



Research Paper

Development of an Electronic System to Measure Cattle Rumination

Mahsa Javani Helan¹, Hossein Navid^{*1}, Hadi Karimi², Ali Hosseinkhani³, Elnaz Vahedi Tikmadash¹

1- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2- Agricultural Engineering Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Areeo, Kerman, Iran

3- Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

* Corresponding Author: navid@tabrizu.ac.ir

ARTICLE INFO

EXTENDED ABSTRACT

Keywords:

Animal Health,
Electronic System,
F-score,
Precision,
Rumination,
Sensitivity

Introduction

Agriculture is a vital sector in the country, with the livestock industry playing a significant role. Rumination is a key activity in livestock, and its condition can indicate overall health. Abnormal rumination patterns may signal health issues that can reduce productivity, making monitoring essential. Traditional visual observation is costly and often inaccurate; therefore, an electronic system was developed to monitor cattle rumination.

Materials and Methods

The system utilizes an accelerometer to detect muscle movement in animals. It comprises an Arduino Pro Mini board, ADXL345 accelerometer, LF33CV3 voltage regulator, Wi-Fi module, lithium battery, dual battery holder, and a smartphone. Acceleration data is captured along three directions (X, Y, Z) and transmitted to a smartphone via Wi-Fi. The necessary code was written in the Arduino programming environment. Outlier data were filtered using R software before transferring the remaining data to Excel for further analysis.

Results and Discussion

The system was tested in two configurations: as a necklace and on the snout of livestock. The snout configuration yielded optimal results with 88% sensitivity, 94% precision, and 94% F-score. Ensuring comfort for the livestock while using the monitoring system was crucial; thus, efforts were made to design lighter and smaller electronic components using SMD technology. Final evaluations showed sensitivity at 91%, accuracy at 82%, and F-score at 86%.

Conclusion

The ADXL345 accelerometer with $\pm 8g$ sensitivity is ideal for measuring acceleration across X, Y, and Z directions due to its low data dispersion and high accuracy. Its affordability and compact size make it

How to cite:

Javani Helan, M., Navid, H., Karimi, H., Hosseinkhani, A. and Vahedi Tikmadash, E. (2025). *Development of an Electronic System to Measure Cattle Rumination*. Journal of Agricultural Mechanization, 9 (4):15-28. <https://doi.org/10.22034/jam.2024.58598.1257>.

Received: September 26, 2023;

Revised: November 15, 2024;

Accepted: December 3, 2024

* Corresponding author: a.jalali@tabrizu.ac.ir

suitable for research applications comparable to a priority booklet. A waterproof bag installation proved effective as it maintains sensor position while protecting against environmental factors like rain or humidity.

In this study, the optimal installation location was determined to be on the muzzle due to significant muscle activity during chewing. This positioning allows for accurate acceleration measurements across all three axes during rumination while maximizing accuracy, sensitivity, and F-score. The circuit was installed in SMD mode with minimal error at a compact size on the animal's muzzle, ensuring nearly zero disconnection risk and improved data collection performance.



نشریه مکانیزاسیون کشاورزی

شاپا الکترونیکی 2717-4107
درگاه نشریه: <https://jam.tabrizu.ac.ir>



مقاله پژوهشی

توسعه سامانه الکترونیکی برای سنجش نشخوار گاو

مهسا جوانی هلان^۱، حسین نوید^{۱*}، هادی کریمی^۲، علی حسینخانی^۳ و النار واحدی تیکمه داش^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۳

- ۱- گروه مهندسی بیوسیستم - دانشکده کشاورزی - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران
- ۲- بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان - سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی - کرمان - ایران
- ۳- گروه علوم دامی - دانشکده کشاورزی - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران

E-mail: navid@tabrizu.ac.ir

* مسئول مکاتبه

چکیده

کشاورزی یکی از مهم‌ترین بخش‌های کشور محسوب می‌شود و در این میان، صنعت دامداری جایگاه ویژه‌ای را در این بخش به خود اختصاص داده است. نشخوار از فعالیت‌های مهم دام بوده و وضعیت آن می‌تواند نمایانگر سلامتی یا بیماری دام باشد. هرگونه شرایط غیرعادی در نشخوار حاکی از وجود مشکلاتی است که می‌تواند به کاهش بهره‌وری دام منجر شود، لذا نظارت بر نشخوار دام امری ضروری است. از آنجایی که مشاهده و پایش بصری نشخوار هزینه بالا و دقت پایینی دارد، یک سامانه الکترونیکی با هدف پایش نشخوار گاو طراحی و ساخته شد. اجزاء سخت افزاری سامانه شامل آردوینو، شتاب‌سنج، رگلاتور ولتاژ، ماژول وای فای، باتری لیتیومی و جا باتری دوتایی می‌باشد. این سامانه در دو حالت گردن‌بندی و پوزه‌ای روی دام ارزیابی گردید. در حالت پوزه‌ای بهترین نتایج با حساسیت ۸۸ درصد، صحت ۹۴ درصد و F-score ۹۴ درصد حاصل شد. در کاربرد عملی، آسایش و راحتی دام در برخورد با سامانه پایش بسیار مهم است. از این‌رو، بیشترین تلاش برای سبک‌تر و کوچک‌تر ساختن سامانه با طراحی و چاپ بردهای الکترونیکی به صورت SMD صورت گرفت. در ارزیابی نهایی سامانه حساسیت، صحت و F-score آن به ترتیب ۹۱، ۸۲ و ۸۶ درصد به دست آمد.

کلمات کلیدی: سامانه الکترونیکی، سلامت دام، حساسیت، صحت، نشخوار، F-score

۱- مقدمه

کشاورزی یکی از مهم‌ترین بخش‌های تولیدی کشور می‌باشد. صنعت دامداری نیز یکی از اصلی‌ترین شاخه‌های کشاورزی محسوب می‌شود که سهم عمده‌ای از تولید لبنیات و گوشت هر کشور را عهده‌دار است.

میزان تولید گوشت در دنیا طی ۵۰ سال گذشته بیش از ۳ برابر شده است. این در حالی است که در سال‌های اخیر میزان تولید به دلایل مختلفی مانند اثرات شیوع کرونا روند کاهشی را تجربه کرده است (FAO, 2022). تولید جهانی گوشت در سال ۲۰۲۲ به ۳۶۰ میلیون تن رسید و میزان تولید گوشت ایران از ۳/۰۸۶ میلیون تن در سال ۲۰۲۱ به ۳/۰۳ میلیون تن در سال ۲۰۲۲ کاهش یافته است (FAO, 2022). بر اساس مرکز آمار ایران نیز تولید گوشت گاو ۲۴ درصد کاهش یافته است (FAO, 2022).

به موازات افزایش چشمگیر تولیدات دامی، حساسیت دام‌ها به بیماری‌های گوناگون به‌ویژه بیماری‌های متابولیک، افزایش یافته و زبان‌های اقتصادی فراوانی را به دامداران وارد می‌کند. امروزه گسترش روش‌های گوناگون و پیشرفته تشخیصی، پیشگیری و درمان به‌موقع دام‌های مبتلا به بیماری‌های متابولیک را فراهم کرده است. اختلالات متابولیکی که با یکدیگر در ارتباط هستند از مسائل مدیریتی تغذیه ناشی می‌گردند. دامپزشک با تشخیص و درمان به‌موقع و در صورت لزوم معدوم کردن دام، از سرایت بیماری‌های قابل انتقال از دام به انسان جلوگیری می‌کند. به‌نظر می‌رسد که بسیاری از بیماری‌های گاوهای شیری مربوط به تغذیه و زمان نشخواری است (Karimi, 2018).

بیماری‌های متابولیک اکثراً بدون نشانه‌های بالینی شمار زیادی از حیوانات گله را درگیر می‌کند و از راه‌های گوناگون نظیر کاهش تولید، کاهش اجزای اقتصادی شیر (مانند چربی و پروتئین)، کاهش باروری و افزایش فاصله زایش‌ها، افزایش نسبت تلقیح به آبستنی، افزایش بروز بیماری‌های عفونی،

تحمیل هزینه‌های تشخیص و درمان و افزایش موارد حذف گاو‌ها از گله‌ها سبب زیان اقتصادی می‌شود (Karimi, 2018). بیماری‌های متابولیک در موارد بسیار دلایل مشترک دارند و بیماری‌زایی آن‌ها نیز نقاط مشترک فراوانی دارد. بیماری متابولیک می‌تواند آغازی برای دیگری باشد و معمولاً حیوان در پی ابتلا به یکی از آن‌ها با بیماری‌های دیگری نیز روبه‌رو می‌شود.

نشخوار و غذا خوردن از فعالیت‌های اساسی گاو‌ها است و مشاهده این رفتارها اطلاعات مفیدی در مورد سلامت گاو‌ها فراهم می‌کند. نشخوار پیش‌شرط سطح معینی از سلامتی است. هیجان و استرس، اضطراب و انواع بیماری‌های مختلف را می‌توان با استفاده از پایش نشخوار کنترل و مهار کرد. نشخوار کردن سبب تسهیل هضم خوراک، کاهش اندازه ذرات و تحریک مصرف خوراک، افزایش ترشح بزاق و بهبود فعالیت شکمبه می‌گردد. نشخوار شاخص سلامت و آسایش گاو می‌باشد. نشخوار کردن رابطه مستقیم با طول مدت مصرف خوراک و مقدار خوراک مصرفی دارد و محدود نمودن مصرف خوراک سبب کاهش نشخوار می‌شود (Karimi, 2018).

همچنان که بیان شد، عمده‌ترین رفتار دام که ارتباط مستقیم با سلامت و تندرستی آن دارد نشخوار می‌باشد. برای تشخیص زمان تغذیه دام، نشخوار یا فعالیت‌های طبیعی شکمبه و... نیاز به مشاهدات متعدد و یا استفاده از فن‌آوری ثبت خودکار فعالیت می‌باشد (Stobbs & Cowper, 1972). مشاهدات بصری هزینه بالا و دقت پایینی دارند، ولی اندازه‌گیری خودکار فعالیت جویدن یک ابزار مفید برای به‌دست آوردن زمان نشخوار است (Lindgren, 2009). این فناوری با نظارت مکرر بر گاو‌ها بدون ایجاد اختلال در رفتار طبیعی، به تولیدکنندگان و محققان کمک می‌کند (Muller & Schrader, 2003).

در سال‌های اخیر به آسایش، سلامت حیوانات و کیفیت محصولات دامی توجه ویژه‌ای شده است (Becker & Ellis, 2003).

انتقال داده‌ها تشکیل شده‌اند.) که صدای نشخوار را از طریق میکروفن و ریزپردازنده کمی می‌کرد و همبستگی زیادی بین مشاهدات بصری و فناوری مشاهده نمودند. سیستم RWS^۲ به شکل گردن‌بند بر گردن گاو نصب می‌شد که شامل یک حسگر فشار، یک شتاب‌سنج ۳ محوره و دیتالاگر برای جمع‌آوری داده‌ها برای شناسایی ویژگی‌های مختلف رفتاری در گاو بود. استفاده از پوزه‌بند Hr-Tag برای نظارت بر زمان نشخواری توسط محققین متعددی، اعتبارسنجی شد. نتایج نشان داد که این سامانه برای پایش سلامتی گاوها مناسب است (Stangaferro et al., 2016). برای گاوهای جوان Hr-Tag تغییرات زیادی نشان داد، اگرچه برای تلیسه‌های بزرگتر از ۹ ماه توصیه شد (Burfeind et al., 2011). Hr-Tag زمان نشخوار در گاو را به درستی تخمین نزد و علت آن هم به رژیم غذایی و ویژگی‌های حیوان مرتبط بود (Goldhawk et al., 2013). با این وجود، Hr-Tag برای گوساله‌های از شیر گرفته شده نتایج بسیار دقیق‌تری را داشت (Lopreiato et al., 2018).

Zehner et al (2012) از سامانه‌ای شامل یک شتاب‌سنج سه محوره، دیتالاگر، گام‌شمار^۳ و نرم‌افزار ارزیابی برای اندازه‌گیری خودکار نشخوار، مصرف آب و خوراک و حرکات حیوان استفاده کردند. داده‌ها به صورت بی‌سیم از کارت حافظه SD به رایانه منتقل می‌شد. این حسگر به صورت یکپارچه برای نصب روی پوزه‌بند طراحی شد. در آزمایش‌ها، ضریب تبیین برای حرکات فک هنگام نشخوار و غذا خوردن ۰/۷۷ = R^۲ به دست آمد. لازم به ذکر است که در این تحقیق از لوله سیلیکونی حاوی روغن گیاهی که دارای یک حسگر فشار داخلی بود و با حرکات فک گاو کار می‌کرد استفاده شد.

Braun et al (2013) از یک حسگر فشاری که با یک افسار بر روی پوزه گاو نصب شده بود استفاده کردند. تغییرات فشار

(Eldesouky, 2017; 2017). دغدغه اصلی دامداران سلامت دام است. دامداران مراقب دام‌های خود هستند، اما با افزایش ابعاد دامداری، توجه به هر حیوان کاهش می‌یابد (Meen et al., 2017). بنا به اصول دامداری دقیق^۱، نظارت بر رفتار و رفاه حیوانات با بهبود سیستم‌ها، سبب تولید پایدار می‌شود (Fournel et al., 2017). کشاورزی دقیق در افزایش رفاه حیوانات و تولید محصولات با کیفیت نقش به‌سزایی دارد (Subramanian, 2018).

Schirmann et al (2009) دریافتند که یک سامانه الکترونیکی برای نظارت روزانه بر زمان نشخوار و زمان صرف شده برای نشخوار در فواصل ۲ ساعته در طول روز می‌تواند یک ابزار مفید برای پژوهش‌ها و اهداف تجاری (به‌عنوان مثال، برای تشخیص گاوهای نزدیک به زایمان و یا گاو بیمار) باشد. با استفاده از پوزه‌بند‌های سنجش نشخواری می‌توان ناهنجاری‌های متابولیک را در مراحل اولیه شناسایی کرد و دامدار می‌تواند با استفاده از این وسیله در هزینه‌های مربوط به درمان بیماری‌ها و سلامت کلی گاو صرفه‌جویی کند. با شناسایی این وقایع در مراحل اولیه، گاو قادر است هرچه زودتر به زنجیره شیردهی برگشته و در وضعیت سلامتی بهتری باشد. این ممکن است بهره‌وری کلی گله را افزایش دهد که یک هدف کلیدی برای دستیابی به حداکثر سوددهی است (Huzzey et al., 2007). حسگرهای مختلفی برای نظارت بر حرکات فک نشخوار کنندگان همانند سونچ‌های فکی و جیوه‌ای (Stobbs et al., 1972)، شتاب‌سنج‌ها و مبدل‌های جابه‌جایی (Chambers et al., 1981)، بالن‌های فکی و مبدل‌های فشاری (Derrick et al., 1993) توسعه یافته است. Schirmann et al (2009) فناوری SCR, Hr-Tag را ارزیابی کردند (این سامانه از یک میکروفون برای تشخیص صدا، ریزپردازنده برای پردازش داده و فرستنده و گیرنده برای

³ Pedometer

¹ Precision Livestock Farming

² RumiWatch System

(2017) روش‌هایی برای اندازه‌گیری سه رفتار عمومی دام‌های شیری (نشستن، ایستادن و تغذیه گاوهای شیری در طول) با استفاده از شتاب‌سنج‌های نصب شده بر گردن حیوان ارزیابی کردند. رفتار گاوها هم‌زمان با مشاهده بصری و ضبط ویدئویی مورد بررسی قرار گرفت. دقت این کار ۷۵ درصد و حساسیت آن ۶۵ درصد به‌دست آمد. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که شتاب‌سنج نصب شده بر گردن می‌تواند به‌صورت خودکار رفتار گاوها را مورد بررسی قرار دهد.

Antanaitis et al (2022) مطالعه‌ای بر روی دام‌ها انجام دادند که هدف این مطالعه بررسی تاثیر بیماری ورم پستان بر کاهش زمان نشخوار بود. در این تحقیق از یک سامانه RumiWatch به‌شکل پوزه‌ای استفاده کردند. نتایج نشان داد که گاوهای سالم زمان بیشتری را نسبت به گاوهای بیمار صرف نشخوار و آب خوردن می‌کنند؛ بررسی چنین رفتاری به‌صورت چشمی با خطای زیاد همراه بوده و حتی شاید امکان‌پذیر نباشد ولی مجهز کردن دام‌ها به چنین سامانه‌ای باعث می‌شود قبل از شروع علائم جدی دام تحت درمان قرار گیرد. این سامانه متشکل از یک لوله فشار پر از مایع و یک پوزه‌بند به‌صورت یکپارچه است. در این سامانه دیتالاگر روی پوزه‌بند قرار دارد و همچنین برای تشخیص حرکات سر از یک شتاب‌سنج سه محوره در آن استفاده شد و نیز یک فرستنده بی‌سیم برای جمع‌آوری داده مورد استفاده قرار گرفت.

Antanaitis et al (2023) مطالعه‌ای روی پیش‌بینی زایمان با بررسی پارامترهای نشخوار، خوردن، نوشیدن و رفتار حرکتی انجام دادند در این بررسی از سامانه RumiWatch قبل و بعد از زایمان داده‌های لازم را جمع‌آوری کردند. بر اساس این مطالعه بین پارامترهای نشخوار، خوردن و رفتار حرکتی ثبت شده توسط سامانه قبل و بعد از زایمان همبستگی وجود دارد که امکان پیش‌بینی زایمان تا ۱۰ روز قبل از آن وجود دارد.

مکانیکی باعث تغییر فشار داخل لوله پر از روغن می‌شد. این کار مقاومت الکتریکی حسگر را تغییر داده و به‌عنوان سیگنال ثبت شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که اندازه‌گیری‌های انجام شده برای فعالیت نشخوار و غذا خوردن مطابقت بسیار خوبی با داده‌های به‌دست آمده از طریق مشاهده مستقیم دارد.

Reith et al (2014) فعالیت و زمان نشخوار بر اساس فن‌آوری حسگر نصب شده بر گردن گاوهای شیری در طول دوره فعلی را ارزیابی کردند. زمانی که گاو به‌صورت مصنوعی در معرض بارداری قرار گرفت میانگین سه روز قبل و سه روز بعد از فعلی به‌عنوان دوره مرجع در نظر گرفته شد. فعالیت و زمان نشخوار تحت تاثیر فعلی گاوها بود به‌طوری‌که در زمان فعلی، فعالیت گاو افزایش یافت در حالی‌که زمان نشخوار کاهش یافته بود. زمان نشخوار در روزهای فعلی ارتباط منفی با تولید شیر گاوها دارد. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که با استفاده از اندازه‌گیری فعالیت (گردن) و زمان نشخوار، می‌توان گاوهای فعل را شناسایی کرد.

Kumar & Hancke (2014) از پروتکل زیگبی^۱ در سامانه پایش سلامت استفاده کردند. در این سامانه، پارامترهای فیزیولوژیکی مانند نشخوار، دمای بدن، ضربان قلب، دمای اطراف و رطوبت قابل اندازه‌گیری بود. آن‌ها از یک شتاب‌سنج سه محوره ADXL335 که در طرف سمت چپ دهان ثابت شده بود استفاده کردند. داده‌ها از طریق ماژول زیگبی به یک رابط کاربری گرافیکی در حال اجرا از کامپیوتر میزبان ارسال شده و سیگنال خروجی حسگر نشخوار به شکل موجی نمایش داده می‌شد.

Abeni & Galli (2017) از یک شتاب‌سنج سه محوره برای اندازه‌گیری فعالیت دام و از یک میکروفون برای ضبط صدای نشخوار استفاده کردند و از این طریق، توانستند تنش حرارتی گاوهای شیرده را تشخیص دهند. Benaissa et al

¹ Zigbee

ارسال نماید. کد لازم برای این کار در محیط برنامه نویسی آردوینو نوشته شد.

تمامی قطعات روی برد سوراخدار لحیم کاری شد. پس از لحیم کاری و کدنویسی اولیه تمام اجزاء سامانه در داخل یک گردن بند قرار گرفت. برنامه TCP/UDP Terminal برای دریافت داده ها و برچسب گذاری آنها از طریق وای فای در گوشی نصب شد. طرح اولیه سامانه در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- طرح اولیه سامانه

Fig 1. The initial design of the system

۲-۳- تعیین حساسیت مناسب شتابسنج و محل مناسب نصب حسگر

تمامی قطعات در داخل یک گردن بند چرمی مناسبی قرار داده شدند. از آنجایی که شتابسنج دارای دامنه های کاری (که رابطه مستقیمی با مقدار حساسیت حسگر دارد) متفاوت بود برای پیدا کردن بهترین حساسیت حسگر، سامانه به مدت سه روز روی گردن گاو نصب گردید. دامنه کاری شتابسنج در این سه روز به ترتیب روی $\pm 16g$ ، $\pm 8g$ و $\pm 4g$ تنظیم شد. داده های اندازه گیری شده توسط شتابسنج از طریق پروتکل وای فای به گوشی موبایل منتقل و همه فعالیت های مشاهده شده در طول آزمایش برچسب گذاری گردید.

برای مدیریت موفق یک گاوداری و سلامت گاوها لازم است زمان نشخوار گاوها دائما مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. این ارزیابی با مشاهده چشمی امکان پذیر نیست، چرا که نشخوار گاو به طور پراکنده و بیشتر در زمان شب صورت می گیرد. لذا دامدار نیازمند فناوری پیشرفته برای ثبت دائم داده های نشخواری است تا از این طریق بتواند با بررسی این داده ها قبل از بروز علائم بالینی با مشاهده اختلال در زمان نشخواری بیماری را تشخیص دهد.

با توجه به تحریم کشور ایران و لزوم بومی سازی سامانه های مورد نیاز و از آنجایی که سامانه پایش نشخوار دام در کشور در حد صنعتی وجود ندارد و سامانه های مشابه خارجی حتی در صورت رفع تحریم، قیمت بالا و عدم پشتیبانی را دارند؛ بنابراین طراحی و ساخت چنین سامانه ای با بیشترین حساسیت و کمترین هزینه تمام شده هدف اصلی این تحقیق بود.

۲-مواد و روش

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

حسگر مورد نظر در آزمایشگاه کشاورزی دقیق دانشگاه تبریز آماده شد و از تیرماه سال ۱۳۹۸ داده برداری ها در روزهای مختلف در ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان دانشگاه تبریز واقع در منطقه خاوران آغاز شد.

۲-۲- طراحی حسگر

حرکت عضلات حیوان می تواند با کمک شتابسنج شناسایی شود. برای این منظور سامانه ای متشکل از برد آردوینو پرومینی^۱، شتابسنج ADXL345، رگلاتور ولتاژ LF333CV3، ماژول وای فای^۲، باتری لیتیومی، جا باتری دوتایی و گوشی موبایل طراحی گردید، به طوری که می توانست داده های شتاب در سه امتداد X، Y و Z را اندازه گیری و از طریق پروتکل وای فای به گوشی هوشمند

² WiFi

¹ Arduino Pro Mini

که جزء اساسی سیستم حرکتی می‌باشد. این عضله در ناحیه زیر چشم گاو قرار دارد.

با توجه به این‌که باید موقعیت حسگر به زیر چشم دام منتقل می‌شد، دوباره اقدام به تعویض گردن‌بند دام کرده و به حالت پوزه‌ای تغییر یافت. سامانه در داخل پوزه‌بند قرار گرفت و طی چند روز متوالی سامانه روی پوزه گاو نصب و داده‌برداری انجام شد. نحوه نصب سامانه در موقعیت و حالت‌های مختلف در شکل ۳ قابل مشاهده است.



شکل ۲- قطعات در داخل گردن‌بند

Fig 2. Pieces inside the necklace

۴-۲- طراحی حسگر نهایی

سامانه طراحی شده با وجود نتایج قابل قبول مشکلاتی هم داشت. از جمله مشکلات نبود ماژول لازم برای ذخیره‌سازی داده در سامانه مذکور بود. در مراحل اولیه داده‌برداری، داده‌ها از طریق ماژول وای‌فای به گوشی ارسال می‌گردید و برچسب‌گذاری به‌صورت دستی انجام می‌گرفت. این امر مستلزم استفاده از نیروی انسانی بود. برای حل این مشکل یک SD کارت به مدار اضافه شد. برای بهتر شدن سامانه و نمایش لحظه‌ای زمان فعالیت نشخوار نمایشگر به مدار اضافه گردید به‌طوری که کاربر توسط آن می‌تواند هر لحظه از وضعیت نشخوار دام اطلاع داشته باشد. هنگام قطع

داده‌های پرت از بین داده‌های جمع‌آوری شده، توسط نرم‌افزار R حذف و بقیه داده‌ها برای پردازش به محیط اکسل منتقل شدند.

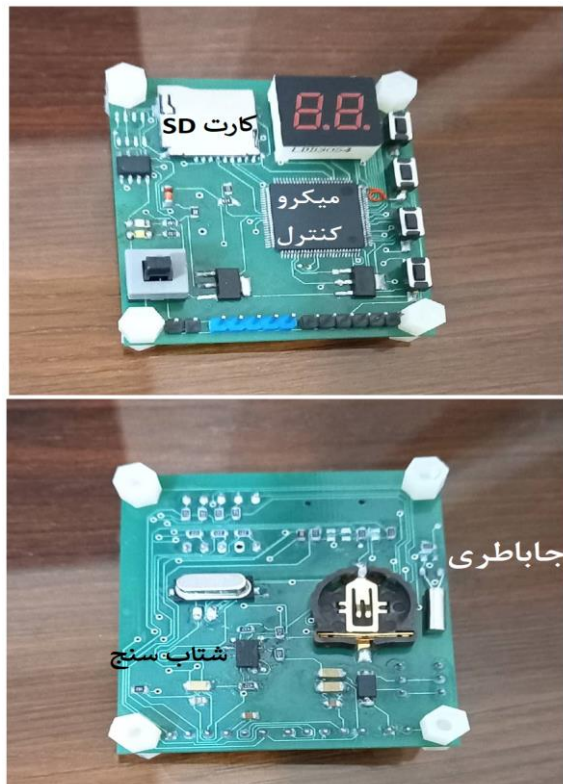
در ادامه، از آزمون t برای تحلیل و بررسی پراکندگی داده‌ها، و آزمون کای‌مربع برای یافتن ارتباط معنی‌داری بین نشخوار و سایر فعالیت‌ها (براساس بودجه زمانی یک دام در طول شبانه روز به‌طور متوسط ۱۲-۱۰ ساعت مشغول به فعالیت نشخوار، ۵/۵-۵ ساعت مشغول به غذا خوردن، ۳۰ دقیقه مربوط به نوشیدن و مابقی مربوط به سایر فعالیت‌ها مثل راه رفتن، نشستن، خوابیدن و... است.) استفاده شد. بعد از تعیین بهترین حساسیت شتاب‌سنج، هدف بعدی یافتن بهترین موقعیت نصب حسگر در گردن گاو بود. برای این منظور به‌خاطر تغییر موقعیت مداوم گردن‌بند چرمی و در نتیجه تغییر موقعیت حسگر، گردن‌بند کشی استفاده گردید تا در گردن گاو حرکتی نداشته باشد و داده‌های ثبت شده قابل اطمینان‌تر باشند.

بعد از آماده‌سازی کیف و قرار دادن سامانه در داخل آن (شکل ۲) داده‌برداری طی روزهای متوالی در دو موقعیت کنار گوش و روی غبغب صورت گرفت. داده‌ها در محیط اکسل مرتب و در نرم‌افزار R مورد تحلیل قرار گرفتند. از طریق این نرم‌افزار صحت^۱، حساسیت، و F-score و نمودار راک برای هر دو حالت استخراج شد. بعد از مقایسه نتایج هر دو حالت، مشاهده گردید که نصب حسگر در غبغب نتایج قابل قبول‌تری دارد.

هرچند موقعیت مناسب تعیین شد اما از آنجایی که سامانه به صحت، حساسیت و F-score لازم نرسیده و نتایج ایده‌آل نبود؛ بنابراین مطالعات و تحقیقات جدید در رابطه با موقعیت حسگر انجام شد. با توجه به مطالعات انجام شده، محل ایده‌آل تعبیه حسگر عضله M.massete شناسایی شد

¹ Precision

مشکل و نیز جمع و جور شدن سامانه طراحی شده، مدار نهایی به صورت PCB^۲ طراحی و چاپ گردید. طرح کلی سامانه بهبود یافته در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴- طرح کلی سامانه بهبود یافته

Fig 4. Improved system outline

۵-۲- ارزیابی نهایی

برای ارزیابی کارکرد سامانه، طی سه روز متوالی سامانه روی پوزه دام‌های متفاوت نصب شد. برای مقایسه کارکرد سامانه با مشاهدات بصری، هر پنج دقیقه یک بار توسط نیروی انسانی برچسب گذاری شد. کارکرد کلی سامانه هر سه ساعت یک بار در گردن گاو مورد بررسی قرار گرفت. زمان فعالیت نشخوار از روی نمایشگر، SD کارت و برچسب گذاری دستی ارزیابی شد. پس از ذخیره سازی داده‌های مربوط به سه روز

منبع تغذیه، زمان محاسبه شده دچار اختلال می‌شود؛ برای حل این مشکل قطعه^۱ RTC به مدار اضافه گردید، ولی برای اضافه کردن این ماژول تعداد پین‌های آردوینو پرومینی کافی نبود. بعد از انجام مطالعات لازم در مورد میکروکنترلرها به دلیل قیمت مناسب، حافظه زیاد و تعداد پین بیشتر، آردوینو Atmega2560 برای ادامه کار انتخاب شد. تمامی قطعات روی این ماژول نصب و کد مربوط به تمامی قطعات در محیط آردوینو نوشته و روی میکروکنترلر بارگذاری شد.



شکل ۳- موقعیت‌های مختلف حسگر: بالا) موقعیت نصب

حسگر در گردن، پایین) حسگر در غبغب و ج) حالت پوزه‌ای

Fig 3. Different positions of the sensor: top) the position of installing the sensor in the neck, bottom) the sensor in the cow bleating and c) the muzzle position

با اضافه شدن تعداد سیم‌ها به مدار امکان قطع شدن سیم‌ها در حین داده‌برداری افزایش یافت، برای حل این

² Printed Circuit Board

¹ Real Time Clock

جدول ۳- نتایج آزمون کای مربع برای دامنه کاری $\pm 4g$
Table 3. The results of the chi-square test for the working range of $\pm 4g$

کل	سایر فعالیتها	نشخوار	
۱۲۱۱۵	۸۱۷۲	۳۹۴۳	تعداد مشاهده
۱۲۱۱۵	۹۰۸۷	۳۰۲۸	تعداد مورد انتظار
---	۸۲E-۵/۱۹	کای مربع	کای مربع

۳-۲-۱- آزمون t

جدولهای ۴، ۵ و ۶ نتایج آزمون t را در دامنه‌های کاری مختلف نشان می‌دهد. این آزمون برای مقایسه میانگین‌ها استفاده می‌شود تا ارتباط معنی‌داری بین داده‌ها مشخص شود. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود t تجربی با مقدار $-4/46$ از t بحرانی با مقدار $1/96$ کمتر بوده و این به معنی عدم اختلاف معنی‌دار در مقادیر اندازه‌گیری شده برای حالت نشخوار و سایر حالات می‌باشد.

جدول ۴- نتایج آزمون t برای دامنه کاری $\pm 16g$
Table 4. The results of the t test for the working range of $\pm 16g$

نشخوار	سایر فعالیتها	محاسبات
۳۲/۰۷۷۷۲	۳۱/۹۰۳	میانگین
۰/۸۳۲۱۹۱	۲/۰۰۱۰۵۱	واریانس
۱۴۴۴	۵۷۸۹	مشاهده
--	-۴/۴۶۷۲۳	t تجربی
--	۱/۹۶۰۲۹۳	t بحرانی

به عبارت دیگر با این مقدار دامنه کاری ($\pm 16g$) نمی‌توان رفتار نشخواری را از سایر فعالیت‌ها تشخیص داد. در مورد دامنه کاری $\pm 4g$ نیز مقایسه بین t تجربی با مقدار $8/86$ و t بحرانی ($1/96$) حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد بین شتاب‌های اندازه‌گیری شده در حالت نشخوار با سایر وضعیت‌ها می‌باشد (جدول ۵).

در SD کارت تمامی داده‌ها به رایانه منتقل و پس از پیش‌پردازش آن‌ها درصد صحت، حساسیت و F-score به ترتیب براساس روابط (۱) تا (۳) استخراج شد.

$$\text{Sensitivity (TPR) or Recall} = TP / (TP+FN) \quad (1)$$

$$\text{Precision} = TP / (TP+FP) \quad (2)$$

$$\text{F-Score} = 2 \times (\text{Recall} \times \text{Precision}) / (\text{Recall} + \text{Precision}) \quad (3)$$

۳- بحث و نتایج

۳-۱- نتایج آزمایش برای انتخاب دامنه کاری

بهینه حسگر

۳-۱-۱- آزمون کای مربع^۱

جدولهای ۱، ۲ و ۳ نتایج آزمون کای مربع را به ترتیب برای دامنه‌های کاری $\pm 16g$ ، $\pm 8g$ و $\pm 4g$ نشان می‌دهد. این آزمون با هدف مقایسه داده‌های مشاهده شده با داده‌های مورد انتظار است که ارتباط معنی‌داری را بین داده‌ها مشخص می‌کند. توجه به مقادیر جدول مشخص می‌کند که با هر سه میزان دامنه کاری، اختلاف معنی‌داری بین نشخوار و سایر فعالیت‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد وجود دارد چرا که مقدار کای مربع خیلی کمتر از $0/05$ است. به عبارتی می‌توان رفتار نشخوار و سایر فعالیت‌ها را تشخیص داد.

جدول ۱- نتایج آزمون کای مربع برای دامنه کاری $\pm 16g$
Table 1. The results of the chi-square test for the working range of $\pm 16g$

کل	سایر فعالیتها	نشخوار	
۷۲۲۳	۵۷۸۹	۱۴۴۴	تعداد مشاهده
۷۲۲۳	۵۴۲۴	۱۸۰۹	تعداد مورد انتظار
---	---	۲۳E-۴/۵۶	کای مربع

جدول ۲- نتایج آزمون کای مربع برای دامنه کاری $\pm 8g$
Table 2. The results of the chi-square test for the working range of $\pm 8g$

کل	سایر فعالیتها	نشخوار	
۸۲۱۶	۶۶۲۲	۱۵۹۴	تعداد مشاهده
۸۲۱۶	۶۱۶۲	۲۰۵۴	تعداد مورد انتظار
---	---	۳۱E-۱/۰۰۶۹۲	کای مربع

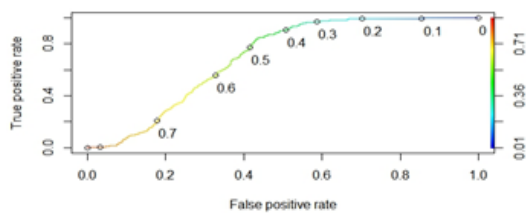
¹ Chi square test

آستانه به کلاس صفر و بیشتر از آن به کلاس یک تعلق می‌گرفت که در این حالت رفتار نشخوار از سایر فعالیت‌ها قابل تفکیک می‌شد. حد آستانه در این حالت ۰/۵ در نظر گرفته شده است چرا که در این آستانه بهترین تفکیک برای رفتار نشخوار و سایر فعالیت‌ها امکان‌پذیر بود و بیشترین مقادیر برای حساسیت، صحت و F-score بدست آمد.

جدول ۷- نتایج داده‌برداری برای حسگر در کنار گوش
Table 7. Data collection results for the next-to-ear sensor

حد آستانه	صحت	حساسیت	F-score
۰/۵	٪۶۴	٪۹۰	٪۷۵

منحنی ROC نیز در شکل ۵ نشان داده شده است. در این منحنی محور افقی FPR به معنای نرخ نادرست مثبت یعنی نرخ تولید خطا برای داده‌های مثبت است و محور عمودی TPR به معنای نرخ صحیح مثبت یعنی نرخ تولید داده‌های درست است. منحنی ROC این مدل به حالتی است که مساحت زیر منحنی کمتر بوده و در نتیجه نشان‌دهنده قدرت پیش‌بینی ضعیف مدل می‌باشد در واقع مقدار عددی نرخ مثبت صحیح با نرخ مثبت کاذب تفاوت اندکی داشته و بیانگر این است که روش از عملکرد مناسبی برخوردار نیست.



شکل ۵- منحنی ROC در حالت بستن سامانه در کنار گوش
Fig 5. ROC curve in the case of closing the system next to the ear

۲-۲-۳ نتایج صحت، حساسیت و F-score برای حسگر در حالت گردن‌بند در غبغب
جدول ۸ نتایج داده‌برداری برای حسگر در کنار غبغب را نشان می‌دهد. مقدار مناسب حساسیت (٪۸۴) بیانگر این است که تشخیص اشتباه در رفتار نشخوار کم بوده و در واقع موارد پیش‌بینی نشخوار تا حد زیادی نشخوار شناسایی شده است. اما

جدول ۵- نتایج آزمون t برای دامنه کاری $\pm 4g$
Table 5. The results of the t-test for the working range of $\pm 4g$

محاسبات	سایر فعالیت‌ها	نشخوار
میانگین	۱۳۰/۸۵۳۸	۱۳۰/۱۳۷۵
واریانس	۲۱/۸۷۹۲	۸/۰۹۲۳۲۷
مشاهده	۸۱۷۲	۳۹۴۳
t تجربی	۸/۸۵۷۷۹۹	--
t بحرانی	۱/۹۶۰۱۶	--

بررسی جدول ۶ نیز نشان می‌دهد که با دامنه کاری $\pm 8g$ اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد بین مقادیر اندازه‌گیری شده برای حالت نشخوار و سایر حالات وجود دارد، چرا که t تجربی با مقدار ۸/۲۵ بیشتر از t بحرانی (۱/۹۶) می‌باشد. به عبارتی دیگر در این دامنه کاری شتاب‌سنج می‌توان رفتار نشخوار را از سایر فعالیت‌ها تشخیص داد.

جدول ۶- نتایج آزمون t برای دامنه کاری $\pm 8g$
Table 6. The results of the t-test for the working range of $\pm 8g$

محاسبات	سایر فعالیت‌ها	نشخوار
میانگین	۶۷/۱۹۳۹۱	۶۶/۵۸۴۶۲
واریانس	۸/۱۲۹۶۳۱	۲/۳۲۱۹۵۲
مشاهده	۵۷۸۹	۱۵۹۴
t تجربی	۸/۲۵۲۵۲۳	--
t بحرانی	۱/۹۶۰۲۵۳	--

جدول ۷ نتایج داده‌برداری برای بستن سامانه در کنار گوش را نشان می‌دهد. این نتایج حاکی از آن است که درصد اشتباه در تشخیص رفتار نشخوار کمتر بوده و رفتار نشخوار تا حد بالایی درست تشخیص داده شده است. براساس این جدول، شاخص حساسیت بالا و مورد قبول می‌باشد (٪۹۰). همچنین صحت ٪۶۴ نشان می‌دهد که تعداد تشخیص‌های اشتباه رفتار سایر فعالیت‌ها نسبتاً زیاد می‌باشد. شاخص بالای حساسیت و پایین صحت در معیار F-score ترکیب شده و مقدار ۷۵ درصد به دست آمده است. میانگین هارمونیک (F-score = ٪۷۵) مطلوب نبوده و برای تشخیص درست رفتار گاو کافی نیست.

برای کلاس‌بندی رفتار نشخوار و سایر فعالیت‌ها نیاز به شاخص حد آستانه^۱ بود چرا که خروجی‌های کم‌تر از مقدار

¹ Threshold

کم بوده و به عبارتی دیگر در این حالت سامانه توانسته تا حد بسیار بالایی رفتارهای سایر فعالیت‌ها را از نشخوار تفکیک کند. درصد قابل قبول و مناسب حساسیت (۰.۸۸) نشان‌دهنده این است که اکثریت رفتارهای نشخوار را به درستی تشخیص داده و تعداد تشخیص‌های اشتباه آن کم بوده است.

با توجه به درصدهای بالای صحت و حساسیت برای ارزیابی عملکرد دسته‌بندی باید شاخص F-score هم بالا باشد که ترکیب دو درصد بالا (صحت و حساسیت) سبب شده است این شاخص قابل قبول و ایده‌آل باشد (۰.۹۱). در واقع تغییر موقعیت حسگر به حالت پوزه‌بندی باعث شد که شاخص F-score به شدت افزایش یابد. به طور کلی سامانه در این حالت می‌تواند رفتارهای نشخوار را از سایر فعالیت‌ها تفکیک کند.

جدول ۹- نتایج داده‌برداری برای سامانه در حالت پوزه‌بندی

Table 9. Data collection results for the system in muzzle mode

حد آستانه	صحت	حساسیت	F-score
۰/۶	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۹۱

شکل ۷ منحنی ROC برای حسگر نصب شده به صورت پوزه‌بندی را نشان می‌دهد. در این حالت مساحت زیر منحنی بیشتر از دو حالت قبلی می‌باشد و این نشان‌دهنده قدرت تشخیص مدل است. از آنجایی که تمایل این منحنی به یک بیشتر است پس دقت تشخیص مدل برای رفتارهای نشخوار و سایر فعالیت‌ها بالا و مناسب می‌باشد. همچنین با رسم خط نیمساز بر روی منحنی می‌توان مشاهده کرد که تمامی نقاط از خط نیمساز دورتر هستند و این دلیل بر قدرت تشخیص مدل است. به طور کلی منحنی ROC در این حالت در بهترین شکل خود نسبت به حالت‌های قبل قرار دارد.

۴-۲-۳- نتایج صحت، حساسیت و F-score برای سامانه نهایی در حالت پوزه‌بندی

نتایج مقایسه عملکرد سامانه نهایی با داده‌های برداشت شده به صورت دستی (هر ۵ دقیقه یک بار به مدت ۲۴ ساعت و برای ۳ روز) در جدول ۱۰ آمده است. استاندارد ۵ دقیقه به این صورت بود که هر ۵ دقیقه یک بار فعالیت دام به صورت بصری مشاهده و به صورت دستی برچسب گذاری می‌شد و در آخر با داده‌های

شاخص صحت به دست آمده پایین بوده (۰.۷۶) و دلیل آن تعداد بالای تشخیص اشتباه سایر رفتارهای گاو به عنوان نشخوار می‌باشد. از ترکیب دو مقدار صحت و حساسیت، شاخص F-score برابر با ۰.۸۰ درصد به دست آمده است که این مقدار قابل قبول ولی ایده‌آل نیست.

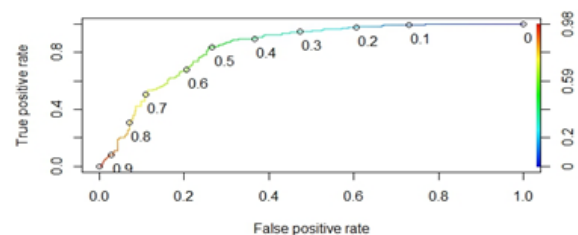
با انتقال حسگر از کنار گوش به غبغب مقدار F-score بیشتر از حالت قبلی شد، ولی باز هم به نتیجه ایده‌آل نرسیده و تشخیص اشتباه در رفتار نشخوار و سایر فعالیت‌ها وجود داشت.

جدول ۸- نتایج داده‌برداری برای سامانه در غبغب

Table 8. Data collection results for the system in cow bleating

حد آستانه	صحت	حساسیت	F-score
۰/۵	۰/۷۶	۰/۸۴	۰/۸۰

منحنی ROC برای حالتی که حسگر در غبغب نصب شد، در شکل ۶ آمده است. در این حالت مساحت سطح زیر منحنی نسبت به حالت قبل افزایش پیدا کرده است و این نشان‌دهنده این است که قدرت پیش‌بینی مدل نسبت به حالت قبل افزایش پیدا کرده است. با رسم خط نیمساز در این منحنی می‌توان مشاهده کرد که تمامی نقاط در بالای خط نیمساز قرار دارند و در واقع نرخ مثبت صحیح (TPR) آن نسبت به نرخ مثبت کاذب (FPR) بیشتر است. این نشان می‌دهد که قدرت مدل برای تشخیص قابل قبول است.



شکل ۱۶- منحنی ROC در حالت گردن‌بندی برای سامانه در غبغب

Fig 6. ROC curve in necking mode for the system in cow bleating

۳-۲-۳- نتایج صحت، حساسیت و F-score برای سامانه در حالت پوزه‌بندی

جدول ۹ نتایج داده‌برداری حسگر در حالت پوزه‌بندی را نشان می‌دهد. درصد بالای صحت (۰.۹۴) بیانگر این است که تعداد تشخیص‌های اشتباه سایر فعالیت‌ها به عنوان نشخوار خیلی

جدول ۱۱- معیارهای ارزیابی عملکرد حسگر نهایی
Table 11. Final sensor performance evaluation criteria

F-score	حساسیت	صحت
٪۸۶	٪۹۱	٪۸۲

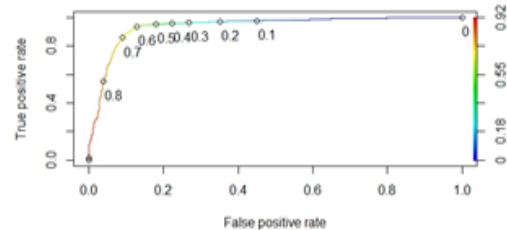
نتیجه‌گیری کلی

استفاده از شتاب‌سنج ADXL345 با حساسیت $\pm 8g$ مناسب‌ترین و ساده‌ترین حسگر برای اندازه‌گیری شتاب در امتداد سه محور X، Y و Z می‌باشد چون در این حساسیت میزان پراکندگی داده‌ها کم‌تر و در نتیجه دقت سامانه بیشتر است همچنین این نوع شتاب‌سنج قیمت پایین دارد و اندازه مناسبی برای تحقیقاتی که اندازه جزوه الویت‌ها هست را دارا می‌باشد. همچنین استفاده از کیف از جنس کشی ضد آب مناسب‌ترین شیوه برای نصب کردن سامانه می‌باشد چون در این حالت موقعیت حسگر تغییر نمی‌کند و همچنین سامانه در اثر تغییرات آب و هوایی مثل بارندگی یا رطوبت و سایر عوامل دچار آسیب دیدگی نمی‌شود. بهترین حالت نصب کیف به صورت پوزه‌ای بود زیرا در آن حالت حسگر در هنگام نشخواری دقیق‌ترین شتاب در امتداد سه محور X، Y و Z را دریافت می‌کند و دارای بهینه‌ترین حالت ممکن برای صحت، حساسیت و F-score می‌بود چرا که در این حالت در مناسب‌ترین مکان خود که بیشترین درگیری عضلات به هنگام فعالیت نشخوار را دارد قرار می‌گیرد. مدار در حالت SMD با کم‌ترین خطا و همچنین در کوچکترین اندازه ممکن روی پوزه دام نصب شد. در این حالت امکان قطع شدن اتصالات تقریباً به صفر رسیده و داده‌برداری در این حالت از سامانه از عملکرد بهتری برخوردار است.

منابع

- Abeni, F. and Galli, A. (2017). *Monitoring cow activity and rumination time for an early detection of heat stress in dairy cow*. International journal of biometeorology, 61(3), 417-425. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1222-z>.
- Anonymous. (2022). *Meat Consumption*. United Nations: statistical database-agriculture, food and agricultural organization. (FAO).
- Antanaitis, R. Juozaitienė, V. Malašauskienė, D. Televičius, M. Urbutis, M. Rutkauskas, A. and Baumgartner, W. (2022).

سامانه مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گرفت. اعداد این جدول نشان می‌دهد که توانایی سامانه در تشخیص فعالیت‌های نشخوار و سایر فعالیت‌ها نسبتاً بالا بوده و قابل قبول می‌باشد.



شکل ۱۷- منحنی ROC سامانه در حالت پوزه‌بندی
Fig 7. ROC curve of the system in muzzle mode

جدول ۱۰- نتایج ارزیابی عملکرد سامانه نهایی

Table 10. Final system performance evaluation results

روز	حالت	درصد تشخیص در مقایسه با ثبت دستی
	نشخوار	٪۹۲
روز اول	سایر فعالیت‌ها	٪۸۳/۳
	کل	٪۸۶/۰۸
	نشخوار	٪۹۳/۳۳
روز دوم	سایر فعالیت‌ها	٪۸۹/۲۹
	کل	٪۹۰/۷
	نشخوار	٪۸۸/۵۷
روز سوم	سایر فعالیت‌ها	٪۹۴/۲۳
	کل	٪۹۵/۹۱
	نشخوار	٪۹۰/۶۷
میانگین سه روز	سایر فعالیت‌ها	٪۸۸/۸۱
	کل	٪۸۹/۴۷

جدول ۱۱ معیارهای ارزیابی عملکرد حسگر نهایی را نشان می‌دهد. شاخص بالای حساسیت (٪۹۱) بیانگر تشخیص درست رفتار نشخوار است. همچنین تشخیص اشتباه در رفتار نشخوار و نیز تشخیص‌های اشتباه سایر فعالیت‌ها به‌عنوان نشخوار کم بوده و این امر باعث شده است شاخص صحت مناسب و قابل قبول باشد (٪۸۲). دو شاخص بالای صحت و حساسیت در معیار F-score ترکیب شده و مقدار ٪۸۶ به‌دست آمده است.

به‌طور کلی از تحلیل نتایج‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که این سامانه قدرت تشخیص رفتار نشخوار گاو را از سایر رفتارها دارد و با دقت بالا می‌تواند رفتار نشخوار را از سایر رفتارها تفکیک کند.

- Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 111-115. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.028>.
- Kumar, A. and Hancke, G. P. (2014). *A zigbee-based animal health monitoring system*. *IEEE sensors Journal*, 15(1), 610-617. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2014.2349073>.
- Lindgren, E. (2009). *Validation of rumination measurement equipment and the role of rumination in dairy cow time budgets*. [master's thesis]. Uppsala, Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Lopreiato, V., Minuti, A., Cappelli, F. P., Vailati-Riboni, M., Britti, D., Trevisi, E. and Morittu, V. M. (2018). *Daily rumination pattern recorded by an automatic rumination-monitoring system in pre-weaned calves fed whole bulk milk and ad libitum calf starter*. *Livestock Science*, 212, 127-130. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.04.010>.
- Meen, G. H., Schellekens, M. A., Slegers, M. H. M., Leenders, N. L. G., van Erp-van der Kooij, E. and Noldus, L. P. (2015). *Sound analysis in dairy cattle vocalisation as a potential welfare monitor*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 111-115. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.028>.
- Müller, R. and Schrader, L. (2003). *A new method to measure behavioural activity levels in dairy cows*. *Applied Animal Behaviour Science*, 83(4), 247-258. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(03\)00141-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(03)00141-2).
- Reith, S., Brandt, H. and Hoy, S. (2014). *Simultaneous analysis of activity and rumination time, based on collar-mounted sensor technology, of dairy cows over the peri-estrus period*. *Livestock Science*, 170, 219-227. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.10.013>.
- Schirmann, K., von Keyserlingk, M. A., Weary, D. M., Veira, D. M. and Heuwieser, W. (2009). *Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows*. *Journal of Dairy Science*, 92(12), 6052-6055. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2361>.
- Stangaferro, M. L., Wijma, R., Caixeta, L. S., Al-Abri, M. A. and Giordano, J. O. (2016). *Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part I. Metabolic and digestive disorders*. *Journal of Dairy Science*, 99(9), 7395-7410. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10907>.
- Stobbs, T. H. and Cowper, L. J. (1972). *Automatic measurement of the jaw movements of dairy cows during grazing and rumination*. *Tropical Grasslands*, 6(2), 107-112.
- Topp-Becker, J. and Ellis, J. D. (2017). *The role of sustainability reporting in the agri-food supply chain*. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 6(1), 17-29. <https://doi.org/10.15640/jaes.v6n1a2>.
- Identification of changes in rumination behavior registered with an online sensor system in cows with subclinical mastitis*. *Veterinary Sciences*, 9(9), 454. <https://doi.org/10.3390/vetsci9090454>.
- Antanaitis, R. Anskienė, L. Palubinskas, G. Džermeikaitė, K. Bačėninaitė, D. Viora, L. & Rutkauskas, A. (2023). *Ruminating, Eating, and Locomotion Behavior Registered by Innovative Technologies around Calving in Dairy Cows*. *Animals*, 13(7), 1257. <https://doi.org/10.3390/ani13071257>.
- Benaissa, S., Tuytens, F., Plets, D., De Pessemier, T., Trogh, J., Tanghe, E. and Sonck, B. (2017). *Behaviours recognition using neck-mounted accelerometers in dairy barns*. In 8th European Conference on Precision Livestock Farming (EC-PLF 2017) (pp. 69-76).
- Braun, U., Trosch, L., Nydegger, F. and Hassing, M. (2013). *Evaluation of eating and rumination behavior in cows using a noseband pressure sensor*. *BMC veterinary research*, 9 (1), 164. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-9-164>.
- Burfeind, O., Schirmann, K., Von Keyserlingk, M. A. G., Veira, D. M., Weary, D. M. and Heuwieser, W. (2011). *Evaluation of a system for monitoring rumination in heifers and calves*. *Journal of dairy science*, 94(1), 426-430. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3239>.
- Chambers, A. R. M., Hodgson, J. and Milne, J. A. (1981). *The development and use of equipment for the automatic recording of ingestive behaviour in sheep and cattle*. *Grass and Forage Science*, 36(2), 97-105. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1981.tb01545.x>.
- Derrick, R. W., Moseley, G. and Wilman, D. (1993). *Intake, by sheep, and digestibility of chickweed, dandelion, dock, ribwort and spurrey, compared with perennial ryegrass*. *The Journal of Agricultural Science*, 120(1), 51-61. <https://doi.org/10.1017/S0021859600073585>.
- Eldesouky, A., Mesias, F. J., Elghannam, A. and Escribano, M. (2018). *Can extensification compensate livestock greenhouse gas emissions? A study of the carbon footprint in Spanish agroforestry systems*. *Journal of Cleaner Production*, 200, 28-38. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.279>.
- Fournel, S., Rousseau, A. N. and Laberge, B. (2017). *Rethinking environment control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming*. *Biosystems Engineering*, 155, 96-123. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.12.005>.
- Goldhawk, C., Schwartzkopf-Genswein, K. and Beauchemin, K. A. (2013). *Validation of rumination collars for beef cattle*. *Journal of animal science*, 91(6), 2858-2862. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5908>.
- Huzzey, J. M., Veira, D. M., Weary, D. M. and Von Keyserlingk, M. A. G. (2007). *Prepartum behavior and dry matter intake identify dairy cows at risk for metritis*. *Journal of dairy science*, 90(7), 3220-3233. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-807>.
- Karimi, A. *Metabolic and nutritional abnormalities in ruminants*. Nameless. 48 pages. (In Persian)
- Kooij, E. and Noldus, L. P. (2015). *Sound analysis in dairy cattle vocalisation as a potential welfare monitor*.