



ارزیابی ردپای محیط‌زیستی تولید ارقام برنج ایرانی تحت اثر مدیریت مصرف NPK

حسن جعفری^۱، حسین عجم نوروژی^{۲*}، محمدرضا داداشی^۳، افشین سلطانی^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

۳- استادیار گروه زراعت، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

۴- استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۸

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی ردپای محیط‌زیستی تولید ارقام برنج ایرانی تحت اثر مدیریت مصرف NPK، در مزرعه‌ای واقع در استان مازندران، شهرستان ساری طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجرا گردید. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. پنج شیوه‌ی مدیریت مصرف مقادیر مختلف کودهای شیمیایی شامل: مصرف ۲۵۰ کیلوگرم کود شیمیایی نیتروژن + ۱۵۰ کیلوگرم فسفر + ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار ($N_{250}P_{150}K_{150}$)؛ مصرف توأم ۲۰۰ کیلوگرم کود شیمیایی نیتروژن + ۱۰۰ کیلوگرم فسفر + ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار ($N_{200}P_{100}K_{100}$)؛ مصرف توأم ۱۵۰ کیلوگرم کود شیمیایی نیتروژن + ۷۵ کیلوگرم فسفر + ۷۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار ($N_{150}P_{75}K_{75}$)؛ مصرف توأم ۱۰۰ کیلوگرم کود شیمیایی نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم فسفر + ۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار ($N_{100}P_{50}K_{50}$) و تیمار شاهد یا عدم مصرف کود ($N_0P_0K_0$) به‌عنوان عامل اصلی و ارقام محلی برنج (سنگ طارم و طارم هاشمی) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد میانگین مقدار تقاضای انرژی تجمی و تقاضای اکسرژی تجمی به‌ترتیب برابر ۱۱۵۴۹/۷۸ و ۱۳۴۴۳/۰۸ مگاژول بود که با افزایش مصرف NPK هر دو شاخص رده اثر، روند کاهشی را نشان داد. ردپای بوم‌شناختی برابر ۱۱۹۰/۸۰ متر مربع در سال بوده که انتشار دی‌اکسید کربن بالاترین اثر را بر ردپای بوم‌شناختی نشان داد. میانگین شاخص رده اثر، تخلیه منابع غیر زنده برابر ۱۲/۴۴ کیلوگرم معادل انتیموان (Sb)، اسیدی شدن (۳/۱۵ کیلوگرم معادل SO_2)، یوتریفیکاسیون (۲/۳۳ کیلوگرم معادل PO_4)، بدبویی هوا (۷۲۹۵۷۳۳ مترمکعب هوا)، مسمومیت رسوبات آب‌های شیرین (۷۵/۷۹ کیلوگرم معادل DB-۱،۴)، مسمومیت رسوبات دریایی (۱۱۶/۱۱ کیلوگرم معادل DB-۱،۴) بود که تمامی این شاخص‌ها با افزایش مصرف نیتروژن کاهش یافتند. میانگین پتانسیل گرمایش جهانی طی دوره ۲۰ و ۵۰۰ ساله به‌ترتیب برابر ۳۹۹/۲۰ و ۳۸۲/۹۷ کیلوگرم معادل CO_2 بود. دو شاخص رده‌اثر مسمومیت انسان و مسمومیت خشکی طی سه دوره ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال با افزایش زمان از ۲۰ به ۵۰۰ سال معادل ۰/۴۲ و ۱۴/۷۰ درصد افزایش نشان دادند. تمامی آلاینده‌های انتشار یافته به و هوا آب با افزایش مقدار NPK روند کاهشی را نشان دادند. انتشار نیترات به خاک، فلزات به خاک و تقاضای اکسیژن شیمیایی با افزایش مقدار NPK کاهش یافتند. با مقایسه گروهی بین مقادیر مختلف مقدار NPK می‌توان بیان کرد علت اصلی تغییرات میزان آلاینده‌ها، بالاتر بودن مقدار خروجی (عملکرد) در مقابل ورودی‌ها بود. بنابراین، کاهش انتشار آلاینده‌ها با افزایش مقدار نیتروژن می‌تواند به‌دلیل افزایش عملکرد باشد. با توجه به یافته‌های این تحقیق، کاربرد تیمار $N_{150}P_{75}K_{75}$ گزینه مناسب‌تری جهت بهبود تولید ارقام برنج همراه با کاهش میزان مصرف کودهای شیمیایی و متعاقب آن کاهش هزینه‌های کودی و خسارت‌های محیط‌زیستی است.

واژه‌های کلیدی: برنج، نیتروژن، انتشار فلزات سنگین، ردپای بوم‌شناختی، پتانسیل گرمایش جهانی

مقدمه

به دلیل عدم رعایت مصرف بهینه کود و نیز عدم توجه به مسائل محیط زیستی، کاربرد نامتعادل این نهاده‌ها پیامدهایی منفی به همراه داشته است که از آن جمله می‌توان به تجمع نیترات در آب‌های زیرزمینی و انباشت کادمیم در خاک‌های شالیزار و دانه برنج اشاره کرد (امینی و جهانشاهی، ۱۳۹۰). افزایش قابل ملاحظه عملکرد در دهه‌های اخیر نیز از طریق افزایش مصرف نهاده‌های شیمیایی و سایر نهاده‌های زراعی بوده است. در دو دهه گذشته، منافع حاصل از این استراتژی با افزایش هزینه اقتصادی و خسارت محیط زیستی کاهش یافته است. پدیده تغییر اقلیم و گرم شدن جهانی نیز یکی از بحران‌هایی است که در نتیجه این استراتژی به وجود آمده و توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. بنابراین، بررسی مدیریت مصرف کودهای شیمیایی در تولید برنج در هر منطقه و ایجاد تغییرات بهینه در محیط رشد گیاه برای افزایش بهره‌وری و کاهش انتشار آلاینده‌های محیط زیستی ناشی از آن دارای اهمیت بالایی است (دستان، ۱۳۹۱).

در چند دهه اخیر مصرف نهاده‌های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب معضلات محیط زیستی عدیده‌ای از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی، کاهش تنوع زیستی و افزایش فرسایش ژنتیکی، ایجاد مقاومت در آفات و بیماری‌های گیاهی و کاهش میزان حاصل‌خیزی خاک شده است (دستان، ۱۳۹۱). بر اساس نتایج مطالعات ده ساله، در استان مازندران به دلیل سنتی بودن شیوه تولید محصولات زراعی، هدر رفت منابع آب و خاک بسیار بالاست. به‌طور متوسط ۹۶ درصد از کودهای مصرفی در این استان را کودهای نیتروژن و فسفر تشکیل داده‌اند که نشان می‌دهد نسبت مصرف کودها نامتوازن می‌باشد. فشار روز افزون برای درآمد بیشتر و جبران هزینه‌های تولید غیراقتصادی موجب خستگی خاک و استفاده از کودها و سموم شیمیایی باعث آلودگی آب و خاک و برهم خوردن تعادل بوم‌نظام‌ها را موجب شده است (امینی و جهانشاهی، ۱۳۹۰). وجود کاربرد کودهای شیمیایی در چند دهه گذشته و موفقیت‌های آن در افزایش تولید برنج،

و انرژی ویژه پایین‌تری در مقایسه با مزارع بزرگ هستند (Nasiri & Singh, 2009). باید در نظر داشت که بخش کشاورزی از تولیدکننده‌های قابل توجه گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. به‌طوری که تخریب جنگل‌ها، زه‌کشی مرداب‌ها، سوزاندن کاه و کلس، افزایش احشام و کودپاشی با کودهای نیتروژن‌دار از مهم‌ترین فعالیت‌های کشاورزی است که باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. زراعت برنج در کشورهای در حال توسعه حدود ۰/۱۱ از گازهای گلخانه‌ای مربوط به بخش کشاورزی را منتشر می‌کنند (Smith et al., 2007). استراتژی مدیریت زراعی مطلوب می‌تواند ورودی کود نیتروژن را از طریق استفاده از منبع مناسب، به میزان کافی، در زمان مناسب و با قرار دادن در محل دقیق و همچنین اندازه‌گیری و کالیبراسیون تجهیزات می‌تواند مصرف نیتروژن را به حداقل برساند (Scnider et al, 2009). در تحقیق (Canakci et al (۲۰۰۵) در ترکیه کود شیمیایی به‌عنوان مهم‌ترین منبع انرژی مصرفی در تولید گندم با ۵۴/۱ درصد در نظر گرفته شد که نتیجه آن انتشار گازهای گلخانه‌ای بیش‌تر بود (Maraseni et al., 2007).

کود نیتروژن پس از سوخت به‌عنوان مهم‌ترین منبع انرژی برای تولید گیاه جو بوده است. نسبت انرژی تجدیدناپذیر بیش‌تر از انرژی تجدیدپذیر بود، چون منبع اصلی انرژی تجدیدناپذیر کودهای شیمیایی می‌باشند. تغذیه گیاه توسط کودهای دامی و کود سبز می‌تواند میزان انرژی ورودی تجدیدپذیر را افزایش دهد. بنابراین، تجزیه و تحلیل انرژی مصرفی امری حیاتی است که به توسعه پایدار و استفاده کارآمد از انرژی و محیط زیست منجر می‌شود (Ghasemi mobtaker, 2010). با استفاده از نسبت انرژی ورودی به خروجی به‌عنوان یک شاخص، گزارش شد که بهره‌وری انرژی با افزایش مصرف کود شیمیایی نیتروژن کاهش یافت. با توجه به توازن انرژی، می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده از آفت‌کش‌ها با توجه به انرژی ورودی از اهمیت کم‌تری برخوردار است. اما به‌عنوان یک عامل مورد بررسی مهم برای افزایش عملکرد و انرژی خروجی محسوب می‌شود (Lewandowski & Schmidt, 2006). با بررسی کارایی مصرف انرژی در اراضی شالیزاری بیان شد که مزارع کوچک دارای نسبت انرژی بالا

برنامه‌ها و فعالیت‌های جدیدی در حوزه کشاورزی و محیط زیست بازمهندسی شود که تغییر نظام‌های کاشت و نیل به کشاورزی پایدار یکی از روش‌های مفید و مؤثر خواهد بود (دستان، ۱۳۹۱).

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌ای واقع در استان مازندران شهرستان ساری کیلومتر ۲۵ جاده دریا روستای سوته با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۴ متر از سطح دریا طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجرا گردید. نتایج آزمون خاک محل اجرای آزمایش (۰-۳۰ سانتی‌متر) نیز در جدول ۱ ارایه شده است.

با توجه به این‌که انسان‌ها در آخرین حلقه زنجیره غذایی طبیعت و مصرف‌کنندگان قرار دارند. لذا تبعات رفتار اشتباه با طبیعت و به‌ویژه استفاده نادرست و غیر اصولی از مواد شیمیایی، در زنجیره غذایی تجمع یافته و به انسان می‌رسد و سپس بر نسل حاضر و نسل‌های آینده تحمیل می‌شود. با این اوصاف و با توجه به هشدارهای خطرناک طبیعت، موضوع تداوم تولید با شیوه‌های سنتی و رسیدن به امنیت غذایی و آب با مفهوم کامل تعریف شده، در هاله‌ای از ابهام قرار دارد. بنابراین، مصرف بهینه کودهای شیمیایی و همچنین تطبیق الگوی کاشت محصولات زراعی با وضعیت آبی ضروری بوده و باید به آنچه که در مقیاس منطقه‌ای و جهانی در حال وقوع است توجه کرد و بر اساس رقابت با سایر کشورها و آینده‌نگری،

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مزرعه آزمایشی در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

سال	بافت	ماده آلی (درصد)	کربن (درصد)	ازت (درصد)	فسفر (پی پی ام)	پتاسیم (پی پی ام)	pH	Ec (دسی زیمنس)
۱۳۹۶	لومی رسی	۱/۶	۰/۹۲	۰/۱۲	۵/۵	۱۶۵	۷/۳۹	۰/۵۲
۱۳۹۷	لومی رسی	۱/۵	۰/۸۵	۰/۰۷	۵/۹	۱۸۵	۷/۶۵	۰/۶۵

۴- مصرف توأم ۲۰۰ کیلوگرم کود شیمیایی نیتروژن، ۱۰۰ کیلوگرم فسفر و ۱۰۰ پتاسیم در هکتار ($N_{200}P_{100}K_{100}$)

۵- مصرف ۲۵۰ کیلوگرم کود شیمیایی نیتروژن، ۱۵۰ کیلوگرم فسفر و ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار ($N_{250}P_{150}K_{150}$)

مزرعه آزمایشی در سال زراعی قبل زیر کشت برنج بود و در اواخر بهمن ماه، زمین توسط گاو آهن برگردان‌دار شخم زده شد. سپس در نیمه دوم اردیبهشت عملیات کامل شامل شخم بهاره، ماله‌کشی و تسطیح انجام گردید. زمین آزمایش به ۴۰ کرت مساوی که ابعاد هر کرت ۲×۵ متر مربع بود تقسیم گردید. برای جلوگیری از فرار آب، کودهای شیمیایی و علف‌کش، مرز کرت‌ها تا عمق یک متری پوشش نایلونی کشیده شد. زمانی که

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. پنج شیوه مدیریت مصرف مقادیر مختلف کودهای شیمیایی به‌عنوان عامل اصلی و ارقام محلی برنج (سنگ طارم و طارم هاشمی) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. ترکیب تیمارهای کودی به شرح ذیل بود:

۱- تیمار شاهد یا عدم مصرف کود ($N_0P_0K_0$)

۲- مصرف توأم ۱۰۰ کیلوگرم کود شیمیایی نیتروژن، ۵۰ کیلوگرم فسفر و ۵۰ پتاسیم در هکتار ($N_{100}P_{50}K_{50}$)

۳- مصرف توأم ۱۵۰ کیلوگرم کود شیمیایی نیتروژن، ۷۵ کیلوگرم فسفر و ۷۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار ($N_{150}P_{75}K_{75}$)

استخراج شد (Dastan *et al.*, 2020). مراحل چهارگانه ارزیابی چرخه حیات شامل:

بیان هدف و واحد کارکردی

در روش ارزیابی چرخه حیات ابتدا هدف و واحد کارکردی مشخص می‌شود. هدف از ارزیابی چرخه حیات در این پژوهش بررسی اثرات محیط زیستی تولید ارقام بومی (سنگ طارم و طارم هاشمی) برنج در پنج روش مدیریت مصرف کود بود. واحد کارکردی در این مطالعه بر مبنای تولید یک تن شلتوک در نظر گرفته شد که کلیه ورودی‌ها و خروجی‌ها و اثرات محیط زیستی نسبت به آن سنجیده شدند. با توجه به اینکه مزرعه دارای دو خروجی، یکی محصول شلتوک و دیگری کاه و کلش بود، توزیع (تخصیص) اثرات محیط زیستی به صورت ۹۰ درصد شلتوک و ۱۰ درصد کاه و کلش در نظر گرفته شد که مطابق ارزش اقتصادی آن‌ها است (Dastan *et al.*, 2020).

ارتفاع نشاها به ۲۵ سانتی‌متر رسید به زمین اصلی انتقال یافتند و دو روز بعد از نشاکاری کرت‌های مورد نظر آبیاری گردیدند. نشاکاری با فواصل ۲۰×۲۰ سانتی‌متر و به تعداد سه نشا در هر کپه انجام گرفت. مصرف کودهای NPK بر اساس تیمارهای تعریف‌شده در کرت‌های مورد نظر انجام شد. جهت مبارزه با علف‌های هرز از سم بوتاکلر به میزان ۳/۵ لیتر در هکتار حدود ۴ روز بعد از نشاکاری استفاده گردید. همچنین ۲ مرتبه وجین دستی طی ۲۰ و ۳۸ روز بعد از نشاکاری انجام شد. برای مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج، دو مرتبه از سم دیازینون (گرانول ۵ درصد) در مرحله انتهای پنجه‌زنی و مرحله گلدهی استفاده گردید. سایر عملیات زراعی طبق عرف منطقه انجام شد.

ارزیابی چرخه زندگی (LCA) اثرات محیط زیستی بر اساس استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰، ارزیابی چرخه حیات شامل چهار بخش: تعریف اهداف و حوزه عمل مطالعه، ممیزی چرخه حیات (تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه)، ارزیابی اثرات محیط زیستی چرخه حیات و تفسیر نتایج است که جزییات مربوط به هر بخش از دیگر مطالعات

صورت برداری از چرخه حیاتی (Cycle Inventory Life)

این بخش پرکارترین و زمان برترین مرحله انجام LCA است (Dastan *et al.*, 2020). در این مرحله کلیه منابع (ورودی‌ها) و نهاده‌هایی که برای تولید برنج مورد نیاز بود و همچنین تمامی مقادیر آلاینده‌های انتشار یافته به محیط زیست در اثر استفاده از انواع مختلف نهاده‌ها در هر منطقه جداگانه تعیین و فهرست برداری شدند.

ارزیابی تأثیر در چرخه حیات

در این مرحله باید مشخص ساخت که کدام طبقه تأثیر لحاظ شود و نیز برای ارزیابی تأثیر از چه روشی استفاده شود. در این تحقیق، با توجه به اهمیت مباحث محیط زیستی در تولید برنج، تمامی شاخص‌های مهم و تأثیرگذار با مدل‌های مختلف LCA در نرم‌افزار SimaPro نسخه ۸/۲ برآورد شدند. پس از بررسی‌های انجام شده روی مدل‌های مختلف، ارزیابی چرخه زندگی و مقایسه کلی نتایج بر مبنای مدل CML non-baseline در نرم‌افزار SimaPro استفاده شد. سپس شاخص کلی انتشار آلاینده‌ها محاسبه شد. به منظور ارزیابی دقیق و کامل چرخه زندگی اثرات

محیط زیستی در مرحله بعد با استفاده از سایر روش‌ها،

(Cumulative Energy Demand، Cumulative Exergy Demand، Ecological footprint، Ecosystem Damage Potential، Greenhouse Gas Protocol و Water footprint)

تمامی شاخص‌های انتشار آلاینده‌های محیط زیستی محاسبه و ارزیابی چرخه زندگی به‌طور کامل انجام شد. سپس، نتایج به‌دست آمده از هر مدل با یکدیگر مقایسه و ارزیابی شدند. در مرحله ارزیابی تأثیر، ابتدا تعیین می‌گردد که هر یک از مواد انتشار یافته به محیط که مقدار آن‌ها در مرحله قبل مشخص شده است دارای کدام تأثیرات است و باید در کدام طبقه یا طبقه‌بندی‌های تأثیر قرار گیرد. سپس، این انتشارات به یک واحد معادل برای طبقه تأثیر تبدیل می‌شوند. برای مثال، گازهای انتشار یافته CO_2 ، N_2O و CH_4 دارای تأثیر بر گرم شدن زمین هستند، ولی پتانسیل این گازها در ایجاد تغییر اقلیم متفاوت است به این صورت که هر کیلوگرم N_2O و CH_4 به ترتیب معادل ۳۱۰ و ۲۵ کیلوگرم CO_2 اثر گلخانه‌ای دارند (Dastan *et al.*, 2020). برای ارزیابی اثرات محیط زیستی و تفسیر دقیق ورودی‌ها و

نتایج و بحث ارزیابی چرخه حیات مدل تقاضای انرژی تجمعی (CED)

مدل تقاضای انرژی تجمعی شامل شش شاخص رده‌اثر انرژی تجدیدناپذیر (فسیلی، هسته‌ای و زیست‌توده) و انرژی تجدیدپذیر (زیست‌توده، آب و بادی- خورشیدی- زمین‌گرمایی) است که تمامی ورودی‌ها در مزرعه (بذر، سوخت، نیروی برق، ادوات و ماشین‌آلات، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آفت‌کش‌ها) بر آن اثرگذار بودند که مجموع آن‌ها به‌عنوان تقاضای انرژی تجمعی در نظر گرفته شد. طبق یافته‌های شکل ۱ میانگین مقدار تقاضای انرژی تجمعی برابر ۱۱۵۴۹/۷۸ مگاژول بود که بیشترین سهم متعلق به سوخت فسیلی، ماشین‌آلات و نیتروژن بود. طبق یافته‌ها، با افزایش مصرف NPK کیلوگرم تقاضای انرژی تجمعی روند کاهشی را نشان داد. بیشترین تقاضای انرژی تجمعی (۱۲۷۲۹/۷۹ مگاژول) به $N_0P_0K_0$ تعلق گرفت و کمترین مقدار تقاضای انرژی تجمعی (۱۰۳۳۵/۹۰ مگاژول) متعلق به $N_{250}P_{150}K_{150}$ بود (شکل ۱). طبق یافته‌ها، تمامی ورودی‌ها به مزرعه و خروجی (عملکرد دانه) بر تقاضای انرژی

خروجی‌ها سه مرحله طبقه‌بندی، نرمال‌سازی و وزن‌دهی داده‌ها انجام شد.

تلفیق و تفسیر نتایج

در این مرحله نتایج حاصل جهت مقایسه اثرات محیط زیستی تولید برنج مطابق استانداردهای موجود مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

شاخص محیط زیستی

در آخرین مرحله نوعی شاخص محیطی تحت عنوان شاخص بوم‌شناخت (Eco-Index) که معیار نهایی LCA است، به‌صورت زیر محاسبه شد (Brenttrup & Küsters, 2004).

$$EcoX = \sum Ni \times Wi$$

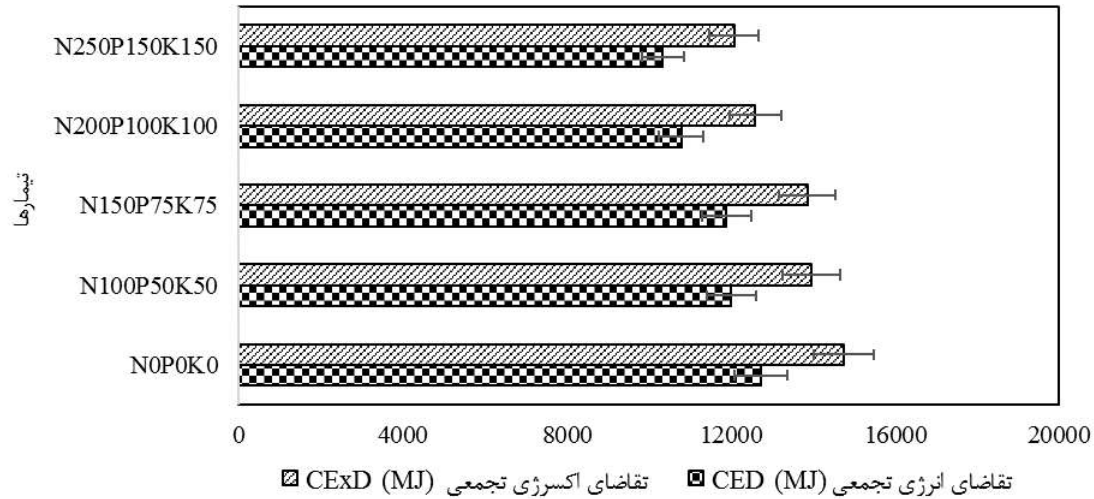
که در آن EcoX شاخص محیطی بوم‌شناخت به ازای واحد کارکردی، Ni مقدار نرمال شده مربوط به هر گروه تأثیر، Wi وزن مربوط به هر یک از مقادیر Ni است. هرچه شاخص محیط زیستی بزرگتر باشد نشان دهنده پتانسیل بیشتر در آسیب به محیط زیست است.

تجمعی اثرگذار بودند. بنابراین، کاهش تقاضای انرژی تجمعی با افزایش مقدار NPK می‌تواند به دلیل تغییرات کمتر مقدار خروجی (عملکرد) و افزایش عملکرد باشد. این مسأله از لحاظ بوم‌شناختی اهمیت قابل توجهی دارد، زیرا منبع انرژی‌های تجدیدناپذیر که عمدتاً سوخت‌های فسیلی هستند و تکیه بر این منابع در آینده همراه با مخاطرات زیادی است (دستان و همکاران، ۱۳۹۳). بنابراین، با تجزیه و تحلیل انرژی ورودی، می‌توان به میزان استفاده از تمام شکل‌های انرژی پی برد و از منابع محدود نظیر زمین، آب و منابع زیستی برای نسل‌های آینده حفاظت کرد. در واقع توسعه نظام‌های کشاورزی با حداقل انرژی ورودی می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک شایانی کند (دستان و همکاران، ۱۳۹۵؛ دستان و همکاران، ۱۳۹۴).

مدل تقاضای اکسرژی تجمعی (CEXD)

شاخص اکسرژی تجمعی به‌عنوان مجموع اکسرژی تمامی منابع مورد نیاز برای تولید یک محصول و یا فراهم آوردن یک خدمت بیان می‌شود. این شاخص مشابه شاخص رایج‌تر یعنی تقاضای انرژی تجمعی

است، با این تفاوت که تقاضای اکسرژی تجمعی، کیفیت منابع انرژی و همچنین منابع غیرانرژی مانند مواد معدنی و فلزات را نیز محاسبه می‌کند. این روش شامل ۱۰ شاخص رده‌اثر انرژی تجدیدناپذیر (فسیلی، هسته‌ای، فلزات و عناصر) و انرژی تجدیدپذیر (جنبشی، خورشیدی، پتانسیل، انرژی اولیه، زیست‌توده و آب) است که مجموع آن‌ها به‌عنوان تقاضای انرژی تجمعی در نظر گرفته شد. طبق یافته‌های شکل ۱، تمامی ورودی‌ها به مزرعه بر این شاخص اثرگذار بودند. میانگین این شاخص با مصرف مقادیر مختلف نیتروژن در سه تقسیط برابر ۱۳۴۴۳/۰۸ مگاژول بود که در مقایسه با تقاضای انرژی تجمعی معادل ۱۶/۳۹ درصد بالاتر بود (شکل ۱). شاخص تقاضای اکسرژی تجمعی با افزایش مصرف NPK، روند کاهشی را نشان داد که از ۱۲۰۷۹/۵۰ مگاژول به ۱۴۷۴۱/۵۶ مگاژول رسید (شکل ۱). بر اساس یافته‌های این پژوهش، تمامی ورودی‌ها و خروجی یافته‌های این پژوهش، تمامی ورودی‌ها و خروجی بر تقاضای اکسرژی تجمعی تأثیر داشتند که سهم سوخت فسیلی، بذر مصرفی، ماشین‌آلات و نیتروژن بالاتر از سایر ورودی‌ها (نهاده) بود.

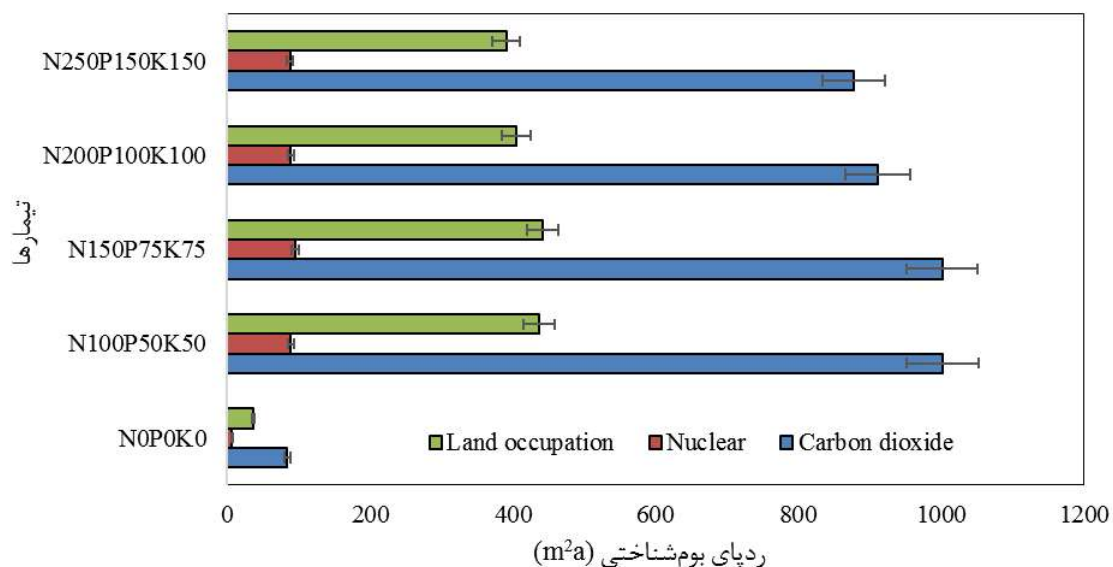


شکل ۱. مقایسه اثر مقادیر NPK بر تقاضای انرژی تجمعی و تقاضای اکسرژی تجمعی

انرژی هسته‌ای و اشغال زمین به‌ترتیب برابر ۷۷۵/۲۲، ۷۳/۵۵ و ۳۴۲/۰۳ متر مربع در سال بود. با افزایش مصرف NPK ردپای بوم‌شناختی روند افزایشی را نشان داد. طبق یافته‌های شکل ۲ مشاهده می‌شود که شاخص رده‌اثر انتشار دی‌اکسید کربن بالاترین اثر را بر ردپای بوم‌شناختی داشته و شاخص اشغال زمین و انرژی هسته‌ای به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

مدل ردپای بوم‌شناختی (EF)

در این روش سه گروه تأثیر دی‌اکسید کربن، انرژی هسته‌ای و اشغال زمین بر اساس متر مربع در سال (m^2a) ارزیابی شدند. تمامی ورودی‌ها بر ردپای بوم‌شناختی اثرگذار بودند که بذر، سوخت فسیلی، نیتروژن و ماشین‌آلات بیشترین تأثیر را بر ردپای بوم‌شناختی نشان دادند (شکل ۲). میانگین ردپای بوم‌شناختی برابر ۱۱۹۰/۸۰ متر مربع در سال بوده که سهم دی‌اکسید کربن،



شکل ۲- مقایسه اثر مقادیر NPK بر شاخص‌های رده‌اثر مدل ردپای بوم‌شناختی

تمامی این شاخص‌ها با افزایش مصرف عناصر افزایش یافتند. کاهش مقادیر این شاخص‌های رده‌اثر با افزایش مصرف عناصر نشان می‌دهد که سهم خروجی (عملکرد تولیدی) بالاتر از سهم ورودی NPK بوده و اثرگذاری بالاتری را نشان داد (جدول ۲). در جدول ۲ نیز یافته‌های شاخص‌های رده‌اثر اکسیداسیون فتوشیمیایی با مقادیر پایین و بالای اکسید نیتروژن، مسمومیت زیستی گونه‌های آبی در آب‌های شیرین طی دوره ۱۰۰ ساله، مسمومیت زیستی گونه‌های دریایی در دوره ۱۰۰ ساله، مسمومیت ناشی از

مدل CML-IA non-baseline

مقادیر شاخص‌های رده‌اثر مربوط به مدل CML-IA non-baseline در جدول ۲ و شکل‌های ۳ الی ۶ ارایه شد. در جدول ۲ شاخص‌های رده‌اثر تخلیه غیرزنده، رقابت زمین، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون، تابش یونیزان و بدبو شدن هوا ارزیابی شدند. میانگین شاخص رده اثر تخلیه منابع غیر زنده برابر ۱۲/۴۴ کیلوگرم معادل انتیموان (Sb)، رقابت زمین (۲۰۸/۲۳) متر مربع در سال، اسیدی شدن (۳/۱۵) کیلوگرم معادل SO₂، یوتریفیکاسیون (۲/۳۳) کیلوگرم معادل PO₄ و بدبویی هوا (۷۲۹۵۷۳۳) متر مکعب هوا) بود که

مسمومیت آب‌های شیرین با افزایش مقادیر عناصر روند افزایشی را نشان دادند (جدول ۲).

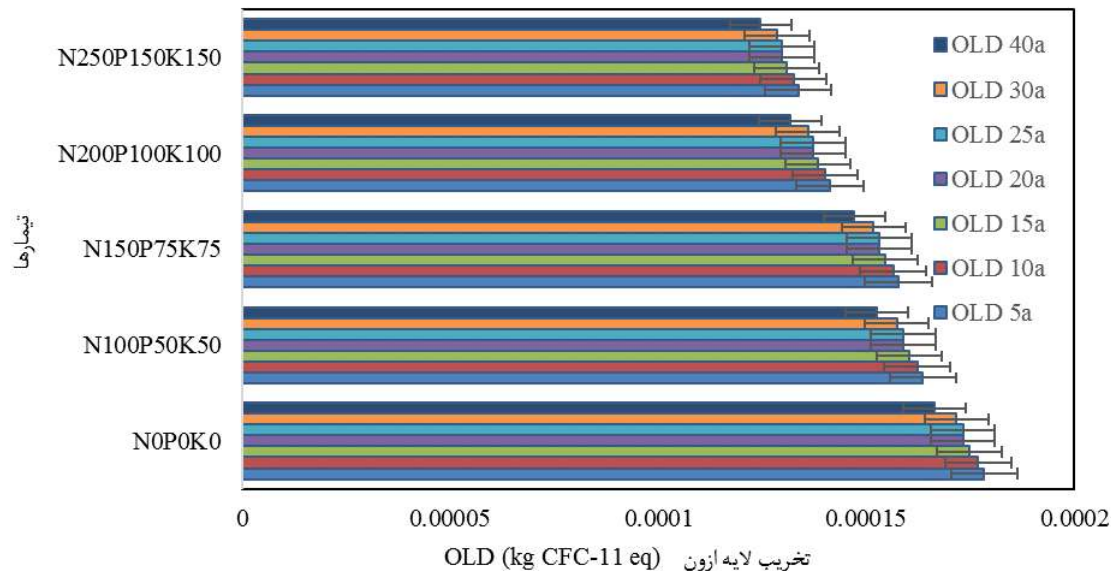
شاخص رده‌اثر تخلیه لایه ازن در دوره ۵ الی ۴۰ ساله در شکل ۳ ارائه شده است که میانگین این شاخص برابر ۰/۰۰۰۱۵ کیلوگرم معادل CFC-11 بود. در تمامی دوره‌ها، بالاترین مقدار این شاخص رده‌اثر متعلق به عدم مصرف عناصر و کمترین مقدار متعلق به $N_{250}P_{150}K_{150}$ بود. با افزایش مقدار NPK این شاخص روند کاهشی را نشان داد. این نتایج نشان می‌دهد که مدیریت بهینه مصرف NPK منجر به کاهش آلاینده‌ها از جمله تخلیه لایه ازن می‌شود. علاوه بر این، با افزایش دوره زمانی از ۵ به ۴۰ سال مقدار این شاخص رده‌اثر روند کاهشی را نشان داد (شکل ۳).

رسوبات در دریا و آب‌های شیرین در دوره ۱۰۰ ساله ارائه شد.

میانگین شاخص تخلیه ازن اکسیداسیون فتوشیمیایی با مقادیر پایین و بالا اکسید نیتروژن (به ترتیب ۰/۰۳۲۷ و ۰/۰۵۲۹ کیلوگرم معادل C_2H_4)، مسمومیت رسوبات آب‌های شیرین (۷۵/۷۹ کیلوگرم معادل DB-۱،۴) و مسمومیت رسوبات دریایی (۱۱۶/۱۱ کیلوگرم معادل -۱،۴ DB) به دست آمد (جدول ۲). طبق یافته‌ها، شاخص‌های رده‌اثر اکسیداسیون فتوشیمیایی، مسمومیت رسوبات دریایی و مسمومیت دریایی با افزایش مقادیر عناصر کاهش یافت. شاخص‌های رده‌اثر مسمومیت رسوبات آب‌های شیرین،

جدول ۲- ارزیابی چرخه حیات تولید برنج تحت اثر مقادیر NPK به‌وسیله شاخص‌های رده‌اثر مدل‌های CML-IA non-baseline

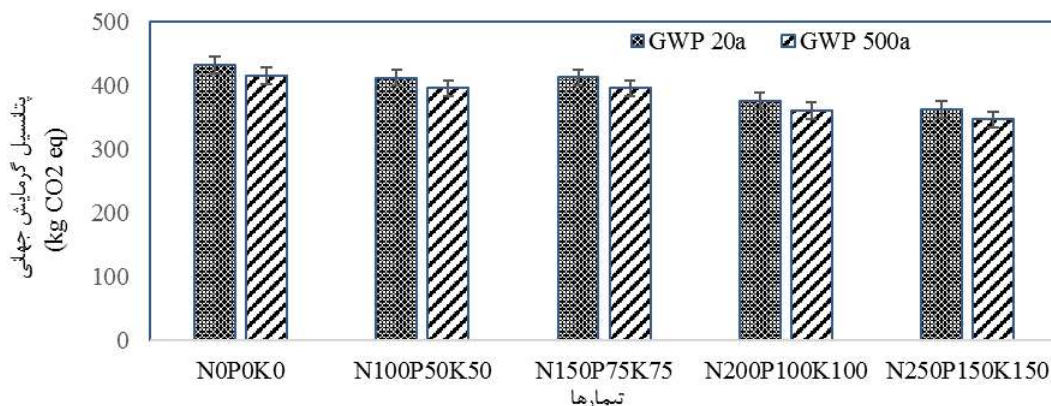
شاخص رده اثر	واحد	N ₀ P ₀ K ₀	N ₁₀₀ P ₅₀ K ₅₀	N ₁₅₀ P ₇₅ K ₇₅	N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	N ₂₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	میانگین	SE	ضریب تغییرات (%)
تخلیه غیرزنده (عناصر و ...)	kg Sb eq	۱۴/۲۱	۱۳/۱۰	۱۲/۶۹	۱۱/۴۰	۱۰/۸۱	۱۲/۴۴	۰/۴۹۵۰	۹/۷۴
رقابت زمین	m ² a	۲۱۸/۳۹	۲۱۲/۷۳	۲۱۶/۹۷	۱۹۹/۴۰	۱۹۳/۶۵	۲۰۸/۲۳	۴/۰۴	۴/۷۵
مسمومیت آب‌های شیرین دوره ۱۰۰ ساله	kg 1,4-DB eq	۵۸/۰۳	۷۰/۲۸	۸۳/۹۵	۸۲/۱۱	۸۴/۵۹	۷۵/۷۹	۴/۲۰	۱۳/۵۷
مسمومیت رسوبات دریایی دوره ۱۰۰ ساله	kg 1,4-DB eq	۱۳۰/۸۶	۱۲۱/۶۵	۱۱۸/۸۷	۱۰۷/۱۵	۱۰۲/۰۰	۱۱۶/۱۱	۴/۲۲	۸/۹۱
اکسیداسیون فتوشیمیایی (low NOx)	kg C ₂ H ₄ eq	-۰/۰۳۵	-۰/۰۳۳۸	-۰/۰۳۳۸	-۰/۰۳۰۹	-۰/۰۲۹۸	-۰/۰۳۲۷	-۰/۰۰۰۸	۶/۳۵
اکسیداسیون فتوشیمیایی (very high NOx)	kg C ₂ H ₄ eq	-۰/۰۴۶۲	-۰/۰۴۷۱	-۰/۰۵۰۰	-۰/۰۴۶۷	-۰/۰۴۶۱	-۰/۰۴۷۲	-۰/۰۰۰۶	۳/۰۲
اکسیداسیون فتوشیمیایی (high NOx)	kg C ₂ H ₄ eq	-۰/۰۵۳۴	-۰/۰۵۳۴	-۰/۰۵۵۶	-۰/۰۵۱۶	-۰/۰۵۰۶	-۰/۰۵۲۹	-۰/۰۰۰۷	۳/۲۵
اسیدی شدن	kg SO ₂ eq	۳/۴۶	۳/۲۷	۳/۲۴	۲/۹۵	۲/۸۲۷۱	۳/۱۵	-۰/۰۹۴۰	۷/۳۱
یوتریفیکاسیون	kg PO ₄ --- eq	۲/۵۳	۲/۴۱	۲/۴۱	۲/۲۰	۲/۱۲	۲/۳۳	-۰/۰۶۱۹	۶/۵۰
بدبویی هوا	m ³ air	۷۵۴۸۹۳۶	۷۴۱۹۲۶۰	۷۶۲۵۷۳۹	۷۰۳۲۱۹۹	۶۸۵۲۵۳۴	۷۲۹۵۷۳۳	۱۲۳۰۳۷	۴/۱۲



شکل ۳- مقایسه اثر مقادیر NPK بر شاخص رده‌اثر تخلیه لایه ازن طی دوره ۵ الی ۴۰ ساله

کاهش یافت. پتانسیل گرمایش جهانی طی هر دو دوره روند متغیری را نشان داد که بیشترین مقدار آن در $N_0P_0K_0$ (به ترتیب ۴۳۲/۸۱ و ۴۱۵/۷۵ کیلوگرم معادل CO_2) و کمترین مقدار آن در $N_{250}P_{150}K_{150}$ (به ترتیب ۳۶۱/۹۷ و ۳۴۶/۹۰ کیلوگرم معادل CO_2) به دست آمد (شکل ۴).

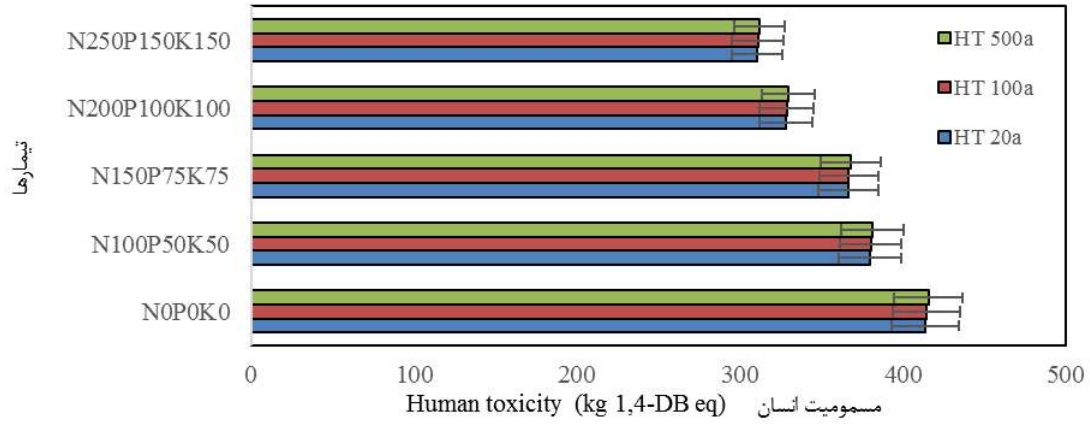
شاخص رده‌اثر پتانسیل گرمایش جهانی طی دوره ۲۰ و ۵۰۰ ساله در شکل ۴ ارائه شده است. طبق یافته‌ها میانگین پتانسیل گرمایش جهانی طی دوره ۲۰ و ۵۰۰ ساله به ترتیب برابر ۳۹۹/۲۱ و ۳۸۲/۹۷ کیلوگرم معادل CO_2 بود که با افزایش زمان این شاخص به میزان درصد ۴/۰۷ درصد



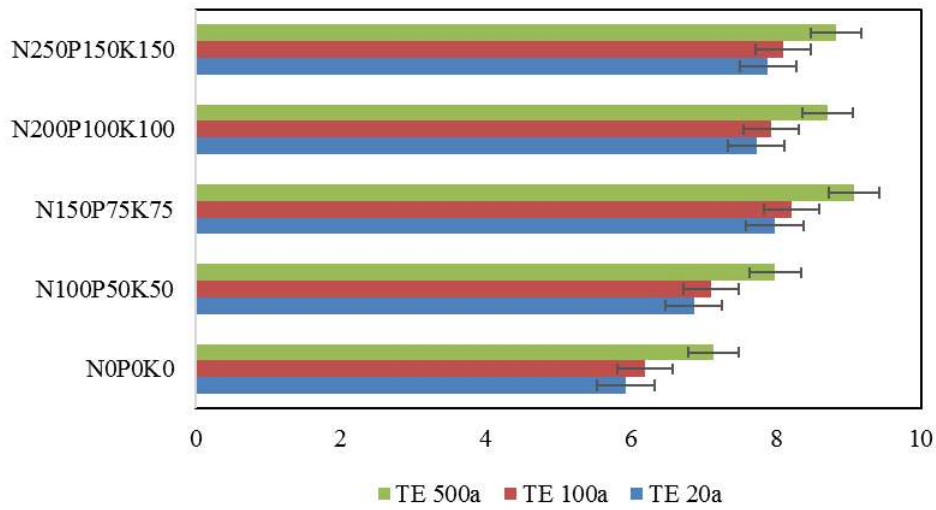
شکل ۴- مقایسه اثر مقادیر NPK بر پتانسیل گرمایش جهانی در دوره ۲۰ الی ۵۰۰ سال

پتانسیل اسیدی شدن با اختلاف زیادی بیشتر از خشکی طی سه دوره ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. هر دو شاخص با افزایش زمان از ۲۰ به ۵۰۰ سال معادل ۰/۴۲ و ۱۴/۷۰ درصد افزایش نشان دادند. میانگین شاخص رده‌اثر مسمومیت انسان در طی ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال به ترتیب معادل ۳۵۹/۹۱، ۳۶۰/۲۸ و ۳۶۱/۴۳ کیلوگرم معادل ۱،۴DB (شکل ۵)، و شاخص مسمومیت خشکی طی ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال به ترتیب برابر ۷/۲۸، ۷/۵۱ و ۸/۳۵ کیلوگرم معادل ۱،۴DB بود (شکل ۶). سهم NH_3 در مستقیمی وجود دارد.

پتانسیل اسیدی شدن با اختلاف زیادی بیشتر از خشکی طی سه دوره ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. هر دو شاخص با افزایش زمان از ۲۰ به ۵۰۰ سال معادل ۰/۴۲ و ۱۴/۷۰ درصد افزایش نشان دادند. میانگین شاخص رده‌اثر مسمومیت انسان در طی ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال به ترتیب معادل ۳۵۹/۹۱، ۳۶۰/۲۸ و ۳۶۱/۴۳ کیلوگرم معادل ۱،۴DB (شکل ۵)، و شاخص مسمومیت خشکی طی ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال به ترتیب برابر ۷/۲۸، ۷/۵۱ و ۸/۳۵ کیلوگرم معادل ۱،۴DB بود (شکل ۶). سهم NH_3 در مستقیمی وجود دارد.



شکل ۵- مقایسه اثر مقادیر NPK بر شاخص مسمومیت انسان طی سه دوره ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال



شکل ۶- مقایسه اثر مقادیر NPK بر شاخص مسمومیت خشکی طی سه دوره ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال

مدل Ecopoints 97 (CH)

شده به آب و هوا در مقادیر پایین‌تر NPK بیشتر بوده که نشان می‌دهد مقادیر این آلاینده‌ها بیشتر تحت اثر خروجی (عملکرد) بوده که مدیریت بهینه مصرف این عناصر ضرورت دارد (جدول ۳).

یافته‌های جدول ۳ خروجی روش Ecopoints 97 با شاخص‌های رده‌اثر انتشار فلزات سنگین و سایر آلاینده‌های محیط‌زیستی به تفکیک در هوا، آب و خاک را نشان می‌دهد. فلزات سنگین منتشر شده در هوا (سرب، کادمیم، روی و جیوه) و فلزات سنگین انتشار یافته در آب (کروم، روی، مس، کادمیم، جیوه، سرب و نیکل) بودند (جدول ۳).

میانگین انتشار فلزات سنگین سرب، کادمیم، روی و جیوه به ترتیب برابر $۰/۰۰۲۹$ ، $۸/۱۲^{-۵}$ ، $۰/۰۳۲۷$ و $۷/۴۶^{-۵}$ گرم بود که هر چهار عنصر با افزایش مقدار NPK روند کاهشی را نشان دادند (جدول ۳). میانگین انتشار کروم، روی، مس، کادمیم، جیوه، سرب و نیکل به ترتیب برابر $۰/۰۰۱۰$ ، $۰/۰۰۲۳$ ، $۰/۰۰۰۳$ ، $۶/۹۵^{-۵}$ ، $۷/۶۷^{-۶}$ ، $۰/۰۰۰۷$ و $۰/۰۰۰۲$ گرم حاصل شد (جدول ۴-۲۴). تمامی آلاینده‌های انتشار یافته با آب با افزایش مقدار NPK روند کاهشی را نشان دادند. طبق یافته‌ها، تمامی فلزات سنگین منتشر

جدول ۳- ارزیابی چرخه حیات تولید برنج تحت اثر مقادیر NPK به‌وسیله شاخص‌های رده‌اثر مدل Ecopoint 97

شاخص رده اثر	Unit	N ₀ P ₀ K ₀	N ₁₀₀ P ₅₀ K ₅₀	N ₁₅₀ P ₇₅ K ₇₅	N ₂₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	N ₂₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	میانگین	SE	ضریب تغییرات (%)
NOx	G	۱/۲۸	۱/۲۲	۱/۲۱	۱/۱۰۲	۱/۰۵	۱/۱۷	۰/۰۳۴۰	۷/۰۸
SOx	g SO ₂ eq	۲/۱۲	۱/۹۹	۱/۹۶۹	۱/۷۸۴	۱/۷۰	۱/۹۱	۰/۰۶۱۰	۷/۸۰
NH ₃	G	۰/۲۲۹۱	۰/۲۲۰۷	۰/۲۲۲۹	۰/۲۰۴۰	۰/۱۹۷۲	۰/۲۱۴۸	۰/۰۰۴۹	۵/۶۲
Dust PM10	G	۰/۷۱۳۰	۰/۶۶۸۰	۰/۶۵۷۵	۰/۵۹۴۷	۰/۵۶۸۱	۰/۶۴۰۲	۰/۰۲۱۳	۸/۱۵
CO ₂	g CO ₂ eq	۴۹۰/۴۲	۴۶۸/۸۸	۴۷۰/۳۲	۴۲۹/۰۷	۴۱۳/۵۶	۴۵۴/۴۵	۱۱/۶۴	۶/۲۷
Pb (air)	G	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰۱	۹/۵۵
Cd (air)	G	۹/۲۷۴۶۹E-۰۵	۸/۵۴۹۴۹E-۰۵	۸/۲۸۶۷۹E-۰۵	۷/۴۴۱۱۹E-۰۵	۷/۰۵۵۲۶E-۰۵	۸/۱۲۱۴۸E-۰۵	۳/۲۳۵۲۴E-۰۶	۹/۷۵
Zn (air)	G	۰/۰۰۲۷۳	۰/۰۰۳۴۴	۰/۰۰۳۳۴	۰/۰۰۳۰۰	۰/۰۰۲۸۴	۰/۰۰۳۲۷	۰/۰۰۱۲	۹/۶۵
Hg (air)	G	۸/۴۷۰۵۴E-۰۵	۷/۸۴۲۵E-۰۵	۷/۶۳۳۸۷E-۰۵	۶/۸۶۸۶۳E-۰۵	۶/۵۲۶۱۸E-۰۵	۷/۴۶۸۳۴E-۰۵	۲/۸۳۹۶۷E-۰۶	۹/۳۱
COD	G	۴/۵۰۹۶	۴/۴۷	۴/۶۳	۴/۲۹	۴/۱۹	۴/۴۲	۰/۰۶۴۵	۳/۵۷
P	G	۰/۰۴۵۸	۰/۰۴۲۵	۰/۰۴۱۵	۰/۰۳۷۳	۰/۰۳۵۵	۰/۰۴۰۵	۰/۰۰۱۵	۹/۰۸
N	G	۰/۰۵۱۶	۰/۰۴۷۴	۰/۰۴۵۹	۰/۰۴۱۱	۰/۰۳۸۹	۰/۰۴۵۰	۰/۰۰۱۸	۱۰/۰۳
Cr (water)	G	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱۰	۴/۰۱۱۹۲E-۰۵	۹/۱۷
Zn (water)	G	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۲۳	۸/۲۲۶۴۵E-۰۵	۸/۶۹
Cu (water)	G	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۸/۸۲۱۹۵E-۰۶	۸/۲۰
Cd (water)	G	۷/۸۸۱۹۳E-۰۵	۷/۳۰۰۹۴E-۰۵	۷/۱۰۹۹۲E-۰۵	۶/۳۹۸۵۶E-۰۵	۶/۰۸۰۸۹E-۰۵	۶/۹۵۴۴۵E-۰۵	۲/۶۳۰۹۴E-۰۶	۹/۲۶
Hg (water)	G	۸/۵۰۱۲۵E-۰۶	۷/۹۸۸۳۸E-۰۶	۷/۸۸۶۱۷E-۰۶	۷/۱۴۲۳۱E-۰۶	۶/۸۳۲۹E-۰۶	۷/۶۷۰۲E-۰۶	۲/۴۶۱۸۹E-۰۷	۷/۸۶
Pb (water)	G	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۷	۲/۴۵۸۲۵E-۰۵	۸/۲۱
Ni (water)	G	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۳/۶۰۶۵۲E-۰۶	۴/۳۳
Nitrate (soil)	G	۲/۵۳۴۹۴۹۵۴۸	۲/۵۴	۲/۶۷	۲/۴۸	۲/۴۳	۲/۵۳	۰/۰۳۱۸	۳/۰۷

رسوب این عناصر و نیز مقدار ورود آن‌ها به خاک از محل کود، سموم، بذر و رسوب و خروج آن‌ها از خاک توسط برداشت محصول، آبیاری و فرسایش محاسبه شده است.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد با مصرف کمتر از حد بهینه NPK در کشت برنج تمامی شاخص‌های رده‌اثر مورد ارزیابی تقریباً دو برابر بالاتر از مصرف بهینه و بالاتر از حد بهینه (مصرف لوکس) دارای اثر سوء محیط‌زیستی بود که می‌توان بیان کرد که سهم خروجی (عملکرد) در این مطالعه بالاتر از انواع ورودی‌ها به‌ویژه نیتروژن بود. در همین رابطه دیگر محققان بیان داشتند مهم‌ترین مواد دارای پتانسیل اسیدی شدن در بوم‌نظام‌ها، دی‌اکسیدسولفور و اکسیدهای نیتروژن هستند که در جریان تولید در کشاورزی عمدتاً از مصرف سوخت‌های فسیلی ناشی می‌شوند، اگرچه آمونیاک حاصل از مصرف کودهای شیمیایی در مزرعه نیز از عوامل مهم اسیدی شدن است (Angestrum et al., 2009).

در جدول ۳ شاخص‌های رده‌اثر انتشار نیترات، فلزات و آفت‌کش‌ها به خاک، انتشار اکسید نیتروژن، اکسید گوگرد، انتشار آمونیاک، گرد و غبار، تقاضای اکسیژن شیمیایی، فسفر و پتاسیم ارزیابی شدند. میانگین انتشار نیترات به خاک (۲/۵۳ گرم)، فلزات به خاک (۲/۶-۹۹ گرم معادل کادمیوم)، آفت‌کش‌ها به خاک (۰/۰۲۸۰ گرم بر اساس ماده مؤثره)، انتشار اکسید نیتروژن (۱/۱۷ گرم)، اکسید گوگرد (۱/۹۱ گرم معادل SO₂، آمونیاک (۰/۲۱۴۸ گرم)، گرد و غبار (۰/۶۴۰۳ گرم)، تقاضای اکسیژن شیمیایی (۴/۴۵۴/۴۵ گرم)، فسفر (۰/۰۴۰۵ گرم) و نیتروژن (۰/۰۴۵۰ گرم) به‌دست آمد که تمامی این شاخص‌ها به غیر از انتشار آفت‌کش‌ها با افزایش مقادیر NPK روند کاهشی را نشان دادند (جدول ۳). با مقایسه گروهی بین مقادیر مختلف NPK می‌توان بیان کرد علت اصلی آن نیز تغییرات کمتر مقدار خروجی (عملکرد) و تمامی ورودی‌ها باشد. در واقع، میزان فلزات سنگین منتشر شده به آب و خاک بر اساس برآورد سالانه

نشان می‌دهد که منواکسیدکربن و متان نیز در تشکیل ازن مؤثر هستند. تشکیل ازن باعث تغییر در ترکیب گونه‌ای بوم‌نظام‌ها شده و میزان تولید زیست‌توده را افزایش می‌دهد. این خود سبب زنجیره‌ای از پیامدهای زیان‌بار شامل کاهش تنوع زیستی و تولید ترکیبات شیمیایی سمی برای انسان، دام و سایر پستانداران می‌شود (Bare et al, ۲۰۰۳). همچنین Nemecek & Kagi (۲۰۰۷)، مقدار این آبخویی را در سوئیس ۰/۵۹ کیلوگرم نیتروژن به ازای هر تن چغندر قند گزارش کردند. دیگر محققان شاخص طبقه‌بندی یوتریفیکاسیون برای تولید کلزا و آفتابگردان در شیلی را به ترتیب ۷/۲ و ۹ kg PO₄ eq گزارش کردند. در شیلی شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر اسیدپته برای تولید کلزا و آفتابگردان به ترتیب ۱۹ و ۲۳ kg SO₂ eq محاسبه شد (Iriarte et al., 2010). از منابع عمده این اثر در کشاورزی استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنه و در نتیجه انتشار NO_x و NH₃ به اتمسفر است. از آنجا که در تولید محصولات

این انتشارات به‌وسیله مجموعه فرآیندهای پیچیده انتقال اتمسفری و شیمیایی سبب اسیدی‌سازی شده و این به نوبه خود ایجاد اثرات زیان‌باری بر بوم‌نظام‌ها، جمعیت‌های گیاهی و جانوری می‌کند. Bare et al (۲۰۰۳) در تحقیقی دیگر در شیلی شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر اسیدپته برای تولید کلزا و آفتابگردان به ترتیب ۱۹ و ۲۳ kg eq SO₂ محاسبه شد (Iriarte et al., 2010). اعتقاد بر آن است که انتشاراتی مانند کلروفلوروکربن‌ها و گازهای هالوژنه باعث تخریب لایه ازن در استراتوسفر می‌شوند. تخریب لایه ازن می‌تواند باعث اثراتی مثل سرطان پوست، ورود خسارت‌های مولکولی به مواد، صدمه به گیاهان و حیوانات گردد که به‌علت افزایش عبور ماوراءبنفش رخ می‌دهند. سرعت تشکیل ازن در لایه تروپوسفر به‌وسیله واکنش‌های پیچیده شیمیایی تعیین می‌شود که تحت تأثیر غلظت NO_x، ترکیبات آلی فرار و همچنین دما، نور خورشید و جریان‌های همرفت قرار دارد. یافته‌های اخیر

که انتشار دی‌اکسید کربن بالاترین اثر را بر ردپای بوم‌شناختی داشته و شاخص اشغال زمین و انرژی هسته‌های به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

۲- میانگین شاخص رده اثر تخلیه منابع غیر زنده برابر ۱۲/۴۴ کیلوگرم معادل انتیموان (Sb)، رقابت زمین (۲۰۸/۲۳ متر مربع در سال)، اسیدی شدن (۳/۱۵ کیلوگرم معادل SO₂)، یوتریفیکاسیون (۲/۳۳ کیلوگرم معادل PO₄) و بدبویی هوا (۷۲۹۵۷۳۳ متر مکعب هوا) بود که با افزایش مقدار NPK کاهش یافتند. همچنین، میانگین شاخص تخلیه ازن اکسیداسیون فتوشیمیایی با مقادیر پایین و بالا اکسید نیتروژن (به‌ترتیب ۰/۰۴۷۲ و ۰/۰۵۲۹ کیلوگرم معادل C₂H₄)، مسمومیت رسوبات آب‌های شیرین (۷۵/۷۹ کیلوگرم معادل ۱،۴-DB)، مسمومیت رسوبات دریایی (۱۱۶/۱۱ کیلوگرم معادل ۱،۴-DB) به‌دست آمد. میانگین شاخص تخلیه ازن برابر ۰/۰۰۰۱۵ کیلوگرم معادل CFC-11 و پتانسیل گرمایش جهانی طی دوره ۲۰ و ۵۰ ساله به‌ترتیب برابر ۳۹۹/۲۰

کشاورزی نهاده‌های زیادی مصرف می‌شود در نتیجه سامانه تولید اثرات زیست‌محیطی گسترده‌ای را ایجاد می‌کند (Brentrup et al., 2004).

نتیجه‌گیری

۱- میانگین مقدار تقاضای انرژی تجمعی و تقاضای اکسرژی تجمعی به‌ترتیب برابر ۱۱۵۴۹/۷۸ و ۱۳۴۴۳/۰۸ مگاژول بود که تفاوت آنها معادل ۱۶/۳۹ درصد بود. با افزایش مقدار NPK هر دو شاخص رده‌اثر تقاضای انرژی تجمعی و تقاضای اکسرژی تجمعی روند کاهشی را نشان داد. تمامی ورودی‌ها بر ردپای بوم‌شناختی اثرگذار بودند که بذر، سوخت فسیلی، نیتروژن و ماشین‌آلات بیشترین تأثیر را بر ردپای بوم‌شناختی نشان دادند. میانگین ردپای بوم‌شناختی برابر ۱۱۹۰/۸۰ متر مربع در سال بوده که سهم دی‌اکسید کربن، انرژی هسته‌ای و اشغال زمین به‌ترتیب برابر ۷۳/۵۵، ۷۷۵/۲۲ و ۳۴۲/۰۳ متر مربع در سال به‌دست آمد. با افزایش مقدار NPK ردپای بوم‌شناختی روند افزایشی را نشان داد

($9/87^5$ گرم معادل کادمیوم)، آفت‌کش‌ها به خاک ($0/0280$ گرم بر اساس ماده مؤثره)، انتشار اکسید نیتروژن ($1/17$ گرم)، اکسید گوگرد ($1/91$ گرم معادل SO_2)، آمونیاک ($0/2148$ گرم)، گرد و غبار ($0/6403$ گرم)، تقاضای اکسیژن شیمیایی ($4/0645$ گرم)، فسفر ($0/0405$ گرم) و نیتروژن ($0/0450$ گرم) به‌دست آمد که تمامی این شاخص‌ها به غیر از انتشار آفت‌کش‌ها با افزایش مقدار NPK روند کاهشی را نشان دادند. با مقایسه گروهی بین مقادیر مختلف NPK بیان کرد علت اصلی آن نیز تغییرات کمتر مقدار خروجی (عملکرد) و تمامی ورودی‌ها باشد. در واقع، میزان فلزات سنگین منتشر شده به آب و خاک بر اساس برآورد سالانه رسوب این عناصر و نیز مقدار ورود آن‌ها به خاک از محل کود، سموم، بذر و رسوب و خروج آن‌ها از خاک توسط برداشت محصول، آبخویی و فرسایش محاسبه شده است.

و $382/97$ کیلوگرم معادل CO_2 بود. دو شاخص رده‌اثر مسمومیت انسان و مسمومیت خشکی طی سه دوره ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال با افزایش زمان از ۲۰ به ۵۰۰ سال معادل $0/42$ و $14/70$ درصد افزایش نشان دادند. شاخص رده‌اثر مسمومیت انسان در طی هر سه دوره زمانی با افزایش مقدار NPK روند کاهشی را نشان داد، ولی شاخص رده‌اثر مسمومیت خشکی با افزایش مقدار NPK در هر سه دوره زمانی روند افزایشی داشت.

۳- میانگین انتشار فلزات سنگین سرب، کادمیوم، روی و جیوه به‌ترتیب برابر $0/0029$ ، $8/12^5$ ، $0/0327$ و $7/46^5$ گرم بود که هر چهار عنصر با افزایش مقدار NPK روند کاهشی را نشان دادند. میانگین انتشار کروم، روی، مس، کادمیم، جیوه، سرب و نیکل به‌ترتیب برابر $0/0010$ ، $0/0023$ ، $0/0003$ ، $6/95^5$ ، $7/67^5$ ، $0/0006$ و $0/0002$ گرم حاصل شد. تمامی آلاینده‌های انتشار یافته با آب با افزایش مقدار NPK روند کاهشی را نشان دادند. میانگین انتشار نترات به خاک ($2/53$ گرم)، فلزات به خاک

منابع

- Bare. J.C., N.A Norris, D.W. Pennington, and T. McKone.** 2003. TRACI: the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts. *Journal of Industrial Ecology*, 6: 49-78.
- Brentrup, F., J. Kusters, H. Kuhlmann, and J. Lammel.** 2004. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored a crop production. *European Journal of Agronomy*, 20(3): 247-264.
- Canakci, M., M. Topakci, I. Akinci, A. Ozmerzi.** 2005. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: case study for Antalya region, Turkey. *Energy Conversion and Management*, 46: 655-666.
- Dastan, S., B. Ghareyazie, J.A. Teixeira da Silva, and S.H. Pishgar-Komleh.** 2020. Assessment of the life cycle of genetically modified and non-genetically modified rice cultivars. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(362):
- امینی م، جهانشاهی م. ۱۳۹۰. شناسایی قابلیت‌ها و توانمندی‌های زیست‌فناوری استان مازندران. گزیده‌ای از گزارش پژوهشی دفتر آموزش و پژوهش معاونت توسعه مدیریت و منابع انسانی استانداری مازندران، ۳۳ ص.
- دستان س، ق. نورمحمدی، ح. مدنی، م، ابراهیمی، و ا. یساری. ۱۳۹۶. بررسی رشد و فنولوژی محصول اصلی و راتون ارقام برنج در سامانه‌های زراعی مختلف. دوفصلنامه فناوری تولیدات گیاهی، ۱۶(۱): ۸۱-۱۰۱.
- دستان، س، ا. سلطانی، ق. نورمحمدی، و ح. مدنی. ۱۳۹۳. انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف انرژی فسیلی در نظام‌های کاشت شالیزاری. مجله بوم‌شناسی کشاورزی، ۶(۴): ۸۲۳-۸۳۵.
- دستان، س، ا. سلطانی، ق. نورمحمدی، و ح. مدنی. ۱۳۹۵. تخمین ردپای کربن و پتانسیل گرمایش جهانی در نظام‌های تولید برنج. مجله علوم محیطی، ۱۴(۱): ۱۹-۲۸.
- دستان، س، ق. نورمحمدی، ح. مدنی، ا. سلطانی. ۱۳۹۴. تجزیه و تحلیل شاخص‌های انرژی در نظام‌های تولید برنج در منطقه نکا. مجله علوم محیطی، ۱۳(۱): ۵۳-۶۶.

Maraseni, T.N., G. Cockfield, and A. Apan. 2007. A comparison of greenhouse gas emissions from inputs into farm enterprises in Southeast Queensland, Australia. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 42: 11-19.

Maraseni, T.N., G. Cockfield, and J. Maroulis. 2010. An assessment of greenhouse gas emissions: implications for the Australian cotton industry. *Journal of Agricultural Science*, 148: 501-510.

Nassiri, S.M. and S. Singh. 2009. Study on energy use efficiency for paddy crop using data envelopment analysis (DEA) technique. *Applied Energy*, 86: 1320-1325.

Nemecek, T. and V. Kagi. 2007. Life cycle inventories of Swiss and European agricultural production systems. Final report Eco invent V2.0 NO. 15a. Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ARTM, Swiss centre for life cycle inventories, Zurich and Dubendorf, CH.

Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. Mccarl, S. Ogle, F. O'Mar, C. Rice,

<https://doi.org/10.1007/s12517-020-05386-8>

Engstrom, R., A. Wadeskog, and G. Finnveden. 2009. Environmental assessment of Swedish agriculture. *Ecological Economics*, 60: 550-563.

Ghasemi Mobtaker, H., A. Keyhani, A. Mohammadi, S. Rafiee, and A. Akram. 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 137: 367-372.

Iriarte, A., J. Rieradevall, and J. Gabarrell J. 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean condition. *Journal of Cleaner Production*, 18: 336-345.

Lewandowski, I., and U. Schmidt. 2006. Nitrogen, energy and land use efficiency of miscanthus, reed canary grass and triticale as determined by the boundary line approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112: 335-346.

Snyder, C.S., T.W. Bruulsema, T.L. Jensen, and P.E. Fixen. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 133: 247-266.

B. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider, and S. Towprayoon. 2007. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118: 6-28.

Life cycle assessment of Iranian Rice cultivars production affected by NPK using management

H. Jafari¹, H. Ajamnorozie^{2*}, M.R. Dadashi³, A. Soltani⁴

1. Ph.D. student, Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran.
2. Associate Prof, Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran.
3. Assistant Prof, Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran.
4. Prof. Dept of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
5. Postdoc, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj.

Abstract:

The aim of present study was to investigate life cycle assessment of Iranian rice cultivars production affected by NPK chemical fertilizers using management. The experiment was conducted in farms located in Mazandaran province, Sari, during 2017 and 2018. The experiment was performed as split plot in a randomized complete block design with four replications. The different doses of fertilizer treatments at five levels including F1: 250 kg N ha⁻¹ + 150 kg P ha⁻¹ + 150 kg K ha⁻¹ (N₂₅₀P₁₅₀K₁₅₀), F2: 200 kg N ha⁻¹ + 100 kg P ha⁻¹ + 100 kg K ha⁻¹ (N₂₀₀P₁₀₀K₁₀₀), F3: 150 kg N ha⁻¹ + 75 kg P ha⁻¹ + 75 kg K ha⁻¹ (N₁₅₀P₇₅K₇₅), F4: 100 kg N ha⁻¹ + 50 kg P ha⁻¹ + 50 kg K ha⁻¹ (N₁₀₀P₅₀K₅₀), and F5: Control or no application of fertilizer treatments (N₀P₀K₀) as main plot and local rice cultivars at two levels of Sang Tarom and Tarom Hashemi were considered as sub-plots. The results showed that an average amount of cumulative energy demand and cumulative exergy demand was 11549.78 and 13443.08 MJ, respectively that with increase of nitrogen consumption, both indices showed a decreasing trend. The average ecological footprint was 1190.80 m² which CO₂ emissions had shown the highest effect on the ecological footprint. The average of the impact categories of abiotic depletion was equals 12.44 kg Sb eq, acidification (3.15 kg SO₂ eq), eutrophication (2.33 kg PO₄ eq), malodorous air (7295733 m³ air), freshwater sediment ecotoxicity (75.79 kg 1,4 DB eq), marine sediment ecotoxicity (116.11 kg 1,4 DB eq) that all of which decreased with increasing nitrogen consumption. The average global warming potential (GWP) 20a and GWP 500a were 399.20 and 382.97 kg CO₂ eq, respectively. Two indicators of human toxicity and terrestrial ecotoxicity in the three periods of 20, 100 and 500 years shows increasing amounts equal 0.42% and 140.70% during 20a to 500a, respectively. All pollutants released into the air and the water demonstrated a decreasing trend with increasing nitrogen amounts. The emission of nitrate into soil, metals into the soil, and chemical oxygen demand showed a decreasing trend with increasing nitrogen levels. By group comparing between different levels of nitrogen at splitting levels, it can be stated that the main cause of variations in the amount of pollutants was the higher output (yield) compared to inputs. Indeed, nitrogen uptake in four developmental stages has resulted in maximum plant use, resulting in increased yield and emission reduction per unit area. Therefore, reducing the emission of pollutants by increasing nitrogen consumption can be due to increase of yield. According to the findings of this study, the application of N₁₅₀P₇₅K₇₅ treatment is a better option to improving the yield of rice cultivars along with a decrease in chemical fertilizers and subsequent reduced fertilizers costs and environmental damages.

Keywords: Ecological footprint, Global warming potential, Heavy metal emission, Nitrogen, Rice

* Corresponding author (ajamnorozie@yahoo.com)