

Effect of Qualitative Feed Restriction Duration and Monensin Ionophore on Compensatory Growth and Fattening Performance of Kabudeh Shirazi Male Lambs

SeyedKazem Mousavi¹✉, Ghasem Jalilvand², Abdolhamid Karimi³, Alidad Boostani⁴, Kamal Shojaeian⁵

1. Corresponding author, Ph.D. Student in Animal Nutrition, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: musavikazem@yahoo.com
2. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: jalilvand@uoz.ac.ir
3. Department of Animal Science Research, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Shiraz, Iran. Email: ab.karimi@areeo.ac.ir
4. Department of Animal Science Research, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Shiraz, Iran. Email: a.boostani@areeo.ac.ir
5. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: Kshojaeian@uoz.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 18 June 2026
Received in revised form 23
August 2026
Accepted 07 September 2026
Available online 23 September
2026

Keywords:

Compensatory growth,
Fattening performance,
Feed restriction,
Ionophore monensin,
Kabudeh Shirazi lamb.

ABSTRACT

Objective: In nomadic and rural livestock production systems, forage availability on pastures fluctuates throughout the year. This seasonal variation leads to retarded growth in young animals or body weight loss in adults. Such feed deficiency or restriction can subsequently trigger compensatory growth during the realimentation phase, thereby influencing feed utilization efficiency and overall fattening performance. Furthermore, the inclusion of ionophore feed additives, such as monensin, may modulate the lambs' physiological response to feed restriction by improving ruminal fermentation and feed efficiency. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of the duration of feed restriction and monensin supplementation on compensatory growth and fattening performance in male Kabudeh Shirazi lambs.

Methods: The experiment was conducted in a completely randomized design with a 2×3 factorial arrangement, using 30 male Kabudeh Shirazi lambs allocated to six experimental groups. Treatments consisted of three feed restriction durations (0, 30, and 60 days) and two monensin supplementation levels (0 and 30 mg/kg DM). Data were analyzed using Jamovi software (v. 2.7.37.0). Main effects and their interactions were assessed using a two-way ANOVA model, and means were separated using Tukey's post-hoc test when effects were significant. Statistical significance was declared at $P < 0.05$.

Results: Feed restriction duration and monensin supplementation significantly affected overall dry matter intake throughout the trial, while their interaction was not significant. Average daily gain during the compensatory growth phase was significantly influenced by restriction duration, monensin, and their interaction. The main effects of restriction duration and monensin significantly improved the feed conversion ratio (FCR) during the realimentation period. Furthermore, feed-restricted lambs achieved a final body weight comparable to that of the control group by the end of the realimentation period, demonstrating full compensatory growth.

Conclusion: Implementing a transient feed restriction period enhances growth performance and feed efficiency in Kabudeh lambs by inducing compensatory growth. The 30-day feed restriction regimen combined with monensin supplementation achieved the most favorable overall FCR and superior fattening performance compared with the other groups. Consequently, under the conditions of this study, a 30-day feed restriction strategy combined with monensin supplementation represents the most effective nutritional and management approach for fattening Kabudeh Shirazi male lambs.

Cite this article: Mousavi, S. K., Jalilvand, Gh., Karimi, A., Boostani, A., & Shojaeian, K. (2026). Effect of qualitative feed restriction duration and monensin ionophore on compensatory growth and fattening performance of Kabudeh Shirazi male lambs. *New Approaches in Animal Sciences*, 1(3), 1-21. <https://doi.org/10.22098/naas.2026.20668.1023>



© The Author(s) retain the copyright.

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili.

DOI: <https://doi.org/10.22098/naas.2026.20668.1023>

Introduction

In extensive and semi-intensive small ruminant production systems across arid and semi-arid regions, feed availability is subjected to sharp seasonal fluctuations. During lean periods, animals experience qualitative and quantitative nutrient shortages, curtailing their genetic growth potential. However, upon restoration of nutrient-dense feeding (realimentation), animals frequently exhibit compensatory growth—a physiological surge characterized by an accelerated growth velocity that exceeds that of continuously fed counterparts (Hornick et al., 2000; Kamalzadeh et al., 2009). Exploiting compensatory growth holds substantial biological and economic significance, as it enhances nutrient utilization efficiency and reduces feeding costs in feedlots (Abouheif et al., 2015; Mahjoubi et al., 2015).

The magnitude of the compensatory response is modulated by initial body composition, animal maturity, genetic background, and, most crucially, the duration and severity of the restriction phase (Kamalzadeh et al., 1997; Morris et al., 2020). While compensatory feeding and monensin independently improve growth parameters, their potential metabolic synergy remains unelucidated in fat-tailed sheep breeds such as Kabudeh Shirazi. Therefore, this study evaluated the effects of qualitative feed restriction duration (0, 30, and 60 days) and monensin supplementation (0 vs. 30 mg/kg DM), along with their interaction, on feed intake dynamics, daily gain, and feed conversion efficiency in growing male Kabudeh Shirazi lambs.

Method

Animals, Experimental Design, and Diets

The experiment was conducted at the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Fars Province (Aliabad Kamin Station, Iran). Thirty single-born Kabudeh Shirazi male lambs, with an average initial live body weight of 25 ± 1 and an average age of 150 ± 10 days, were allocated to a completely randomized design with a factorial 2×3 arrangement. The first factor was the duration of qualitative feed restriction (0, 30, and 60 days), and the second factor was dietary monensin level (0 and 30 mg/kg DM), yielding six distinct experimental treatments with five replicates each ($n=5$ individually penned lambs per treatment). The experimental protocol consisted of two consecutive nutritional phases: a qualitative restriction phase and a subsequent realimentation (finishing) phase. Before initiation, a 7-day adaptation period was implemented to acclimate the lambs to housing and baseline diets; all lambs were vaccinated against enterotoxemia and treated with albendazole and ivermectin for internal and external parasites. The qualitative restriction diet was formulated using low-density forage components (70% wheat straw and 30% alfalfa hay on a dry matter basis), supplying 7.62% crude protein (CP), 1,650 kcal/kg metabolizable energy (ME), 62.8% neutral detergent fiber (NDF), and 44.0% acid detergent fiber (ADF). This diet

was offered ad libitum to ensure physical satiety while inducing a severe nutrient deficit (a 52% reduction in CP and a 48% reduction in ME relative to the finishing diet).

The realimentation (compensatory finishing) diet was formulated according to NRC (2007) guidelines using a 75:25 concentrate-to-forage ratio (39% barley, 15% corn grain, 12% wheat bran, 7% soybean meal, 25% alfalfa hay, 1% vitamin-mineral premix, 0.5% salt, and 0.5% dicalcium phosphate). The finishing diet provided 15.85% CP, 2,665 kcal/kg ME, 20.0% NDF, and 15.6% ADF. For monensin-supplemented groups, monensin sodium was thoroughly mixed at 30 mg/kg DM across both phases. Diets were offered in two equal daily meals (at 07:00 and 18:00 h), allowing for 10%-15% refusals to maintain ad libitum intake. Fresh water was freely accessible.

Measurements and Statistical Analysis

Data were analyzed via two-way Analysis of Variance (ANOVA) using Jamovi software (version 2.7.37.0) based on the linear model:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + M_j + (RM)_{ij} + e_{ijk}$$

where Y_{ijk} is the observed dependent variable, μ is the overall mean, R is the fixed effect of restriction duration ($i=0,30,60$), M_j is the fixed effect of monensin supplementation ($j=0,30$ mg/kg), $(RM)_{ij}$ is the interaction effect between restriction and monensin, and e_{ijk} is the random residual error. Residual normality and homoscedasticity were verified before ANOVA. Treatment means were compared using Tukey's post-hoc test at a statistical significance threshold of $P < 0.05$.

Results

Dry Matter Intake

Restriction Phase: Dry matter intake was significantly affected by restriction duration ($P=0.003$) and the restriction duration $\times$ monensin interaction ($P=0.014$), whereas the main effect of monensin was non-significant ($P=0.150$). Lambs restricted for 60 days consumed 24% less DM than those restricted for 30 days (416 vs. 548 g/d, $SEM=34.2$). Monensin inclusion reduced intake during restriction (469 vs. 627 g/d in the 30-day group and 439 vs. 392 g/d in the 60-day group).

Realimentation Phase: DMI was significantly increased by feeding strategy ($P=0.029$) and monensin supplementation ($P=0.007$), while their interaction was not significant ($P=0.119$). The 30-day restricted lambs exhibited higher intake than the 60-day cohort (1,513 vs. 1,316 g/d, $SEM = 45.7$). Across treatment combinations, the 30-day restriction with monensin group achieved the highest realimentation intake (1,672 g/d), significantly surpassing the unsupplemented control (1,312 g/d) and the unsupplemented 60-day group (1,242 g/d).

Overall Trial: Both restriction duration ($P < 0.001$) and monensin ($P < 0.001$) significantly affected cumulative DMI ($P=0.170$ for interaction). Control lambs (1,389 g/d) and 30-day

restricted lambs (1,290 g/d) had higher total intake compared to the 60-day restricted group (979 g/d, SEM=40.5).

Growth Performance and Compensatory Gain

Restriction Phase: Lambs entered a negative energy balance with daily body weight loss (105.2 g/d in 30-day vs. 68.3 g/d in 60-day restriction, SEM=13.2). Daily weight loss was not significantly affected by main effects ($P=0.069$ for duration; $P=0.132$ for monensin).

Realimentation Phase: Average daily gain (ADG) was significantly improved by previous restriction duration ($P<0.001$), monensin supplementation ($P=0.010$), and their interaction ($P=0.026$). Restricted lambs grew faster than control lambs (271 and 239 vs. 209 g/d, SEM=12.6). The 60-day restricted group with monensin recorded the highest ADG (291 g/d), whereas the unsupplemented control grew the slowest (178 g/d).

Final Slaughter Weight: No significant differences were observed for the main effects of restriction duration ($P=0.326$) or monensin ($P=0.532$), but their interaction was significant ($P=0.017$). Final weights were 45,420 g (control), 47,158 g (30-day restriction), and 45,769 g (60-day restriction, SEM=868), with the 30-day restriction + monensin treatment reaching the highest numerical weight (48,956 g).

Feed Conversion Ratio (FCR)

Realimentation Phase: FCR was significantly improved by feed restriction ($P<0.001$) and monensin ($P=0.023$), with no interaction effect ($P=0.228$). FCR improved from 6.82 in controls to 5.95 in 30-day and 5.33 in 60-day restricted lambs (SEM=0.231). Monensin independently improved realimentation FCR from 6.34.

Overall Trial: Feeding strategy did not negatively impact cumulative FCR ($P=0.223$), while monensin significantly improved overall FCR (6.32 vs. 6.93, SEM=0.251 ; $P=0.017$). Monensin resulted in a 15% FCR improvement in the 30-day restricted group (6.04 vs. 7.16; $P<0.05$), compared to only 5% in controls (6.65 vs. 7.08) and 3% in the 60-day restricted group (6.25 vs. 6.43).

The lower DMI observed during the restriction phase, particularly in the 60-day group, is primarily attributable to the high physical fill of the fibrous straw diet and physiological downregulation under prolonged energy dilution. During subsequent realimentation, the marked hyperphagia displayed by restricted lambs, most notably the 30-day restricted group supplemented with monensin (1,672 g/d), reflects an active metabolic drive to restore body mass. Monensin supported this transition by modulating ruminal fermentation kinetics, preventing subclinical acidosis, and stabilizing intake on high-grain diets.

The deceleration of daily weight loss over time during the restriction phase indicates rapid metabolic adaptation. Ruminants subjected to nutrient deprivation lower their basal maintenance energy requirements (N_{em}) by reducing fasting heat production, decreasing

circulating thyroid hormone levels, and down-sizing high-metabolic visceral organs such as the liver and gut mucosa.

Upon realimentation, the dramatic acceleration in growth rate (ADG) observed in restricted lambs demonstrates the classic compensatory response. Because visceral re-growth lags behind realimentation intake, a greater portion of absorbed nutrients is partitioned directly into lean tissue synthesis and skeletal accretion rather than basal maintenance. Monensin further augmented this response by shifting the rumen volatile fatty acid profile toward propionate, providing an abundant gluconeogenic substrate for protein retention.

The absence of significant differences in final slaughter weights confirms complete compensatory growth recovery across all restricted treatments. Restricted lambs fully compensated for earlier weight loss within the finishing period. Importantly, the 30-day restriction combined with monensin proved to be the most advantageous nutritional protocol; it avoided the potential digestive mucosal damage associated with prolonged (60-day) restriction, while providing a sufficiently long finishing phase to fully capitalize on monensin-driven energetic efficiency, yielding the lowest overall FCR (6.04) and the highest final slaughter weight (48.96 kg).

Conclusions

Qualitative feed restriction induced complete compensatory growth in Kabudeh Shirazi male lambs, allowing them to match or exceed the final slaughter weights of continuously fed control lambs without compromising growth capacity. Monensin supplementation (30 mg/kg DM) acted synergistically with realimentation, enhancing average daily gain and dry matter intake while stabilizing ruminal fermentation. The 30-day feed restriction regimen combined with monensin supplementation achieved the best overall feed conversion ratio (6.04) and the highest final slaughter weight (48.96 kg). Under the conditions of this study, a 30-day qualitative feed restriction followed by realimentation with monensin supplementation is recommended as an effective nutritional and management strategy for fattening Kabudeh Shirazi male lambs.

Author Contributions

Conceptualization, S.K.M.; methodology, S.K.M.; formal analysis, S.K.M.; investigation, S.K.M.; resources, A.D.B.; data curation, S.K.M.; writing—original draft preparation, S.K.M.; writing—review and editing, G.J., A.K., A.D.B., and K.S.; supervision, G.J., A.K., A.D.B., and K.S.; project administration, G.J. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author, Seyed Kazem Mousavi, at musavikazem@yahoo.com.

Acknowledgements

The authors would like to thank the staff of the Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center for providing facilities and technical support during the experiment.

Ethical Considerations

All experimental procedures involving animals were conducted in accordance with the institutional ethical guidelines for the care and use of research animals. The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism in any form.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



اثر مدت محدودیت کیفی خوراک و یونوفور مونسین بر رشد جبرانی و عملکرد پروار بره‌های نر نژاد کبوده شیراز

سید کاظم موسوی^۱✉، قاسم جلیلود،^۲ عبدالحمید کریمی^۳، علی داد بوستانی^۴، کمال شجاعیان^۵

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری تغذیه دام، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: musavikazem@yahoo.com

۲. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: jalilvand@uoz.ac.ir

۳. گروه تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، شیراز، ایران. رایانامه: ab.karimi@areeo.ac.ir

۴. گروه تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، شیراز، ایران. رایانامه: a.boostani@areeo.ac.ir

۵. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: Kshojaeian@uoz.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

هدف: در پرورش گوسفند، وفور علوفه در مراتع در طول سال یکسان نمی‌باشد و این مساله در برخی فصول سال باعث کاهش رشد دام‌های جوان یا کاهش وزن در دام‌های بالغ می‌شود این محدودیت خوراک می‌تواند با ایجاد رشد جبرانی در دوره تغذیه آزاد، کارایی خوراک و عملکرد پرواربندی را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین، استفاده از افزودنی‌های یونوفوری مانند مونسین ممکن است از طریق بهبود تخمیر شکمبه و کارایی خوراک، بر پاسخ بره‌ها به محدودیت خوراک اثرگذار باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر مدت محدودیت خوراک و افزودنی مونسین بر رشد جبرانی و عملکرد پروار بره‌های نر نژاد کبوده شیراز انجام شد.

روش پژوهش: این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل ۲×۳ با تعداد ۳۰ رأس بره نر کبوده شیراز در ۶ گروه آزمایشی انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح محدودیت صفر، ۳۰ و ۶۰ روزه خوراک و دو سطح صفر و ۳۰ میلی بر کیلوگرم افزودنی مونسین بود. داده‌ها با نرم‌افزار Jamovi نسخه ۲،۷،۳۷،۰ تجزیه شدند و اثرات اصلی و اثر متقابل تیمارها با مدل دوعاملی ارزیابی شدند میانگین‌ها در صورت معنی‌دار بودن اثرات اصلی و متقابل با آزمون توکی مقایسه شدند. سطح معنی‌داری آماری ($P < 0.05$) در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: مدت محدودیت خوراک و افزودنی مونسین بر میزان مصرف خوراک در کل دوره آزمایش اثر معنی‌داری داشت، در حالی که، برهم‌کنش مدت محدودیت و مونسین معنی‌دار بود. افزایش وزن روزانه در دوره رشد جبرانی تحت تأثیر مدت محدودیت، مونسین و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت. اثرات اصلی آزمایش بر روی ضریب تبدیل بره‌ها در دوره تغذیه مجدد به طور معنی‌داری تأثیر گذار بودند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که اعمال دوره محدودیت خوراک با القای رشد جبرانی کامل، عملکرد رشد و کارایی مصرف خوراک بره‌های کبوده را بهبود بخشید. تیمار دارای محدودیت خوراک ۳۰ روزه همراه با مونسین، با بهترین ضریب تبدیل خوراک کل دوره، نسبت به سایر گروه‌ها عملکرد مناسب تری داشت؛ بنابراین، در شرایط این پژوهش، اعمال محدودیت خوراک ۳۰ روزه توأم با مصرف مونسین، مناسب‌ترین راهبرد مدیریتی و تغذیه‌ای برای پرواربندی بره‌های این نژاد توصیه می‌گردد.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی،

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:

بره نژاد کبوده شیراز،

رشد جبرانی،

عملکرد پروار،

محدودیت خوراک،

یونوفور مونسین.

استاد: موسوی، سید کاظم؛ جلیلود، قاسم؛ کریمی، عبدالحمید؛ بوستانی، علی داد و شجاعیان، کمال (۱۴۰۵). ترکیب مواد مغذی و پویایی تخمیر برون تنی سیلاز

تفاله مالت دارای منابع کربوهیدراتی. *یافته‌های نوین علوم دامی*، ۱ (۳)، ۲۱-۱. <https://doi.org/10.22098/naas.2026.20668.1023>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی.

۱. مقدمه

در سامانه‌های پرورش غیرمتراکم، تأمین خوراک دام‌ها عمدتاً به مرتع، جنگل، بقایای کشاورزی و شرایط فصلی وابسته است؛ بنابراین، نوسانات اقلیمی و تغییرات فصلی در کمیت و کیفیت خوراک می‌تواند مانع بروز کامل ظرفیت رشد ژنتیکی حیوان شود. در چنین شرایطی، پس از یک دوره محدودیت غذایی، فراهم شدن مجدد خوراک کافی ممکن است به بروز پدیده رشد جبرانی منجر شود؛ پدیده‌ای که در آن سرعت رشد حیوان نسبت به دام‌های دارای تغذیه مداوم افزایش می‌یابد. رشد جبرانی از جنبه‌های فیزیولوژیک و اقتصادی اهمیت زیادی دارد، زیرا می‌تواند کارایی رشد را بهبود بخشیده و هزینه‌های تولید را کاهش دهد.

همچنین برخی مطالعات نشان داده‌اند که اعمال محدودیت غذایی می‌تواند به کاهش هزینه خوراک و بهبود بازده غذایی در بره‌های پرواری منجر شود (Abouheif و همکاران، ۲۰۱۵؛ شادنوش و همکاران ۱۳۹۰).

با وجود این، نتایج مطالعات درباره اثر رشد جبرانی بر ترکیب بدن و عملکرد دام همواره یکسان نبوده است. برخی پژوهش‌ها تفاوت معنی‌داری در ترکیب بدن حیوانات پس از دوره محدودیت و تغذیه رشد جبرانی گزارش نکرده‌اند (Kamalzadeh و همکاران، ۱۹۹۸ الف؛ Searle و Graham، ۱۹۷۹؛ Thornton و همکاران، ۱۹۷۹). در حالی که تفاوت معنی‌دار در ترکیب بدن، در برخی مطالعات، حیوانات لاغرتر (Burton و همکاران، ۱۹۷۴؛ Drew و Reid، ۱۹۷۵) و در برخی دیگر، حیوانات چاق‌تر مشاهده شده‌اند (Hogg، ۱۹۹۱). این تفاوت‌ها احتمالاً به عواملی مانند ترکیب بدن اولیه، میزان مصرف اختیاری خوراک، سن حیوان و کارایی استفاده از مواد مغذی مربوط است (Al-Selbood، ۲۰۰۹؛ O'Donovan، ۱۹۸۴؛ Wilson و Osborne، ۱۹۶۰). علاوه بر این، سن فیزیولوژیک حیوان، به‌ویژه در دام‌های نابالغ پس از شیرگیری، شدت و مدت محدودیت غذایی، سطح پروتئین جیره، نژاد و جنس از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده شدت پاسخ جبرانی به شمار می‌روند (Hogg، ۱۹۹۱؛ Hoseini و همکاران، ۲۰۰۸؛ Manni و همکاران، ۲۰۱۷؛ Murphy، ۱۹۹۴؛ Searle و همکاران، ۱۹۷۹). روند و کارایی رشد جبرانی در دام‌های کوچک تحت تأثیر متغیرهای متعددی قرار دارد که در این میان، مدت زمان اعمال محدودیت غذایی و سن شروع آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر اساس یافته‌های Kamalzadeh، ۱۹۹۶، اعمال محدودیت کیفی یا کمی خوراک در سنین اولیه پس از شیرگیری، به دلیل بالا بودن پتانسیل رشد بیولوژیک دام و اولویت توسعه بافت‌های حیاتی،

می‌تواند الگوی متفاوتی از جبران رشد را در مقایسه با محدودیت در سنین بالاتر ایجاد کند. مدت زمان محدودیت نیز تعیین‌کننده عمق پاسخ جبرانی است؛ به‌طوری‌که دوره‌های کوتاه تا متوسط محدودیت معمولاً با افزایش کارایی مصرف خوراک و تحریک رشد جبرانی کامل همراه هستند، در حالی که طولانی شدن بیش از حد دوره محرومیت غذایی به دلیل تحلیل رفتن ساختار بافت‌های فعال متابولیکی و کاهش ظرفیت هضم شکمبه‌ای، پدیده جبران رشد را با اختلال مواجه کرده و ممکن است به رشد جبرانی ناقص یا عدم جبران منجر شود (Kamalzadeh و همکاران، ۱۹۹۷)، از طرفی، پتانسیل ژنتیکی دام نقش تعیین‌کننده‌ای در نحوه پاسخ به محدودیت و دوره پس از آن ایفا می‌کند. نژادهای بومی که سازگاری تکاملی بیشتری با شرایط متناوب کمبود علوفه در مراتع دارند، به دلیل انعطاف‌پذیری بالاتر در کاهش نیاز نگهداری در شرایط بحرانی، پس از بازتغذیه پتانسیل بالاتری برای بروز رشد جبرانی از خود نشان می‌دهند (Hoseini و همکاران، ۲۰۰۸؛ Addah و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین، تنظیم دقیق طول دوره محدودیت با توجه به ویژگی‌های نژادی و سن دام، کلید دستیابی به بیشترین کارایی مصرف خوراک و بهبود بازده اقتصادی در سیستم‌های پرواربندی است.

استفاده توأم از روش‌هایی که کارایی خوراک را در دام‌ها بهبود می‌بخشد، می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی محسوب گردد. مونسین، به‌عنوان یک یونوفور، از طریق تغییر در الگوی تخمیر شکمبه، افزایش تولید پروپیونات، کاهش نسبت استات به پروپیونات و کاهش اتلاف انرژی به‌صورت متان، می‌تواند بازده استفاده از انرژی را بهبود بخشد (Baran و Zitnan، ۲۰۰۲؛ Wallace و همکاران، ۱۹۸۱).

در مطالعه Baran و Zitnan (۲۰۰۲) مونسین در بیشتر جیره‌ها موجب افزایش کارایی تخمیر شکمبه شد و این اثر عمدتاً با افزایش سهم پروپیونات و کاهش تولید متان همراه بود. در مطالعه‌ای دیگر توسط Horton و همکاران (۱۹۸۳) گزارش شد که مونسین در جیره‌های پر انرژی گوسفند، باعث کاهش مصرف خوراک بدون کاهش در افزایش وزن روزانه می‌شود که این امر مستقیماً نشان‌دهنده افزایش بهره‌وری انرژی است. در مطالعه‌ای Spears (۱۹۹۸) بر روی بره‌های چورا گزارش کردند که مونسین موجب کاهش مصرف ماده خشک شد، هرچند این کاهش الزاماً با بهبود معنی‌دار افزایش وزن روزانه یا ضریب تبدیل خوراک همراه نبود به‌طور کلی مطالعات نشان می‌دهند که افزودن مونسین به جیره‌ی بره‌های پرواری، ضریب تبدیل خوراک (FCR) را به‌طور

و جیره‌های آزمایشی در نظر گرفته شد. در دوره سازگاری اولیه، تمامی بره‌ها واکسن آنترتوکسمی و داروهای ضدانگل (آلبندازول و آیورمکتین) را مطابق با دستورالعمل شرکت سازنده دریافت کردند.

پس از پایان دوره سازگاری، بره‌ها بر اساس وزن زنده اولیه به‌صورت تصادفی توزیع شده و در طول دوره آزمایش در جایگاه‌های انفرادی نگهداری شدند. در این پژوهش، هر بره به‌عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد و دام‌ها در ۶ تیمار (هر تیمار شامل ۵ تکرار) به شرح زیر قرار گرفتند:

۱. شاهد با مونسین؛
۲. شاهد بدون مونسین؛
۳. محدودیت خوراک ۳۰ روز با مونسین؛
۴. محدودیت خوراک ۳۰ روز بدون مونسین؛
۵. محدودیت خوراک ۶۰ روز با مونسین؛
۶. محدودیت خوراک ۶۰ روز بدون مونسین.

۲.۲. جیره‌های آزمایشی و مدیریت تغذیه

جیره‌های آزمایشی شامل دو جیره متمایز برای دوره‌های محدودیت کیفی خوراک و رشد جبرانی (پرواربندی) بودند. جیره دوره محدودیت کیفی بر پایه علوفه و با تراکم پایین‌تر انرژی، پروتئین و مواد معدنی تنظیم گردید و بدون محدودیت کمی (در حد اشتها) در اختیار بره‌ها قرار گرفت. در مقابل، نسبت کنسانتره به علوفه در جیره مرحله رشد جبرانی ۷۵ به ۲۵ بود (جدول ۱). احتیاجات غذایی بره‌ها در دوره محدودیت کیفی (مطابق جدول ۲) کمتر از سطح نیاز پروار در نظر گرفته شد؛ درحالی‌که جیره دوره رشد جبرانی بر اساس توصیه‌های انجمن ملی تحقیقات (NRC, 2007) و با استفاده از نرم‌افزار آن فرموله گردید.

در تیمارهای دریافت‌کننده افزودنی، مونسین به میزان ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک به جیره هر دو دوره اضافه شد. نحوه افزودن مونسین بدین صورت بود که در جیره دوره محدودیت خوراک، اقلام خوراکی ابتدا مرطوب شده و سپس مونسین به آن‌ها افزوده و به‌خوبی مخلوط می‌شد؛ اما در فاز رشد جبرانی، مونسین ابتدا با سبوس گندم پیش‌مخلوط گردید و سپس با سایر اقلام خوراکی به‌صورت جیره کاملاً مخلوط ترکیب شد.

طی هر دو دوره آزمایشی، خوراک روزانه در دو وعده (ساعات ۷ و ۱۸) در اختیار دام‌ها قرار می‌گرفت. مقدار خوراک عرضه شده به‌گونه‌ای تنظیم گردید که روزانه حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد پسماند در آخور باقی بماند. پسماند خوراک هر بره، روزانه پیش از خوراک‌دهی صبحگاهی جمع‌آوری و توزین می‌شد. همچنین، آب آشامیدنی سالم و بهداشتی در تمامی مراحل آزمایش به‌طور آزاد در دسترس دام‌ها قرار داشت.

میانگین بین ۵ تا ۱۰ درصد بهبود می‌بخشد. اما با این حال، اثرات تولیدی مونسین در گوسفند همواره یک‌نواخت نبوده است. در تحقیقی توسط Kazunari و همکاران (۱۹۸۵) نشان دادند که مونسین نسبت استات به پروپیونات را کاهش داد، اما اثر معنی‌داری بر مصرف ماده خشک، افزایش وزن روزانه و بازده خوراک نداشت. بنابراین، به نظر می‌رسد اثر مونسین بر عملکرد تولیدی بیش از آن‌که مطلق باشد، به عواملی مانند ترکیب جیره، دوز مصرف، مرحله رشد و شرایط آزمایش وابسته است.

با وجود مطالعات متعدد در زمینه محدودیت غذایی، رشد جبرانی و مصرف مونسین در نشخوارکنندگان کوچک، اطلاعات مربوط به اثر هم‌زمان مدت محدودیت غذایی و مصرف مونسین در بره‌های پرواری نژاد کبود شیراز گزارش نشده است. از آنجا که محدودیت غذایی و مونسین هر دو می‌توانند از طریق تغییر در الگوی استفاده از مواد مغذی و انرژی بر عملکرد حیوان اثر بگذارند، بررسی اثرات متقابل آن‌ها و پاسخ رشد جبرانی از اهمیت علمی و کاربردی برخوردار است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر مدت محدودیت غذایی و مصرف مونسین بر عملکرد رشد، بازده خوراک و رشد جبرانی در بره‌های پرواری نژاد کبود شیراز انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. حیوانات و طرح آزمایشی

در این پژوهش، ۳۰ رأس بره نر یک‌قلوی نژاد کبود شیراز با میانگین وزن زنده اولیه 25 ± 1 کیلوگرم و میانگین سن 150 ± 10 روز از گله ایستگاه دامپروری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، واحد علی‌آباد کمین، انتخاب شدند. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل 2×3 به اجرا درآمد. عامل اول شامل مدت زمان اعمال محدودیت کیفی خوراک در سه سطح (صفر، ۳۰ و ۶۰ روز) و عامل دوم شامل افزودنی مونسین در دو سطح (صفر و ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک) جیره بود.

روند اجرای پژوهش شامل دو دوره متوالی محدودیت کیفی خوراک و رشد جبرانی (پرواربندی) بود. بر این اساس، بره‌ها ابتدا در دوره‌های ۶۰ و ۳۰ روزه تحت محدودیت خوراکی قرار گرفتند. سپس تمامی دام‌ها وارد فاز رشد جبرانی شده و به‌طور هم‌زمان با یک جیره کاملاً مشابه تغذیه شدند تا ضمن قرارگیری تمامی گروه‌ها در شرایط محیطی و اقلیمی یکسان، خطاهای آزمایشی به حداقل ممکن کاهش یابد. پیش از آغاز هر یک از دوره‌ها (محدودیت خوراک و رشد جبرانی)، یک دوره عادت‌پذیری ۷ روزه به‌منظور سازگاری بره‌ها با شرایط جایگاه

جدول ۱. اجزای خوراکی جیره‌های آزمایشی در دوره‌های محدودیت و رشد جبرانی (درصد)

Table 2. Ingredients of experimental diets in restriction and compensatory growth periods (%)

جمع	دی کلسیم فسفات	نمک	مکمل معدنی - ویتامینی*	سبوس گندم	کنجاله سویا	دانه ذرت	دانه جو	علوفه یونجه	کاه گندم	اجزای خوراکی جیره‌های آزمایشی (درصد)
Total	Dicalcium phosphate	Salt	Vitamin-mineral premix*	Wheat bran	Soybean meal	Corn grain	Barley grain	Alfalfa hay	Wheat straw	Ingredients of experimental diets (%)
100	-	-	-	-	-	-	-	30	70	خوراک دوره محدودیت diet Restriction phase
100	0.5	0.5	1	12	7	15	39	25	-	جیره پروار (رشد جبرانی) Fattening diet (compensatory growth)

*. هر کیلو مکمل دارای ۵۰۰ هزار واحد بین‌المللی بتا کاروتن، ۲۰۰ واحد بین‌المللی کوله کلکسیفرول، ۲۰۰ میلی‌گرم توکوفرول، ۲۵۰۰ میلی‌گرم آنتی اکسیدان، ۱۹۰ گرم کلسیم، ۸۰ گرم فسفر، ۲۱۰۰۰۰ میلی‌گرم منیزیم، ۲۲۰۰ میلی‌گرم منگنز، ۳۰۰۰ میلی‌گرم آهن، ۳۰۰ میلی‌گرم مس، ۳۰۰ میلی‌گرم روی، ۱۰۰ میلی‌گرم کبالت و ۱۲۰ میلی‌گرم ید و ۱،۱ میلی‌گرم سلنیوم.

* Each kilogram of the premix contained 500,000 IU of beta-carotene, 200 IU of cholecalciferol, 200 mg of tocopherol, 2,500 mg of antioxidant, 190 g of calcium, 80 g of phosphorus, 210,000 mg of magnesium, 2,200 mg of manganese, 3,000 mg of iron, 300 mg of copper, 300 mg of zinc, 100 mg of cobalt, 120 mg of iodine, and 1.1 mg of selenium.

جدول ۲. ترکیب مواد مغذی و محتوای انرژی خوراک‌های مصرفی در دوره‌های محدودیت و رشد جبرانی (بر پایه ماده خشک)

Table 2. Nutrient composition and energy content of diets in restriction and compensatory growth periods (dry matter basis)

فسفر (درصد)	کلسیم (درصد)	فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (درصد)	فیبر نامحلول در شوینده خنثی (درصد)	انرژی متابولیسمی (کیلوکالری بر کیلوگرم)	پروتئین خام (درصد)	ماده خشک (درصد)	ترکیب مواد مغذی و محتوای انرژی
Phosphorus %	Calcium %	Acid detergent fiber %	Neutral detergent fiber %	Metabolizable energy (Kcal/kg)	Crude protein %	Dry matter %	Nutrient composition and energy content
0.15	0.54	44	62.8	1650	7.62	100	جیره دوره محدودیت Restriction phase diet
0.57	0.99	15.6	20	2665	15.85	100	جیره پروار (رشد جبرانی) Fattening diet (compensatory growth)
74	43	-	-	48	52	0	میزان محدودیت برخی مواد مغذی و محتوای انرژی نسبت به جیره پروار Relative restriction of selected nutrients and dietary energy compared with the finishing diet

۳.۲. اندازه‌گیری صفات عملکردی

دام‌ها در شروع آزمایش، پایان دوره محدودیت، آغاز دوره تغذیه مجدد و سپس هر ۱۴ روز یک‌بار، پیش از خوراک‌دهی صبحگاهی، با ترازوی دیجیتالی با دقت ۵۰ گرم وزن‌کشی شدند. صفات مورد بررسی شامل وزن زنده اولیه، وزن زنده پایان دوره محدودیت، وزن زنده پایان دوره رشد جبرانی، افزایش وزن کل، افزایش وزن روزانه، مصرف ماده خشک، مصرف ماده خشک روزانه و ضریب تبدیل غذایی بود.

افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل غذایی به‌ترتیب از روابط زیر محاسبه شدند:

$$ADG = \frac{BWf - BWi}{D}$$

$$FCR = \frac{DMI}{BWG}$$

که در آن، ADG افزایش وزن روزانه، BWf وزن زنده نهایی، BWi وزن زنده اولیه، D تعداد روزهای دوره، FCR ضریب تبدیل غذایی، DMI مصرف ماده خشک و BWG افزایش وزن زنده است.

۴.۲. تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Jamovi، نسخه ۳۷،۲،۷ تجزیه و تحلیل شدند. تجزیه داده‌ها بر پایه طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل ۲×۳ انجام شد. مدل آماری مورد استفاده به‌صورت زیر بود:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + M_j + (RM)_{ij} + e_{ijk}$$

که در آن Y_{ijk} مقدار مشاهده‌شده برای هر صفت، μ میانگین

کل، R_i اثر سطح i ام محدودیت غذایی، M_j اثر سطح j ام مونسین،

مونسنین با گروه‌های شاهد بدون مونسنین و محدودیت ۶۰ روزه بدون مونسنین تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P<0,05$). همچنین، تفاوت مصرف ماده خشک بین گروه محدودیت ۳۰ روزه با مونسنین با گروه محدودیت ۳۰ روزه بدون مونسنین معنی‌دار بود ($P=0,017$). بیشترین و کمترین ماده خشک مصرفی در دوره رشد جیرانی به ترتیب مربوط به گروه‌های محدودیت خوراک ۳۰ روزه با مونسنین (۱۶۷۲ گرم در روز) و محدودیت خوراک ۶۰ روزه بدون مونسنین (۱۲۴۲ گرم در روز) بود.

درمجموع، این یافته‌ها حاکی از آن است که مدت محدودیت خوراک و افزودنی مونسنین به‌صورت تعاملی، الگوی مصرف خوراک دام‌ها را در مرحله رشد جیرانی تحت تأثیر قرار می‌دهند

۳.۱.۳. ماده خشک مصرفی کل دوره

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مصرف ماده خشک در کل دوره آزمایش نشان داد، اثرات اصلی آزمایش، مدت محدودیت خوراک و افزودنی مونسنین تأثیر معنی‌داری بر مصرف ماده خشک داشتند ($P<0,001$). اما اثر متقابل بین مدت محدودیت خوراک و افزودنی مونسنین نیز معنی‌دار نبود ($P=0,17$).

معنی‌دار بودن اثرات اصلی آزمایش حاکی از آن است که مصرف ماده خشک تحت تأثیر هر دو عامل اصلی آزمایش (مدت محدودیت خوراک و افزودنی مونسنین) قرار گرفته است. مقایسه میانگین ترکیب تیمارها (جدول ۳) نشان داد که بیشترین ماده خشک مصرفی متعلق به گروه‌های شاهد با مونسنین و محدودیت خوراک ۳۰ روز با مونسنین بود در حالی که کمترین میزان مصرف در گروه با محدودیت ۶۰ روزه بدون مونسنین مشاهده شد.

یافته‌های جدول ۳ نشان می‌دهند که تأثیر مونسنین بر مصرف خوراک را نمی‌توان به صورت مستقل از محدودیت تغذیه‌ای دام تفسیر کرد. در واقع، برای ارزیابی دقیق اثر این افزودنی، باید رویکرد تغذیه‌ای، به‌ویژه مدت دوره محدودیت خوراک، را به عنوان یک عامل تعیین‌کننده در نظر گرفت.

۲.۳. افزایش وزن

۱. ۲.۳. کاهش وزن در دوره محدودیت خوراک

میانگین وزن اولیه بره‌ها در گروه‌های مختلف آزمایشی یکنواخت و معادل 25 ± 1 بود و اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد ($P>0,05$). در طول دوره محدودیت خوراک، فرآیند افزایش وزن متوقف و بره‌ها دچار بالانس منفی انرژی و افت وزن شدند؛ به‌طوری‌که وزن نهایی آن‌ها در پایان دوره محدودیت، نسبت به وزن آغازین کاهش یافت.

ijj(RM) اثر متقابل محدودیت غذایی و مونسنین، و $eijk$ خطای تصادفی مربوط به هر مشاهده بود. نرمال بودن باقیمانده‌ها و همگنی واریانس‌ها پیش از انجام تجزیه واریانس بررسی شد. در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، مقایسه میانگین ترکیب‌های تیماری با آزمون توکی انجام شد. در صورت غیرمعنی‌دار بودن اثر متقابل، مقایسه میانگین اثرات اصلی صورت گرفت. سطح معنی‌داری آماری ($P<0,05$) در نظر گرفته شد و نتایج به‌صورت میانگین‌های حداقل مربعات و خطای استاندارد میانگین گزارش شدند.

۳. نتایج و بحث

۱. ۳. ماده خشک مصرفی

۱.۱.۳. ماده خشک مصرفی دوره محدودیت

مطابق داده‌های ارائه‌شده در جدول ۳، اثر اصلی مدت‌زمان محدودیت خوراک بر میزان مصرف ماده خشک در این دوره معنی‌دار بود ($P=0,003$). اگرچه اثر اصلی افزودنی مونسنین بر مصرف ماده خشک معنی‌دار نشد، اما اثر متقابل (برهم‌کنش) مدت محدودیت خوراک و مونسنین معنی‌دار بود ($P=0,014$). با توجه به معنی‌داری اثر متقابل، پاسخ مصرف خوراک به مونسنین وابستگی مستقیمی به طول دوره محدودیت داشته و تفسیر اثر این افزودنی به‌صورت مستقل و یکنواخت امکان‌پذیر نیست.

در بررسی مقایسه میانگین ترکیب‌های تیماری، گروه تحت محدودیت ۳۰ روزه بدون مونسنین، تفاوت معنی‌داری با سایر گروه‌ها نشان داد ($P<0,05$). درحالی‌که تفاوت سایر تیمارها با یکدیگر از نظر آماری معنی‌دار نبود. به‌طور کلی، نتایج داده‌ها حاکی از آن است که استفاده از مونسنین در فاز محدودیت غذایی، منجر به کاهش مصرف ماده خشک نسبت به گروه‌های فاقد مونسنین شده است. همچنین، بره‌های تحت محدودیت ۶۰ روزه، در مقایسه با گروه محدودیت ۳۰ روزه، خوراک کمتری مصرف کردند.

۲.۱.۳. ماده خشک مصرفی در دوره رشد جیرانی

نتایج مربوط به مصرف ماده خشک در مرحله رشد جیرانی نشان داد که اثر اصلی مدت محدودیت خوراک بر این فراسنجه از نظر آماری معنی‌دار است ($P=0,029$). هم چنین اثر اصلی افزودنی مونسنین بر مصرف ماده خشک در این دوره معنی‌دار بود ($P=0,007$) اما اثر متقابل مدت محدودیت خوراک با افزودنی مونسنین معنی‌دار نشد ($P=0,119$).

مقایسه ترکیب‌های تیماری در جدول ۳ نشان داد که در مصرف ماده خشک در دوره رشد جیرانی بین گروه محدودیت ۳۰ روزه با

جدول ۳. تأثیر مدت محدودیت خوراک و یونوفور مونسین بر میانگین مصرف ماده خشک در دوره‌های مختلف

Table 3. Effects of feed restriction duration and monensin ionophore on average feed intake during different periods.

پارامترهای ماده خشک مصرفی (Feed Intake parameters)			فاکتورهای اصلی، ترکیب‌های تیماری و آنالیز آماری Main Factors, Treatment combinations and Statistical Analysis	
ماده خشک مصرفی روزانه کل دوره آزمایش (گرم در روز) Overall daily dry matter intake (g/d)	ماده خشک مصرفی روزانه دوره رشد جبرانی (گرم در روز) Daily dry matter intake, realimentation phase (g/d)	ماده خشک مصرفی روزانه دوره محدودیت (گرم در روز) Restriction period daily feed intake (g/d)		
1389 ^A	1389 ^{AB}	-	شاهد Control	فاکتور اصلی ۱:
1290 ^A	1513 ^A	548 ^A	محدودیت تغذیه‌ای ۳۰ روزه 30-day restriction	استراتژی تغذیه‌ای ۱
979 ^B	1316 ^B	416 ^B	محدودیت تغذیه‌ای ۶۰ روزه 60-day restriction	Main Factors1: Feeding Strategy1
1208 ^x	1497 ^x	456	+	فاکتور اصلی ۲: افزودن مونسین
1243 ^y	1328 ^y	522	-	Main Factor 2: Monensin addition ²
1406 ^a	1406 ^{ab}	-	شاهد با مونسین Control with Monensin	
1312 ^{ab}	1312 ^b	-	شاهد بدون مونسین Control without Monensin	
1431 ^a	1672 ^a	469 ^b	محدودیت ۳۰ روزه با مونسین 30-day restriction with monensin	
1150 ^{bc}	1354 ^b	627 ^a	محدودیت ۳۰ روزه بدون مونسین 30-day restriction without monensin	ترکیب‌های تیماری Treatment combinations
1034 ^c	1390 ^{ab}	439 ^b	محدودیت ۶۰ روزه با مونسین 60-day restriction with monensin	
923 ^c	1242 ^b	392 ^b	محدودیت ۶۰ روزه بدون مونسین 60-day restriction without monensin	
40.5	45.7	34.2	خطای استاندارد میانگین SEM	
P<0.001	P=0.029	P=0.003	اثر اصلی ۱- استراتژی تغذیه‌ای Main effect1 of Feeding Strategy	آنالیز آماری Statistical Analysis
P<0.001	P=0.007	P=0.15	اثر اصلی ۲- افزودن مونسین Main effect2 of Monensin addition	
P=0.170	P=0.119	P=0.014	اثرات متقابل Interaction effect	

a,b,c میانگین‌های با حروف غیر متشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی دار هستند (p<0.05).

A, B, C میانگین‌های مربوط به اثر اصلی محدودیت خوراک که دارای حروف بزرگ غیرهمسان هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. (p<0.05)

x, y میانگین‌های مربوط به اثر اصلی مونسین که دارای حروف غیرهمسان (x, y) هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. (p<0.05)

a,b,c Means within a column with different superscript letters differ significantly (P < 0.05)

A,B,C Means within a column for feeding strategy with different uppercase superscripts differ significantly (P<0.05).

x,y Means within a column for monensin with different superscripts differ significantly (P<0.05).

SEM: Standard Error of the Means.

دریافت‌کننده مونسین، افت وزن در آستانه معنی‌داری آماری قرار داشت (P=0.054).

به‌طور کلی، میزان افت وزن در گروه‌های دریافت‌کننده مونسین نسبت به گروه‌های فاقد مونسین بیشتر بود. همچنین، بیشترین و

با این حال، میزان کاهش وزن بدن تحت تأثیر اثرات اصلی (مدت محدودیت خوراک و مصرف مونسین) و اثر متقابل آن‌ها قرار نگرفت (P>0.05)، هرچند که در برهه‌های تحت محدودیت ۶۰ روزه

فراسنجه کاملاً معنی‌دار بود ($P < 0.001$)؛ همچنین افزودن مونسین به جیره، موجب بهبود معنی‌دار ضریب تبدیل خوراک در این دوره شد ($P = 0.023$) با این حال، اثر متقابل بین محدودیت خوراک و مصرف مونسین بر ضریب تبدیل خوراک معنی‌دار نگردید ($P > 0.05$)، همان‌طور که در جدول ۵ ارائه شده است، ضریب تبدیل خوراک در گروه‌های تحت محدودیت ۳۰ و ۶۰ روزه تفاوت معنی‌داری با گروه شاهد داشت. در بررسی مقایسه میانگین اثرات ترکیبی تیمارها، ضریب تبدیل خوراک در گروه‌های محدودیت ۶۰ روزه (با و بدون دریافت مونسین) و نیز گروه محدودیت ۳۰ روزه با مونسین، تفاوت معنی‌داری را با هر دو گروه شاهد نشان داد. به‌طور کلی، در تمامی سطوح محدودیت، گروه‌های دریافت‌کننده مونسین در مقایسه با گروه‌های هم‌تای بدون مونسین خود از ضریب تبدیل خوراک مطلوب‌تری برخوردار بودند. این الگو بیانگر آن است که کارایی خوراک در دوره رشد جبرانی، هم‌زمان تحت تأثیر مدت دوره اعمال محدودیت و نیز مونسین قرار داشته و هر دو عامل به شکل هم‌افزا در جهت بهبود ضریب تبدیل خوراک عمل کرده‌اند.

۳.۳.۲. ضریب تبدیل کل دوره

اثر اصلی راهبرد محدودیت خوراک بر ضریب تبدیل خوراک (FCR) در کل دوره آزمایش (مجموع دوره‌های محدودیت و رشد جبرانی) از نظر آماری معنی‌دار نبود؛ در حالی که استفاده از مونسین موجب بهبود معنی‌دار ضریب تبدیل خوراک در این دوره شد ($P = 0.017$)، اثر متقابل بین محدودیت خوراک و مصرف مونسین بر این فراسنجه معنی‌دار نگردید ($P > 0.05$)، با این حال، در بررسی اثرات ترکیبی تیمارها، تنها در سطح محدودیت ۳۰ روزه، تفاوت معنی‌داری میان گروه‌های دریافت‌کننده و عدم دریافت‌کننده مونسین مشاهده شد و در سایر گروه‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، به‌طوری‌کلی بهبود ضریب تبدیل خوراک ناشی از مصرف مونسین در گروه‌های شاهد، محدودیت ۳۰ روزه و محدودیت ۶۰ روزه به ترتیب معادل ۵، ۱۵ و ۳ درصد بود. این یافته‌ها بیانگر آن است که اگرچه مونسین به عنوان یک اثر اصلی سبب بهبود کارایی خوراک در کل دوره آزمایش شده، اما شدت این پاسخ تحت تأثیر طول دوره محدودیت خوراک قرار گرفته و بیشترین کارایی مونسین در دوره محدودیت کوتاه‌مدت (۳۰ روزه) بروز یافته است. نتایج این پژوهش، الگوی پیچیده را در مصرف ماده خشک (DMI) آشکار می‌سازد که در آن، تأثیر افزودنی مونسین صرفاً یک اثر کاهنده ساده نبوده، بلکه به عنوان یک عامل تعدیل‌کننده و وابسته به شرایط تغذیه بوده است.

کمترین نرخ افت وزن روزانه به ترتیب در ترکیب‌های تیماری محدودیت ۳۰ روزه با مونسین (۱۳۹،۷ گرم) و محدودیت ۶۰ روزه بدون مونسین (۶۳،۹ گرم) ثبت گردید (جدول ۴).

۳.۲.۲. افزایش وزن روزانه دوره رشد جبرانی (پرور)

نتایج تجزیه واریانس افزایش وزن روزانه (ADG) بره‌ها نشان داد که اثرات اصلی مدت محدودیت کیفی خوراک و مصرف مکمل مونسین هر دو از نظر آماری کاملاً معنی‌دار بودند ($P < 0.05$) از نظر مدت دوره محدودیت، هر دو گروه تحت محدودیت ۳۰ و ۶۰ روزه در مقایسه با گروه شاهد، افزایش وزن روزانه معنی‌دار و بالاتری را در طول دوره پرور به ثبت رساندند. همچنین افزودن مونسین به جیره به‌طور معنی‌داری موجب بهبود نرخ رشد روزانه شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین ترکیب‌های تیماری (جدول ۴)، گروه شاهد بدون مونسین دارای کمترین افزایش وزن روزانه بود و تفاوت معنی‌داری با تمامی گروه‌های دیگر نشان داد ($P < 0.05$) بیشترین و کمترین میزان افزایش وزن روزانه در طول دوره رشد جبرانی به ترتیب مربوط به بره‌های تیمار محدودیت ۶۰ روزه همراه با مونسین (۲۹۱ گرم در روز) و تیمار شاهد بدون مونسین (۱۵۱ گرم در روز) بود. به‌طور کلی، در تمامی سطوح، گروه‌های دریافت‌کننده مونسین نرخ رشد بالاتری را نسبت به هم‌تایان بدون مونسین خود نشان دادند. هرچند این پاسخ مثبت و تفاوت ناشی از مونسین، در بره‌های گروه شاهد بارزتر و مشهودتر بود.

۳.۲.۳. وزن پایانی (کشتار)

وزن پایانی بره‌ها تحت تأثیر اثرات اصلی مدت محدودیت خوراک و افزودنی مونسین قرار نگرفت ($P > 0.05$)، اما اثرات متقابل محدودیت خوراک و افزودنی مونسین معنی‌دار بود ($P = 0.017$) مطابق با نتایج جدول ۴، هیچ گونه تفاوت معنی‌داری بین میانگین ترکیب‌های تیماری وجود ندارد ($P > 0.05$)، اما بیشترین و کمترین وزن پایانی دوره رشد جبرانی به ترتیب در ترکیب‌های تیماری محدودیت ۳۰ روزه همراه با مونسین (۴۸۹۵۶ گرم) و شاهد بدون مونسین (۴۳۶۸۰ گرم) به دست آمد این نتایج حاکی از وقوع پدیده رشد جبرانی کامل در تمامی بره‌ها است، به‌طوری‌که دام‌های تحت محدودیت توانستند در دوره رشد جبرانی، افت وزن ناشی از محدودیت پیشین را به‌طور کامل جبران نموده و در انتهای دوره پرور به وزنی هم‌تراز با بره‌های گروه شاهد برسند.

۳.۳. ضریب تبدیل خوراک

۳.۳.۱. ضریب تبدیل دوره رشد جبرانی (پرور)

نتایج مربوط به ضریب تبدیل خوراک (FCR) در دوره رشد جبرانی نشان داد که اثر اصلی راهبرد محدودیت کیفی خوراک بر این

جدول ۴. تأثیر مدت محدودیت خوراک و یونوفر موننسن بر افزایش وزن روزانه و میانگین وزن بدن بره‌ها در دوره‌های مختلف
Table 4. Effect of feed restriction duration and monensin ionophore on the average body weight of lambs during different periods.

پارامترهای وزن بدن Body weight parameters				فاکتورهای اصلی، ترکیب‌های تیماری و آنالیز آماری Main Factors, Treatment combinations and Statistical Analysis	
وزن پایانی (گرم) Final Body Weight (g)	افزایش وزن دوره رشد جبرانی (گرم در روز) Realimentation ADG (g/d)	کاهش وزن بدن پایان دوره محدودیت (گرم در روز) Body Weight loss during restriction (g/d)	وزن اولیه (گرم) Initial Body Weight (g)		
45420	209 ^b	-	25000	شاهد Control	فاکتور اصلی ۱: استراتژی
47158	239 ^A	105.2	24880	محدودیت تغذیه‌ای ۳۰ روزه 30-day restriction	تغذیه‌ای ۱ Main Factors1:
45769	271 ^A	68.3	25100	محدودیت تغذیه‌ای ۶۰ روزه 60-day restriction	Feeding Strategy1
46339	252 ^x	105.9	24921	+	فاکتور اصلی ۲: افزودن
45941	223 ^y	71.7	25050	-	موننسن Main Factor 2:
46160	239 ^a	-	25100	شاهد با موننسن Control with Monensin	Monensin addition ²
44680	178 ^b	-	25000	شاهد بدون موننسن Control without Monensin	ترکیب‌های تیماری Treatment combinations
48956	245 ^a	139.7	24760	محدودیت ۳۰ روزه با موننسن 30-day restriction with monensin	
45360	233 ^a	70.7	25000	محدودیت ۳۰ روزه بدون موننسن 30-day restriction without monensin	
47780	291 ^a	72.9	25025	محدودیت ۶۰ روزه با موننسن 60-day restriction with monensin	
43750	251 ^a	63.9	25105	محدودیت ۶۰ روزه بدون موننسن 60-day restriction without monensin	آنالیز آماری Statistical Analysis
868	12.6	13.2	275	خطای استاندارد میانگین SEM	
P=0.326	P<0.001	P=0.069	P=0.735	اثر اصلی ۱- استراتژی تغذیه‌ای Main effect1 of Feeding Strategy	
P=0.532	P=0.01	P=0.132	P=0.569	اثر اصلی ۲- افزودن موننسن Main effect2 of Monensin addition	
P=0.017	P=0.026	P=0.056	P=0.901	اثرات متقابل Interaction effect	

a,b,c میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<0.05).

A, B, C میانگین‌های مربوط به اثر اصلی محدودیت خوراک که دارای حروف بزرگ غیرهمسان هستند اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. (P<0.05)

x, y میانگین‌های مربوط به اثر اصلی موننسن که دارای حروف غیرهمسان (x, y) هستند اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. (P<0.05)

a,b,c Means within a column with different superscript letters differ significantly (P < 0.05)

A,B,C Means within a column for feeding strategy with different uppercase superscripts differ significantly (P<0.05).

x,y Means within a column for monensin with different superscripts differ significantly (P<0.05).

SEM: Standard Error of the Means.

جدول ۵. تأثیر مدت محدودیت خوراک و یونوفور مونسین بر ضریب تبدیل خوراک در دوره‌های مختلف

Table 5. Effect of feed restriction duration and monensin ionophore on feed conversion ratio in different experimental periods

پارامترهای ضریب تبدیل (Feed conversion ratio parameters)		
ضریب تبدیل خوراک کل دوره Overall feed conversion ratio	ضریب تبدیل خوراک دوره رشد جبرانی Feed conversion ratio during the compensatory growth period	فاکتورهای اصلی، ترکیب‌های تیماری و آنالیز آماری Main Factors, Treatment combinations and Statistical Analysis
6.87	6.82 ^B	شاهد Control
6.6	5.95 ^A	محدودیت تغذیه‌ای ۳۰ روزه 30-day restriction
6.34	5.33 ^A	محدودیت تغذیه‌ای ۶۰ روزه 60-day restriction
6.32 ^X	5.83 ^X	
6.93 ^Y	6.34 ^Y	+
6.65 ^{ab}	6.65 ^c	-
7.08 ^{ab}	6.99 ^c	شاهد با مونسین Control with Monensin
6.04 ^a	5.47 ^{ab}	شاهد بدون مونسین Control without Monensin
7.16 ^b	6.43 ^{bc}	محدودیت ۳۰ روزه با مونسین 30-day restriction with monensin
6.25 ^{ab}	5.26 ^a	محدودیت ۳۰ روزه بدون مونسین 30-day restriction without monensin
6.43 ^{ab}	5.40 ^a	محدودیت ۶۰ روزه با مونسین 60-day restriction with monensin
0.251	0.231	محدودیت ۶۰ روزه بدون مونسین 60-day restriction without monensin
P= 0.223	P<0.001	خطای استاندارد میانگین SEM
P= 0.017	P=0.023	اثر اصلی ۱- استراتژی تغذیه‌ای Main effect1 of Feeding Strategy
P= 0.174	P=0.228	اثر اصلی ۲- افزودنی مونسین Main effect2 of Monensin addition
		اثرات متقابل Interaction effect

a,b,c میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار هستند (P<0.05).

A, B, C میانگین‌های مربوط به اثر اصلی محدودیت خوراک که دارای حروف بزرگ غیرهمسان هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. (P<0.05)

x, y میانگین‌های مربوط به اثر اصلی مونسین که دارای حروف غیرهمسان (x, y) هستند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. (P<0.05)

a,b,c Means within a column with different superscript letters differ significantly (P < 0.05)

A,B,C Means within a column for feeding strategy with different uppercase superscripts differ significantly (P<0.05).

x,y Means within a column for monensin with different superscripts differ significantly (P<0.05).

SEM: Standard Error of the Means.

شد که احتمالاً ناشی از کاهش ظرفیت مصرفی دستگاه گوارش در اثر استرس متابولیک طولانی مدت است. همچنین، اثر متقابل معنادار بین مونسین و مدت محدودیت نشان می‌دهد که پاسخ به مونسین وابسته به راهبرد تغذیه‌ای است؛ به طوری که در گروه محدودیت ۳۰ روزه بدون مونسین، مصرف ماده خشک به طور غیرمنتظره‌ای افزایش یافت (۶۲۷ گرم) که ممکن است

این وابستگی به طور مستقیم با استراتژی تغذیه‌ای اعمال شده (محدودیت یا تغذیه آزاد) در ارتباط بود. نتایج نشان داد که مدت محدودیت خوراک به طور معناداری بر مصرف ماده خشک در این دوره تأثیر گذاشت. مشابه یافته‌های Kamalzadeh (۱۹۹۷)، محدودیت طولانی‌تر (۶۰ روزه) باعث کاهش ۲۴ درصد مصرف ماده خشک نسبت به دوره ۳۰ روزه

ناشی از تلاش دام برای جبران کمبود انرژی از طریق افزایش حجم مصرف باشد (Horton و همکاران (۱۹۸۳) این یافته با گزارش Baran و همکاران (۱۹۸۶) همسو است که نشان داد مونسین می‌تواند جریان عبور مواد از شکمبه را افزایش دهد و اشتها را تحت تأثیر قرار دهد.

از سوی دیگر، برخلاف نتایج برخی مطالعات و متاآنالیزها که مونسین را با کاهش مصرف ماده خشک مرتبط دانسته‌اند (Duffield و همکاران، ۲۰۱۲)، در دوره جبرانی مصرف خوراک در حضور مونسین افزایش یافت و بیشترین مقدار DMI در گروه دارای محدودیت ۳۰ روزه و دریافت‌کننده مونسین ثبت شد. این پاسخ ناشی از بروز پرخوری جبرانی و واکنشی نسبت به دوره محدودیت خوراک می‌باشد در واقع پرخوری جبرانی، یک مکانیسم فیزیولوژیک شناخته‌شده برای جبران عقب‌ماندگی رشد است (Hornick و همکاران، ۲۰۰۰؛ Hoseini و همکاران، ۲۰۰۸). در مقابل، دام‌های تحت محدودیت ۶۰ روزه، علیرغم دوره طولانی‌تر محدودیت، نتوانستند به اندازه گروه ۳۰ روزه پرخوری کنند. این امر ممکن است به دلیل سازگاری‌های متابولیکی عمیق‌تر یا رسیدن به یک سقف فیزیولوژیک در ظرفیت دستگاه گوارش باشد که مانع از بروز حداکثر پتانسیل پرخوری می‌شود (Ryan و همکاران، ۲۰۰۷؛ Ali و همکاران، ۲۰۰۴). یا نشان‌دهنده آتروفی احتمالی بافت‌های گوارشی و افت ظرفیت فیزیکی پذیرش خوراک بر اثر طولانی شدن تنش است (Freetly و همکاران، ۲۰۰۸). پس از رفع محدودیت، افزایش سریع مصرف، به‌ویژه در صورت بالا بودن سهم کربوهیدرات‌های قابل تخمیر در جیره جبرانی، می‌تواند دام را در معرض کاهش pH شکمبه و اسیدوز تحت‌بالینی قرار دهد؛ وضعیتی که معمولاً با کاهش مصرف خوراک همراه است (Al-Zahal و همکاران، ۲۰۰۸). مونسین با تغییر الگوی تخمیر و مهار انتخابی برخی باکتری‌های گرم‌مثبت، از جمله باکتری‌های مرتبط با تولید لاکتات مانند *Streptococcus bovis*، ممکن است نوسانات شدید pH شکمبه را کاهش داده باشد (Nagaraja، ۲۰۰۶). در نتیجه، دام‌های دریافت‌کننده مونسین احتمالاً توانسته‌اند افزایش مصرف ناشی از رشد جبرانی را با محدودیت کمتری تجربه کنند. در مجموع، محدودیت ۳۰ روزه همراه با مصرف مونسین الگویی شامل کاهش DMI در دوره تنش و افزایش مصرف در دوره تغذیه مجدد ایجاد کرد. این الگو می‌تواند از نظر مدیریتی مطلوب باشد، زیرا کاهش مصرف در دوره محدودیت با افزایش توانایی مصرف در دوره جبرانی همراه شده است.

۴.۳. افزایش وزن

عدم اختلاف معنی‌دار در وزن آغازین برهه بیانگر یک‌نواختی فیزیکی اولیه و حذف خطای ناشی از اثر وزن اولیه بر پاسخ‌های رشدی بعدی است. اعمال محدودیت خوراک از طریق القای بیلان منفی انرژی، برهه‌ها را وارد فاز کاتابولیک نمود؛ با این حال، نرخ افت وزن روزانه با تداوم محدودیت از ۳۰ به ۶۰ روز تعدیل یافت (۱۳۹،۷) در برابر ۷۲،۹ گرم در روز در حضور مونسین). این کاهش در شیب افت وزن، مؤید وقوع پدیده انطباق متابولیکی است که طی آن، افت توده احشایی فعال از نظر متابولیکی (به‌ویژه کبد و اپیتلیوم دستگاه گوارش) همراه با کاهش غلظت هورمون‌های تیروئیدی، نیاز انرژی نگهداری دام را بین ۲۰ تا ۳۰ درصد تنزل می‌دهد (Carstens و همکاران، ۱۹۹۱؛ Hornick و همکاران، ۲۰۰۰). در چنین شرایطی، افزودن مونسین احتمالاً به دلیل کاهش دسترسی به پروتئین میکروبی در بستر جیره محدود، اتکای بافتی دام را در روزهای ابتدایی اندکی تشدید نموده و موجب افت وزن نسبتاً بازرتری در دوره ۳۰ روزه شده است (Duffield و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین افت بالاتر وزن در گروه دریافت‌کننده مونسین در دوره ۳۰ روزه با نتایج Joy و همکاران، (۲۰۱۴) هم‌راستاست که نشان دادند در شرایط سوءتغذیه یا تغذیه فقیر، اثرات مهارکنندگی مونسین بر تخمیر شکمبه و سنتز پروتئین میکروبی، با وابستگی بیشتر دام به کاتابولیسم بافتی همراه خواهد بود.

با ورود به مرحله بازتغذیه، افزایش وزن روزانه (ADG) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر هر دو اثر اصلی استراتژی تغذیه‌ای و افزودن مونسین و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت. بالاتر بودن نرخ رشد روزانه در برهه‌های محدودیت‌دیده نسبت به گروه شاهد (۲۷۱ و ۲۳۹ در برابر ۲۰۹ گرم در روز)، شاهدهی روشن بر رخداد رشد جبرانی است. برتری نرخ رشد در برهه‌های محدودیت‌دیده با یافته‌های Santos-Silva و همکاران، (۲۰۰۲) و Zuberمان و همکاران، (۲۰۲۱) در برهه‌های پرواری کاملاً هم‌سو است؛ این پژوهشگران نیز گزارش نمودند که پس از دوره‌های محدودیت کمی یا کیفی، نرخ رشد روزانه در دوره بازتغذیه بین ۱۵ تا ۳۵ درصد نسبت به گروه شاهد پیوسته افزایش می‌یابد. مکانیسم اصلی این برتری به پدیده کاهش موقت نیاز نگهداری و اختصاص حداکثری انرژی و اسیدهای آمینه ورودی به بافت بدون چربی نسبت داده می‌شود (Hornick و همکاران، ۲۰۰۰؛ Sainz و همکاران، ۱۹۹۵). در مقابل، برخی پژوهش‌ها مانند Morris و همکاران، (۲۰۲۰) در صورت اعمال محدودیت‌های شدیدتر (بیش از ۵۰٪ نیاز نگهداری) عدم توانایی برهه‌ها در دستیابی به ADG بالاتر را گزارش کرده‌اند که این

ناهمخوانی ناشی از شدت محدودیت دوره محدودیت کیفی خوراک در پژوهش حاضر بوده است که به بافت‌های عضلانی آسیب ساختاری وارد نساخته است.

هم‌افزایی معنی‌دار میان محدودیت پیشین و افزودن مونسین، که منجر به ثبت بالاترین افزایش وزن روزانه در تیمار محدودیت ۶۰ روزه با مونسین شد، از منظر فیزیولوژی تخمیر شکمبه قابل توجه است. مونسین با مهار باکتری‌های گرم مثبت و کاهش اتلاف انرژی از مسیر متانوژنز، الگوی اسیدهای چرب فرار را به نفع تولید بیشتر پروبیونات سوق می‌دهد (Houlihan و Russell، ۲۰۱۲؛ Ellis و همکاران، ۲۰۰۳). این افزایش در نسبت پروبیونات، عرضه گلوکز پیش‌ساز کبدی را فزونی بخشیده و هم‌زمان اثر محافظت از اسیدهای آمینه در برابر دی‌آمیناسیون شکمبه‌ای، جریان اسیدهای آمینه قابل جذب به دوازدهه را بالا می‌برد (Tedeschi و همکاران، ۲۰۰۳). در مقایسه با پژوهش Haddad و Obeidat (۲۰۰۷) در بره‌های آوایی که بهبود ADG ناشی از مونسین را محدود به دوره‌های پرواربندی متداول ارزیابی کرده بودند، نتایج حاضر اثبات کرد که پاسخ به مونسین در بستر رشد جبرانی و پس از انطباق متابولیکی ناشی از محدودیت طولانی‌مدت (۶۰ روزه)، شدتی مضاعف می‌یابد.

بررسی وزن پایانی کشتار نشان داد که علی‌رغم عدم تفاوت آماری در اثرات اصلی، بره‌های گروه‌های محدودیت توانستند به وزنی هم‌تراز با گروه شاهد دست یابند و در ترکیب محدودیت ۳۰ روزه با مونسین حتی به بیشترین وزن عددی در برابر گروه شاهد بدون مونسین برسند. این دستیابی به وزن یکسان یا برتر، در توافق کامل با نتایج Mahjoubi و همکاران (۲۰۱۵) در بره‌های قزل و Atti و همکاران (۲۰۱۳) در بزغال‌ها است که نشان دادند در صورت فراهم بودن جیره متراکم و دوره باز تغذیه کافی، پدیده رشد جبرانی از نوع کامل خواهد بود و هیچ‌گونه افت در وزن نهایی کشتار ایجاد نمی‌گردد. در مجموع، مقایسه داده‌های حاضر با پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که تلفیق راهبرد محدودیت زمانی خوراک با افزودن یونوفور مونسین در فاز پروار، رویکردی بسیار کارآمدتر از سیستم‌های سنتی تغذیه مداوم (شاهد بدون مونسین با کمترین نرخ رشد ۱۷۸ گرم در روز) در تولید گوشت قرمز نشخوارکنندگان کوچک محسوب می‌شود.

۳.۵. ضریب تبدیل غذایی

ضریب تبدیل خوراک معیار نهایی بازده بیولوژیکی و اقتصادی در تبدیل ماده خشک مصرفی به توده بافت پروتئینی

در نشخوارکنندگان است. الگوی بهبود راندمان ضریب تبدیل پس از محدودیت در این پژوهش، در توافق کامل با نتایج Kamalzadeh و همکاران، (۲۰۰۹) در بره‌های بلوچی، Zuberaman و همکاران، (۲۰۲۱) در بره‌های تحت محدودیت کمی، و Atti و همکاران، (۲۰۱۳) در نشخوارکنندگان کوچک در حال رشد است؛ این پژوهشگران نیز گزارش کردند که در مرحله رشد جبرانی پس از یک دوره تنش محرومیت غذایی، ضریب تبدیل خوراک بین ۱۵ تا ۲۵ درصد بهبود می‌یابد. از دیدگاه فیزیولوژی تغذیه و متابولیسم سلولی، این بهبود در راندمان مصرف خوراک طی دوره رشد جبرانی از سه سناریو مکانیکی عمده ناشی می‌شود:

کاهش پایدار در نیاز انرژی نگهداری: در طول دوره محدودیت خوراک، بافت‌های احشایی فعال از نظر متابولیکی (به‌ویژه کبد، شکمبه و مخاط روده باریک) که مسئول بخش عمده‌ای از مصرف اکسیژن و تولید حرارت نگهداری دام هستند، دچار آتروفی ساختاری و کاهش اندازه می‌شوند. پس از آغاز مرحله بازتغذیه، این بافت‌ها با تأخیر به اندازه اولیه خود بازمی‌گردند؛ بنابراین در اوایل مرحله رشد جبرانی، نیاز نگهداری کل دام همچنان در سطحی پایین‌تر از حد نرمال باقی می‌ماند و بخش بسیار بزرگ‌تری از انرژی متابولیسمی دریافتی به سمت افزایش بافت اسکلتی سوق می‌یابد (Carstens و همکاران، ۱۹۹۵؛ Sainz و همکاران، ۱۹۹۱).

برتری ماهیت ترکیبی رشد: در آغاز مرحله رشد جبرانی، نسبت ابقای پروتئین و آب بافتی به ابقای بافت چربی بسیار بالاتر است. با توجه به اینکه ابقای پروتئین به دلیل پیوند مولکولی با آب درون سلولی، از نظر انرژی ترمودینامیکی هزینه انرژی متابولیسمی بسیار کمتری نسبت به لیپوژنز و رسوب چربی نیاز دارد، افزایش وزن در واحد مصرف ماده خشک با بالاترین بازده انرژی صورت می‌پذیرد (Hornick و همکاران، ۲۰۰۰؛ Owens و همکاران، ۱۹۹۳).

تغییرات هورمونی و ارتقای بازده جذب روده: رشد جبرانی با شارش غلظت پلاسمایی فاکتور رشد شبه‌انسولین IGF^۱ و انسولین همراه است، درحالی‌که ترشح هورمون رشد سبب مهار اکسیداسیون اسیدهای آمینه و افزایش سنتز پروتئین عضلانی می‌شود. هم‌زمان، افزایش ارتفاع پرزهای روده و سنتز حامل‌های گلوکز (SGLT-۱) در مخاط روده، ظرفیت جذب فعال مواد مغذی را به اوج می‌رساند (Homm و همکاران، ۲۰۰۸).

با دوز ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک، اثری هم‌افزا با دوره تغذیه مجدد نشان داد و از طریق بهبود و تثبیت الگوی تخمیر شکمبه، ارتقای میانگین افزایش وزن روزانه و مصرف ماده خشک را به همراه داشت. در نهایت، تلفیق راهکار ۳۰ روز محدودیت کیفی خوراک با مکمل مونسین به دستیابی به بهترین ضریب تبدیل خوراک کل دوره (۶,۰۴) و بالاترین وزن نهایی کشتار (۴۸۹۵۶ گرم) منجر شد از این‌رو، این الگوی مدیریتی-تغذیه‌ای به‌عنوان یک راهکار کارآمد و اقتصادی برای پرورار بهینه بره‌های نر نژاد کبوده شیراز پیشنهاد و توصیه می‌شود.

سیاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از همکاری و مساعدت پرسنل محترم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس واحد علی آباد کمین به‌منظور فراهم نمودن امکانات و پشتیبانی فنی در طول اجرای آزمایش، صمیمانه قدردانی نمایند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول و دوم: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج
نویسنده سوم و چهارم: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، نگارش نسخه اولیه مقاله
نویسنده پنجم: مفهوم‌سازی، مشاوره، بازبینی متن مقاله، تحلیل‌های آماری

References

Abouheif, M., Al-Sornokh, H., Swelum, A., Shafey, T., Mahmoud, A., Alshamiry, F., & Haroon, R. (2016). Effects of intake restriction and realimentation on diet digestion and ruminal fermentation by growing lambs. *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science*, 5(4), 126–131.

اثر مثبت مونسین بر راندمان خوراک با متآنالیز جامع Duffield و همکاران، (۲۰۱۲) و مطالعات اختصاصی در بره‌های پرواری توسط Felix و همکاران (۲۰۱۱) و Obeidat و Haddad (۲۰۰۷) کاملاً منطبق است. مونسین با ایجاد اختلال در پمپ‌های یونی باکتری‌های گرم‌مثبت شکمبه، جمعیت باکتری‌های متانوژن و هدر دهنده پروتئین را کاهش داده و مسیر تخمیر شکمبه را به سمت تولید بیشتر اسید پروپیونیک در برابر استات و بوتیرات هدایت می‌کند (Russell و Houlihan، ۲۰۰۳). از آنجا که پروپیونات سوبسترای اصلی گلوکونوژنز کبدی در نشخوارکنندگان بوده و بازده فرآیند انتقال انرژی آن بدون هدررفت متان به مراتب بالاتر است، مقدار انرژی خالص در دسترس حیوان افزایش یافته و مستقیماً سبب کاهش خوراک مصرفی به ازای هر واحد افزایش وزن می‌شود. ثبت کمترین مقدار عددی FCR در ترکیب محدودیت ۶۰ روزه با مونسین حاکی از انطباق هم‌زمان بالاترین ظرفیت جذب ناشی از محدودیت طولانی با بهینه‌ترین مشخصه تخمیر شکمبه‌ای ناشی از مصرف یونوفور است.

در تحلیل ضریب تبدیل خوراک کل دوره آزمایش (مجموع دوره‌های محدودیت و پرورار)، اثر اصلی استراتژی تغذیه‌ای معنی‌دار نبود. بدین معنا که افت وزن مرحله محدودیت بدون تحمیل هزینه بازدهی مازاد در کل چرخه جبران شده است. در نقطه مقابل، اثر اصلی مونسین بر کل دوره پرواربندی کاملاً معنی‌دار شد که پایداری نقش بهینه‌سازی متابولیکی یونوفور در تمام فازهای مدیریتی را اثبات می‌کند.

با وجود برتری شاخص‌های جبرانی مرحله رشد جبرانی در محدودیت ۶۰ روزه، ارزیابی کل دوره آزمایش اثبات می‌کند که استراتژی محدودیت ۳۰ روزه همراه با مکمل مونسین با ثبت ضریب تبدیل کل ۶,۰۴۶ (بهترین بازده آماری) بهینه‌ترین و پایدارترین بسته مدیریتی-تغذیه‌ای برای دستیابی به حداکثر گوشت تولیدی با کمترین هزینه خوراک در پرواربندی بره به شمار می‌آید.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اعمال محدودیت کیفی خوراک با القای پدیده رشد جبرانی کامل در بره‌های نر نژاد کبوده شیراز، شرایطی را فراهم ساخت تا این دام‌ها بدون هیچ‌گونه افت در ظرفیت رشد بالقوه، به وزن کشتار نهایی برابر یا حتی فراتر از گروه شاهد (تغذیه مداوم) دست یابند. در این میان، افزودن مکمل مونسین

- barley/roughage diets. *Animal Feed Science and Technology*, 15, 7–12.
- Bergen, W. G., & Bates, D. B. (1984). Ionophores: Their effect on production efficiency and mode of action. *Journal of Animal Science*, 58(6), 1465–1483. <https://doi.org/10.2527/jas1984.5861465x>.
- Bezerra, L. R., Neto, S. G., de Medeiros, A. N., Mariz, T. M. D. A., de Oliveira, R. L., Cândido, E. P., & da Silva, A. M. (2013). Feed restriction followed by realimentation in prepubescent Zebu females. *Tropical Animal Health and Production*, 45, 1161–1169. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0341-8>
- Connor, E. E., Kahl, S., Elsasser, T. H., Parker, J. S., Li, R. W., Van Tassell, C. P., Baldwin, R. L., VI, & Barao, S. M. (2010). Enhanced mitochondrial complex gene function and reduced liver size may mediate improved feed efficiency of beef cattle during compensatory growth. *Functional & Integrative Genomics*, 10, 39–51. <https://doi.org/10.1007/s10142-009-0138-7>
- Deng, T., Liang, M., Du, L., Li, K., Li, J., Qian, L., Xue, Q., Qiu, S., Xu, L., Zhang, L., Gao, X., Li, J., Lan, X., & Gao, H. (2024). Transcriptome analysis of compensatory growth and meat quality alteration after varied restricted feeding conditions in beef cattle. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(5), 2704. <https://doi.org/10.3390/ijms25052704>
- Drew, K. R., & Reid, J. T. (1975). Compensatory growth in immature sheep. I. The effects of weight loss and re-alimentation on the whole body composition. *Journal of Agricultural Science*, 85, 193–204.
- Duffield, T. F., Merrill, J. K., & Bagg, R. N. (2012). Monensin in ruminant diets: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 171(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.09.011>
- Abouheif, M., AL-Sornokh, H., Swelum, A. A., Yaqoob, H., & Al-Owaimer, A. (2015). Effect of different feed restriction regime on lamb performance and carcass traits. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44(3), 76–82.
- Addah, W., Ayantunde, A., & Okine, E. K. (2017). Effects of restricted feeding and realimentation of dietary protein or energy on compensatory growth of sheep. *South African Journal of Animal Science*, 47, 389–398. <https://doi.org/10.4314/sajas.v47i2.15>
- Ali, M., Kang, G. H., Joo, S. T., & Ahn, D. U. (2004). Influence of feeding regimen and compensatory growth on performance and carcass traits in ruminants: A review. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 3(12), 805–810.
- Al-Selbood, B. A. (2009). *Effect of feeding program on performance and carcass characteristics of Najdi lambs* [PhD thesis, King Saud University, Saudi Arabia].
- Atti, N., & Ben Salem, H. (2008). Compensatory growth and carcass composition of Barbarine lambs receiving different levels of feeding with partial replacement of the concentrate with feed blocks. *Animal Feed Science and Technology*, 147(1–3), 265–277. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.09.026>
- Ashfield, A., Wallace, M., McGee, M., & Crosson, P. (2014). Bioeconomic modelling of compensatory growth for grass-based dairy calf-to-beef production systems. *The Journal of Agricultural Science*, 152(5), 805–816. <https://doi.org/10.1017/S0021859613000531>
- Baran, M., & Zitnan, R. (2002). Effect of monensin sodium on fermentation efficiency in sheep rumen. *Archives Animal Breeding*, 45, 181–185. <https://doi.org/10.5194/aab-45-181-2002>
- Baran, M., Boda, K., & Siroka, P. (1986). The effect of monensin on rumen fermentation in sheep fed on all-roughage and

- diet. *Japan Journal of Zootechnical Science*, 56(10), 822–826.
- Kamalzadeh, A., Koops, W. J., Van Bruchem, J., & Tamminga, S. (1997). Feed quality restriction and compensatory growth in growing sheep: Feed intake, digestion, nitrogen balance and modelling changes in feed efficiency. *Livestock Production Science*, 52, 209–217. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00125-5](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00125-5)
- Kamalzadeh, A., Koops, W. J., Van Bruchem, J., & Bangma, G. A. (1998a). Effect of duration of feed quality restriction on body dimension in lambs. *Journal of Animal Science*, 76, 735–742. <https://doi.org/10.2527/1998.763735x>
- Kamalzadeh, A., Koops, W. J., Van Bruchem, J., Tamminga, S., & Zwart, D. (1998b). Feed quality restriction and compensatory growth in growing sheep: Development of body organs. *Small Ruminant Research*, 29, 71–82. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(97\)00111-9](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(97)00111-9)
- Keady, S. M., Keane, M. G., Waters, S. M., Wylie, A. R. G., O’Riordan, E. G., Keogh, K., & Kenny, D. A. (2021). Effect of dietary restriction and compensatory growth on performance, carcass characteristics, and metabolic hormone concentrations in Angus and Belgian Blue steers. *Animal: An International Journal of Animal Biosciences*, 15(6), 100215. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100215>
- Khamisabadi, H., Naseri Hersini, R., Fazaeli, H., & Aghashahi, A. R. (2019). Effect of feed restriction on performance, digestibility, blood parameters and slaughter characteristics in Sanjabi lambs. *Research on Ruminants*, 6(4), 15–30.
- Lawrence, T. L. J., & Fowler, V. R. (2002). *Growth of farm animals* (2nd ed.). CABI.
- Lopes, R. B., Canozzi, M. E. A., Canellas, L. C., Gonzalez, F. A. L., Corrêa, R. F., Pereira, P., Goodrich, R. D., Garrett, J. E., Gast, D. R., Kirick, M. A., Larson, D. A., & Meiske, J. C. (1984). Influence of monensin on the performance of cattle. *Journal of Animal Science*, 58(6), 1484–1498. <https://doi.org/10.2527/jas1984.5861484x>
- Gonzaga Neto, S., Bezerra, L. R., Medeiros, A. N., Ferreira, M. A., Pimenta Filho, E. C., Cândido, E. P., & Oliveira, R. L. (2011). Feed restriction and compensatory growth in Guzera females. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(6), 791–799. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.10417>
- Hornick, J. L., Van Eenae, C., Clinquart, A., Diez, M., & Istasse, L. (1998). Different periods of feed restriction before compensatory growth in Belgian Blue bulls: I. Animal performance, nitrogen balance, meat characteristics, and fat composition. *Journal of Animal Science*, 76(1), 249–259. <https://doi.org/10.2527/1998.761249x>
- Hornick, J. L., Van Eenae, C., Gerard, O., Dufrasne, I., & Istasse, L. (2000). Mechanisms of reduced and compensatory growth. *Domestic Animal Endocrinology*, 19, 121–132. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(00\)00072-2](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(00)00072-2)
- Hoseini, S. M., Akbari, S. M., Maheri-Sis, N., & Mirzaei, A. (2008). Effect of different energy levels of diet on feed efficiency, growth rate and carcass characteristics of fattening Bahmaei lambs. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 7, 1551–1554.
- Horton, G. H. J., Farmer, M. J., Bassendowski, K. A., & Steacy, G. M. (1983). Rumen fermentation and digestibility in steers as influenced by levels of intake and monensin. *Canadian Journal of Animal Science*, 63, 855–860.
- Kazunari, U., Akira, M., & Ryoji, K. (1985). Effect of monensin on ruminal VFAs and gas production of sheep fed high concentrate

- feed and slaughter weight on carcass and chemical composition of Lori-Bakhtiari ram lambs. *Small Ruminant Research*, 51, 243–249.
- Shadnough, G. H., Alikhani, M., Rahmani, H. R., Edris, M. A., Kamalzadeh, A., & Zahedifar, M. (2011). Effect of feeding management on performance, growth, fattening and cost-benefit analysis in Lori-Bakhtiari lambs. *Iranian Journal of Animal Science*.
- Spears, J. W. (1990). Ionophores and nutrient digestion and absorption in ruminants. *Journal of Nutrition*, 120, 632–638.
- Tedeschi, L. O., Fox, D. G., & Russell, J. B. (2003). Accounting for the effects of ruminal monensin on methane emission and feed efficiency. *Journal of Animal Science*, 81(7), 1856–1864. <https://doi.org/10.2527/2003.8171856x>
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd ed.). Cornell University Press.
- Wilson, P. N., & Osbourn, D. F. (1960). Compensatory growth after undernutrition in mammals and birds. *Biological Reviews*, 35(3), 324–363. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1960.tb01422.x>
- Yambayamba, E. S. K., Price, M. A., & Jones, S. D. M. (1996). Compensatory growth of carcass tissues and visceral organs in beef heifers. *Livestock Production Science*, 46(1), 19–32. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(96\)00024-7](https://doi.org/10.1016/0301-6226(96)00024-7)
- R. R. X., & Barcellos, J. O. J. (2018). Bioeconomic simulation of compensatory growth in beef cattle production systems. *Livestock Science*, 216, 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.08.011>
- Madziga, I. I., Adesote, A. A., Jaiyeoba, B. B., Pereira Filho, J. M., de Oliveira Soares Lucena, K. H., & Bezerra, L. R. (2026). Impact of short feed restriction to compensatory growth on the performance, body measurements, and carcass and non-carcass traits of Bunaji and Sokoto Gudali Nigerian bulls. *Tropical Animal Health and Production*, 58, 178. <https://doi.org/10.1007/s11250-026-04974-2>
- Manni, K., Rinne, M., Joki-Tokola, E., & Huuskonen, A. (2017). Effects of different restricted feeding strategies on performance of growing and finishing dairy bulls offered grass silage and barley-based diets. *Journal of Agricultural and Food Science*, 26, 91–101.
- Nagaraja, T. G., Newbold, C. J., Van Nevel, C. J., & Demeyer, D. I. (1997). Manipulation of ruminal fermentation. In P. N. Hobson & C. S. Stewart (Eds.), *The rumen microbial ecosystem* (2nd ed., pp. 523–632). Blackie Academic & Professional.
- National Research Council. (2007). *Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and New World camelids*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11654>
- Russell, J. B., & Strobel, H. J. (1989). Effect of ionophores on ruminal fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 55(1), 1–6. <https://doi.org/10.1128/aem.55.1.1-6.1989>
- Ryan, W. J. (1990). Compensatory growth in cattle and sheep. *Nutrition Abstracts and Reviews. Series B, Livestock Feeds and Feeding*, 60, 653–664.
- Shadnough, G. H., Ghorbani, G. R., & Edris, M. A. (2004). Effect of different energy level in