ارتباط بین شاخص دما-رطوبت نسبی و رکوردهای روز آزمون تولید شیر و درصد چربی شیر گاوهای هلشتاین اقلیم مدیترانه‌ای ایران

- **سیما ساورسفلی***: موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- **رضا سیدشریفی**: گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
- **محمدرضا منصوریان**: مرکز اصلاح نژاد و بهبود تولیدات دامی کشور، کرج، ایران
- **مزدک کاظمی**: مرکز اصلاح نژاد و بهبود تولیدات دامی کشور، کرج، ایران

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۷

چکیده

هدف از این تحقیق مطالعه اثر شاخص دما-رطوبت (THI) به‌عنوان یک توصیف‌گر محیطی برای استرس گرمایی بر تولید شیر و درصد چربی گاوهای هلشتاین در اقلیم مدیترانه‌ای ایران بود. اطلاعات تولیدی شکم اول جمع‌آوری شده طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ مربوط به ۴۲۷۵۱ و ۳۸۸۲۹ رأس گاو شیری با ۳۴۸۸۶۸ و ۳۰۲۸۵۱ رکورد به‌ترتیب برای تولید شیر و درصد چربی شیر مورد استفاده قرار گرفت. میانگین روزانه THI برای سه روز قبل از رکوردگیری که از اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به گله‌ها محاسبه شده بود به‌عنوان یک اثر محیطی درنظر گرفته شد. مؤلفه‌های (کو) واریانس با استفاده از روش بیزی از طریق مدل رگرسیون تصادفی برای ترکیبات مختلف THI و روز شیردهی (DIM) برآورد شد. در تابعی از روزهای شیردهی با رسیدن به اواخر دوره شیردهی، وراثت‌پذیری افزایش و در تابعی از شاخص دما-رطوبت (اوایل دوره شیردهی) با افزایش THI، وراثت‌پذیری کاهش می‌یابد. همبستگی‌های ژنتیکی برای مقادیر THI و DIM با افزایش فاصله بین مقادیر، کاهش داشت که نشان می‌دهد رکوردها در THIهای مختلف مانند DIMهای مختلف از ژن‌های متفاوتی اثر می‌گیرند و هم‌چنین همبستگی‌های ژنتیکی برآورد شده برای درصد چربی پایین‌تر از مقادیر مربوط به تولید شیر بود. از برآوردهای حاصل از این تحقیق نتیجه‌گیری می‌شود که وارد کردن اثر ژنتیک افزایشی در مدل ارزیابی مقاومت به گرما در گله‌های گاوهای شیری اقلیم مدیترانه‌ای ایران لازم است و پتانسیل ژنتیکی حیوان می‌تواند نقش مهمی در کنترل میزان کاهش تولید شیر گله در شرایط آب و هوایی استرس‌زا ایفا کند.

کلمات کلیدی: استرس گرمایی، شاخص دما-رطوبت نسبی، وراثت‌پذیری، رکورد روز آزمون

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: simasavar@gmail.com

مقدمه

تغییرات آب‌وهوایی و گرم‌شدن کره‌زمین یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو می‌باشد که در این راستا، در سال‌های اخیر اصلاح‌گران حیوانات اهلی مخصوصاً گاوهای شیری تحقیقاتی در جهت بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و انتخاب گاوهای نر سازگار با شرایط محیطی گرم انجام داده‌اند (Hammami و همکاران، ۲۰۰۸؛ Rojas-Downing و همکاران، ۲۰۱۷). استرس گرمایی توسط عوامل مختلف محیطی (دما، رطوبت نسبی، تابش نور خورشید، جریان باد و بارش) ایجاد می‌شود. با استفاده از عوامل محیطی مختلف، چندین شاخص برای بررسی سطح استرس گرمایی پیشنهاد شده‌اند (Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۷). با این‌حال، به جهت عدم وجود اطلاعات هواشناسی کامل، استفاده از تعدادی از این شاخص‌ها محدود بوده است و اکثر مطالعات استرس گرمایی در صنعت پرورش گاو شیری به استفاده از دو متغیر دما و رطوبت نسبی متمرکز شده‌اند (Igono و Johnson، ۱۹۹۰؛ Correa-Calderon و همکاران، ۲۰۰۴) زیرا اشعه خورشیدی دریافتی توسط حیوان، سرعت باد، بارش باران به‌طور کامل و عمومی قابل دسترس نیست و از طرف دیگر، دما و رطوبت نسبی معمولاً از ایستگاه‌های هواشناسی قابل تهیه است. Bohmanova و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که استرس گرمایی عملکرد صفات تولیدی و تولیدمثلی گاوهای هلشتاین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پژوهشگران نشان دادند که با درنظر گرفتن شرایط آب و هوایی مختلف، اثر متقابل محیط و ژنوتیپ بروز می‌کند. لذا ایجاد استرس گرمایی نوع خاصی از اثر متقابل G×E را نشان می‌دهد که وجود این پدیده نشان‌دهنده اهمیت بالای استرس گرمایی می‌باشد (Brügemann و همکاران، ۲۰۱۱؛ Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۸؛ Bohlouli و همکاران، ۲۰۱۳). شاخص دما-رطوبت مقدار عددی است که از طریق دو متغیر دما و رطوبت نسبی محاسبه می‌شود، از این شاخص برای بررسی استرس یا تنش گرمایی استفاده می‌شود که مطالعات جامع با چندین فرمول توسط Bohmanova و همکاران (۲۰۰۷) ارائه شده و گزارش شده است که حیوانات و نیز نژادهای مختلف حساسیت‌های متفاوتی نسبت به دمای محیط و مقدار رطوبت نسبی دارند. از بین فرمول‌های THI گزارش شده، برای برآورد تغییرات ژنتیکی در گاوهای شیری، بیش‌تر محققین (Aguilar و همکاران، ۲۰۱۰؛ Brügemann و همکاران، ۲۰۱۱، Bohlouli و همکاران، ۲۰۱۳) از فرمول پیشنهاد شده NRC (۱۹۷۱) استفاده کرده‌اند. استرس گرمایی به‌عنوان یکی از عوامل مهم کاهش دهنده تولید شیر محسوب می‌شود که نهایتاً منجر به ضرر و زیان اقتصادی شدید در گله‌های گاوهای شیری می‌شود. استرس گرمایی نه تنها باعث کاهش تولید شیر می‌شود، بلکه به ترکیبات و کیفیت شیر نیز اثر منفی می‌گذارد. پتانسیل ژنتیکی حیوان می‌تواند نقش مهمی در کنترل میزان کاهش تولید شیر گله در شرایط آب و هوایی استرس‌زا ایفا کند (Pragna و همکاران، ۲۰۱۷). یکی از روش‌های مناسب برای بررسی استرس گرمایی و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، استفاده از مدل رگرسیون تصادفی است. با استفاده از این مدل، اطلاعات بیش‌تری از تغییرات ارزش‌های اصلاحی در دامنه‌ای از تغییرات محیطی حاصل می‌شود. به‌طورکلی، کاربرد مدل رگرسیون تصادفی بدون درنظر گرفتن آستانه و یا گروه‌بندی داده‌ها، انعطاف پذیری بالایی را در مدل‌های آماری ایجاد می‌کند (Brügemann و همکاران، ۲۰۱۱؛ مقدس‌زاده‌اهرابی، ۱۳۸۱). این مدل اجازه مطالعه تغییرات مولفه‌های (کو)واریانس در تابعی از زمان (به‌عنوان مثال روزهای شیردهی) و در تابعی از تغییرات محیطی مثل شاخص دما-رطوبت) را می‌دهد. در تابعی از روزهای شیردهی یا در تابعی از شاخص دما-رطوبت، برخی از ژن‌ها روشن و برخی دیگر خاموش می‌شوند که دلیلی بر تغییر عملکرد و فیزیولوژی بدن حیوان می‌باشد (Brügemann و همکاران، ۲۰۱۱). با استفاده از مدل رگرسیون تصادفی و با درنظر گرفتن مؤلفه‌های (کو)واریانس در تابعی از روزهای شیردهی و شاخص دما-رطوبت، اثر متقابل ژنوتیپ و محیط قابل تشخیص خواهد بود و به این ترتیب برای هر ترکیبی از DIM×THI می‌توان مؤلفه‌های (کو) واریانس برآورد کرد و با نتایج به‌دست آمده وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط را تشخیص داد (Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۷؛ Brügemann و همکاران، ۲۰۱۱). تحقیق حاضر با هدف بررسی ارتباط بین شاخص دما-رطوبت نسبی و رکوردهای روزآزمون تولید شیر و درصد چربی شیر گاوهای هلشتاین اقلیم مدیترانه‌ای ایران انجام شده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از اطلاعات رکوردهای روز آزمون تولید شیر و درصد چربی شیر که به‌صورت ماهانه توسط مرکز اصلاح نژاد و بهبود تولیدات دامی کشور رکوردگیری شده‌اند و اطلاعات آب و هوایی ایستگاه‌های هواشناسی ۹ استان آذربایجان‌شرقی، آذربایجان‌غربی، اردبیل، چهارمحال و بختیاری، زنجان، کردستان، کرمانشاه، قزوین و همدان استفاده شد. ویرایش و آماده‌سازی داده‌ها جهت بالا بردن صحت داده‌ها و انتخاب رکوردهای دقیق انجام شد. در این تحقیق از رکوردهای سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ مربوط به شکم زایش اول گاوهای شیردهی که در زمان زایش در بازه سنی ۲۱ تا ۴۶ ماهگی بودند و فاصله رکوردگیری از روز زایش آن‌ها در دامنه ۵ تا ۳۰۵ بود، استفاده شد. طبق دامنه تعیین شده برای مقدار تولید شیر روزانه در گزارشات مختلف منتشر شده داخلی و خارجی برای حیواناتی که در یک بازه

۲۴ ساعته، کم‌تر از ۱ کیلوگرم یا بیش‌تر از ۷۵ کیلوگرم شیر تولیدی داشتند، رکورد مربوط به آن روز رکوردگیری حذف گردید. در فایل داده‌مربوط به درصد چربی نیز رکوردهای روزآزمونی که در دامنه ۱/۵ تا ۹/۰۰ درصد قرار داشتند، نگه‌داشته شدند. برای افزایش دقت برآوردها در فایل داده، گاوهای ماده‌ای که بیش از ۶ رکورد روزآزمون داشتند وگاوهای نری که دارای بیش از ۱۰ نتاج باشند، انتخاب شدند. برای گروه‌بندی براساس فصل گوساله‌زایی، گاوهای ماده براساس فصل گوساله‌زایی (بهار، تابستان، پاییز و زمستان) به ۴ گروه تقسیم شدند. برای مشخص کردن HTD (گله- سال- ماه رکورد روز آزمون) از کد گله‌ها، سال رکوردگیری و ماه رکوردگیری استفاده شد تا بتوان اثر این عامل بر تولید شیر و ترکیبات آن تصحیح کرد. رکوردهای مربوط به گاوهایی که در طول شبانه روز دو یا سه بار دوشیده می‌شدند، در فایل داده باقی ماندند. در نهایت از اطلاعات تولیدی شکم اول مربوط به ۴۲۷۵۱ و ۳۸۸۲۹ رأس گاو شیری با ۳۴۸۸۶۸ و ۳۰۲۸۵۱ رکورد به‌ترتیب برای تولید شیر و درصد چربی شیر استفاده شد. برای محاسبه شاخص دما-رطوبت، از اطلاعات هواشناسی بانک اطلاعاتی سازمان هواشناسی کشور استفاده شد که شامل دما و رطوبت نسبی حداکثر، حداقل و متوسط روزانه بود. اگر چه پارامترهای دیگری نیز می‌توانند بر عملکرد حیوان تأثیر داشته باشند (Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۸)، اما در مطالعات مختلف صرفاً از اطلاعات مربوط به دو پارامتر رطوبت نسبی و دما استفاده می‌شود (Brügemann و همکاران، ۲۰۱۱؛ Hammami و همکاران، ۲۰۰۸). در این راستا با استفاده از فرمول پیشنهاد شده توسط NRC (۱۹۷۱)، شاخص دما-رطوب برای کلیه روزها محاسبه شد. در این فرمول از دمای حداکثر روزانه و رطوبت نسبی حداقل روزانه استفاده می‌شود (Brügemann و همکاران، ۲۰۱۱):

$$THI=[1/8\times Tmax+32] - [0/55 - 0/0055 \times RHmin]\times[1/8\times Tmax-26]$$

که در این فرمول، Tmax، دمای حداکثر روزانه بوده و به درجه سلسیوس می‌باشد و RHmin، حداقل رطوبت نسبی روزانه می‌باشد که به درصد مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعد از محاسبه شاخص دما-رطوبت، میانگین سه روز قبل و نیز روز مربوط به THI محاسبه شده به‌عنوان یک عامل محیطی تأثیرگذار روی صفت اندازه‌گیری شده در همان روز درنظر گرفته شد. این کار براساس تحقیق Bohmanova و همکاران (۲۰۰۸) انجام شد. این اطلاعات با اطلاعات موجود در فایل داده ادغام شد، به این صورت که بعد از شناسایی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به گاوداری مدنظر (براساس محل قرارگیری ایستگاه هواشناسی و گاوداری) و نیز سال، ماه و روز رکوردگیری تولید شیر و ترکیبات آن و نیز THI، عمل ادغام اطلاعات انجام گرفت. بعد از ادغام داده ایستگاه‌های هواشناسی در نه استان (آذربایجان‌شرقی، آذربایجان‌غربی، اردبیل، چهارمحال و بختیاری، زنجان، کردستان، کرمانشاه، قزوین و همدان) با اطلاعات صفات تولیدی گاوداری‌های مربوطه ۵۷۴ واحد گاوداری با ۴۲۷۸۱ و ۳۸۸۲۹ رأس گاو شیری به‌ترتیب برای تولید شیر و درصد چربی شیر در فایل نهایی باقی ماند که برای این صفات به‌ترتیب ۳۴۸۸۶۸ و ۳۰۲۸۵۱ رکورد به‌دست آمد (جدول ۱).

جدول ۱: آمار توصیفی صفات تولید شیر و درصد چربی شیر به تفکیک استان‌های مختلف

استان	تعداد گله	مقدار شیر		درصد چربی	
		تعداد حیوان رکوردار	تعداد رکورد	تعداد حیوان رکوردار	تعداد رکورد
آذربایجان‌شرقی	۱۳۴	۹۴۴۶	۷۶۹۸۹	۸۵۶۸	۶۶۸۷۲
آذربایجان‌غربی	۲۵	۲۵۱۵	۲۰۴۹۷	۲۲۸۱	۱۷۸۰۱
اردبیل	۱۵	۸۱۴۷	۶۶۳۹۲	۷۳۹۵	۵۷۶۷۵
چهارمحال و بختیاری	۲۰	۲۲۲۵	۱۸۱۳۴	۲۰۱۸	۱۵۷۵۳
زنجان	۲۳	۲۰۸۱	۱۶۹۶۵	۱۸۹۵	۱۴۷۲۱
کردستان	۱۸۱	۱۶۳۹	۱۳۳۵۸	۱۴۸۷	۱۱۶۰۴
کرمانشاه	۲۸	۱۳۳۸	۱۰۹۶۴	۱۲۲۴	۹۴۶۸
قزوین	۸۳	۱۰۵۸۹	۸۶۴۷۴	۹۶۱۵	۷۵۰۳۰
همدان	۶۵	۴۷۹۲	۳۹۰۹۵	۴۳۴۶	۳۳۹۲۷
کل	۵۷۴	۴۲۷۸۱	۳۴۸۸۶۸	۳۸۸۲۹	۳۰۲۸۵۱

برای بررسی معنی‌داری اثرات ثابت، از رویه GLM در برنامه SAS استفاده شد. اثراتی که در مدل آماری قرار گرفت شامل اثرات گله- سال- ماه رکوردگیری، سن- سال- فصل زایش، دفعات دوشش، ماه‌شیردهی و شاخص دما-رطوبت بود. با توجه به این‌که متغیر شاخص دما-رطوبت به‌طور پیوسته بوده و روی تولید تأثیر می‌گذارد، در نتیجه این متغیر به‌صورت متغیر کمکی (کواریت) در مدل قرار داده شد. با

استفاده از مدل رگرسیون تصادفی نرم‌افزار GIBBS3F90 و با درنظر گرفتن مؤلفه‌های (کو) واریانس در تابعی از روزهای شیردهی و نیز در تابعی از شاخص دما-رطوبت، اثر استرس گرمایی و شاخص دما رطوبت بر تولید مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مطالعات انجام گرفته در زمینه بررسی استرس گرمایی (Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۷؛ Brügemann و همکاران، ۲۰۱۱) مدل رگرسیون تصادفی به‌صورت زیر درنظر گرفته شد:

$$y_{ijklm} = HTD_i + MF_j + \sum_{n=1}^{q} \alpha_{kn} z_n(d) + \sum_{n=1}^{q} \beta_{ln} z_n(d) + \sum_{n=1}^{q} \gamma_{ln} z_n(d) + \sum_{n=1}^{q} \delta_{ln} z_n(t) + \sum_{n=1}^{q} \varepsilon_{ln} z_n(t) + e_{ijklm}$$

در این مدل، y_{ijklm}: صفت (تولید شیر یا درصد چربی)، HTD_i: اثر iاُمین گله- سال- ماه رکوردگیری، MF_j: اثر دفعات دوشش (دو بار یا سه بار دوشش)، α_{kn}: nاُمین ضریب رگرسیون ثابت برای kاُمین سن- سال- فصل در زمان زایش در تابعی از روزهای شیردهی، β_{ln}: nاُمین‌ضریب‌رگرسیونی‌تصادفی برای اثر تصادفی ژنتیک افزایشی برای lاُمین حیوان در تابعی از روزهای شیردهی، γ_{ln}: nاُمین ضریب رگرسیونی تصادفی برای اثر تصادفی محیط دائمی برای lاُمین دام در تابعی از روزهای شیردهی، δ_{ln}: nاُمین ضریب رگرسیونی تصادفی برای اثر تصادفی ژنتیک افزایشی برای lاُمین حیوان در تابعی از شاخص دما-رطوبت، ε_{ln}: nاُمین ضریب رگرسیونی تصادفی برای اثر تصادفی محیط دائمی برای lاُمین دام در تابعی از شاخص دما-رطوبت، $z_n(d)$: متغیر کمکی برای توصیف منحنی شیردهی رگرسیون‌های ثابت و تصادفی روزهای مختلف شیردهی، $z_n(t)$: متغیر کمکی برای توصیف منحنی شیردهی رگرسیون‌های ثابت و تصادفی شاخص‌های مختلف دما-رطوبت، e_{ijklm}: اثر باقی‌مانده می‌باشد که واریانس باقی‌مانده به صورت همگن درنظر گرفته شد. برای برآورد پارامترهای ژنتیکی، از چندجمله‌ای‌های لژاندر پیشنهاد شده توسط Krikpatric و همکاران (۱۹۹۰) استفاده شد. مولفه‌های واریانس-کواریانسی که برای مدل رگرسیون تصادفی در نظر گرفته شد به صورت زیر است:

$$Var\begin{bmatrix}\beta\\ \delta\\ \gamma\\ \varepsilon\\ e\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{A}\otimes\boldsymbol{G}_{\beta} & \boldsymbol{A}\otimes\boldsymbol{G}_{\beta\delta} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \boldsymbol{A}\otimes\boldsymbol{G}_{\delta\beta} & \boldsymbol{A}\otimes\boldsymbol{G}_{\delta} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \boldsymbol{I}_l\otimes\boldsymbol{P}_{\gamma} & \boldsymbol{I}_l\otimes\boldsymbol{P}_{\gamma\varepsilon} & \cdot \\ \cdot & \cdot & \boldsymbol{I}_l\otimes\boldsymbol{P}_{\varepsilon\gamma} & \boldsymbol{I}_l\otimes\boldsymbol{P}_{\varepsilon} & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \boldsymbol{I}_m\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

$\boldsymbol{G}_{\beta}$ و $\boldsymbol{G}_{\delta}$ به‌ترتیب ماتریس‌های واریانس-کواریانس ضرایب رگرسیون تصادفی ژنتیک افزایشی برای روزهای شیردهی و شاخص دما-رطوبت مختلف؛ $\boldsymbol{G}_{\beta\delta}$، ماتریس واریانس-کواریانس ضرایب رگرسیون تصادفی ژنتیک افزایشی برای ترکیب‌های مختلف روزهای شیردهی و شاخص دما-رطوبت؛ $\boldsymbol{A}$، ماتریس روابط خویشاوندی؛ $\boldsymbol{P}_{\gamma}$ و $\boldsymbol{P}_{\varepsilon}$ به‌ترتیب ماتریس‌های‌واریانس-کواریانس‌ضرایب‌رگرسیون‌تصادفی‌محیط دائمی برای روزهای شیردهی و شاخص دما-رطوبت مختلف؛ $P_{\gamma\varepsilon}$، ماتریس واریانس-کواریانس ضرایب رگرسیون تصادفی محیط دائمی برای ترکیب‌های‌مختلف‌روزهای‌شیردهی‌و‌شاخص دما-رطوبت؛ I_l، ماتریس واحد با ابعاد l×l برای اثر محیط دائمی (l برابر با تعداد حیوانات رکورددار) و σ_e^2، واریانس باقی‌مانده.

برای محاسبه وراثت‌پذیری از فرمول زیر استفاده شد:

$$h^2_{(ij)} = \frac{\sigma^2_{a\beta(i)} + \sigma^2_{a\delta(j)} + 2\sigma_{a\beta\delta(ij)}}{\sigma^2_{a\beta(i)} + \sigma^2_{a\delta(j)} + 2\sigma_{a\beta\delta(ij)} + \sigma^2_{p\gamma(i)} + \sigma^2_{p\varepsilon(j)} + 2\sigma_{p\gamma\varepsilon(ij)} + \sigma^2_e}$$

که $\sigma^2_{a\beta(i)}$ و $\sigma^2_{a\delta(j)}$ به‌ترتیب واریانس ژنتیک افزایشی برای iاُمین روز شیردهی و jاُمین سطح شاخص دما-رطوبت بوده؛ $\sigma^2_{p\gamma(i)}$ و $\sigma^2_{p\varepsilon(j)}$ نیز به‌ترتیب واریانس محیط دائمی برای iاُمین روز شیردهی و jاُمین سطح شاخص دما-رطوبت می‌باشد. $\sigma_{a\beta\delta(ij)}$ و $\sigma_{p\gamma\varepsilon(ij)}$، به‌ترتیب کواریانس‌های ژنتیکی و محیط دائمی برای iاُمین روز شیردهی و jاُمین‌سطح شاخص دما-رطوبت‌هستند و σ^2_e، واریانس باقی‌مانده مدل می‌باشد.

برای برآورد همبستگی ژنتیکی بین روزهای مختلف شیردهی و سطوح مختلف THI از ماتریس (کو)واریانس ژنتیک افزایشی روزهای مختلف شیردهی با ابعاد (۳۰۱×۳۰۱) و یا سطوح مختلف THI با ابعاد (۳۵×۳۵) استفاده شد:

$$r_g = \frac{Cov_{g(i,j)}}{\sqrt{Var_{g(i,i)} \times Var_{g(j,j)}}}$$

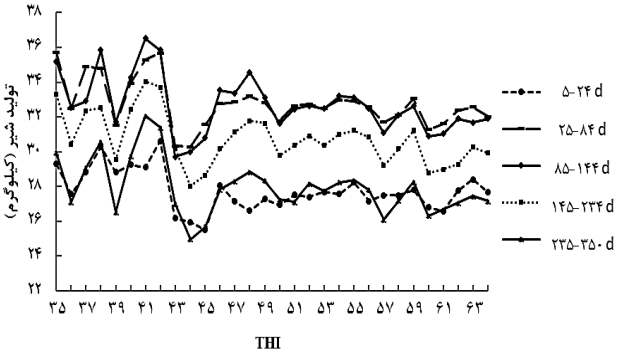
که $Cov_{g(i,j)}$، کواریانس ژنتیکی بین روز (سطح THI) iاُم و jاُم؛ $Var_{g(i,i)}$ و $Var_{g(j,j)}$ به‌ترتیب واریانس ژنتیک افزایشی روز (سطح THI) iاُم و jاُم می‌باشند. همین‌طور از این فرمول برای برآورد همبستگی ژنتیکی بین ترکیبات مختلف DIM×THI نیز استفاده شد.

نتایج

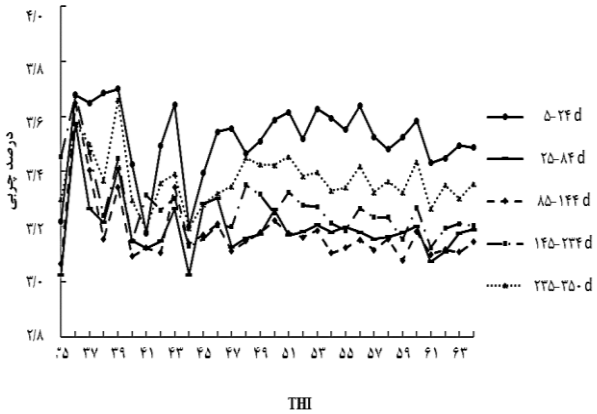
تعداد رکورد و میانگین تولید شیر و درصد چربی شیر در تابعی از شاخص دما-رطوبت (THI) در شکل ۱ نشان داده شده است، به‌طور کلی‌شاخص دما-رطوبت مناطق با آب و هوای مدیترانه‌ای، در محدوده ۵۰ تا ۵۵ بوده و تعداد رکورد در این محدوده بیش‌تر از سایر درجات می‌باشد. شکل‌های ۲ و ۳ به‌ترتیب میانگین تولیدشیر و درصد چربی شیر در بخش‌های مختلف دوره شیردهی در تابعی از شاخص دما-رطوبت را نشان می‌دهند. برای صفت تولید شیر، مخصوصاً در اواسط

دوره شیردهی، کاهش محسوسی در تابعی از شاخص دما-رطوبت اتفاق افتاده است. اما به‌لحاظ آمار توصیفی، کاهش کم‌تری برای درصد چربی مشاهده می‌شود.

شکل ۱: نمودار تعداد رکورد و میانگین تولید شیر و درصد چربی شیر در تابعی از شاخص دما-رطوبت (THI)

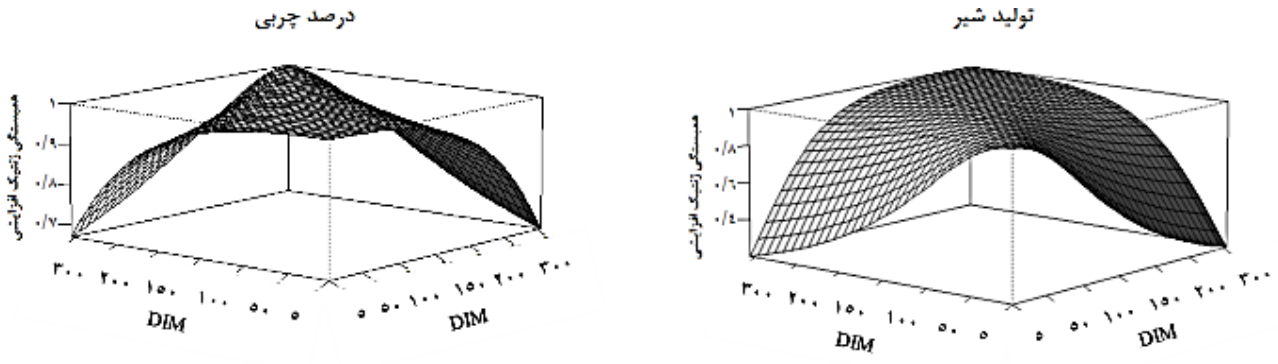


شکل ۲: نمودار میانگین تولید شیر در بخش‌های مختلف دوره شیردهی در تابعی از شاخص دما-رطوبت (THI)

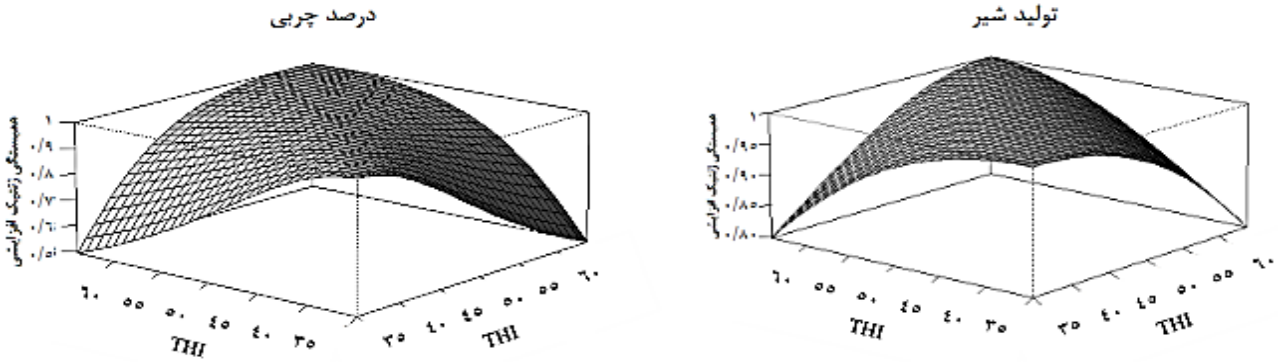


شکل ۳: نمودار میانگین درصد چربی شیر در بخش‌های مختلف دوره شیردهی در تابعی از شاخص دما-رطوبت (THI)

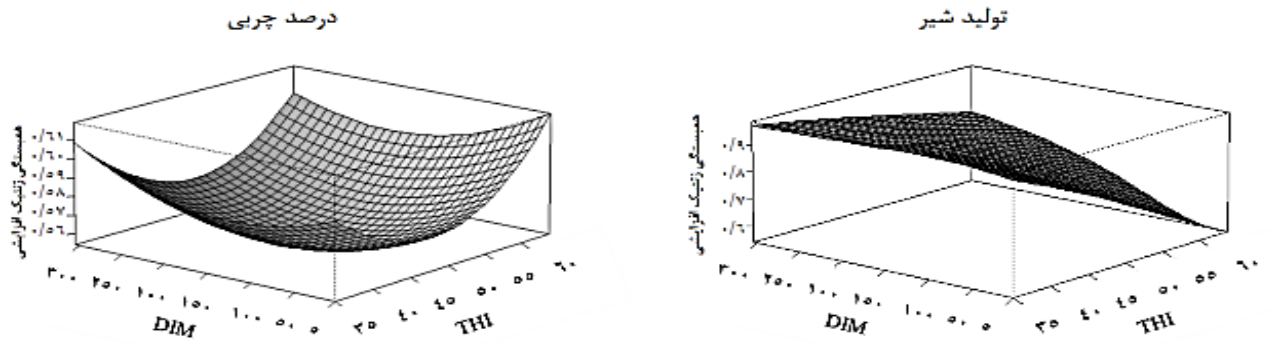
در این تحقیق، شاخص دما-رطوبت به‌عنوان کواریت (متغیر کمکی) در مدل می‌باشد تا بتوان رابطه رگرسیونی تولید شیر و درصد چربی را با این متغیر به‌دست آورد. به‌دلیل معنی‌داری عوامل گله سال- ماه رکوردگیری، دفعات دوشش، سن- سال- فصل زایش، ماه رکوردگیری در سطح یک درصد و شاخص دما-رطوبت در سطح پنج درصد، می‌توان گفت که همه این اثرات تأثیر قابل توجهی بر تولید شیر دارند. شاخص دما-رطوبت یکی از عواملی است که به‌صورت رگرسیونی درنظر گرفته شد و مقدار عددی ضریب b محاسبه شده برای این اثر برابر با ۰/۰۳- برآورد شد و نشان می‌دهد که به‌ازای یک واحد افزایش در شاخص دما-رطوبت تولید شیر، ۳۰ گرم کاهش داشته است. با توجه به این‌که سطح معنی‌داری خیلی پایینی (کم‌تر از ۰/۰۰۰۱) برای اثرات گله- سال- ماه رکوردگیری، دفعات دوشش، سن- سال- فصل زایش و ماه رکوردگیری بر تولید درصد چربی شیر به‌دست آمد، لذا این عوامل تأثیر قابل توجهی بر این صفت دارند. در رابطه با THI، با توجه به این‌که P کم‌تر از ۰/۰۰۰۱ به‌دست آمد، می‌توان گفت که این عامل تأثیر بیش‌تری بر درصد چربی نسبت به تولید شیر دارد. در رابطه با صفت درصد چربی، ضریب رگرسیونی (b) برابر با ۰/۰۱۰- برآورد شد و نشان می‌دهد به‌ازای یک واحد افزایش در شاخص دما-رطوبت، ۰/۰۱۰ درصد کاهش در درصد چربی رخ می‌دهد. همبستگی ژنتیک افزایشی در تابعی از روزهای مختلف شیردهی برای صفات تولید شیر و درصد چربی شیر در شکل ۴ ارائه داده شده است. برای روزهای نزدیک به‌هم، همبستگی ژنتیکی بیش‌تر و با افزایش فاصله بین روزهای شیردهی، مقادیر برآورد شده همبستگی ژنتیکی کم‌تر می‌شود. مؤلفه‌های (کو) واریانس ژنتیک افزایشی در تابعی از شاخص دما-رطوبت برای صفات تولید شیر و درصد چربی شیر برآورد شد. در مقایسه با (کو) واریانس برآورد شده در تابعی از روزهای شیردهی مختلف، مقادیر برآورد شده در تابعی از شاخص دما-رطوبت نسبتاً پایین‌تر است. همبستگی ژنتیک افزایشی در تابعی از شاخص دما رطوبت (THI) برای صفات تولید شیر و درصد چربی شیر در شکل ۵ گزارش شده‌است. مشابه با نتایج به‌دست آمده برای روزهای مختلف شیردهی، با افزایش فاصله بین شاخص‌های دما-رطوبت، همبستگی ژنتیکی کاهش پیدا می‌کند. کاهش همبستگی ژنتیکی برای درصد چربی بیش‌تر از مقدار تولید شیر است که برای این صفت، همبستگی ژنتیکی بین شاخص دما و رطوبت ۳۵ و ۶۴ حدود ۰/۵۰ می‌باشد. ارتباط ژنتیکی بین ترکیبات ممکن DIM×THI در قالب همبستگی ژنتیکی در شکل ۶ نشان داده شده است. برای تولید شیر، بیش‌ترین مقدار همبستگی ژنتیکی برای اواخر دوره شیردهی با شاخص‌های دما-رطوبت کم به‌دست آمد. مقادیر همبستگی ژنتیکی برآورد شده برای این بخش از دوره شیردهی بالاتر از ۰/۸ بود.



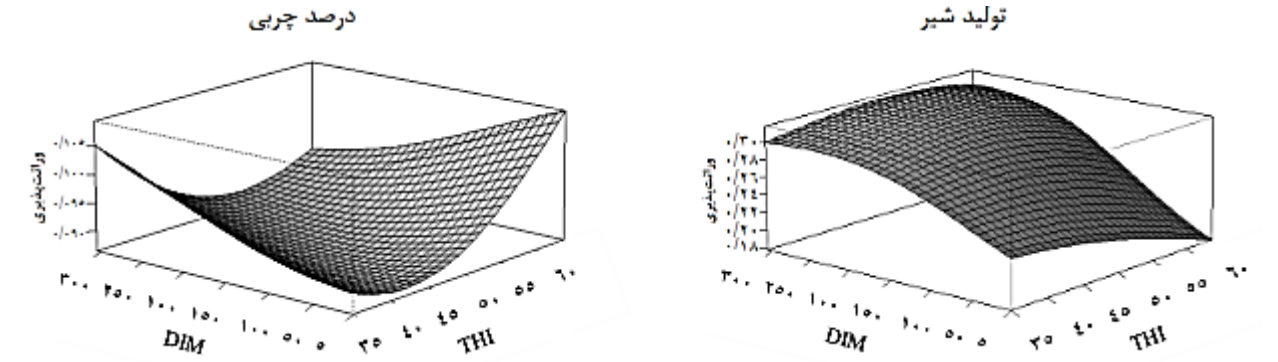
شکل ۴: نمودار همبستگی ژنتیک افزایشی در تابعی از روزهای مختلف شیردهی (DIM) برای صفات تولید شیر و درصد چربی شیر



شکل ۵: نمودار همبستگی ژنتیک افزایشی در تابعی از شاخص دما-رطوبت (THI) برای صفات تولید شیر و درصد چربی شیر



شکل ۶: همبستگی ژنتیک افزایشی روزهای شیردهی(DIM) و شاخص دما-رطوبت(THI) برای صفات تولید و درصد چربی شیر



شکل ۷: نمودار وراثت‌پذیری روزهای شیردهی (DIM) و شاخص دما-رطوبت (THI) برای صفات تولید شیر و درصد چربی شیر

بحث

به‌طورکلی شاخص دما-رطوبت مناطق با آب‌و هوای مدیترانه‌ای، در محدوده ۵۰ تا ۵۵ بوده و تعداد رکورد در این محدوده بیش‌تر از سایر درجات می‌باشد. در حالت کلی، با افزایش شاخص دما-رطوبت، مقدار شیر و درصد چربی شیر کاهش می‌یابد.باتوجه به این‌که شاخص دما-رطوبت رابطه معکوسی با تولید دارد (Brügemann و همکاران، ۲۰۱۱؛ Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۷) لذا این روند کاهش برای صفات تولید شیر و درصد چربی شیر قابل انتظار بود (شکل ۱). برای صفت تولید شیر، مخصوصاً در اواسط دوره شیردهی، کاهش محسوسی در تابعی از شاخص دما-رطوبت اتفاق افتاده است. اما به‌لحاظ آمار توصیفی، کاهش کم‌تری برای درصد چربی مشاهده می‌شود(شکل‌های ۲ و ۳).نتایج مشابهی برای تولید و ترکیبات شیر در تحقیقات Hammami و همکاران (۲۰۰۸) و Brügemann و همکاران (۲۰۱۱) گزارش شده است.

شاخص دما-رطوبت یکی از عواملی است که به‌صورت رگرسیونی درنظر گرفته شد و مقدار عددی ضریب b محاسبه شده برای این اثر برابر با ۰/۰۳- برآورد شد و نشان می‌دهد که به‌ازای یک واحد افزایش در شاخص دما-رطوبت تولید شیر، ۳۰ گرم کاهش داشته است. Aguilar و همکاران (۲۰۱۰)، به این نتیجه رسیدند که کاهش تولید شیر به‌ازای یک واحد افزایش در شاخص دما-رطوبت حدود ۰/۱۵ تا ۰/۳۶ کیلوگرم می‌باشد. هم‌چنین Ravagnolo و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که برای صفت شیر، در شاخص دما رطوبت بالاتر از ۷۲، کاهش تولیدی برابر با ۰/۲ کیلوگرم به‌ازای یک واحد افزایش در شاخص THI رخ می‌دهد. Brügemann و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که براساس شاخص دما-رطوبت تعریف شده، ضریب رگرسیون برابر با ۰/۰۸- کیلوگرم بر THI می‌باشد. با توجه به این‌که در این تحقیق نیز فرمول شاخص دما-رطوبت مشابهی با تحقیق Brügemann و همکاران (۲۰۱۱) استفاده شده بود، بنابراین کاهش تولید شیر نسبتاً مشابهی در تابعی از شاخص دما-رطوبت مشاهده شد. Aguilar و همکاران (۲۰۱۰)، گزارش کردند با افزایش هر ۵ واحد به شاخص دما-رطوبت، روند ژنتیکی مقدار شیر برای دوره شیردهی اول، دوم و سوم به‌ترتیب مقدار ۰/۰۰۲- ، ۰/۰۳۵- و ۰/۰۳۸- کیلوگرم بر روز کاهش پیدا کرده است که نتایج تحقیق حاضر در راستای این گزارشات می‌باشد.

در رابطه با THI، با توجه به این‌که P کم‌تر از ۰/۰۰۰۱ به‌دست آمد، می‌توان گفت که این عامل تأثیر بیش‌تری بر درصد چربی نسبت به تولید شیر دارد. در رابطه با صفت درصد چربی، ضریب رگرسیونی (b) برابر با ۰/۰۱۰- برآورد شد و نشان می‌دهد به‌ازای یک واحد افزایش در شاخص دما-رطوبت، ۰/۰۱۰ درصد کاهش در درصد چربی رخ می‌دهد. Ravagnolo و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که برای صفت درصد چربی شیر در شاخص دما-رطوبت بالاتر از ۷۲، کاهش تولیدی برابر با ۰/۰۰۹ درصد به‌ازای یک واحد افزایش در شاخص THI رخ می‌دهد.

برای روزهای نزدیک به‌هم، همبستگی ژنتیکی بیش‌تر و با افزایش فاصله بین روزهای شیردهی، مقادیر برآورد شده همبستگی ژنتیکی کم‌تر می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج گزارش شده توسط Jakobsen و همکاران(۲۰۰۲)و Bohlouli و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد.

مؤلفه‌های (کو) واریانس ژنتیک افزایشی در تابعی از شاخص دما-رطوبت برای صفات تولید شیر و درصد چربی شیر برآورد شد. در مقایسه با (کو) واریانس برآورد شده در تابعی از روزهای شیردهی مختلف، مقادیر برآورد شده در تابعی از شاخص دما-رطوبت نسبتاً پایین‌تر است. با این‌حال نشان می‌دهد که تولید شیر و درصد چربی شیر تحت تأثیر شاخص دما-رطوبت قرار می‌گیرند و نشان از وجود استرس گرمایی در درجات مختلفی از شاخص دما-رطوبت می‌باشد (Brügemann و همکاران، ۲۰۱۱؛ Bohlouli و همکاران، ۲۰۱۳). برای این صفت، با افزایش فاصله بین شاخص‌های دما-رطوبت، کواریانس ژنتیکی کاهش می‌یابد که مطابق با نتایج گزارش شده توسط Brügemann و همکاران (۲۰۱۱) می‌باشد.

مشابه با نتایج به‌دست آمده برای روزهای مختلف شیردهی، با افزایش فاصله بین شاخص‌های دما-رطوبت، همبستگی ژنتیکی کاهش پیدا می‌کند. کاهش همبستگی ژنتیکی برای درصد چربی بیش‌تر از مقدار تولید شیر است که برای این صفت، همبستگی ژنتیکی بین شاخص دما و رطوبت ۳۵ و ۶۴ حدود ۰/۵۰ می‌باشد. با توجه به این‌که وجود همبستگی ژنتیکی کم‌تر از ۰/۸۰ دلیلی بر وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط می‌باشد(Robertson، ۱۹۵۹)،لذا نتایج نشان می‌دهد که برای درصد چربی شیر اثر متقابل ژنوتیپ و محیط قابل توجهی وجود دارد و این صفت بیش‌تر تحت تأثیر استرس گرمایی قرار می‌گیرد. زیاد بودن اثر متقابل ژنوتیپ و محیط نشان می‌دهد که گاوهایی که برای شاخص دما-رطوبت پایین (مناطق سردسیر و یا فصول سرد) دارای رتبه بهتری هستند، در مناطق گرمسیر و فصول گرم دارای رتبه پایین‌تری هستند. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که باید گاوهای نر خاص (سازگار) برای محیط‌های مدنظر انتخاب شوند. در تحقیق که توسط Savar sofla و همکاران(۲۰۱۱) انجام شده است، همبستگی ژنتیکی پایین‌تری برای مقدار چربی(۰/۱۶ تا ۱/۰۰)بین مناطق مختلف نسبت به مقدار شیر (۰/۶۶ تا ۱/۰۰) برآورد شده است. این محققین نشان دادند که اثر متقابل معنی‌داری برای هر دو صفت وجود دارد و

میزان اثر متقابل برای مقدار چربی بیش‌تر است که نتایج این تحقیق مطابق با گزارش این محققین می‌باشد.

برای تولید شیر، بیش‌ترین مقدار همبستگی ژنتیکی برای اواخر دوره شیردهی با شاخص‌های دما-رطوبت کم به‌دست آمد. مقادیر همبستگی ژنتیکی برآورد شده برای این بخش از دوره شیردهی بالاتر از ۰/۸ بود. همان‌طورکه اشاره شده است، Robertson و همکاران (۱۹۵۹) پیشنهاد کرده‌اند زمانی‌که همبستگی ژنتیکی افزایشی بین محیط‌های مختلف بزرگ‌تر از ۰/۸۰ باشد اثر متقابل G×E مهم نخواهد بود. لذا در این بخش از دوره شیردهی با شاخص‌های دما-رطوبت کم، اثر متقابل ژنوتیپ و محیط قابل توجهی مشاهده نشد. اما برای اوایل دوره‌شیردهی با درنظر گرفتن‌شاخص‌های دما-رطوبت بالا، همبستگی ژنتیکی کم‌تری (کم‌تر از ۰/۷) برآورد شده است که کم‌ترین همبستگی ژنتیکی بین روز ۵اُم شیردهی و شاخص دما-رطوبت ۶۴ می‌باشد و مقدار آن حدود ۰/۵۵ است. بنابراین برای مقدار شیر اثر متقابل قابل ملاحظه‌ای برای اواسط و اواخر دوره‌شیردهی در محیط‌های مختلف (شاخص دما-رطوبت‌های مختلف) مشاهده نشد. با توجه به کم بودن همبستگی ژنتیکی، به این نکته می‌توان پی برد که اثر متقابل G×E محسوسی در این بازه وجود دارد و استرس گرمایی عامل مهمی بر تغییر رتبه‌بندی دام‌ها در شاخص‌های دما-رطوبت مختلف است (Bohmanova و همکاران، ۲۰۰۷؛ Brügemann و همکاران، ۲۰۱۲). در حالت کلی، دام‌ها در شاخص‌های دما-رطوبت زیاد، کاهش تولید دارند، با این‌حال افت تولید بعضی از حیوانات بیش‌تر از سایر حیوانات می‌باشد و در واقع اثر متقابل G×E وجود دارد.

اثر متقابل G × E با تغییرات (کو) واریانس‌های ژنتیکی در محیط‌های‌مختلف‌در ارتباط می‌باشد (Hammami و همکاران، ۲۰۰۸؛ Brügemann و همکاران، ۲۰۱۱). هرچقدرواریانس‌های‌بین‌محیط‌های مشخص شده، تفاوت بیش‌تری داشته باشند، احتمال وجود اثر متقابل بیش‌ترخواهد بود. زمانی‌که فقط دو محیط مطالعه می‌شود مدل شامل یک آنالیز دوصفتی خواهد بود که برای محاسبه همبستگی ژنتیکی، کواریانس ژنتیکی بین دو محیط مورد استفاده قرار خواهد گرفت. اگر بیش از دو محیط وجود داشته باشد، آنالیز چندمتغیره مورد استفاده قرار می‌گیرد و همبستگی‌ژنتیکی‌برای‌تمامی‌محیط‌ها برآورد می‌گردد. در این تحقیق هر واحد از شاخص دما-رطوبت (از ۳۵ تا ۶۴) به‌عنوان محیط‌های مختلف درنظر گرفته شده است و برای همبستگی ژنتیکی، هر گونه انحراف از یک (به‌عبارت دیگر وجود همبستگی ژنتیکی کم‌تر از یک) می‌تواند‌دلیلی بر تفاوت بیان‌ژنتیکی‌در‌محیط‌های(شاخص‌های دما-رطوبت) مختلف باشد و این نشان می‌دهد که محیط‌های مختلف تأثیرات متفاوتی بر تولید می‌گذارند و اثر متقابل و هم‌چنین استرس گرمایی وجود دارد (Brügemann و همکاران، ۲۰۱۲؛ Jakobsen و همکاران، ۲۰۰۲).

با توجه به این‌که درجه همبستگی حاصل از پلیوتروپی، وسعت تأثیرپذیری دو صفت را توسط تک‌ژن‌ها مشخص می‌کند، زمانی‌که همبستگی ژنتیک افزایشی بین دو واحد THI مختلف پایین باشد و نیز نظر به این‌که همبستگی ناشی از پلیوتروپی که اثر برآیندی یا اثر خالص تمام ژن‌های مؤثر بر صفت را نشان می‌دهد، می‌توان گفت تمام ژن‌هایی که برای واحد خاصی از THI تأثیرگذار هستند به همان شدت و با همان تعداد، برای واحد دیگر THI تأثیر نمی‌گذارندو مکانیسم‌های فیزیولوژیکی تا حدی متفاوت خواهند بود و در نتیجه ژن‌های لازم برای‌عملکرد‌تا اندازه‌ای متفاوت خواهند بود (Brügemann و همکاران، ۲۰۱۲) که این مورد برای ترکیبات مختلف شاخص دما-رطوبت و روزهای شیردهی نیز صادق است (Brügemann و همکاران، ۲۰۱۲؛ Bohlouli و همکاران، ۲۰۱۴).

وراثت‌پذیری یکی دیگر از پارامترهای ژنتیکی مهم مرتبط با استرس گرمایی بوده و تغییر در آن در تابعی از شاخص دما-رطوبت، منعکس‌کننده تغییر در سهم واریانس ژنتیکی صفت مدنظر و به‌تبع آن وجود استرس گرمایی است (Brügemann و همکاران، ۲۰۱۲؛ Bohlouliوهمکاران،۲۰۱۳؛Bohmanovaوهمکاران، ۲۰۰۷).در تابعی از روزهای شیردهی با رسیدن به اواخر دوره شیردهی، وراثت‌پذیری افزایش‌و در تابعی از شاخص دما-رطوبت با افزایش THI، وراثت‌پذیری کاهش می‌یابد (شکل ۷). به‌عبارت دیگر، در اوایل دوره شیردهی، واریانس باقی‌مانده بیش‌تر و واریانس ژنتیکی کم‌تر است و با افزایش THI مقدار واریانس باقیماتده افزایش و وراثت‌پذیری کاهش می‌یابد. بنابراین‌بیش‌ترین‌وراثت‌پذیری‌برای روز شیردهی ۳۰۵اُم برای شاخص دما- رطوبت‌های مختلف حاصل گردید. Aguilar و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که با رسیدن به اواخر دوره شیردهی، وراثت‌پذیری تولید شیر افزایش می‌یابد. هم‌چنین با رسیدن به شاخص دما-رطوبت بیش‌تر، وراثت‌پذیری نیز افزایش می‌یابد. رشیدی و میرزامحمدی (۱۳۹۳) گزارش کردند که وراثت‌پذیری در اقلیم سرد، نیمه‌سرد، معتدل و گرم به‌ترتیب ۰/۰۱±۰/۲۵، ۰/۰۱±۰/۲۷، ۰/۰۱±۰/۲۷ و ۰/۰۱±۰/۲۱ می‌باشد. در تحقیق انجام گرفته توسط Bohlouli و همکاران (۲۰۱۴) که گله‌های موجود در ایران به لحاظ شرایط آب و هوایی‌منطقه‌پرورشی‌به‌چهارگرم،نیمه‌گرم، معتدل و سرد گروه تقسیم شده بودند، به این نتیجه رسیدند که وراثت‌پذیری در مناطق گرم کم‌ترین و در مناطق سرد بیش‌ترین مقدار است. تحقیقاتی که در این بخش به آن‌ها اشاره شد، مطابق با کم بودن وراثت‌پذیری در شاخص دما-رطوبت بیش‌تر است،زیرا مناطقی‌که‌شاخص‌دما-رطوبت‌بیش‌تری دارند جز مناطق و یا فصول گرم محسوب می‌شوند.

به‌طورکلی، وراثت‌پذیری برآورد شده برای صفات مورد مطالعه بالاتر از وراثت‌پذیری برآورد شده در برخی مطالعات به‌دست آمد. زمانی‌که یک اثر تصادفی به مدل اضافه می‌شود و یا سایر عوامل مؤثر بر صفت به مدل اضافه می‌شوند می‌توانند واریانس باقی‌مانده را کم‌تر کنند که این حالت با افزودن رکوردهایی از محیط‌های مختلف می‌تواند باعث برآوردهای بالاتری از وراثت‌پذیری شود. عبدالله‌پور و همکاران (۲۰۱۳) وقتی از اطلاعات چندین گله به‌جای یک گله استفاده کردند، به این نتیجه رسیدند که وراثت‌پذیری افزایش می‌یابد. با توجه به این که در کشور ایران اقلیم‌های آب و هوایی مختلف و مخصوصاً تغییرات آب و هوایی در فصول مختلف وجود دارد و هم‌چنین گله‌ها با سیستم‌های تغذیه‌ای و مدیریتی مختلفی پرورش می‌یابند، بنابراین درنظر نگرفتن این عوامل می‌تواند منجر به افزایش واریانس باقی‌مانده شده و وراثت پذیری صفت کم‌تر شود (عبدالله‌پور و همکاران، ۲۰۱۳). درنظر گرفتن اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بخشی از (کو) واریانس ژنتیک افزایشی موجود بین محیط‌های مختلف را برآورد می‌کند و در نتیجه باعث می‌شود وراثت‌پذیری بالاتری برآورد شود.

نتایج این تحقیق نشان داد به‌ازای یک واحد افزایش در شاخص دما-رطوبت تولید شیر به‌مقدار ۳۰ گرم کاهش می‌یابد و برای درصد چربی شیر، شاخص دما-رطوبت تأثیر بیش‌تری بر درصد چربی نسبت به تولید شیر داشت و نشان داده شد که به‌ازای یک واحد افزایش در شاخص دما-رطوبت، ۰/۰۱۰ درصد کاهش در درصد چربی رخ می‌دهد. به این ترتیب می‌توان بیان کرد که تولید شیر و درصد چربی شیر در بخش‌های مختلف دوره شیردهی تحت تأثیر مجموعه مختلفی از ژن‌ها کنترل می‌شود و وراثت‌پذیری متفاوتی در روزهای مختلف شیردهی برآورد می‌شود. از طرفی برای شاخص دما-رطوبت مختلف، برآوردهای ژنتیکی متفاوتی به‌دست آمد و وراثت‌پذیری هر یک از صفات در تابعی از این شاخص دارای تغییرات قابل توجهی بود، صفات مورد مطالعه (تولید شیر و درصد چربی) را می‌توان در تابعی از شاخص دما-رطوبت به‌عنوان صفات مختلف درنظر گرفت. پتانسیل ژنتیکی حیوان می‌تواند نقش مهمی در کنترل میزان کاهش تولید شیر گله در شرایط آب و هوایی استرس‌زا ایفا کند.

باافزایش فاصله بین شاخص‌های دما-رطوبت، همبستگی ژنتیکی کم‌تری برآورد شد به‌طوری‌که کاهش همبستگی ژنتیکی بیش‌تری برای درصد چربی نسبت به‌مقدار تولید شیر به‌دست آمد. برای درصد چربی، همبستگی ژنتیکی بین شاخص دما و رطوبت ۳۵ و ۶۴ حدود ۰/۵۰ می‌باشد که نشان می‌دهد برای درصد چربی شیر اثر متقابل ژنوتیپ و محیط قابل توجهی وجود دارد و این صفت بیش‌تر تحت تأثیر استرس گرمایی قرار می‌گیرد. وجود اثر متقابل G×E بالا نشان دهنده این واقعیت است که باید برای هر محیطی، گاو نر خاصی انتخاب شود و می‌توان گفت که با وارد کردن اطلاعات آب‌وهوایی یا سایر توصیف‌گرهای محیطی در پیش‌بینی‌های ارزش‌های اصلاحی، می‌توان دام‌های با مقاومت بالا را برای تشکیل نسل بعد انتخاب کرد. به‌عبارت دیگر، همبستگی ژنتیکی پایین‌تر از ۰/۸۰ برای شاخص‌های دما-رطوبت مختلف نشان می‌دهد که باید گاوهای نر خاص (سازگار) برای محیط‌های مدنظر انتخاب شوند.

منابع

۱. **رشیدی، ا. و میرزامحمدی، ا.، ۱۳۹۳.** برآورد اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای صفات تولیدی در گاوهای هلشتاین ایران. نشریه علوم دامی (پژوهش و سازندگی). شماره ۲۷، صفحات ۲۵ تا ۳۲.

۲. **مقدس‌زاده‌اهرابی، س.، ۱۳۸۱.** بررسی پتانسیل ژنتیکی یک گله گاو هلشتاین با استفاده از رکوردهای روز آزمون و مدل رگرسیون تصادفی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد ژنتیک و اصلاح نژاد دام. دانشکده کشاورزی. دانشگاه زنجان.

۳. **Abdullahpour, R.; MoradiShahrbabak, M.; Nejati Javaremi, A.; Vaez Torshizi, R. and Mrode, R., 2013.** Genetic analysis of milk yield, fat and protein content in Holstein dairy cows in Iran: legendre polynomials random regression model applied. Arch. Tierz. Vol. 56, pp: 497-508.

۴. **Aguilar, I.; Misztal, I. and Tsuruta, S., 2010.** Short communication. Genetic trends of milk yield under heat stress for US Holsteins. J. Dairy Sci. Vol. 93, pp: 1754-1758.

۵. **Bohlouli, M.; Shodja, J.; Alijani, S. and Eghbal, A., 2013.** The relationship between temperature-humidity index and test-day milk yield of Iranian Holstein dairy cattle using random regression model. Livest. Sci. Vol. 157, pp: 414-420.

۶. **Bohlouli, M.; Shodja, J.; Alijani, S.and Pirany, N., 2014.** Interaction between genotype and geographical region for milk production traits of Iranian Holstein dairy cattle. Livest. Sci. Vol. 169, pp: 1-9.

۷. **Bohmanova, J.; Misztal, I. and Cole, J.B., 2007.** Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. J. Dairy Sci. Vol. 90, pp: 1947-1956.

۸. **Bohmanova, J.; Misztal, I.; Tsuruta, S.; Norman, H.D. and Lawlor, T.J., 2008.** Short communication: genotype by environment interaction due to heat stress. J. Dairy Sci. Vol. 91, pp: 840-846.

۹. **Brügemann, K.; Gernand, E.; König, U. and König, S., 2012.** Defining and evaluating heat stress thresholds in different dairy cow production systems. Arch. Tierz. Vol. 1, pp: 13-24.

۱۰. **Brügemann, K.; Gernand, E.; König von Borstel, U. and König, S., 2011.** Genetic analyses of protein yield in dairy cows applying random regression models with time dependent and temperature×humidity-dependent covariates. J. Dairy Sci. Vol. 94, pp: 4129-4139.

۱۱. **Correa-Calderon, A.; Armstrong, D.; Ray, D.; DeNise, S.; Enns, M. and Howison, C., 2004.** Thermoregulatory responses of Holstein and Brown Swiss heat-stressed dairy cows to two different cooling systems. Int. J. Biometeorol. Vol. 48, pp: 142-148.

۱۲. **Hammami, H.; Rekik, B.; Soyeurt, H.; Bastin, C. and Gengler, N., 2008.** Genotype × environment interaction for

milk yield in Holsteins using Luxembourg and Tunisian populations. J. Dairy Sci. Vol. 91, pp: 3661-3671.

۱۳. **Igono, M.O. and Johnson, H.D., 1990.** Physiological stress index of lactating dairy cows based on diurnal pattern of rectal temperature. J. Interdiscip. Cycle Res. Vol. 21, pp: 303-320.

۱۴. **Jakobsen, J.H.P.; Madsen, J.; Jensen, J.; Pedersen, L.G. and Sorensen, D.A., 2002.** Genetic Parameters for Milk Production and Persistency for Danish Holsteins Estimated in Random Regression Models using REML. J. Dairy Sci. Vol. 85, pp: 1607-1616.

۱۵. **Krikpatric, M.; Lofsvold, D. and Bulmer, M., 1990.** Analysis of the inheritance, selection and evaluation of growth trajectories. Journal Genetics. Vol. 124, pp: 979-993.

۱۶. **National Research Council (NRC). 1971.** A guide to environmental research on animals. Natl. Acad. Sci., Washington, DC. Regional Operations Manual Letter C-31-76, Kansas City, MO, USA.

۱۷. **Pragna, P.; Archana, P.R.; Aleena, J.; Sejian, V.; Krishnan, G.; Bagath, M.; Manimaran, A.; Beena, V.; Kurien, E.K.; Varma, G. and Bhatta, R., 2017.** Heat Stress and Dairy Cow: Impact on Both Milk Yield and Composition. International J. Dairy Sci. Vol. 12, pp: 1-11.

۱۸. **Ravagnolo, O.; Misztal, I. and Hoogenboom, G., 2000.** Genetic Component of Heat Stress in Dairy Cattle, Development of Heat Index Function. J Dairy Sci. Vol. 83, pp: 2120-2125.

۱۹. **Robertson, A., 1959.** The sampling variance of the genetic correlation coefficient. Biometrics. Vol. 15, pp: 469-485.

۲۰. **Rojas-Downing, M.M.; Nejadhashemi, A.P.; Harrigan, T. and Woznicki, S.A., 2017.** Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. Climate Risk Management. Vol. 16, pp: 145-163.

۲۱. **Savar Sofla, S.; TaheriDezfuli, B. and Mirzaei, F., 2011.** Interaction between genotype and climates for Holstein milk production traits in Iran. African Journal of Biotechnology. Vol. 10, pp: 11582-11587.