1.1 מספר תחלובות מקסימליות

מתוך 63,227 התצפיות במדגם 38, ל-99.7% היה מספר תחלובה של 8 או פחות (המקסימום היה 14) ולכן הוחלט שלפרא במודל יכולות להיות עד 8 תחלובות. במידה ופרה עברה בשלום 8 תחלובות, היא יוצאת מהעדר.

3.1.2 אורך תחלובה מקסימלי

על פי מדגם 38 נבחר אורך תחלובה מקסימלי של 85 שבועות.

3.1.3 תמותה במהלך התחלובה

בטבלה 1 ניתן לראות את ההסתברויות שחושבו עד לשבוע 12 לאחר ההמלטה לפרות

תחלובה 1. ניתן לראות שהסיכון למות הוא הגבוה ביותר בשבוע הראשון לאחר המלטה (כ-7 פרומיל). לאחר מכן הסיכון יורד ונשאר קבוע החל משבוע 35 מהמלטה (לא ניתן לראות בטבלה).

טבלה 1. ההסתברות לפרה (תחלובה 1) למות לאחר המלטה (הסתברות בסיס) ומכפלות ההסתברות כתוצאה מאירועים שונים. במודל הטבלה נמשכת עד שבוע 85 אך קוצרה כאן לטובת נוחות ההצגה.

שבוע מהמלטה	הסתברות בסיס	המלטה בחודש אוגוסט	תמותת וולד	דלקת רחם
1	0.00703	1.40958	6.54578	1
2	0.00283	1	1	1.18625
3	0.00283	1	1	1.18625
4	0.00283	1	1	1.18625
5	0.00283	1	1	1.18625
6	0.00108	1	1	1.18625
7	0.00108	1	1	1.18625
8	0.00108	1	1	1.18625
9	0.00108	1	1	1.18625
10	0.00023	1	1	1
11	0.00023	1	1	1
12	0.00023	1	1	1

3.1.4 הסתברות להתעבר (Pregnancy rate, שיעור הרות)

שיעור ההריונות מגיע לשיא כ-15 שבועות (כ-105 ימים) מהמלטה. הוא מושפע, כפי שניתן לראות בטבלה 2, מחודש ההזרעה, תמותת וולד בהמלטה שקדמה להזרעה, ומדלקת רחם. המעניין הוא שדלקת רחם היא בעלת השפעה מוגבלת (עד 63 יום מהמלטה) ואילו ההשפעה של וולד מת נמשכת לאורך כל התחלובה.

טבלה 2. ההסתברות להתעבר (שיעור הריונות) בפרות תחלובה ראשונה לפי תקופות של 3 שבועות מהמלטה ובנוכחות אירועים מסוימים.

תקופה (3 שבועות)	שיעור הריונות	חודש יוני	חודש יולי	חודש אוגוסט	חודש ספטמבר	חודש אוקטובר	תמותת וולד	דלקת רחם
3	0.0249	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.8753	0.5844
4	0.1649	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.8753	1
5	0.2479	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.8753	1
6	0.2193	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.8753	1
7	0.1929	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.8753	1
8	0.2125	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.8753	1
9	0.1641	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.8753	1
10	0.1696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.8753	1
11	0.1486	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.8753	1
12	0.0946	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.8753	1
13	0.0854	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.8753	1
14	0.082	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.8753	1
15	0.0839	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.8753	1

3.1.5 ההסתברות להפלה

ההסתברות להפלה חושבה למספר תחלובה ושבוע בהריון. בטבלה 3 ניתן לראות את ההסתברות להפלה לפרה בתחלובה הרביעית לפי שבוע הריון (הטבלה נחתכה ב-30 שבועות).

בתחלובה זו לא נמצאה השפעה של דלקת רחם או וולד מת בהמלטה על ההסתברות להפיל, ולכן שדות אלו קיבלו את הערך "1" בכל שבוע. מכיוון שההסתברות הכוללת להפלה היא מכפלת ההסתברות הנפרדות, הכפלת הסתברות הבסיס ב-1 לא משנה את ההסתברות (=אין השפעה).

טבלה 3. הסתברות להפלה לפרה בתחלובה הרביעית, לפי שבוע הריון. ערכים של "1" אינם משנים את ההסתברות להפיל כתוצאה מאירוע מכיוון שההסתברות להפיל לפרה בשבוע מסוים היא מכפלת ההסתברויות הנפרדות: ערך של "1" לא ישנה את הערך של ההסתברות הבסיסית.

שבוע בהריון	הסתברות להפלה	תמותת וולד	דלקת רחם
8	0.00777408	1	1
9	0.00777408	1	1
10	0.00777408	1	1
11	0.00777408	1	1
12	0.00777408	1	1
13	0.00777408	1	1
14	0.00777408	1	1
15	0.00777408	1	1
16	0.00777408	1	1
17	0.00777408	1	1
18	0.00484459	1	1
19	0.00484459	1	1
20	0.00484459	1	1
21	0.00484459	1	1
22	0.00484459	1	1
23	0.00484459	1	1
24	0.00484459	1	1
25	0.00484459	1	1
26	0.00484459	1	1
27	0.00484459	1	1
28	0.00351470	1	1
29	0.00351470	1	1
30	0.00351470	1	1

3.2 בניית המודל

בשנת המחקר הראשונה עסקנו בהקמת התשתית, רכישת ידע והבנה, בניית ממשקי קלט, ומיפוי משימות עתידיות. על מנת לוודא את ישימות המודל בנינו מודל מצומצם, הכולל מספר פרמטרים קטן מן המתוכנן, ובחנו את תפקודו. בשנת המחקר השנייה והשלישית הרחבנו את המודל במידה משמעותית, והגענו למצב שהמודל פועל כראוי, מבצע אופטימיזציה ומתכנס, תחת המגבלות הבאות:

1. לפרה יש מקסימום 4 תחלובות
2. כל תחלובה היא שנה
3. יחידת הזמן היא שנה
4. יש 3 רמות ערך גנטי לפרה: טובה, בינונית, לא טובה
5. בכל שלב ניתן למכור את הפרה או להשאירה בעדר
6. פרה לא יכולה למות

7. ניתן לבחור בין 2 שיטות אופטימיזציה :

a. Per stage מקסום רווח ליחידת זמן (כרגע שנה)

b. Per output מקסימלי ליחידת ייצור

לצערנו, לא הצלחנו להגיע לשלב פיתוח מתקדם יותר מהמודל הנ"ל.

4. דיון ומסקנות

המודל אותו הצלחנו לפתח אמנם הצליח להתכנס על פי מקסום שתי פונקציות מטרה שונות, לפי בחירה, אך הוא היה פשוט מכדי לענות על שאלות המחקר אותן הצבנו כמטרות משניות. במהלך פיתוח המודל גילינו כי נדרשות יכולות תכנות והבנה מתמטית עמוקה ביותר, וכי לפתח מודל מלא מהסוג הזה יידרש עוד זמן ומשאבים רבים; הן כספיים והן מבחינת משאבי אנוש לרבות חברי צוות מקצועיים.

למרות הכישלון בהעמדת המודל, נצבר ידע רב בנוגע להסתברויות לאירועים שונים בחייה של הפרה ברפת הישראלית. ידע זה יכול לסייע בהבנת ההשפעה של משתנים שונים (למשל משתני ממשק ותחלואה) על ההסתברות של פרה למות, להפיל, להתעבר או לחלות. כמו כן, במידה ונמצא את המשאבים המתאימים, נוכל להמשיך בפיתוח המודל מהנקודה בה הפסקנו.

5. רשימת ספרות

- Bar D., Tauer L.W., Bennett G., González R.N., Hertl J.A., Schukken Y.H., Schulte H.F., Welcome F.L., Gröhn Y.T. (2008). The cost of generic clinical mastitis in dairy cows as estimated by using dynamic programming. *J Dairy Sci.* Jun; 91(6): 2205-14.
- Cannas da Silva J., J.P.T.M. Noordhuizen, M. Vagneur, R. Bexiga, C.C. Gelfert & W. Baumgartner (2006). Veterinary dairy herd health management in Europe Constraints and perspectives, *Veterinary Quarterly*, 28:1, 23-32.
- de Vries A. (2004). Economics of delayed replacement when cow performance is seasonal. *J Dairy Sci.* Sep; 87(9): 2947-58.
- de Vries A. (2006). Economic value of pregnancy in dairy cattle. *J Dairy Sci.* Oct; 89(10): 3876-85.
- Dijkhuizen A.A., I. J. Stelwagen, J.A. Renkema (1986). A stochastic model for the simulation of management decisions in dairy herds, with special reference to production, reproduction, culling and income. *Prev. Vet. Med.*, 4: 273-289.
- Houben E.H., Huirne R.B., Dijkhuizen A.A., Kristensen A.R. (1994). Optimal replacement of mastitic cows determined by a hierarchic Markov process. *J Dairy Sci.* Oct; 77(10): 2975-93.
- Kristensen A.R (1987). Optimal Replacement and Ranking of Dairy Cows Determined by a Hierarchic Markov Process. *Livestock Production Science*, 16, 131-144.
- Kristensen A.R. and Jørgensen E. (1996). Multi-level hierarchic Markov processes as a framework for herd management support. *Dina Research Report No. 41*, January 1996.

Kristensen A.R (2003). A general software system for Markov decision processes in herd management applications. *Computers and Electronics in Agriculture* 38, 199-215.

Kristensen A.R, Jørgensen E., Toft N. (2010). *Herd Management Science. I. Basic concepts*. Academic Books, University of Copenhagen, Faculty of Life Sciences, Denmark.

Mohd Nor N., Steeneveld W., van Werven T., Mourits M.C., Hogeveen H. (2013). Estimating the costs of rearing young dairy cattle in the Netherlands using a simulation model that accounts for uncertainty related to diseases. *J Dairy Sci.* Feb; 96(2):981-92.

Nordlund K. (2006): 39th Proceedings American Association Bovine Practitioners. St. Paul, MN. Sept. 20-24, 2006. Pages 139-143.

van Straten M., Shpigel N.Y., Friger M. (2009). Associations among patterns in daily body weight, body condition scoring, and reproductive performance in high-producing dairy cows. *J Dairy Sci.* 92(9): 4375–4385.

van Straten M., Siani I, Bar D. (2011). Reduced test-day milk fat percentage in cows diagnosed with claw horn lesions during routine claw trimming. *J Dairy Sci.*; 94(4): 1858-63.

Abstract

Our main objective was to develop a dynamic and stochastic economic model for the Israeli dairy farm, which incorporates parameters related to health, nutrition, management, husbandry and economics. A secondary objective was to use the developed model to investigate and compare economic outcomes resulting from various managerial decisions on different farm types, and to quantify the costs of various production diseases. The model developed was constructed according to the model developed by Anders Kristensen, based on a Multi-Level Hierarchic Markov process. The model utilizes many parameters to describe the life cycle of a cow, and finally includes a vast combination of these parameters to describe possible cow "scenarios". In the next stage, the outcomes are used by the model to estimate the sum of costs and incomes attributed to the present state of a cow, to maximize an objective function' (profit per cow, profit per liter of milk produced) in order to identify the optimal policy. The model was built using 'Python', and the probabilities used in the model were calculated from a database of the Israeli Herd Book using SAS 9.3. Due to time and financial limitations, we did not succeed in achieving our research objectives. Our model building was terminated at a basic stage in which the model included 4 lactations, 3 genetic levels of milk production, and it was possible to replace each cow at the end of her current lactation with a new cow. Optimization was achieved by maximizing one of two objective functions, according to the choice of the user: 1. Profit per time unit (lactation), or 2. Profit per production unit (milk production).