نشریه علوم دامی
(پژوهش و سازندگی)

شماره ۱۲۳، تابستان ۱۳۹۸
ص‌ص: ۲۵۹~۲۷۰

بررسی آثار تنش گرمایی بر عملکرد تولیدی گاوهای هلشتاین ایستگاه تحقیقاتی گاودشت

- **سعید اسماعیل‌خانیان**
دانشیار، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- **خبات خیرآبادی** (نویسنده مسئول)
دکتری ژنتیک و اصلاح نژاد دام، سنندج، ایران

تاریخ دریافت : شهریور ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش : مهر ۱۳۹۷

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۲۴۷۴۵۰۱
Email: Kheirabadikh@gmail.com

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/asj.2018.123203.1766

چکیده

هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر تنش گرمایی بر عملکرد تولیدی گاوهای شیرده گلهٔ ایستگاه ملی تحقیق و توسعه گاو دومنظوره گاودشت (واقع در شهرستان بائل) بود. بدین منظور از ۳۸۷٦ رکورد روز-آزمون مربوط به ۱٥٤ رأس گاو هلشتاین که طی سال‌های ۱۳۹٤ تا ۱۳۹۷ گردآوری شده بودند استفاده شد. با استفاده از داده‌های هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک، دو شاخص اقلیمی با ضرایب متفاوتی از دما و رطوبت نسبی هوا محاسبه و مقایسه شدند. به دلیل امکان اثرگذاری بیشتر دوره‌های طولانی‌تر تنش گرمایی نسبت به دوره‌های کوتاه‌تر، میانگین دوره‌های ۱، ۲ و ۳ روزه اطلاعات هواشناسی نیز محاسبه شدند. به‌طورکلی بررسی تغییرات مقدار تولید شیر روزانه در پاسخ به شرایط اقلیمی، به روش رگرسیونی و با استفاده از یک مدل مختلط خطی تعمیم‌یافته انجام شد. نکویی برازش‌ها با استفاده از آماره‌های ضریب تبیین (R^2) و میانگین مربعات خطای مدل (MSE) تعیین شد. بر اساس نتایج، شاخص با داشتن دما و رطوبت نسبی هوا به‌عنوان بهترین معیار جهت بررسی شرایط اقلیمی منطقه موردمطالعه تعیین گردید. همچنین مشاهده شد که متوسط دما و رطوبت نسبی ۲ روز قبل از رکوردگیری می‌تواند سهم بیشتری از تغییرات عملکرد تولیدی را نسبت به تنها روز رکوردگیری، ۱ یا ۳ روز قبل از آن توضیح دهد. نتایج این تحقیق نشان داد که آستانه شروع تنش گرمایی گاوهای هلشتاین ایستگاه تحقیقاتی گاودشت حدود ۷٤ بوده و به ازای هر واحد افزایش شاخص از آستانه مذکور، روزانه ۰/۲۱ کیلوگرم اُفت تولید دام‌ها مورد انتظار خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: گاو شیرده، شاخص دمایی-رطوبتی، آستانه تنش گرمایی

Animal Science Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 123 pp: 259-270

Investigating the impacts of heat stress on production of Holstein cows in Gavdasht research station

By Saeid Esmaeilkhanian[1] and Khabat Kheirabadi[*2]
1 Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2 Ph.D. in Genetics and Animal Breeding, Sanandaj, Iran

Received: September 2018 **Accepted: October 2018**

The aim of this study was to assess the impact of heat stress on production of dairy cows of National Research and Development Station for Dual-Purpose Cattle (Gavdasht, located in Babol city). In this order from 3876 test-day records which have been collected from 159 heads of Holstein cattle during the years 2015 to 2018 were used. Using meteorological data of the nearest synoptic station, two climate index with different weightings of dry bulb temperature and humidity were calculated and compared. Because longer periods of heat stress might have a more severe effect than shorter periods, 1-, 2-, and 3-d periods were also considered, by averaging the weather data measurements. Generally, regression analysis with a generalized linear mixed model was used to study the change in test day milk yield in response to climate conditions. Goodness of fit of models were determined using coefficient of determination (R^2) and mean square error (*MSE*). Based on these results, the index with the temperature and relative humidity (THI) was determined as the best indicator for studying the climatic conditions of this study area. It was also observed that the average weather data 2 d before the test date (TD) explained more of the variability of milk yield than weather data 1 or 3 d before TD or on the TD itself. The starting point of heat stress for the Holstein cattle of Gavdasht Research Station was around 74 and their yield decreased by -0.12 kg per unit increase of THI ≥ 74.

Key words: dairy cattle, milk production, heat stress threshold.

مقدمه

بر اساس گزارشات مجمع بین‌المللی تغییرات اقلیمی (IPCC[1])، دمای کرهٔ زمین در هر دهه حدود ۰/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش‌یافته و تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی افزایش متوسط دمای جهانی حدود ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد است (IPCC، ۲۰۰۷). تخمیر روده‌ای (گوارشی) نشخوارکنندگان با انتشار گازهای گلخانه‌ای (عمدتاً گاز متان)، به عنوان اصلی‌ترین فعالیت مُخرب انسانی در بخش کشاورزی منجر به تشدید دگرگونی آب و هوا می‌شود (Wuebbles و Hayhoe، ۲۰۰۲). بنابراین افزایش تعداد دام‌های شیرده در جهت تأمین نیازهای انسانی (Renaudeau و همکاران، ۲۰۱۲) همسو با دیگر فعالیت‌های مُخرب بشر در تشدید گرمایش جهانی (Wuebbles و Hayhoe، ۲۰۰۲؛ Schär و همکاران، ۲۰۰۴)، تنش گرمایی را به یک چالش اساسی در صنعت لبنی بسیاری از کشورها تبدیل کرده‌اند (Renaudeau و همکاران، ۲۰۱۲؛ Polsky و von Keyserlingk، ۲۰۱۷). به‌هرحال کشورهای درحال‌توسعه به دلیل وابستگی بیشتر به منابع مختلف کشاورزی و با داشتن سهم بیشتر در تعداد و تولید محصولات دامی، نسبت به تغییرات اقلیمی آسیب‌پذیرتر خواهند بود (IPCC، ۲۰۰۷). تنش گرمایی که فاکتورهای محیطی مختلفی (دما، رطوبت نسبی، تابش آفتاب، جریان هوا و بارش) در آن نقش دارند (West، ۲۰۰۳؛ Bohmanova و همکاران،

۲۰۰۷)، درواقع ناشی از برهم خوردن تعادل بین مقدار حرارت متابولیکی تولید شده و مقدار گرمایی است که دام می‌تواند از خود دفع کند (St-Pierre و همکاران، ۲۰۰۳). حرارت ناشی از تولید شیر و بالا بودن مادهٔ خشک مصرفی گاوهای شیرده سبب گشته تا این دام‌ها نسبت به تغییرات دمایی به‌ویژه افزایش دما در فصل تابستان حساسیت بیشتری داشته باشند (Garner و همکاران، ۲۰۱۶).

به‌طورکلی محدوده دمای بحرانی گاوهای شیرده، بسته به شرایط فردی (سطح تولید، مرحلهٔ رشد و وضعیت آبستنی) و محیطی آن‌ها (جیره مصرفی، متغیرهای جوی از قبیل دما، رطوبت نسبی هوا، سرعت باد و تابش آفتاب) متفاوت بوده و حد بالای آن در مناطق نیمه گرمسیری مرطوب و گرم و خشک به ترتیب ۲۳ و ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد (Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۷) و در مناطق نیمه گرمسیری ۲۵ تا ۲۶ (Berman و همکاران، ۱۹۸۵) درجهٔ سانتی‌گراد گزارش شده است. عموماً با گرم شدن هوا و عبور از آستانه بحرانی دما، مقدار رطوبت موجود در هوا نقش مهمی در حفظ تعادل هموستازی بدن ایفاء می‌کند (Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۷). به‌طوری‌که در محیط‌های خشک علیرغم بالا بودن دما، گاوهای شیرده تا حدود زیادی تعادل دمایی خود را حفظ می‌کنند (Yousef، ۱۹۸۵؛ Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۷) اما با افزایش هم‌زمان دما و رطوبت نسبی هوا دیگر دام قادر به نگهداری دمای طبیعی بدن خود (۳۸/۴ تا ۳۹/۱ درجهٔ سانتی‌گراد) نبوده و دچار تنش گرمایی می‌شود (André و همکاران، ۲۰۱۱). ازاین‌رو و به دلیل محدودیت دسترسی به اطلاعات کامل هواشناسی، در بسیاری از مطالعات از کمپلکس دما و رطوبت نسبی هوا (تحت عنوان شاخص دمایی-رطوبتی[۲]) به‌عنوان معیار تعیین وقوع تنش گرمایی استفاده می‌شود (St-Pierre و همکاران، ۲۰۰۳؛ Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۷؛ Polsky و von Keyserlingk، ۲۰۱۷). شواهد علمی اخیر نشان می‌دهد که در شرایط تنش گرمایی و به دلیل تغییر فعالیت‌های فیزیولوژیکی (ازجمله افزایش دمای بدن، افزایش تعداد تنفس، ضعف و سستی، افزایش تعرُق و تضعیف سیستم ایمنی بدن)، میزان خوراک مصرفی، مقدار شیر تولیدی و نرخ باروری گاوها به وضوح کاهش می‌یابد (Kadzere و همکاران، ۲۰۰۲؛ Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۷؛ Garner و همکاران، ۲۰۱۶). به‌هرحال با افزایش سطح تولید و در نتیجهٔ افزایش تولید حرارت متابولیکی ناشی از حجم انبوه خوراک مصرفی (Beede و Collier، ۱۹۸۶؛ Kadzere و همکاران، ۲۰۰۲؛ West، ۲۰۰۳)، آستانهٔ تحمل دام‌ها نسبت به شرایط اقلیمی نامناسب کاهش و آثار مُخرب تنش گرمایی شدت می‌یابد (Yano و همکاران، ۲۰۱۴؛ Garner و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین برنامه‌های اصلاح نژادی که صرفاً در جهت افزایش تولید شیر باشد، ناخواسته دام‌های حساس به تغییرات دمایی را نیز افزایش خواهند داد (West، ۲۰۰۳؛ Smith و همکاران، ۲۰۱۳). رطوبت بالا، وجود تابستان‌های گرم و نوسانات دمایی بسیار زیاد استان‌های شمالی کشور ضرورت بررسی آثار وقوع تنش گرمایی بر عملکرد گاوهای شیرده مناطق مختلف آن را بیان می‌کنند. به‌هرحال به دلیل متفاوت بودن آثار تنش گرمایی برحسب شرایط محیطی و مدیریتی گله (Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۸؛ Hammami و همکاران، ۲۰۱۳)، ضروری است که به‌طور مجزا آثار مُخرب آن در مزارع مختلف پرورش گاوهای شیرده بررسی گردد (André و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین پژوهش حاضر با استفاده از رکوردهای روزانهٔ مقدار شیر تولیدی گاوهای هلشتاین ایستگاه ملی تحقیقات گاو دومنظوره (گاودشت)، به بررسی تأثیر تنش گرمایی بر عملکرد آن‌ها پرداخته است.

مواد و روش‌ها

اطلاعات تولید شیر

در بررسی حاضر از رکوردهای روز-آزمون شیر تولیدی تعداد ۱۵۴ رأس گاوهای هلشتاین مربوط به گله ایستگاه تحقیقاتی گاودشت که بین فروردین‌ماه ۱۳۹۴ تا اسفندماه ۱۳۹۶ زایش داشتند، استفاده شد. ایستگاه مذکور (بین مدارهای ۳۶ درجه و ۲۴ دقیقه و ۲۸ ثانیه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۳۱ دقیقه و ۵۰ ثانیه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ) در محدودهٔ شهرستان بابل و

در فاصله‌ای نه‌چندان دور از جنگل‌های مرتفع شیاده و پلنگ دره بخش بندپی غربی این شهرستان واقع شده است. در این ایستگاه از سیستم باز جهت نگهداری تمام دام‌ها استفاده شده و به‌جز در مورد گاوهای شیرده که پرورش آن‌ها در چهار جایگاه مختلف به‌صورت چرخشی بوده (کم تولید، متوسط تولید، پُر تولید یا سوپر تولید؛ بر اساس مقدار آخرین رکورد روز-آزمون شیر تولیدی دام)، دیگر دام‌ها (گاو نر، خشک، گوساله و تلیسه) به‌طور کامل تا سن خاصی در یک جایگاه محصور می‌باشند. تلقیح تلیسه‌ها، با مشاهده علائم فحلی و مشروط بر داشتن حداقل سن ۱۴ ماه با وزنی حدود ۳۵۰ کیلوگرم (با مشاهده بصری) معمولاً به‌صورت مصنوعی انجام می‌شود. اما در مورد گاوهای شیرده به‌شرط سلامت دستگاه تولیدمثلی، مشاهده بصری علائم فحلی تنها فاکتور تعیین زمان تلقیح آن‌هاست. تست اولیهٔ آبستنی دام‌ها حدود ۳۰ روز پس از تلقیح با استفاده از دستگاه سونوگرافی انجام می‌شود، که در صورت تائید حدود ۲ ماهگی و با روش توشه رکتال تست دوم نیز صورت می‌گیرد. استفاده از سامانه‌های خنک‌کننده (فن) در بهاربند گاوهای شیرده و سیستم‌های مه پاش در سالن انتظار شیردوشی، ازجمله راهکارهای مدیریتی هستند که در تمام طول تابستان به‌منظور مقابله با تنش گرمایی در این ایستگاه انجام می‌شود. در این ایستگاه به‌منظور اطلاع از مقدار شیر تولیدی دام‌ها، دو بار در ماه (با فواصل تقریباً ۱۵ روزه) و در سه نوبت دوشش متوالی (از دوشش ظهر شروع و در دوشش صبح روز بعد و با رعایت فاصله زمانی تقریباً ۸ ساعت خاتمه می‌یابد) به تفکیک رکورد آن‌ها ثبت (با استفاده از نرم‌افزار مُدیران) می‌گردد. به‌طوری‌که از فروردین ۱۳۹۴ تا خرداد ۱۳۹۷، حدود ۴۸۵۶ رکورد شیر روز-آزمون برای ۱۶۲ رأس گاو هلشتاین موجود در ایستگاه ثبت شده است (به دلیل عدم ارسال نمونه به آزمایشگاه، اطلاعاتی از ترکیبات شیر آن‌ها وجود ندارد). به‌هرحال در پژوهش حاضر، بعد از حذف نقاط مؤثر (با استفاده از آمارهٔ *leverage* در نرم‌افزار R؛ ۲۰۱۷) و به‌منظور افزایش صحت نتایج تنها از رکورد دام‌هایی استفاده شد که در هر دوره شیردهی حداقل ۵ رکورد ثبت شده در محدوده ۶ تا ۵۵ کیلوگرم بین بازه ۵ تا ۴۰۰ روزهای شیردهی (DIM[۳]) داشته باشند. به دلیل ناکافی بودن تعداد مشاهدات، ضرورت داشتن رکورد دوره‌های شیردهی قبلی برای گاوهای چندشکم زایش منظور نگردید که تا حدودی می‌تواند اُریب نتایج را به دنبال داشته باشد. از طرف دیگر به‌منظور افزایش تعداد مشاهدات هم دوره، اثر ثابت روزهای شیردهی در ۱۳ کلاس مختلف (با فاصله ۳۰ روزه) دسته‌بندی شد. خلاصه آماری داده‌های استفاده شدهٔ این بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

اطلاعات هواشناسی

جهت بررسی شرایط اقلیمی، در این پژوهش از داده‌های جوی ثبت‌شده توسط اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی شهرستان آمل (به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی؛ بافاصله‌ای حدود ۱۰ کیلومتر از ایستگاه تحقیقاتی گاودشت) استفاده شد. این اطلاعات شامل بیشینه، کمینه و میانگین دما (برحسب درجهٔ سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی هوا (برحسب درصد) و سرعت و جهت وزش باد (برحسب متر/ثانیه) روزهای مختلف ۱۰ سال اخیر بود (فروردین ۸۷ تا خرداد ۹۷). تاکنون شاخص‌های اقلیمی مختلفی جهت تشکیل کمپلکسی از شرایط جوی محیط اطراف دام ارائه شده است (Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۷). در بررسی حاضر به‌منظور تعیین شاخص اقلیمی مناسب برای منطقه موردمطالعه، از دو شاخص ارائه شده توسط شورای تحقیقات ملی (NRC، ۱۹۷۱) جهت تشکیل کمپلکس دما و نقطه شبنم (معادله ۱) یا کمپلکس دمایی- رطوبتی (معادله ۲) استفاده شد. به دلیل امکان اثرگذاری بیشتر دوره‌های طولانی‌تر تنش گرمایی نسبت به دوره‌های کوتاه‌تر (Finocchiaro و همکاران، ۲۰۰۵)، پس از محاسبه عددی شاخص‌های مذکور برای روز رکوردگیری (d_0) کلاسه‌های متفاوتی از روز رکوردگیری تا سه روز قبل از آن (یک روز قبل از رکوردگیری (d_1)، دو روز قبل از رکوردگیری (d_2)، سه روز قبل از رکوردگیری (d_3)، میانگین روز رکوردگیری و روز قبل (d_{0-1})، میانگین روز رکوردگیری و دو روز قبل (d_{0-2})، میانگین روز رکوردگیری و سه روز قبل (d_{0-3}))

نیز محاسبه و به فایل نهایی داده‌ها اضافه شدند.

$$THI1_d = [0.55 \times T_d + 0.2 \times t_d] \times 1.8 + 32 + 17.5 \quad (۱)$$

$$THI2_d = [1.8 \times T_d + 32] - [0.55 - 0.0055 \times RH_d] \times [1.8 \times T_d - 26] \quad (۲)$$

در این روابط THI مُعرف مقدار عددی شاخص اقلیمی (۱ یا ۲)، T حداکثر دما (برحسب درجه سانتی‌گراد)، t دمای نقطه شبنم (برحسب درجه سانتی‌گراد) و RH حداقل رطوبت نسبی (برحسب درصد) روز dاُم است..

مدل آماری

به‌طورکلی بررسی روابط بین متغیرهای پاسخ و توضیح به روش رگرسیونی و با استفاده از یک مدل مختلط خطی تعمیم‌یافته (GLMM[۴]) در بسته نرم‌افزاری *lme4* (نسخه ۱.۱.۱۳؛ Bates و همکاران، ۲۰۱۵) انجام شد. معادله مدل آماری مورد استفاده در ادامه ارائه شده است (معادله ۳). مقایسه مدل‌ها (بین شاخص‌های مورداستفاده و نیز کلاسه‌های متفاوت منظور شده جهت تصحیح شرایط اقلیمی روزهای مجاور رکوردگیری) و سنجش میزان سازگاری آن‌ها، با استفاده از دو معیار ضریب تبیین (مقدار کل تغییرپذیری که توسط مدل تبیین می‌گردد؛ R^2) و میانگین مربعات خطای مدل ($MSE = \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}$) صورت گرفت. در مورد مدل منتخب و به‌منظور بررسی تأثیرپذیری عملکرد دام‌ها از تغییر شرایط اقلیمی، میانگین حداقل مربعات[۵] برای کلاسه‌های مختلف THI (تعیین کلاسها با استفاده از نتایج بخش نُخست پژوهش) مربوطه برآورد و مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون توکی (با خطای ۵ درصد) انجام شد.

$$y_{ijklmno} = \beta_i + ab_{jk} + c_l + d_m + \delta_n + e_{ijklmno} \quad (۳)$$

در این مدل $y_{ijklmno}$ مقدار رکورد روز-آزمون، β_i اثر iاُمین سطح THI (۳۶ سطح)، ab_{jk} اثر متقابل kاُمین کلاس روزهای شیردهی در دوره شیردهی jاُم (۶۵ سطح مختلف)، c_l اثر lاُمین سال زایش (۳ سطح مختلف)، d_m اثر mاُمین ماه زایش (۱۲ سطح مختلف)، δ_n اثر تصادفی حیوان nاُم (۱۵۴ نمونه) و $e_{ijklmno}$ مربوط به اثرات باقیمانده می‌باشد.

در پژوهش حاضر به‌منظور بررسی ارتباط بین عملکرد دام با هریک از فاکتورهای دما و رطوبت نسبی هوا (به‌طور مجزا)، آثار مستقیم فاکتورهای مذکور به‌صورت کلاسه‌بندی و بدون تعریف شاخص‌های اقلیمی نیز بررسی شد. بدین منظور با جایگزینی اثر متقابل کلاسه‌های حداکثر دما (در ۵ سطح مختلف؛ پایین‌تر از ۱۵، ۱۵-۲۰، ۲۱-۲۵، ۲۶-۲۹ و بالاتر از ۲۹ درجه سانتی‌گراد) × حداقل رطوبت نسبی هوا (در ۳ سطح مختلف؛ کمتر از ۵۱، ۵۱-۶۴ و بیشتر از ۶۴ درصد) به‌جای مقادیر عددی شاخص‌های اقلیمی ارائه شده در معادله ۳ (با ثابت نگه‌داشتن سایر دیگر اجزاء مدل)، مجدداً به بررسی روابط رگرسیونی بین مقدار تولید و کلاسه‌های مختلف آثار مذکور پرداخته شد.

نتایج و بحث

میانگین حداکثر دما (درجهٔ سانتی‌گراد) و سرعت وزش باد (متر/ثانیه) ماه‌های مختلف ۱۰ سال اخیر شهرستان آمُل (از فروردین ۸۷ تا خرداد ۹۷) در شکل ۱ ارائه شده است. بررسی بصری این تغییرات نشان می‌دهد که فصل تابستان با داشتن بیشترین دما و کمترین وزش باد (با حداقل نوسانات)، شرایط اقلیمی نامناسبی است که با تلفیق هوای مرطوب غالب منطقه (تقریباً در تمام طول سال؛ با میانگین حدود ۷۸٪) می‌تواند زمینه‌ساز اختلال در آسایش گاوهای شیرده باشد. نتایج مربوط به میزان سازگاری مدل (با استفاده از ضریب تبیین و میانگین مربعات خطا) برای شاخص و کلاسه‌های متفاوت شرایط اقلیمی در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج و برای منطقهٔ موردمطالعه، با به‌کارگیری کمپلکسی از دما و رطوبت نسبی هوا در محاسبه شاخص‌های اقلیمی همواره نتایج بهتری حاصل می‌گردد. بررسی‌های انجام‌شده روی شاخص‌های متفاوت تنش گرمایی گاوهای شیرده نشان داده‌اند که میزان دما و رطوبت نسبی هوا به ترتیب فاکتورهای تعیین سازگاری شاخص در محیط با شرایط اقلیمی گرم یا مرطوب بوده (Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۷)، و کمپلکس آن‌ها منجر به بهبود نتایج شاخص اقلیمی

خواهد شد (Dikmen و Hansen، ۲۰۰۹). از طرف دیگر، مشاهده می‌شود که در مورد هر دو شاخص با ترکیب شرایط اقلیمی روزهای رکوردگیری و قبل از آن میزان خطای مدل کاهش (MSE) و توان توضیحی (R^2) آن افزایش می‌یابد (جدول ۲). به‌طوری‌که با در نظر گرفتن میانگین شرایط اقلیمی (دما و رطوبت) روز رکوردگیری و دو روز متوالی قبل از آن حدود ۶۴ درصد، موافق با نتایج پژوهش قبلی (Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۷)، از تغییرات مقدار تولید روزانه گاوهای هلشتاین قابل توضیح بوده و با افزودن یا کاستن شرایط اقلیمی روزهای خارج از محدوده مذکور توان توجیهی مدل کاسته شده است. نتایج مشابهی قبلاً برای گاوهای شیرده هلشتاین و جرسی گزارش شده است (West و همکاران، ۲۰۰۳). در مطالعه انجام‌شده روی صفت تولید شیر گوسفندان مدیترانه‌ای، بیشترین ضریب تبیین مدل (حدود ۰/۵۵) مربوط به حالتی بوده که متوسط شرایط اقلیمی روز رکوردگیری و سه روز قبل از آن در تعریف شاخص دمایی-رطوبتی استفاده شده باشد (Finocchiaro و همکاران، ۲۰۰۵).

تفاوت میانگین حداقل مربعات مقدار شیر روز-آزمون برای مقادیر مختلف شاخص دمایی-رطوبتی (به‌عنوان شاخص منتخب) در شکل ۲ ارائه شده است. ناپایداری برآوردها مطمئناً تا حدود زیادی ناشی از پائین بودن تعداد مشاهدات برای کلاسه‌های مختلف متغیر توضیحی است، اما همانطورکه مشاهده می‌شود بیشینه نوسانات مربوط به حالاتی است که محاسبه شاخص مذکور تنها به شرایط اقلیمی یک روز خاص (با تشدید نوسان برآوردها درنتیجه به‌کارگیری روزهای دور از تاریخ رکوردگیری) محدود شده باشد. روند کلی تغییرات نشان می‌دهد که عملکرد دام‌های ایستگاه موردمطالعه در مقابل تغییر شرایط اقلیمی تقریباً به‌صورت یک سهمی بوده و بیشترین عملکرد در بازه ۶۲ تا ۷۴ شاخص اقلیمی و کمترین مقادیر برای حد بالای شاخص (THI2 ≥ ۷۴) به دست می‌آید. بر اساس این نتایج و با استناد به اطلاعات هواشناسی ۱۰ سال اخیر شهرستان آمُل، بیشینه احتمال رُخداد تنش گرمایی (شرایط آب و هوایی با THI2 ≥۷۴) به ترتیب مربوط به ماه‌های مرداد (۱۰۰٪)، تیر (۹۹۷٪)، شهریور (۹۹۴٪)، خرداد (۸۹۴٪) و مهر (۵۸۷٪) خواهد بود (شکل ۳). توجه به تنش سرمایی، خارج از اهداف پژوهش حاضر بوده و بررسی آن مستلزم استفاده از پارامترهای اقلیمی مختلفی است که در پژوهش حاضر گنجانده نشده است (Hammami و همکاران، ۲۰۱۳). به‌هرحال عدم تطابق‌پذیری مناسب دام‌ها با شرایط اقلیمی منطقه (Dikmen و Hansen، ۲۰۰۹)، عدم مدیریت استفاده از سیستم‌های خنک‌کننده و نامناسب بودن بستر دام‌ها (تجمع گل‌ولای در تمام طول سال و تشدید آن در ماه‌های سرد سال) می‌تواند بالا بودن آستانه احتمال وقوع تنش سرمایی (حد پائین محدوده بحرانی شاخص) را تا حدودی توجیه کند. از طرف دیگر به دلیل وجود رابطه مستقیم بین تولید و مقدار حرارت متابولیکی ناشی از حجم خوراک مصرفی (Kadzere و همکاران، ۲۰۰۲؛ West و همکاران، ۲۰۰۳)، همانطورکه دام‌های پُر تولید نسبت به تنش گرمایی مقاومت کمتری دارند (West، ۲۰۰۳؛ Yano و همکاران، ۲۰۱۴) انتظار می‌رود که دام‌های کم تولید هم به سرمای محیط حساس‌تر باشند. بنابراین پائین بودن سطح تولید گله موردبررسی (گاودشت)، می‌تواند دلیل دیگری مبنی بر حساسیت سرمایی آن‌ها بوده باشد. در مقایسه انجام شده روی عملکرد نژادهای مختلف (Smith و همکاران، ۲۰۱۳) گزارش شده که برخلاف گاوهای هلشتاین (به‌عنوان نژاد پُر تولید)، تولید گاوهای شیرده جرسی (به‌عنوان نژاد کم تولید) در شرایط اقلیمی پایین‌تر از ۶۸ شاخص دمایی-رطوبتی حدود ۶٪ کم‌تر از حالتی بوده که مقدار عددی شاخص مذکور در محدوده ۷۲ تا ۷۹ شاخص باشد (۲۵/۹ کیلوگرم در مقایسه با ۲۷/۱ کیلوگرم). در مطالعه انجام شده روی گاوهای هلشتاین سه منطقه متفاوت (از حیث شرایط اقلیمی) ایالت لاور ساکسونی آلمان، حد پائین شاخص دمایی-رطوبتی را

۴۰ و حد بالای آن را ۶۷ تا ۷۴ گزارش کرده‌اند (Brügemann و همکاران، ۲۰۱۲). در مورد گاوهای هلشتاین سه منطقه مختلف مرطوب، نیمه‌خشک و نیمه‌گرمسیری ایالات‌متحده آمریکا حساسیت سرمایی وجود نداشته و حد بالای شاخص مذکور به ترتیب ۷۲، ۷۴ و ۷۸ گزارش شده است (Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۷؛ Dikmen و Hansen، ۲۰۰۹). در تحقیق انجام شده روی گاوهای هلشتاین یک منطقه نیمه‌گرمسیری، عدم استفاده از سیستم‌های خنک‌کننده و افزایش شدت انتخاب جهت بهبود تولید دام را دلیل پائین بودن حد بالای شاخص دمایی-رطوبتی (THI2 ≥ ۶۲) گزارش کرده‌اند (Hammami و همکاران، ۲۰۱۳).

به‌طورکلی بر اساس نتایج این پژوهش، به ازای هر واحد افزایش شاخص اقلیمی در محدوده تنش گرمایی (۷۴ ≤ THI2 ≤ ۸۶) حدود ۰/۲۱ کیلوگرم اُفت تولید روزانه برای گاوهای شیرده گله ایستگاه تحقیقاتی گاودشت مورد انتظار خواهد بود. در مورد گاوهای هلشتاین ایالت لاور ساکسونی آلمان و مناطق اقلیمی مختلف ایالات‌متحده آمریکا (گرم و خشک و نیمه گرمسیری مرطوب)، مقادیر ضرایب رگرسیونی برآورد شده برای شاخص دمایی-رطوبتی (با دامنه تنش گرمایی مربوطه) به ترتیب ۰/۱۶- (۷۴ ≤ THI2 ≤ ۸۴) تا ۰/۴۷- (۶۷ ≤ THI2 ≤ ۸۲) و ۰/۳۰- (۷۴ ≤ THI2 ≤ ۸۸) تا ۰/۳۹- (۷۲ ≤ THI2 ≤ ۸۵) کیلوگرم بوده است (Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۷؛ Brügemann و همکاران، ۲۰۱۲).

ارتباط بین مقدار تولید روزانه و کلاسه‌های مختلف حداکثر دما و حداقل رطوبت نسبی هوا در شکل ۴ نشان داده شده است. موافق با نتایج به‌دست‌آمده برای مدل با شاخص دمایی-رطوبتی، پاسخ دام‌ها به تغییر پارامترهای اقلیمی (دما و رطوبت نسبی هوا) تقریباً به‌صورت یک سهمی بوده و کمترین عملکرد در حد بالای پارامترهای اقلیمی به دست می‌آید. مشاهده می‌شود که میزان رطوبت نسبی هوا نقش مهمی در تأثیرگذاری شرایط اقلیمی بر عملکرد دام داشته، به‌طوری‌که در شرایط دمایی یکسان با افزایش رطوبت نسبی هوا عملکرد دام‌ها به‌وضوح کاهش و تا حدودی آستانه وقوع تنش نیز تغییر می‌یابد (شکل ۴). مقایسه بین نژادهای مختلف نشان داده که در محیط با دمای ۲۹ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۰ درصد، میزان تولید گاوهای شیرده هلشتاین، جرسی و براون سوئیس به ترتیب ۹۷، ۹۳ و ۹۸ ٪ سطح معمول بوده و با افزایش رطوبت نسبی هوا به حدود ۹۰ درصد مقادیر مذکور به ۶۹، ۷۵ و ۸۳ ٪ کاهش یافته است (به نقل از West (۲۰۰۳)).

نتایج پاسخ دام به سطوح مختلف شدت تنش‌های گرمایی (دسته‌بندی بر اساس یافته‌های بخش نُخست پژوهش)، در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس این یافته‌ها و بر مبنای مقادیر عددی شاخص دمایی-رطوبتی، احتمال رُخداد تنش گرمایی در سطوح متوسط و شدید به ترتیب در بازه ۷۴ تا ۸۱ و بالاتر از ۸۱ شاخص می‌باشد. به‌طوری‌که برآورد عملکرد دام در شرایط مذکور به ترتیب ۹۵٪ (۲۸/۴ کیلوگرم) و ۹۰٪ (۲۶/۸ کیلوگرم) مقدار تولید آن‌ها در شرایط اقلیمی مناسب بوده است (۲۹/۸ کیلوگرم). در مطالعه انجام شده روی پاسخ نژادهای مختلف به کلاسه‌های تنش گرمایی ملایم (۷۲-۷۸)، متوسط (۷۹-۸۹) و شدید (بالاتر از ۸۹)، نرخ تغییر عملکرد گاوهای شیرده هلشتاین به ترتیب ٪۲- (۳۴/۸ کیلوگرم در مقابل ۳۵/۶ کیلوگرم)، ٪۸- (۳۲/۹ کیلوگرم در مقابل ۳۵/۶ کیلوگرم) و ٪۱۵- (۳۰/۴ کیلوگرم در مقابل ۳۵/۶ کیلوگرم) بوده و مقادیر مشابه برای نژاد جرسی به ترتیب ٪۵+ (۲۷/۱ کیلوگرم در مقابل ۲۵/۹ کیلوگرم)، ٪۱- (۲۵/۷ کیلوگرم در مقابل ۲۵/۹ کیلوگرم) و ٪۸- (۲۳/۸ کیلوگرم در مقابل ۲۵/۹ کیلوگرم) گزارش شده است (Smith و همکاران، ۲۰۱۳). مشاهده می‌شود

که علیرغم بالاتر بودن سطح تولید گاوهای هلشتاین مطالعه مذکور نسبت به پژوهش حاضر (۳۵/۶ کیلوگرم با دوبار دوشش، در مقایسه با ۲۹/۸ کیلوگرم و سه بار دوشش)، حساسیت آن‌ها نسبت به تنش‌های گرمایی پایین‌تر بوده (با مقایسه نرخ اُفت تولید) که می‌تواند شرایط مدیریتی و پرورشی نامناسب گله موردبررسی را نشان دهد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، شاخص با داشتن دما و رطوبت نسبی هوا به عنوان معیار مناسب جهت بررسی شرایط اقلیمی منطقه موردمطالعه تعیین گردید. همچنین مشاهده شد که متوسط دما و رطوبت نسبی ۲ روز قبل از رکوردگیری می‌تواند سهم بیشتری از تغییرات عملکرد تولیدی را نسبت به تنها روز رکوردگیری، ۱ یا ۳ روز قبل از آن توضیح دهد. به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که آستانه شروع تنش گرمایی گاوهای هلشتاین ایستگاه تحقیقاتی گاودشت حدود ۷۴ بوده و به ازای هر واحد افزایش شاخص از آستانه مذکور حدود ۰/۲۱ کیلوگرم اُفت تولید مورد انتظار خواهد بود.

پائین بودن سطح تولید دام‌ها، حساسیت بالای آن‌ها به شرایط سرمایی معمول و محدود بودن دامنه آسایش اقلیمی آن‌ها از یک‌سو و از سوی دیگر فراوانی تعداد روزهای مستعد وقوع تنش گرمایی در منطقه موردبررسی زنگ خطری است که اهمیت توجه و تصحیح شرایط مدیریتی ناصحیح را تأکید و ضرورت به کنترل درآوردن شرایط محیطی نامطلوب (از طریق برنامه‌های اصلاح نژادی و مدیریت صحیح برنامه‌های تغذیه‌ای) در ایستگاه تحقیقاتی گاودشت را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که به دلیل استفاده از سامانه‌های خُنک کننده در ایستگاه گاودشت (مانند سایر دیگر مزارع پرورش گاو شیرده)، مطمئناً شرایط اقلیمی داخل بهاربند متفاوت از شرایطی است که توسط ایستگاه سینوپتیک ثبت شده لذا جهت افزایش صحت نتایج ثبت شرایط آب و هوایی داخل گله پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان مراتب قدردانی خود را از ریاست و پرسنل محترم ایستگاه تحقیقاتی گاودشت به سبب انجام همکاری‌های لازم اعلام می‌دارند.

پانویس

1. Intergovernmental Panel On Climate Change
2. Temperature-Humidity Index (THI)
3. Days in milk
4. Generalized Linear Mixed Model
5. Least square means

جدول ۱- خصوصیات داده‌های تولید شیر به تفکیک دوره شیردهی.

		دوره شیردهی				
	اول	دوم	سوم	چهارم	≥ پنجم	کل
تعداد دام (رأس)	۹۹	۸۵	۳۸	۲۱	۲۲	۱۵۴
تعداد مشاهدات	۱۵۳۶	۱۱۸۲	۵۶۲	۲۸۴	۳۱۲	۳۸۷۶
متوسط تعداد روزهای شیردهی	۱۷۲	۱۷۰	۱۷۰	۱۵۹	۱۷۸	۱۷۱
میانگین تولید شیر (انحراف معیار)	۲۹/۵ (۶/۵)	۳۰/۲ (۸/۰)	۳۱/۴ (۸/۷)	۳۲/۵ (۹/۶)	۲۸/۷ (۹/۶)	۳۰/۲ (۷/۹)

جدول ۲- ضریب تبیین (R^2) و میانگین مربعات خطای مدل (MSE)، با شاخص و کلاسه‌های متفاوت شرایط اقلیمی روزهای مجاور رکوردگیری.

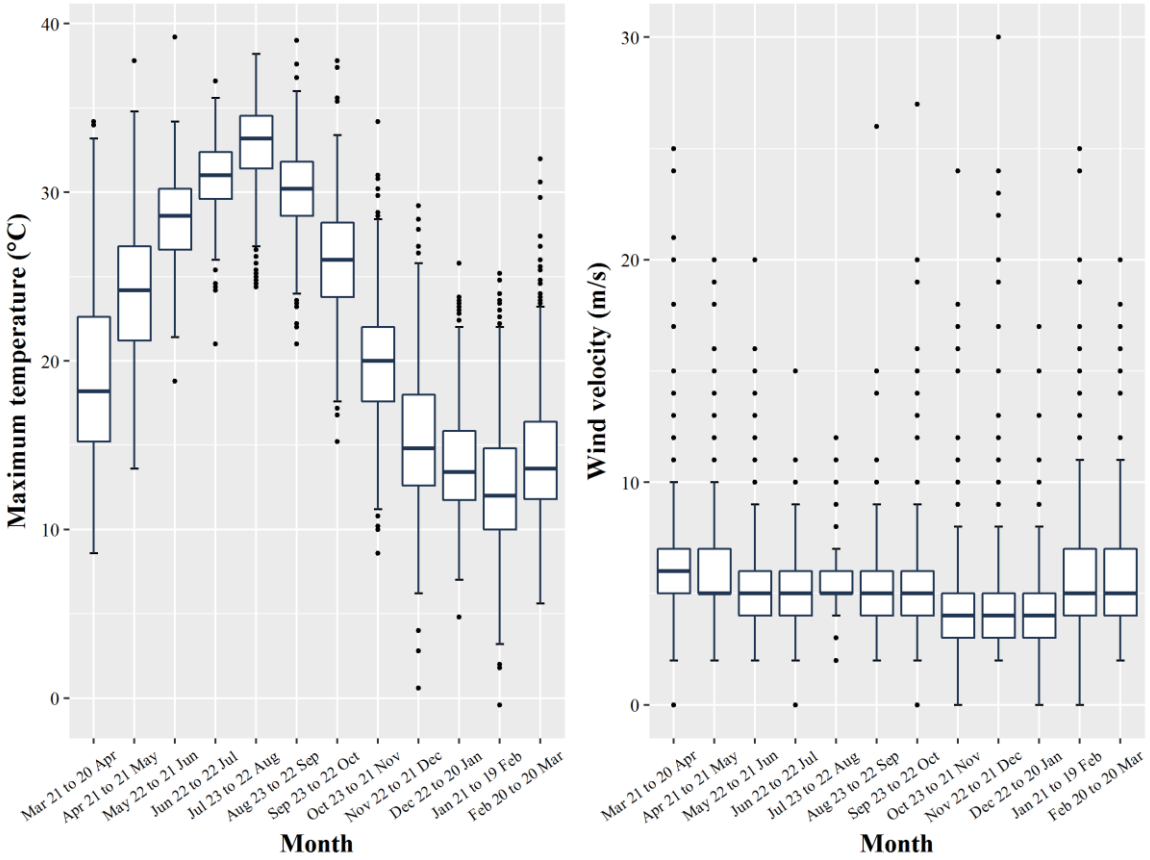
	کلاسه‌های شرایط اقلیمی*						
	d_0	d_1	d_2	d_3	d_{0-1}	d_{0-2}	d_{0-3}
R^2							
THI1	۰/۶۳۸	۰/۶۲۹	۰/۶۲۵	۰/۶۲۸	۰/۶۳۹	۰/۶۴۲	۰/۶۳۱
THI2	۰/۶۳۶	۰/۶۳۹	۰/۶۳۷	۰/۶۳۷	۰/۶۴۳	۰/۶۴۵	۰/۶۳۹
MSE							
THI1	۰/۹۲۳	۰/۹۲۴	۰/۹۲۴	۰/۹۲۵	۰/۹۲۳	۰/۹۲۳	۰/۹۲۳
THI2	۰/۹۲۳	۰/۹۲۳	۰/۹۲۳	۰/۹۲۴	۰/۹۲۲	۰/۹۲۲	۰/۹۲۳

* d_0، d_1، d_2 و d_3 به ترتیب روز رکوردگیری، ۱، ۲ و ۳ روز قبل از رکوردگیری؛ d_{0-1}، d_{0-2} و d_{0-3} به ترتیب ادغام (میانگین) شرایط اقلیمی روز رکوردگیری با ۱، ۲ یا ۳ روز قبل از رکوردگیری.

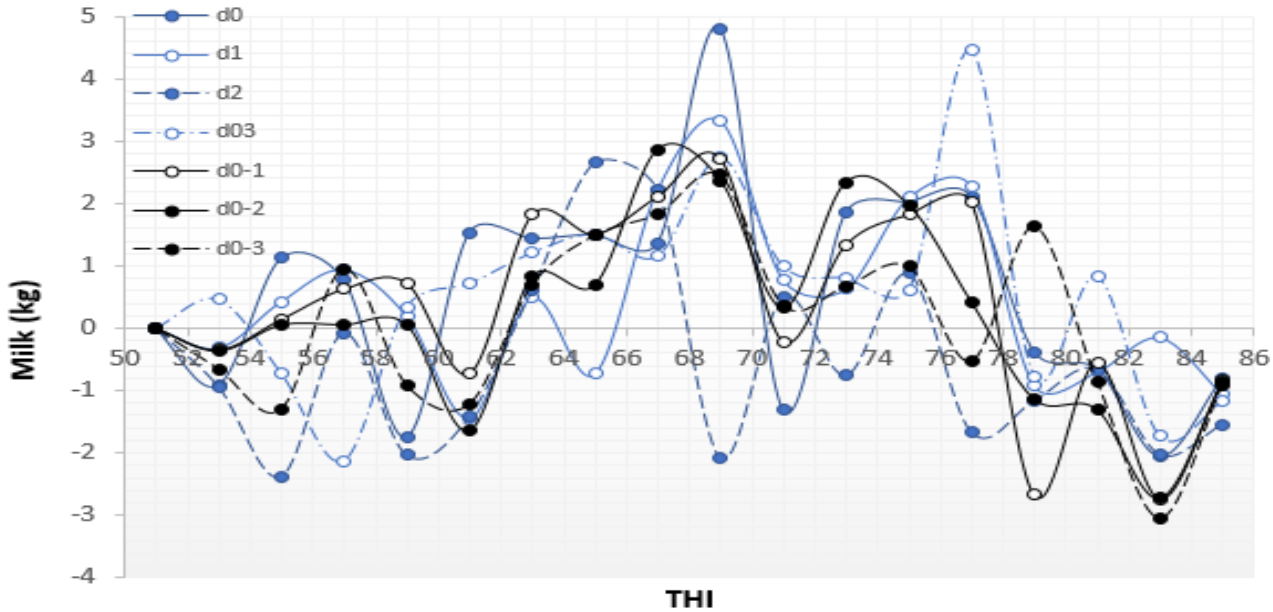
جدول ۳- میانگین حداقل مربعات (خطای استاندارد) عملکرد دام در شرایط اقلیمی با کلاسه‌های مختلف شاخص دمایی-رطوبتی.

	دسته‌بندی شاخص دمایی-رطوبتی					
	51 ≤ THI < 74	74 ≤ THI ≤86	-	-	R^2	*MSE*
II*	۲۸/۹۵^a (۰/۴۸۰)	۲۷/۸۸^b (۰/۴۶۲)	-	-	۰/۶۰۸	۰/۹۳۰
	51 ≤ THI < 64	64 ≤ THI < 74	74 ≤ THI < 82	82 ≤ THI ≤ 86		
IV	۲۸/۰۸^b (۰/۵۱)	۲۹/۷۶^a (۰/۴۸۳)	۲۸/۴۰^b (۰/۴۶۹)	۲۶/۸۲^c (۰/۵۰۲)	۰/۶۲۴	۰/۹۲۶

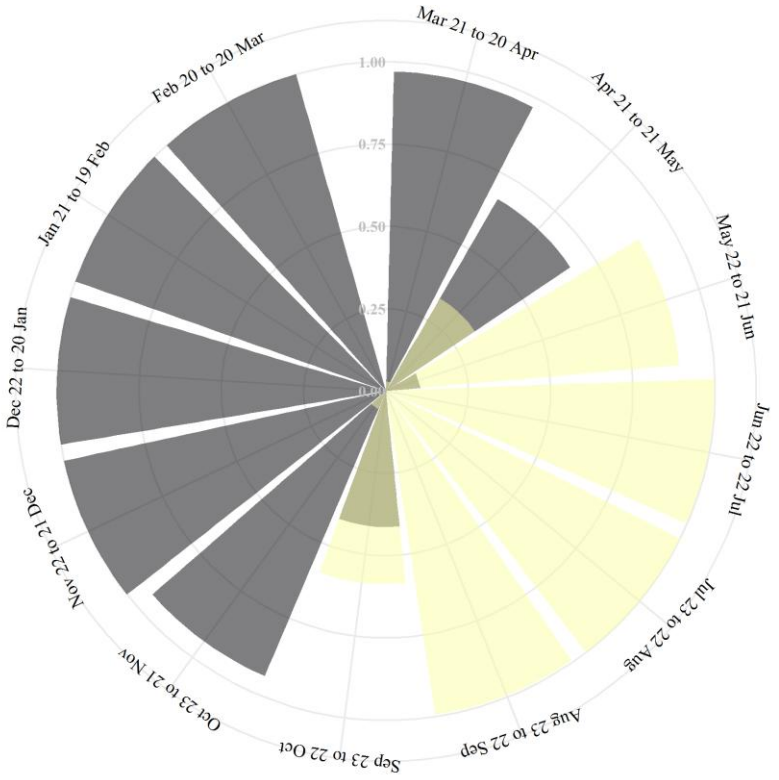
*II و IV: دسته‌بندی مقادیر عددی شاخص دمایی-رطوبتی به ترتیب در ۲ و ۴ کلاس مختلف. حروف غیرمشترک (بین ستونی) بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها (در سطح ۵ درصد).



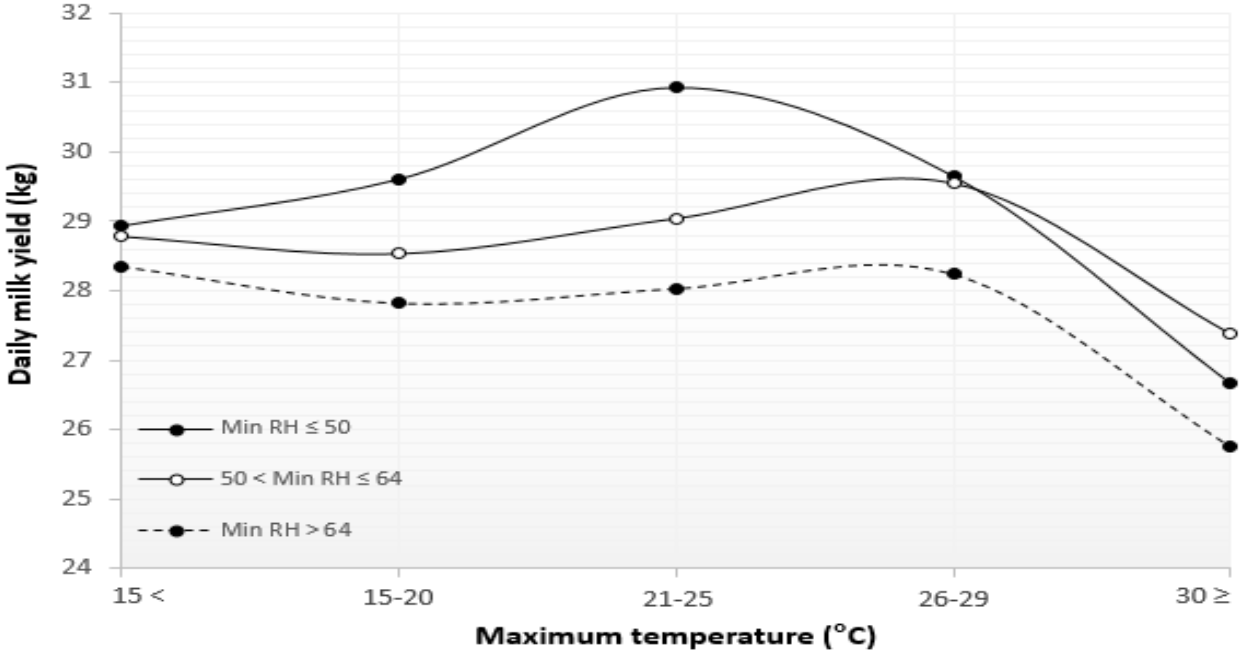
شکل ۱- میانگین حداکثر دما (درجه سانتی گراد؛ تصویر سمت چپ) و حداکثر سرعت وزش باد (متر بر ثانیه؛ تصویر سمت راست) ماه‌های مختلف طی ۱۰ سال اخیر (از فروردین ۸۷ تا خرداد ۹۷).



شکل ۲- برآورد تفاوت حداقل مربعات تولید شیر برای شاخص دمایی-رطوبتی (THI2) با کلاسه‌های مختلفی از شرایط اقلیمی روزهای نزدیک به رکوردگیری (تعریف کلاسه‌ها در زیرنویس جدول ۲).



شکل ۳- نسبت ماهانه تعداد روز با مقدار شاخص بالاتر (به رنگ زرد) یا پایین‌تر (به رنگ خاکستری) از آستانه تنش گرمایی (THI≥ 74).



شکل ۴- تأثیر حداکثر دما و حداقل رطوبت نسبی هوا ($d_{0\text{-}2}$) بر مقدار تولید شیر روزانه.

منابع

André, G., Engel, B., Berentsen, P., Vellinga, T.V. and Lansink, A.O. (2011). Quantifying the effect of heat stress on daily milk yield and monitoring dynamic changes using an adaptive dynamic model. *Journal of Dairy Science*. 94:4502-4513.

Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. and Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*. 67:1-48.

Beede, D. and Collier, R. (1986). Potential Nutritional Strategies for Intensively Managed Cattle during Thermal Stress. *Journal of Animal Science*. 62:543-554.

Berman, A., Folman, Y., Kaim, M., Mamen, M., Herz, Z., Wolfenson, D., Arieli, A. and Graber, Y. (1985). Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *Journal of Dairy Science*. 68:1488-1495.

Bohmanova, J., Misztal, I. and Cole, J. (2007). Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science*. 90:1947-1956.

Bohmanova, J., Misztal, I., Tsuruta, S., Norman, H. and Lawlor, T. (2008). Genotype by environment interaction due to heat stress. *Journal of Dairy Science*. 91:840-846.

Brügemann, K., Gernand, E., König von Borstel, U. and König, S. (2012). Defining and evaluating heat stress thresholds in different dairy cow production systems. *Archives Animal Breeding*. 55:13-24.

National Research Council. (1971). A guide to environmental research on animals, National Academy Science. Washington, DC.

Dikmen, S. and Hansen, P. (2009). Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science*. 92:109-116.

Finocchiaro, R., Van Kaam, J., Portolano, B. and Misztal, I. (2005). Effect of heat stress on production of Mediterranean dairy sheep. *Journal of Dairy Science*. 88:1855-1864.

Garner, J., Douglas, M., Williams, S.O., Wales, W., Marett, L., Nguyen, T., Reich, C. and Hayes, B. (2016). Genomic selection improves heat tolerance in dairy cattle. *Scientific reports*. 6:34114.

Hammami, H., Bormann, J., M'hamdi, N., Montaldo, H.H. and Gengler, N. (2013). Evaluation of heat stress effects on production traits and somatic cell score of Holsteins in a temperate environment. *Journal of Dairy Science*. 96:1844-1855.

IPCC. (2007). Intergovernmental Panel On Climate Change. Climate change: The physical science basis. Available from: http://www.slvwd.com/agendas/Full/2007/06-07-07/Item%2010b.pdf.

Kadzere, C., Murphy, M., Silanikove, N. and Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science*. 77:59-91.

Polsky, L. and von Keyserlingk, M.A. (2017). Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*. 100:8645-8657.

R Core Team. (2017). A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., De Basilio, V., Gourdine, J. and Collier, R. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*. 6:707-728.

Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M.A. and Appenzeller, C. (2004). The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*. 427:332.

Smith, D.L., Smith, T., Rude, B.J. and Ward, S.H. (2013). Short communication: Comparison of the effects of heat stress on milk and component yields and somatic cell score in Holstein and Jersey cows. *Journal of Dairy Science*. 96:3028-3033.

St-Pierre, N., Cobanov, B. and Schnitkey, G. (2003). Economic losses from heat stress by US livestock industries1. *Journal of Dairy Science*. 86:E52-E77.

West, J. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 86:2131-2144.

West, J., Mullinix, B. and Bernard, J. (2003). Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 86:232-242.

Wuebbles, D.J. and Hayhoe, K. (2002). Atmospheric methane and global change. *Earth-Science Reviews*. 57:177-210.

Yano, M., Shimadzu, H. and Endo, T. (2014). Modelling temperature effects on milk production: a study on Holstein cows at a Japanese farm. *SpringerPlus*. 3:129.

Yousef, M.K. (1985). Stress physiology in livestock. *Volume I. Basic principles, CRC press*.