تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۲/ شماره ۷۸/تابستان ۱۴۰۰/ص ۱۲۶-۱۰۷
سایت مجله: https://www.amsr.areeo.ac.ir

مقاله علمی– پژوهشی

طراحی سامانهٔ سخت‌افزاری و نرم‌افزاری خودکارسازی هوشمند دامداری صنعتی با کمک اینترنت اشیا

حمید بهنگار[۱]، بابک مجیدی[۲*] و علی موقر[۳]

۱ و ۲- به ترتیب: کارشناس ارشد؛ و استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه خاتم، تهران، ایران
۳- استاد گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۵

چکیده

دامپروری صنعتی نسل چهارم باعث کاهش تلفات دام، افزایش میزان باروری، کاهش هزینه‌های عملیاتی، مدیریت منابع انسانی و به صورت کلی افزایش بهره‌وری می‌شود. در این تحقیق مجموعه‌ای از حسگرهای الکترونیکی - زیستی برای خودکارسازی هوشمند دامداری صنعتی به صورت یک گردن‌بند و یک پابند طراحی شد که به تک‌تک دام‌ها متصل می‌شود. مجموعه‌ای از دروازه‌های اینترنت اشیا که به صورت اختصاصی برای مزرعه طراحی و به صورت آزمایشی پیاده‌سازی شدند وظیفهٔ انتقال داده‌های این حسگرها را به سیستم محاسبات ابری بر عهده داشتند. با طراحی یک سامانهٔ نرم‌افزاری تحلیل داده‌های بزرگ بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از دام‌ها، رفتار دام برای ارائهٔ توصیه‌های لازم در مدیریت دامداری مدل شد. سامانهٔ خودکارسازی ارائه شده، نشانه‌های حیاتی دام‌ها شامل دمای بدن، میزان تحرک، میزان تغذیه و نشخوار، فحل بودن و رفتار دام‌ها مانند استرس گرمایی و موارد مشابه را با دقت بالایی در لحظه نظارت می‌کند و در اختیار دامداران قرار می‌دهد. در این تحقیق با کمک داده‌های حسگرهای دام و روش‌های هوش مصنوعی رفتار دام به صورت شبانه‌روزی بررسی شد. دقت الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه برای مدل‌سازی رفتار دام ۷۸ درصد و دقت شبکه‌های عصبی پیچشی ۸٤ درصد بود. اما با توجه به سادگی اجرای الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه استفاده از این روش طول عمر باتری سیستم را تا ٤/٥ برابر افزایش داد و انتخاب مناسب‌تری بود.

واژه‌های کلیدی

تکنولوژی دامپروری، حسگر پوشیدنی، داده‌های بزرگ، هوش مصنوعی

مقدمه

خودکارسازی در کشاورزی باعث افزایش قابل توجه بهره‌وری و سودآوری می‌شود. مدیریت بهینهٔ دامداری‌های صنعتی یکی از پیچیده‌ترین مسائل پیش روی کشاورزی دقیق است. نشانه‌های حیاتی و رفتاری دام‌ها باید به صورت لحظه‌ای و پیوسته بررسی و کنترل شود و سامانه‌های مکانیزه زیرساخت‌های خدماتی دامداری را برای حفظ سلامت دام به صورت بهینه کنترل کنند. سامانه‌های مکانیزه هوشمند و شبکه‌های حسگر بی‌سیم در سال‌های اخیر کاربرد زیادی در کشاورزی پیدا کرده‌اند. سامانه‌های هوشمند نظارت بر سلامت دام‌ها معمولاً برای نظارت بر پارامترهای فیزیولوژیکی مانند نشخوار، ضربان قلب و دمای بدن استفاده می‌شوند. سیستم جایگزین انسان در دامپروری، علاوه بر دقت و هزینهٔ مناسب، باید دارای ویژگی‌های دیگر نیز

* نگارنده مسئول: Email: b.majidi@khatam.ac.ir
http://doi: 10.22092/AMSR.2021.352371.1367

باشد از جمله: پایداری و قابلیت اطمینان بالا در شرایط زیست‌محیطی و جوی مختلف، امنیت بالا در برابر حملات سایبری، مصرف انرژی پایین، قابلیت تحلیل و ذخیره‌سازی داده‌ها، تولید بومی و استفاده از سرورهای داخلی به منظور حفظ داده‌ها. استفاده از فناوری‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در زمینه‌های فوق در کنار دامپزشکان و تجربه دامداران بسیار بااهمیت است.

در زمینهٔ کاربرد حسگرهای هوشمند و اینترنت اشیا برای دامداری هوشمند تا کنون تحقیقات زیادی شده است. در تحقیق ونگ و همکاران (Wang *et al.*, 2020) به منظور صرفه‌جویی در هزینهٔ نیروی کار، یک سامانه نظارت بر فعالیت گاو و هشدار اولیه طراحی شد که از ماژول Wi-Fi، تشخیص فعالیت، ماژول GPS، کنترل‌کنندهٔ اصلی، کنترل زنگ و پایانهٔ رایانهٔ شخصی تشکیل شده بود. در تحقیقات واسکونسلوس و همکاران (Vasconcellos *et al.*, 2020) اثربخشی یک روش نیمه‌خودکار و غیرتهاجمی برای شناسایی از راه دور دام‌ها در مزرعه، قابل استفاده در سامانه‌های دامی دقیق، ارائه شد. با توجه به آزمایش‌های اجرا شده، این روش قادر به شناسایی و شمارش دام‌ها از مجموعه تصاویر ساخته شده در ارتفاع ۱۰۰ متر، با دقت تا ۹۵ درصد و تعیین موقعیت تقریبی جغرافیایی دام‌ها در مزارع بود. در تحقیقات رایو و همکاران (Rau *et al.*, 2020) یک سیستم کامل برای نظارت بر رفتار چرا و نشخوار دام‌ها ارائه شده است. در تحقیقات پالندنگ و همکاران (Palendeng *et al.*, 2020) از یک سیستم طیف‌سنجی بازتابی برای بررسی امکان استفاده از طیف‌های فروسرخ برای پیش‌بینی سن گاو استفاده شده است. در تحقیقات نیو و همکاران (Niu *et al.*, 2020) تعداد زیادی از داده‌های پرونده الکترونیکی پزشکی گاو از چند منبع جمع‌آوری و از تجزیه و تحلیل داده‌ها و داده‌کاوی برای ساخت سیستم تشخیص هوشمند بیماری‌های گاو استفاده شد. در تحقیقات اندرو و همکاران (Andrew *et al.*, 2019) با کمک پهپادهای رباتیک، یک سیستم شناسایی و دنبال کردن برای گاو هلشتاین ارائه شد. آکوستا و همکاران (Acosta *et al.*, 2020) سامانه‌ای متشکل از یک دستگاه الکترونیکی ساختند که روی گردن دام قرار می‌گیرد و توانایی ارسال اطلاعات را به صورت بی‌سیم دارد. در تحقیقات تنجا و همکاران (Taneja *et al.*, 2019) یک سیستم کاربردی اینترنت اشیا با پشتیبانی از ابر ارائه شد که داده‌های تولید شده از حسگرهای پوشیدنی گاوها را تجزیه و تحلیل می‌کند تا ناهنجاری‌ها را در رفتار دام‌ها و بیماری‌هایی مانند لنگش را تشخیص دهد. سانتوس و همکاران (Santos *et al.*, 2019) یک سیستم رادیویی جدید برای برآورد موقعیت دام در مزرعه ارائه دادند. در تحقیقات سیرم و همکاران (Sairam *et al.*, 2019) از حسگرهای پوشیدنی برای تشخیص دمای بدن، ضربان نبض و محل گاو استفاده شد. در تحقیقات ردی و ناندینی (Reddyb & Nandini, 2019) تشخیص زودهنگام استرس و گرما با استفاده از اینترنت اشیا در گاوهای هند مدیریت شد. در تحقیقات ناتوری و همکاران (Natori *et al.*, 2019) سامانه‌ای طراحی شد که می‌توانست وضعیت مرتع و شرایط بهداشتی گاو را برای دامداران لبنی به صورت هوشمند کنترل کند. هاما و همکاران (Hama *et al.*, 2019) تشخیص رفتارهای پیش‌فحلی را در گاو با استفاده از دوربین فیلم‌برداری بررسی کردند. در تحقیقات بیابازایر و همکاران (Byabazaire *et al.*, 2019) از فنون یادگیری ماشین و تجزیه و تحلیل داده‌ها برای شناسایی گاوهای لبنی لنگ استفاده

شد. باسیفچی و گوندوز (Başçiftçi & Gündüz, 2019) یک سیستم مبتنی بر اینترنت اشیا را ایجاد کردند که می‌تواند در تشخیص بیماری اسیدوز در گاوها مؤثر باشد و با ضبط پارامترهای تغذیه‌ای و رفتارها، سلامت گاوها را کنترل کند. برای مراقبت و نگهداری بهینهٔ حیوانات خانگی از طریق مشاوره با شبکهٔ متخصصان و دامپزشکان از طریق تلفن هوشمند سامانهٔ پیسورو ارائه شد (Norouzi & Norouzi, 2020). اندرو و همکاران (Andrew *et al.*, 2020) یک پلتفرم پهپادی را برای کنترل رفتار گله‌های گاو در چراگاه‌ها طراحی کردند. در تحقیقات ویداسیه و همکاران (Widiasih *et al.*, 2018) یک حسگر تجزیه و تحلیل ادرار گاو برای تشخیص بیماری‌های مختلف طراحی شد.

هدف از این پژوهش، طراحی یک سامانهٔ سخت‌افزاری و نرم‌افزاری خودکارسازی دامداری صنعتی با کمک حسگرهای زیستی و اینترنت اشیا است. سامانهٔ دامداری هوشمند طراحی‌شده در این پژوهش، با عنوان رهبان را از نظر فنی می‌توان به بخش‌های اساسی نود حسگر، نود انتقال‌دهنده، سرور پردازنده مرکزی، فضای ابری، سیستم تحلیل داده و رابط کاربری تقسیم‌بندی کرد. سیستم مدیریت هوشمند دامداری رهبان به منظور کاهش هزینه و افزایش بهره‌وری دامداران، اطلاعات مختلف را لحظه‌ای در همه سطوح (محیط، دام، وضعیت آب و هوا و...) جمع‌آوری می‌کند. از هدف‌های مهم این سیستم می‌توان به داشتن اشراف کامل در سطح گله، گروه (بهاربند) و دام اشاره کرد. با رسیدن به این موضوع مهم، مواردی همچون فاصله بین زایش و تشخیص اشتباه زمان فحلی، کاهش چشمگیری داشته است و کمک شایانی به دامداران می‌رساند. با توجه به اهمیت تولیدمثل و تکثیر گاو، از یک‌سو، و هزینهٔ زیاد لقاح، از سوی دیگر، این سیستم به دامداران کمک می‌کند تا با تشخیص دقیق و در لحظه میزان فحلی گاو، لقاح مصنوعی را با بیشترین احتمال موفقیت اجرا و پیش‌بینی‌های لازم (آوردن دامپزشک، قرنطینه و...) را برنامه‌ریزی کنند. کلیهٔ بخش‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری سامانه به صورت کامل در این پژوهش طراحی و به صورت آزمایشی پیاده‌سازی شد. در این مقاله، بخش‌های مختلف سخت‌افزاری و نرم‌افزاری سامانهٔ طراحی شده شرح داده می‌شود و عملکرد دو روش هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌های حسگرهای متصل به دام مقایسه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

برای اجرای این تحقیق، از مزارع دامداری نمونهٔ تلسیه شهر شهریار، دامداری کهنگی شهر ورامین و دامداری قمی شهر پیشوا برای بررسی مشکلاتشان بازدید شد. با بررسی مشکلات این مزارع و گفتگوهای متعدد با دامپروران و دام‌پزشکان هر مزرعه و نیز مطالعهٔ تطبیقی محصولات و نمونه‌های خارجی معتبر و جهانی، راه‌حل پیشنهادی طراحی و آماده پیاده‌سازی در مزرعه برای آزمونه شد. پس از بررسی‌های صورت گرفته در مزرعه، مدل پیشنهادی پیاده‌سازی اینترنت اشیا به ۴ بخش عمده تقسیم شد: ۱- لایهٔ فیزیکی دامداری شامل نود نصب شده روی دام به صورت کولار (گردن بند) و پابند (پدومتر)، ۲- لایهٔ شبکهٔ برد کوتاه و بلند مزرعه شامل طراحی سیستم شبکهٔ بی‌سیم، ۳- پلتفرم شامل طراحی مدل کلان داده و هوش مصنوعی و ۴- داشبورد شامل پنل‌های مدیریتی چند کاربره.

در گام ابتدایی، دسته‌بندی تجهیزات از لحاظ موقعیت قرارگیری روی بدن دام مدنظر قرار داده

شد. با توجه به تنوع دستگاه‌های مختلف، اولویت در انتخاب دستگاه، دریافت حداکثر اطلاعات ممکن با کیفیت و دقت مناسب در نظر گرفته شد. اولویت بعدی دسترسی ساده به دستگاه، چه برای گروه فنی و چه برای کارکنان دامداری، در نظر گرفته شد. سپس افزایش طول عمر و ماندگاری دستگاه در برابر آسیب‌هادیدگی‌های فیزیکی مدنظر بود. به طور کلی حسگرهای موجود عمدتاً به شکل‌های زیر در نظر گرفته می‌شوند: گردن‌بند، تگ یا پلاک گوش، مچ‌بند یا پدومتر در اندام حرکتی، حسگرهایی که در ناحیه دم قرار می‌گیرند (برای هشدار گوساله‌زایی)، حسگرهای داخل واژینال و حسگرهایی که روی پشت قرار می‌گیرند (اختصاصی فحل‌یابی). در این مرحله، نمونه‌های تجاری برای یافتن بهترین راه‌حل بررسی شدند. جدول ۱ خلاصه‌ای از سامانه‌های دامداری هوشمند بررسی شده را ارائه می‌کند.

بر اساس این بررسی، نود حسگر که وظیفهٔ جمع‌آوری اطلاعات فیزیکی و سلامت دام را بر عهده دارد، به شکل یک گردن‌بند و یک پدومتر طراحی شد. این حسگرها پارامترهای مورد نیاز از جمله دما، میزان تحرک، نشخوار، فحلی و لنگش را بسته به نوع حسگر اندازه‌گیری می‌کند. این بخش از سیستم باید با باتری راه‌اندازی شود و از آنجایی‌که تعویض باتری برای دامداری‌های بزرگ دشوار و پرهزینه است، باید دارای شارژدهی بالا باشد. همچنین، انتقال داده‌ها از نود به سیستم انتقال باید به صورت بی‌سیم باشد. برای این منظور در سیستم پیشنهادی از شبکه‌های LPWAN استفاده شد که همان شبکه‌های کم مصرف برد کوتاه و برد متوسط هستند. این شبکه‌ها انواع مختلف LoRaWAN، NB-IOT و SIGFOX دارند که در این سیستم، از شبکه‌های توسعه یافته و مدرن LoRaWAN استفاده شد که حداقل ۲۰۰ و حداکثر ۱۰۰۰ متر با توجه به پارامترهای محیطی قابلیت انتقال داده را در فاصله‌های زمانی بسیار کوتاه دارد. حسگرهای اصلی مورد استفاده حسگر گردش‌نما، شتاب‌سنج و دماسنج بودند. نمونه‌ای از گردن‌بند و پدومتر تولید شده در شکل ۱ نمایش داده شده است.

شکل ۱- نود گردنی و نود پدومتر

Fig. 1- Neck node and pedometers

جدول ۱- سامانه‌های دامداری هوشمند مبتنی بر حسگرهای هوشمند و اینترنت اشیا

Table 1- Intelligent livestock systems based on smart sensors and the Internet of Things

فناوری Technology									نمایش داده‌ها Data display		دیگر قابلیت‌ها Other features	
نام محصول (تولیدکننده) Product Name (Manufacturer)	روش تشخیص فحلی Method of diagnosing estrus	بازه زمانی ثبت داده Data interval	بازه زمانی انتقال داده Data transfer interval	برد آنتن Antenna range	دقت سنجش فحلی Translation results Accuracy of estrus assessment	نحوه اطلاع دامدار How to inform the farmer	راهنمای مدیریتی فحلی Estrus management guide	فناوری اطلاع‌رسانی Information technology	نحوه ذخیره و انتقال داده How to store and transfer data	سایر اطلاعات ثبتی Other registration information
AFiMilk Silent Herdsman	گردنبند Accelerometer	دفعات متعدد در یک ثانیه	هر 19 دقیقه	از 125 تا 500 متر	بیش از ٪۹۵	پیغام، نرم‌افزار گوشی و داشبورد	شروع فحلی، طول فحلی و مدت زمانی که فحلی آغازشده	اشخاص مختلف را مطلع می‌کند و داده‌ها توسط گوشی و داشبورد قابل ثبت است	WiFi، ذخیره داده در کامپیوتر و فضای ابری، اینترنت فقط برای پشتیبان گیری	نشخوار، تغذیه، سلامت
Genus ABS Breeder Tag System	گام سنج (Pedometer) با Accelerometer	مداوم	فعالیت هر 15 دقیقه، سلامت و آسایش هر 6 دقیقه	10کیلومتر	٪96	نرم‌افزار گوشی و داشبورد	شدت فعالیت فحلی، شروع فحلی، اوج فحلی، پایان فحلی، زمان مناسب تلقیح	دسترسی بیش از یک نفر، دسترسی از طریق اینترنت، ارسال هشدار به گوشی	ذخیره در کامپیوتر و پشتیبان گیری هر 24ساعت	زمان ایستادن، دراز کشیدن، افزایش فعالیت، گوساله‌زایی، آسایش، رفتار طبیعی دراز کشیدن
Heatime	گردنبند مانیتورینگ فعالیت	مداوم	هر ۲۰ دقیقه	تا 500 متر	٪75-٪80 (در ترکیب با اطلاعات نشخوار بهبود ٪15 عملکرد)	پیغام، داشبورد، هشدار و گراف	طول مدت و شمارشگر زمان مناسب تلقیح	دسترسی چند نفر به نرم‌افزار	ذخیره در باکس مخصوص یا کامپیوتر، برای پشتیبان گیری نیاز به اینترنت	فعالیت، نشخوار، سلامتی، احتمال گوساله‌زایی، احتمال آبستنی، امکان اتصال به داده‌های شیردوشی
MooMonitor+	گردنبند مانیتور فعالیت با Accelerometer	مداوم	هر 15 دقیقه	تا 1 کیلومتر	٪92-٪94	گوشی، پیغام، ایمیل، گراف رفتاری در نرم‌افزار یا وب‌سایت	گراف و لیست گاوهایی که تلقیح شوند، دام‌ها با رفتار غیرطبیعی	دسترسی به داده درگوشی، امکان ثبت با گوشی، خواندن تگ توسط گوشی و به‌روزرسانی آنی اطلاعات	برای دسترسی به اطلاعات نیاز به اینترنت دارد	فقط فحلی یا؛ سلامت، نشخوار، تغذیه، استراحت

عمر شارژدهی باتری‌های مورد استفاده در نودهای مورد نظر، بسته به نوع باتری و هزینه مورد نظر دامدار، بین ۲ تا ۵ سال است. فناوری استفاده شده در تولید این نودها که می‌توان گفت آن را از محصولات مشابه برتر می‌سازد، دوطرفه بودن انتقال داده‌ها است. نود حسگر افزون بر انتقال داده‌ها به سرور، می‌تواند دستورهای مورد نظر دامدار و اپراتور را متناسب با شرایط دام دریافت و نحوهٔ عملکرد را تغییر دهد. این نودها در پکیج‌های IP67 و مناسب برای دام بدون ایجاد حساسیت و آزار تولید شدند. مشخصات نود گردنی و نود پدومتر در جدول ۲ ارائه شد.

جدول ۲- مشخصات نود گردنی و نود پدومتر

Table 2- Specifications of neck nodes and pedometers

بازۀ فرکانسی برد کوتاه Short range frequency range	410-525 MHz
بازۀ فرکانسی برد بلند Long range frequency range	2.4 GHz
Baud Rate	تا 300 Kbps وابسته به فاصله
مدل CPU	ARM Cortex M3 32 bit
حداکثر شعاع تحت پوشش Maximum radius covered	1 km
امنیت Security	رمزنگاری کلید متقارن AES128
دقت Accuracy	دماسنج:0.5°C، حسگر حرکت: 2000°/s
ولتاژ ورودی Input voltage	3.3-3.7 V
میانگین جریان مصرفی Average consumption current	175 µA (مهم‌ترین فاکتور برای عملکرد طولانی با باتری)
مدت‌زمان کارکرد Duration of operation	4 سال
بازۀ دمایی مجاز برای کارکردPermissible temperature range for operation	30- تا 85 ℃
ابعاد Dimensions	4×8×10cm
جنس Material	پلاستیک ABS مطابق با استاندارد IP67

افزون بر حسگرهای متصل به دام، مجموعه‌ای از حسگرها با مشخصات ذکر شده در جدول ۳ نیز اطلاعات محیط دامداری شامل دمای محیط و آب و رطوبت خاک را به سیستم اطلاع می‌دهند. از کاربردهای حسگرهای بالا می‌توان به این موارد اشاره: ۱- اگر رطوبت زمین دامداری بالا باشد، برای جلوگیری از پیچ‌خوردگی پای دام، به دامداری هشدار لازم داده می‌شود و ۲- مواردی همچون افزایش اندک دمای آب بهاربند یا افزایش دمای هوا که ممکن است منجر به انحراف رفتار برای دام/گروه‌های حساس (تلیسه، شکم اول، گوساله‌های نوپا و...) شود، به طور جداگانه اعلام می‌شود.

نود گردنی و پدومتر طراحی شده روی تعدادی از دام‌های مزارع آزمونه نصب گردید (شکل ۲) و فرایند پایش و تحلیل داده‌ها در بخش نرم‌افزاری دنبال شد.

جدول ۳- مشخصات حسگر محیطی مزرعه دام

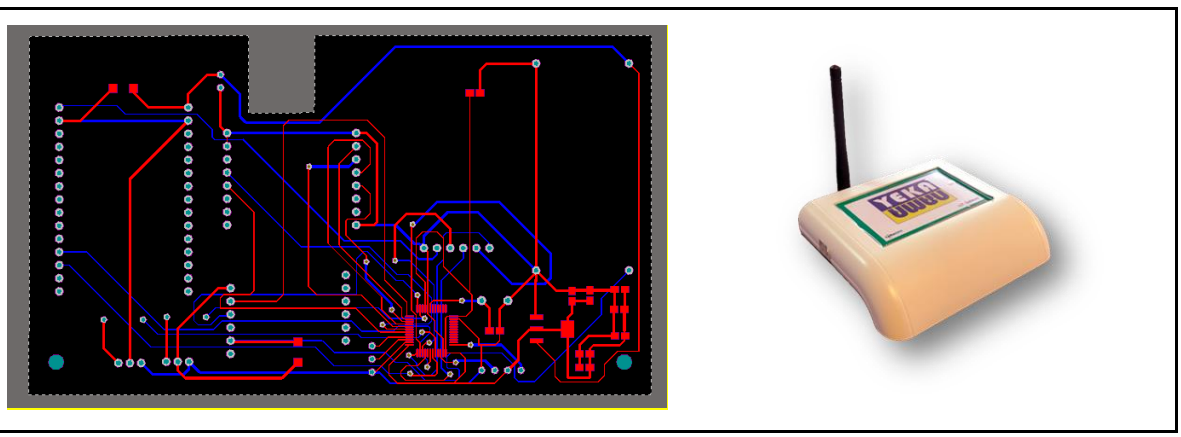
Table 3- Specifications of livestock environment sensors

بازۀ فرکانسی برد کوتاه Short range frequency range	525- MHz410
بازۀ فرکانسی برد بلند Long range frequency range	2.4 GHz
Baud Rate	تا 300 Kbps وابسته به فاصله
مدل CPU	ARM Cortex M3 32 bit
حداکثر شعاع تحت پوشش Maximum radius covered	1 km
امنیت Security	رمزنگاری کلید متقارن AES128
دقت Accuracy	دماسنج هوا: 0.3 ℃، دماسنج آب:0.5 ℃، رطوبت‌سنج هوا: 3٪
ولتاژ ورودی Input voltage	3.7-3.3 V
میانگین جریان مصرفی Average consumption current	175 µA
مدت‌زمان کارکرد Duration of operation	4 سال
بازۀ دمایی مجاز برای کارکرد Permissible temperature range for operation	30- تا 85 ℃
ابعاد Dimensions	7.5×11.3× Cm11.3
جنس Material	پلاستیک ABS مطابق با استاندارد IP67

شکل ۲- نصب نود گردنی و پدومتر طراحی شده روی تعدادی از دام‌های مزارع آزمونه

Fig. 2- Installation of nodes and pedometers in a number of test farms

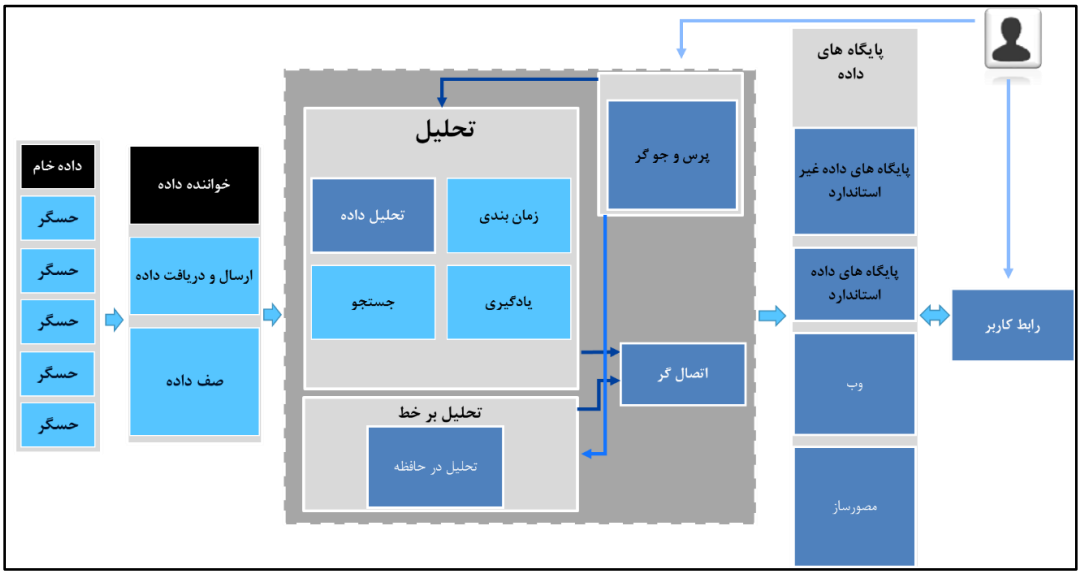
با توجه به تعداد زیاد دام‌ها و در نتیجه بالا بودن تعداد نودهای حسگر، از یک شبکه اینترنت اشیا استفاده شد که مبتنی بودند بر نودهای انتقال داده برای جمع‌آوری داده‌های حسگرها در بخش‌ها و بهاربندهای دامداری و ارسال آن‌ها به سمت سرور. این بخش از سیستم توسط منبع تغذیه به برق متصل شد و توانایی ذخیره (در صورت بروز مشکل) و پیش‌پردازش داده‌ها را داشت. در کنار منبع تغذیه، از باتری‌های جایگزین به منظور حفظ عملکرد سیستم در صورت قطعی برق نیز استفاده شد. در شبکه‌های LoRaWAN، از این نودها به عنوان گیت وی نام برده می‌شود. شکل ۳ نمونه‌ای از گیت وی‌های تولید شده را نمایش می‌دهد.



شکل ۳- نود انتقال داده (گیت وی)

Fig. 3- Data transfer node (gateway)

بخش بعدی سامانهٔ طراحی شده سیستم پردازش مرکزی است. این بخش متناسب با نیاز و حجم داده‌ها و شبکه می‌تواند رایانه‌ای باشد که وظیفهٔ دریافت داده‌ها، پردازش یادگیری ماشین و الگوریتم‌های هوش مصنوعی و انتقال داده‌ها را به شبکه محلی یا اینترنت به عهده دارد. در این بخش یک سیستم پردازش داده‌های بزرگ با معماری نمایش داده شده در شکل ۴ پیاده‌سازی شد.



شکل ٤- معماری سیستم پردازش داده‌های بزرگ سامانه

Fig. 4- The architecture of the big data processing system of the system

الگوریتم‌های هوش مصنوعی در این بخش برای مدل‌سازی داده‌ها استفاده شدند. این الگوریتم‌ها ابتدا توسط داده‌های آموزشی و دانش دامپزشکان، متخصصان و تجربهٔ دامداران آموزش دیدند و صحت و دقت آنها ارزیابی شد و پس از آموزش مناسب به کار برده شدند. در این مقاله دو الگوریتم شبکه‌های عصبی پیچشی و نزدیک‌ترین همسایه (Theodoridis, 2015) برای مدل‌سازی رفتار حرکتی دام بر اساس داده‌های نودهای متصل به دام با هم مقایسه شدند.

شبکه‌های عصبی مصنوعی پیاده‌سازی نرم‌افزاری از ساختار عصبی مغز انسان هستند. شبکهٔ عصبی درون مغز انسان، یک شبکه با اتصالات فراوان از عصب‌ها است که خروجی یک عصب می‌تواند ورودی هزاران عصب دیگر باشد. یادگیری از طریق فعالیت‌های ارتباطی خاص عصب‌ها با یکدیگر رخ می‌دهد و باعث می‌شود این ارتباطات قوی‌تر شوند. این مسئله باعث می‌شود خروجی دلخواه مربوط به یک ورودی با احتمال بیشتری تولید شود. فرآیند یادگیری شامل بازخورد است، به این‌صورت که وقتی خروجی دلخواه رخ می‌دهد، ارتباطات عصبی عامل آن خروجی قوی‌تر می‌شوند. شبکه‌های عصبی مصنوعی تلاش می‌کنند تا این رفتار مغز را ساده‌سازی و تقلید کنند. این شبکه‌ها می‌توانند در حوزهٔ یادگیری با نظارت یا بدون نظارت آموزش ببینند. در شبکه‌های عصبی با یادگیری با نظارت، شبکه از طریق نمونهٔ داده‌هایی آموزش می‌بینند که ورودی و خروجی‌شان تطابق دارند و در واقع برای هر ورودی، خروجی متناظرش مشخص است. در سال‌های اخیر، شبکه‌های عصبی عمیق موجب دستیابی به نتایج فوق‌العاده‌ای در انواع مشکلات مربوط به تشخیص الگو شده‌اند مانند بینایی ماشین، تشخیص صدا و پردازش زبان‌های طبیعی. در این مقاله از نوع خاصی از شبکه‌های عصبی عمیق به‌نام شبکه‌های عصبی پیچشی استفاده شده است. این شبکه‌ها اساساً از تعدادی از لایه‌های پیچشی تشکیل شده‌اند که با توابع فعال‌سازی غیرخطی همراه‌اند که روی خروجی اعمال می‌شوند. در شبکهٔ عصبی

مرسوم، هر نورون ورودی به یک نورون خروجی در لایهٔ بعد متصل است و باعث ایجاد لایهٔ کاملاً متصل می‌شود. در شبکهٔ پیچشی این کار دیده نمی‌شود. در شبکه‌های پیچشی، به منظور محاسبهٔ خروجی از مجموعه از لایه‌های پیچشی برای استخراج مشخصه‌ها روی لایه ورودی استفاده می‌شود. هر لایه فیلترهای مختلفی اعمال می‌کند. معمولاً از صدها یا هزاران فیلتر استفاده می‌شود که خروجی آن‌ها در نهایت ترکیب می‌شود. در فرآیند آموزش، شبکهٔ پیچشی به طور خودکار مقادیر فیلترهای خود را بر اساس وظیفه‌ای که به آن محول شده یاد می‌گیرد. برای مثال، در مسئلهٔ طبقه‌بندی عکس، یک شبکهٔ پیچشی ممکن است از طریق پیکسل‌های خام موجود در لایهٔ اول، لبه‌ها را تشخیص دهد، سپس از لبه‌ها برای تشخیص شکل‌های ساده در لایه استفاده کند و پس از آن، از این شکل‌ها برای تشخیص خصوصیات سطح بالاتر، در لایه‌های بعدی استفاده کند. برای فهم پیچشی، باید آن را مانند یک تابع، که به صورت پنجره لغزان است، در نظر گرفت که روی یک ماتریس اعمال‌شده است. بخش کلیدی دیگر شبکه‌های عصبی پیچیده، لایه‌های خلاصه‌ساز هستند که به صورت معمول، بعد از لایه‌های پیچشی اعمال می‌شوند. لایه‌های خلاصه‌ساز، از ورودی‌های خود زیرنمونه برمی‌دارند. رایج‌ترین روش برای اجرای این کار، استفاده از یک عملگر ماکزیمم‌ساز روی خروجی‌های هر فیلتر است تا بزرگ‌ترین مقدار را انتخاب کند. نیاز به این نیست که روی تمام ماتریس خلاصه‌ساز انجام شود بلکه می‌توان روی یک پنجره عملیات را دنبال کرد. یکی از ویژگی‌های این کار، ایجاد ماتریس خروجی با اندازهٔ ثابت است، که معمولاً برای طبقه‌بندی موردنیاز است. علاوه بر این، خلاصه‌ساز اندازه ابعاد خروجی را کاهش می‌دهد اما مهم‌ترین اطلاعات را نگه‌می‌دارد.

ورودی الگوریتم یادگیری ماشین ۳۰۰۰۰ نمونه داده حسگرهای گردش‌نما و شتاب‌سنج هستند که به صورت دستی برچسب خورده و بیانگر حالات رفتاری دام به صورت زیر بودند:

۰: ایستادن، ۱: راه رفتن، ۲: نشستن، ۳: خوابیدن، ۴: نشخوار، ۵: غذا خوردن و ۶: رفتار جفت‌گیری

پس از پیش‌پردازش‌های لازم، ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش یک شبکهٔ عصبی پیچشی یک‌بعدی و یک مدل نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. دقت مدل‌های آموزش داده‌شده روی ۳۰ درصد باقیماندهٔ داده‌ها ارزیابی شد که توسط مدل دیده نشده‌اند.

بخش پایانی سامانهٔ طراحی شده سکوی کاربری مدیریت دامداری است. پس از تمامی اندازه‌گیری‌ها و تحلیل‌ها، نیاز بود نتایج با یک رابط کاربری جذاب و در عین حال بسیار ساده برای استفادهٔ دامداران و کارگران به صورت وب‌سایت یا سامانه‌های موبایل در دسترس آنان قرار گیرد. رابط کاربری طراحی‌شده، جامع و دوطرفه است. به طوری‌که دامدار می‌تواند متناسب باتجربهٔ خود و بر اساس پیشنهادهای ارائه شده تصمیمی بگیرد و به نودهای مورد نظر خود اعمال کند. تمامی موارد لازم برای حفظ امنیت این لایه در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

سیستم تحلیل داده‌های سامانه رهبان به سه صورت خروجی خود را به کاربر ارائه می‌کند: نمایش نمودارهای داده‌های حسگرها، سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری بر اساس داده‌های حسگرها و سیستم

تحلیل رفتار دام بر اساس مدل‌سازی داده‌های حسگرها با کمک یادگیری ماشین. نمودارهای داده‌های حسگرها به دامدار کمک می‌کند تا ضمن حصول اطمینان از صحت عملکرد حسگرها و ارسال داده‌ها، شرایط فعلی هر دام را مشاهده کند. شکل ۵- الف پنل کاربری را نشان می‌دهد که اطلاعات حسگر نصب شده روی گردن دام را در اختیار دامدار قرار می‌دهد. در سطر اول، نمودارها از چپ به راست بیانگر شتاب زاویه‌ای و شتاب خطی هستند. در سطر دوم، دمای دریافت شده از گردن دام به همراه فاصلهٔ حسگر تا گیت وی نمایش داده می‌شود. شکل ۵-ب پنل کاربری اطلاعات حسگر نصب‌شده روی پای دام را نشان می‌دهد. در اینجا نیز سطر اول، از چپ به راست نشان‌دهندهٔ شتاب زاویه‌ای و شتاب خطی و سطر دوم بیانگر فاصلهٔ حسگر تا گیت وی است.

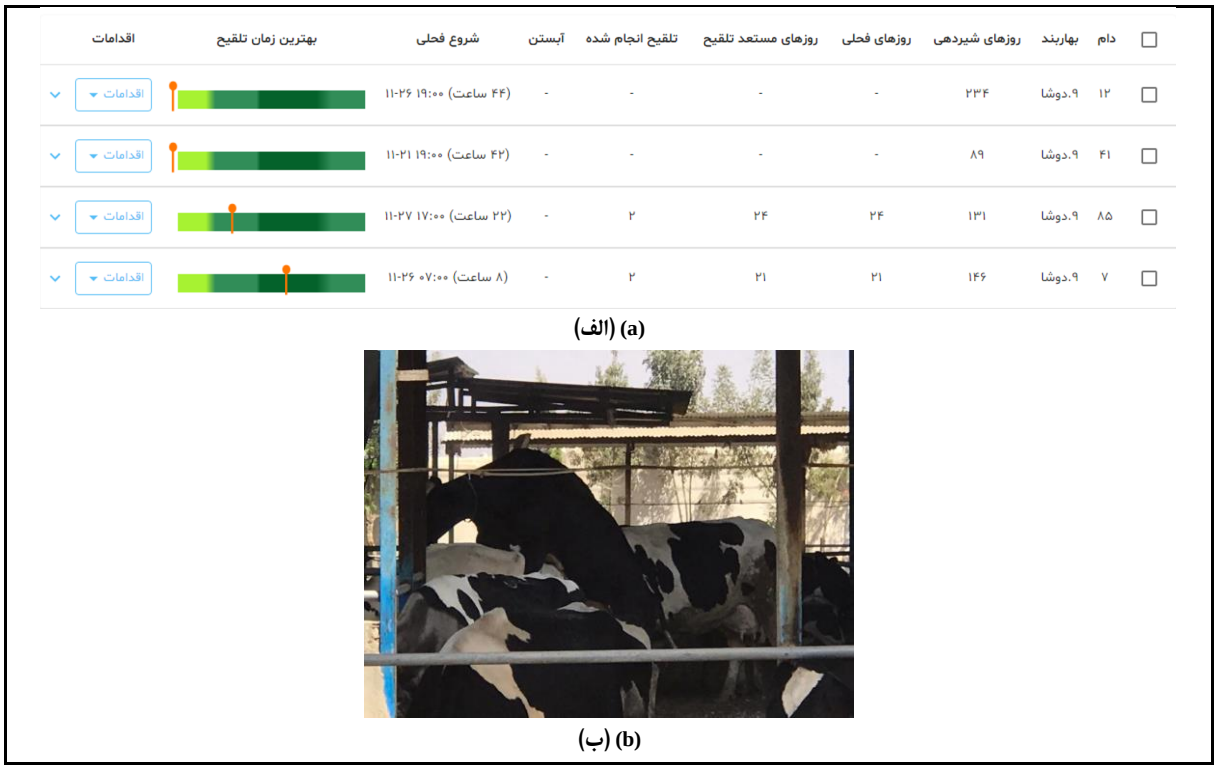
(الف) (a)

(ب) (b)

شکل ۵- الف) پنل کاربری اطلاعات حسگر نصب شده روی گردن دام و ب) پنل کاربری اطلاعات حسگر نصب شده روی پای دام

Fig. 5- a) User panel of sensor information installed on the neck of the animal and b) User panel of sensor information installed on the foot of the animal

نخستین پارامتر بررسی شده در سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری سامانه، تشخیص فحلی است که گزارشی از دام‌ها را در سطح گله می‌دهد. تشخیص دقیق زمان فحلی، یکی از مهم‌ترین پارامترها در اقتصاد دامداری است. در نتیجه افزایش درصد موفقیت لقاح برای دامدار بسیار بااهمیت است. در این دوران حیوان ماده سر پا می‌ایستد تا با حیوان نر جفت‌گیری کند. این حالت متعاقب تغییرات هورمون‌ها و به خصوص هورمون استروژن رخ می‌دهد. تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده نشان می‌دهد این حالت هر ۲۱ روز یک‌بار اتفاق می‌افتد. این حالت ۶ تا ۳۰ ساعت طول می‌کشد ولی به طور میانگین برای اکثر گاوهای ماده این حالت ۱۲ تا ۱۸ ساعت است. درصد عمده‌ای از فحلی‌ها بین ساعت ۶ بامداد تا ۶ بعدازظهر رخ می‌دهد. در سامانهٔ رهبان برای مدیریت فحل بودن دام موارد زیر در نظر گرفته شدند: ۱- دام‌هایی که در زمان فحلی مطلوبی برای لقاح هستند، ۲- دام‌هایی که در دوره استراحت اختیاری هستند، ۳- دام‌هایی که لقاح آن‌ها موفقیت‌آمیز بوده است و آبستن هستند (اولین آزمون آبستنی گرفته شده) و ۴- دام‌هایی که با داده‌هایی که در حال حاضر دریافت می‌شود، احتمالاً دارای نشانه‌های فحلی هستند. از اطلاعات جمع‌آوری شده برای ارائهٔ بهترین زمان تلقیح و بارورسازی استفاده می‌شود (شکل ۶- الف). برای شروع و پایان بهترین زمان تلقیح از یک شاخص چهار رنگ و اشاره‌گر نارنجی استفاده می‌شود. قسمت سبز پررنگ بیانگر بهترین زمان تلقیح است.



(الف) (a)

(ب) (b)

شکل ٦- الف) ارائهٔ بهترین زمان تلقیح و بارورسازی با کمک اطلاعات دام و ب) بررسی دیداری رفتار فحلی برای افزایش دقت سیستم

Fig. 6- a) Provision of the best time for insemination and b) Estrous behaviour

مقادیر ستون روزهای شیردهی، روزهای فحلی، روزهای مستعد تلقیح و تلقیح انجام شده، از بدو تولد تا اکنون محاسبه می‌شوند. دو ستون اصلی تحلیل داده، شروع فحلی و بهترین زمان تلقیح است. در شروع فحلی، روز و ساعتی اعلام می‌شود که حسگرها نشانه‌های فحلی را تشخیص داده‌اند و پس از آن زمان باقی‌مانده تا پایان فحلی آورده می‌شود. از آنجایی‌که نشانه‌های فحلی به‌طور صد درصد قابل اعتماد نیست، بررسی دیداری رفتار فحلی (شکل ۶- ب) با کمک شبکه‌های عصبی پیچشی برای افزایش دقت سیستم در مراحل بعدی سیستم در حال بررسی است.

خروجی بعدی سیستم طراحی شده، بررسی مؤلفه رفتار گله در سطح گروه (بهاربند) است که در صورت بروز انحراف رفتار در گروه، علت و میزان انحراف در این قسمت قابل مشاهده است (شکل ۷- الف). به مواردی همچون تغذیه، نشخوار و استراحت، که نشان‌دهندهٔ وضعیت دام و طبیعتاً وضعیت گروه هستند، مؤلفهٔ رفتار گفته می‌شود. یکی از پارامترهای عملکرد گله، مؤلفهٔ رفتار تغذیه است. میزانی که در قالب درصد جلو انحراف رفتار نشان داده می‌شود، بیانگر آن است که مؤلفهٔ رفتار زمان تغذیه، روز سه‌شنبه ۵/۲ درصد کاهش داشته است. مقدار نشخوار که به صورت درصد بیان شده، نشان می‌دهد که میزان نشخوار تمام دام‌های گروه، ۳۸ درصد است (به نسبت ۷ تا ۸ ساعت نشخواری که برای دام‌ها به صورت استاندارد در نظر گرفته می‌شود (شکل ۷- ب). نمودار نشان‌دهندهٔ تغذیه گروه از روز گذشته تا هم اکنون است که ابتدای روز با تاریخ مشخص‌شده و فاصلهٔ زمانی بین آن به صورت بازه‌های چهار ساعته نمایش داده شده است. اشاره‌گر نارنجی بیانگر زمان حال است.

به منظور مقایسهٔ رفتار هر گروه با گله، مقدار متناظر هر مؤلفه به ازای گله با نمودار خطی مشخص شده است. از نمودار مشخص است که میزان تغذیهٔ گروه در دو روز آخر کاهش داشته و همین امر منجر به بروز سوء رفتار شده است. یکی دیگر از مؤلفه‌های رفتاری، وضعیت تولیدمثل و تاریخی است که انحراف رفتار از آستانهٔ مجاز خود خارج شده است که با کمک تحلیل داده‌ها مشخص می‌شود. تشخیص موارد غیرمتعارف در رفتار دام به عنوان هشدار پزشکی برای بخش دامپزشکی حیاتی است و به پیشگیری از وخامت بسیاری از بیماری‌های دام کمک کند (شکل ۸- الف).

در نمودار شکل ۸، گزارشی از میزان مؤلفه‌های رفتار از روز گذشته تا اکنون نشان داده شده است. خط قرمز رنگ افقی که از ساعت ۰۴:۰۰ تا پیش از ۱۲:۰۰ کشیده شده است، بیانگر زمان بی‌تحرکی است که بیش از ۸ ساعت بوده و در رفتار روز گذشتهٔ دام قابل مشاهده است. هدف از این تحلیل، بررسی دام‌هایی است که مرتباً نیاز به مراقبت دارند مانند دام‌های ماده‌ای که در دوره انتقال‌اند و گوساله‌هایی که نوپا هستند (شکل ۸- ب). به صورت پیش‌فرض، دام‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند: در دوره انتقال، گوساله و گاوهای شیرده. ستون بدون تحرک، با استفاده از یک شاخص دو رنگ و اشاره‌گر نارنجی وضعیت بدون تحرک دام را در روز گذشته نشان می‌دهد. اشاره‌گر نارنجی مقدار میانگین (بهینه) را برای هر دام مشخص می‌کند. دو ستون بعدی به عنوان ملاحظات در نظر گرفته شده است؛ سه نماد اول از راست به چپ به ترتیب عبارت‌اند از: اعلان‌های گروهی (= ابزار عملکرد گله به منظور تشخیص انحراف رفتار در سطح گروه)، اخطار (= ابزار موارد ضروری در صورت داشتن انحراف رفتار

در سطح دام) و فحلی (= ابزار تشخیص فحلی). لازم است گفته شود در صورت بروز هر یک از موارد سهگانهٔ بالا، رنگ نماد به قرمز تغییر می‌کند (مشابه دو نمونهٔ آخر).

شکل ۷- الف) بررسی مؤلفهٔ رفتار گله در سطح گروه و ب) مؤلفهٔ رفتار زمان تغذیه

Fig. 7- a) Investigation of herd behavior at group level and b) Feeding time behavior component

سامانهٔ رهبان شامل سیستم تحلیل رفتار دام بر اساس مدل‌سازی داده‌های حسگرها با کمک روش‌های هوش مصنوعی است. رفتار دام شاخصی مفید برای آگاهی از سلامت عمومی دام به صورت ۲۴ ساعته است. در این تحقیق یک سیستم یادگیری ماشین با کمک دو الگوریتم شبکه‌های عصبی پیچشی و نزدیک‌ترین همسایه برای مدل‌سازی رفتار دام بر اساس داده‌های حسگرها آموزش داده شد. ورودی سیستم، داده‌های حسگرهای گردن‌نما و شتاب‌سنج به صورت نمایش‌داده شده در جدول ۴ هستند که به صورت دستی برچسب خورده و بیانگر حالات رفتاری دام به صورت زیر بودند:

۰: ایستادن، ۱: راه رفتن، ۲: نشستن، ۳: خوابیدن،۴: نشخوار، ۵: غذا خوردن و ۶: رفتار جفت‌گیری

(الف) (a)

(ب) (b)

شکل ۸- الف) تشخیص موارد غیرمتعارف در رفتار دام و ب) دام‌های نیازمند بررسی

Fig. 8- a) Identification of abnormalities in livestock behavior and b) Areas in need of investigation

جدول ٤- داده‌های حسگرهای گردش‌نما و شتاب‌سنج و برچسب رفتار دام

Table 4 - Gyroscope and accelerometer data and livestock behavior tag

Behavior	timestamp	temp	snr	rssi	node_id	i_z	i_y	i_x	gateway	g_z	g_y	g_x	time	Date
2	1.6E+09	0	3	157	N011	0.94	0.06	0.37	G002	0.96	-3.53	0.35	15:41:39	**7/11/2020**
2	1.6E+09	0	3	157	N011	0.91	0.06	0.39	G002	3.58	-2.31	0.1	15:41:39	**7/11/2020**
2	1.6E+09	0	3	157	N011	0.9	0.07	0.42	G002	-0.33	-7.07	-2.62	15:41:39	**7/11/2020**
2	1.6E+09	0	3	158	N011	0.93	0.07	0.38	G002	1.19	0.18	-2.02	15:41:40	**7/11/2020**
2	1.6E+09	0	3	158	N011	0.93	0.03	0.35	G002	4.63	3.67	4.16	15:41:40	**7/11/2020**
2	1.6E+09	0	3	158	N011	0.94	0.04	0.37	G002	-1.43	-7.46	-4.34	15:41:40	**7/11/2020**
2	1.6E+09	0	3	158	N011	0.91	0.07	0.41	G002	-2.42	-5.79	-0.25	15:41:40	**7/11/2020**
2	1.6E+09	0	2	158	N011	0.94	0.05	0.36	G002	0.06	4.22	2.29	15:41:41	**7/11/2020**
2	1.6E+09	0	3	158	N011	0.94	0.07	0.35	G002	1.61	0.32	1.63	15:41:41	**7/11/2020**

دو مدل یادگیری ماشین مبتنی بر الگوریتم‌های شبکه‌های عصبی پیچشی و نزدیک‌ترین همسایه با کمک این داده‌ها آموزش داده شده و دقت این مدل‌ها روی داده‌های آزمایشی برای مدل شبکه‌های عصبی پیچشی ۸۴ درصد و برای مدل مبتنی بر الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه ۷۸ درصد بود. اما از آنجاکه آموزش شبکه‌های عصبی پیچشی از نظر محاسباتی بسیار پرهزینه‌تر از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه است طول عمر باتری سیستم در صورت استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه ۴/۵ برابر بیشتر از طول عمر باتری سیستم در حالت استفاده از شبکه‌های عصبی پیچشی است. در حالی‌که میزان دقت تفاوت قابل قبولی دارد. گفتنی است با افزایش داده‌های آموزشی انتظار می‌رود دقت مدل‌سازی رفتار دام در سیستم پیشنهادی در آینده به حدود ۹۰ درصد برسد. دقت نمونه‌های مشابه (Hamilton *et al.*, 2019) در حال حاضر ۸۶ درصد است.

یکی دیگر از داده‌های مورد تحلیل در سیستم پیشنهادی، اطلاعاتی است که از حسگرهای نصب شده در محیط دامداری (آب، خاک، دما و ...) به صورت لحظه‌ای دریافت می‌شود. در صورت رطوبت زیاد زمین بهاربند، برای جلوگیری از پیچ‌خوردگی پای دام، به دامداری هشدار لازم داده می‌شود. مواردی همچون افزایش دمای آب بهاربند یا افزایش دمای هوا که ممکن است منجر به انحراف رفتار برای دام/گروه‌های حساس (تلیسه، شکم اول، گوساله‌های نوپا و ...) شود، به طور جداگانه اعلام می‌شود (شکل ۹- الف). سه آیتم اول که بالای نمودارها هستند، اشاره دارد به اطلاعات دریافت شده از حسگرها همچون تعداد کل رکوردها یا آخرین ورود اطلاعات. در زیر این قسمت نمودار بیانگر دمای هوا (بالا) و دمای خاک (پایین) است. سه آیتم ردیف اول از چپ به راست نشان‌دهندهٔ رطوبت هوا، رطوبت خاک و دمای هوا هستند. دو آیتم ردیف دوم از چپ به راست نشان‌دهندهٔ فاصلهٔ حسگر تا ارسال‌کنندهٔ داده و آیتم آخر بیانگر دمای خاک است. اطلاعات تمامی حسگرها با شرایط بهینهٔ دامداری مقایسه و پس از پردازش توسط الگوریتم، به کاربر در قالب هشدار ارائه می‌شود.

بخش پایانی سامانهٔ نظارت تصویری است که یکی از مهم‌ترین بخش‌های نظارت دامداری هوشمند است. بیشتر دامداری‌ها دور از مناطق شهری تأسیس‌شده‌اند. با کمک این سیستم مسئولان بخش دامپروری و دامپزشکی می‌توانند در نظارت بر تخلیهٔ فاضلاب، ظاهر گاوها و گاوهای بیمار و مرده از راه دور نقش داشته باشند. سیستم نظارت تصویری همچنین می‌تواند امنیت دامداری را فراهم و از ایمنی گله و دیگر اموال از راه دور اطمینان یابد. با استفاده از دسترسی ویدیویی، می‌توان از راه دور و به صورت بصری وضعیت لحظه‌ای محل را دریافت و وقایع را ضبط کرد. در واقع، با استفاده از تجهیزات ویدئویی مدارک مشاهده و ضبط می‌شوند تا از وقوع احتمالی رویدادهای پیش‌بینی نشده دوری شود. داده‌های تصویری با کمک یک شبکهٔ عصبی پیچشی پردازش می‌شوند و اطلاعات عددی تگ گوش دام برای شناسایی دام به صورت خودکار استخراج می‌شود (شکل۹- ب).

(a) (الف)

(b) (ب)

شکل ۹- الف) اطلاعات حسگرهای نصب شده در محیط دامداری و ب) شناسایی تگ دام با کمک شبکه عصبی پیچشی

Fig. 9- a) Information from sensors installed in the livestock environment and b) Identification of livestock tags with the help of convolutional neural network

سامانهٔ ارائه شده سیستم جامعی برای کنترل خودکار دما، نور، آب آشامیدنی و ایجاد دمای ثابت ارائه می‌دهد و موجب کاهش هزینه‌های نیروی کار و حذف خطای انسانی می‌شود. در مقایسه با روش‌های دامداری سنتی، سیستم ارائه شده تا حد زیادی عملیات دستی را کاهش می‌دهد و به کنترل خودکار دما، رطوبت، شدت نور، تهویه و تخلیهٔ هوای آلوده و تحرک نظارت کرده و از ایجاد استرس جلوگیری نموده و تمامی داده‌ها، هشدارها و مخاطرات را به صورت خودکار ثبت می‌کند. از طریق نود هوشمند گردنی می‌توان مسیر حرکت گاوها، ویژگی‌های بیماری، ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی، موقعیت لحظه‌ای و دیگر پارامترها را رصد کرد. نود گردنی هوشمند دارای عملکردی بدون قطعی است و برای کسب اطمینان از هویت دام‌ها، جایگزین کردن بازرسی دوره‌ای دستی و نظارت بر داده‌های لحظه‌ای

دام‌ها به دقیق‌ترین شکل عمل می‌کند. در نسخه‌های آینده، نود هوشمند گردنی می‌تواند دمای بدن و ضربان قلب گاو را در لحظه رصد کند و نیز قادر به نظارت بر فشارخون دام است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک گردن‌بند و یک پابند برای جمع‌آوری اطلاعات زیستی دام‌ها طراحی شد. همچنین یک سامانهٔ نرم‌افزاری تحلیل داده‌های بزرگ برای ارائهٔ توصیه‌های لازم در مدیریت دامداری بر اساس این داده‌ها طراحی شد. اطلاعات جمع‌آوری شده شامل دمای بدن، میزان تحرک، میزان تغذیه و نشخوار، فحل بودن و رفتار دام‌ها مانند استرس گرمایی است. رفتار دام با دقت ۷۸ درصد با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه و ۸۴ درصد با الگوریتم شبکه‌های عصبی پیچشی مدل‌سازی شد. با توجه به سادگی اجرای الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه استفاده از این روش طول عمر باتری سیستم را تا ۴/۵ برابر افزایش داد و انتخاب مناسب‌تری بود. انتظار می‌رود سامانهٔ پیشنهادی از نظر اقتصادی به دامداران کمک کند. سامانه پیشنهادی باید در چند دامداری و روی تعداد زیادی از دام ها به صورت عملی پیاده و از نظر کارآیی و ارائهٔ توصیه‌ها ارزیابی شود.

قدردانی

نویسندگان مقاله قدردانی خود را از حمایت سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی از این پروژه با نام طرح پژوهشی "رصد و پایش دام با استفاده از اینترنت اشیا و هوش مصنوعی در گاوداری شیری" با کد مصوب ۱۳۴۸-۲۷-۲۷۵۱-۰۱۳-۹۸۰۲-۹۸۰۱۴ -۹۸۰۹۴۵ اعلام می‌دارند. نویسندگان مقاله همچنین قدردانی خود را از زحمات آقایان آروین قهرمانی، حامد مزینانی، دکتر حسین فرازمند و دکتر احمدرضا شرزه اعلام می‌دارند.

مراجع

Acosta, N., Barreto, N., Caitano, P., Marichal, R., Pedemonte, M., & Oreggioni, J. (2020). *Research platform for cattle virtual fences. Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*. Feb. 26-28, Buenos Aires, Argentina.

Andrew, W., Greatwood, C., & Burghardt, T. (2019). *Aerial Animal Biometrics: Individual Friesian Cattle Recovery and Visual Identification via an Autonomous UAV with Onboard Deep Inference. Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. Nov. 4-8, Venetian Macao, Macau.

Andrew, W., Greatwood, C., & Burghardt, T. (2020). *Fusing Animal Biometrics with Autonomous Robotics: Drone-based Search and Individual ID of Friesian Cattle (Extended Abstract). Proceedings of the IEEE Winter Applications of Computer Vision Workshops (WACVW)*. March 1-5 . Snowmass Village, CO, USA.

Başçiftçi, F., & Gündüz, K. A. (2019). *Identification of Acidosis Disease in Cattle Using IoT. Proceeding of the International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK).* Sep. 11-15, Samsun, Turkey.

Byabazaire, J., Olariu, C., Taneja, M., & Davy, A. (2019). *Lameness Detection as a Service: Application of Machine Learning to an Internet of Cattle. Proceedings of the 16th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC).* Jan. 11-14, Las Vegas, NV, USA.

Hama, H., Hirata, T., Mizobuchi, T., & Zin, T. T. (2019). *A Study on Detection of Precursor Behaviors of Estrus in Cattle Using Video Camera. Proceeding of the IEEE 1st Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech).* March 12-14, Osaka, Japan.

Hamilton, A. W., Davison, C., Tachtatzis, C., Andonovic, I., Michie, C., Ferguson, H. J., Laura Somerville, L., & Jonsson, N. N. (2019). Identification of the rumination in cattle using support vector machines with motion-sensitive bolus sensors. *Sensors, 19*(5), 1165. doi: 10.3390/s19051165.

Natori, T., Ariyama, N., Tsuichihara, S., Takemura, H., & Aikawa, N. (2019). *Study of Activity Collecting System for Grazing Cattle. Proceedings of the 34th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC).* June 23-26, Jeju, South Korea.

Niu, L., Yang, C., Du, Y., Qin, L., & Li, B. (2020). *Cattle Disease Auxiliary Diagnosis and Treatment System Based on Data Analysis and Mining. Proceedings of the* 5th *International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS).* Feb. 22-24, Shanghai, China.

Norouzi, A., & Norouzi, M. (2020). Pisoro a platform to learn, care, health, consults for pets. Available on: https://www.pisoro.com.

Palendeng, M. E., Alvarenga, T. I. R. C., Fowler, S., Hopkins, D. L., McGilchrist, P., & Thennadil, S. N. (2020). Estimation of Chronological Age of Cattle Using Spatially Resolved Diffuse Reflectance Measurements of Hide. *IEEE Sensors Journal, 20*(15), 8673-8682. doi: 10.1109/JSEN.2020.2983455

Rau, L. M., Chelotti, J. O., Vanrell, S. R., & Giovanini, L. L. (2020). *Developments on real-time monitoring of grazing cattle feeding behavior using sound. Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT).* Feb. 26-28, Buenos Aires, Argentina.

Reddy, S. S., & Nandini, C. (2019). *Early Detection of Estrus and Heat stress using IoAHT and Analytics in Indian Cattle to overcome Repeat-Breading-Syndrome. Proceedings of the 1st International Conference on Advanced Technologies in Intelligent Control, Environment, Computing & Communication Engineering (ICATIECE).* March 19-20, Bangalore, India.

Santos, V. D. N., Neves, B., & Ferreira, N. M. F. (2019). *Novel RSSI-based Localization System for Cattle and Animal Tracking. Proceedings of the International Conference in Engineering Applications (ICEA).* July 8-11, Azores, Portugal.

Sairam, A. J., Induri, R., & Bagyaveereswaran, V. (2019). *Validation of Wearable Sensors and RFID for Real time Monitoring of Cattle Farming using Internet of Things. Proceedings of the Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT).* March 22-23, Vellore, India.

Taneja, M., Jalodia, N., Malone, P., Byabazaire, J., Davy, A., & Olariu, C. (2019). Connected Cows: Utilizing Fog and Cloud Analytics toward Data-Driven Decisions for Smart Dairy Farming. *IEEE Internet of Things Magazine, 2*(4), 32-37. doi: 10.1109/IOTM.0001.1900045.

Theodoridis, S. (2015). Machine learning: a bayesian and optimization perspective. Academic Press.

Vasconcellos, B. C. D., Trindade, J. P. P., Volk, L. B. d. S., & Pinho, L. B. d. (2020). Method applied to animal monitoring through VANT images. *IEEE Latin America Transactions*, *18*(07), 1280-1287. doi: 10.1109/TLA.2020.9099770.

Wang, Z., Cao, C., Yu, H., & Liu, Y. (2020). *Design and Implementation of Early Warning System Based on Dairy Cattle Activity Detection. Proceedings of the International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC).* June 15-19, Limassol, Cyprus.

Widiasih, D. A., Susetya, H., & Widayanti, R. (2018). *Early Detection of Leptospirosis in Cattle Urine Samples by Using Loop-Mediated Isothermal Amplification (LAMP) Method. Proceedings of the 1st International Conference on Bioinformatics, Biotechnology, and Biomedical Engineering-Bioinformatics and Biomedical Engineering.* Oct. 19-20, Yogyakarta, Indonesia.

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.22/No.78/Summer2021/P:107-126
Journal Home Page: https://amsr.areeo.ac.ir

Research Paper

Design of Hardware and Software Platform for Intelligent Automation of Livestock Farming using Internet of Things

H. Behneghar, B. Majidi* and A. Movaghar

*Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Khatam University, Tehran, Iran. Email: b.majidi@khatam.ac.ir
Received: 29 October 2020, Accepted: 25 April 2021
http://doi: 10.22092/AMSR.2021.352371.1367

Abstract

The 4th generation industrial livestock farming reduces livestock losses, increases fertility rates, reduces operating costs, manages human resources, and generally increases productivity. In this research, a set of wearable sensors including a cattle collar and a leg mounted sensor was designed for automation of livestock farming. A LoRaWAN based internet of things network was designed using a set of custom gateways in three livestock farms. An intelligent livestock big data analysis framework that uses edge and cloud computing was designed for processing and modelling of the behaviour of the cattle using the collected sensor data. A decision support system for estrous cycle management, stress and health control and cattle behaviour modelling was designed using machine learning based modelling of this data. The proposed system monitored the cattle and provided the vital signs such as body temperature, mobility, feeding behaviour and estrous behaviour for management and veterinarian decision support. The accuracy of the KNN algorithm for modelling livestock behaviour was 78% and the accuracy of convolutional deep neural networks was 84%. However, due to the simplicity of the KNN algorithm, this method increased the battery life of the system by 4.5 times and therefore, it was a more appropriate choice for commercial livestock farming.

Keywords: Artificial Intelligence, Big Data, Livestock Technology, Wearable Sensor

© 2021 Agricultural Mehanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)