Research on Animal Production, Vol. 15, Issue 4, 2024 p: 129-144

Research Paper

# Reducing Greenhouse Gas Emissions in Dairy Cow Breeding Units through Ration Management with Emphasis on the Life Cycle Assessment Approach

**Zahra Rashid Sanchuli[1], Seyed-Ali Hosseini-Yekani[2] and Fatemeh Kashiri Kolaei[3]**

1- M.Sc, Department of Agricultural Economics, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Ph.D. in Agricultural Economics, Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Muncheberg, Germany
3- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding author: fkashiri03@gmail.com)

Received: 05 April, 2024 Accepted: 30 July, 2024

## Extended Abstract

**Background**: Global warming and the role of greenhouse gases in its creation are among the important topics investigated in many domestic and foreign studies. Livestock activities are among the factors that cause these gases. Therefore, to reduce the emission of greenhouse gases, necessary measures should be taken in livestock units. In this regard, in the present study, the optimal ration of dairy cows was determined with an emphasis on reducing greenhouse gas emissions in the form of a life cycle assessment. For this, the optimal ration was first determined with the economic goal of reducing costs, and then the ration was determined aiming at reducing greenhouse gas emissions in different scenarios of cost increase (5-25%) compared to the optimal economic state. To determine the optimal ration in this research, Holstein dairy cows with a weight of 600 kg and an average production of 30 kg of milk per day were considered in one of the large dairy cattle breeding units in Mazandaran province. In the present study, the amount of greenhouse gas emissions caused by animal feed was calculated in the form of the life cycle, the effects of both not burning plant residues and reducing the use of chemical fertilizers were investigated on the amount of greenhouse gas emissions in dairy cattle breeding units.

**Methods**: The required data were collected from the sample dairy cattle breeding unit, the Agricultural Jihad of Mazandaran Province, the FAO website, the NRC book, and some other information sources. The used model includes the ration cost minimization model and the greenhouse gas emission minimization model in the form of life cycle assessment. GAMS software was used to calculate the results.

**Results:** The results indicate that to minimize the cost of providing ration, sugar beet pulp at an amount of 15.83 kg per day is replaced by materials such as corn silage, wheat bran, wheat straw, and barley constitute the most part, respectively, with values of 7.91, 7.91, and 7.72 kg per day. On the other hand, it is necessary to limit the consumption of corn, fish meal, and soybean meal in the diet. The emission of greenhouse gases in this case is about 41.19 kg eq $CO_2$. The total cost is also equal to 396,480 Rials, which is reduced by 26% compared to the basic state. The results of determining the optimal ration aiming at reducing greenhouse gas emissions indicate that sugar beet pulp, corn silage, wheat bran, and wheat straw with values of 15. 67, 9.17, 7.84, and 7.84 kg per day, respectively, have the highest share in the scenario of a 5% increase in ration costs obtained in the previous method. In this situation, greenhouse gas emissions will decrease to a greater extent (around 7.7%) with a 5% increase in ration costs. If the cost of the total ration is increased by 25%, the emission of greenhouse gases will decrease by 25.68%. In this case, the largest portion of the ration will be sugar beet pulp, corn silage, and wheat bran with the values of 15.66, 15.71, and 6.37 kg per day, respectively. Overall, based on the results, materials such as corn silage, sugar beet pulp, and wheat bran have a higher share than the other materials by reducing greenhouse gas emissions in different cost scenarios. Soybean and cornmeal are also among the ingredients that are reduced in the diet to further reduce greenhouse gases. Based on the results obtained in all scenarios of cost increase, methane from rumen fermentation, energy consumption, manure management, and then soil management respectively have the most contribution to greenhouse gas emissions. Examining other scenarios of this research also indicates that not burning plant residues, which is now approved as a government policy, reduces

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]

Copyright ©2024 Rashid Sanchuli et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

the amount of greenhouse gas emissions caused by soil management and thus the total amount of greenhouse gas emissions by 0.61%.
**Conclusion:** Based on the results of this research, the equivalent amount of $CO_2$ emitted per kg of milk decreases by assuming more costs. Greenhouse gas emissions of about 1.21 and 1.003 kg eq of $CO_2$ per kg of milk are obtained in the scenarios of a 5%-25% increase in costs. The results of this research have shown that to reduce greenhouse gas emissions in different cost scenarios, it is better for materials such as sugar beet pulp, corn silage, and wheat bran to have a higher share than the other materials. Increasing the share of these materials aims to reduce greenhouse gas emissions, which seems to be an effective step in reducing pollution by encouraging the consumption of these materials. The results of the trade-off between the cost of ration and the amount of greenhouse gas emissions in all the investigated scenarios indicate that the percentage of reductions in greenhouse gas emissions was higher than the percentage of increases in ration costs. In general, it can be concluded that the use of conventional models of ration determination, which are based on the minimization of ration cost, and not paying attention to the reduction of environmental consequences such as the emission of greenhouse gases, leads to the selection of unsuitable rations from the environmental point of view. According to the results of the research, it is possible to take appropriate measures, such as subsidizing the consumption of materials that emit less greenhouse gases, as well as charging a fine for consuming materials that increase greenhouse gas emissions and a fine for burning plant residues, to improve the environment.

**Keywords:** Cost Minimization, Environmental Goals, Holstein Cows, Life Cycle, Mathematical Planning

**How to Cite This Article:** Rashid Sanchuli, A., Hosseini-Yekani, A., & Kashiri Kolaei, F. (2024). Reducing Greenhouse Gas Emissions in Dairy Cow Breeding Units through Ration Management with Emphasis on the Life Cycle Assessment Approach. *Res Anim Prod,* 15(4), 129-144. DOI: 10.61186/rap.15.4.129

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

# کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحدهای پرورش گاو شیری از طریق مدیریت جیره با تاکید بر رویکرد ارزیابی چرخه حیات

زهرا رشید سنچولی[۱]، سید علی حسینی یکانی[۲] و فاطمه کشیری کلائی[۳]

۱-کارشناس ارشد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- دکتری اقتصاد کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی لینیز (زلف)، مونچبرگ، آلمان
۳- استادیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: fkashiri03@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱/۱۷ تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۵/۹
صفحه: ۱۲۹ تا ۱۴۴

## چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** گرمایش زمین و نقش گازهای گلخانه‌ای در ایجاد آن، یکی از موضوعات مهم مورد بررسی در بسیاری از مطالعات داخلی و خارجی می‌باشد. از جمله عوامل ایجاد کننده این گازها، فعالیت‌های دامپروری است. لذا به‌منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بایستی اقدامات لازم در واحدهای دامی صورت گیرد. در این راستا، در مطالعه حاضر به تعیین جیره بهینه گاوهای شیری با تأکید بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در قالب ارزیابی چرخه حیات پرداخته شده است. برای این امر ابتدا جیره بهینه با هدف اقتصادی کاهش هزینه‌ها تعیین شد و سپس جیره با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای مختلف افزایش هزینه (۵ تا ۲۵ درصد) نسبت به حالت بهینه اقتصادی تعیین شد. در این پژوهش، به‌منظور تعیین جیره بهینه، گاوهای شیری نژاد هلشتاین با وزن ۶۰۰ کیلوگرم و تولید متوسط ۳۰ کیلوگرم شیر در روز در یکی از واحدهای بزرگ پرورش گاوهای شیری در استان مازندران در نظر گرفته شد. در مطالعه حاضر، پس از محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از جیره دام در قالب چرخه حیات، به بررسی اثر عدم سوزاندن بقایای گیاهی و نیز بررسی اثر کاهش مصرف کودهای شیمیایی بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحدهای پرورش گاوهای شیری پرداخته شد.

**مواد و روش‌ها:** داده‌های مورد نیاز از واحد پرورش گاوهای شیری نمونه، جهاد کشاورزی استان مازندران، سایت فائو، کتاب NRC و برخی منابع اطلاعاتی دیگر جمع‌آوری شد. مدل مورد استفاده مشتمل بر مدل حداقل‌سازی جیره و مدل حداقل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای در قالب ارزیابی چرخه حیات بوده است. برای محاسبه نتایج، نرم‌افزار GAMS مورد استفاده قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج حاکی از آن است که به‌منظور کمینه‌سازی هزینه تأمین جیره، تفاله چغندرقند با مقدار ۱۵/۸۳ کیلوگرم در روز، جایگزین موادی مانند سیلاژ ذرت می‌شود و بعد از آن سبوس گندم، کاه گندم و جو به‌ترتیب با مقادیر ۷/۹۱، ۷/۹۱ و ۷/۷۲ کیلوگرم در روز، بیشترین سهم را از آن خود می‌کنند. در مقابل لازم است مصرف ذرت، پودر ماهی و کنجاله سویا در جیره محدود شوند. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در این حالت حدود ۴۱/۱۹ کیلوگرم معادل $CO_2$ می‌باشد. همچنین هزینه کل معادل ۳۹۶۴۸۰ ریال است که نسبت به حالت پایه حدود ۲۶ درصد کاهش یافته است. نتایج تعیین جیره بهینه با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز حاکی از آن است که در سناریوی افزایش ۵ درصدی هزینه‌های جیره به‌دست آمده در روش قبلی، تفاله چغندرقند، سیلاژ ذرت، سبوس گندم و کاه گندم به‌ترتیب با مقادیر ۱۵/۶۷، ۹/۱۷، ۷/۸۴ و ۷/۸۴ کیلوگرم در روز بیشترین سهم را دارا می‌شوند. در این شرایط با افزایش ۵ درصدی هزینه‌های جیره، انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌میزان بیشتری (حدود ۷/۷ درصد) کاهش می‌یابد. اگر هزینه کل جیره تا ۲۵ درصد افزایش داده شود میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ۲۵/۶۸ درصد کاهش می‌یابد. در این حالت بیشترین سهم جیره از آن تفاله چغندرقند، سیلاژ ذرت و سبوس گندم به‌ترتیب با مقادیر ۱۵/۶۶، ۱۵/۷۱ و ۶/۳۷ کیلوگرم در روز خواهد شد. در مجموع برمبنای نتایج، با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای مختلف هزینه، موادی مانند سیلاژ ذرت، تفاله چغندرقند و سبوس گندم سهم بالاتری نسبت به سایر مواد دارند. کنجاله سویا و ذرت نیز از موادی بوده که برای کاهش بیشتر گازهای گلخانه‌ای در جیره کاهش می‌یابند. همچنین براساس نتایج به‌دست آمده در تمامی سناریوهای افزایش هزینه، متان حاصل از تخمیر شکمبه‌ای، انرژی مصرفی، مدیریت کود دامی و سپس مدیریت خاک به‌ترتیب بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه‌ای از آن خود کرده‌اند. بررسی سایر سناریوهای این تحقیق نیز حاکی آن است که عدم سوزاندن بقایای گیاهی که اکنون به‌عنوان یک سیاست دولتی مورد تصویب قرار گرفته است، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مدیریت خاک و در نتیجه میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای را ۰/۶۱ درصد کاهش می‌دهد.

**نتیجه‌گیری:** برمبنای نتایج این تحقیق، با متقبل شدن هزینه‌های بیشتر، میزان معادل $CO_2$ انتشار یافته به‌ازای هر کیلوگرم شیر نیز کاهش می‌یابد به‌طوری‌که در سناریوهای افزایش ۵ و ۲۵ درصدی هزینه‌ها، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ترتیب حدود ۱/۲۱ و ۱/۰۰۳ کیلوگرم معادل $CO_2$ به‌ازای هر کیلوگرم شیر، به‌دست آمده است. نتایج این تحقیق بیانگر آن بوده است که به‌منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای مختلف هزینه، بهتر است موادی مانند تفاله چغندرقند، سیلاژ ذرت و سبوس گندم سهم بالاتری نسبت به سایر مواد داشته باشند. افزایش سهم این مواد در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده که به‌نظر می‌رسد با تشویق به مصرف این مواد بتوان گامی مؤثر در کاهش آلودگی‌ها برداشت. نتایج مبادله بین هزینه جیره و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تمامی سناریوهای مورد بررسی حاکی از آن است که درصد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از درصد افزایش هزینه‌های جیره بیشتر بوده است. در مجموع می‌توان گفت استفاده از مدل‌های متعارف تعیین جیره که مبتنی بر کمینه‌سازی هزینه جیره هستند و عدم توجه به کاهش تبعات زیست‌محیطی نظیر انتشار گازهای گلخانه‌ای، منجر به انتخاب جیره‌ای نامناسب از بعد زیست‌محیطی می‌شود. با توجه به نتایج تحقیق، می‌توان با اقدامات مناسبی از قبیل یارانه به مصرف موادی که انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتری را داشته و همچنین اخذ جریمه برای مصرف مواد افزون‌کننده انتشار گازهای گلخانه‌ای و جریمه بر سوزاندن بقایای گیاهی، در راستای بهبود وضعیت محیط زیستی قدم برداشت.

**واژه‌های کلیدی:** اهداف محیط زیستی، برنامه‌ریزی ریاضی، چرخه حیات، کمینه‌سازی هزینه، گاوهای هلشتاین

## مقدمه

در فعالیت‌های کشاورزی، دامپروری نسبت به سایر زیر بخش‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این صنعت در ایجاد شغل و درآمد برای جمعیت فعال کشور نقش مؤثری داشته و در سایر بخش‌های اقتصادی کشور نیز نقش پشتوانه‌ای ایفا می‌کند (Sefeedpari *et al.*, 2018). به‌دلیل افزایش روزافزون

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]

تقاضا برای موادغذایی، میزان تولید محصولات و سطح زیرکشت آن‌ها، افزایش یافته است که خود منجر به استفاده بیشتر از نهاده‌ها و منابع تولیدی همچون سموم، کودهای شیمیایی و سوخت‌های فسیلی و در نتیجه افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود (Liang *et al.*, 2013).

در ایران سهم بخش کشاورزی در تولید $CO_2$، ۲/۵۸ درصد، $CH_4$، ۱/۴۲ درصد و $N_2O$، ۴۰/۳۹ درصد می‌باشد. دامپروری با سهم ۳/۲ درصد و مدیریت خاک (کودهای شیمیایی و شخم زدن زمین) با سهم یک درصد به‌ترتیب در رتبه‌های چهارم و پنجم در کل منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای قرار دارند (Moradi & Aminian, 2012). لازم به ذکر است که بخش اعظمی از $CH_4$، ناشی از فعالیت‌های پرورش دام بوده، در حالی‌که بخش اعظمی از $N_2O$ از مدیریت مصرف کود و خاک‌های کشاورزی نشأت گرفته و $CO_2$ نیز غالباً از مصرف سوخت و انرژی حاصل می‌شود (Dehghan, 2014).

در فعالیت دامپروری، یکی از واحدهای مهم در انتشار گازهای گلخانه‌ای، گاوداری‌ها می‌باشند. شدت انتشار در این واحدها به‌حدی بوده که گفته می‌شود انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط یک گاو طی یک سال تقریباً برابر است با اتومبیلی که دو بار کره زمین را دور بزند (Moradi & Aminian, 2012). همچنین براساس آمارنامه فائو[1]، یک گاو حدود ۱۰۰ کیلوگرم گاز متان در یک سال تولید می‌کند. این بخش با سهم ۷۰ درصد، بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را در بخش کشاورزی به خود اختصاص داده است. بنابراین می‌توان گفت در بخش کشاورزی، فعالیت‌های دامپروری مخصوصاً واحدهای تولید شیر نقش قابل‌توجهی را در تولید گازهای گلخانه‌ای دارند.

مهمترین منبع تولید شیر، واحدهای پرورش گاو شیری هستند که با توجه به افزایش جمعیت جهان و به‌دنبال آن افزایش تقاضا برای غذا به‌ویژه مواد لبنی، این واحدها در حال افزایش هستند (Garg *et al.*, 2016; O'Brien *et al.*, 2014). براساس آمار وزارت جهاد کشاورزی، این میزان تولید در کشور ایران طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ از حدود ۷/۲ میلیون تن به ۱۱ میلیون تن رسیده است. ازطرفی هر رأس گاو، روزانه حدود ۵۰۰ لیتر گاز متان تولید می‌کند (Adavi *et al.*, 2014). بر این اساس، با توجه به اینکه در آمار گاوهای شیر دوشی شده در سال ۱۳۹۶، میزان انتشار گاز متان ناشی از واحدهای پرورش گاوهای شیری در کشور حدود ۱۲۰۰ میلیون لیتر و در استان مازندران ۶۵ میلیون لیتر متان می‌باشد. لذا انتشار گاز متان ناشی از گاوهای شیری در استان مازندران ۵/۴ درصد کشور است. با توجه به این آمار، بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از واحدهای دامی در استان مازندران امری مهم به‌نظر می‌رسد.

با توجه به مطالب از پیش گفته شده و اهمیت و نقش واحدهای پرورش دام‌های شیری در انتشار گازهای گلخانه‌ای و نیز تعهد کشور ایران نسبت به اندازه‌گیری این گازها و بی‌توجهی مدیران واحدهای مذکور نسبت به میزان انتشار این گازها، لازم است میزان این انتشار در این واحدها محاسبه شود تا با استفاده از آن در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بکوشند. در این راستا، در این مطالعه، در قالب بهینه‌سازی جیره گاوهای شیری نژاد هلشتاین، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز محاسبه و بهینه‌سازی گشت. برای برآورد دقیق‌تر، محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای مبتنی بر روش ارزیابی چرخه حیات[2] (LCA) صورت گرفته است. در روش LCA تمام مراحل مربوط به چرخه حیات محصولات تولیدی از جمله مراحل تولید نهاده‌های وابسته به آن، خروجی‌ها و پسماندهای آن درنظر گرفته می‌شود (Zoghi *et al.*, 2016). چرخه حیات یک واحد دامی را می‌توان مشتمل بر تولید موادغذایی موردنیاز دام در مزرعه (از جمله مدیریت خاک، بقایای زراعی)، نهاده‌های مربوط به تولید محصولات غذایی (مثل کودها، سموم و آفت‌کش‌ها و انرژی مصرفی)، تخمیر شکمبه‌ای دام و دفع فضولات دامی دانست (Hawkins *et al.*, 2015). به‌طور کلی چرخه حیات یک گاو شیری را می‌توان طبق شکل (۱) ترسیم نمود:




شکل ۱- چرخه حیات و انتشار گازهای گلخانه‌ای در دام (Hawkins *et al.*, 2015)
Figure 1. Life cycle and emission of greenhouse gases in livestock (Hawkins *et al.*, 2015)

1- Food and Agriculture Organization
2- Life Cycle Assessment (LCA)

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]

از شکل (۱) می‌توان دریافت که اگر فعالیت‌های دامی برنامه تغذیه‌ای مناسب نداشته باشند، منجر به استفاده از موادی می‌شوند که ممکن است در کل چرخه حیات، از تولید نهاده‌های زراعت تا دفع کود دام، موجب آلودگی بیشتر در محیط شوند. در گذشته مطالعات زیادی در زمینه تعیین جیره مناسب دام انجام گرفته است. ابتدایی‌ترین مطالعات مبتنی بر تعیین جیره دام با هدف کاهش هزینه و دستیابی به مقدار قابل‌قبولی از مواد مغذی موردنیاز دام بوده‌اند. اما علاوه بر اهداف اقتصادی و تغذیه‌ای، اهداف محیط زیستی نظیر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز بایستی در جیره‌نویسی مدنظر قرار گیرد. در این راستا، در مطالعه حاضر، با رویکرد ارزیابی چرخه حیات گاوهای شیری، ضمن محاسبه‌ی مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تخمیر شکمبه‌ای، مدیریت کود دامی، خاک‌های کشاورزی و انرژی مصرفی، تلاش می‌شود تا در تعیین جیره گاوهای شیری نژاد هلشتاین در استان مازندران، اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و حداقل‌سازی هزینه جیره با توجه به قیدهای دستیابی به حداقل و حداکثر میزان موردنیاز مواد مغذی در قالب مدل برنامه‌ریزی ریاضی متداخل شوند.

در زمینه بهینه‌سازی جیره دام با تاکید بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، مطالعات چندانی در داخل کشور انجام نشده است اما از مطالعات مرتبط می‌توان به مطالعه بیانی و همکاران (Bayani *et al.*, 2016) اشاره نمود که انرژی مورد استفاده در دامداری‌های سنتی پرورش گاو شیری را بررسی و گازهای گلخانه‌ای منتشر شده از جریان الکتریکی و به‌کار گرفتن ماشین‌آلات را در استان مازندران مورد محاسبه قرار دادند. اطلاعات از طریق پرسشنامه و مصاحبه حضوری با ۲۶ گاودار در سال ۱۳۹۳ جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که مجموع انرژی‌های ورودی برای تولید یک لیتر شیر ۲۷/۷۵ مگاژول بود و نهاده خوراک دام با ۴۷/۴ و سوخت با ۲۸/۵ درصد، پرمصرف‌ترین نهاده‌های انرژی بودند. در مطالعه آنها مجموع گازهای گلخانه‌ای منتشر شده ۰/۶۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در تولید یک لیتر شیر محاسبه شد. دو نهاده ماشین‌ها و تجهیزات و سوخت با مقادیر ۷۲/۳ و ۲۵/۷ درصد، بیشترین انتشار گازهای گلخانه‌ای را در تولید شیر داشتند. خلیلی و همکاران (Khalili *et al.*, 2017) مطالعه‌ای را با هدف محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید شیر در واحدهای پرورش گاو شیری در استان همدان با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات انجام دادند. داده‌ها از طریق ابزار پرسشنامه جمع‌آوری شدند. واحد کارکردی، یک کیلوگرم شیر تصحیح شده برای چربی و پروتئین درنظر گرفته شد. نتایج نشان داد مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای واحد کارکردی، ۲/۶۳۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به‌دست آمد. سه منبع عمده انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید شیر، تولید و حمل خوراک، تخمیر شکمبه‌ای و تولید الکتریسیته بودند. همچنین میانگین انتشار به‌دست آمده کمتر از میانگین جهانی بود. در مطالعه دیگر، لقمان‌پور زرینی و نبی‌پور افروزی (Loghmanpour Zarini & Nabipour Afrouzi, 2020) به بررسی جریان انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحدهای پرورش گاو شیری استان قزوین پرداختند. آنها اطلاعات موردنیاز را از طریق تکمیل پرسشنامه و مصاحبه حضوری با ۶۲ مدیر واحدهای پرورش گاو شیری جمع‌آوری نمودند. نتایج نشان داد که مجموع انرژی‌های ورودی جهت تولید یک لیتر شیر برابر با ۲۷/۸ مگاژول بوده است. همچنین خوراک دام و سوخت با سهم ۴۸ و ۲۹ درصدی پرمصرف‌ترین نهاده‌ها انرژی بودند. کارایی انرژی در این مطالعه برابر با ۰/۲۵ برآورد شد. همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ۰/۶۵ کیوگرم دی‌اکسیدکربن به‌ازای تولید یک لیتر شیر محاسبه شد. شورمیج و لقمان‌پور زرینی (Shurmij & Loghmanpour Zarini, 2020) به بررسی پتانسیل گرمایش جهانی به‌روش ارزیابی چرخه حیات در فرآیند تولید شیر در ۳۲ واحد پرورش گاو شیری در استان گلستان پرداختند. اطلاعات از طریق پرسشنامه تخصصی در سال زراعی ۱۳۹۸–۱۳۹۷ استخراج شد. در مطالعه آنها سه گاز گلخانه‌ای شامل CH4، CO2، N2O بوده است که مقادیر آن به‌ازای یک تن شیر به‌ترتیب برابر ۲۰/۲۸، ۲۵/۷۴ و ۲۶/۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به‌دست آمد. مهم‌ترین عامل نشر گاز CO2 به‌ترتیب نهاده خوراک دام به‌ویژه کنسانتره، الکتریسیته و سوخت دیزل بود که مقادیر آنها برابر ۳/۶۷۶، ۹۳/۳۸، ۹۸/۲۴ کیلوگرم به‌ازای یک تن شیر محاسبه شد. عامل اصلی انتشار گاز CH4 فاکتور تخمیر شکمبه‌ای و برابر ۵۷/۲۶ کیلوگرم به‌ازای یک تن شیر بود.

در مطالعات خارجی، هاوکینز و همکاران (Hawkins *et al.*, 2015) در کانادا، بهینه‌سازی و تنظیم جیره را به‌عنوان یک استراتژی با هدف حداکثرسازی بازدهی تولید شیر و محدودیت دستیابی به حداقل مواد مغذی و کاهش گازهای گلخانه‌ای در سیستم‌های تولید شیر با رویکرد ارزیابی چرخه حیات بررسی کردند و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را ۰/۹۴۵ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به‌ازای هر کیلوگرم شیر تصحیح شده برای چربی و پروتئین محاسبه کردند. آن‌ها دریافتند جایگزینی سیلاژ ذرت با یونجه می‌تواند منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ای در تولید گازهای گلخانه‌ای شود. در مطالعه‌ای دیگر، وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2016) با ارزیابی چرخه حیات، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را در ۸ مزرعه تولید شیر با سطوح مختلف تولید شیر، تعداد گله و ترکیبات جیره غذایی متفاوت در دشت گوان جانگ چین بررسی نمودند. نتایج نشان داد میزان انتشار به‌ازای هر کیلوگرم شیر تصحیح شده برای چربی و پروتئین، از ۱/۳۱ تا ۲/۰۸ متغیر است و متان ناشی از تخمیر شکمبه‌ای، آلایندگی ناشی از تولید غذای موردنیاز دام و مدیریت نگهداری کودهای حیوانی سه منبع مهم انتشار بودند و به‌ترتیب ۵۴ الی ۶۰ درصد، ۲۱ الی ۳۰ درصد و ۸ الی ۱۰ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای را از آن خود کردند. همچنین کنجاله سویا از سویای وارداتی به‌دلیل تغییر کاربری زمین باعث افزایش انتشار در هر کیلوگرم شیر تصحیح شده برای چربی و پروتئین خواهد شد. آن‌ها بیان نمودند بهبود بهره‌وری در تولید شیر، ساختار گله و استفاده از کود حیوانی و جایگزینی بخشی از کنسانتره‌ها با یونجه به کاهش انتشار کمک شایانی خواهد کرد. لیتل و همکاران (Little *et al.*, 2017) نیز در کانادا به بررسی ردپای کربن با روش ارزیابی چرخه حیات در دو سیستم تولید شیر در دو گروه تغذیه شده با سیلاژ ذرت

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]

(a) و سیلاژ یونجه (b) پرداختند. نتایج نشان داد میزان انتشار گازهای متان و اکسیدنیتروس در سیستم (b) بیشتر از سیستم (a) و میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در سیستم (a) بیشتر از سیستم (b) است. آن‌ها بیان کردند وقتی تمامی منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای را در نظر بگیرند میزان تفاوت در کل انتشار خالص در دو سیستم به حداقل می‌رسد و در بلندمدت سیلاژ یونجه پتانسیل بیشتری برای ذخیره کربن خاک دارد البته این میزان برای خنثی کردن انتشار گازهای گلخانه‌ای از تولیدات شیری کافی نیست. قزونایی و همکاران (Ghazouani *et al.*, 2018) با استفاده از رویکرد LCA به محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید شیر در استان سوسه تونس پرداختند. در ۲۰ مزرعه لبنی مورد بررسی آنها، کل انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای هر گیلوگرم شیر تصحیح شده به‌طور میانگین حدود ۰/۶۳ کیلوگرم متان بوده است. طبق بررسی‌های آنها علوفه می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند. سامسونزتوئن و همکاران (Samsonstuen *et al.*, 2020) کارایی استراتژی‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در گله‌های گاو گوشتی را در نروژ برآورد نمودند. سناریوهای مختلف تخفیف، شامل عملکرد باروری گاوهای ماده (به‌عنوان مثال میزان مرگ و میر گوساله‌ها و تعداد گوساله‌های تولید شده در هر گاو در سال)، کارایی تولید گاوهای جوان برای کشتار (به‌عنوان مثال سن در هنگام کشتار و وزن لاشه) و مکمل مهار کننده‌ای که در حال حاضر برای مهار متان روده در گله‌های نژادهای انگلیسی و قاره‌ای مفید بوده است، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنها حاکی از آن بود که کاهش مرگ و میر گوساله‌ها و افزایش تعداد گوساله تولیدی در هر گاو در سال، هردو شدت انتشار را در بین نژادها ۳٪ کاهش می‌دهد. نژادهای قاره به‌دلیل افزایش تولید لاشه، پتانسیل بیشتری در کاهش شدت انتشار دارند. همچنین استفاده از مهارکننده‌های متان روده می‌تواند شدت انتشار را ۸/۳ درصد کاهش دهد. در مطالعه‌ای دیگر هاوکینز و همکاران (Hawkins *et al.*, 2021) با استفاده از LCA و مدل‌سازی شبیه‌سازی به ارزیابی تأثیر روش‌های بهبود تغذیه و افزایش عملکرد محصولات خوراکی بر بهره‌وری شیر و انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش لبنیات در منطقه مرتفع جنوب تانزانیا پرداختند. برمبنای نتایج آنها، تغییر کاربری اراضی ۴۵/۸ الی ۶۵/۸ درصد از کل اثر کربن لبنیات را به‌خود اختصاص داده است. با بهبود تغذیه، به‌ترتیب میزان تولید شیر تا ۶۰ درصد و شدت انتشار به‌ترتیب برای ۵۲/۴ و ۳۸ درصد برای بخش‌های سنتی (گاو محلی) و مدرن (گاو بهبود یافته) کاهش می‌یابد. همچنین کاهش شکاف عملکرد محصولات خوراکی کنسانتره با وجود افزایش انتشار N2O و CO2 از مدیریت خاک و استفاده از نهاده‌ها، میزان انتشار را حدود ۱۱/۴ الی ۳۴/۹ درصد کاهش داد.

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، در مطالعات داخلی در بهینه‌سازی جیره دام کمتر به مسئله محیط زیستی نظیر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای پرداخته شده است اما در مطالعات خارجی این مسئله بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عنوان مثال در مطالعات داخلی به‌منظور لحاظ بعد محیط زیستی در تعیین جیره بهینه، تنها کمینه‌سازی مصرف فسفر مدنظر قرار گرفته است. همچنین در مطالعاتی که به بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای واحدهای دامی پرداخته شده است، تنها محاسبه این گازها مدنظر قرار گرفته و هیچ‌گونه بهینه‌سازی در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای در قالب تعیین جیره صورت نگرفته است. اما در مطالعات خارجی هم از طریق مدل‌های چندهدفه و هم از طریق مدل‌های تک‌هدفه به این مسئله مهم پرداخته شده است که در این مطالعه با به‌کارگیری برخی مدل‌های پیشنهادی آن‌ها از جمله هاوکینز و همکاران (Hawkins *et al.*, 2015)، به تعیین جیره بهینه دام در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای پرداخته شده است. هدف از مطالعه حاضر، تعیین جیره بهینه گاوهای شیری نژاد هلشتاین در یک واحد نمونه در استان مازندران، با تأکید بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در قالب ارزیابی چرخه حیات می‌باشد.

## روش تحقیق

به‌طور متعارف به‌منظور تعیین جیره بهینه با هدف کاهش هزینه‌ها، از روش برنامه‌ریزی ریاضی به فرم کلی روابط (۱) تا (۴) استفاده می‌شود. این روش به‌صورت سریع و کارآمد ترکیبی بهینه از مواد تشکیل دهنده جیره را با استفاده از منابع در دسترس و با در نظر گرفتن اهداف مضمون، در اختیار قرار می‌دهد.

$$\text{Minimize } TC=\sum_{j=1}^{n} C_j x_j \quad (۱)$$

$$\text{Subject to } : \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \geq b_i \quad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{n} a_{ij} x_j \geq d_i \quad (۳)$$

$$x_j \geq 0 \quad (۴)$$

رابطه (۱) مربوط به تابع هدف حداقل‌سازی هزینه جیره است که در آن TC هزینه کل جیره، $C_j$ هزینه مواد تشکیل دهنده ماده $j$ و $x_j$ مقدار ماده $j$ در جیره است.

رابطه (۲) محدودیت مربوط به تأمین حداقل نیاز به مواد مغذی است که در آن $a_{ij}$، مقدار مواد مغذی $i$ در ماده $j$ و $b_i$، حداقل مقدار موردنیاز مواد مغذی $i$ در جیره می‌باشد. رابطه (۳) هم مربوط به حداکثر نیاز به مواد مغذی بوده و در آن $d_i$، بیانگر حداکثر مقدار موردنیاز مواد مغذی $i$ در جیره می‌باشد. محدودیت چهارم هم نشان‌دهنده غیرمنفی بودن متغیرها است.

جیره‌ای که با استفاده از مدل فوق به‌دست می‌آید فقط با هدف حداقل‌سازی هزینه و تأمین مواد مغذی موردنیاز دام می‌باشد. اما جیره تعیین شده ممکن است تبعات منفی مانند انتشار بیش از حد گازهای گلخانه‌ای را به‌همراه داشته باشد. بنابراین لازم است جیره تعیین شده علاوه بر مسائل اقتصادی، دربرگیرنده مسائل محیط زیستی نیز باشد. به‌همین دلیل در مطالعه حاضر به استفاده از مدلی پرداخته شده است که به‌دنبال حداقل‌سازی آلودگی محیط زیستی با رویکرد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. لازم به توضیح است از جمله گازهای گلخانه‌ای مهمی که در این مطالعه به آن‌ها پرداخته می‌شود، متان، نیتروس اکسید و دی‌اکسیدکربن است.

انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحدهای پرورش دامی در قالب ارزیابی چرخه حیات را می‌توان در چهار گروه شامل "تخمیر شکمبه‌ای"، "مدیریت کود دامی"، "مدیریت خاک" و

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]

"مصرف انرژی" تفکیک نمود که در ادامه به توضیح هریک پرداخته می‌شود. همچنین شایان ذکر است گاز متان در دام از طریق انتشار مستقیم به دو صورت تخمیر امعایی و متان ناشی از مدفوع منتشر می‌شود.

**- تخمیر شکمبه‌ای**

متان ناشی از تخمیر شکمبه‌ای بر اثر فرآیند هضم غذا در دام‌ها تولید می‌شود. این نوع از انتشار متان را می‌توان با توجه به رابطه (۵) محاسبه نمود (EPA, 2015).

$$CH_{41}=2.16+(0.493*DMI)-(1.36*ADF)+(1.97*NDF)$$ رابطه (۵)

در این رابطه $CH_{41}$ بیانگر متان ناشی از گازهای شکمبه‌ای، (بر حسب مگاژول به‌ازای هر رأس دام در روز)، DMI ماده خشک مصرفی (بر حسب گرم)، ADF فیبر غیرقابل هضم در محلول اسیدی (بر حسب گرم) و NDF فیبر غیرقابل هضم در محلول خنثی (بر حسب گرم) می‌باشد.

**- مدیریت کود دامی**

**متان ناشی از مدفوع**

این بخش به میزان متان آزاد شده پس از دفع مدفوع دام مربوط می‌باشد که این نوع از انتشار مطابق رابطه (۶) محاسبه می‌شود (IPCC, 2006).

$$CH_{42}= VS*BO*MCF*\ 0.67$$ رابطه (۶)

که در آن $CH_{42}$ معرف متان ناشی از مدفوع و VS بیانگر مواد جامد فرار است که از طریق رابطه (۷) قابل محاسبه است. BO حداکثر ظرفیت تولید متان از VS و MCF فاکتور تبدیل VS به متان است. همچنین ضریب ۰/۶۷ فاکتور تبدیل مترمکعب متان به کیلوگرم متان است (IPCC, 2006).

$$VS= (GE*(1-(\frac{TDN}{100}))+(0.04*GE))*(\frac{1-(\frac{ASH}{100})}{18.45})$$ رابطه (۷)

در رابطه (۷)، GE انرژی دریافتی ناخالص، TDN درصد مواد مغذی قابل هضم و ASH درصد خاکستر دام می‌باشد.

**اکسیدنیتروس مدفوع**

در مطالعه حاضر گاز دیگر مورد بررسی، اکسیدنیتروس بوده است که نحوه محاسبه این گاز آزاد شده توسط دام به‌صورت رابطه (۸) می‌باشد (IPCC, 2006).

$$N_2O = \text{Nitrogen Excretion} * [\text{Efdirect} + (\text{FRACvol} * \text{Efvol})]$$ رابطه (۸)

Nitrogen Excretion یا NE همان نیتروژن کود حیوانی (مدفوع) است که با توجه به ضرایب معین محاسبه می‌شود، Efdirect عامل انتشار مستقیم، FRACvol کسری از نیتروژن تبخیر شده و Efvol عامل انتشار تبخیر شده می‌باشد و مقادیر آن‌ها به صورت پیش فرض توسط IPCC ارائه شده‌اند. همچنین NE نیز از رابطه (۹) قابل محاسبه است:

$$\text{Nitrogen Excretion} = \left(\frac{PR_L}{6.38}\right) - \left(\frac{PR_G}{6.25}\right) - \left(\frac{PI}{6.25}\right)$$ رابطه (۹)

که در آن $PR_L$ پروتئین شیر، $PR_G$ نمایانگر پروتئین مورد نیاز برای وزن‌گیری گاو و PI معادل کل پروتئین مصرفی می‌باشد.

به‌غیر از دو مرحله از پیش گفته شده که مربوط به تخمیر شکمبه‌ای و دفع فضولات بوده است، بایستی توجه داشت که در رویکرد چرخه حیات، تمامی آلودگی‌هایی که به‌سبب فعالیت گاوداری ایجاد می‌شوند نیز بایستی لحاظ شوند. برای مثال اجزای جیره بایستی ابتدا در مزرعه تولید شوند و بنابراین لازم است آلودگی‌هایی که در مرحله تولید اجزای جیره در مزرعه حاصل می‌شوند نیز محاسبه شوند. از سوی دیگر در مزارع نیز نهاده‌هایی استفاده می‌شود که در تولید آن‌ها مقداری گاز گلخانه‌ای منتشر می‌شود. از جمله این نهاده‌ها، کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها می‌باشند. سوزاندن بقایای برخی گیاهان نیز منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود که بایستی مدنظر قرار گیرد. همچنین یکی از عوامل مهم در انتشار گازهای گلخانه‌ای، استفاده از انرژی و به‌ویژه سوخت‌های فسیلی بوده است که در این مطالعه مدنظر قرار گرفته‌اند. به‌طور کلی، عوامل فوق را می‌توان در گروه مدیریت خاک با عنوان انتشار "اکسیدنیتروس خاک"، و گروه مصرف انرژی با عنوان "دی‌اکسیدکربن ناشی از انرژی مصرفی" قرار داد که در ادامه به نحوه محاسبه آن‌ها پرداخته می‌شود. همچنین لازم به ذکر است که با تغییر ترکیب جیره، برخی محصولات بایستی در مزرعه جایگزین هم شوند که در این مطالعه جایگزینی محصولات چندساله و محصولات یکساله به‌عنوان تغییر کاربری اراضی زمین شناخته می‌شود (Hawkins *et al.*, 2015). تغییر کاربری اراضی منجر به ترسیب کربن می‌شود که در ادامه بخشی به نام "کربن ناشی از تغییر کاربری اراضی زمین" نیز ارائه می‌گردد.

**- مدیریت خاک‌های کشاورزی**

**اکسیدنیتروس خاک**

$N_2O$ عامل ۵ درصد از کل اثرات گازهای گلخانه‌ای است و خاک به‌عنوان یکی از مهمترین منابع انتشار آن، ۶۵ درصد از کل انتشار جهانی $N_2O$ را به‌خود اختصاص می‌دهد. همچنین تولید $N_2O$ در خاک در طول نیتریفیکاسیون و دی‌نیتریفیکاسیون در سیستم‌های کوددهی نیتروژنه افزایش می‌یابد. انتشار $N_2O$ بیشتر از زمین‌هایی است که از کود گاوی برای کوددهی آن‌ها استفاده می‌شود (Dehghan, 2014).

اگر شیوه‌های تولید محصول ثابت فرض شود، تغییر میزان زمین استفاده شده برای هر محصول زراعی می‌تواند کل $N_2O$ منتشر شده از خاک را تحت‌تأثیر قرار دهد (Hawkins *et al.*, 2015).

با در اختیار داشتن مقدار کود مصرفی هریک از محصولات و ضرب آن در یک ضریب تبدیل، میزان انتشار اکسید نیتروژن (معادل $CO_2$) محاسبه می‌شود:

$$CO_{2\text{-}1}\ \text{Emission} = k * EF^k$$ رابطه (۱۰)

در این رابطه $CO_{2\text{-}1}$ Emission معرف میزان انتشار $CO_2$ ناشی از مصرف کود، k میزان کود مصرفی و $EF^k$ فاکتور انتشار کود می‌باشد.

**سوزاندن بقایای گیاهی**

همچنین سوزاندن بقایای گیاهی هم خود منبع بسیار مهمی برای انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. سوزاندن با آزاد کردن

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]

گازهای اکسیدنیتروس و متان همراه است. این میزان انتشار از طریق رابطه (۱۱) قابل محاسبه می‌باشد (FAO, 2019).

$$CO_{2\text{-}2}\ \text{Emission} = S * EF^{s} \qquad \text{رابطه (۱۱)}$$

که در آن S میزان بقایای گیاهی، $EF^{s}$ فاکتور انتشار و $CO_{2\text{-}2}$ Emission هم میزان انتشار $CO_2$ می‌باشد.

**کربن ناشی از تغییر کاربری زمین**

زمانی‌که مواد غذایی موجود در جیره تغییر می‌کند، الگوی کشت هم تغییر می‌کند که منجر به تغییر کاربری زمین و در نتیجه تغییر در میزان ترسیب کربن می‌شود. منظور از تغییر کاربری در اینجا، جایگزینی محصولات سالانه و چندساله با یکدیگر است. با تغییر زمین از تولید محصولات زراعی به محصولات علوفه‌ای، ذخیره کربن در خاک افزایش یافته و چنانچه این تغییر در جهت عکس باشد یعنی محصولات زراعی جایگزین محصولات علوفه‌ای شوند این میزان کاهش می‌یابد. لازم به توضیح است که در این مطالعه یونجه به‌عنوان محصول چندساله مدنظر است.

اثر تغییر کاربری زمین بر انتشار کربن نیز طبق رابطه (۱۲) قابل محاسبه است (Hawkins et al., 2015):

$$\Delta c = lumc_{max} * x_{alfa} * \left(exp^{-k(y-1)} - exp^{-ky}\right) \qquad \text{رابطه (۱۲)}$$

$lumc_{max}$ بیانگر بیشترین کربن تولید شده ناشی از تبدیل گیاه زراعی سالانه به چندساله در یک منطقه خاص و بافت خاص خاک، k معرف ضریب ثابت تبدیل گیاهان سالانه به چندساله در همان مکان و همان خاک و y نشان دهنده تعداد سال‌هایی است که تغییر مدیریت رخ داده است که در اینجا می‌توان آن را یک‌سال فرض نمود (Hawkins *et al.*, 2015). اگر عدد به‌دست آمده از رابطه (۱۲) در عدد ۴۴/۱۲ ضرب شود میزان انتشار برحسب کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به‌دست خواهد آمد. لازم به ذکر است اگر میزان زمین اختصاص یافته به کشت یونجه افزایش یا کاهش یابد این مقدار منفی یا مثبت خواهد شد.

**$CO_2$ ناشی از انرژی مصرفی**

استفاده از نهاده‌هایی مانند کودها، علف‌کش‌ها، مصرف سوخت‌های فسیلی و نیز استفاده از شیردوش‌های برقی، همواره باعث آزادسازی گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

قبل از محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط انرژی مصرفی برای تولید محصولات، لازم به توضیح است که انرژی مورد استفاده به دو بخش انرژی مورد نیاز برای تولید نهاده‌های مورد نیاز از جمله کودها و آفت‌کش‌ها و انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی تفکیک می‌شود که با در اختیار داشتن میزان کودها و آفت‌کش‌ها و میزان سوخت‌های مصرفی و ضرب آن در فاکتور تبدیل به $CO_2$، این میزان محاسبه می‌شود. میزان $CO_2$ ناشی از هر یک از منابع فوق‌الذکر را می‌توان از طریق رابطه (۱۳) محاسبه نمود (Hawkins et al., 2015).

$$CO_{2\text{-}3}\ \text{Emission} = R * EF^{r} \qquad \text{(۱۳)}$$

در این رابطه $CO_{2\text{-}3}$ Emission میزان انتشار $CO_2$ ناشی از مصرف انرژی، R منبع انتشار گاز مانند سوخت فسیلی، کود و سموم شیمیایی و $EF^{r}$ فاکتور انتشار هر یک می‌باشد.

در محاسبه گازهای گلخانه‌ای در چرخه حیات، بایستی به این نکته توجه کرد که اگر به‌عنوان مثال، کاه گندم در جیره بهینه قرار گرفته باشد به موازات آن مقداری گندم نیز تولید می‌شود که می‌تواند به تولید سبوس گندم نیز منجر شود. لذا اگر کاه گندم در جیره بهینه قرار گرفته باشد بایستی در محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف کاه گندم، به نسبت تولید کاه به سبوس گندم هم توجه کرد. به‌عبارتی بخشی از سبوس گندم مورد نیاز در جیره مصرفی به طور مستقیم از گندم مورد نیاز برای تولید کاه گندم به دست می‌آید و مابقی باید مجددا از بیرون مزرعه تهیه شود که این موارد نیز در محاسبات درنظر گرفته شد.

با استفاده از روابط و نکات از پیش گفته شده می‌توان میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از تغذیه دام‌ها نظیر گاو شیری را محاسبه نمود.

از آنجا که گازهای متان و اکسیدنیتروس مبتنی بر واحدهای اندازه‌گیری مجزایی می‌باشند لذا برای همگن‌سازی بایستی به واحدهایی از معادل $CO_2$ تبدیل شوند. برمبنای منابع موجود، هر واحد متان برابر ۲۵ کیلوگرم واحد معادل $CO_2$ و هر واحد اکسیدنیتروس برابر ۲۹۸ کیلوگرم معادل $CO_2$ می‌باشد (IPCC, 2007).

اگر هدف کاهش گازهای گلخانه‌ای باشد، آنگاه مدل جیره بهینه به صورت روابط (۱۴) الی (۳۵) خواهد بود:

$$\text{MIN} \quad GHG \qquad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$\text{S.T} \quad \sum_{j=1}^{n} a_{ij}\, x_j \geq b_i \qquad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\, x_j \geq d_i \qquad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$GHG = \left(CH_{41} * \frac{25}{55.56}\right) + (CH_{42} * 25) + (N_2o * 298) + (CO_{2\text{-}1}\ \text{Emission}) + (CO_{2\text{-}2}\ \text{Emission}) + (CO_{2\text{-}3}\ \text{Emission}) - \Delta c \qquad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$CH_{41} = 2.16 + (0.493 * DMI) - (1.36 * ADF) + (1.97 * NDF) \qquad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$CH_{42} = VS * BO * MCF * 0.67 \qquad \text{رابطه (۱۹)}$$

$$VS = (GE * (1 - (\frac{TDN}{100})) + (0.04 * GE)) * (\frac{1 - (\frac{ASH}{100})}{18.45}) \qquad \text{رابطه (۲۰)}$$

$$N_2O = \text{Nitrogen Excretion} * [EFdirect + (FRACvol * EFvol)] \qquad \text{رابطه (۲۱)}$$

$$\text{Nitrogen Excretion} = \left(\frac{PR_L}{6.38}\right) - \left(\frac{PR_G}{6.25}\right) - \left(\frac{PI}{6.25}\right) \qquad \text{رابطه (۲۲)}$$

$$CO_{2\text{-}1}\ \text{Emission} = k * EF^{k} \qquad \text{رابطه (۲۳)}$$

$$CO_{2\text{-}2}\ \text{Emission} = S * EF^{s} \qquad \text{رابطه (۲۴)}$$

$$\Delta c = lumc_{max} * x_{alfa} * (exp^{-k(y-1)} - exp^{-ky}) \qquad \text{رابطه (۲۵)}$$

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]

$$CO_{2\text{-}3}\ \text{Emission} = R * EF^{r} \quad \text{رابطه (۲۶)}$$

$$\sum_{j=1}^{n} C_j\, x_j \le (1+\alpha).\, TC^{*} \quad \text{رابطه (۲۷)}$$

$$DMI = \sum_{j=1}^{n} dmi_j x_j \quad \text{رابطه (۲۸)}$$

$$ADF = \sum_{j=1}^{n} adf_j x_j \quad \text{رابطه (۲۹)}$$

$$NDF = \sum_{j=1}^{n} ndf_j x_j \quad \text{رابطه (۳۰)}$$

$$GE = \sum_{j=1}^{n} ge_j x_j \quad \text{رابطه (۳۱)}$$

$$TDN = \sum_{j=1}^{n} tdn_j x_j \quad \text{ابطه (۳۲)}$$

$$ASH = \sum_{j=1}^{n} ash_j x_j \quad \text{رابطه (۳۳)}$$

$$PI = \sum_{j=1}^{n} pi_j x_j \quad \text{رابطه (۳۴)}$$

$$x_j \ge 0 \quad \text{رابطه (۳۵)}$$

رابطه (۱۴) بیانگر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب کیلوگرم معادل $CO_2$ می‌باشد. روابط (۱۷) الی (۲۶) نیز مربوط به نحوه محاسبه انواع گازهای گلخانه‌ای مورد بررسی بوده است که پیش‌تر اجزای آن تشریح شده است. لازم به توضیح است که ضریب ۵۵/۵۶، فاکتور تبدیل مگاژول متان به کیلوگرم متان است. همچنین ۲۵ و ۲۹۸ به‌ترتیب ضریب تبدیل هر واحد متان و نیتروس اکسید به کیلوگرم معادل $CO_2$ و ثابت می‌باشد (IPCC, 2007).

رابطه (۲۷) بیانگر آن است که هزینه جیره تعیین شده حداکثر به میزان $\alpha$ درصد از هزینه به‌دست آمده در حالت کمینه‌سازی هزینه جیره ($TC^{*}$) بیشتر شود. لازم به توضیح است که مقدار $\alpha$ از ۵ تا ۲۵ درصد درنظر گرفته شد (در بازه‌های ۵ درصدی) که در بخش نتایج به‌دلیل انتخاب این آستانه اشاره شده است.

روابط (۲۸) تا (۳۳) نیز به‌ترتیب نمایانگر نحوه محاسبه کل ماده خشک مصرفی (DMI)، فیبر غیرقابل هضم در محلول اسیدی (ADF)، فیبر غیرقابل هضم در محلول خنثی (NDF)، انرژی دریافتی ناخالص (GE)، مواد مغذی قابل هضم (TDN)، خاکستر دام (ASH) و پروتئین مصرفی (PI) مبتنی بر میزان مصرف جیره می‌باشد که در آن $dmi_j$، $adf_j$، $ndf_j$، $ge_j$، $tdn_j$، $ash_j$ و $pi_j$ نیز به‌ترتیب معرف ماده خشک مصرفی، فیبر غیرقابل هضم در محلول اسیدی، فیبر غیرقابل هضم در محلول خنثی، انرژی دریافتی ناخالص، مواد مغذی قابل هضم، خاکستر دام و پروتئین مصرفی ماده j است. سایر روابط و متغیرها از پیش تعریف شده‌اند.

در مطالعه حاضر، هدف موردنظر، تعیین جیره بهینه از حیث اقتصادی و محیط زیستی می‌باشد. برای این امر در ابتدا جیره بهینه با حداقل هزینه محاسبه شد و سپس با استفاده از سناریوهای افزایش ۵ درصدی هزینه جیره بهینه شده، جیره بهینه جدیدی تعیین گردید که در آن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حداقل شده است. از طرفی در این پژوهش فرض اولیه بر آن است که بقایای گیاهی سوزانده می‌شود. محصولاتی که سوزاندن بقایای گیاهی آنها در چرخه حیات گاوهای شیری مدنظر قرار گرفت شامل جو، سبوس گندم و ذرت بوده است. از آنجا که اخیراً به‌منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بر ممنوعیت سوزاندن بقایای گیاهی تأکید شده است لذا در بخشی از این تحقیق به بررسی اثر عدم سوزاندن بقایای گیاهی بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای گاوهای شیری پرداخته شد.

در مدل‌های معرفی شده، از جمله اطلاعات مورد نیاز، هزینه مواد موجود در جیره به قیمت ثابت سال ۱۳۹۵، ترکیب مواد مغذی موجود در آن، میزان کمینه مورد نیاز دام به مواد مغذی، میزان مصرف نهاده‌های مورد نیاز برای کشت محصولات موجود در جیره (کود، سم و سوخت‌های فسیلی)، میزان بقایای گیاهی، عملکرد محصولات کشاورزی و ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. داده‌های مربوط به عملکرد و میزان مصرف نهاده‌های کشاورزی از سایت جهاد کشاورزی و ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای از سایت فائو استخراج گردید. در تعیین ترکیب جیره و مقدار آن، گاو شیری نژاد هلشتاین با تولید متوسط روزانه ۳۰ کیلوگرم شیر و وزن متوسط ۶۰۰ کیلوگرم درنظر گرفته شد. اطلاعات مورد نیاز نظیر کمینه مورد نیاز دام به مواد مغذی برای گاو شیری و ترکیب مواد مغذی منابع خوراک از کتاب NRC و جداول ترکیبات شیمیایی منابع خوراک دام و طیور ایران گردآوری شده است. برای بررسی جیره فعلی، یک واحد بزرگ صنعتی گاوداری شیری در شهرستان ساری انتخاب و اطلاعات ترکیب جیره و همچنین هزینه تهیه هریک از اجزای آن جمع‌آوری شده است. مواد غذایی موجود در جیره نیز شامل جو، ذرت، سبوس گندم، پودر ماهی، تفاله چغندرقند، کاه گندم، پودر گوشت، سویا، کنجاله سویا، یونجه و سیلاژ ذرت می‌باشد. همچنین مواد مغذی درنظر گرفته شده شامل پروتئین، کلسیم، فسفر، منیزیم، فیبر غیرقابل

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]

هضم در محلول اسیدی، فیبر غیرقابل هضم در محلول خنثی، انرژی و کل مواد مغذی قابل هضم می‌باشد. در نهایت پس از طراحی مدل، از نرم‌افزار GAMS برای حل مدل‌های معرفی شده استفاده شده است.

## نتایج و بحث

در جدول (۱) جیره فعلی، نتایج جیره بهینه مبتنی بر هدف کمینه‌سازی هزینه و جیره بهینه در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه شده است.

همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود در جیره مورد استفاده در واحد گاوداری شیری نمونه، سیلاژ ذرت با مقدار ۲۷ کیلوگرم در روز، بیش از نیمی از حجم جیره را به‌خود اختصاص داده و بعد از آن جو، ذرت، کنجاله سویا و یونجه به‌ترتیب با مقادیر ۵/۷، ۴/۲، ۳/۱ و ۳ کیلوگرم در روز، بیشترین سهم را در جیره دارند.

به‌منظور کمینه‌سازی هزینه تأمین جیره، تفاله چغندرقند با مقدار ۱۵/۸۳ کیلوگرم در روز، جایگزین موادی مانند سیلاژ ذرت می‌شود و بعد از آن سبوس گندم، کاه گندم و جو به‌ترتیب با مقادیر ۷/۹۱، ۷/۹۱ و ۷/۷۲ کیلوگرم در روز، بیشترین سهم را از آن خود می‌کنند. در مقابل لازم است مصرف ذرت، ماهی و کنجاله سویا در جیره محدود شوند. دلیل احتمالی این جایگزینی ارزان بودن تفاله چغندرقند، کاه گندم و سبوس گندم می‌تواند باشد. همچنین محدود شدن مصرف ماهی و کنجاله سویا می‌تواند به‌دلیل بالا بودن قیمت آن‌ها نسبت به سایر مواد موجود در جیره باشد. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در این حالت حدود ۴۱/۱۹ کیلوگرم معادل $CO_2$ می‌باشد. همچنین هزینه کل جیره معادل ۳۹۶۴۸۰ ریال است که نسبت به حالت پایه به‌میزان ۱۳۸۶۳۴/۹ ریال (۲۶ درصد) کاهش یافته است.

بر اساس محاسبات انجام گرفته منابع انتشار گلخانه‌ای در جیره اقتصادی، بیشترین میزان انتشار مربوط به تخمیر شکمبه‌ای دام با سهم ۴۸ درصد و پس از آن انرژی با سهم ۴۱ درصد بوده است. سهم مدیریت کود دامی و مدیریت خاک نیز به‌ترتیب ۸ و ۳ درصد می‌باشد. میزان کل انتشار $CO_2$، ۱۵/۱۰ کیلوگرم، $N_2O$، ۱/۷۳ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن و $CH_4$، ۲۴/۲۵ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به‌ازای هر رأس دام در روز به‌دست آمد. در مطالعات صورت گرفته توسط لیتل و همکاران (Little *et al.*, 2017)، بونسمو و همکاران (Bonesmo *et al.*, 2013) و مک گیوق و همکاران (Mc Geough *et al.*, 2012) نیز بیشترین سهم انتشار متعلق به $CH_4$ بوده است.

نتایج بهینه‌سازی جیره با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در شرایط مجاز شدن افزایش هزینه جیره تا ۲۵ درصد، نیز در جدول (۱) ارائه شده است. با افزایش ۵ درصدی هزینه‌های جیره به‌دست آمده در روش قبلی، به‌منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تفاله چغندر قند، سیلاژ ذرت، سبوس گندم و کاه گندم به‌ترتیب با مقادیر ۱۵/۶۷، ۹/۱۷، ۷/۸۴ و ۷/۸۴ کیلوگرم در روز بیشترین سهم را دارا می‌شوند. در این شرایط با افزایش ۵ درصدی هزینه‌های جیره، انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌میزان بیشتری (حدود ۷/۷ درصد) کاهش می‌یابد. اگر هزینه کل تا ۲۵ درصد افزایش داده شود میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ۲۶/۷۸ درصد کاهش می‌یابد. در این حالت بیشترین سهم جیره از آن تفاله چغندرقند، سیلاژ ذرت و سبوس گندم به‌ترتیب با مقادیر ۱۵/۶۶، ۱۵/۷۱ و ۶/۳۷ کیلوگرم در روز خواهد شد. اگر هزینه بیشتر از ۲۵ درصد افزایش پیدا کند، انتشار گازهای گلخانه‌ای تغییر چندانی نخواهد کرد و به‌میزان خیلی کم و نامحسوس کاهش خواهد یافت. بنابراین افزایش هزینه بیشتر از این مقدار مقرون به‌صرفه نمی‌باشد که به این دلیل به افزایش ۲۵ درصدی هزینه‌ها بسنده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای مختلف هزینه، موادی مانند سیلاژ ذرت، تفاله چغندرقند و سبوس گندم سهم بالاتری نسبت به سایر مواد دارند. کنجاله سویا و ذرت نیز از موادی بوده که برای کاهش بیشتر گازهای گلخانه‌ای در جیره کاهش می‌یابند.

نتایج مطالعه حاضر با نتیجه مطالعه هاوکینز و همکاران (Hawkins *et al.*, 2015)، که بر جایگزینی سیلاژ ذرت با یونجه در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تأکید داشته است مطابقت دارد. همچنین نتایج این تحقیق در راستای نظر پادکوکا و همکاران (Podkówka *et al.*, 2015) در زمینه کاهش مصرف مواد نامناسب و چربی جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص متان می‌باشد. همچنین بیشترین میزان انتشار مطابق با نظر لیتل و همکاران (Little *et al.*, 2017)، مک گیوق و همکاران (Mc Geough *et al.*, 2012) و کورنجو و ویلکی (Cornejo & Wilkie, 2010) مربوط به تخمیر شکمبه‌ای دام می‌باشد.

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]

جدول ۱- مقایسه جیره بهینه حاصل از دو الگوی بهینه‌سازی با هدف کاهش هزینه و کاهش گازهای گلخانه‌ای*

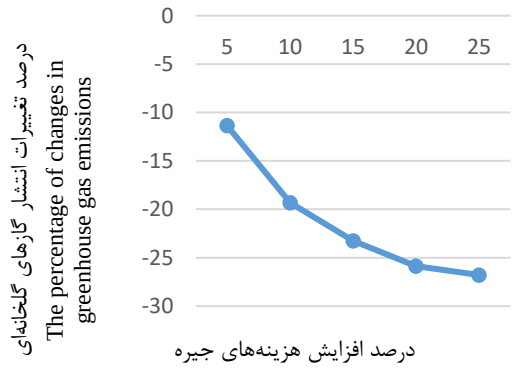
Table 1. Comparison of the optimal ration obtained from the optimization model with the aim of reducing costs and reducing greenhouse gases

| جیره (کیلوگرم) Ration (kg) | جیره رایج common ration | حداقل‌سازی هزینه Cost minimization | حداقل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای Minimizing greenhouse gas emissions | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | افزایش 5 درصدی هزینه 5% increase in cost | افزایش 10 درصدی هزینه 10% increase in cost | افزایش 15 درصدی هزینه 15% increase in cost | افزایش 20 درصدی هزینه 20% increase in cost | افزایش 25 درصدی هزینه 25% increase in cost |
| دانه جو Barley grain | 5.7 | 7.72 | 0.77 | 0 | 1.66 | 3.45 | 3.46 |
| دانه ذرت Corn grain | 4.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| سبوس گندم Wheat bran | 0 | 7.91 | 7.83 | 6.36 | 6.49 | 6.59 | 6.37 |
| پودر ماهی Fish meal | 0.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.14 | 0.6 |
| تفاله چغندرقند Sugar beet pulp | 1.7 | 15.82 | 15.67 | 15.95 | 15.71 | 15.55 | 15.66 |
| کاه گندم Wheat straw | 0.35 | 7.91 | 7.83 | 7.97 | 3.54 | 0 | 0 |
| پودر گوشت Meat meal | 0.25 | 0.95 | 1.06 | 1.04 | 1.1 | 1.06 | 0.78 |
| کنجاله سویا Soybean meal | 3.1 | 3.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| سویا برشته Roasted soybeans | 2.8 | 0.02 | 4.67 | 5.22 | 5 | 4.66 | 4.41 |
| علوفه یونجه خشک Dried alfalfa hay | 3 | 5.27 | 5.22 | 5.32 | 5.24 | 5.18 | 5.22 |
| سیلاژ ذرت Corn silage | 27 | 3.83 | 9.17 | 11.3 | 13.63 | 15.21 | 15.7 |
| هزینه (ریال) Cost (Rials) | 535114.9 | 396480 | 416304 | 436128 | 455952 | 475776 | 495600 |
| تخمیر شکمبه‌ای Enteric fermentation ($kgCO_2$ eq) | | 19.1 | 18.55 (-5.88)* | 18.18 (-7.75) | 15.72 (-20.24) | 13.82 (-29.85) | 13.8 (-29.95) |
| مدیریت کود دامی Manure management (kgCO2eq) | | 3.07 | 2.93 (-4.61) | 2.91 (-5.2) | 2.8 (-8.9) | 2.71 (-11.81) | 2.72 (-11.39) |
| خاک Soil (kgCO2eq) | | 1.41 | 0.93 (-33.91) | 0.35 (-75.05) | 0.54 (-61.59) | 0.72 (-49.08) | 0.63 (-55.22) |
| انرژی Energy (kgCO2eq) | | 17 | 14.03 (-17.41) | 11.72 (-31.09) | 12.49 (-26.5) | 13.23 (-22.13) | 12.95 (-23.83) |
| کل چرخه حیات Entire life cycle (kgCO2eq) | | 41.19 | 36.44 (-11.37) | 33/16 (-19.34) | 31.55 (-23.26) | 30.48 (-25.86) | 30.1 (-26.78) |

مأخذ: نتایج تحقیق

*اعداد داخل پرانتز درصد تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای مختلف هزینه می‌باشد.

شکل (۲) تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای مختلف هزینه را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود با افزایش ۵ درصدی هزینه‌ها میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بیش از ۵ درصد کاهش می‌یابد. این روند تا افزایش ۲۵ درصدی هزینه‌ها در ابتدا با شیب تند و سپس با شیب ملایم پیش می‌رود.



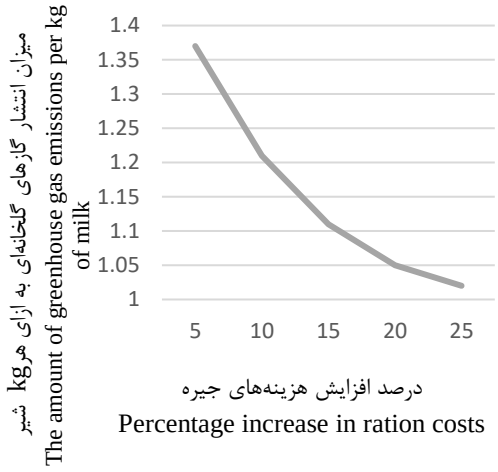

شکل ۲- تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای مختلف هزینه

Figure 2. Changes in greenhouse gas emissions in different cost scenarios

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]

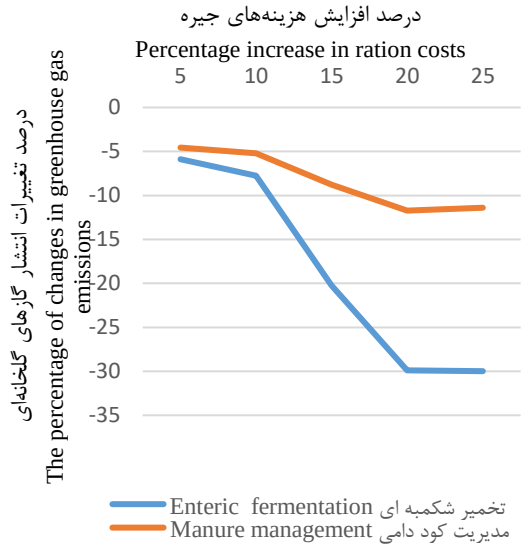
در شکل (۳) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای هر کیلوگرم شیر تولید شده توسط دام در سناریوهای مختلف هزینه ترسیم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش هزینه جیره بهینه در سناریوهای مختلف میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای هر کیلوگرم شیر تولید شده توسط هر رأس با روند نسبتاً ثابتی کاهش می‌یابد.




شکل ۳- تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای هر kg شیر در سناریوهای مختلف هزینه
Figure 3. Changes in greenhouse gas emissions per kg of milk in different cost scenarios

در ادامه به تحلیل بیشتر در مورد هریک از اجزای مورد بررسی در چرخه حیات گاوهای شیری پرداخته شده است.

میزان انتشار متان ناشی از تخمیر شکمبه‌ای دام ۱۹/۷۱ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به‌ازای هر راس دام در روز محاسبه گردید. شکل (۴) درصد تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تخمیر شکمبه‌ای دام و مدیریت کود دامی در سناریوهای مختلف هزینه را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود با اینکه اکثراً درصد تغییرات انتشار متان ناشی از تخمیر شکمبه‌ای دام بیشتر از درصد تغییرات هزینه جیره می‌باشد اما در سناریوی دوم هزینه، این نتیجه صادق نیست. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، با افزایش هزینه‌های جیره نسبت به هزینه جیره بهینه اقتصادی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مدیریت کود دامی نیز کاهش می‌یابد. این کاهش در ابتدا با شدت کمتر و سپس با شدت بیشتری ادامه می‌یابد. علت این امر می‌تواند کاهش در میزان کاه گندم باشد که مقدار آن از سناریوی افزایش ۱۰ درصدی هزینه جیره با شدت بیشتری کاهش می‌یابد.

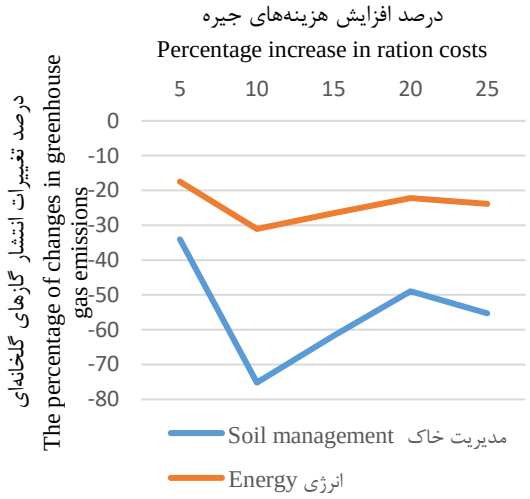



شکل ۴- تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تخمیر شکمبه‌ای دام و مدیریت کود دامی در سناریوهای مختلف هزینه
Figure 4. Changes in greenhouse gas emissions from livestock enteric fermentation and manure management in different cost scenarios

شکل (۵) تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مدیریت خاک‌های کشاورزی و همچنین انرژی را در سناریوهای مختلف هزینه نشان می‌دهد. علت شکست در سناریو ۱۰ درصد می‌تواند تغییر روند کاهشی جو باشد، زیرا جو که احتمالاً به‌دلیل

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]

حداقل‌سازی هزینه روند کاهشی به خود گرفته بود از این پس با افزایش ۱۰ درصدی هزینه دوباره با روند افزایشی به جیره باز می‌گردد. سبوس گندم هم روند کاهشی خود را تغییر داده و روند افزایشی پیدا می‌کند. کاه گندم هم با شدت بیشتری کاهش می‌یابد. همه‌ی این عوامل می‌توانند شکست موجود را ایجاد کرده باشند.




شکل ۵- تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مدیریت خاک و انرژی در سناریوهای مختلف هزینه
Figure 5. Changes in greenhouse gas emissions from soil management and energy in different cost scenarios

در این مطالعه فرض بر آن گذاشته شد که بقایای گیاهی سوزانده شود و اثر آن در قالب آلودگی مدیریت خاک بررسی شد. حال اگر فرض بر عدم سوزاندن بقایای گیاهی گذاشته شود نتایج زیر حاصل می‌شود.

اولاً برمبنای بررسی‌های انجام شده، مقدار جیره بهینه تغییری نکرده است. این نتیجه می‌تواند با توجه به محدودیت‌های حداقل و حداکثر مواد مغذی موجود در مواد غذایی جیره و نیز محدودیت هزینه حاصل شده باشد. البته مقدار ضریب انتشار در دو حالت سوزاندن و عدم سوزاندن بقایای گیاهی نیز بر این نتیجه بی‌تأثیر نیست.

ثانیا میزان انتشار ناشی از خاک‌های کشاورزی و در نتیجه میزان انتشار کل گازهای گلخانه‌ای به میزان ۰/۲۵ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد. جدول (۲) مقایسه بین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوزاندن و عدم سوزاندن بقایای گیاهی را نشان می‌دهد.

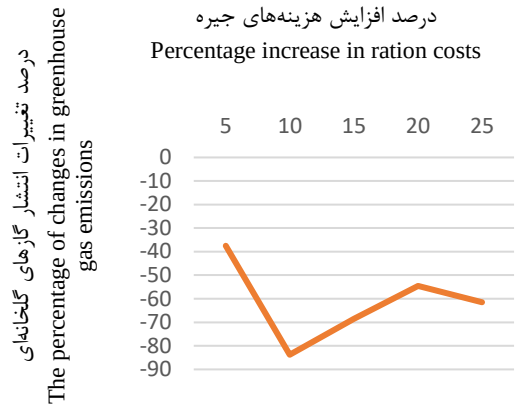
جدول ۲- مقایسه بین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوزاندن و عدم سوزاندن بقایای گیاهی
Table 2. Comparison between greenhouse gas emissions from burning and not burning of plant remains

| انتشار گازهای گلخانه‌ای<br>Emission of greenhouse gases (kgCO2eq) | سوزاندن بقایای گیاهی<br>Burning plant remains | عدم سوزاندن بقایای گیاهی<br>Not burning plant remains |
|---|---|---|
| مدیریت خاک‌های کشاورزی<br>Management of agricultural soils | 1.41 | 1.16 |
| کل<br>Total | 41.19 | 40.94 |

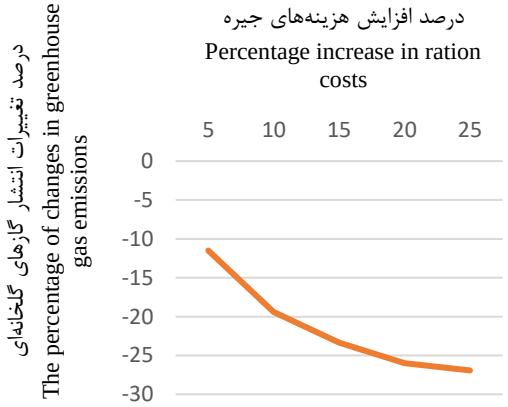
ماخذ: یافته‌های تحقیق

شکل‌های (۶) و (۷) به‌ترتیب درصد تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مدیریت خاک‌های کشاورزی و انتشار کل گازهای گلخانه‌ای با فرض عدم سوزاندن بقایای گیاهی را در سناریوهای مختلف افزایش هزینه جیره نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش هزینه‌ها از هزینه جیره بهینه میزان تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مدیریت خاک‌های کشاورزی ابتدا روند نزولی داشته و در فاصله سناریو ۱۰ تا ۲۰ درصدی افزایش هزینه روند صعودی پیدا می‌کند و سپس دوباره سیر نزولی می‌یابد. در این شکل همانند تفسیر شکل (۵)، می‌توان گفت تفاله چغندرقند و سبوس گندم در فاصله افزایش ۱۰ درصدی هزینه تا افزایش ۲۰ درصدی هزینه بهینه به‌ترتیب کاهش و افزایش می‌یابند و پس از آن افزایش و کاهش می‌یابند. به‌همین دلیل در این فاصله روند صعودی مشاهده می‌شود.

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]




شکل ۶- تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مدیریت خاک با فرض عدم سوزاندن بقایای گیاهی در سناریوهای مختلف هزینه
Figure 6. Changes in greenhouse gas emissions from soil management assuming not burning of plant remains in different cost scenarios




شکل ۷- تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای کل با فرض عدم سوزاندن بقایای گیاهی در سناریوهای مختلف هزینه
Figure 7. Changes in total greenhouse gas emissions assuming not burning of plant remains in different cost scenarios

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

برمبنای نتایج تحقیق، تغییر در هزینه جیره منجر به تغییر در مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای از منابع مختلف انتشار در چرخه حیات گاوهای شیری می‌شود. برمبنای بررسی‌های انجام گرفته، در برخی از سناریوهای هزینه، درصد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تخمیر شکمبه‌ای و مدیریت کود دامی کمتر از درصد افزایش هزینه کمتر بوده است. در مقابل، در تمامی سناریوهای هزینه، میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از خاک‌های کشاورزی و مصرف انرژی از درصد افزایش هزینه بیشتر بوده است. در مجموع، همواره درصد کاهش انتشار کل گازهای گلخانه‌ای (مجموع چهار منبع) نسبت به درصد افزایش هزینه بیشتر بوده است که می‌تواند مؤید منطقی و مفید بودن نتایج باشد.

برمبنای نتایج این تحقیق، با متقبل شدن هزینه‌های بیشتر، میزان معادل $CO_2$ انتشار یافته به‌ازای هر کیلوگرم شیر نیز کاهش می‌یابد به‌طوری که در سناریوهای افزایش ۵ و ۲۵ درصدی هزینه‌ها، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ترتیب حدود ۱/۲۱ و ۱/۰۰۳ کیلوگرم معادل $CO_2$ به‌ازای هر کیلوگرم شیر بوده است.

نتایج این تحقیق بیانگر آن بوده است که به‌منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای مختلف هزینه، بهتر است موادی مانند تفاله چغندرقند، سیلاژ ذرت و سبوس گندم سهم بالاتری نسبت به سایر مواد داشته باشند. افزایش سهم این مواد در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده که به‌نظر می‌رسد با تشویق به مصرف این مواد بتوان گامی مؤثر در کاهش آلودگی‌ها برداشت. در این راستا، دسترسی آسان به این مواد و پرداخت یارانه‌های مصرفی برای آنها، می‌تواند سیاستی مفید باشد. در مقابل، براساس نتایج این تحقیق، جو و کاه گندم از موادی بوده که برای کاهش بیشتر گازهای گلخانه‌ای پیشنهاد به کاهش مصرف آنها در جیره شده است. لذا اگر دولت به‌دنبال ارائه راهکاری به دامداران برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است، می‌تواند محدودیت‌های قانونی را برای مصرف این مواد وضع نموده و به‌عنوان مثال با اخذ جریمه، در کاهش مصرف این مواد و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای کوشا باشد. در کنار این‌گونه پیشنهادها، آموزش دامداران و اطلاع‌رسانی به آنان در قالب رسانه‌های گروهی و کلاس‌های ترویجی می‌تواند در مدیریت مصرف مواد مغذی در راستای کمینه‌سازی هزینه‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای مؤثر باشد.

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]
[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]

همچنین جایگزینی چربی و پروتئین به‌جای کربوهیدرات نیز می‌تواند مؤثر واقع شود البته باید توجه داشت که مصرف چربی و پروتئین هم باید طبق نیاز دام صورت گیرد و محدود باشد تا از نظر متابولیکی دچار مشکل نشود. لازم به ذکر است متانوژنز شکمبه به‌میزان علوفه موجود در جیره و نیز کیفیت آن بستگی دارد. کنسانتره‌ها نسبت به علوفه‌ها دارای چربی و پروتئین و ریزمغذی‌های بیشتری هستند پس جایگزینی این مواد همچنین علوفه‌های دارای کیفیت پایین می‌تواند به‌عنوان راهکاری جهت کاهش انتشار گاز متان مطرح شود. همچنین برای کاهش انتشار N، استفاده از روش‌هایی مانند به‌کار بردن کود ارگانیک، کاهش خاکورزی و استفاده از گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن پیشنهاد می‌شود. مواد غذایی مانند سویا و علوفه‌های چندساله مثل یونجه نسبت به ذرت و گندم دارای کمترین میزان انتشار $N_2O$ هستند. عموماً آن دسته از مواد غذایی موجود در جیره که نیاز به نیتروژن بیشتری دارند، میزان انتشار کمتری نسبت به سایرین دارند.

متان، ۹۸٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای را در سیستم‌های مدیریت کود دامی به‌خود اختصاص می‌دهد. ذخیره طولانی مدت کود مایع و دوغاب شرایط مطلوب برای رشد میکروارگانیسم‌های تولیدکننده متان را فراهم می‌کند. پس مدیریت سیستم‌های ذخیره‌سازی کود برای کاهش انتشار متان مهم است. سیستمی که در مطالعه حاضر در نظر گرفته شد، سیستم جمع‌آوری و نگهداری کوتاه‌مدت کود بوده است. می‌توان با پوشاندن محل ذخیره کود و جمع‌آوری گاز متان و سپس سوزاندن آن و تبدیل آن به دی‌اکسیدکربن که ضعیف‌تر بوده، میزان این انتشار را کاهش داد. همچنین با استفاده از انرژی به‌دست آمده از گاز متان و جایگزینی آن با انرژی مصرفی می‌توان از تلفات انتشار کم نمود. همچنین پوشاندن کود برای جلوگیری از تماس با هوا و تزریق آن به خاک از دیگر راه‌های کاهش انتشار است. جداسازی مایع، جامد و کمپوست نیز از راهکارهای دیگر است. به‌طوری که پس از این جداسازی‌های مایع و جامد، برخی کربن‌ها تجزیه شده و سبب کاهش انتشار متان در طول ذخیره‌سازی می‌شوند. کمپوست هم به‌دلیل اینکه فرآیندی هوازی است، میزان انتشار متان از کود را کاهش می‌دهد اما در عین حال سبب افزایش آمونیاک و اکسیدنیتروس می‌شود. راهکارهای کاهش اکسیدنیتروس شامل زمان مناسب کوددهی برای جلوگیری از شرایط رطوبت خاک و بارش و در نتیجه جلوگیری از شرایط مطلوب برای تولید اکسیدنیتروس و استفاده از کود در زمان نیازمندی محصول جهت افزایش جذب و کاهش غلظت نیتروژن خاک می‌باشد. کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن هم با کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و افزایش بازدهی انرژی حاصل از کود میسر می‌شود.

نتایج این تحقیق حاکی از آن بوده است که با صرف هزینه بیشتر تا حدودی می‌توان آلودگی گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت دام را کاهش داد اما به هرحال حذف آن امکان‌پذیر نمی‌باشد ولی می‌توان جهت حمایت از تولیدکننده، یارانه‌هایی را در مصرف جیره‌هایی که گازهای گلخانه‌ای کمتری منتشر می‌کنند در نظر گرفت تا بر تولیدکننده، بار هزینه‌ای سنگین وارد نشود. از جمله اقدامات دیگر که می‌تواند مؤثر واقع شود اعمال مالیات بر کربن است که با همکاری واحدهای تولیدکننده شیر، امکان‌پذیر است و می‌توان تا حد چشم‌گیری از تولید گازهای گلخانه‌ای جلوگیری کرد.

## References

Adavi, Z., Nemati, M., & Khorvash, M. (2014). Investigating the role of industrial livestock in methane production and reduction strategies. Paper presented at the The first National Conference on the Environment of Payame Noor University.

Bayani, A., Abolhasani, L. & Shahnoshi Foroushani, N. (2016). Energy flow in traditional dairy cattle breeding units with emphasis on greenhouse gas emissions from electricity generation and the use of machinery and equipment. *Journal of Agricultural Ecology*, *8*(2), 251-262.

Bonesmo, H., Beauchemin, K. A., Harstad, O. M., & Skjelvag, A. (2013). Greenhouse gas emission intensities of grass silage based dairy and beef production: A systems analysis of Norwegian farms. *Livestock Science*, 152(2-3), 239-252.

Cornejo, C., & Wilkie, A.C. (2010). Greenhouse gas emissions and biogas potential from livestock in Ecuador. *Energy for Sustainable Development*, *14*(4), 256-266.

Dehghan, A. (2014). Third national climate change report to the secretariat of the convention. The third part of the greenhouse gas reduction policies of the agricultural sub-sector. Third National Climate Change Report.

EPA. (2015). (Environmental Protection Agency). Interactive units converter, (Accessed 17.03. 4).

FAO. (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) statistical database.

Garg, M., Phondba, B., Sherasia, P., & Makkar, H. P. (2016). Carbon footprint of milk production under smallholder dairying in Anand district of Western India: a cradle-to-farm gate life cycle assessment. *Animal Production Science*, 56(3), 423-436.

Ghazouani, A., Mhamdi, N., Znaidi, I., Darej, C., Guoiaa, N., Hasnaoui, M. & Mhamdi, H. (2018). Life cycle analysis of raw milk production in Tunisia. *Journal of Agricultural Scie*nce, 5(10), 249-258.

Ghorbani, M., Darijani, A., Koocheki, A., & Motallebi, M. (2009). Estimation of environmental costs of greenhouse gases emission in Mashhad dairy farms. A*gricultural Economics and Development*, 17(2), 43-63.

Hawkins, J., Weersink, A., Wagner-Riddle, C., & Fox, G. (2015). Optimizing ration formulation as a strategy for greenhouse gas mitigation in intensive dairy production systems. *Agricultural Systems*, 137, 1-11.

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]

Hawkins, J., Yesuf, G., Zijlstra, M., Schoneveld, G. C., & Rufino, M. C. (2021). Feeding efficiency gains can increase the greenhouse gas mitigation potential of the Tanzanian dairy sector. *Scientific Reports*, 11(1), 4190.

IPCC. (2006). (Intergovernmental Panel on Change). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol.4.agriculture, forestry and other land use. IGES, Hayama. Japan.

IPCC. (2007). (Intergovernmental Panel on Climate Change). Change in atmospheric constituents and in radiative fprcing.in: Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University press, Cambridge, Uk and New York (chapter 2).

Khalili, A., Abolhassani, L., & Shahnoshi Foroushani., N. (2017). Evaluation of greenhouse gas emissions from dairy cattle breeding industrial units in Hamadan province using life cycle assessment approach. *2nd International Conference on New Horizons in Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment, Tehran.*

Liang, S., Xu, M., & Zhang, T. (2013). Life cycle assessment of biodiesel production in China. *Bioresource Technology*, 129, 72-77.

Little, S. M., Benchaar, C., Janzen, H. H., Kröbel, R., McGeough, E. J., & Beauchemin, K. A. (2017). Demonstrating the effect of forage source on the carbon footprint of a Canadian dairy farm using whole-systems analysis and the Holos model: alfalfa silage vs. corn silage. *Climate, 5*(4), 87.

Loghmanpour Zarini, R., & Nabipour Afrouzi, H. (2020). Estimation of Energy Balance and Greenhouse Gas Emissions in Dairy Farms (Case study: Qazvin Province). *Carafe Magazine*, 17(2), 13-21.

Mc Geough, E., Little, S., Janzen, H., McAllister, T., McGinn, S., & Beauchemin, K. (2012). Life-cycle assessment of greenhouse gas emissions from dairy production in Eastern Canada: A case study. *Journal of Dairy Science*, 95(9), 5164-5175.

Moradi, A., & Aminian, M. (2012). Environmental contamination of calves in Shiraz. *Journal of Transmission of Science, 3*(1), 55-59.

O'Brien, D., Capper, J., Garnsworthy, P., Grainger, C., & Shalloo, L. (2014). A case study of the carbon footprint of milk from high-performing confinement and grass-based dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 97(3), 1835-1851.

Podkówka, Z., Čermák, B., Podkówka, W., & Brouček, J. (2015). Greenhouse gas emissions from cattle. *De Gruyter*, 34(1), 82-88.

Samsonstuen, S., Åby, B. A., Crosson, P., Beauchemin, K. A., & Aass, L. (2020). Mitigation of greenhouse gas emissions from beef cattle production systems. *Animal Science, 69*(4), 220-232.

Sefeedpari, P., Rafiee, S., Sharifi, M., Abasi Dashtaki, B., & Vellinga, T. (2018). Environmental impacts and economic benefits of manure management chain with biogas production in a large scale dairy farm. *Iranian Biosystem Engineering*, 49(2), 269-284.

Shurmij, G., & Loghmanpour Zarini, R. L. (2020 ). Calculation of Greenhouse Gas Emissions in Dairy Cattle Breeding Units by Life Cycle Assessment Method (Case Study: Golestan Province),. *10th National Conference on Environment, Energy and Sustainable Natural Resources, Tehran.*

Wang, X., Kristensen, T., Mogensen, L., Knudsen, M. T., & Wang, X. (2016). Greenhouse gas emissions and land use from confinement dairy farms in the Guanzhong plain of China–using a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, 113, 577-586.

Zoghi, M. J., Ghavidel, A., Saeedi, M. (2016). Comparison of Greenhouse Gas Emissions in Solid Waste Management Systems Using Life Cycle Assessment (LCA). *Environmental Science and Technology*, 18(3), 91-99.

[ Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-13 ]

[ DOI: 10.61186/rap.15.4.129 ]