نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۸، بهمن - اسفند ۱۴۰۳، ص. ۹۶۱-۹۵۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.6, Vol. 18, Feb.-Mar. 2025, p. 951-961

مقاله علمی-پژوهشی

# تأثیر متقابل سامانه‌های آبیاری و روش‌های کاشت برنج بر انتشار گاز متان در مزارع شالیزاری

لیدا اسدی[۱]، مجتبی خوش‌روش[۲*]، محمود رائینی سرجاز[۳]، علیرضا کیانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

## چکیده

گاز متان، به عنوان یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای، نقش بسزایی در تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی ایفا می‌کند. از آنجا که مزارع برنج غرقابی یکی از منابع عمده تولید متان در بخش کشاورزی محسوب می‌شوند، بهینه‌سازی شیوه‌های مدیریت آب و کاشت می‌تواند به کاهش انتشار این گاز کمک کند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر متقابل روش‌های مختلف کاشت برنج و سامانه‌های آبیاری بر عملکرد و انتشار گاز متان در مزارع شالیزاری انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در شهرستان گرگان انجام شد. چهار تیمار روش آبیاری به‌صورت سامانه آبیاری بارانی، غرقابی دائم، غرقابی تناوبی و قطره‌ای نواری به‌عنوان تیمار اصلی و سه تیمار کاشت شامل کاشت مستقیم بذر برنج، کاشت نشایی در زمین غیر گل‌خراب و کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که اثر سال اجرا، نوع سامانه آبیاری و روش کاشت در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد. بیشترین مقدار عملکرد دانه مربوط به روش کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده و برابر با ۷۵۰۶ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. مقدار عملکرد دانه سامانه‌های آبیاری غرقاب تناوبی، قطره‌ای نواری و بارانی نسبت به تیمار آبیاری غرقاب دائم به‌ترتیب ۶/۴۶، ۱۵/۶ و ۳۹/۰۳ درصد کاهش نشان داد. در میان سطوح مختلف روش کاشت، بیشترین مقدار انتشار گاز متان که با دستگاه گاز کروماتوگراف اندازه‌گیری شد، در کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده مشاهده شد که برابر با ۲/۷۳ میلی گرم در متر مربع بود. مقدار انتشار گاز متان در کاشت نشایی در زمین غیر گل‌خراب و کاشت مستقیم بذر برنج به‌ترتیب ۱۰/۰۸ و ۲۴/۶۵ درصد نسبت به روش کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده کاهش یافت. کمترین مقدار انتشار گاز متان نیز مربوط به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری با مقدار ۰/۴۲ میلی گرم در متر مربع بود. مقادیر انتشار گاز متان در تیمار آبیاری غرقاب تناوبی، ۳۹ درصد کمتر از تیمار آبیاری غرقاب دائم بود. به‌طور کلی، مدیریت بهینه آبیاری و روش‌های کاشت در مزارع برنج می‌تواند تأثیر چشمگیری در کاهش انتشار متان داشته باشد و به این ترتیب به کاهش اثرات تغییرات اقلیمی کمک کند که با توجه به پژوهش حاضر، موثرترین روش، آبیاری قطره‌ای نواری در کاشت نشایی غیر گل‌خراب شده می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آبیاری قطره‌ای نواری، کاشت مستقیم، گاز گلخانه‌ای، مدیریت آب

## مقدمه

انتشار گاز متان ( $CH_4$) در مزارع برنج تحت تأثیر عواملی مانند سامانه‌های آبیاری، روش‌های کاشت و مراحل مختلف رشد گیاه قرار دارد. متان به‌عنوان یکی از گازهای گلخانه‌ای مهم، نقش قابل‌توجهی در گرمایش جهانی دارد. کاشت برنج به‌ویژه در شرایط غرقابی، یکی از منابع اصلی انتشار این گاز محسوب می‌شود. گازهای گلخانه‌ای شامل متان، اکسید نیتروژن ($N_2O$)، دی‌اکسید کربن ($CO_2$) و بخار آب از عوامل اصلی تغییرات اقلیمی هستند و نقش کلیدی در فرایند گرمایش جهانی دارند. به همین دلیل، کنترل و کاهش این گازها از دغدغه‌های مهم انجمن‌های جهانی است (Kweku et al., 2018). عملکرد این گازها به این شکل است که به نور با طول موج کوتاه (نور مرئی) اجازه ورود به جو زمین را می‌دهند اما از عبور نور با طول موج بلند جلوگیری می‌کنند و به‌عنوان نوعی صافی یک‌طرفه عمل کرده و باعث افزایش اثر گلخانه‌ای و گرمایش جهانی می‌شوند (Mohajan, 2012; Aldhafeeri et al., 2020). تئوری گرمایش

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۴- استاد بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تات، گرگان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.khoshravesh@sanru.ac.ir)

جهانی بیان می‌کند که گرم شدن جو زمین ناشی از تجمع گازهای دی‌اکسید کربن و متان در جو است (Deutch and Lester, 2020). از میان گازهای گلخانه‌ای، متان به دلیل تأثیرات قابل‌توجه بر گرمایش جهانی، اهمیت ویژه‌ای دارد.

حدود ۷۰ درصد انتشار گاز متان به فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، مدیریت پسماندها و استفاده از سوخت‌های فسیلی مرتبط است. رشد این فعالیت‌ها به‌ویژه در بخش کشاورزی باعث شده است که تولید و انتشار گاز متان بیش از دو برابر شود. بخش کشاورزی نزدیک به ۱۳/۵ درصد از تغییرات اقلیمی را به خود اختصاص داده است (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۴). برنج که دومین محصول اصلی غذایی در جهان محسوب می‌شود، در شرایط کاشت غرقابی یکی از منابع مهم انتشار گاز متان در این بخش است (بخت فیروز و رائینی سرجاز، ۱۳۹۲). ریبس و تون (۱۹۹۹) در تحقیقات خود نشان دادند که مزارع غرقابی برنج یکی از منابع اصلی انتشار گاز متان در بخش کشاورزی به‌شمار می‌روند. برآوردهای آنان نشان می‌دهد که حدود ۲۰ درصد از کل متان منتشر شده در طول یک سال ناشی از فعالیت‌های زراعی، به‌ویژه در حوزه کشت برنج است (Ribbes and Toan, 1999).

کاشت برنج، خاک‌های کشاورزی، فعالیت‌های دامی و سوزاندن بقایای گیاهی به‌عنوان چهار منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی شناخته می‌شوند. تولید گاز متان در زمین‌های شالیزاری عمدتا به دلیل تجزیه مواد آلی در شرایط بی‌هوازی است که از طریق بافت گیاهی به جو منتقل می‌شود. میزان انتشار متان به عوامل مختلفی از جمله نوع و دمای خاک، گونه‌های برنج، سامانه‌های آبیاری، کودهای مصرفی، تعداد برداشت‌ها در سال و طول دوره رشد گیاه بستگی دارد (مرادی مجد و همکاران، ۱۴۰۱؛ یوسفیان و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به اینکه حدود ۶۴۰ هزار هکتار از اراضی ایران تحت کشت برنج قرار دارند و دو سوم این مساحت در استان‌های شمالی مازندران و گیلان واقع شده است، بخش کشاورزی ایران سهم قابل‌توجهی در انتشار گاز متان دارد. از این رو، کاهش و مهار تولید متان در این حوزه ضروری است. این امر از طریق مدیریت بهینه شالیزارها، شامل کنترل آب، بهبود روش‌های کشت و مدیریت مواد آلی امکان‌پذیر است (بخت فیروز و همکاران، ۱۳۹۱).

سامانه‌های آبیاری مختلف تأثیر بسزایی بر میزان انتشار متان دارند. این تأثیر به میزان اشباع خاک از آب و فرایندهای بیوشیمیایی مرتبط با آن بستگی دارد. در سامانه آبیاری غرقابی دائم، خاک به‌طور مداوم غرقاب است که منجر به ایجاد شرایط بی‌هوازی و افزایش فعالیت باکتری‌های متانوژنیک[1] (باکتری‌های مولد گاز متان) می‌شود. این باکتری‌ها مواد آلی موجود در خاک را به متان تبدیل می‌کنند و به همین دلیل، در این سامانه میزان انتشار متان به‌ویژه در مراحل میانی و انتهایی رشد گیاه به حداکثر می‌رسد. در مقابل، در سامانه آبیاری غرقابی تناوبی، دوره‌های غرقابی و غیرغرقابی به‌طور متناوب تکرار می‌شود. در طول دوره‌های بدون آب، خاک از شرایط بی‌هوازی به هوازی تغییر می‌کند و فعالیت باکتری‌های متانوژنیک کاهش می‌یابد و به‌تبع آن، انتشار متان نیز کمتر می‌شود. هرچند این سامانه همچنان انتشار متان قابل‌توجهی دارد، اما به مراتب کمتر از سامانه غرقابی دائم است.

بومن و همکاران نشان دادند که در شرایط کاشت غیرغرقابی برنج یا کاشت مستقیم، به دلیل تهویه بهتر خاک، میزان هدررفت نیترات بیشتر از حالت غرقابی است. همچنین، در نتیجه کاهش شرایط بی‌هوازی، میزان انتشار متان در کشت‌های هوازی نسبت به غرقابی کمتر خواهد بود (Bouman et al., 2007). همچنین، لیو و همکاران تأثیر سه روش مختلف مدیریت کلش برنج بر انتشار متان را بررسی کردند و دریافتند که مخلوط کردن کلش با خاک در کاشت دوم، میزان انتشار متان را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد، در حالی که سوزاندن یا جمع‌آوری کلش منجر به کاهش انتشار این گاز می‌شود (Liou et al., 2003).

سینگ و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر کاشت نشایی و مستقیم بذر برنج در زمین‌های گل‌خراب و غیر گل‌خراب پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که کاشت در بستر گل‌خراب موجب افزایش عملکرد دانه برنج بین ۱-۰/۷ تن در هکتار و همچنین افزایش عملکرد کاه برنج بین ۱/۷-۰/۸ تن در هکتار می‌شود. همچنین گل‌خراب کردن زمین منجر به کاهش ۷۵ میلی‌متر در هکتار از میزان آب مصرفی برای برنج شد. به‌علاوه، کاشت نشایی در هر دو بستر گل‌خراب و غیر گل‌خراب عملکرد بالاتری از نظر دانه و کاه برنج نسبت به کاشت مستقیم بذر نشان داد (Singh et al., 2000). نارش و همکاران به مقایسه شیوه‌های کاشت مستقیم و مرسوم برنج پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که تفاوت عملکرد ارقام برنج در این روش‌های مختلف کاشت به‌طور معنی‌داری قابل توجه بود. بالاترین عملکرد در روش مرسوم کاشت و کمترین عملکرد در روش کاشت مستقیم بذر مشاهده شد (Naresh et al., 2013). بخت فیروز و رائینی سرجاز (۱۳۹۲) گزارش کردند که مدیریت یکپارچه شالیزار و برپایی زهکش‌های سطحی و زیرزمینی در کاهش انتشار گاز متان نقش زیادی دارد. گوگوی و همکاران نشان دادند که افزایش وسعت بستر ریشه و تولیدات حاصل از ریشه در اوایل مرحله خوشه‌زنی از مهمترین دلایل افزایش تولید گاز متان در این مرحله از رشد گیاه است (Gogoi et al., 2008). راجوید و همکاران در هند به ارزیابی تأثیر آبیاری قطره‌ای بر عملکرد دانه برنج پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد دانه برنج در روش آبیاری قطره‌ای ۴۸/۸ درصد بالاتر از کاشت مستقیم بذر و ۱۱ درصد کمتر از آبیاری غرقابی نشا در

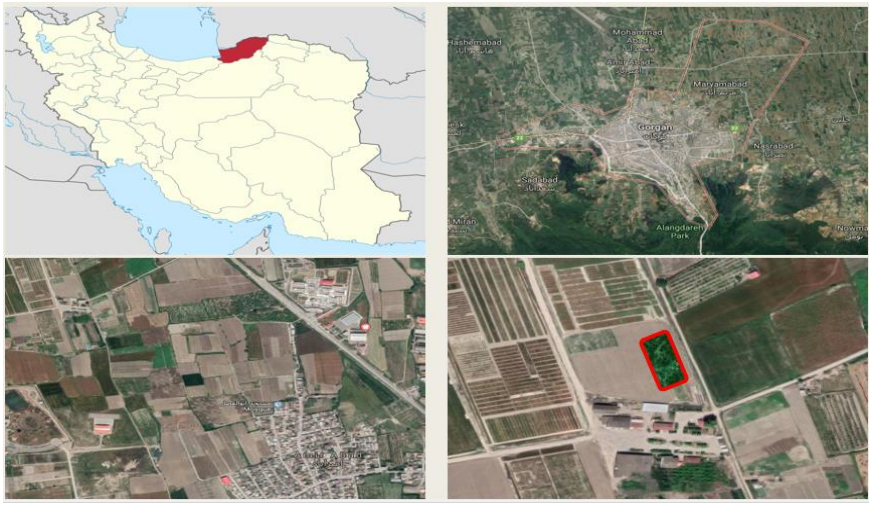
1- Methanogenic

زمین گل‌خراب، تحت شرایط مشابه نیتروژن بود. این پژوهش همچنین نشان داد که با استفاده از آبیاری قطره‌ای، در مقایسه با آبیاری غرقابی، می‌توان با اندکی کاهش در عملکرد تا ۷۸ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کرد (Rajwade et al., 2014).

با توجه به تأثیرات مهم سامانه‌های آبیاری و روش‌های مختلف کاشت بر میزان جذب نیتروژن و انتشار گاز متان، ضرورت انجام این پژوهش آشکار می‌شود. تغییرات در این عوامل می‌توانند نقش قابل‌توجهی در کاهش انتشار متان و مهار پدیده گرمایش جهانی در بخش کشاورزی داشته باشند. از آنجا که برنج یکی از منابع اصلی تولید متان در مزارع غرقابی است، بررسی تأثیر متقابل روش‌های کاشت و سامانه‌های آبیاری بر انتشار این گاز امری حیاتی است. هدف کلی از این پژوهش، بررسی میزان عملکرد برنج و انتشار گاز متان در سامانه‌های مختلف آبیاری و روش‌های مختلف کاشت برنج است تا علاوه بر حفظ بهره‌وری آب، به کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی نیز کمک شود.

## مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش، اراضی ایستگاه تحقیقاتی عراقی‌محله تحت مدیریت مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان در یک کیلومتری شمال شهرستان گرگان، محدوده روستای امیرآباد در موقعیت جغرافیایی به طول ۵۴ درجه ۲۵ دقیقه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی با ۵/۵ متر ارتفاع از سطح دریا بود (شکل ۱). میزان بارندگی سالانه استان بین ۳۵۵/۸ تا ۵۹۴/۳ میلی‌متر، متوسط رطوبت نسبی سالانه در ایستگاه سینوپتیک گرگان ۷۱ درصد و میزان تبخیر و تعرق سالانه و متوسط دمای هوا به ترتیب ۱۳۱۲/۹ میلی‌متر و ۱۷/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



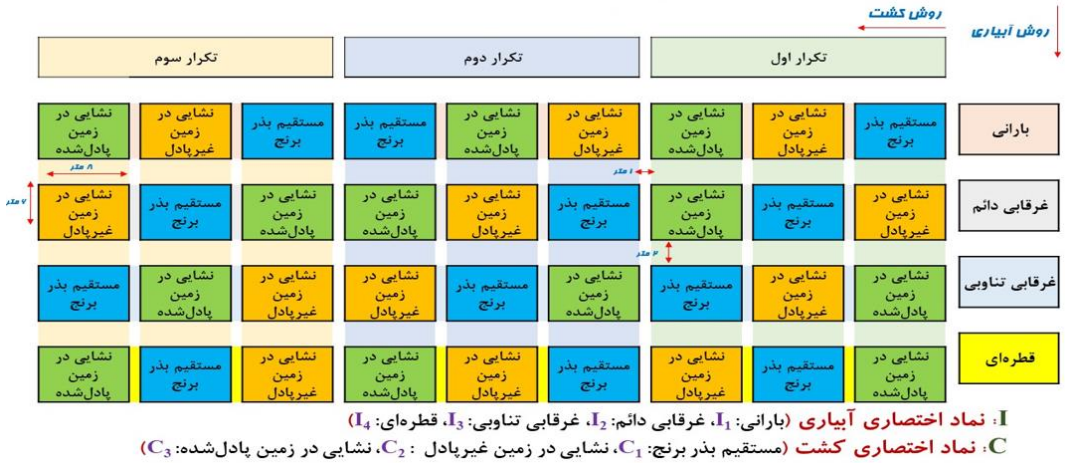

**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محل اجرای طرح آزمایشی**

در این آزمایش از گیاه برنج، رقم فجر استفاده شد. از دیگر خصوصیات این رقم، ریزش کم دانه و طول دوره رشد آن از کاشت تا برداشت حدود ۱۳۰ روز می‌باشد.

آزمایش در زمینی به مساحت ۲۵۰۰ متر مربع در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به صورت کرت‌های خرد شده به ابعاد ۶ در ۸ متر (۴۸ مترمربع) با سه تکرار و بر اساس طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. چهار تیمار روش آبیاری گیاه (شکل ۲) به‌صورت سامانه آبیاری بارانی ($I_1$)، غرقابی دائم ($I_2$)، غرقابی تناوبی ($I_3$) و قطره‌ای نواری ($I_4$) به عنوان تیمار اصلی و سه تیمار کاشت شامل کاشت مستقیم بذر برنج ($C_1$)، کاشت نشایی در زمین غیر گل‌خراب ($C_2$) و کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده ($C_3$)، به عنوان عامل فرعی بوده است. چیدمان تیمارها و تکرارها در طرح آزمایشی مورد مطالعه در شکل ۳ ارائه شده است.

عملیات نشاکاری در زمین اصلی ۲۵ روز پس از کاشت بذر در خزانه انجام شد. نشاها به‌صورت دستی با فاصله ۲۵×۲۵ سانتی‌متر و به تعداد ۴ تا ۵ نشا در هر کپه کاشته شدند. در روش کاشت خشکه کاری، سطح زمین هموار گردید و سپس بذر برنج به‌طور مستقیم توسط تراکتور و با فاصله ۲۵ سانتی‌متری بین ردیف‌ها بر سطح خاک کاشته شد. خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

**شکل ۲- تیمارهای مختلف آبیاری گیاه برنج در مزرعه آزمایشی**




**شکل ۳- چیدمان تیمارها و تکرارها در طرح آزمایشی مورد مطالعه**

**جدول ۱- خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه**

| عمق Cm | هدایت الکتریکی dS/m | pH | ازت کل ٪ | فسفر قابل دسترس (ppm) | پتاسیم قابل دسترس (ppm) | کربن آلی ٪ | رس ٪ | سیلت ٪ | ماسه ٪ | بافت خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰-۳۰ | ۰/۸ | ۷/۷ | ۰/۱ | ۷/۸ | ۳۶۰ | ۱/۳۳ | ۲۸ | ۵۲ | ۲۰ | Si-C-L |
| ۳۰-۶۰ | ۱/۱ | ۷/۷ | ۰/۰۸ | ۴/۹۶ | ۱۳۰ | ۰/۸۲ | ۳۰ | ۵۴ | ۱۶ | Si-C-L |

در این آزمایش، آبیاری بارانی به روش ثابت با کارگذاری لوله انتقال ۷۵ میلی‌متر، لوله اصلی ۶۳ میلی‌متر در مجاورت کرت‌ها، لوله ۴۰ میلی‌متر در دور هر کرت و به‌کارگیری چهار آبپاش در چهار گوشه هر کرت با زاویه پاشش ۹۰ درجه جهت یکنواختی پاشش صورت پذیرفت. با توجه به شرایط باد در منطقه، کرت‌های تحت مدیریت آبیاری بارانی در انتهای محدوده طرح قرار گرفته است.

در سامانه آبیاری غرقابی دائم، خاک به طور مداوم اشباع از آب بود. در این آزمایش، در روش غرقاب دائم که روشی سنتی است آب به طور دائم در سطح ۵-۳ سانتی‌متر در کرت‌ها باقی ماند. در سامانه آبیاری غرقابی تناوبی، دوره‌های غرقابی و غیرفعال به صورت متناوب تکرار شد. در طول دوره‌های بدون آب، خاک از حالت بی‌هوازی به حالت هوازی تغییر یافته بود. در این آزمایش، آب در سطح ۵-۳ سانتی‌متر در ابتدا غرقاب می‌شد و زمانی که ارتفاع آب به صفر می‌رسید، آبیاری مجدد صورت می‌گرفت. آبیاری قطره‌ای نواری با

کارگذاری لوله انتقال ۷۵ میلی‌متر و لوله‌های ۶۳ میلی‌متر در ابتدای زمین از جنس پلی‌اتیلن و به‌کارگیری لوله‌های تیپ با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم به تعداد ۱۲ لوله تیپ در کرت‌ها صورت پذیرفت.

در روش کاشت مستقیم بذر برنج، ابتدا بذر تهیه‌شده را از الک عبور داده و با توجه به این‌که میزان بذر مصرفی برنج در هکتار حدود ۶۰ کیلوگرم توصیه شده است، برای هر تیمار، میزان ۳۰۰ گرم بذر پاک‌شده و سالم به وسیله ترازو اندازه‌گیری شد. سپس به وسیله دستگاه کاشت بذر مدل وینتر اشتایگر کاشت انجام گرفت. جهت یکنواختی کاشت در تمامی روش‌ها فواصل کاشت، ۲۵×۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و در هر مقطع تعداد ۵ بذر در سطح صاف و خشک مزرعه کاشت گردید.

در روش کاشت نشایی در زمین غیر گل‌خراب، نشاهای برنج بدون انجام گل‌خرابی (آماده‌سازی و نرم کردن خاک از طریق شخم زدن در حالت غرقاب) کاشته شدند. در این روش، در کرت‌های مورد نظر عملیات گل‌خرابی صورت نگرفت و برای آماده‌سازی زمین جهت نشاکاری آبیاری اولیه به‌نحوی انجام گرفت که خاک مرطوب شده تا بتوان نشاها را در خاک کشت کرد. فواصل کاشت این روش مانند روش سنتی ۲۵×۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

روش کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده همان روش نشایی مرسوم می‌باشد. ابتدا در زمین عملیات گل‌خرابی در کرت‌ها توسط تراکتور انجام شد به این صورت که خاک‌همزن (پادلر) متصل به تراکتور در هر کرت از قبل غرقاب‌شده چندین دور چرخیده و به‌طور کامل خاک را تا عمق ۳۰ سانتی‌متر زیر و رو نمود. این عمل باعث شد که لایه غیرقابل نفوذی در زمین به وجود آمده و نفوذ آب به شدت کاهش یابد. سپس نشاهایی که در خزانه از قبل کاشت شده و به رشد نسبی رسیدند به هر کرت انتقال داده شد و در فواصل ۲۵×۲۵ سانتی‌متر کشت گردید.

در انتهای دوره رشد و پس از رسیدن محصول، برداشت به‌صورت دستی و پس از حذف قسمت‌های حاشیه‌ای انجام و عملکرد شلتوک با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد و همچنین زیست‌توده پس از قرار دادن در خشک‌کن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد وزن گردید. سپس عملیات خرمن‌کوبی با استفاده از دستگاه خرمن‌کوب انجام گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری گاز متان، مطابق روش لی (۲۰۰۷) از اتاقک بستهٔ شیشه‌ای با چارچوب فلزی به ابعاد ۱۰۰×۴۰×۴۰ سانتی‌متر برای هریک از تیمارهای آزمایشی استفاده شد (شکل ۴). برای جلوگیری از نشت هوا، محل اتصال شیشه‌ها به یکدیگر با چسب آکواریوم عایق کاری شد. با استفاده از پمپ مکنده، هوای داخل محفظه نمونه‌برداری شد و برای انتقال نمونه به آزمایشگاه نیز از فویل‌های آلومینیومی استفاده شد. مقدار گاز متان نمونه‌های جمع‌آوری شده از اتاقک‌ها به کمک دستگاه گاز کروماتوگراف (مدل GC-2014 SHIMADZU) با ستون مدل RT-QPLOT در همسنجی با یک استاندارد متان، سنجیده و مقدار گاز متان منتشر شده در آن محاسبه شد.

**شکل ٤- اندازه‌گیری گاز متان در مزرعه**

بعد از انجام اندازه‌گیری‌ها و جمع‌آوری داده‌ها، نسبت به تجزیه و تحلیل این داده‌ها اقدام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Microsoft Excel و برای تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.3 استفاده شد، به‌صورتی که پس از ارایه جدول‌های تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

### بررسی اقلیمی دو سال کاشت

بر اساس نتایج تجزیه واریانس ارایه شده در جدول ۲، اثر سال

اجرا بر عملکرد زیست توده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نشد. اثر روش کاشت بر عملکرد زیست تـوده در سـطح احتمـال ۱ درصـد معنی‌دار شد. در بین روش‌های مختلف کاشت، بیشترین مقدار زیسـت توده در روش کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شـده و برابـر ۱۷۰۰۴ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. همچنین مقدار زیست توده تیمارهـای مختلف کاشت دارای اختلاف معنی‌داری در سـطح احتمـال ۵ درصـد بود. مقدار زیست توده کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده نسبت به کاشت نشایی در زمین غیر گـل‌خـراب و کاشـت مسـتقیم بـذر بـرنج به‌ترتیب ۱۱ و ۲۴/۲۶ درصد بیشـتر بـود (جـدول ۳). کـاهش میـزان زیست توده در شرایط کاشت نشایی در زمین غیر گل‌خراب و کاشـت مستقیم بذر برنج می‌تواند به دلیل محـدودیت در توسـعه و گسـترش ریشه‌ها و کاهش جذب عناصر غذایی باشد (علا و همکـاران، ۱۳۹۳). در روش کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده، ساختار خاک بـه‌دلیـل انجام عملیات گل‌خرابی بهبود یافته و شرایط بهینـه‌تـری بـرای رشـد ریشه‌ها و جذب آب و مواد مغذی فراهم می‌شود. در مقابل، در کاشـت مستقیم و نشایی در زمین غیر گل‌خراب، فشردگی خاک و نبود شرایط مناسب برای تهویه و توسعه ریشه می‌تواند منجر بـه کـاهش کـارایی جذب مواد غذایی و آب شده و در نتیجه کـاهش رشـد و زیسـت‌تـوده گیاه را به همراه داشته باشد. این عامل بـه‌خصـوص در شـرایطی کـه رطوبت خاک نیز کمتر از حد بهینه باشـد، تـأثیر بیشـتری در کـاهش زیست‌توده خواهد داشت (نوربخشیان، ۱۳۷۹).

اثر نوع سامانه آبیاری بر عملکرد زیست توده در سطح احتمـال ۱ درصد معنی‌دار شد؛ بر اساس جـدول ۳، مقـدار زیسـت تـوده سـامانه آبیاری بارانی با سایر سامانه‌های آبیـاری در سـطح احتمـال ۵ درصـد اختلاف معنی‌دار دارند. ولی بـین سـامانه‌هـای آبیـاری غرقـاب دائـم، غرقاب تناوبی و آبیاری قطره‌ای نواری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در بین سامانه‌های مختلف آبیاری، بیشترین مقدار زیست توده مربـوط به تیمار غرقاب دائم و برابر با ۱۶۳۸۹ کیلوگرم در هکتـار بـود. مقـدار زیست توده تیمار غرقاب دائم نسبت به سامانه‌هـای غرقـاب تنـاوبی، بارانی و قطره‌ای نواری به‌ترتیب ۳/۹۷، ۲۱/۴۷ و ۴/۳۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳).

**جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی برنج در دو سال کاشت**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | عملکرد زیست‌توده | عملکرد دانه | انتشار گاز متان |
|---|---|---|---|---|
| سال | ۱ | ۳۰۷۷۴۳۴$^{ns}$ | ۳۵۲۳۶۴۶$^{**}$ | ۱۷/۰۹$^{**}$ |
| آبیاری | ۳ | ۲۸۹۳۲۰۳۲$^{**}$ | ۱۲۵۵۹۵۴۷$^{**}$ | ۱۷۸/۰۲$^{**}$ |
| آبیاری*سال | ۳ | ۵۰۹۹۰۰۷$^{ns}$ | ۳۹۳۵۷۰$^{ns}$ | ۰/۰۷$^{ns}$ |
| روش کاشت | ۲ | ۶۶۱۳۶۷۲۳$^{**}$ | ۶۴۶۶۰۷۹۲$^{**}$ | ۱۱۶۸$^{**}$ |
| روش کاشت*آبیاری | ۶ | ۳۵۱۰۳۳۵$^{ns}$ | ۱۱۵۶۲۱۹$^{**}$ | ۴۰/۷۴$^{**}$ |
| روش کاشت*سال | ۲ | ۲۷۴۹۷۶۲$^{ns}$ | ۵۶۶۹۳۰$^{ns}$ | ۱/۰۲$^{**}$ |
| روش کاشت*آبیاری*سال | ۶ | ۱۱۹۵۷۹۶$^{ns}$ | ۱۵۷۱۹۲$^{ns}$ | ۰/۰۲$^{ns}$ |
| ضریب تغییرات (درصد) CV | – | ۱۱/۹ | ۹/۵ | ۴/۳ |

ns، * و** به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: non- significant and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

**جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی برنج در تیمارهای مختلف آبیاری و کاشت**

| صفات Traits | | عملکرد زیست‌توده (kg/ha) | عملکرد دانه (kg/ha) | انتشار گاز متان ($mg.m^{-2}.day^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|
| سال | ۱۳۹۸ | ۱۵۱۲۹$^{a}$ | ۵۸۵۶$^{b}$ | ۲/۴۸$^{a}$ |
| | ۱۳۹۹ | ۱۵۵۴۳$^{a}$ | ۶۲۹۸$^{a}$ | ۲/۴۴$^{b}$ |
| | 2020 | | | |
| روش کاشت | مستقیم بذر برنج | ۱۳۶۸۴$^{c}$ | ۴۲۸۴$^{c}$ | ۲/۱۹$^{c}$ |
| | نشا غیر گل‌خراب | ۱۵۳۲۰$^{b}$ | ۶۴۴۱$^{b}$ | ۲/۴۸$^{b}$ |
| | نشا گل‌خراب شده | ۱۷۰۰۴$^{a}$ | ۷۵۰۶$^{a}$ | ۲/۷۳$^{a}$ |
| آبیاری | بارانی | ۱۳۴۹۲$^{b}$ | ۴۹۶۲$^{d}$ | ۰/۸۵$^{c}$ |
| | غرقاب دائم | ۱۶۳۸۹$^{a}$ | ۶۸۹۹$^{a}$ | ۴/۹۹$^{a}$ |
| | غرقاب تناوبی | ۱۵۷۶۳$^{a}$ | ۶۴۸۰$^{b}$ | ۳/۵۹$^{b}$ |
| | قطره‌ای نواری | ۱۵۷۰۱$^{a}$ | ۵۹۶۸$^{c}$ | ۰/۴۲$^{d}$ |

میانگین‌های با حروف یکسان که در هر ستون نمایش داده شده‌اند، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD ندارند

میر ابوالقاسمی و همکاران نشان دادند که برنج برای رشد مطلوب ریشه به شرایط رطوبتی اشباع نیاز دارد و کاهش رطوبت خاک از این سطح منجر به کاهش تولید ماده خشک می‌شود (میرابوالقاسمی و همکاران، ۱۳۹۶).

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر سال اجرا در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد. عملکرد دانه تحت تاثیر سال اجرای آزمایش قرار گرفت و در سال دوم آزمایش به میزان ۷/۵۴ درصد بیشتر شد. دلیل این است که بر اساس اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه، در مرداد ماه که با دوره گرده‌افشانی مصادف است، میانگین دمای حداکثر در سال دوم به ۳۳/۱ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. این کاهش دما در دومین سال آزمایش می‌تواند از عوامل مؤثر بر افزایش عملکرد دانه در این سال نسبت به سال نخست باشد. نتایج تحقیقات نای و همکاران نیز نشان داد که دماهای بالای هوا در دوره رشد برنج، به‌ویژه بر مراحل رشد رویشی و فیزیولوژیکی دانه تأثیر منفی داشته و موجب کاهش قابل توجه عملکرد دانه می‌شود (Nie et al., 2012).

اثر روش کاشت نیز در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد؛ در بین سطوح مختلف روش کاشت، بیشترین مقدار عملکرد دانه مربوط به روش کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده و برابر ۷۵۰۶ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. مقدار عملکرد دانه روش‌های مختلف کاشت دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند (جدول ۳). مقدار عملکرد دانه کاشت نشایی در زمین غیر گل‌خراب و کاشت مستقیم بذر برنج نسبت به کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده به‌ترتیب ۱۶/۵۳ و ۷۵/۲۱ درصد کاهش یافت. اثر متقابل نوع سامانه آبیاری و روش کاشت نیز در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد؛ ولی سایر اثرات متقابل معنی‌دار نشد. نارش و همکاران نیز به مقایسه شیوه‌های کاشت مستقیم و کاشت مرسوم برنج پرداختند و نشان دادند که تفاوت عملکرد ارقام برنج در این دو روش کاشت به‌طور معناداری متفاوت بود، به‌طوری‌که بالاترین عملکرد در روش کاشت مرسوم و پایین‌ترین عملکرد در کاشت مستقیم بذر به دست آمد (Naresh et al., 2013).

اثر نوع سامانه آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد؛ مقدار عملکرد دانه سامانه‌های مختلف آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار نشان دادند (جدول ۳). در بین سامانه‌های مختلف آبیاری، بیشترین مقدار عملکرد دانه در سامانه آبیاری غرقاب دائم و برابر ۶۸۹۹ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد. مقدار عملکرد دانه سامانه‌های آبیاری غرقاب تناوبی، قطره‌ای نواری و بارانی نسبت به تیمار آبیاری غرقاب دائم به‌ترتیب ۶/۴۶، ۱۵/۶ و ۳۹/۰۳ درصد کاهش نشان داد. بانسال و همکاران در هند به بررسی عملکرد برنج تحت سه روش آبیاری قطره‌ای نواری، بارانی و غرقابی پرداختند و نشان دادند که عملکرد دانه برنج در روش آبیاری قطره‌ای نواری با ۶۹۵۰ کیلوگرم در هکتار، بالاتر از آبیاری غرقابی با ۶۲۲۵ کیلوگرم در هکتار بوده است. همچنین، کمترین میزان عملکرد محصول مربوط به روش آبیاری بارانی بود که ۴۸۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (Bansal et al., 2018). کومار و لادا در هند نشان دادند که عملکرد برنج در کاشت مستقیم بذر به میزان قابل توجهی (حدود ۹/۲ تا ۲۸/۵ درصد) کمتر از کاشت نشایی است (Kumar and Ladha, 2011). همچنین، یون و همکاران گزارش کردند که حداکثر عملکرد برنج هوازی حدود ۳۰ درصد کمتر از کاشت غرقابی برنج است (Yun et al., 1997). علاوه بر این، نتایج تحقیقات زو و همکاران نیز نشان داد که کاشت مستقیم بذر برنج منجر به کاهش ۱۲ درصدی عملکرد در مقایسه با کاشت نشایی می‌شود (Xu et al., 2019).

### مقایسه شیوه‌های کاشت و آبیاری در انتشار گاز متان

نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که سال اجرا بر انتشار گاز متان در سطح احتمال ۱ درصد تاثیر معنی‌داری دارند. انتشار گاز متان تحت تاثیر سال اجرای آزمایش قرار گرفت و در سال دوم آزمایش به میزان ۱/۶۱ درصد کمتر شد. افزایش دما و بارندگی در طی دوره رشد در سال اول کاشت نسبت به سال دوم نیز بر تولید و انتشار گاز متان اثر داشت. این دو عامل از طریق تأثیر بر فرایندهای بیوشیمیایی در خاک و رشد گیاه می‌توانند به افزایش یا کاهش میزان انتشار متان کمک کنند. افزایش دما یکی از عوامل کلیدی در تشدید فرایندهای بیوشیمیایی در خاک است و تأثیرات مختلفی بر تولید و انتشار گاز متان دارد. متانوژن‌ها در دماهای بالاتر فعالیت بیشتری دارند. با افزایش دما، سرعت واکنش‌های بیوشیمیایی در خاک افزایش می‌یابد، که منجر به تسریع در تجزیه مواد آلی و تولید متان می‌شود. همچنین افزایش دما باعث کاهش حلالیت اکسیژن در آب می‌شود که شرایط بی‌هوازی را تشدید می‌کند. این شرایط برای رشد متانوژن‌ها ایده‌آل است و منجر به افزایش تولید متان می‌شود.

افزایش بارندگی می‌تواند به اشباع بیشتر خاک و در نتیجه تغییر در انتشار گاز متان منجر شود. بارندگی بیشتر معمولا به معنی افزایش سطح آب و غرقاب بیشتر خاک است. این شرایط باعث کاهش اکسیژن در خاک و افزایش فعالیت متانوژن‌ها می‌شود، که تولید متان را افزایش می‌دهد. همچنین بارندگی‌های شدید و مکرر می‌توانند باعث ایجاد دوره‌های غرقابی و غیرفعال شدن آب در خاک شوند. این تغییرات ممکن است باعث نوسانات در سطح انتشار متان شود. بارندگی بیشتر می‌تواند رشد گیاه را افزایش دهد و با افزایش بیومس ریشه‌ای، تجزیه مواد آلی در خاک را افزایش دهد. این افزایش مواد

آلی به متانوژن‌ها خوراک بیشتری می‌دهد و در نتیجه می‌تواند انتشار متان را افزایش دهد.

هنگامی که دما و بارندگی هر دو افزایش یابند، تأثیرات آن‌ها می‌توانند همدیگر را تقویت کنند و به‌طور کلی منجر به افزایش انتشار گاز متان شوند. افزایش دما همراه با افزایش بارندگی می‌تواند منجر به ایجاد شرایط بی‌هوازی شدیدتر شود، که فعالیت متانوژن‌ها را به شدت افزایش می‌دهد. دما و رطوبت بالاتر باعث افزایش سرعت تجزیه مواد آلی و تولید بیشتر گاز متان می‌شود.

میزان انتشار متان در طول دوره رشد گیاه تغییر می‌کند و به مراحل مختلف رشد گیاه و شرایط محیطی بستگی دارد. در ابتدای دوره رشد، به ویژه در سامانه‌های غرقابی، فعالیت باکتری‌های متانوژنیک (باکتری‌های تولیدکننده متان) به تدریج شروع می‌شود. در این مرحله، سطح اکسیژن خاک هنوز به‌طور کامل کاهش نیافته و میزان متان تولید شده نسبتا پایین است. در مرحله میانی دوره رشد برنج، خاک به شرایط بی‌هوازی کامل رسیده است و فعالیت متانوژن‌ها به حداکثر خود می‌رسد. این باعث می‌شود که انتشار متان در این مرحله به اوج خود برسد، به‌ویژه در سامانه‌های غرقابی دائم و روش‌های کاشت با آماده‌سازی زیاد زمین. در انتهای فصل رشد، انتشار متان به‌دلیل کاهش فعالیت متانوژن‌ها و تغییرات در شرایط خاک کاهش می‌یابد. با این حال، همچنان میزان انتشار متان نسبت به ابتدای کاشت بالاست، اما ممکن است به‌دلیل تغییرات در شرایط محیطی و کاهش تدریجی آب در برخی سامانه‌ها، از میزان آن کاسته شود.

روش کاشت بر انتشار گاز متان در سطح احتمال ۱ درصد تاثیر معنی‌داری داشت. در میان سطوح مختلف روش کاشت، بیشترین مقدار انتشار گاز متان در کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده مشاهده شد که برابر با ۲/۷۳ میلی‌گرم در متر مربع بود. اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بین مقادیر انتشار گاز متان در سطوح مختلف روش کاشت وجود داشت (جدول ۳). مقدار انتشار گاز متان در کاشت نشایی در زمین غیر گل‌خراب و کاشت مستقیم بذر برنج به‌ترتیب ۱۰/۰۸ و ۲۴/۶۵ درصد نسبت به روش کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده کاهش یافت. روش‌های مختلف کاشت نیز تأثیر زیادی بر انتشار متان دارند. این تأثیر به نحوه آماده‌سازی زمین، مدیریت آب و رشد گیاه مربوط می‌شود. کاشت مستقیم بذر برنج که با آماده‌سازی کمتر زمین و کاهش تراکم خاک همراه است، خاک کمتر جابه‌جا شده و شرایط بی‌هوازی به‌تدریج در طول فصل کاشت ایجاد می‌شود. این شرایط منجر به انتشار متان می‌شود، اما نسبت به سایر روش‌های کاشت که شامل آماده‌سازی بیشتر زمین هستند، انتشار کمتری دارد. روش کاشت نشایی در زمین غیر گل‌خراب معمولا باعث ایجاد شرایط بی‌هوازی کمتر در خاک می‌شود و در نتیجه، انتشار متان کمتر از حالت غرقابی دائم است، اما همچنان قابل‌توجه است. روش کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده شامل آماده‌سازی کامل زمین با گل‌خرابی است که منجر به تشکیل لایه‌ای از خاک بسیار فشرده و بدون هوا در زیر سطح می‌شود. این لایه شرایط ایده‌آلی را برای فعالیت باکتری‌های متانوژنیک فراهم می‌کند. بنابراین، انتشار متان در این روش به بالاترین سطح خود می‌رسد.

نوع سامانه آبیاری بر انتشار گاز متان در سطح احتمال ۱ درصد تاثیر معنی‌داری داشت. میزان انتشار گاز متان در سامانه‌های مختلف آبیاری نیز در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری نشان داد. بیشترین مقدار انتشار گاز متان در میان سامانه‌های مختلف آبیاری، مربوط به تیمار آبیاری غرقاب دائم بود که مقدار آن ۴/۹۹ میلی‌گرم در متر مربع اندازه‌گیری شد. کمترین مقدار انتشار گاز متان نیز مربوط به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری با مقدار ۰/۴۲ میلی‌گرم در متر مربع بود. مقادیر انتشار گاز متان در تیمار آبیاری غرقاب تناوبی، ۳۹ درصد کمتر از تیمار آبیاری غرقاب دائم بود (جدول ۳). اثر متقابل بین نوع سامانه آبیاری و روش کاشت و همچنین اثر متقابل بین روش کاشت و سال اجرا نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده است، اما سایر اثرات متقابل معنی‌دار نبودند.

سامانه‌های آبیاری مختلف تأثیر زیادی بر انتشار گاز متان دارند. این تأثیر به میزان اشباع آب در خاک و فرایندهای بیوشیمیایی مربوط به آن بستگی دارد. در سامانه غرقابی دائم، خاک به‌طور مداوم اشباع از آب است. شرایط بی‌هوازی در این نوع سامانه به وجود می‌آید که باعث افزایش فعالیت باکتری‌های متانوژنیک می‌شود. این باکتری‌ها، که در شرایط بی‌هوازی رشد می‌کنند، مواد آلی موجود در خاک را به متان تبدیل می‌کنند. به‌همین دلیل، میزان انتشار متان در این سامانه بسیار بالاست (بخت فیروز و رائینی سرجاز، ۱۳۹۲) و در مراحل مختلف رشد گیاه، به‌ویژه در دوره‌های وسط و انتهای کاشت، به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در سامانه آبیاری غرقابی تناوبی، دوره‌های غرقابی و غیرفعال به‌صورت متناوب تکرار می‌شود. در طول دوره‌های بدون آب، خاک از حالت بی‌هوازی به حالت هوازی تغییر می‌کند که باعث کاهش فعالیت باکتری‌های متانوژنیک و به تبع آن، کاهش انتشار متان می‌شود. هرچند انتشار متان در این سامانه همچنان بالاست، اما به طور قابل توجهی کمتر از سامانه غرقابی دائم است. در سامانه آبیاری بارانی به‌دلیل عدم غرقاب کردن کامل خاک، شرایط هوازی را در بیشتر طول فصل کاشت حفظ می‌کند. به‌دلیل وجود اکسیژن در خاک، فعالیت باکتری‌های متانوژنیک محدود شده و در نتیجه، انتشار متان در این سامانه به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری به‌دلیل تأمین دقیق آب در ریشه‌ها و عدم اشباع کامل خاک، به‌طور موثری از ایجاد شرایط بی‌هوازی جلوگیری می‌کند. بنابراین، این سامانه کمترین میزان انتشار متان را دارد. همچنین به دلیل کنترل دقیق‌تر رطوبت خاک، فعالیت باکتری‌های متانوژنیک به حداقل مقدار معنی‌داری می‌رسد. ستیانتو و

همکاران گزارش کردند که انتشار گاز متان در مرحله اولیه کاشت برنج بسیار اندک و پس از ۱۵ روز شروع به افزایش می‌کند و در مرحله زایشی و رسیدگی به مقدار ماکزیمم می‌رسد. دلیل کم بودن انتشار گاز متان در ابتدای کاشت به کم بودن شمار باکتری‌های تولید کننده متان و ترابری ضعیف متان از خاک به نیوار و زیاد بودن آن در مراحل انتهایی به تجزیه کربن آلی قابل استفاده در شکل ترشحات ریشه می‌باشد (Setyanto et al., 2004). لی و همکاران در شالیزارهای چین نشان دادند که غرقاب دائم بیشترین انتشار گاز متان را به همراه دارد ولی در شرایط زهکشی میان فصل، انتشار به کمتر از نیمی از حالت غرقاب دائم کاهش می‌یابد (Li et al., 2004).

طبق نتایج این تحقیق با روش کاشت مستقیم بذر برنج، مقدار متان انتشار شده از سطح مزرعه کاهش یافته ولی این مقدار نسبت به دو روش دیگر قابل توجه نمی‌باشد. در صورتی که تفاوت این پارامتر بین تیمار آبیاری قطره‌ای نواری و غرقاب دائم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است، به‌طوری که میزان انتشار گاز متان در زمین غرقاب دائم نسبت به روش‌های آبیاری قطره‌ای نواری و بارانی به‌ترتیب ۴/۵۷ و ۴/۱۴ میلی‌گرم در متر مربع بیشتر می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تأثیر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نواری و غرقابی و همچنین روش‌های کاشت مستقیم و نشایی بر عملکرد دانه، زیست توده و انتشار گاز متان مورد ارزیابی قرار گرفت. در بین سطوح مختلف روش کاشت، بیشترین مقدار عملکرد دانه مربوط به روش کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده و برابر ۷۵۰۶ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. در بین سامانه‌های مختلف آبیاری، بیشترین مقدار عملکرد دانه در سامانه آبیاری غرقاب دائم و برابر ۶۸۹۹ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد. مقدار عملکرد دانه سامانه‌های آبیاری غرقاب تناوبی، قطره‌ای نواری و بارانی نسبت به تیمار آبیاری غرقاب دائم به‌ترتیب ۶/۴۶، ۱۵/۶ و ۳۹/۰۳ درصد کاهش نشان داد. در بین روش‌های مختلف کاشت، بیشترین مقدار زیست توده در روش کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده و برابر ۱۷۰۰۴ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در بین سامانه‌های مختلف آبیاری، بیشترین مقدار زیست توده مربوط به تیمار غرقاب دائم و برابر با ۱۶۳۸۹ کیلوگرم در هکتار بود. سامانه‌های غرقابی دائم به دلیل شرایط بی‌هوازی مداوم، بیشترین انتشار متان به میزان ۴/۹۹ میلی گرم در متر مربع را دارند؛ در حالی که سامانه‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای نواری به دلیل کاهش یا حذف شرایط بی‌هوازی، کمترین انتشار به‌ترتیب به میزان ۰/۸۵ و ۰/۴۲ میلی‌گرم در متر مربع را نشان می‌دهند. به‌طوری که مقدار انتشار گاز متان در کاشت نشایی در زمین غیر گل‌خراب و کاشت مستقیم بذر برنج به‌ترتیب ۱۰/۰۸ و ۲۴/۶۵ درصد نسبت به روش کاشت نشایی در زمین گل‌خراب شده کاهش یافت. روش‌های مختلف کاشت نیز تأثیر زیادی بر انتشار متان دارند. نتایج نشان داد کاشت نشایی در زمین‌های گل‌خراب شده، به دلیل ایجاد شرایط ایده‌آل برای فعالیت باکتری‌های متانوژنیک، بیشترین میزان انتشار متان به میزان ۲/۷۳ میلی گرم در متر مربع را به همراه دارد. به‌طور کلی، به‌منظور کاهش انتشار متان در مزارع برنج، می‌توان استفاده از سامانه‌های آبیاری با کنترل دقیق‌تر رطوبت خاک (مانند آبیاری قطره‌ای) و روش‌های کاشت با آماده‌سازی کمتر زمین (مانند کاشت مستقیم) را توصیه کرد. این استراتژی‌ها می‌توانند به طور موثر انتشار گاز متان را کاهش داده و به حفاظت از محیط زیست کمک کنند. همچنین، افزایش دما و بارندگی در طی دوره رشد معمولا باعث افزایش انتشار گاز متان از مزارع برنج می‌شود. این افزایش ناشی از تشدید شرایط بی‌هوازی در خاک، افزایش فعالیت میکروبی و تسریع در تجزیه مواد آلی است. بنابراین، در شرایط آب و هوایی گرم‌تر و مرطوب‌تر، انتشار گاز متان بیشتر خواهد بود، که می‌تواند به تغییرات اقلیمی و اثرات گلخانه‌ای منفی منجر شود. مدیریت مناسب آب، نظارت دقیق بر شرایط دمایی و رطوبتی و استفاده از روش‌های آبیاری و کاشت بهینه می‌تواند به کاهش این اثرات کمک کند. نتایج حاکی از آن است که با بهره‌گیری از روش‌های بهینه مدیریت آبیاری و کاشت، می‌توان انتشار متان را به میزان قابل‌توجهی کاهش داد، در حالی که عملکرد زراعی همچنان حفظ می‌شود.

## منابع


بخت فیروز، ع. و رائینی سرجاز، م. ۱۳۹۲. اثر سامانه‌های زهکشی شالیزار بر افت گسیل گاز گلخانه‌ای متان. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۴(۱): ۱۰-۱.

علا، ا.، آقاعلیخانی، م.، امیری لاریجانی، ب.، صوفی زاده، س. ۱۳۹۳. مقایسه سیستم کشت مستقیم و نشایی برنج در استان مازندران: رقابت علف هرز، عملکرد و اجزای عملکرد. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۲(۳): ۴۷۵-۴۶۳.

مرادی مجد، ن.، فلاح قالهری، غ. و چترنور، م. ۱۴۰۱. بررسی میزان گسیل گازهای $CH_4$, $N_2O$ و NO از اراضی کشاورزی (مطالعه موردی: استان خوزستان). هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۱): ۵۴-۴۶.

میرابوالقاسمی، س.م.، قبادی نیا، م.، قاسمی، ا. ر. و نوری امامزاده‌ایی، م. ر. ۱۳۹۶. تأثیر آبیاری زیرزمینی و مدیریت آبیاری بر مشخصه‌های رشد و اجزای عملکرد برنج در منطقه خشک و نیمه خشک. آب و خاک. ۳۱(۲): ۴۲۱-۴۱۱.

نوربخشیان، س. ج. ۱۳۷۹. مقایسه عملکرد ارقام برنج در کشت مستقیم و نشایی. علوم زراعی ایران. ۲(۴): ۳۲-۲۵.

هاشمی، م.، رائینی سرجاز، م. و شاهنظری، ع. ۱۳۹۴. بررسی تاثیر عمق و فاصله زهکش زیرزمینی بر روند گسیل گاز متان در شالیزار. نخستین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۲ تا ۲۳ اردیبشهت، دانشگاه فردوسی مشهد.

Aldhafeeri, T., Tran, M. K., Vrolyk, R., Pope, M. and Fowler, M. 2020. A review of methane gas detection sensors: Recent developments and future perspectives. Inventions. 5(3): 1–18.

Bansal, R., Sharma, N., Soman, P., Singh, S., Bhardwaj, A. K., Pandiaraj, T. and Bhardwaj, R. K. 2018. On-farm drip irrigation in rice for higher productivity and profitability in Haryana, India. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 7(2): 506-512.

Bouman, B. A. M., Lampayan, R. M. and Tuong, T. P. 2007. Water management in irrigated rice coping with water scarcity. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 54 p.

Deutch, J. M. and Lester, R. K. 2009. Greenhouse gases and global warming. Mak. Technol. Work, pp. 81–108.

Gogoi, N., Baruah, K., Gogoi, B. and Gupta, P. K. 2008. Methane emission from two different rice ecosystems at lower Brahmaputra valley zone of North East India. Applied Ecology and Environmental Research. 6(3): 99-112

Kumar, V. and Ladha J. K. 2011. Direct-seeding of rice: Recent developments and future research needs. International Rice Research Institute, India office, Pusa, New Delhi, India. Adv. Agron. 111: 297-413.

Kweku, D. W., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K. A., Danso, K. B., Oti-Mensah, E. A., Quachie, A. T. and Adormaa, B. B. 2017. Greenhouse effect: greenhouse gases and their impact on global warming. Journal of Scientific Research and Reports. 17(6): 1-9.

Li, C., Mosier, A., Wassmann, R., Cai, Z., Zheng, X., Huang, Y., Tsuruta, H., Boonjawat, J. and Lantin, R. 2004. Modeling greenhouse gas emissions from rice-based production systems: Sensitivity and upscaling, Global Biogeochem Cycles. 18: GB1043

Li, C. 2007. Quantifying greenhouse gas emissions from soils: Scientific basis and modeling approach. soil science and plant nutrition. (53): 344–352.

Liou, R. M., Huang, S. N., Lin, C. W. and Chen, S. H. 2003. Methane emission from fields with three various rice straw treatments in Taiwan paddy soils. J. Environ. Sci. Health, 38(4): 511-527.Mohajan, H.K. 2012. Dangerous effects of methane gas in atmosphere. International Journal of Economic and Political Integration. 2(1): 3–10.

Naresh, R. K., Misra, A. K. and Singh, S. P. 2013. Assessment of direct seeded and transplanting methods of rice cultivars in the western part of Uttar Pradesh. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Business Management. 1(1): 1-8.

Nie, L., Peng, S., Chen, M., Shah, F., Huang, J., Cui, K. and Xiang, J. 2012. Aerobic rice for water saving agriculture, a review. Agronomy for Sustainable Development. 32(2): 411-418.

Rajwade, Y. A., Swain, D. K. and Tiwari, K. N. 2014. Subsurface Drip Irrigation for Wet Season Rice Production under Climate Variability in India. Agricultural and Food Engineering Department, Indian Institute of Technology Kharagpur, Kharagpur, Medinipore (W), West Bengal, INDIA. p.p:293-300.

Ribbes, F. and Toan, L. 1999. Rice Field Mapping and monitoring with RADARSAT Data. Int. The Journal of Remote Sensing. 20(4): 745-756.

Setyanto, P., Rosenani, A. B., Boer, R., Fauziah, C. I. and Khanif, M. J. 2004. The effect of rice cultivars on methane emission from irrigated rice field. Indones. Journal of Agricultural Science. 5: 20-31

Singh, S., Sharma, S. N. and Prasad, R. 2000. The effect of seeding and tillage methods on productivity of rice–wheat cropping system. Soil and Tillage Research. 61: 125–131.

Xu, L., Li, X., Wang, X., Xiong, D. and Wang, F. 2019. Comparing the Grain Yields of Direct-Seeded and Transplanted Rice: A Meta-Analysis. Agronomy. 14 pp.

Yun, S.I., Wada, Y., Maeda, T., Miura, K. and Watanable, K. 1997. Growth and yield of Japonica X Indica hybrid cultivars under direct seeding and upland conditions. Japanese Journal of Crop Science. 66: 386-393.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.6, Vol. 18, Feb.-Mar. 2025, p. 951-961

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۸، بهمن - اسفند ۱۴۰۳، ص. ۹۶۱-۹۵۱

# Interactive Effects of Irrigation Systems and Rice Planting Methods on Methane Emissions in Paddy Fields

**L. Asadi[1], M. Khoshravesh[2*], M. Raeini Sarjaz[3], A.R. Kiani[4]**

Recived: Sep.24, 2024 Accepted: Dec. 21, 2024

## Abstract

Methane gas, as one of the most important greenhouse gases, plays a significant role in climate change and global warming. Since flooded rice fields are considered one of the major sources of methane production in agriculture, optimizing water and planting practices can help to reduce the emission of this gas. This study aimed to investigate the interaction effects of different rice planting methods and irrigation systems on yield and methane emissions in paddy fields. The experiment was conducted as a split-plot design within a randomized complete block design with three replications during the years 2019 and 2020 in Gorgan County. Four irrigation treatments, including sprinkler irrigation, continuous flooding, intermittent flooding, and tape irrigation, were applied as the main factor, while three planting methods, including direct planting, transplanting in non-puddled soil, and transplanting in puddled soil, were considered as sub-factors. The effects of planting year, irrigation system, and planting method on grain yield were significant at the 1% probability level. The highest grain yield was observed in the transplanting method on puddled soil, with a yield of 7,506 kg/ha. Grain yields under intermittent flooding, tape, and sprinkler irrigation systems decreased by 6.46%, 15.6%, and 39.03%, respectively, compared to continuous flooding. Among the different planting methods, the highest methane emission which was measured with a gas chromatograph was recorded in the transplanting method on puddled soil, with 2.73 mg/m². Methane emissions in the transplanting method on non-puddled soil and direct seeding were reduced by 10.08% and 24.65%, respectively, compared to the transplanting on puddled soil. The lowest methane emission was observed in the tape irrigation system, with 0.42 mg/m². Methane emissions under intermittent flooding were 39% lower than in continuous flooding. Overall, optimizing irrigation management and planting methods in rice fields can significantly reduce methane emissions, thereby contributing to mitigating the effects of climate change. Based on the present study, the most effective approach is drip tape irrigation combined with non-puddled transplanting.

**Keywords**: Direct planting, Greenhouse gas, Tape irrigation, Water management

1- PhD Student of Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2- Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. (* Corresponding Author: m.khoshravesh@sanru.ac.ir)
3- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
4- Professor, Agricultural Engineering Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.