



## ارزیابی چرخه حیات تولید گندم آبی تحت اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن در منطقه بوشهر

مرتضی سیاوشی<sup>۱\*</sup> و سلمان دستان<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۷

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۶/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۷

### چکیده

ارزیابی چرخه حیات یک روش مناسب برای بررسی اثرات محیط‌زیستی یک محصول در کل چرخه تولید آن است. در این پژوهش اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن در چرخه حیات تولید گندم آبی در استان بوشهر طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ مورد ارزیابی قرار گرفت. این پژوهش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. کود نیتروژن در چهار سطح ۷۰، ۱۴۰، ۲۱۰ و ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره به‌عنوان عامل اصلی و تقسیط مصرف آن در مراحل کاشت، شروع پنجه‌دهی، شروع ساقه‌دهی و آبستنی به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن، شاخص‌های رده اثر تقاضای انرژی جمععی، تقاضای اکسرژی جمععی، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون و بدبویی هوا کاهش یافتند. میانگین ردپای بوم‌شناختی برابر ۱۱۲۵/۸۷ متر مربع در سال بوده که بالاترین اثر متعلق به انتشار CO<sub>2</sub> بود. میانگین پتانسیل گرمایش جهانی طی دوره ۲۰ و ۵۰۰ ساله برابر ۴۰۱ و ۳۸۴ کیلوگرم معادل CO<sub>2</sub> بود. با افزایش مصرف نیتروژن، تمامی آلاینده‌های انتشار یافته به آب و هوا کاهش یافتند. با مقایسه گروهی بین مقادیر نیتروژن در سطوح تقسیط می‌توان بیان کرد علت اصلی تغییرات میزان آلاینده‌ها، بالاتر بودن مقدار خروجی (عملکرد) در مقابل ورودی‌ها بود. در واقع، تقسیط نیتروژن در چهار مرحله تعیین کننده رشدی، منجر به حداکثر استفاده گیاه شده که نتیجه آن نیز افزایش عملکرد و کاهش انتشار آلاینده‌ها در واحد سطح بود. همچنین، کاهش انتشار آلاینده‌ها با افزایش مقدار نیتروژن می‌تواند به دلیل افزایش عملکرد باشد.

**واژگان کلیدی:** انتشار فلزات سنگین، پتانسیل گرمایش جهانی، تقاضای اکسرژی جمععی، ردپای بوم‌شناختی و یوتریفیکاسیون.

morteza\_siavoshi@yahoo.com

۱- عضو هیأت علمی، بخش علوم کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران. (نگارنده‌ی مسئول)

۲- پژوهشگر پسادکتری، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج، ایران.

## مقدمه

ارزیابی چرخه حیات (LCA) یک روش مناسب برای مطالعه و بررسی اثرات محیط‌زیستی تولید یک محصول در کل چرخه آن در سامانه تولید است (Iriarte *et al.*, 2010). عملیات کشاورزی با احتراق سوخت‌های فسیلی تأثیر عمده‌ای بر کربن جهانی و چرخه نیتروژن دارد، که احتمالاً به افزایش ۱/۷ درجه سلسیوس دمای کره زمین در هر دهه از سال ۱۹۵۰ شده است (Lal, 2004). کشاورزان با اتخاذ مدیریت مناسب می‌توانند انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند که نتیجه آن کاهش ردپای بوم‌شناختی تولیدات کشاورزی در مزرعه است (IPCC, 2007). در همین رابطه، بخش قابل توجهی از انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به تولید محصول می‌تواند از طریق بهبود شیوه‌های زراعی کاهش یابد (Malmuti *et al.*, 2009) که افزایش عملکرد و تولید بیش‌تر نهاده‌ها از باقی‌مانده کربن می‌تواند به افزایش ذخیره کربن خاک منجر شود (Lal, 2004). وان گرونیخن و همکاران (van Groenigen *et al.*, 2010) خلاصه نتایج ۱۹ تحقیق را مطالعه و بیان کردند که بهینه‌سازی مصرف نیتروژن باعث افزایش کارایی مصرف نیتروژن شده که مصرف میزان متوسط نیتروژن نیز منجر به کاهش انتشار  $N_2O$  شد. همچنین، تولید گازهای گلخانه‌ای می‌تواند با اتخاذ کشت‌های نیمه فشرده از قبیل کاهش استعمال آفت‌کش‌ها و دیگر نهاده‌ها کاهش یابد (Paustian *et al.*, 2004). پایداری در تولید تا حد زیادی به ردپای کربن و عملکرد بستگی دارد (Dubey and Lal, 2009)، این نشان می‌دهد که حدود ۷۵ درصد از کل ردپای کربن در تولید محصول به ورودی کود نیتروژن بستگی دارد (Hillier *et al.*, 2009).

به‌عبارت دیگر، نیتروژن ورودی برای پایداری در عملکرد ضروری است. این نتایج نشان می‌دهد که بهینه‌سازی تولیدات کشاورزی به افزایش بهره‌وری و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر می‌شود. علاوه بر این، کاربرد نیتروژن از منابع آلی و غیرآلی (کود دامی) همیشه به‌طور مؤثر و با کارایی بالا توسط گیاهان مصرف نمی‌شوند (Cassman *et al.*, 2003). بهبود کارایی جذب نیتروژن توسط گیاه می‌تواند به کاهش آبشویی نیتروژن منجر شود که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم باعث کاهش انتشار  $N_2O$  از نیتروژن مازاد موجود در خاک شود (Smith *et al.*, 2008). استین جنسن و همکاران (Jensen *et al.*, 2011) گزارش کردند که شواهد و اطلاعات اندکی برای ارتباط مستقیم بین تثبیت نیتروژن و انتشار  $N_2O$  وجود دارد، اگرچه تجزیه گره‌ها و زیست‌توده لگوم‌ها می‌تواند به‌عنوان منبع انتشار  $N_2O$  باشد (West and Post, 2002). در تحقیق چاناکچی (Canakci *et al.*, 2005) در ترکیه کود شیمیایی به‌عنوان مهم‌ترین منبع انرژی مصرفی در تولید گندم با ۵۴/۱ درصد در نظر گرفته شد. تولید، بسته‌بندی، حمل و نقل و کاربرد نهاده‌ها نیاز به منابع انرژی قابل توجهی نیاز دارد که نتیجه آن انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتر می‌باشد (Maraseni *et al.*, 2007). گرم شدن کره زمین ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به کشاورزی به‌عنوان یکی از عوامل سوء محیط‌زیستی شناخته شده است (Robertson *et al.*, 2000).

محققان تولید گندم نان را در نظام‌های ارگانیک و رایج در آمریکا از نظر پتانسیل گرمایش جهانی به‌وسیله LCA مقایسه کردند که نتایج آنها نشان داد تولید یک کیلوگرم نان در نظام ارگانیک

کاشت فشرده و رایج منطقه به دست آمد. همچنین، آنها در مطالعه‌ای دیگر بیان کردند کود نیتروژن و سوخت در رتبه‌های دوم و سوم از نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای در زراعت برنج قرار گرفتند. همچنین، نظام کاشت حفاظتی کمترین GWP را در واحد انرژی خروجی دارا بود و نظام‌های کاشت بهبود یافته و رایج در جایگاه‌های بعدی قرار گرفتند. به‌طور کلی، میزان GWP ارتباط مستقیمی با شیوه مدیریت مزرعه و مصرف نهاده‌ها دارد و بر این اساس کمترین مقدار این شاخص‌ها در نظام کاشت حفاظتی به دست آمد (Dastan *et al.*, 2015a,b). با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان بیان کرد بخش تولید گیاهان زراعی یکی از منابع مهم در انتشار گازهای گلخانه‌ای، گرمایش جهانی و تغییر اقلیم بوده و ارزیابی چرخه حیات ضرورت دارد. بنابراین، ارزیابی چرخه حیات تولید گندم برای تعیین انرژی آلاینده‌های محیط‌زیستی ناشی از مصرف نیتروژن و سایر ورودی‌ها (نهاده) ضرورت دارد. تاکنون گزارشی در مورد ارزیابی تولید گندم ناشی از مصرف نیتروژن با روش LCA در منطقه بوشهر گزارش نشده است، این امر نگران‌دگان را بر آن داشت تا به تحلیل و مقایسه جنبه‌های محیط‌زیستی تولید گندم در این منطقه بپردازند. از این‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی چرخه حیات تولید گندم آبی تحت اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن در منطقه بوشهر انجام شد.

### مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه و اجرای

#### آزمایش

استان بوشهر در عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۹ دقیقه

نسبت به نظام رایج، ۳۰ کیلوگرم معادل CO<sub>2</sub> کمتر تولید کرد (Meisterling *et al.*, 2009). با بررسی اثرات محیط‌زیستی نظام‌های تولید گندم زمستانه در سطوح مختلف مصرف نیتروژن بر اساس LCA مشاهده شد شاخص LCA با مصرف مقادیر کمتر از ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در حدود ۰/۲۲ تا ۰/۲۶ به ازای هر تن دانه گندم بود و با افزایش مقدار مصرف نیتروژن از ۲۰۰ تا ۳۹۰ کیلوگرم در هکتار شاخص LCA برابر ۳۳ تا ۱۰۰ درصد بیشتر از سطوح کمتر نیتروژن بود. نتایج این تحقیق نشان داد که در سطوح پایین‌تر نیتروژن، کاربری اراضی و در سطوح بالای نیتروژن یوتریفیکاسیون از جمله عوامل کنترل کننده شاخص LCA بودند. در این تحقیق اسیدیته و گرمایش جهانی از اثرات عمده محیطی بوده‌اند (Brentrup *et al.*, 2004b). در ارزیابی چرخه زندگی سامانه تولید گندم زمستانه و ذرت در شمال چین کاهش منابع فسیلی، تغییرات آب و هوایی، اسیدیته، یوتریفیکاسیون، ایجاد سمیت برای انسان و بوم‌نظام آبی و خشکی بررسی شد (Wang *et al.*, 2007). در سامانه تولید گندم زمستانه کاهش منابع فسیلی و اسیدیته و در ذرت کاهش منابع فسیلی و یوتریفیکاسیون بیشتر از سایر عوامل موجب آسیب محیط‌زیستی شد. به‌طور کلی، تولید گندم زمستانه نسبت به ذرت، به محیط زیست خسارت بیشتری وارد کرد که شاخص نهایی محیط‌زیستی گندم ۰/۰۶۳ و برای ذرت ۰/۰۴۰ به دست آمد (Wang *et al.*, 2007). داستان و همکاران (Dastan *et al.* 2015 a,b) با ارزیابی نظام‌های کاشت برنج دریافتند متوسط پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) برابر ۲۸۰۳/۲۵ کیلوگرم معادل CO<sub>2</sub> در هکتار بوده است. کمترین و بیشترین ردپای کربن در واحد وزن در نظام‌های

وجین و کنترل علف‌های هرز به صورت منظم انجام شد. مصرف کود نیتروژن بر اساس نوع تیمار آزمایشی در کرت‌ها انجام شد. در کرت‌های آزمایشی، سایر عملیات زراعی طبق عرف منطقه انجام شد.

#### ارزیابی چرخه زندگی (LCA) اثرات

زیست‌محیطی: 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 زیست‌محیطی چرخه حیات و تفسیر نتایج است (Iriarte et al., 2010) که جزئیات مربوط به هر بخش از مطالعه برنتروپ و همکاران (Brenttrup et al., 2004a) استخراج شد.

#### 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 زیست‌محیطی تولید گندم بود. واحد کارکردی در این مطالعه بر مبنای تولید یک تن عملکرد در نظر گرفته شد که کلیه ورودی‌ها و خروجی‌ها و اثرات زیست‌محیطی نسبت به آن سنجیده شدند. با توجه به اینکه مزرعه دارای دو خروجی، یکی محصول دانه و دیگری کاه و کلش بود، توزیع (تخصیص) اثرات زیست‌محیطی به صورت ۹۰ درصد دانه و ۱۰ درصد کاه و کلش در نظر گرفته شد که مطابق ارزش اقتصادی آنها است (Rebitzer et al., 2004).

#### صورت‌برداری از چرخه حیاتی

این بخش پرکارترین و زمان‌برترین مرحله انجام LCA است (Roy et al., 2009). در این مرحله کلیه منابع (ورودی‌ها) و نهاده‌های مورد نیاز برای تولید گندم و مقادیر تمامی آلاینده‌های

طول شرقی نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. این استان از دو بخش جلگه‌ای حاشیه ساحلی غربی و کوهستانی نوار شرقی منتهی‌الیه زاگرس جنوبی تشکیل شده است. در این پژوهش تمامی عملیات مدیریتی انجام شده از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت در مزارع مورد مطالعه ثبت شد. این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در شهرستان گناوه طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. قبل از اجرای آزمایش برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در دو عمق ۳۰-۶۰ و ۳۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری و بر اساس تفسیر نتایج آزمون خاک تیمارها اعمال شد. مقادیر کود نیتروژن در چهار سطح ۷۰، ۱۴۰، ۲۱۰ و ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره به‌عنوان عامل اصلی و تقسیط کود نیتروژن در سه سطح شامل: مصرف ۲۵ درصد نیتروژن در مرحله کاشت (پایه) + ۵۰ درصد در مرحله شروع پنجه‌دهی + ۲۵ درصد در مرحله شروع ساقه‌دهی، مصرف سه قسمتی نیتروژن در مراحل کاشت، شروع پنجه‌دهی و شروع ساقه‌دهی به نسبت‌های مساوی، و مصرف چهار قسمتی نیتروژن در مراحل کاشت، شروع پنجه‌دهی، شروع ساقه‌دهی و آبستنی به نسبت‌های مساوی به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند.

در این پژوهش، انجام هر عملیات زراعی بر اساس شیوه کشت گندم در منطقه انجام شد. پس از آماده‌سازی زمین، عملیات زراعی از قبیل کوددهی پایه، شخم و تسطیح زمین و تهیه نقشه اجرای طرح اقدام شد. سپس کرت‌هایی به ابعاد ۴×۵ متر در خطوط با فاصله ۲۰ سانتی‌متر تهیه شد. پس از کاشت، آبیاری اول انجام و بعد از آن پایش مزرعه جهت آبیاری بعدی، سله‌شکنی،

نتایج به دست آمده از هر مدل با یکدیگر مقایسه و ارزیابی شدند. در مرحله ارزیابی تأثیر، ابتدا تعیین شد که هر یک از مواد انتشار یافته به محیط دارای کدام تأثیر بوده و باید در کدام طبقه تأثیر قرار گیرد. سپس، این انتشارات به یک واحد معادل برای طبقه تأثیر تبدیل شدند. برای مثال، گازهای انتشار یافته  $\text{CO}_2$ ،  $\text{N}_2\text{O}$  و  $\text{CH}_4$  دارای تأثیر بر گرم شدن زمین هستند، ولی پتانسیل این گازها در ایجاد تغییر اقلیم متفاوت است به این صورت که هر کیلوگرم  $\text{N}_2\text{O}$  و  $\text{CH}_4$  به ترتیب معادل ۳۱۰ و ۲۵ کیلوگرم  $\text{CO}_2$  اثر گلخانه‌ای دارند (Brenttrup *et al.*, 2004a).

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل آماری داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین از طریق نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

#### مدل تقاضای انرژی تجمعی (CED)

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد شاخص‌های مدل تقاضای انرژی تجمعی تحت اثر ساده مقدار و تقسیط نیتروژن و اثر متقابل دوگانه آنها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). 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 به عنوان تقاضای انرژی تجمعی در نظر گرفته شد. طبق یافته‌ها،

منتشر شده در اثر استفاده از انواع مختلف نهاده‌ها فهرست‌برداری شدند. در هر مرحله از صورت‌برداری به موارد زیر توجه شده است: ۱- زیرساخت‌ها: شامل ساخت، نگهداری و استهلاک ماشین‌آلات و ساختمان‌ها (پناهگاه‌ها برای ماشین‌آلات)، ۲- کلیه عملیات زراعی شامل تهیه بستر، کاشت، تغذیه گیاه، حفاظت گیاه، آبیاری، برداشت و حمل و نقل و تأمین و مصرف سوخت جهت انجام عملیات و ۳- تولید کودها و آفت‌کش‌ها و حمل و نقل آنها. نتیجه مرحله صورت‌برداری فهرستی از ورودی‌ها به مزرعه و خروجی‌ها و انتشارات از مزرعه است (Brenttrup *et al.*, 2004a).

#### ارزیابی تأثیر در چرخه حیات

در این مرحله باید مشخص کرد که کدام طبقه تأثیر لحاظ شود و نیز برای ارزیابی تأثیر از چه روشی استفاده شود. در این تحقیق، با توجه به اهمیت مباحث محیط‌زیستی در تولید گندم، برخی از شاخص‌های رده‌اثر 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 حیات و مقایسه کلی نتایج بر مبنای مدل CML non-baseline در نرم‌افزار استفاده شد (Simapro, 2011). سپس شاخص کلی انتشار آلاینده‌ها محاسبه شد.

به منظور ارزیابی دقیق و کامل چرخه زندگی اثرات محیط‌زیستی در مرحله بعد با استفاده از سایر روش‌ها (Cumulative Ecopoints 97، Cumulative Exergy Demand، Energy Demand و Ecological footprint) تمامی شاخص‌های انتشار آلاینده‌های محیط‌زیستی محاسبه و ارزیابی چرخه حیات انجام شد. سپس،

آینده همراه با مخاطرات زیادی است (Dastan *et al.*, 2015a,b). در واقع توسعه نظام‌های کشاورزی با حداقل انرژی ورودی می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک شایانی کند (Dastan *et al.*, 2015a,b).

#### 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 رده‌ اثر 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. بر اساس تجزیه واریانس داده‌ها، شاخص‌های مدل تقاضای اکسرژی تجمعی تحت اثر ساده مقدار و تقسیط نیتروژن و اثرمتقابل دوگانه آنها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). 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 ۱۳۵۰/۵۱ مگاژول بود که در مقایسه با تقاضای انرژی تجمعی معادل ۱۱/۶۳ درصد بالاتر بود (شکل ۱). شاخص تقاضای اکسرژی تجمعی با افزایش مصرف نیتروژن از ۷۰ کیلوگرم به ۲۸۰ کیلوگرم در هر سه سطح تقسیط نیتروژن، روند کاهشی را نشان داد که از ۱۴۹۹۱/۴۱ مگاژول به ۱۲۰۰۴/۷ مگاژول رسید. با مصرف ۷۰، ۱۴۰،

میانگین مقدار تقاضای انرژی تجمعی برابر ۱۱۶۱۰/۳۳ مگاژول بود که بیشترین سهم متعلق به سوخت فسیلی، ماشین‌آلات و نیتروژن بود (شکل ۱).

طبق یافته‌ها، با افزایش مصرف نیتروژن از ۷۰ کیلوگرم در هکتار به ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار تقاضای انرژی تجمعی روند کاهشی را نشان داد. بیشترین تقاضای انرژی تجمعی (۱۲۹۴۵/۵۵ مگاژول) به مصرف ۷۰ کیلوگرم نیتروژن و سطح اول تقسیط تعلق گرفت و کمترین مقدار تقاضای انرژی تجمعی (۱۰۲۷۱/۹۰ مگاژول) متعلق به مصرف ۲۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و سطح سوم تقسیط بود. علاوه بر این، در هر چهار سطح مصرف نیتروژن بیشترین تقاضای انرژی تجمعی در سطح اول تقسیط نیتروژن مشاهده شد و سطح دوم تقسیط در رتبه دوم قرار گرفت. کمترین تقاضای انرژی تجمعی نیز به سطح سوم تقسیط نیتروژن تعلق گرفت که نشان می‌دهد تقسیط نیتروژن در چهار مرحله تعیین کننده رشدی منجر به حداکثر استفاده گیاه از این ماده شده که نتیجه آن افزایش عملکرد و کاهش تقاضای انرژی در واحد سطح شد (شکل ۱). طبق یافته‌ها، تمامی ورودی‌ها به مزرعه و خروجی (عملکرد دانه و کاه و کلش) بر تقاضای انرژی تجمعی اثرگذار بودند. بنابراین، کاهش تقاضای انرژی تجمعی با افزایش مقدار نیتروژن می‌تواند به دلیل افزایش عملکرد باشد. 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. این مسأله از لحاظ بوم‌شناختی اهمیت قابل توجهی دارد، زیرا منبع انرژی‌های تجدیدناپذیر که عمدتاً سوخت‌های فسیلی هستند و تکیه بر این منابع در

داشته و شاخص اشغال زمین و انرژی هسته‌های به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

#### مدل CML-IA non-baseline

جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تمامی شاخص‌های رده اثر مربوط به مدل CML-IA non-baseline (تخلیه غیرزنده، رقابت زمین، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون، تابش یونیزان، بدبو شدن هوا، 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 رسوبات در دریا و آب‌های شیرین در دوره ۱۰۰ ساله) تحت اثر ساده مقدار و تقسیط نیتروژن و اثرمتقابل دوگانه آنها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۱ و ۲). مقایسه میانگین مقادیر شاخص‌های رده‌اثر در جداول ۳ الی ۴ و شکل‌های ۳ الی ۶ ارایه شده‌اند. در جدول ۳، شاخص‌های رده‌اثر تخلیه غیرزنده، رقابت زمین، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون، تابش یونیزان و بدبو شدن هوا ارزیابی شدند. میانگین شاخص رده اثر تخلیه منابع غیرزنده برابر ۱۲/۵۶ کیلوگرم معادل انتیموان (Sb)، رقابت زمین (۲۰۸/۱۴ متر مربع در سال)، اسیدی شدن (۳/۱۷ کیلوگرم معادل SO<sub>2</sub>)، یوتریفیکاسیون (۲/۳۴ کیلوگرم معادل PO<sub>4</sub>) و بدبویی هوا (۷۲۸۱۵۱۷ متر مکعب هوا) بوده که تمامی این شاخص‌ها با افزایش مصرف نیتروژن افزایش یافتند که در هر چهار سطح برای تقسیط اول بالاتر بوده که تقسط دوم و سوم به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. کاهش مقادیر این شاخص‌های رده‌اثر با افزایش مصرف نیتروژن نشان می‌دهد که سهم خروجی (عملکرد

۲۱۰ و ۲۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مقدار شاخص تقاضای اکسرژی تجمعی از سطح اول تقسیط تا سطح سوم تقسیط به‌ترتیب معادل ۶/۶، ۳/۷۵، ۹/۸۶ و ۳/۸ درصد کاهش نشان داد (شکل ۱). بر اساس 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 (داده‌ها نشان داده نشده است).

#### مدل ردپای بوم‌شناختی (EF)

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد شاخص‌های مدل ردپای بوم‌شناختی تحت اثر ساده مقدار و تقسیط نیتروژن و اثرمتقابل دوگانه آنها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). در این روش سه گروه تأثیر دی‌اکسید کربن، انرژی هسته‌ای و اشغال زمین بر اساس متر مربع در سال (m<sup>2</sup>a) ارزیابی شدند. تمامی ورودی‌ها بر ردپای بوم‌شناختی اثرگذار بودند که بذر، سوخت فسیلی، نیتروژن و ماشین‌آلات بیشترین تأثیر را بر ردپای بوم‌شناختی نشان دادند (داده‌ها نشان داده نشده است). میانگین ردپای بوم‌شناختی برابر ۱۱۲۵/۸۷ متر مربع در سال بوده که سهم دی‌اکسید کربن، انرژی هسته‌ای و اشغال زمین به‌ترتیب برابر ۷۳۳/۶۶، ۶۹/۰۲ و ۳۲۳/۱۹ متر مربع در سال بود. با افزایش مصرف نیتروژن، ردپای بوم‌شناختی روند افزایشی را نشان داد که در هر چهار سطح نیتروژن مصرفی مقادیر ردپای بوم‌شناختی از سطح اول تقسیط تا سطح سوم تقسیط نیتروژن روند کاهشی را نشان داد. طبق یافته‌های شکل ۲ مشاهده می‌شود که شاخص رده‌اثر انتشار دی‌اکسید کربن بالاترین اثر را بر ردپای بوم‌شناختی

تولیدی) بالاتر از سهم ورودی نیتروژن بوده و اثرگذاری بالاتری را نشان داد (جدول ۳). در جدول ۴ 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 رسوبات در دریا و آب‌های شیرین در دوره ۱۰۰ ساله ارائه شد. میانگین شاخص تخلیه ازن اکسیداسیون فتوشیمیایی با مقادیر پایین و بالای اکسید نیتروژن (به ترتیب ۰/۳۲۹ و ۰/۵۲۷ کیلوگرم معادل  $C_2H_4$ )، مسمومیت رسوبات آب‌های شیرین (۷۳/۴۷ کیلوگرم معادل 1,4-DB)، مسمومیت رسوبات دریایی (۱۱۷/۰۳ کیلوگرم معادل 1,4-DB)، مسمومیت آب‌های شیرین (۷۱/۲۰ کیلوگرم معادل 1,4-DB) و مسمومیت دریایی برابر ۱۱۷/۰۳ کیلوگرم معادل 1,4-DB به دست آمد (جدول ۴). طبق یافته‌ها، شاخص‌های رده‌اثر اکسیداسیون فتوشیمیایی، مسمومیت رسوبات دریایی و مسمومیت دریایی با افزایش مقادیر نیتروژن کاهش یافت که کمترین مقدار در تقسیط سوم و بیشترین مقدار در تقسیط اول به دست آمد. این یافته‌ها نشان می‌دهد شاخص‌های رده‌اثر اکسیداسیون فتوشیمیایی، مسمومیت رسوبات دریایی و مسمومیت دریایی بیشتر تحت اثر سایر عناصر مصرفی بوده و کمتر تحت اثر نیتروژن قرار می‌گیرد. شاخص‌های رده‌اثر مسمومیت رسوبات آب‌های شیرین، مسمومیت آب‌های شیرین با افزایش مقادیر نیتروژن روند افزایشی را نشان دادند که این مقادیر در تقسیط اول بالاتر از تقسیط دوم و سوم بود که کمترین مقدار در تقسیط سوم حاصل شد (جدول ۴).

شاخص رده‌اثر تخلیه لایه ازن در دوره ۵ الی ۴۰ ساله در شکل ۳ ارائه شده است که میانگین این شاخص برابر ۰/۰۰۱۰۷ کیلوگرم معادل CFC-11 بود. در تمامی دوره‌ها، بالاترین مقدار این شاخص رده‌اثر متعلق به مصرف ۷۰ کیلوگرم نیتروژن و سطح اول تقسیط و کمترین مقدار متعلق به مصرف ۲۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و سطح سوم تقسیط بود. با افزایش مقدار نیتروژن، این شاخص روند کاهشی را نشان داد که کمترین مقدار در سطح سوم تقسیط به دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که مدیریت بهینه مصرف نیتروژن 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). 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 ۴۰۰/۵۳ و ۳۸۴/۳۰ کیلوگرم معادل  $CO_2$  بود که با افزایش زمان این شاخص به میزان درصد ۴/۵ درصد کاهش یافت. پتانسیل گرمایش جهانی طی هر دو دوره روند متغیری را نشان داد که بیشترین مقدار آن با مصرف ۷۰ کیلوگرم نیتروژن در تقسیط اول (به ترتیب ۴۴۰/۱۵ و ۴۲۲/۷۹ کیلوگرم معادل  $CO_2$ ) و کمترین مقدار آن با مصرف ۲۸۰ کیلوگرم نیتروژن در تقسیط سوم (به ترتیب ۳۵۹/۷۲ و ۳۴۴/۷۵ کیلوگرم معادل  $CO_2$ ) به دست آمد (شکل ۴). دو شاخص رده‌اثر مسمومیت انسان و مسمومیت 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 ۱۵/۲۱ درصد افزایش نشان دادند. شاخص



گرفتند. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد خروجی روش 97 Ecopoints 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 ۸). میانگین انتشار فلزات سنگین سرب، کادمیم، روی و جیوه به ترتیب برابر  $۰/۰۰۳۰$ ،  $۸/۲۰^{-۵}$  و  $۷/۵۳^{-۵}$  گرم بود که هر چهار عنصر با افزایش مقدار نیتروژن روند کاهشی را نشان دادند (جدول ۸). میانگین انتشار کروم، روی، مس، کادمیم، جیوه، سرب و نیکل به ترتیب برابر  $۰/۰۰۱۰۸$ ،  $۰/۰۰۲۳۳$ ،  $۰/۰۰۰۲۶$ ،  $۷/۰۱^{-۵}$ ،  $۷/۷۲^{-۵}$ ،  $۰/۰۰۰۷۴$  و  $۰/۰۰۰۲۰$  گرم حاصل شد (جدول ۸). تمامی آلاینده‌های انتشار یافته به آب با افزایش مقدار نیتروژن روند کاهشی را نشان دادند. این یافته‌ها نشان می‌دهد افزایش مصرف نیتروژن منجر به جذب بالاتر توسط گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد شده که سهم خروجی (عملکرد) در مقابل ورودی (نیتروژن) در انتشار آلاینده‌ها افزایش یافته و اثر سوء ناشی از مصرف بالاتر نیتروژن را در انتشار آلاینده‌ها به آب کاهش داد. این نتایج نشان می‌دهد انتشار این فلزات در تقسیط اول بالاتر از تقسیط دوم و سوم بود. طبق یافته‌ها، تمامی فلزات سنگین منتشر شده به آب و هوا در مقادیر پایین‌تر نیتروژن بیشتر بوده که نشان می‌دهد مقادیر این آلاینده‌ها بیشتر تحت اثر خروجی (عملکرد) بوده که مدیریت بهینه مصرف نیتروژن ضرورت دارد. در واقع، مصرف پایین نیتروژن منجر به کاهش عملکرد و جذب کمتر این عنصر توسط گیاه شده و منجر به افزایش انتشار آلاینده‌ها به آب شد (جدول ۸).

رده‌اثر مسمومیت انسان در طی ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال به ترتیب معادل  $۳۶۳/۶۵$ ،  $۳۶۴/۰۱$  و  $۳۶۵/۱۷$  کیلوگرم معادل 1,4DB (شکل ۵)، و شاخص مسمومیت خشکی طی ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال به ترتیب برابر  $۷/۱$ ،  $۷/۳۳$  و  $۸/۱۸$  کیلوگرم معادل 1,4DB بود (شکل ۶). شاخص رده‌اثر مسمومیت انسان در طی هر سه دوره زمانی با افزایش مصرف نیتروژن از ۷۰ کیلوگرم به ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار روند کاهشی را نشان داد، ولی شاخص رده‌اثر مسمومیت خشکی با افزایش مصرف نیتروژن در هر سه دوره زمانی روند افزایشی داشت. کمترین مقدار مربوط به هر دو شاخص در هر سه دوره زمانی و چهار مقدار نیتروژن متعلق به سطح سوم تقسیط بوده و تقسیط دوم و اول در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۵ و ۶).

سهم  $NH_3$  در پتانسیل اسیدی شدن با اختلاف زیادی بیشتر از  $NO_2$  و  $SO_2$  بود. منبع انتشار  $NH_3$  کود اوره است. تصعید آمونیاک اثر مهمی در ایجاد اثرهای زیست‌محیطی یوتروفیکاسیون و اسیدی شدن دارد. علت بالا بودن آلاینده‌ها با مصرف حداقل مقدار نیتروژن را می‌توان به پایین بودن مقادیر خروجی (عملکرد) نسبت داد. نتایج مقایسه بین انرژی‌های ورودی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آنها نشان داد که بین انرژی‌های ورودی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن ارتباط مستقیمی وجود دارد.

### مدل 97 Ecopoints

طبق یافته‌های جداول تجزیه واریانس ۵ الی ۷ مشاهده شد که تمامی شاخص‌های رده‌اثر مربوط به مدل 97 Ecopoints تحت اثر ساده مقدار و تقسیط نیتروژن و همچنین اثر متقابل دوگانه آنها در سطح احتمال یک درصد قرار

انواع ورودی‌ها به‌ویژه نیتروژن بود. در همین رابطه دیگر محققان بیان داشتند که انتشار گازهای گلخانه‌ای در هنگام فعالیت‌های متنوع کشاورزی یا به‌طور مستقیم از طریق مصرف سوخت‌های فسیلی در طی اجرای عملیات زراعی (کاشت تا برداشت) و یا به‌طور غیرمستقیم در زمان تولید و حمل و نقل ورودی‌های مورد نیاز مزرعه (علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی) به‌دست می‌آیند (Wood and Cowie, 2004). در مطالعه‌ای دیگر نیز اعلام شد که عملیات زراعی و غیرزراعی (تولید و حمل و نقل کودها و آفت‌کش‌ها) در تولید برنج هر کدام به‌ترتیب ۹۸-۸۰ و ۹۱-۱۶ کیلوگرم معادل CO<sub>2</sub> در هکتار پتانسیل گرمایش جهانی نقش دارند (Pathak and Wassmann, 2007). عوامل متفاوت طبیعی و انسانی باعث ایجاد گرمایش جهانی می‌شوند؛ اما عموماً محققان آن را ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های انسانی می‌دانند (Bare, 2011)، که می‌تواند سبب تغییرات زیادی در الگوهای جهانی اقلیم شود. برای گزارش میزان گازهای گلخانه‌ای تولید شده، تمامی گازهای تولید شده با معادل دی‌اکسیدکربن که بیان‌گر پتانسیل گرمایش جهانی است، گزارش می‌شوند. در مطالعه سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2013) مقدار پتانسیل گرمایش جهانی در گرگان ۶۲۱ کیلوگرم معادل CO<sub>2</sub> به ازای تولید یک تن گندم گزارش شد. در دیگر تحقیقات شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر در بخش زراعی تولید گندم ۱۱۹/۵ کیلوگرم معادل CO<sub>2</sub> (Wang et al., 2007)، گندم در مرودشت ۲۶۲/۱ کیلوگرم معادل CO<sub>2</sub> (Mirhaji et al., 2013) و گندم در سوئیس ۳۸۱ کیلوگرم معادل CO<sub>2</sub> گزارش شد (Charles et al., 2006). مقدار

در جدول ۹ 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 (۲/۵۲ گرم)، فلزات به خاک (۹/۹۳<sup>-۵</sup> گرم معادل کادمیوم)، آفت‌کش‌ها به خاک (۰/۰۲۷۶۵ گرم بر اساس ماده مؤثره)، انتشار اکسید نیتروژن (۱/۱۸ گرم)، اکسید گوگرد (۱/۹۳ گرم معادل SO<sub>2</sub>، آمونیاک (۰/۲۱۵۱۲ گرم)، گرد و غبار (۰/۶۴۴۴۵ گرم)، تقاضای اکسیژن شیمیایی (۴/۴۱ گرم)، فسفر (۰/۰۴۰۹۱ گرم) و پتاسیم (۰/۰۴۵۴۹ گرم) به‌دست آمد که تمامی این شاخص‌ها به غیر از انتشار آفت‌کش‌ها با افزایش مقادیر نیتروژن روند کاهشی را نشان دادند که کمترین مقدار در سطح سوم تقسیط و بیشترین مقدار در سطح اول تقسیط به‌دست آمد (جدول ۹). با مقایسه گروهی بین مقادیر مختلف نیتروژن در سطوح تقسیط 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 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، آب‌سویی و فرسایش محاسبه شده است.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد با مصرف کمتر از حد بهینه نیتروژن (۷۰ کیلوگرم در هکتار) در کشت گندم 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

خسارت‌های مولکولی به مواد، صدمه به گیاهان و حیوانات گردد که به‌علت افزایش عبور ماوراءبنفش رخ می‌دهند (Bare et al., 2003). سرعت تشکیل ازن در لایه تروپوسفر به‌وسیله واکنش‌های پیچیده شیمیایی تعیین می‌شود که تحت تأثیر غلظت NOx، ترکیبات آلی فرار و همچنین دما، نور خورشید و جریان‌های همرفت قرار دارد. یافته‌های اخیر نشان می‌دهد که منواکسیدکربن و متان نیز در تشکیل ازن مؤثر هستند (Bare et al., 2003). 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., 2003). همچنین، نمک و کاگی (Nemecek and Kagi, 2007) مقدار این آبشویی 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 به‌ترتیب ۷/۲ و ۹ کیلوگرم معادل PO<sub>4</sub> گزارش کردند (Iriarte et al., 2010). در شیلی نیز شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر اسیدیته برای تولید کلزا و آفتابگردان به‌ترتیب ۱۹ و ۲۳ کیلوگرم معادل SO<sub>2</sub> محاسبه شد (Iriarte et al., 2010). باران اسیدی در برخی نقاط جهان باعث مسمومیت و صدمه به گیاهان، درختان، آبزیان و افزایش اسیدیته خاک می‌شود (Dastan et al., 2016a; 2017). از منابع عمده این اثر در کشاورزی استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنه و در نتیجه انتشار NOx و NH<sub>3</sub> به اتمسفر است (Dastan et al., 2016a,b; 2017). از آنجا که در تولید محصولات کشاورزی نهاده‌های زیادی

تقاضای انرژی غیرقابل تجدید برای تولید یک تن گندم در گرگان ۶۶۴۱ مگاژول گزارش شد (Soltani et al., 2013). مقدار کل انرژی مصرفی در انگلیس بسته به نوع خاک و عملیات مزرعه‌ای و نظام‌های تولیدی بین ۲۷۴ تا ۵۵۷ مگاژول (Tzilivakis et al., 2005) و در ژاپن ۵۲۱ مگاژول (Koga, 2008) در هر تن چغندر قند گزارش شد.

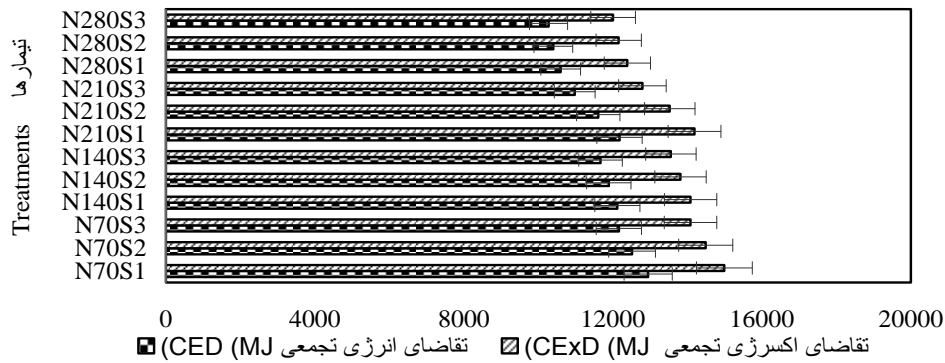
مهم‌ترین مواد دارای پتانسیل اسیدی شدن در بوم‌نظام‌ها، دی‌اکسیدسولفور و اکسیدهای نیتروژن هستند که در جریان تولید در کشاورزی عمدتاً از مصرف سوخت‌های فسیلی ناشی می‌شوند، اگرچه آمونیاک حاصل از مصرف کودهای شیمیایی در مزرعه نیز از عوامل مهم اسیدی شدن است (Engstrom et al., 2009). علاوه بر این، در مصرف سوخت، ادوات و ماشین‌آلات، تولید و حمل و نقل این مواد نیز اثر سمیت وجود دارد (Engstrom et al., 2009). 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., 2003). در دیگر تحقیقات شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر اسیدیته برابر چهار کیلوگرم معادل SO<sub>2</sub> حاصل شد (Wang et al., 2007). در تحقیقی دیگر در شیلی شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر اسیدیته برای تولید کلزا و آفتابگردان به‌ترتیب ۱۹ و ۲۳ کیلوگرم معادل SO<sub>2</sub> محاسبه شد (Iriarte et al., 2010). اعتقاد بر آن است که انتشاراتی مانند کلروفلوروکربن‌ها و گازهای هالوژنه باعث تخریب لایه ازن در استراتوسفر می‌شوند (Bare et al., 2003). تخریب لایه ازن می‌تواند باعث اثراتی مثل سرطان پوست، ورود

کیلوگرم در هکتار شاخص‌های رده‌اثر مقدار تقاضای انرژی جمعی و تقاضای اکسرژی جمعی روند کاهشی را نشان داد. طبق یافته‌ها، تمامی ورودی‌ها بر ردپای بوم‌شناختی اثرگذار بودند که بذر، سوخت فسیلی، نیتروژن و ماشین‌آلات بیشترین تأثیر را بر ردپای بوم‌شناختی نشان دادند. همچنین، با افزایش مصرف نیتروژن ردپای بوم‌شناختی روند افزایشی را نشان داد که انتشار دی‌اکسید کربن بالاترین اثر را بر ردپای بوم‌شناختی داشت. با مقایسه گروهی بین مقادیر نیتروژن در سطوح تقسیط می‌توان بیان کرد علت اصلی تغییرات میزان آلاینده‌ها، بالاتر بودن مقدار خروجی (عملکرد) در مقابل ورودی‌ها بود. در واقع، تقسیط نیتروژن در چهار مرحله تعیین کننده رشدی منجر به حداکثر استفاده گیاه شده که نتیجه آن نیز افزایش عملکرد و کاهش انتشار آلاینده‌ها در واحد سطح بود. همچنین، کاهش انتشار آلاینده‌ها با افزایش مقدار نیتروژن می‌تواند به دلیل افزایش عملکرد باشد.

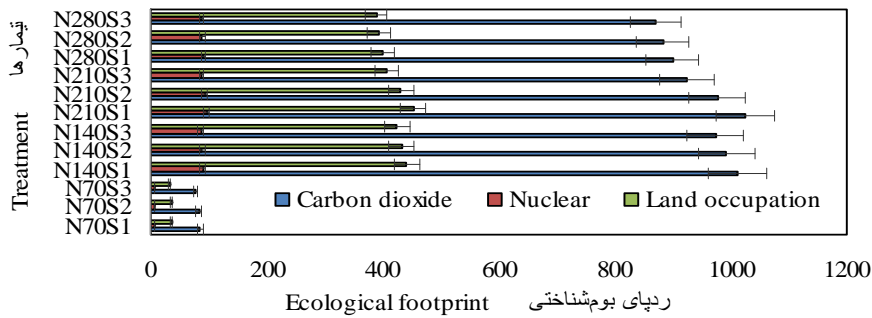
مصرف می‌شود در نتیجه سامانه تولید اثرات محیط‌زیستی گسترده‌ای را ایجاد می‌کند (Brentrup *et al.*, 2004a). در مطالعه دیگر در آلمان گزارش شد برای تولید یک تن گندم اسیدپتته و گرمایش جهانی از اثرات عمده محیطی بوده‌اند (Brentrup *et al.*, 2004b). برای محصول گندم تخلیه انرژی با شاخص نهایی ۰/۱۴ و اسیدپتته با ۰/۱۳ مهم‌ترین شاخص محیط‌زیستی بودند (Wang *et al.*, 2007). برای تولید آفتابگردان و کلزا بالاترین تأثیر محیط‌زیستی برای گرمایش جهانی و یوتریفیکاسیون گزارش شد (Iriarte *et al.*, 2010). پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی (مه‌دود) عمدتاً ناشی از تشکیل ازن در سطح زمین است که خود تحت اثر واکنش‌های بین اکسیدهای نیتروژن و ترکیبات آلی فرار در نور خورشید قرار دارد (Bare *et al.*, 2011).

### نتیجه‌گیری کلی

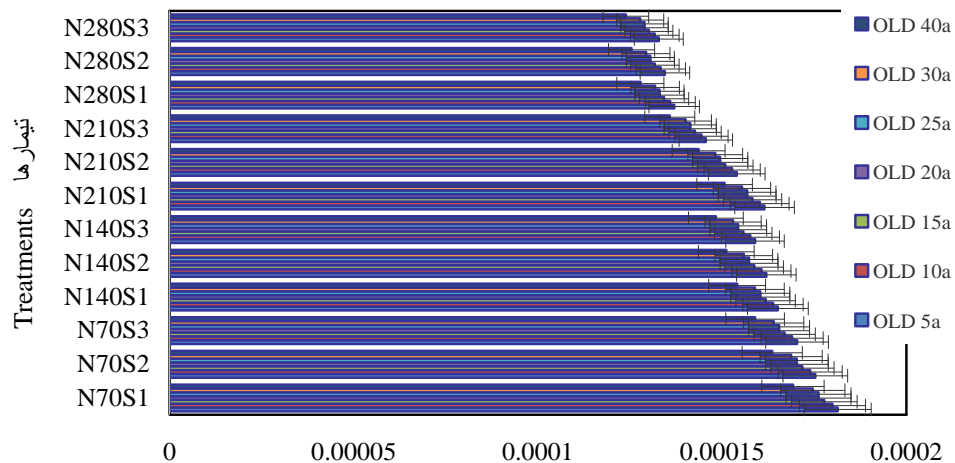
بر اساس یافته‌های پژوهش، با افزایش مصرف نیتروژن از ۷۰ کیلوگرم در هکتار به ۲۸۰



شکل ۱- مقایسه اثر مقادیر و تقسیم نیتروژن بر تقاضای انرژی تجمعی و تقاضای اکسرژی تجمعی در تولید گندم  
**Figure 1-** Comparison of nitrogen amounts and splitting on cumulative energy demand (CED) and cumulative exergy demand (CExD) of wheat production



شکل ۲- مقایسه اثر مقادیر و تقسیم نیتروژن بر شاخص‌های رده‌اثر مدل ردپای بوم‌شناختی  
**Figure 2-** Comparison of nitrogen amounts and splitting on impact categories of ecological footprint in wheat production



شکل ۳- مقایسه اثر مقادیر و تقسیم نیتروژن بر شاخص رده‌اثر تخلیه لایه ازن طی دوره ۵ الی ۴۰ ساله  
**Figure 3-** Comparison of nitrogen amounts and splitting on impact categories of ozone layer depletion (OLD) during 5 to 40 years in wheat production

**جدول ۱-** تجزیه واریانس شاخص‌های رده اثر مدل CML-IA non-baseline تحت اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن در تولید گندم آبی در منطقه بوشهر

**Table 1-** Analysis of variance of irrigated wheat production under nitrogen amounts and splitting by CML-IA non-baseline models in Bousher

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی dF	Mean squares					تابش یونیزان ذ	بدبویی هوا Malodorous air
		تخلیه غیرزنده Abiotic depletion	رقابت زمین Land competition	اسیدی شدن Acidification	یوتریفیکاسیون Eutrophication	میانگین مربعات		
Replication تکرار	3	0.04*	11.33*	0.003 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	1.134924E-16*	0.04 <sup>ns</sup>	
Nitrogen نیتروژن	3	20.06**	925.42**	0.65**	0.27**	4.301558E-14**	20.06**	
Error خطا	9	0.01	3.74	0.001	0.0005	3.836421E-17	0.01	
Splitting تقسیط	2	2.24**	614.15**	0.14**	0.08**	5.88143E-15**	2.24**	
N × S	6	0.18**	50.53**	0.01**	0.006**	4.702389E-18**	0.18**	
Error خطا	24	0.01	3.32	0.001	0.0004	3.330482E-17	0.01	
C.V. (%) ضریب تغییرات		9.73	4.75	7.25	6.43	8.884538402	4.21	

<sup>ns</sup>, \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

<sup>ns</sup>, \* and \*\* show non-significant and significant at 5 and 1 percent of probability levels, respectively.

**جدول ۲-** تجزیه واریانس شاخص‌های رده اثر مدل CML-IA non-baseline تحت اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن در تولید گندم آبی در منطقه بوشهر

**Table 2-** Analysis of variance of irrigated wheat production under nitrogen amounts and splitting by CML-IA non-baseline models in Bousher

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی dF	Mean squares					مسمومیت رسوبات دریایی Marine sediment ecotox. 100a
		اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation low NOx	اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation high NOx	مسمومیت رسوبات آب‌های شیرین Freshwater sediment ecotox. 100a	مسمومیت آب‌های شیرین Freshwater aquatic ecotox. 100a	میانگین مربعات	
Replication تکرار	3	0.000001*	0.000001*	1.19 <sup>ns</sup>	1.07 <sup>ns</sup>	3.76*	
Nitrogen نیتروژن	3	0.00005**	0.00002**	1960.16**	2894.36**	1421.17**	
Error خطا	9	0.0000002	0.0000002	0.37	0.33	1.27	
Splitting تقسیط	2	0.00004**	0.00003**	75.62**	70.84**	194.77**	
N × S	6	0.000003**	0.000003**	7.84**	7.86**	15.57**	
Error خطا	24	0.0000002	0.0000002	0.35	0.32	1.10	
C.V. (%) ضریب تغییرات		6.29	3.61	16.00	19.94	8.8	

<sup>ns</sup>, \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

<sup>ns</sup>, \* and \*\* show non-significant and significant at 5 and 1 percent of probability levels, respectively.

**جدول ۳-** اثر متقابل چرخه حیات تولید گندم در کشت آبی تحت اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن به وسیله شاخص‌های رده‌اثر مدل‌های CML-IA non-baseline در منطقه بوشهر

**Table 3-** Interaction of life cycle assessment of irrigated wheat production under nitrogen amounts and splitting by impact categories of CML-IA non-baseline models in Bousher

تیماها Treatment	تخلیه غیرزنده Abiotic depletion (kg Sb eq)	رقابت زمین Land competition (m <sup>2</sup> a)	اسیدی شدن Acidification (kg SO <sub>2</sub> eq)	یوتریفیکاسیون Eutrophication (kg PO <sub>4</sub> eq)	تابش یونیزان Ionising radiation (DALYs)	بدبویی هوا Malodorous air (m <sup>3</sup> air)
N <sub>70</sub> S <sub>1</sub>	14.45	222.09	3.52	2.57	7.314E-07	7676884
N <sub>70</sub> S <sub>2</sub>	13.96	214.69	3.40	2.49	7.0702E-07	7420988
N <sub>70</sub> S <sub>3</sub>	13.57	208.60	3.31	2.42	6.86983E-07	7210677
N <sub>140</sub> S <sub>1</sub>	13.22	214.78	3.30	2.43	6.74953E-07	7490737
N <sub>140</sub> S <sub>2</sub>	12.97	210.68	3.24	2.39	6.62072E-07	7347784
N <sub>140</sub> S <sub>3</sub>	12.73	206.74	3.18	2.34	6.49674E-07	7210185
N <sub>210</sub> S <sub>1</sub>	13.00	222.16	3.32	2.47	6.68833E-07	7808308
N <sub>210</sub> S <sub>2</sub>	12.39	211.77	3.17	2.36	6.37557E-07	7443171
N <sub>210</sub> S <sub>3</sub>	11.72	200.25	3.00	2.23	6.0286E-07	7038101
N <sub>280</sub> S <sub>1</sub>	11.08	198.56	2.90	2.17	5.74663E-07	7026298
N <sub>280</sub> S <sub>2</sub>	10.88	194.85	2.84	2.13	5.63922E-07	6894965
N <sub>280</sub> S <sub>3</sub>	10.74	192.45	2.81	2.11	5.56981E-07	6810104
LSD 0.05	0.14	2.65	0.04	0.02	36E-10	67125

**جدول ۴-** اثر متقابل چرخه حیات تولید گندم در کشت آبی تحت اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن به وسیله شاخص‌های رده‌اثر مدل‌های CML-IA non-baseline در منطقه بوشهر

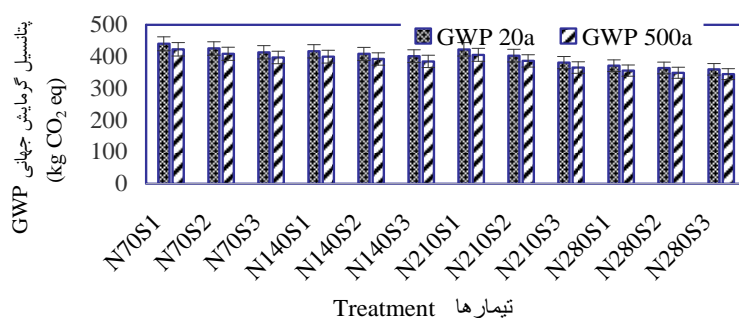
**Table 4-** Interaction of life cycle assessment of irrigated wheat production under nitrogen amounts and splitting by impact categories of CML-IA non-baseline models in Bousher

تیماها Treatment	اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation low NO <sub>x</sub> (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq)	اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation high NO <sub>x</sub> (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq)	مسمومیت رسوبات آب‌های شیرین Freshwater sediment ecotox. 100a (kg 1,4-DB eq)	مسمومیت رسوبات دریایی Marine sediment ecotox. 100a (kg 1,4-DB eq)	مسمومیت آب‌های شیرین Freshwater aquatic ecotox. 100a (kg 1,4-DB eq)
N <sub>70</sub> S <sub>1</sub>	0.0360	0.0543	59.02	133.08	53.16
N <sub>70</sub> S <sub>2</sub>	0.03480	0.0525	57.05	128.65	51.39
N <sub>70</sub> S <sub>3</sub>	0.0338	0.0510	55.43	125.00	49.93
N <sub>140</sub> S <sub>1</sub>	0.0342	0.0539	70.96	122.82	67.75
N <sub>140</sub> S <sub>2</sub>	0.0335	0.0529	69.60	120.48	66.46
N <sub>140</sub> S <sub>3</sub>	0.0329	0.0519	68.30	118.22	65.21
N <sub>210</sub> S <sub>1</sub>	0.0347	0.0570	85.96	121.72	84.87
N <sub>210</sub> S <sub>2</sub>	0.0331	0.0543	81.94	116.03	80.90
N <sub>210</sub> S <sub>3</sub>	0.0313	0.0514	77.48	109.71	76.50
N <sub>280</sub> S <sub>1</sub>	0.0305	0.0519	86.74	104.59	87.53
N <sub>280</sub> S <sub>2</sub>	0.0300	0.0510	85.12	102.64	85.89
N <sub>280</sub> S <sub>3</sub>	0.0296	0.0503	84.07	101.37	84.83
LSD 0.05	0.0002	0.0005	0.62	0.95	0.62

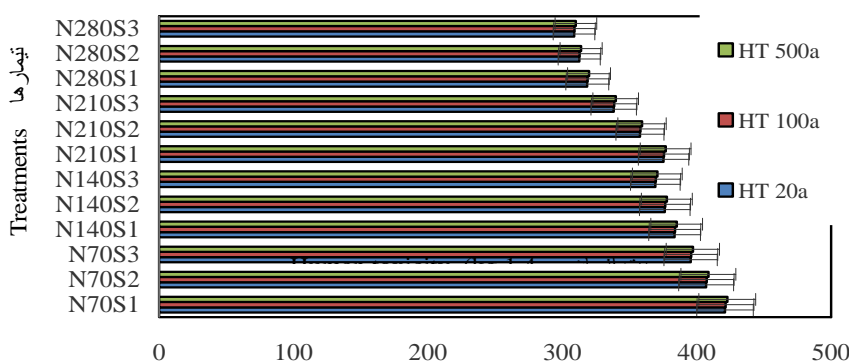
\*: حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD است.

\*: Values within a column followed by same letter(s) are not significantly different according to LSD test ( $P = 0.05$ ).

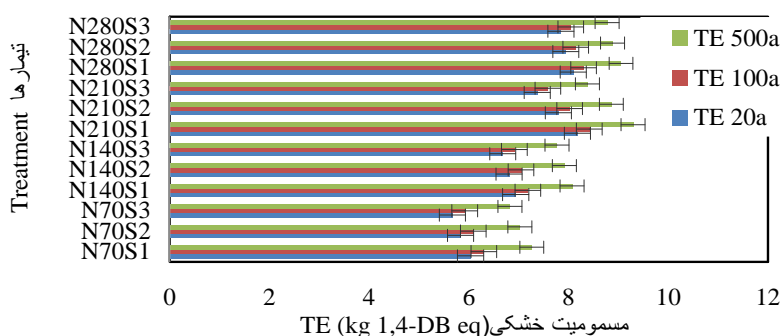
N<sub>70</sub>, N<sub>140</sub>, N<sub>210</sub>, N<sub>280</sub>: به ترتیب مقادیر ۷۰، ۱۴۰، ۲۱۰ و ۲۸۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره.  
S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> و S<sub>3</sub>: به ترتیب سه تقسیط نیتروژن شامل: ۱- مصرف ۲۵ درصد نیتروژن در مرحله کاشت (پایه) + ۵۰ درصد در مرحله شروع پنجاه‌دهی + ۲۵ درصد در مرحله شروع ساقه‌دهی، ۲- مصرف سه قسمتی نیتروژن در مراحل کاشت، شروع پنجاه‌دهی و شروع ساقه‌دهی به نسبت‌های مساوی، و ۳- مصرف چهار قسمتی نیتروژن در مراحل کاشت، شروع پنجاه‌دهی، شروع ساقه‌دهی و آبستنی به نسبت‌های مساوی.



شکل ۴- مقایسه اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن بر شاخص پتانسیل گرمایش جهانی در دوره ۲۰ الی ۵۰۰ سال  
**Figure 4-** Comparison of nitrogen amounts and splitting on impact categories of global warming potential (GWP) during 20 to 500 years in wheat production



شکل ۵- مقایسه اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن بر شاخص مسمومیت انسان طی سه دوره ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال  
**Figure 5-** Comparison of nitrogen amounts and splitting on impact categories of human toxicity (HT) during 20, 100 and 500 years in wheat production



شکل ۶- مقایسه اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن بر شاخص مسمومیت خشکی طی سه دوره ۲۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال  
**Figure 6-** Comparison of nitrogen amounts and splitting on impact categories of terrestrial ecotoxicity (TE) during 20, 100 and 500 years in wheat production



**جدول ۵-** تجزیه واریانس شاخص‌های رده اثر مدل Ecopoint 97 تحت اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن در تولید گندم آبی در منطقه بوشهر

**Table 5-** Analysis of variance of irrigated wheat production under nitrogen amounts and models in Bousher splitting by Ecopoint 97

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی dF	Emission into air			انتشار به هوا	
		سرب Pb	کادمیوم Cd	روی Zn	جیوه Hg	
Replication	تکرار	3	2.4862083E-9*	1.851034E-12*	0.0000003 <sup>ns</sup>	1.554928E-1*
Nitrogen	نیتروژن	3	1.0963023E-6**	8.538586E-1**	0.0001**	6.487858E-1**
Error	خطا	9	8.302533E-1	6.188251E-13	0.0000001	5.18564E-1
Splitting	تقسیم	2	1.3014892E-7**	9.668799E-11**	0.00002**	8.160678E-1**
N × S		6	1.0030503E-8**	7.445976E12**	0.000001**	6.295577E-1**
Error	خطا	24	7.548106E-10	5.618573E-13	0.0000001	4.721778E-1
C.V. (%) ضریب تغییرات			9.54	9.74	9.69	9.29

ns, \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.  
ns, \* and \*\* show non-significant and significant at 5 and 1 percent of probability levels, respectively.

**جدول ۶-** تجزیه واریانس شاخص‌های رده اثر مدل Ecopoint 97 تحت اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن در تولید گندم آبی در منطقه بوشهر

**Table 6-** Analysis of variance of irrigated wheat production under nitrogen amounts and models in Bousher splitting by Ecopoint 97

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی dF	Emission into water				انتشار به آب			
		کروم Cr	روی Zn	مس Cu	کادمیوم Cd	جیوه Hg	سرب Pb	نیکل Ni	
Replication	تکرار	3	3.1941E-1 <sup>ns</sup>	1.48357E-9*	1.8996E-1*	1.3473E-1*	1.6041E-1*	1.47155E-1*	1.0655E-1*
Nitrogen	نیتروژن	3	1.2888E-7**	5.325E-7**	6.00008E-9**	5.560E-1**	4.595E-1**	4.6610E-8**	6.699E-1**
Error	خطا	9	1.064355E-1	4.9307E-1	6.29697E-1	4.49233E-1	5.307E-1	4.87821E-1	3.45248E-1
Splitting	تقسیم	2	1.6782E-8**	7.8385E-8**	1.0090E-9**	7.074E-1**	8.554E-1**	7.815E-9**	5.923E-1**
N × S		6	1.2959E-9**	6.0637E-9**	7.8248E-1**	5.458E-1**	6.645E-1**	6.0602E-1**	4.737E-1**
Error	خطا	24	9.70112E-1	4.50827E-1	5.77583E-1	4.0913E-1	4.8798E-1	4.474281E-1	3.261E-1
C.V. (%) ضریب تغییرات			9.14	8.65	8.16	9.24	7.80	8.17	4.38

ns, \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.  
ns, \* and \*\* show non-significant and significant at 5 and 1 percent of probability levels, respectively.

**جدول ۷-** تجزیه واریانس شاخص‌های رده اثر مدل Ecopoint 97 تحت اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن در تولید گندم آبی در منطقه بوشهر

**Table 7-** Analysis of variance of irrigated wheat production under nitrogen amounts and splitting by Ecopoint 97 models in Bousher

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	Mean Squares						میانگین مربعات				
		نترات به خاک Nitrate into soil	فلزات به خاک Metals into soil	آفت‌کش‌ها به خاک Pesticide into soil	اکسید نیتروژن NOx	اکسید گوگرد SOx	آمونیاک NH <sub>3</sub>	گرد و غبار Dust PM10	تقاضای اکسیژن شیمیایی COD	فسفر P	پتاسیم K	
تکرار Replication	3	0.001*	2.64E-1*	0.000002 <sup>ns</sup>	0.0004*	0.001*	0.0001*	0.0001*	0.005*	0.000005 <sup>ns</sup>	0.000006	
نیتروژن Nitrogen	3	0.04**	6.62E-1**	0.00003**	0.08**	0.28**	0.002**	0.035**	0.18**	0.0002**	0.0003**	
خطا Error	9	0.001	8.72E-1	0.0000001	0.0001	0.0003	0.000004	0.00004	0.002	0.0000002	0.0000002	
تقسیم Splitting	2	0.09**	1.41E-1**	0.00001**	0.02**	0.05**	0.0007**	0.0060**	0.28**	0.00002**	0.00003**	
N × S	6	0.007**	1.10E-1**	0.000001**	0.002**	0.004**	0.00005**	0.0005**	0.02**	0.000002**	0.000002**	
خطا Error	24	0.0005	8.04E-1	0.0000001	0.0001	0.0003	0.000004	0.00003	0.002	0.0000001	0.0000002	
C.V. (%) ضریب تغییرات		3.57	7.36	6.26	7.02	7.74	5.58	8.10	3.79	9.06	10.03	

ns, \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, \* and \*\* show non-significant and significant at 5 and 1 percent of probability levels, respectively.

**جدول ۸-** اثر متقابل چرخه حیات تولید گندم در کشت آبی تحت اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن به وسیله شاخص‌های رده اثر مدل Ecopoint 97 در منطقه بوشهر

**Table 8-** Interaction of life cycle assessment of irrigated wheat production under nitrogen amounts and splitting by impact categories of Ecopoint 97 models in Bousher

تیمارها Treatment	انتشار به هوا Emission into air (g)				انتشار به آب Emission into water (g)				انتشار به آب		
	Pb	Cd	Zn	Hg	Cr	Zn	Cu	Cd	Hg	Pb	Ni
N <sub>70</sub> S <sub>1</sub>	0.0035	9.431E-05	0.0380	8.61E-05	0.00123	0.00265	0.00030	8.015E-05	8.645E-06	0.00083	0.00022
N <sub>70</sub> S <sub>2</sub>	0.0033	9.117E-05	0.0367	8.326E-05	0.00119	0.00256	0.00029	7.748E-05	8.357E-06	0.00080	0.00021
N <sub>70</sub> S <sub>3</sub>	0.0032	8.85E-05	0.0357	8.090E-05	0.00116	0.00249	0.00028	7.528E-05	8.120E-06	0.00078	0.00020
N <sub>140</sub> S <sub>1</sub>	0.0033	8.631E-05	0.0348	7.918E-05	0.00114	0.00245	0.00028	7.371E-05	8.065E-06	0.00077	0.00021
N <sub>140</sub> S <sub>2</sub>	0.0031	8.467E-05	0.0341	7.766E-05	0.00111	0.00240	0.00027	7.23E-05	7.911E-06	0.00076	0.00021
N <sub>140</sub> S <sub>3</sub>	0.0030	8.308E-05	0.0335	7.62E-05	0.00109	0.00236	0.00027	7.09E-05	7.763E-06	0.00074	0.00020
N <sub>210</sub> S <sub>1</sub>	0.0031	8.485E-05	0.0342	7.816E-05	0.00112	0.00243	0.00028	7.28E-05	8.074E-06	0.00077	0.00022
N <sub>210</sub> S <sub>2</sub>	0.0030	8.088E-05	0.0326	7.45E-05	0.00107	0.00232	0.00026	6.93E-05	7.697E-06	0.00073	0.00021
N <sub>210</sub> S <sub>3</sub>	0.0028	7.648E-05	0.0309	7.04E-05	0.00101	0.00219	0.00025	6.562E-05	7.278E-06	0.00069	0.00020
N <sub>280</sub> S <sub>1</sub>	0.0027	7.234E-05	0.0292	6.691E-05	0.00096	0.00209	0.00024	6.235E-05	7.006E-06	0.00067	0.00020
N <sub>280</sub> S <sub>2</sub>	0.0026	7.098E-05	0.0287	6.566E-05	0.00094	0.00205	0.00023	6.118E-05	6.87E-06	0.00065	0.00019
N <sub>280</sub> S <sub>3</sub>	0.0026	7.011E-05	0.0283	6.4E-05	0.00093	0.00203	0.00023	6.043E-05	6.790E-06	0.00065	0.00019
LSD 0.05	242E-7	648E-9	0.0002	586E-9	985E-8	195E-7	235E-8	585E-9	62E-9	515E-8	165E-8

\*: حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD است.

\*: Values within a column followed by same letter(s) are not significantly different according to the LSD test ( $P = 0.05$ ).

N<sub>70</sub>, N<sub>140</sub>, N<sub>210</sub> و N<sub>280</sub>: به ترتیب مقادیر ۷۰، ۱۴۰، ۲۱۰ و ۲۸۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع آورده.

S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> و S<sub>3</sub>: به ترتیب سه تقسیط نیتروژن شامل: ۱- مصرف ۲۵ درصد نیتروژن در مرحله کاشت (پایه) + ۵۰ درصد در مرحله شروع پنجاه‌دهی + ۲۵ درصد در مرحله شروع ساقه‌دهی، ۲- مصرف سه قسمتی نیتروژن در مراحل کاشت، شروع پنجاه‌دهی و شروع ساقه‌دهی به نسبت‌های مساوی، و ۳- مصرف چهار قسمتی نیتروژن در مراحل کاشت، شروع پنجاه‌دهی، شروع ساقه‌دهی و آبستنی به نسبت‌های مساوی.

جدول ۹- اثر متقابل چرخه حیات تولید گندم در کشت آبی تحت اثر مقادیر و تقسیط نیتروژن به وسیله شاخص‌های رده اثر مدل 97 Ecopoint در منطقه بوشهر

**Table 9-** Interaction of life cycle assessment of irrigated wheat production under nitrogen amounts and splitting by impact categories of Ecopoint 97 models in Bousher

تیمارها Treatment	نترات به خاک Nitrate into soil (g)	فلزات به خاک Metals into soil (g Cd eq)	آفت‌کش‌ها به خاک Pesticide into soil (g act.subst.)	اکسید نیتروژن NOx (g)	اکسید گوگرد SOx (g SO <sub>2</sub> eq)	آمونیاک NH <sub>3</sub> (g)	گرد و غبار Dust PM10 (g)	تقاضای اکسیژن شیمیایی COD (g)	فسفر P (g)	پتاسیم K (g)
N <sub>70</sub> S <sub>1</sub>	58.2	0.00011054	0.02628	1.31	2.16	0.23301	0.72516	4.59	0.04664	0.05252
N <sub>70</sub> S <sub>2</sub>	49.2	0.000106856	0.02540	1.26	2.08	0.22524	0.70099	4.43	0.04508	0.05077
N <sub>70</sub> S <sub>3</sub>	42.2	0.000103827	0.02468	1.23	2.03	0.21886	0.68112	4.31	0.04381	0.04933
N <sub>140</sub> S <sub>1</sub>	57.2	0.000103608	0.02772	1.23	2.01	0.22286	0.67444	4.52	0.04297	0.04794
N <sub>140</sub> S <sub>2</sub>	52.2	0.000101631	0.02719	1.21	1.97	0.21861	0.66157	4.43	0.04215	0.04702
N <sub>140</sub> S <sub>3</sub>	48.2	9.9728E-05	0.02668	1.18	1.94	0.21452	0.64912	4.35	0.04134	0.04614
N <sub>210</sub> S <sub>1</sub>	73.2	0.000104186	0.03076	1.24	2.02	0.22827	0.67321	4.75	0.04251	0.04700
N <sub>210</sub> S <sub>2</sub>	61.2	9.93144E-05	0.02932	1.18	1.92	0.21760	0.64181	4.53	0.04052	0.04480
N <sub>210</sub> S <sub>3</sub>	46.2	9.39096E-05	0.02773	1.12	1.82	0.20576	0.60688	4.28	0.03832	0.04236
N <sub>280</sub> S <sub>1</sub>	50.2	9.07665E-05	0.02914	1.09	1.75	0.20225	0.58260	4.30	0.03647	0.03997
N <sub>280</sub> S <sub>2</sub>	45.2	8.90699E-05	0.02860	1.06	1.72	0.19847	0.57171	4.22	0.03579	0.03922
N <sub>280</sub> S <sub>3</sub>	2.42	8.79737E-05	0.02824	1.05	1.70	0.19603	0.56467	4.17	0.03535	0.03874
LSD 0.05	0.02	875E-9	0.0002	0.01	0.02	0.002	0.007	0.04	0.0005	0.0004

\*: حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD است.

\*: Values within a column followed by same letter(s) are not significantly different according to LSD test ( $P=0.05$ ).

N<sub>70</sub>, N<sub>140</sub>, N<sub>210</sub>, N<sub>280</sub>: به ترتیب مقادیر ۷۰، ۱۴۰، ۲۱۰ و ۲۸۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع آورده. S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> و S<sub>3</sub>: به ترتیب سه تقسیط نیتروژن شامل: ۱- مصرف ۲۵ درصد نیتروژن در مرحله کاشت (پایه) + ۵۰ درصد در مرحله شروع پنجاه‌دهی + ۲۵ درصد در مرحله شروع ساقه‌دهی، ۲- مصرف سه قسمتی نیتروژن در مراحل کاشت، شروع پنجاه‌دهی و شروع ساقه‌دهی به نسبت‌های مساوی، و ۳- مصرف چهار قسمتی نیتروژن در مراحل کاشت، شروع پنجاه‌دهی، شروع ساقه‌دهی و آبستنی به نسبت‌های مساوی.

## References

## منابع مورد استفاده

- Bare, J. 2011. TRACI 2.0: the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental. *Clean Technol. Environ. Policy*. pp. 1-10.
- Bare, J.C., N.A. Norris, D.W. Pennington, and T. Mc Kone. 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. 2004a. 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.
- Brentrup, F., J. Kusters, J. Lammel, P. Barraclough, and H. Kuhlmann. 2004b. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology: II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy*. 20(3): 265-279.
- Canakci, M., M. Topakci, I. Akinci, and 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.
- Cassman, K.G., A. Dobermann, D.T. Walters, and Y. Yang. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annual Review of Environment and Resources*. 28: 315-358.
- Charles, R., O. Jolliet, G. Gaillard, and D. Pellet. 2006. Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 113(1/4): 216-225.
- Dastan, S., A. Soltani, G. Noormohamadi, and H. Madani. 2015a. CO<sub>2</sub> emission and global warming potential (GWP) of energy consumption in paddy field production systems. *Journal of Agroecology*. 6(4): 823-835. (In Persian)
- Dastan, S., A. Soltani, G. Noormohamadi, and H. Madani. 2016b. Estimation of the carbon footprint and global warming potential in rice production systems. *Journal of Environmental Sciences*. 14(1): 19-22. (In Persian).
- Dastan, S., B. Ghareyazie, A. Soltani, and M. Omid. 2016a. The life cycle assessment (LCA) of rice in conventional, intensive and conservation systems. 2<sup>nd</sup> International and 14<sup>th</sup> National Iranian Crop Science Congress. Aug. 30-Sep. 1. University of Guilan, Rasht, Iran. (In Persian)
- Dastan, S., B. Ghareyazie, E. Mortazavi, M. Mohsenpour, and S. Abdollahi. 2017. The environmental life cycle assessment (LCA) of transgenic and non-transgenic rice cultivars. 2<sup>nd</sup> International and 10<sup>th</sup> National Biotechnology Congress of Islamic Republic of Iran. Aug. 29-31. Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. (In Persian)
- Dastan, S., G. Noormohamadi, H. Madani, and A. Soltani. 2015b. Analysis of energy indices in rice production systems in the Neka region. *Journal of Environmental Sciences*. 13(1): 53-66. (In Persian).
- Dubey, A., and R. Lal. 2009. Carbon footprint and sustainability of agriculture production systems in Panjab, India, and Ohio, USA. *Journal of Crop Improvement*. 23: 332-350.

- Engstrom, R., A. Wadeskog, and G. Finnveden. 2009. Environmental assessment of Swedish agriculture. *Ecological Economics*. 60: 550-563.
- Hillier, J., C. Hawes, G. Squire, A. Hilton, and S. Wale. 2009. The carbon footprint of food crop production. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 7: 107-118.
- IPCC. 2007. Intergovernmental panel on climate change (IPCC). Climate change. Impacts, adaptation and vulnerability. In: Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson, editors. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 976 p.
- Iriarte, A., J. Rieradevall, and J. Gabarrell. 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean condition. *Journal of Cleaner Production*. 18: 336-345.
- Koga, N. 2008. An energy balance under a conventional crop rotation system in northern Japan: Perspectives on fuel ethanol production from sugar beet. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 125: 101-110.
- Lal, R. 2004. Carbon emissions from farm operations. *Environment International*. 30: 981-990.
- Malmuti, M., J.S. West, J. Watts, P. Gladders, and B.D.L. Fitt. 2009. Controlling crop disease contributes to both food security and climate change mitigation. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 7(3): 189-202.
- 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.
- Meisterling, K., C. Samaras, and V. Schweizer. 2009. Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat. *Journal of Cleaner Production*. 17: 222-230.
- Mirhaji, H., M. Khojastehpour, and M.H. Abbaspour-Fard. 2013. Environmental impact study of wheat production in Marvdasht area of Iran. *Journal of Natural Environment*. 66(2): 223-232.
- Nemecek, T., and T. 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.
- Pathak, H., and R. Wassmann. 2007. Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of technical coefficients. *Agricultural Systems*. 94: 807-825.
- Paustian, K., B. Babcock, C. Kling, and J. Hatfield. 2004. Agricultural mitigation of greenhouse gases: science and policy options. Council on Agricultural Science and Technology (CAST) report. R 141: 120 p.
- Rebitzer, G., T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris, T. Rydberg, W. Schmidt, S. Suh, B. P. Weidema, and D. W. Pennington. 2004. Life cycle assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*. 30: 701-720.

- Robertson, G.P., E.A. Paul, and R.R. Harwood. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science*. 289: 1922-1925.
- Roy, P., D. Nei, T. Orikasa, Q. Xu, H. Okadome, N. Nakamura, and T. Shiina. 2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*. 90: 1-10.
- SimaPro. 2011. Software and database manual. Pré Consultants BV, Amersfoort, the Netherlands.
- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. Mc Carl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. Mc Allister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider, S. Towprayoon, M. Wattenbach, and J. Smith. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philos Trans R Soc Lond B B*. 363: 789-813.
- Soltani, A., M.H. Rajabi, E. Zeinali, and E. Soltani. 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. *Energy*. 50: 54-61.
- Steen Jensen, E., M.B. Peoples, R.M. Boddey, P.M. Greshoff, H. Hauggaard-Neilsen, B.J.R. Alves, and M.J. Morrison. 2011. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 32(2): 329-364.
- Tzilivakis, J., D.J. Warner, M. May, K.A. Lewis, and K. Jaggard. 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production in the UK. *Agricultural Systems*. 85: 101-119.
- van Groenigen, J.W., G.L. Velthof, O. Oenema, K.J. van Groenigen, and C. van Kessel. 2010. Towards an agronomic assessment of N<sub>2</sub>O emissions: a case study for arable crops. *European Journal of Soil Science*. 61: 903-913.
- Wang, M., W. Wu, W. Liu, and Y. Bao. 2007. Life cycle assessment of the winter wheat-summer maize production system on the North China plain. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*. 14(4): 400-407.
- West, T.O., and W.M. Post. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal*. 66: 1930-1946.
- Wood, S., and A. Cowie. 2004. A review of greenhouse gas emission factors for fertilizer production. Research and Development Division, State Forests of New South Wales. Cooperative Research Center for Greenhouse Accounting. The original study was: T.O. West and G. Marland. A Synthesis of Carbon Sequestration, Carbon Emissions and Net Carbon Flux in Agriculture: Comparing Tillage Practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 91(1-3): 217-232.

## Life Cycle Assessment of Irrigated Wheat Production under the Effects of Nitrogen Amounts and Splitting its Use in Boushehr Region

Morteza Siavoshi<sup>1\*</sup> and Salman Dastan<sup>2</sup>

*Received: February 2019, Revised: 17 September 2019, Accepted: 29 September 2019*

### Abstract

Life cycle assessment is an appropriate method to study the environmental impacts of producing a crop plant throughout its production cycle. This research was conducted with the aim of evaluating the life cycle of irrigated wheat production under nitrogen amounts and splitting in Bushehr province during 2017-18. The as split plots based on a randomized complete blocks design with four replications. Four nitrogen rates including 70, 140, 210 and 280 kg urea ha<sup>-1</sup> was considered as main plots and three nitrogen splitting in basal, beginning of tillering, stem elongation and booting stages was chosen as sub plot. The results demonstrated that with increase of nitrogen application an amount of cumulative energy demand, cumulative energy demand, acidification, eutrophication and malodorous air were decreased. The average amount of ecological footprint was 1125.87 m<sup>2</sup> per year which CO<sub>2</sub> emissions had shown the highest effect on the ecological footprint. The average amount of global warming potential (GWP) was 20a and GWP 500a were 400.53 and 384.30 kg CO<sub>2</sub> eq, respectively. All pollutants released into the air and the water experienced a decreasing trend with increasing nitrogen rate. 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 application 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 yield increasing.

**Key words:** Cumulative exergy demand, Ecological footprint, Eutrophication, Global warming potential, Heavy metal emission.

1- Department of Agricultural Science, Payame Noor University, Tehran, Iran.

2- Post Doctoral Researcher, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj, Iran.

\*Corresponding Author: [morteza\\_siavoshi@yahoo.com](mailto:morteza_siavoshi@yahoo.com)

