

بررسی شاخص‌های زیست محیطی ردپای آب و تخلیه منابع در سناریوهای مختلف کشت برنج

علی متولی^{۱*}، صالح یاسور^۲، میلاد تیموری عمران^۳، سید رضا موسوی سیدی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۲۰

چکیده

بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب در جهان بوده و نقش این ماده حیاتی در ایجاد یا عدم ایجاد مخاطرات زیست محیطی انکارناپذیر است. در این مطالعه به منظور ارزیابی شاخص‌های زیست محیطی مرتبط با مصرف آب (پتانسیل آسیب بر سلامتی بشر، کیفیت اکوسیستم، منابع زیست محیطی و شاخص تخریب منابع آبی) و تخلیه منابع (فسیلی، فسفات، پتاس و آب) در سیستم‌های مختلف کشت برنج (سه سناریو مختلف، سناریو اول: کشت اول-کشت رتون، سناریو دوم: کشت اول-کشت دوباره برنج و سناریو سوم: کشت کلزا-کشت برنج) و دو سیستم کشت (مکانیزه و مرسوم) بر اساس ارزیابی چرخه حیات^۵ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از شاخص‌های زیست محیطی بر اثر مصرف آب نشان داد که بالاترین آسیب به سلامتی بشر، کیفیت اکوسیستم و منابع زیست محیطی به روش فیشر و همکاران به میزان $0/001052$ (DALY)، $1630/853$ (PDF*m²yr) و $10262/54$ (MJ surplus)، شاخص تخریب آب شیرین در روش برگر به میزان $1382/122$ (m³) و آسیب به سلامتی انسان به صورت پختی و حاشیه‌ای به میزان $0/176743$ و $0/65772$ (DALY) در سناریو دوم-کشت دوم (سامانه مرسوم) بدست آمد. همچنین بالاترین تخریب منابع فسیلی در سناریو دوم-کشت دوم (سامانه کشت مکانیزه) به میزان $3/061$ و تخریب منابع پتاسیم و آبی در سناریو دوم-کشت دوم (سامانه کشت مرسوم) به ترتیب به میزان $0/04$ و $0/31$ و تخریب منابع فسفات در سناریو اول و دوم-کشت اول (سامانه کشت مرسوم) به میزان $0/6$ بدست آمد. نتایج کلی شاخص-های زیست محیطی نشان داد که کشت برنج در سناریو دوم-کشت دوم و در سناریو سوم (بعد از برداشت کلزا) آثار مخرب زیست محیطی بالایی از منظر ردپای آب و تخلیه منابع دارد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای زیست محیطی، ردپای آب، تخلیه منابع، کشت برنج

مقدمه

حالت سنتی (فقط کشت یک بار برنج در سال) به حالت چندکشتی در حال تغییر است (FAO, 2010). امروزه برنج در شمال ایران معمولاً در سه سناریوی مختلف به صورت چندکشتی مورد کشت قرار می‌گیرد سناریو اول: در این سناریو در مرحله اول کشت برنج به صورت کامل صورت می‌پذیرد و بعد از اتمام مراحل برداشت آن، در مرحله دوم کشت رتون صورت می‌پذیرد. کشت رتون حالتی است که ساقه‌های برنج باقیمانده از محصول قبلی دوباره جوانه می‌زنند و به دلیل مزایایی چون کوتاه بودن دوره رشد و آبیاری کمتر، حذف هزینه‌های کارگری مربوط به پرورش نشاء، نشاکاری و آماده سازی زمین مورد توجه قرار گرفته است (et al., 2017; Yazdpour et al., Dong 2012). سناریو دوم: در این سناریو برنج در دو مرحله مجزا کشت می‌گردد بدین صورت که بعد از اتمام مرحله اول کشت برنج، دوباره فرآیند آماده‌سازی زمین و نشاکاری تا مرحله برداشت انجام می‌گیرد. سناریو سوم: در این سناریو کاشت متناوب کلزا و برنج صورت می‌پذیرد. در میان زراعت‌های پاییزه کلزا به جهت قابلیت رشد در زمینهای شالیزاری، دارای پتانسیل عملکرد بالا، تقدم در برداشت در

برنج (*Oryza sativa L.*) یکی از مهمترین غلات بوده و نقش مهمی در تامین امنیت غذایی بیش از نیمی از جمعیت جهان را دارد (Brar et al., 2012). با توجه به روند رشد جمعیت و نیاز روزافزون به محصولات کشاورزی و مواد غذایی به نظر می‌رسد که الگوی کشت محصولاتی مانند برنج به صورت چشمگیری تغییر یافته و از

- ۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۲- فارغ‌التحصیل کارشناسی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۴- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(Email: a.motevali@sanru.ac.ir

* - نویسنده مسئول:

5 - Life cycle assessment

تغییر زمان کاشت برنج در سه سناریو مختلف، حدود زمان کاشت و برداشت در جدول ۱ آورده شده است.

مقایسه با محصولاتمانند گندم و جو و آزادسازی زودتر زمین زراعی برای کاشت محصول بعدی مانند برنج است که گزینه خوبی جهت انتخاب کشت دوم خواهد بود (درزی نفت‌چالی، ۱۳۹۵). با توجه به

جدول ۱- زمان کاشت و برداشت برای سه سناریو مختلف در نظر گرفته شده در این پژوهش

سناریوها	کشت اول (زمان کاشت- زمان برداشت)	کشت دوم (زمان کاشت- زمان برداشت)
سناریو اول	اواسط اردیبهشت- اواخر تیرماه	اواخر تیر ماه- اواخر مهر ماه
سناریو دوم	اواخر فروردین- اواسط تیرماه	اواسط تیرماه- اواسط آبان ماه
سناریو سوم	کلزا	اواسط خرداد- اواخر شهریور

صورت پختی و حاشیه‌ای به روش (Boulay *et al.*, 2011) می‌باشد. شاخص پتانسیل تهدید سلامتی انسانها به طور کلی از دو مسیر عمده تاثیرگذاری کمبود آب برای سلامت انسان به دست می‌آید که عبارتند از ۱- عدم دسترسی به آب شیرین برای مصارف شخصی و بهداشتی که کمبود آن منجر به گسترش بیماری‌های مختلف می‌گردد و ۲- کمبود آب برای فعالیتهای کشاورزی و آبیاری محصولات کشاورزی می‌گردد که این عامل نیز سبب کمبود مواد غذایی و سوء تغذیه می‌شود (Pfister *et al.*, 2009). شاخص تخریب کیفیت اکوسیستم می‌تواند در مناطقی که رشد گیاه محدود به آب است (گیاهان وابسته به آبهای سطحی و زیرزمینی اغلب برای اکوسیستم‌ها بسیار مهم هستند)، برداشت‌های غیرمعارف آب آبی ممکن است در نهایت امکان دسترسی به آب‌های سبز را کاهش دهد و بنابراین گیاه و تنوع گیاهان در آن منطقه کاهش یابد، تعریف گردد (Nilsson and Svedmark, 2002; Pfister *et al.*, 2009). همچنین بارندگی در مناطق مختلف دارای یک چرخه سالانه بوده که با توجه این شاخص می‌توان بیان کرد که آیا در طول سال تخلیه منابع اتفاق افتاده است یا خیر، که امر می‌تواند منجر به استخراج آب‌های غیرتجدید شونده گردد. به منظور ایجاد منابع در آینده نیاز به تکنولوژی‌های پشتیبان بوده (مانند تکنولوژی‌های نمک‌زدایی از آب شور و تولید آب شیرین) که برای ایجاد آن نیاز به مصرف انرژی می‌باشد که این شاخص تخریب منابع می‌باشد (Stewart and Weidema, 2005).

از این رو سازمان بین‌المللی استاندارد^۱ بر اساس استاندارد ISO 14046، استاندارد بین‌المللی ردپای آب را بر اساس ارزیابی چرخه حیات توسعه داد. بررسی‌های منابع نشان داد که اکثر پژوهش‌های انجام شده صرفاً به بررسی ردپای آب (آب آبی، سبز و خاکستری) در تولید محصولات کشاورزی و دامی پرداخته و پژوهش‌های کمی در ارتباط با ارزیابی اثرات زیست محیطی مصرف آب و نهاده‌های مصرفی در تولید انواع محصولات کشاورزی و دامی انجام شده است.

علاوه بر افزایش ضریب مکانیزاسیون و بهره‌گیری از انواع ماشین‌ها برای تولید بالا، مدیریت درست و دقیق منابع طبیعی و فسیلی (منابع سوخت، پتاس، فسفات و آب)، ضرورتی مهم برای رسیدن به توسعه پایدار است. این منابع منابعی غیر زنده بوده و به دسته‌های بزرگتری از منابع طبیعی ختم شده که طبیعتاً در محدوده طبیعی قرار گرفته و توسط انسان یا فعالیت‌های انسانی ایجاد نمی‌شوند. از بین بردن انسانی این منابع مانند آب، خاک و مواد معدنی به دلیل احیاءپذیری پایین، منجر به نگرانی برای انسان‌ها می‌گردد. از این رو دقت در مصرف آنها بسیار مهم بوده و در صورت مصرف برابر با میزان تولید طبیعی، چرخه آن متوازن بوده و می‌تواند جایگزین گردد و در صورت مصرف بالای این منابع، چرخه آن از حالت توازن خارج شده و این منابع دچار مخاطرات شدیدی می‌گردند (Brenttrup *et al.*, 2002). همچنین مطالعه ردپای آب برای سامانه‌های مختلف کشت و تولید برنج با توجه به این واقعیت که در تولید این محصول آب یک ماده حیاتی و ضروری بوده، بسیار مهم می‌باشد و از آنجا که تولید این محصول وابسته به آب شیرین می‌باشد، لذا مطالعه ردپای آب می‌تواند به بررسی نقاط کلیدی مصرف آب در تولید برنج پردازد و به کمبود آب شیرین کمک کند (Page *et al.*, 2011). اخیراً ارزیابی اثرات زیست محیطی ردپای آب در تولید محصولات کشاورزی و مواد غذایی بر اساس ارزیابی چرخه حیات مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه این پژوهش‌ها بررسی گردید. در این روش تحلیلی نگرانی‌هایی مطرح می‌باشد که از جمله آن می‌توان به مصرف آب در چرخه زندگی محصولات کشاورزی اشاره کرد. میزان مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی و مواد غذایی می‌تواند تاثیر بالقوه‌ای بر سلامتی انسان‌ها، اکوسیستم، منابع آبی (در ارتباط با کمبود آب محلی و منطقه‌ای) داشته باشد و به دنبال آن دسترسی به آب شیرین برای استفاده‌های انسانی و محیط زیست محدود گردد (Ridoutt and Pfister, 2010). این شاخص‌های زیست محیطی در ایجاد پتانسیل آسیب‌پذیری به سلامتی بشر، کیفیت اکوسیستم و منابع زیست محیطی به روش (Pfister *et al.*, 2009)، شاخص تخریب منابع آبی به روش (Berger *et al.*, 2014) و آسیب‌پذیری به سلامتی بشر به

1- International Organization for Standardization

ایجاد پتانسیل آسیب پذیری به سلامتی بشر، کیفیت اکوسیستم، منابع زیست محیطی و شاخص تخریب منابع آبی) و تخلیه منابع (فسیلی، فسفات، پتاس و آب) در تولید برنج در سیستم‌های مختلف چند کشتی در قالب سه سناریو است.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها

پژوهش حاضر در استان مازندران انجام شد و اطلاعات مورد نیاز این تحقیق در قالب سه سناریوی مختلف چندکشتی برنج (رابع در استان مازندران) به صورت رو در رو از کشاورزان استان مازندران جمع‌آوری گردید. به منظور تعیین دقیق روند مصرف نهاده‌های کشاورزی در تولید برنج، داده‌ها با تهیه پرسشنامه و جمع‌آوری اطلاعات از کشاورزان در فصل زراعی ۹۵ در استان مازندران جمع‌آوری گردید. در این مطالعه از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شد. به منظور تعیین حجم نمونه از فرمول کوکران (رابطه ۱) استفاده شد (Heidari and Omid., 2011).

$$n = \frac{N(s \times t)^2}{(N-1)d^2 + (s \times t)^2} \quad (1)$$

$$d = \frac{t \times s}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

n: حجم نمونه، t: ۱/۹۶ (سطح اطمینان ۹۵٪)، N: حجم جامعه، d: دقت احتمالی مطلوب، S: انحراف معیار می‌باشد. تعداد پرسش-نامه‌های تکمیل شده برای هر سناریو در حدود ۲۵ عدد بود.

بررسی ردپای آب

در پژوهش حاضر بررسی شاخص‌های زیست محیطی ردپای آب با استفاده از تکنیک ارزیابی چرخه حیات و با استفاده از نرم‌افزار SimaPro انجام گردید. بر اساس استاندارد (ISO, 14040)، هر پروژه ارزیابی چرخه زندگی دارای چهار مرحله تعریف هدف و دامنه، تحلیل سیاهه (تعیین ورودی‌ها و خروجی‌ها)، ارزیابی اثرات چرخه زندگی و تفسیر نتایج است.

تعریف هدف و دامنه: هدف از این مطالعه بررسی شاخص‌های مختلف زیست محیطی ردپای آب در ایجاد پتانسیل آسیب پذیری به سلامتی بشر، کیفیت اکوسیستم و منابع زیست محیطی به روش (Pfister et al., 2009)، شاخص تخریب منابع آبی به روش (Berger et al., 2014) و آسیب پذیری به سلامتی بشر به صورت پختی و حاشیه‌ای به روش (Boulay et al., 2011) در اثر مصرف آب (آبی و سبز) در تولید برنج (محلی رقم طارم) با استفاده از تکنیک ارزیابی چرخه حیات در سناریوهای مختلف کشت این محصول با استفاده از دو روش کشت (مرسوم و مکانیزه) در استان مازندران واقع در شمال ایران بود. لازم به ذکر است که میزان آب مصرفی در مزرعه

در پژوهشی به بررسی ردپای کربن و آب در تولید گوجه فرنگی تازه در کشور استرالیا (سیدنی) پرداخته شد. نتایج بررسی ردپای کربن و آب به ازای تولید یک کیلوگرم گوجه فرنگی تازه نشان داد که بازه تغییرات ردپای کربن از ۰/۳۹ تا ۱/۹۷ kg CO₂eq و بازه تغییرات ردپای آب ۵ تا ۵۳ لیتر بود (Page et al., 2012). در پژوهشی دیگر به بررسی ارزیابی چرخه حیات و ردپای آب در سه سناریوی پرورش درختان (افرای قرمز^۱، صنوبر آبی^۲، رذبود^۳) پرداخته شد. در این پژوهش بررسی ردپای آب با استفاده از روش هوکسترا (Hoekstra) در نرم‌افزار سیماپرو (Simapro) انجام شد. نتایج بررسی ردپای آب در سه سناریوی مختلف نشان داد که بازه تغییرات این پارامتر از ۰/۰۹ تا ۰/۶۴ m³ به ازای هر درخت بدست آمد که به شدت تحت تاثیر آب آبیاری بود (Ingram and Hall, 2015). Abrahão و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات پارامترهای زیست محیطی و شاخص کمبود آب را برای محصولات اصلی (ذرت و گندم) در دو روش آبیاری و بدون آبیاری در شمال شرقی اسپانیا مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان شاخص کمبود آب برای ذرت آبی ۱۰۲۰۰ m³/ha بدست آمد.

در پژوهش دیگر به بررسی ردپای آب در تولید تربچه سفید در کشور کره پرداخته شد. نتایج نشان داد که تخلیه منابع آب برای تولید تربچه سفید در فصل‌های بهار و پاییز به ترتیب ۲۵/۵۸ و ۲۰/۷۴ بدست آمد (Cha et al., 2017). نیکخواه و همکاران به بررسی اثرات زیست محیطی (تخلیه منابع) تولید بادام پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص تخلیه منابع فسیلی، فسفات و پتاس به ازای تولید یک تن بادام به ترتیب ۳/۶۱، ۰/۲۹۱ و ۰/۰۲۶ بدست آمد (Nikkhah et al., 2015). در پژوهش دیگر با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات به بررسی تخلیه منابع در تولید میوه کیوی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص نهایی تخلیه منابع فسیلی، فسفات و پتاس به ازای تولید یک تن کیوی به ترتیب ۰/۰۱، ۰/۴۰ و ۰/۰۳ بود (Nikkhah et al., 2016).

بررسی ردپای آب به منظور بررسی کشت محصولات مختلف و مقایسه آنها با یکدیگر یکی از روش‌هایی است که می‌تواند میزان مطلوبیت عملکرد یک محصول را در مزرعه نشان دهد. بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که تمامی پژوهش‌ها بر تک‌کشتی بودن برنج تاکید دارند و اثرات سیستم‌های چندکشتی مورد بررسی قرار نگرفت. با توجه به تغییرات روند کشت برنج در شمال ایران، کاشت برنج به صورت تک‌کشتی تقریباً در حال کنار گذاشتن بوده و سیستم‌های چندکشتی در حال جایگزین شدن آن است. هدف از انجام این پژوهش بررسی شاخص‌های زیست محیطی ردپای آب

- 1- Red maple
- 2- Blue spruce
- 3-Redbud

نرمالسازی: هدف این مرحله بی بعد کردن داده‌ها است. فاکتور نرمال‌سازی گروه‌های تأثیر مختلف در جدول ۲ ارائه شده است (Brenttrup *et al.*, 2004).

وزن‌دهی: فاکتور وزن‌دهی پتانسیل آسیب هر گروه تأثیر را نشان داده و بزرگتر بودن این فاکتور نشان‌دهنده پتانسیل بیشتر آن گروه برای لطمه به محیط زیست می‌باشد. فاکتور وزن‌دهی گروه‌های تأثیر در جدول ۲ ارائه گردید.

شاخص زیست محیطی: شاخص زیست محیطی هر گروه تأثیر نشان‌دهنده میزان تخریب آن گروه تأثیر می‌باشد. این شاخص با استفاده از معادله ۴ محاسبه می‌گردد.

$$EcoX = \sum_i [N_i \times WF_i] \quad (4)$$

EcoX: شاخص زیست محیطی در واحد کارکردی برای اثرات زیست محیطی، N نتایج نرمال‌سازی برای گروه تأثیر i در هر واحد کارکردی و WF_i فاکتور وزن‌دهی برای هر گروه تأثیر i است.

نتایج و بحث

بررسی شاخص‌های ردپای آب

جدول ۳ و ۴ سهم هر یک از نهاده‌های ورودی به مزرعه را برای تولید یک تن برنج طارم در سناریو اول (کشت‌های اول و رتون و سیستم‌های کشت مرسوم و مکانیزه)، بر اساس معادل میزان آب مصرفی یا ردپای آب (آب آبی و سبز) در ایجاد شاخص‌های مختلف زیست محیطی مانند پتانسیل آسیب پذیری به سلامتی بشر، کیفیت اکوسیستم و منابع زیستی به روش (Pfister *et al.*, 2009)، شاخص تخریب منابع آبی به روش (Berger *et al.*, 2014) و آسیب پذیری به سلامتی بشر به صورت پختی و حاشیه‌ای به روش (Boulay *et al.*, 2011) نشان می‌دهد. نتایج بررسی شاخص‌های مختلف زیست محیطی در سناریو اول برای تولید یک تن شلتوک برنج نشان داد که کشت رتون (در هر دو حالت مکانیزه و مرسوم) در مقایسه با کشت اول برنج میزان آسیب کمتری به سلامتی انسان، کیفیت اکوسیستم، منابع زیست محیطی و تخریب منابع آبی خواهد داشت. از دلایل مهم این نتایج مصرف کمتر سموم و البته کودهای فسفر و پتاس و سوخت به دلیل عدم نیاز به عملیات‌های کشاورزی به منظور آماده‌سازی زمین برای عملیات نشاکاری می‌باشد. همچنین کشت رتون به دلیل عدم نیاز به غرقاب کردن زمین به منظور نشاکاری، میزان آب مصرفی مستقیم به مزرعه (آب آبی) را کاهش می‌دهد. البته با توجه به میزان پایین مصرف آب در کشت رتون نسبت به کشت اول انتظار بر این بود که فاصله شاخص‌های پتانسیل آسیب پذیری به سلامتی بشر، کیفیت اکوسیستم و منابع زیستی در این دو سامانه کشت بالا باشد اما باید توجه داشت که تمامی این محاسبات به ازای تولید یک تن شلتوک محاسبه شده و تابع عملکرد در این پژوهش یک تن شلتوک

(آب آبی) با استفاده از میزان کارکرد پمپ‌های مزرعه و پمپاژ آب اندازه‌گیری شد و همچنین میزان بارندگی (آب سبز) در طول فصل کشت با استفاده از داده‌های هواشناسی بدست آمد. مرزهای این سیستم (کشت برنج برای سناریوهای مختلف)، از شروع کشت برنج تا برداشت بود و دروازه‌های این پژوهش برای محاسبه ردپای آب، زمین کشاورزی در نظر گرفته شد. سه واحد کارکردی متفاوت برای ارزیابی چرخه حیات محصولات کشاورزی بر اساس واحد سطح، واحد پول و واحد جرم ماده تولیدی پیشنهاد شده است (Nemecek *et al.*, 2007). واحد کارکردی مورد استفاده در پژوهش حاضر یک تن برنج در نظر گرفته شد، به این معنی که ردپای آب به ازای یک تن برنج محاسبه گردید.

تحلیل سیاهه (تعیین ورودی‌ها و خروجی‌ها): در این مرحله باید کلیه منابع (ورودی‌ها) مورد نیاز در فرآیند تولید تعیین و فهرست‌برداری شوند. در پژوهش حاضر داده‌های مربوط به عملیات زراعی و میزان سوخت مصرفی آنها، انواع کودها و سموم شیمیایی، حمل و نقل، آبیاری و الکتریسیته مصرفی به صورت چهره به چهره جمع‌آوری گردید. تمامی داده‌های جمع‌آوری شده به همراه میزان تولید محصول در یک هکتار در محیط نرم‌افزار سیمپرو ۸/۱ وارد گردید. برای محاسبه میزان آب مصرفی غیرمستقیم ناشی از مصرف نهاده‌ها (مربوط به تولید کودها، آفتکش‌ها، سوخت و ...) از پایگاه‌های داده بین‌المللی EcoInvent موجود در نرم‌افزار سیمپرو استفاده شد.

ارزیابی اثرات: هدف از ارزیابی اثرات، تفسیر ورودی‌ها و خروجی‌ها در محاسبه ردپای آب در تولید شلتوک برنج می‌باشد. بر این اساس تحلیل ردپای آب و اثرات زیست محیطی آن با استفاده از تکنیک ارزیابی چرخه حیات، مورد بررسی قرار گرفت.

تفسیر نتایج: به منظور محاسبه و تفسیر نتایج لازم است تا شاخص نهایی برای گروه‌های مختلف در محاسبه ردپای آب استخراج گردد.

بررسی تخریب منابع زیست محیطی

طبقه بندی: در این مطالعه چهار گروه تأثیر تخلیه منابع فسیلی، منابع فسفات، پتاسیم و آب بررسی گردید. فاکتور طبقه‌بندی در هر گروه در جدول ۲ آورده شده است. شاخص هر گروه تأثیر با استفاده از معادله ۳ بدست می‌آید.

$$ICI_i = \sum_j [(E_j \text{ or } R_j) \times CF_{i,j}] \quad (3)$$

ICI_i شاخص طبقه‌بندی هر گروه تأثیر E_j یا R_j : انتشار ترکیب j یا مصرف منبع j بر هر واحد کارکردی، $CF_{i,j}$ فاکتور طبقه بندی برای ترکیب j سهم در گروه تأثیر i است.

انواع سموم و کودهای شیمیایی بود. همچنین کشت اول نسبت به کشت رتون میزان پتانسیل تخریب سلامتی انسان‌ها را در مناطق کشت این محصول افزایش می‌دهد و دسترسی به آب‌های سالم و قابل شرب را کاهش دهد. همچنین مقایسه نتایج نشان داد که مصرف آب مستقیم (آب آبی و سبز) و بعد از آن مصرف کود نیتروژنه بالاترین سهم را در ایجاد آثار سو زیست محیطی به همراه خواهند داشت.

بود. بنابراین مقادیر شاخص‌ها در کشت‌های اول و رتون بهم نزدیک شدند. بررسی نتایج بدست آمده از جداول ۳ و ۴ نشان می‌دهد که شاخص تخریب سلامتی انسان در دو روش (Pfister et al., 2009) و Boulay et al. (2011) نشان داد که بالاترین این شاخص در بین نهاده‌های ورودی به مزرعه مربوط به مصرف آب مستقیم (آب آبیاری و بارندگی) می‌باشد. دلیل این امر سهم بالای آب آبیاری (آبی و بارندگی) و نیاز آبی گیاه برنج نسبت به سهم آب مصرفی برای تولید

جدول ۲- فاکتورهای طبقه‌بندی و وزن‌دهی واحدهای مختلف مورد استفاده در این پژوهش

طبقه‌بندی تاثیرات			
منبع	کارایی هر ترکیب	اجزا	گروه تاثیر
(Brenttrup et al., 2004)	۴۲/۸۶	مصرف سوخت دیزل	تخریب منابع فسیلی
(Brenttrup et al., 2004)	۰/۲۵	مصرف کود فسفات	تخریب منابع فسفات
(Brenttrup et al., 2004)	۰/۱۰۵	مصرف کود پتاس	تخریب منابع پتاس
(Buratti et al., 2009)	۱	مصرف آب	تخریب منابع آب
وزن‌دهی و نرمال‌سازی فاکتورها			
منبع	فاکتور وزن‌دهی	فاکتور نرمال‌سازی (واحد)	گروه تاثیر
میرحاجی و همکاران، ۱۳۹۲	۱/۱۴	۳۹۱۶۷ (MJ)	تخریب منابع فسیلی
Brenttrup et al., 2004	۱/۲۰	۷/۶۶ (kg P ₂ O ₅ eq)	تخریب منابع فسفات
Brenttrup et al., 2004	۰/۳	۸/۱۴ (kg K ₂ O eq)	تخریب منابع پتاس
Wang et al., 2010	۰/۲۱	۶۲۶/۳۶ (m ³)	تخریب منابع آب

منابع (MJ urplus) دارد.

بررسی پارامترهای مختلف زیست محیطی (جداول ۵ و ۶) ناشی از مصرف آب به صورت مستقیم (آب آبی و سبز) و آب غیر مستقیم (آب مصرفی در تولید نهاده‌های مختلف ورودی) در تولید یک تن شلتوک در سناریو دوم نشان داد که کشت اول دارای آثار سو زیست محیطی کمتری نسبت به کشت دوم از منظر ردپای آب دارد. یکی از دلایل مهم نتایج بدست آمده، تولید محصول بالاتر در کشت اول نسبت به کشت دوم بوده که این عامل سبب کاهش میزان تخریب پارامترهای زیست محیطی گردید. همچنین مقایسه شاخص‌های مختلف از جمله آسیب به سلامتی انسان، کیفیت اکوسیستم، منابع و تخریب منابع آبی در اثر مصرف آب نشان داد که در سناریوی دوم استفاده از کشت مکانیزه می‌تواند تهدید کمتری برای سلامتی از منظر ردپای آب داشته باشد. نتایج بدست آمده در سناریوی دوم نشان می‌دهد که کشت اول مخاطرات مربوط به سلامتی انسان‌ها، کیفیت اکوسیستم و منابع را کم کرده و دلیل آن مصرف آب پایین‌تر در فرآیند آماده‌سازی زمین و غرقاب کردن زمین (در اواخر اسفند ماه و اوایل فروردین در کشت اول نسبت به اواخر تیرماه و اوایل مرداد ماه در کشت دوم) را نسبت به کشت دوم کم می‌کند. از طرف دیگر باید در نظر داشت برداشت کشت دوم از آبان ماه شروع شده و با توجه به بارندگی‌های شهریور و مهرماه و همچنین کاهش میانگین دمای

بررسی شاخص تخریب کیفیت اکوسیستم نشان داد که کشت اول نسبت به کشت رتون و سامانه مرسوم نسبت به سامانه مکانیزه سبب افزایش این شاخص بدلیل مصرف بالاتر آب به ازای تولید یک تن برنج گردید که این امر می‌تواند میزان میزان آب در دسترس گیاهان برای رشد و پرورش را کاهش داده و بر کیفیت اکوسیستم تاثیرگذار باشد. همچنین در بررسی شاخص منابع نیز اثر کشت اول نسبت به کشت رتون و سامانه مرسوم نسبت به کشت مکانیزه نتایج مشابه بود و سبب گردید تا میزان انرژی مورد نیاز برای ایجاد منابع آب در آینده بالاتر باشد. دلیل این نتایج این است که سهم آب مصرفی در طول کشت اول و سامانه مرسوم بالا بوده و برای تولید این مقدار آب با تکنولوژی‌های نوین به‌منظور تولید یک تن محصول برنج باید انرژی بالاتری را صرف کرد.

نتایج پژوهش چا و همکاران (Cha et al., 2017) در تولید تریچه سفید نشان داد که در فصل‌های بهار و پاییز بالاترین سهم ردپای آب (غیرمستقیم) مربوط به تولید ترکیبات کودهای شیمیایی و ارگانیک بود و بعد از آن‌ها میزان آب مصرفی برای تولید الکتریسیته دارای بالاترین سهم بود. همچنین نتایج پژوهش پیچ و همکاران (Page et al., 2012) در بررسی ردپای آب در تولید گوجه تازه در مزرعه و تکنولوژی‌های مختلف گلخانه‌ای نشان داد که تولید گوجه در مزرعه بالاترین تاثیرات بد را بر کیفیت اکوسیستم (PDF/m²ya) و

کشت دوم به دلیل مصرف بالاتر آب به ازای تولید یک تن محصول برنج دارای تخریب منابع بیشتر بوده و به دنبال آن تکنولوژی‌های جایگزین با صرف انرژی بالاتری می‌توانند میزان آب معادل برای کشت دوم نسبت به کشت اول را تولید کند. بررسی نتایج نشان داد که شاخص تخریب آب در روش Berger et al 2014 نشان داد که کشت دوم نسبت به کشت اول و سامانه مرسوم نسبت به سامانه مکانیزه بالاتر می‌باشد که دلیل آن نیاز آبی بالای در فصل نشاکاری و غرقاب کردن زمین در فصل تابستان برای کشت دوم می‌باشد. همچنین از آنجا که کشاورزان برای برداشت برنج معمولاً از حدود دو هفته قبل از برداشت عملیات آبیاری را قطع کرده و به دنبال آن زمین زراعی پس از برداشت برنج کاملاً خشک می‌باشد و آماده‌سازی زمین‌ها نیاز به حجم آب بالاتری دارد.

محیط و پایین‌بودن بودن میزان تبخیر و تعرق در این ماه‌ها از سطح مزرعه، میانگین آب مصرفی در کشت دوم با کمی اختلاف کمی بیشتر از کشت اول می‌گردد. این عامل سبب می‌گردد تا آب موجود در مناطق کشت برنج کاهش یافته و به دلیل کاهش دسترسی انسان‌ها به آب شیرین و سالم بر روی سلامتی انسان تاثیر منفی گذاشته و سبب کاهش سطح بهداشت و سلامتی انسان می‌گردد. همچنین با کاهش میزان آب در دسترس میزان تولید محصول نیز دچار مخاطره شده و انسان‌های موجود در این مناطق دچار تنش غذایی بیشتری می‌شوند. همچنین اثرات کشت دوم نیز می‌تواند میزان آب در دسترس اکوسیستم را کاهش داده و به دنبال آن درختان و گیاهان نیازمند به آب را دچار تنش بیشتری کرده و به دنبال آن تنوع اکوسیستمی را نسبت به کشت اول کاهش می‌دهد. از طرف دیگر

جدول ۳- برآورد شاخص‌های مختلف ردپای آب در روش‌های مختلف در سناریو اول-کشت اول

کشت اول-مرسوم						
Boulay et al 2011		Berger et al 2014		Pfister et al 2009		روش محاسبه
کیفیت اکوسیستم	سلامتی انسان‌ها	تخلیه آب	منابع	کیفیت اکوسیستم	سلامتی انسان‌ها	گروه‌های تاثیر
PDF*m ² yr	DALY	m ³	MJ urplus	PDF*m ² yr	DALY	واحد
۰/۰۵۱۹۰۱	۰/۱۳۹۵۴۵	۱۰۹۰/۵۷۲	۸۰۹۳/۲۲۴	۱۲۸۶/۷۰۷	۰/۰۰۰۸۳۱	مجموع
۰/۰۵۱۶۲۸	۰/۱۳۸۵۱۵	۱۰۸۶/۳۶۹	۸۰۷۱/۹۱۸	۱۲۸۰/۸۲۸	۰/۰۰۰۸۲۳	آب مستقیم
۵/۰۸E-۰۶	۱/۹۲E-۰۵	۰/۱۰۸۷۷۲	-/۳۷۵۲۵۶	۰/۱۰۷۶۸۸	۱/۴۱E-۰۷	دیزل
۰/۰۰۰۱۱۷	۰/۰۰۰۴۷۵	۳/۰۸۹۶۸۸	۹/۴۶۳۹۰۴	۲/۴۸۲۶۸۸	۳/۰۳E-۰۶	نیترژن
۳/۲۱E-۰۵	۰/۰۰۰۱۲۴	۰/۷۸۴۰۲۴	۲/۵۶۱۹۹۳	۰/۶۹۲۱۶۹	۸/۶۹E-۰۷	فسفات
۱/۶۳E-۰۶	۶/۶۲E-۰۶	۰/۰۴۹۲۲۸	-/۱۴۱۵۰۷	۰/۰۴۳۱۱۰	۴/۳۶E-۰۸	پتاس
۲/۶۸E-۰۶	۱/۱۸E-۰۵	۰/۰۹۲۲۲۶	-/۲۲۴۴۴۴	۰/۰۷۳۳۹۵	۶/۹۸E-۰۸	علف‌کش
۴/۳۷E-۰۷	۳/۶۶E-۰۷	-/۰۱۷۰۴	-/۰۱۱۸۲۵	۰/۰۰۴۸۴۰	۱/۴۹E-۰۸	قارچ‌کش
۱/۳۱E-۰۶	۵/۶۱E-۰۶	۰/۰۴۲۶۰۷	-/۱۰۸۴۵۳	۰/۰۳۴۴۵۲	۳/۴۴E-۰۸	حشره‌کش
۱/۷۳E-۰۶	۱/۰۶E-۰۵	۰/۰۵۳۸۰۲	-/۱۳۸۶۲۰	۰/۰۳۱۵۳۶	۸/۶۶E-۰۸	الکتریسته
کشت اول-مکانیزه						
۰/۰۴۸۴۳۸	۰/۱۳۰۲۵۲	۱۰۱۸/۵۴۳	۷۵۵۳/۳۰۸	۱۲۰۰/۸۳۴	۰/۰۰۰۷۷۵	مجموع
۰/۰۴۸۱۸۴	۰/۱۲۹۲۷۴	۱۰۱۳/۸۸۹	۷۵۳۳/۳۷۷	۱۱۹۵/۳۷۴	۰/۰۰۰۷۶۸	آب مستقیم
۸/۱۸E-۰۶	۳/۰۹E-۰۵	۰/۱۷۵۲۸۳	-/۶۰۴۷۱۳	۰/۱۷۳۵۳۶	۲/۲۷E-۰۷	دیزل
۰/۰۰۰۱۳۴	۰/۰۰۰۵۴۷	۳/۵۵۶۰۲۶	۱۰/۸۹۲۳۳	۲/۸۵۴۷۱	۳/۴۹E-۰۶	نیترژن
۲/۹۳E-۰۵	۰/۰۰۰۱۱۳	۰/۷۱۷۶۶۷	۲/۳۴۵۱۵۳	۰/۶۳۳۵۸۵	۷/۹۶E-۰۷	فسفات
۱/۵E-۰۶	۶/۰۹E-۰۶	۰/۰۴۵۳۳۱	-/۱۳۰۳۰۵	۰/۰۳۹۶۹۷	۴/۰۲E-۰۸	پتاس
۲/۴۷E-۰۶	۱/۰۹E-۰۵	۰/۰۸۴۹۲۵	-/۲۰۶۶۷۷	۰/۰۶۷۵۸۵	۶/۴۳E-۰۸	علف‌کش
۴/۰۲E-۰۷	۷/۳۷E-۰۷	-/۰۱۵۶۹	-/۰۱۰۸۸۹	-/۰۰۰۴۴۶	۱/۳۷E-۰۸	قارچ‌کش
۱/۲۱E-۰۶	۵/۱۷E-۰۶	۰/۰۳۹۲۳۴	-/۰۹۹۸۶۸	۰/۰۳۱۷۲۴	۳/۱۷E-۰۸	حشره‌کش
۱/۶۳E-۰۶	۱/۰۱E-۰۵	۰/۰۵۰۸۸۱	-/۱۳۱۱۰۰	۰/۰۲۹۸۲۴	۸/۱۹E-۰۸	الکتریسته

جدول ۴- برآورد شاخص‌های مختلف ردپای آب در روش‌های مختلف در سناریو اول-کشت رتون

کشت رتون - مرسوم						
Boulay et al 2011		Berger et al 2014		Pfister et al 2009		روش محاسبه
کیفیت اکوسیستم	سلامتی انسان‌ها	تخلیه آب	منابع	کیفیت اکوسیستم	سلامتی انسان‌ها	گروه‌های تاثیر
PDF*m ² yr	DALY	m ³	MJ surplus	PDF*m ² yr	DALY	واحد
۰/۰۴۵۵۶۸	۰/۱۲۲۸۳۳	۹۶۱/۲۹۳۱	۷۰۹۰/۶۰۶	۱۱۲۸/۹۲۶	۰/۰۰۰۷۳۱	مجموع
۰/۰۴۵۱۲۱	۰/۱۲۱۰۵۷	۹۴۹/۴۵	۷۰۵۴/۵۸۴	۱۱۱۹/۴۰۱	۰/۰۰۰۷۱۹	آب مستقیم
۴/۷۵E-۰۶	۱/۷۹E-۰۵	۰/۱۰۱۷۷۱	۰/۳۵۱۱۰۴	۰/۱۰۰۷۵۷	۱/۳۲E-۰۷	دیزل
۰/۰۰۰۴۳۹	۰/۰۰۱۷۹۲	۱/۶۴۴۶۱	۳۵/۶۶۸۱۷	۰/۳۵۶۹۱۶	۱/۱۴E-۰۵	نیترژن
.	.	.	.	.	.	فسفات
.	.	.	.	.	.	پتاس
.	.	.	.	.	.	علف کشت
.	.	.	.	.	.	قارچ کشت
۱/۵۱E-۰۶	۶/۴۷E-۰۶	۰/۰۴۹۰۹۴	۰/۱۲۴۹۶۵	۰/۰۳۹۶۹۷	۳/۹۷E-۰۸	حشره کشت
۱/۵۳E-۰۶	۹/۴۲E-۰۶	۰/۰۴۷۶۴۸	۰/۱۲۲۷۷	۰/۰۲۷۹۲۹	۷/۶۷E-۰۸	الکتریسته
کشت رتون - مکانیزه						
043023/0	۰/۱۱۶۰۸۵	۹۰۷/۸۵۳۴	۶۶۹۱/۰۶۴	۱۰۶۵/۷۱۲	۰/۰۰۰۶۹۱	مجموع
۰/۰۴۲۵۲۵	۰/۱۱۴۱۷۱	۸۹۵/۴۳۷۳	۶۶۵۳/۲۶۱	۱۰۵۵/۷۲	۰/۰۰۰۶۷۸	آب مستقیم
۶/۴۳E-۰۶	۲/۴۳E-۰۵	۰/۱۳۷۸۱	۰/۴۷۵۴۳۴	۰/۱۳۶۴۳۶	۱/۷۸E-۰۷	دیزل
۰/۰۰۰۴۶	۰/۰۰۱۸۷۵	۰/۱۸۷۸۹	۳۷/۲۳۲۲۷	۹/۷۹۳۴۶۳	۱/۱۹E-۰۵	نیترژن
.	.	.	.	.	.	فسفات
.	.	.	.	.	.	پتاس
.	.	.	.	.	.	علف کشت
.	.	.	.	.	.	قارچ کشت
۱/۳۷E-۰۶	۵/۸۸E-۰۶	۰/۰۴۴۶۱	۰/۱۱۳۵۵۱	۰/۰۳۶۰۷۱	۳/۶E-۰۸	حشره کشت
۱/۴۷E-۰۶	۹/۰۶E-۰۶	۰/۰۴۵۸۰۹	۰/۱۱۸۰۳	۰/۰۲۶۸۵۱	۷/۳۷E-۰۸	الکتریسته

اکوسیستم و منابع به دلیل افزایش مصرف آب برای تولید یک تن برنج افزایش یافته و میزان آب در دسترس برای افزایش کیفیت اکوسیستم را کاهش می‌دهد. همچنین به دلیل مصرف بالای آب در این سناریو میزان انرژی مورد نیاز برای جایگزینی تکنولوژی‌های نوین به منظور تولید آب معادل در تولید یک تن برنج را افزایش می‌دهد. بررسی نتایج در این سناریو هم مانند دو سناریو قبلی نشان داد که سامانه کشت مکانیزه دارای آثار سو کمتری داشته و دلیل این امر تولید محصول بیشتر در سامانه کشت مکانیزه برنج نسبت به کشت مرسوم می‌باشد که سبب کاهش اثرات سو زیست محیطی به ازای تولید یک تن شلتوک می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که بالاترین سهم در ایجاد آثار سو زیست محیطی در اثر مصرف آب به صورت غیرمستقیم (مصرف شده برای تولید نهاده‌های ورودی) مربوط به مصرف کودهای نیترژنه می‌باشد. در بررسی هر دو روش سیستم کشت، آب مستقیم (آب آبی و سبز) بالاترین سهم را بر ایجاد شاخص‌های سو زیست محیطی بر اثر مصرف آب داشت.

بررسی شاخص‌های زیست محیطی ناشی از مصرف آب در سناریو سوم (کشت برنج بعد از محصول کلزا) نشان داد (جدول ۷) که این سناریو دارای میزان تخریب بالایی برای سلامتی انسان، اکوسیستم، منابع و آب می‌باشد. به طور کلی فصل برداشت کلزا اوایل خرداد ماه بوده و میانگین دمای محیط بالا بوده و در کنار این امر بعد از برداشت کلزا به دلیل وجود بقایای این محصول حرکت تراکتور در مزرعه برای آماده‌سازی و غرقاب کردن مزرعه به سختی صورت می‌گیرد. این امر سبب می‌گردد تا آب مصرفی به ازای تولید یک تن محصول در این سناریو در طول دوره کشت (شروع کشت از اواسط خرداد و برداشت محصول اواخر شهریور) به دلیل کاهش میزان بارندگی و بالا بودن میانگین دمایی در طول این دوره، زیاد باشد. این امر سبب کاهش میزان آب در دسترس برای مصارف شرب و بهداشتی شده و از طرف دیگر آب در دسترس برای تولید محصولات دیگر را کاهش داده و احتمال سو تغذیه را در سال‌های آینده بر اساس تخریب منابع آبی را افزایش می‌دهد. همچنین پتانسیل تخریب

جدول ۵- برآورد شاخص‌های مختلف ردپای آب در روش‌های مختلف در سناریو دوم-کشت اول

کشت اول - مرسوم						
Boulay et al 2011		Berger et al 2014		Pfister et al 2009		روش محاسبه
کیفیت اکوسیستم	سلامتی انسان‌ها	تخلیه آب	منابع	کیفیت اکوسیستم	سلامتی انسان‌ها	گروه‌های تاثیر
PDF*m ² yr	DALY	m ³	MJ surplus	PDF*m ² yr	DALY	واحد
۰/۰۴۱۸۹۱	۰/۱۱۲۶۷۷	۸۸۰/۰۵۳۶	۶۵۲۹/۰۸۵	۱۰۳۸/۴۰۳	۰/۰۰۰۶۷۱	مجموع
۰/۰۴۱۶۲۹	۰/۱۱۱۶۸۸	۸۷۵/۹۶۹۷	۶۵۰۸/۶۱۳	۱۰۳۲/۷۶۷	۰/۰۰۰۶۶۴	آب مستقیم
۴/۷۷E-۰۶	۱/۸E-۰۵	۰/۱۰۲۰۹۴	۰/۳۵۲۲۱۶	۰/۱۰۱۰۷۶	۱/۳۲E-۰۷	دیزل
۰/۰۰۰۱۱۲	۰/۰۰۰۴۵۸	۲/۹۷۷۷۸۱	۰/۱۲۱۱۲۶	۲/۳۹۲۷۶۷	۲/۹۲E-۰۶	نیترژن
۳/۲۷E-۰۵	۰/۰۰۰۱۲۶	۰/۸۰۰۰۶۷	۰/۶۱۴۴۱۷	۰/۷۰۶۳۳۲	۷/۸۷E-۰۷	فسفات
۱/۶۳E-۰۶	۶/۶۴E-۰۶	۰/۰۴۹۴۱۷	۰/۱۴۲۰۵	۰/۰۴۳۲۷۵	۴/۳۸E-۰۸	پتاس
۲/۵۱E-۰۶	۱/۱۱E-۰۵	۰/۰۸۶۵۵۶۳	۰/۲۱۰۶۶۴	۰/۰۶۸۸۸۹	۶/۵۵E-۰۸	علف کشت
۴/۱E-۰۷	۳/۴۴E-۰۷	۰/۰۱۵۹۹	۰/۰۱۱۰۹۹	۰/۰۰۴۵۴	۱/۴E-۰۸	قارچ کشت
۱/۲۳E-۰۶	۵/۲۷E-۰۶	۰/۰۳۹۹۹۱	۰/۱۰۱۷۹۴	۰/۰۳۳۳۳۶	۳/۲۳E-۰۸	حشره کشت
۱/۴۱E-۰۶	۸/۶۹E-۰۶	۰/۰۴۳۹۶	۰/۱۱۳۲۶	۰/۰۲۵۷۶۷	۷/۰۸E-۰۸	الکتریسته
کشت اول - مکانیزه						
۰/۰۴۱۰۱	۰/۱۱۰۳۱۹	۸۶۲/۲۹۴۹	۶۳۹۲/۲۸۵	۱۰۱۶/۵۶۷	۰/۰۰۰۶۵۷	مجموع
۰/۰۴۰۷۵۹	۰/۱۰۹۳۵۴	۸۵۷/۶۶۴۳	۶۳۷۲/۶	۱۰۱۱/۱۸۵	۰/۰۰۰۶۵	آب مستقیم
۷/۸۶E-۰۶	۲/۹۷E-۰۵	۰/۱۶۸۴۹۴	۰/۵۸۱۲۹۱	۰/۱۶۶۸۱۵	۲/۱۸E-۰۷	دیزل
۰/۰۰۰۱۳۳	۰/۰۰۰۵۴۱	۳/۵۱۳۳۹۶	۱۰/۷۶۱۷۵	۲/۸۲۳۱۵۵	۳/۴۴E-۰۶	نیترژن
3.09E-۰۵	۰/۰۰۰۱۱۹	۰/۷۵۴۵۲۴	۲/۴۶۵۵۹۲	۰/۶۶۶۱۳۴	۸/۳۷E-۰۷	فسفات
۱/۵۴E-۰۶	۶/۲۶E-۰۶	۰/۰۴۶۶۰۴	۰/۱۳۳۹۶۴	۰/۰۴۰۸۱۲	۴/۱۳E-۰۸	پتاس
۲/۳۷E-۰۶	۱/۰۵E-۰۵	۰/۰۸۱۶۳۶	۰/۱۹۸۶۷۲	۰/۰۶۴۹۶۸	۶/۱۸E-۰۸	علف کشت
۳/۸۷E-۰۷	۳/۲۴E-۰۷	-۰/۰۱۵۰۸	۰/۰۱۰۴۶۷	-۰/۰۰۴۲۹	۱/۳۲E-۰۸	قارچ کشت
۱/۱۶E-۰۶	۴/۹۷E-۰۶	۰/۰۳۷۷۱۵	۰/۰۹۶	۰/۰۳۰۴۹۶	۳/۰۵E-۰۸	حشره کشت
۱/۳۹E-۰۶	۸/۵۶E-۰۶	۰/۰۴۳۳۰۲	-۰/۱۱۱۵۷	۰/۰۲۵۳۸۱	۶/۹۷E-۰۸	الکتریسته

(آبیاری هوشمند، کم‌آبیاری و ...) را جایگزین کرد (البته باید گفت این نتایج از منظر بررسی مصرف آب و ردپای آب و ایجاد آثار سوء مربوطه می‌باشد).

تخریب منابع زیست محیطی

مقایسه تخریب منابع در سناریوهای مختلف (کشت اول)

بررسی تخریب منابع در سناریوهای مختلف کشت اول برنج (شکل ۱) نشان داد که بالاترین میزان تخریب منابع فسیلی به ازای تولید یک تن محصول برنج در سناریو سوم و روش کشت مکانیزه به میزان ۲/۷۲ تن و پایین‌ترین میزان این تخریب در سناریو اول و دوم (کشت اول) و در روش کشت مرسوم به میزان ۲/۱۸ تن بود. دلیل آن این است که در سناریو سوم (کشت مکانیزه) استفاده‌ی بالا از ماشین‌های مختلف در مرحله نشاکاری تا برداشت از یک سو و طول عمر و فرسودگی بالا در ماشین‌ها و تجهیزات کشاورزی از سوی دیگر سبب مصرف بالای سوخت شد. از طرف دیگر در سناریو سوم بقایای موجود کلزا بعد از مرحله برداشت یکی از پارامترهای اثرگذار در آماده‌سازی زمین برای عملیات نشاکاری در مرحله بعد می‌باشد.

مقایسه بررسی ردپای آب در سناریوهای مختلف

بررسی و مقایسه شاخص‌های زیست محیطی ایجاد شده در اثر مصرف مستقیم و غیر مستقیم آب در سناریوهای مختلف نشان داد که کشت دوم برنج در سناریو دوم و کشت برنج در سناریو سوم (بعد از برداشت کلزا) دارای بالاترین اثرات سو زیست محیطی شامل سلامتی انسان، کیفیت اکوسیستم، منابع و منابع آب را برای تولید یک تن برنج ایجاد خواهد کرد. همچنین پایین‌ترین میزان اثرات سو زیست محیطی در اثر مصرف آب، مربوط به کشت اول در سناریو دوم و کشت رتون در سناریو اول می‌باشد. یکی از دلایل مهم بدست آمدن این نتایج زمان کاشت و نشاکاری برنج می‌باشد. در سناریو دوم-کشت دوم و کشت برنج در سناریو سوم به دلیل نشاکاری در اواخر فصل بهار و اوایل تابستان، حجم آب مصرفی برای آماده‌سازی زمین بسیار بالا بوده و به دنبال آن آثار سو زیست محیطی در اثر مصرف آب افزایش می‌یابد. بررسی ردپای آب به صورت مستقیم و غیر مستقیم در این دو کشت نشان داد که باید به دنبال کشت جایگزین و با مصرف آب کمتر بوده و یا سناریوهایی با مصرف آب کمتر مانند کشت رتون و همچنین استفاده از روش‌های نوین آبیاری

جدول ۶- برآورد شاخص‌های مختلف ردپای آب در روش‌های مختلف در سناریو دوم-کشت دوم

کشت دوم-مرسوم						
Boulay et al 2011		Berger et al 2014		Pfister et al 2009		روش محاسبه
کیفیت اکوسیستم	سلامتی انسان‌ها	تخلیه آب	منابع	کیفیت اکوسیستم	سلامتی انسان‌ها	گروه‌های تاثیر
PDF*m ² yr	DALY	m ³	MJ surplus	PDF*m ² yr	DALY	واحد
۰/۰۶۵۷۷۲	۰/۱۷۶۷۴۳	۱۳۸۲/۱۲۲	۱۰۲۶۲/۵۴	۱۶۳۰/۸۵۳	۰/۰۰۱۰۵۲	مجموع
۰/۰۶۵۵۱	۰/۱۷۵۷۵۷	۱۳۷۸/۴۶	۰/۱۰۲۴۲	۱۶۲۵/۲۰۳	۰/۰۰۱۰۴۴	آب مستقیم
۶/۷E-۰۰۶	۲/۵۳E-۰۰۵	۰/۱۴۳۵۰۵	۰/۴۹۵۰۸۳	۰/۱۴۲۰۷۵	۱/۸۶E-۰۰۷	دیزل
۰/۰۰۰۱۲۳	۰/۰۰۰۵۰۲	۰/۲۶۰۵۸۴	۹/۹۸۷۳۶۹	۲/۶۲۰۰۱	۳/۲E-۰۰۶	نیترژن
.	.	.	.	.	.	فسفات
۲/۳۱E-۰۰۶	۹/۳۸E-۰۰۶	۰/۰۶۹۸۰۹	۰/۲۰۰۶۶۷	۰/۰۶۱۱۳۳	۶/۱۸E-۰۰۸	پتاس
۱/۳E-۰۰۶	۵/۷۴E-۰۰۶	۰/۰۴۴۷۶۵	۰/۱۰۸۹۴۱	۰/۰۳۵۶۲۵	۳/۳۹E-۰۰۸	علف کشت
۲/۴۹E-۰۰۷	۲/۰۹E-۰۰۷	۰/۰۰۹۷۱	۰/۰۰۶۷۴	۰/۰۰۲۷۶	۸/۴۹E-۰۰۹	قارچ کشت
۲/۵۹E-۰۰۶	۱/۱۱E-۰۰۵	۰/۰۸۴۱۸۵	۰/۲۱۴۲۸۷	۰/۰۶۸۰۷۱	۶/۸E-۰۰۸	حشره کشت
۲/۲۱E-۰۰۶	۱/۳۶E-۰۰۵	۰/۰۶۸۷۶۷	۰/۱۷۷۱۸	۰/۰۴۰۳۰۸	۱/۱۱E-۰۰۷	الکتریسته
کشت دوم-مکانیزه						
۰/۰۶۲۰۳۵	۰/۱۶۶۷۳۷	۱۳۰۴/۱۹۶	۹۶۷۸/۳۴۶	۱۵۳۸/۱۳۹	۰/۰۰۰۹۹۲	مجموع
۰/۰۶۱۷۷۲	۰/۱۶۵۷۳	۱۲۹۹/۸۲	۹۶۵۷/۸۹۸	۱۵۳۲/۴۸۷	۰/۰۰۰۹۸۵	آب مستقیم
۱/۰۶E-۰۰۵	۴/۰۱E-۰۰۵	۰/۲۲۷۸۸۸	۰/۷۸۶۱۹۶	۰/۲۲۵۶۱۷	۲/۹۵E-۰۰۷	دیزل
۰/۰۰۰۱۴۷	۰/۰۰۰۰۶	۰/۸۹۷۳۴۸	۱۱/۹۳۷۸۲	۳/۱۳۱۶۷۶	۳/۸۲E-۰۰۶	نیترژن
.	.	.	.	.	.	فسفات
۲/۱۱E-۰۰۶	۸/۵۹E-۰۰۶	۰/۰۶۳۸۹۹	۰/۱۸۳۶۷۷	۰/۰۵۵۹۵۷	۵/۶۶E-۰۰۸	پتاس
۱/۱۹E-۰۰۶	۵/۲۶E-۰۰۶	۰/۰۴۰۹۷۴	۰/۰۹۹۷۱۷	۰/۰۳۳۶۰۸	۳/۱E-۰۰۸	علف کشت
۲/۲۸E-۰۰۷	۱/۹۱E-۰۰۷	۰/۰۰۸۸۹	۰/۰۰۶۱۶۹	۰/۰۰۲۵۳	۷/۷۷E-۰۰۹	قارچ کشت
۲/۳۷E-۰۰۶	۱/۰۲E-۰۰۵	۰/۰۷۷۰۵۷	۰/۱۹۶۱۴۴	۰/۰۶۳۳۰۸	۶/۲۳E-۰۰۸	حشره کشت
۲/۴۷E-۰۰۶	۱/۵۲E-۰۰۵	۰/۰۷۷۱۰۹	۰/۱۹۸۶۸	۰/۰۴۵۱۹۸	۱/۲۴E-۰۰۷	الکتریسته

به میزان ۰/۶ و پایین‌ترین میزان تخریب این پارامتر در سناریو سوم و در هر دو سیستم کشت مرسوم و مکانیزه اتفاق افتاد. از دلایل مهم میزان پایین تخریب منابع فسفات در سناریو سوم، وجود بقایای بالای گیاه کلزا در سطح مزرعه بوده و همزمان با آماده‌سازی زمین برای عملیات نشا کاری، بقایای گیاهی با خاک مخلوط شده و خرد می‌گردد و با گذشت زمان پلاسیده شده و منابع مغذی آن در اختیار گیاه برنج قرار می‌گیرد. این فاکتور سبب کاهش میزان مصرف فسفات در طول دوره رشد گیاه برنج می‌گردد. همچنین مقایسه میزان تخریب منابع فسفات در دو سناریو اول و دوم در دو کشت مرسوم و مکانیزه نشان داد که میزان تخریب این پارامتر در سیستم کشت مرسوم بالاتر از کشت مکانیزه در هر دو سناریو می‌باشد. دلیل این امر آن است میزان محصول تولیدی در سیستم کشت مکانیزه بالاتر از سیستم کشت مرسوم بوده و به دنبال آن سرانه میزان مصرف کود فسفات به ازای تولید یک تن محصول تولیدی در کشت مکانیزه پایین می‌آید. بررسی تخریب منابع پتاس نشان داد که بالاترین میزان تخریب این پارامتر

وجود این بقایا سبب کار بیشتر ماشین‌های آماده‌سازی زمین، مسطح کردن و غرقاب کردن و به دنبال آن عملیات نشاکاری می‌گردد. از آنجا که در سیستم کشت مکانیزه، عملیات نشاکاری با دستگاه نشاکار صورت گرفته و کارکرد این دستگاه در زمین‌های با بقایای بالای گیاهی دچار مشکل می‌گردد، لذا لازم است تا عملیات آماده‌سازی زمین با دقت بالاتری نسبت به کشت مرسوم (کشت نشا توسط نیروی انسانی) صورت گیرد و همین امر سبب می‌گردد تا در سناریو سوم ساعات کارکرد ماشین آماده‌سازی زمین بیشتر از سایر سناریوها گردد. همچنین در سناریو اول و دوم (کشت اول) و روش کشت مرسوم به دلیل میزان کم بکارگیری تجهیزات و ماشین‌های کشاورزی در مراحل نشاکاری و برداشت، میزان مصرف سوخت پایین آمده و میزان تخریب منابع در این روش کاهش می‌یابد. همچنین بررسی نتایج تخریب منابع فسفات در سناریوهای مختلف (کشت اول) نشان داد که بالاترین میزان تخریب این پارامتر به ازای تولید یک تن محصول برنج در سناریو اول (کشت اول) و در سیستم کشت مرسوم

بدست آمده نشان داد که میزان کود پتاس در واحد سطح در هر سناریو تقریباً به میزان یکسان می‌باشد، اما از آنجا که میزان محصول تولیدی در سناریوی سوم نسبت به دو سناریو دیگر پایین‌تر می‌باشد لذا میزان شاخص تخریب پارامتر پتاس در سناریوی سوم به ازای یک تن محصول تولیدی بالاتر می‌باشد.

به ازای تولید یک تن محصول برنج در سناریو سوم و در روش کشت مرسوم به میزان ۰/۰۳۱ و پایین‌ترین میزان تخریب این پارامتر در سناریوهای اول و دوم و در روش کشت مکانیزه به میزان ۰/۰۲۸ بدست آمد. افزایش میزان تخریب این پارامتر در سناریو سوم را می‌توان به استفاده بالاتر کود پتاس در مرحله کشت برنج (بعد از برداشت کلزا) نسبت به میزان محصول تولیدی ارتباط داد. نتایج

جدول ۷- برآورد شاخص‌های مختلف ردپای آب در روش‌های مختلف در سناریو سوم

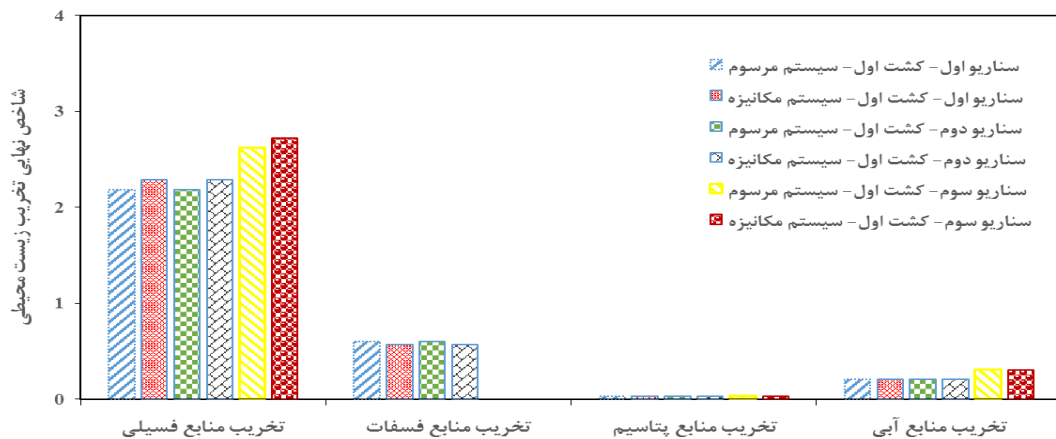
کشت مرسوم						
Boulay et al 2011		Berger et al 2014		Pfister et al 2009		روش محاسبه
کیفیت اکوسیستم	سلامتی انسان‌ها	تخلیه آب	منابع	کیفیت اکوسیستم	سلامتی انسان‌ها	گروه‌های تاثیر
PDF*m ² yr	DALY	m ³	MJ urplus	PDF*m ² yr	DALY	واحد
۰/۰۶۱۸۳۴	۰/۱۶۶۱۲۹	۱۲۹۹/۳۲۹	۹۶۴۹/۹۶۵	۱۵۳۳/۲۹۹	۰/۰۰۰۹۸۸	مجموع
۰/۰۶۱۶۱۲	۰/۱۶۵۳۰۱	۱۲۹۶/۴۴۸	۹۶۳۲/۸۴۳	۱۵۲۸/۵۱۱	۰/۰۰۰۹۸۲	آب مستقیم
5.57E-۰۶	۲/۱E-۰۵	۰/۱۱۹۲۶۴	۰/۴۱۱۴۵۲	۰/۱۱۸۰۷۶	۱/۵۴E-۰۷	دیزل
۹/۲۹E-۰۵	۰/۰۰۰۳۷۹	۲/۴۶۱۹۵	۷/۵۴۱۱۰۶	۱/۹۷۸۲۷۶	۲/۴۱E-۰۶	نیترژن
.	.	.	.	.	.	فسفات
۱/۷۲E-۰۶	۶/۹۷E-۰۶	۰/۰۵۱۹۰۳	۰/۱۴۹۱۹۴	۰/۰۴۵۴۵۲	۴/۶E-۰۸	پتاس
۳/۲۵E-۰۶	۱/۴۴E-۰۵	۰/۱۱۱۹۴۳	۰/۲۷۲۴۳	۰/۰۸۹۰۸۷	۸/۴۷E-۰۸	علف کشت
۴/۳E-۰۷	۳/۶۱E-۰۷	۰/۰۱۶۷۹	۰/۰۱۱۶۵۴	۰/۰۰۴۷۷	۱/۴۷E-۰۸	قارچ کشت
۲/۷۲E-۰۶	۱/۱۷E-۰۵	۰/۰۸۸۶۴۳	۰/۲۲۵۶۳۴	۰/۰۷۱۶۷۶	۷/۱۶E-۰۸	حشره کشت
۲/۰۶E-۰۶	۱/۲۷E-۰۵	۰/۰۶۴۲۶۴	۰/۱۶۵۵۸	۰/۰۳۷۶۶۹	۱/۰۳E-۰۷	الکتریسته
کشت مکانیزه						
۰/۰۶۰۷۹۸	۰/۱۶۳۳۷۷	۱۲۷۸/۳۴۱	۹۴۸۷/۶۲	۱۵۰۷/۵۵۸	۰/۰۰۰۹۷۲	مجموع
۰/۰۶۰۵۷	۰/۱۶۲۵۰۵	۱۲۷۴/۵۱۹	۹۴۶۹/۹۰۶	۱۵۰۲/۶۵۷	۰/۰۰۰۹۶۶	آب مستقیم
۹/۴۷E-۰۶	۳/۵۷E-۰۵	۰/۲۰۲۸۵۸	۰/۶۹۹۸۴۷	۰/۲۰۰۸۳۷	۲/۶۲E-۰۷	دیزل
۰/۰۰۰۱۲۶	۰/۰۰۰۵۱۲	۳/۳۲۹۲۵۷	۱۰/۱۹۷۷۲	۲/۶۷۵۱۹۲	۳/۲۶E-۰۶	نیترژن
.	.	.	.	.	.	فسفات
۱/۶۴E-۰۶	۶/۶۶E-۰۶	۰/۰۴۹۵۶	۰/۱۴۲۴۵۹	۰/۰۴۳۴	۴/۳۹E-۰۸	پتاس
۳/۱E-۰۶	۱/۳۷E-۰۵	۰/۱۰۶۸۹	۰/۲۶۰۱۳۱	۰/۰۸۵۰۶۵	۸/۰۹E-۰۸	علف کشت
۴/۱۱E-۰۷	۳/۴۵E-۰۷	۰/۰۱۶۰۳	۰/۰۱۱۱۲۷	۰/۰۰۴۵۶	۱/۴E-۰۸	قارچ کشت
۲/۶E-۰۶	۱/۱۲E-۰۵	۰/۰۸۴۶۴۱	۰/۲۱۵۴۴۸	۰/۰۶۸۴۴	۶/۸۴E-۰۸	حشره کشت
۲/۰۷E-۰۶	۱/۲۸E-۰۵	۰/۰۶۴۵۹۸	۰/۱۶۶۴۴	۰/۰۳۷۸۶۵	۱/۰۴E-۰۷	الکتریسته

بالا بودن میزان تخریب در سناریو سوم نسبت به دو سناریو دیگر زمان کشت برنج می‌باشد. از آن جا که زمان برداشت کلزا در استان مازندران از اواخر اردیبهشت ماه شروع شده و اکثر برداشت‌های این محصول در خرداد ماه اتفاق می‌افتد، کشت برنج باید از اوایل تا اواسط خرداد ماه شروع گردد. از آنجا که عملیات آماده‌سازی زمین در سناریو سوم در خرداد ماه بوده و در دو سناریو اول و دوم در بازه زمانی اواخر اسفند تا اواخر فروردین می‌باشد، لذا میزان رطوبت زمین زراعی در خرداد ماه به واسطه میانگین دمای بالاتر محیط و بارندگی پایین‌تر نسبت به ماه‌های اسفند و فروردین کمتر می‌باشد. این امر سبب

البته باید توجه داشت که میزان مصرف دو کود شیمیایی فسفر و پتاس بیشتر بر اساس مدیریت موضعی کشاورز در مزرعه صورت پذیرفته و اساس آن چندان بر اساس نیاز یا عدم نیاز گیاه نبوده و کشاورز بر اساس تجربه و یا توصیه دیگران چنین مدیریتی را اعمال می‌کند. بررسی شاخص تخریب منابع آب در سناریوهای مختلف (کشت اول) نشان داد که بالاترین میزان تخریب منابع آبی به ازای تولید یک تن محصول برنج در سناریو سوم کشت مرسوم به میزان ۰/۳۰۶ و پایین‌ترین میزان تخریب این پارامتر در سناریو اول و دوم، کشت مرسوم به میزان ۰/۲۱۰ اتفاق افتاد. یکی از مهمترین دلایل

میانگین دمای محیطی در این بازه زمانی (اواسط خرداد تا اوایل شهریور) در طول سال اتفاق می‌افتد که این امر سبب تبخیر و تعرق بالا از سطح مزرعه برنج شده و میزان آب مورد نیاز برای آبیاری نیز افزایش می‌یابد. همچنین باید توجه داشت که پارامتر تخریب منابع مختلف در سناریو اول و دوم (در دو کشت مرسوم و مکانیزه) دارای اختلاف نمی‌باشد. دلیل این نتایج این است که شروع مراحل کشت در این دو سناریو بهم نزدیک بوده و شرایط اولیه زمین برای عملیات آماده‌سازی نیز تقریباً یکسان بود.

می‌گردد تا حجم آب مورد نیاز برای غرقاب کردن مزرعه برنج در سناریو سوم بسیار بالاتر از دو سناریو دیگر باشد و به دنبال آن ساعات کارکرد پمپ آب نیز افزایش یافته و مصرف سوخت یا الکتریسیته افزایش می‌یابد. البته باید توجه داشت که در پژوهش حاضر محصول مورد نظر برنج طارم بوده و متوسط طول دوره آبیاری برای این محصول ۷۵ تا ۸۵ روز می‌باشد و زمان نشاکاری در سناریو سوم از اواسط خرداد شروع و تا اوایل شهریور در زمان برداشت ادامه دارد. بررسی‌های هواشناسی در استان مازندران نشان داد که بالاترین



شکل ۱- شاخص نهایی تخریب منابع مختلف در سناریوهای مختلف (کشت اول)

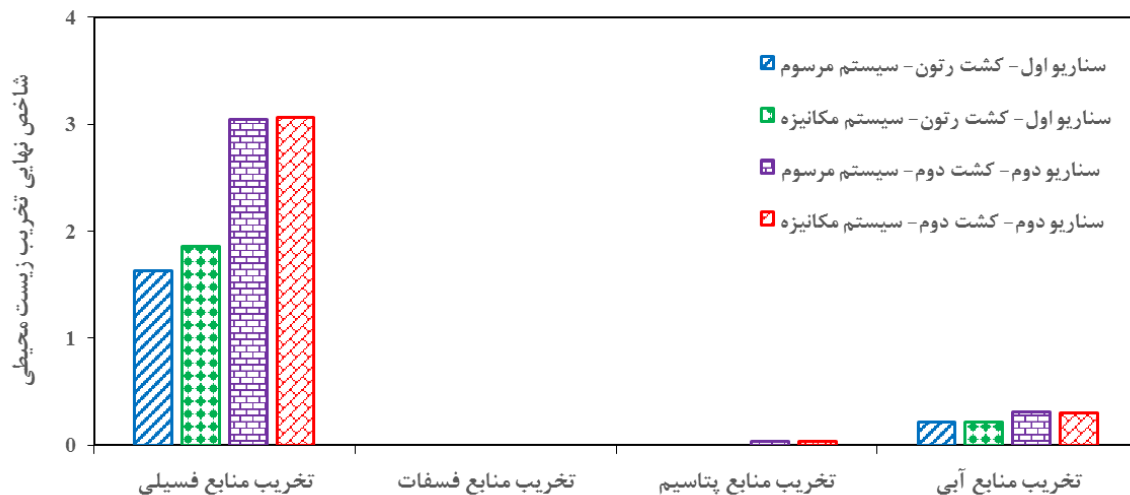
بالا می‌باشد که دلیل آن این است که فرآیند غرقاب کردن و آماده‌سازی زمین بعد از برداشت برنج در کشت اول زمان بیشتری نیاز دارد. به طور معمول زمان آماده‌سازی زمین برای سناریو دوم-کشت دوم در بازه زمانی ۲۵ تیر تا ۲۰ مرداد بوده، که در این بازه زمانی میانگین دمایی بالا بوده و غرقاب کردن زمین به کندی صورت پذیرفته و به علت وجود کلس و باقی‌مانده ساقه‌های برنج عملیات آماده‌سازی زمین به کندی صورت گرفته و زمان کارکرد ماشین‌های کشاورزی و به دنبال آن مصرف سوخت به ازای تولید یک تن محصول افزایش می‌یابد. بررسی تخریب منابع فسفات نشان داد که معمولاً در کشت‌های دوم و رتون از این کود شیمیایی استفاده نمی‌گردد. همچنین بررسی تخریب منابع پتاس به ازای تولید یک تن نشان داد که در کشت رتون معمولاً از کودهای پتاس استفاده نمی‌گردد اما در سناریو دوم-کشت دوم مقادیر کمی از کود پتاس مورد مصرف قرار می‌گیرد که این امر سبب پایین بودن شاخص تخریب در این تیمار کشت می‌گردد. همچنین بررسی شاخص تخریب منابع آبی به ازای تولید یک تن برنج نشان داد بالاترین میزان شاخص تخریب در سناریو دوم-کشت دوم (مکانیزه و مرسوم) و پایین‌ترین میزان تخریب این شاخص در سناریو اول-کشت رتون (مکانیزه و مرسوم) اتفاق افتاد. یکی از مهم‌ترین دلایل بالا بودن میزان آب مورد نیاز برای

مقایسه تخریب منابع در سناریوهای مختلف (کشت رتون و کشت دوم)

بررسی نمودارهای تخریب منابع فسیلی در شکل ۲ نشان داد که بالاترین میزان این شاخص به ازای تولید یک تن محصول برنج در سناریو دوم، کشت دوم و سیستم مکانیزه به میزان ۳/۰۶۱ و پایین‌ترین میزان این شاخص در سناریو اول، کشت رتون و سیستم مرسوم به میزان ۱/۶۳ اتفاق افتاد. همچنین مقایسه شاخص تخریب منابع فسیلی در کشت رتون در سناریو اول و کشت دوم در سناریو دوم نشان داد که کشت رتون دارای تخریب منابع فسیلی بسیار کمتری می‌باشد. یکی از مهم‌ترین دلایل این نتایج این است که در کشت رتون نیاز به آماده‌سازی زمین برای نشاکاری و عملیات نشاکاری نمی‌باشد و این عامل سبب می‌گردد تا مصرف سوخت در فرآیند تولید برنج در کشت رتون کاهش یابد. اما در عین حال باید توجه داشت که میزان تولید محصول در کشت رتون به نسبت سایر روش‌های دیگر کشت پایین بوده و عملاً شاخص تخریب منابع فسیلی با وجود کارکرد پایین ماشین‌ها به نسبت بالا می‌باشد. همچنین مقادیر شاخص تخریب منابع فسیلی به ازای تولید یک تن برنج در سناریو دوم-کشت دوم نشان داد که میزان تخریب در این تیمار کشت بسیار

محصول به نسبت کشت‌های اول می‌باشد که این شاخص سبب افزایش میزان تخریب منابع آبی به ازای تولید یک تن محصول برنج می‌گردد.

آماده‌سازی و غرقاب کردن مزرعه برای عملیات نشاکاری در فصل تابستان می‌باشد. همچنین یکی دیگر از دلایل بالا بودن شاخص تخریب منابع در سناریو دوم-کشت دوم، پایین تر بودن میزان تولید



شکل ۲- شاخص نهایی تخریب منابع مختلف در سناریوهای مختلف (کشت رتون و کشت دوم)

زیست محیطی مانند منابع آب، فسفات، پتاس و ... نسبت به کشت رتون می‌گردد. همچنین نتایج بدست آمده در سناریو دوم نشان داد (شکل‌های ۱ و ۲) که بالاترین تخریب منابع فسیلی مربوط به کشت دوم می‌باشد که دلیل این امر زمان بیشتر برای آماده‌سازی زمین در کشت دوم نسبت به کشت اول می‌باشد. این امر سبب مصرف بیشتر سوخت در طول فرآیند کشت دوم می‌گردد و به دنبال آن تخریب منابع فسیلی افزایش می‌یابد. تخریب منابع آب در کشت دوم نسبت به کشت اول در سناریو دوم بالاتر می‌باشد که دلیل این امر آماده‌سازی زمین و غرقاب کردن آن در فصل تابستان می‌باشد. بالاترین شاخص نهایی تأثیرات زیست محیطی و تخلیه منابع تولید یک تن شلتوک در قالب گروه‌های تأثیر تخریب منابع پتاس، سوخت‌های فسیلی و منابع آبی به ترتیب به میزان ۳/۰۶۱، ۰/۳۸ و ۰/۳۰۶ در کشت دوم (سیستم کشت مکانیزه) و بالاترین شاخص نهایی تخریب منابع فسفات به میزان ۰/۵۶۸ در کشت اول (سیستم مکانیزه) بدست آمد. همچنین پایین‌ترین شاخص نهایی تأثیرات زیست محیطی و تخلیه منابع تولید یک تن شلتوک در قالب گروه‌های تأثیر تخریب منابع فسفات، پتاس، سوخت‌های فسیلی و منابع آبی به ترتیب به میزان ۲/۱۸، ۰/۶۰، ۰/۳۰ و ۰/۲۱ در کشت اول (سیستم کشت مرسوم) بدست آمد. نتایج بررسی شاخص‌های تخلیه منابع نشان می‌دهد که در سناریو دوم کشت دوم نسبت به کشت اول سبب تخریب زیست محیطی و تخلیه منابع بیشتر می‌گردد.

مقایسه شاخص‌های تخریب منابع در سناریوهای مشترک

مقایسه پارامترهای تخریب منابع فسفات، پتاس، سوخت‌های فسیلی و منابع آبی در سناریو اول بین کشت اول و کشت رتون (شکل‌های ۱ و ۲) نشان داد که شاخص طبقه‌بندی این پارامترها در کشت اول بالاتر از کشت رتون می‌باشد. دلیل این امر آن است که در کشت رتون کود فسفات و پتاس مصرف نمی‌گردد و این امر سبب می‌گردد که تخریب منابع فسفات و پتاس در کشت رتون نسبت به کشت مرسوم کم گردد. همچنین از آنجا که در کشت رتون جوانه ساقه‌های باقی مانده در کشت اول، رشد و تقویت می‌گردد لذا نیاز به آماده‌سازی زمین، خزانه‌گیری و عملیات نشاکاری نمی‌باشد و به دنبال آن مصرف سوخت در طول کشت رتون کاهش یافته و بدین ترتیب تخریب منابع فسیلی در کشت رتون نسبت به کشت اول کاهش می‌یابد. از طرف دیگر به دلیل عدم فرآیند نشاکاری و آماده‌سازی زمین در حالت غرقابی میزان آب مصرفی در طول فرآیند کشت رتون کاهش یافته و نسبت به کشت اول از تخریب منابع آبی جلوگیری می‌شود. همچنین مقایسه شاخص نهایی تخریب منابع برای سناریو اول (کشت اول و رتون) نشان داد که بالاترین تخریب منابع فسیلی، فسفات، پتاس و آب به ترتیب به میزان ۲/۴۱۶، ۰/۵۴۸، ۰/۲۸ و ۰/۲۴۵ مربوط به کشت اول (سیستم مکانیزه) و پایین‌ترین میزان تخریب این منابع به ترتیب به میزان ۱/۶۳، ۰ و ۰/۲۲ در کشت رتون (سیستم مرسوم) بدست آمد. مقایسه کلی نتایج زیست محیطی در سناریو اول نشان می‌دهد که کشت اول سبب تخریب بیشتر منابع

آنالیز آماری

دارای شاخص تخلیه پایین تر نسبت به دو سناریوی دیگر بوده از این می تواند این سناریو را در ارزیابی این شاخص دارای ارجحیت دانست. همچنین مقایسه میانگین مقادیر مختلف بدست آمده (جدول ۹) در دو کشت مرسوم و مکانیزه نشان داد که کشت مکانیزه به دلیل استفاده از ماشین ها و تجهیزات مختلف در عملیات کاشت، داشت و برداشت و به دنبال آن مصرف سوخت بیشتر نسبت به کشت مرسوم سبب تخلیه بیشتر محیط مایع فسیلی شده و از این بابت می تواند اثرات سوء زیست محیطی بیشتری به دنبال داشته باشد. در عین حال مقایسه سه شاخص دیگر زیست محیطی (تخلیه منابع فسفات، پتاس و آب) نشان می دهد که بکارگیری روش مکانیزه برای کشت برنج به دلیل عملکرد بالاتر محصول می تواند آثار تخلیه کمتر منابع مذکور را داشته باشد. در یک مقایسه کلی از نتایج بدست آمده حاصل از مقایسه میانگین ها تخلیه منابع می توان سناریو اول (کشت اول-کشت رتون) را به همراه بکارگیری سامانه مکانیزه برای کشت برنج در استان مازندران در شمال ایران توصیه کرد.

مقایسه میانگین شاخص های نهایی زیست محیطی در قالب سه سناریو و دو روش کشت مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی آماری میانگین شاخص های زیست محیطی در تولید یک تن برنج در هر سناریو در نظر گرفته شد و همچنین در مقایسه روش کشت نیز میانگین شاخص های زیست محیطی در سه سناریوی مختلف در نظر گرفته شد و نتایج آن در جداول ۸ و ۹ آورده شدند. نتایج کلی بدست آمده نشان داد که اختلاف معنی داری بین سناریوی اول با سناریوهای دوم و سوم وجود دارد به طوری که در سناریو اول (کشت اول-رتون) کمترین تخریب زیست محیطی به ازای تولید یک تن محصول تولیدی صورت می گیرد. در سناریو اول به دلیل مصرف پایین تر آب برای کشت اول و رتون و همچنین به دلیل ساعات پایین تر کارکرد ماشین ها و ادوات کشاورزی برای عملیات آماده سازی، نشاکاری، سمپاشی و برداشت (به ازای یک تن برنج) این سناریو را با اثرات کمتر زیست محیطی نسبت به دو سناریو دیگر معرفی می کند. البته باید توجه داشت که سناریو سوم به دلیل عدم استفاده از کود فسفات

جدول ۸- مقایسه میانگین پارامترهای مختلف زیست محیطی در سناریوهای مختلف کشت

شاخص ها	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم
تخلیه منابع فسیلی	۱/۹۸۹ ^a	۲/۶۴۴ ^b	۲/۶۷۱ ^b
تخلیه منابع فسفات	۰/۲۹۳ ^b	۰/۲۹۳ ^b	۰/۰ ^a
تخلیه منابع پتاس	۰/۰۱۴ ^a	۰/۰۳۴ ^b	۰/۰۳۱ ^b
تخلیه منابع آب	۰/۲۱۱ ^a	۰/۲۵۷ ^b	۰/۳۰۴ ^c

جدول ۹- مقایسه میانگین پارامترهای مختلف زیست محیطی در سامانه های مختلف کشت

شاخص ها	سامانه مکانیزه	سامانه مرسوم
تخلیه منابع فسیلی	۲/۴۹۰ ^a	۲/۳۸۰ ^b
تخلیه منابع فسفات	۰/۱۸۹ ^a	۰/۲۰۰ ^a
تخلیه منابع پتاس	۰/۰۲۵ ^a	۰/۰۲۸ ^b
تخلیه منابع آب	۰/۲۵۵ ^a	۰/۲۶۱ ^b

اکوسیستم، منابع و منابع آبی در سناریو دوم-کشت دوم و بعد از آن در سناریو سوم کشت برنج (بعد از برداشت کلزا) ایجاد گردید. همچنین بالاترین سهم در بین نهاده های ورودی تاثیرگذار در ایجاد این شاخص های زیست محیطی، مصرف مستقیم آب و آبیاری مزرعه (آب آبی و سبز) و بعد از آن آب مصرفی برای تولید کودهای نیتروژنه (مورد استفاده در مزرعه) بود. همچنین بالاترین شاخص های تخلیه منابع پتاسیم و آب در سناریو دوم-کشت دوم، تخلیه منابع فسیلی در سناریوی سوم-کشت برنج بعد از کلزا و تخلیه منابع فسفات در سناریوی اول و دوم در کشت اول اتفاق افتاد. همچنین پایین ترین شاخص تخلیه منابع در سناریو اول-کشت رتون اتفاق افتاد. در نهایت

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر به بررسی شاخص های زیست محیطی ردپای آب و تخلیه منابع در سناریوهای مختلف کشت برنج (سناریو اول: کشت اول-کشت رتون، سناریو دوم: کشت اول-کشت دوباره برنج و سناریو سوم: کشت کلزا-کشت برنج) در دو سیستم مختلف کشت (مکانیزه و مرسوم) پرداخته شد. اثرات زیست محیطی شامل پتانسیل آسیب به سلامتی انسان ها، کیفیت اکوسیستم، منابع و منابع آب برای تولید یک تن برنج بررسی گردید. نتایج نشان داد که بالاترین میزان پتانسیل آسیب به سلامتی انسان ها، کیفیت

Available
at:https://www.researchgate.net/publication/254398987_ENVIRONMENTAL_IMPACT_ASSESSMENT_OF_FIBER_SORGHUM_SUDANGRASS_PRODUCTION_SYSTEMS_FOR_BIOMASS_ENERGY_PRODUCTIN_IN_A_CENTRAL_REGION_OF_ITALY

Cha K, Son M, Hong S, An S, Part S. 2017. Method to assess water footprint, a case study for white radishes in Korea, *International Soil and Water Conservation Research* 5, 151-157.

Dong, H., Chen, Q., Wang, W., Peng, S., Huang, J., Cui, K., Nie, L. 2017. The growth and yield of a wet-seeded rice-ratoon rice system in central China. *Field Crops Research* 208, 55-59.

FAO. 2010. Production statistics of crops. Food and agriculture organization (<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>).

Heidari, M.D., Omid, M. 2011. Energy use patterns and econometric models of major greenhouse vegetable productions in Iran. *Energy* 36, 220-225.

Ingram, D.L., Hall, CR., 2015. Life Cycle Assessment Used to Determine Potential Midpoint Environment Impact Factors and Water Footprint of Field-grown Tree Production Inputs and Processes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 140 (1), 102-107.

Nemecek, T., Kägi, T. 2007. Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems. Final report ecoinvent V2. 0 No 15a. Agroscope Reckenholz- Tänikon Research Station ART. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich and Dübendorf, CH. SimaPro PhD 7.

Nikkhah, A., Khojastehpour, M., Emadi, B., Taheri-Rad, A., Khorramdel, S. 2015. Environmental impacts of peanut production system using life cycle assessment methodology. *Journal of Cleaner Production* 92, 84-90.

Nikkhah, A., Emadi, B., Soltanali, H., Firouzi, S., Rosentrater, K.A., Allahyari, M.S. 2016. Integration of life cycle assessment and Cobb-Douglas modeling for the environmental assessment of kiwifruit in Iran. *Journal of Cleaner Production* 137, 843-849.

Nilsson, C., Svedmark, M. 2002. Basic principles and ecological consequences of changing water regimes: Riparian plant communities. *Environmental Management* 30 (4), 468-480.

Page, G., Ridoutt, B., Bellotti, B. 2011. Fresh tomato production for the Sydney market: an evaluation of options to reduce freshwater scarcity from agricultural water use. *Agricultural Water Management* 100 (1), 18-24.

Page, G., Ridoutt, B., Bellotti, B. 2012. Carbon and

جمع‌بندی کلی نتایج بررسی شاخص‌های زیست محیطی ردپای آب و تخلیه منابع به ازای تولید هر تن محصول نشان داد که سناریوی اول (کشت اول و کشت رتون) می‌تواند در کنار تولید محصول مناسب برای کشاورزان، در مجموع دارای اثرات زیست محیطی پایین‌تری نسبت به دو سناریوی دیگر باشد.

منابع

میرحاجی، ح، خجسته پور، م، عباس پورفرد، م.ج. ۱۳۹۲. بررسی تاثیرات زیست محیطی تولید گندم منطقه مرودشت در ایران. محیط زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)، ۶۶ (۲): ۲۲۳-۲۳۲.

درزی نفت‌چالی، ع. ۱۳۹۵. تحلیل تأثیر مدیریت زهکشی بر شوری زه‌آب در تناوب کشت برنج- کلزا. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۰ (۴): ۵۲۰-۵۳۱.

Abrahão, R., Carvalho, M., Causapé, J., 2016. Carbon and water footprints of irrigated corn and non-irrigated wheat in Northeast Spain, *Environmental Science and Pollution Research*, DOI 10.1007/s11356-016-8322-5. (In press)

Berger M, Ent R, Eisner S, Bach, V, Finkbeiner, M. 2014. Water Accounting and Vulnerability Evaluation (WAVE): Considering Atmospheric Evaporation Recycling and the Risk of Freshwater Depletion in Water Footprinting. *Environmental Science and Technology* 48 (8), 4521-4528.

Boulay, A.M., Bulle, C., Bayart, J.B., Deschenes, L., Margni, M. 2011. Regional Characterization of Freshwater Use in LCA: Modeling Direct Impacts on Human Health. *Environmental Science & Technology* 45: 8948-8957.

Brar, D. S., Virk, P. S., Grewal, D., Slamet-Loedin, I., Fitzgerald, M. Khus, G. S. 2012. Breeding rice varieties with improved grain and nutritional quality. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods* 4(3), 137.

Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., Lammel, J. 2004. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy* 20 (3): 247-264.

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Kuhlmann, H. 2002. Impact assessment of abiotic resource consumption conceptual considerations. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 7(5), 301-307.

Buratti, C., Barbanera, M., and Fantozzi, F. 2009. Environmental impact assessment of fiber sorghum (Sudan-Grass) production systems for biomass energy production in a central region of Italy.

- use - A focus on resource functionality. *International Journal of Life Cycle Assessment* 10 (4), 240-247.
- Wang, M., Xia, X., Zhang, Q., Liu, J. 2010. Life cycle assessment of a rice production system in Taihu region, China. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 17(2), 157-161.
- Yazdpour, H., Shahri, M. M., Soleymani, A. and Mobasser, H.R. 2012. Effects of harvesting time and harvesting height on grain yield and agronomic characters in rice ratoon (*Oryza sativa* L.). *Journal of Food Agriculture Environment* 10(1), 438-440.
- water footprint tradeoffs in fresh tomato production. *Journal of Cleaner Production* 32, 219-226.
- Pfister, S., Koehler, A., Hellweg, S. 2009. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. *Environmental Science and Technology* 43, 4098-4104.
- Ridoutt, B.G., Pfister, S. 2010. A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. *Global Environmental Change* 20, 113-120.
- Stewart, M., Weidema, B.A. 2005. Consistent framework for assessing the impacts from resource

Investigating of Environmental Indicators of Water Footprint and Depletion of Resources in Different Scenario of Rice Cultivation

A. Motevali^{1*}, S. Yasour², M. Teymori Omran³, S. R. Mousavi Seyedi⁴

Received: April.03, 2019

Accepted: May.10, 2019

Abstract

The agricultural sector is the largest consumer of water in the world and the role of this vital matter in creating or not creating environmental hazards is undeniable. In this study, environmental indicators of water footprint (potential of damage to human health, ecosystem quality, resources and depletion of water resources) and resource depletion (fossil, phosphate, potash and water resources) involved in paddy rice production were evaluated using the LCA method under three different cropping scenarios including rice-ratoon cultivation (RR), rice- secondary rice cultivation (RS) and rice- canola cultivation (RC) and two cultivation systems consisting mechanized and conventional practices. The results of environmental indicators of water use showed that the highest damage to human health, ecosystem quality and resources was obtained by Pfister et al. 0.001052 (DALY), 1630.853 (PDF * m2yr) and 10262.54 (MJ surplus), the index of fresh water degradation in the Berger et al method was 1382.122 (m3), and in Boulay et al method the damage to human health by distribution and margin of 0.176743 and 0.65772 (DALY) in the second scenario - second culture (Conventional system). Also the highest values of depletion of fossil resource value was 3.061 in second scenario- second cultivation (mechanized cultivation) and depletion of potassium and water resources were 0.04 and 0.31 in second scenario- second cultivation (conventional cultivation) and depletion of phosphate resource value was 0.6 in first and second scenario- first cultivation (conventional cultivation). Based on the results, the minimum and maximum resource depletion occurred under the RS and RR scenarios. The overall results indicated that rice cropping under the second scenario- second cultivation and in the third scenario (after canola harvesting) have destructive environmental effects from the point of view of water footprint and depletion of resources.

Keywords: Environmental parameters, Water footprint, Depletion of resources, Rice cultivation

1- Assistant Professor, Department of Biosystem Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- B.S. Graduate of Department of Biosystem Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

3- MSc Student Department of Biosystem Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

4- Associated Professor, Department of Biosystem Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(* - Corresponding Author Email: a.motevali@sanru.ac.ir)