

کاربرد الگوریتم جامعه مورچگان در بهینه‌سازی الگوی کشت (شهداد، شهرستان کرمان)

علی دهقانی، سمیه امیر تیموری، محمدرضا زارع مهرجردی^۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۲

چکیده

بهینه‌سازی الگوی کشت محصول‌های زراعی راهکاری عملیاتی در جهت بهره‌برداری بهینه و کارآمد از آب‌های سطحی و زیرزمینی و حفظ معیشت کشاورزان و امنیت غذایی کشور به‌شمار می‌آید. با توجه به این‌که هدف‌های یاد شده در تضاد با یکدیگر هستند، در تحقیق حاضر با استفاده از قابلیت مسئله کوله‌پشتی باینری در قالب الگوریتم جامعه مورچگان و با هدف افزایش سود ناخالص و کاهش آب مصرفی کشاورزان به تعیین الگوی کشت بهینه در منطقه شهداد پرداخته شد. داده‌های مورد نیاز از طریق توزیع پرسشنامه بین ۱۰۶ نفر از کشاورزان منطقه گردآوری شد. نتایج نشان داد که تغییر الگوی کشت از محصول‌های گندم آبی، جو آبی، سیر و یونجه با سطح زیرکشت ۴۰۸، ۵۰۹، ۶۱۷ و ۱۱۲۴ هکتار به سمت الگوی کشت بهینه، شامل محصول‌های گندم آبی، جو آبی، سیر و یونجه با سطح زیرکشت ۵۸۸، ۴۲۱، ۹۹۸ و ۶۵۱ هکتار، سود ناخالص کشاورزان را بیش از ۲۸۲ درصد، افزایش و مصرف آب را نیز به میزان ۵ درصد، کاهش می‌دهد.

طبقه‌بندی JEL: C02، C61، D61، E21

واژه‌های کلیدی: الگوریتم جامعه مورچگان، الگوی کشت، شهداد کرمان، مسئله کوله‌پشتی باینری.

^۱ به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، استادیار (نویسنده مسئول) و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

مقدمه

آب یکی از منابع طبیعی مهم در سطح جهانی و یکی از نهاده‌های مهم و کمیاب بخش کشاورزی ایران است. بخش کشاورزی در ایران از یک سو مصرف‌کننده عمده‌ی آب شیرین تجدیدشونده است و از سوی دیگر ۱۸ درصد از تولید ناخالص ملی، ۲۵ درصد از اشتغال و ۲۵ درصد از صادرات غیرنفتی را تأمین می‌کند (Tarafdar et al, 2016). بنابراین تخصیص آب آبیاری در الگوی کشت هر منطقه باید از نظر اقتصادی کارآمد باشد. تخصیص کارآمد از نظر اقتصادی به توزیع آب برای به بیشینه رساندن سود اقتصادی گرایش دارد (Shahraki et al, 2016) که می‌توان گفت یکی از سیاست‌های اصلی توسعه اقتصادی پایدار به‌شمار می‌رود؛ چرا که در توسعه اقتصادی پایدار، سیاست‌هایی دنبال می‌شوند که در آن سودمندی‌های مثبت حاصل از آب برای زمان‌های قابل پیش‌بینی در آینده، تداوم داشته باشد (Jafari, 2007).

یکی از هدف‌های محوری فرآیند توسعه اقتصادی در بخش کشاورزی، استفاده بهینه از آب می‌باشد. در این میان سیاست‌های مدیریت عرضه آب، اغلب پرهزینه بوده و تخریب و آلودگی بیشتر منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی را فراهم می‌آورد. از این رو، سیاست‌های مدیریت تقاضای آب ضروری است. هدف اصلی در مدیریت تقاضای آب، مهار (کنترل) تقاضا و بهره‌برداری کارآمد آب است. ابزار اقتصادی در این زمینه شامل روش‌های مدرن در زمینه آبیاری، قیمت‌گذاری آب آبیاری و استفاده از الگوهای کشت بهینه می‌باشند (Tarafdar et al, 2016).

شناسایی الگوی کشت بهینه می‌تواند ضمن حفظ منابع آب به‌صورت پایدار، امکان کسب درآمد بیشتر برای کشاورزان را نیز فراهم سازد (Mirzaie et al, 2015). بنابراین، یکی از مهم‌ترین عامل‌ها در کسب بیشترین سود اقتصادی، برنامه‌ریزی برای انتخاب نوع و ترکیب کشت محصول‌های زراعی با توجه به محدودیت‌های موجود در یک منطقه است. در واقع تعیین الگوی کشت بهینه، از مهم‌ترین تصمیم‌های پیش روی کشاورزان است تا با استفاده از یک الگوی خاص، سود حاصل از مصرف میزان معینی از نهاده‌ها را بیشینه کنند (Di Falco et al, 2007).

بهینه‌سازی روشی است که به‌وسیله آن بهترین پاسخ ممکن برای یک مسئله با توجه به هدف و محدودیت‌های موجود تعیین می‌شود. روش‌های چندی مانند برنامه‌ریزی خطی، غیرخطی و پویا و همچنین روش‌های کلاسیک مانند ضریب لاگرانژ که روش‌های قطعی هستند، به محض رسیدن به نخستین نقطه بهینه موضعی متوقف می‌شوند و توانایی خروج از این نقطه و حرکت به نقطه‌ی بهینه‌تر را ندارند؛ برای رفع این مشکل، پژوهشگران به روش‌های فراابتکاری روی آورده‌اند که

کاربرد الگوریتم جامعه... ۸۹

می‌توان به روش‌هایی مانند شبکه‌های عصبی^۱، الگوریتم‌های تصادفی مانند الگوریتم ژنتیک^۲ (GA)، الگوریتم جستجوی ممنوعه^۳ (TS) و الگوریتم بهینه‌ساز مورچگان^۴ (ACO) اشاره کرد. این روش‌ها مجموعه‌ای از نقطه‌ها را در فضای تصمیم در نظر گرفته و در جهت‌های مختلف برای پیدا کردن پاسخ بهینه مدل حرکت می‌کنند (Mirzaie et al, 2015).

در این زمینه، (Afshar et al, 2015) در پژوهش خود به طراحی حوضچه‌های بازداشت در حوضه‌های آبریز با استفاده از الگوریتم بهینه‌ساز جامعه مورچگان چندهدفه و مدل SWAT پرداختند. الگوریتم مورچگان به آن‌ها کمک کرد تا راه‌حل بهینه برای حل تضاد بین ساخت حوضچه‌های بزرگ برای مهار و مدیریت حجم بالاتری از رسوب‌ها و هزینه بالای ساخت این حوضچه‌ها را بیابند. نتایج نشان داد استفاده از روش یاد شده مدیران را در اتخاذ راهکار مناسب برای مهار و مدیریت کیفیت رواناب خروجی از حوضه‌ی آبریز، یاری خواهد کرد. (Mirzaie et al, 2015) در پژوهشی به تعیین الگوی کشت بهینه با روش بیشینه - کمینه (MMAS) جامعه مورچگان در شبکه آبیاری و زهکشی سد گلستان پرداختند. آنان الگوی کشت بهینه در این شبکه را با هدف ایجاد بیشترین سود برای کشاورزان منطقه، تعیین کردند. نتایج نشان داد که الگوی کشت کنونی بهینه نبوده و با اجرای الگوی کشت پیشنهادی، سود حاصل به ازای هر هکتار زمین کشت شده در کشت پاییزه و تابستانه افزایش می‌یابد. (SaeedSabaee et al, 2016) با هدف کاهش هزینه تخصیص سرزمین به هر کاربری و افزایش تراکم و پیوستگی منطقه‌های اختصاص یافته به آن‌ها، به چگونگی ساماندهی چهار کاربری کشاورزی، جنگل، مرتع، توسعه و اولویت‌بندی آن‌ها در شهرستان گرگان، پرداختند. بدین منظور از دو مدل برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم جامعه مورچگان استفاده کردند. نتایج نشان داد که تفاوت مقادیر هزینه، تراکم و پیوستگی در نتایج دو مدل پس از استانداردسازی، به ترتیب ۰/۰۳، ۰/۱ و ۰/۰۷ است و الگوریتم ترکیبی، بهینه‌تر عمل کرده است. (Shahraki et al, 2019) در تحقیقی با هدف تخصیص بهینه‌ی منابع آب مخزن‌های چاه نیمه، در منطقه سیستان از الگوریتم فراابتکاری جامعه مورچگان استفاده کردند. نتایج نشان داد به تدریج با توسعه کشاورزی در منطقه، میزان تقاضای آب افزایش می‌یابد و افزایش حقابه‌ی ایران از افغانستان را به عنوان راهکاری برای رفع مشکلات ناشی از خشکسالی در منطقه بیان کردند. (Bakhtiari et al, 2011) با هدف بهینه‌سازی عملیات زراعی در قالب به

¹ Neural Networks

² Genetic Algorithm

³ Tabu Search

⁴ Ant Colony Optimization

کمترین رساندن زمان کشت توسط ماشین‌ها و ادوات کشاورزی و مصرف سوخت آن‌ها از بهینه‌سازی جامعه مورچگان استفاده کردند. نتایج نشان داد که می‌توان با محاسبه الگوهای بهینه کار میدانی برای ماشین‌ها و ادوات کشاورزی باعث به کمترین رساندن زمان حرکت در زمان کشت و همچنین حمل و نقل آن‌ها شد که این عمل باعث بهبود قابل توجه بازده (راندمان) ماشین‌ها و ادوات کشاورزی می‌شود. (Nguzen et al, 2016) با استفاده از الگوریتم بهبودیافته مورچگان در منطقه لوکسون در استرالیا، جنوبی به تخصیص بهینه آب آبیاری محصول‌های زراعی با توجه به قید در دسترس بودن پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از این روش، توانایی شناسایی راه‌حل‌های بهینه در همه مرحله‌ها را افزایش و زمان محاسبات برای رسیدن به پاسخ‌های بهینه را کاهش می‌دهد. (Zhang et al, 2019) در پژوهشی با هدف تعیین موج‌های فرو قرمز حساس به نیتروژن خاک و افزایش دقت تشخیص، از ترکیب الگوریتم بهینه‌ساز جامعه مورچگان (ACO) و الگوریتم اطلاعات مقابل (MI) استفاده کردند. نتایج، هشت طول موج حساس را به روش ACO-MI انتخاب کرد که توانایی پیش‌بینی در برآورد محتوای TN خاک را با سازوکار (مکانیزم) بسیار خوبی به انجام رساند.

با توجه به نتایج بررسی‌های یاد شده می‌توان گفت که الگوریتم فراابتکاری جامعه مورچگان با توجه به قابلیت آن در بهینه‌سازی، ابزار مناسبی برای شناسایی الگوی کشت بهینه کشاورزان خواهد بود.

شهداد بزرگ‌ترین بخش شهرستان کرمان و یکی از منطقه‌های مستعد برای تولید محصول‌های کشاورزی است. محصول‌های زراعی این بخش، ۲۸۶۸ هکتار و محصول‌های باغی ۳۹۲۴ هکتار از زمین‌های کشاورزی منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. بیش از ۹۲ درصد سطح زیرکشت محصول‌های زراعی منطقه به چهار محصول یونجه با ۱۱۲۴ هکتار، سیر با ۶۱۷ هکتار، جو آبی با ۵۰۹ هکتار و گندم آبی با ۴۰۹ هکتار اختصاص یافته است؛ به طوری که محصول‌های یونجه و سیر به ترتیب با ۳۹/۱۹ و ۲۱/۵۲ درصد سطح زیرکشت، بیشترین سهم را در الگوی کشت منطقه به خود اختصاص داده‌اند. افزون بر این، محصول‌های جو آبی و گندم آبی به ترتیب با ۱۷/۷۵ و ۱۴/۲۳ درصد سطح زیرکشت، اولویت‌های سوم و چهارم کشاورزان بخش شهداد می‌باشند. مجموع آب قابل برنامه‌ریزی در منطقه شهداد برای فعالیت‌های کشاورزی، حدود ۸۵/۲۴۰ میلیون مترمکعب می‌باشد که حاصل از ۱۷۷ چاه عمیق و ۲۲ چاه نیمه‌عمیق، ۴۶ قنات دایر و ۸ رودخانه‌ی فصلی است (Shahdad County Agricultural Jihad Center, 2018). برای جلوگیری

کاربرد الگوریتم جامعه... ۹۱

از هدررفت آب آبیاری در دسترس و مبارزه با چالش کم‌آبی و همچنین حفظ و ارتقای سودناخالص کشاورزان منطقه شهداد، اتخاذ سیاست‌ها و راهبردهای کوتاه‌مدت و بلندمدت که از ابزار مدیریت کارآمد منابع آب می‌باشد؛ ضروری بوده تا با تخصیص آن بین کاربردهایی که بالاترین بازده نهایی را تولید می‌کنند، موجب بهبود مدیریت آب کشاورزی در این بخش شده و توازن بین عرضه و تقاضای آن را برقرار کرد (Dehghani, 2018). بنابراین، تحقیق حاضر به شناسایی الگوی کشت بهینه در این منطقه با هدف بهینه‌سازی سود ناخالص و کاهش آب مصرفی کشاورزان پرداخته است. با توجه به متضاد بودن هدف‌های این پژوهش، از پیاده‌سازی مسئله کوله‌پشتی بر مبنای شاخص‌های کیفیت باینری برای هدایت جستجوی مورچه‌های مصنوعی در قالب الگوریتم جامعه مورچگان استفاده شد.

مواد و روش‌ها

مسئله کوله‌پشتی جزء مسئله‌های بهینه‌سازی گسسته به‌شمار آمده و کاربردهای بسیاری در زمینه‌ی تحقیق در عملیات و ریاضیات کاربردی دارد. بنابراین می‌تواند در مبحث بهینه‌سازی الگوی کشت نیز به‌کار گرفته شود. از این‌رو در پژوهش حاضر از قابلیت مدل فراابتکاری جامعه مورچگان مبتنی بر مسئله کوله‌پشتی باینری برای دستیابی به الگوی کشت بهینه با هدف بهینه‌سازی سودناخالص با کمترین استفاده از منابع آب در دسترس کشاورزان بخش شهداد استفاده شد. بدین منظور در مرحله اول، به بازسازی الگوریتم جامعه مورچگان مبتنی بر مسئله کوله‌پشتی پرداخته شد. به این صورت که پس از اعمال تغییرهای ساختاری مانند اضافه کردن تابع هدف برای بهینه‌سازی بازده خالص با توجه به محدودیت منابع آب در دسترس، اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه بازده خالص و میزان آب مصرفی در اختیار مسئله قرار گرفت. در مرحله دوم، اطلاعات مربوط به الگوی کشت مشاهده‌شده و الگوی کشت بهینه در قالب تابع هدف غیرخطی، مقایسه شدند. در ادامه، به توضیح دو مرحله تحقیق پرداخته شده است.

مرحله اول: بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان

مبتنی بر مسئله کوله‌پشتی باینری^۱

در دنیای واقعی، مسئله‌های بسیاری مربوط به بهینه‌سازی هستند که به‌طور معمول با هم در تناقض می‌باشند. در این زمینه، یکی از مسئله‌هایی که به‌طور گسترده در علوم مختلف مورد

^۱ Ant Colony Optimization Based on Binary Knapsack

بررسی قرار گرفته است، مسئله کوله‌پشتی باینری است. این مسئله متشکل از زیرمجموعه‌ای از متغیرها (آیتم‌ها) به‌منظور بیشینه کردن یک تابع هدف با توجه به مجموعه‌ای از قیدهای متفاوت، ارائه شده است (Mansour & Alaya, 2015). در این پژوهش به‌منظور شناسایی الگوی کشت بهینه از این مسئله با هدف بیشینه‌سازی مجموع بازده خالص حاصل از کشت چهار محصول عمده زراعی منطقه شهداد با اعمال قید کمترین میزان آب مصرفی در منطقه، استفاده شد. بازده خالص حاصل از کشت هر هکتار محصول‌های زراعی، با کسر مجموع حاصل‌ضرب هزینه‌ی نهاده‌های مصرفی در ضریب‌های لئونتیف آن‌ها برای یک محصول از حاصل‌ضرب قیمت در عملکرد آن محصول به‌دست آمد. ضریب‌های لئونتیف (a_{ji}) نسبت استفاده هر عامل تولید به زمین را نشان می‌دهند و از رابطه زیر به‌دست می‌آیند.

$$a_{ji} = \frac{\tilde{x}_i}{\tilde{x}_{i, Land}} \quad (1)$$

در واقع a_{ji} ، بیانگر ضریب‌های فنی منبع‌های مورد استفاده در منطقه می‌باشد (Howitt et al., 2012). تابع هدف و محدودیت مورد نظر در مسئله کوله‌پشتی باینری به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\text{Maximize } \sum_{j=1}^n v_j \cdot x_j \quad (2)$$

$$\text{Subject to} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j \cdot x_j \leq W_{Base}$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad j = 1, \dots, n \quad (4)$$

که n شمار متغیرها یا محصول‌ها، v_j ارزش متغیرها یا بازده خالص محصول‌ها، x_j متغیر تصمیم که مقدار آن صفر یا یک است، w_j وزن هر متغیر یا میزان آب مصرفی محصول‌ها و W_{Base} وزن نامی یا بیشینه آب مصرفی است که مجموع وزن متغیرها نباید بیشتر از آن باشد (ManSour & Alaya, 2015).

الگوریتم جامعه مورچگان (ACO) یک الگوریتم فراابتکاری است که از رفتار مورچه‌های واقعی الهام گرفته است. این الگوریتم توسط دوریگو (۱۹۹۱) برای مسئله فروشنده دوره‌گرد پیشنهاد شد. دیدگاه اصلی این الگوریتم استفاده از مورچه‌های مصنوعی برای یافتن مسیری با کمترین هزینه در قالب یک نگاره (گراف) است. در این الگوریتم، یک مورچه با یک راه‌حل تهی آغاز به

کاربرد الگوریتم جامعه... ۹۳

حرکت کرده و آنگاه با توجه به احتمالاتی که به ردپای فرومون (وزنی که با توجه به میزان ترشح‌های فرومون، به مسیرهای انتخابی داده می‌شود. در این حالت کوتاه‌ترین مسیر، مسیری با بیشترین فرومون‌ریزی است) و اطلاعات اکتشافی^۱ مسئله بستگی دارد، به صورت تکراری اجزای راه‌حل را اضافه می‌کند. پس از انتخاب راه‌حل‌ها، به‌روزرسانی فرومون که بر مبنای تبخیر یا تجمع فرومون‌ها می‌باشد، انجام می‌شود. بنابراین به مورچه‌های بعدی این آگاهی داده می‌شود که در تکرار بعدی جذب کدام مسیر شوند (ManSour & Alaya, 2015). الگوریتم فراابتکاری ACO به‌طور موفقیت‌آمیزی در مسئله‌های بهینه‌سازی از جمله تخصیص، مسیریابی وسایل نقلیه و مسئله کوله‌پشتی اعمال شده است. برابر رابطه ۵، در الگوریتم ACO، هر مورچه برای عبور از یک مسیر تصادفی در هر تکرار، از تابع احتمالی استفاده می‌کند که احتمال آن که مورچه n ام در لحظه t ، مقصد (i, j) را انتخاب کند را مشخص می‌کند. این احتمال تابعی از فرومون ریخته شده در مسیر به‌وسیله مورچه‌ی منتخب (τ_{ij}) و اطلاعات اکتشافی یا بیرونی (η_{ij}) که توسط کاربر تعیین می‌شود، می‌باشد. $N(S)$ مجموعه‌ای است که تا به حال توسط مورچه‌ها انتخاب نشده‌اند و (i, l) مسیرهایی هستند که هنوز بازدید نشده‌اند (Dorigo et al, 2006).

$$P_{ij}^n = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij})^\alpha \cdot (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{c_{il} \in N(S)} (\tau_{il})^\alpha \cdot (\eta_{il})^\beta} & \text{if } c_{ij} \in N(S) \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

α و β دو فراسنجه‌ای (پارامتری) هستند که اهمیت نسبی عامل فرومون و عامل اکتشافی یا بیرونی را تعیین می‌کنند. عامل اکتشافی، اطلاعات بیرونی مسئله است که در واقع میدان دید مورچه در فضای مسئله می‌باشد و توسط کاربر تعیین می‌شود (Mirzaie et al, 2015). اطلاعات اکتشافی یا بیرونی توسط رابطه ۶، محاسبه می‌شود که نسبت عکس فاصله هر مسیر را برای هر مقدار ثابت فرومون محاسبه می‌کند. هر چه طول مسیر کوتاه‌تر باشد، تأثیر این رابطه بیشتر خواهد بود.

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (6)$$

¹ Heuristic Information

به روزرسانی فرمون‌ها توسط تابع‌هایی انجام می‌شود که به تبخیر فرمون^۱ در مسیر نادرست و افزایش مقدار فرمون در مسیر مناسب، می‌پردازد. بنابراین ردپای فرمون برابر رابطه ۷ (مرحله تبخیر فرمون) و رابطه ۸ (مرحله افزایش فرمون)، به روزرسانی می‌شود.

$$\tau_{ij}(t) \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) \quad (۷)$$

$$\tau_{ij}(t + 1) \leftarrow \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t) \quad (۸)$$

در رابطه ۷، ρ عامل تبخیر است و به صورت $0 < \rho < 1$ تعریف می‌شود. همچنین $\Delta\tau_{ij}(t)$ در رابطه ۸، یک مقدار به روزرسانی شده است؛ این مقدار در صورتی که مسیر مربوطه توسط مورچه طی نشده باشد، برابر صفر خواهد بود. بنابراین تبخیر فرمون و یا تقویت آن در یک مسیر، در این مرحله رخ می‌دهد (Dorigo et al, 1996).

مرحله دوم: بیان تابع هدف غیر خطی

در این مرحله تابع هدف غیر خطی زیر برای بیشینه‌سازی سود ناخالص با توجه به محدودیت‌های موجود در منطقه استفاده شده است.

$$MAX \Pi = \sum_{i=1}^4 p_i Y_i - \sum_{i=1}^4 TC_i(x_{i,land}) - \sum_{i=1}^4 \sum_{j \neq land}^4 (C_{ij} x_{ij}) \quad (۹)$$

$$\text{Subject to} \quad (۱۰)$$

$$\sum_{i=1}^4 x_i \leq A_r \quad (۱۱)$$

$$\sum_{i=1}^4 w_i x_i \leq W_r \quad (۱۲)$$

$$\sum_{i=1}^4 k_i x_i \leq TK_r \quad (۱۳)$$

$$\sum_{i=1}^4 La_i \cdot x_i \leq TLa_r \quad (۱۴)$$

$$x_i \geq 0$$

^۱ Pheromone Evaporation

کاربرد الگوریتم جامعه... ۹۵

این تابع شامل قیمت محصولها (p_i) ، Y_i که تابع تولید محصول i می‌باشد (تابع تولید CES)، تابع هزینه درجه دو نهاده‌ی زمین برای محصول i و هزینه‌ی نهاده‌های آب، نیروی کار و دیگر عامل‌های تولید برای محصول i (G_{ij}) است. تابع تولید CES این امکان را ایجاد می‌کند که یک نرخ جانشینی ثابت بین نهاده‌های تولید با ضریب‌های لئونتیف (با نسبتی ثابت) و ضریب‌های تابع کاب داگلاس (با جایگزینی واحد) به وجود آید. استفاده از شکل غیرخطی تابع هزینه نسبت به فرم خطی آن، امکان حل مسئله‌های پیچیده را که حتی با روش‌های اقتصادسنجی قابل حل نیستند، به وجود می‌آورد. به طور کلی، عمومیت کاربرد تابع هزینه غیرخطی در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی افزون بر ویژگی برآورد به نسبت آسان فراسنجه‌های آن، این است که برای هر سطح فعالیت مورد نظر، قابلیت محاسبه و برآورد جداگانه را دارد.

رابطه‌ی (۱۰)، محدودیت سطح زیرکشت است. رابطه‌ی (۱۱)، محدودیت نهاده‌ی آب می‌باشد که در آن w_i ، نیاز آبی محصول i (بر حسب مترمکعب در هکتار) و W_r ، کل آب در دسترس منطقه است. رابطه‌ی (۱۲)، بیانگر محدودیت دیگر عامل‌های تولید است که در آن k_i ، ضریب فنی این عامل‌ها در واحد سطح محصول i و Tk_r ، کل عامل‌های تولید (مجموع نهاده‌های بذر، کود و سم) قابل دسترس در منطقه‌ی مورد بررسی می‌باشد. رابطه‌ی (۱۳)، محدودیت نیروی کار را نشان می‌دهد که در آن، La_i ، نیروی کار مورد نیاز در تولید محصول i (بر حسب نفر ساعت در هکتار) و Tla_r ، کل نیروی کار در دسترس در منطقه مورد بررسی است. رابطه (۱۴)، بیانگر غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها است (Howitt et al, 2012).

داده‌های مورد نیاز برای سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و از بین ۴۵۰ نفر از کشاورزان منطقه شه‌داد به‌عنوان جامعه آماری که به‌طور همزمان چهار محصول عمده (یونجه، سیر، گندم آبی و جو آبی) را کشت می‌کنند، گردآوری شد. با استفاده از فرمول کوکران، ۱۰۶ نفر از کشاورزان برای مصاحبه حضوری و گردآوری پرسشنامه با روش نمونه‌گیری تصادفی ساده، انتخاب و داده‌های مورد نیاز شامل سطح زیرکشت، میزان عملکرد، میزان و هزینه‌ی آب مصرفی و هزینه‌های تولید محصولات منتخب گردآوری شدند. داده‌های تکمیلی (میزان منابع آب در دسترس و قیمت منطقه‌ای محصول‌های منتخب) با مراجعه‌ی مستقیم به مرکزهای ذی‌ربط در شهرستان کرمان و بخش شه‌داد گردآوری شد. الگوریتم ACO در محیط نرم افزار MATLAB، نسخه ۹/۵ و تابع هدف غیرخطی در نرم‌افزار GAMS، نسخه‌ی ۲۴/۷ پیاده‌سازی شد.

نتایج و بحث

اطلاعات مربوط به چهار محصول زراعی عمده بخش شهداد برای سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در جدول ۱ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، محصول یونجه، بیشترین سطح زیرکشت منطقه را به خود اختصاص داده؛ در حالی که میزان آب مصرفی این محصول نیز بیشتر از سایر محصولات است.

جدول (۱) اطلاعات مربوط به الگوی کشت مشاهده شده بخش شهداد در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵
Table 1. Information on Observed Cropping Pattern in Shahdad County in 2016-17

محصول‌های منتخب در الگوی کشت مشاهده شده Selected Crops in the Observed Cropping pattern				مشخصات Specifications
یونجه Alfalfa	سیر Garlic	گندم آبی Irrigated Wheat	جو آبی Irrigated Barley	
1124	617	408	509	سطح زیرکشت (هکتار) Areas under cultivation
25770	17324	3985	3114	میانگین عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Average yield (Kg / Ha)
13104	11970	4032	3528	آب مصرفی محصول (مترمکعب در هکتار) Consuming water (m ³ / Ha)
11770	7610	1530	1280	نیاز آبی محصول (مترمکعب در هکتار) Water requirement (m ³ / Ha)
2026	2052	312	304	نیروی کار (نفر-ساعت) Labor (Man-Hour)
658	1907	567	540	دیگر عامل‌های تولید (کیلوگرم در هکتار) Other inputs (Kg / ha)
8000	11000	13000	12000	قیمت (ریال) Price (Rials)

منبع: پرسشنامه، مرکز جهاد کشاورزی بخش شهداد و نرم افزار NETWAT
 Source: Questionnaire, Shahdad County Agricultural Jihad Center and NETWAT Software.

فراسنجه‌های مورد نیاز در الگوریتم جامعه مورچگان به صورت زیر تعریف شد (جدول ۲). این فراسنجه‌ها، عملکرد مدل، همگرایی و کیفیت پاسخ‌های به دست آمده را تعیین می‌کنند. مقادیر یاد شده با آزمون و خطا به دست آمدند. در تحقیق حاضر، بیشینه شمار تکرار بدون مشاهده بهبود خاصی در نتیجه، به عنوان فراسنجه خاتمه الگوریتم استفاده شد.

کاربرد الگوریتم جامعه... ۹۷

جدول (۲) فراسنجه‌های مورد استفاده در الگوریتم جامعه مورچگان

Table 2. Parameters Used in Algorithm Ant Colony Optimization

τ_0	ρ	β	α	تعداد مورچه‌ها Number of ants	تعداد تکرار Number of repetitions
1	0/05	0/1	1	60	400

Source: Research Findings

منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به نتایج بهینه‌سازی حاصل از الگوریتم ACO، سطح زیرکشت محصول‌های زراعی جو آبی، گندم آبی، سیر و یونجه، به ترتیب از ۵۰۹، ۴۰۸، ۶۱۷ و ۱۱۲۴ هکتار در الگوی کشت مشاهده شده به ۴۲۱، ۵۸۸، ۹۹۸ و ۶۵۱ هکتار در الگوی کشت بهینه تغییر یافتند (جدول ۳).

جدول (۳) نتایج به دست آمده از بهینه‌سازی الگوریتم ACO مبتنی بر مسئله کوله‌پشتی باینری

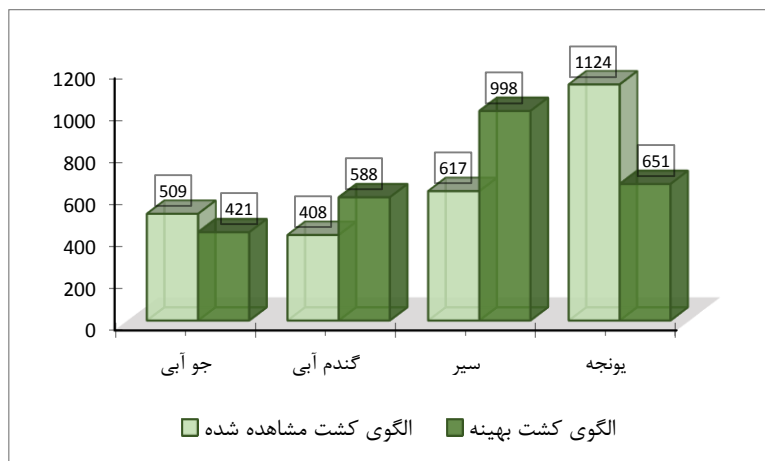
Table 3. Results of Algorithm Ant Colony Optimization Based on Binary Knapsack Problem

محصول‌ها Crops				مشخصات Specifications
یونجه Alfalfa	سیر Garlic	گندم آبی Irrigated Wheat	جو آبی Irrigated Barley	
1124	617	408	509	سطح زیرکشت در الگوی کشت مشاهده شده (هکتار) Areas under cultivation in the observed cropping pattern
651	998	588	421	سطح زیرکشت در الگوی کشت بهینه (هکتار) Areas under cultivation in the optimized cropping pattern

Source: Research Findings

منبع: یافته‌های تحقیق

ملاحظه می‌شود که بیشترین و کمترین سطح زیرکشت در الگوی بهینه، به ترتیب به کشت و تولید محصول‌های سیر و جو آبی اختصاص یافته است. این در حالی است که در الگوی کشت مشاهده شده، بیشترین سطح زیرکشت متعلق به محصول یونجه و کمترین سطح زیرکشت به محصول گندم اختصاص دارد (جدول ۳ و نمودار ۱).



نمودار (۱) مقایسه الگوی کشت مشاهده شده و الگوی کشت بهینه

Figure (1) Comparison of observed cropping pattern and optimized cropping pattern

پس از تعیین الگوی کشت بهینه، اطلاعات آن با الگوی کشت مشاهده شده در قالب تابع هدف غیرخطی مورد مقایسه قرار گرفت. همان طور که جدول ۴ نشان می دهد، به رغم این که بازده خالص دو محصول یونجه و جو آبی به ترتیب به ۵۸/۱۶ و ۳۲/۸۰ درصد نسبت به الگوی کشت مشاهده شده، کاهش پیدا کرده است؛ اما مجموع بازده خالص الگوی بهینه نسبت به الگوی کشت مشاهده شده، ۲۳/۴۲ درصد افزایش یافته است.

جدول (۴) بازده خالص محصول ها در الگوی کشت مشاهده شده و الگوی کشت بهینه

Table 4. Crops Net Return in the Observed Cropping Pattern and Optimized Cropping Pattern

تغییرپذیری های بازده خالص (درصد) Net return changes (Percent)	بازده خالص بهینه (هزارریال) Optimized net return (Thousand Rials)	بازده خالص مشاهده شده (هزارریال) Observed net return (Thousand Rials)	محصول ها Crops
-32/80	6515059/2	9694363/1	جو آبی Irrigated Barley
81/01	18152967/6	10568179/2	گندم آبی Irrigated Wheat
144/93	181338795/6	74037778/8	سیر Garlic
-58/16	46464669/3	111048952	یونجه Alfalfa
23/42	252471491/7	205349273/1	مجموع Sum

Source: Research Findings

منبع: یافته های تحقیق

کاربرد الگوریتم جامعه... ۹۹

همچنین سود ناخالص مدل با ۲۸۲/۹۶ درصد افزایش از ۲۰۱/۵۹ میلیارد ریال در الگوی کشت مشاهده شده به ۷۷۲ میلیارد ریال در الگوی کشت بهینه خواهد رسید که افزایش چشم‌گیری می‌باشد (جدول ۵).

جدول (۵) سود ناخالص در الگوی کشت مشاهده شده و الگوی کشت بهینه
Table 5. Gross Profit in the Observed Cropping Pattern and Optimized Cropping Pattern

تغییرپذیری‌های سود ناخالص (درصد) Gross profit changes (Percent)	سود ناخالص الگوی کشت بهینه (هزارریال) Gross profit of optimized cropping pattern (Thousand Rials)	سود ناخالص الگوی کشت مشاهده شده (هزارریال) Gross profit of observed cropping pattern (Thousand Rials)
282/96	772001056	201589959

Source: Research Findings

منبع: یافته‌های تحقیق

همچنین آب مصرفی کشاورزان منطقه در الگوی کشت مشاهده شده، ۲۵/۵۶ میلیون مترمکعب و در الگوی کشت بهینه، ۲۴/۳۳ میلیون مترمکعب می‌باشد که با اعمال الگوی کشت بهینه، به میزان ۱/۲۲ میلیون مترمکعب در مصرف آب کشاورزی منطقه، صرفه‌جویی خواهد شد (جدول ۶).

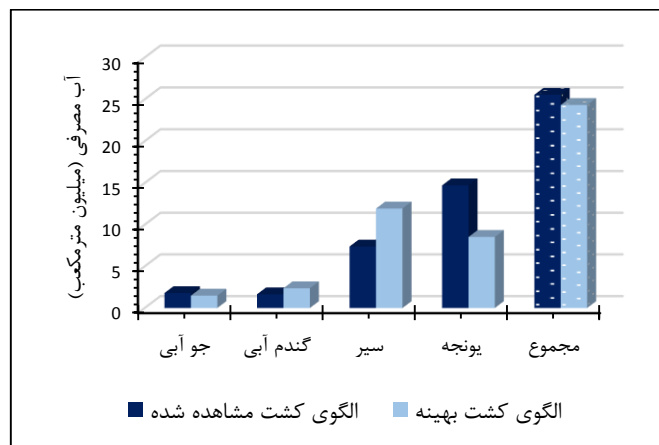
جدول (۶) آب مصرفی در الگوی کشت مشاهده شده و الگوی کشت بهینه
Table 6. Consuming Water in the Observed Cropping Pattern and Optimized Cropping Pattern

کاهش آب مصرفی (درصد) Consuming water reduction (Percent)	کاهش آب مصرفی (مترمکعب) Consuming water reduction (Cubic Meter)	آب مصرفی الگوی کشت بهینه (مترمکعب) Consuming water optimized cropping pattern (Cubic Meter)	آب مصرفی الگوی کشت مشاهده شده (مترمکعب) Consuming water observed cropping pattern (Cubic Meter)
5	1222326	24332868	25555194

Source: Research Findings

منبع: یافته‌های تحقیق

با مقایسه آب مصرفی محصول‌های مختلف در دو الگوی کشت مشاهده شده و الگوی کشت بهینه، ملاحظه می‌شود که کاهش کشت محصول یونجه، بیشترین صرفه‌جویی در مصرف آب را به همراه داشته است و به‌رغم این که محصول سیر و گندم در الگوی کشت بهینه، آب بیشتری مصرف کرده‌اند؛ مجموع آب مصرفی الگوی کشت بهینه کمتر از آب مصرفی در الگوی کشت مشاهده شده است (نمودار ۲).



نمودار (۲) مقایسه آب مصرفی محصولات در الگوی کشت مشاهده شده و الگوی کشت بهینه
Figure (2) Comparison of water consumption of crops with observed cropping pattern and optimized cropping pattern

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تعیین الگوی کشت بهینه با هدف کسب بیشترین سود از مصرف میزان معینی از نهاده‌ها، یکی از مهم‌ترین تصمیم‌هایی است که در حوزه مدیریت کشاورزی مطرح است. اهمیت بهینه‌سازی الگوی کشت، آن‌جا آشکار می‌شود که مصرف بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی کشور در عملیات کشاورزی، افزون بر ایجاد بحران‌های اقتصادی و فنی در سفره‌های آب زیرزمینی، موجب کاهش سطح معیشتی کشاورزان نیز شده است. بنابراین، تحقیق حاضر تلاش کرده با معرفی الگوی کشت بهینه در منطقه شهداد، افزون بر کاهش مصرف آب، وضعیت معیشتی کشاورزان را از طریق افزایش سود ناخالص، بهبود بخشد. در همین راستا، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که الگوی کشت کنونی، بهینه نمی‌باشد. نتایج بهینه‌سازی نشان داد الگوی پیشنهادی افزون بر صرفه‌جویی ۵ درصدی در مصرف آب که معادل ۱/۲۲ میلیون مترمکعب می‌باشد، سود ناخالص کشاورزان را به میزان ۲۸۲/۹۶ درصد، افزایش می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت الگوی پیشنهادی، همزمان دو هدف کاهش مصرف آب و بهبود سطح معیشت کشاورزان را محقق می‌کند. بنابراین تأکید می‌شود الگوی کشت منطقه بر مبنای الگوی پیشنهادی تغییر کند تا افزون بر کاهش مصرف آب، سود ناخالص کشاورزان منطقه نیز افزایش یابد.

منابع

- Afshar, A., Emami Skardi, M. and Jeirani, F. (2015). Pond Designing Optimization Using Multi-Objective Ant Colony Algorithm and SWAT Model, *Journal of Environmental Science and Technology*. 1: 133-148. (In Farsi)
- Bakhtiari, A.A., Navid, H., Mehri, J. and Bochtis, D.D. (2011). Optimal route planning of agricultural field operations using ant colony optimization, *Agricultural Engineering International : The CIGR e-journal*. 9:1-16.
- Dehghani, A. (2018). Effects of Pricing and Non-Price Policies of Irrigation Water on Cropping Pattern and Gross Profit of Farmers in Shahdad County (Kerman City), *Master's thesis in Agricultural Economics Shahid Bahonar University of Kerman*. (In Farsi)
- Di Falco, S., Chavas, J. P. and Smale, M. (2007). Farmer Management of Production Risk on Degraded Lands: The Role of Wheat Variaty Diversity In The Tigray Region, *Ethiopia, Agriculyural Economics*. 36: 147-156.
- Dorigo, M., Birattari, M. and Stiitzle, T. (2006). Ant Colony Optimization, *IEEE Computational Intelligence Magazine*. 15: 28-39.
- Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colorni, A. (1996). The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B*. 26: 29-41.
- Howitt, R.E., Medellin-Azuara, J., MacEwan, D. and Lund, R. (2012). Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management, *Science of the Environmental Modeling and Software*. 38: 244-258.
- Jafari, S.A. (2007). The Value and Cost of Water: A Case Study of Alavian, *Iran-Water Resources Research*. 2.3:1-12. (In Farsi)
- Mansour, I.B. and Alaya, I. (2015). Indicator Based Ant Colony Optimization for Multi-Objective Knapsack Problem, *Procedia Computer Science*. 60:448-457.
- Mirzaie, Sh., Zakerinia, M., Sharifan, H. and Shahabifar, M. (2015). The Determination of Optimal Crop Pattern with Max-min Ant System method (Case Study: Golestan Dam Irrigation and Drainage network), *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 1: 66-74. (In Farsi)
- Nguzen, D.C.H., Dandy, G.C., Maier, H.R. and Ascough, J.C. (2016). Improved Ant Colony Optimization for Optimal Crop and Irrigation Water Allocation by Incorporating Domain Knowledge, *Journal of Water Resources Planning and Management*. 10:1-37.
- SaeedSabaee, M., SalmanMahiny, R., Shahraini, S.M., Mirkarimi, S.H. and Dabiri, N. (2016). Application of a Hybrid Linear Programming and Ant Colony Metaheuristic with Aid of GIS to Land Use Allocation, *Journal of Remote Sending & GIS*. 1:109-126. (In Farsi)
- Shahraki, J., SardarShahraki, A. and Nouri, S. (2019). Application of Met heuristic Algorithm of Ant Colony Optimization in Optimal Allocation of Water

- Resources of Chah-Nime of Sistan under Managerial Scenarios, *Journal of Ecohydrology*. 4:1063-1078. (In Farsi)
- Tarafdar, M., Askari, M.M. and Grigoorian, K. (2016). Productivity Promotion in Agricultural Sector of Iran via Increasing in Irrigation Water Price (Case Study of Kashan Region), *Quarterly Journal of Economic Growth and Development Research*. 23:73-88. (In Farsi)
- Zhang, Y., Li, M., Zheng, L., Qin, Q. and Lee, W.S. (2019). Spectral features extraction for estimation of soil total nitrogen content based on modified ant colony optimization algorithm, *journal Geoderma*. 333:23-34.



Application of Ant Colony Algorithm for Cropping Pattern Optimization (Shahdad, Kerman City)

Ali Dehghani, Somayeh Amirtaimoori, Mohammad Reza Zare Mehrjerdi¹

Received: 3 Nov.2019

Accepted:19 Jan.2020

Extended Abstract

Introduction

The optimized cropping pattern can not only sustainably preserve water resources but bring more income as well. Therefore, since no research has been done on optimizing cropping pattern in the Shahdad county, this study identifies the optimized cropping pattern in this region with the goal of both maximizing farmers' gross profit and decreasing water consumption.

Materials and Method

Since more than 90 percent of the current cropping pattern in Shahdad is cultivated with the four following crops: irrigated barley and wheat, garlic, and Alfalfa, the needed data were collected during 2016-17 crop year, from 450 farmers who cultivate these four crops simultaneously. 106 farmers were selected for face-to-face interview by using questionnaire and based on simple random sampling. The ant colony meta-heuristic model based on binary knapsack problem to achieve the optimized cropping pattern was used.

Results and Discussion

The ACO algorithm showed that the cultivated area of irrigated barley, irrigated wheat, garlic, and Alfalfa changed from 509, 408, 617, and 1124 Ha in the observed cropping pattern to 421, 588, 998 and 651 Ha in the optimized cropping pattern, respectively. Therefore, the gross profit, by 282.96%, has increased from 201.59 billion Rials in the observed cropping pattern to 772 billion Rials in the optimal cropping pattern.

Suggestion

Results showed that optimized cropping pattern in addition to saving 5% of water consumption, will increase gross profit to 282.96%. Therefore, it is suggested to change cropping pattern based on results of this study.

JEL Classification: C02, C61, D61, E21

Keywords: Ant Colony Algorithm, Binary Knapsack Problem, Cropping Pattern, Shahdad of Kerman.

¹ Respectively: Graduate Student, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Shahid Bahonar University of Kerman.
Email: amirtaimoori@uk.ac.ir