نشریه آموزشی- پژوهشی موسسه تحقیقات علوم دامی کشور
فصلنامه تحقیقات کاربردی در علوم دامی
شماره ۳۳، زمستان ۱۳۹۸
ص‌ص: ۲۵~۴۰

کاربرد فناوری اینترنت اشیاء در افزایش بهره‌وری صنعت گاو شیری

- **صابر جلوخانی‌نیارکی** (نویسنده مسئول)
عضو هیات علمی موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- **علی جوانروح علی‌آباد**
عضو هیات علمی موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت : شهریور ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش : آبان ۱۳۹۸

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۷۰۸۲۶۶۸
Email: s.jelokhani6@gmail.com

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ aasrj.2019.127533.1184

چکیده:

استفاده از فناوری‌های نوین در صنعت دام و طیور با هدف افزایش بهره‌وری اقتصادی از مدت‌ها پیش در کشورهای توسعه‌یافته آغاز شده است. اهداف اقتصادی مختلفی سبب ترغیب بهره‌برداران صنعت دام و طیور در استفاده از فناوری‌های نو می‌شوند که عمدتاً کاهش هزینه‌های تولید و افزایش کیفیت محصولات را شامل می‌گردند. یکی از این فناوری‌ها، پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء می‌باشد. این مقاله به معرفی فناوری اینترنت اشیاء، مزایا و ضرورت پیاده‌سازی آن در صنعت گاو شیری و همچنین تحلیل کاربردهای آن در بهبود صنعت گاو شیری با رویکرد اقتصادی می‌پردازد. اینترنت اشیاء به فناوری اطلاق می‌گردد که در آن داده‌ها از طریق برخی دستگاه‌های متصل به هم حس شده و جمع‌آوری می‌شوند. سپس اطلاعات با استفاده از اینترنت به اشتراک گذاشته می‌شوند و در جهت اهداف مشترک پردازش شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طور کلی نتایج پژوهش محققین مختلف نشان می‌دهد که پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء در گاوداری‌های شیری می‌تواند سبب کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری اقتصادی گردد.

واژه‌های کلیدی: گاو شیری، اینترنت اشیاء، هوشمند، اقتصادی

Applied Animal Science Research Journal No 33 pp: 25-40

Application of IoT technology to increase the productivity of dairy industry

By: S. Jelokhani-Niaraki*, A. Jjavanrouh
Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

The use of new technologies in the livestock and poultry industry with the aim of increasing economic productivity has long begun in developed countries. Various economic goals encourage the livestock and poultry industry beneficiaries to use new technologies, which mainly include reducing the production costs and increasing the product quality. One of these technologies is the implementation of internet of things (IOT)-based smart systems. This article introduces the IOT technology and discusses the benefits and the necessity of its implementation in the dairy industry, as well as analyzing its applications in improving the dairy industry with an economic perspective. The IOT is the technology through which data are sensed and collected via some connected devices. The data are then shared through the internet and processed and used for common goals. Taken together, the findings of different researchers show that implementing the IoT-based technologies in dairy farms can reduce costs and increase economic productivity.

Key words: dairy cattle, internet of things, smart, economic

مقدمه

در طی سال‌های اخیر، ظهور فناوری‌های نوین اثرگذار بر حوزه-های مختلف کشاورزی به افزایش بهره‌وری اقتصادی منجر شده است. صنعت دام و طیور به عنوان یکی از مهمترین زیربخش‌های کشاورزی که نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی کشور ایفا می-کند، از این رخداد مستثنی نبوده است. کاهش هزینه‌های تولید و افزایش کیفیت محصولات اهداف اقتصادی مهمی می‌باشند که سبب ترغیب بهره‌برداران صنعت دام و طیور در به کارگیری فناوری‌های نو می‌شوند. فناوری‌های مختلفی در این صنعت ورود پیدا کرده‌اند و از روش‌های سنتی مدیریت پیشی گرفته‌اند. یکی از این فناوری‌ها کشاورزی هوشمند می‌باشد. در سال‌های اخیر، پیاده‌سازی روش‌های مختلف فناوری در جهت حرکت به سمت کشاورزی هوشمند رایج شده است (Barriuso, et al., 2018). در اتحادیه اروپا، چنین ابتکاراتی توسط مجلس اروپا مورد حمایت قرار گرفته‌اند. بر اساس دو گزارش مشهود که برای اتحادیه نوآوری‌ها در اینترنت اشیاء (AIOTI[1]) موجود است (Smart Farming Receives the Backing of the European Parliament, 2017) ۱- راه‌کارهای فنی برای کشاورزی پایدار در اتحادیه اروپا (European Parliament, 2017a) ۲- افزایش نوآوری و توسعه اقتصادی در مدیریت آینده مزارع اروپا (European Parliament, 2017b)، کاملاً مشخص است که آینده مدیریت کشاورزی بر اساس فناوری‌های مبتنی بر هوشمندسازی پیش خواهد رفت.

یکی از فناوری‌های اثرگذار در حوزه هوشمندسازی کشاورزی، اینترنت اشیاء می‌باشد. واژه "اینترنت اشیاء" یا IOT[2] اولین بار توسط کوین اشتون[3] در سال ۱۹۹۹ تعریف گردید (Gubbi, et al., 2013). اینترنت اشیاء یک الگوی جدید در مورد توانایی دستگاه‌های متصل شده به یکدیگر به منظور حس کردن و جمع-

[1] Alliance for Internet of Things Innovation
[2] Internet of things
[3] Kevin Ashton

آوری داده‌ها است و سپس داده‌ها با استفاده از امکانات اینترنت به اشتراک گذاشته می‌شوند تا بتوان آنها را برای رسیدن به اهداف مشترک مورد پردازش و استفاده قرار داد (Atzori, Iera and Morabito, 2010). اینترنت اشیاء به فناوری اشاره دارد که نشاندهنده آن است که در آینده نزدیک بیلیون‌ها دستگاه از ارتباطات هدفمند برخوردار خواهند شد و در هر نقطه از جهان می‌توانند قابل دسترس باشند (Memon, et al., 2016). پژوهش‌ها و پروژه‌های مختلفی در خصوص استفاده از فناوری اینترنت اشیاء در حوزه گاو شیری انجام شده است. هدف این مقاله معرفی فناوری اینترنت اشیاء و تحلیل کاربردهای آن در بهبود صنعت گاو شیری با رویکرد اقتصادی می‌باشد.

اهمیت و ضرورت هوشمندسازی در صنعت گاو شیری

به طور کلی، پیشرفت‌ها در تغذیه، آسایش دام و فرآیندهای مدیریتی می‌تواند به افزایش عملکرد گاوهای شیری منجر شود. با این حال، هنوزه عوامل مختلفی مانند بیماری، پایین بودن میزان تشخیص زمان‌های تلقیح و مشکلات سلامت تولیدمثلی وجود دارند که بر عملکرد کلی اقتصادی صنعت گاو شیری اثر منفی دارند. این عوامل در کاهش تولید شیر، حذف زودرس گاوهایی که به طور بالقوه ارزشمند هستند و فواصل گوساله‌زایی طولانی که کاهش تعداد گوساله‌های متولد شده توسط هر گاو را در بر خواهد داشت، بازتاب می‌شوند (De Maturana, et al., 2007). چالش‌های متعددی در گاوداری‌ها وجود دارند که برخی از آنها شامل نیاز بالا به نیروی کارگری، عدم تشخیص دام‌های بیمار و هزینه‌های درمانی بالا، افت تولید، وجود استرس حرارتی، عدم شناسایی دقیق و به موقع دام‌های فحل، عدم وجود سیستم هشدار و شناسایی بحران در گاوداری و بعضاً سرقت دام‌ها می‌باشند.

پایش و عملیات پاسخ در برابر چهار پارامتر اصلی دمای بدن، میزان تحرک، تعداد نشخوار و موقعیت مکانی گاو می‌تواند در راستای بهبود وضعیت بیماری، افزایش عملکرد تولیدمثلی و امینت دام‌ها به کار رود. تشخیص و تلقیح به موقع دام‌های فحل یکی از مهمترین پارامترها در جهت افزایش باروری دام بوده و برای مدیریت کارامد تولید مهم می‌باشد (Walker, Nebel and McGilliard, 1996) . سیستم‌های پایش فعالیت خودکار، ابزارهای مهمی برای تشخیص فحلی می‌باشند (Fricke, et al., 2014) و تولیدکنندگانی که این سیستم‌ها را نصب کرده‌اند رضایتمندی خود را از عملکرد آنها گزارش کرده‌اند (Michaelis, Hasenpusch and Heuwieser, 2013). تشخیص نادرست فحلی ممکن است به تلقیح گاوهایی منجر شود که فحل نیستند یا تلقیح در زمانی انجام شود که برای آبستنی مطلوب نیست (Law, et al., 2009). پارامتر دیگر استرس گرمایی می‌باشد. استرس گرمایی به عنوان یکی از مشکلات اصلی در گاوداری‌ها به شمار می‌رود. استرس گرمایی ناشی از محیط گرم یکی از فاکتورهای اصلی می‌باشد که اثر منفی بر روی تولید، تولیدمثل و سلامت گاوهای شیری دارد (Bernabucci, et al., 2010). در یک مطالعه جامع توسط Hansen (2007) اثرات مخرب استرس گرمایی بر رشد و بلوغ تخمک، مرگ زودهنگام رویان و رشد جنین یا جفت توضیح داده شد. پارامتر بعدی فعالیت نشخوار می‌باشد که به عنوان یک معرف برای سلامت کلی دام پیشنهاد شده است (Paudyal, et al., 2018). دستگاه‌هایی که نشخوار را اندازه‌گیری می‌کنند در حال حاضر قابل دسترس هستند و به طور موفقیت‌آمیزی اعتبارسنجی شده‌اند، که نشاندهنده یک ارتباط قوی بین مشاهدات بصری و داده‌های گزارش شده توسط این فناوری می‌باشد (Schirmann, et al., 2009). بنابراین با پایش نشخوار می‌توان به سلامت گاو پی برده و بیماری را در مراحل اولیه شناسایی نمود. پارامتر بعدی میزان تحرک می‌باشد. از طریق پایش حرکت دام می‌توان علاوه بر فحل بودن و سلامت دام، سرعت حرکت و محل آن را نیز ردیابی و از سرقت دام‌ها جلوگیری نمود.

بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع لازم است که یک سیستم هوشمند بر اساس فناوری اینترنت اشیاء در گاوداری وجود داشته باشد تا از طریق آن بتوان اطلاعات دمای بدن، میزان تحرک، تعداد نشخوار و موقعیت مکانی هر دام را بدون وقفه و به صورت

برخط به مرکز پردازش ارسال و مرکز پردازش نیز راهکار لازم را برای غلبه بر مشکل در راستای بهبود وضعیت بیماری، افزایش عملکرد تولیدمثلی و امینت دام‌ها برای دامدار فراهم نماید. در دسترس بودن داده‌ها در زمان واقعی، کمک می‌کند تا فحل‌یابی دام با استفاده از پایش میزان تحرک صورت گیرد، پایش سلامت دام با استفاده از تعداد نشخوار و دمای بدن صورت گرفته و پیشگیری از بیماری‌ها انجام شود، استرس حرارتی که خسارت بالایی بر دامداری وارد می‌سازد به موقع تشخیص داده شده و رفع گردد.

مزایای کاربرد اینترنت اشیاء در صنعت گاو شیری

مزیت‌های مختلفی در پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء در گاوداری‌های صنعتی وجود دارد که به طور خلاصه در شکل ۱ نمایان شده است.

شکل ۱: مزایای کاربرد اینترنت اشیاء در صنعت گاو شیری

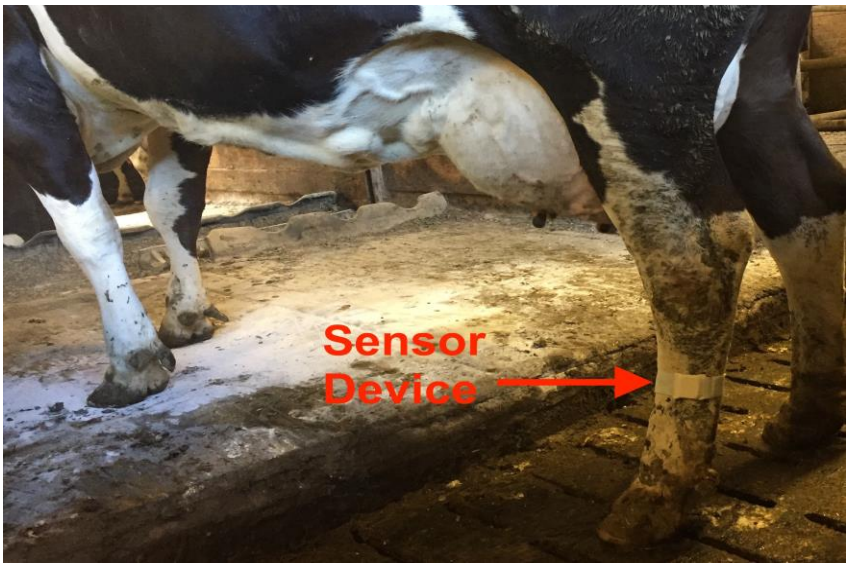
مروری بر کاربرد فناوری اینترنت اشیاء و هوشمندسازی در صنعت گاو شیری

از دهه ۱۹۸۰، تلاش‌ها برای توسعه حسگرها که یک پارامتر را در یک گاو اندازه‌گیری می‌کنند آغاز شد. فرآیند توسعه با حسگر شناسایی گاو آغاز شد و سپس به دنبال آن توسعه حسگرهای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی شیر و قدم شمارهایی که فعالیت را اندازه‌گیری می‌کنند ادامه پیدا کرد (Rutten, et al., 2013).

Rutten و همکاران ۱۲۶ منابع علمی منتشر شده را که توصیفگر ۱۳۹ سیستم حسگر می‌باشند ساختاربندی کرده و آنها را بر اساس چهار سطح مورد مقایسه قرار دادند: ۱- تکنیک‌هایی که پارامترها را در گاو اندازه می‌گیرند (مثلاً فعالیت) ۲- تفسیرهایی که تغییرات در داده‌های حسگر را (مثلاً افزایش فعالیت) به منظور تولید اطلاعاتی درباره وضعیت گاو خلاصه می‌کنند (مثلاً فحلی) ۳- تلفیق اطلاعات حسگر با سایر اطلاعات (مثلاً اطلاعات اقتصادی) برای ارایه راهکار (مثلاً یک گاو تلقیح شود یا خیر) ۴- تصمیم‌گیری دامدار یا سیستم حسگرها به طور خودکار (مثلاً فرد تلقیح گر فراخوانده شود).

بیماری لنگش یک اختلال دردناک حرکتی بوده که سبب انحراف در ایستادن و یا اختلال در راه رفتن طبیعی گاو می‌شود. برخی از پیامدهای لنگش شامل نیاز به درمان دامپزشکی، کاهش تولید شیر و کاهش عملکرد تولیدمثلی در گاو می‌باشد. در مراحل پیشرفته بیماری گاو لنگ ممکن است حذف شود (Van Nuffel, et al., 2015). در حال حاضر، گاوهای لنگ توسط بازرسی بصری الگوی راه رفتن آنها شناسایی می‌شوند که توسط دامداران انجام می‌شود. دامداران از زمان محدودی برای پایش وضعیت سلامت گله گاوهای خود برخوردار هستند (Haladjian, et al., 2018). کارهای قبلی در تشخیص لنگش چگونگی ردیابی فعالیت فیزیکی گاو (دراز کشیدن،

ایستادن و راه رفتن) را با استفاده از حسگرهای حرکتی پوشیدنی مورد مطالعه قرار داده‌اند (Mazrier, et al., 2006; Nielsen, et al., 2010). روش‌هایی برای تشخیص خودکار لنگش با استفاده از مشاهده رایانه‌ای، حسگرهای خارجی از قبیل صفحات فشار و حسگرهای حرکتی پوشیدنی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (Haladjian, et al., 2018). بر اساس نتایج منتشر شده توسط Haladjian و همکاران (۲۰۱۸)، یک روش الگوریتمی برای تشخیص خودکار ناهنجاری‌ها در الگوی راه رفتن گاوها با استفاده از یک حسگر حرکتی پوشیدنی ابداع شده است. نتایج مطالعات محققین از یک آزمایش کنترل شده نشان داد که روش ابداعی می‌تواند انحرافات حرکتی گاو را با دقت ۹۱/۱ درصد شناسایی کند. شکل ۲ تصویری از حسگر حرکتی متصل شده به سمت پای چپ پشتی گاو را نمایش می‌دهد.



شکل ۲: حسگر حرکتی که به سمت پای چپ پشتی گاو متصل شده است
(Haladjian, Brugge and Nuske, 2017b; Haladjian, et al., 2017a)

در مثالی دیگر می‌توان به طراحی سیستم مانیکا[4] که یک سیستم مبتنی بر فناوری پایش دقیق دام می‌باشد و در پروژه Monicow (imec, 2015) توسعه پیدا کرده است اشاره کرد. این سیستم با هدف بهبود جنبه‌های مختلف مدیریت گاوهای شیری از قبیل تشخیص علایم بیماری، شناسایی گاو، پیش‌بینی زمان گوساله‌زایی و دانستن اینکه چه زمانی باید گاوها تلقیح شوند، توسعه پیدا کرده است. در مطالعه‌ای دیگر که توسط Rutten و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد، محققان نشان دادند که زمان گوساله‌زایی را می‌توان از طریق نصب سیستم‌های حسگر بر روی گاو که اطلاعات تحرک، رفتار، دما، فعالیت نشخوار و موقعیت دم گاو را نشان می‌دهد تشخیص داد. یک سیستم حسگر که این زمان را پیش‌بینی می‌کند، می‌تواند به دامداران کمک کند تا به طور کارامد گاوها را برای گوساله‌زایی پایش کنند. در نظر گرفتن اطلاعات حسگر سبب بهبود صحت پیش‌بینی آغاز گوساله‌زایی در مقایسه با پیش‌بینی صرفاً بر اساس زمان زایمان مورد انتظار می‌شود. دامداران می‌توانند از هشدارهای مدل پیش‌بینی‌کننده به عنوان یک علامت برای اینکه گاوها باید در ساعات بعدی بیشتر تحت نظر قرار گیرند استفاده کنند (Rutten, et al., 2017). در مطالعه‌ای دیگر Palombi و همکاران (۲۰۱۳) نظارت از راه دور بر زایمان گاوهای شیری را به عنوان ابزار جدیدی برای مدیریت گوساله‌زایی مورد ارزیابی

[4] Monicow

قرار دادند. اهداف این مطالعه پایش فرآیند گوساله‌زایی از طریق استفاده از یک سیستم هشدار از راه دور و تعیین اثر روش‌های اورژانسی زایمان سریع در حالت سخت‌زایی برای پیشگیری از مرده‌زایی‌ها و آسیب‌های تولیدمثلی پس از زایمان و همچنین برای بهبود باروری گله را شامل گردید. محققان نتیجه گرفتند که سیستم هشدار از راه دور استفاده شده در این مطالعه برای نظارت بر روند زایش سبب حضور سریع پرسنل، بهبود کارآیی تولیدمثلی گاو و زنده‌مانی گردید (Palombi, et al., 2013). در مثالی دیگر می‌توان به سرقت دام اشاره کرد. در این مورد محققان تحقیقاتی را در مورد مدل‌سازی رفتار گاو با استفاده از گره‌های بی‌سیم موقعیت‌یابی جهانی برای بدست آوردن موقعیت احتمالی گاو انجام داده‌اند. یک گره WSN برای حس سرعت و موقعیت گاو به منظور بررسی دزدی دام طراحی شده است (Nkwari, Rimer and Paul, et al., 2014). سوابق تحقیقاتی و اجرایی متعدد دیگری نیز از کاربرد و توسعه سیستم‌های هوشمند در گاوداری‌های سایر کشورها موجود می‌باشد.

نمونه پروژه تحلیلی در خصوص استفاده از فناوری اینترنت اشیاء در صنعت گاو شیری

Vannieuwenborg و همکاران (۲۰۱۷) در کنفرانس اینترنت اشیاء نتیجه تحقیقات خود را در خصوص طراحی و ارزیابی یک سیستم هوشمند پایش گاو از دیدگاه اقتصادی و فنی منتشر کردند. در این مطالعه، محققان یک روش طراحی سیستم مبتنی بر فناوری اینترنت اشیاء را توصیف کردند. همچنین در این سیستم مباحث اقتصادی و استراتژیک نیز در نظر گرفته شد. این پروژه بر روی چهار کاربرد مختلف که بر روی عملکرد کلی اقتصادی گاوهای شیری اثر می‌گذارند متمرکز می‌باشد، شامل: ۱- تشخیص زودهنگام علایم بیماری ۲- تشخیص فحلی به منظور آگاهی از زمان تلقیح ۳- پیش‌بینی زمان گوساله‌زایی (حضور دامدار در زمان زایمان خطر عوارض آن را کاهش می‌دهد) و ۴- بهبود فرآیند ردیابی دام در زمان کم در اصطبل یا محوطه دامداری.

در ادامه، تمام مطالب بر اساس پژوهش منتشر شده Vannieuwenborg و همکاران (۲۰۱۷) آورده شده است.

۱- تشخیص زودهنگام بیماری ها

تشخیص زودهنگام بیماری‌ها در گاوداری از اهمیت بالایی برخوردار است. بیماری‌های مختلف شایع گاوهای شیری از قبیل ورم پستان، لنگش، کتوز و التهاب رحم[5] سهم بزرگی از زیان‌های اقتصادی دامداری‌ها را به علت شیوع خود بیماری و همچنین اثر مستقیم آنها بر روی تولید شیر و نرخ حذف دام‌ها شامل می‌شوند. هزینه‌های دیگر تحمیل شده توسط این بیماری‌ها شامل حذف شیر به علت باقی مانده‌های دارویی، هزینه‌های دامپزشکی و دارویی و همچنین هزینه‌های کار اضافی می‌باشند. علاوه بر این، این بیماری‌ها بر میزان باروری دام‌ها اثر می‌گذارند که می‌تواند به گوساله‌های کمتر و بنابراین فواصل گوساله‌زایی طولانی‌تر منجر شود. پایش پارامترهای فیزیولوژیکی یا رفتاری مانند دما، سطح فعالیت بدست آمده از داده‌های سرعت و موقعیت دام به آنالیزهای خودکار و تفسیر این داده‌ها کمک می‌کند. پیاده‌سازی فناوری‌های پایش دقیق گاو شیری (PDMT[6]) می‌تواند در تشخیص اختلالات در سطح یک گاو مفید باشد (Helwatkar, Riordan and Walsh , 2014). نمونه‌هایی از شاخص‌های بیماری عبارتند از تغییرات رفتاری، افزایش دما، سطح فعالیت پایینتر، نوشیدن کمتر آب و تغییرات در رفتار نشخوار. از آنجایی که سیستم PDMT هیچ‌گونه تأیید بیوشیمیایی را برای بیماری ارایه نمی‌کند، سیستم قادر نخواهد بود تا مشخص کند که دقیقاً گاو از کدام بیماری رنج می‌برد.

الزامات طراحی تشخیص زودهنگام علایم بیماری

- پایش فعالیت باید شامل معیارهای زیر باشد: فاصله مسیر طی شده در هر روز، رفتار اجتماعی، زمان دراز کشیدن در روز، زمان خوراک خوردن و آب نوشیدن. اطلاعات تمام این معیارها می‌تواند از مکان‌یابی موقعیت دقیق گاو بر روی یک فلورپلان و ترکیب آنها با داده‌های حسگر دیگر از قبیل شتاب‌سنج و

[5] Metritis
[6] Precision dairy-monitoring technologies

فشارسنج بدست آید. اندازه‌گیری موقعیت دام باید در هر ۳۰ ثانیه به روز شود و دقت ۵۰ سانتیمتری را شامل گردد.

- پایش دما برای تشخیص تب مورد نیاز می‌باشد. دما در دو اندام گوش و گردن پایش خواهد شد. دمای گوش بایستی برای تغییرات دمای محیط تصحیح گردد. تناوب اندازه گیری هر ۳۰ دقیقه کفایت خواهد کرد. اما داده‌ها باید حداقل یکبار در هر سه ساعت در سیستم پشتی مرکزی[7] به‌روز شوند. سیستم پشتی به سرور سیستم اشاره دارد.
- یک سیستم پشتی مرکزی داده‌ها را ترکیب و آنالیز خواهد نمود. این داده‌ها از منابع مختلف به منظور تشخیص ناهنجاری‌ها و بی-نظمی‌های پیش آمده در الگوهای سلامت و فعالیت دام‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- دامدار از طریق یک داشبورد مبتنی بر شبکه از پیدایش این ناهنجاری‌ها مطلع خواهد شد.
- واحدهای پایش گاوها داده‌های خود را در فواصل پیش‌فرض به یک سیستم پشتی ارسال می‌کنند. نرخ به‌روزرسانی پیش‌فرض می-تواند به صورت پویا توسط خود سیستم پشتی(سرور) در صورت بروز ناهنجاری‌ها و یا رویدادهای مورد انتظار تنظیم شود. بنابراین ارتباط باید دوطرفه باشد و نه تنها اصطبل، بلکه محوطه آن را نیز پوشش دهد.

۲- تشخیص زمان تلقیح

تشخیص فحلی، کلیدی برای عملکرد تولیدمثلی مناسب به شمار می‌آید زیرا مستقیماً بر میزان کل گوساله‌های متولد شده در سال و کل تولید شیر تأثیر می‌گذارد. تشخیص این رویداد یک کار پرچالش بوده و دارای محدودیت زمانی می‌باشد. در این راستا به مشاهده دقیق رفتار فیزیکی دام‌ها (مثلاً رفتار ایستادن، پرش و بو کردن گاوهای دیگر) نیاز می‌باشد. علاوه بر این، بیشتر این رویدادها به دلیل اینکه در طی شب اتفاق می‌افتند و تنها در یک محدوده زمانی ۶ تا ۳۶ ساعت قابل مشاهده هستند، به آسانی می-توانند از دست بروند (Sumon Shahriar, et al., 2015).

در حال حاضر، چندین ابزار و تکنیک وجود دارند که به طور گسترده برای تشخیص دقیق‌تر فحلی مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما متوسط میزان موفقیت آنها ۵۰ درصد می‌باشد (Inchaisri, 2011). بنابراین، پیاده‌سازی یک سیستم PDMT که قادر باشد نرخ تشخیص فحلی را همزمان با کاهش نیاز به نیروی کارگری بهبود دهد، برای عملکرد کلی اقتصادی گاوداری سودمند خواهد بود.

الزامات طراحی برای زمان تلقیح (تشخیص فحلی)

- برای تشخیص فحلی، رفتار دام و موقعیت آن نسبت به گروه مهم است. یک تناوب اندازه‌گیری ۳۰ ثانیه و تناوب بارگیری داده‌ها در هر ۳۰ دقیقه کافی می‌باشد.
- حرکت و فعالیت پرش توسط یک شتاب‌سنج پایش خواهد شد.
- داده‌های اندازه‌گیری شده با داده‌های تقویم گاو مرتبط خواهند شد. این تقویم یا دفتر در تمام گاوداری‌های شیری موجود است، اما نیاز است با سیستم PDMT تلفیق گردد.
- در صورتی که یک رخداد فحلی تشخیص داده شود، سیستم PDMT گاودار را مطلع می‌نماید.

۳- پیش‌بینی زمان گوساله‌زایی

مشکلات در طی زایمان سبب افزایش خطر مرده‌زایی، مرگ و میر و حذف گاو می‌شود و همچنین خطر کلی برای بروز بیماری‌ها را افزایش می‌دهد. بسته به شدت عارضه، تحقیقات نشان می‌دهد که مبلغی حدود ۱۵۰ تا ۶۰۰ یورو به ازای هر مورد هزینه متحمل می-شود (McGuirk, Forsyth, Dobson, 2007). بنابراین، زمان دقیق گوساله‌زایی باید مشخص گردد. پروژه‌های تحقیقاتی گذشته (Rutten, et al., 2017) نشان داده‌اند که زمان گوساله‌زایی را می‌توان توسط سیستم‌های حسگر نصب شده روی گاو که اطلاعات تحرک، رفتار، دما و موقعیت دم گاو را تلفیق می‌کنند، تشخیص داد.

الزامات طراحی برای زمان زایمان

- هنگامی که زمان گوساله‌زایی مورد انتظار نزدیک می‌شود، دما در

[7] Central Backend System

دفعات بیشتر نسبت به حالتی که در تشخیص زودهنگام علایم بیماری وجود دارد پایش می‌شود. به جای اندازه‌گیری هر ۳۰ دقیقه، در این حالت هر ۱۰ دقیقه دما پایش خواهد شد.

- به منظور آگاهی از زمان مورد انتظار تولد گوساله، داده‌های تقویم یا دفتر گاو بایستی با سیستم تلقیق شوند.
- قبل از زایمان، گاو بسیار بی‌قرار خواهد شد و به دنبال یک فضای خلوت‌تر می‌باشد. موقعیت گاو از طریق فناوری محل‌یابی پایش می‌شود.
- به محض اینکه گوساله‌زایی قابل تشخیص باشد، دامدار توسط سیستم مطلع خواهد شد.

٤- مکان‌یابی داخلی-خارجی و شناسایی گاوهای شیری

یک کاربرد دیگر سیستم، محل‌یابی و شناسایی دام‌ها می‌باشد. از آنجایی که در حال حاضر محل‌یابی دام‌ها یک فرآیند زمانبر است، قطعاً در گله‌های بزرگ PDMTها از پتانسیل بالایی در کاهش زمان مورد نیاز برای محل‌یابی یک دام خاص برخوردارند. از طریق یک برنامه تلفن همراه، دامدار می‌تواند اطلاعات نزدیک زمان واقعی موقعیت یک گاو را بدست آورد. همچنین از طریق همان برنامه، دامدار می‌تواند یک گاو را به شکل بی‌سیم به منظور دریافت تمام اطلاعات دام و تقویم گاوی اسکن نماید. در خصوص مکان‌یابی دام، از آنجایی که این مورد کاربرد توسط فناوری مورد نیاز برای کاربرد اول (تشخیص زودهنگام علایم بیماری) فعال شده است، به جز برنامه تلفن همراه هیچگونه اجزای سیستمی اضافی مورد نیاز نمی‌باشد.

الزامات طراحی برای مکان‌یابی داخلی-خارجی و شناسایی گاوهای شیری

- گاودار بایستی قادر باشد تا یک دام را از طریق برنامه تلفن همراه اسکن و شناسایی نماید. این فرآیند به او اجازه خواهد داد تا تمام اطلاعات مرتبط با دام را دریافت و تاریخچه داده‌ها را مشاهده نماید.

تمام الزامات عملکردی سطح بالا در قالب نیازهای فنی از قبیل دفعات به‌روزرسانی مورد نیاز، دقت حسگر، فناوری‌های ارتباطاتی ممکن، سیستم‌های مختلف مکان‌یابی و شارژ فناوری‌ها معنا می‌شوند. بر اساس این الزامات فنی، روش‌های مختلفی برای طراحی یک سیستم PDMT مبتنی بر اینترنت اشیاء امکانپذیر شده است. به عنوان مثال، یک قطعه از سیستم که محدودیت‌های اضافی را ایجاد می‌کند، برچسب گوش[8] هوشمند می‌باشد. این برچسب دمای گوش را اندازه‌گیری کرده و اندازه‌گیری‌ها را با یک گردنبند هوشمند که در گردن هر گاو شیری نصب می‌شود مرتبط می‌کند. این محدودیت‌ها و الزامات عبارتند از وزن حداکثر برچسب گوش، قدرت مواد، مقاومت قارچ، ابعاد حداکثر و طراحی مناسب برای گاو. در کنار الزامات ناشی از موارد کاربرد و محدودیت‌های موجود برای طراحی تگ گوش، برخی از گزینه‌های استراتژیک باید در فرآیند طراحی در نظر گرفته شوند. این ملاحظات استراتژیک بر روی برخی از جنبه‌های طراحی فنی تأثیر می‌گذارند. برای مطالعه بیشتر در خصوص ملاحظات استراتژیک به پژوهش Vannieuwenborg و همکاران (۲۰۱۷) مراجعه گردد.

ملاحظات طراحی اقتصادی

علاوه بر ملاحظات طراحی استراتژیک، جنبه‌های اقتصادی نیز اثر مستقیم بر روی طراحی سیستم دارند. تمرکز صرفاً بر سرمایه‌گذاری اولیه (شکل‌دهی چشم‌انداز یک دامدار) خیلی کوتاه‌بینانه است. هزینه‌های عملیاتی[9] در طی عمر مورد انتظار سیستم باید زمانی که PDMT طراحی می‌شود در نظر گرفته شوند. این هزینه‌ها عبارتند از: اثرات طولانی مدت از قبیل هزینه‌های اشتراک برای ارائه دهندگان شبکه عمومی، هزینه تعمیر و نگهداری و نصب و غیره. بنابراین، ملاحظات اقتصادی زیر با هدف کاهش بیشتر مجموعه انتخابی فناوری قابل دسترس در نظر گرفته می‌شود:

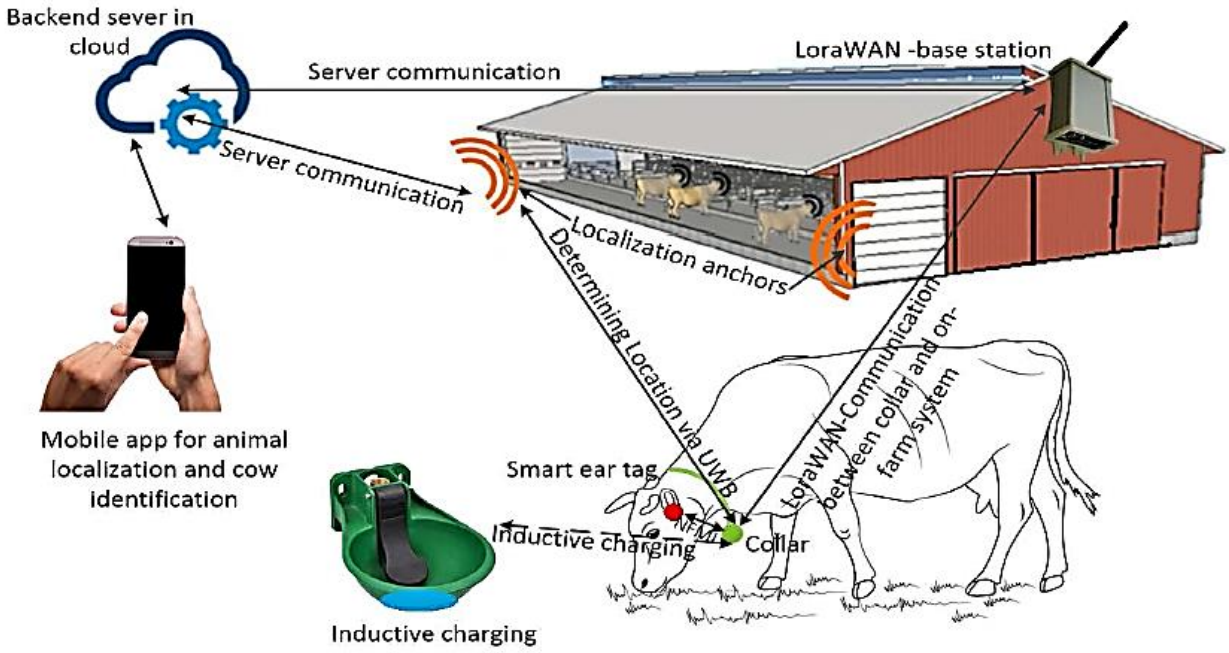
- ✓ طول عمر باتری برچسب گوش بایستی حداقل ۷ سال باشد. بدین ترتیب نیاز به تعویض برچسب گوش در طی طول عمر گاو شیری نمی‌باشد.

[8] Ear tag
[9] Operational expenditures

- ✓ تعویض باتری در طول عمر کامل آن برای گردنبند لازم نیست.
- ✓ نصب برچسب گوش و گردنبند و فعالیت‌های نگهداری بایستی به حداقل ممکن برسد یا اجتناب گردد.

بر اساس الزامات سطح بالای بدست آمده از موارد کاربرد و ملاحظات اقتصادی و استراتژیک، یک طرح اولیه برای سیستم PDMT کامل پیشنهاد شده است (شکل ۳).

راه‌اندازی فنی سیستم پایش دقیق دام



شکل ۳: نمایش شماتیک سیستم PDMT مانیکا

داده‌های حسگر از طریق سیستم‌های حسگر روی گاو (برچسب گوش هوشمند و گردنبند هوشمند) جمع‌آوری خواهد شد. نقاط شارژ نصب شده در گاوداری، لنگرهای مکان‌یابی و یک ایستگاه پایه شبکه نیز وجود خواهند داشت. یک سیستم پشتی مبتنی بر ابر مرکزی[10] داده‌های خام را از طریق الگوریتم‌های اختصاصی تفسیر و آنالیز خواهد کرد. داده‌ها نه تنها شامل داده‌های حسگری از قبیل موقعیت، حرکت، رفتار و دمای گوش می‌شوند، بلکه همچنین داده‌های بدست آمده از دفتر مشخصات گاو را نیز در بر می‌گیرند. زمانی که ناهنجاری‌ها یا روندهای هشداردهنده (مثلاً زمان زایمان، فحلی و یا علائم زودهنگام بیماری‌ها) با استفاده از این الگوریتم‌ها تشخیص داده می‌شوند، سیستم پشتی (سرور) به موقع به دامدار هشدار خواهد داد. همچنین یک داشبورد و پلت فرم مدیریتی برخط[11] داده‌ها و نتایج بدست آمده را نمایش می‌دهد. در نهایت هدف این است که یک سیستم حمایتی برای تصمیم‌گیری دامدار فراهم شود.

تعیین کمیت ارزش افزوده PDMT برای یک گاودار

همانطور که اشاره شد، سیستم‌های پایش دقیق گاو شیری مبتنی بر فناوری اینترنت اشیاء بر روی منابع اصلی و رایج زیان‌های اقتصادی اثر خواهند داشت. اثر PDMT با مقایسه هزینه‌های تمام موارد کاربرد در شیوه‌های فعلی بدون استفاده از PDMT (یعنی در همان وضعیت) با هزینه‌های مورد انتظار تمام موارد کاربرد

[10] Central cloud based backend system

[11] Online

زمانی که یک PDMT پیاده‌سازی می‌شود، تعیین کمیت می‌شود. تفاوت کلی در هزینه‌های بین دو حالت به عنوان اثر یا مزایای PDMT از دیدگاه یک گاودار تعریف می‌شود. همچنین برای هر مورد کاربرد یک مدل کمی برای تعیین ارزش افزوده مورد انتظار سیستم PDMT از دیدگاه گاودار ایجاد شده است. خلاصه‌ای از تمام هزینه‌های در نظر گرفته شده به ازای هر مورد کاربرد در جدول زیر آورده شده است.

مورد کاربرد	پارامترهای هزینه	
تشخیص علایم زودهنگام بیماری‌ها: ۱- ورم پستان، ۲- کتوز، ۳- لنگش و ٤- التهاب رحم	• زیان‌های تولید شیر • شیر حذف شده • هزینه دامپزشک و دارو	• دام‌های آسیب دیده و حذف شده • هزینه‌های کارگری • فاصله گوساله‌زایی طولانی
تشخیص فحلی	• ارزش تولید شیر • هزینه تلقیح‌ها • دام‌های حذف شده	• ارزش گوساله‌های تازه متولد شده • هزینه‌های کارگری
پیش‌بینی زمان گوساله‌زایی	• هزینه‌های کارگری	• هزینه‌های سخت‌زایی
مکان‌یابی دام و تنظیم داده‌های مدیریتی گاو	• هزینه‌های کارگری	

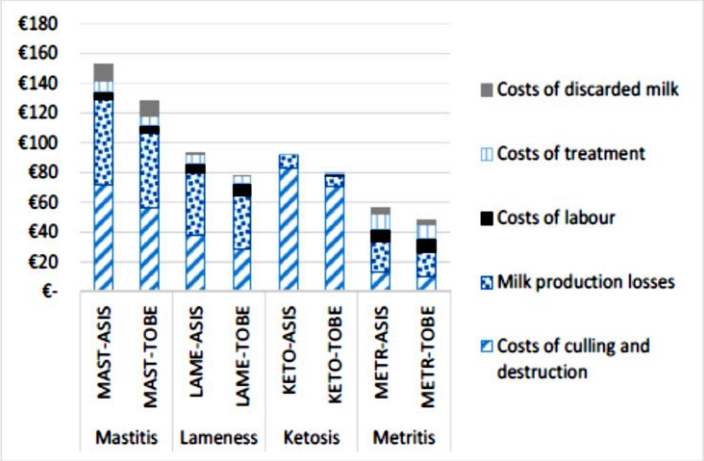
زمانی که هزینه‌های فرآیندهای فوق تعیین کمیت می‌شوند، اثر PDMT و اینکه چطور بر روی موارد کاربرد اثر می‌گذارند، می‌تواند مدل گردد. از آنجایی که داده‌های عملکردی برای هیچ سیستم واقعی هنوز قابل دسترس نیست، اثر PDMT از منابع علمی بدست آمده است و مدل شبیه‌سازی کامل از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاری با دامداران، کارشناسان دامداری، تیم‌های تحقیقاتی و گروه‌های کاربری در پروژه ICON مانیکا اعتبارسنجی شده است (imec, 2015). اگرچه مدل پارامتری را می‌توان به شکل اختصاصی برای هر دامداری به کار برد، اما نتایج نشان داده شده برای یک گاوداری شیری متوسط در بلژیک با ۷۷ گاو شیری می‌باشد که هر کدام تولید شیر سالانه ۸۸۳۸ کیلوگرم به ازای هر گاو شیری دارند (CRV،2016). هزینه‌ها به ازای هر مورد کاربرد همراه با هزینه‌های مورد انتظار از تلفیق PDMT مدل شده‌اند. اثر PDMT فرضی می‌باشد زیرا سیستم هنوز در مرحله توسعه می‌باشد و هیچ نتیجه نهایی برای آن وجود ندارد.

بازده اقتصادی استفاده از سیستم PDMT

۱- تشخیص زودهنگام علایم بیماری‌ها

از آنجایی که سیستم PDMT آنالیزهای بیوشیمیایی را شامل نمی‌شود، تمایز بین بیماری‌های مختلف مشکل خواهد بود، به استثناء لنگش که یک اختلال حرکتی به شمار می‌رود و قابل مشاهده است. از آنجایی که تب در دام یک شاخص برای تعدادی از بیماری‌ها می‌باشد، در این سیستم تب گاو پایش خواهد شد. بنابراین در این پروژه اثر مورد انتظار پیاده‌سازی یک سیستم PDMT بر روی بیماری‌های خیلی شایع گاوهای شیری کمی‌سازی شده است. این بیماری‌ها عبارتند از: ۱- ورم پستان، ۲- لنگش، ۳- کتوز و ۴- التهاب رحم. برای هر بیماری، هزینه‌ها به طور جداگانه مدل شده‌اند اما تمام آنها بر پارمترهای هزینه‌ای مشابه تکیه دارند: ۱- زیان‌های تولید شیر ۲- هزینه‌های معاینات دامپزشکی و دارو درمانی و همچنین دوره حذف شیر آنها ۳-

هزینه‌های حذف و آسیب دام‌ها و هزینه‌های کاری دامدار ۴- هزینه‌های تحمیل شده به علت فواصل گوساله‌زایی طولانی. اثر مورد انتظار کلی برای هر پارامتر هزینه‌ای به ازای هر بیماری در شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل ٤: هزینه‌های کلی سالانه برای هر بیماری (در هر دو حالت) در هر گروه بیماری

مؤلفه‌های اصلی در این بخش، هزینه کاهش تولید شیر و هزینه-های حذف دام‌ها می‌باشند. هزینه‌ها برای هر دام به صورت ۳۹۴ یورو برای ورم پستان، ۱۶۷ یورو برای لنگش، ۳۶۳ یورو برای کتوز و ۱۰۷ یورو برای التهاب عفونی رحمی می‌باشند. به جز هزینه هر مورد کتوز، بقیه آنها با برآوردهای Liang و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت می‌کند. اگرچه این نتایج متوسط هزینه‌های بالاتر را برای حذف و آسیب دام‌ها نشان می‌دهند، این رخداد احتمالاً به دلیل نرخ‌های حذف بالاتر استفاده شده در این پژوهش است. با توجه به تلفیق PDMT، یک کاهش ۱۵ درصدی در شیوع کلی بیماری فرض شده است. علاوه بر این، همچنین میزان آسیب و حذف دام به علت شدت کمتر بیماری‌ها به احتمال زیاد کاهش می‌یابد. در نتیجه هزینه سالانه کلی برای بیماری‌های رایج انتظار می‌رود تا به طور متوسط به رقم حدود ۳۳۹.۴۹ یورو به ازای هر گاو کاهش یابد. به عبارت دیگر، این نتایج نشان می‌دهند که به علت مدیریت بیماری یک کاهش بالقوه ۶۱.۷۴ یورویی به ازای هر گاو در هزینه‌های سالانه اتفاق می‌افتد.

افزایش میزان تشخیص فحلی و نرخ موفقیت تلقیح

تشخیص فحلی مستقیماً بر روی عملکرد اقتصادی گاوداری اثر می گذارد. عدم تشخیص فحلی به شکل مناسب منجر به گوساله‌های کمتر در هر سال و تولید شیر کمتر به علت کاهش تولید شیر دام‌ها پس از گوساله‌زایی می‌شود. انتظار می‌رود که سیستم PDMT مدت زمان کاری را کاهش دهد و سبب افزایش نرخ تشخیص فحلی تا ۸۰ درصد شود که ناشی از تلفیق سیستم PDMT می-باشد. این نتایج با گزارش منتشر شده توسط Rutten و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت می‌کند، شاید حتی تا حدی محافظه‌کارانه نیز باشد. یک مدل شبیه‌سازی تصادفی (Universiteit Utrecht, 2016) بر اساس کار Inchaisri (۲۰۱۱) استفاده شد تا اثر تشخیص بهتر فحلی را بر روی ۱- تولید شیر سالانه، ۲- مقدار و درآمد حاصل از گوساله‌های متولد شده، ۳- مجموع هزینه‌های تلقیح و ۴- هزینه دام حذف و یا کشته شده به علت باروری پایین و ۵- هزینه نیروی کارگری دامداری برای تلقیح‌ها و بازرسی بصری محاسبه کند. به طور کلی، در صورتی که گاودار دام‌هایی را که سیستم در مورد آنها برای تلقیح هشدار داده است، مورد بررسی قرار دهد (سناریو بررسی) به یک صرفه‌جویی سالانه برابر با ۱۲۵ یورو به ازای هر گاو منجر می‌شود. در شرایطی که تلقیح

برای هر هشدار که شامل مثبت‌های کاذب هم می‌شود انجام شود (سناریو دید بسته)، به یک صرفه‌جویی سالانه برابر با ۱۳۸ یورو به ازای هر گاو منجر خواهد شد. اگرچه تلقیح‌های کورکورانه منجر به هزینه‌های اضافی برای کارگر و نمونه‌های تلقیح می‌شوند، اما کاهش زمان برای بازرسی بصری مهمتر خواهد بود.

۳- پیش‌بینی دقیق‌تر زمان گوساله‌زایی

نظارت بر لحظه تولد، مشاهده و کمک‌های احتمالی در طی روند زایش می‌تواند شیوع و پیامدهای یک تولد دشوار را کاهش دهد. اما به منظور مشاهده، گاودار باید شاخصی برای لحظه زایمان داشته باشد. انتظار می‌رود سیستم PDMT در لحظه زایش به دامدار هشدار دهد. از این طریق شمار معاینات غیرضروری کاهش یافته و به موجب آن در نیروی کارگری صرفه‌جویی به عمل می‌آید. علاوه بر این، احتمال بروز عوارض جانبی هم کاهش خواهد یافت که همین امر باعث می‌شود که کل هزینه‌های خدمات دامپزشکی کاهش یابد و تولید شیر و نرخ تولیدمثل افزایش یابد. بر اساس اطلاعات ارائه شده در منابع، صرفه جویی سالیانه برابر با ۱۵ یورو به ازای هر گاو می تواند تحقق یابد. اگرچه هزینه‌های قابل توجه معاینات کاهش می‌یابد، اما اثر کلی PDMT بر روی سخت‌زایی کم می‌باشد.

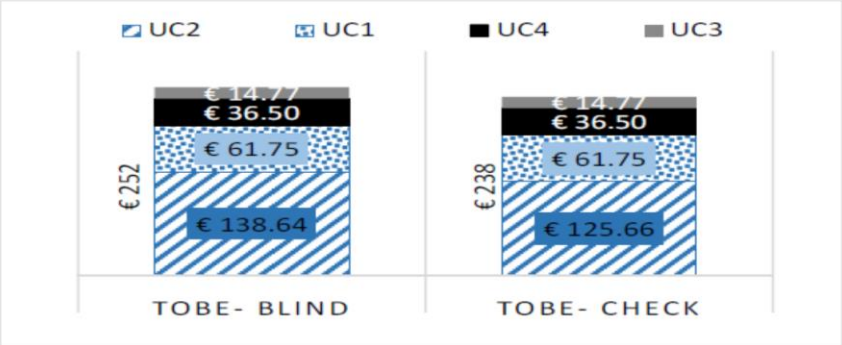
٤- شناسایی و مکان‌یابی دام

در این مورد کاربرد، سود بالقوه برای یک دامدار در حالتی که او بتواند از سیستم PDMT برای محل‌یابی دام‌ها در محیط دامداری استفاده کند، توسط مدل محاسبه می‌شود. علاوه بر این، با کمک این سیستم، شناسایی دام و تنظیم داده‌های گله و گاو از طریق یک برنامه به جای استفاده از تنظیمات بر روی یک کامپیوتر ثابت انجام می‌شوند. هزینه کلی سالانه کارگری برای مکان‌یابی و شناسایی در حال حاضر برابر با ۴۲ یورو به ازای هر گاو (۱۸ یورو به ازای هر گاو برای تنظیم داده‌های گله و ۲۴ یورو به ازای هر گاو برای مکان‌یابی دام) برآورد شده است. پس از تلفیق سیستم PDMT، این هزینه تا ۶ یورو به ازای هر گاو در هر سال کاهش می‌یابد، یعنی ۳۶ یورو به ازای هر گاو برای دامدار سودآوری خواهد داشت.

کل اثر مورد انتظار سیستم PDMT

زمانی که تمام مزایای محاسبه شده از چهار مورد کاربرد مختلف باهم ترکیب می‌شوند، اثر مورد انتظار از به‌کارگیری سیستم PDMT برابر با ۲۵۲ و ۲۳۸ یورو به ازای هر گاو به ترتیب در سناریوهای دید بسته[12] و بررسی[13] حاصل می‌شود.

[12] Blind
[13] Check



شکل ۵: سود سالانه برآورد شده به ازای هر گاو شیری حاصل شده از پیاده‌سازی سیستم PDMT مانیکا[14] در سناریوهای دید بسته و بررسی

برای یک گاوداری شیری متوسط در بلژیک با ۷۷ رأس گاو شیری، انتظار می‌رود که ارزش افزوده سالانه کلی سیستم PDMT حدود ۱۸ تا ۱۹.۵ هزار یورو در سال باشد. روشن است که یک سیستم PDMT مبتنی بر اینترنت اشیاء می‌تواند برای عملکرد اقتصادی گاوداری‌ها سودمند باشد. در این پروژه، محققان نتیجه گرفتند که به کارگیری یک فناوری پایش دقیق دام بر اساس فناوری اینترنت اشیاء همانند سیستم مانیکا می‌تواند به طور بالقوه منجر به کاهش هزینه‌های سالانه در حدود ۲۵۰ یورو به ازای هر رأس گاو شیری شود. دلایل اصلی این کاهش هزینه شامل برخی عوامل از قبیل افزایش تولید شیر، کاهش مقدار شیر حذفی، کاهش هزینه خدمات دامپزشکی، کاهش هزینه جایگزینی دام و کاهش زمان کار می‌باشند.

توصیه ترویجی

به طور کلی نتایج تحلیلی نشان می‌دهد که پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء در گاوداری‌های شیری می‌تواند سبب کاهش هزینه‌ها و افزایش بازده اقتصادی گردد. در این راستا پیشنهاد می‌گردد که این فناوری به شکل پایلوت در چندین گاوداری پیاده‌سازی گردد و نتایج آن بر اساس شرایط موجود در کشور تحلیل و ترویج شود.

منابع

Atzori, L., Iera, A. and Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. Computer Networks, 54: 2787-2805.

Barriuso, A. L., Gonzalez, G. V. De Paz, J. F. Lozano, A. and Bajo, J. (2018). Combination of multi-agent systems and wireless sensor networks for the monitoring of cattle. Sensors, 18: 108.

Bernabucci, U., Lacetera, N. Baumgard, L. H. Rhoads, R. P. Ronchi, B. and Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. Animal, 4:1167-1183.

CRV, "Vlaamse koeien produceren meer, bedrijven gegroeid." [Online]. Available: https://www.crv4all.be/persbericht/vlaamse-koeienproduceren-meer-bedrijven-gegroeid/. [Accessed: 01-May-2016].

De Maturana, E. L., Legarra, A. Varona, L. and Ugarte, E. (2007). Analysis of fertility and dystocia in Holsteins using recursive models to handle censored and categorical data. Journal of Dairy Science, 90: 2012-2024.

[14] Monicow PDMT-system

European Parliament. (2017a).Report on Technological Solutions for Sustainable Agriculture in the EU—A8-0174/2016. Available online: http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A8--2016--0174+0+DOC+XML+V0//EN&language=en (accessed on 28 June 2017).

European Parliament. (2017b). Report on Enhancing Innovation and Economic Development in Future European Farm Management-A8-0163/2016. Available online: http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do? pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A8--2016--0163+0+DOC+XML+V0//EN&language=en (accessed on 28 June 2017).

Fricke, P. M., Giordano, J. O. Valenza, A. Lopes, G. Jr. Amundson, M. C. and Carvalho, P. D. (2014). Reproductive performance of lactating dairy cows managed for first service using timed artificial insemination with or without detection of estrus using an activity monitoring system. Journal of Dairy Science, 97: 2771-2781.

Gubbi, J., Buyya, R. Marusic, S. and Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, 29: 1645-1660.

Haladjian, J. Brugge, B. and Nuske, S. (2017b). An approach for early lameness detection in dairy cattle. In Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers, Maui, HI, USA, pp. 53-56.

Haladjian, J., Haug, J. Nuske, S. and Bruegge, B. (2018). A wearable sensor system for lameness detection in dairy cattle. Multimodal Technologies and Interaction, 2: 27.

Haladjian, J. Hodaie, Z. Nuske, S. and Brugge, B. (2017a). Gait Anomaly Detection in Dairy Cattle. In Proceedings of the Fourth International Conference on Animal-Computer Interaction; ACM: New York, NY, USA, pp. 8: 1-8.

Hansen, P. J. (2007). Exploitation of genetic and physiological determinants of embryonic resistance to elevated temperature to improve embryonic survival in dairy cattle during heat stress. Theriogenology, 68:S242-S249.

Helwatkar, A., Riordan, D. and Walsh, J. (2014). 'Sensor technology for animal health monitoring'. Int. Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems Proc. 8th Int. Conf. Sensing Technology, Liverpool, UK, vol. 7, pp. 266-271.

imec. (2015). "MoniCow - Dieren efficiënter monitoren dankzij geavanceerd datasysteem,". [Online]. Available: https://www.iminds.be/nl/projecten/MoniCow

Inchaisri, C. (2011). Bio-economic modeling to support insemination decisions in dairy cows. Proceedings of The National Academy of Sciences - PNAS.

Law, R. A., Young, F. J. Patterson, D. C. Kilpatrick, D. J. Wylie, A. R. G. and Mayne, C.S. (2009). Effect of dietary protein content on estrous behavior of dairy cows during early and mid lactation. Journal of Dairy Science, 92:1013-1022.

Liang, D., Arnold, L. M. Stowe, C. J. Harmon, R. J. and Bewley, J. M. (2017). Estimating US dairy clinical disease costs with a stochastic simulation model. Journal of Dairy Science, 100: 1472-1486.

Mazrier, H., Tal, S. Aizinbud, E. and Bargai, U. (2006). A field investigation of the use of the pedometer for the early detection of lameness in cattle. Canadian Veterinary Journal, 47: 883-886.

McGuirk, B. J., Forsyth, R. and Dobson, H. (2007). Economic cost of difficult calvings in the United Kingdom dairy herd. Veterinary Record, 161: 685-687.

Memon, M. H., Kumar, W. Rafique, A. Chowdhry, B. S. Aamir, M. and Kumar, P. (2016). Internet of Things (IoT) enabled smart animal farm. In Proceedings of the 2016 3rd IEEE International Conference on Computing for Sustainable Global Development, New Delhi, India, pp. 2067-2072.

Michaelis, I., Hasenpusch, E. and Heuwieser, W. (2013). Estrus detection in dairy cattle; changes after the introduction of an automated activity monitoring system?. Tierarztl. Prax. Ausg. G Grosstiere Nutztiere, 41:159-165.

Nielsen, L. R. Pedersen, A. R. Herskin, M. S. and Munksgaard, L. (2010). Quantifying walking and standing behavior of dairy cows using a moving average based on output from an accelerometer. Applied Animal Behaviour Science, 127: 12-19.

Nkwari, P. K. M., Rimer, S. and Paul, B. S. (2014). Cattle monitoring system using wireless sensor network in order to prevent cattle rustling," in IST-Africa Conference Proceedings, pp.1-10.

Palombi, C., Paolucci, M. Stradaioli, G. Corubolo, M. Pascolo, P. B. and Monaci M. (2013). Evaluation of remote monitoring of parturition in dairy cattle as a new tool for calving management. BMC Veterinary Research, 9: 191.

Paudyal, S., Maunsell, F. P. Richeson, J. T. Risco, C. A. Donovan, D. A. and Pinedo PJ. (2018). Rumination time and monitoring of health disorders during early lactation. Animal, 12: 1484-1492.

Rutten, C. J., Kamphuis, C. Hogeveen, H. Huijps, K. Niele n, M. and Steeneveld, W. (2017).

Sensor data on cow activity, rumination, and ear temperature improve prediction of the start of calving in dairy cows. Computers and Electronics in Agriculture, 132: 108-118.

Rutten, C. J., Velthuis, A. G. J. Steeneveld, W. and Hogeveen, H. (2013). I nvited review: sensors to support health management on dairy farms. Journal of Dairy Science, 96: 1928-1952.

Schirmann, K., von Keyserlingk, M. A. Weary, D. M. Veira, D. M and. Heuwieser, W. (2009).

Technical note: validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. Journal of Dairy Science, 92: 6052-6055.

Smart Farming Receives the Backing of the European Parliament. Available online: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/smart-farming-receives-backing-european-parliament (accessed on 28 June 2017).

Sumon Shahriar, M. d., Smith, D. Rahman, A. Henry, D. Bishop-Hurley, G. Rawnsley, R. Freeman, M. and Hills, J. (2015). Heat event detection in dairy cows with collar sensors: An unsupervised machine learning approach, presented at the IEEE SENSORS, pp. 1-4.

Universiteit Utrecht: Veterinaire Service en Samenwerking,“Economische schade TKT,” 2016. [Online]. Available: https://www.uu.nl/organisatie/veterinaire-service-ensamenwerking/veterinaire-economie/economische-schade-tkt. [Accessed: 10-May-2016].

Vannieuwenborg, F., Verbrugge, S. and Colle, D. (2017). Designing and evaluating a smart cow monitoring system from a techno-economic perspective," 2017 Internet of Things Business Models, Users, and Networks, Copenhagen, pp. 1-8.

Van Nuffel, A., Zwertvaegher, I. Van Weyenberg, S. Pastell, M. Thorup, V. M. Bahr, C. Sonck, B. and Saeys, W. (2015). Lameness detection in dairy cows: Part 2. Use of sensors to automatically register changes in locomotion or behavior. Animals, 5: 861-885.

Walker, W. L. Nebel, R. L. and McGilliard, M. L. (1996). Time of ovulation relative to mounting activity in dairy cattle. Journal of Dairy Science, 79:1555-1561.