نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۳، خرداد - تیر ۱۳۹۸، ص. ۵۲۷-۵۱۲

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 13, Jan.-Jul. 2019, p. 512-527

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

علی متولی[1*]، صالح یاسور[2]، میلاد تیموری عمران[3]، سید رضا موسوی سیدی[4]

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[5] 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 ۰/۰۰۱۰۵۲ (DALY)، ۱۶۳۰/۸۵۳ (PDF*m^{2}yr) و ۱۰۲۶۲/۵۴ (MJ urplus)، شاخص تخریب آب شیرین در روش برگر به میزان ۱۳۸۲/۱۲۲ (m^3) و آسیب به سلامتی انسان به صورت پخشی و حاشیه‌ای به میزان ۰/۱۷۶۷۴۳ و ۰/۶۵۷۷۲(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 ۳/۰۶۱ و تخریب منابع پتاسیم و آبی در سناریو دوم-کشت دوم (سامانه کشت مرسوم) به ترتیب به میزان ۰/۰۴ و ۰/۳۱ و تخریب منابع فسفات در سناریو اول و دوم-کشت اول (سامانه کشت مرسوم) به میزان ۰/۶ 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

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 حالت سنتی (فقط کشت یک بار برنج در سال) به حالت چندکشتی در حال تغییر است (FAO, 2010). امروزه برنج در شمال ایران معمولا 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 ساقه های 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 نشا، نشاکاری و آماده سازی زمین مورد توجه قرار گرفته است (Dong *et al.*, 2017; Yazdpour *et al.*, 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

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
(* - نویسنده مسئول: (Email: a.motevali@sanru.ac.ir

5 - Life cycle assessment

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

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

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 دسته های بزرگتری از منابع طبیعی ختم شده که طبیعتا در محدوده طبیعی قرار گرفته و توسط انسان یا فعالیت های انسانی ایجاد نمی‌شوند. از بین بردن انسانی این منابع مانند آب، خاک و مواد معدنی به دلیل احیاپذیری 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 (Brentrup 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 بپردازد و به کمبود آب شیرین کمک کند (Page *et al.*, 2011). اخیرا 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 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 پخشی 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 می آید 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 اکوسیستم ها بسیار مهم هستند)، برداشت‌های غیرمتعارف آب آبی ممکن است در نهایت امکان دسترسی به آب های 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 شورو 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[1] 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 صرفا 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.

1- International Organization for Standardization

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 ۰/۳۹تا ۱/۹۷ kg CO_2eq 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[1]، صنوبر آبی[2]، ردبود[3]) 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 m^3 به ازای هر درخت بدست آمد که به‌شدت 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 m^3/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 m^3/ton 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 تقریبا 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 (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.

1- Red maple
2- Blue spruce
3-Redbud

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 (رایج 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).

$$n = \frac{N(s \times t)^2}{(N-1)d^2 + (s \times t)^2} \quad (۱)$$

$$d = \frac{t \times s}{\sqrt{n}} \quad (۲)$$

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 ورودی ها و خروجی ها)، 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 پخشی 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

(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 ورودی ها و خروجی ها): 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 سیماپرو[1] 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 سیماپرو 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 تاثیر با استفاده از معادله ۳ بدست می‌آید.

$$ICI_i = \sum_i [(E_j or\ R_j) \times CF_{i.j}] \quad (۳)$$

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

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

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

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

$$EcoX = \sum_i [N_i \times WF_i] \quad (۴)$$

Ecox: شاخص زیست محیطی در واحد کارکردی برای اثرات زیست محیطی ، N نتایج نرمال سازی برای گروه تاثیر i در هر واحد کارکردی و WF_i فاکتور وزن دهی برای هر گروه تاثیر i است.

نتایج و بحث

بررسی شاخص‌های ردپای آب

جداول 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 زیست‌محیطی 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 پخشی 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

1 - SimaPro

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 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.

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

طبقه‌بندی تاثیرات			
گروه تاثیر	اجزا	کارایی هر ترکیب	منبع
تخریب منابع فسیلی	مصرف سوخت دیزل	۴۲/۸۶	(Brentrup et al.,2004)
تخریب منابع فسفات	مصرف کود فسفات	۰/۲۵	(Brentrup et al.,2004)
تخریب منابع پتاس	مصرف کود پتاس	۰/۱۰۵	(Brentrup et al.,2004)
تخریب منابع آب	مصرف آب	۱	(Buratti *et al*., 2009)
وزن‌دهی و نرمال‌سازی فاکتورها			
گروه تاثیر	فاکتور نرمال‌سازی (واحد)	فاکتور وزن‌دهی	منبع
تخریب منابع فسیلی	۳۹۱۶۷ (MJ)	۱/۱۴	میرحاجی و همکاران، ۱۳۹۲
تخریب منابع فسفات	۷/۶۶ ($kgP_2O_5\ eq$)	۱/۲۰	Brentrup et al., 2004
تخریب منابع پتاس	۸/۱۴ ($kg\ K_2O\ eq$)	۰/۳	Brentrup et al., 2004
تخریب منابع آب	۶۲۶/۳۶ (m^3)	۰/۲۱	Wang et al., 2010

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 تربچه 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 پیج 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/m^2ya) و 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

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 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 معمولا از حدود دو هفته قبل از برداشت عملیات آبیاری را قطع کرده و به دنبال آن زمین زراعی پس از برداشت برنج کاملا خشک می‌باشد و آماده‌سازی زمین‌ها نیاز به حجم آب بالاتری دارد.

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

کشت اول-مرسوم						
روش محاسبه	Pfister et al 2009		Berger et al 2014	Boulay et al 2011		
گروه‌های تاثیر	سلامتی انسان‌ها	کیفیت اکوسیستم	منابع	تخلیه آب	سلامتی انسان‌ها	کیفیت اکوسیستم
واحد	DALY	PDF*m^{2}yr	MJ urplus	m^3	DALY	PDF*m^{2}yr
مجموع	۰/۰۰۰۸۳۱	۱۲۸۶/۷۰۷	۸۰۹۳/۲۲۴	۱۰۹۰/۵۷۲	۰/۱۳۹۵۴۵	۰/۰۵۱۹۰۱
آب مستقیم	۰/۰۰۰۸۲۳	۱۲۸۰/۸۲۸	۸۰۷۱/۹۱۸	۱۰۸۶/۳۶۹	۰/۱۳۸۵۱۵	۰/۰۵۱۶۲۸
دیزل	۱/۴۱E-۰۷	۰/۱۰۷۶۸۸	۰/۳۷۵۲۵۶	۰/۱۰۸۷۷۲	۱/۹۲E-۰۵	۵/۰۸E-۰۶
نیتروژن	۳/۰۳E-۰۶	۲/۴۸۲۶۸۸	۹/۴۶۳۹۰۴	۳/۰۸۹۶۸۸	۰/۰۰۰۴۷۵	۰/۰۰۰۱۱۷
فسفات	۸/۶۹E-۰۷	۰/۶۹۲۱۶۹	۲/۵۶۱۹۹۳	۰/۷۸۴۰۲۴	۰/۰۰۰۱۲۴	۳/۲۱E-۰۵
پتاس	۴/۳۶E-۰۸	۰/۰۴۳۱۱۰	۰/۱۴۱۵۰۷	۰/۰۴۹۲۲۸	۶/۶۲E-۰۶	۱/۶۳E-۰۶
علف‌کش	۶/۹۸E-۰۸	۰/۰۷۳۳۹۵	۰/۲۲۴۴۴	۰/۰۹۲۲۲۶	۱/۱۸E-۰۵	۲/۶۸E-۰۶
قارچ‌کش	۱/۴۹E-۰۸	۰/۰۰۴۸۴۰	۰/۰۱۱۸۲۵	۰/۰۱۷۰۴	۳/۶۶E-۰۷	۴/۳۷E-۰۷
حشره‌کش	۳/۴۴E-۰۸	۰/۰۳۴۴۵۲	۰/۱۰۸۴۵۳	۰/۰۴۲۶۰۷	۵/۶۱E-۰۶	۱/۳۱E-۰۶
الکتریسته	۸/۶۶E-۰۸	۰/۰۳۱۵۳۶	۰/۱۳۸۶۲۰	۰/۰۵۳۸۰۲	۱/۰۶E-۰۵	۱/۷۳E-۰۶
کشت اول -مکانیزه						
مجموع	۰/۰۰۰۷۷۵	۱۲۰۰/۸۳۴	۷۵۵۳/۳۰۸	۱۰۱۸/۵۴۳	۰/۱۳۰۲۵۲	۰/۰۴۸۴۳۸
آب مستقیم	۰/۰۰۰۷۶۸	۱۱۹۵/۳۷۴	۷۵۳۳/۳۷۷	۱۰۱۳/۸۸۹	۰/۱۲۹۲۷۴	۰/۰۴۸۱۸۴
دیزل	۲/۲۷E-۰۷	۰/۱۷۳۵۳۶	۰/۶۰۴۷۱۳	۰/۱۷۵۲۸۳	۳/۰۹E-۰۵	۸/۱۸E-۰۶
نیتروژن	۳/۴۹E-۰۶	۲/۸۵۴۷۱	۱۰/۸۹۲۳۳	۳/۵۵۶۰۲۶	۰/۰۰۰۵۴۷	۰/۰۰۰۱۳۴
فسفات	۷/۹۶E-۰۷	۰/۶۳۳۵۸۵	۲/۳۴۵۱۵۳	۰/۷۱۷۶۶۷	۰/۰۰۰۱۱۳	۲/۹۳E-۰۵
پتاس	۴/۰۲E-۰۸	۰/۰۳۹۶۹۷	۰/۱۳۰۳۰۵	۰/۰۴۵۳۳۱	۶/۰۹E-۰۶	۱/۵E-۰۶
علف‌کش	۶/۴۳E-۰۸	۰/۰۶۷۵۸۵	۰/۲۰۶۶۷۷	۰/۰۸۴۹۲۵	۱/۰۹E-۰۵	۲/۴۷E-۰۶
قارچ‌کش	۱/۳۷E-۰۸	-۰/۰۰۴۴۶	۰/۰۱۰۸۸۹	-۰/۰۱۵۶۹	۷/۳۷E-۰۷	۴/۰۲E-۰۷
حشره‌کش	۳/۱۷E-۰۸	۰/۰۳۱۷۲۴	۰/۰۹۹۸۶۸	۰/۰۳۹۲۳۴	۵/۱۷E-۰۶	۱/۲۱E-۰۶
الکتریسته	۸/۱۹E-۰۸	۰/۰۲۹۸۲۴	۰/۱۳۱۱۰۰	۰/۰۵۰۸۸۱	۱/۰۱E-۰۵	۱/۶۳E-۰۶

جدول ٤- برآورد شاخص‌های مختلف ردپای آب در روش‌های مختلف در سناریو اول-کشت رتون

کشت رتون -مرسوم						
روش محاسبه	Pfister et al 2009		Berger et al 2014		Boulay et al 2011	
گروههای تاثیر	سلامتی انسان‌ها	کیفیت اکوسیستم	منابع	تخلیه آب	سلامتی انسان‌ها	کیفیت اکوسیستم
واحد	DALY	PDF*m^{2}yr	MJ urplus	m^3	DALY	PDF*m^{2}yr
مجموع	۰/۰۰۰۷۳۱	۱۱۲۸/۹۲۶	۷۰۹۰/۶۰۶	۹۶۱/۲۹۳۱	۰/۱۲۲۸۳۳	۰/۰۴۵۵۶۸
آب مستقیم	۰/۰۰۰۷۱۹	۱۱۱۹/۴۰۱	۷۰۵۴/۵۸۴	۹۴۹/۴۵	۰/۱۲۱۰۵۷	۰/۰۴۵۱۲۱
دیزل	۱/۳۲E-۰۷	۰/۱۰۰۷۵۷	۰/۳۵۱۱۰۴	۰/۱۰۱۷۷۱	۱/۷۹E-۰۵	۴/۷۵E-۰۶
نیتروژن	۱/۱۴E-۰۵	۰/۳۵۶۹۱۶	۳۵/۶۶۸۱۷	۱/۶۴۴۶۱	۰/۰۰۱۷۹۲	۰/۰۰۰۴۳۹
فسفات	۰	۰	۰	۰	۰	۰
پتاس	۰	۰	۰	۰	۰	۰
علف‌کش	۰	۰	۰	۰	۰	۰
قارچ‌کش	۰	۰	۰	۰	۰	۰
حشره‌کش	۳/۹۷E-۰۸	۰/۰۳۹۶۹۷	۰/۱۲۴۹۶۵	۰/۰۴۹۰۹۴	۶/۴۷E-۰۶	۱/۵۱E-۰۶
الکتریسته	۷/۶۷E-۰۸	۰/۰۲۷۹۲۹	۰/۱۲۲۷۷	۰/۰۴۷۶۴۸	۹/۴۲E-۰۶	۱/۵۳E-۰۶
کشت رتون -مکانیزه						
مجموع	۰/۰۰۰۶۹۱	۱۰۶۵/۷۱۲	۶۶۹۱/۰۶۴	۹۰۷/۸۵۳۴	۰/۱۱۶۰۸۵	043023/0
آب مستقیم	۰/۰۰۰۶۷۸	۱۰۵۵/۷۲	۶۶۵۳/۲۶۱	۸۹۵/۴۳۷۳	۰/۱۱۴۱۷۱	۰/۰۴۲۵۲۵
دیزل	۱/۷۸E-۰۷	۰/۱۳۶۴۳۶	۰/۴۷۵۴۳۴	۰/۱۳۷۸۱	۲/۴۳E-۰۵	۶/۴۳E-۰۶
نیتروژن	۱/۱۹E-۰۵	۹/۷۹۳۴۶۳	۳۷/۳۳۲۲۷	۰/۱۸۷۸۹	۰/۰۰۱۸۷۵	۰/۰۰۰۴۶
فسفات	۰	۰	۰	۰	۰	۰
پتاس	۰	۰	۰	۰	۰	۰
علف‌کش	۰	۰	۰	۰	۰	۰
قارچ‌کش	۰	۰	۰	۰	۰	۰
حشره‌کش	۳/۶E-۰۸	۰/۰۳۶۰۷۱	۰/۱۱۳۵۵۱	۰/۰۴۴۶۱	۵/۸۸E-۰۶	۱/۳۷E-۰۶
الکتریسته	۷/۳۷E-۰۸	۰/۰۲۶۸۵۱	-۰/۱۱۸۰۳	۰/۰۴۵۸۰۹	۹/۰۶E-۰۶	۱/۴۷E-۰۶

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 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 نیتروژنه 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.

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

کشت اول -مرسوم						
روش محاسبه	Pfister et al 2009		Berger et al 2014	Boulay et al 2011		
گروههای تاثیر	سلامتی انسان‌ها	کیفیت اکوسیستم	منابع	تخلیه آب	سلامتی انسان‌ها	کیفیت اکوسیستم
واحد	DALY	PDF*m^{2}yr	MJ urplus	m^3	DALY	PDF*m^{2}yr
مجموع	۰/۰۰۰۶۷۱	۱۰۳۸/۴۰۳	۶۵۲۹/۰۸۵	۸۸۰/۰۵۳۶	۰/۱۱۲۶۷۷	۰/۰۴۱۸۹۱
آب مستقیم	۰/۰۰۰۶۶۴	۱۰۳۲/۷۶۷	۶۵۰۸/۶۱۳	۸۷۵/۹۶۹۷	۰/۱۱۱۶۸۸	۰/۰۴۱۶۲۹
دیزل	۱/۳۲E-۰۷	۰/۱۰۱۰۷۶	۰/۳۵۲۲۱۶	۰/۱۰۲۰۹۴	۱/۸E-۰۵	۴/۷۷E-۰۶
نیتروژن	۲/۹۲E-۰۶	۲/۳۹۲۷۶۷	۰/۱۲۱۱۲۶	۲/۹۷۷۷۸۱	۰/۰۰۰۴۵۸	۰/۰۰۰۱۱۲
فسفات	۷/۸۷E-۰۷	۰/۷۰۶۳۳۲	۰/۶۱۴۴۱۷	۰/۸۰۰۰۶۷	۰/۰۰۰۱۲۶	۳/۲۷E-۰۵
پتاس	۴/۳۸E-۰۸	۰/۰۴۳۲۷۵	۰/۱۴۲۰۵	۰/۰۴۹۴۱۷	۶/۶۴E-۰۶	۱/۶۳E-۰۶
علف‌کش	۶/۵۵E-۰۸	۰/۰۶۸۸۸۹	۰/۲۱۰۶۶۴	۰/۰۸۶۵۵۶۳	۱/۱۱E-۰۵	۲/۵۱E-۰۶
قارچ‌کش	۱/۴E-۰۸	۰/۰۰۴۵۴	۰/۰۱۱۰۹۹	۰/۰۱۵۹۹	۳/۴۴E-۰۷	۴/۱E-۰۷
حشره‌کش	۳/۲۳E-۰۸	۰/۰۳۲۳۳۶	۰/۱۰۱۷۹۴	۰/۰۳۹۹۹۱	۵/۲۷E-۰۶	۱/۲۳E-۰۶
الکتریسته	۷/۰۸E-۰۸	۰/۰۲۵۷۶۷	۰/۱۱۳۲۶	۰/۰۴۳۹۶	۸/۶۹E-۰۶	۱/۴۱E-۰۶
کشت اول -مکانیزه						
مجموع	۰/۰۰۰۶۵۷	۱۰۱۶/۵۶۷	۶۳۹۲/۲۸۵	۸۶۲/۲۹۴۹	۰/۱۱۰۳۱۹	۰/۰۴۱۰۱
آب مستقیم	۰/۰۰۰۶۵	۱۰۱۱/۱۸۵	۶۳۷۲/۶	۸۵۷/۶۶۴۳	۰/۱۰۹۳۵۴	۰/۰۴۰۷۵۹
دیزل	۲/۱۸E-۰۷	۰/۱۶۶۸۱۵	۰/۵۸۱۲۹۱	۰/۱۶۸۴۹۴	۲/۹۷E-۰۵	۷/۸۶E-۰۶
نیتروژن	۳/۴۴E-۰۶	۲/۸۲۳۱۵۵	۱۰/۷۶۱۷۵	۳/۵۱۳۳۹۶	۰/۰۰۰۵۴۱	۰/۰۰۰۱۳۳
فسفات	۸/۳۷E-۰۷	۰/۶۶۶۱۲۴	۲/۴۶۵۵۹۲	۰/۷۵۴۵۲۴	۰/۰۰۰۱۱۹	3.09E-۰۵
پتاس	۴/۱۳E-۰۸	۰/۰۴۰۸۱۲	۰/۱۳۳۹۶۴	۰/۰۴۶۶۰۴	۶/۲۶E-۰۶	۱/۵۴E-۰۶
علف‌کش	۶/۱۸E-۰۸	۰/۰۶۴۹۶۸	۰/۱۹۸۶۷۲	۰/۰۸۱۶۳۶	۱/۰۵E-۰۵	۲/۳۷E-۰۶
قارچ‌کش	۱/۳۲E-۰۸	-۰/۰۰۴۲۹	۰/۰۱۰۴۶۷	-۰/۰۱۵۰۸	۳/۲۴E-۰۷	۳/۸۷E-۰۷
حشره‌کش	۳/۰۵E-۰۸	۰/۰۳۰۴۹۶	۰/۰۹۶	۰/۰۳۷۷۱۵	۴/۹۷E-۰۶	۱/۱۶E-۰۶
الکتریسته	۶/۹۷E-۰۸	۰/۰۲۵۳۸۱	-۰/۱۱۱۵۷	۰/۰۴۳۳۰۲	۸/۵۶E-۰۶	۱/۳۹E-۰۶

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 (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 آماده-سازی زمین برای عملیات نشاکاری در مرحله بعد می‌باشد.

جدول ٦- برآورد شاخص‌های مختلف ردپای آب در روش‌های مختلف در سناریو دوم-کشت دوم

کشت دوم-مرسوم						
روش محاسبه	Pfister et al 2009		Berger et al 2014	Boulay et al 2011		
گروههای تاثیر	سلامتی انسان‌ها	کیفیت اکوسیستم	منابع	تخلیه آب	سلامتی انسان‌ها	کیفیت اکوسیستم
واحد	DALY	PDF*m^{2}yr	MJ urplus	m^3	DALY	PDF*m^{2}yr
مجموع	۰/۰۰۱۰۵۲	۱۶۳۰/۸۵۳	۱۰۲۶۲/۵۴	۱۳۸۲/۱۲۲	۰/۱۷۶۷۴۳	۰/۰۶۵۷۷۲
آب مستقیم	۰/۰۰۱۰۴۴	۱۶۲۵/۲۰۳	۰/۱۰۲۴۲	۱۳۷۸/۴۶	۰/۱۷۵۷۵۷	۰/۰۶۵۵۱
دیزل	۱/۸۶E-۰۷	۰/۱۴۲۰۷۵	۰/۴۹۵۰۸۳	۰/۱۴۳۵۰۵	۲/۵۳E-۰۵	۶/۷E-۰۶
نیتروژن	۳/۲E-۰۶	۲/۶۲۰۰۱	۹/۹۸۷۳۶۹	۰/۲۶۰۵۸۴	۰/۰۰۰۵۰۲	۰/۰۰۰۱۲۳
فسفات	۰	۰	۰	۰	۰	۰
پتاس	۶/۱۸E-۰۸	۰/۰۶۱۱۳۳	۰/۲۰۰۶۶۷	۰/۰۶۹۸۰۹	۹/۳۸E-۰۶	۲/۳۱E-۰۶
علف‌کش	۳/۳۹E-۰۸	۰/۰۳۵۶۲۵	۰/۱۰۸۹۴۱	۰/۰۴۴۷۶۵	۵/۷۴E-۰۶	۱/۳E-۰۶
قارچ‌کش	۸/۴۹E-۰۹	-۰/۰۰۲۷۶	۰/۰۰۶۷۴	۰/۰۰۹۷۱	۲/۰۹E-۰۷	۲/۴۹E-۰۷
حشره‌کش	۶/۸E-۰۸	۰/۰۶۸۰۷۱	۰/۲۱۴۲۸۷	۰/۰۸۴۱۸۵	۱/۱۱E-۰۵	۲/۵۹E-۰۶
الکتریسته	۱/۱۱E-۰۷	۰/۰۴۰۳۰۸	۰/۱۷۷۱۸	۰/۰۶۸۷۶۷	۱/۳۶E-۰۵	۲/۲۱E-۰۶
کشت دوم -مکانیزه						
مجموع	۰/۰۰۰۹۹۲	۱۵۳۸/۱۳۹	۹۶۷۸/۳۴۶	۱۳۰۴/۱۹۶	۰/۱۶۶۷۳۷	۰/۰۶۲۰۳۵
آب مستقیم	۰/۰۰۰۹۸۵	۱۵۳۲/۴۸۷	۹۶۵۷/۸۹۸	۱۲۹۹/۸۲	۰/۱۶۵۷۳	۰/۰۶۱۷۷۲
دیزل	۲/۹۵E-۰۷	۰/۲۲۵۶۱۷	۰/۷۸۶۱۹۶	۰/۲۲۷۸۸۸	۴/۰۱E-۰۵	۱/۰۶E-۰۵
نیتروژن	۳/۸۲E-۰۶	۳/۱۳۱۶۷۶	۱۱/۹۳۷۸۲	۰/۸۹۷۳۴۸	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۱۴۷
فسفات	۰	۰	۰	۰	۰	۰
پتاس	۵/۶۶E-۰۸	۰/۰۵۵۹۵۷	۰/۱۸۳۶۷۷	۰/۰۶۳۸۹۹	۸/۵۹E-۰۶	۲/۱۱E-۰۶
علف‌کش	۳/۱E-۰۸	۰/۰۳۲۶۰۸	۰/۰۹۹۷۱۷	۰/۰۴۰۹۷۴	۵/۲۶E-۰۶	۱/۱۹E-۰۶
قارچ‌کش	۷/۷۷E-۰۹	۰/۰۰۲۵۳	۰/۰۰۶۱۶۹	۰/۰۰۸۸۹	۱/۹۱E-۰۷	۲/۲۸E-۰۷
حشره‌کش	۶/۲۳E-۰۸	۰/۰۶۲۳۰۸	۰/۱۹۶۱۴۴	۰/۰۷۷۰۵۷	۱/۰۲E-۰۵	۲/۳۷E-۰۶
الکتریسته	۱/۲۴E-۰۷	۰/۰۴۵۱۹۸	۰/۱۹۸۶۸	۰/۰۷۷۱۰۹	۱/۵۲E-۰۵	۲/۴۷E-۰۶

وجود این بقایا سبب کار بیشتر ماشین‌های آماده‌سازی زمین، مسطح کردن و غرقاب‌کردن 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 ماشن 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 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 پایین‌تخریب 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

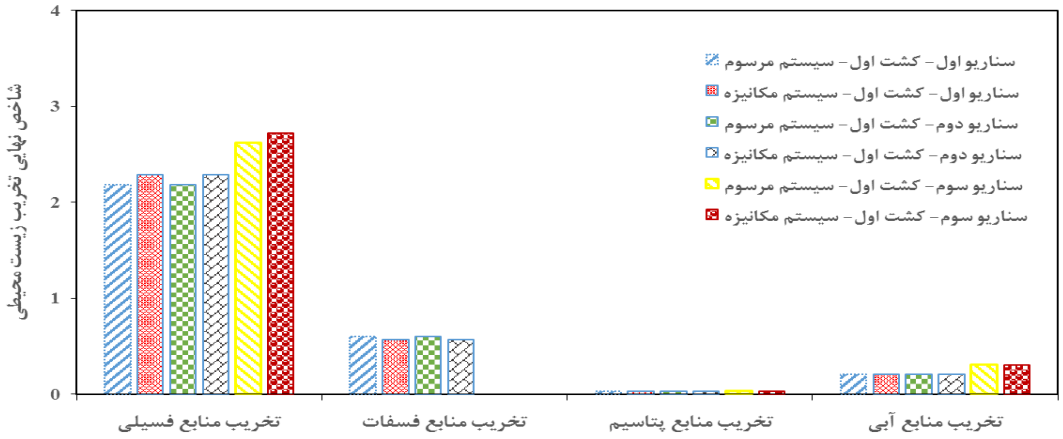
به ازای تولید یک تن محصول برنج در سناریو سوم و در روش کشت مرسوم به میزان ۰/۰۳۱ و پایین‌ترین میزان تخریب این پارامتر در سناریوهای اول و دوم و در روش کشت مکانیزه به میزان ۰/۰۲۸ بدست آمد. افزایش میزان تخریب این پارامتر در سناریو سوم را می‌توان به استفاده بالاتر کود پتاس در مرحله کشت برنج (بعد از برداشت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

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

کشت مرسوم						
روش محاسبه	Pfister et al 2009		منابع	Berger et al 2014	Boulay et al 2011	
گروه‌های تاثیر	سلامتی انسان‌ها	کیفیت اکوسیستم		تخلیه آب	سلامتی انسان‌ها	کیفیت اکوسیستم
واحد	DALY	PDF*m^{2}yr	MJ urplus	m^3	DALY	PDF*m^{2}yr
مجموع	۰/۰۰۰۹۸۸	۱۵۳۳/۲۹۹	۹۶۴۹/۹۶۵	۱۲۹۹/۳۲۹	۰/۱۶۶۱۲۹	۰/۰۶۱۸۳۴
آب مستقیم	۰/۰۰۰۹۸۲	۱۵۲۸/۵۱۱	۹۶۳۲/۸۴۳	۱۲۹۶/۴۴۸	۰/۱۶۵۳۰۱	۰/۰۶۱۶۱۲
دیزل	۱/۵۴E-۰۷	۰/۱۱۸۰۷۶	۰/۴۱۱۴۵۲	۰/۱۱۹۲۶۴	۲/۱E-۰۵	5.57E-۰۶
نیتروژن	۲/۴۱E-۰۶	۱/۹۷۸۲۷۶	۷/۵۴۱۱۰۶	۲/۴۶۱۹۵	۰/۰۰۰۳۷۹	۹/۲۹E-۰۵
فسفات	۰	۰	۰	۰	۰	۰
پتاس	۴/۶E-۰۸	۰/۰۴۵۴۵۲	۰/۱۴۹۱۹۴	۰/۰۵۱۹۰۳	۶/۹۷E-۰۶	۱/۷۲E-۰۶
علف‌کش	۸/۴۷E-۰۸	۰/۰۸۹۰۸۷	۰/۲۷۲۴۳	۰/۱۱۱۹۴۳	۱/۴۴E-۰۵	۳/۲۵E-۰۶
قارچ‌کش	۱/۴۷E-۰۸	۰/۰۰۴۷۷	۰/۰۱۱۶۵۴	۰/۰۱۶۷۹	۳/۶۱E-۰۷	۴/۳E-۰۷
حشره‌کش	۷/۱۶E-۰۸	۰/۰۷۱۶۷۶	۰/۲۲۵۶۳۴	۰/۰۸۸۶۴۳	۱/۱۷E-۰۵	۲/۷۲E-۰۶
الکتریسته	۱/۰۳E-۰۷	۰/۰۳۷۶۶۹	۰/۱۶۵۵۸	۰/۰۶۴۲۶۴	۱/۲۷E-۰۵	۲/۰۶E-۰۶
کشت مکانیزه						
مجموع	۰/۰۰۰۹۷۲	۱۵۰۷/۵۵۸	۹۴۸۷/۶۲	۱۲۷۸/۳۴۱	۰/۱۶۳۳۷۷	۰/۰۶۰۷۹۸
آب مستقیم	۰/۰۰۰۹۶۶	۱۵۰۲/۶۵۷	۹۴۶۹/۹۰۶	۱۲۷۴/۵۱۹	۰/۱۶۲۵۰۵	۰/۰۶۰۵۷
دیزل	۲/۶۲E-۰۷	۰/۲۰۰۸۳۷	۰/۶۹۹۸۴۷	۰/۲۰۲۸۵۸	۳/۵۷E-۰۵	۹/۴۷E-۰۶
نیتروژن	۳/۲۶E-۰۶	۲/۶۷۵۱۹۲	۱۰/۱۹۷۷۲	۳/۳۲۹۲۵۷	۰/۰۰۰۵۱۲	۰/۰۰۰۱۲۶
فسفات	۰	۰	۰	۰	۰	۰
پتاس	۴/۳۹E-۰۸	۰/۰۴۳۴	۰/۱۴۲۴۵۹	۰/۰۴۹۵۶	۶/۶۶E-۰۶	۱/۶۴E-۰۶
علف‌کش	۸/۰۹E-۰۸	۰/۰۸۵۰۶۵	۰/۲۶۰۱۳۱	۰/۱۰۶۸۹	۱/۳۷E-۰۵	۳/۱E-۰۶
قارچ‌کش	۱/۴E-۰۸	۰/۰۰۴۵۶	۰/۰۱۱۱۲۷	۰/۱۶۰۳	۳/۴۵E-۰۷	۴/۱۱E-۰۷
حشره‌کش	۶/۸۴E-۰۸	۰/۰۶۸۴۴	۰/۲۱۵۴۴۸	۰/۰۸۴۶۴۱	۱/۱۲E-۰۵	۲/۶E-۰۶
الکتریسته	۱/۰۴E-۰۷	۰/۰۳۷۸۶۵	۰/۱۶۶۴۴	۰/۰۶۴۵۹۸	۱/۲۸E-۰۵	۲/۰۷E-۰۶

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 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

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 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 تقریبا یکسان بود.

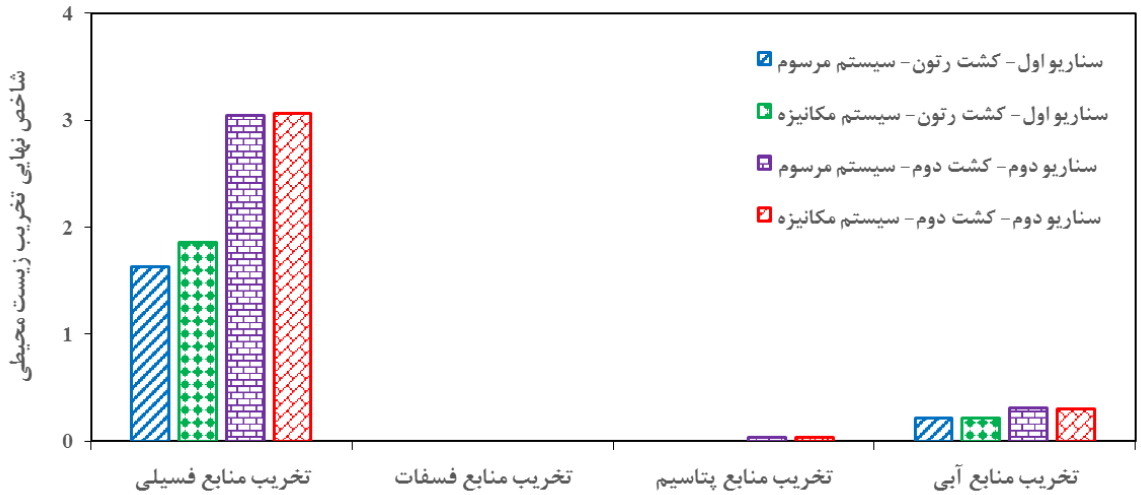


شکل ۱- شاخص نهایی تخریب منابع مختلف در سناریوهای مختلف (کشت اول)

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 دیگرکشت پایین بوده و عملا 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 بالا می‌باشد که دلیل آن این است که فرآیند غرقاب‌کردن و آماده-سازی 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 کلش 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 معمولا 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 معمولا از کودهای پتاس استفاده نمی‌گردد اما در سناریو دوم- کشت دوم مقادیر کمی از کود پتاس مورد مصرف قرار می‌گیرد که این امر سبب پایین‌بودن 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

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



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

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 این 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 وعملیات نشاکاری نمی‌باشد وبه 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 آماده سازی 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، ۰/۰۲۸ و ۰/۲۴۵ مربوط به کشت اول (سیستم مکانیزه) و پایین ترین میزان تخریب این منابع به ترتیب به میزان ۱/۶۳، ۰، 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 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 افزایش‌می‌یابد. 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 تخلیهٔ منابع تولید یک تن شلتوک در قالب گروه های تأثیر تخریب منابع پتاس، سوخت‌های فسیلی و منابع آبی به ترتیب به میزان ۳/۰۶۱، ۰/۰۳۸ و ۰/۳۰۶ در کشت دوم (سیستم کشت مکانیزه) و بالاترین شاخص نهایی تخریب منابع فسفات به میزان ۰/۰۵۶۸ در کشت اول (سیستم مکانیزه) بدست امد. همچنین پایین‌ترین شاخص نهایی تأثیرات زیست محیطی و تخلیهٔ منابع تولید یک تن شلتوک در قالب گروه های تأثیر تخریب منابع فسفات، پتاس، سوخت‌های فسیلی و منابع آبی به ترتیب به میزان ۲/۱۸، ۰/۶۰، ۰/۰۳۰ و ۰/۰۲۱ 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.

آنالیز آماری

مقایسه میانگین شاخص‌های نهایی زیست محیطی در قالب سه سناریو و دو روش کشت مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی آماری میانگین شاخص‌های زیست محیطی در تولید یک تن برنج در هر سناریو در نظر گرفته شد و همچنین در مقایسه روش کشت نیز میانگین شاخص‌های زیست‌محیطی 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 معنی‌داری 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 می‌گیرد. در سناریو اول به دلیل مصرف پایین‌تر آب برای کشت اول و رتون و همچنین به دلیل ساعات پایین‌تر کارکرد ماشین‌ها و ادوات کشاورزی برای عملیات آماده‌سازی، نشاکاری، سمپاشی و برداشت (به ازای یک تن برنج) این سناریو را با اثرات کمتر زیست محیطی نسبت به دو سناریو دیگر معرفی می‌کند. البته باید توجه داشت که سناریو سوم به دلیل عدم استفاده از کود فسفات دارای شاخص تخلیه پایین‌تر نسبت به دو سناریوی دیگر بوده از این می‌تواند 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 ماشین‌ها و تجهیزات مختلف در عملیات کاشت، داشت و برداشت و به دنبال آن مصرف سوخت بیشتر نسبت به کشت مرسوم سبب تخلیه بیشتر محیط منابع فسیلی شده و از این بابت می‌تواند اثرات سوء زیست‌محیطی بیشتری به دنبال داشته باشد. در عین حال مقایسه سه شاخص دیگر زیست‌محیطی (تخلیه منابع فسفات، پتاس و آب) نشان می‌دهد که بکارگیری روش مکانیزه برای کشت برنج به دلیل عملکرد بالاتر محصول می‌تواند آثار تخلیه کمتر منابع مذکور را داشته باشد. در یک مقایسه کلی از نتایج بدست آمده حاصل از مقایسه میانگین‌ها تخلیه منابع می‌توان سناریو اول (کشت اول-کشت رتون) را به همراه بکارگیری سامانه مکانیزه برای کشت برنج در استان مازندران در شمال ایران توصیه کرد.

جدول ۸- مقایسه میانگین پارامترهای مختلف زیست‌محیطی در سناریوهای مختلف کشت

شاخص‌ها	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو سوم
تخلیه منابع فسیلی	۱/۹۸۹^{a}	۲/۶۴۴^{b}	۲/۶۷۱^{b}
تخلیه منابع فسفات	۰/۲۹۲^{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 زیست‌محیطی در سامانه‌های مختلف کشت

شاخص‌ها	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}

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به بررسی شاخص‌های 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 انسان‌ها، کیفیت اکوسیستم، منابع و منابع آب برای تولید یک تن برنج بررسی گردید. نتایج نشان داد که بالاترین میزان پتانسیل آسیب به سلامتی انسان‌ها، کیفیت 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 نهاده‌های ورودی تاثیرگذار در ایجاد این شاخص‌های 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 شاخص‌های 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 پایین‌ترین شاخص تخلیه منابع در سناریو اول-کشت رتون اتفاق افتاد. در نهایت

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.ح. 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. 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

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 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.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 13, Jan.-Jul. 2019, p. 512-527

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۳، خرداد - تیر ۱۳۹۸، ص. ۵۲۷-۵۱۲

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

A. Motevali [1*], S. Yasour [2], M. Teymori Omran[3], S. R. Mousavi Seyedi [4]
Recived: 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 urplus), 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)