



اتوماسیون در دامپروری: نوآوری‌ها در تغذیه و رفاه گوساله

سامان چالاکي^{۱*}، طوبی ندري^{۲*}، مجید دهقان^۳، منصوره قربانعلی نیا^۴، ساسان چالاکي^۵، نادر خان^۶

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی دام و طیور دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،

SamanChalaki@gmail.com

۲-^{*} استادیار گروه علوم دامی دانشگاه ارومیه، t.nadri@urmia.ac.ir

۳- دانشجوی دکترای فیزیولوژی دام و طیور دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، Mdmajidd@gmail.com

۴- دانشجوی دکترای فیزیولوژی دام و طیور دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، mansoureh.gh.68@gmail.com

۵- دانشجوی تغذیه طیور گروه علوم دامی دانشگاه ارومیه، sasanchalaki@gmail.com

۶- مدیر اداره توسعه دام و لبنیات (بخش پژوهش)، خیبر پختونخوا پاکستان، Nadar73vet@aup.edu.pk

خلاصه

تغذیه و رفاه گوساله‌ها از مراحل حیاتی پرورش گاوهای شیری محسوب می‌شود و تأثیر مستقیم بر سلامت، رشد و بهره‌وری آن‌ها دارد. دوره انتقال از تغذیه مایع به تغذیه جامد، یکی از حساس‌ترین مراحل زندگی گوساله‌ها بوده و نیازمند مدیریت دقیق تغذیه‌ای است. استفاده از فناوری‌های پیشرفته، نظیر حسگرها و سیستم‌های تغذیه خودکار، راهکارهای نوآورانه‌ای برای بهبود مدیریت تغذیه و رفاه گوساله‌ها فراهم کرده است. حسگرها با پایش رفتار و سلامت حیوانات، امکان شناسایی زود هنگام بیماری‌ها، تنظیم بهینه جیره غذایی و بهبود شرایط محیطی را فراهم می‌آورند. از سوی دیگر، سیستم‌های تغذیه خودکار با بهره‌گیری از شناسایی با فرکانس رادیویی و برنامه‌های تغذیه فردی، ضمن کاهش هدررفت خوراک و افزایش بهره‌وری نیروی کار، استرس ناشی از رقابت میان گوساله‌ها را کاهش داده و محیطی آرام‌تر و سالم‌تر ایجاد می‌کنند. این مقاله ضمن بررسی پیشرفت‌های اخیر در این حوزه، چالش‌های پیاده‌سازی این فناوری‌ها، از جمله هزینه‌های اولیه و نیاز به مدیریت تخصصی، را تحلیل کرده و به تأثیرات مثبت آن‌ها بر توسعه پایدار صنعت دامپروری پرداخته است. این دستاوردها، بستری مناسب برای افزایش بهره‌وری و رفاه حیوانات در دامداری‌های مدرن ایجاد می‌کنند.

کلمات کلیدی: فناوری‌های هوشمند، سیستم‌های تغذیه خودکار، رفاه حیوانات، مدیریت تغذیه مبتنی بر داده، نوآوری در دامداری مدرن



۱. مقدمه

تغذیه و رفاه گوساله‌ها از مؤلفه‌های اساسی در پرورش گاوهای شیری محسوب می‌شود و نقش کلیدی در تضمین سلامت، رشد و بهره‌وری این حیوانات دارد [1]. دوران ابتدایی زندگی گوساله‌ها، به‌ویژه دوره انتقال از تغذیه مایع به تغذیه جامد، مرحله‌ای حساس و تعیین‌کننده در رشد و توسعه آن‌هاست [2]. تغذیه ناکافی یا نادرست در این مراحل می‌تواند اثرات منفی بلندمدتی بر سلامت و عملکرد تولیدی گوساله‌ها به جا بگذارد [3]. برای مقابله با چالش‌های این دوران، استفاده از روش‌های علمی و ابزارهای نوین در تغذیه و مدیریت رفاه گوساله‌ها ضروری است. در این راستا، فناوری‌های نوین از جمله سیستم‌های اتوماسیون، به‌عنوان راه‌حل‌های پیشرفته و نوآورانه، به سرعت در صنعت دامپروری در حال گسترش هستند [4]. این فناوری‌ها شامل حسگرها و ابزارهای ردیابی، به دامداران امکان پایش دقیق رفتار، سلامت و شرایط محیطی گوساله‌ها را می‌دهند. این حسگرها، اطلاعاتی همچون الگوهای خواب، فعالیت بدنی، نشخوار و تغییرات متابولیکی را در لحظه ثبت کرده و تحلیل می‌کنند. این داده‌ها نه تنها برای تشخیص زودهنگام بیماری‌ها و مشکلات سلامتی مفیدند، بلکه به بهینه‌سازی جیره غذایی و تنظیم شرایط محیطی نیز کمک می‌کنند [5]. در کنار این فناوری‌ها، سیستم‌های اتوماسیون تغذیه نیز تحولی بزرگ در نحوه ارائه خوراک به گوساله‌ها ایجاد کرده‌اند. این سیستم‌ها با استفاده از تکنیک‌های شناسایی فردی مانند شناسایی با فرکانس رادیویی، امکان برنامه‌ریزی دقیق تغذیه‌ای را برای هر گوساله فراهم می‌کنند. سیستم‌های مذکور، خوراک مایع یا جامد را بر اساس سن، وزن و نیازهای تغذیه‌ای هر حیوان تنظیم کرده و به کاهش هدررفت خوراک و بهبود رشد کمک می‌کنند [6]. همچنین، این فناوری‌ها با کاهش نیاز به مداخله انسانی، بهره‌وری نیروی کار را افزایش داده و خطر انتقال بیماری‌ها را کاهش می‌دهند. مزایای این نوآوری‌ها تنها به بهبود تغذیه و رفاه محدود نمی‌شود. استفاده از فناوری‌های پیشرفته می‌تواند استرس ناشی از رقابت بر سر خوراک و آب را کاهش داده و محیطی آرام‌تر و سالم‌تر برای گوساله‌ها ایجاد کند. علاوه بر این، با نظارت دقیق و مداوم بر رفتارهای تغذیه‌ای، امکان شناسایی سریع‌تر ناهنجاری‌ها فراهم شده و نرخ بروز بیماری‌ها و مرگ‌ومیر کاهش می‌یابد [7].

در این مقاله، آخرین پیشرفت‌ها در زمینه فناوری‌های نوین و سیستم‌های اتوماسیون تغذیه مورد بررسی قرار می‌گیرد. ضمن مرور پژوهش‌های موجود، به تحلیل چالش‌های مرتبط با پیاده‌سازی این فناوری‌ها، از جمله هزینه‌های اولیه، نیاز به مدیریت تخصصی و محدودیت‌های فنی پرداخته خواهد شد. هدف این مطالعه ارائه چشم‌اندازی جامع از تأثیرات مثبت این نوآوری‌ها بر صنعت دامپروری و رفاه حیوانات، در کنار شناسایی فرصت‌ها و تهدیدهای پیش رو است. توجه به این مسائل، زمینه‌ساز توسعه پایدار و افزایش بهره‌وری در دامداری‌های مدرن خواهد بود.

۲. تغذیه و رشد گوساله‌ها

برای رشد و توسعه مطلوب، گوساله‌ها به تغذیه‌ای نیاز دارند که نیازهای غذایی آن‌ها را برآورده کند. انتقال از دوره تغذیه مایع در گوساله‌های پیش‌نشخوارکننده به دوره‌ای که نشخوارکننده‌های فعال می‌شوند، مستلزم جیره‌ای است که توسعه و رشد دستگاه گوارش و عملکردهای آن را تسهیل کند [8]. پرورش گوساله از تولد تا زمان از شیرگیری حدود ۴۰ درصد هزینه‌ها را شامل می‌شود که عمدتاً مربوط به تغذیه با شیر است، زیرا این مرحله بسیار پرهزینه است [9]. برای دستیابی به رشد و توسعه مطلوب، گوساله‌های نژاد هلشتاین نیازمند نرخ رشد روزانه ۷۵۰ گرم هستند [10]. میزان تقریبی پروتئین به انرژی مورد نیاز برای گوساله‌های قبل از از شیر گرفتن، ۱۱/۵ گرم پروتئین خام به ازای هر مگاژول است [11]. برای حفظ سطح انرژی قابل متابولیسم مناسب برای گوساله‌ای با وزن ۴۵ کیلوگرم، روزانه ۳۲۵ گرم شیر کامل یا ۳۸۰ گرم



جایگزین شیر نیاز است. این نسبت‌های مصرف انرژی و پروتئین لازم برای رشد و توسعه بیشتر را فراهم می‌کند [8]. تغذیه متعارف روزانه ۱۰ درصد وزن بدن گوساله را با شیر تأمین کرده و به‌طور همزمان خوراک جامد برای توسعه شکمبه ارائه می‌دهد. تحقیقات نشان داده‌اند که این روش سنتی انرژی و رشد کمتری به گوساله‌ها ارائه می‌دهد، به‌ویژه زمانی که دما کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد باشد [12]. علاوه بر این، در صورت کمبود انرژی، سیستم ایمنی گوساله‌ها ضعیف شده و آن‌ها بیشتر در معرض خطر بیماری‌ها قرار می‌گیرند [13].

۳. سیستم‌های خودکار تغذیه

در دامداری، به دلیل مزایای مختلف، سیستم‌های خودکار تغذیه به‌تدریج محبوبیت بیشتری پیدا کرده‌اند. این سیستم‌ها برنامه‌های تغذیه‌ای فردی ارائه می‌دهند که در آن گوساله‌ها به‌آسانی شیر یا جایگزین شیر را مصرف کرده و رشد بیشتری داشته و حساسیت کمتری به بیماری نشان می‌دهند. ویژگی‌های مهم این سیستم شامل شناسایی فردی از طریق ردیابی با فرکانس رادیویی، برنامه‌ریزی دقیق تغذیه و جمع‌آوری داده‌های فردی درباره سلامت و رفتار گوساله است. با این حال، استفاده مؤثر از این سیستم نیازمند مدیریت دقیق برای حفظ بهداشت و تغذیه گوساله است. سرمایه‌گذاری اولیه و نظارت مداوم چالش‌هایی در شناسایی مشکلات سلامتی ایجاد می‌کند. با این حال، در صورت مدیریت صحیح، سیستم تغذیه خودکار به‌طور قابل‌توجهی رشد گوساله‌ها و بهره‌وری نیروی کار را افزایش می‌دهد [14]. در آلمان در دهه ۱۹۸۰، خوراک‌دهنده‌های خودکار اختراع شدند و اکنون توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند. این دستگاه‌ها به‌صورت خودکار شیر و خوراک را به گوساله‌ها ارائه داده و ضایعات را در مصرف کاهش می‌دهند. این سیستم مزایای چشمگیری از جمله برنامه‌ریزی منظم تغذیه، کاهش هزینه خوراک و تسهیل در از شیر گرفتن زود هنگام گوساله‌ها ارائه می‌دهد. علاوه بر این، مزایای سیستم‌های خودکار بسیار بیشتر از محدودیت‌های آن‌هاست. با اجرای این فناوری، دامداران تغذیه را بهبود داده و رشد گوساله‌ها را ارتقا می‌دهند [15]. بر اساس سن گوساله و مدیریت، سیستم تغذیه خودکار شیر، شیر بازساخته یا ترکیبی از جایگزین شیر و شیر کامل را طبق تقاضا و نیازهای فردی فراهم می‌کند. این سیستم از روش شناسایی فرکانس رادیویی (RFID) برای ارائه تغذیه به‌صورت فردی در سیستم‌های نگهداری گروهی استفاده می‌کند. گوساله‌ها از طریق تگ‌های RFID گوش یا گردن‌بند شناسایی می‌شوند. هنگامی که گوساله تگ‌شده وارد جایگاه تغذیه می‌شود، واحد پردازش تگ را شناسایی کرده، خوراک را آماده می‌کند و افزودن مایعات برای مخلوط کردن و گرم کردن را نظارت می‌کند تا خوراک را به گوساله منتظر ارائه دهد. این سیستم نیروی کار را از وظایف دشواری مانند مخلوط کردن دستی، توزیع خوراک فردی و شستشوی تجهیزات بی‌نیاز می‌کند. این سیستم در مقایسه با گوساله‌های نگهداری شده به‌صورت فردی، به‌طور قابل‌توجهی سودمندتر و زمان‌برتر است زیرا نیروی کار را از جایگاه‌ها دور کرده و احتمال بیماری‌ها را کاهش می‌دهد [16]. در این سیستم، گوساله‌ها از طریق تگ فرکانس رادیویی در گوششان شناسایی می‌شوند که توسط یک دستگاه پردازشی کنترل می‌شود [17]. دستگاه پردازش، مقدار و نوع خوراک را بسته به سن و نیاز فردی تعیین می‌کند. خوراک به توزیع‌کننده‌های خودکار منتقل شده و توسط دستگاه‌ها برای دستیابی به رشد بهینه و استراتژی‌های تغذیه پردازش می‌شود. دستگاه‌های آشکارساز مصرف خوراک و رفتار فردی گوساله را ردیابی می‌کنند [18]. مطالعات نشان داده‌اند که سیستم تغذیه انفرادی نظارت بر سلامت را بهبود می‌بخشد، ضایعات خوراک را به حداقل می‌رساند و بهره‌وری را افزایش می‌دهد [19]. در سیستم تغذیه خودکار گروهی، گوساله‌ها بر اساس سن، اندازه و نیازهای تغذیه‌ای تقسیم‌بندی می‌شوند. پردازنده‌های خودکار مقدار خوراک را متناسب با نیاز هر حیوان تعیین کرده و حسگرها رفتار و مصرف گوساله‌ها را ردیابی می‌کنند [20]. این سیستم باعث بهبود تعاملات اجتماعی و هماهنگی میان گوساله‌ها می‌شود [21].



۴. مزایای استفاده هوش های مصنوعی

این سیستم ها تغییرات مفید متعددی را برای کاهش استرس گوساله ها ایجاد کرده است. یکی از مزایای اصلی تغذیه انفرادی، جداسازی در تغذیه است که رقابت برای خوراک و آب را از بین برده و باعث آرامش گوساله ها و کاهش رفتارهای پرخاشگرانه می شود [22]. تحقیقات نشان داده اند که سیستم های خودکار برنامه های تغذیه ای منظم تری ارائه می دهند که محیط آرام تری برای گوساله ها ایجاد کرده و استرس ناشی از تغذیه گروهی را کاهش می دهند. در چنین محیطی، گوساله ها به راحتی خوراک خود را مصرف کرده و زمان تغذیه را یاد می گیرند [23]. این سیستم ها، با ارائه جایگاه های تغذیه ای راحت و بدون ازدحام، استرس و اضطراب گوساله ها را کاهش داده و از تعامل بیش از حد انسانی جلوگیری می کنند. علاوه بر این، سیستم تغذیه خودکار گوساله ها را به طور دوستانه و بدون فشار وارد جایگاه های تغذیه کرده و رقابت را کاهش می دهد [24]. تحقیقات نشان داده اند که سیستم های تغذیه خودکار با تضمین برنامه های تغذیه فردی و نظارت دقیق بر مصرف خوراک، رشد و توسعه گوساله ها را افزایش داده و احتمال مرگ و میر را کاهش می دهند. در این سیستم ها، نرخ مرگ و میر سالانه ۳/۸۵ درصد است و احتمال بروز اسهال نیز کاهش می یابد. با این حال، به دلیل تغییرات شرایط نگهداری، احتمال بیماری های تنفسی بیشتر است [25]. برای دستیابی به نتایج مطلوب، مدیریت صحیح و ایجاد محیطی بهداشتی در این سیستم ها ضروری است [26]. سیستم های تغذیه خودکار گروهی توجه فردی را کاهش داده و شناسایی بیماری ها را به تدریج دشوارتر می کنند، با این حال این سیستم ها مزایای متعددی دارند، از جمله نظارت بر رفتار تغذیه ای، ثبت میزان مصرف خوراک، پایش سرعت نوشیدن آب و ثبت بازدهی های گوساله از جایگاه تغذیه [27]. تحقیقات نشان داده اند که رفتار گوساله های بیمار در سیستم تغذیه خودکار با کاهش بازدهی ها و مدت زمان تغذیه دو روز پیش از بروز بیماری آشکار می شود. گوساله هایی که با مقادیر کم جایگزین شیر تغذیه می شوند، علیرغم بیماری، همچنان احساس گرسنگی دارند. این رفتارها به راحتی از طریق سیستم های تغذیه خودکار قابل شناسایی هستند [28].



۵. فناوری‌های نوین در پرورش گوساله

برای بهبود بهره‌وری در تولید لبنیات، نیاز به پیشرفت در جهت دامپروری دقیق وجود دارد. این سیستم‌ها نظارت و ردیابی مداوم رفتار و سلامت گوساله‌ها را فراهم می‌کنند [29]. بررسی مستقیم یا مشاهده از طریق ویدئو وقت‌گیر بوده و ممکن است شامل خطا باشد، به‌ویژه در مقیاس‌های بزرگ. برای رفع این چالش‌ها، سیستم‌های بی‌سیم و حسگرها معرفی شده‌اند که اطلاعات دقیقی از وضعیت سلامت حیوان ارائه می‌دهند. طی چهار دهه گذشته، این فناوری‌ها هزینه نیروی کار را کاهش داده و رفاه حیوانات را بهبود داده‌اند [30]. این سیستم شامل حسگرهای مختلف میکروفون، دماسنج، الکترودهای pH و شتاب‌سنج سه‌محوره، باتری و فرستنده داده است. این حسگرها اطلاعات دما، فشار و شتاب را در بازه‌های زمانی مشخص جمع‌آوری کرده و داده‌ها را برای نظارت بر سلامت و رفتار حیوان پردازش می‌کنند [31]. همچنین در شتاب‌سنج سه‌محوره (Tri-axial Accelerometer) سرعت دینامیکی و زاویه حرکت را محاسبه می‌کند. داده‌های جمع‌آوری شده برای تخمین سرعت، حرکت و وضعیت خواب عمودی یا افقی استفاده می‌شوند. شتاب‌سنج‌ها وزن و اندازه کمی دارند و داده‌ها را با دقت بالا ردیابی و ضبط می‌کنند. این حسگرها معمولاً به‌صورت گردن‌بند، تگ گوش یا حسگر خواب در گوساله‌ها استفاده می‌شوند [32]. طی ده سال گذشته، ۲۴ مطالعه از شتاب‌سنج‌ها برای شناسایی رفتارهای مختلف گوساله‌ها حمایت کرده‌اند. پدومترها معمولاً برای نظارت بر زمان خواب گوساله‌ها استفاده می‌شوند که به‌عنوان یکی از معتبرترین شاخص‌های رفتاری شناخته شده است [33]. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که داده‌های شتاب‌سنج با مشاهدات بصری تطابق دارند و رفتارهایی همچون خوابیدن، شمارش قدم‌ها و زمان استراحت به‌طور دقیق ثبت می‌شوند [34]. تگ‌های گوش و حسگرها هستند که برای نظارت بر رفتار و فعالیت حیوانات به کار می‌روند. تگ گوش معمولاً در وسط گوش قرار گرفته و دما و فعالیت روزانه گوساله‌ها را پایش می‌کند. حسگرهایی که روی سر گوساله قرار می‌گیرند، رفتار نشخوار را از طریق شتاب‌سنج‌ها شناسایی می‌کنند [35].

۶. نتیجه‌گیری

به طور کلی، فناوری‌های نوینی مانند حسگرها و سیستم‌های تغذیه خودکار، با ارائه روش‌های علمی و داده‌محور، امکان مدیریت دقیق‌تر و مؤثرتر تغذیه و رفاه گوساله‌ها را فراهم کرده‌اند. این فناوری‌ها نه تنها به بهبود سلامت، کاهش بیماری‌ها و افزایش رشد گوساله‌ها کمک می‌کنند، بلکه با بهینه‌سازی مصرف خوراک، کاهش استرس محیطی و افزایش بهره‌وری نیروی کار، زمینه‌ساز توسعه پایدار صنعت دامپروری هستند. با وجود چالش‌هایی همچون هزینه‌های اولیه و نیاز به تخصص مدیریتی، مزایای این نوآوری‌ها در ارتقای بهره‌وری اقتصادی و بهبود رفاه حیوانات، ضرورت استفاده از آن‌ها را در دامداری‌های مدرن آشکار می‌سازد.

۷. مراجع

1. Sumner, C.L. and Von Keyserlingk, M.A.G., 2018. Canadian dairy cattle veterinarian perspectives on calf welfare. *Journal of dairy science*, 101(11), pp.10303-10316.
2. Eckert, E., Brown, H.E., Leslie, K.E., DeVries, T.J. and Steele, M.A., 2015. Weaning age affects growth, feed intake, gastrointestinal development, and



- behavior in Holstein calves fed an elevated plane of nutrition during the preweaning stage. *Journal of dairy science*, 98(9), pp.6315-6326.
3. Bollwein, H., Janett, F. and Kaske, M., 2016. Impact of nutritional programming on the growth, health, and sexual development of bull calves. *Domestic animal endocrinology*, 56, pp.S180-S190.
 4. Džermeikaitė, K., Bačėninaitė, D. and Antanaitis, R., 2023. Innovations in cattle farming: application of innovative technologies and sensors in the diagnosis of diseases. *Animals*, 13(5), p.780.
 5. Neethirajan, S. and Kemp, B., 2021. Digital phenotyping in livestock farming. *Animals*, 11(7), p.2009.
 6. Medrano-Galarza, C., LeBlanc, S.J., DeVries, T.J., Jones-Bitton, A., Rushen, J., de Passillé, A.M. and Haley, D.B., 2017. A survey of dairy calf management practices among farms using manual and automated milk feeding systems in Canada. *Journal of dairy science*, 100(8), pp.6872-6884.
 7. Silvi, R., Pereira, L.G.R., Paiva, C.A.V., Tomich, T.R., Teixeira, V.A., Sacramento, J.P., Ferreira, R.E., Coelho, S.G., Machado, F.S., Campos, M.M. and Dórea, J.R.R., 2021. Adoption of precision technologies by Brazilian dairy farms: The farmer's perception. *Animals*, 11(12), p.3488.
 8. Drackley, J.K., 2008, June. Opportunities for glycerol use in dairy diets. In *Proceedings of the 4th State Dairy Nutrition and Management Conference, Dubuque. SDN, Dubuque* (pp. 113-118).
 9. Boulton, A.C., Rushton, J. and Wathes, D.C., 2015. A study of dairy heifer rearing practices from birth to weaning and their associated costs on UK dairy farms. *Open Journal of Animal Sciences*, 5(2), pp.185-197.
 10. Wathes, D.C., Pollott, G.E., Johnson, K.F., Richardson, H. and Cooke, J.S., 2014. Heifer fertility and carry over consequences for life time production in dairy and beef cattle. *Animal*, 8(s1), pp.91-104.
 11. Hill, T.M., Bateman II, H.G., Quigley III, J.D., Aldrich, J.M., Schlotterbeck, R.L. and Heinrichs, A.J., 2013. New information on the protein requirements and diet formulation for dairy calves and heifers since the Dairy NRC 2001. *The Professional Animal Scientist*, 29(3), pp.199-207.
 12. Ballou, M.A., 2013. Enhancing calf immunity through nutrition. In *Florida Ruminant Nutrition Symposium* (pp. 50-63).
 13. Raboisson, D., Trillat, P. and Cahuzac, C., 2016. Failure of passive immune transfer in calves: A meta-analysis on the consequences and assessment of the economic impact. *PloS one*, 11(3), p.e0150452.
 14. Jorgensen, M.W., 2016. *Dairy calf health and welfare in automated feeding systems in the upper Midwest USA* (Doctoral dissertation, University of Minnesota).
 15. Lopes, M., Silva, G. and Simões Filho, L.M., 2019. Alimentador automático de bezerras: Revisão. *Pubvet*, 13(02).
 16. Kack, M., Ziemerink, J. and Forster-Technik, G.N., 2010. Benefits, function and operation of computer-controlled calf feeders. In *First North American Conference on Precision Dairy Management*.
 17. John, A.J., 2018. *Feed management to optimise robot utilisation in automatic milking systems* (Doctoral dissertation).



18. Sinnott, A.M., Kennedy, E. and Bokkers, E.A., 2021. The effects of manual and automated milk feeding methods on group-housed calf health, behaviour, growth and labour. *Livestock Science*, 244, p.104343.
19. Jorgensen, M.W., Janni, K., Adams-Progar, A., Chester-Jones, H., Salfer, J.A. and Endres, M.I., 2017. Housing and management characteristics of calf automated feeding systems in the Upper Midwest of the United States. *Journal of dairy science*, 100(12), pp.9881-9891.
20. Dietrich, A., 2015. *Management, sanitation, and accuracy of automated calf feeders* (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
21. Simões Filho, L.M., Lopes, M.A., Brito, S.C., Rossi, G., Conti, L. and Barbari, M., 2020. Robotic milking of dairy cows: a review. *Semina: Ciências Agrárias*, 41(6), pp.2833-2850.
22. John, A.J., 2018. *Feed management to optimise robot utilisation in automatic milking systems* (Doctoral dissertation).
23. Hellwing, A.L.F., Nielsen, N.I., Weisbjerg, M.R. and Lund, P., 2019. Prediction of enteric methane can be improved by using the NorFor feed evaluation system for dairy cows. In *Greenhouse Gas and Animal Agriculture Conference* (pp. 87-87). Embrapa Southeast Livestock.
24. Romano, E., Brambilla, M., Cutini, M., Giovinazzo, S., Lazzari, A., Calcante, A., Tangorra, F.M., Rossi, P., Motta, A., Bisaglia, C. and Bragaglio, A., 2023. Increased Cattle Feeding Precision from Automatic Feeding Systems: Considerations on Technology Spread and Farm Level Perceived Advantages in Italy. *Animals*, 13(21), p.3382.
25. Medrano-Galarza, C., LeBlanc, S.J., DeVries, T.J., Jones-Bitton, A., Rushen, J., de Passillé, A.M. and Haley, D.B., 2017. A survey of dairy calf management practices among farms using manual and automated milk feeding systems in Canada. *Journal of dairy science*, 100(8), pp.6872-6884.
26. Jorgensen, M.W., 2016. *Dairy calf health and welfare in automated feeding systems in the upper Midwest USA* (Doctoral dissertation, University of Minnesota).
27. Svensson, C. and Liberg, P., 2006. The effect of group size on health and growth rate of Swedish dairy calves housed in pens with automatic milk-feeders. *Preventive veterinary medicine*, 73(1), pp.43-53.
28. Burfeind, O., Von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., Veira, D.M. and Heuwieser, W., 2010. Repeatability of measures of rectal temperature in dairy cows. *Journal of dairy science*, 93(2), pp.624-627.
29. Bicalho, R.C., Galvão, K.N., Warnick, L.D. and Guard, C.L., 2008. Stillbirth parturition reduces milk production in Holstein cows. *Preventive veterinary medicine*, 84(1-2), pp.112-120.
30. Rutten, C.J., Velthuis, A.G.J., Steeneveld, W. and Hogeveen, H., 2013. Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. *Journal of dairy science*, 96(4), pp.1928-1952.
31. Caja, G., Castro-Costa, A. and Knight, C.H., 2016. Engineering to support wellbeing of dairy animals. *Journal of Dairy Research*, 83(2), pp.136-147.
32. Robert, B., White, B.J., Renter, D.G. and Larson, R.L., 2009. Evaluation of three-dimensional accelerometers to monitor and classify behavior patterns in cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, 67(1-2), pp.80-84.



33. Arruda, A.G., Godden, S., Rapnicki, P., Gorden, P., Timms, L., Aly, S.S., Lehenbauer, T.W. and Champagne, J., 2013. Randomized noninferiority clinical trial evaluating 3 commercial dry cow mastitis preparations: I. Quarter-level outcomes. *Journal of Dairy Science*, 96(7), pp.4419-4435.
34. Finney, G., Gordon, A., Scoley, G. and Morrison, S.J., 2018. Validating the IceRobotics IceQube tri-axial accelerometer for measuring daily lying duration in dairy calves. *Livestock Science*, 214, pp.83-87.
35. Lee, M. and Seo, S., 2021. Wearable wireless biosensor technology for monitoring cattle: A review. *Animals*, 11(10), p.2779.