

کاهش آثار زیست‌محیطی از طریق بازطراحی الگوی کشت با رویکرد استفاده از ارزیابی چرخه حیات و برنامه‌ریزی چندهدفه (مطالعه موردی: شرق استان لرستان)

زهرا مرزبان^۱، محمدرضا اصغری پور^{۱*}، احمد قنبری^۱، علیرضا نیکویی^۲، محمود رمودی^۱، اسماعیل سیدآبادی^۱

تاریخ دریافت: ۹۸/۹/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۴/۲۸

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، اصفهان، ایران

*مسئول مکاتبه: E-mail: m_asgharipour@uoz.ac.ir

چکیده

اهداف: یکی از مشکلات اساسی حال حاضر، آلودگی اکوسیستم‌های آبی و خاکی به دلیل ورود آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسان است. مدیریت کشاورزی برای استفاده بهینه از منابع و کاهش اثرات محیطی، افزون بر حفاظت از منابع، افزایش درآمد کشاورزان منطقه را به همراه دارد. با توجه به محدودیت منابع و اثرات محیطی فعالیت‌های کشاورزی بر اکوسیستم‌ها تعیین الگوی کشت مناسب ضروری است.

مواد و روش‌ها: در این مقاله با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه (MOP) با هدف حداکثرسازی سودخالص و حداقل‌سازی اثرات محیطی موثر بر اکوسیستم از جمله سمیت آب، سمیت خشکی، اسیدی شدن/غنی شدن خشکی، اشغال زمین، اسیدی شدن آب و غنی شدن آب، الگوی کشت بهینه محصولات زراعی آبی شرق استان لرستان پیشنهاد شده است.

یافته‌ها: در الگوی کشت پیشنهادی MOP، سطح زیر کشت چغندر قند ۲۲ و لوبیا ۲ درصد نسبت به الگوی جاری افزایش و سطح زیر کشت کلزا ۵۰ درصد، سیب‌زمینی ۳۴ درصد، نخود ۲۱ درصد، جو ۴ درصد و عدس ۳ درصد نسبت به الگوی جاری کاهش یافت. با اجرای الگوی پیشنهادی MOP در منطقه انتشار فلزات سنگین و آفت‌کش‌ها به اکوسیستم آبی ۱۹۶۶۹۳۱۵ تن و اکوسیستم خاکی ۵۷۸۰۷۸۲۲ تن، انتشار SO_2 به هوا ۳۶۲۷ تن، انتشار PO_4^- به خاک ۱۰۰۳ کیلوگرم در منطقه نسبت به وضع موجود کاهش خواهد یافت.

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌های این مطالعه توجه به حفاظت از اکوسیستم در بهینه‌سازی الگوی کشت امری ضروری است. با استفاده از مدل پیشنهادی می‌توان علاوه بر انتخاب الگوی مناسب و استفاده بهینه از منابع آب و زمین، در راستای افزایش سود و کاهش اثرات محیطی بر اکوسیستم گام برداشت.

واژه‌های کلیدی: سمیت آبی، سمیت خاکی، کاربری زمین، یوتریفیکاسیون، بهینه‌سازی، سود خالص

Reducing Environmental Impacts through Redesigning Cropping Pattern Using LCA and MOP (Case study: East Lorestan Province)

Zahra Marzban¹, Mohammad Reza Asgharipour^{2*}, Ahmad Ghanbari¹, Alireza Nikouei¹, Mahmoud Ramroudi¹, Esmaeel Seyedabadi¹

Received: December 8, 2019 Accepted: July 18, 2020

1-Dept. of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.

2-Faculty Member of Economic, Social and Extension Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.

*Corresponding Author Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir

Abstract

Background and Objective: One of the major problems at present time is the pollution of aquatic and terrestrial ecosystems due to the introduction of pollutants of human origin. Agricultural management to maximize resources utilization and reduce environmental impacts, in addition to protecting resources, will increase the incomes of local farmers.

Materials and Methods: The present research, using nonlinear multi-objective programming (MOP) with aimed to maximize net profit and minimize environmental impacts, including the aquatic ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity, terrestrial acid/nutrition, land occupation, aquatic acidification and aquatic eutrophication through optimum cropping pattern for the east of Lorestan Province.

Results: In the proposed MOP cropping pattern, urea under cultivation of sugar beet increased by 22% and bean 2% compared to the current pattern and urea under cultivation of canola reduced by 50%, potato 34%, chickpea 21%, barley 4% and lentil 3% compared to the current pattern. The implementation of this model in the region reduced the emissions of heavy metals and pesticides into the aquatic ecosystem (19669315 ton) and terrestrial ecosystem (57807822 ton), SO₂ to the air (3627 ton) and PO₄ to the soil (1003 kg) compared to the existing situation.

Conclusion: According to the results of this study, the conservation of ecosystems is necessary to optimize the cropping pattern. Using the proposed model, in addition to selecting the appropriate model and optimizing the use of water and land resources, we can take steps to increase profits and reduce environmental impacts on the ecosystem.

Keywords: Aquatic Toxicity, Terrestrial Toxicity, Land Occupation, Eutrophication, Optimization, Net Profit

مقدمه

سمیت آب، سمیت خشکی، اسیدی شدن/غنی شدن خشکی، اشغال زمین، اسیدی شدن آب و غنی شدن آب رخ می‌دهد که نیازمند چاره‌جویی است (پریچزل و همکاران ۲۰۱۷، جعفری و همکاران ۲۰۱۸ و امیری و همکاران ۲۰۱۹ و

توسعه کشاورزی در مواجهه با نیاز روزافزون غذا برای جمعیت در حال رشد امری اجتناب‌ناپذیر است، ولی در کنار آن پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی از جمله

همکاران ۲۰۱۹)، متناسب با پتانسیل‌های منطقه‌ای (مانوس و همکاران ۲۰۱۰ و لوندبرگ و همکاران ۲۰۱۵) و مزیت اقتصادی (هویت و همکاران ۲۰۰۹ و مردانی نجفی ۲۰۱۹) با رعایت اصول پایداری تولید محصولات کشاورزی (مصلح و همکاران ۲۰۱۷) و ملاحظات محیطی (امامزاده و همکاران ۲۰۱۶، پدرو مونزونیس و همکاران ۲۰۱۶) در راستای سیاست‌های کلان کشور (گالن مارتن و همکاران ۲۰۱۵) و تأمین امنیت غذایی (لوندبرگ و همکاران ۲۰۱۵) می‌پردازد. این تعریف به پتانسیل‌های منطقه‌ای در استفاده از عوامل تولید، نگرشی متفاوت از تعیین الگوی کشت و چگونگی ارتباط مناطق مختلف برای تولید محصولات کشاورزی اشاره دارد. اهمیت و ضرورت برنامه‌ریزی منطقه‌ای کشت را می‌توان ناشی از لزوم استفاده بهینه از ظرفیت‌های تولید منطقه‌ای و ارائه راهکارهایی جهت نیل به توازن عرضه و تقاضا در تصمیم‌گیری‌ها و تخصیص منابع تولید کشاورزی دانست (دل‌موت و همکاران ۲۰۱۳، مردانی نجف‌آبادی و همکاران ۲۰۱۹). افزایش یا کاهش سطح زیر کشت محصولات در مناطق مختلف باید با توجه به محدودیت منابع، زمین‌های حاصلخیز کشاورزی و اثرات زیست‌محیطی صورت گیرد. این مسئله لزوم طراحی یک مدل فراگیر الگوی کشت محصولات کشاورزی را آشکار می‌کند. بنابراین مدل تصمیم‌گیری چندهدفه برداری در تعیین الگوی کشت از متغیرهای تصمیم، توابع هدف و محدودیت‌ها را شامل می‌شود و هدف تصمیم‌گیر ماکزیم کردن یا مینیم کردن توابع هدف است. از آن جایکه این مسائل به ندرت راه‌حل منحصر به فرد دارند، تصمیم‌گیر جوابی را از میان مجموعه جواب‌های کارا انتخاب می‌کند (لوئیس و همکاران ۲۰۱۷ و فرانسیسکو و علی ۲۰۰۶).

در زمینه بهینه‌سازی تخصیص زمین‌های قابل‌کشت در مناطق مختلف دنیا مطالعات زیادی انجام شده است. در

۲۰۲۰). مطالعه جنبه‌های محیطی تولید محصولات کشاورزی بر کیفیت اکوسیستم از اهمیت بالایی برخوردار است (مک ویلیام و همکاران ۲۰۱۴). جهت دستیابی به پایداری در بخش کشاورزی لازم است تا منابع تولید از جمله آب و زمین به بهترین وجه ممکن استفاده شوند تا ضمن کاهش مصرف منابع، سودآوری و رفاه کشاورزان افزایش یابد (مردانی نجفی و همکاران ۲۰۱۹).

محققان ابزارهای پژوهشی مختلف را توسعه داده‌اند تا ضمن تحلیل چرخه تولید محصول پیشنهادهایی برای بهبود تمام مراحل تولید به جهت ارتقاء کارایی محیطی داشته باشند (یو و همکاران ۲۰۱۶ و کراپ و همکاران ۲۰۱۹). ارزیابی چرخه حیات^۱ (LCA) از روش‌های ارزیابی اثرات محیطی است که بر مبنای ارزیابی اثرات ناشی از تولید یک محصول، فرآیند و یا یک فعالیت به‌وسیله تشخیص و کمی‌سازی انرژی و مواد استفاده شده، و ضایعات و پسماندهای تولیدی یافته است (نس و همکاران ۲۰۰۷، رفیعی و همکاران ۲۰۱۶، اسماعیل‌زاده و همکاران ۲۰۲۰). ترکیب LCA با دیگر روش‌های مدیریتی از جمله برنامه‌ریزی چندهدفه (MOP^۲) به تصمیم‌گیر کمک خواهد کرد تا بتواند نتایج کاربردی‌تر و تفسیر پذیرتر از تحقیق ارائه دهد (یو و همکاران ۲۰۱۶). این روش پس از محاسبه کارایی واحدهای تولیدی، اثرات محیطی تولید محصول را در حالتی نشان می‌دهد که تمام واحدها با تعدیل اثرات محیطی به صورت کارا عمل کنند (خوشنویسان و همکاران ۲۰۱۵). بنابراین، استفاده از رهیافت‌های برنامه‌ریزی ریاضی از جمله MOP برای ارائه الگوی کشت بهینه از مزیت‌های قابل توجهی برخوردار است (گروت و همکاران ۲۰۱۲، شی و همکاران ۲۰۱۸ و نی و همکاران ۲۰۱۹).

الگوی کشت به تعیین نظام کشت مبتنی بر بهره‌برداری بهینه از منابع و عوامل تولید (مردانی نجفی و

² Multiple Objective Programming

¹ Life Cycle Assessment

تصمیم گیران است، سعی شده با استفاده از روش برنامه-ریزی ریاضی، امکان برقراری مصالحه‌ای بین تأمین افزایش بازده خالص و کاهش سمیت آب، سمیت خشکی، اسیدی شدن/غنی شدن خشکی، اشغال زمین، اسیدی شدن آب و غنی شدن آب به‌عنوان مشکلات محیطی بر اکوسیستم بررسی شود؛ به این امید که اطلاعات سودمندی جهت تدوین استراتژی‌های مناسب برای کاهش اثرات محیطی بر اکوسیستم در منطقه شرق لرستان فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به منظور بهینه‌سازی الگوی کشت در راستای افزایش سود خالص و کاهش اثرات محیطی موثر بر کیفیت اکوسیستم با استفاده از تلفیق تکنیک‌های LCA و MOP در شرق استان لرستان و در سطح شهرستان‌های ازنا، الیگودرز و دورود اجرا شد (شکل ۱). این منطقه بین $22^{\circ}10'22''$ تا $44^{\circ}44'33''$ عرض شمالی و $49^{\circ}80'21''$ تا $50^{\circ}19'19''$ طول شرقی قرار گرفته است. اقلیم حاکم بر این منطقه در تمام طبقه‌بندی‌های اقلیمی نیمه‌مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد است. میانگین دمای سالانه ازنا، الیگودرز و دورود به ترتیب $12/8$ ، $11/6$ و $14/3$ درجه‌ی سانتی‌گراد، و میانگین بارش سالیانه به ترتیب 304 ، 264 و 375 میلی‌متر است. این سه شهرستان رتبه اول تا سوم تولید محصولات زراعی استان لرستان را دارند. داده‌های مورد نیاز پژوهش، از طریق بررسی نشریه‌ها، سالنامه‌های آماری کشاورزی سال $1395-96$ و مصاحبه با کارشناسان هر شهرستان و بررسی میدانی و تکمیل پرسشنامه از کشاورزان منطقه گردآوری شد. برای تعیین حجم نمونه از فرمول کوکران استفاده شد (معادله ۱).

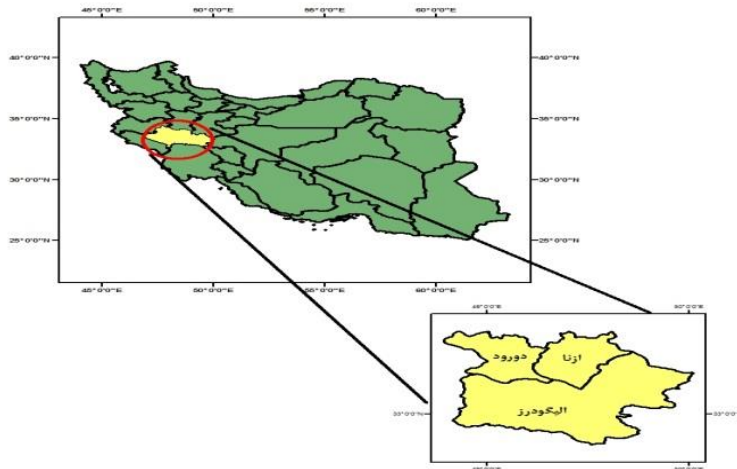
$$n = \frac{z^2 pq}{d^2} \left(1 + \frac{1}{N} \left(\frac{z^2 pq}{d^2} - 1 \right) \right) \quad (\text{معادله ۱})$$

بسیاری از این مطالعات از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه استفاده شده است (ژی و همکاران ۲۰۱۸). در مطالعه مانوس و همکاران (۲۰۱۰) به طراحی یک مدل برای تعیین الگوی کشت مناطق شمالی مصر پرداخته و از مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه جهت حل آن استفاده کردند. نتایج کلی حاصل از این مطالعه بیانگر توانایی بیشتر مدل‌های چندهدفه نسبت به مدل‌های تک هدفه بود. در بررسی مصلح و همکاران (۲۰۱۷) تعیین الگوی کشت با مدل‌های برنامه-ریزی چندهدفه در شهرکرد گزارش شد. در حالت بهینه سطح زیر کشت در برنامه‌ریزی چندهدفه، سیب‌زمینی نسبت به یونجه و ذرت سطح بیشتری به خود اختصاص داد. پارساپور و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای نشان دادند که با اجرای الگوی کشت بهینه در اراضی شهرستان فریمان تربیت جام مصرف مواد زیان‌آور از جمله کودها و سموم شیمیایی نیز به حداقل خود خواهد رسید.

سطح زیر کشت زراعت‌های آبی شرق استان لرستان (شامل شهرستان‌های ازنا، الیگودرز و دورود) به ترتیب 47991 هکتار، با تولید 960830 هزار تن محصولات زراعی است (سازمان جهاد کشاورزی استان لرستان ۱۳۹۵). در زراعت آبی گندم، عدس، جو، نخود، لوبیا، سیب‌زمینی و چغندر قند جزء محصولات تولیدی هستند. نبود الگوی کشت مناسب در منطقه، باعث کاهش عملکرد محصولات، تخریب محیط و آلودگی محیطی اکوسیستم این منطقه شده است (سازمان جهاد کشاورزی استان لرستان ۱۳۹۵). بنابراین تلفیق LCA با MOP در منطقه شرق لرستان با لحاظ کردن حداکثر سود خالص، کاهش اثرات محیطی بر کیفیت اکوسیستم از جمله کاهش کاربری زمین و یوتریفیکاسیون و محدودیت‌های زمین و آب برای تخصیص بهینه به محصولات کشاورزی برای ارائه الگوی کشت مناسب، از مزیت قابل توجهی برخوردار است. در این مطالعه با توجه به اهمیت تعیین الگوی کشتی که تأمین‌کننده اهداف چندگانه

جمعیت کشاورزان دارای صفت معین، q : نسبتی از جمعیت فاقد صفت معین، d درجه اطمینان یا خطای استاندارد با سطح خطای ۵ درصد (یامان ۱۹۶۷).

که در آن n : حجم نمونه، N : حجم جمعیت آماری کشاورزان منطقه، Z : درصد خطای معیار ضریب اطمینان قابل قبول که ۹۵ درصد در نظر گرفته شد. P : نسبتی از



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (منبع: مطالعه حاضر)

ارزیابی چرخه حیات (LCA)

براساس تعریف استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰، LCA ابزاری است برای سنجش پیامدهای محیطی یک محصول، فرآیند یا عملیات ویژه در طی چرخه حیات آن یا به عبارت دیگر آغاز تا انجام روند شکل‌گیری آن محصول یا فرآیند دیگر. LCA دارای چهار مرحله تعیین هدف و حوزه مطالعه، صورت‌برداری، ارزیابی اثر و تفسیر نتایج است (الیانت و همکاران ۲۰۱۹).

در مرحله تعیین هدف و حوزه مطالعه، اهداف، محصول نهایی مورد انتظار، مرزهای سیستم، واحد کارکردی و در نهایت پیش فرض‌های مطالعه مشخص می‌شود. مرزهای سیستم به وسیله ورودی‌ها و خروجی‌های نظام تولیدی مشخص می‌شود (سهل و پوتینگ ۲۰۱۳ و گوسن و همکاران ۲۰۱۷). در این مطالعه هدف از LCA

بررسی اثرات محیطی ناشی از تولید گندم، جو، لوبیا، نخود، عدس، چغندر قند، سیب‌زمینی و کلزا در کشت آبی اراضی ازنا، الیگودرز و دورود و تعیین نقاط بحرانی تولید آن‌ها و ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش اثرات محیطی مربوطه بود. مرز سیستم در این مطالعه "دروازه مزرعه" و یک تن محصول تولیدی به عنوان "واحد عملکردی" تعیین شد.

بعد از تعریف هدف و مرز سیستم، صورت‌برداری زنجیره تولید هر محصول جداگانه صورت گرفت. این مرحله از LCA نسبت به مراحل دیگر بیشتر زمان‌بر است. بخش اول مرحله صورت‌برداری شامل استخراج مواد اولیه، فرآوری و حمل‌ونقل آن‌ها و بخش دوم شامل داده‌های ثانویه برای تحلیل اثرات محیطی است که از پایگاه داده‌های Ecoinvent 3.0 گرفته شد (آی پی سی سی ۲۰۰۶ و کوپر و همکاران ۲۰۱۱). در مرحله ارزیابی اثرات در

LCA باید طبقات اثر و روش‌های ارزیابی آن‌ها برای هر محصول مشخص گردد. برای برآورد این اثرات، داده‌های مرحله صورت‌برداری وارد نرم‌افزار version SimaPro 8.3 گردید و در این نرم‌افزار براساس سطوح استاندارد در پایگاه داده‌های Ecoinvent3.0 اثرات محیطی بر کیفیت اکوسیستم به روش Impact 2002⁺ محاسبه شد (نمیک و همکاران ۲۰۱۰). فاکتورهای مشخص سازی برای محاسبه سمیت آبی مربوط به انتشار آلاینده‌ها به هوا، آب و خاک است. این فاکتورها سمیت را در آب‌های سطحی و آب‌های جاری نشان می‌دهد و به صورت انتشار تری اتیلن گلیکول به آب محاسبه می‌شود. شاخص سمیت خاکی نیز مانند سمیت آبی به انتشار فلزات سنگین در آب، خاک و هوا مربوط می‌شود و به صورت معادل تری اتیلن گلیکول در خاک محاسبه می‌شود. اسیدی‌سازی آبی از انتشار آلاینده‌ها به آب ناشی شده و به صورت معادل SO₂ منتشر شده به هوا بیان می‌شود. فاکتورهای مشخص‌سازی برای یوتریفیکاسیون آبی از انتشار آلاینده‌ها به آب به دست آمده و محاسبه آن به صورت معادل PO₄ منتشر شده در آب است. فاکتور مشخص‌سازی اسیدی‌سازی خاکی تنها بر اساس آلاینده‌های منتشر شده در خاک بوده و به صورت SO₂ منتشر شده در هوا محاسبه می‌شود (هومبرت و همکاران ۲۰۱۱). شاخص کاربری زمین در روش IMPACT 2002⁺ مستقیماً از روش اکو-

ایندیکاتور^۱ اقتباس شده و اشاره به زمین‌های قابل کشت کاربری شده و همچنین تغییر کاربری زمین دارد و بصورت زمین قابل کشت بر حسب مترمربع بیان می‌شود (جومو و همکاران ۲۰۱۵).

برنامه‌ریزی چندهدفه (MOP)

ساختار اصلی برنامه‌ریزی ریاضی، مبتنی بر مطالعات اخیر صورت گرفته در خصوص تعیین الگوی منطقه‌ای کشت می‌باشد (برای نمونه: (پال و همکاران ۲۰۰۳، بیسوا و پال ۲۰۰۵، گالن مارتن و همکاران ۲۰۱۵ و امامزاده و همکاران ۲۰۱۶). این الگو شامل قسمت‌های توابع هدف و محدودیت‌های مربوط به آن بوده که متعاقباً بررسی می‌گردد.

الف) اهداف مدل

اهداف متفاوتی از مدل کشت ارائه شده می‌توان متصور شد. به علت انعطاف در مدل و تقابل آن با افراد تصمیم‌گیر می‌توان اهداف متفاوت اقتصادی و محیط زیستی در مدل مورد نظر گنجانده شود. فرم جبری این اهداف به ترتیب اهمیت آن‌ها در معادله ۲ تا ۷ تبیین می‌گردد (جدول ۱):

$$Z_1: Object Profit_v = \sum_{d=1}^d NetBenefit_{Cl} V_j^d \quad (\text{معادله ۲})$$

$$Z_2: Object AC_v = \sum_{d=1}^d \sum_{j=1}^j AC_{Cl} V_j^d \quad (\text{معادله ۳})$$

$$Z_3: Object TE_v = \sum_{d=1}^d \sum_{j=1}^j TE_{Cl} V_j^d \quad (\text{معادله ۴})$$

¹ Eco-indicator99

$$Z_4: \text{Object } TA_v = \sum_{d=1}^d \sum_{j=1}^j TA_Cl_V_j^d \quad (\text{معادله ۵})$$

$$Z_5: \text{Object } LO_v = \sum_{d=1}^d \sum_{j=1}^j LO_Cl_V_j^d \quad (\text{معادله ۶})$$

$$Z_6: \text{Object } OLD_v = \sum_{d=1}^d \sum_{j=1}^j AA_Cl_V_j^d \quad (\text{معادله ۷})$$

$$Z_7: \text{Object } AE_v = \sum_{d=1}^d \sum_{j=1}^j AE_Cl_V_j^d \quad (\text{معادله ۸})$$

متجانس کردن اهداف برنامه‌ریزی غیرخطی فازی چندهدفه از الگوی جونز و بارنز (۲۰۰۰) استفاده شد.

محدودیت‌های الگو شامل محدودیت زمین، محدودیت آب و محدودیت خاص روش حل مقید MOP شامل محدودیت سطح بازده برنامه‌ای مشخص و میزان معین از مصرف آب است. برای تشکیل توابع عضویت اهداف یاد شده، ابتدا باید مقادیر بهینه یا آرمانی برای هر یک از اهداف را تعیین نمود.

(ب) محدودیت‌های مدل

۱- مجموعه محدودیت مربوط به مقدار زمین قابل دسترس: در این مجموعه محدودیت مقدار کل زمین تخصیص داده شده به محصولات در شرایط آبی نباید از کل زمین قابل کشت برای محصولات برای هر شهرستان (در هر منطقه) و در هر ماه بیشتر باشد.

$$\sum_{j=1}^j LandSch_{jm}^d Land_Cl_{Irrigated} V_j^d \leq LandRHS\ Irrigated^{d2} \quad \forall d, m \quad (\text{معادله ۹})$$

در این روابط Z_1 حداکثر سود، Z_2 حداقل سمیت آبی، Z_3 سمیت خاکی، Z_4 اسیدی‌سازی خاکی، Z_5 کاربری زمین، Z_6 اسیدی‌سازی آبی و Z_7 یوتریفیکاسیون است.

دستیابی به اهداف اصلی الگوی کشت با توجه به تعریفی که از آن در قسمت قبل شد، مستلزم توجه به اهداف متفاوت و گاهاً متضادی شامل حداکثرسازی سود خالص و حداقل‌سازی سمیت آبی و خاکی، اسیدی‌سازی آبی و خاکی، کاربری زمین و یوتریفیکاسیون است. معیارهای اندازه‌گیری در اهداف مذکور کاملاً متفاوت است. به‌عنوان نمونه هدف حداکثرسازی سود که با واحد پولی اندازه‌گیری شده متفاوت از هدف حداقل‌سازی تخلیه لایه ازون با واحد وزنی است. استفاده از روش‌های MOP مستلزم استفاده از روش‌های همگون‌سازی است. در مطالعه حاضر جهت

۲- مجموعه محدودیت مربوط به حداکثر و حداقل مقدار زمین: در این مجموعه محدودیت حداکثر و حداقل مقدار زمین جهت کشت هر محصول در هر شهرستان ارائه شده است.

$$\sum_{j=1}^j Land_Cl_V_j^d \leq Land_Cl_max_j^d \quad \forall d, j \quad (\text{معادله } 10)$$

$$\sum_{j=1}^j Land_Cl_V_j^d \leq Land_Cl_min_j^d \quad \forall d, j \quad (\text{معادله } 11)$$

در الگوی کشت آبی و منابع آبی پرداخته شد. در این میان توجه به عدم انحراف مدل از مقدار آب قابل دسترس برای منابع و ماه‌های مختلف مد نظر قرار گرفت.

۳- مجموعه محدودیت مربوط به آب در منطقه: در این مجموعه محدودیت‌ها به موازنه سطوح متفاوت میزان مصرف آب آبیاری به تفکیک ماه، شهرستان، محصولات

$$Water_Cl_V_{jm}^d = \left(\frac{NetWaterReq_{jm}^d}{WaterEff_j^d} \right) Land_Cl_V_j^d \quad \forall d, j, m \quad (\text{معادله } 12)$$

$$Water_Cl_V_{jm}^d \leq WaterRHS_m^d \quad \forall d, m \quad (\text{معادله } 13)$$

۴- مجموعه مربوط به عوامل اقتصادی: در این مجموعه محدودیت سود خالص نباید از سود خالص شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه کمتر شود.

مقدار آب خالص مورد نیاز برای کشت یک هکتار از محصول j برای شهرستان d با استفاده از نرم افزار Cropwat8 محاسبه شد.

$$NetBenefit_Cl_V_j^d \geq \sum_{d=1}^d NetBenefitCrrent^d \quad \forall d \quad (\text{معادله } 14)$$

۵- مجموعه مربوط به سمیت آبی: در این مجموعه محدودیت سمیت آبی نباید از سمیت آبی در شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه بیشتر شود.

$$AC_Cl_V_j^d \leq \sum_{d=1}^d AC_Crrent^d \quad \forall d \quad (\text{معادله } 15)$$

۶- مجموعه مربوط به سمیت خاکی: در این مجموعه محدودیت سمیت خاکی نباید از سمیت خاکی در شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه بیشتر شود.

$$TE_Cl_V_j^d \leq \sum_{d=1}^d TE_Crrent^d \quad \forall d \quad (\text{معادله } 16)$$

۷- مجموعه مربوط به اسیدی‌سازی خاکی: در این مجموعه محدودیت اسیدی‌سازی خاکی نباید از اسیدی‌سازی خاکی در شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه بیشتر شود.

$$TA_Cl_V_j^d \leq \sum_{d=1}^d TA_Crrent^d \quad \forall d \quad (\text{معادله } 17)$$

۸- مجموعه مربوط به کاربری زمین: در این مجموعه محدودیت کاربری زمین نباید از کاربری زمین در شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه بیشتر شود.

$$LO_Cl_V_j^d \leq \sum_{d=1}^d LO_Crrent^d \quad \forall d \quad (\text{معادله ۱۸})$$

۹- مجموعه مربوط به اسیدی‌سازی آبی: در این مجموعه محدودیت اسیدی‌سازی آبی نباید از اسیدی‌سازی آبی در شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه بیشتر شود.

$$AA_Cl_V_j^d \leq \sum_{d=1}^d AA_Crrent^d \quad \forall d \quad (\text{معادله ۱۹})$$

۱۰- مجموعه مربوط به یوتریفیکاسیون: در این مجموعه محدودیت یوتریفیکاسیون نباید از یوتریفیکاسیون در شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه بیشتر شود.

$$AE_Cl_V_j^d \leq \sum_{d=1}^d AE_Crrent^d \quad \forall d \quad (\text{معادله ۲۰})$$

جدول ۱- فهرست نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف مجموعه‌ها و متغیرها

شرح	نماد	نوع
سطح دوم تقسیمات سیاسی (شهرستان)	$d \in \{1, 2, \dots, D\}$	
گروه اصلی محصولات	$j \in \{1, 2, \dots, J\}$	مجموعه
ماه‌های سال	$m \in \{1, 2, \dots, m\}$	
مقدار زمین تخصیص داده شده به محصول z در شهرستان d به محصولات آبی	$Land_Cl_Irrigated V_j^d$	متغیر
مقدار آب تخصیص داده شده به ماه m برای شهرستان d	$Water_Cl_V_{jm}^d$	
سود خالص کل برای کشت محصول z برای شهرستان d	$NetBenefit_Cl_V_j^d$	
سمیت آبی برای کشت محصول z برای شهرستان d	$AC_Cl_V_j^d$	
سمیت خاکی برای کشت محصول z برای شهرستان d	$TE_Cl_V_j^d$	
اسیدی‌سازی خاکی برای کشت محصول z برای شهرستان d	$TA_Cl_V_j^d$	
کاربری زمین برای کشت محصول z برای شهرستان d	$LO_Cl_V_j^d$	
اسیدی‌سازی آبی برای کشت محصول z برای شهرستان d	$AA_Cl_V_j^d$	
یوتریفیکاسیون برای کشت محصول z برای شهرستان d	$AE_Cl_V_j^d$	
تابع هدف و مربوط به سود خالص کل در الگو	$ObjectProfit_v$	
سمیت آبی کل برای کشت محصول z برای شهرستان d	$AC_Cl_V_j^d$	
تابع هدف و مربوط به سمیت آبی	$ObjectAC_v$	
سمیت خاکی کل برای کشت محصول z برای شهرستان d	$TE_Cl_V_j^d$	
تابع هدف و مربوط به سمیت خاکی	$ObjectTE_v$	
اسیدی‌سازی خاکی کل برای کشت محصول z برای شهرستان d	$TA_Cl_V_j^d$	
تابع هدف و مربوط به اسیدی‌سازی خاکی	$ObjectTA_v$	
کاربری زمین کل برای کشت محصول z برای شهرستان d	$LO_Cl_V_j^d$	
تابع هدف و مربوط به کاربری زمین	$ObjectLO_v$	
اسیدی‌سازی آبی کل برای کشت محصول z برای شهرستان d	$AA_Cl_V_j^d$	
تابع هدف و مربوط به اسیدی‌سازی آبی	$ObjectAA_v$	
یوتریفیکاسیون آبی کل برای کشت محصول z برای شهرستان d	$AE_Cl_V_j^d$	
تابع هدف و مربوط به یوتریفیکاسیون	$ObjectAE_v$	

طور کلی، این فرآیند ذهنی است و کاملاً مشخص و مستند نیست. وابسته به ترجیحات تصمیم‌گیر، بر حسب اهمیت اهداف رقیب وزن‌هایی به معیارهای تصمیم‌گیری داده می‌شود (چاکرابورتی و همکاران ۲۰۰۲).

پس از مشخص شدن الگوی مورد استفاده برای بهینه‌سازی فعالیت‌ها در چارچوب تامین اهداف یاد شده، باید محدودیت‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری برای رسیدن به اهداف مشخص در هر گزینه را مشخص کرد (جدول ۲). به

جدول ۲- فهرست نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف پارامترها

نماد	شرح
$LandSch_{jm}^d$	ضریب کاربری زمین برای محصول j ، ماه m در شهرستان d
$LandRHS_{Irrigated}^d$	مقدار زمین قابل کشت در شهرستان d محصولات آبی
$Land_Cl_max_j^d$	حداکثر سطح زیر کشت هر محصول در منطقه
$Land_Cl_min_j^d$	حداقل سطح زیر کشت هر محصول در منطقه
$WaterEff_j^d$	راندمان آبیاری محصول j در شهرستان d
$NetWaterReq_{jm}^d$	مقدار آب خالص مورد نیاز برای کشت یک هکتار از محصول j برای شهرستان d
$WaterRHS_m^d$	مقدار آب قابل دسترس در ماه m برای شهرستان d
$NetBenefitCrrrent^d$	سود خالص شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستان d
$AC_Crrrent^d$	سمیت آبی شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستان d
$TE_Crrrent^d$	سمیت خاکی شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستان d
$TA_Crrrent^d$	اسیدی‌سازی خاکی شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستان d
$LO_Crrrent^d$	کاربری زمین شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستان d
$AA_Crrrent^d$	اسیدی‌سازی آبی شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستان d
$AE_Crrrent^d$	یوتروفیکاسیون شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستان d

نظر گرفته می‌شود (در اینجا، حداکثرسازی سود، حداقل‌سازی اسیدی‌سازی آبی، اسیدی‌سازی خاکی، سمیت آبی، سمیت خاکی، کاربری زمین، و یوتروفیکاسیون) را می‌توان بصورت زیر تعریف نمود (برنگر و وردیر-چوچان ۲۰۰۷ و مردانی نجف آبادی و همکاران ۲۰۱۹):

با فرض اینکه $n \in [1, N]$ مناطق (شهرستان‌ها) و $j \in [1, M]$ که z شماره معیار (هدف) مورد نیاز را مشخص می‌کند و همچنین Z_j^n مقداری است که معیار z برای به‌بردار n اختیار می‌کند، آنگاه روش کار برای به دست آوردن تابع عضویت شاخص z را برای منطقه n در شرایطی که کمترین مقدار شاخص به عنوان حد آرمانی در

$$\lambda_j(n) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_j^n \leq Z_j^{min}, \\ \frac{Z_j^{max} - Z_j^n}{Z_j^{max} - Z_j^{min}} & \text{if } Z_j^{max} \leq Z_j^n \leq Z_j^{min}, \\ 0 & \text{if } Z_j^n \geq Z_j^{min}, \end{cases} \quad (\text{معادله ۲۲})$$

تعریف شود (در اینجا، بازده برنامه‌ای و اشتغال) تابع عضویت $\lambda_j(n)$ به صورت زیر تعریف خواهد شد:

$$\lambda_j(n) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_j^n \leq Z_j^{\max}, \\ \frac{Z_j^n - Z_j^{\min}}{Z_j^{\max} - Z_j^{\min}} & \text{if } Z_j^{\min} \leq Z_j^n \leq Z_j^{\max}, \\ 0 & \text{if } Z_j^n \geq Z_j^{\min}, \end{cases} \quad (\text{معادله } 23)$$

مدنظر بهره‌برداران مطالعه جاری استفاده شد و با استفاده از روش میانگین وزنی هندسی برای توابع عضویت اهداف مناطق بصورت زیر تعیین گردید:

$$\lambda(i) = \sum_{j=1}^M W_j \lambda_j(i)$$

مقادیر وزن اهداف باید حداکثر و حداقل باشد و بر این اساس وزن اهداف بصورت زیر تعریف می‌گردد (چیاپرو ۱۹۶۶):

$$W_j = \ln\left(\frac{1}{\lambda_j}\right) / \sum_{j=1}^m \ln\left(\frac{1}{\lambda_j}\right) \quad (\text{معادله } 25)$$

استفاده در محیط بسته نرم افزاری GAMS v24.1.2 توسعه داده شد (گمز ۲۰۱۰).

نتایج و بحث

اثرات محیطی محصولات آبی در الگوی کشت جاری منطقه

اثرات محیطی محصولات آبی کشت شده در الگوی جاری منطقه بر کیفیت اکوسیستم در جدول ۳ نمایش داده شده است. بیشترین اثرات محیطی موثر بر کیفیت اکوسیستم در نظام‌های آبی در مزارع کلزا، لوبیا، نخود، گندم و عدس مشاهده شد. فیگیرو و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید محصولات کشاورزی بیان کردند که با افزایش میزان مصرف نهاده اثرات زیست‌محیطی نیز افزایش می‌یابد

که در آن تابع $\lambda_j(n)$ درجه برخورداری λ امین بهره‌بردار را نسبت به معیار اندازه‌گیری می‌کند. به همین ترتیب اگر بیشترین مقدار اهداف به عنوان حد آرمانی

توابع یاد شده توابعی افزایشی از درجه برخورداری الگو بوده و مقادیر بین صفر و یک اختیار می‌کنند. در مطالعه حاضر این توابع عضویت برای رتبه‌بندی اهداف (معادله ۲۴)

در روابط فوق W_j تابعی معکوس از میانگین سطح اهداف نسبت به Z است. تابع لگاریتمی نیز بیانگر آن است که اولویت هر الگوی بهینه تابعی غیر خطی از اهداف مورد استفاده است.

به دلیلی غیر خطی بودن تابع مسافت مرکب آرمانی جاری، از روش برنامه‌ریزی غیرخطی برای حل آن استفاده شد. به این ترتیب، با توجه به فازی‌سازی اهداف مطالعه و تلاش تحقق یک آرمان کلی براساس حداکثر کردن مقدار تابع مسافت مرکب آرمانی آن‌ها، ساختار مدل تصمیم‌گیری به شکل یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی فازی چندهدفه که امکان مصالحه چند هدف را به‌طور توأم، مشروط بر محدودیت منابع فراهم می‌نماید طراحی شد. در نهایت الگوریتم‌های ریاضی الگوی برنامه‌ریزی منطقه‌ای مورد

جدول ۳- اثرات زیست محیطی بر سلامت انسان در الگوی کشت جاری محصولات آبی

AE (kg PO4 P- lim ha ⁻¹)	AA (kg SO2 eq ha ⁻¹)	LO (m2org.arable ha ⁻¹)	TA (kg SO2 eq ha ⁻¹)	TE (kg TEG soil ha ⁻¹)	AC (kg TEG water ha ⁻¹)	NB (\$.ha- 1)	محصول
۵/۶۴E+۰۲	۱/۴۳E+۰۵	۲/۲۳E+۰۷	۱/۰۳E+۰۶	۵/۵۸E+۱۰	۵/۹۳E+۱۰	۳۹۵	گندم
۵/۳۲E+۰۲	۱/۱۵E+۰۵	۳/۶۰E+۰۷	۸/۱۶E+۰۵	۳/۴۴E+۱۰	۳/۸۷E+۱۰	۳۰۴	جو
۶/۹۶E+۰۲	۱/۳۵E+۰۵	۸/۲۲E+۰۷	۹/۷۳E+۰۵	۷/۵۰E+۱۰	۸/۵۴E+۱۰	۲۹۴	عدس
۹/۳۲E+۰۲	۱/۷۷E+۰۵	۱/۰۶E+۰۸	۱/۲۶E+۰۶	۹/۷۶E+۱۰	۱/۱۱E+۱۱	۲۸۰	نخود
۵/۰۴E+۰۲	۷/۱۳E+۰۴	۱/۷۷E+۰۴	۵/۰۸E+۰۵	۱/۸۶E+۱۰	۱/۷۱E+۱۰	۴۵۵	چغندر قند
۱/۱۶E+۰۳	۱/۱۳E+۰۵	۱/۰۷E+۰۵	۷/۷۸E+۰۵	۵/۴۳E+۱۰	۳/۲۰E+۱۰	۲۸۲	سیب زمینی
۲/۲۵E+۰۳	۱/۶۷E+۰۴	۶/۲۱E+۰۴	۱/۹۸E+۰۵	۱/۹۴E+۱۱	۲/۲۱E+۱۱	۱۱۴	کلزا
۲/۱۸E+۰۳	۱/۸۸E+۰۵	۷/۰۷E+۰۷	۹/۳۶E+۰۵	۲/۰۷E+۱۱	۲/۱۶E+۱۱	۳۳۶	لوبیا

NB: سود خالص، AC: سمیت آبی، TE: سمیت خاکی، TA: اسیدی سازی خاکی، LO: کاربری زمین، AA: اسیدی سازی آبی، AE: یوتریفیکاسیون

سطح زیر کشت محصولات آبی در الگوهای کشت با

اهداف مختلف

اثرات محیطی محصولات آبی در الگوهای کشت مختلف پیشنهادی به تفکیک محصول و اهداف مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. مجموع سطح زیر کشت الگوهای کشت محصولات آبی در تمامی اهداف نسبت به الگوی جاری محصولات آبی کمتر بود. در الگوی کشت MOP محصولات آبی، سطح زیر کشت چغندر قند ۲۲ و لوبیا ۲ درصد نسبت به الگوی جاری افزایش یافت (جدول ۴). ارزیابی الگوی MOP نسبت به الگوی جاری به تفکیک شهرستان نشان داد سطح زیر کشت چغندر قند در الگوی MOP نسبت به الگوی جاری الیگودرز ۹۶ درصد، ازنا ۵ درصد و دورود ۴ درصد افزایش داشت (جدول ۵).

همچنین بیشترین سود خالص در محصولات آبی

به ترتیب مربوط به چغندر قند، گندم، لوبیا، جو بود. به طور کلی، نتایج مطالعه آثار زیست محیطی نظام های آبی منطقه، بیانگر این بود که محصولاتی که سود بالایی دارند اثرات محیطی قابل توجهی ایجاد می کنند. توجه صرف به اهداف اقتصادی در طراحی الگوی کشت باعث افزایش مصرف سموم و کودهای شیمیایی می شود (مردانی و نجف آبادی ۲۰۱۹)، که این امر اثرات محیطی از جمله سمیت آبی و خاکی، اسیدی سازی و یوتریفیکاسیون در بوم نظام های کشاورزی را تشدید خواهد کرد (آکوستا آلبا و همکاران ۲۰۱۹). از این رو تعیین الگوی کشت سودآور ضمن استفاده بهینه از منابع و کاهش مصرف آب و کودهای شیمیایی، مشکلات محیطی را به حداقل می رساند (ال-گفی و همکاران ۲۰۱۷). بنابراین رویکرد نوین طراحی الگوی کشت منطقه باید با لحاظ کردن اثرات محیطی بر کیفیت اکوسیستم از جمله کاهش انتشار آلاینده ها به هوا، خاک و آب تعیین شود.

جدول ۴- سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در الگوی کشت آبی در شرق استان لرستان به تفکیک اهداف

مورد مطالعه (واحد: هکتار)

MOP	MAE	MAA	MLO	MTA	MTE	MAC	MNB	Current	
۲۶۷۳۲	۲۶۸۸۵	۲۶۶۷۳	۲۶۸۷۸	۲۶۵۹۲	۲۶۶۳۷	۲۶۵۳۴	۲۶۸۳۹	۲۶۷۶۱	گندم
۲۷۸۲	۲۶۹۷	۲۷۰۲	۲۷۰۷	۲۷۰۲	۲۷۰۲	۲۸۱۱	۲۷۷۰	۲۸۹۸	جو
۶۸۲	۷۶۲	۱۰۶۴	۷۰۳	۱۰۲۰	۱۰۶۴	۱۰۶۴	۹۲۱	۷۰۳	عدس
۴۹۱	۴۶۴	۴۶۴	۴۶۵	۴۶۴	۴۶۴	۵۰۷	۴۷۸	۶۲۳	نخود
۴۱۱۸	۴۰۶۶	۴۱۰۲	۴۱۲۸	۴۱۰۵	۴۱۰۲	۴۱۱۱	۳۶۴۵	۳۳۸۰	چغندر قند
۱۹۹۵	۱۹۷۵	۱۹۷۵	۱۹۹۵	۱۹۷۵	۱۹۷۵	۱۹۹۲	۱۵۱۸	۳۰۳۸	سیب زمینی
۱۰۴	۱۰۴	۱۰۴	۱۰۴	۲۱۲	۱۰۴	۱۰۴	۱۰۴	۲۰۹	کلزا
۱۰۵۵۹	۱۰۴۹۵	۱۰۴۷۰	۱۰۴۱۹	۱۰۵۲۰	۱۰۴۷۰	۱۰۴۳۰	۱۱۴۸۰	۱۰۳۷۹	لوبیا
۴۷۴۶۲	۴۷۴۴۷	۴۷۵۱۷	۴۷۴۲۷	۴۷۵۹۰	۴۷۵۱۷	۴۷۵۵۳	۴۷۷۵۴	۴۷۹۹۱	کل

CU: الگوی جاری، MNB: حداکثرسازی سود خالص، MAC: حداقل‌سازی سمیت آبی، MTE: حداقل‌سازی سمیت خاکی، MTA: حداقل‌سازی اسیدی‌سازی خاکی، MLO: حداقل‌سازی کاربری زمین، MAA: حداقل‌سازی یوتریفیکاسیون، MOP: برنامه ریزی چندهدفه

درصدی نخود، ۴ درصدی جو و ۳ درصدی عدس در الگوی MOP نسبت به الگوی جاری بود (جدول ۴). این کاهش‌ها در الگوی کشت MOP در تمامی اهداف مشاهده شد که بیانگر بالا بودن شاخص‌های اثرات محیطی موثر بر کیفیت اکوسیستم و پایین بودن سود این محصولات نسبت به سایر محصولات منطقه است (جدول ۳). تغییرات سطح زیر کشت محصولات آبی در الگوی MOP سه شهرستان مورد مطالعه آهنگ منظمی نداشت (جدول ۵)، به‌طوریکه در الگوی MOP سطح زیر کشت سیب‌زمینی دورود و الیگودرز ۵۰ درصد و ازنا ۶ درصد نسبت به الگوی جاری کاهش یافت. همچنین سطح زیر کشت نخود در الگوی MOP دورود و الیگودرز ۵۰ درصد کاهش و در ازنا ۳۸ درصد نسبت به الگوی جاری افزایش یافت.

این افزایش سطح زیر کشت چغندر قند در الگوی MOP در تمام اهداف مورد بررسی مشاهده شد که نشان دهنده کم بودن طبقات اثر این محصول در بین محصولات کشت آبی منطقه بر کیفیت اکوسیستم بود. همچنین افزایش سطح زیرکشت لوبیای الیگودرز در الگوی MOP نسبت به الگوی جاری ۴ درصد بود، ولی سطح زیر کشت لوبیای ازنا و دورود در الگوی MOP نسبت به الگوی جاری به ترتیب ۲ و یک درصد کاهش یافت. سطح زیر کشت لوبیای دورود در تمامی اهداف بجز هدف حداکثرسازی سود با کاهش روبه رو شد، زیرا عملکرد و سود بیشتر نظام‌های پرنهاده قادر به جبران اثرات محیطی بر کیفیت اکوسیستم نبود (گوسن و همکاران ۲۰۱۷ و فانتین ۲۰۱۷). از دیگر موارد قابل توجه الگوی کشت بهینه پیشنهادی کاهش ۵۰ درصدی سطح زیر کشت کلزا، ۳۴ درصدی سیب‌زمینی، ۲۱

جدول ۵- برنامه ریزی منطقه‌ای پیشنهادی در الگوی کشت محصولات آبی نسبت به الگوی کشت جاری به تفکیک شهرستان

شهرستان	کشت	Current	MNB	MAC	MTE	MTA	MLO	MAA	MAE	MOP
ازنا	گندم	۱۱۵۰۰	۱۱۴۸۲	۱۱۴۰۷	۱۱۵۰۹	۱۱۵۰۹	۱۱۵۰۴	۱۱۵۰۹	۱۱۵۰۹	۱۱۴۷۲
	جو	۷۵۰	۷۸۳	۸۶۳	۷۵۴	۷۵۴	۷۵۹	۷۵۴	۷۵۴	۷۸۰
	عدس	۱۴۶	۱۵۸	۷۳	۷۳	۷۳	۷۳	۷۳	۷۳	۷۳
	نخود	۲۰۳	۲۶۸	۲۹۷	۲۵۴	۲۵۴	۲۵۴	۲۵۵	۲۵۴	۲۸۱
	چغندر	۱۲۰۰	۱۰۶۷	۱۲۶۶	۱۲۵۷	۱۲۵۷	۱۲۶۰	۱۲۵۷	۱۲۵۷	۱۲۵۴
	سیب زمینی	۱۰۷۷	۵۳۸	۱۰۱۲	۹۹۵	۹۹۵	۱۰۱۵	۹۹۵	۹۹۵	۱۰۱۵
	کلزا	۶۳	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱
	لوبیا	۴۸۸۲	۵۴۹۴	۴۵۸۲	۴۸۹۲	۴۸۹۲	۴۸۷۱	۴۸۹۲	۴۸۹۲	۴۸۷۸
	گندم	۸۵۰۰	۸۵۷۲	۸۵۷۹	۸۵۷۹	۸۵۳۵	۸۵۷۹	۸۵۷۹	۸۵۷۹	۸۴۶۶
	جو	۹۰۰	۷۳۸	۷۲۰	۷۲۰	۷۲۰	۷۲۰	۷۲۰	۷۲۰	۷۷۴
الیگودرز	عدس	۵۰۰	۶۵۰	۵۷۹	۵۷۹	۵۳۵	۵۳۳	۵۷۹	۵۷۹	۵۰۹
	نخود	۳۵۰	۱۷۵	۱۷۵	۱۷۵	۱۷۵	۱۷۵	۱۷۵	۱۷۵	۱۷۵
	چغندر	۶۵۰	۱۰۴۷	۱۲۲۵	۱۲۲۵	۱۲۲۸	۱۲۸۰	۱۲۲۵	۱۲۲۵	۱۲۸۰
	سیب زمینی	۱۸۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰
	کلزا	۲۶	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳
	لوبیا	۴۸۰۰	۵۲۱۲	۴۹۲۷	۴۹۲۷	۴۹۷۷	۴۸۷۶	۴۹۲۷	۴۹۲۷	۴۹۹۸
	گندم	۶۷۶۱	۶۷۸۶	۶۵۴۸	۶۵۴۸	۶۵۴۸	۶۷۴۹	۶۵۴۸	۶۷۹۷	۶۷۹۴
	جو	۱۲۴۸	۱۲۴۹	۱۲۲۸	۱۲۲۸	۱۲۲۸	۱۲۲۸	۱۲۲۸	۱۲۲۲	۱۲۲۸
	عدس	۵۷	۱۱۲	۴۱۳	۴۱۳	۴۱۳	۱۰۴	۴۱۳	۱۱۰	۱۰۰
	نخود	۷۰	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵
دورود	چغندر	۱۵۳۰	۱۵۳۲	۱۶۲۰	۱۶۲۰	۱۶۲۰	۱۵۸۹	۱۶۲۰	۱۵۸۴	۱۵۸۴
	سیب زمینی	۱۶۱	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰
	کلزا	۱۲۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
	لوبیا	۶۷۹	۷۷۳	۶۵۱	۶۵۱	۶۵۱	۶۷۳	۶۵۱	۶۷۶	۶۸۳

CU: الگوی جاری، MNB: حداکثرسازی سود خالص، MAC: حداقلسازی سمیت آبی، MTE: حداقلسازی سمیت خاکی، MTA: حداقلسازی اسیدی سازی خاکی، MLO: حداقلسازی کاربری زمین، MAA: حداقلسازی اسیدی سازی آبی، MAE: حداقلسازی یوتریفیکاسیون، MOP: برنامه ریزی چندهدفه

تولید محصولاتی با اثرات کمتر بر اکوسیستم تغییر داده شود. تدوین الگوی کشت می‌تواند بهره‌وری از ظرفیت‌های بخش کشاورزی را به حداکثر برساند و در عین حال پیامد-های مخرب تولید محصول را تقلیل دهد (وست و همکاران ۲۰۱۹). همچنین با توجه به مغایرت الگوی پیشنهادی با الگوی جاری هر سه شهرستان می‌توان اظهار کرد که طراحی یک الگوی کشت مناسب برای هر منطقه به‌طور مجزا امری ضروری است و نمی‌توان الگوی کشت یک منطقه را به مناطق دیگر تعمیم داد.

متغیرهای مهم در تعیین الگوی کشت محصولات آبی

جدول‌های ۶ سود خالص و طبقات اثر موثر بر کیفیت اکوسیستم برای کشت محصولات کشاورزی آبی را به تفکیک مدل‌های مورد بررسی برای شهرستان‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. سود خالص کلیه الگوهای محصولات

سطح زیر کشت عدس در الگوی MOP الیگودرز و دورود به ترتیب ۷۴ و ۲ درصد نسبت به الگوی جاری افزایش و در ازنا سطح زیر کشت عدس ۵۰ درصد نسبت به الگوی جاری کاهش یافت. سطح زیر کشت جو در الگوی MOP ازنا ۴ درصد نسبت به الگوی جاری افزایش یافت و در الیگودرز و دورود به ترتیب ۱۴ و ۲ درصد کاهش یافت. سانچیس و فیجو- بلو (۲۰۰۹) گزارش کردند محصولاتی که اثرات زیست‌محیطی بالایی دارند میزان سطح زیر کشت آن‌ها در الگوی کشت بهینه کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از این مطالعه حاکی از اختلاف زیاد الگوی MOP محصولات نسبت به الگوی جاری بود. جهت کاهش اثرات ناشی از تولید محصولات بر اکوسیستم باید سطح کشت محصولات کشاورزی که اثرات محیطی بالایی دارند کاسته شده و در عوض با تغییراتی در الگوی کشت، استراتژی به سوی

تن و اکوسیستم خاکی ۵۷۸۰۷۸۲۲ تن کاهش خواهد یافت. بیشترین کاهش اسیدی‌سازی خاکی و اسیدی‌سازی آبی در کشت محصولات آبی در الگوها با اهداف حداقل‌سازی سمیت خاکی و اسیدی‌سازی آبی و اسیدی‌سازی خاکی با کاهش $4.00E+05$ و $5.22E+04$ kg SO₂ eq نسبت به الگوی جاری مشاهده شد. SO₂ موجود در هوا به صورت باران اسیدی به سطح زمین می‌رسد که دارای اثرات زیانباری برای گیاهان و حیوانات بوده و به اکوسیستم و ساختمان‌ها خسارت وارد می‌کند (بوریز و همکاران ۲۰۱۸). میزان اسیدی‌سازی آبی در الگوی MOP محصولات آبی به میزان $3.54E+04$ و اسیدی‌سازی خاکی به میزان $2.81E+05$ kg SO₂ eq نسبت به الگوی جاری کاهش یافت. بنابراین اجرای الگوی MOP در منطقه از انتشار ۳۶۲۷ تن SO₂ به هوا می‌کاهد. بیشترین کاهش کاربری زمین در الگوی کشت محصولات آبی در مدل‌های با هدف حداقل‌سازی کاربری زمین با $9.24E+05$ m₂org.arable و حداقل‌سازی سود $5.36E+07$ m₂org.arable مشاهده شد. بیشترین کاهش یوتریفیکاسیون در کشت محصولات آبی مربوط به الگوها با هدف‌های حداقل‌سازی یوتریفیکاسیون، اسیدی‌سازی آبی و اسیدی‌سازی خاکی مشاهده شد، که نشان می‌دهد با اجرای این الگوها میزان انتشار PO₄⁻ در منطقه به ترتیب ۱۱۵۳، ۱۱۳۷ و ۱۱۱۱ کیلوگرم کاهش می‌یابد. همچنین در مدل MOP نیز میزان ۱۰۰۳ کیلوگرم انتشار PO₄⁻ در منطقه کاهش یافت (جدول ۶). سرانه اراضی زراعی برای تغذیه مردم جهان ۰/۲۴ هکتار است (ترامبرند و همکاران ۲۰۱۹). بنابراین در آینده زمین زراعی بیش از سایر منابع محدود کننده تولید غذا در جهان خواهد بود (کارلسون و روسی ۲۰۱۹). در نتیجه افزایش بهره‌برداری از آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (تیچنور و همکاران ۲۰۱۹). لذا بهینه‌سازی الگوی کشت باعث بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی، کاهش هزینه‌ها و کاهش

آبی به جز الگوی حداقل‌سازی سود خالص در حد الگوی جاری باقی ماند. در الگوی حداقل‌سازی سود محصولات آبی به ازای ۴۷۵۴۲۸۵ دلار سود خالص بیشتر در کل منطقه، میزان سمیت آبی $4.11E+09$ kg TEG water، سمیت خاکی $4.11E+12$ kg TEG soil، اسیدی‌سازی خاکی $4.04E+04$ kg SO₂ eq اسیدی‌سازی آبی $5.73E+03$ kg SO₂ eq و یوتریفیکاسیون $1.32E+02$ kg PO₄ P-lim نسبت به وضع موجود کاهش یافت (جدول ۶). پان و همکاران (۲۰۱۴) اظهار کردند یکی از سیاست‌های مورد استفاده در زمینه بهبود نقش اقتصادی بخش کشاورزی و کاهش اثرات محیطی تهیه و اجرای الگوی کشت مناسب است. نتایج نشان داد در کلیه الگوهای طبقات اثر موثر بر کیفیت اکوسیستم محصولات آبی، امکان کاهش اثرات وجود دارد. بیشترین کاهش سمیت آبی در کشت آبی مربوط به الگوها با اهداف حداقل‌سازی سمیت آبی، سمیت خاکی و اسیدی‌سازی آبی بود که با اجرای این الگوها سمیت آبی به میزان $2.60E+10$ kg TEG water نسبت به الگوی جاری کاهش خواهد یافت. بیشترین کاهش سمیت خاکی در کشت محصولات آبی مربوط به الگوها با اهداف حداقل‌سازی سمیت خاکی و اسیدی‌سازی آبی با کاهش $6.55E+10$ kg TEG soil و اسیدی‌سازی خاکی با کاهش $6.35E+10$ kg TEG soil نسبت به الگوی جاری بود. همچنین در الگوی MOP میزان سمیت آبی محصولات آبی به میزان $1.97E+10$ kg TEG water و سمیت خاکی به میزان $5.78E+10$ kg TEG soil نسبت به الگوی جاری کاهش یافت. سمیت اکولوژیک در اکوسیستم‌های آبی و خاکی عمدتاً مربوط به انتشار فلزات سنگین، انرژی مصرف شده در تولید نهاده‌ها و مصرف نهاده‌های شیمیایی از جمله کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها است (لیانگ و همکاران ۲۰۱۸). بنابراین با اجرای الگوی MOP انتشار فلزات سنگین و آفت‌کش‌ها به اکوسیستم آبی ۱۹۶۶۹۳۱۵

۲۰۱۹). به بیانی دیگر الگوی کشتی که براساس اهداف اقتصادی طراحی شود مانند الگوی جاری در منطقه تنها اهداف سودمحور را سرلوحه اهداف خود قرار خواهد داد. در حالیکه با اجرای الگوی کشت پیشنهادی اثرات سوء مواد آلاینده بر آب، خاک و هوا و هزینه‌های مربوط به تولید از جمله کودهای شیمیایی در بلندمدت می‌تواند کاهش می‌یابد.

یوتریفیکاسیون خواهد شد (مردانی نجف آبادی ۲۰۱۹). لازم است برای به دست آوردن سود بیشتر و کاهش اثرات محیطی موثر بر اکوسیستم سطح زیر کشت بیشتری را به چغندر قند و لوبیا نسبت به سایر محصولات از جمله نخود، سیب‌زمینی و کلزا در الگوی کشت محصولات آبی اختصاص داد. نتایج مطالعات دیگر نیز نشان داد که در طراحی الگوی کشت، اهداف تولیدکننده نقش مهمی در انتخاب نوع و سطح زیرکشت گیاه زراعی دارد (وست

جدول ۶ - متغیرهای مهم در تعیین الگوی کشت محصولات آبی به تفکیک اهداف و شهرستان‌های مورد مطالعه

متغیر										شهرستان	توضیحات
MOP	MAE	MAA	MLO	MTA	MTE	MAC	MNB	Current			
۸/۹۲۲E+۰۸	۸/۹۲۲E+۰۸	۸/۹۲۲E+۰۸	۸/۹۲۲E+۰۸	۸/۹۲۲E+۰۸	۸/۹۲۲E+۰۸	۸/۹۲۲E+۰۸	۸/۹۲۲E+۰۸	۸/۹۲۲E+۰۸	۸/۹۲۲E+۰۸	ازنا	NB (\$)
۷/۶۲۲E+۰۸	۷/۶۲۲E+۰۸	۷/۶۲۲E+۰۸	۷/۶۲۲E+۰۸	۷/۶۲۲E+۰۸	۷/۶۲۲E+۰۸	۷/۶۲۲E+۰۸	۷/۶۲۲E+۰۸	۷/۶۲۲E+۰۸	۷/۶۲۲E+۰۸	الیگودرز	
۴/۹۳۴E+۰۸	۴/۹۳۴E+۰۸	۴/۹۳۴E+۰۸	۴/۹۳۴E+۰۸	۴/۹۳۴E+۰۸	۴/۹۳۴E+۰۸	۴/۹۳۴E+۰۸	۴/۹۳۴E+۰۸	۴/۹۳۴E+۰۸	۴/۹۳۴E+۰۸	دورود	
۲/۱۴۸E+۰۹	۲/۱۴۸E+۰۹	۲/۱۴۸E+۰۹	۲/۱۴۸E+۰۹	۲/۱۴۸E+۰۹	۲/۱۴۸E+۰۹	۲/۱۴۸E+۰۹	۲/۱۴۸E+۰۹	۲/۱۴۸E+۰۹	۲/۱۴۸E+۰۹	جمع	
۵/۸۱E+۱۱	۵/۸۱E+۱۱	۵/۸۱E+۱۱	۵/۸۱E+۱۱	۵/۸۱E+۱۱	۵/۸۱E+۱۱	۵/۸۱E+۱۱	۵/۸۱E+۱۱	۵/۸۱E+۱۱	۵/۸۱E+۱۱	ازنا	AC (kg TEG water ³)
۳/۹۴E+۱۱	۳/۹۴E+۱۱	۳/۹۴E+۱۱	۳/۹۴E+۱۱	۳/۹۴E+۱۱	۳/۹۴E+۱۱	۳/۹۴E+۱۱	۳/۹۴E+۱۱	۳/۹۴E+۱۱	۳/۹۴E+۱۱	الیگودرز	
۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	دورود	
۱/۲۵E+۱۲	۱/۲۵E+۱۲	۱/۲۵E+۱۲	۱/۲۵E+۱۲	۱/۲۵E+۱۲	۱/۲۵E+۱۲	۱/۲۵E+۱۲	۱/۲۵E+۱۲	۱/۲۵E+۱۲	۱/۲۵E+۱۲	جمع	
۶/۲۷E+۱۱	۶/۲۷E+۱۱	۶/۲۷E+۱۱	۶/۲۷E+۱۱	۶/۲۷E+۱۱	۶/۲۷E+۱۱	۶/۲۷E+۱۱	۶/۲۷E+۱۱	۶/۲۷E+۱۱	۶/۲۷E+۱۱	ازنا	TE (kg TEG soil ³)
۴/۲۰E+۱۱	۴/۱۷E+۱۱	۴/۱۷E+۱۱	۴/۱۸E+۱۱	۴/۱۹E+۱۱	۴/۱۷E+۱۱	۴/۱۷E+۱۱	۴/۱۷E+۱۱	۴/۱۷E+۱۱	۴/۱۷E+۱۱	الیگودرز	
۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	۲/۷۵E+۱۱	دورود	
۱/۳۲E+۱۲	۱/۳۲E+۱۲	۱/۳۲E+۱۲	۱/۳۲E+۱۲	۱/۳۲E+۱۲	۱/۳۲E+۱۲	۱/۳۲E+۱۲	۱/۳۲E+۱۲	۱/۳۲E+۱۲	۱/۳۲E+۱۲	جمع	
۹/۵۴E+۰۶	۹/۵۴E+۰۶	۹/۵۴E+۰۶	۹/۵۴E+۰۶	۹/۵۴E+۰۶	۹/۵۴E+۰۶	۹/۵۴E+۰۶	۹/۵۴E+۰۶	۹/۵۴E+۰۶	۹/۵۴E+۰۶	ازنا	TA (kg SO2 eq)
۶/۰۱E+۰۶	۵/۹۹E+۰۶	۵/۹۹E+۰۶	۵/۹۹E+۰۶	۵/۹۹E+۰۶	۵/۹۹E+۰۶	۵/۹۹E+۰۶	۵/۹۹E+۰۶	۵/۹۹E+۰۶	۵/۹۹E+۰۶	الیگودرز	
۵/۶۴E+۰۶	۵/۶۴E+۰۶	۵/۶۴E+۰۶	۵/۶۴E+۰۶	۵/۶۴E+۰۶	۵/۶۴E+۰۶	۵/۶۴E+۰۶	۵/۶۴E+۰۶	۵/۶۴E+۰۶	۵/۶۴E+۰۶	دورود	
۲/۱۲E+۰۷	۲/۱۲E+۰۷	۲/۱۲E+۰۷	۲/۱۲E+۰۷	۲/۱۲E+۰۷	۲/۱۲E+۰۷	۲/۱۲E+۰۷	۲/۱۲E+۰۷	۲/۱۲E+۰۷	۲/۱۲E+۰۷	جمع	
۱/۶۰E+۰۸	۱/۶۰E+۰۸	۱/۶۰E+۰۸	۱/۶۰E+۰۸	۱/۶۰E+۰۸	۱/۶۰E+۰۸	۱/۶۰E+۰۸	۱/۶۰E+۰۸	۱/۶۰E+۰۸	۱/۶۰E+۰۸	ازنا	LO (m2org.arable)
۱/۰۲E+۰۸	۱/۰۲E+۰۸	۱/۰۲E+۰۸	۱/۰۲E+۰۸	۱/۰۲E+۰۸	۱/۰۲E+۰۸	۱/۰۲E+۰۸	۱/۰۲E+۰۸	۱/۰۲E+۰۸	۱/۰۲E+۰۸	الیگودرز	
۷/۲۶E+۰۷	۷/۲۶E+۰۷	۷/۲۶E+۰۷	۷/۲۶E+۰۷	۷/۲۶E+۰۷	۷/۲۶E+۰۷	۷/۲۶E+۰۷	۷/۲۶E+۰۷	۷/۲۶E+۰۷	۷/۲۶E+۰۷	دورود	
۳/۲۴E+۰۸	۳/۲۴E+۰۸	۳/۲۴E+۰۸	۳/۲۴E+۰۸	۳/۲۴E+۰۸	۳/۲۴E+۰۸	۳/۲۴E+۰۸	۳/۲۴E+۰۸	۳/۲۴E+۰۸	۳/۲۴E+۰۸	جمع	
۱/۳۶E+۰۶	۱/۳۶E+۰۶	۱/۳۶E+۰۶	۱/۳۶E+۰۶	۱/۳۶E+۰۶	۱/۳۶E+۰۶	۱/۳۶E+۰۶	۱/۳۶E+۰۶	۱/۳۶E+۰۶	۱/۳۶E+۰۶	ازنا	AA (kg SO2 eq)
۸/۸۲E+۰۵	۸/۷۲E+۰۵	۸/۷۲E+۰۵	۸/۸۲E+۰۵	۸/۷۲E+۰۵	۸/۷۲E+۰۵	۸/۷۲E+۰۵	۸/۷۲E+۰۵	۸/۸۴E+۰۵	۹/۰۲E+۰۵	الیگودرز	
۷/۸۷E+۰۵	۷/۸۷E+۰۵	۷/۸۵E+۰۵	۷/۸۸E+۰۵	۷/۸۵E+۰۵	۷/۸۵E+۰۵	۷/۸۵E+۰۵	۷/۸۵E+۰۵	۷/۸۷E+۰۵	۷/۹۲E+۰۵	دورود	
۳/۰۲E+۰۶	۳/۰۲E+۰۶	۳/۰۲E+۰۶	۳/۰۲E+۰۶	۳/۰۲E+۰۶	۳/۰۲E+۰۶	۳/۰۲E+۰۶	۳/۰۲E+۰۶	۳/۰۲E+۰۶	۳/۰۲E+۰۶	جمع	
۹/۲۶E+۰۳	۹/۲۰E+۰۳	۹/۲۰E+۰۳	۹/۲۷E+۰۳	۹/۲۰E+۰۳	۹/۲۰E+۰۳	۹/۲۰E+۰۳	۹/۲۰E+۰۳	۹/۲۰E+۰۳	۹/۲۰E+۰۳	ازنا	AE (kg PO4 P-lim)
۶/۵۰E+۰۳	۶/۴۰E+۰۳	۶/۴۰E+۰۳	۶/۴۷E+۰۳	۶/۴۳E+۰۳	۶/۴۰E+۰۳	۶/۴۰E+۰۳	۶/۴۰E+۰۳	۶/۴۰E+۰۳	۶/۴۰E+۰۳	الیگودرز	
۴/۵۰E+۰۳	۴/۵۰E+۰۳	۴/۵۲E+۰۳	۴/۵۱E+۰۳	۴/۵۲E+۰۳	۴/۵۲E+۰۳	۴/۵۲E+۰۳	۴/۵۲E+۰۳	۴/۵۰E+۰۳	۴/۶۲E+۰۳	دورود	
۲/۰۲E+۰۴	۲/۰۲E+۰۴	۲/۰۲E+۰۴	۲/۰۲E+۰۴	۲/۰۲E+۰۴	۲/۰۲E+۰۴	۲/۰۲E+۰۴	۲/۰۲E+۰۴	۲/۰۲E+۰۴	۲/۰۲E+۰۴	جمع	

CU، الگوی جاری، MNB: حداکثرسازی سود خالص، MAC: حداکثرسازی سمیت آبی، MTE: حداکثرسازی سمیت خاکی، MTA: حداکثرسازی اسیدی‌سازی خاکی، MLO: حداکثرسازی

کاربری زمین، MAA: حداکثرسازی اسیدی‌سازی آبی، MAE: حداکثرسازی یوتریفیکاسیون، MOP: برنامه ریزی چندهدفه

NB: سود خالص، AC: سمیت آبی، TE: سمیت خاکی، TA: اسیدی‌سازی خاکی، LO: کاربری زمین، AA: اسیدی‌سازی آبی، AE: یوتریفیکاسیون

نتیجه‌گیری

مختلف باید منطبق بر اهمیت هر گزینه در منطقه مورد مطالعه صورت گیرد. لحاظ کردن الگوی بهینه به دست آمده در این مطالعه به کشاورزان این امکان را می‌دهد که همزمان با حفظ درآمد اقتصادی، ملاحظات محیطی را نیز برای کاهش اثرات سوء بر اکوسیستم را در الگوی کشت رعایت کنند. بنابراین تعیین الگوی کشت بهینه با تلفیق LCA و MOP در منطقه می‌تواند به عنوان یک رویکرد پایدار در مدیریت اثرات محیطی بر کیفیت اکوسیستم مطرح باشد که ریسک‌های اقتصادی و محیطی را کاهش داده، و در عین حال وضعیت مطلوبی از لحاظ اقتصادی برای منطقه فراهم کند.

سپاسگزاری

این مطالعه در قالب رساله دکتری تخصصی و با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل با پژوهانه شماره ۸-۹۵۱۷ انجام گردید.

در این مطالعه الگوی بهینه برای کشت‌های آبی منطقه شرق لرستان بر اساس تاثیرات شاخص‌های محیطی موثر بر کیفیت اکوسیستم ارزیابی شد. نتایج این مطالعه نشان داد با در نظر گرفتن الگوی MOP بر اساس مسائل اقتصادی و محیطی سطح زیر کشت محصولات آبی کلزا، سیب زمینی، نخود، جو کاهش قابل توجه‌ای داشت. به بیان دیگر برای دستیابی به اهداف کسب حداکثر سود و دریافت حداقل اثرات محیطی بر کیفیت اکوسیستم سطح زیر کشت کلزا، سیب زمینی، نخود، جو و عدس در نظام‌های آبی کاهش و سطح زیر کشت چغندر قند، لوبیا و گندم در سیستم‌های آبی افزایش یابد. مطالعه‌ی شاخص‌های اقتصادی، سمیت اکوسیستم، اسیدی‌سازی، کاربری زمین و یوتریفیکاسیون در الگوی کشت ازنا، الیگودرز و دورود نشان داد که تاکید بر معیارهای مختلف نتایج متفاوتی را در بر دارد. لذا تصمیم‌گیری و استفاده از شاخص‌های

منابع مورد استفاده

- Acosta-Alba I, Chia E and Andrieu, N. 2019. The LCA4CSA framework: Using life cycle assessment to strengthen environmental sustainability analysis of climate smart agriculture options at farm and crop system levels. *Agricultural Systems*, 171: 155-170.
- Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE and Armin M. 2019. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses. *Journal of Cleaner Production* 226: 1051-1066.
- Amiri Z, Asgharipour MR, Campbell DE and Armin M. 2020. Extended exergy analysis (EAA) of two canola farming systems in Khorramabad, Iran. *Agricultural Systems*, 180: 102789.
- Berenger V and Verdier-Chouchane A. 2007. Multidimensional measures of well-being: Standard of living quality of life across countries. *World Development*, 35:1259- 76.
- Biswas A and Pal BB. 2005. Application of fuzzy goal programming technique to land use planning in agricultural system. *Omega*, 33: 391-398.
- Bories C, Barrera NIG, Peydecastaing J, Etxeberria I, Vedrenne E, Garcia CV and Sablayrolles, C. 2018. LCA case study: comparison between independent and coproduction pathways for the production of ethyl and n-butyl acetates. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(2): 251-266.

- Chakraborty M and Gupta S. 2002. Fuzzy mathematical programming for multi objective linear fractional programming problem. *Fuzzy Sets and Systems*, 125(3): 335-342.
- Chiappero ME. 1996. Standard of living evaluation based on Sen's Approach: Some methodological suggestions, *Notizie di Politeia*, 12: 37-53.
- Cooper JM, Butler G and Leifert, C. 2011. Life cycle analysis of greenhouse gas emissions from organic and conventional food production systems, with and without bio-energy options. *NJAS Wagening. Life Sciences*, 58: 185-192.
- Crop I, Nejadhashemi AP, Deb K, Abouali M, Roy PC, Adhikari U and Hoogenboom, G. 2019. A multi-objective approach to water and nutrient efficiency for sustainable agricultural intensification. *Agricultural Systems*, 173: 289-302.
- Delmotte S, Lopez-Ridaura S, Barbier JM and Wery, J. 2013. Prospective and participatory integrated assessment of agricultural systems from farm to regional scales: Comparison of three modeling approaches. *Journal of Environmental Management*, 129: 493-502
- Djomo SN, Witters N, Van Dael M, Gabrielle B, and Ceulemans, R. 2015. Impact of feedstock, land use change, and soil organic carbon on energy and greenhouse gas performance of biomass cogeneration technologies. *Applied Energy*, 154: 122-130.
- El Gafy I, Grigg N and Reagan W. 2017. Water-food-energy nexus index to maximize the economic water and energy productivity in an optimal cropping pattern. *Water international*, 42(4): 495-503.
- Emamzadeh SM, Forghani MA, Karnema A and Darbandi S. 2016. Determining an optimum pattern of mixed planting from organic and non-organic crops with regard to economic and environmental indicators: A case study of cucumber in Kerman, Iran. *Information Processing in Agriculture*, 3(4): 207-214.
- Esmailzadeh S, Asgharipour MR and Khoshnevisan B. 2020. Water footprint and life cycle assessment of edible onion production-A case study in Iran. *Scientia Horticulturae*, 261: 108925.
- Fantin V, Righi S, Rondini I. and Masoni, P. 2017. Environmental assessment of wheat and maize production in an Italian farmers' cooperative. *Journal of cleaner production*, 140: 631-643.
- Figueiredo F, Castanheira ÉG and Freire F. 2017. Life-cycle assessment of irrigated and rainfed sunflower addressing uncertainty and land use change scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 140: 436-444.
- Francisco SR and Ali M. 2006. Resource allocation tradeoffs in Manila's peri-urban vegetable production systems: An application of multiple objective programming. *Agricultural Systems*, 87(2): 147-168.
- Galán-Martín Á, Pozo C, Guillén-Gosálbez G, Antón Vallejo A and Jiménez Esteller, L. 2015. Multi-stage linear programming model for optimizing cropping plan decisions under the new Common Agricultural Policy. *Land Use Policy*, 48: 515-524.
- GAMS/CONOPT3. 2010. Bagsvaerdvej 246A, DK-2880 Bagsvaerd, Denmark: ARKI Consulting and Development.
- Goossens Y, Annaert B, De Tavernier J, Mathijs E, Keulemans W and Geeraerd A. 2017. Life cycle assessment (LCA) for apple orchard production systems including low and high productive years in conventional, integrated and organic farms. *Agricultural Systems*, 15: 81-93.
- Groot JC, Oomen GJ and Rossing WA. 2012. Multi-objective optimization and design of farming systems. *Agricultural Systems*, 110: 63-77.
- Howitt R, Medellin-Azuara J and MacEwan D. 2009. Estimating the economic impacts of agricultural yield related changes for California. Final Paper, A Paper From California Climate Change Center.
- Humbert S, De Schryver A, Margni M and Jolliet, O. 2012. IMPACT 2002+: User Guide. Draft for Version Q. 2.

- IPCC. 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan
- Iran Statistical Yearbook 1396 (Iranian Year), [2017-2018]. (2018). Publisher: Statistical Centre of Iran.
- Jafari M, Asgharipour MR, Ramroudi M, Galavi M and Hadarbadi G. 2018. Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. *Journal of cleaner production*, 193, pp.642-651.
- Jones D and Barnes, E M. 2000. Fuzzy composite programming to combine remote sensing and crop models for decision support in precision crop management. *Agricultural Systems*, 65(3): 137-158.
- Karlsson J O and Rööf, E. 2019. Resource-efficient use of land and animals—Environmental impacts of food systems based on organic cropping and avoided food-feed competition. *Land Use Policy*, 85: 63-72.
- Khoshnevisan B, Bolandnazar E, Shamsirband S, Shariati H M, Anuar NB and Kiah, M L M. 2015. Decreasing environmental impacts of cropping systems using life cycle assessment (LCA) and multi-objective genetic algorithm. *Journal of Cleaner Production*, 86: 67-77.
- Lewis A and Randall, M. 2017. Solving multi-objective water management problems using evolutionary computation. *Journal of Environmental Management*, 204: 179-188.
- Liang L, Lal R, Ridoutt BG, Du Z, Wang D, Wang L and Zhao G. 2018. Life cycle assessment of China's agroecosystems. *Ecological Indicators*, 88: 341-350.
- Lundberg L, Jonson E, Lindgren K, Bryngelsson D and Verendel, V. 2015. A cobweb model of land-use competition between food and bioenergy crops. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 53: 1–14.
- MacWilliam S, Wismer M and Kulshreshtha, S. 2014. Life cycle and economic assessment of Western Canadian pulse systems: the inclusion of pulses in crop rotations. *Agricultural Systems*, 123: 43-53.
- Manos B, Papathanasiou J, Bournaris T, and Voudouris, K. 2010. A multicriteria model for planning agricultural regions within a context of groundwater rational management. *Journal of Environmental Management*, 91:1593- 600.
- Mardani Najafabadi MM, Ziaee S, Nikouei A and Borazjani, MA. 2019. Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. *Agricultural Systems*, 173: 218-232.
- Mosleh Z, Salehi MH, Fasakhodi AA, Jafari A, Mehnatkesh A and Borujeni, IE. 2017. Sustainable allocation of agricultural lands and water resources using suitability analysis and mathematical multi-objective programming. *Geoderma*, 303: 52-59.
- Nemecek T, Dubois D, Huguenin-Elie O and Gaillard, G. 2010. Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agriculture Systems*, 104: 217-232.
- Ness B, Urbel-Piirsalu E, Anderberg S and Olsson, L. 2007. Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological economics*, 60(3): 498-508.
- Nie Y, Avraamidou S, Xiao X, Pistikopoulos EN, Li J, Zeng Y and Zhu M. 2019. A Food-Energy-Water Nexus approach for land use optimization. *Science of the Total Environment*, 659: 7-19.
- Pal BB, Moitra BN and Maulik U. 2003. A goal programming procedure for fuzzy multiobjective linear fractional programming problem. *Fuzzy Sets System*. 139: 395–405.
- Pan Y, Yu Z, Holst J and Doluschitz R. 2014. Integrated assessment of cropping patterns under different policy scenarios in Quzhou County, North China Plain. *Land Use Policy*, 40: 131-139.

- Parsapour S, Soltani S and Shahnoushi, N. 2017. 'Sustainable Management of Water Resources Based on Optimizing of Agricultural, Environmental and Economic Factors Using Multi Objective Linear Fractional Programming Approach: Fariman-Torbat Jam Plain. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(1): 147-163. (In Persian).
- Pedro-Monzonis M, Jimenez-Fernandez P, Solera A and Jimenez-Gavilan, P. 2016. The use of AQUATOOL DSS applied to the System of Environmental- Economic Accounting for Water SEEAW. *Journal of Hydrology*, 533: 1–14.
- Prechsl UE, Wittwer R, van der Heijden MG, Lüscher G, Jeanneret P and Nemecek, T. 2017. Assessing the environmental impacts of cropping systems and cover crops: Life cycle assessment of FAST, a long-term arable farming field experiment. *Agricultural Systems*, 157: 39-50.
- Qureshi MRN, Singh RK and Hasan, MA. 2018. Decision support model to select crop pattern for sustainable agricultural practices using fuzzy MCDM. *Environment, Development and Sustainability*, 20(2): 641-659.
- Rafiee S, Khoshnevisan B, Mohammadi I, Aghbashlo M, Mousazadeh H and Clark, S. 2016. Sustainability evaluation of pasteurized milk production with a Life Cycle Assessment approach: An Iranian case study. *Science of the Total Environment*, 562: 614-627.
- Sahle A and Potting, J. 2013. Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation. *Science of the Total Environment*, 443: 163-172.
- Sanchis FM and Feijoo-Bello, ML. 2009. Climate Change and Its Marginalizing Effect on Agriculture. *Ecological Economics*, 68(3): 896-904.
- Tichenor NE, van Zanten HH, de Boer IJ, Peters CJ, McCarthy, AC and Griffin TS. 2017. Land use efficiency of beef systems in the Northeastern USA from a food supply perspective. *Agricultural Systems*, 156: 34-42.
- Tramberend S, Fischer G, Bruckner M and van Velthuisen, H. 2019. Our Common Cropland: Quantifying Global Agricultural Land Use from a Consumption Perspective. *Ecological Economics*, 157: 332-341.
- Valiante D, Sirtori I, Cossa S, Corengia L, Pedretti M, Cavallaro L, and Boccardelli, A. 2019. Environmental impact of strawberry production in Italy and Switzerland with different cultivation practices. *Science of the Total Environment*, 664: 249-261.
- West J. 2019. Multi-criteria evolutionary algorithm optimization for horticulture crop management. *Agricultural Systems*, 173: 469-481.
- Xie Y, Xia D, Ji L and Huang, G. 2018. An inexact stochastic-fuzzy optimization model for agricultural water allocation and land resources utilization management under considering effective rainfall. *Ecological Indicators*, 92: 301-311
- Xie YL, Xia DX, Ji L and Huang, GH. 2018. An inexact stochastic-fuzzy optimization model for agricultural water allocation and land resources utilization management under considering effective rainfall. *Ecological Indicators*, 92: 301-311.
- Yamane T. 1967. *Elementary Sampling Theory*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall.
- Yue D, Pandya S, You, F. 2016. Integrating hybrid life cycle assessment with multi-objective optimization: a modeling framework, *Environmental Science & Technology*, 50: 1501-1509.