دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"
دوره دهم، شماره ۱۸، بهار و تابستان ۱۴۰۴
http://arpe.gonbad.ac.ir

ارزیابی چرخه حیات سیستم‌های اصلی تولید برنج در استان گلستان، شمال ایران

نبی خلیلی‌اقدم[1*]، مهدی زارعی[2]
[1]دانشیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، واحد تهران
[2]استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸

چکیده

مقدمه: ارزیابی چرخه حیات (LCA) یک ابزار ارزیابی مناسب برای تحلیل سناریوهای تولید محصولات زراعی است که از طریق شناسایی، کمی‌سازی و ارزیابی منابع مصرف‌شده و آلاینده‌های منتشرشده در محیط انجام می‌شود. به‌منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی چهار سناریوی تولید برنج با استفاده از روش LCA، میزان مصرف منابع و انتشار آلاینده‌ها در استان گلستان در شمال ایران محاسبه شد.

مواد و روش‌ها: برای تعریف سناریوهای مختلف تولید برنج بر اساس سیستم‌های رایج کشت و کشت مستقیم در منطقه، داده‌های بلندمدت مربوط به سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۴ از مزارع برنج جمع‌آوری شد. روش LCA برای ارزیابی و مطالعه عملکرد سیستم‌های تولید مختلف، (TE: تولید برنج نشاکاری‌شده با مصرف برق برای آبیاری، TD: تولید برنج نشاکاری‌شده با مصرف سوخت فسیلی برای آبیاری، DS: تولید برنج با کشت مستقیم و استفاده از سیستم آبیاری بارانی و DD: تولید برنج با کشت مستقیم و استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای) اجرا شد.

نتایج: یافته‌ها نشان داد که کشت برنج مستقیم بذر با آبیاری قطره‌ای (استفاده از لوله های پلی اتیلن برای یک فصل) (سناریوDD) دارای بیشترین میزان تقاضای انرژی (ED)، تغییر اقلیم (CC)، اسیدی شدن زمین (TA)، تخلیه فلزات (MD)، اشغال زمین کشاورزی (ALO). همچنین اوتروفیکاسیون آب شیرین (FE) در DD و TE (سناریوی تولید برنج نشایی با سوخت برق برای آبیاری) بالاترین میزان بود. TE و TD (سناریوی تولید برنج نشایی با سوخت فسیلی برای آبیاری) بالاترین اوتروفیکاسیون شدن دریایی (ME) را داشتند. تخلیه آب (WD) در سناریوی TE بیشترین میزان را داشت. تخلیه سوخت فسیلی (FD)، سمیت زیست محیطی زمینی (TEc)، سمیت زیست محیطی آب شیرین (FEc) و پتانسیل تخلیه ازن (OD) در سناریوی TD بالاترین میزان بود. بیشترین میزان سرب، کادمیوم، جیوه و روی در هوا و نیکل در آب در سناریوی DD به دست امد. همچنین میزان عنصر روی در آب در سناریوی TD بیشترین مقدار را داشت. بیشترین مقدار عناصر مس، کادمیوم، جیوه و سرب در آب در سناریوهای TD و TE مشاهده شد.

*نویسنده مسئول: nkhaliliaqdam@pnu.ac.ir

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]

نتیجه‌گیری کلی: در نهایت نتایج نشان داد که سناریوی DS (سناریوی تولید کشت مستقیم برنج با آبیاری بارانی) در هر چهار سناریو تولید برنج کمترین طبقه‌بندی محیطی ذکر شده را داشت. بنابراین تولید برنج در استان گلستان با استفاده از سناریوی DS تولید پاک تری خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: تولید پاک‌تر، تقاضای انرژی، تغییر اقلیم، ماشین‌آلات، مصرف سوخت فسیلی

مقدمه

امروزه افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از اهداف مهم بخش کشاورزی محسوب می‌شوند (USDA, 2015). همچنین افزایش تولید و تأمین امنیت غذایی بدون مصرف انرژی امکان‌پذیر نیست (Khan and Hanjra, 2009). انرژی به‌طور مستقیم در عملیات آماده‌سازی زمین، کاشت، کوددهی، آبیاری، حفاظت از محصول و برداشت مصرف می‌شود و به‌طور غیرمستقیم نیز در تولید نهاده‌هایی مانند آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و ماشین‌آلات کشاورزی مورد استفاده در عملیات مزرعه مورد استفاده قرار می گیرد (Singh *et al*., 2019). مصرف مستقیم و غیرمستقیم سوخت‌های فسیلی موجب انتشار دی‌اکسیدکربن (CO_2)، اکسید نیتروژن (N_2O) و متان (CH_4) می‌شود که به آنها گازهای گلخانه‌ای گفته می‌شود. تغییرات اقلیمی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، آینده زندگی روی زمین را تهدید می‌کند (IPCC, 2006).

گذار از کشت برنج نشاکاری‌شده به کشت مستقیم برنج در ایران، به‌ویژه در استان گلستان انجام شده است. از یک سو، کاهش ذخایر آب و کمبود آب برای آبیاری و از سوی دیگر، افزایش هزینه نیروی کار، کشاورزان را به سمت تولید برنج با کشت مستقیم سوق داده است. همچنین کاهش ذخایر آب موجب شده است تولیدکنندگان برنج با کشت مستقیم به روش‌های آبیاری تحت فشار، مانند آبیاری بارانی و قطره‌ای، روی آورند و از روش‌های سنتی آبیاری مانند غرقابی اجتناب کنند. علاوه بر این، مصرف کمتر نهاده‌ها، از جمله کود نیتروژن، نیز به‌عنوان یکی از مزایای کشت مستقیم برنج گزارش شده است (Farooq *et al*., 2011). با وجود مزایای قابل‌توجه کشت مستقیم برنج، فرسایش خاک و هدررفت فسفر و نیتروژن (Zhou *et al*., 2019; Zhang *et al*., 2018) و رشد علف‌های هرز (Jat *et al*., 2019; Farooq *et al*., 2011) از معایب این روش کشت هستند که نیازمند بررسی‌های بیشتر در سراسر جهان است.

استان گلستان یکی از استان‌های شمالی ایران است که ۷۵ درصد برنج کشور را تولید می‌کند. تولید برنج نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی ایرانیان دارد و نگرانی‌ها درباره افزایش انتشار گاز متان روزبه‌روز بیشتر می‌شود. با دو برابر شدن سطح زیر کشت و عملکرد برنج در ایران از سال ۱۹۶۱، انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز دو برابر شده است (FAO, 2017). کشاورزی به‌ترتیب مسئول حدود ۶۰ درصد از انتشار انسانی N_2O و ۵۰ درصد از انتشار CH_4 در جهان است (IPCC, 2013). حدود ۱۰ تا ۱۳ درصد از متان منتشرشده در جو از کشت برنج ناشی می‌شود که تأثیر قابل‌توجهی بر گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی دارد (Mohammadi *et al*., 2014). همچنین عملیات فشرده خاک‌ورزی و آبیاری مکرر، انرژی بیشتری مصرف می‌کنند و یکی از منابع اصلی انتشار CO_2 در تولید برنج غرقابی هستند (Gupta *et al*., 2016). بنابراین تعیین بهترین سیستم تولید برنج، بدون کاهش قابل‌توجه عملکرد و بدون افزایش آلاینده‌ها، یکی از مهم‌ترین مسائل در کشاورزی پایدار است.

برای ارزیابی و کمی‌سازی اثرات زیست‌محیطی محصولات، فرایندها و سیستم‌های تولید، لازم است جریان انرژی و منابعی که در طول چرخه حیات آنها اتفاق می‌افتد، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گیرد. رویکرد ارزیابی چرخه حیات برای تعیین روش‌های اقتصادی تولید بر اساس کاهش انتشار آلاینده‌ها اهمیت زیادی دارد (Edwards, 2010). سازمان بین‌المللی

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]

استانداردسازی، ارزیابی چرخه حیات را روشی برای ارزیابی ورودی‌ها، خروجی‌ها و اثرات بالقوه زیست‌محیطی سیستم تولید یک محصول در طول چرخه عمر آن تعریف می‌کند LCA .اثرات بالقوه زیست‌محیطی را در طول چرخه حیات محصول، از مرحله تولید و استفاده تا دفع مواد زائد، در نظر می‌گیرد (Taghavifar and Mardani, 2015). در واقع، روش LCA برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی محصولات، فرایندها و سیستم‌ها استفاده می‌شود (Lozano Miralles, 2020). ارزیابی چرخه حیات شامل مراحل تعیین موجودی چرخه حیات و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی است. در مرحله تعیین موجودی، اطلاعات مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌ها برای تمام فرایندهای موجود در یک سیستم جمع‌آوری می‌شود. سپس در مرحله ارزیابی اثرات، تمام اثرات زیست‌محیطی مرتبط با ورودی‌ها و انتشار آلاینده‌های آنها ارزیابی می‌شود. این مرحله اثرات مرتبط با مصرف نهاده‌های شیمیایی، مانند گرمایش جهانی و تشکیل ازن تروپوسفری، همچنین اثرات فیزیکی بر زمین و تأثیرات مربوط به دسترسی به منابع را پوشش می‌دهد (Requena *et al*., 2011). ارزیابی چرخه حیات برای تولید برنج نشاکاری‌شده نیز انجام شده است (Abdul Rahman *et al*., 2019; Mohammadi *et al*., 2014; Armanuos *et al*., 2016; Nabavi-Plasari *et al*., 2017; Bacenetti *et al*., 2016; Brodt *et al*., 2014; Dastan *et al*., 2019; Jianyi *et al*., 2014).

حبیبی و همکاران (Habibi *et al*., 2019) ارزیابی چرخه حیات را در مناطق آمل و رشت در شمال ایران مقایسه کردند و گزارش دادند که میزان تغییر اقلیم به‌ترتیب ۲۷۷/۲۱ و ۲۷۷/۷۹ کیلوگرم معادل CO_2 بوده است. بیشترین میزان تغییر اقلیم و تقاضای انرژی در هر دو منطقه مربوط به سیستم نیمه‌مکانیزه با مصرف زیاد نهاده‌ها بود. آنها همچنین دریافتند که بیشترین مقادیر اسیدی‌شدن خاک، یوتریفیکاسیون آب شیرین، یوتریفیکاسیون دریایی، اشغال زمین، کاهش منابع آب، کاهش منابع فلزی و کاهش منابع فسیلی در مزارع کوچک و سیستم‌های نشاکاری با مصرف بالای نهاده‌ها به دست آمد. یودخوم و همکاران (Yodkhum *et al*., 2018) در مطالعه‌ای در تایلند گزارش کردند که به ازای تولید هر کیلوگرم شلتوک برنج، ۵۸۰ گرم معادل CO_2 منتشر می‌شود و انتشارهای مزرعه‌ای بیشترین سهم، حدود ۸۳ درصد، را داشتند. کشت برنج به روش غرقابی نیز یکی از مهم‌ترین دلایل این موضوع بود. آنها پیشنهاد کردند که استفاده از کشت مستقیم برنج و روش‌های جایگزین آبیاری نه‌تنها می‌تواند موجب صرفه‌جویی در مصرف آب شود، بلکه می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه متان، را کاهش دهد. همچنین مشخص شد که تولید برنج ارگانیک به‌طور قابل‌توجهی تولید متان را کاهش می‌دهد. پاتاک و همکاران (Pathak *et al*., 2013) با مقایسه کشت برنج نشاکاری‌شده و کشت مستقیم در هند ارزیابی کردند که کشت مستقیم برنج بدون کاهش عملکرد، ۳ تا ۴ نوبت آبیاری کمتر نسبت به کشت نشاکاری‌شده نیاز دارد. همچنین مصرف نیروی انسانی در کشت مستقیم ۴۵ درصد و استفاده از تراکتور ۵۸ درصد کاهش یافت.

بر اساس جست‌وجوهای انجام‌شده، تاکنون مطالعه‌ای با استفاده از روش LCA برای مقایسه سیستم غرقابی مداوم در کشت نشاکاری‌شده برنج با سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای با استفاده از نوارهای موقت در کشت مستقیم برنج، با درنظرگرفتن نوع سوخت مصرفی برای پمپاژ آب از چاه‌ها، به‌ویژه در استان گلستان، انجام نشده است. بنابراین هدف این مطالعه، یافتن سازگارترین سیستم کشت برنج با محیط زیست بر اساس سیستم‌های رایج کشت برنج در منطقه، به‌منظور به حداقل رساندن آسیب‌های زیست‌محیطی بود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: این مطالعه در شهر گرگان انجام شد که بین عرض جغرافیایی ۳۶°۴۴′ تا ۳۸°۰۵′ شمالی و طول جغرافیایی ۵۳°۵۱′ تا ۵۶°۱۴′ شرقی قرار دارد. در فصل رشد برنج، یعنی از ماه اردیبهشت تا شهریور، آب‌وهوای منطقه

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]

معتدل و نیمه‌مرطوب است. میانگین حداقل و حداکثر دما، تابش خورشیدی و میزان بارندگی به‌ترتیب برابر با ۱۷/۹ و ۲۸/۳ درجه سانتی‌گراد، ۱۵/۷ مگاژول بر مترمربع در روز و ۱۷۰/۳ میلی‌متر است.

تعریف سناریوها: نشاکاری برنج برای مدت طولانی روش رایج در منطقه بوده است، درحالی‌که کشت مستقیم برنج از سال ۱۳۹۴ در میان کشاورزان گسترش یافته است. برای تعریف سناریوهای مختلف تولید برنج بر اساس سیستم‌های رایج کشت و کشت مستقیم در منطقه، داده‌های بلندمدت مربوط به سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۴ از مزارع برنج جمع‌آوری شد. ارزیابی دقیق داده‌های به‌دست‌آمده نشان داد که بیشترین تفاوت میان مزارع مربوط به نوع سیستم آبیاری و نوع سوخت مصرفی برای آبیاری بود. بنابراین سناریوها بر همین اساس تعریف شدند:

TE: تولید برنج نشاکاری‌شده با مصرف برق برای آبیاری.

TD: تولید برنج نشاکاری‌شده با مصرف سوخت فسیلی برای آبیاری.

DS: تولید برنج با کشت مستقیم و استفاده از سیستم آبیاری بارانی.

DD: تولید برنج با کشت مستقیم و استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای. در این روش از لوله‌های پلی‌اتیلنی استفاده می‌شد که به‌صورت موقت و تنها در طول یک فصل رشد مورد استفاده قرار می‌گرفتند.

مقدار نهاده‌های مصرف‌شده در هر یک از سناریوها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مقدار نهاده‌های مصرفی در سناریوهای تولید برنج نشاکاری و کشت مستقیم در استان گلستان

Table 1- Inputs amount for transplanted and direct seeded rice production scenarios in Golestan province

نهاده‌ها Inputs	Unit	TD	TE	DS	DD
نیتروژن N	Kg/ha	205.8	205.8	92	92
فسفات P_2O_5	Kg/ha	138	138	46	46
علف کش Herbicide	Kg a.i/ha	3.844	3.844	0.1	0.1
حشره کش Insecticide	Kg a.i/ha	4.48	4.48	1.46	1.46
بذر Seed	Kg/ha	120	120	60	60
آب Water	M^3/ha	12000	12000	7000	7000
ماشین آلات و ادوات Machinery and equipment	h/ha	209.6	165.55	77.5	703.9
سوخت فسیلی Fossil fuel	l/ha	748	65.1	64.5	66.1
الکتریسیته Electricity	Kwh/ha	-	2806.7	1651.2	1380
نیروی انسانی Human labor	h/ha	214.2	166.7	53.75	128.95
خروجی (Output)					
شلتوک (Paddy)	Kg/ha	8000	8000	6500	7000

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

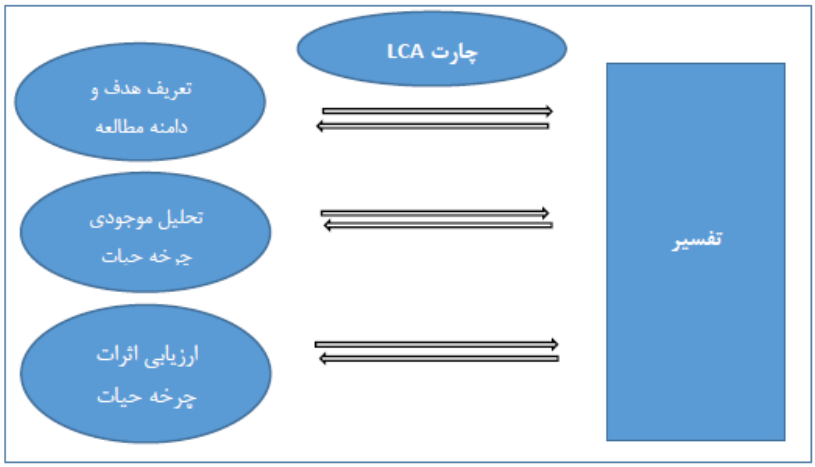
[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]

مقادیر تمام نهاده‌ها در هر سناریو بر اساس میانگین داده‌های به‌دست‌آمده از منطقه محاسبه شد. جمع‌آوری اطلاعات مربوط به مصرف بذر، سوخت، کودها، آفت‌کش‌ها، برق، ماشین‌آلات و آب آبیاری نیز از طریق مصاحبه حضوری با تولیدکنندگان برنج نشاکاری‌شده و کشت مستقیم انجام شد.

روش ارزیابی چرخه حیات (LCA): روش LCA عمدتاً برای ارزیابی و مطالعه عملکرد تولید محصولات زراعی استفاده می‌شود (Taki *et al.*, 2018). روش LCA شامل چهار مرحله است:

۱. تعریف هدف و دامنه مطالعه
۲. تحلیل موجودی چرخه حیات(LCI)
۳. ارزیابی اثرات چرخه حیات(LCIA)
۴. تفسیر نتایج

این مراحل در شکل ۱ نشان داده شده‌اند (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2017).



شکل ۱- چارچوب ارزیابی چرخه حیات
Figure 1- Life cycle assessment framework

تعریف هدف و دامنه مطالعه: هدف از روش LCA، ارزیابی و مقایسه اثرات زیست‌محیطی تولید برنج نشاکاری‌شده و کشت مستقیم بر اساس نوع روش آبیاری در شهر گرگان بود؛ به‌گونه‌ای که تمام نهاده‌ها و فرایندهای موجود در چرخه تولید در نظر گرفته شدند.

تحلیل موجودی چرخه حیات: این مرحله، یکی از مراحل اصلی روش LCA است. در این مرحله، تمام منابع مورد نیاز یا ورودی‌ها و انتشارهای زیست‌محیطی یا خروجی‌ها باید در فرایند تولید و فرایندهای مرتبط تعیین و ثبت شوند (Habibi *et al.*, 2019). انتشارها شامل انتشارهای غیرمستقیم، یعنی مربوط به تولید نهاده‌ها، و انتشارهای مستقیم، یعنی ناشی از مصرف نهاده‌ها در تولید برنج، بودند که با استفاده از روش Ecoinvent 3.1 محاسبه شدند.

این موارد شامل موارد زیر بود:

۱. تولید، تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات و ساختمان‌ها؛

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]

۲. تمام عملیات کشاورزی شامل آماده‌سازی زمین، کاشت، کوددهی، حفاظت از محصول، آبیاری و برداشت و سوخت مصرفی آنها؛
۳. تولید و بسته‌بندی کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی؛
۴. حمل‌ونقل تمام نهاده‌ها.

داده‌ها در نرم‌افزار Excel وارد شدند.

ارزیابی اثرات LCA: هدف این مرحله، ارزیابی میزان و اثرات بالقوه زیست‌محیطی سیستم‌های تولید محصولات زراعی است (Nabavi-Pelesaraei *et al*., 2014).

اثرات زیست‌محیطی مورد بررسی شامل تغییر اقلیم (CC): کیلوگرم معادل CO_2، تقاضای انرژی (ED): مگاژول به ازای یک تن شلتوک برنج، اسیدی‌شدن خاک (TA): کیلوگرم معادل SO_2، یوتریفیکاسیون آب شیرین (FE): کیلوگرم معادلP، کاهش منابع آب (WD): مترمکعب، کاهش منابع فلزی (MD): کیلوگرم معادل Fe، سمیت بوم‌سازگان خشکی (TEc): کیلوگرم معادل DB۱،۴-، سمیت آب شیرین (FEc): کیلوگرم معادل DB۱،۴-، پتانسیل تخریب لایه اوزون (OD): کیلوگرم معادل CFC-11 ، اشغال زمین (ALO): مترمربع سال بودند.

برای بررسی دقیق‌تر اثرات زیست‌محیطی تولید، میزان فلزات منتشرشده در هوا شامل سرب، کادمیوم، روی و جیوه و فلزات موجود در آب شامل روی، کادمیوم، جیوه، سرب، کروم، مس و نیکل نیز به‌صورت جداگانه ارزیابی شدند. تمام این ویژگی‌های زیست‌محیطی بر کیفیت اکوسیستم، سلامت انسان، تغییر اقلیم و آسیب به منابع مورد استفاده تأثیر می‌گذارند (Taki *et al*., 2018). برای محاسبه اثرات زیست‌محیطی از نرم‌افزار SimaPro 8.2.3 استفاده شد.

تفسیر نتایج: در این مرحله، نتایج به‌منظور مقایسه اثرات زیست‌محیطی تولید برنج بر اساس نوع سیستم تولید در گرگان و همچنین مقایسه آنها با نتایج سایر پژوهشگران مورد تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

تقاضای انرژی و تغییر اقلیم: تقاضای انرژی در سناریوی DD بیشتر از سایر سناریوها بود. سناریوهای TD و TE در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. سناریوی DS کمترین تقاضای انرژی را نشان داد. تقاضای انرژی در سناریوی DD به‌ترتیب ۱۰، ۲۶/۵ و ۵۲ درصد بیشتر از سناریوهایTD ، TE و DS بود. بر اساس نتایج، ماشین‌آلات، سوخت دیزل و برق بیشترین سهم را در تقاضای انرژی در سناریوهای مختلف داشتند. شاخص تغییر اقلیم بر اساس میزان انتشار N_2O، CH_4 و CO_2 برآورد شد. این انتشارها به کیلوگرم معادل CO_2 تبدیل شدند. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، سناریوهای DS و DD به‌ترتیب کمترین و بیشترین میزان تغییر اقلیم را داشتند. در واقع، می‌توان گفت نوع سیستم تولید (نشاکاری و کشت مستقیم) نوع روش آبیاری (غرقابی، بارانی و قطره‌ای) و نوع سوخت مصرفی (سوخت فسیلی و برق) بر این پارامترها تأثیرگذار هستند. میزان تغییر اقلیم در سناریوی DD به‌ترتیب ۴۷/۱۵، ۳۷/۳۱ و ۶۶/۲۲ درصد بیشتر از سناریوهای TD، TE و DS بود. سناریوی DS کمترین میزان تغییر اقلیم را داشت و این مقدار به‌ترتیب ۲۸/۵۲ و ۳۹/۷۳ درصد کمتر از سناریوهای TDو TE بود. در میان سناریوهای کشت نشاکاری‌شده، میزان تغییر اقلیم در TE حدود ۱۵/۶۸ درصد بیشتر از TD بود. تنها تفاوت میان سیستم‌های DS و DD در نوع ماشین‌آلات و تجهیزات مورد استفاده برای عملیات آبیاری بود. در سناریوی DD از آبیاری قطره‌ای استفاده می‌شد و در این روش لوله‌های پلی‌اتیلنی در طول فصل کشت در امتداد ردیف‌های کشت قرار می‌گرفتند. از آنجا که برای تولید یک کیلوگرم از این لوله‌های پلی‌اتیلنی حدود ۷۶/۶ مگاژول انرژی مصرف می‌شود و

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]

مدت آبیاری در این سیستم نیز بیشتر از سایر سیستم‌ها است، میزان تقاضای انرژی و تغییر اقلیم در سناریوی DD در میان تمام سناریوها بیشترین مقدار را داشت. نکته مهم این است که لوله‌های پلی‌اتیلنی تنها برای یک فصل رشد استفاده شدند و به دلیل طول عمر کوتاه آنها، میزان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید آنها افزایش یافت. در سناریوی DS، به دلیل کوتاه‌تر بودن مدت زمان آبیاری و استفاده از سیستم آبیاری بارانی در چند فصل رشد، تقاضای انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر از سایر سناریوها بود. سناریوهای TD و TE از نظر عملیات زراعی تقریباً مشابه بودند و تنها تفاوت آنها در نوع سوخت مورد استفاده برای آبیاری بود. با وجود کوتاه‌تر بودن زمان آبیاری در سناریوی TE، میزان تغییر اقلیم در آن بیشتر از TD بود که دلیل آن انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف برق بود. دو دلیل مهم برای این موضوع وجود داشت. نخست اینکه در شبکه‌های انتقال برق، تا سه برابر مقدار واقعی برق مصرف‌شده برای آبیاری، هنگام انتقال برق از نیروگاه به محل مصرف، یعنی مزارع برنج، تلف می‌شود. دوم اینکه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از انرژی مورد استفاده برای آبیاری حدود ۲۹ درصد محاسبه شده است؛ بنابراین این مقدار از مصرف مستقیم سوخت فسیلی برای آبیاری بیشتر است.

قاسمی-مکبر و همکاران (Ghasemi-Mobtaker *et al*., 2020) نیز مصرف برق در تولید گندم در غرب ایران را یکی از عوامل اصلی انتشار CO_2 دانستند. همچنین گزارش شده است که استفاده از روش‌های کم‌خاک‌ورزی و افزایش بهره‌وری مصرف سوخت فسیلی در عملیات برداشت گندم می‌تواند در کاهش میزان تغییر اقلیم مؤثر باشد. عبدالرحمان و همکاران (Abdul Rahman *et al*., 2019) دریافتند که سهم انتشار متان از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در مزارع غرقابی ۷۶٫۸۵ درصد است. در مطالعه دیگری این مقدار ۶۹ درصد گزارش شده است (Brodt *et al*., 2014). یکی از دلایل اصلی افزایش فعالیت تولید در مزارع برنج، شرایط غرقابی است. هی و همکاران (He *et al*., 2019) نیز دریافتند که استفاده از روش‌های آبیاری متناوب تر و خشک می‌تواند انتشار متان را در مقایسه با شرایط غرقابی مداوم تا ۳۷ درصد کاهش دهد و در نهایت موجب کاهش تغییر اقلیم شود. حبیبی و همکاران (Habibi *et al*., 2019) میزان تغییر اقلیم در تولید برنج نشاکاری‌شده غرقابی را در مناطق رشت و آمل در شمال ایران به‌ترتیب ۲۷۵٫۷۹ و ۲۷٫۲۱۷ کیلوگرم معادل CO_2 برآورد کردند. آنها دریافتند مزارعی که مصرف نهاده‌ها، ماشین‌آلات و سطح زیر کشت بیشتری داشتند، بالاترین میزان تغییر اقلیم را نشان می‌دادند.

در مطالعه حاضر، سناریوی DD به دلیل استفاده بیشتر از ماشین‌آلات آبیاری، بیشترین تغییر اقلیم را داشت. همچنین سناریوهای TE و TD به دلیل مصرف بیشتر کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و ماشین‌آلات برای آماده‌سازی زمین، مقادیر بالاتری از تغییر اقلیم را نسبت به DS داشتند (جدول ۳). بنابراین سناریوی DS کمترین میزان تغییر اقلیم را نشان داد. بلینگینی و بوستو (Blengini and Busto, 2009) در ایتالیا گزارش کردند که استفاده از سیستم آبیاری بارانی در کشت برنج، انتشار گازهای گلخانه‌ای را در مقایسه با کشت غرقابی ۵۰ درصد کاهش می‌دهد. یکی از دلایل کاهش بیشتر انتشار گازهای گلخانه‌ای در آن مطالعه نسبت به مطالعه حاضر، استفاده از جریان آب ثقلی بدون استفاده از سیستم‌های پمپاژ برای تولید برنج نشاکاری‌شده غرقابی بود. با تغییر سیستم آبیاری قطره‌ای، یعنی استفاده از لوله‌های پلی‌اتیلنی برای یک فصل رشد، به سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی که در آن لوله‌ها به‌صورت دائمی در مزرعه قرار دارند، میزان تغییر اقلیم به ۲۳۲/۵۶ کیلوگرم معادل CO_2 کاهش یافت. در مطالعه‌ای دیگر، پتانسیل گرمایش جهانی در برنج نشاکاری‌شده بین ۲ تا ۴/۶ تن معادل CO_2 در هکتار و در برنج با کشت مستقیم بین ۱/۳تا ۲/۹ تن معادل CO_2 در هکتار گزارش شد. همچنین نشان داده شد که اگر تمام سطح زیر کشت برنج نشاکاری‌شده به کشت مستقیم تبدیل شود، پتانسیل کلی گرمایش جهانی ۳۳ درصد کاهش خواهد یافت (Pathak *et al*., 2013).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]

جدول ۲- ارزیابی چرخه حیات (LCA) چهار سناریوی تولید برنج با استفاده از روش ReCiPe در استان گلستان

Table 2- Life cycle assessment (LCA) of four rice production scenarios by ReCiPe method in Golestan province

Item	Unit	TD	TE	DS	DD
تغییر اقلیم Climate change	(kg CO_2 eq)	442.69	525.04	316.42	837.65
اسیدی‌شدن خاک Terrestrial acidification	(kg SO_2 eq)	2.45	2.53	1.47	3.83
Freshwaterیوتریفیکاسیون آب شیرین eutrophication	(kg P eq)	0.056	0.074	0.039	0.074
یوتریفیکاسیون دریایی Marine eutrophication	(kg N eq)	0.25	0.25	0.15	0.19
تخلیه منابع آبی Water depletion	(m^3)	16.51	17.45	10.36	15.70
تخلیه منابع فلزی Metal depletion	(kg Fe eq)	118.45	102.06	58.12	400.97
تخلیه منابع فسیلی Fossil depletion	(kg oil eq)	208.35	131.54	84.29	199.17
سمیت زمین Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0.069	0.061	0.031	0.068
سمیت آب شیرین Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0.556	0.426	0.219	0.460
پتانسیل تخریب لایه اوزون Ozone depletion potential	kg CFC-11 eq	0.0001	0.00006	0.00003	0.00005
اشغال زمین Agricultural land occupation	(m^2a)	37.14	37.41	22.24	47.50

TE: تولید برنج نشاکاری‌شده با مصرف برق برای آبیاری، TD: تولید برنج نشاکاری‌شده با مصرف سوخت فسیلی برای آبیاری، DS: تولید برنج با کشت مستقیم و استفاده از سیستم آبیاری بارانی، DD: تولید برنج با کشت مستقیم و استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای.

TE**:** Transplanted rice production using electricity for irrigation, TD**:** Transplanted rice production using fossil fuel for irrigation, DS**:** Direct-seeded rice production using a sprinkler irrigation system, DD**:** Direct-seeded rice production using a drip irrigation system.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]

جدول ۳- سهم نهاده‌ها در پارامترهای اندازه‌گیری‌شده با استفاده از روش ReCiPe در چهار سناریوی تولید برنج در استان گلستان

Table 3- Contribution of inputs to parameters measured by ReCiPe method four rice production scenarios in Golestan province.

سناریوها Scenarios	نهاده ها Inputs	CC	TA	FEu	ME	WD	MD	FD	TEc	FEc	OD	ALO	HC
DS	نیتروژن (Nitrogen)	85.24	0.362	0.003	0.020	1.109	4.529	17.88	0.008	0.085	6.3E-06	1.48	7.31
	فسفر (Phosphate)	13.58	0.15	0.013	0.003	0.735	1.912	5.006	0.006	0.049	1.7E-06	0.80	3.29
	آفت‌کش (Pesticide)	2.55	0.02	6.8E-04	0.003	0.025	0.263	0.857	0.002	0.009	4.7E-06	0.13	0.62
	بذر برنج (Rice seed)	18.83	0.08	0.003	0.104	6.258	0.825	2.316	0.006	0.008	7.9E-07	14.4	0.98
	ماشین آلات کشاورزی Agricultural machinery	74.81	0.34	0.005	0.007	0.838	46.32	16.66	0.005	0.034	3.7E-06	3.61	9.86
	سوخت فسیلی (Diesel)	5.16	0.05	8.6E-05	9.2E-04	0.062	0.138	12.69	5.6E-04	0.016	6.8E-06	0.07	0.41
	الکتریسیته (Electricity)	116.24	0.47	0.015	0.009	1.335	4.136	28.89	0.003	0.017	9.5E-06	1.73	4.99
DD	نیتروژن (Nitrogen)	79.16	0.34	0.002	0.020	1.030	4.205	16.60	0.007	0.007	5.9E-06	1.37	6.78
	فسفر (Phosphate)	12.61	0.14	0.012	0.003	0.683	1.776	4.649	0.006	0.006	1.5E-06	0.75	3.05
	آفت‌کش (Pesticide)	2.37	0.02	6.3E-04	0.003	0.023	0.244	0.795	0.002	0.002	4.4E-06	0.12	0.57
	بذر برنج (Rice seed)	17.48	0.07	0.002	0.097	5.811	0.766	2.150	0.006	0.006	7.4E-07	13.40	0.91
	ماشین آلات کشاورزی Agricultural machinery	630.90	2.85	0.045	0.059	7.066	390.65	140.5	0.045	0.045	3.1E-05	30.47	83.19
	سوخت فسیلی (Diesel)	4.91	0.05	8.2E-05	8.7E-04	0.059	0.132	12.08	5.3E-04	5.3E-04	6.5E-06	0.05	0.39
	الکتریسیته (Electricity)	90.21	0.37	0.012	0.007	1.036	3.210	22.42	0.002	0.002	7.4E-06	1.34	3.87
TE	نیتروژن (Nitrogen)	154.93	0.66	0.005	0.036	2.016	8.231	32.49	0.015	0.154	1.1E-05	2.69	13.28
	فسفر (Phosphate)	33.10	0.36	0.031	0.007	1.793	4.661	12.20	0.015	0.121	4.05E-06	1.96	8.02
	آفت‌کش (Pesticide)	11.01	0.09	2.9E-04	0.012	0.109	1.131	3.69	0.008	0.041	2.04E-05	0.57	2.67
	بذر برنج (Rice seed)	30.59	0.13	0.004	0.169	10.169	1.339	3.76	0.010	0.013	1.3E-06	23.4	1.59

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]

	ماشین آلات کشاورزی Agricultural machinery	130.62	0.59	0.009	0.012	1.462	80.88	29.08	0.009	0.060	6.4E-06	6.31	17.22
	سوخت فسیلی (Diesel)	4.24	0.04	7.1E-05	7.5E-04	0.051	0.113	10.41	4.6E-04	0.013	5.6E-06	0.05	0.34
	الکتریسیته (Electricity)	160.54	0.65	0.021	0.012	1.844	5.713	39.90	0.004	0.024	1.3E-05	2.39	6.89
	نیتروژن (Nitrogen)	154.94	0.66	0.005	0.036	2.017	8.231	32.49	0.014	0.154	1.2E-05	2.69	13.28
	فسفر (Phosphate)	33.11	0.36	0.030	0.007	1.794	4.661	12.20	0.015	0.121	4.05E-06	1.96	8.02
	آفت‌کش (Pesticide)	11.01	0.09	0.002	0.012	0.109	1.131	3.690	0.008	0.041	2.04E-05	0.57	2.67
	بذر برنج (Rice seed)	30.60	0.13	0.004	0.169	10.169	1.339	3.763	0.010	0.013	1.3E-06	23.45	1.59
TD	ماشین آلات کشاورزی Agricultural machinery	164.38	0.74	0.011	0.015	1.841	101.78	36.60	0.012	0.076	8.1E-06	7.94	21.67
	سوخت فسیلی (Diesel)	48.67	0.46	8.1E-04	0.009	0.584	1.304	119.59	0.005	0.151	6.4E-05	0.53	3.89
	الکتریسیته (Electricity)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TE: تولید برنج نشاکاری‌شده با مصرف برق برای آبیاری، TD: تولید برنج نشاکاری‌شده با مصرف سوخت فسیلی برای آبیاری، DS: تولید برنج با کشت مستقیم و استفاده از سیستم آبیاری بارانی، DD: تولید برنج با کشت مستقیم و استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای. تغییر اقلیم (CC): کیلوگرم معادل CO_2، اسیدی‌شدن خاک (TA): کیلوگرم معادل SO_2، یوتریفیکاسیون آب شیرین (FE): کیلوگرم معادل P، کاهش منابع آب (WD): مترمکعب، کاهش منابع فلزی (MD): کیلوگرم معادل Fe، سمیت بوم‌سازگان خشکی (TEc): کیلوگرم معادل ۱،۴DB-، سمیت آب شیرین (FEc): کیلوگرم معادل ۱،۴DB-، پتانسیل تخریب لایه اوزون (OD): کیلوگرم معادل CFC-11 ، اشغال زمین (ALO): مترمربع سال.

TE**:** Transplanted rice production using electricity for irrigation, TD**:** Transplanted rice production using fossil fuel for irrigation, DS**:** Direct-seeded rice production using a sprinkler irrigation system, DD**:** Direct-seeded rice production using a drip irrigation system.

Climate Change (CC): kg CO_2 equivalent, Terrestrial Acidification (TA): kg SO_2 equivalent, Freshwater Eutrophication (FE): kg P equivalent, Water Depletion (WD): m^3, Metal Depletion (MD): kg Fe equivalent, Terrestrial Ecotoxicity (TEc): kg 1,4-DB equivalent, Freshwater Ecotoxicity (FEc): kg 1,4-DB equivalent, Ozone Depletion (OD): kg CFC-11 equivalent.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]

اسیدی‌شدن خاک: مهم‌ترین انتشارهای اسیدی‌کننده شامل NOx، NH_3 و SO_2 هستند (Van Zelm *et al*., 2015). تجزیه کودهای شیمیایی و احتراق سوخت‌های فسیلی موجب افزایش این گازها می‌شود. بر اساس نتایج، سناریوهای DD و DS به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان اسیدی‌شدن خاک را داشتند؛ به‌طوری‌که میزان اسیدی‌شدن خاک در DD حدود ۲/۶ برابر DS بود. سناریوهای TE و TD به‌ترتیب ۳۰/۰۶ و ۳۳/۹۴ درصد کمتر از DD بودند. در سناریوی DS که در آن از سیستم آبیاری بارانی برای تولید مستقیم برنج استفاده شد، میزان اسیدی‌شدن خاک در سناریوهای TD و TE به‌ترتیب ۱/۶۶ و ۱/۷۲ برابر بیشتر از DS بود. سناریوی DD به دلیل استفاده بیشتر از تجهیزات آبیاری، به‌ویژه لوله‌های پلی اتیلنی، و به دنبال آن مصرف بیشتر برق و سوخت فسیلی برای تولید آنها، بیشترین اسیدی‌شدن خاک را داشت. در مقابل، سناریوی DS به دلیل مدت زمان کمتر آبیاری، کمترین میزان اسیدی‌شدن خاک را نشان داد (جدول ۳).

در میان سناریوهای نشاکاری، مقدار اسیدی‌شدن خاک در TE تنها ۳/۶ درصد بیشتر از سناریوی TD بود که ناشی از مصرف بیشتر برق بود. با توجه به اینکه در سیستم‌های کشت مستقیم، به دلیل حذف خزانه، کاهش عملیات آماده‌سازی زمین، مصرف کمتر سوخت در عملیات برداشت و مصرف کمتر کودهای شیمیایی، انتظار می‌رود اسیدی‌شدن کاهش یابد، استفاده بیشتر از ماشین‌آلات در سناریوی DD باعث شد میزان اسیدی‌شدن خاک در این سناریو بیشتر از سایر سناریوها باشد. باسنتی و همکاران (Bacenetti *et al*., 2016) دریافتند که ۵۷ درصد اسیدی‌شدن خاک مربوط به مصرف کودهای شیمیایی است. در مطالعه‌ای در تولید گندم نیز با افزایش مصرف نیتروژن از ۹۶ به ۲۸۸ کیلوگرم در هکتار، میزان اسیدی‌شدن از ۱/۱۱ به ۱/۷۵ کیلوگرم معادل SO_2 افزایش یافت (Brentrup *et al*., 2004).

یوتریفیکاسیون آب شیرین و دریایی: یوتریفیکاسیون آب شیرین به دلیل ورود مواد مغذی به خاک یا منابع آب شیرین و افزایش متعاقب سطح مواد مغذی، به‌ویژه فسفر و نیتروژن، رخ می‌دهد (Huijbregts *et al*., 2017). یوتریفیکاسیون دریایی نیز به دلیل رواناب و آبشویی مواد مغذی گیاه از خاک و ورود آنها به رودخانه‌ها یا محیط‌های دریایی و افزایش سطح مواد مغذی، به‌ویژه فسفر و نیتروژن، رخ می‌دهد. بر اساس نتایج، سناریوهای DD و TE بیشترین و سناریوی DS کمترین میزان یوتریفیکاسیون آب شیرین را داشتند؛ به‌طوری‌که مقدار آن در DD و TE حدود ۱/۸۹ برابر DS بود. سناریوی DS همچنین کمترین میزان یوتریفیکاسیون دریایی را نشان داد. مصرف کمتر کودهای شیمیایی و ماشین‌آلات و در نتیجه مصرف کمتر سوخت فسیلی و برق، ورود NH_3 و NOx به محیط‌های آبی و خشکی را کاهش می‌دهد و در نتیجه پتانسیل یوتریفیکاسیون کاهش می‌یابد. بنابراین، سناریوی DS به دلیل مصرف کمتر کودهای شیمیایی و عملیات زراعی کمتر، پتانسیل کمتری برای یوتریفیکاسیون دریایی و آب شیرین نسبت به سناریوهای TD و TE داشت (جدول ۳). در مقایسه سناریوهای DS وDD، اگرچه میزان مصرف کودهای شیمیایی و تعداد عملیات زراعی، به‌جز آبیاری، در هر دو سناریو یکسان بود، پتانسیل یوتریفیکاسیون دریایی و آب شیرین در DS کمتر از DD بود؛ زیرا سناریوی DD به تجهیزات بیشتری برای آبیاری نیاز داشت.

مطالعات LCA در سیستم‌های تولید برنج نشان داده‌اند که دلیل اصلی یوتریفیکاسیون، انتشار آمونیاک و آبشویی نیترات است (Hauschild and Wenzel, 1997). همچنین جریان زیاد آب، دمای بالاتر خاک، اختلاط بقایای کاه برنج با خاک، خاک‌های با بافت متوسط و درشت، گل‌آلود کردن خاک و کوددهی می‌توانند خطر یوتریفیکاسیون را افزایش دهند (Leon and Kohyama, 2017). رامسدن و همکاران (Ramsden *et al*., 2107) دریافتند که نهاده‌های جایگزین کشاورزی، مانند سولفات آمونیوم، کودهای آلی و حشره‌کش فیپرونیل، می‌توانند میزان یوتریفیکاسیون در مزارع برنج را تا ۳۷ درصد کاهش دهند.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]

تخلیه منابع آب، فلزی و فسیلی: مقدار تخلیه منابع آب (WD) در سناریوی TE بیشترین و در DS کمترین مقدار بود. در میان سناریوهای کشت مستقیم، میزان WD در سناریوی DD حدود ۳۴/۰۱ درصد بیشتر از DS بود. در میان سناریوهای نشاکاری نیز TE حدود ۵/۴۳ درصد بیشتر از TD بود. بر اساس مشاهدات انجام‌شده در منطقه، چاه‌هایی که برای استخراج آب از برق استفاده می‌کنند، معمولاً عمیق‌تر از چاه‌هایی هستند که از دیزل استفاده می‌کنند و موتورهای قدرتمندتری دارند؛ بنابراین انرژی بیشتری مصرف می‌کنند که بر استخراج آب تأثیرگذار است. اگرچه میزان آب مصرف‌شده در سناریوهای کشت مستقیم حدود ۴۱/۶۶ درصد کمتر از سناریوهای نشاکاری بود، WD در سناریوی DD به دلیل استفاده بیشتر از ماشین‌آلات بیشتر بود. سناریوی DD از نظر WD به ترتیب ۱۰/۰۲ و ۴/۹ درصد کمتر از TE و TD بود. در نهایت، سناریوی DS به دلیل مصرف کمتر ماشین‌آلات، آب آبیاری و برق، کمترین میزان WD را داشت. میزان تخلیه منابع فلزی (MD) در سناریوی DD به‌ترتیب ۶،۸۹، ۳،۹۲ و ۳،۳۸ برابر بیشتر از DS، TEو TD بود. سناریوی DS با مقدار ۵۸/۱۲ کیلوگرم معادل Fe کمترین MD را داشت که دلیل آن مصرف کمتر آب، برق، ماشین‌آلات و سایر نهاده‌ها بود. در سناریوی DD، با وجود کاهش قابل‌توجه مصرف آب، کودهای نیتروژنه و آفت‌کش‌ها نسبت به TE وTD، میزان MD به دلیل استفاده بیشتر از ماشین‌آلات بسیار بالاتر بود. تخلیه منابع فسیلی (FD) در سناریوی TD بیشترین مقدار را داشت. مقدار FD در سناریوهای DD، TEو DS به‌ترتیب کاهش یافت. در سناریوی TD ماشین‌آلات، در سناریوی DD ماشین‌آلات، و در سناریوهای TE و DS برق بیشترین سهم را در کاهش منابع فسیلی داشتند (جدول ۳).

سمیت خشکی و آب شیرین: سناریوی TD بیشترین و سناریوی DS کمترین میزان سمیت خشکی (TEc) و سمیت آب شیرین (FEc) را داشتند. در مقایسه سناریوهای نشاکاری، میزان مصرف تمام نهاده‌ها در TE و TD یکسان بود و تنها تفاوت آنها نوع سوخت مصرفی برای آبیاری بود. این تفاوت باعث شد سمیت خشکی و آب شیرین در مصرف برق نسبت به استفاده از سوخت فسیلی به ترتیب ۱۱/۹۵ درصد و ۲۳/۳۸ درصد کمتر باشد. در مقایسه دو سناریوی DS و DD نیز، از آنجا که تفاوت آنها فقط در نوع آبیاری بود، میزان سمیت خشکی و آب شیرین در سناریوی DD به‌ترتیب ۲/۱۹ و ۲/۱۰ برابر بیشتر از سناریوی DS بود. در نتیجه، استفاده از سیستم کشت مستقیم همراه با آبیاری بارانی موجب تولید پاک‌تر از نظر سمیت بوم‌سازگان خشکی و آب شیرین شد.

پتانسیل تخریب لایه اوزون: نتایج نشان داد که مصرف سوخت فسیلی تأثیر بسیار زیادی بر سطح پتانسیل تخریب لایه اوزون دارد. مقدار پتانسیل تخریب لایه اوزون در سناریوی TD به‌ترتیب ۱/۶۶، ۳/۳۳ و ۲ برابر سناریوهای TE، DS و DD بود. در واقع، از نظرODP، استفاده از برق موجب تولید پاک‌تر شد؛ اما نکته مهم این است که سیستم‌های نشاکاری نسبت به سیستم‌های کشت مستقیم مقدار ODP بیشتری داشتند. در مقایسه دو سیستم کشت مستقیم نیز مقدار ODP در DD حدود ۶۶/۶۶ درصد بیشتر از سناریوی DS بود. بنابراین استفاده از سیستم آبیاری بارانی می‌تواند تا حد زیادی از تخریب لایه اوزون جلوگیری کند.

اشغال زمین: اشغال زمین (ALO) به معنای استفاده مداوم از یک محدوده مشخص زمین برای مدت معین و برای نوع مشخصی از کاربری زمین است. بنابراین واحد اشغال زمین به‌صورت مساحت × زمان بیان می‌شود، مانند مترمربع-سال (Koellner *et al.*, 2013). سناریوی DD بیشترین و سناریوی DS کمترین میزان ALO را داشتند. در مقایسه سیستم‌های کشت مستقیم، مقدار ALO در DD حدود ۲/۱ برابر سناریوی DS بود. همچنین ALO در سناریوهای TD و TE نسبت به DD حدود ۲۱/۰۵ درصد کمتر بود. ALO تحت تأثیر تغییر اقلیم و کاهش منابع قرار دارد و این عوامل بر کیفیت منابع

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]

خاک و آب و در نتیجه تنوع زیستی تأثیر می‌گذارند (Mattilla, 2001). همچنین سناریوی DD مقدار نسبتاً بالایی از تخلیه منابع آبی، تخلیه منابع فسیلی و سمیت آب شیرین داشت که در نهایت موجب افزایش ALO شد.

انتشار فلزات سنگین در جو و آب: همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین انتشار سرب، کادمیوم، جیوه و روی به جو مربوط به سناریوی DD و کمترین مقدار آن ها مربوط به سناریوی DS بود. در واقع، استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای باعث افزایش انتشار این عناصر شد؛ به‌طوری‌که انتشار این عناصر در جو حتی از سناریوهای نشاکاری که برای آبیاری از سوخت فسیلی یا برق استفاده می‌کردند نیز بیشتر و این اختلاف معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که بیشترین انتشار کروم و نیکل در آب مربوط به سناریوی DD بود، درحالی‌که بیشترین انتشار روی، مس و کادمیوم در سناریوی TD مشاهده شد. سناریوهای TE و TD و همچنین DS و DD از نظر میزان جیوه موجود در آب مشابه بودند. بیشترین میزان انتشار سرب در آب مربوط به سناریوی TE بود. نتایج همچنین نشان داد که سناریوی DS از نظر انتشار فلزات سنگین، کمترین مقدار را داشت. در واقع می‌توان گفت سیستم کشت مستقیم از نظر انتشار فلزات سنگین به آب، در صورت استفاده از سیستم آبیاری بارانی، تولید پاک‌تری نسبت به سیستم نشاکاری دارد. استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای باعث افزایش انتشار فلزات سنگین در آب شد، به‌طوری‌که مقدار آن با سیستم‌های نشاکاری برابر یا تنها اندکی کمتر بود.

جدول ۴- میزان انتشار فلزات سنگین (گرم) از چهار سناریوی تولید برنج در هوا و آب در استان گلستان با استفاده از روش Ecopoint 97 (CH)

Table 4- Heavy metal emission (g) from Four rice production scenarios in the air and water in Golestan Province by Ecopoint 97 (CH) method.

Scenariosسناریوها	TD	TE	DS	DD
Pb (Air) سرب (جو)	0.6637	0.6605	0.3767	1.8001
Cd (Air) کادمیوم (جو)	0.0543	0.0572	0.0329	0.0889
Hg (Air) جیوه (جو)	0.0152	0.0169	0.0101	0.0418
Zn (Air) روی (جو)	1.1872	1.0875	0.5886	3.1247
Cr (water) کروم (آب)	1.0677	0.9712	0.4973	2.2487
Zn (water) روی (آب)	1.4131	1.0786	0.5024	1.0616
Cu (water) مس (آب)	0.4531	0.4525	0.1979	0.3082
Cd (water) کادمیوم (آب)	0.0848	0.0841	0.0358	0.0512
Hg (water) جیوه (آب)	0.0736	0.0736	0.0303	0.0303
Pb (water) سرب (آب)	0.3920	0.4012	0.1787	0.2569
Ni (water) نیکل (آب)	0.4000	0.4171	0.1956	0.4348

TE: تولید برنج نشاکاری‌شده با مصرف برق برای آبیاری، TD: تولید برنج نشاکاری‌شده با مصرف سوخت فسیلی برای آبیاری، DS: تولید برنج با کشت مستقیم و استفاده از سیستم آبیاری بارانی، DD: تولید برنج با کشت مستقیم و استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای.

TE**:** Transplanted rice production using electricity for irrigation, TD**:** Transplanted rice production using fossil fuel for irrigation, DS**:** Direct-seeded rice production using a sprinkler irrigation system, DD**:** Direct-seeded rice production using a drip irrigation system.

نتیجه‌گیری کلی

رایج‌ترین نوع سیستم تولید برنج در استان گلستان، کشت نشاکاری‌شده است و برای آبیاری نیز عمدتاً از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود. همان‌طور که نتایج نشان داد، این نوع سیستم تولید در مقایسه با سیستم‌های TE، DD و DS،

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]

میزان بیشتری از کاهش منابع آب، کاهش منابع فسیلی، سمیت خشکی، سمیت آب شیرین، تخریب لایه اوزون، و انتشار روی، مس، کادمیوم، جیوه و سرب در آب داشت. از سوی دیگر، جایگزینی سوخت فسیلی با برق باعث افزایش یوتریفیکاسیون دریایی نسبت به سایر سیستم‌ها شد. در میان سیستم‌های کشت مستقیم، استفاده از آبیاری قطره‌ای بیشترین میزان تقاضای انرژی، تغییر اقلیم، اسیدی‌شدن خاک، کاهش منابع فلزی، اشغال اراضی کشاورزی، انتشار سرب، کادمیوم، جیوه و روی در هوا و انتشار نیکل در آب را نشان داد. در مقابل، تولید برنج با کشت مستقیم و استفاده از آبیاری بارانی (سناریوی DS) کمترین میزان آلاینده‌ها را داشت. در نهایت می توان گفت از آنجا که عملکرد شلتوک برنج در سیستم‌های نشاکاری و کشت مستقیم تفاوت قابل‌توجهی ندارد، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کشت مستقیم همراه با آبیاری بارانی می‌تواند به تولید برنج پاک‌تر و سازگارتر با محیط زیست در منطقه منجر شود.

منابع

Abdul Rahman, M.H., Chen, S.S., Abdul Razak, P.R., Abu Bakar, N.A., Shahrun, M.S. Zawawi, N.Z., Mujab, A.A.M., Abdullah, F., Jumat, F., Kamaruzaman, R., Saidon, S.A., Abdul Talib, S.A. 2019. Life cycle assessment in conventional rice farming system: Estimation of greenhouse gas emissions using cradle-to-gate approach. Journal of Cleaner Production, 212: 1526-1535.

Armanuos, A.M., Negm, A., El Tahan, A.H.M.H. 2016. Life Cycle Assessment of Diesel Fuel and Solar Pumps in Operation Stage for Rice Cultivation in Tanta, Nile Delta, Egypt. Procedia Technology 22, 478 – 485.

Bacenetti, J., Fusi, A., Negri, M., Bocchi, S., Fiala, M. 2016. Organic production systems: Sustainability assessment of rice in Italy. Agriculture, Ecosystems and Environment, 225: 33-44.

Blengini, G.A., Busto, M. 2009. The life cycle of rice: LCA of alternative agri-food chain management systems in Vercelli (Italy). Journal of Environmental Management, 90: 1512-1522.

Brentrup, F., Kusters, J., Lammel, J., Barraclough, P., Kuhlmann, H. 2004. Environmental impacts assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology, II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. European Journal of Agronomy, 20: 265-279.

Brodt, S., Kendall, A., Mohammadi, Y., Arslan, A. Yuan, J., Lee, I., Linquist, B. 2014. Life cycle greenhouse gas emissions in California rice production. Field Crops Research, 169: 89–98.

Dastan, S., Ghareyazie, B., Pishgar, S.H. 2019. Environmental impacts of transgenic Bt rice and non-Bt rice cultivars in northern Iran. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 20: 101160.

Edwards, B. 2010. Rough guide to sustainability. 3rd ed. RIBA Enterprises, London. 294 p.

FAO, 2017. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. http://www.fao.org/faostat/en/ FAO, 2017.

Farooq, M., Kadambot, H.M.S., Rehman, H., Aziz, T., Dong-Jin, L., Wahid, A. 2011. Rice direct seeding: Experiences, challenges and opportunities. Soil & Tillage Research, 111: 87–98.

Ghasemi-Mobtaker, H., Kaab, A., Rafiee, S. 2020. Application of life cycle analysis to assess environmental sustainability of wheat cultivation in the west of Iran. Energy, 193: 116768.

Gupta, D.K., Bhatia, A., Kumar, A., Das, T.K., Jain, N., Tomer, R., Malyan S.K., Fagodiya, R.K., Dubey, R., Pathak, H. 2016. Mitigation of greenhouse gas emission from rice–wheat system of the Indo-Gangetic plains: Through tillage, irrigation and fertilizer management. Agriculture, Ecosystems and Environment, 230: 1-9.

Habibi, E., Niknejad, Y., Fallah, H., Dastan, S., Barari Tari, D. 2019. Life cycle assessment of rice production systems in different paddy field size levels in north of Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 191: 202.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]

Hauschild, M., Wenzel, H. 1997 Environmental Assessment of Products. Vol. 2: Scientific background. Chapman & Hall, London, Weinheim, New York.

He, X., Qiao, Y., Liang, L., Knudsen, M.T., Martin, F. 2017. Environmental life cycle assessment of long-term organic rice production in subtropical China. Journal of Cleaner Production.

Hu, Z., Tan, P., Yan, X., Lou, D. 2008. Life cycle energy, environment and economic assessment of soybean-based biodiesel as an alternative automotive fuel in China. Energy, 33: 1654–1658.

Huijbregts et al. 2017 Huijbregts M. A. J., Steinmann Z. J. N., Elshout P. M. F., Stam G., Verones F., Vieira M., Zijp M., Hollander A., van Zelm R. 2017. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. In: Int J Life Cycle Assess, 22(2), 138-147.

IPCC. 2006. In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe K., editors. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan: IGES; 2006. In The National Greenhouse Gas Inventories Programme.

IPCC. 2013. Summary for policymarkers. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.

Jat, R.K, Singh, R.G., Gupta, R.J., Gill, G., Chauhan, B.S., Pooniya, V. 2019. Tillage, crop establishment, residue management and herbicide applications for effective weed control in direct seeded rice of eastern Indo–Gangetic Plains of South Asia. Crop Protection, 123: 12–20.

Jianyi, L., Yuanchao, H., Shenghui, C., Jiefeng, K., Lilai, X. 2014. Carbon footprints of food production in China (1979-2009). Journal of Cleaner Production.

Khan, S., Hanjra, M.A. 2009. Footprints of water and energy inputs in food Production-Global perspectives. Food Policy, 34:130-40.

Koellner, T., de Baan, L., Beck, T., Brandao, M., Civit, B., Goedkoop, M., Margni, M., i Canals, L.M., Müller-Wenk, R., Weidema, B., Wittstock, B. 2013. Principles for life cycle inventories of land use on a global scale. International Journal of Life Cycle Assessment, 18: 1203-1215.

Leon, A., Kohyama, K. 2017. Estimating nitrogen and phosphorus losses from lowland paddy rice fields during cropping seasons and its application for life cycle assessment. Journal of Cleaner Production.

Lozano Miralles, J.A., López García, R., Palomar Carnicero, J.M., Martínez F.J.R. 2020. Comparative study of heat pump system and biomass boiler system to a tertiary building using the Life Cycle Assessment (LCA). Renewable Energy.

Mohammadi A, Rafiee S, Jafari A, Keyhani A, Mousavi-Avval S.H., Nonhebel S. 2014. Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30: 724–733.

Nabavi-Pelesaraei, A., Kouchaki-Penchah, H., Amid, S., 2014. Modeling and optimization of CO_2 emissions for tangerine production using artificial neural networks and data envelopment analysis. International Journal of Biosciences, 4: 148–158.

Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Chau, K. 2017. Energy consumption enhancement and environmental life cycle assessment in paddy production using optimization techniques. Journal of Cleaner Production.

Pathak, H., Sankhyan, S., Dubey, D.S., Bhatia, A., Jain, N. 2013. Dry direct-seeding of rice for mitigating greenhouse gas emission: field experimentation and simulation. Paddy and Water Environment, 11: 593–601.

Ramsden, S.J., Wilson, P., Phrommarat, B.2017. Integrating economic and environmental impact analysis: The case of rice based farming in northern Thailand. Agricultural Systems, 157: 1–10.

Requena, J.F.S., Guimaraes, A.C., Alpera, S.Q., Gangas, E.R., Hernandez-Navarro, S., Gracia, L.M.N., Martin-Gil, J., Cuesta, H.F. 2011. Life Cycle Assessment (LCA) of the biofuel production process from sunflower oil, rapeseed oil and soybean oil. Fuel Processing Technology, 92: 190–199.

Singh, P., Singh, G., Sodhi, G.P.S. 2019. Energy auditing and optimization approach for improving

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]

energy efficiency of rice cultivation in south-western Punjab, India. Energy, 174(C), 269-279.
Taghavifar, H., Mardani, A. 2015. Energy consu mption analysi s of wheat production in West Azarbayjan utilizing life cycle assessment (LCA). Renewable Energy, 74: 208-213.
Taki, M., Soheili-Fard, F., Rohani, A., Chen G., Yildizhan H. 2018. Life cycle assessment to compare the environmental impacts of different wheat production systems. Journal of Cleaner Production.
US Department of Agriculture, 2015. USDA's Building Blocks for Climate Smart Agriculture & Forestry–Fact Sheet. Available at. http://www.usda.gov/documents/climate-smart-fact-sheet.pdf, Accessed date: 20 May 2016.
Van Zelm, R., Roy, P.O., Hauschild, M.Z., Huijbregts, M.A.J. 2015. Acidification. In: Life Cycle Impact Assessment. LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment pp. 163-176.
Wenzel, H., Hauschild M., Alting. L. 1997. Environmental Assessment of Products: Volume I Methodology, tools and case studies in product development, Chapman & Hall, UK, 453 p.
Yodkhum, S., Gheewala, S.H., Sampattagul, S. 2018. Life cycle GHG evaluation of organic rice production in northern Thailand. Journal of Environmental Management, 196: 217-223.
Zhang, Y., Liu H., Guo, Z., Zhang C., Sheng, J., Chen. L., Luo, Y., Zheng, J. 2018. Direct-seeded rice increases nitrogen runoff losses in southeastern China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 251: 149–157.
Zhou, W., Guo, Z., Chen, J., Jiang, J., Hui, D., Wang, X., Sheng, J., Chen, L., Luo, Y., Zheng J., Li, S., Zhang, Y. 2019. Direct seeding for rice production increased soil erosion and phosphorus runoff losses in subtropical China. Science of the Total Environment, 695: 133845.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.22034/arpe.10.18.1]