

דוח מסכם לתכנית מחקר מספר 14-0445-277

שנת המחקר: 3 מתוך 3 שנים

### התנהגות רעיה של בקר כאינדיקטור למצב כר המרעה ולשיפור החלטות ממשק

Grazing behavior of cattle as an indicator of rangeland condition for improvement of management decisions

מוגש לקרן המדען הראשי – מרעה  
ע"י

המחלקה למשאבי טבע, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי	דוד אונגר
המחלקה למשאבי טבע, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי	שילה נבון
המחלקה למשאבי טבע, מרכז מחקר נוה-יער, מינהל המחקר החקלאי	זלמן הנקין
המחלקה למשאבי טבע, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי	עזרא בן משה
המחלקה למשאבי טבע, המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי	חגית ברעם

Eugene David Ungar, Institute of Plant Science, Agricultural Research Organization - the Volcani Center, POB 6, Bet Dagan. E-mail: [eugene@volcani.agri.gov.il](mailto:eugene@volcani.agri.gov.il)

Shilo Navon, Institute of Plant Science, Agricultural Research Organization - the Volcani Center, POB 6, Bet Dagan. E-mail: [shilon@volcani.agri.gov.il](mailto:shilon@volcani.agri.gov.il)

Zalmen Henkin, Neve Ya'ar Regional Research Center, Agricultural Research Organization, P.O.Box 1021, Ramat Yishai. E-mail: [henkinz@volcani.agri.gov.il](mailto:henkinz@volcani.agri.gov.il)

Ezra Ben Moshe, Institute of Plant Science, Agricultural Research Organization - the Volcani Center, POB 6, Bet Dagan. E-mail: [ezrabm@volcani.agri.gov.il](mailto:ezrabm@volcani.agri.gov.il)

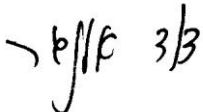
Hagit Baram, Institute of Plant Science, Agricultural Research Organization - the Volcani Center, POB 6, Bet Dagan. E-mail: [hagit@volcani.agri.gov.il](mailto:hagit@volcani.agri.gov.il)

יולי 2015

מנחם אב תשע"ה

מעריכים מומלצים לבדיקת הדוח המדעי

1. דר' יאן לנדוא, מינהל המחקר החקלאי
  2. דר' אריאל שבתאי, מינהל המחקר החקלאי
  3. דר' אילן הלחמי, מינהל המחקר החקלאי
- הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.  
הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא

חתימת החוקר: 

## תוכן עניינים

iii	תקציר
1	1. מבוא
2	2. פירוט עיקרי הניסויים שבוצעו והתוצאות שהתקבלו
2	2.1. אזור המחקר
2	2.2. הפרות בניסוי
3	2.3. בחירה והתאמה של מכשירי הניטור
3	2.3.1. קולר GPS
3	2.3.2. חיישן אקוסטי
5	2.3.3. פדומטר
5	2.4. שלבי הניסוי
5	2.5. תצפיות אימות וקידוד ווידאו
6	2.6. מרכיבי ההתנהגות בסקאלה זמן של חמש דקות
7	2.7. אימות נתוני ה-IceTag
7	2.8. אימות נתוני GPS
7	2.9. אימות נתוני ניטור אקוסטי
8	2.10. בחינה בלתי-אמצעית של נתוני המכשירים
9	2.11. הסקת התנהגות הפרות מנתוני המכשירים
10	3. דיון
10	3.1. אמינות מכשירי הניטור
11	3.2. הסקת התנהגות מנתוני המכשירים
12	3.3. יכולות ושימושים למכשירי הניטור השונים
12	3.4. יישום נוסחאות החלוקה על כלל הנתונים ליצירת דגם פעילות יומי
13	3.5. דברי סיכום
13	4. פרסומים מדעיים
13	5. תודות למממנים
14	איורים
20	סיכום עם שאלות מנחות

## תקציר

**הצגת הבעיה:** חוסר מידע כמותי ואובייקטיבי משטחי מרעה בזמן אמת מקשה על קבלת החלטות שקשורות לממשק רעיה וניהול עדר. ההיפותזה של המחקר הזו היא שקיים קשר הדוק בין התנהגות רעיה של בקר לבין מצב כר המרעה, ושניתן לנצל את הקשר הזה כדי לשפר החלטות ממשק רעיה וניהול עדר. **מטרות המחקר:** מטרת המחקר היא לבחון עד כמה מידע מפורט לגבי התנהגות רעיה יכול לשמש כאינדיקאטור למצב כר המרעה וככלי עזר בקבלת החלטות ממשק רעיה וניהול עדר בקר במרעה. **שיטות העבודה:** נבדקו שלוש טכנולוגיות כדי לאפיין התנהגות: פדומטר מתקדם (מוצר מדף), מכשיר איכון (קולר בפיתוח עצמי) וניטור אקוסטי (חומרה ותוכנה בפיתוח עצמי). הציוד הותקן על 12 פרות בשטחי המרעה של קיבוץ עין השופט בעונות שונות, וצולמו מאות תצפיות של 5 דקות לשם אימות וכיול. פיתחנו שיטת קידוד של התנהגות הפרות ברמה מפורטת ביותר ושיטה להגדרה קטגורית של התנהגות לפי שיטות סיווג שונות. כיילנו את נתוני המכשירים באמצעות שיטת חלוקה למחיצות והפעלנו את המשוואות על מסד נתונים גדול כדי לקבל דגם התנהגות בסקאלות זמן שונות. **תוצאות עיקריות:** רמת האמינות של המשתנים שכל טכנולוגיה מספקת נמצאה גבוהה. נתוני הפדומטר מאפשרים סיווג נכון של אחוז גבוה של תצפיות, אבל שיעור הסיווג הנכון של תצפיות שהוגדרו כרעיה הוא נמוך (חלק ניכר סווג כמנוחה או כעמידה). בחלוקת התנהגות לשלוש קטגוריות (רעיה, מנוחה, הליכה) נתוני מכשיר האיכון מאפשרים סיווג נכון של אחוז גבוה של תצפיות והטעות מאוזנת יותר. הגישה לא מתאימה להפרדה בין שכיבה לעמידה. שילוב של פדומטריה ואיכון הניב תוצאות מעולות. ניטור אקוסטי הוא הגישה המבטיחה ביותר לזיהוי רעיה ומאפשר גם זיהוי העלאת גירה. **מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות:** ניתן לתאר את המהלך היומי של התנהגות פרות במרעה באמצעות כל אחת מהטכנולוגיות שנבדקו, ואפשר להבחין בין עונות השנה שמשקפות, בין היתר, הבדלים במצב כר המרעה. הוכח העיקרון שהתנהגות יכולה לשמש כאינדיקאטור למצב כר המרעה. רצוי להמשיך בפיתוח הטכנולוגיות שנבדקו על מנת להגיע למערכת יישומית.

## 1. מבוא

במערכות ייצור שנשענות על מרעה טבעי, מצב כר המרעה -- מבחינת כמות הצומח ואיכותו -- משפיע באופן ישיר על התנהגות הרעיה של בעלי החיים הרועים בו, והתנהגות רעיה קשורה בצורה הדוקה לצריכה, והצריכה היא הבסיס של הייצור. בהקשר של עדר מסחרי בענף הבקר לבשר, אין למגדל שום מידע כמותי לגבי מצב כר המרעה, התנהגות או צריכה. גם לגבי ייצור, המידע שהוא אוסף על עדר האימהות הוא חלקי ביותר ומסתכם, במקרה הטוב, בשקילה ומצב גופני לעיתים די רחוקות. חוסר מידע כמותי ואובייקטיבי מקשה על קבלת החלטות שקשורות לממשק רעיה וניהול עדר. האם ניתן היום להתקדם באספקת מידע עדכני לגבי מרכיבים אלה של המערכת?

בתחום ההתנהגות, נראה לנו שיש מקום לאופטימיות. בעשור האחרון היו התפתחויות משמעותיות בתחום האלקטרוניקה, הסוללות, והמזעור, וכן בתחום האגירה, השידור והקליטה של נתונים, שרלוונטיים מאוד ליישום חיישן שנישא על ידי בעל החיים בשטחים פתוחים. עלויות יורדות כל הזמן. לגבי התנהגות רעיה, יש להזכיר שלושה כיוונים. הראשון הוא GPS. טכנולוגיה זו בשימוש בארץ למעקב בעלי חיים או עדרים יותר מעשר שנים. החוקר הראשי עובד מספר שנים עם ציוד תוצרת הארץ למעקב עדרי צאן בדרום הארץ. ממידע לגבי מיקום בעל חיים במרחב על פני הזמן אפשר ללמוד על הדפוס היומי של פעילות וחלוקת הזמן בין מנוחה, רעיה והליכה (ללא רעיה), וכן קצב התנועה בזמן רעיה בפועל. אלו מדדים שצפויים להגיב למצב כר המרעה.

הכיוון השני הוא פדומטריה. כדי להואיל בהקשר של התנהגות רעיה, פדומטר חייב לספק תיאור אירועים בסדר כרונולוגי (timeline) ברזולוציה זמן גבוהה מאוד, ורוב המכשירים לא עושים זאת. יש פדומטר תוצרת הארץ (ENG Systems) שיכול לספק מידע ברזולוציה זמן של כ-15 דקות. הציוד הזה פועל על עקרון של שידור וקליטה של נתונים בזמן אמת, ולכן דרושות תשתיות בשטח בנוסף ליחידה שמוותקנת על רגל בעל החיים. אבל, כנראה עלות המערכת לא גבוהה, ובדקנו את האפשרות הזאת, הן מבחינת המידע ההתנהגותי שאפשר להפיק, והן מבחינת עלות. פדומטר אחר שמספק מידע ברזולוציה מאוד גבוהה, והוא אולי המשוכלל ביותר בעולם, זה מד פעילות/פדומטר של חברת IceRobotics בשם IceTag. המכשיר הזה הוא יקר אבל הוכיח את עצמו מספר שנים בארץ. לאחרונה החוקר הראשי עסק בניתוח סטטיסטי כדי להסיק מידע התנהגותי מנתוני ה-IceTag. למטרות שלנו כאן, המכשיר יכול לספק timeline של צעדים ברזולוציה של שנייה ומעלה.

הכיוון השלישי הוא ניטור אקוסטי -- פיתוח בית של החוקר הראשי ולא מוצר מדף. בשנים האחרונות הייתה התקדמות משמעותית בפיתוח הטכנולוגיה הזאת, וניתן לנצל אותה במסגרת המחקר הנוכחי. הרעיון הבסיסי הוא כדלקמן. ניתן להגדיר התנהגות רעייה ברמות ארגון שונות. ברמה הכללית ביותר, הפעילות היומית מתחלקת בעיקר לפרקים של רעייה, העלאת גירה ומנוחה. דגם היומי של פעילויות אלה, השינויים החלים בו במהלך הזמן, והשוואת הדגמים במצבים שונים, מקנה תובנה לגבי מה שקורה בשטח. ברמה מפורטת יותר, אפשר לאפיין רעיה בפועל על ידי מדדים של קצב נגיסה ומספר הלעיסות לנגיסה. מדדים אלה קשורים ישירות לקצב הצריכה של בעל החיים. האטום

של התנהגות רעיה הוא תנועת הלסת, ואפשר להתייחס לצריכה כרצף של תנועות לסת שתפקידן לנגוס או ללעוס את המצחייה. שיטה מתאימה לניטור תנועות לסת מהווה אתגר לחוקרים עשרות שנים. ניטור אקוסטי הוא כעת הטכנולוגיה המבטיחה ביותר שיכולה לספק מידע מדויק ורציף על התנהגות רעיה. על ידי הצמדת מיקרופון לראש בעל החיים ניתן לשמוע כל תנועת לסת ואף להבחין בין סוגיהן. צעד קריטי בפיתוח הטכנולוגיה הוא לפתח אלגוריתם לעיבוד אות שיבצע את סיווג הצלילים לנגיסות, לעיסות, ולעיסות-נגיסות באופן אוטומטי. לאחרונה פותחו האלגוריתמים לעיבוד אות אוטומטי כדי לבנות את הדגם היומי של פעילויות וקצב נגיסה במרעה עשבוני. בנוסף, שודרג הציוד הפיזי הקיים לחיפוש שניתן ליישמו בבקר ובצאן, במרעה, בחורש וביער. ניישם שיטה זו במסגרת המחקר הנוכחי.

לאור האמור לעיל, הגדרנו ארבע מטרות עיקריות למחקר הנוכחי:

- א. העמקה בעניין הגדרת התנהגות של בעלי חיים במרעה ואפשרויות שונות של סיווג.
- ב. בדיקה יסודית של איכות המידע המתקבל מהחיישנים השונים בהם השתמשנו.
- ג. בחינת היכולת להסיק התנהגותן של פרות במרעה על סמך נתונים גולמיים מהחיישנים.
- ד. חישוב דפוס ההתנהגות היומי של הפרות בעונות שונות על סמך הכיולים שהתקבלו.

## 2. פירוט עיקרי הניסויים שבוצעו והתוצאות שהתקבלו

### 2.1. אזור המחקר

שטח המחקר הינו שתי חלקות מרעה בשוליים המזרחיים של אזור רמת מנשה באגן הניקוז של נחל גחר. החלקות נמצאת בשטחי המרעה של קיבוץ עין השופט, המנוהלים על ידי שותפות "ראש העדר" השייכת לקיבוצים עין השופט ומשמר העמק. תוואי שטח הוא גבעי מתון ברום ממוצע של כ-300 מטר. האזור עשיר יחסית במשקעים עם ממוצע שנתי של כ-600 מ"מ. חלקת הניסוי הראשונה בה נערך הסבב הראשון של מדידות (כפי שיפורט בהמשך) הינה חלקה הסמוכה למפטמת העגלים של העדר, וגודלה 85 דונם. גודל החלקה בה נערכו הסבב השני, השלישי והרביעי של מדידות הוא 280 דונם. רוב השטח נמצא במפנה מזרחי וחלקו במפנה צפוני ומערבי בחלקה הראשונה, ודרום מזרחי בחלקה השנייה. השיפועים בחלקות מתונים ונעים בין 3-7%. הצומח הוא בעיקר עשבוני ורוב המינים הם חד-שנתיים, ויש נוכחות משמעותית של קורטם ושומר. בשתי החלקות ממוקמות שקתות בסמוך לאזור בו מוגש זבל עופות כתוספת הזנה בחודשי הקיץ והסתיו.

### 2.2. הפרות בניסוי

בסיס הגזעים של עדר הבקר כיום הינו סימנטל, שרולה, לימוזין, נלורה, דרוטמאסטר, ונורווגי אדום. תמהיל הפרות בעדר נותן משקל לשיקולים של השבחת העדר ליצרנות, ולדנות ועמידות לתנאי שטח ומחלות. עבדנו עם שתי קבוצות של 12 פרות. קבוצה אחת עליה הורכבו מכשירי הפדומטר בלבד (סבב 1), וקבוצה שניה אשר השתתפה בסבבים 2, 3, ו-4. בסבב הראשון, נבחרו באקראי 12 פרות

הרות, מתוך קבוצת פרות ששהתה באותו הזמן בחצר פתוחה הנמצאת במפטמה של ענף הבקר. עבור סבבי הניסוי האחרים, ועל מנת להתמקד בבחירה של פרות מתאימות, הוגדרו שלושה פרמטרים: (1) בעלות קרניים, לצורך חיבור מכשירי האקוסטיקה; (2) בעלות ממדים דומים; (3) פרות שנראו כבעלות מזג נוח, וזה על פי התנהגות הפרות בעת המעבר במכלאה והכרות הבוקרים. מזג נוח של הפרות חשוב על מנת לאפשר עבודה בטוחה בעת הרכבת הציוד במכלאה.

### **2.3. בחירה והתאמה של מכשירי הניטור**

#### **2.3.1. קולר GPS**

בשל עלותם הגבוהה של מכשירי GPS ייעודיים, המשמשים במחקר בבעלי חיים, החלטנו לצורך עבודה זו לבחון את השימוש במכשיר GPS סטנדרטי וזול לרכישה. מכשיר ה-GPS אשר נבחר הוא הדגם GT-600 מסדרת i-gotU של חברת Mobile Action. מידות המכשיר הן  $46 \times 14 \times 41.5$  מ"מ, ומשקלו 37 גרם. למכשיר ה-i-gotU סוללה פנימית בעלת קיבולת של 750 mAh. הנתונים נאגרים בזיכרון המכשיר ויש צורך להוריד את הנתונים למחשב באמצעות כבל. שימוש בשיטה זו לעומת מכשירים המשדרים את הנתונים הינה מסורבלת יותר, אך חסכונית באנרגיה ומשפרת את פרק הזמן בו המכשיר יכול לעבוד ללא צורך בהחלפת סוללה. למכשיר ה-i-gotU יש כמה יתרונות על מכשירי GPS סטנדרטיים המשמשים במחקר בבעלי חיים: מספר גבוה של מיקומים שניתן לאחסן עליו (262,000); רזולוציית דגימה של עד 1 שניות; אפשרות לחיבור מקור מתח חיצוני. ההחלטה על שימוש במכשיר ה-i-gotU הצריכה אימות של דיוק ואמינות המכשיר. בנוסף היה צורך לפתח מערכת נשיאה אשר תאפשר הצמדת ה-GPS לפרה. מערכת זו צריכה להיות עמידה בתנאי השטח ולהגן על ה-GPS וזאת על מנת להבטיח את פעולתו התקינה ולא להגביל את איכות הנתונים הנאספים. בדיקת דיוק המכשיר נערכה ביחס לשני מכשירים הנמצאים בשימוש בארץ במחקר בבעלי חיים. תוצאות ניסויים מקדימים הראו כי הסוללה הפנימית לא מאפשרת זמן שטח מספק. על מנת לקבל זמן עבודה מספק היה צורך להתאים סוללה חיצונית עבור המכשיר והוחלט לייצר מארז סוללות בהזמנה מיוחדת בעל הספק של 23.4 Ah. לגבי הקולר, השתמשנו בשרוולי בד שנתפרו עבורנו. שרוול הבד הינו בד ניילון חזק, לתוכו מכניסים שרוול פלסטי מפוליאאתילן אטום. השרוול מכיל בצורה מוגנת את מארז הסוללות, מכשיר ה-GPS וכבל מאריך לחיבור בין מארז הסוללות למכשיר. בקולר זה, מארז הסוללות הכבד נמצא מתחת לצוואר הפרה, דבר המבטיח את מיקום ה-GPS (המקובע בחבקי פלסטיק לקולר) מעל צוואר הפרה בכל עת. בנינו 12 קולרים של GPS.

#### **2.3.2. חיישן אקוסטי**

על מנת לאפשר הסקת התנהגות הפרה מנתוני קול, יש להבטיח הקלטה רציפה ואיכותית. תהודות הקול הנשמעות כתוצאה מתנועות הלסת של הפרה יכולות להיות מנוטרות על מצח הפרה או בצמוד לקרן. מיקום המיקרופון על המצח אינו מתאים לפרות שינועו באופן חופשי בשטח מרעה במשך מספר ימים ולכן הוחלט למקם את המיקרופון על הקרן. מבין מכשירי ההקלטה והנגנים שבדקנו, אחד

בלט בתכונותיו והוא נגן מוזיקה (mp3 player), מתוצרת חברת Sansa מדגם Sansa clip+. למכשיר זה יכולות מוגבלות בקביעת פרמטרים של ההקלטה, אולם הוא פחות שביר מהרבה מכשירים דומים. משקלו נמוך (24 גרם), גודלו הפיזי קטן (54 x 34 x 11 מ"מ) ויש בו חריץ להוספת כרטיס זיכרון מסוג MicroSD עד לנפח של 32 GB. באמצעות כרטיס זה ניתן לשמור נתוני הקלטה באיכות הנדרשת למשך 8 ימים רצופים (ללא קשר לצורכי אנרגיה).

כדי לעבוד עם המכשיר הזה היה עלינו לפתור שלוש בעיות: (1) המכשיר מקליט בפורמט MP3, ובפורמט זה יש מגבלה של גודל הקובץ האפשרי (2 GB – כ-6 שעות הקלטה). לאחר שהמכשיר מסיים את הנפח האפשרי להקלטה, ההקלטה מפסיקה. אין אפשרות לסגירה ופתיחה אוטומטית של קבצי הקלטה. (2) המיקרופון הוא פנימי ואין אפשרות לחבר מיקרופון חיצוני. (3) הסוללה הפנימית מאפשרת כ-12 שעות הקלטה בלבד. על מנת להתגבר על המגבלה הראשונה, השתמשנו בתכנת קוד חופשי בשם RockBox שניתן להתקין על מכשיר ההקלטה. לתכנה RockBox ישנן אופציות רבות לקביעת הפרמטרים של ההקלטה, כולל סגירה ופתיחה אוטומטית של קבצי הקלטה ושליטה בתדירות הדיגום של ההקלטה.

מצאנו כי מיקרופון מסוג מיקרופון וויברציות מאפשר לקלוט את כל התנודות המתקבלות מקרן הפרה באופן מלא, יחד עם זאת מצאנו כי מיקרופון זה מסייע באופן ניכר בצמצום רעשי הרקע מהסביבה. אנחנו השתמשנו במיקרופון פיק-אפ סטנדרטי, דגם WCP-55 של חברת Cherub (Cherub-Technology, Shenzhen, China).

למכשיר ה-Sansa סוללה פנימית המאפשרת זמן הקלטה של עד כחצי יום. על מנת לאפשר זמן הקלטה של מספר ימים היה צורך להתאים סוללה חיצונית. בשל מגבלות גודל ומשקל פיזי, בחרנו להשתמש במארז של שלוש סוללות מאותו הסוג שהשתמשנו בו עבור מכשיר ה-GPS. שלוש סוללות מסוג זה ביחד, מספקות קיבולת של 7.8 Ah. קיבולת זו אפשרה לנו לנצל את כל נפח האחסון (32 GB) שבכרטיס הזיכרון ולהקליט במשך 7.6 ימים ברציפות. על מנת להגן על המכשיר ומארז הסוללות מפגיעה פיזית, יוצרו על פי מידה, קופסאות ממתכת אל-חלד בבית המלאכה. א. בראון מתכות בע"מ (תל אביב, ישראל).

בנינו 12 סטים של ציוד לניטור אקוסטי ולכל מכשיר קבענו את מקדם התיקון של השעון הפנימי שלו על מנת להביא את נתוני המכשיר לסנכרון מדויק מול המכשירים האחרים ומול תצפיות העין בשטח. פלט נתוני הניטור האקוסטי כולל את רצף תנועות הלסת שבוצעו לאורך זמן ההקלטה ביחד עם הזמן המדויק בו בוצעה תנועת הלסת. זיהוי תנועות הלסת הבסיסי מתבצע באמצעות תוכנה ייעודית שנכתבה לצורך כך. שלבי העיבוד של קבצי הסאונד מתבצעים ברובם באופן אוטומטי על ידי התכנה לזיהוי תנועות לסת. לאחר קבלת רצף תנועות הלסת על ציר הזמן, מריצים קוד מאקרו בתכנת אקסל שמזהה את דפוס פעולות הלסת על ציר הזמן ומסווג את התנועות לתנועות המאפיינות רעיה, או תנועות המאפיינות העלאת גירה.

### 2.3.3. פדומטר

למיטב ידיעתנו פדומטר ה-IceTag של חברת IceRobotics (Edinburgh, Scotland) הוא הפדומטר משוכלל ביותר. המכשיר פותח במקור עבור בקר לחלב אך נמצא בשימוש נרחב גם בבקר לבשר, כבשים ועיזים. ערכת ה-IceTag מורכבת משלושה חלקים: מכשיר ה-IceTag בצורת צמיד לרגל הפרה, קורא אלחוטי, ותכנת מחשב. מכשיר ה-IceTag (מידות במ"מ: עובי 31.5, רוחב 82.3, גובה 95.0; משקל 130 גרם) בנוי מחיישן תאוצה בעל שלושה צירים, שפועל בתדירות דיגום של 16 הרץ. המכשיר אוגר מידע מהחיישנים שלו ברזולוציה של שניה ומאפשר באמצעות התוכנה המצורפת לייצר גם סיכום של הנתונים לפרקי זמן ארוכים יותר. המכשיר יכול לאגור נתונים עד למשך של 60 יום. לאחר הורדת המכשיר מרגל הפרה, מתבצעת הורדת נתונים דרך הקורא האלחוטי. מעטפת הפדומטר ורצועותיו עשויות מניילון קשיח ומאפשרות חיבור עמיד מאוד לרגל הפרה. המכשיר דוגם ארבעה סוגי נתונים: (1) עמידה/שכיבה – נקבעת ע"י מעבר חיישן הקובע מצב אנכי או מאוזן. (2) מעבר לשכיבה (lying bout) מתזמן את מועד המעבר מעמידה לשכיבה. (3) אינדקס תנועה (Motion Index) – מכמת את רמת הפעילות המחושבת על בסיס צרף המידע מחיישן התאוצה בשלושת הצירים. (4) מספר הצעדים (step count). חישוב הצעד מתבצע על ידי מכשיר ה-IceTag או התכנה באמצעות ניתוח של שלושת הצירים אותם מודד המכשיר. רכשנו 12 יחידות של הפדומטר וקבענו לכל מכשיר בנפרד את מקדם התיקון של השעון הפנימי שלו. את חיישן ה-IceTag מרכיבים על אחת מהרגליים האחוריות של הפרה על פי ההוראות המצורפות לחיישן. אנחנו הרכבנו את החיישנים על רגל ימין בסבב הניסוי הראשון ועל רגל שמאל בשאר הסבבים.

### 2.4. שלבי הניסוי

סבב מספר 1 בוצע בחלקה הסמוכה למפטמת הבקר של עין השופט בחודשים יוני-יולי 2012, ובסבב זה הותקנו פדומטרים על הפרות ונעשו תצפיות של התנהגות כולל צילומי ווידאו. סבב מספר 2 נערך בחודשים ינואר-פברואר 2013, ובסבב זה הותקנו פדומטרים וקולרי GPS ונעשו תצפיות של התנהגות כולל צילומי ווידאו. סבב מספר 3 נערך בחודשים פברואר-מרס 2013 ובסבב זה הורכבו מתחילת הסבב פדומטרים לכל אורך הסבב (60 יום), קולרי GPS למשך 30 ימים, וציוד לניטור אקוסטי למשך 5 ימים. במהלך הסבב בוצעו תצפיות עין וצילומי ווידאו לאימות. סבב מספר 4 נערך בחודש יולי 2013 ובסבב זה הורכבו מכשירי GPS ופדומטר למשך כל הסבב (23 ימים) וניטור אקוסטי למשך 8 ימים. במהלך סבב זה בוצעו תצפיות עין וצילומי ווידאו לאימות.

### 2.5. תצפיות אימות וקידוד ווידאו

על מנת לאמת את נתוני המכשירים, בוצעו תצפיות אימות במהלך ארבעת הסבבים. ההגדרות הבסיסיות אתם עבדנו לצורך סיווג ההתנהגות היו כדלקמן. "רעה": פרק זמן בו אין ספק שהפרה נמצאת במצב רעה. במצב זה הפרה עם הראש למטה ומבצעת אכילה או חיפוש אחר מזון. "הליכה": פרק זמן בו הפרה צועדת עם הראש כלפי מעלה לכיוון מסוים ועם מטרה ברורה. "עמידה": עמידה



שקטה, העלאת גירה בעמידה, התנהגות חברתית, או תנועה קלה במקום (loiter). "שכיבה": פרק זמן בו הפרה שוכבת על הארץ, ישנה, נחה או מעלה גירה בשכיבה.

תצפיות האימות העיקריות היו באמצעות צילום ווידאו ומשך כל תצפית היה 5 דקות. זמני התחלה מדויקים מצוינים במלל בתחילת הווידאו, כאשר אמירה ברורה של המלה "עכשיו" מציינת את התחלת הזמן המדויק (שעות, דקות ושניות) אליו מתייחס הסרטון.

על מנת להפוך את סרטוני הווידאו למידע כמותי המאפשר ניתוח, בוצע על סרטוני הווידאו קידוד תוך כדי צפייה. קידוד הסרטונים התבצע על ידי אדם אחד ובוצע באמצעות קוד מאקרו של אקסל. בסך הכל קודדו 296 סרטוני וידאו, באורך של 5 דקות כל אחד. שיטת הקידוד – צפייה בסרטון הווידאו תוך כדי כך שקובץ האקסל פתוח. עבור כל סרטון, נרשם זמן תחילת ההקלטה כפי שנאמר בתחילת הסרטון. בתכנת המאקרו מוגדרים מספר מקשים על המקלדת, כקוד התנהגות המתאים לפעולה אותה מבצעת הפרה. בעת שלוחצים על מקש במקלדת נרשם הזמן המדויק בו בוצעה ההתנהגות. עבור כל סרטון מתקבל רצף ההתנהגות ביחד עם רצף הזמן, באופן זה ניתן לבצע ניתוח כמותי על סרטוני הווידאו. כל אחד מסרטוני הווידאו קודד פעמיים, פעם אחת לצורך וידוא התאמת צעדי הפרה לצעדים הנרשמים במכשיר ופעם נוספת לצורך קביעת התנהגות הפרה.

קידוד התנהגות הפרה מורכב יותר מקידוד הצעדים. התנהגות הפרה משתנה באופן כזה שקשה לחזות בכל רגע את המשך ההתנהגות. למשל, כאשר פרה מורידה את הראש לצורך אכילה יש בעיה לדעת האם תמשיך לרעה פעילה (grazing) או שהאכילה היא אקראית, או אם ביצוע צעד יתפתח להליכה או יסתיים לאחר צעדים בודדים. מסיבה זאת ומכיוון שרצינו להקל על פעולת הקידוד, הוחלט להגדיר ארבע סוגים של פעילויות לקידוד: שכיבה; רעה; לא רעה; לא ידוע. לצורך קידוד הווידאו לא הוגדרו זמני סף להחלטה מתי משתנה ההתנהגות הנצפית או שמא לא היה שינוי בהתנהגות, וזאת על מנת להקל על פעולת הקידוד. נתוני הקידוד של הצעדים וההתנהגות אוחדו בקובץ אחד, ליצירת ציר זמן כולל והגדרת הפעילויות.

על ציר הזמן של ההתנהגות בוצעו חישובים על מנת להגיע להגדרה קטגורית של ההתנהגות. שיטת סיווג אחת הייתה לארבע קטגוריות של רעה, עמידה, שכיבה, הליכה (Graze, Stand, Lie, ). שיטה נוספת הייתה לשלוש קטגוריות של רעה, מנוחה, והליכה (Travel – GSLT). שיטה שלישית הוגדרה על מנת לבחון את אמינות הדיווח של חיישן השכיבה/עמידה של ה-iceTag. כל הפעילויות שאינן שכיבה הוגדרו כעמידה. באופן זה נוצר סיווג על רצף הזמן לשכיבה ועמידה.

## **2.6. מרכיבי ההתנהגות בסקאלה זמן של חמש דקות**

תוצאות אלה מתבססות על 280 סרטוני ווידאו שקודדו. יש לציין שמועדי הצילום כללו שעות של רעה פעילה, או מוקדם בבוקר או לקראת ערב. כאשר סיווג ההתנהגות היה בשיטת GRT (דהיינו, רעה (G), מנוחה (R), הליכה (T), פלוס "לא מוגדר" ו"לא ידוע") היו 163 מקרים של 100% מנוחה,

שני מקרים של 100% הליכה ורק מקרה אחד של 100% רעיה. בכל יתר הסרטונים זמן התצפית לא הוקדש לסוג אחד של פעילות. חלוקת זמן התצפית בין סוגי הפעילות השונים עבור 117 תצפיות אלה מובאת באיור 1. בהגדרה הקטגורית של ההתנהגות, 75 תצפיות סווגו כרעיה, 199 כמנוחה ו-6 כהליכה. כאשר סיווג ההתנהגות היה בשיטת GSLT (רעיה (G), עמידה (S), שכיבה (L), הליכה (T), פלוס "לא מוגדר" ו"לא ידוע") היו 73 מקרים של 100% שכיבה, 71 מקרים של 100% עמידה, שני מקרים של 100% הליכה ומקרה אחד של 100% רעיה. בהגדרה הקטגורית של ההתנהגות, 75 תצפיות סווגו כרעיה, 82 כשכיבה, 117 כעמידה ו-6 כהליכה. כאשר סיווג ההתנהגות היה המפורט ביותר (רעיה פעילה (AG), רעיה קלה (LG), עמידה (S), שכיבה (L), הליכה (T), שוטטות (LT), פלוס "לא מוגדר" ו"לא ידוע") היו 73 מקרים של 100% שכיבה, 71 מקרים של 100% שוטטות, שני מקרים של 100% הליכה ומקרה אחד של 100% רעיה. בהגדרה הקטגורית של ההתנהגות, 77 תצפיות סווגו כרעיה פעילה, 82 כשכיבה, 112 כשוטטות, 3 כעמידה ו-6 כהליכה.

### **2.7. אימות נתוני ה-*IceTag***

סרטוני הווידאו שצולמו בסבבים 1, 3 ו-4 שימשו אותנו להשוואה בין ספירת הצעדים המתבצעת על ידי המכשיר לצעדים בפועל. קודדו בסה"כ 5,194 אירועים, ב-296 סרטונים. פרוט האירועים (סדר יורד): צעד מלא רגלי: 4,927, הרמת רגל: 86, הזזת רגל אחורה: 85, הזזת רגל הצידה: 28, הרמה וצעד: 24, חצי צעד: 22, אחר: 18, הרמה וחצי צעד: 4. מתוך כלל אירועי הקידוד, 95% היו צעדים מלאים. לכן הפירוט הנוסף של הצעדים המיוחדים הסתבר כשולי. אימות ראשונה התקבלה מסיכום סך הצעדים בכל סרטון אימות שקודד, מול נתוני המכשירים כפי שנגזרו. התאמה זו מראה קו מגמה בעל מתאם גבוה ( $R^2 = 0.94$ ), כפי שניתן לראות באיור 2. אימות שניה ומחמירה יותר השווה את רצף זמני אירועי צעד בין המכשיר לבין הקידוד. התאמה בין זוג אירועים נרשמה רק כאשר ההפרש בין זמני האירועים היה פחות מסף מוגדר. הבדיקה מצאה התאמה כללית בין שני רצפי האירועים אבל אפילו בסף התאמה של 0.5 שניה שיעור ההתאמה היה 0.65 בלבד. על סמך קידוד אחר של הסרטונים בוצעה אימות של רישום שכיבה/עמידה על ידי המכשיר. כאן רמת הדיקוי הייתה גבוהה מאוד ושיעור הטעות (שחושב ממספר השניות של אי התאמה) היה 1.4% בלבד.

### **2.8. אימות נתוני GPS**

שיעור הקריאות שנמצאו בתוך שטח החלקה (כולל 5 מטר מחוץ לגבולותיה) היה 99.7% מתוך 681215 קריאות. במהלך התצפיות של סבבים 2, 3 ו-4 הוגדרו אזורי הימצאות. בחלק מהתצפיות נרשמה האזור בו שהו רוב הפרות באותה התצפית. הצלבה בין רישום התצפיות לנתוני ה-GPS מראה התאמה ויזואלית טובה בין האזורים שהוגדרו מראש לבין המיקום שנרשם בזמן התצפית.

### **2.9. אימות נתוני ניטור אקוסטי**

סנכרון של הווידאו עם הזמן המתאים מקובץ השמע בכמה סרטונים הראה התאמה בין תנועות הלסת אשר רואים על המסך לרצף הלעיסות אשר נשמע בפס הקול. נבדק גם הקשר בין קצב תנועות

לסת לפי התוכנות הייעודיות לזיהוי ולסיווג תנועות לסת לבין סך הזמן בו הפרה הייתה ברעיה לפי קידוד הסרטונים ( $n = 21$ ) והתקבלה התאמה טובה ( $R^2 = 0.82$ ).

### **2.10. בחינה בלתי-אמצעית של נתוני המכשירים**

מכשיר ה-IceTag: מאפיין בסיסי של התנהגות הפרה הוא חלוקת הזמן בין שכיבה לעמידה (כולל כל התנהגות שמתבצעת בעמידה, כגון רעיה). הייתה חלוקה דומה של היום בין שכיבה לעמידה בסבבי החורף והאביב (11.2 שעות שכיבה ו-12.8 שעות עמידה). בסבב הקיץ החלוקה הייתה 9.9 שעות עמידה לעומת 14.1 שעות שכיבה. איור 3 מראה את שיעור הזמן המוקדש לעמידה ולשכיבה לאורך היממה ובעונות השונות. בכל העונות, ניתן להבחין בשני שיאים במהלך היום בהם הזמן בעמידה גובר, בתחילת שעות האור ובסופן. בהתאם לכך ישנם כ-3 פרקי שכיבה יומיים: לפני רעיית הבוקר, בצהריים (אך פחות מובחנת ומשולבת בעמידה), ובערב לאחר שיא הפעילות השני. איור 4 מראה את מספר הצעדים לאורך היממה ובעונות השונות. ניתן לראות התאמה בין דגם הצעדים היומי לבין דגם העמידה/שכיבה היומי מבחינת מועדי פעילות השיא וזמני ירידת הפעילות המתאימים לשעות בהן הפרות שוכבות בעיקר. מספר הצעדים ליום היה 3,085, 3,693 ו-3,412 בסבבים 2, 3 ו-4. מכשיר ה-GPS: מרחק התנועה הממוצע לפרה היה 4,395, 4,759 ו-5,024 מטר ליום בסבבים 2, 3 ו-4. איור 5 מראה את מרחק התנועה לאורך היממה ובעונות השונות. התקבל דגם דומה מאוד לדגם הצעדים היומי.

ניטור אקוסטי: התוכנה שמעבדת את קבצי הקול מייצרת, בין היתר, רצף של תנועות לסת כאשר כל תנועת לסת מלווה בזמן המדויק של האירוע. זה הרמה הבסיסית והגולמית ביותר של תוצאות התוכנה. מהרצף הגולמי של תנועות לסת חישבנו את קצב תנועות לסת ברזולוציה של דקה, ומנתונים אלה הכנו איור שמראה על ציר ה-X את מספר הדקה ביממה ובציר ה-Y את קצב תנועות לסת, עבור כל יממה בנפרד (איור 6). רואים מכן מספר דברים: א) יש פעילות לסת משמעותית כמעט בכל שעות היום. ב) אפשר לזהות העלאת גירה כמקבצים של נקודות בקצב מאוד דומה. ג) העננים היותר מפוזרים של נקודות מייצגים רעיה. ד) יש פרק רעיה אחד בשעות המוקדמות של היום (0500 עד 0800 בערך), ועוד פרק רעיה לקראת ערב (1700 עד 2100 בערך), ועוד פרק רעיה של כשעה באמצע הלילה, ועוד פרקי רעיה קצרים בשעות אחרות של היממה, אך בקצב תנועות לסת נמוך יחסי. ה) הרעיה היא לא עניין של "כן" או "לא", אלא היא מתנהלת בטווח מאוד רחב של קצב תנועות לסת. מבחינת קצב תנועות לסת, פרקי הרעיה העיקריים של הבוקר ושל הערב מתפתחים בהדרגה וכן מסתיימים בהדרגה.

הפעלנו את התוכנה להפרדה בין העלאת גירה לבין רעיה וחישבנו את החלוקה ביניהם. הפרה ביצעה כ-48000 תנועות לסת ביממה שהתחלקו בין כ-26560 (55%) תנועות לסת ברעיה וכ-21440 (45%) תנועות לסת בהעלאת גירה. התוכנה זיהתה 3133 רצפים של תנועות לסת של

העלאת גירה (boli) ומספר תנועות לסת שמוקדש לכל בולוס (bolus) היה 47.90 בממוצע, עם שגיאת תקן של 0.21 וסטיית תקן של 12.0.

הפעלנו את התוכנה לקביעת ציר הזמן (timeline) של פעילות (רעיה, העלאת גירה, מנוחה). כאשר הקריטריון של מנוחה הוגדר כהפסקה ללא תנועת לסת של לפחות 60 שניות, החלוקה בין שלושת הפעילויות האלה הייתה: רעיה: 41%, העלאת גירה: 26%, מנוחה: 33%.

על מנת לאפיין את דגם הפעילות היומית, חישבנו את ממוצע קצב תנועות לסת בעת רעיה ובעת העלאת גירה בנפרד, לפי דקה של היום, על פני כל הפרות וימי הניטור (איור 7). רואים בצורה מאוד ברורה שלושה גלים עיקריים של רעיה שהשיא שלהם מתרחש בשעה 0100, 0530, ו-1930. כמו כן יש שלושה גלים עיקריים של העלאת גירה: במשך כ-3 שעות אחרי גל הרעיה באמצע הלילה, במשך כ-3 שעות לקראת גל הרעיה בערב, ובמשך 3-שעות אחרי גל הרעיה בערב. בשעות הרעיה של הבוקר ושל הערב הפעילות הכמעט בלעדית של העדר היא רעיה. לעומת זאת, ביתר שעות היום יש ערבוביה של רעיה ושל העלאת גירה בקרב פרות הקבוצה, אם כי אפשר לזהות פעילות דומיננטית ברוב שעות היום חוץ מהשעות 0800 עד 1300 שבהן קצב תנועות לסת של רעיה ושל העלאת גירה נמוך מאוד והפרות נחות בעיקר.

כל המכשירים ביחד: כאשר מאחדים את נתוני כל המכשירים ביחד (סבבים 3 ו-4) ניתן להשוות את הדגמים המתקבלים משלושת המכשירים (איור 8). ההתאמה בין הדגמים מעידה על כך שהסקת התנהגות ברמה כזו או אחרת יכולה להתבצע על ידי כל אחד מהמכשירים באופן נפרד. ניתן לראות כי קיימת התאמה בין דפוס נתוני העמידה והשכיבה לדפוס נתוני תנועות הלסת שסווגו כרעיה וכהעלאת גירה. וכן ניתן לראות כי נתוני ה-GPS של סך המרחק ונתוני הצעדים של ה-IceTag מראים דגם דומה.

## **2.11. הסקת התנהגות הפרות מנתוני המכשירים**

ניתוח מחיצות בוצע עבור שתי שיטות הסיווג GRT ו-GSLT. את תוצאות הניתוחים ניתן לראות בטבלת השיבוש (confusion matrix; איור 9) אשר מראה את ההתאמה בין ההתנהגות האמתית לבין ההתנהגות כפי שסווגה על ידי עצי החלוקה.

סיווג באמצעות משתני מכשיר ה-IceTag: בשיטת סיווג GRT ניתוח המחיצות הצליח לסווג נכון 79% מהתצפיות. רוב הטעויות הן של סיווג רעיה כמנוחה (62% טעות בסיווג). עבור סבב 4 התקבלו תוצאות טובות יותר, ו-87% מהתצפיות סווגו באופן נכון. תצפיות המנוחה סווגו באופן מצוין, אך הבעיה העיקרית הייתה סיווג רעיה כמנוחה, עם 79% טעות בסיווג. בשיטת סיווג GSLT משתני הפדומטר מאפשרים חלוקה טובה בין עמידה ושכיבה אבל שיעור הסיווג הנכון נשאר בינוני (78%). הבעיה הגדולה שנשארת היא ההפרדה בין עמידה לרעיה, והתכנה מצליחה לסווג באופן נכון רק 25% מהרעיה. עבור סבב 4 שיעור הסיווג הנכון היה 87% והטעות המירבית (79%) הייתה בסיווג של רעיה כמנוחה.

סיווג באמצעות משתני מכשיר ה-GPS: בוצע על סמך תצפיות סבב 4 בלבד. בשיטת סיווג GRT ניתוח המחיצות הצליח לסווג נכון 92% מהתצפיות. סיווג ההליכה התבצע באופן מושלם, סיווג המנוחה היה טוב מאוד (8% טעות), וסיווג הרעיה היה די טוב (11% טעות) וטוב בהרבה מאשר סיווג באמצעות משתני ה-IceTag בלבד. בשיטת סיווג GSLT התוצאות היו טובות פחות (72% סיווג נכון) מאשר הסיווג על סמך נתוני ה-IceTag, אך באופן מפתיע התקבל סיווג נכון של השכיבה ב-99% מהתצפיות. שיעור הסיווג הנכון של רעיה ושל הליכה היה 100%. הטעות העיקרית בסיווג היא עמידה כרעיה (n = 13) ועמידה כשכיבה (n = 21) כך שמתוך 40 תצפיות רק 5 סווגו כעמידה (87% טעות). משתנה משמעותי בניתוח זה היה המרחק הממוצע של הפרות ממרכז הקבוצה.

סיווג באמצעות משתני מכשיר ה-GPS ומכשיר ה-IceTag ביחד: בשיטת סיווג GRT ניתוח המחיצות הצליח לסווג באופן נכון 94% מהתצפיות. מספר תצפיות של מנוחה סווגו כרעיה. גם בשיטת סיווג GSLT שיעור סווג הנכון היה 94%. הסיווג בוצע באופן מושלם מלבד להתנהגות העמידה שעבורה מספר תצפיות סווגו כרעיה.

סיווג באמצעות ניטור אקוסטי: בשיטת סיווג GRT ניתוח המחיצות הצליח לסווג באופן נכון 86% מהתצפיות. כל התצפיות שקודדו כרעיה או כהליכה סווגו נכון. 7 מתוך 10 תצפיות שקודדו כמנוחה סווגו כך.

### 3. דיון

#### 3.1. אמינות מכשירי הניטור

אמינות הדיווח של מכשירי הניטור בהם השתמשנו הראתה תוצאות טובות. ראינו כי הדיווח של מכשיר ה-IceTag לגבי מספר הצעדים הכולל אותם ביצעה הפרה בפרקי זמן של 5 דקות היה בדיוק גבוה. בדיקת תזמון הצעדים נתנה תוצאות טובות פחות ועמד על 65% התאמה, וזאת כאשר אפשרנו הפרש של עד 0.5 שניה בהגדרת התאמה. הדיווח של חיישן המנח (שכיבה/עמידה) הראה תוצאות מעולות. נתונים אלו מראים כי כאשר הוא עובד באופן תקין, מכשיר ה-IceTag מבצע עבודה מצוינת וניתן לסמוך על הפלט המתקבל ממנו. בכל זאת ישנן כמה בעיות בהן נתקלנו ויש לקחת אותן בחשבון. (1) על מנת להשתמש בנתוני המכשירים יש לבחון את פלט הנתונים באופן קפדני: שניים מתוך 12 מכשירים התחילו בשלב מסוים להראות נתונים אשר חרגו מטווח הנתונים הסביר. (2) חיישן המנח מראה תופעה של "הדבקות" למצב שכיבה כאשר הפרה מרימה את הרגל תוך כדי עמידה. (3) בעבודות בהן יש צורך בסנכרון מקורות מידע שונים עם מכשיר ה-IceTag יש לתקן עבור טעות השעון של המכשיר (clock drift). (4) המכשיר לא מפריד בין צעדים קטנים וגדולים, דבר שלדעתנו יכול היה לסייע בהפרדת התנהגות הרעיה מהתנהגות העמידה או שוטטות. מכשירי ה-GPS מסוג i-gotU, אשר התאמנו לעבודה זו, הראו דיוק טוב ואמינות בדיווח על מיקום. כמעט כל נקודות הציון שהתקבלו על ידי המכשירים במהלך הסבבים השונים היו בתוך גבולות החלקה או במרחק סטייה תקין מהן. הבעיה במכשיר זה הייתה תופעה של הרבה קריאות רציפות

באותה נקודת הצינור. זה מקשה במקרים בהם הפרה ביצעה תנועה איטית והשינוי במיקום לא התקבל באופן רציף אלא במקוטע. בעיה זו ככל הנראה הקשתה עלינו להפריד בין סיווג תנועה המאפיינת רעיה לבין עמידה. מהצד השני, בעיה זו יכולה להוות יתרון כאשר הפרה אכן לא מבצעת תנועה. בהשוואה לקולרים מסחריים סטנדרטיים, עלותו הכוללת של מכשיר ה-i-gotU ביחד עם הציוד הנלווה לו (סוללה וקולר מותאם) נמוכה באופן משמעותי. איכות הנתונים ממכשירי ה-i-gotU מאפשרת תיעוד מפורט של מסלולי הרעיה של הבקר בשטח וכן תיעוד מפורט של הפיזור המרחבי של הבקר.

הניטור האקוסטי בעבודה זו היווה את החלק המאתגר ביותר. להבדיל ממכשירי ה-GPS והפדומטר, אין בנמצא מכשירים לניטור אקוסטי אשר זמינים באופן מסחרי. התאמת נגן מוזיקה סטנדרטי לעבודה זו היוותה אתגר טכני גדול, זאת בנוסף לאתגר של ניתוח הנתונים והתאמתם לרצף הזמן של המכשירים האחרים. הצלחנו לקבל לראשונה בעבודות מסוג זה, ניטור אקוסטי ברצף זמן של כ-8 ימים. יכולות התכנה בזיהוי תנועות לסת נבחנו גם כן על סט נתונים גדול בהרבה ממה שבוצע עד כה. יכולותיה של התכנה בזיהוי והפרדת תנועות הלסת והניתוח המשלים באמצעות הקוד לסיווג תנועות לסת (רעיה/העלאת גירה) הראתה תוצאות טובות בהשוואה בין מספר תנועות לסת לבין זמן רעיה כולל בתצפיות בדידות.

עבור שיפור יעילות היצור של הבקר במרעה, וכן מההיבטים של השפעת הבקר על הסביבה, היכולת לכמת ולהבין את ההתנהגויות הקשורות באופן ישיר לצריכת מזון היא יתרון ברור של הניטור האקוסטי. המשך פיתוח תחום זה צפוי לאפשר, בין היתר, את היכולת להבדיל בין תנועות הלסת השונות אותן מבצעת הפרה בזמן רעיה (נגיסה, לעיסה, נגיסה-לעיסה), וכן בתנועות המתבצעות במהלך העלאת גירה. מידע זה לא יכול להתקבל מאף אחד מהמכשירים האחרים אתם עבדנו.

### **3.2. הסקת התנהגות מנתוני המכשירים**

בשיטת סיווג ההתנהגות לפי GRT, ובאמצעות שיטת ניתוח המחיצות, סווגו נכון 79% מהתצפיות מכל הסבבים כאשר הניתוח התבסס על משתני הפדומטר בלבד. הניתוח המקביל על סמך נתוני ה-GPS בלבד הניב שיעור סווג נכון של 92%. שילוב שני המכשירים שיפר את התוצאות (שיעור סווג נכון של 94%). מידת הפיזור המרחבי של קבוצת הפרות תרמה באופן משמעותי לטיב התוצאות. שילוב של נתוני פדומטר, איכון וניטור אקוסטי הצליח לסווג באופן נכון 86% מהתצפיות.

בשיטת סיווג ההתנהגות לפי GSLT, מתחלקים זמני המנוחה של הפרות בין שכיבה ועמידה. חלוקה זו הינה בעלת משמעות בשאלות העוסקות בהוצאת אנרגיה בבקר וכן בשאלות העוסקות באופן השימוש של הפרות במרחב. קיים הבדל בין אזורי רביצה למנוחה לילית לבין האזורים המשמשים למנוחה במהלך היום. על ידי משתנה הפדומטר Lie, ניתן לזהות שכיבה באופן קל ומדויק. נתוני הפדומטר בלבד אפשרו שיעור סווג נכון של 78% מהתצפיות. הטעות העיקרית הייתה סיווג מוטעה

של רעיה כעמידה. הניתוח המקביל על סמך נתוני ה-GPS בלבד הניב שיעור סווג נכון של 72%. שילוב שני המכשירים שיפר את התוצאות (שיעור סווג נכון של 94%).

### **3.3. יכולות ושימושים למכשירי הניטור השונים**

בתחום הניטור המרחבי, העבודה עם GPS היא דבר מתבקש, ואנחנו סבורים שלא מוצתה היכולת להפוך את הנתונים המתקבלים מה-GPS לדגם התנהגות מדויק יותר ממה שהושג עד כה. דפוס התנועה של הפרות במרחב וכן אופי הפיזור המרחבי של העדר הם לדעתנו נושאים שיוכלו לתרום גם להבנת השימוש במרחב אך גם לאפיון התנהגות של הבקר. שיפור נוסף ביכולת לזהות פעילות מנתוני ה-GPS יכול אולי להתקבל מניתוח דגם המסלול של הפרות, בשיטות סטטיסטיות של ניתוח מסלול כמו אלו המשמשות בניתוח תנועה של בעלי חיים. הניטור באמצעות הפדומטר בלבד מאפשר זיהוי מצב הפרה בין שכיבה ועמידה וכן מאפשר הפקת דגם פעילות יומית. מידע זה מאפשר למצוא באופן פשוט יחסית חריגות מההתנהגות הנורמאלית של כל פרה ופרה. מכשירים אלו הם כיום הזמינים ביותר באופן מסחרי ובמחיר סביר. התוכנות המשולבות מאפשרות ניתוח נתונים ממכשירי הפדומטר המסחריים, מוכוונות לשימושי רפת החלב. לצורך יישום ושימוש הפדומטרים בענף הבקר במרעה או ככלי לניטור התנהגות במחקר העוסק בבקר במרעה, יש לפתח אלגוריתמים ייעודיים לשאלות הנוגעות לפרות במרעה. הניטור האקוסטי נמצא כאמור בשלבי פיתוח וייקח עוד זמן עד שיהפוך לזמין לשימוש אפילו בתחום המחקר, אך יכולות הניטור אשר אמצעי זה מאפשר מתאימות לכימות ודיוק בניטור צריכת המרעה ואופי התנהגות האכילה של הבקר באופן שלא היה זמין עד כה.

### **3.4. יישום נוסחאות החלוקה על כלל הנתונים ליצירת דגם פעילות יומי**

ניתוח המחיצות שהתבסס על ניתוח נתוני ה-GPS לחוד וה-IceTag לחוד הראה טעות גדולה בסיווג הרעיה (שיעור ניכר סווג כפעילות אחרת). הרעיה הינה ההתנהגות החשובה ביותר בסדר היום של הפרה, ולכן השווינו שלוש שיטות לסיווג התנהגות הרעיה: (1) חלוקה לפי נתוני GPS וה-IceTag; (2) חלוקה לפי כל המכשירים; (3) כימות זמן רעיה לפי קצב תנועות הלסת. איור 10 מראה את זמן הרעיה היומי כפי שמתקבל לפי השיטות השונות בין הסבבים ובין הימים. ניתן לראות את השונות הגבוהה המתקבלת בין השיטות אשר כוללות את נתוני האקוסטיקה ובין השיטה אשר לא כללה את נתוני האקוסטיקה.

ממוצע שעות הרעיה הכולל שהתקבל לפי הניתוח שערכנו על פי הסקה מנתוני כלל המכשירים היה 6.8 שעות בסבב 3 ו-5.4 שעות בסבב 4, כאשר בשני המקרים שני שלישי מהרעיה התרחש בשעות היום (בין 5 בבוקר ל-8 בערב). בניתוח שבוצע על סמך נתוני ה-GPS וה-IceTag בלבד, התקבלו תוצאות גבוהות במקצת: 8.4 שעות בסבב 3 ו-7.9 שעות בסבב 4. נתונים אלו מתאימים לנתונים שמופיעים בספרות אך מקוצר היריעה אין אפשרות לפרט.

נוסחאות סיווג ההתנהגות מניתוח המחיצות (אשר כלל את נתוני ה-GPS וה-IceTag) הועתקו לסט נתונים אשר כלל את סיכום המשתנים על בסיס 5 דקות ברצף היומית, כך שכל שורה בסט הנתונים

מייצגת את סיכום 5 דקות של פרה, ביום מסוים. מתוך סט הנתונים המלא נגזרו השורות בהם היו קיימים נתוני GPS, IceTag, ואקוסטיקה ביחד. עבור כל שורה נקבעה על ידי סט הנוסחאות מניתוח המחיצות, מה היא הפעילות הכי סבירה שהתרחשה באותן 5 דקות, וכן כמה זמן מתוך אותם חמש דקות הוקדש לרעיה על פי הנוסחה המקשרת תנועות לסת של רעיה לזמן רעיה בפועל. סט הנתונים המלא סוכם כך שבכל חצי שעה נספרו מספר הפעמים בהן התקיימה התנהגות מסוג מסוים. בכל חצי שעה חושבה חלוקת הזמן הממוצעת בין ההתנהגויות השונות (איור 11), ובאופן זה מתקבל דגם ההתנהגות היומית לפי החלוקה להתנהגויות השונות. ניתן לראות דמיון רב בין דגם הפעילות כפי שמתקבל מניתוח זה לבין דגמי הפעילות המתקבלים מניתוח הנתונים הכללי.

### **3.5. דברי סיכום**

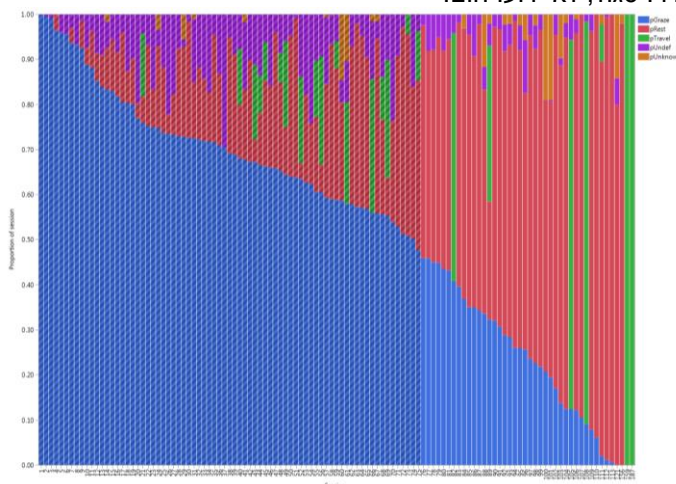
האם התנהגות רעיה של בקר יכול לשמש כאינדיקטור למצב כר המרעה ולשיפור החלטות ממשק? על סמך העבודה הנוכחית אנו נוטים לענות בחיוב לשאלה זו. ראינו הבדלים ברורים בין עונות השנה ואנו בטוחים שאם יכולנו לבצע ניטור רציף על פני מחזור שנתי אחד, נוכל לגלות מגמות ושינויים בהתנהגות בסקאלה זמן הרבה יותר עדינה. מבחינת מכשירי ה-IceTag קיימת האפשרות לבצע ניטור רציף במשך מספר חודשים, ואפשר להוריד נתונים ולרענן את הציוד להפעלה נוספת בשדה תוך מספר ימים. מבחינת מכשירי ה-i-gotU המגבלה העיקרית היא משקל הסוללות. כעת אנחנו בודקים דור חדש של סוללות לקולרים שלנו. השאיפה היא להגיע לאותו זמן ניטור רציף שמתאפשר במכשיר הפדומטר. נציין שאם מתפשרים ברמת הדיוק של קריאות ה-GPS ובתדירות הדיגום (5 דקות), אפשר כבר להפעיל את הקולרים מאות ימים ברציפות. הפעלה כזו לא תאפשר סיווג התנהגות אבל כן ייתן מענה סביר לפיזור המרחבי של העדר. לגבי ניטור אקוסטי, יש צורך לבצע עבודה נוספת, ובעיקר דרושות תצפיות נוספות שבאמצעותן ניתן יהיה לבחון את היכולת להפריד בין ההתנהגויות השונות. ההישג בעבודה זו מבחינת העבודה עם המכשירים לניטור אקוסטי הוא הוכחת היכולת לבצע ניטור אקוסטי על פני פרקי זמן ארוכים בהרבה מכל מה שנעשה בעבר, לנתח בהצלחה נפחים אדירים של קבצי קול, ולהתאים את ניתוח הנתונים לציר זמן אחיד עם מכשירים שונים ותצפיות. המשך המחקר צריך להתמקד בהארכת זמן ההקלטה של ניטור אקוסטי על מנת להפוך את הטכנולוגיה הזאת לשיטה יישומית. כמו כן, המשך המחקר צריך להתמקד בדיגום מצב כר המרעה בתדירות יחסית גבוהה על מנת להוכיח את הקשר בינו לבין התנהגות הרעיה של הבקר.

### **4. פרסומים מדעיים: מאמרים בעברית ובאנגלית בשלבי בהכנה**

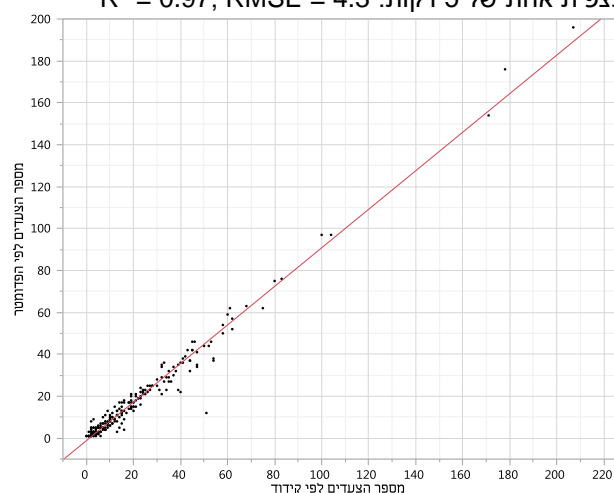
### **5. תודתנו לקרן מדען ראשי ולקק"ל/הנהלת ענף המרעה שמימנו את המחקר.**



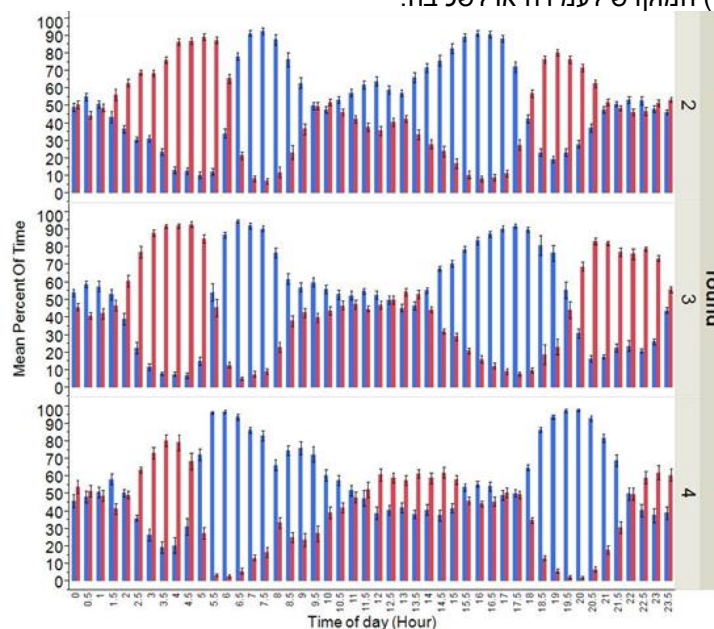
איור 1: חלוקת הפעילויות בתוך תצפיות של 5 דקות כאשר סיווג ההתנהגות הוא לפי רעיה, מנוחה, הליכה (GRT). תצפיות שהיו אך ורק מנוחה ( $n = 163$ ) לא כלולים באיור. התצפיות המסומנות סווגו כרעיה. ציר ה-X: מספר התצפית לפי סדר יורד של זמן רעיה פעילה; ציר ה-Y: שיעור זמן התצפית המוקדש לכל פעילות. הפעילויות: רעיה: כחול; מנוחה: אדום; הליכה: ירוק; לא מוגדר: סגול; לא ידוע: חום.



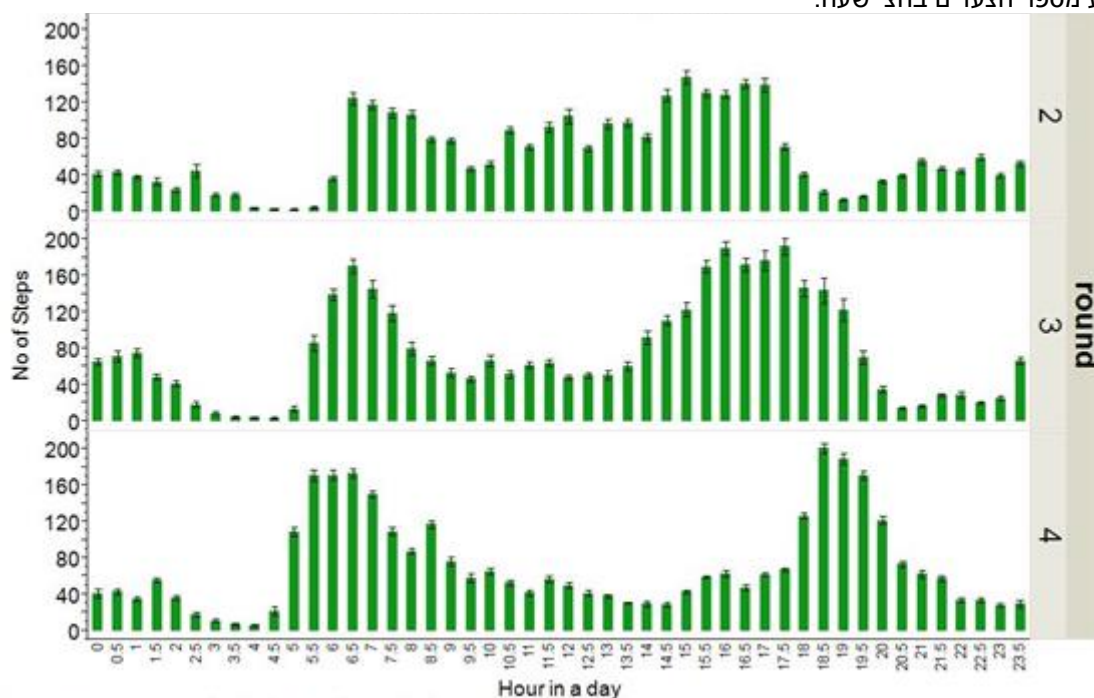
איור 2: התאמה בין מספר הצעדים שקודדו בתצפיות הוויאדא (ציר ה-X) לבין מספר הצעדים שדווחו במכשיר ה-IceTag (ציר ה-Y). כל נקודה מייצגת תצפית אחת של 5 דקות.  $R^2 = 0.97$ ;  $RMSE = 4.3$ .



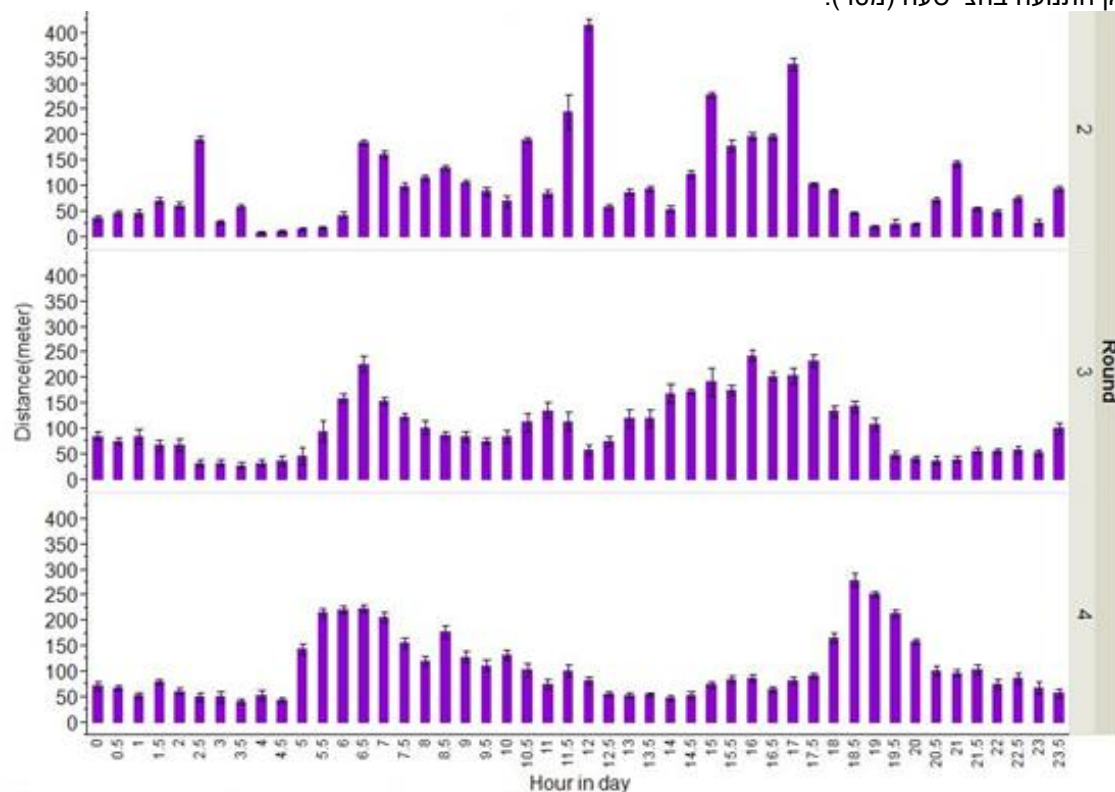
איור 3: חלוקת הזמן בין שכיבה (אדום) לעמידה (כחול) כל חצי שעה לאורך היממה בכל סבב (round). שגיאת התקן מתייחסת לשונות בין הפרות, ומבוססת על חישוב ממוצע הערכים לכל פרה בנפרד. ציר ה-X: חצי שעה לאורך היממה; ציר ה-Y: שיעור הזמן (%) המוקדש לעמידה או לשכיבה.



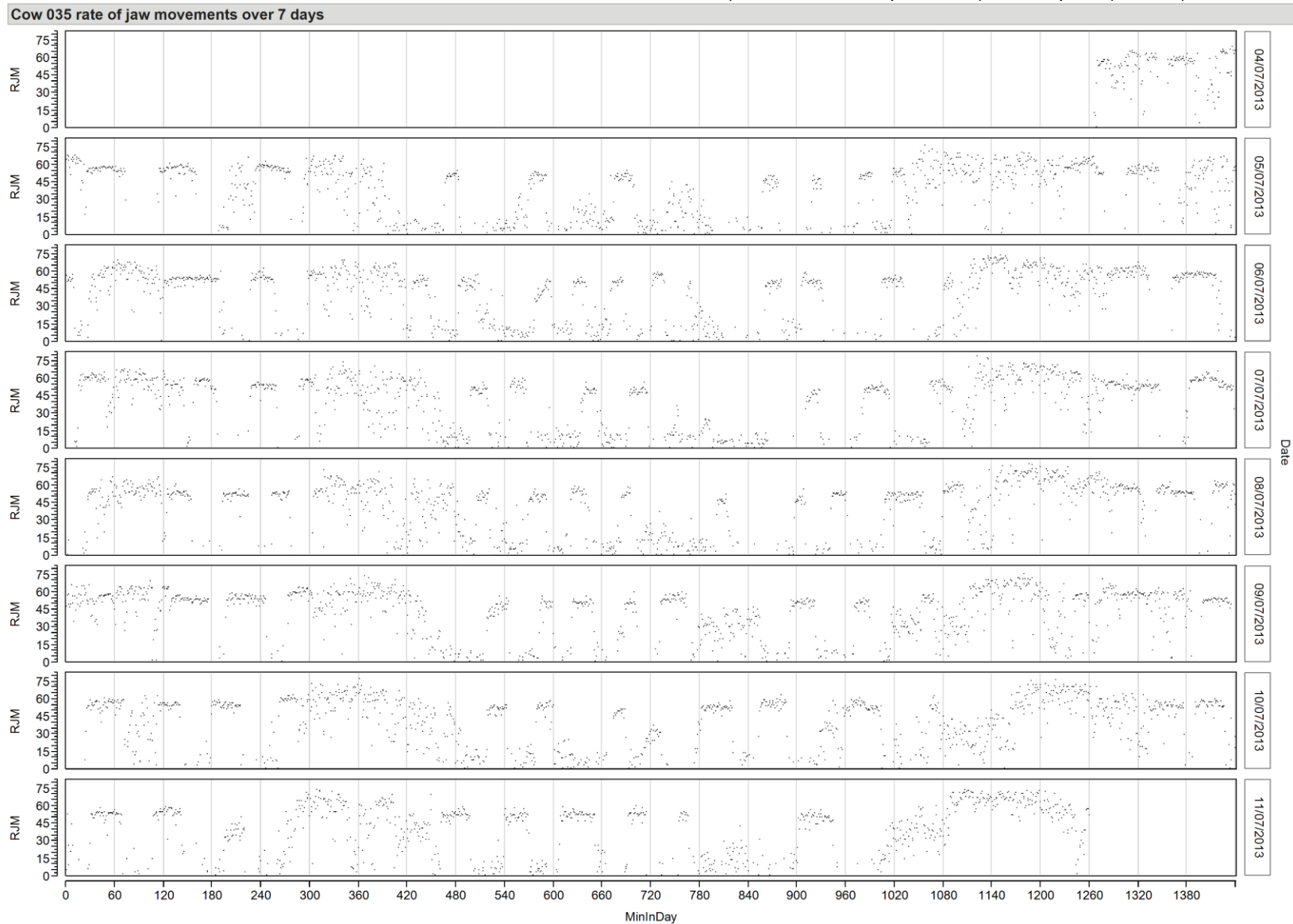
איור 4: דגם מספר הצעדים לאורך היממה בכל סבב (round). שגיאת התקן המוצגת מתייחסת לשונות בין הפרות: בכל סבב חושב ממוצע של סך כל הצעדים בכל חצי שעה בכל יום עבור כל פרה. ציר ה-X: חצי שעה לאורך היממה; ציר ה-Y: ממוצע מספר הצעדים בחצי שעה.



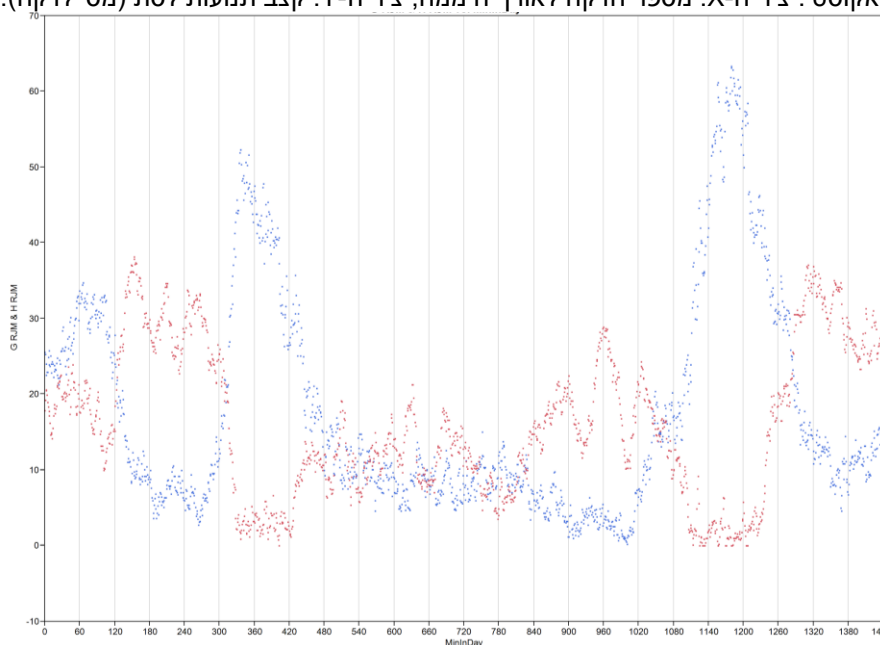
איור 5: דגם מרחק התנועה לאורך היממה בכל סבב (round). שגיאת התקן המוצגת מתייחסת לשונות בין הפרות: בכל סבב חושב ממוצע המרחק בכל חצי שעה בכל יום עבור כל פרה. ציר ה-X: חצי שעה לאורך היממה; ציר ה-Y: ממוצע מרחק התנועה בחצי שעה (מטר).



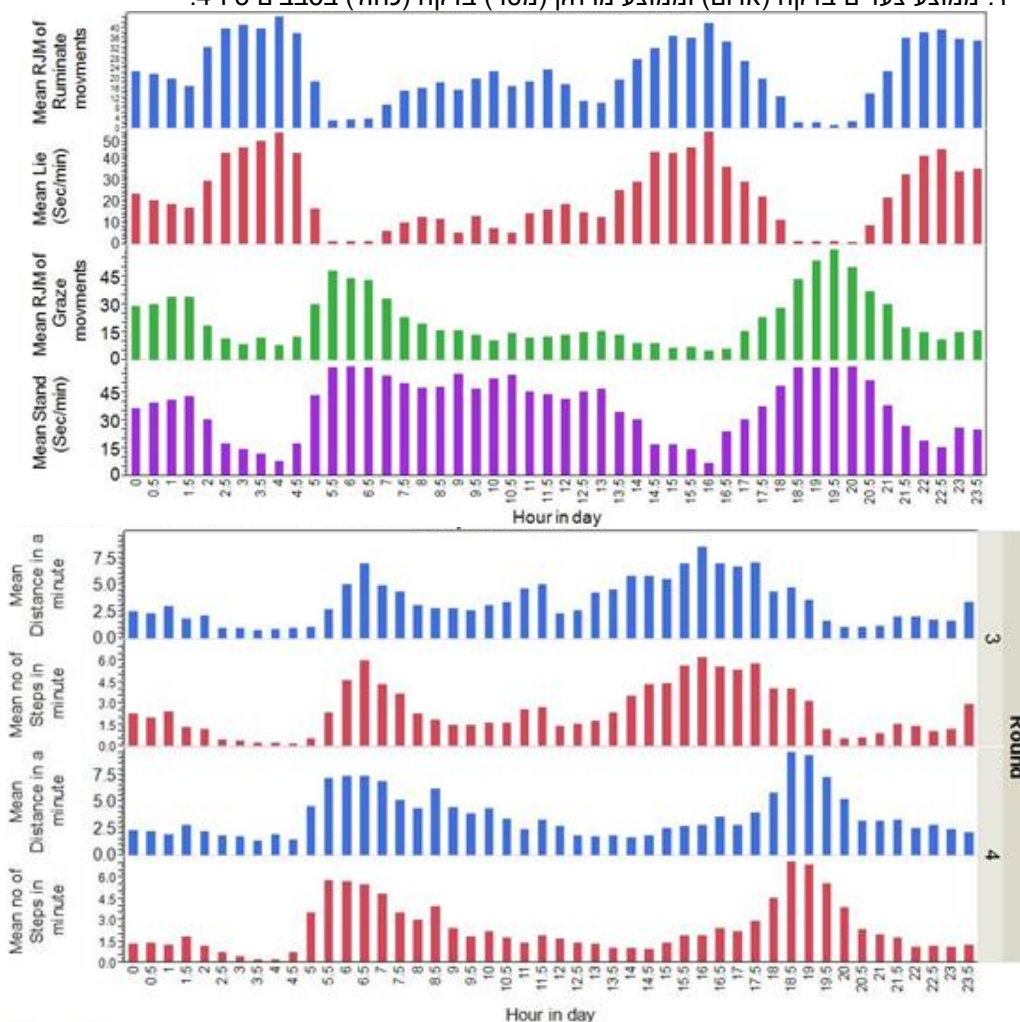
איור 6: קצב תנועות לסת (ציר ה-Y) לאורך היממה (מספר הדקה ביממה בציר ה-X) עבור 7 יממות החל משעה 2100 ב-4 ביולי 2013 עבור פרה אחת.



איור 7: הדגם הכללי של קצב תנועות לסת של רעיה (כחול) ושל העלאת גירה (אדום) במהלך יממה. מבוסס על 76 יממות של ניטור אקוסטי. ציר ה-X: מספר הדקה לאורך היממה; ציר ה-Y: קצב תנועות לסת (מס' לדקה).



איור 8: לוח עליון מראה השוואה בין נתוני האקוסטיקה לנתוני IceTag בסבב 4. הדגם החצי שעת המוקדם מנתוני העמידה והשכיבה מתאים לדגם המתקבל מניתוח הרעיה מול העלאת גירה (בהתאמה). לוח תחתון מראה השוואה בין נתוני המרחק כפי שנמדדים על ידי ה-GPS לנתוני הצעדים כפי שנמדדים על ידי ה-IceTag. ציר ה-X: חצי שעה במהלך היום; ציר ה-Y: ממוצע צעדים בדקה (אדום) וממוצע מרחק (מטר) בדקה (כחול) בסבבים 3 ו-4.



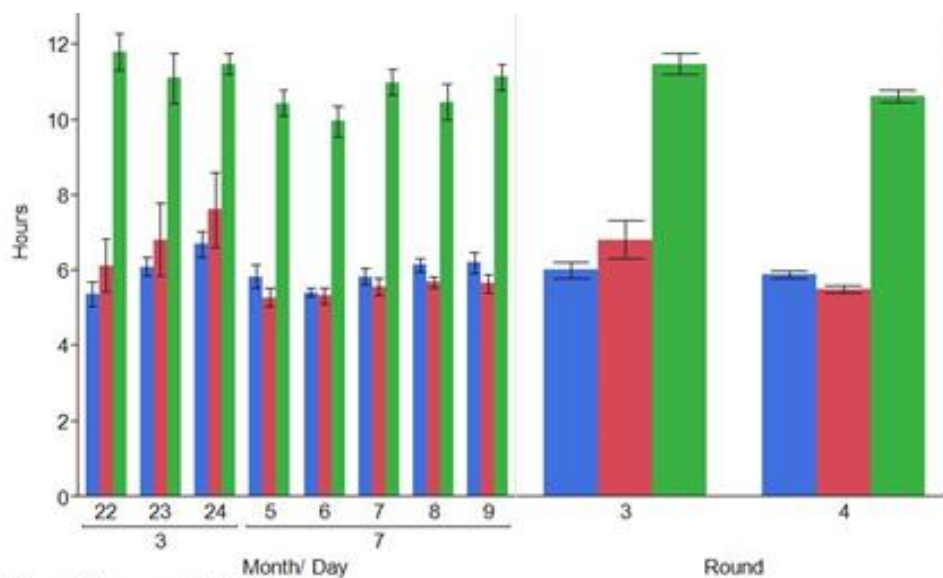
איור 9: טבלת שיבוש (confusion matrix) שמראה הצלחת סיווג הפעילויות על ידי השימוש בחלוקה למחיצות. לוח עליון לפי הגדרת התנהגות על בסיס GRT, לוח תחתון על בסיס הגדרת התנהגות על בסיס GSLT. נבדקו צירופים שונים של מכשירים: פדומטר בלבד עבור איחוד התצפיות בסבבים 2, 3 ו-4; פדומטר בלבד, איכון בלבד, ופדומטר ואיכון ביחד עבור סבב 4. בסיווג GRT נבדק גם שילוב של פדומטר, איכון וניטור אקוסטי עבור סבב 4. המספרים שאינם באחוזים הם מספרי תצפיות. המספרים המודגשים הם שיעור הסיווג הנכון עבור כלל התצפיות בניתוח.

סבב בניתוח	מכשיר בניתוח	שיעור סיווג נכון (%)	מס' תצפיות	פעילות חזויה			GRT פעילות בתצפית
				הליכה	מנוחה	רעיה	
2, 3, 4	פדומטר	38	71	0	44	27	רעיה
		93	191	1	178	12	מנוחה
		100	4	4	0	0	הליכה
		<b>79</b>					
4	פדומטר	21	19	0	15	4	רעיה
		98	107	1	105	1	מנוחה
		100	4	4	0	0	הליכה
		<b>87</b>					
4	איכון	89	19	0	2	17	רעיה
		92	107	1	98	8	מנוחה
		100	4	4	0	0	הליכה
		<b>92</b>					
4	פדומטר ואיכון	100	19	0	0	19	רעיה
		93	107	1	99	7	מנוחה
		100	4	4	0	0	הליכה
		<b>94</b>					
4	פדומטר, איכון וניטור אקוסטי	100	8	0	0	8	רעיה
		70	10	2	7	1	מנוחה
		100	3	3	0	0	הליכה
		<b>86</b>					

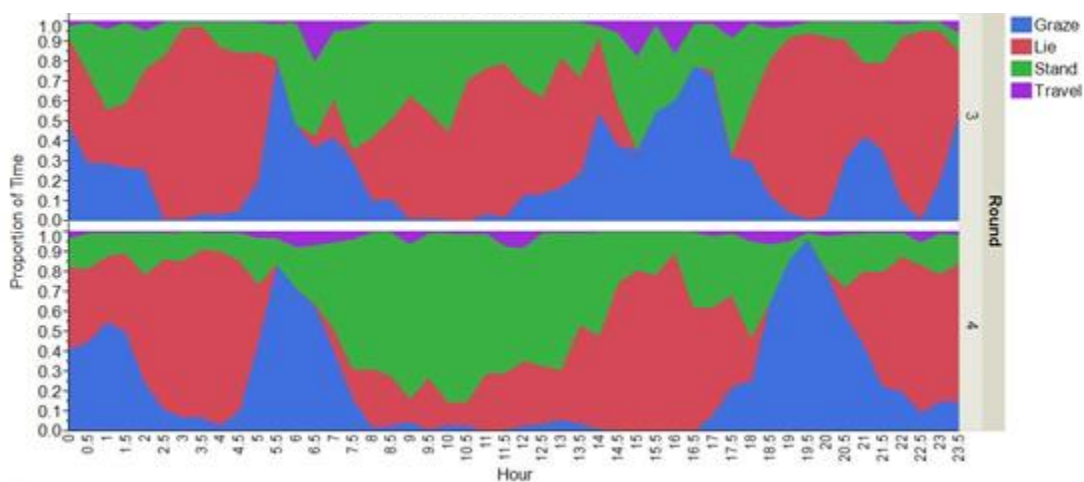
  

סבב בניתוח	מכשיר בניתוח	שיעור סיווג נכון (%)	מס' תצפיות	פעילות חזויה			GSLT פעילות בתצפית	
				הליכה	עמידה	שכיבה		
2, 3, 4	פדומטר	25	71	1	52	0	18	רעיה
		100	82	0	0	82	0	שכיבה
		95	108	0	103	0	5	עמידה
		100	4	4	0	0	0	הליכה
		<b>78</b>						
4	פדומטר	21	19	0	15	0	4	רעיה
		100	64	0	0	64	0	שכיבה
		95	40	1	38	0	1	עמידה
		100	4	4	0	0	0	הליכה
		<b>87</b>						
4	איכון	100	19	0	0	0	19	רעיה
		99	67	0	1	66	0	שכיבה
		13	40	1	5	21	13	עמידה
		100	4	4	0	0	0	הליכה
		<b>72</b>						
4	פדומטר ואיכון	100	19	0	0	0	19	רעיה
		100	67	0	0	67	0	שכיבה
		80	40	1	32	0	7	עמידה
		100	4	4	0	0	0	הליכה
		<b>94</b>						

איור 10: השוואת ממוצע שעות רעה יומי בין הסבבים (לוח ימני) ובין הפרות לפי ימים (לוח שמאלי). שגיאת תקן מחושבת לפי ממוצעי שעות הרעה ליום לפרה עבור הסבבים ועבור הימים. כחול: על סמך שילוב של שלושת מכשירי הניטור (פדומטר, איכון, אקוסטיקה); אדום: על סמך ניטור אקוסטי בלבד; ירוק: על סמך פדומטר ואיכון בלבד.



איור 11: חלוקת הזמן בין ההתנהגויות השונות. לוח עליון: סבב 3, לוח תחתון: סבב 4. כחול: רעה, אדום: שכבה, ירוק: עמידה, סגול: הליכה.



### סיכום עם שאלות מנחות

**מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.** מטרת המחקר היא לבחון עד כמה מידע מפורט לגבי התנהגות רעיה יכול לשמש כאינדיקטור למצב כר המרעה וככלי עזר בקבלת החלטות ממשק רעיה וניהול עדר בקר במרעה. התוכנית היא לאפיין התנהגות רעיה באמצעות שלוש טכנולוגיות: GPS, פדומטריה ואקוסטיקה. **אלו ממטרות המחקר הושגו בעבודת המחקר הנוכחית.** כל המטרות הושגו. **עיקרי התוצאות.** פותחה שיטת קידוד של התנהגות ברמה מפורטת ושיטה להגדרה קטגורית של התנהגות לפי שיטות סיווג שונות. כוילו נתוני המכשירים באמצעות שיטת חלוקה למחיצות והמשוואות הופעלו על מסד נתונים גדול כדי לקבל דגם התנהגות בסקאלות זמן שונות. נתוני הפדומטר אפשרו סיווג נכון של אחוז גבוה של תצפיות, אבל שיעור הסיווג הנכון של תצפיות שהוגדרו כרעיה הוא נמוך. בחלוקת התנהגות לשלוש קטגוריות נתוני מכשיר האיכון מאפשרים סיווג נכון של אחוז גבוה של תצפיות והטעות מאוזנת יותר. שילוב של פדומטריה ואיכון הניב תוצאות מעולות. ניטור אקוסטי הוא הגישה המבטיחה ביותר לזיהוי רעיה ומאפשר גם זיהוי העלאת גירה. **מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו.** ניתן לתאר את המהלך היומי של התנהגות פרות במרעה באמצעות כל אחת מהטכנולוגיות שנבדקו, ואפשר להבחין בין עונות השנה שמשקפות, בין היתר, הבדלים במצב כר המרעה. הוכח העיקרון שהתנהגות יכולה לשמש כאינדיקטור למצב כר המרעה. רצוי להמשיך בפיתוח הטכנולוגיות שנבדקו על מנת להגיע למערכת יישומית.

בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה: אין.

הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: הרצאות בימי עיון. פרסומים בכתב בשלבי הכנה.

פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)