

## דו"ח מסכם לתכנית מחקר מספר 458-0574-13

פיתוח חיישן אקוסטי למדדים התנהגותיים בצריכת מזון על ידי בעלי חיים במרעה

Development of an acoustic grazing behavior sensor for animals in  
rangeland

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

אמוץ חצרוני המכון להנדסה חקלאית, מנהל המחקר החקלאי  
יג'ין דוד אונגר המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר החקלאי

Amots Hetzroni, Agricultural Engineering, ARO, P.O.B. 173 Bet Dagan 5025001. E-mail:  
amots@volcani.agri.gov.il

Eugene David Ungar, Plant Sciences, ARO P.O.B. 155 Bet Dagan 5025001. E-mail:  
eugene@volcani.agri.gov.il

### תקציר

חסר מידע על בעלי חיים במרעה חופשי. מטרת המחקר היא לקדם את הטכנולוגיה לניטור אקוסטי של בעלי חיים במרעה לבשלות ולשילוב גורם עסקי. שיטות העבודה כללו: פיתוח המכשור הפיזי מבחינת סוגי מיקרופון, ומכשיר הקלטה, משך הקלטה, צריכת אנרגיה, נפח אחסון, ממשק טיפול בקבצים וקיבוע לחיה; פיתוח תוכנה לעיבוד אות אוטומטי ולקביעת פעילות; ואיסוף הקלטות על ידי מערכת אב-טיפוס בבקר, בכבשים ובעיזים, מפרטים רבים, ובטיפוסי נוף שונים ובעונות שונות. תוצאות עיקריות: פותח אב-טיפוס של חיישן אקוסטי בעלות נמוכה בעיקר על בסיס מוצרי מדף. החיישן לכבשים ועיזים מותקן בקרן ומתאים להקלטות של יום רעה של עד 10 שעות. החיישן לבקר מותקן גם הוא על הקרן אבל מאפשר הקלטה רציפה של כשבועיים. פותחו תוכנות לעיבוד אות אוטומטי כדי לזהות תנועות לסת יוצרות קול, לסיווג תנועות לסת, ולקביעת דגם הפעילות לאורך היממה. התוכנה הופעלה בהצלחה על הקלטות של בקר, כבשים ועיזים, ובכולם נוצר ציר זמן מפורט של זרם תנועות לסת שאומת מול צילומי ווידאו. הושג דיוק רב בהקלטות נקיות מרעשי רקע. ניתן להסיק פעילות (רעה פעילה, העלאת גירה, מנוחה) מהרצף הגולמי של תנועות לסת לא מסווגות. נוצר תיאור אמין של פעילות בעל החיים: רעה פעילה, העלאת גירה, ומנוחה לאורך הזמן על סמך זיהוי תנועות לסת יוצרות קול. הפלט נבדק בהצלחה עבור מדגם הקלטות של בקר. נבדקו גישות שונות לסיווג תנועות הלסת אצל בקר ובכולם התקבלו תוצאות סבירות. יש מקום לבחון את נושא הסיווג מחדש. בניסוי מבוקר עם עיזים נמצא קשר ליניארי הדוק בין מספר הלעיסות לבין כמות צומח נצרכת. מסקנות והמלצות לגבי יישום: הטכנולוגיה ישימה עבור שלושת הקטגוריות העיקריות של חיות משק מעלי גירה: בקר,

כבשים, ועיזים. מטרת העל שהוגדרה לעיל הושגה ובתחילת 2016 הוגשה בקשה לרישום פטנט פרוביזורי על הטכנולוגיה שפותחה. החלו מאמצים לקדם את מסחור הטכנולוגיה.

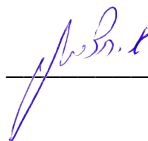
### מעריכים מומלצים לבדיקת הדוח המדעי

1. ד"ר עמוס מזרח
2. ד"ר אפרים מלץ
3. ד"ר ויקטור אלחנתי

### הצהרת החוקר הראשי:

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים. הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: כן/לא (מחק את המיותר) \*במידה וכן, על החוקר להמציא פרטים על הגוף שבאמצעותו מופץ הידע (כמו: שה"ם)

חתימת החוקר \_\_\_\_\_ תאריך 14 מרץ 2016



## מבוא

מעל שני מיליון דונם משמשים כשטחי מרעה במדינת ישראל. הם מהווים חלק משמעותי מהשטחים הפתוחים ובסיס לפרנסתם של מאות שעוסקים בתעשיות נלוות. עדרי בקר, כבשים ועיזים המנצלים שטחים אלה מספקים מוצרי בשר וחלב איכותיים לשוק המקומי. החלטות ממשק הקשורות לאחזקת בעלי חיים בשטחי מרעה משפיעות ישירות על פוריות השטח ועל רווחיות מערכת הייצור. אך החלטות רבות מתבססות על כללי אצבע וניסיון, וכתוצאה מכך קיים פער משמעותי בין הפוטנציאל של מערכת הייצור לבין מה שמושג בפועל (אונגר וחובריו 2004, 2005, 2006, הנקין וחובריו 2007).

רמת הניטור, הבקרה והשליטה על יחידת הייצור – בעל החיים – נמוכה משמעותית במערכות אקסטנסיביות מבוססות מרעה ביחס למערכות האינטנסיביות כמו ברפת הישראלית. בעדר מסחרי, וגם במערכת המחקר, חסר לנו מידע על בעל החיים בזמן שהוא מסתובב חופשי במרעה. חוסר המידע לגבי תהליך הרעיה מגביל את ניהול שטחי חורש ויער, מאחר ולא ברור מהי מידת ניצול השטח בכלל ושעור חלוקת ניצול זה בין הצומח העשבוני לבין הצומח המעוצה בפרט.

מחקר זה בא לפתח שיטה של איסוף מידע על בעל חיים במרעה – ניטור אקוסטי – שמתמקד ברעיה, שהיא התהליך המרכזי שקובע במידה רבה את רמת הייצור של בעל החיים ואת השפעתו על השטח. מעקב אחר תנועות הלסת מאפשר לאפיין את הרעיה על ידי ניתוח מדדים כמו קצב תנועות לסת, קצב נגיסה, ויחס לעיסות לנגיסות. מדדים אלה קשורים ישירות לקצב הצריכה של בעל החיים. הניסיון שנצבר קודם לתחילת המחקר הנוכחי הצביע על הפוטנציאל הטמון בניטור אקוסטי ועל כך שניתן להגיע לתוצאות סבירות בבניית מערכת של חיישן בהיבטים של אספקת אנרגיה, גודל ומשקל, אגירה או שידור נתונים, במעטפת של מסד נתונים ושילוב בנתוני עדר אחרים.

## מטרות המחקר

מטרת העל של המחקר היא לקדם את הטכנולוגיה לניטור אקוסטי של בעלי חיים במרעה לשלב בשל למעורבות גורם עסקי. המטרות הספציפיות הן: 1. לייצור טכנולוגיה ישימה עבור שלושת הקטגוריות העיקריות של חיות משק מעלי גירה: בקר, כבשים, ועיזים. 2. לספק תיאור אמין של פעילות בעל החיים: רעיה פעילה, העלאת גירה, ומנוחה לאורך הזמן על סמך זיהוי תנועות לסת יוצרות קול. 3. לספק תיאור אמין של התנהגות הרעיה: נגיסות, לעיסות, ולעיסות-נגיסות, בזמן רעיה פעילה. 4. לכמת את רמת הדיוק של הטכנולוגיה בקביעת פעילות והתנהגות רעיה בבקר, כבשים ועיזים ובסביבות רעיה שונות, שיכללו צומח עשבוני וצומח מעוצה, בעונה הירוקה ובעונה היבשה; לספק תיאור אמין של התנהגות הרעיה: נגיסות, לעיסות, ולעיסות-נגיסות, בזמן רעיה פעילה. 4. לכמת את רמת הדיוק של הטכנולוגיה בקביעת פעילות והתנהגות רעיה בבקר, כבשים ועיזים ובסביבות רעיה שונות, שיכללו צומח עשבוני וצומח מעוצה, בעונה הירוקה ובעונה היבשה.

## עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר

בהצעת המחקר הוצגה טבלת ריכוז של משימות ואבני דרך בהתקדמות התוכנית, ונציג כאן את עיקרי הניסויים ותוצאות המחקר לפי הסעיפים בטבלה זו.

### שיפור האלגוריתם לזיהוי תנועות לסת

מאמץ רב הושקע בפיתוח התוכנה המרכזית של הטכנולוגיה שמזהה תנועות לסת יוצרות קול (Navon et al., 2013). אחד האתגרים העיקריים היה זיהוי וסילוק רעשי רקע שמפריעים לזיהוי תנועות לסת אמיתיים או כאלו שמזדהים כתנועות לסת. השימוש במיקרופון פייזואלקטרי הקטין באופן משמעותי את ממדי הבעיה, אך לא פתר את הבעיה לגמרי. לכן הכנסנו שיפורים בתוכנה כדי להתמודד בבעיה. מצאנו ששילוב של פעולות סינון בתדרים נבחרים, ושיפור הקוד המאבחן בין תנועת לסת אמיתית לבין רעש רקע, הביא לשיפור בתוצאות. אבל כאשר רעש הרקע מתרחש בו זמנית לתנועת לסת אמיתית לא ניתן להשיג הפרדה כזו. המגבלה היא שעד כה ניתוח האות נעשה בתחום העיתי (time domain) בלבד, מתוך רצון למצות את הגישה הפשוטה יותר לפני שמוסיפים מורכבות משמעותית על ידי מעבר לתחום התדר (frequency domain). כדי לפתור את הבעיה של סיווג תנועות לסת עברנו לניתוח אות בתחום התדר ונראה ששיפורנו בזה את האבחנה של רעשי רקע.

במהלך העבודה נעשו עדכונים רבים בפונקציות שונות ביניהן ראוי לציין את סנכרון שעון מכשיר ההקלטה אל 'שעון אמת'. זאת לאחר כי במהלך העבודה התברר כי קצב השעון הפנימי של המכשיר רחוק מלהיות מדויק דיו. התגלו הבדלים בקצב השעון בין המכשירים עצמם, כמו גם עבור אותו המכשיר כאשר הוא מכוון לפי פרמטרים שונים. בגלל משך ההקלטה הארוך מאוד, הבדלים זעירים בקצב השעון מצטברים לפערים משמעותיים (דקות אחדות לאחר מספר ימים) שאינם קבילים ביחס למטרתנו כי כך משתבש תהליך האימות מול תצפיות עין והקלטות וידאו. פיתחנו שיטה לקביעת מקדם המרת קצב לכל מכשיר ומכשיר, וכימתנו את הדיוק אליו ניתן להגיע ואת השגיאה הסופית המתקבלת. נכתב קוד לביצוע המרת קצב השעונים, ולהסטת לוח הזמנים לשעת התחלה אמיתית בהתאם לנקודת סנכרון בהקלטה.

### הסרת מגבלה של אורך הקלטה

פותחו שתי גרסאות של ציוד ההקלטה. גרסה אחת המותאמת עבור בקר, וגרסה נוספת המותאמת עבור עזים וכבשים. החומרה התבססה על מכשיר Sansa clip+ MP3 player (SanDisk) ששימש כמכשיר ההקלטה. במכשיר ה-MP3 ביצענו עדכונים פיזיים כמו גם עדכונים ברמת התוכנה. המיקרופון הפנימי של המכשיר נותק ובמקומו חובר מיקרופון פייזואלקטרי חיצוני. במכשיר הותקנה תוכנת RockBox המאפשרת גמישות בבחירת הפרמטרים השונים בהקלטה, ובמיוחד: פתיחה וסגירה אוטומטית של קבצים, הקלטה בפורמטים שונים, שימוש במגוון תדירויות דגימה, והקלטה לתוך כרטיס הרחבה בנפח של 32 GB. הוכנה קופסה קשיחה מאלומיניום להגנה על המכשיר, אליה חובר תפס המאפשר חיבור נוח ואמין על קרן בע"ח.

הפעלנו את החיישן האקוסטי בעדר בקר מסחרי ובתנאי שטח לא מבוקרים והצלחנו להשיג הקלטות ארוכות יחסית של מספר ימים רצופים. הופקו לקחים מהניסיון והוכנסו שיפורים בחומרה ובתוכנה. מצד החומרה שיפרנו את שיטת התקנת הציוד על קרן הפרה כדי למנוע מקרים של הישמטותו. הגדלנו את משך ההקלטה לשמונה ימים על ידי שינוי הספק מארז הסוללות (7800 mAh), שינוי בתדירות הדיגום של מכשיר ההקלטה 24kHz, ונפח כרטיס הזיכרון (32 GB). לא מצאנו פגיעה ביכולת התוכנה לזהות תנועות לסת למרות הורדת תדירות הדגימה.

הגדלת נפח הנתונים גרם לזמן הרצה מאוד ארוך בעיבוד הנתונים (כיממה שעות להקלטה של שבוע ימים). ייעלנו את התהליך והצלחנו לאתר את קטעי התוכנה שמהווים את צווארי הבקבוק העיקריים. אחד מהם עוסק בזיהוי מעטפת האות האקוסטי, אותו לא הצלחנו לקצר. לכן הגענו למסקנה שעדיף לעשות שינוי יסודי בגישה ולתכנת את הקטע הזה מחדש. גישה נוספת לצמצום זמן ההרצה היא על ידי הידור התוכנה שמאפשרת גם הרצת התוכנה במחשבים בהם לא מותקנת תוכנת Matlab. בכך הושגה התקדמות חלקית. התוכנה שודרגה משמעותית כדי לאפשר עבודה נוחה עם הנפח הנדרש של ההקלטות והמספר הגדול של הקבצים לטיפול ושופרה יכולת הצגת תוצאות של תקופה ממושכת. איור 1 מדגים את קצב תנועות הלסת על פני שבע יממות שאומת מול צילום ווידאו. איור זה מדגים מספר תופעות כלליות: א. קצב תנועות לסת בתחום 60 לדקה, תוך כדי שינויים משמעותיים (ענן מפוזר יחסית), מאפיין רעיה פעילה. דוגמאות מסומנות באות A באיור 1. לעומת זאת, רצפים של ערכים דומים מאוד בתחום 60 לדקה (מקבצים מרוכזים), מאפיינים פרקי זמן של העלאת גירה (B באיור 1). ערכים נמוכים מאוד מאפיינים פרקי זמן של מנוחה (C באיור 1). ב. יש מחזור של רעיה פעילה באמצע הלילה (0 בציר ה-X מסמל חצות הלילה) של שעה או שעתיים (D באיור 1), מחזור ארוך יותר של רעיה פעילה בשעות הבוקר המוקדמות (E באיור 1), ועוד מחזור ארוך של רעיה פעילה לקראת ערב (F באיור 1). ג. פרקי העלאת גירה מאופיינים בשינוי חד בהתחלה ובסוף. לעומת זאת, מצאנו גם פרקי רעיה פעילה שאופיינו בהתפתחות הדרגתית של קצב תנועות לסת עד להגעה לקצב שיא, וכן ירידה הדרגתית בקצב תנועות לסת לקראת סוף מחזור הפעילות (G באיור 1). כתוצאה מכך פרק הזמן שבו הפרה פועלת בקצב תנועות לסת הצפוי לרעיה פעילה הוא יחסית קצר. תוצאות אלה תואמות עם התצפיות בשטח בהן נמצא שהפרות עוסקות גם ברעיה קלה ("נשנוש") ואלו גורמים לחישובי צריכת המזון להיות מורכבים יותר.

## אספקת מקור מתח חיצוני המאפשר 5 ימי ניטור

בגרסת החומרה שנועדה עבור כבשים ועזים נעשה שימוש בסוללה הפנימית המקורית של המכשיר כמקור כוח. סוללה זו מאפשרת כ-10 שעות הקלטה, שמספק את הנדרש ממערכת המיועדת לצאן. מגרסת החומרה שנועדה לבקר הדרישות מחמירות יותר, זאת מכיוון שעליה לפעול לפחות מספר ימים ברציפות, ולא התאפשר על ידי הסוללה הפנימית המקורית. אל המכשירים המיועדים לבקר חברה סוללה חיצונית (7.8 Ah, 3.7 V, Meircell) שהורכבה במיוחד למטרה זו. שימוש בסוללה זו אפשר לנו הקלטה רציפה במשך שמונה יממות.

## פיתוח תוכנה לקביעת פעילות לאורך ציר זמן

במקביל להמשך פיתוח המערכת לזיהוי תנועות לסת, פיתחנו גישה ליישום חלוץ שלה: מיפוי הפעילות היומית של בע"ח. פעילות עדר לאורך היממה ניתנת לחלוקה בסיסית לשלושה סוגי פעולות: רעייה פעילה, העלאת גרה, ומנוחה. מיפוי פעולות אלה לאורך היממה יכול היה להוות כלי רב-תועלת עבור מנהל העדר, אך שיטות הניטור הקיימות אינן מאפשרות מעקב אחרי פעילויות אלו בשטחי המרעה. מטרתנו הינה לפתח מערכת אוטומטית למיפוי פעילותו של עדר בעלי-חיים במרעה למקטעים של רעייה, העלאת גרה, ומנוחה/הליכה, כאשר בשלב ראשון מערכת זו תיושם בבקר. ניגשנו לנושא זה בהשערה כי תבנית פיזור תנועות הלסת בציר הזמן שונות מאוד ומובחנות היטב בין רעייה פעילה להעלאת גרה.

מצאנו מספר תכונות שהינן בעלות פוטנציאל גבוה להפרדה בין אירועי רעייה להעלאת גרה, מהן בחרנו ארבע תכונות לבניית מערכת הסיווג. האלגוריתם מחלק את סדרת תנועות הלסת למקטעים, ועושה שימוש במכונת ווקטורים תומכים (support vector machine - SVM) בכדי לאמן מערכת סיווג לינארית אופטימלית לסיווג המקטעים לשלושת הפעולות דלעיל. מעבודה ראשונית שנעשתה על הקלטה במשך 45 שעות של פעילות פרה בשטחי המרעה של קיבוץ עין השופט, נמצא כי שילוב תכונות הממוצע והשונות של קצב תנועות הלסת, מביא לסיווג נכון של 89% ממקטעי הקול. עלייה לממדים גבוהים יותר ע"י הוספת תכונות נוספות לא תרמה לשיפור הסיווג.

## איסוף הקלטות ותצפיות לאימות התוכנה לקביעת פעילות

ביצענו מספר תהליכי אימות שאפשר לנו להתקדם לשלבי המחקר העוקבים שהתבססו על פלט התוכנה. נציין כי בוצע בעבר כימות מסודר לאיכות פעולת התוכנה על קטעי רעייה קצרים. בכימות הנ"ל פלט התוכנה נמצא אמין והתקבלו אחוזי נכונות גבוהים. תהליך האימות הנוכחי בוצע בשלושה שלבים:

א. אימות זמנים. בעיית סנכרון קצב השעונים הייתה מהותית ולא פשוטה לפתרון, ולכן הוקדש לה שלב אימות נפרד. אימות זה נעשה ע"י הפעלת מכשירי ההקלטה במעבדה, וביצוע נקודות סנכרון לאורך ההקלטה. על הפלט הגולמי הורצו הפונקציות בתוכנה האחראיות לתיקון השעון, ונעשתה השוואה, בין שעת הפלט לבין שעת ההכרזה בנקודות הסנכרון לאורך ההקלטה.

ב. אימות איכות זיהוי תנועות לסת. נכתבה שגרה (macro) באקסל המציגה בצורה גרפית את הפלט של רצף תנועות הלסת כפי שמוציאה אותו התוכנה. מאזין מיומן הפעיל במקביל את המקרו הנ"ל, ואת קובץ השמע המקורי, והשווה בין שני המקורות במשך 5 דקות. התהליך חזר על 10 הקלטות בבקר, 10 הקלטות בעזים, ו-10 הקלטות בכבשים.

ג. אימות מלא. בוצע אימות מלא המעמת את פלט התוכנה מול תצפית וויזואלית על בע"ח הרועה. בוצעו 4 צילומי וידאו עבור בקר בשטחי המרעה של קיבוץ עין השופט. בנוסף בוצעו 4 צילומי וידאו עבור עזים במהלך מרעה בחורש באזור הרי ירושלים. משך כל מקטע וידאו הינו 5 דקות. בכל קטעי הווידאו הנ"ל צולם בע"ח עליו הושם ציוד אקוסטי קדם לכן. לאחר מכן, סונכרן פס הקול שהוקלט מהציוד האקוסטי אל קטע

הווידאו המתאים בעזרת תוכנת videopad. במקביל, התוכנה לזיהוי תנועות לסת הורצה על פסי הקול שהוקלטו. עם תום פעולת ההכנה, נערכה השוואה וויזואלית וקולית בין פלט התוכנה כפי שהוצג בעזרת מקרו ה-excel שהוזכר לעיל, לבין הסרט המצולם.

כל מבחני האימות הנ"ל עברו בהצלחה ושיעור הטעות בזיהוי תנועות לסת הסתכם באחוזים בודדים.

איסוף חומר גולמי: בצענו הקלטות בעדרי בקר, עזים, וכבשים. לאורך השנה כולה בוצעו הקלטות יומיות בעדרי עזים וכבשים בחוות האלה (שומרית) ובשטחי המרעה בלהבים, ובסה"כ נאספו מעל 90 ימי הקלטה. בכל יום כנ"ל הוקלט מהלך המרעה במלואו, משך 4-5 שעות. הקלטות אלו עובדו בעזרת התוכנה לזיהוי תנועות לסת.

בוצעו הקלטות בעדר בקר בשטחי המרעה של קיבוץ עין השופט. בוצע סט הקלטות בחודש אפריל על צומח ירוק, וסט נוסף בחודש יולי על צומח קמל. בכל סט נעשו כ-12 הקלטות בו זמנית על 12 פרות שונות. משך כל הקלטה היה 3-9 יממות ברציפות. ההקלטות עובדו בעזרת התוכנה.

### **בחירת מיקרופון אופטימאלי לניטור אקוסטי**

כפי שהוסבר לעיל, אחד האתגרים העיקריים של עיבוד אות אוטומטי הוא זיהוי וסילוק רעשי רקע שמפריעים לזיהוי תנועות לסת אמתיים או שמזדהים כתנועות לסת אמתיים. השגנו התקדמות גדולה בהקטנת ממדי הבעיה על ידי שימוש במיקרופון פייזואלקטרי שנמצא כלא רגיש לרעשי רקע גם בעלי עוצמה גדולה כגון אלה ממטוסים עוברים. מצד שני, השימוש במיקרופון פייזואלקטרי הגביר את הרגישות לרעשי רקע שנובעים ממגע עם בעל החיים, ובעיקר באזור הראש. גם מגע בציד עצמו, כגון קופסת ההגנה של מכשיר ההקלטה או המיקרופון, נקלט כרעש. נמצא כי המקור העיקרי של רעשים אלה הוא מגע בצומח. גם כסוי הקרן בחומר רך לספיגת רעשי המגע לא הביא לשיפור ניכר. המיקרופון הפייזואלקטרי נראה לנו המתאים ביותר, בין היתר בשל העלות הנמוכה שלו.

### **קביעת תדר דיגום מינימאלי לסיווג תנועות לסת**

אנו מערכים ששלב ראשון של פיתוח מסחרי של חיישן אקוסטי יתבסס על אופן הפעלה של "record-and-post-process" לעומת אופן הפעלה של "on-the-fly signal processing". בראשון, הסיגנל הגולמי נקלט ומאוחסן בזיכרון של מכשיר ההקלטה (במקרה שלנו, בכרטיס microSD). בסוף הניסוי הצויד מובא למעבדה וקבצי הקול מועתקים למחשב ואז מופעלת התוכנה לעיבוד אות על קבצים אלה. בשני, עיבוד אות מתבצע בזמן אמת על ידי המערכת שנמצאת על החיה, כך מצטמצם נפח הנתונים (האות האקוסטי) לסדרה של עיתוי מזמן של האירועים, את אלו ניתן לשדר לתחנת בסיס. ככלי מחקר, הגישה של "record-and-post-process" מקובלת. היישומיות של הטכנולוגיה תלויה, בין השאר, בזמן ההקלטה המקסימאלי, שתלוי בתדר דיגום המינימאלי המספק לניתוח האות. מבחינת נפח אחסון של כרטיס microSD, טבלה 1 מראה את משך ההקלטה המקסימאלי בתדירויות דיגום בין 8 kHz (איכות נמוכה) לבין 96 kHz (איכות גבוהה) ועבור שני דגמים של כרטיס microSD שרכשנו. הכרטיס הגדול יותר מאפשר הקלטה רציפה של יותר משבוע ימים

בתדירות דיגום המקסימאלית. משך ההקלטה מתקרב ל-100 יום באיכות הקלטה הנמוכה ביותר. הכרטיס הקטן יותר מאפשר הקלטה רציפה של שבוע ימים לפחות רק בתדירויות דיגום של 24 kHz ומטה. מניסיונו, לצורך התוכנה לזיהוי תנועות לסת יוצרות קול ניתן להסתפק בהקלטה באיכות של 24 kHz כי בתכנה מתבצע down-sampling לתדירות דיגום של 8 kHz וזאת כדי להקטין את משך ההרצה. אנחנו יודעים שדיגום בתדירות של 24 kHz מספק לצורך סיווג תנועות לסת (כלומר לאבחן בין נגיסות, לעיסות ולעיסות-נגיסות). טרם קבענו אם אפשר לרדת עד 8 kHz למטרות סיווג, אם כי בהאזנה אפשר לבצע סיווג ידני גם בתדירות דיגום נמוכה כזה.

חשוב לציין שמארז הסוללות אתנו עבדנו בהקלטות של בקר במרעה (הקלטות עין השופט) בעל קיבולת של 7800 mAh אפשר הקלטה רציפה של כ-17 יום.

### סיווג תנועות לסת לנגיסות, לעיסות, לעיסות-נגיסות

השתמשנו בהקלטות של רעית בקר בצומח עשבוני. הקלטות הושגו עבור שש פרות שרעו על שטח תלתן ושטח עשב דגן. על בעלי החיים הותקנה מערכת מיקרופון אלחוטי שכללה מיקרופון קטן שהוצמד לאמצע המצח של בעל החיים באמצעות מנגנון מתאים, כאשר המיקרופון פונה כלפי המצח (פנימה). הצלילים שודרו למקלט FM שהיה מחובר לכניסת האודיו של מצלמת ווידיאו. הצלילים ותמונות הווידיאו שנקלטו על ידי המצלמה הועברו כווידיאו דיגיטלי למחשב אישי.

פס הקול של קטע הווידיאו הוצא ונותח ידני במחשב. אירועי הקול סווגו באופן ידני לשלושת הסוגים של תנועות לסת: נגיסות, לעיסות, לעיסות-נגיסות (תנועה משולבת). הופרדו שלושת הסוגים של אות וחושב הפרופיל הממוצע של אנרגיה מול תדר כדי לראות עד כמה האותות שונים. התוצאות מובאות באיור 2. ניתן לראות הפרדה נאותה בתכונות הממוצעות, אך השונות סביב העקומות האלה היא גבוהה מאוד, ולכן לא נוכל להשתמש בגישה פשוטה לסיווג האותות, כגון להסתמך על ערכי אנרגיה מוחלטים בתדרים נבחרים.

גישה א' לסיווג קולות: פותח אלגוריתם לסיווג אוטומטי של הקולות שמבוסס על רשתות עצביות (neural networks). התכנות נעשית בסביבת Matlab. האלגוריתם שמקבל כקלט אוסף של אותות בודדים מחולק לשני חלקים. בחלק הראשון, התוכנית מבחין בין קולות שהן לעיסה בלבד, לבין קולות שיש בהן מרכיב של נגיסה, כלומר נגיסה בלבד או לעיסה-נגיסה. התוצאות של שלב זה מובאים בטבלה 2. מתוך 222 קולות (תנועות לסת) בבדיקה, 193 סווגו בצורה נכונה. זה שיעור סיווג נכון של 87%. החלק השני של האלגוריתם מקבל את הקולות שסווגו כ"מכיל מרכיב של נגיסה", ומחלק אותן לשני סוגים: נגיסה בלבד ולעיסה-נגיסה. התוצאות של שלב זה מובאים בטבלה 3. מתוך 132 קולות בבדיקה (דהיינו – הקולות בשורה של "לא לעיסות בלבד" (non-chews) בטבלה 2), 120 סווגו בצורה נכונה. זה שיעור סיווג נכון של 91%. אם נשלב ביחד את התוצאות של שני החלקים של האלגוריתם, מתקבלת התמונה המובאת בטבלה 4. מכאן ניתן לראות שהאלגוריתם סיווג נכון 200 מתוך 222 קולות (תנועות לסת). זה שיעור סיווג נכון של 90%.

גישה ב' לסיווג קולות: השיטה הזאת מבוססת על מאפיינים שנמצאו כמועמדים סבירים לסיווג הקולות. מאפיינים אלו יוזנו אף הם למסגרת של רשת עצבית, וגם לשימוש בשיטות סטטיסטיות רגילות לסיווג הקול.



אחרי עיבוד ידני של פס הקול שבו סווגו כל תנועות הלסת יוצרות קול, בודדו אירועי קול. נבחרו 168 נגיסות, 370 לעיסות, ו-360 לעיסות-נגיסות. ביצענו את הצעדים הבאים על כל קטע קול באמצעות תכנת תסריט שנכתבה בתוכנת Matlab: (א) יבוא קובץ מסוג wav לתוך מסגרת Matlab, (ב) ביצוע פונקציית FFT של 32768 נקודות, (ג) נירמול אירוע הקול על ידי חילוק בערך העוצמה הגבוה ביותר.

נבחרו שש תכונות מתוך מהספקטרום המנורמל (mean normalized power spectrum density plots). התעלמנו מערכי שיא בעלי ערכים פחות מ-0.001. שנבחר מכיוון שנמצא כי, בדרך כלל, הקולות התכנסו בערכים פחות מזה. ששת התכונות היו: (א) התדר שבו השיא הגבוה ביותר ביחסים הנ"ל מתרחש; (ב) התדר שבו השיא הנמוך ביותר ביחסים הנ"ל מתרחש, (ג) סך כל מספר השיאים ביחסים הנ"ל; (ד) התדר הממוצע של כל השיאים; (ה) רוחב הפס של השיאים; (ו) מידת ההטיה בהתפלגות התדרים של השיאים.

נוצר קובץ נתונים שבו כל רשומה מכילה צליל אחד: סוג הצליל, זיהוי בעל החיים, וששת התכונות הנ"ל עבור אותו צליל. ההתפלגויות של כל אחד מששת התכונות שהוצאו עבור שלושת סוגי הצליל מראות טווחים רחבים למדי וחפיפה משמעותית בטווחים אלה בין סוגי הצלילים. שלושה סוגים של ניתוח סטטיסטי/כמותי הופעלו על קובץ הנתונים: discriminant analysis, logistic regression, neural network analysis, כדי לבחון את טיב הסיווג על סמך התכונות שהוצאו.

ניתוח סטטיסטי מסוג stepwise discriminant analysis הראה שמספר השיאים הייתה התכונה המועילה ביותר בסיווג הצלילים, והשיגה סיווג נכון בשיעור של 67.7%. הוספת התדר המרכזי העלה את דיוק הסיווג ל-77.2%. השיעור הגבוה ביותר של סיווג נכון – 81.8% – הושג עם הוספת רוחב פס השיאים ומידת ההטיה בהתפלגות התדרים של השיאים למודל הנ"ל. ניתוח הסיווג לגישה זו מסוכם בטבלה 5.

ניתוח סטטיסטי מסוג logistic regression אפשר לנו לכלול זיהוי הפרה כגורם במודל הסטטיסטי. גורם זה היה מובהק מאוד, ושיעור סיווג נכון של 86.7% הושג כאשר זיהוי הפרה וששת התכונות נכללו במודל. ניתוח הסיווג לגישה זו מסוכם בטבלה 6.

שמונה רשתות עצביות נוצרו בעזרת ששת התכונות. רשת עצבית אחת ניסתה לסווג את הצלילים, בלי להתחשב בזיהוי הפרה. רשת עצבית אחרת ניסתה לסווג את הצלילים וגם לחזות מאיזה בעל חיים הוא בא. שש הרשתות העצביות האחרות נוצרו לכל בעל חיים בנפרד. הדיוק של השתיים הראשונות היה נמוך. התוצאות לניתוחים הפרטניים מובאות בטבלה 7. באופן כללי, הדיוק של הסיווג היה נמוך יחסית עבור נגיסות וגבוה יחסית עבור לעיסות-נגיסות. התחום של שיעור סיווג נכון עבור ששת בעלי החיים לכל סוג צליל נע בין 25 – 63% לנגיסות; 70 – 90% עבור לעיסות-נגיסות; ו-65 – 80% עבור לעיסות.

### קביעת מיקום אופטימאלי למיקרופון על החיה

במהלך הפיתוח של חיישן אקוסטי נבדקו שלושה מיקומים להצבת המיקרופון. הראשון היה על המצח ונבדק בבקר. הניסוי של אימות הדדי בין ניטור אקוסטי למערכת של IGER Behavior Recorder (Rutter et al., 1997) שהתבצע בפרות רפת באנגליה שרעו על שטח זון ותלתן התבסס על הצבת המיקרופון על המצח,

והניב הקלטות באיכות טובה. כל הניסויים שנעשו עם עגלות רפת מאולפות בבית דגן התבצעו בליווי ניטור אקוסטי שבו המיקרופון ממוקם על המצח, ואיכות ההקלטות הייתה טובה. החיסרון בהצבת המיקרופון על המצח הוא שהחיה יכולה להזיז את המיקרופון די בקלות על ידי שפשוף הראש על עמוד, גדר או חיה אחרת. לכן צורך בתכנון מחודש של החיבור בין טבעות הראשייה כך שהמיקרופון יוחזק במקום תוך כדי הפעלת לחץ מתון על מנת להשיג מגע טוב בינו למצח. מערכת כזאת תוכל לשמש בתנאי רעייה יחסית מבוקרים ועם בעלי חיים רגועים שרועים על מרעה עשבוני ללא צומח מעוצה.

המיקום השני שנבדק היה על הקרן. מיקום זה נבדק בבקר, כבשים ועיזים. בכולם התקבלו הקלטות טובות. בבקר, כל ההקלטות שנעשו בקיבוץ עין השופט התבססו על מיקום המיקרופון על הקרן. בעלי החיים היו פרות בוגרות מעדר בקר לבשר במרעה, מגזעים לא שקטים ושלא היו רגילות לטיפול ומגע אנוש. לכן התקנת הציוד על הקרן הייתה מאתגרת ואף מסוכנת. בשיטת קיבוע זאת החזיקה המערכת עד תום הבדיקה (כשבועיים). הציוד כלל מארז סוללות חיצוני שהותקן גם הוא על הקרן. אצל עיזים מיקום הקרן נמצא מתאים, וכל ההקלטות בעיזים שנעשו בניסוי בית אלעזרי, במעקב השנתי בקיבוץ שומריה, וכן בעדרים שונים באזור הרי יהודה, נאספו בדרך זאת. לגבי כבשים, הניסוי שנעשה בחוות מגדה התבסס גם הוא על מיקום הקרן. בעיזים וכבשים הציוד לא כלל מארז סוללות חיצוני ולכן הציוד הוא קל וקטן וההתקנה היא יחסית פשוטה. אבל הציוד ללא מארז סוללות חיצוני אפשר הקלטה של כ-10 שעות בלבד. סידור זה מספק בעדרי כבשים ועיזים שיוצאים מהדיר בבוקר וחוזרים אליו בסוף היום.

המיקום השלישי שנבדק היה על האף. מיקום זה נבדק בכבשים במסגרת ניסוי רעיה בשדה, ובמסגרת ניסוי בדיר שבו מינים שונים של צמחי מרעה נזרעו בתוך אדניות. איכות ההקלטות היו טובות. נעשה גם בדיקה ראשונית של מיקום זה בסוסים והתקבלה הקלטה טובה מאוד.

### **פיתוח תוכנה לקביעת קצב נגיסה ויחס לעיסות/נגיסות**

המטרה בפיתוח זה הייתה לקדם את קביעת הצריכה. כאשר התברר שסיווג תנועות הלסת יספק רמת דיוק בינוני, הוחלט לנסות לבחון את העיקרון של חיזוי צריכה על סמך ספירה של לעיסות בלבד. הנחת העבודה, שהסתמכה על מחקרים מקדימים, ועל מודל קונספטואלי של תהליך הרעיה שנבע מהם (איור 3), הייתה שניתן לאמוד צריכה על סמך ניטור אקוסטי על ידי ספירת לעיסות ולתרגם את מספר הלעיסות לכמות נצרכת על ידי מקדם הלעיסה – מספר לעיסות ליחידת משקל של צומח נצרך. מקדם הלעיסה עשוי להשתנות עבור סוגים שונים של צומח ושלבי התפתחות שונים ויש לכיילו. בוצע ניסוי בעיזים שבו השתמשנו בשיטת המיקרו-כר המקובלת במחקרים בסיסיים בנושא התנהגות רעייה.

בניסוי זה בחנו את האפשרויות והמגבלות בשימוש במשתנים אקוסטיים להערכת צריכה של העזים על צומח מעוצה בחורש. ישימות השיטה תלויה בצורה מהותית בפיזיולוגיה של העזים ובתבניות התנהגות האכילה שלהן. ובפרט:

1. השפעתו של גודל (משקל) הנגיסה על מספר פעולות הלעיסה המושקעות ליחידת צריכה.

2. השפעתו של מצב השובע על מספר פעולות הלעיסה המושקעות ליחידת צריכה.

בדיקה של השפעת גודל הנגיסה על יעילות הלעיסה בעיזים הרועות על צומח מעוצה דורשת שיטה לדמות שיח, תוך כדי שליטה בגודל הנגיסה שהחיה נוגסת. לשם כך, בנינו שיח מלאכותי שמורכב מלוח עץ ובו 40 חורים (5 שורות עם 8 חורים במרחקים שווים ביניהם) בכותר 2 מ"מ ובזווית 40 מעלות ביחס לפני השטח של הלוח. כל חור תוכנן להחזיק פטוטרת העלה של עץ המודל. צמח המודל שנבחר היה עץ החרוב (*Ceratonia siliqua*) שנפוץ בחורש הטבעי בארץ ונאכל בתיאבון על ידי עיזים. החרוב הוא בעל מבנה עלים שמתאים לצורכי הניסוי. בעלי החיים שהשתתפו בניסוי היו שש נקבות דמשקאיות בוגרות. עיזים אלו נבחרו מתוך העדר של פארק רמת הנדיב. הקריטריונים לבחירת הפרטים בניסוי היו מזג רגוע, מבנה קרניים תקין המאפשר הצמדת החיישן האקוסטי, גיל דומה ומספר המלטות דומה. ממוצע משקל הגוף של העיזים היה 51.3 ק"ג (שגיאת תקן = 8.4 ק"ג).

בשני הניסויים (גודל נגיסה ומצב שובע) השתמשנו בניטור אקוסטי כדי לספור לעיסות. מיקרופון ומכשיר הקלטה הוצמדו לכל קרן של העז הנבדקת. לקרן אחת השתמשנו במיקרופון פייזואלקטרי שהיה מחובר למכשיר הקלטה שהותאם לקלוט סיגנל ממיקרופון חיצוני במקום המיקרופון המובנה. המיקרופון הוצמד לקרן על ידי סרט דביק כאשר כרית המיקרופון פונה פנימה. לשם השוואה, לקרן השנייה הוצמד מיקרופון קיבולי שחובר למערכת משדר/מקלט. המקלט של מערכת זו חובר לכניסת האודיו של מצלמת ווידיאו. תדירות הדיגום הייתה 32 ו-24 קילוהרץ למכשיר של חברת סאנסה ולמכשיר של חברת אלקט, בהתאמה.

בשני הניסויים השתמשנו בשיח המדומה שתואר לעיל, ובאותן שש עיזים. בשני הניסויים הותקנו המכשירים האקוסטיים שתוארו לעיל. בניסוי של גודל הנגיסה, הטיפולים היו: חמש רמות צריכה, כל אחת מורכבת בשלוש צורות שונות לפי שלושה טיפולים של גודל הנגיסה. משקלי הנגיסה היו 0.6 ג', 1.2 ג', 2.4 ג' של חומר טרי. ענפי חרוב לוקטו יום לפני הבדיקה בשעות הצהריים. הענפים נחתכו מעץ חרוב אחד באזור כרמי יוסף. מיד אחרי החיתוך, הענפים רוססו במים כדי למזער את הדיות, והם הובאו למעבדה כדי להכין את העלעלים לניסוי. העלעלים נחתכו ונשקלו לפי שלוש הקטגוריות הנ"ל בדיוק של 0.1 ג'. לאחר מכן הם הועברו לשקיות פלסטיק ואוחסנו במקרר בטמפרטורה של 4 מעלות צלסיוס עד להובלה לדיר העיזים מוקדם למחרת.

אחרי תקופה של הרצה שבה נקבעו פרטי פרוטוקול הניסוי וגם הורגלו העיזים לפרוטוקול, הניסוי של גדלי נגיסה בוצע בשלושה ימים לא עוקבים. חמש רמות הצריכה ושלושה גדלי הנגיסה נבדקו בשש העיזים שהיוו חזרות מבחינה סטטיסטית. בכל יום של הניסוי נבדקו שתי עיזים. שתי העיזים הורגלו שוב לפרוטוקול הניסוי יום לפני הניסוי ובבוקר יום הניסוי. מכשירי ההקלטה הותקנו על העיזים כפי שתואר לעיל. כל עז הובאה ל-15 הלוחות ברצף, עם הפסקה קצרה בין לוח ללוח, וסדר הלוחות הוגרל לכל עז בנפרד.

ניסוי מצבי שובע, כלל שלוש רמות שובע: נמוך (רעב), בינוני וגבוה. רמות שובע אלה נוצרו על ידי האכלה מבוקרת של העיזים במהלך היום. כל רמת שובע נבדקה בשלוש רמות צריכה: 19.2 ג', 14.4 ג', ו-9.6 ג' חומר טרי. רמות אלה הורכבו מ-8, 6, ו-4 נגיסות בעלי משקל של 2.4 ג' חומר טרי, בהתאמה. תשעה

הצירופים של רמות שובע ורמות צריכה נבדקו בשש העיזים. איסוף החומר הצמחי והכנת הלוחות התנהל בניסוי הזה כפי שתואר לעיל עבור ניסוי גודל נגיסה, אלא שכאן העלעלים נשקלו ונחתכו לפי הצורך כדי להגיע למשקל יעד של 2.4 ג' חומר טרי, בדיוק של 0.1 ג'.

כדי לגרום לרמות שובע שונות, בעלי החיים קבלו מנות קטנות של שחת קצוצה, מזון מרוכז, עלים ירוקים של תות לבן ושל חרוב. השימוש בסוגים שונים של מזון, והכללת עלי חרוב ביניהם, היה מיועד למנוע התפתחות של להיטות לעלי החרוב שעלולה לשבש את השפעת השובע. טיפול רמת שובע נמוכה בוצע בשעה 10:00. לפני כן אכלו בעלי החיים כמות מזערית (בין 10 ל-20 ג' חומר טרי) של עלי חרוב. טיפול רמת שובע בינונית בוצע בשעה 12:30, אחרי שבעלי החיים אכלו (במשקל חומר יבש) 570 ג' מזון מרוכז, 300 ג' שחת, 30 ג' עלי חרוב ו-10 ג' עלי תות לבן. הטיפול של רמת שובע גבוהה בוצע בשעה 15:20, אחרי שבעלי החיים אכלו (במשקל חומר יבש) 1,140 ג' מזון מרוכז, 624 ג' שחת, 50 ג' עלי חרוב, ו-12 ג' עלי תות לבן.

עשינו שימוש באותן שיטות של עיבוד נתונים לשני הניסויים. מספר הלעיסות נגזר מהקלטות הרעייה על ידי התוכנה שפותחה במסגרת המחקר הנוכחי. היתרון בשיטת השיח המדומה והלוח הוא בזה ששליפת העלים מתוך החורים שבלוח לא יוצר קול. לכן כל תנועת לסת יוצרת קול היא לעיסה בלבד. נמצא יתרון משמעותי להקלטות באמצעות המיקרופון הפייזואלקטרי. ההשוואה בין סוגי המיקרופון בתנאים זהים הוכיחה שיש חשיבות עליונה במניעת קליטתם של רעשי רקע בפס הקול.

בניסוי הראשון (גודל נגיסה), רגרסיה ליניארית של סך מספר לעיסות מול כמות צומח נצרכת (5 רמות) לכל צירוף של עז ומשקל נגיסה הראתה קשר ליניארי הדוק בעל מקדם מתאם (ריבועי) של 0.97 בממוצע ל-18 ניתוחי הרגרסיה. המודל הליניארי היה מובהק בכל הניתוחים וערך  $P$  הגבוה ביותר היה 0.007. מקדם הלעיסה (שיפוע קווי הרגרסיה) עבור שש העיזים נע בין 4.55 ל-2.27 לעיסות לגרם נצרך. בניתוח שונות נמצא כי השפעת משקל הנגיסה על מקדם הלעיסה הייתה מובהקת ( $P = 0.0497$ ). מבחן Tukey HSD הראה שמקדם הלעיסה עבור משקל נגיסה של 0.6 ג' היה שונה באופן מובהק ממקדם הלעיסה עבור משקל נגיסה של 2.4 ג'. מקדם הלעיסה עבור משקל נגיסה של 1.2 ג' לא היה שונה משני המקדמים האחרים. אבל חשוב להדגיש שעלייה של פי 4 במשקל הנגיסה, מ-0.6 ג' עד 2.4 ג', הביא לירידה במקדם הלעיסה של 9% בלבד.

בניסוי השני (רמת שובע), מספר הלעיסות עלה עם עליית סך הצריכה: ממוצע מספר הלעיסות היה 42, 61 ו-73 עבור רמות צריכה של 9.6, 14.4 ו-19.2 ג', בהתאמה. מקדם הלעיסה (השיפוע של קו הרגרסיה) עבור שש העיזים נע בין 4.47 ל-2.32 לעיסות לגרם נצרך. בניתוח המודל הסטטיסטי נמצא שהגורם רמת שובע היה מובהק ( $P = 0.0367$ ). סך הצריכה לא היה מובהק ( $P = 0.0861$ ). מקדמי הלעיסה לפי רמת שובע היו, בממוצע, 4.41 לעיסות לגרם ברמת שובע נמוכה, 3.93 לעיסות לגרם ברמת שובע בינונית, ו-3.81 לעיסות לגרם ברמת שובע גבוהה. מבחן Tukey HSD הראה שמקדם הלעיסה עבור רמת שובע נמוכה היה שונה באופן מובהק ממקדם הלעיסה עבור רמת שובע גבוהה. מקדם הלעיסה עבור רמת שובע בינונית לא היה

שונה משני המקדים האחרים. שוב חשוב להדגיש את מידת ההשפעה: שינוי ברמת השובע מנמוך לגבוה הביא לירידה במקדם הלעיסה של 14% בלבד.

### איסוף הקלטות ותצפיות לאימות התוכנה לקביעת קצב נגיסה

התוכנה לזיהוי תנועות לסת יוצרות קול ולסיווג קולות אלה לסוגים השונים של תנועות לסת וקביעת קצב נגיסה שואפת לטפל בקבצי קול שמקורם במינים שונים של בעלי חיים, סוגים שונים של מיקרופון, מיקומים שונים על הראש, סוגים שונים של מרעה, ובעלי חיים שונים. אימות התוכנה מחייבת בסיס נתונים רחב מאוד כדי לבחון את תפקודה בכל התנאים האלה. החומר שאספנו מתחלק לשתי קטגוריות כלליות: א) הקלטות קצרות של עד רבע שעה שצולמו בווידיאו וגם נעשה עבורן ריצוף ידני של תנועות לסת ( manual aural sequencing); ב) הקלטות ארוכות של מספר שעות עד מספר ימים ברציפות, שבחלק מהן נעשו צילומי ווידיאו מסונכרנים וריצוף ידני של קטעים אלה. ספריית ההקלטות כוללת:

- א) שש פרות רפת באנגליה על מרעה זרוע (3 על זון ו-3 על תלתן); צילום ווידיאו וגם ריצוף ידני מלא.
- ב) שש עיזים במשוב בית אלעזרי על מדשאות של דגנים רב-שנתיים; צילום ווידיאו וגם ריצוף ידני מלא.
- ג) שש כבשים בחוות נעמה בצפון הנגב על מרעה טבעי קמל; ריצוף ידני מלא.
- ד) עשרות עגלות מהרפת המרכזי של מינהל המחקר בבית דגן שרעו על מרעה זרוע (בעיקר שיבולת שועל ואופסת) שהוכן בצורה של רצועות (strip studies), משבצות קטנות (patch studies) וחלקות קטנות (free grazing studies); צילום ווידיאו וגם ריצוף ידני מלא.
- ה) שש כבשים בחוות ניסיונות בסרדיניה על מרעה זרוע (3 על זון ו-3 על סולה); צילום ווידיאו וגם ריצוף ידני מלא.
- ו) עיזים בחוות אלה על יד קיבוץ שומריה; הקלטות של מסלולי רעיה יומיים של עדר שיוצא למרעה טבעי ושהתבצעו פעם בשבוע במשך שנה.
- ז) שתיים-עשרה פרות בקיבוץ עין השופט במשך כ-5 ימים רצופים מוקדם באביב ובמשך כ-10 ימים בסוף העונה הירוקה; עשרות קטעי צילום ווידיאו של 5-דקות.
- ח) עשר עיזים מעדרים שונים באזור הרי יהודה שרועים שטחי קק"ל לתחזוקת אזורי חייץ; הקלטות של מסלולי רעיה יומיים; עשרות קטעי צילום ווידיאו של 5-דקות.
- ט) עשר כבשים בחוות ניסיונות בסרדיניה על מרעה זרוע באדניות (חמישה מינים שונים); צילום ווידיאו וגם ריצוף ידני מלא.
- י) שש עיזים בפארק רמת הנדיב על לוחות של עלי חרוב לקביעת צריכה; צילום ווידיאו וגם ריצוף ידני מלא.

בשלוש השנים של תכנית מחקר זו הושגה התקדמות משמעותית בעניין פיתוח חיישן אקוסטי למדדים התנהגותיים בצריכת מזון על ידי בעלי חיים במרעה. הוכח העיקרון שאפשר להפיק מידע מועיל מהקולות הנוצרים על ידי תנועות לסת הקשורות לצריכת מזון בבעלי חיים שונים. הדגש במחקר זה הושם על בעלי חיים במרעה, אבל התברר לנו תוך כדי ביצוע המחקר שהטכנולוגיה מתאימה לא רק לבעלי חיים במרעה אלא גם לאלה המוחזקים במבנים וניזונים ממזון מוגש. מה שחשוב הוא פעולת הלעיסה, ואם הפעולה הזאת יוצרת קול כצפוי, ניטור אקוסטי רלוונטי. אי לכך, הוחלט להגיש בקשה לרישום פטנט פרוביזורי (הבקשה הוגשה בתחילת 2016) שמגדירה את התחום בצורה רחבה: Acoustic monitoring of eating-related activities in animals that chew their food.

נקודת המוצא היא שאין טכנולוגיה זמינה ו-cost-effective לניטור התנהגות רעיה של בעלי חיים במרעה או לניטור התנהגות צריכה של בעלי חיים המוחזקים במבנים על מזון מוגש. טכנולוגיה כזאת עשויה לעניין גם את קהיליית המחקר וגם את היצרן המסחרי. הטכנולוגיה המתקדמת ביותר מבחינת ניטור התנהגות רעיה של בעלי חיים במרעה הייתה ה-IGER Behaviour Recorder שהתבסס על עיקרון אלקטרו-מכני. במסגרת עבודת אימות-הדדית (cross-validation) בין הציוד הזה לניטור אקוסטי בבקר (Ungar and Rutter, 2006b), וכן בניסוי דומה בכבשים (Rutter et al., 2002), הוכח שניטור אקוסטי מאפשר דיוק גבוה יותר בסיווג הסוגים השונים של תנועות לסת, כולל נגיסות. באותה תקופה עדיין לא הייתה תוכנה לעיבוד אות אוטומטי ופעולות הריצוף והסיווג (sequencing and classification) של ניטור אקוסטי נעשו באופן ידני. המחקר הנוכחי פתר את הבעיה של עיבוד אות אוטומטי. לאחרונה נודע לנו שמערכת IGER לא משווקת יותר, ובעצם אין מוצר מדף שממלא את הפונקציה הזאת.

האבחנה בין פיתוח שימש את קהיליית המחקר לבין פיתוח שימש את היצרן המסחרי היא יסודית ביותר. בעולם המחקר מקובל מאוד להפעיל מכשור שאוגר נתונים בשטח, ושמיאיים למעבדה בסוף ניסוי לפריקת נתונים, ושמצריך הפעלת תוכנה לעיבוד הנתונים, ושיוצר פלט די גולמי שמחייב המשך טיפול לניתוח וסיכום. צורת עבודה זו נקראת record-and-post-process. כך בעצם פעלה המערכת של IGER (Rutter, 2000). המערכת שפותחה במסגרת המחקר הנוכחי מהווה אב-טיפוס של מערכת כזו והיא בשלה להיכנס לתהליך של פיתוח מוצר. ליצרן המסחרי יידרש פיתוח נוסף כדי שהמערכת תפעל בשיטה של עיבוד אות בזמן אמת (on-the-fly signal processing) וגם כדי שהיא תעבד את הפלט על מנת לייצור מידע תמציתי ושימושי למגדל. זה אתגר לא טריוויאלי בכלל וייתכן מאוד שהשלבים העיקריים של שדרוג כזה מתאימים יותר למוסד מחקר מאשר לחברה מסחרית.

הפתרון שאנו מציעים לטכנולוגיה יעילה ו-cost-effective לניטור התנהגות רעיה של בעלי חיים במרעה מתבסס על העובדה של קולות נוצרים תוך כדי פעילויות הקשורות לצריכה בבעלי חיים שלועסים של האוכל שלהם. ניטור אקוסטי שואף לחלץ מידע מועיל מהקולות האלה. ניטור אקוסטי מבצע ארבע פעולות עיקריות:

1. לכידה של הקולות הנוצרים על ידי תנועות לסת בזמן רעיה פעילה וכן בזמן העלאת גירה.

2. זיהוי של תנועות לסת יוצרות קול ויצירת ציר זמן של אירועים אלה.

3. סיווג של תנועות הלסת שזוהו. (רלוונטי לרעיה פעילה ולא להעלאת גירה)

4. הפקת מידע מועיל מתוך ציר הזמן של תנועות לסת

ישנם ארבעה סוגים של מידע מועיל שאפשר להפיק מניטור אקוסטי:

1. דגם הפעילות לאורך היממה (בעיקר עבור בעלי חיים במרעה), כאשר הפעילות מתחלקת בין רעיה פעילה, העלאת גירה, ומנוחה (כלומר, לא רעיה פעילה ולא העלאת גירה) והדגם מגדיר זמן תחילה וסוף של כל מחזור פעילות.

2. ברמה מפורטת יותר, הדגם לאורך היממה של קצב תנועות לסת, קצב נגיסה, קצב לעיסה, יחס לעיסה : נגיסה, יחס לעיסה של העלאת גירה : לעיסה של רעיה פעילה. מדדים אלה קשורים לקצב צריכה ולאיכות המזון הנצרך.

3. קצב צריכה: עבור בעלי חיים המוחזקים במבנים על מזון מוגש, צפוי להיות מקדם לעיסה (מספר לעיסות ליחידת משקל צריכה) די קבוע. זה יאפשר אומדן צריכה על ידי חילוק מספר הלעיסות במקדם הלעיסה. במערכות בהן נמדדת התפוקה של בעל החיים באופן שוטף, כגון ברפת החלב, אומדן הצריכה יאפשר חישוב יעילות היצור, דבר שעד היום לא ניתן לחשב בהקשר של מערכת מסחרית וקשה מאוד לחשב במסגרת של מכון מחקר. זה פותח אפשרויות רבות במסגרת של חקלאות מדייקת בתחום בעלי חיים (precision livestock farming).

4. סימון בעיות בבריאות הפרט על סמך סטיות בדגם ההתנהגות לאורך היממה מדגם אופייני עבור בעל חיים בריא במסגרת של חקלאות מדייקת בתחום בעלי חיים (precision livestock farming).

היישומים האפשריים מבחינת מערכות ייצור ומינים של בעלי חיים מתחלקים בין בעלי חיים במרעה לבעלי חיים המוחזקים במבנים על מזון מוגש. לגבי בעלי חיים במרעה ניטור אקוסטי עשוי לתמוך בהחלטות ממשק הקשורות להקצאת שטח, העברת בעלי חיים מחלקה לחלקה ואספקת מזון מוגש. היישום אצל בעלי חיים במרעה יכול להיות בחיות משק (פרות חלב במדינות בהן פרות כאלה יוצאות למרעה, כבשים, עיזים, סוסים לבשר) או בחיות בר שלגביהם יש עניין רב במידע על איסוף מזון (feeding ecology), או בסוסים לרכיבה וספורט. לגבי בעלי חיים המוחזקים במבנים על מזון מוגש, היישום רלוונטי לפרות חלב, כבשים ועיזים, ואולי גם לחיות בר כלואים (באוריינטציה לבריאות ורווחה) וחיות מעבדה. כמובן, יידרש פיתוח משמעותי של הטכנולוגיה עבור חלק מקבוצות אלה.

ככלי מחקרי אצל בעלי חיים במרעה ניטור אקוסטי הוכיח את עצמו בפיענוח המנגנונים ההתנהגותיים שקובעים את קצב הצריכה (איור 3). ללא ניטור אקוסטי לא הייתה אפשרות לזהות לעיסות ועצם הקיום של סוג התנועה "לעיסה-נגיסה" התגלה על ידי ניטור אקוסטי. חשוב לציין שקיים קשר פונקציונאלי בין שני החלקים של היחס שמגדיר את קצב הצריכה בזמן רעיה פעילה, כלומר היחס בין משקל הנגיסה לזמן הדרוש

לטיפול בכל נגיסה (כולל לעיסה). הקשר הוא צורכי הלעיסה – נגיסות כבדות יותר דורשות יותר לעיסות ולכן זמן (Ungar, 1996).

החלוקה של זרם תנועות הלסת בזמן רעיה פעילה בין שלושת הסוגים (נגיסה טהורה, לעיסה טהורה, לעיסה-נגיסה) שונה בין פרטים, ועל פניו בעלי חיים שמבצעים שיעור גבוה יותר של לעיסות-נגיסות צפויות להיות יותר יעילים בתהליך הרעיה (Ungar et al., 2006a). ככלי מחקרי ניטור אקוסטי פותח תחום חדש שבו ייבדק הקשר בין יעילות תהליך הרעיה וייצור, וכן התורשתיות של סגנון הרעיה מבחינת החלוקה בין הסוגים השונים של תנועות לסת.

במסגרת המחקר הנוכחי נבדק לראשונה הקשר בין צריכה ולעיסה בהקשר של רעיה. הניסוי המבוקר עם עיזים שצרכו עלי חרוב הראה קשר ליניארי חזק בין מספר הלעיסות וכמות נצרכת, והוכח שמקדם הלעיסה לא מושפע באופן משמעותי על ידי גודל הנגיסה ומצב שובע של החיה. במקרים של רעיה על צומח יחסית אחיד (וכן לגבי בעלי חיים המוחזקים במבנים על מזון מוגש כמו בליל) תוצאות אלה חשובות מאוד לגבי האפשרות לחזות קצב צריכה. כמובן, ככל שהמנה שהחיה בוררת לעצמה מורכבת מיותר מינים בעלי תכונות שונות, המשימה קשה יותר.

הפיתוח של ניטור אקוסטי במסגרת המחקר הנוכחי התקדם בשלושה ערוצים: החומרה – טכנולוגיית חישה ללכידת האות האקוסטי; מיקום הציוד על החיה; התוכנה – עיבוד אות אוטומטי. מבחינת החומרה קבענו לעצמנו שלושה יעדים: השגת פרקי הקלטה ארוכים; יישום בבעלי חיים שמסתובבים חופשי במרעה בתנאים לא מבוקרים; שימוש במרכיבים זולים. הפתרון התבסס על שימוש במכשיר הקלטה קטן ממדים וקל (20 גרם בלבד) בשילוב מערכת הפעלה חיצונית (3rd-party operating system) שמרחיבה באופן משמעותי את יכולות ההקלטה. בין היתר, התוכנה מאפשרת בחירה בין פורמטים שונים של הקלטה, בחירה של תדירות דיגום על פני טווח רחב מאוד, פיצול הקלטה לקבצים רבים על בסיס גודל קובץ או זמן הקלטה, ושמירת קבצים על גבי כרטיס זיכרון נשלף.

מבחינת מיקום על החיה, קבענו לעצמנו שלושה יעדים: שהציוד (ובמיוחד המיקרופון) יישאר במקום בו הוצב, על החיה, לאורך זמן; שהציוד לא יפריע להתנהגות בעל החיים; שיהיה מגע חזק בין המיקרופון לרקמה קשה באזור הראש. למרות שמיקמנו את המיקרופון באזור המצח במשך שנים רבות של מחקר בסיסי אצל בקר, עדיין אין בידנו שיטה להבטיח שהמיקרופון יישאר במקומו בתנאי שטח לא מבוקרים. לעומת זאת, הצמדת המיקרופון (ויתר הציוד) על הקרן הניבה איכות האות טובה שעמדה בקריטריונים שקבענו. הבעיה העיקרית היא שקבוצות חשובות מאוד של חיות משק הן חסרות קרניים. מיקום המיקרופון על האף נתן תוצאות טובות אצל כבשים ו אצל סוסים. חשוב לכן להמשיך לפתח בדוק הצבת מיקרופון בשיטה זאת בבקר ועיזים עקב היתרונות הרבים.

ליבת המערכת לניטור אקוסטי היא התוכנה לעיבוד אות אוטומטי. היעדים שקבענו לעצמנו בתחם הזה היו: א) לזהות תנועות לסת יוצרות קול; ב) לסווג תנועות לסת יוצרות קול; ג) לייצר ציר זמן של פעילות; ד) להשיג כלליות וחוסר תלות במכשיר ההקלטה, בסוג המיקרופון, בסוג בעל החיים ובסוג בצמחייה; ה) להתמודד



ברעשים חיצוניים ולדעת להתעלם מהם; ו) להתמודד בהקלטות ארוכות מאוד של מספר שבועות. הפתרונות שיצרנו במסגרת המחקר הנוכחי היו: א) פיתוח אלגוריתם לזיהוי תנועות לסת יוצרות קול בעל כלליות גבוהה, יכולת לזהות ולסנן החוצה רעשים חיצוניים, ויכולת לנתח הקלטות ארוכות (נבדק בהקלטות של 10 ימים רצופים). ב) פיתוח אלגוריתם לסיווג תנועות לסת – כאן אנחנו רואים מקום לשיפור הגישה ואם יושג מימון להמשך המחקר הזה היינו מתמקדים בנושא זה. ג) פיתוח אלגוריתם ליצירת ציר זמן של פעילות לאורך היממה – הגישה של support vector machine נראה לנו מתאימה למשימה ובמחקר עתידי היינו מבקשים לקדם את הנושא הזה ולהביא את האלגוריתם לשלב פיתוח דומה לזה של האלגוריתם לזיהוי תנועות לסת.

לסיכום, מטרת העל שהוגדרה למחקר הייתה להביא את המרכיבים השונים של טכנולוגיה לניטור אקוסטי של בעלי חיים במרעה לשלב בשל למעורבות גורם עסקי. מטרה זו הושגה ובתחילת 2016 הוגשה בקשה לרישום פטנט פרוביזורי שכותרתה: Acoustic monitoring of eating-related activities in animals that chew their food. נוצר קשר באמצעות יחידת "קידום" של מינהל המחקר החקלאי עם יזמים המעוניינים למסחר את הטכנולוגיה הזאת. לגבי המטרות הספציפיות, הראשונה בקשה לייצור טכנולוגיה ישימה עבור שלושת הקטגוריות העיקריות של חיות משק מעלי גירה: בקר, כבשים, ועיזים. מטרה זו הושגה במלואה; מבחינת החומרה הותאם ציוד למעלי-גירה קטנים (כבשים ועיזים) שנבדק בתנאי שטח קשים וכן הותאם ציוד לבקר (פרות עדר בקר לבשר) שגם נבדק בתנאי שטח קשים. מבחינת התוכנה, האלגוריתם לזיהוי תנועות לסת יוצרות קול הופעל על הקלטות של בקר, כבשים ועיזים, ובכולם נוצר ציר זמן מפורט של זרם תנועות לסת שאומת מול צילומי ווידאו. המטרה השנייה בקשה לספק תיאור אמין של פעילות בעל החיים: רעיה פעילה, העלאת גירה, ומנוחה לאורך הזמן על סמך זיהוי תנועות לסת יוצרות קול. פותח אלגוריתם ליצירת ציר זמן של פעילות לאורך היממה שנבדק עבור מדגם הקלטות של בקר. התוצאות היו טובות ובהמשך יהיה צורך להפוך את השלבים השונים של הניתוח למהלך אוטומטי ולשלב אלגוריתם הזה עם האלגוריתם הראשי לזיהוי תנועות לסת יוצרות קול. המטרה השלישית בקשה לספק תיאור אמין של התנהגות הרעיה: נגיסות, לעיסות, ולעיסות-נגיסות, בזמן רעיה פעילה. נבדקו גישות שונות לסיווג תנועות הלסת אצל בקר ובכולם התקבלו תוצאות סבירות אך לא מעולות והיינו רוצים לבחון את נושא הסיווג מחדש, בין היתר כי קיים חשש שהרשתיות העצביות שפותחו אינן כלליות מספיק לתת מענה טוב עבור הקלטות שנאספו בציוד אחר ובתנאים שונים וכן עבור בעלי חיים אחרים (כבשים ועיזים). המטרה הרביעית בקשה לכמת את רמת הדיוק של הטכנולוגיה בקביעת פעילות והתנהגות רעיה בבקר, כבשים ועיזים ובסביבות רעיה שונות, שיכללו צומח עשבוני וצומח מעוצה, בעונה הירוקה ובעונה היבשה. לשם כך בנינו ספרייה של הקלטות של שלושת המינים האלה (מסלולי רעיה שלמים בכבשים ועיזים ומספר ימים רצופים אצל בקר), שכוללות מספר רב של פרטים שונים בתוך כל מין, וטיפוסי נוף שונים כולל אזורים עשבוניים (בקר וכבשים; עונות שונות) ואזורים עם צומח עשבוני ומעוצה (עיזים; עונות שונות). התוכנה לזיהוי תנועות לסת יוצרות קול עבדה את כל ההקלטות האלה בצורה מוצלחת וכן האלגוריתם לקביעת ציר הזמן של פעילות לאורך היום שהופעל בינתיים על מדגם מתוך ההקלטות האלה הצליח לנתח את הנתונים בצורה מוצלחת.

## פרסומים מדעיים

- Navon, S., Mizrach, A., Hetzroni, A., & Ungar, E. D. (2013). Automatic recognition of jaw movements in free-ranging cattle, goats and sheep, using acoustic monitoring. *Biosystems Engineering*, 114(4), 474-483.
- Navon, S., Bellalou, A., Ben-Moshe, E., Muklada, H., Glasser, T.A., Landau, S.Y. and Ungar, E.D. (2013) Possibilities and limitations in the estimation of intake by goats foraging Mediterranean woodland using acoustic variables. p. 28–29 in Proceedings 21th Conference of the Israel Rangeland Science Society, May 6, 2013.
- Navon, S., Hetzroni, A., Bellalou, A., Nevo, Y. and Ungar, E.D. (2013) Acoustic monitoring of animals on pasture: from jaw movement recognition to mapping of the activity timeline. p. 21 in Proceedings of Annual Conference of the Israeli Society of Agricultural Engineering, 23 May 2013, Bet Dagan, Israel.
- Ungar, E.D. (2014) Acoustic monitoring to infer activity and intake of grazing animals. p. 78 in Proceedings of International Conference on Ecoacoustics, 16–18 June 2014, Paris, France.

## ביבליוגרפיה

- Navon, S., Mizrach, A., Hetzroni, A. and Ungar, E. D. (2013). Automatic recognition of jaw movements in free-ranging cattle, goats and sheep, using acoustic monitoring. *Biosystems Engineering*, 114(4), 474-483.
- Rutter, S.M. (2000) Graze: a program to analyze recordings of the jaw movements of ruminants. *Behavior Research Methods*, 32, 86-92.
- Rutter, S.M., Champion, R.A. and Penning, P.D. (1997) An automatic system to record foraging behaviour in free-ranging ruminants. *Applied Animal Behaviour Science*, 54, 185–195.
- Rutter, S.M., Ungar, E.D., Molle, G. and Decandia, M. (2002) Bites and chews in sheep: Acoustic versus automatic recording. In *Proceedings of the 10th European Intake Workshop*, Reykjavik, Iceland.
- Ungar, E.D. (1996) Ingestive behaviour. In: J. Hodgson, & A. W. Illius (Eds.), *The ecology and management of grazing systems* (pp. 185-218). Wallingford, CAB International.
- Ungar, E.D., Ravid, N., Zada, T., Ben-Moshe, E., Yonatan, R., Baram, H. and Genizi, A. (2006a) The implications of compound chew-bite jaw movements for bite rate in grazing cattle. *Applied Animal Behaviour Science* 98: 183-195.
- Ungar, E.D. and Rutter, S.M. (2006b) Classifying cattle jaw movements: Comparing IGER Behaviour Recorder and acoustic techniques. *Applied Animal Behaviour Science*, 98, 11-27.
- אונגר, י.ד., גוטמן, מ., כהן, צ., ברעם, ח., אהרון, ח., דורסיני, נ., שלוש, ח., זליגמן, נ. (2006) יעילות היצור של עדר הבקר לבשר בחוות כרי דשא: סיכום של 15 שנה. ידיעות לבוקרים 116, 11-18 + 32.
- אונגר, י.ד., קרליבך, י., יהודה, י., ברעם, ח., גוטמן, מ. (2004) ניתוח רב שנתי של הייצור בעדר בקר לבשר במרעה ברמת הגולן: ביצועי עדר האמהות ויעילות הייצור. ידיעות לבוקרים 112, 10-16.
- אונגר, י.ד., קרליבך, י., יהודה, י., ברעם, ח., גוטמן, מ. (2005) ניתוח רב שנתי של הייצור בעדר בקר לבשר במרעה ברמת הגולן: 2. אוכלוסיית הוולדות ויעילות הייצור. ידיעות לבוקרים 113, 13-19.
- הנקין, ז., ברוש, א., אונגר, י.ד., פרבולוצקי, א., וינברגר, מ., שיינבאום, א., לנדאו, י. (2007) תכנית להגברת ייצור הבקר לבשר במרעה של חורש הים-תיכוני. ידיעות לבוקרים 117, 26-30.

## טבלאות ואיורים

**טבלה 1.** משך ההקלטה המקסימאלי לפי תדירות דיגום ונפח כרטיס זיכרון מסוג microSD.

זמן הקלטה בפורמט .wav			
עבור כרטיס זיכרון GB 128	עבור כרטיס זיכרון GB 32	עבור נפח GB 1	תדירות דיגום
dd:hh:mm	dd:hh:mm	hh:mm	kHz
99:09:03	24:20:15	18:38	8
66:05:19	16:13:19	12:25	12
49:16:31	12:10:07	09:19	16
33:01:36	08:06:24	06:12	24
24:19:12	06:04:48	04:39	32
16:12:48	04:03:12	03:06	48
12:08:31	03:02:07	02:19	64
08:06:24	02:01:36	01:33	96

**טבלה 2.** תוצאות השלב הראשון של הרשת העצבית, שמבחין בין תנועות לסת שיש בהן מרכיב של לעיסה לאלה שהם נגיסה בלבד. הערכים שבאלכסון שיורד משמאל לימין הם חיזויים נכונים.

Actual	Predicted	
	Chews	Non-chews
Chews	<b>80</b>	10
Non-chews	19	<b>113</b>

**טבלה 3.** תוצאות השלב השני של הרשת העצבית, שמבחין בין תנועות לסת שהן נגיסה בלבד לאלה שהן לעיסה-נגיסה. הערכים שבאלכסון שיורד משמאל לימין הם חיזויים נכונים.

Actual	Predicted	
	Bites	Chew-bites
Bites	<b>31</b>	11
Chew-bites	1	<b>89</b>

**טבלה 4.** התוצאות הכלליות של הרשת העצבית. הערכים שבאלכסון שיורד משמאל לימין הם חיזויים נכונים.

Actual	Predicted		
	Bite	Chew-bite	Chew
Bite	<b>31</b>	11	0
Chew-bite	1	<b>89</b>	0
Chew		10	<b>80</b>

**טבלה 5.** ניתוח סיווג למספר נגיסות, לעיסות, ולעיסות-נגיסות על בסיס ניתוח מסוג stepwise discriminant analysis כאשר ארבע תכונות הוכנסו למודל הסטטיסטי.

Actual	Predicted		
	Bites	Chews	Chew-bites
Bites	<b>99</b>	59	10
Chews	20	<b>324</b>	26
Chew-bites	13	35	<b>312</b>

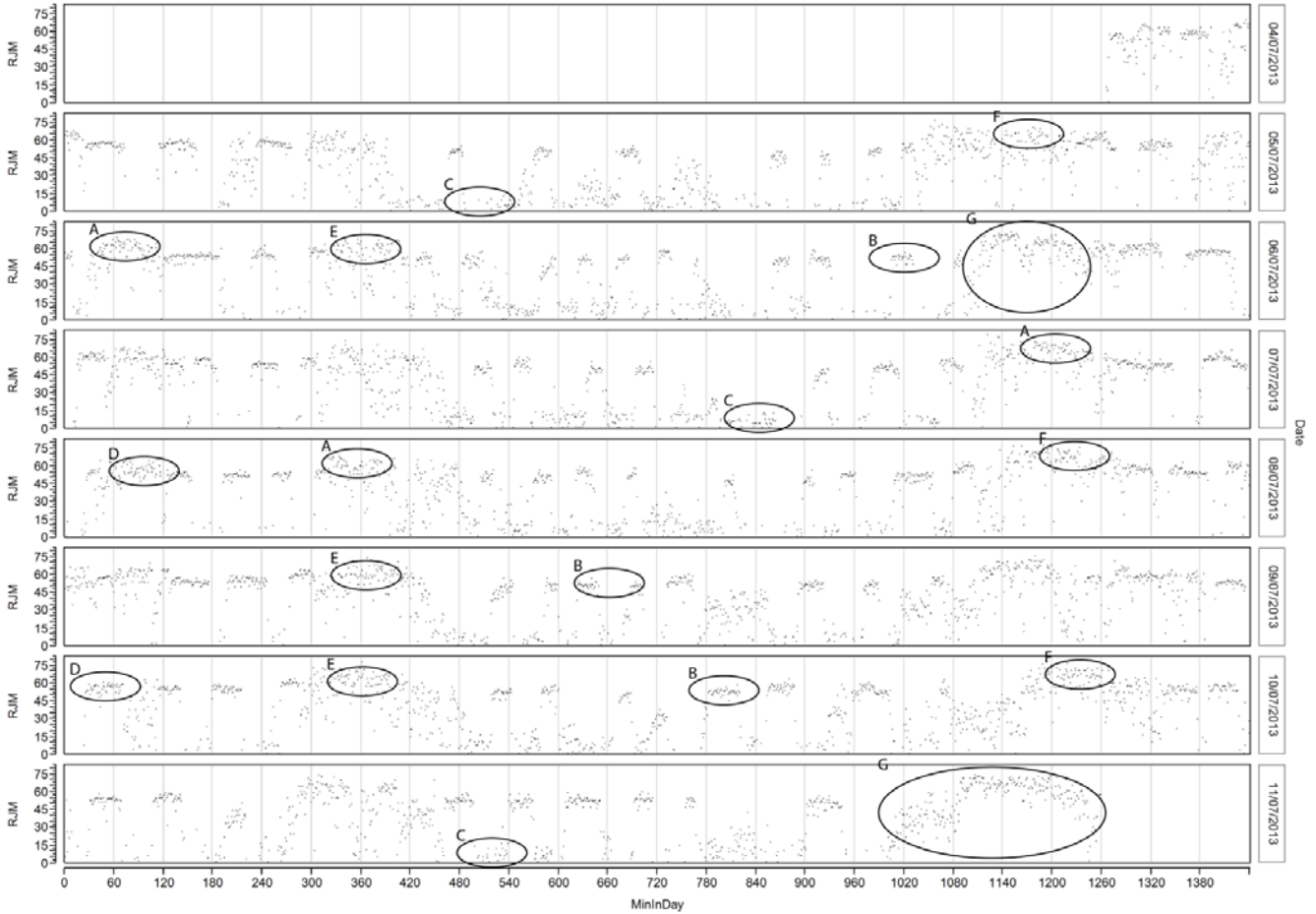
**טבלה 6.** ניתוח סיווג למספר נגיסות, לעיסות, ולעיסות-נגיסות על בסיס ניתוח מסוג logistic regression כאשר זיהוי הפרה וששת התכונות הוכנסו למודל הסטטיסטי.

Actual	Predicted		
	Bites	Chews	Chew-bites
Bites	<b>129</b>	28	11
Chews	21	<b>323</b>	26
Chew-bites	4	29	<b>327</b>

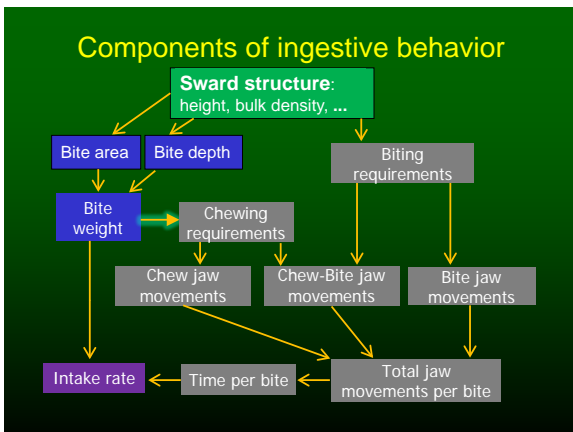
**טבלה 7.** ביצועים של רשת עצבית שבה השתמשנו כדי לסווג קולות נגיסה (B), לעיסה (C), ולעיסה-נגיסה (CB) עבור בעלי חיים באופן פרטני. U = לא ידוע.

Cow	Actual	B	CB	C	U	Predicted
						% Correct
56	B	4	0	0	5	44
	CB	2	38	9	1	76
	C	2	9	39	0	78
1923	B	4	0	0	4	50
	CB	0	17	3	0	85
	C	0	5	18	2	72
1950	B	12	8	1	1	55
	CB	1	16	3	0	80
	C	2	4	13	1	65
844	B	1	1	1	1	25
	CB	2	17	0	1	85
	C	1	6	13	0	65
2247	B	19	7	1	3	63
	CB	0	14	6	0	70
	C	1	5	13	1	65
2556	B	6	5	0	0	55
	CB	2	45	3	0	90
	C	0	10	40	0	80

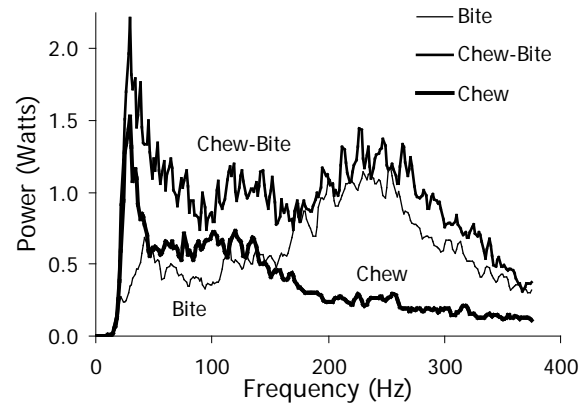
Cow 035 rate of jaw movements over 7 days



איור 1. קצב תנועות לסת של פרה במרעה במשך שבוע ימים כפי שנקבע על ידי ניטור אקוסטי. ציר ה-X הוא מספר הדקה ביממה, ציר ה-Y הוא קצב תנועות לסת ביחידות של תנועות לדקה (RJM = rate of jaw movements). כל נקודה באיור מסמלת דקה אחת. קווים אנכיים מסמנים תחילת שעה. A – רעייה פעילה; B – העלאת גירה; C – מנוחה; D – רעייה פעילה בלילה; E – רעייה פעילה בבוקר; F – רעייה פעילה בבוקר; G – רעייה פעילה עם שינויים הדרגתיים.



איור 3. המרכיבים ההתנהגותיים של קצב צריכה בזמן רעייה פעילה והקשר ביניהם, כפי שהתברר מתוך ניסויים מבוקרים ובעזרת ניטור אקוסטי.



איור 2. פרופיל האנרגיה בהתאם לתדר (average power) (spectrum density plot) עבור שלושת הסוגים של תנועות לסת (נגיסה, לעיסה, ולעיסה-נגיסה).

## סיכום עם שאלות מנחות

### מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה

להביא את הטכנולוגיה לניטור אקוסטי של בעלי חיים במרעה לשלב בשל למעורבות גורם עסקי. 1. לייצור טכנולוגיה ישימה עבור בקר, כבשים, ועיזים. 2. לספק תיאור אמין של פעילויות רעיה פעילה, העלאת גירה, ומנוחה לאורך הזמן. 3. לספק תיאור אמין של נגיסות, לעיסות, ולעיסות-נגיסות, בזמן רעיה פעילה. 4. לכמת את רמת הדיוק של הטכנולוגיה בקביעת פעילות והתנהגות רעיה בבקר, כבשים ועיזים ובסביבות רעיה שונות, שיכללו צומח עשבוני וצומח מעוצה, בעונה הירוקה ובעונה היבשה.

### אלו ממטרות המחקר הושגו בעבודת המחקר בנוכחית

כל המטרות הושגו ונוצר אב-טיפוס של מערכת שכוללת חומרה לקליטת האות שמותקנת על בעל החיים, ותוכנה לעיבוד אות אוטומטי לזיהוי תנועות לסת יוצרות קול וליצירת דגם הפעילות על ציר הזמן.

### עיקרי התוצאות.

דגם לכבשים ועיזים מותקן בקרן ומתאים להקלטות של יום רעיה של עד 10 שעות. הדגם לבקר מותקן גם הוא על הקרן אבל מאפשר הקלטה רציפה של כשבועיים. פותחו תוכנות לעיבוד אות אוטומטי כדי לזהות תנועות לסת יוצרות קול, לסיווג תנועות לסת, ולקביעת דגם הפעילות לאורך היממה. התוכנה לזיהוי תנועות לסת התמודדה בהצלחה בכל ההקלטות שנאספו. התוכנה מספקת תיאור אמין של פעילות בעל החיים: רעיה פעילה, העלאת גירה, ומנוחה לאורך הזמן על סמך זיהוי תנועות לסת יוצרות קול. נבדקו גישות שונות לסיווג תנועות הלסת אצל בקר ובכולם התקבלו תוצאות סבירות. יש מקום לבחון את נושא הסיווג מחדש. בניסוי מבוקר עם עיזים נמצא קשר ליניארי הדוק בין מספר הלעיסות לבין כמות צומח נצרכת.

### מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדו"ח?

הטכנולוגיה ישימה עבור שלושת הקטגוריות העיקריות של חיות משק מעלי גירה: בקר, כבשים, ועיזים. מטרת העל שהוגדרה לעיל הושגה ובתחילת 2016 הוגשה בקשה לרישום פטנט פרוביזורי על הטכנולוגיה שפותחה. החלו מאמצים לקדם את מסחור הטכנולוגיה. הושגו מטרות המחקר לתקופת הדו"ח.

### בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך

קיצור זמן הרצה של התוכנה והידור של התוכנה. בדיקה של גישה חדשה לסיווג תנועות לסת. מעבר משיטת עבודה של אגירה וניתוח במעבדה לשיטה של ניתוח בזמן אמת.

### הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח

Navon, S., Mizrach, A., Hetzroni, A., & Ungar, E. D. (2013). Automatic recognition of jaw movements in free-ranging cattle, goats and sheep, using acoustic monitoring. *Biosystems Engineering*, 114(4), 474-483.

Navon, S., Bellalou, A., Ben-Moshe, E., Muklada, H., Glasser, T.A., Landau, S.Y. and Ungar, E.D. (2013) Possibilities and limitations in the estimation of intake by goats foraging Mediterranean woodland using acoustic variables. p. 28–29 in Proceedings 21th Conference of the Israel Rangeland Science Society, May 6, 2013.

Navon, S., Hetzroni, A., Bellalou, A., Nevo, Y. and Ungar, E.D. (2013) Acoustic monitoring of animals on pasture: from jaw movement recognition to mapping of the activity timeline. p. 21 in Proceedings of Annual Conference of the Israeli Society of Agricultural Engineering, 23 May 2013, Bet Dagan, Israel.

Ungar, E.D. (2014) Acoustic monitoring to infer activity and intake of grazing animals. p. 78 in Proceedings of International Conference on Ecoacoustics, 16–18 June 2014, Paris, France.

## **פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח:**

✓ ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)

חסוי ללא פרסום: יש לצרף מכתב הסבר

אין בכוונתי להגיש תכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי