

مقاله پژوهشی

امکان‌سنجی تشخیص زمان فعلی گاو مبتنی بر شیر با استفاده از سامانه بینی الکترونیک

نادر مرتضوی^۱، سیدسعید محتسبی^{۲*}، محمود سلطانی فیروز^۳، مهدی دهقان بنادکی^۴ و سیدمرتضی محتسبی^۵

چکیده

فصل‌یابی دقیق یکی از مهم‌ترین چالش‌ها برای موفقیت در صنعت دامپروری است. در حال حاضر در اکثر مناطق دنیا فصل‌یابی به روش مشاهده‌ای انجام می‌شود که از بهره‌وری پایینی برخوردار و باعث ضرر و زیان زیادی به این صنعت شده است. در بین روش‌هایی که به‌صورت خودکار استفاده می‌شوند، می‌توان بینی الکترونیکی را به خاطر مزایایی همچون سرعت بالا، هزینه عملیاتی پایین و هزینه ساخت کم، برای تشخیص فعلی دام از بوی شیرش به کار برد. در این پژوهش از یک سامانه بینی الکترونیکی متشکل از ۷ حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) برای تشخیص و پیش‌بینی زمان رخداد فعلی استفاده شد. از شیر ۳۴ رأس گاو غیر آبستن به مدت ۳۰ روز در ایستگاه تحقیقاتی دامپروری گروه علوم دامی دانشگاه تهران نمونه‌گیری شد و نمونه‌ها همان روز مورد آزمایش قرار گرفتند. در دوره آزمایش، ۲۶ رأس از گاوها نشانه‌های فعلی را از خود بروز دادند و لذا برای بررسی در نظر قرار گرفتند. این سامانه به همراه روش‌های تشخیص الگو همچون تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل تفکیک خطی (LDA) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) توسعه داده شد. ابتدا بردار ویژگی‌ها از سیگنال پاسخ حسگرها استخراج و پس از مرتب‌سازی و طبقه‌بندی به عنوان ورودی روش‌های تشخیص الگو به کار گرفته شدند. دقت طبقه‌بندی چهار مرحله در چرخه فعلی گاو توسط روش‌های تحلیل تفکیک خطی ۳۳/۸۶٪ و شبکه عصبی مصنوعی ۸۰/۹۱٪ به دست آمد. نتایج به خوبی نشان داد سامانه بینی الکترونیکی روشی کارآمد و سریع برای طبقه‌بندی و جداسازی مراحل مختلف چرخه فعلی به ویژه مرحله ایستای فعلی است.

واژه‌های کلیدی: فصل‌یابی، بویایی ماشین، آرایه حسگرهای گازی، شبکه عصبی مصنوعی.

ارجاع: مرتضوی ن. محتسبی س. سلطانی فیروز م. دهقان بنادکی م. و محتسبی س. م. ۱۴۰۲. امکان‌سنجی تشخیص زمان فعلی گاو مبتنی بر شیر با استفاده از سامانه بینی الکترونیک. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۶: ۸۳-۹۴. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2023.13955.599>

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۲- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۳- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۴- استاد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ۵- دانش‌آموخته کارشناسی، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

* نویسنده مسئول: mohtaseb@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۰

مقدمه

طبق گزارش تحلیل سازمان ملل متحد (۲۰۱۷)، جمعیت جهان در ۵۰ سال ۳۸/۲٪ رشد کرده و به تعداد ۱۰/۵۱ میلیارد نفر خواهد رسید. بنابراین با افزایش جمعیت در سراسر جهان، تقاضا برای محصولات لبنی نیز به مراتب بیشتر خواهد شد. در این راستا دامپروران نیز ناگزیر به استفاده از ربات‌ها و سامانه‌های خودکار برای بهبود بهره‌وری و افزایش تولید، خواهند بود (Manzoli et al., 2019).

یکی از عوامل مهم و مؤثر بر کارایی تولیدمثل و سودآوری در دامپروری، موفقیت در فرآیند فعل‌یابی است (Cavalieri et al., 2003). اما در دامپروری‌های پیشرفته، تشخیص به موقع این امر هنوز هم یکی از چالش‌های بزرگ است (Manzoli et al., 2019). در پستانداران، فعلی به عنوان رفتاری شناخته می‌شود که اطمینان حاصل می‌شود جنس ماده به زمان آزاد سازی تخمک نزدیک شده است. فعلی یک نشانه ظاهری و قابل مشاهده مرتبط با تخمک‌گذاری است و تشخیص فعلی هنوز هم به عنوان یکی از مشکلات اصلی در صنعت دامپروری باقی مانده و به گفته انجمن صنایع لبنی آمریکا تشخیص اشتباه آن موجب خسارتی به میزان ۳۰۰ میلیون دلار آمریکا در سال به صنعت دامپروری آمریکا شده است (Roelofs et al., 2010). فعل‌یابی امروزه بیشتر با روش‌های رایج و قدیمی یعنی مشاهده و زیر نظر گرفتن دام انجام می‌شود. اما به دلیل مشکل بودن فعل‌یابی و همچنین وجود خطای بالا در این روش، درصد آبدستی تنها ۴۵٪ است (Moghadam, 2012). لذا نیاز به ارائه روش‌های جدیدتر با درصد خطای کمتر و دقت بالاتری است.

فعلی در گاوهای شیرده، هر ۲۱ روز یکبار است. اما با در نظر گرفتن نوسانات، این چرخه معمولاً بین ۱۸ تا ۲۵ روز نیز رخ می‌دهد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد حدود ۵۰٪ از چرخه‌های فعلی درست تشخیص داده می‌شوند و تشخیص زمان فعلی در تمام گاوها به شدت مشکل است (Mičiaková et al., 2018).

در مطالعات گذشته در رابطه با فعل‌یابی، از بوی شیر، سگ‌های آموزش دیده برای شناسایی ترشحات واژن و دیگر مایعات دوره فعلی گاو نیز استفاده شده است. بنابراین سگ‌های تعلیم دیده می‌توانند شیر گاوهای قبل

از فعل را از شیر گاوها در دیگر دوره‌های فعل و تخمک‌گذاری تشخیص دهند. لذا این روش می‌تواند گویای این باشد که می‌توان از دستگاه بینی الکترونیک نیز برای تشخیص فعلی از روی شیر توسط گازهای فرار آن استفاده کرد (Fischer-Tenhagen et al., 2011).

غلظت پروژسترون در خون رابطه نزدیکی با غلظت پروژسترون در شیر داشته و تحلیل پروژسترون از نمونه‌های شیر می‌تواند برای بررسی وضعیت باروری دام مورد استفاده قرار گیرد. پیشرفت در فناوری نمایش برخط میزان پروژسترون شیر مثل دستگاه Navigator® (Delaval, Glinde, Germany) جایگزین روش‌های دستی جمع‌آوری اطلاعات پروژسترون شده است. نمونه‌هایی که در زمان شیردوشی گرفته می‌شوند به واحد نگهداری نمونه‌ها انتقال داده شده و سپس به صورت خودکار به واحد تحلیل که به رایانه متصل است انتقال داده می‌شوند. میزان پروژسترون شیر می‌تواند با توجه به مراحل مختلف فعلی متغیر باشد (Saint-Dizier & Chastant-Maillard, 2012).

در مطالعه‌ای پژوهشگران دریافتند، در تعداد زیادی از گاوهای مختلف، ۸۰ ساعت (بازه ۵۴ تا ۹۸ ساعت) قبل از تخمک‌گذاری میزان پروژسترون به مقدار کمتر از ۵ نانوگرم بر میلی‌لیتر کاهش می‌یابد. جدای از هزینه نسبتاً بالا، اندازه‌گیری همزمان پروژسترون شیر این ویژگی را دارد که به عنوان ابزاری قابل اعتماد برای نظارت بر وضعیت تولید مثلی استفاده شود (Saint-Dizier & Chastant-Maillard, 2012).

استفاده از بینی الکترونیک به عنوان یک ابزار اقتصادی، مطمئن و آسان جهت پایش کیفیت شیر و تشخیص الودگی از طریق بخارات شیر پیشتر گزارش شده است (Poghossian et al., 2019). از بینی الکترونیک نیز برای تشخیص فعلی در گاوهای هلشتاین با استفاده از پنبه آغشته به ترشحات مقعد و واژن گاو (Mohamed et al., 2009) و از روی تنفس گاوهای ماده (Sanderink et al., 2017) استفاده شده است.

به‌طور کلی با وجود مطالعات فراوان در زمینه فعل‌یابی هنوز هم خلاء یک روش ارزان قیمت و سریع در تشخیص فعلی احساس می‌شود. به عنوان نمونه فعل‌یابی از طریق مایعات و ترشحات واژن نیز قابل اجرا است، اما مزیت فعل‌یابی با استفاده از شیر، نمونه‌گیری آسان‌تر و کم

تمام این اطلاعات به صورت روزانه ثبت می‌شود. نمونه‌های جمع‌آوری شده در همان روز توسط سامانه بینی الکترونیکی مورد آزمایش قرار می‌گرفت و داده‌های آن ذخیره می‌گردید. به منظور انجام آزمایش ۱۰۰ میلی‌لیتر شیر نمونه‌برداری شده در یک مخزن شیشه‌ای گازشوی به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر قرار می‌گرفت و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم نگهداری می‌شد تا هم‌دمایی در تمام نمونه‌ها رعایت گردد.

طراحی و ساخت سامانه بینی الکترونیکی

سامانه بینی الکترونیکی به صورت قابل حمل طراحی و ساخته شد تا از قابلیت کاربری بیشتری برخوردار باشد. این سامانه شامل حسگرها، محفظه حسگرها، محفظه نمونه، پمپ دیافراگمی، منبع تغذیه، فیلتر کربن، بخش کنترل و جمع‌آوری داده و حسگر دما و رطوبت است. طرح‌واره این سامانه در شکل ۱ نشان داده شده است.

حسگرها

حسگرهای استفاده شده در این پژوهش از نوع حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی^۲ و از گروه حسگرهای الکتروشیمیایی هستند. روش کار این حسگرها به این صورت است که قابلیت تبدیل یک کمیت شیمیایی را به یک کمیت الکتریکی دارند و در زمینه تجزیه و تحلیل ترکیبات فرار آلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. حسگرهای نیمه هادی اکسید فلزی به دلایلی چون قیمت نسبتاً ارزان، ساخت آسان، پایداری شیمیایی بالا و حساسیت بالا، در طیف گسترده‌ای مثل کشاورزی و کنترل کیفیت لبنیات کاربرد دارند. در این پژوهش از دو نوع حسگر به نام‌های TGS و MQ استفاده شد که در جدول ۱ مشخصات کامل و کد معرف آنها با عنوان S آورده شده است.

محفظه حسگرها

محفظه حسگرها در واقع محفظه‌ای است که حسگرها درون آن قرار می‌گیرند تا بوی استخراج شده از نمونه‌ها به درون آن منتقل شده و با حسگرهای گازی تماس پیدا کند. لذا یکی از شرایط مهم این محفظه، شکل آن است که باید به گونه‌ای باشد تا گاز حاصل از نمونه قبلی به

هزینه‌تر و در عین حال با سرعت بیشتر و خطای کمتر است. تا کنون تحقیقی در مورد تشخیص فحلی از روی شیر گاو توسط سامانه بینی الکترونیکی انجام نگرفته است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش توسعه یک سامانه بینی الکترونیکی است که از روی نمونه‌های شیر گاو قادر به تشخیص فحلی باشد. مزیت این روش هزینه پایین آن نسبت به روش‌های دیگر فحلیابی است. همچنین تشخیص فحلی از نمونه شیر گاو می‌تواند باعث سادگی فرآیند فحلیابی شود که می‌توان در نهایت دستگاهی طراحی کرده و آن را بر روی دستگاه شیردوشی نصب کرد که از پایداری نیز برخوردار باشد و مشکلات نصب بر روی بدن گاو را نداشته باشد. همچنین تعداد مورد نیاز از این دستگاه‌ها در دامپروری به تعداد جایگاه‌های شیردوشی است نه به اندازه جمعیت گاوها که خود صرفه جویی زیادی در هزینه‌ها می‌کند.

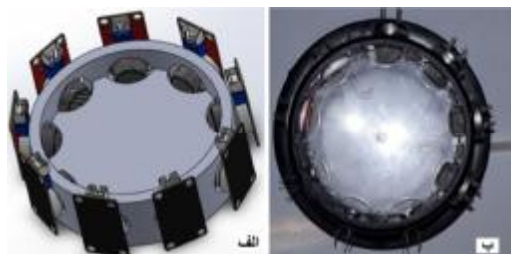
مواد و روش‌ها

در آزمایش باید گاوهایی برای نمونه‌گیری استفاده شوند که احتمال وقوع فحلی در آنها وجود دارد، به عبارت دیگر گاوهای غیر آبستن که حدوداً ۴۰ روز از زایمان آنها گذشته باشد، انتخاب می‌شوند. تعداد ۳۴ رأس گاو که دارای این شرایط بودند در ایستگاه تحقیقاتی دامپروری گروه علوم دامی دانشگاه تهران واقع در محمدشهر کرج انتخاب شدند و از آنها به مدت یک‌ماه نمونه‌گیری شد. تمامی این گاوها از نژاد هلشتاین و سن آنها بین ۲ تا ۵ سال بود. نمونه‌گیری هر روزه و در فاصله زمانی ۹ الی ۱۱ صبح انجام شده و این کار به طور مستمر به مدت ۳۰ روز به طول انجامید. نحوه نمونه‌گیری به این صورت بود که با اتصال دستگاه شیردوشی به پستان گاو عمل شیردوشی انجام می‌شد. سپس نمونه‌گیر (فنجانک) به شیردوش وصل شده و از هر کدام از گاوها مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر شیر گرفته می‌شد و در ظرفی که مطابق با گاو شماره گذاری شده بود ریخته می‌شد. همچنین رفتار گاوها به صورت روزانه توسط شخص ماهر فحلی‌یاب بررسی می‌گردید و در صورت مشکوک بودن به فحلی توسط مسئول تلقیح و به صورت مقعدی^۱ بررسی شده و در صورت تأیید فحلی بودن گاو، تلقیح صورت می‌گرفت.

2- Metal oxide semiconductor (MOS)

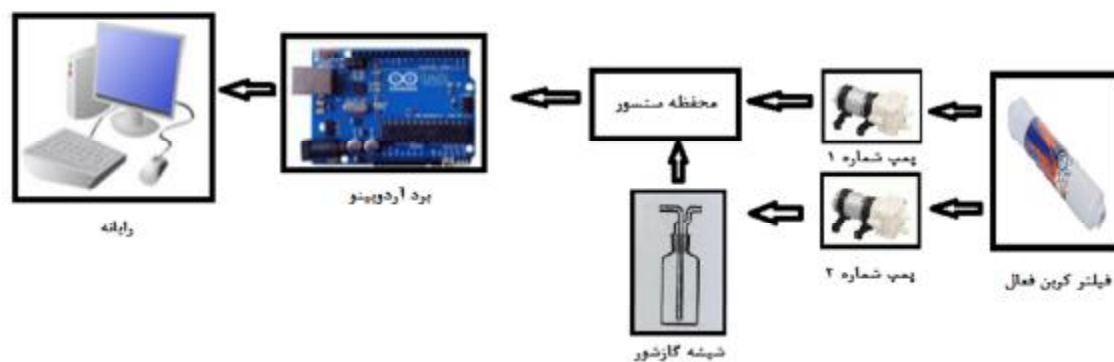
1- Rectal check

همه نقاط آن به صورت یکنواخت توزیع شود و همچنین بویی از نمونه قبلی به جا نماند. برای طراحی دقیق این محفظه ابتدا طرح آن در نرم‌افزار Solid works 2019 مدل شده (شکل ۲- الف) و سپس برای ساخت آن اقدام شد (شکل ۲- ب).



شکل ۲- تصویر محفظه حسگر: الف- مدل و ب- ساخته شده

خوبی خارج گردد و در نتیجه پاسخ حسگرها همیشه قبل از آزمایش به یک معیار ثابت و استاندارد (که بستگی به نوع گاز مبنا دارد) برسد. از دیگر ویژگی‌های محفظه حسگرها این است که خود دارای بوی خاصی نباشد. پس بهتر بود از مواد با کیفیت عالی و فاقد بو (ترجیحاً شیشه‌ای یا پلکسی گلاس) برای ساخت آن استفاده می‌شد. در این پژوهش هفت حسگر MOS به همراه یک حسگر دما و رطوبت درون محفظه حسگرها جاسازی شد (شکل ۲). دو ورودی یکی برای ورود گاز استخراج شده از نمونه و دیگری برای شستشوی محفظه حسگرها و رساندن پاسخ آن‌ها به خط مبنا تعبیه شد. لازم به ذکر است شکل نهایی این محفظه حسگر با آزمون و خطا به دست آمده و به نحوی طراحی شد که گاز تقریباً در



شکل ۱- طرح‌واره سامانه بینی الکترونیک

جدول ۱- حسگرهای مورد استفاده در سامانه بینی الکترونیک در این پژوهش

نام حسگر	بیشترین حساسیت	محدوده تشخیص (ppm)
MQ3 (S1)	الکل، اتانول، دود	۱۰-۰/۰۵
MQ4 (S2)	متان، گاز CNG	۲۰۰-۱۰۰۰۰
MQ136 (S3)	هیدروژن سولفید	۱-۲۰۰
TGS822 (S4)	الکل، اتانول، گازهای آلی	۵۰-۵۰۰۰
TGS2602 (S5)	آلاینده‌های هوا	۱-۳۰
TGS2610 (S6)	بوتان، گازهای LPG	۱-۲۵
TGS2620 (S7)	الکل، گازهای آلی	۵۰-۵۰۰۰

محفظه نمونه

استفاده گردید. با استفاده از این ظروف بوی شیر به خوبی استخراج شده و به محفظه حسگرها فرستاده شد. پاسخ به دست آمده هنگام استفاده از این نوع ظرف در مقابل سایر ظروف دارای پایداری بیشتر و تکرارپذیری بالاتری است (شکل ۳).

بطری شستشوی گاز یا شیشه گازشور ظرفی شیشه‌ای و یا پلاستیکی است که معمولاً برای اشباع کردن مایع با گاز و یا برای خشک کردن گاز استفاده می‌شود. در این پژوهش از یک شیشه گازشور ۲۵۰ میلی‌لیتر به عنوان ظرف نمونه

منبع تغذیه می‌گیرند و دقت آن بسیار حائز اهمیت است. لذا به هیچ وجه دامنه نوسان آن نباید از ۰/۱ ولت بیشتر باشد. همچنین جریان مورد نیاز برای هر حسگر به طور میانگین ۱۴۰ میلی‌آمپر بود که در مجموع حدود یک آمپر می‌شد و لذا منبع تغذیه می‌بایست توان مورد نظر برای این جریان را دارا باشد. یکی از بهترین انتخاب‌ها، استفاده از منبع تغذیه رایانه‌ها با ولتاژهای ۳/۳، ۵ و ۱۲ ولت بود. این منابع تغذیه دارای دقت بالا، نوسان پایین و توان بالا هستند. لازم به ذکر است که از ولتاژ ۱۲ ولت برای تأمین توان پمپ‌ها و همچنین برد Arduino، از ولتاژ ۵ ولت برای تأمین توان حسگرها و از ولتاژ ۳/۳ ولت برای تأمین توان حسگر دما و رطوبت داخل محفظه حسگرها استفاده شد.

جمع‌آوری داده و کنترل

در سامانه بینی الکترونیک این تحقیق، برای دریافت پاسخ حسگرها از یک واحد کنترل - Arduino MEGA R3 - 2560 که یک مدار پرکاربرد در پژوهش‌های کاربردی است، استفاده شد. یکی از ویژگی‌های مثبت این مدار استفاده راحت و زبان برنامه نویسی ساده آن (بر پایه زبان برنامه نویسی C) است. می‌توان گفت تنها اشکال این مدار احتمال نوفه‌پذیری بالای آن باشد که کارکرد آن را در محیط‌های صنعتی با مشکل مواجه می‌کند.

برای داشتن پاسخ‌های منطقی‌تر و مناسب از یک حسگر دما و رطوبت SI7021 در سامانه بینی الکترونیک استفاده شد. دلیل استفاده از این حسگر این است که دما و رطوبت در حین آزمایش ثبت و این شرایط در همه آزمایش‌ها رعایت گردد و در صورت وجود تفاوت با روش‌های آماری می‌توان تا حدی این تغییرات را از بین برد.

جمع‌آوری نمونه‌ها و آزمایش آن‌ها با سامانه بینی

الکترونیکی

تعدادی از ۳۴ گاو انتخابی بعد از زایمان تلقیح نشده بودند و تعدادی تلقیح شده ولی آبستن نشده بودند. همه این گاوها چند روز قبل از شروع دوره نمونه‌برداری آزمایش شدند و مشخص شد غیر آبستن هستند. لیکن تا پایان دوره فحلی ۲۶ رأس از آن‌ها مورد تأیید قرار گرفت و الباقی یا نشانه ظاهری نداشتند و یا به دلیل بیماری یا مشکلات جسمی این علائم را بروز ندادند.



شکل ۱- شیشه گازشور (محفظه نمونه)

فیلتر کربن فعال یا کربن زغال فعال شده با نام‌هایی مانند کربن فعال شده یا زغال فعال نیز شناخته می‌گردد. این فیلترها دارای درجه‌بندی‌هایی بوده و در اندازه‌های متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرند (طبقه‌بندی براساس میزان جذب). هوای تصفیه شده خروجی از این فیلتر جهت شستشوی محفظه حسگرها و همچنین جهت تزریق در محفظه نمونه مورد استفاده قرار گرفت.

در این پژوهش از دو پمپ هوا/آب دیافراگمی ۱۲ ولتی مدل R385 با دبی ۱/۵ تا ۲ لیتر در دقیقه به منظور انتقال گاز از محفظه نمونه به محفظه حسگر و شستشوی محفظه حسگر استفاده گردید.

به منظور تولید مواد فرار در فضای بالای نمونه و همچنین ثابت نگه داشتن دمای نمونه‌ها در حین آزمایش، حمام آب گرم مناسبی ساخته شد. برای تأمین انرژی گرمایی در حمام آب گرم از یک المنت ۱۰۰۰ وات، متناسب با حجم آب استفاده شد. کنترل دما و تنظیم آن نیز توسط یک مازول آماده به نام XH-W1209 انجام گردید که دارای امکانات زیادی از جمله تنظیم دامنه نوسان و همچنین دارای دقت ۰/۱ درجه سلسیوس بود. این مازول با برق $V_{DC} 12$ کار می‌کرد به همین جهت از یک مبدل کاهنده ولتاژ برای تأمین برق این مازول استفاده شد. همچنین برای به چرخش درآوردن آب و یکنواخت‌سازی دما در همه‌جای آن از یک پمپ ۱۲ ولتی استفاده گردید که پس از آزمایش ملاحظه شد آب به‌خوبی به چرخش درآمده و دمای آب در تمام نقاط آن یکنواخت می‌گردد. در این پژوهش دمای حمام آب گرم به دلیل رساندن دمای نمونه به دمای شیر هنگام دوشیدن، روی ۳۸ درجه سلسیوس تنظیم شد.

یکی از مهم‌ترین قسمت‌های طراحی این دستگاه انتخاب منبع تغذیه است زیرا حسگرها توان مورد نیاز خود را چه برای گرم کردن المنت چه برای قسمت حساس به گاز از

پاسخ حسگرها در طول مدت آزمایش توسط واحد Arduino و برنامه PLX-DAQ روی یک فایل Excel ذخیره و ثبت می‌شد. پس از اتمام داده برداری، گام بعدی پیش پردازش داده‌ها و سپس استخراج ویژگی از آن‌ها برای تحلیل بود.

همان‌طور که در بالا ذکر گردید اولین مرحله در پیش پردازش داده‌ها تصحیح خط مبنا است. بدین منظور سه روش تفاضلی، روش نسبی و روش کسری مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش هر سه روش برای پیش پردازش بررسی شد که روش ساده‌تر تفاضلی دارای تفکیک پذیری خوبی بود و برای پیش تصحیح خط مبنا استفاده گردید (Ramesh *et al.*, 2019). با استفاده از این روش برای تصحیح خط مبنا، هرگونه انحرافی که ممکن است به خاطر تغییرات شرایط محیطی در پاسخ حسگرها به وجود آمده باشد، به طور مؤثر از پاسخ‌های پیش‌پردازش شده حذف شد (Pearce *et al.*, 2006).

روش‌های مختلفی برای پردازش داده‌های سامانه بینی الکترونیکی وجود دارد که از مرسوم‌ترین آن‌ها می‌توان به تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)^۱، تحلیل تفکیک خطی (LDA)^۲، حداقل مربعات جزئی^۳، تحلیل خوشه‌ای^۴، تحلیل منطق فازی^۵، شبکه عصبی مصنوعی^۶، استنتاج فازی-عصبی^۷ اشاره کرد. در این پژوهش از روش‌های PCA، و LDA در نرم‌افزار Unscrambler X10.4(64 bit) و ANN در نرم‌افزار MATLAB R2018b استفاده شد. داده‌های به دست آمده از سامانه بینی الکترونیک با استفاده از روش‌های فوق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند تا شناسایی و تشخیص گاوها در چرخه‌های die-estrus، estrus، pro-estrus (ایستا فحلی) و met-estrus انجام شود.

در بررسی اثر چرخه فحلی تعداد ۴۶۱ نمونه حاصل از ۲۶ رأس گاو ماده در ۴ دسته طبقه‌بندی شد. از ۴۶۱ نمونه ۶۲ عدد از آن‌ها در طبقه pro-estrus، ۲۳ عدد در طبقه estrus، ۳۵ عدد در طبقه met-estrus و ۳۴۱ عدد در طبقه die-estrus قرار گرفتند.

نمونه‌ها پس از جمع‌آوری روزانه، درون یخچال در دمای 4°C نگهداری شدند. قبل از شروع آزمایش، سامانه بینی الکترونیک یک بار بدون هیچ نمونه‌ای کار کرد تا محفظه حسگرها شستشو داده شود. همچنین حمام آب گرم از قبل روشن شده و پس از آن که دمای آب داخل آن به 38°C رسید، آزمایش شروع می‌شد.

از هر نمونه ۱۰۰ میلی‌لیتر شیر در ظرف نمونه (شیشه گازشور) ریخته می‌شد و به مدت ۷۰۰ ثانیه در حمام آب گرم قرار می‌گرفت (این زمان بر مبنای لزوم یکنواختی دما در مایع شیر مشخص شد) تا هم دمای آن به 38°C برسد و هم گازهای فرار شیر در محفظه نمونه اشباع شود. سپس سامانه بینی الکترونیک شروع به کار می‌کرد. هر آزمایش شامل سه مرحله تصحیح خط مبنا، تزریق بوی نمونه به محفظه حسگرها و پاکسازی یا شستشوی محفظه حسگرها از بوی نمونه آزمایش قبلی بود.

یکی از مهم‌ترین قسمت‌های آزمایش تعیین زمان مورد نیاز برای هر مرحله است که این زمان‌بندی با آزمون و خطا تعیین شد. زمان‌بندی آزمایش وابسته به جنس نمونه، شدت بوی آن و همچنین شکل محفظه حسگرها بود. بهترین معیار برای تعیین زمان مناسب هر مرحله انجام چندین آزمایش و پیدا کردن دوره‌ای بود که از آن لحظه به بعد شیب منحنی به دست آمده تقریباً صفر شده و تغییری نمی‌کرد (Ramesh *et al.*, 2019).

در مرحله اول (تصحیح خط مبنا)، هوای عبوری از فیلتر کربن فعال (هوای تصفیه شده) به مدت ۲۰۰ ثانیه از روی حسگرها عبور داده می‌شد تا همه حسگرها به خط مبنای خود برسند. سپس در مرحله تزریق گاز نمونه هوای تصفیه شده به مدت ۲۷۰ ثانیه از داخل ظرف نمونه عبور کرده و وارد محفظه حسگرها می‌شد تا همه حسگرها به پاسخ بیشینه خود برسند. در آخرین مرحله یعنی مرحله سوم (پاکسازی حسگرها) هوای تمیز به داخل محفظه حسگرها تزریق می‌شود تا بو و رطوبت حاصل از آزمایش را پاکسازی کند، مدت زمان این مرحله نیز ۲۵۰ ثانیه تعیین شد. تأیید این زمان‌ها در بررسی مطالعات قبل صورت پذیرفت (Tohidi *et al.*, 2017).

همچنین در تمامی مراحل، رطوبت و دما به طور پیوسته توسط حسگر مربوطه اندازه‌گیری و ثبت می‌شد که مقدار دما و رطوبت در مرحله دوم به ترتیب $2 \pm 40^{\circ}\text{C}$ و $5 \pm 45\%$ بود.

1- PCA (Principal component analysis)

2- LDA (Linear discriminant analysis)

3- PLS (Partial least squares)

4- CA (Correspondence analysis)

5- Fuzzy logic

6- ANN (Artificial neural networks)

7- ANFIS (adaptive network-based fuzzy inference system)

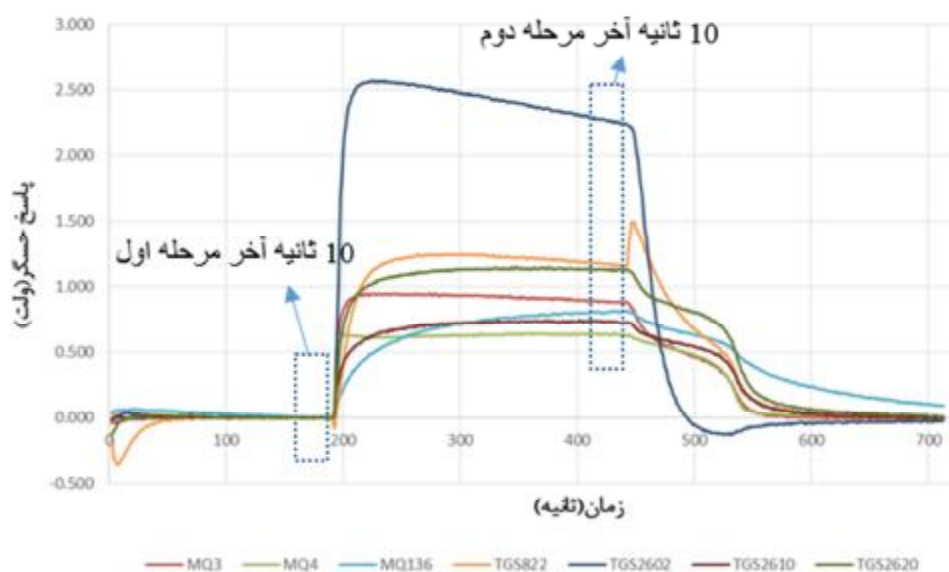
محدودیت‌های زمانی و هزینه‌ای بودند، به کار گرفته شوند.

نتایج و بحث

جمع‌آوری و استخراج ویژگی‌ها از پاسخ حسگرهای گازی

داده‌های استخراجی مربوط به خط مبنا در واقع میانگین ۱۰ ثانیه آخر مرحله اول (از ۱۹۱ تا ۲۰۰) و داده استخراجی برای پاسخ حسگر به نمونه‌ها میانگین ۱۰ ثانیه آخر مرحله دوم (از ۴۶۱ تا ۴۷۰) بود. دلیل میانگین گرفتن از این داده‌ها در واقع کاهش اثر نوفه و اختلال است (شکل ۴). به همین ترتیب پس از اتمام آزمایش، اطلاعات همه نمونه‌ها، پیش پردازش شده و در یک فایل Excel ذخیره گردید.

یک روش کلیدی در شبکه‌های عصبی و یادگیری، الگوریتم پس‌انتشار است که به طور اثربخشی مسئله را حل کرده و آموزش شبکه‌های چندلایه را تسریع می‌کند. الگوریتم پس‌انتشار، با تغییر ضرایب در هر گره، عبارت خطا را در لایه‌های قبلی (لایه‌های بالا) توزیع می‌کند. متخصصانی که شبکه‌های پیشخور چندلایه را با استفاده از پس‌انتشار آموزش دادند، دریافتند که بسیاری از گره‌ها، ویژگی‌ها را شبیه به آنچه توسط متخصصان انسانی طراحی شده است، یاد گرفته‌اند. حتی مهم‌تر از آن، به دلیل کارایی الگوریتم و این واقعیت که متخصصان، دیگر نیازی به یافتن ویژگی‌های مناسب نداشتند، پس‌انتشار این امکان را داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی در زمینه‌های بسیار وسیع‌تری که قبل‌تر گرفتار



شکل ۲- سیگنال‌های مورد استفاده برای استخراج داده‌ها

می‌توان از این دو مؤلفه اصلی با دقت بالا و به تنهایی برای تفسیر نتایج استفاده کرد. در شکل ۶ نمودار امتیازی^۱ برای دو مؤلفه PC1 و PC2 با مقادیر واریانس ۸۳٪ و ۱۱٪ نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، طبقه (die-estrus) از طبقه (estrus) به طور قابل ملاحظه‌ای متمایز و بسیار امیدوار کننده است. مهمترین هدف این پژوهش پیش‌بینی طبقه (estrus) است که بعد از (pro-estrus) و قبل از (met-

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

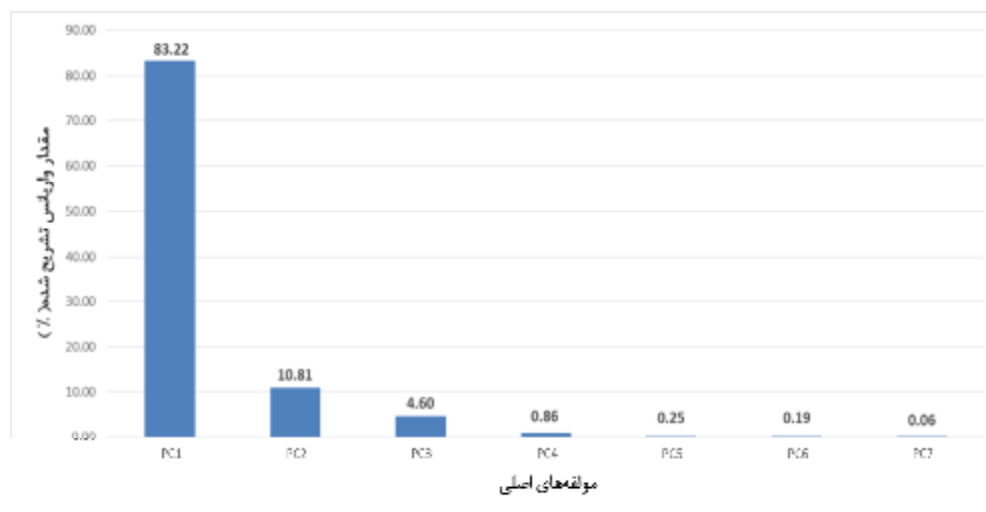
به دلیل اینکه آرایه حسگری شامل هفت حسگر بود تعداد مؤلفه‌های اصلی به دست آمده بعد از تحلیل PCA نیز هفت عدد است. مقدار واریانس تشریح شده به وسیله هر یک از مؤلفه‌های اصلی به ترتیب دقت در شکل ۵ نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۵ مشخص می‌شود که واریانس استخراجی به وسیله دو مؤلفه اصلی PC1 و PC2 در مجموع تشکیل دهنده ۹۴٪ واریانس کل داده‌ها است. لذا

1- Scores plot

هم‌پوشانی دو طبقه (pro-estrus) و (estrus) می‌تواند باعث به‌وجود آمدن خطا در چند روز قبل از رخداد فحلی شود.

(estrus) اتفاق می‌افتد، لذا طبقه (met-estrus) مزاحمتی برای فرآیند پیش‌بینی ایجاد نمی‌کند، چرا که چند روز قبل از آن حالت فحلی تشخیص داده می‌شود. ولی



شکل ۳- میزان تأثیر هر یک از مؤلفه‌های اصلی در تشریح واریانس داده‌ها

در حالی که LDA جهت‌ی را برمی‌گزیند که بیشترین تمایز میان کلاس‌های مورد نظر حاصل شود.

همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، این روش قادر به تفکیک طبقات estrus، met-estrus و pro-estrus به صورت کامل نبوده و این طبقه‌ها دارای هم‌پوشانی بسیار زیادی هستند، ولی قادر است طبقه die-estrus را به طور کامل از سایر طبقات جدا کند. ماتریس آشفتگی این روش در جدول ۲ نمایش داده شده است.

همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است، طبقه estrus با دقت بالایی تشخیص داده شده است (از ۲۳ مورد، ۲۲ مورد درست تشخیص داده شده است) و طبقه met-estrus که بعد از estrus اتفاق می‌افتد به طور کامل اشتباه تشخیص داده شده است. دلیل این اتفاق را می‌توان این‌طور توجیه کرد که با توجه به اینکه در چرخه فحلی پس از مرحله met-estrus مرحله die-estrus رخ می‌دهد، این دو طبقه باهم هم‌پوشانی زیادی دارند و در واقع چرخه به سمت die-estrus پیش می‌رود.

لازم به ذکر است تشخیص طبقه met-estrus در عمل ارزشی ندارد، زیرا قبل از آن فحلی گاو به درستی تشخیص داده شده، تلقیح شده و یا تحت درمان قرار گرفته است. در عمل نیز اگر گاو مشکوک به فحلی باشد، توسط شخص دامپزشک مورد بررسی قرار گرفته و پس از

در تحلیل PCA علاوه بر نمودار امتیازی، نمودارهای دیگری نیز می‌توان استخراج کرد که نمودار بارگذاری^۱ یکی از آن‌هاست. این نمودار بر اساس توزیع متغیرها بر اساس ضریب وزنی آن‌ها ترسیم می‌شود و میزان تأثیرگذاری هر حسگر را بر وضعیت داده‌ها در راستای مؤلفه اصلی مربوطه بیان می‌کند (شکل ۷).

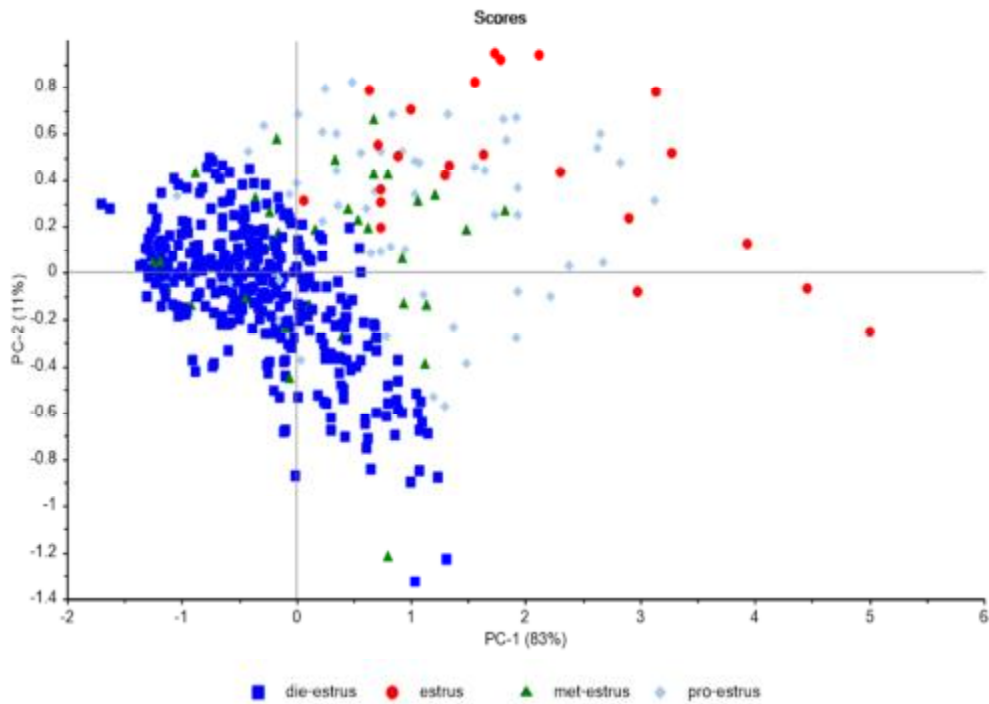
در نمودار همبستگی (شکل ۷) متغیرهایی که روی نمودار در یک جهت و در فاصله نزدیک قرار دارند، دارای همبستگی مثبت^۲ هستند و می‌توان گفت تقریباً اثر مشابهی دارند.

روش تحلیل تشخیص خطی (LDA)

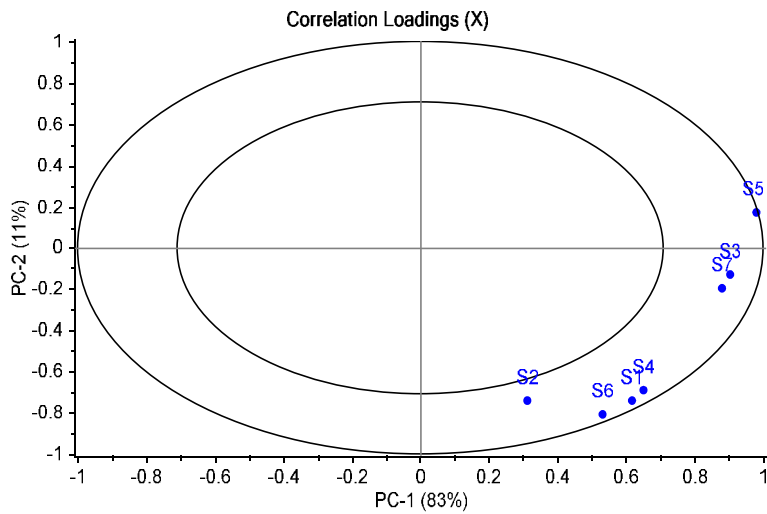
از روش تحلیل تشخیص خطی جهت بررسی تفکیک‌پذیری بین حالت‌های مختلف چرخه فحلی استفاده گردید. این روش همانند روش PCA به عنوان ابزاری جهت کاهش ابعاد ویژگی استفاده می‌گردد که تعیین کننده صفحه‌ی فوقانی با بعد کوچکتر است و روی آن نقاط، از ابعاد بیشتری تصویر می‌شوند. PCA مسیری را در نظر می‌گیرد که ساختار بیشینه در داده حفظ شود،

1- Loadings plot
2- Positive correlation

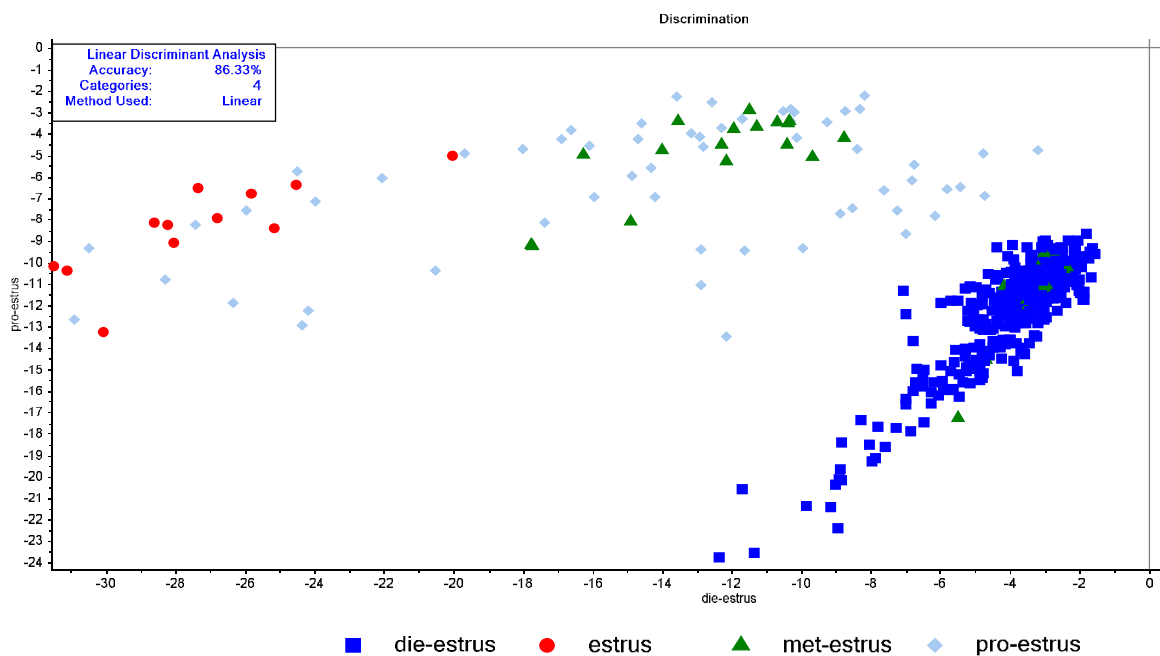
مشاهده لیزابه اقدام به تلقیح می‌گردد. عمل کرد طبقه-بندی برای این روش ۸۶/۳۳٪ به دست آمد که به خوبی قابلیت تفکیک تمام طبقه‌ها به جز طبقه met-estrus را دارد.



شکل ۴- نمودار امتیاز PCA داده‌های بویایی ماشین در مراحل مختلف فحلی گاو



شکل ۵- نمودار همبستگی حسگرهای ماشین بویایی با مولفه‌های اصلی اول و دوم در شکل ۴



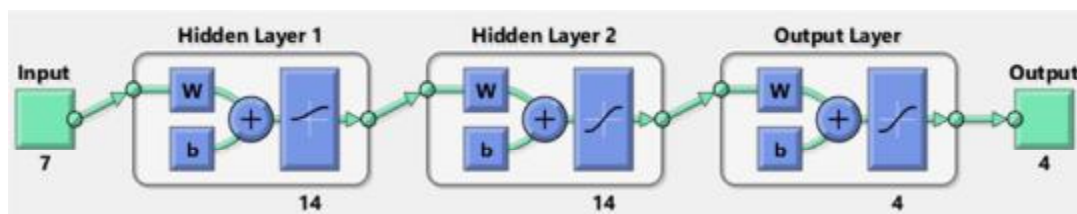
شکل ۶- نمودار تحلیل تفکیک خطی چرخه فعلی گاو

جدول ۲- ماتریس آشفتگی حاصل از طبقه‌بندی LDA

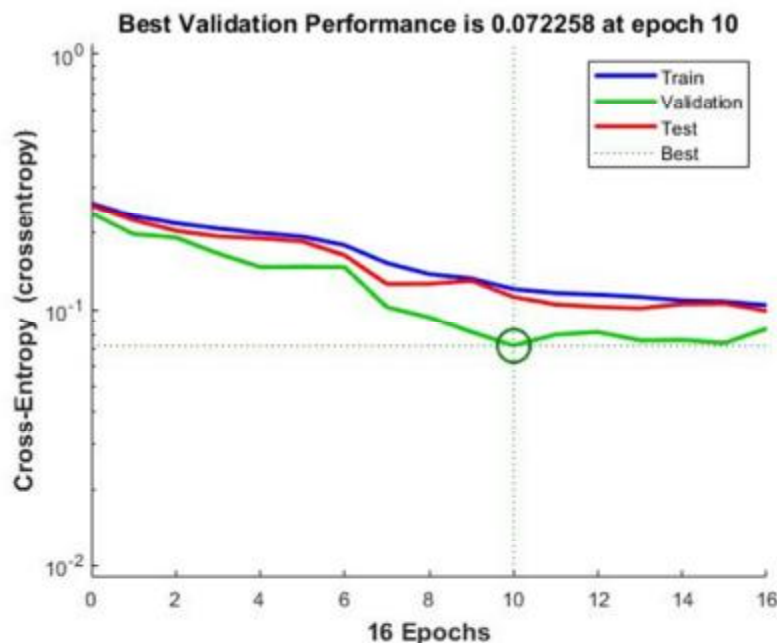
met-estrus	estrus	pro-estrus	die-estrus	پیش‌بینی	واقعی
۱۸	۰	۰	۳۴۱		die-estrus
۱۷	۱	۳۵	۰		pro-estrus
۰	۲۲	۸	۰		estrus
۰	۰	۱۹	۰		met-estrus

تعداد حسگرها) و ۴ خروجی (تعداد طبقات) بود. همچنین عملکرد شبکه در شکل ۱۰ در طی تکرارها نشان داده شده است. در تکرار ۱۰، داده‌های آزمون پایین‌ترین خطا را داشتند.

روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده در این پژوهش بعد از چندین آزمون و خطا با دو لایه مخفی و تعداد ۱۴ نورون در هر لایه انتخاب گردید. طرح کلی این شبکه در شکل ۹ نشان داده شده است. این شبکه دارای ۷ ورودی



شکل ۷- شبکه عصبی طراحی شده برای طبقه‌بندی مراحل چرخه فعلی



شکل ۸ - عملکرد شبکه در طی تکرارها در حین طبقه‌بندی مراحل چرخه فحلی گاو

نتایج بدست آمده از دو تحقیق که روی اثر چرخه فحلی گاو بر ادراک (Astuti *et al.*, 2019) و همچنین بر بازدم گاو (Sanderlink *et al.* 2017) انجام گردیده به ترتیب با دقت ۹۶٪ و ۸۰٪ گزارش شده است که قابل مقایسه با نتیجه تحقیق حاضر با دقت ۹۱/۸٪ بر روی شیر می باشد. نمونه‌برداری در روش پیشنهادی نسبت به نمونه‌برداری ادراک و بازدم آسان‌تر بوده و نیازی به عملیات اضافی نبوده و در صورت صنعتی سازی آن، هنگام برداشت شیر می توان نمونه‌برداری را نیز انجام داد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش امکان‌سنجی یک سامانه بین‌الکترونیک بر پایه ۷ حسگر نیمه هادی اکسید فلزی به عنوان روشی سریع، ارزان و قابل اعتماد جهت تشخیص زمان رخداد فحلی در گاوهای ماده ارزیابی شد. چهار مرحله در چرخه فحلی با روش‌های LDA و شبکه عصبی به ترتیب با دقت ۸۶/۳٪ و ۹۱/۸ درصد طبقه‌بندی شدند. طبقه die-estrus از طبقه estrus (فحلی) به طور کامل قابل تفکیک و بسیار امیدوار کننده بود. بنابراین، نتایج به خوبی نشان داد سامانه بین‌الکترونیک از کارآمدی و سرعت مطلوبی برای طبقه‌بندی و جداسازی مراحل مختلف چرخه فحلی به ویژه مرحله ایستا فحلی برخوردار است.

ماتریس اغتشاش حاصل از این داده‌ها برای مجموعه‌های آموزش، اعتبار سنجی و آزمون و کل در شکل ۱۱ نشان داده شده است. در این شبکه ۷۰٪ داده‌ها برای آموزش، ۱۵٪ از داده‌ها برای اعتبار سنجی و ۱۵٪ درصد از داده‌ها برای تست شبکه لحاظ شدند و در نهایت دقت طبقه‌بندی ۹۱/۸٪ برای طبقه‌بندی کل به دست آمد.

	1	2	3	4	
1	341 74.0%	1 0.2%	0 0.0%	18 3.9%	94.7% 5.3%
2	0 0.0%	59 12.0%	0 0.0%	17 3.7%	77.6% 22.4%
3	0 0.0%	2 0.4%	23 5.0%	0 0.0%	92.0% 8.0%
4	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	NaN% NaN%
	100% 0.0%	96.2% 4.8%	100% 0.0%	0.0% 100%	91.8% 8.2%
	1	2	3	4	

شکل ۱۱ - ماتریس اغتشاش حاصل از شبکه عصبی طراحی شده برای طبقه‌بندی مراحل چرخه فحلی

- Roelofs, J., López-Gatiús, F., Hunter, R. H. F., Van Eerdenburg, F., & Hanzen, C. (2010). When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology*, 74: 327-344.
- Saint-Dizier, M., & Chastant-Maillard, S. (2012). Towards an automated detection of oestrus in dairy cattle. *Reproduction Domestic Animals*, 47: 1056-1061.
- Sanderink, F. E. P., Gerritsen, J. W., Groot Koerkamp, P. W. G., & van Mourik, S. (2017). Automatic detection of oestrus cows via breath sampling with an electronic nose: A pilot study. *Biosystem Engineering*, 156: 1-6.
- Tohidi, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghaffarnia, V., Mohtasebi, S. S., & Bonyadian M. (2017). Fabrication and development of a machine olfaction system combined with pattern recognition techniques for detecting formalin adulteration in raw milk. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 47(4): 761-770.
- Astuti, P., Airin, C. M., Widiyanto, S., Prayogo, N., & Triyana, K. (2019). Determination of Estrus Phase in Cattle Using Electronic Nose. Proc. - 2018 1st International Conference of Bioinformatics, Biotechnology, *Biomedical Engineering*. BioMIC 2018, 1-4.
- Cavalieri, J., Eagles, V. E., Ryan, M., & Macmillan, K. L. (2003). Comparison of four methods for detection of oestrus in dairy cows with resynchronized oestrous cycles. *Australian Veterinary Journal*, 81: 422-425.
- Fischer-Tenhagen, C., Wetterholm, L., Tenhagen, B. A., & Heuwieser, W. (2011). Training dogs on a scent platform for oestrus detection in cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 131: 63-70.
- Manzoli, A., Steffens, C., Paschoalin, R. T., Graboski, A. M., De Mello Brandão, H., de Carvalho, B. C., Bellini, J. L., de Paula Herrmann, P. S. (2019). Volatile compounds monitoring as indicative of female cattle fertile period using electronic nose. *Sensors Actuators, B Chem*. 282: 609-616.
- Mičiaková, M., Strapák, P., Szencziová, I., Strapáková, E., & Hanušovský, O. (2018). Several methods of estrus detection in cattle dams: A review. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 66: 619-625.
- Moghaddam, G. (2012). Effect of three methods of estrus synchronization: ovsynch, CIDR+ovsynch and presynch+ovsynch on the fertility of dairy cows. *Journal of Animal Science Research*, 22(2): 69-79.
- Mohamed, E. I., Maher, H. M., Shaban, A. M., & Hussein, F. M. (2009). Electronic Nose Technology for the Accurate Detection of Estrus by Monitoring Changes in Perineal Odors in Dairy Cows Electronic Nose Technology for the Accurate Detection of Estrus by Monitoring Changes in Perineal Odors in Dairy Cows. *Journal of Biomeical Science*, 2: 128-133.
- Pearce, T. C., Schiffman, S. S., Nagle, H. T., & Gardner, J. W. (2006). Handbook of machine olfaction: electronic nose technology. John Wiley & Sons.
- Poghossian A, Geissler H, & Schöning, MJ. (2019). Rapid methods and sensors for milk quality monitoring and spoilage detection. *Biosensors and Bioelectronics*, 140: 111272.
- Ramesh, B., Mohtasebi, S. S., & Rafiee, Sh. (2019). Classification of Different Iranian Rice Varieties and Frauded Rice based on Volatile Compounds Detected by Electronic Nose Method. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 50(3): 595-606. (In Persian).