

## مدل‌سازی و ارزیابی ژنتیکی متغیر پنهان رشد در گوسفند کرمانی

مرتضی مختاری<sup>۱</sup>، زهرا رودباری<sup>۱</sup>، نجمه کارگر برزی<sup>۲</sup>، محمد سفلائی شهربابک<sup>۳</sup> و محمد رضا قاندى فر<sup>۳</sup>

شماره صفحات

۵۰-۶۱

(۱) دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.

(۲) استادیار بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز آموزش و تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، کرمان، ایران.

(۳) کارشناس ارشد علوم دامی، بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز آموزش و تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، کرمان، ایران.

\*نویسنده مسئول: [msmokhtari@ujiroft.ac.ir](mailto:msmokhtari@ujiroft.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸

### چکیده

این پژوهش با هدف شناسایی متغیر پنهان رشد در گوسفند کرمانی، ارزیابی مدل اندازه‌گیری توصیف کننده این متغیر و نیز ارزیابی ژنتیکی آن با استفاده از اطلاعات شجره و رکوردهای جمع آوری شده طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۲ در ایستگاه اصلاح نژاد گوسفند کرمانی، واقع در شهرستان شهربابک، استان کرمان انجام شد. از داده‌های صفات وزن‌های تولد، شیرگیری، شش ماهگی، نه ماهگی و دوازده ماهگی برای تشکیل یک متغیر پنهان به نام رشد استفاده شد. مدل اندازه‌گیری به کار رفته برای تشکیل متغیر پنهان با استفاده از تکنیک تحلیل عاملی تأییدی اجرا شد و با به کارگیری معیارهای آماری نکویی برازش شامل جذر استاندارد شده میانگین مربعات باقی مانده (RMSEA) شاخص تاکر-لوئیس (TLI) و شاخص برازش مقایسه‌ای (CFI) ارزیابی شد. مقادیر RMSEA، TLI و CFI به ترتیب ۰/۰۵، ۰/۹۹ و ۰/۹۹ به دست آمدند که نشان دهنده کفایت سازه ایجاد شده برای سنجش متغیر پنهان رشد در گوسفند کرمانی است. وراثت پذیری متغیر پنهان رشد ۰/۳۴ برآورد شد. همبستگی‌های ژنتیکی، فنوتیپی و محیطی رشد با صفات وزن بدن مقادیر مثبتی برآورد شدند. به علاوه، همبستگی‌های رتبه‌ای اسپیرمن بین ارزش‌های اصلاحی متغیر پنهان رشد با صفات وزن بدن گوسفند کرمانی مقادیر مثبت و بالایی بودند که نشان می‌دهد انتخاب افراد برتر برای متغیر پنهان رشد، می‌تواند سبب انتخاب افراد برتر برای صفات وزن بدن (به جز وزن تولد) شود.

**کلمات کلیدی:** تحلیل عاملی تأییدی، نکویی برازش، وزن بدن و مدل دام.

## مقدمه

تولید گوشت به عنوان یک منبع تامین پروتئینی مهمترین دلیل پرورش گوسفند در ایران می‌باشد. صفات رشد از جمله مهمترین صفات اقتصادی در نژادهای مختلف گوسفند می‌باشند که در نظر گرفتن آنها در تدوین برنامه‌های اصلاح نژادی گوسفندان ضروری است. در برنامه‌های اصلاح نژادی گوسفند، صفات متعددی مانند وزن بدن در سنین مختلف و افزایش وزن روزانه در دوره‌های مختلف پرورش به عنوان صفات رشد در نظر گرفته شده‌اند (Mokhtari *et al.*, Rashidi *et al.*, 2008). با توجه به تعدد صفات مهم اقتصادی در دام‌های اهلی استفاده از مدل‌های تجزیه و تحلیل ژنتیکی چند صفتی به دلیل برآوردهای صحیح‌تر از ارزش‌های اصلاحی حیوانات و فراسنجه‌های ژنتیکی صفات اهمیت و ارجحیت دارد (Gianola and Sorensen, 2004). در مدل‌های چند صفتی همزمان با افزایش تعداد صفات دخیل در تجزیه و تحلیل ژنتیکی تعداد فراسنجه‌های مدل نیز افزایش می‌یابد که این امر سهولت محاسباتی را کاهش داده و تفسیر روابط بین صفات را نیز پیچیده‌تر خواهد کرد (Silva *et al.*, 2021). علاوه بر این، با افزایش تعداد صفات، توسعه روش‌های آماری برای ترکیب کردن صفات، مشکل و پیچیده می‌شود به ویژه وقتی که نیاز به محاسبه ارزش‌های اقتصادی برای هر صفت نیز باشد (Yu *et al.*, 2019). از طرف دیگر با افزایش تعداد صفات در برنامه انتخاب، پیشرفت ژنتیکی برای هر صفت نیز کاهش می‌یابد.

یک روش مناسب برای برطرف کردن چنین مشکلاتی در تجزیه و تحلیل ژنتیکی چند متغیره، تشکیل یک یا تعداد محدودی متغیر پنهان<sup>۱</sup> از این صفات است که با کاهش ابعاد داده‌ها پیچیدگی مدل و تعداد زیاد فراسنجه‌ها<sup>۲</sup> را کاهش می‌دهد (Silva *et al.*, 2021). متغیرهای پنهان، متغیرهایی هستند که مستقیماً قابل اندازه‌گیری نیستند و بلکه خود حاصل از چندین متغیر قابل اندازه‌گیری می‌باشند (Silva *et al.*, 2021). مدل‌سازی متغیرهای پنهان امکان بررسی پدیده‌های زیستی پیچیده مانند رشد را فراهم می‌کند، چرا که این پدیده‌ها اغلب خود شامل مجموعه‌ای از صفات مختلف قابل اندازه‌گیری نیز می‌باشند (Leal-Gutierrez *et al.*, 2018). از جمله روش‌های آماری کارآمد برای تشکیل متغیرهای پنهان و ارزیابی آنها، مدل‌سازی معادلات ساختاری<sup>۳</sup> است. مدل‌سازی معادلات ساختاری یک تکنیک پیشرفته آماری است که در برای شناسایی روابط علی<sup>۴</sup> بین متغیرها پیشنهاد شد (Wright, 1921). به طور کلی، مدل‌های معادلات ساختاری ترکیبی از مدل اندازه‌گیری<sup>۵</sup> و مدل ساختاری<sup>۶</sup> هستند. مدل اندازه‌گیری در مدل‌سازی معادلات ساختاری یک مدل تحلیل عاملی تائیدی<sup>۷</sup> است که رابطه بین متغیرهای قابل مشاهده و پنهان را نشان می‌دهد و اگر بین متغیرهای پنهان رابطه علی و معلولی وجود داشته باشد برای توصیف چنین روابطی از مدل

<sup>1</sup> - Latent variable

<sup>2</sup> - Overparametrization

<sup>3</sup> - Structural equation modeling

<sup>4</sup> - Causal relationships

<sup>5</sup> - Measurement model

<sup>6</sup> - Structural model

<sup>7</sup> - Confirmatory factor analysis

ساختاری استفاده می‌شود (Schumacker and Lomax, 1996) که کارایی آنها در پژوهش‌های ژنتیک کمی نشان داده شده است به گونه‌ای که در صورت وجود روابط علی بین صفات و در نظر نگرفتن این روابط در ارزیابی‌های ژنتیکی، برآوردهای مربوط به پارامترهای ژنتیکی و ارزش‌های اصلاحی افراد اریب خواهند بود (Gianola and Sorensen, 2004).

در سالیان اخیر پژوهش‌های متعددی برای تشکیل و تجزیه و تحلیل متغیرهای پنهان در دام‌های اهلی با استفاده از صفات اقتصادی مختلف انجام شده است. در پژوهشی چهار صفت وزن بدن خوک در سنین ۶، ۱۰، ۱۳ و ۱۶ هفتگی با یکدیگر تلفیق شده و متغیر پنهانی به نام رشد تشکیل شد و با استفاده از مدل‌های معادلات ساختاری ارتباط علی این متغیر پنهان با دیگر متغیرهای پنهان شامل چربی لاشه (حاصل از ۴ صفت)، کیفیت لاشه (حاصل از ۳ صفت) و مزه گوشت (حاصل از ۴ صفت) بررسی شد (Penagaricano *et al.*, 2015). در پژوهشی دیگر با استفاده از ۲۶ صفت مربوط به کمیت و کیفیت شیر و نیز ویژگی‌های مرتبط با تولید پنیر در گاوهای شیری، ۱۰ متغیر پنهان تشکیل و کارآمدی این روش آماری برای کاهش ابعاد داده‌ها ارزیابی شد (Dadousis *et al.*, 2018). نتایج حاصل از این پژوهش کارآمدی متغیرهای پنهان تشکیل شده را در ارزیابی ژنتیکی و برآورد پارامترهای ژنتیکی صفات مذکور را نشان داد. در پژوهش دیگری با استفاده از داده‌های ابعاد بدن شامل طول بدن، ارتفاع بدن، عرض سینه، دور سینه و دور شکم در خوک‌های نژاد یورکشایر<sup>۸</sup>، متغیر پنهانی به نام اندازه بدن<sup>۹</sup> تعریف و کارآمدی آن با استفاده از معیارهای آماری ارزیابی و تأیید شد (Sanjari Banestani *et al.*, 2023). این پژوهشگران وراثت پذیری متغیر پنهان اندازه بدن را ۰/۴۵ گزارش کردند.

گوسفند کرمانی یک نژاد متوسط جثه و دو منظوره گوشتی-پشمی است که عمدتاً در استان کرمان توسط دامداران و عشایر با هدف تولید گوشت پرورش داده می‌شود. پژوهش‌های مختلفی برای ارزیابی ژنتیکی صفات مرتبط با رشد در گوسفندان کرمانی انجام شده است (Mokhtari *et al.*, 2008; Rashidi *et al.*, 2008). ولی تاکنون پژوهشی برای ارزیابی ژنتیکی و برآورد فراسنجه‌های ژنتیکی مجموعه‌ای از صفات مرتبط با رشد تحت عنوان یک متغیر پنهان در گوسفند انجام نشده است. بنابراین، هدف از پژوهش کنونی، تعریف یک متغیر پنهان برای رشد در گوسفند کرمانی با استفاده از داده‌های وزن بدن این نژاد در سنین مختلف تولد تا یک سالگی، برآورد پارامترهای ژنتیکی این متغیر پنهان با در نظر گرفتن نقش اثرات مادری بر بروز آن و نیز برآورد همبستگی‌های ژنتیکی، فنوتیپی و محیطی این متغیر پنهان با متغیرهای قابل مشاهده مربوطه می‌باشد. به علاوه، همبستگی‌های رتبه‌ای اسپیرمن<sup>۱۰</sup> ارزش‌های اصلاحی افراد برای متغیر پنهان رشد و هر کدام از صفات وزن بدن نیز محاسبه شد.

<sup>8</sup> - Yorkshire

<sup>9</sup> - Body size

<sup>10</sup> - Spearman's rank correlation

## مواد و روش‌ها

اطلاعات مورد استفاده در پژوهش کنونی شامل داده‌های وزن بدن و اطلاعات شجره بره‌های متولد شده طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۲ در ایستگاه پرورش و اصلاح نژاد گوسفند کرمانی، واقع در شهرستان شهربابک، استان کرمان، بودند. صفات در نظر گرفته شده برای تشکیل متغیر پنهان رشد، وزن تولد، وزن شیرگیری (سه ماهگی)، وزن شش ماهگی، وزن نه ماهگی و وزن دوازده ماهگی بودند که آمار توصیفی آنها در جدول ارائه شده است. برای بررسی تأثیر اثرات ثابت سن مادر، سال تولد و تیپ تولد بر صفات مورد نظر از رویه GLM نرم افزار SAS استفاده شد (SAS, 2004).

جدول ۱- آمار توصیفی صفات وزن بدن گوسفند کرمانی در سنین مختلف

Table 1. Descriptive statistics for body weight traits of Kermani sheep at different ages

صفات (کیلوگرم) Trait (kg)	تعداد رکورد Number of records	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	کمینه Minimum	بیشینه Maximum
وزن تولد Birth weight (BWT)	2744	3.31	0.43	2.05	4.50
وزن شیرگیری Weaning weight (WWT)	2687	21.03	4.31	11.50	36.00
وزن شش ماهگی Six months weight (SIXWT)	2099	23.72	4.68	12.50	42.50
وزن نه ماهگی Nine months weight (NINEWT)	1874	23.87	5.24	13.20	43.00
وزن دوازده ماهگی Twelve months weight (YWT)	1532	22.49	5.32	12.50	47.50

برای شناسایی متغیر پنهان رشد، با استفاده از رکوردهای وزن بدن بره‌های کرمانی از زمان تولد تا دوازده ماهگی، از تکنیک تحلیل عاملی تأییدی و مدل ذکر شده در رابطه (۱) استفاده شد:

$$\mathbf{X} = \mathbf{\Lambda}\boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\delta} \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه (۱)،  $\mathbf{X}$  ماتریس متغیرهای قابل اندازه‌گیری (وزن تولد، وزن شیرگیری، وزن شش ماهگی، وزن نه ماهگی و وزن دوازده ماهگی)،  $\boldsymbol{\xi}$  بردار متغیر پنهان،  $\mathbf{\Lambda}$  ماتریس در بردارنده بارهای عاملی<sup>۱۱</sup> است که متغیر پنهان را به متغیرهای قابل اندازه‌گیری مرتبط می‌کند و  $\boldsymbol{\delta}$  بردار باقی‌مانده‌ها می‌باشند. برازش مدل تحلیل عاملی تأییدی با استفاده از روش حداکثر درست‌نمایی و با کمک بسته نرم افزاری lavaan (Rosseel, 2012) تحت محیط R (R Core Team, 2021) انجام شد. از معیارهای آماری جذر استلندارد شده میانگین مربعات باقی‌مانده (SRMR)<sup>۱۲</sup> (Steiger, 1990)، شاخص تاکر-لوئیس

<sup>11</sup> - Factor loadings

<sup>12</sup> - Standardized root mean square residual

مدل‌سازی و ارزیابی ژنتیکی متغیر (Bentler, 1990) <sup>۱۳</sup>(TLI) و شاخص برازش مقایسه‌ای (CFI) <sup>۱۴</sup>(Bentler, 1990) برای ارزیابی نکویی برازش مدل اندازه‌گیری و سازه <sup>۱۵</sup>تشکیل شده متغیر پنهان استفاده شد. برای نمایش گرافیکی مدل از تابع lavaanPlot و برای ارزیابی اریبی مدل از تابع bootstrapLavaan بسته نرم افزاری lavaan تحت محیط R (R Core Team, 2021) استفاده شد. پس از تأیید کفایت سازه <sup>۱۶</sup>در نظر گرفته شده برای شناسایی متغیر پنهان رشد، مقادیر متغیر پنهان رشد برای هر فرد به دست آمدند. مقادیر استاندارد شده این متغیر پنهان و نیز صفات وزن بدن در سنین مختلف برای تعیین مدل مناسب ارزیابی ژنتیکی و برآورد پارامترهای ژنتیکی، با در نظر گرفتن شش مدل دام تک صفتی در بردارنده ترکیبات مختلف اثرات ژنتیکی مستقیم و مادری (ژنتیکی افزایشی مادری و محیط دائمی مادری)، به کار رفتند.

$y = Xb + Z_1a + e$		مدل ۱
$y = Xb + Z_1a + Z_2c + e$		مدل ۲
$y = Xb + Z_1a + Z_3m + e$	$Cov(a,m) = 0$	مدل ۳
$y = Xb + Z_1a + Z_3m + e$	$Cov(a,m) = A\sigma_{am}$	مدل ۴
$y = Xb + Z_1a + Z_3m + Z_2c + e$	$Cov(a,m) = 0$	مدل ۵
$y = Xb + Z_1a + Z_3m + Z_2c + e$	$Cov(a,m) = A\sigma_{am}$	مدل ۶

در مدل‌های بالا،  $y$  بردار رکوردهای صفات وزن بدن در سنین مختلف و مقادیر مربوط به متغیر پنهان رشد،  $b, a, c, m$  و  $e$  به ترتیب بردارهای مربوط به اثرات ثابت (جنس، تیپ تولد، سال تولد و سن مادر بره)، ژنتیکی افزایشی مستقیم، محیط دائمی مادری، ژنتیکی افزایشی مادری و باقی‌مانده هستند. ماتریس‌های  $X, Z_a, Z_{pe}, Z_m$  و ماتریس‌های طرح هستند که به ترتیب بردار اثرات ثابت، ژنتیکی افزایشی مستقیم، محیط دائمی مادری، ژنتیکی افزایشی مادری را به بردار رکوردها مرتبط می‌کنند. در مدل‌های بالا فرض بر این است که اثرات ژنتیکی افزایشی مستقیم، ژنتیکی افزایشی مادری، محیطی دائمی مادری و باقی‌مانده توزیع نرمال با میانگین صفر و به ترتیب واریانس‌های  $A\sigma_m^2, A\sigma_a^2, I_{pe}\sigma_{pe}^2$  و  $I_n\sigma_e^2$  دارند.  $A$  ماتریس روابط خویشاوندی و  $\sigma_{am}$  کواریانس بین اثرات ژنتیکی افزایشی مستقیم و مادری،  $\sigma_a^2$  واریانس ژنتیکی افزایشی مستقیم،  $\sigma_m^2$  واریانس ژنتیکی افزایشی مادری،  $\sigma_{pe}^2$  واریانس محیط دائمی مادری و  $\sigma_e^2$  واریانس باقی‌مانده را نشان می‌دهند.  $I_n$  و  $I_{pe}$  ماتریس‌های همانی هستند که ابعاد آنها به ترتیب برابر تعداد مادرها و تعداد رکوردهای مربوطه است. برای صفات مربوط به وزن‌های شیرگیری، شش ماهگی، نه ماهگی و دوازده ماهگی به ترتیب سن در زمان ثبت رکورد اوزان شیرگیری، شش ماهگی، نه ماهگی و دوازده ماهگی به عنوان متغیر کمکی در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که متغیر پنهان رشد نیز از توزیع نرمال پیروی می‌کند.

<sup>13</sup> - Tucker-Lewis Index

<sup>14</sup> - Comparative fit index

<sup>15</sup> - Construct

<sup>16</sup> - Construct adequacy

برازش مدل‌های دام با استفاده از نرم افزار Wombat (Meyer, 2013) انجام و برای مقایسه مدل‌ها از معیار اطلاع بیزی یا BIC<sup>۱۷</sup> استفاده شد (Schwarz, 1978). در مورد هر صفت، از بین مدل‌های آزمون شده، مدلی با کمترین مقدار BIC به عنوان مناسب‌ترین مدل برای برآورد فراسنجه‌های ژنتیکی و ارزش‌های اصلاحی در نظر گرفته شد. پس از تعیین مدل مناسب برای هر کدام از صفات وزن بدن و متغیر پنهان رشد، همبستگی‌های ژنتیکی، فنوتیپی و محیطی این متغیر پنهان با هر یک از صفات وزن بدن نیز برآورد گردیدند. به علاوه، همبستگی‌های رتبه‌ای اسپیرمن بین ارزش‌های اصلاحی افراد برای متغیر پنهان رشد و هر یک از صفات وزن بدن نیز محاسبه شد.

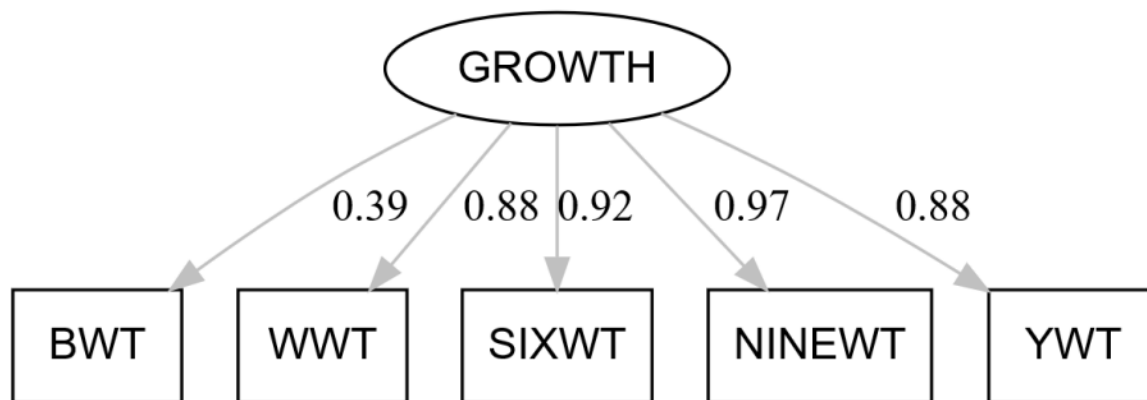
### نتایج و بحث

مدل اندازه‌گیری به کار رفته برای توصیف متغیر پنهان رشد گوسفند کرمانی با استفاده از متغیرهای قابل مشاهده وزن بدن در سنین مختلف، از تولد تا دوازده ماهگی، در شکل ۱ ارائه شده است. مقادیر مربوط به معیارهای نکویی برازش شامل RMSEA، TLI و CFI برای مدل اندازه‌گیری مربوط به توصیف متغیر پنهان رشد به ترتیب ۰/۰۵، ۰/۹۹ و ۰/۹۹ به دست آمدند. هر قدر که RMSEA به صفر و مقادیر TLI و CFI به یک نزدیکتر باشند نشان دهنده برازش بهتر مدل اندازه‌گیری در نظر گرفته شده برای توصیف متغیر پنهان است. بر این اساس، معیارهای نکویی برازش شده نشان می‌دهند که مدل اندازه‌گیری در نظر گرفته شده برای متغیر پنهان رشد به خوبی آن را توصیف کرده است. در پژوهشی متغیر پنهان اندازه بدن در خوک با استفاده از پنج متغیر قابل اندازه‌گیری مربوط به ابعاد بدن شامل طول بدن، ارتفاع بدن، عرض سینه، دور سینه و دور شکم به کمک یک تحلیل عاملی تاییدی تشکیل و ارزیابی گردید (Sanjari Banestani *et al.*, 2023) و مقادیر مربوط به معیارهای نکویی برازش شامل RMSEA، TLI و CFI به ترتیب ۰/۰۹، ۰/۹۶ و ۰/۹۳ به دست آمدند. در پژوهش دیگری با استفاده از چهار صفت وزن بدن خوک در سنین ۶، ۱۰، ۱۳ و ۱۶ هفتگی متغیر پنهانی به نام رشد تشکیل شد (Penagaricano *et al.*, 2015) و کارآمدی آن با استفاده از معیارهای نکویی برازش مدل تأیید شد.

مقادیر استاندارد شده بارهای عاملی<sup>۱۸</sup> مربوط به وزن‌های تولد، شیرگیری، شش ماهگی، نه ماهگی و دوازده ماهگی گوسفند کرمانی برای توصیف متغیر پنهان رشد در جدول ۲ ارائه شده‌اند که نشان دهنده ارتباط مثبت این متغیرهای مشاهده شده با متغیر پنهان مربوطه هستند.

<sup>17</sup> - Bayesian information criterion

<sup>18</sup> - Factor loadings



شکل ۱. مدل اندازه‌گیری توصیف کننده رابطه بین متغیر پنهان رشد (GROWTH) و متغیرهای قابل مشاهده وزن تولد (BWT)، وزن شیرگیری (WWT)، وزن شش ماهگی (SIXWT)، وزن نه ماهگی (NINEWT) و وزن دوازده ماهگی (YWT).

**Fig. 1. Measurement model used for describing relationship between latent variable of growth (GROWTH) and the observed variables of birth weight (BWT), weaning weight (WWT), six months weight (SIXWT), nine months weight (NINEWT), and yearling weight (YWT).**

مقادیر بارهای عاملی نشان دهنده میزان همبستگی هر یک از متغیرهای مشاهده شده با متغیر پنهان می باشند (Penagaricano *et al.*, 2015). بنابراین می توان نتیجه گرفت متغیر پنهان رشد در گوسفند کرمانی کمترین ارتباط را با وزن تولد و بیشترین ارتباط را با وزن نه ماهگی دارد. در پژوهشی مقادیر بارهای عاملی مربوط به چهار صفت وزن بدن خوک در سنین ۶، ۱۰، ۱۳ و ۱۶ هفتگی بر متغیر پنهان رشد در خوک به ترتیب ۰/۶۶۷، ۰/۷۷۹، ۰/۹۰۶ و ۰/۸۸۳ گزارش شدند (Penagaricano *et al.*, 2015).

جدول ۲- مقادیر استاندارد شده بارهای عاملی صفات وزن بدن برای توصیف متغیر پنهان رشد در گوسفند کرمانی

**Table 2. Standardized factor loadings of body weight traits used for describing growth latent variable in Kermani sheep**

صفت	بار عاملی	خطای معیار	مقدار آماره Z	مقدار p
Trait	Factor loading	Standard error	Z-value	P-value
BWT	0.39	0.03	13.19	0.01
WWT	0.88	0.01	86.74	0.00
SIXMW	0.92	0.01	72.26	0.00
NINEMW	0.97	0.01	155.80	0.00
YWT	0.88	0.01	89.00	0.00

مقادیر BIC مربوط به برازش شش مدل دام در بردارنده اثرات ژنتیکی افزایشی مستقیم و انواع اثرات مادری برای متغیر پنهان رشد و صفات وزن بدن در جدول ۳ ارائه شده است. مدل مناسب برای هر صفت به صورت برجسته نشان داده شده است. برای صفات وزن تولد، وزن شیرگیری و وزن شش ماهگی افزودن اثرات مادری به مدل ۱، که فقط اثرات ژنتیکی افزایشی مستقیم را دارد، سبب کاهش مقدار BIC شد. این کاهش، با افزودن اثرات ژنتیکی افزایشی مادری، بدون در نظر گرفتن

کواریانس بین اثرات ژنتیکی افزایشی مستقیم و ژنتیکی افزایشی مادری، در مقایسه با دیگر مدل‌ها بیشترین بود. از این رو، مدل ۳ به عنوان مناسب برای ارزیابی ژنتیکی صفات وزن تولد، وزن شیرگیری و وزن شش ماهگی در نظر گرفته شد. نتایج برخی پژوهش‌های پیشین نقش اثرات مادری بر صفات اولیه رشد در گوسفند کرمانی را گزارش کرده‌اند (Rashidi et al., 2008). اثرات مادری بر متغیر پنهان رشد، وزن نه ماهگی و وزن دوازده ماهگی گوسفند کرمانی تأثیری نداشتند به گونه‌ای که برای این صفات افزودن اثرات مادری به مدل ۱، که فقط اثرات ژنتیکی افزایشی مستقیم را دارد، سبب کاهش مقدار BIC نشد. بنابراین، از بین مدل‌های آزمون شده، مدلی که فقط اثرات ژنتیکی افزایشی مستقیم را در بر دارد (مدل ۱) به عنوان مناسب‌ترین مدل برای برآورد اجزاء واریانس و ارزیابی ژنتیکی دام‌ها برای این صفات در نظر گرفته شد. تحت این مدل، وراثت پذیری مستقیم متغیر پنهان رشد  $0/11 \pm 0/34$  به دست آمد.

جدول ۳- مقادیر BIC متغیر پنهان عملکرد رشد یک سالگی و صفات وزن بدن در گوسفند کرمانی

Table 3. BIC values for the latent variable of yearling growth performance and body weight traits in Kermani sheep

مدل Model	GROWTH	BWT	WWT	SIXWT	NINEWT	YWT
مدل ۱ Model 1	<b>-1037.83</b>	-1440.63	8455.48	6582.58	<b>13294.12</b>	<b>13566.14</b>
مدل ۲ Model 2	-1022.45	-1457.74	8425.64	6581.56	13536.8	13568.78
مدل ۳ Model 3	-1023.58	<b>-1464.15</b>	<b>8422.32</b>	<b>6576.18</b>	13540.44	13570.7
مدل ۴ Model 4	-1016.33	-1457.61	8430.85	6584.11	13546.45	13573.32
مدل ۵ Model 5	-1018.45	-1458.00	8427.99	6584.07	13320.68	13573.87
مدل ۶ Model 6	-1025.20	-1451.60	8434.05	6591.62	13542.97	13574.59

در پژوهش کنونی، متغیر پنهان رشد، به عنوان یک صفت جدید تعریف شد که اجزاء تشکیل دهنده آن پنج صفت وزن بدن می‌باشند. با بررسی همبستگی‌های متغیر پنهان رشد با صفات وزن بدن می‌توان در خصوص کارآمدی انتخاب بر اساس این متغیر پنهان در بهبود صفات وزن بدن قضاوت نمود. همبستگی‌های ژنتیکی، فنوتیپی و محیطی متغیر پنهان رشد گوسفند کرمانی با صفات وزن بدن در سنین مختلف در جدول ۴ ارائه شده‌اند. همبستگی‌های ژنتیکی، فنوتیپی و محیطی متغیر پنهان رشد با صفات وزن بدن مقادیر مثبتی برآورد شدند. کمترین مقادیر همبستگی‌های ژنتیکی، فنوتیپی و محیطی بین متغیر پنهان رشد و وزن تولد به دست آمد. همبستگی‌های ژنتیکی، فنوتیپی و محیطی متغیر پنهان رشد با صفات وزن شیرگیری، شش ماهگی، نه ماهگی و دوازده ماهگی مثبت و بالا بودند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ژن‌های مشترکی رشد و این صفات را کنترل می‌کنند و انتخاب برای بهبود رشد، به عنوان یک متغیر پنهان، سبب بهبود دیگر صفات وزن بدن نیز می‌شود.



جدول ۴- همبستگی های ژنتیکی، فنوتیپی و محیطی رشد با صفات وزن بدن در سنین مختلف گوسفند کرمانی  
**Table 4. Genetic, phenotypic, and environmental correlations of growth with body weight at different ages in Kermani sheep**

صفات	همبستگی ژنتیکی	همبستگی فنوتیپی	همبستگی محیطی
Traits	Genetic correlation	Phenotypic correlation	Environmental correlation
GROWTH-BWT	0.67±0.23	0.40±0.03	0.30±0.11
GROWTH -WWT	0.99±0.04	0.87±0.01	0.78±0.04
GROWTH -SIXWT	0.99±0.02	0.93±0.01	0.90±0.02
GROWTH -NINEWT	0.99±0.06	0.97±0.01	0.70±0.05
GROWTH -YWT	0.99±0.08	0.86±0.02	0.66±0.05

همانگونه که در جدول ۵ نشان داده شده است مقادیر همبستگی های رتبه ای اسپیرمن بین ارزش های اصلاحی افراد برای متغیر رشد با هریک از صفات وزن بدن نیز مقادیر مثبت و بالایی به دست آمدند که از لحاظ آماری نیز معنی دار بودند ( $p < 0.01$ ). با در نظر گرفتن همه افراد، به جز همبستگی رتبه ای اسپیرمن بین ارزش های اصلاحی متغیر پنهان رشد با وزن تولد که ۰/۸۲ بود، همبستگی رتبه ای اسپیرمن ارزش های اصلاحی این صفت با دیگر صفات نزدیک به یک بود. بنابراین می توان نتیجه گرفت رتبه بندی افراد بر اساس ارزش های اصلاحی متغیر پنهان رشد در گوسفند کرمانی با رتبه بندی آنها بر اساس ارزش های اصلاحی دیگر صفات وزن بدن، به جز وزن تولد، تطابق بالایی دارد و انتخاب برای این متغیر پنهان، با توجه به وراثت پذیری نسبتاً بالای آن، سبب بهبود در صفات وزن بدن نیز می گردد و تأثیر چندانی نیز بر رتبه ارزش اصلاحی افراد برای دیگر صفات، به جز وزن تولد، ندارد. با در نظر گرفتن ۵۰، ۱۰ و ۱ درصد افراد برتر برای محاسبه همبستگی رتبه ای اسپیرمن بین ارزش های اصلاحی متغیر پنهان رشد و هر کدام از صفات وزن بدن، برای صفات وزن شیرگیری، شش ماهگی، نه ماهگی و دوازده ماهگی تغییر چندانی در این همبستگی ایجاد نشد ولی برای صفت وزن تولد همبستگی رتبه ای از ۰/۸۲ (با در نظر گرفتن همه افراد)، به ۰/۶۳ (با در نظر گرفتن ۵۰ درصد افراد برتر)، ۰/۵۹ (با در نظر گرفتن ۱۰ درصد افراد برتر) و ۰/۴۳ (با در نظر گرفتن ۱ درصد افراد برتر) کاهش یافت. همبستگی رتبه ای بین ارزش های اصلاحی متغیر پنهان رشد و وزن تولد در ۱ درصد افراد برتر در مقایسه با همه افراد، تقریباً به نصف کاهش یافت که نشان می دهد انتخاب تعداد کمی افراد برتر بر اساس ارزش های اصلاحی متغیر پنهان رشد سبب انتخاب افراد برتر برای صفات وزن های شیرگیری، شش ماهگی، نه ماهگی و دوازده ماهگی می گردد. از طرف دیگر با توجه به همبستگی رتبه ای کمتر بین ارزش های اصلاحی متغیر پنهان رشد و وزن تولد، به ویژه برای افراد برتر، با انتخاب بر اساس متغیر پنهان رشد نگرانی چندانی در خصوص افزایش بروز سخت زایی نیز وجود نخواهد داشت.

جدول ۵- همبستگی‌های رتبه‌ای اسپیرمن بین ارزش‌های اصلاحی متغیر پنهان رشد با صفات وزن بدن گوسفند کرمانی در سنین مختلف

**Table 5. Spearman's rank correlations between breeding values of latent variable of growth and body weights of Kermani sheep at different ages**

صفات	همه افراد	۵۰ درصد برتر	۱۰ درصد برتر	۱ درصد برتر
Traits	All individuals	50% top-ranked	10% top-ranked	1% top-ranked
GROWTH-BWT	0.82 **	0.63 **	0.59 **	0.43 *
GROWTH-WWT	0.99 **	0.99 **	0.98 **	0.96 **
GROWTH-SIXWT	0.99 **	0.99 **	0.98 **	0.96 **
GROWTH-NINEWT	0.99 **	0.99 **	0.99 **	0.96 **
GROWTH-YWT	0.99 **	0.99 **	0.99 **	0.97 **

### نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش کنونی با استفاده از مدل‌های معادلات ساختاری یک متغیر پنهان رشد، با در نظر گرفتن پنج متغیر وزن بدن از تولد تا دوازده ماهگی در گوسفند کرمانی، تعریف شد. کارایی مدل اندازه‌گیری در نظر گرفته شده با استفاده از معیارهای آماری، ارزیابی و تأیید شد. اثرات مادری بر متغیر پنهان رشد تأثیری نداشت و متغیر پنهان با صفات وزن بدن همبستگی‌های ژنتیکی و فنوتیپی مثبت و بالایی داشت. در برنامه‌های اصلاحی گوسفند، عموماً هدف افزایش وزن بدن در سنین پس از تولد و نیز تا حدودی ثابت نگه داشتن وزن تولد برای جلوگیری از مشکلات سخت زایی است. با توجه به اینکه وزن تولد بره‌های نژاد کرمانی، در مقایسه با دیگر صفات وزن بدن در نظر گرفته در پژوهش کنونی، همبستگی کمتری با متغیر پنهان رشد داشت و نیز کمترین همبستگی رتبه‌ای بین ارزش‌های اصلاحی بره‌ها برای وزن تولد و متغیر پنهان رشد مشاهده شد می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از این متغیر پنهان به عنوان معیار انتخاب ضمن بهبود سرعت رشد، تغییر نسبتاً کمتری در وزن تولد نیز ایجاد خواهد کرد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان از سازمان جهاد کشاورزی استان کرمان به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های مورد استفاده در پژوهش کنونی سپاسگزاری می‌کنند.

### منابع

Bentler, P. M. (1990). Comparative fit indexes in structural models. *Psychological Bulletin* 107: 238-246.

Dadousis, C., Cipolat-Gotet, C., Bittante, G. & Cecchinato, A. (2018). Inferring genetic parameters on latent variables underlying milk yield and quality, protein composition, curd firmness and cheese-making traits in dairy cattle. *Animal* 12(2): 224-231.

**Leal-Gutierrez, J.D., Rezende, F.M., Elzo, M.A., Johnson, D., Penagaricano, F. & Mateescu, R.G. (2018).** Structural Equation Modeling and Whole-Genome Scans Uncover Chromosome Regions and Enriched Pathways for Carcass and Meat Quality in Beef. *Frontiers in Genetics* 9: 532.

**Gianola, D. & Sorensen, D. (2004).** Quantitative genetic models for describing simultaneous and recursive relationships between phenotypes. *Genetics* 167: 1407-1424.

**Meyer, K. (2013).** WOMBAT- A programme for mixed model analyses by restricted maximum likelihood. User Notes, Animal Genetics and Breeding Unit, Armidale, Australia.

**Mokhtari, M.S., Rashidi, A. & Mohammadi, Y. (2008).** Estimation of genetic parameters for post-weaning traits of Kermani sheep. *Small Ruminant Research* 80: 22-27.

**Penagaricano, F., Valente, B. D., Steibel, J. P., Bates, R. O., Ernst, C. W., Khatib, H. and Rosa, G. J. M., (2015).** Searching for causal networks involving latent variables in complex traits: Application to growth, carcass, and meat quality traits in pigs. *Journal of Animal Science* 93(10): 4617-4623.

**Rashidi, A., Mokhtari, M.S., Safi Jahanshahi, A. & Mohammad Abadi, M.R. (2008).** Genetic parameter estimates of pre-weaning growth traits in Kermani sheep. *Small Ruminant Research* 74: 165-171.

**Rosseel, Y., (2012).** lavaan: an R package for structural equation modeling. *Journal of Statistical Software* 48: 1-36.

**R Development Core Team, (2021).** R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

**Sanjari, E., Esmailizadeh, A., Momen, M., Aytollahi Mehrgardi, A. & Mokhtari, M., (2023).** The accuracy of breeding values for body size latent trait in pigs under different prediction models *Journal of Livestock Science and Technologies* 11(1): 61-67.

**SAS (Statistical Analysis System). (2004).** SAS User's Guide, Version 9.1. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.

**Schwarz, G. (1978).** Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statistics* 6: 461-464.

**Schumacker, E.R. & Lomax, G.R. (1996).** A beginner's guide to structural equation modeling. Mahwah, NJ: Erlbaum.

**Silva, H.T., Paiva, J.T., Botelho, M.E., Carrara, E.R., Lopes, P.S., Silva, F.F., Veroneze, R., Ferraz, J.B.S., Eler, J.P., Mattos, E.C. & Gaya, L.G. (2021).** Searching for causal relationships among latent variables concerning performance, carcass, and meat quality traits in broilers. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 139: 181-192.

**Steiger, J. H., (1990).** Structural model evaluation and modification: An interval estimation approach. *Multivariate Behavioral Research* 25: 173-180.

**Yu, H., Campbell, M.T., Zhang, Q., Walia, H. & Morota, G. (2019).** Genomic Bayesian confirmatory factor analysis and Bayesian network to characterize a wide spectrum of rice phenotypes. *Genes, Genomes Genetics* 9: 1975-1986.

**Wright, S. (1921).** Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research* 20: 557-585.