Original Article
Journal of Natural Environment 75 (Special Issue): 107-120 (2023)
Print ISSN: 2008-7764/Online ISSN: 2423-7817
https://jne.ut.ac.ir/

مقاله کامل
نشریه محیط زیست طبیعی
دوره ۷۵، (ویژه نامه): ۱۰۷-۱۲۰ (۱۴۰۱)

برآورد قیمت سایه‌ای انتشار گاز متان در روش‌های جایگزین کشت غرقابی برنج

نظام ذکریایی، حامد نجفی علمدارلو*، سید حبیب‌الله موسوی

گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۴ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۲**

چکیده

گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی به‌علّت افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، به‌سطح هشداردهنده رسیده است. یکی از گازهای مؤثر در تشدید این پدیده، گاز متان است. شالیزارهای برنج به‌عنوان یکی از مهمترین منابع اصلی انتشار آن شناخته می‌شوند، به‌طوری‌که کشت این محصول، ۲۲ درصد از کل متان بخش کشاورزی را منتشر می‌کند. روش‌های کشت و مدیریت آب از جمله آبیاری تناوبی و خشکه‌کاری می‌تواند به کاهش انتشار این گاز کمک کند. از این‌رو در مطالعهٔ حاضر، با استفاده از اطلاعات سال ۱۳۹۵، هزینه‌های محیط زیستی انتشار گازهای گلخانه‌ای شالیزارهای برنج در سه سناریو «کشت سنتی یا آبیاری غرقابی»، «آبیاری تناوبی» و «خشکه‌کاری» با استفاده از الگوی مرزی تصادفی مسافت–ستانده برآورد شد. بر اساس نتایج، هزینه‌های محیط زیستی انتشار سالانهٔ متان در شالیزارهای کشور در روش سنتی، تناوبی و خشکه‌کاری به‌ترتیب برابر با ۶۳۳، ۳۵۶ و ۳۵۲ میلیارد ریال است. همچنین قیمت سایه‌ای هر کیلوگرم متان در این سناریوها به‌ترتیب ۵۰۵۶، ۵۸۰۸ و ۵۷۳۷ ریال محاسبه شد. یافته‌های این مطالعه نشان داد که روش‌های آبیاری تناوبی و خشکه‌کاری می‌تواند جایگزین مناسبی به‌جای روش سنتی در جهت کاهش آلاینده‌ها و هزینه‌های محیط زیستی باشند. از طرفی بایستی اقدامات لازم جهت دستیابی به توسعهٔ پایدار از طریق درونی‌سازی این هزینه‌ها انجام گیرد.

کلید واژگان: برنج، تابع مسافت ستانده، گاز متان، قیمت سایه‌ای، هزینه محیط زیستی

*نویسنده مسئول hamed_najafi@modares.ac.ir

مقدمه

در طول چند دهۀ اخیر کرۀ زمین شاهد یک روند گرمایشی بوده و دمای آن مرتب در حال افزایش بوده است که این پدیده به گرمایش جهانی معروف و به انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر توسط فعالیت‌های انسانی نسبت داده شده است (Cornejo and Wilkie, 2010). تغییر در غلظت گازهای گلخانه‌ای (Greenhouse Gas) با افزایش دمای جهانی در ارتباط مـی‌باشـد به‌گونه‌ای که پیش‌بینی می‌شود دما تا پایان قرن حاضر ۴/۵–۲ درجه سانتی‌گراد در سراسر جهان افزایش یابد (Signor or and Cerri, 2013). افـزایش درجـۀ حـرارت زمین آثار و پیامدهای مختلفی ازجمله بروز مشکلات محیط زیستی و افزایش حوادث و بلایای طبیعی مانند طوفان‌ها و گردبادها، آتش‌سوزی‌های شدید در جنگل‌ها، سیل، قحطی و خشک‌سالی در پی دارد که در چند دهۀ اخیر افزایش چشمگیری داشته است (Jamalipor *et* al., 2015) و حل آن به یکی از مطالبات مهم اجتماعی و بین‌المللی تبدیل‌شده است (Velayati and Kadivar, 2006).

انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثرات آن بر گرمایش جهانی یکی از چالش‌های جدی کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه محسوب می‌شود (Jamalipor *et al*., 2015). فعالیت‌های تولیدی و اقتصادی بشر در سال‌های اخیر، عامل مهمی در جهت افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو زمین بوده است. یکی از عوامل اصلی آلودگی‌های محیط زیستی، انتشـار گازهـای گلخانه‌ای از منابع مختلف، به‌ویژه از بخش کشاورزی می‌باشد (Ghorbani *et al*., 2009) که به‌طور متوسط ۱۰ الی ۱۵ درصد از انتشار کل گازهای گلخانه‌ای در جهان را شامل می‌شود (Smith *et al*., 2007). علاوه بر این، مزارع غرقابی برنج به‌عنوان منبع مهم انتشار متان (CH_4) در بخش کشاورزی شناخته شده است. گاز متان با طول عمر ۲۸ سال در جو کرۀ زمین و پتانسیل گرمایشی ۲۸ برابری نسبت به CO_2 (IPCC, 2014)، یکی از منابع اصلی در ایجاد گازهای گلخانه‌ای به‌شمار می‌رود. از طرفی، شالیزارهای برنج ۴ درصد از کل انتشار متان در جهان و ۲۲ درصد از کل متان منتشر شده در بخش کشاورزی را در برگرفته‌اند (Smith *et al*., 2007)، که این مقدار در سال ۲۰۱۶ برای کل جهان برابر با ۳۴۹۹۸ هزار تن و سهم ایران از تولید این آلاینده برابر با ۱۳۱ هزار برآورد شده است (FAO, 2016). پیش‌بینی می‌شود جمعیت انسانی تا سال ۲۰۴۰ به ۹/۲ میلیارد نفر برسد که با افزایش جمعیت، تقاضا برای محصولات کشاورزی و به‌خصوص برنج نیز افزایش نیز می‌یابد. از این، رو به‌دلیل افزایش تقاضای برنج و اطمینان از پایداری امنیت غذایی برای جمعیت رو به رشد، افزایش سطح زیر کشت برنج، امری اجتناب‌ناپذیر است (Talib *et al*., 2018) که باعث افزایش انتشار گاز گلخانه‌ای متان خواهد شد.

با توجه به آنچه بیان شد و نقش بخش کشاورزی در انتشار گاز متان (IPCC, 1996)، لزوم بازبینی و توجه به روش‌های تولید و مدیریت محصول برنج در بخش کشاورزی برای توسعۀ پایدار منطبق با معاهده‌های بین‌المللی، در راستای کاهش گازهای گلخانه‌ای احساس می‌شود. در واقع برابر تعهدات کشورها به پیمان کیوتو، لازم است میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش‌های مختلف ازجمله بخش کشاورزی برآورد و به‌دنبال آن جهت کاهش و جلوگیری از انتشار این آلاینده‌ها، روش‌های مؤثر مورد استفاده قرار گیرد. از جمله این روش‌ها، می‌توان به روش کشت خشکه‌کاری و آبیاری تناوبی برنج اشاره کرد (Wang *et al*., 2018). از مزایای بالقوۀ روش خشکه‌کاری، بهبود ساختار خاک، کاهش ماندابی شدن زمین، کنترل مکانیکی علف‌های هرز، مصرف بهتر کود، کسب فرصت برای خشک کردن مزرعه، ایجاد شرایط هوازی در خاک و کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای است (Dawe *et al*., 1998). همچنین آبیاری تناوبی بدون اینکه تغییر عملکرد محصول می‌تواند مصرف آب و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد (Linquist *et al*., 2015). اگرچه برخی از مطالعات نیز افزایش عملکرد را گزارش کرده‌اند (Pardis *et al*., 2014;

Wang *et al*., 2018 Chu *et al*., 2015;). هرچند مطالعات گسترده‌ای در زمینهٔ برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح بین‌المللی صورت گرفته، اما مطالعات کمتری به برآورد هزینه‌های محیط زیستی آن‌ها پرداخته‌اند. درحالی‌که در بخش‌های دیگر، مطالعات گسترده‌ای در خصوص محاسبهٔ قیمت‌های سایه‌ای و هزینه‌های محیط زیستی آلاینده‌ها صورت گرفته است.

Pathak و Wassman (۲۰۰۷)، باهدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) به‌دست‌آمده از آن در کشاورزی، سیستم مرسوم کشت برنج را در منطقهٔ هاریانای هند بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که عملیات زراعی و غیر زراعی هرکدام به‌ترتیب ۹۸–۸۰ و ۹۱–۱۶ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار انتشار گاز گلخانه‌ای دارد. همچنین کل میزان GWP از تولید برنج در نواحی مختلف هاریانا بین ۴۰۵۴–۲۷۶۶ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بود که بستگی به ذخیره کربن آلی خاک، مصرف کود و عملیات زراعی و غیر زراعی داشت (Pathak and Wassman, 2007). Ghorbani و همکاران (۲۰۰۹)، در مطالعه‌ای به برآورد هزینه‌های محیط زیستی انتشار گازهای گلخانه‌ای در گاوداری‌های شیری مشهد پرداختند. بر اساس نتایج، هزینه‌های حاصل از انتشار سالانهٔ گازهای گلخانه‌ای گاوداری‌های شیری مشهد و کشور به ترتیب ۱۰/۶۸ و ۶۷۹۱۰/۳ میلیارد گزارش شد (Ghorbani *et al*., 2009). Lee و Zhang (۲۰۱۲)، مقدار متوسط قیمت سایه‌ای انتشار دی‌اکسید کربن را ۳/۱۳ دلار به‌ازای هر تن به‌دست آوردند (Lee and Zhang, 2012).

Alipourو همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از روش تابع مسافت نهاده، زیان‌های حاصل از انتشار دی‌اکسید کربن در بخش کشاورزی ایران را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد که میانگین سالانهٔ زیان انتشار هر کیلوگرم دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت در بخش کشاورزی برابر با ۱۰۱ ریال است (Alipour *et al*., 2013). Zhou و همکاران (۲۰۱۴)، نیز اقدام به برآورد قیمت سایه‌ای انتشار CO_2 برای بخش‌های صنعتی شانگهای با استفاده از روش تابع فاصله‌ای کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که میانگین وزنی کلی برآورد قیمت سایه‌ای روش‌های مختلف بین ۵+۳۹۴ و ۱۹۰۶/۱ یوان است که نشان می‌دهد انتخاب مدل دارای اثر قابل‌توجهی در برآورد قیمت سایه‌ای است (Zhou *et al*., 2014). Jamalipor و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از مدل GHGEM به برآورد میزان و ارزش انتشار گازهای گلخانه‌ای N_2O و CO_2 حاصل از تولید حبوبات ایران پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که مجموع هزینه‌های محیط زیستی انتشار گازهای گلخانه‌ای N_2O و CO_2 کل کشور حدود ۸/۷۲۲ میلیارد ریال است (Jamalipor *et al*., 2015). Hasanloo و همکاران (۲۰۱۶)، برآورد میزان بهینهٔ مالیات سبز بر انتشار دی‌اکسید کربن در صنعت سیمان ایران را انجام دادند که نرخ مالیات سبز بر انتشار دی‌اکسید کربن در صنعت سیمان به‌ازای هر تن تولید برابر با ۱۵ درصد می‌باشد (Hasanloo *et al*., 2016). Najafi Alamdarlo و Shemshad (۲۰۱۸)، به‌برآورد قیمت سایه‌ای CO_2 در مراحل تولید و توزیع گندم ایران پرداخته‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد که قیمت سایه‌ای دی‌اکسید کربن در مراحل تولید و توزیع به‌ترتیب برابر با ۷۶۳۰۰ و ۸۵۲۴۰۰ ریال است (Najafi Alamdarlo and Shemshadi, 2018). Hou و همکاران (۲۰۱۹)، به برآورد قیمت سایه‌ای CO_2 ناشی از سوختن کاه و کلش ذرت در بخش کشاورزی چین با استفاده از تابع مسافت ستاندهٔ جهت‌دار پرداخته‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد، قیمت سایه‌ای هر کیلوگرم CO_2 برابر با ۰/۴۵ یوان و به‌ازای انتشار هر تن، ۷۵ دلار است (Hou *et al*., 2019).

همان‌طور که مشخص است، یکی از دغدغه‌های محققین در داخل و خارج از کشور، برآورد ارزش اقتصادی محیط زیستی فعالیت‌های اقتصادی بوده است. برای رسیدن به این هدف معمولاً از رهیافت تابع مسافت استفاده شده است. از آنجایی که تولید ستادهٔ خوب معمولاً با ستادهٔ بد همراه می‌شود، روش مورد بیان شده، توانایی مناسبی در برآورد ارزش اقتصادی آلودگی‌های ناشی از تولید محصولات

کشاورزی و غیرکشاورزی را دارا می‌باشد. در نهایت این فرآیند می‌تواند در اندازه‌گیری ارزش اقتصادی سبز فعالیت‌های اقتصادی موثر واقع شود. بنابراین با توجه به اهمیت این زیربخش در تولید گازهای گلخانه‌ای، تعهد ایران به پیمان کیوتو و پاریس به‌منظور برآورد و اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای، نبود برآوردی از میزان انتشار این گازها در کشور، بی‌توجهی سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی به گازهای گلخانه‌ای و میزان آن و درنهایت عدم لحاظ آن به‌عنوان هزینه محیط زیستی در فرآیند تولید برنج، لازم است میزان انتشار این گازها برآورد و قیمت سایه‌ای آن محاسبه شود. برآورد هزینهٔ محیط زیستی انتشار متان در مزراع برنج می‌تواند به شفافیت سهم و جایگاه شالی‌کاران در تولید گازهای گلخانه‌ای کمک نماید. این محاسبات می‌تواند در ایجاد انگیزه و هشدارهای لازم برای برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران بخش کشاورزی و سازمان حفاظت محیط زیست به‌منظور توجه بیشتر و استفاده از روش‌های کارآمد جهت کاهش و جلوگیری از انتشار این آلاینده‌ها، مؤثر واقع شود. علاوه بر آن، با استفاده از ابزارهای تشویقی در کوتاه‌مدت و ابزارهای تنبیهی در بلندمدت می‌توان گام‌هایی را برای کاهش تولید و یا جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای برداشت و اقداماتی را برای کاهش آثار زیان‌آور آن بر محیط زیست انسانی انجام داد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، به‌منظور تعیین قیمت سایه‌ای گاز گلخانه‌ای متان، از تابع مسافت ستانده استفاده شد (Aigner and Chu, 1968; Alipoor *et al*., 2015; Najafi Alamdarlo and Shemshadi, 2018). اگر فناوری تولید یک بنگاه به‌صورت P(x) تعریف شود، آنگاه مجموعه بردارهای ستانده ($y \in R_+^M$)، می‌توانند با استفاده از بردار نهاده ($x \in R_+^K$) تولید شوند. در چنین شرایطی، $P(x)$ برابر است با $\{y \in R_+^M : \text{x can produce y}\}$. تابع مسافت ستانده که به‌صورت مجموعه‌ای از ستانده‌ها است، به‌صورت زیر تعریف می‌شود (Shephard, 1970; Fare, 1980):

رابطهٔ ۱

$$D_O(x,y) = min\left\{\theta : \left(\frac{y}{\theta}\right) \in P(x)\right\}$$

در رابطهٔ ۱، $D_O(x,y)$ غیرافزایش، همگن خطی مثبت و محدب نسبت به y و کاهشی نسبت به x می‌باشد. این تابع مقدار کمتر یا مساوی یک به‌خود می‌گیرد، اگر بردار y یک عنصر از مجموعه $P(x)$ باشد. تابع مسافت–ستانده، رویکرد افزایش تولید را برای اندازه‌گیری فاصلهٔ یک تولیدکننده با محدودهٔ امکانات تولید اتخاذ می‌کند. این تابع نشان می‌دهد که یک بردار ستاندهٔ حداقل چه قدر می‌تواند کاهش یابد و همچنان با یک بردار، نهادهٔ معین قابل‌تولید باقی بماند. یکی از روش‌های برآورد پارامترها در توابع مسافت، استفاده از فرم ترانسلوگ است. این فرم در بسیاری از مطالعات قبلی استفاده شده است (Fare *et al*., 1993; Hailu and Veeman, 2000; Park and Lim, 2009). تابع مسافت ستانده با استفاده از شکل تابعی ترانسلوگ به‌صورت زیر است (Fare *et al*., 1993; Hailu and Veeman, 2000):

رابطهٔ ۲

$$\begin{aligned}\ln D(Y^{rt}, X^{rt}, t) = \alpha_0 &+ \sum_{m=1}^{M} \alpha_m \ln Y_m^{rt} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{m'}^{M} \alpha_{mm'} \ln Y_m^{rt} \ln Y_{m'}^{rt} + \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{N}\sum_{n'=1}^{N} \beta_{nn'} \ln X_n^{rt} \ln X_{n'}^{rt} \\ &+ \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} \gamma_{mn} \ln Y_m^{rt} \ln X_n^{rt} + \sum_{n=1}^{N} \beta_n \ln X_n^{rt} + \alpha_t . t + \frac{1}{2}\alpha_{tt} . t^2 \\ &+ \sum_{m=1}^{M} \alpha_{mt} . t . \ln Y_m^{rt} + \sum_{n=1}^{N} \beta_{nt} . t . \ln X_n^{rt}\end{aligned}$$

در رابطهٔ (۲)، x بردار نهاده‌ها را نشان می‌دهد و شامل نیروی کار،سوخت مصرفی، مقدار بذر، مقدار سموم و کود شیمیایی در زراعت محصول برنج برای استان‌های کشور، و Y بردار ستاندهٔ بنگاه را نشان می‌دهد که شامل ستاندهٔ مطلوب، تولید برنج و ستانده نامطلوب، آلاینده هوا (CH_4) می‌باشد که طی دورهٔ موردنظر و به تفکیک استانی تولیدشده‌اند. t: متغیر روند زمانی و شاخص فناوری مورد استفاده در طول دوره، طی سال‌های ۱۳۹۵–۱۳۷۹ است همچنین شاخص r: نشان‌دهندهٔ استان‌های کشور می‌باشد. یکی از راه‌های برآورد مدل فوق، استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی است

(Aigner and Chu, 1968). تلاش اصلی در رهیافت برنامه‌ریزی هدف، برآورد پارامترهایی است که مجموع انحرافات ارزش لگاریتمی تابع فاصله‌ای را از صفر، ماکزیمم می‌کند (Hailu and Veeman, 2000). شرایط یکنواختی، همگنی و تقارن به‌عنوان محدودیت وارد می‌شوند. شکل مسئله بهینه‌سازی به‌صورت زیر است:

$Max_{(\alpha.\beta.\gamma)} \sum_{t=1}^{r} \text{Ln}\, D(Y^{rt}$		رابطهٔ ۳
$s.t.$		
$\text{Ln}\, D(Y^{rt}.X^{rt}.t) \le 0$	t=1,…,8	۱-۳
$\frac{\partial \text{Ln}\, D(Y^{rt}.X^{rt}.t)}{\partial x_n} \le 0$	t=1,…,8 , n=1,…,6	۲-۳
$\frac{\partial \text{Ln}\, D(Y^{rt}.X^{rt}.t)}{\partial Y_m} \ge 0$	t=1,…,8 , m=1	۳-۳
$\frac{\partial \text{Ln}\, D(Y^{rt}.X^{rt}.t)}{\partial u_m} \le 0$	t=1,…,8 , m=1	۴-۳
$\sum_{m=1}^{M} \alpha_m = 1$	m=1	۱-۵-۳
$\sum_{m'=1}^{M} \alpha_{mm'} = 0$	m,m'=1	۲-۵-۳
$\sum_{m=1}^{M} \gamma_{mn} = 0$	m=1 , n=1,…,6	۳-۵-۳
$\alpha_{mm'} = \alpha_{m'm}$	m,m'=1	۱-۶-۳
$\beta_{nn'} = \beta_{n'n}$	n,n'=1,…,6	۲-۶-۳

محدودیت ۳-۱ نشان می‌دهد که باید لگاریتم ارزش تابع مسافت ستانده برآورد شده، کوچک‌تر یا مساوی صفر باشد. محدودیت ۳-۲ شرایط یکنواختی را که باید تابع مسافت در مورد نهاده‌ها غیر افزایشی باشد، تحمیل می‌کند. محدودیت ۳-۳ نشان می‌دهد که نیاز است تابع، یک تابع غیر کاهشی از ستانده‌های مطلوب باشد؛ درحالی‌که محدودیت ۳-۴ تضمین می‌کند که تابع مسافت ستانده در مورد ستانده‌های نامطلوب غیر افزایشی باشد. وجود قیدهای سوم و چهارم برای ترکیب عدم تقارن اساسی بین ستانده‌های مطلوب و نامطلوب برای تعین فناوری تولید مورد نیاز است. عبارت فوق بدین‌معناست که حذف ستانده‌های مطلوب از چرخهٔ تولید به‌راحتی امکان‌پذیر و کنترل آلودگی هزینه‌بر است. محدودیت‌های ۳-۵-۱، ۳-۵-۲ و ۳-۵-۳، همگنی خطی را در ستانده‌های تابع و محدودیت‌های ۳-۶-۱ و ۳-۶-۲، وضعیت تقارن پارامترها را برای شکل تابعی ترانسلوگ تضمین می‌کند. در مدل بهینه‌سازی فوق، ارزش سایه‌ای آلودگی از طریق رابطهٔ ۴ به‌دست می‌آید (Fare *et al.*, 1993):

رابطهٔ ۴

$$P_b^{rt} = P_g^{rt} * \left[\frac{\frac{\partial D_0(X,Y)}{\partial Y_b}}{\frac{\partial D_0(X,Y)}{\partial Y_g}}\right]$$

در رابطهٔ ۴، P_b، ارزش سایه‌ای ستاندهٔ نامطلوب و P_g، ارزش سایه‌ای ستاندهٔ مطلوب است. در این رابطه، صورت کسر در واقع مشتق تابع رابطهٔ ۲ نسبت به ستاندهٔ نامطلوب و مخرج آن مشتق نسبت به ستانده مطلوب است. حاصل این کسر را می‌توان در قیمت بازاری برنج ضرب کرد و درنهایت ارزش (قیمت) سایه‌ای را برای ستاندهٔ نامطلوب (متان) به‌دست آورد. برای برآورد تابع فوق، از اطلاعات تولید برنج ۸ استان عمدهٔ تولیدکننده شامل گیلان، مازندران، اصفهان، خوزستان، فارس، کهگیلویه و بویراحمد، گلستان و لرستان در بازهٔ سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۵ استفاده شده است. آمار مورد نیاز نیز از سایت آماری وزرات جهادکشاورزی گردآوری شده‌اند.

نتایج و بحث

در این مطالعه، ابتدا قیمت سایه‌ای متان ناشی از تولید برنج در زمین‌های غرقابی که به‌صورت سنتی کشت می‌شوند؛ محاسبه شده است. سپس دو روش آبیاری تناوبی و خشکه‌کاری به‌منظور کاهش آلایندهٔ متان پیشنهاد شده است و قیمت سایه‌ای آن با استفاده از تابع مسافت به‌دست آمد. در ادامهٔ نتایج، این دو سناریو با روش غرقابی برنج (سناریو اول) مقایسه شد. پژوهش‌های مختلفی در مورد مقدار متان متصاعد شده در یک هکتار برنج انجام شده که اکثر آن‌ها مقدار مشابهی به دست آورده‌اند. Zalaghi و Landi (۲۰۰۹)، به‌طور متوسط ۲/۲۲ میلی‌گرم متان بر مترمربع در روز برای مزارع برنج به دست آورده است. Pathak و

جدول ۱- مطالعات پیشین مربوط به مقایسهٔ روش آبیاری تناوبی و آبیاری غرقابی

مطالعات	روش آبیاری	متان تولیدشده ($Kg\ ha^{-1}$)	Δ ٪ متان	عملکرد ($Kg\ ha^{-1}$)	Δ ٪ عملکرد
Towprayoon و همکاران (۲۰۰۵)	غرقابی	۲۴۴	۰	۴/۳۵	۰
	تناوبی	۱۷۴	−۲۸	۴/۰۷۵	−۶
Mohammadi و همکاران (۲۰۱۵)	غرقابی	–	–	۶/۹۶۳	۰
	تناوبی			۶/۴۳۲	−۷/۶
Pardis و همکاران (۲۰۱۴)	غرقابی	۳۱۵	۰	۶/۸	۰
	تناوبی	۱۱۰	−۶۵	۷/۰۱	۳/۱
Linquist و همکاران (۲۰۱۵)	غرقابی	۱۴۴	۰	۱۰/۲۶	۰
	تناوبی	۷۱/۴	−۵۰	۱۰/۱۷	−۰/۹
Chu و همکاران (۲۰۱۵)	غرقابی	۱۷۴/۳	۰	۹/۱۸۵	۰
	تناوبی	۸۷/۶۵	−۵۰	۹/۴۳	۲/۷
Wang و همکاران (۲۰۱۸)	غرقابی	۵۰۸	۰	۹/۳۴	۰
	تناوبی	۱۸۳	−۶۴	۱۰/۱۲	۸/۴
میانگین	–	–	−۵۱/۴	–	−۰/۰۵

Wessmann (۲۰۰۵)، در بررسی‌های خود در شالیزارهای هند متوسط تصاعد متان را ۱/۰۷ تا ۱/۱ ترا گرم برای ۴۲/۲۵ میلیون هکتار کشت برنج اعلام کرده‌اند که این میزان معادل ۱۹/۵ میلی‌گرم کربن بر مترمربع در روز است. هیئت بین‌المللی بین‌الدولی تغییراقلیم نیز بیان می‌کند که، به‌ازای تولید هر کیلوگرم برنج، ۱۲۰ گرم گاز متان به اتمسفر آزاد می‌شود (IPCC, 2007). همچنین فائو برای هر هکتار برنج کشت‌شده، ۲۱۹/۸ کیلوگرم متان متصاعد شده به‌دست گزارش کرده است (FAO, 2016). در این مطالعه بر اساس متوسط نتایج مطالعات پیشین، مقدار ۲۱۹ کیلوگرم برای هر هکتار برنج در کشت سنتی در نظر گرفته شده است.

کاهش انتشارات متان از زمین‌های زیر کشت برنج، مؤثرترین راه برای کاهش کل انتشار گازهای گلخانه‌ای از تولید برنج است (ZawOo *et al.*, 2018)، و این کار با تغییر مدیریت آب امکان‌پذیر است (Wassmann *et al.*, 2009). برای این منظور چندین تکنیک صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش انتشارات متان وجود دارد که روش کشت خشکه‌کاری و آبیاری تناوبی برنج ازجمله آن روش‌ها هستند (Wang *et al.*, 2018). درروش آبیاری تناوبی پس از غرق آب نمودن زمین، آبیاری قطع شده و تا زمانی که زمین به مرحلهٔ ترک خوردن نرسد آبیاری مجدد صورت نمی‌پذیرد. نتایج برخی از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بسته به شرایط اقلیمی، غرقاب دائم برنج در تمام طول مراحل رشد ضرورت ندارد. در جدول ۱، مطالعاتی که به مقایسه روش آبیاری تناوبی و آبیاری غرقابی پرداخته‌اند، نشان داده شده است. متوسط نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در صورت استفاده از آبیاری تناوبی، مقدار متان منتشر شده ۵۱/۴ درصد و عملکرد محصول ۰/۰۵ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین، در سناریو آبیاری تناوبی فرض می‌شود که استان‌هایی که کشت برنج دارند، از روش آبیاری تناوبی به‌جای آبیاری غرقابی استفاده می‌کنند. کشت مستقیم به‌صورت خشکه‌کاری و با استفاده از بذرهای جوانه‌دار شده[1] در یک زمین خشک همانند گندم به‌صورت دست‌پاش و ردیفی صورت می‌گیرد و با استفاده از تأسیسات تحت فشار آبیاری می‌شود. روش خشکه‌کاری در اکثر نقاط جهان روشی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از شالیزارهای برنج و صرفه‌جوئی در مصرف آب می‌باشد (He, 2010). مطالعات مختلفی نیز در این زمینه انجام شده است که در جدول ۲ گزارش شده است. متوسط نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که در صورت استفاده از این روش، مقدار متان منتشر شده ۵۱/۳۳ درصد

[1] بذر برنج را به مدت ۲۴ ساعت در آب می‌خیسانند تا جوانه بزند.

جدول ۲- مطالعاتی پیشین که به مقایسهٔ کشت خشکه‌کاری با غرقابی پرداخته‌اند

مطالعات	روش کشت	متان تولیدشده ($Kg\ CH_4 ha^{-1}$)	Δ٪ متان	عملکرد ($t\ ha^{-1}$)	Δ٪ عملکرد
Singh و همکاران (۲۰۰۹)	غرقابی	۳۱۵	۰	۶/۸	۰
	خشکه‌کاری	۲۲۰	-۳۰	۶/۶	-۲/۹
Pathak و همکاران (۲۰۰۹)	غرقابی	۶۰	۰	-	-
	خشکه‌کاری	۲۵	-۵۸	-	-
Wang و همکاران (۱۹۹۹)	غرقابی	۲۰۹	۰	۴/۵	۰
	خشکه‌کاری	۷۴	-۷۵	۳/۶	-۲۰
Setyanto و همکاران (۲۰۰۰)	غرقابی	۵۹	۰	۴/۹	۰
	خشکه‌کاری	۲۶	-۵۶	۴/۴	-۱۰
Ishibashi و همکاران (۲۰۰۷)	غرقابی	۲۷۱	۰	-	-
	خشکه‌کاری	۱۲۹	-۵۲	-	-
Ko و kang (۲۰۰۰)	غرقابی	۴۲۴	۰	۵/۳۹	۰
	خشکه‌کاری	۲۶۹	-۳۷	۵/۲۸	-۲
میانگین			-۵۱/۳۳		-۸/۷

و عملکرد محصول ۸/۷ درصد کاهش می‌یابد. خشکه‌کاری در مازندران و گیلان به‌علّت جنس و بافت خاک و شرایط خاص آب و هوایی مناسب نبوده و بیشتر برای استان‌های جنوبی کشور مناسب است که دارای شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک هستند. در سال‌های اخیر طرح‌های تحقیقاتی در خصوص خشکه‌کاری در استان‌های ازجمله خوزستان و گلستان به‌اجرا درآمده که با استقبال چشمگیر کشاورزان نیز روبه‌رو شده است. بنابراین، در سناریو خشکه‌کاری فرض می‌شود که کشت برنج در تمام استان‌های کشور به‌جز استان‌های گیلان و مازندران به‌صورت خشکه‌کاری انجام می‌شود و این دو استان نیز از روش آبیاری تناوبی استفاده می‌کنند.

پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز، پارامترهای تابع مسافت ستانده، از طریق برنامه‌ریزی خطی و با استفاده از نرم‌افزار GAMS برای سناریو پایه (روش غرقابی) سناریو آبیاری تناوبی و خشکه‌کاری، برآورد گردید.

برآورد قیمت سایه‌ای متان: پس از برآورد تابع فاصله‌ای ستانده و پارامترهای آن (اطلاعات جدول‌های ۱ و ۲)، قیمت سایه‌ای آلایندهٔ متان محاسبه شد. قیمت‌های سایه‌ای، هزینهٔ نهایی کنترل آلودگی را برای منتشرکننده اندازه‌گیری می‌کند. قیمت‌های سایه‌ای برای هر استان به‌تفکیک و به‌طور متوسط با استفاده از نسبت وزنی برای کل کشور در سناریوهای مورد بررسی محاسبه گردید. سپس هزینه‌های محیط زیستی ناشی از تولید و انتشار گاز گلخانه‌ای متان در سطح محلی و ملی محاسبه شد (جدول ۳).

هزینهٔ نهایی کنترل گازهای گلخانه‌ای و آلاینده بدین معنی است که کنترل و جلوگیری از انتشار یک واحد بیشتر از این آلاینده‌ها به چه میزان دارای هزینه است. به‌عبارت‌دیگر، کاهش آلاینده‌های مورد نظر به چه میزانی منجر به افزایش کیفیت هوای محیط خواهد شد. بنابراین هر چه کیفیت هوای مورد نظر بهتر باشد، به‌منظور افزایش بیشتر آن، هزینه‌های بیشتری مورد نیاز است. به‌عبارت‌دیگر، هزینهٔ نهایی افزایش کیفیت هوای محیط به کیفیت موجود آن بستگی دارد. به‌طور مثال، در شرایطی که هوای محیط به‌دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای و یا آلاینده بسیار آلوده باشد، در مراحل ابتدایی کنترل آلودگی، برای افزایش کیفیت هوای محیط به هزینه‌های کمتری نیاز است. بنابراین، با افزایش حجم آلاینده‌های محیط زیستی، هزینه‌های نهایی کنترل کاهش می‌یابد. با توجه به این تفاسیر، استان‌های که آلودگی کمتری تولید کرده‌اند دارای هزینهٔ نهایی کنترل بیشتری می‌باشند.

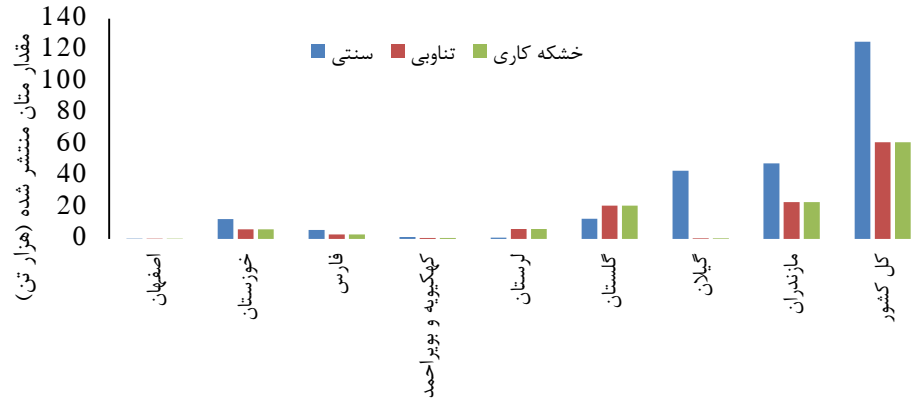
جدول ۳- نتایج برآورد هزینهٔ کنترل آلودگی

استان		مقدار تولید برنج (kg)	قیمت سایه‌ای متان (ریال)	مقدار انتشار آلودگی (تن)	هزینه محیط زیستی میلیون (ریال)
روش سنتی (غرقابی)	اصفهان	۱۵۹۰۵	۱۳۸۵۷	۲۱۱	۱۰۶۷
	خوزستان	۱۵۳۳۸۶	۳۵۰۸	۱۲۷۲۰	۶۴۳۱۲
	فارس	۶۸۸۸۸	۵۰۸۲	۵۸۳۳	۲۹۴۹۲
	کهکیلویه و بویراحمد	۱۷۹۶۷	۱۹۹۳۸	۱۳۳۷	۶۷۶۰
	لرستان	۱۰۱۷۹	۴۴۹۹۱	۸۶۳	۴۳۶۳
	گلستان	۱۸۶۵۱۶	۱۶۷۱۶	۱۲۹۸۱	۳۲۶۵۶
	گیلان	۳۶۹۰۵۸	۴۶۶۵	۴۳۳۱۸	۲۱۹۰۱۶
	مازندران	۷۵۹۹۸۸	۱۸۰۴	۴۷۹۸۱	۲۴۲۵۹۲
	کل کشور	۲۲۶۰۹۹۰	۵۰۵۶	۱۲۵۲۴۴	۶۳۳۲۴
آبیاری تناوبی	اصفهان	۱۵۹۰۵	۲۱۵۸۰	۱۰۴	۶۰۲
	خوزستان	۱۵۳۳۸۶	۳۳۵۵	۶۲۳۳	۳۶۲۰۱
	فارس	۸۶۸۸۸	۶۷۴۱	۲۸۵۸	۱۶۶۰۱
	کهکیلویه و بویراحمد	۱۷۹۶۷	۲۰۸۰۹	۶۵۵	۳۸۰۴
	لرستان	۱۰۱۷۹	۳۷۸۹۳	۶۳۶۱	۲۴۵۷
	گلستان	۱۸۶۵۱۶	۲۰۲۱۷	۲۱۲۲۶	۳۶۹۴۴
	گیلان	۳۶۹۰۵۸	۵۱۷۱	۴۲۳	۱۲۳۲۷۷
	مازندران	۷۵۹۹۸۸	۲۱۳۵	۲۳۵۱۱	۱۳۶۵۸۴
	کل کشور	۲۲۶۰۹۹۰	۵۸۰۸	۶۱۳۷۰	۳۵۶۴۳۴
خشکه‌کاری	اصفهان	۲۵۶۳۱	۲۱۵۴۹	۱۰۴	۵۹۴
	خوزستان	۲۱۹۵۲۷	۳۳۱۴	۶۲۳۳	۳۵۷۵۹
	فارس	۱۲۲۵۸۸	۶۷۲۱	۲۸۵۸	۱۶۳۹۹
	کهکیلویه و بویراحمد	۲۰۶۵۲	۲۰۸۳۴	۶۵۵	۳۷۵۸
	لرستان	۱۵۵۴۴	۳۷۹۶۹	۶۳۶۱	۲۴۲۷
	گلستان	۱۹۸۳۵۸	۱۹۹۲۸	۲۱۲۲۶	۳۶۴۹۲
	گیلان	۵۶۷۴۶۱	۵۰۶۴	۴۲۳	۱۲۱۷۷۲
	مازندران	۸۹۴۵۲۳	۲۱۱۵	۲۳۵۱۱	۱۳۴۸۸۰
	کل کشور	۲۰۶۴۲۸۴	۵۷۳۷	۶۱۳۷۰	۳۵۲۰۸۱

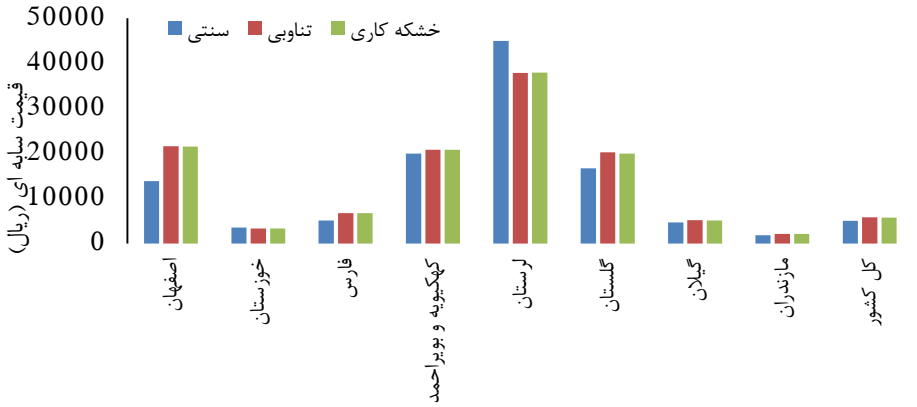
منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به جدول ۴، استان مازندران با تولید تقریباً ۴۸ هزار تن گاز متان دارای کمترین هزینه آلودگی به میزان ۱۸۰۴ ریال است و بیشترین هزینهٔ محیط زیستی به میزان ۲۴۲۵۹۲ ریال به جامعه تحمیل می‌کند. استان لرستان نیز با قیمت سایه‌ای ۴۴۹۹۱ ریال دارای بیشترین هزینهٔ سایه‌ای آلودگی متان است. متوسط قیمت سایه‌ای آلاینده متان برای کل کشور در سال ۹۵ برای سناریو غرقابی برابر با ۵۰۵۶ ریال است که با گرفتن نسبت وزنی از استان‌ها به‌دست آمد. همچنین کل شالیزارهای کشور در این سال، با تولید ۱۲۵۲۴۴ تن گاز متان ۶۳۳/۲۴۴ میلیارد ریال هزینه به محیط زیست وارد کرده‌اند.

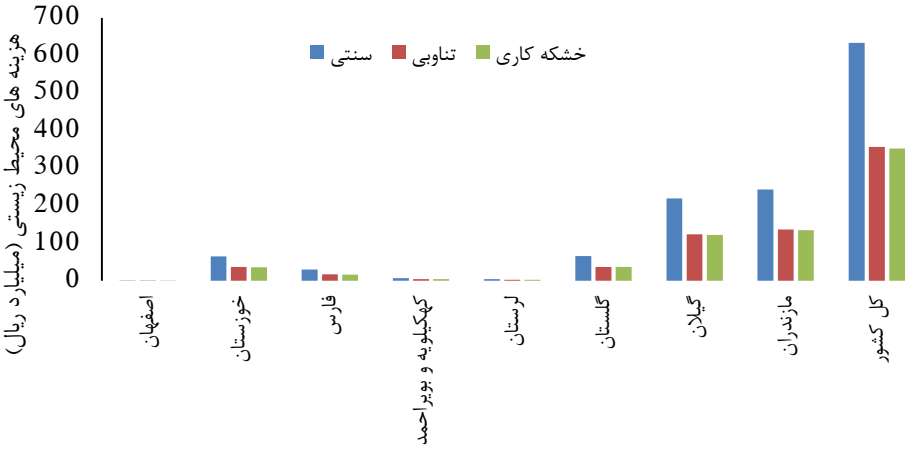
در سناریو آبیاری تناوبی، کاهش آلایندهٔ متان باعث افزایش



نمودار الف) مقدار متان منتشر شده



نمودار ب) قیمت سایه‌ای



نمودار ج) هزینهٔ محیط زیستی

شکل ۱- اثر سناریوهای اعمال شده بر الف) قیمت سایه‌ای ب) مقدار انتشار متان ج) هزینه‌های محیط زیستی

قیمت سایه‌ای شده است به‌گونه‌ای که قیمت سایه‌ای یک کیلوگرم آلاینده متان برای کل کشور به‌طور متوسط برابر با ۵۸۰۸ ریال است. این سناریو باعث کاهش ۵۰ درصدی در مقدار انتشار آلایندهٔ متان در استان‌ها شده است به‌طوری که استان مازندران با تولید ۲۳۵۱۱ تن متان دارای قیمت سایه‌ای ۲۱۳۵ ریال است. استان لرستان نیز با کمترین تولید آلاینده، بیشترین قیمت سایه‌ای را داشته است. آبیاری تناوبی با کاهش ۴۴ درصدی در هزینه‌های محیط زیستی نسبت به روش غرقابی، جمعاً ۳۵۶/۴۳۴ میلیارد ریال هزینه به محیط زیست تحمیل می‌کند.

روش خشکه‌کاری به‌دلیل کاهش ۵۱ درصدی در میزان انتشار متان از زمین‌های زیر کشت برنج، هزینه‌های کمتری به محیط زیست وارد می‌کند. این هزینه‌ها با کاهش ۴۴ درصدی برابر با ۳۵۲/۰۸۱ میلیارد ریال است. قیمت سایه‌ای هر کیلوگرم متان در سناریو خشکه‌کاری به‌طور متوسط برابر با ۵۷۳۷ ریال است استان‌های مازندران و لرستان به‌ترتیب کمترین و بیشترین سهم را در ایجاد هزینهٔ نهایی کنترل گازهای گلخانه‌ای به‌خود اختصاص داده‌اند. تغییرات مربوط به قیمت سایه‌ای، مقدار انتشار آلایندهٔ متان و هزینه‌های محیط زیستی به‌صورت نمودارهای (الف) تا (ج) در شکل ۱ نشان داده شده است.

براساس نمودار (الف)، استان لرستان و مازندران به‌ترتیب بیشترین و کمترین قیمت سایه‌ای را در تمامی سناریوها دارا می‌باشند. قیمت سایه‌ای کل کشور نیز در سه سناریو با اختلاف بسیار کمی در رنج ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ ریال قرار دارند. نمودار مربوط به سناریوهای تناوبی و خشکه‌کاری به‌علّت اختلاف ناچیز در اعداد بر یکدیگر منطبق شده‌اند. نمودار (ب) نشان می‌دهد که مقدار کل متان منتشر شده از زمین‌های زیر کشت برنج در سناریو کشت سنتی دو برابر بیشتر از روش‌های تناوبی و خشکه‌کاری است. از این‌رو، هزینه‌های محیط زیستی در روش سنتی برای کل کشور دو برابر بیشتر از روش‌های آبیاری تناوبی و خشکه‌کاری است که در قالب نمودار (ج) نشان داده شده است. بنابراین، کنترل آلایندهٔ متان از زمین‌های کشاورزی به‌طریق مختلفی امکان‌پذیر است. با توجه به مفهوم هزینهٔ نهایی، کاهش میزان این آلاینده‌ها در جو باعث افزایش قیمت سایه‌ای آن می‌شود به گونه‌ای که در روش آبیاری تناوبی با افزایش ۱۵ درصدی، قیمت سایه‌ای متان از ۵۰۵۶ ریال به ۵۸۰۸ ریال و در روش خشکه‌کاری قیمت سایه‌ای ۱۳ درصد نسبت به روش غرقابی افزایش پیدا کرده است.

نکتهٔ مهمی که بایستی به آن اشاره شود در رابطه با هزینه‌های کنترل آلاینده‌های بخش کشاورزی است که مرتبط با تولیدکنندگان برنج است. به‌عبارت دیگر، درصورتی‌که شالی‌کاران به هر طریقی اقدام به کنترل گازهای گلخانه‌ای نمایند، متحمل خسارات و زیان‌هایی خواهند شد. خسارات وارده بر شالی‌کاران به‌دلیل کنترل آلودگی به‌معنی ایجاد منفعت محیط زیستی برای سایر اقشار جامعه است.

نتیجه‌گیری

گرمایش جهانی به‌عنوان یکی از پیامدهای تجمع گازهای گلخانه‌ای بی شک از مهم‌ترین چالش‌های محیط زیستی در جهان، به‌ویژه خاورمیانه است. بنابراین، ارائه الگوهایی برای بررسی ارتباط بین فعالیت‌های اقتصادی و محیط زیستی امری اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین با توجه به اهمیت روزافزون انتشار متان، قیمت سایه‌ای این آلاینده به‌منظور تعیین زیان حاصل از انتشار آن در تولید برنج به تفکیک استانی برای سال ۱۳۹۵ برآورد شده است. برای این منظور پس از تعیین میزان انتشار متان ناشی از تولید هر تن برنج، تابع مسافت ستانده برآورد گردید. از آنجا که گاز متان در شرایط بی هوازی و در زمین‌های زیر کشت برنج تولید می‌شود، با توجه به مطالعات انجام شده در این زمینه، روش‌های آبیاری تناوبی و خشکه‌کاری از جمله روش‌های کاهش آلاینده‌ها می‌باشند. بنابراین در قالب سناریوهای جداگانه ابتدا مقدار انتشار متان در هر یک از این روش‌ها محاسبه و سپس قیمت سایه‌ای آن محاسبه شد.

نتایج بیانگر آن است که هزینهٔ فرصت کاهش یک کیلوگرم آلایندهٔ متان در سناریوهای غرقابی، تناوبی و خشکه‌کاری به‌طور متوسط برای کل کشور به‌ترتیب برابر با ۵۰۵۶، ۵۸۰۸ و ۵۷۳۷ ریال است. بنابراین بر اساس آن، به‌طور متوسط در استان‌های مورد مطالعه، به‌ازای تولید هر تن برنج در هر یک از سناریوهای غرقابی، تناوبی و خشکه کاری، خسارتی معادل با ۳۵۶،۶۳۳ و ۳۵۲ میلیارد ریال بابت انتشار متان به محیط زیست وارد می‌شود. به لحاظ شرایط آب و هوایی، کشت برنج در تمامی استان‌های کشور ممکن نیست و اغلب، تولید این محصول در شمال کشور صورت

می‌گیرد. بنابراین، استان‌های مازندارن و گیلان در تمامی سناریو ها به‌ترتیب رتبه‌های اول و دوم را در میزان تصاعد گاز متان دارا می‌باشند. همچنین هزینه‌های محیط زیستی این دو استان عدد قابل ملاحظه‌ای است و این موضوع می‌تواند مزیتی برای کاهش و جلوگیری از تصاعد بیشتر آلایند متان باشد.

یافته‌های این مطالعه نشان داد که در صورت جایگزینی روش آبیاری تناوبی و خشکه‌کاری با روش غرقابی، هزینه‌های محیط زیستی وارد شده به کشور نصف خواهد شد. به‌عبارتی دیگر، روش‌های آبیاری تناوبی و خشکه‌کاری می‌توانند جایگزین مناسبی به جای روش سنتی در جهت کاهش آلاینده‌ها باشند. همچنین با توجه به اینکه تولید محصول برنج هزینه‌هایی را از طریق انتشار گاز گلخانه‌ای متان به محیط زیست تحمیل می‌کند، پیشنهاد می‌شود دولت روش کشت و آبیاری همچون آبیاری تناوبی و خشکه‌کاری را در دستور کار قرار دهد.

References

Aigner, D.J., Chu, S.F., 1968. On Estimating the Industry Production Function. American Economic Review 58, 826- 839.

Alipour, A.R., Mosavi, S.H., Khalilian, S., 2015. Environmentally Subsidies, an Approach to Control Greenhouse and Pollutants Gases in the Economic Sectors of Iran (Case Study: Agricultural Sector). Agricultural Economics & Development 23(90), 165-189. (In Persian)

Chu, G., Wang, Z., Zhang, H., Liu, L., Yang, J., Zhang, J., 2015. Alternate wetting and moderate drying increases rice yield and reduces methane emission in paddy field with wheat straw residue incorporation. Food and Energy Security 4, 238-254.

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

Dawe, D., Seckler, D., Barker, R., 1998. Water supply and research for food security in Asia. Proceedings of the Workshop on Increasing Water Productivity and Efficiency in Rice- Based Systems, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, 5 July.

FAO. 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO), http://apps.fao.org.

Fare, R., 1980. Fundamentals of Production Theory, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Berlin, Springer-Verlag

Fare, R., Grosskopf, S., Lowell, C., Yaisawarng S., 1993. Derivation of Shadow Prices for Undesirable Outputs: A Distance Function Approach. Review of Economics and Statistics 75, 374-380.

Ghorbani, M., Jamalipour, M., Koocheki, A., Matlabi, M. 2009. Estimated Environmental Cost of Greenhouse Gas Emissions in Mashhad Dairy Farms. Agricultural Economics & Development 17(66), 43-63. (In Persian)

Hailu, A., Veeman, T.S., 2000. Environmentally Sensitive Productivity Analysis of the Canadian Pulp and Paper Industry, 1959-1994: An Input Distance Function Approach; Journal of Environmental Economics and Management (40), 251-274.

Hassanlo, S., Khalilian, S., Amirnejad, H., 2016. The Estimation of Optimum Green Tax on Emission of CO2 by Cement Industry in Iran. 6(12), 39-50. (In Persian)

He, C., 2010. Effects of furrow irrigation on the growth, production, and water use efficiency of direct sowing rice. The Scientific World Journal 10, 1483-1497.

Hou, L. KeskeT C. Hoag, D. Balezentis, T., Wang, X., 2019. Abatement costs of emissions from burning maize straw in major. Journal of Cleaner Production 208, 178-187.

IPCC, 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

IPCC, 2007. Climate change 2007: couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter7pdf.

IPCC, 2014. Fifth Assessment Report, 2014 (AR5). Global warming potential values. Greenhouse Gas Protocol.

Ishibashi, E., Yamamoto, S., Akai, N., Tsuruta, H., 2007 The influence of no-tilled direct seeding cultivation on greenhouse gas emissions from rice paddy fields in

Okayama, Western Japan. 4. Major factors controlling nitrous oxide emission from rice paddy fields under no-till direct seeding cultivation. Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition (78), 453-463.

Jamalipor, M., Ghorbani, M., Koocheki, A.R., 2015. Estimating the Economic Value of Greenhouse Gases Emissions of Oilseeds in Iran. Agricultural Economics & Development 29(3), 224-241. (In Persian)

Ko, J.Y., Kang, H.W., 2000. The effects of cultural practices on methane emission from rice fields. Nutrient cycling in Agroecosystem 58, 311-314.

Lee, M., Zhang, N., 2012. Technical efficiency, shadow price of carbon dioxide emissions, and substitutability for energy in the Chinese manufacturing industries. Energy Economics 34(5), 1492-1497.

Linquist, A., Anders, M., Adviento-Borbe, A., Chaney, L., Nalley, L., DaRosa, F., 2015. Van Kessel, Reducing greenhose gas emissions, water use, andgrain arsenic levels in rice systems, Global Change Biology (21), 407-417.

Mohammadi, S., Nahvi, M., Mohadesi, A. 2015. The effect of irrigation interval on vegetative different stage on yield and yield component in rice line and varieties. Applied Field Crops Research 28(107), 108-114. (In Persian)

Najafi Alamdarlo H., Shemshadi, K., 2018. Estimation the Shadow Price of Pollution in Iran's Wheat Production and Distribution Chain. Journal of Environmental Studies 44(1), 85-98. (In Persian)

Pardis, F., Hasfalina, M., 2014. Comparison of Methane Emission from Conventional and Modified Paddy Cultivation in Malaysia. Agriculture and Agricultural Science Procedia 2, 272-279.

Park, H., Lim, J., 2009. Valuation of Marginal CO2 Abatement Options for Electric Power Plants. Energy Policy 37, 1834-1841.

Pathak, h., Li, C., Wassmann, R., 2005. Greenhouse Gas Emissions from Indian Rice Fields: Calibration and Upscaling Using the DNDC Model. Bio Geosciences Discussions 2, 77-102 .

Pathak, H., Saharawat, Y.S., Gathala, M.K., Mohanty, S., Ladha, J.K., 2009. Simulating environmental impact of resource conserving technologies in the rice-wheat system of the Indo-Gangetic Plains. International Rice Research Institute pp. 321-333.

Pathak, H., Wassmann, R., 2007. Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of technical coefficients. Agricultural System 94, 807-825.

Setyanto, P., Makarim, A.K., Fagi, A.M., Wassmann, R., Buendia, L.V., 2000. Crop management affecting methane emissions from irrigated and rainfed rice in Central Java (Indonesia). Nutrient Cycling in Agroecosystems 58, 85-93.

Shephard, W., 1970. Theory of Cost and Production Functions, Princeton, Princeton University Press.

Signor, D., Cerri, C., Conant, R., 2013. N2O emissions due to nitrogen fertilizer applications in two regions of sugarcane cultivation in Brazil. Environmental Research Letters 8, 015013.

Singh, S.K., Bharadwaj, V., Thakur, T.C., Pachauri, S.P., Singh, P.P., Mishra, A.K., 2009. Influence of crop establishment methods on methane emission from rice fields. Current Science (97), 84-89.

Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., 2007. Agriculture Climate Change: Mitigation. In Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Talib, S., Suptian, M., Rahman, M., Bakar, N., Fauzi, J., Azmin, M., Ghani, M., 2018. Greenhouse Gas Emissions: Historical and Projected Methane Emissions from Rice Cultivation in Malaysia (1990-2030). Research in Agriculture 3(1), 19-30.

Towprayoon. S., Smakgahn. K., Poonkaew, S., 2005. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from drained irrigated rice fields. Chemosphere 59, 1547-1556.

Velayati, S., Kadivar, A.A., 2006. Environmental problems of forests and pastures in Iran and the consequences. Journal of Geography and Regional Development 7(2), 53-72. (In Persian)

Wang, B., Xu, Y., Wang, Z., Li, Z., Guo, Y., Shao, K., Chen, Z., 1999. Methane emissions from rice fields affected by organic amendment, water regime, crop establishment, and rice cultivar.

Environmental Monitoring Assessment (57), 213-228.

Wang, Z., Gu, D., Beebout, S., Zhang, H., Liu, L., Yang, J., Zhang, J., 2018. Effect of irrigation regime on grain yield, water productivity, and methane emissions in dry direct-seeded rice grown in raised beds with wheat straw incorporation. The Crop Journal 6, 495-508.

Wassmann, R., Hosen, Y., Sumûeth, K., 2009. Reducing methane emissions from irrigated rice. In: Agriculture and Climate Change: An Agenda for Negotiation in Copenhagen: Ed: Nelson, G.C. International Food Policy Research Institute.

Zalaghi, R., Landi, A., 2009. Valuation Carbonic Greenhouse Gasses Emission and Organic Carbon Balance frome Soils under Current Agricultural Land Used. Journal of Applied Sciences 9(12), 2307-2312.

ZawOo, A., Sudo, S., Inubushi, K., Mano, M., Yamamoto, A., Ono, K., Osawa, T., Hayashida, S., Patra, P., Terao, Y., Elaykumar,, P. Vanitha,, K. Umamageswari, G., Jothimani, P., Ravi.V., 2018. Methane and nitrous oxide emissions from conventional and modified rice cultivation systems in South India. Agriculture, Ecosystems and Environment 252, 148-158.

Zhou, P., Zhou, X., Fan, W., 2014. Marginal CO_2 abatement costs: Findings from alternative shadow price estimates for shanghai industrial sectors. Energy Policy (77), 109-117.

Original Article

Journal of Natural Environment 75(Special Issue): 107-120 (2023)
Print ISSN: 2008-7764/Online ISSN: 2423-7817
https://jne.ut.ac.ir/

Evaluation of the shadow price of methane emissions in alternative methods of rice cultivation

Nezam Zakaryaee, Hamed Najafi Alamdarlo*, Seyed Habibollah Mosavi

Department of Agricultural Economic, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

*Corresponding author: hamed_najafi@modares.ac.ir

Abstract

Global warming and climate changes have reached a warning level due to greenhouse gas emissions in the atmosphere. One of the most effective gases in global warming is methane and rice paddy fields is one of the most important sources of CH4 emission. In addition, rice paddies release 22% of total methane in agriculture sector. Techniques for cultivation and management water, can help reduce the emission of this greenhouse gas. In this study, using the data of 2016, the environmental costs of greenhouse gas emissions of rice yield in three scenarios (traditional cultivation or flood irrigation, periodic irrigation and dry direct-seeded) has been estimated by using stochastic frontier of output-distance. Based on the results, the environmental costs of the annual greenhouse gas emissions of the country's rice fields in the traditional, periodic irrigation and dry direct-seeded methods are equal to 633, 356 and 352 billion Rials, respectively. Also, the shadow price of methane per kg in these scenarios was calculated to be 5056, 5808, and 5737 rials, respectively. The findings of this study showed that periodic irrigation and dry direct-seeded methods could be an alternative to traditional methods to reduce pollutants and environmental costs. On the other hand, policies must be taken to achieve sustainable development and environmental protection through the internalization of these costs.

Keywords: Rice, Input Distance Function, Methane, Shadow price, Environmental abatement Cost