مجله ترویجی علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی
دوره نهم، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۷، بهار و تابستان ۱۴۰۵
jaist.areeo.ac.ir

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/jaist.2025.368812.1138

مقایسه الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندمنظوره و طبقه‌بندی نامغلوب ژنتیک ۲ در کاهش زمان انجام عملیات کشاورزی با محدودیت منابع انجام عملیات کشاورزی با محدودیت منابع

مهران صالحی[۱] عادل طاهری حاجیوند[۲]، کیمیا شیرینی[۳]

۱- *گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.*
۲- *گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران* ***(نویسنده مسئول) رایانامه:*** *a.taheri@tabrizu.ac.ir*
۳- *گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۴ تاریخ چاپ: ۱۴۰۵/۰۲/۱۵ صص : ۲۴-۱۳

چکیده

با توجه به محدودیت منابع در بخش کشاورزی و برای افزایش بهره‌وری و کاهش اتلاف منابع، مدیریت بهینه زمان‌بندی فعالیت‌های زراعی اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش، برای کاهش زمان انجام فرآیندهای کشاورزی، از الگوریتم‌های فرابتکاری بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندمنظوره[۱] و طبقه‌بندی نامغلوب ژنتیک ۲[۲] برای بهینه‌سازی تخصیص منابع استفاده شده است. روش پژوهش، توصیفی است و برای تحلیل داده‌ها از ابزارهای ریاضی و الگوسازی استفاده شده است. از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (آنوا) در نرم‌افزار مطلب، برای ارزیابی عملکرد الگوی پیشنهادی استفاده شده است. نتایج کمی نشان داد که الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندمنظوره براساس شاخص میانگین انحراف از ایده‌آل[۳] با مقدار میانگین ۷۵۰، در مقایسه با مقدار ۱۰۰۰ الگوریتم طبقه‌بندی نامغلوب ژنتیک ۲، عملکرد بهتری دارد. به عبارت دیگر، راه‌حل‌های به دست آمده به مرز پارتو نزدیک‌تر و بهینه‌تر هستند. ازسوی دیگر، الگوریتم طبقه‌بندی نامغلوب ژنتیک ۲ در معیار شاخص گسترش راه‌حل‌های نامغلوب با میانگین ۰.۲۵ نسبت به ۰.۱۸ بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندمنظوره عملکرد بهتری ارائه داد که نشان‌دهنده تنوع و پراکندگی بیشتر راه‌حل‌هاست. الگوی ارائه‌شده توانسته است تخصیص منابع به فعالیت‌های کلیدی کشاورزی شامل خاک‌ورزی، داشت، کاشت و برداشت را با کارایی بالا انجام دهد و زمان‌بندی مناسبی برای اجرای این عملیات فراهم کند. براساس الگو، زمان‌بندی فعالیت‌ها برای محصولات گندم، کلزا و جو به گون‌های تعیین شده است که هر مرحله، از بازه‌های زمانی بهترین زمان، زمان نیمه‌مناسب و زمان اضطراری تشکیل شده است؛ به‌طوری‌که خاک‌ورزی بین روزهای ۱ تا ۲۰، داشت بین روزهای ۳۰ تا ۹۰، کاشت بین روزهای ۵ تا ۳۰ و برداشت بین روزهای ۸۰ تا ۱۲۰ انجام می‌شود. این برنامه زمان‌بندی با دقت بالا احتمال انجام به‌موقع عملیات را افزایش داده و مدیریت بهینه منابع را ممکن می‌سازد.

کلیدواژه‌ها: دشت مغان، فرآیندهای کشاورزی، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندمنظوره، الگوریتم طبقه‌بندی نامغلوب ژنتیک ۲، محدودیت منابع.

1. Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO)
2. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA II)
3. Mean Ideal Distance (MID)

مقدمه

خاک‌ورزی، کاشت، داشت و برداشت، فرآیندهای عملیات کشاورزی هستند که اجرای هر یک از این مراحل در بازه‌های زمانی مناسب، نقش حیاتی در افزایش بهره‌وری و عملکرد محصول دارد. در صورتی که عملیات کشاورزی خارج از این محدوده زمانی انجام شود، میزان عملکرد محصول کاهش یافته و بهره‌وری آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. با این حال، کشاورزان معمولاً این افت عملکرد را به عواملی مانند کاهش حاصلخیزی خاک، شیوع آفات، کیفیت پایین بذر و پراکنش نامناسب نزولات جوی نسبت می‌دهند، زیرا اثرات ناشی از تأخیر در عملیات به‌راحتی قابل تشخیص نیست (طاهری حاجیوند و همکاران، ۱۴۰۲).

برای کاهش هزینه‌های ناشی از تأخیر در عملیات کشاورزی، باید در پروژه‌های خودکارسازی کشاورزی، همانند پروژه‌های صنعتی، براساس مدیریت علمی و کنترل پروژه برنامه‌ریزی شود. چنین رویکردی باعث افزایش کارایی، تخصیص بهینه منابع و اجرای عملیات در بازه زمانی مناسب خواهد شد (حداد و همکاران، ۲۰۱۳).

چنانچه عملیات کاشت، داشت و برداشت در زمان مقرر انجام نشود، کاهش تولید اجتناب‌ناپذیر بوده و این کاهش محصول می‌تواند با کاهش کیفیت بذر، خسارت ناشی از آفات و بیماری‌ها و ناهماهنگی در توزیع نزولات جوی همراه باشد. این مسئله، تفکیک اثرات تأخیر در عملیات از سایر عوامل را دشوار می‌کند، اما بررسی‌های علمی نشان داده‌اند که اجرای عملیات در زمان مناسب می‌تواند به‌طور مستقیم میزان عملکرد محصول را افزایش دهد (تارانتیلیس و کیرانودیس، ۲۰۲۱).

مدیریت زمان‌بندی پروژه‌های کشاورزی، مجموعه ای از فعالیت‌ها است که باید با نظمی مشخص و در بازه زمانی معین اجرا شوند. اگر این فعالیت‌ها به موقع انجام نشوند، عملکرد کمی و کیفی محصول و درنتیجه درآمد کشاورزان کاهش خواهد یافت. علاوه براین، منابع مورداستفاده در کشاورزی اغلب محدود هستند و تخصیص نیافتن بهینه این منابع به فعالیت‌ها، احتمال تأخیر در اجرای به موقع عملیات را افزایش می‌دهد (شیرینی و طاهری حاجیوند، ۱۴۰۲).

مسئله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع[1] یکی از مسائل سخت محاسباتی (ان پی سخت[2]) است که به دلیل پیچیدگی بالا، حل آن با روش‌های دقیق محاسباتی کارآمد نیست. در مقابل، روش‌های ابتکاری و فرابتکاری قابلیت بیشتری برای حل این نوع مسائل دارند. در این الگو، هر پروژه شامل تعدادی فعالیت با منابع محدود و اولویت‌های اجرایی است که ممکن است به صورت متوالی یا همپوشانی زمانی اجرا شوند (فرد مرادی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۷). علاوه بر زمان، محدودیت‌های منابع نیز نقش مهمی در اجرای عملیات کشاورزی دارند، زیرا در بسیاری از موارد، چندین فعالیت به‌طور هم‌زمان به یک منبع خاص نیاز دارند که این امر می‌تواند باعث تأخیر در اجرای عملیات شود.

در سال‌های اخیر، در زمینه بهینه‌سازی زمان‌بندی پروژه‌های کشاورزی با استفاده از الگوریتم‌های فرابتکاری، پژوهش‌های متعددی انجام شده است. این مطالعات نشان داده‌اند که روش‌های هوشمند مبتنی بر بهینه‌سازی فرابتکاری می‌توانند در مدیریت منابع، کاهش زمان انجام عملیات و افزایش بهره‌وری کشاورزی نقش مؤثری داشته باشند. طاهری حاجیوند و همکاران (۱۴۰۲) برای حل مسئله تخصیص منابع محدود در پروژه‌های خودکارسازی کشاورزی، یک الگوریتم فرامکاشفه‌ای ارائه کردند که هدف آن ایجاد تعادل میان زمان و هزینه بود. در این پژوهش، از الگوریتم رقابت استعماری برای زمان‌بندی پروژه‌های خودکارسازی دو محصول غالب در کشت و صنعت مغان استفاده شد. نتایج نشان داد که الگوریتم پیشنهادی توانسته است منابع را به‌صورت بهینه تخصیص داده و زمان‌بندی فعالیت‌ها را بهبود بخشد. دانشگری و همکاران (۱۴۰۱) یک الگوی زمان‌بندی پروژه برای تخصیص و تسطیح منابع محدود در شرایط عدم‌قطعیت ارائه کردند. در

1. Resource-Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)
2. Np hard

این پژوهش، از روش‌های فرابتکاری الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات و تبرید شبیه‌سازی شده در کنار روش دقیق سیپلکس استفاده شد. نتایج حاصل از مقایسه الگوریتم‌های پیشنهادی نشان داد که الگوریتم ژنتیک دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها دارد. سراج و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از الگوریتم فرابتکاری ترکیبی رقابت استعماری- ژنتیک، مسئله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع دوهدفه را حل کردند. در این پژوهش، یک الگوریتم ترکیبی جدید ارائه شد که عملکرد آن با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندمنظوره۱ مقایسه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندمنظوره[1]، عملکرد بهتری در حل مسئله ارائه داده است.

یانگ و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از الگوریتم ترکیبی طبقه‌بندی نامغلوب ژنتیک۲[2] و الگوریتم یادگیری کیو[3]، زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع چندحالته را بررسی کردند. در این روش، الگوریتم طبقه‌بندی نامغلوب ژنتیک ۲، ترکیبی از حالت‌های مختلف را تولید کرد و تابع تناسب آن با استفاده از الگوریتم یادگیری کیو بهینه‌سازی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که الگوریتم ترکیبی پیشنهادی در مقایسه با روش‌های کلاسیک طبقه‌بندی نامغلوب ژنتیک ۲، بهینه‌سازی ازدحام ذرات و بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها عملکرد بهتری دارد.گلاب و همکاران (۲۰۲۲)) عملکرد یک شبکه عصبی مصنوعی را برای حل مسئله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع (زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع) بررسی کردند. در این پژوهش، یک شبکه عصبی پیشخور آموزش داده شد که می‌توانست به صورت خودکار، قوانین اولویت‌بندی مناسب را برای پالایش فعالیت‌های برنامه‌ریزی‌نشده انتخاب کرده و زمان‌بندی پروژه را بهینه‌سازی کند. نتایج نشان داد که این الگو می‌تواند عملکرد بهتری نسبت به روش‌های کلاسیک زمان‌بندی ارائه دهد. لیو و همکاران (۲۰۲۰) یک روش جستجوی درختی را برای حل مسئله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع پیشنهاد دادند. آزمایش‌های محاسباتی نشان داد که این روش، نسبت به روش‌های موجود، به طور متوسط ۹۱٫۳ درصد زمان محاسباتی را کاهش می‌دهد و در عین‌حال، کران پایین بهتری برای مسیر بحرانی به‌دست می‌آورد.

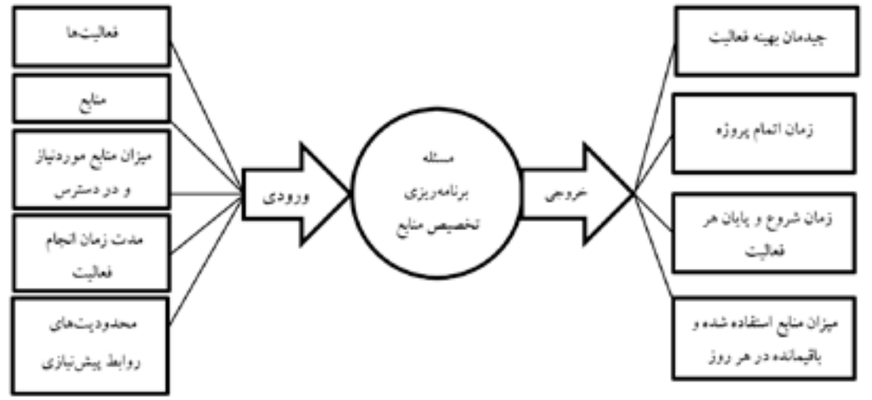
مطالعات انجام‌شده نشان داد که روش‌های فرابتکاری و هوش‌مصنوعی در حل مسائل زمان‌بندی پروژه‌های کشاورزی با محدودیت منابع، عملکرد بهتری نسبت به روش‌های کلاسیک دارند. در این پژوهش و با استفاده از الگوریتم‌های فرابتکاری، کاهش زمان انجام فرآیندهای کشاورزی، با توجه به محدودیت منابع آن، بررسی می‌شود. هدف این پژوهش ارائه روشی مبتنی بر الگوریتم‌های فرابتکاری است که بتواند با بهینه‌سازی زمان‌بندی عملیات کشاورزی، علاوه بر کاهش هزینه‌ها، احتمال انجام به‌موقع فعالیت‌ها را افزایش دهد. برای تجزیه وتحلیل داده‌ها، از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (آنوا) در نرم‌افزار مطلب استفاده شده است. این آزمون، براساس شاخص‌های کلیدی ارزیابی عملکرد، عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی را مقایسه می‌کند.

مطالعات انجام شده نشان داد که روش‌های فرابتکاری و هوش‌مصنوعی در حل مسائل زمان‌بندی پروژه‌های کشاورزی با محدودیت منابع، عملکرد بهتری نسبت به روش‌های کلاسیک دارند. در این پژوهش و با استفاده از الگوریتم‌های فرابتکاری، کاهش زمان انجام فرآیندهای کشاورزی، با توجه به محدودیت منابع آن، بررسی می‌شود. هدف این پژوهش ارائه روشی مبتنی بر الگوریتم‌های فرابتکاری است که بتواند با بهینه‌سازی زمان‌بندی عملیات کشاورزی، علاوه بر کاهش هزینه‌ها، احتمال انجام به موقع فعالیت‌ها را افزایش دهد. برای تجزیه وتحلیل داده‌ها، از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (آنوا) در نرم افزار مطلب استفاده شده است. این آزمون، براساس شاخص‌های کلیدی ارزیابی عملکرد، عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی را مقایسه می‌کند.

با توجه به ماهیت پیچیده و چندهدفه بودن مسئله، استفاده از الگوریتم‌های فرابتکاری مانند بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندمنظوره

1. Multi-Objective Particle Swarm Optimization
2. Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II
3. Q-Learning

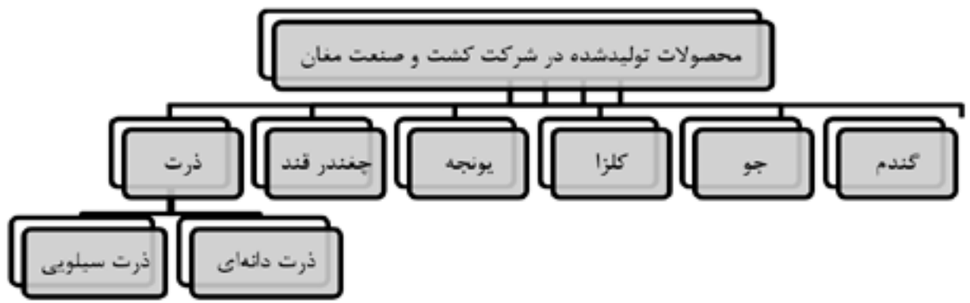
و طبقه‌بندی نامغلوب ژنتیک ۲ برای حل این الگو پیشنهاد شده‌است. این الگوریتم‌ها با جستجوی هوشمندانه در فضای راه‌حل‌ها، بهینه‌ترین تخصیص منابع و زمان‌بندی ممکن را ارائه می‌دهند.الگوی پیشنهادی زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع در شکل ۱ نمایش داده شده است که نحوه ارتباط ورودی‌ها، پردازش الگو و خروجی‌های بهینه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. ورودی‌ها و خروجی‌های مسئله برنامه‌ریزی تخصیص منابع محدود (طاهری حاجیوند و همکاران، ۱۴۰۳)

محصولات تولیدی در دشت مغان شامل ۷ محصول اصلی گندم، جو، کلزا، یونجه، چغندر قند و ذرت است (شکل ۲). در گام دوم و براساس شکل ۲، نمودار ساختار شکست وظیفه‌ای[۱] که نمایشگر عملیات پروژه‌های خودکارسازی است رسم شد. میزان شکست کار در این نمودار براساس ماهیت کار بوده است. طبق نمودار ساختار شکست وظیفه‌ای، فعالیت‌های لازم برای تولید هر یک از محصولات حداکثر ۴۸ فعالیت است.

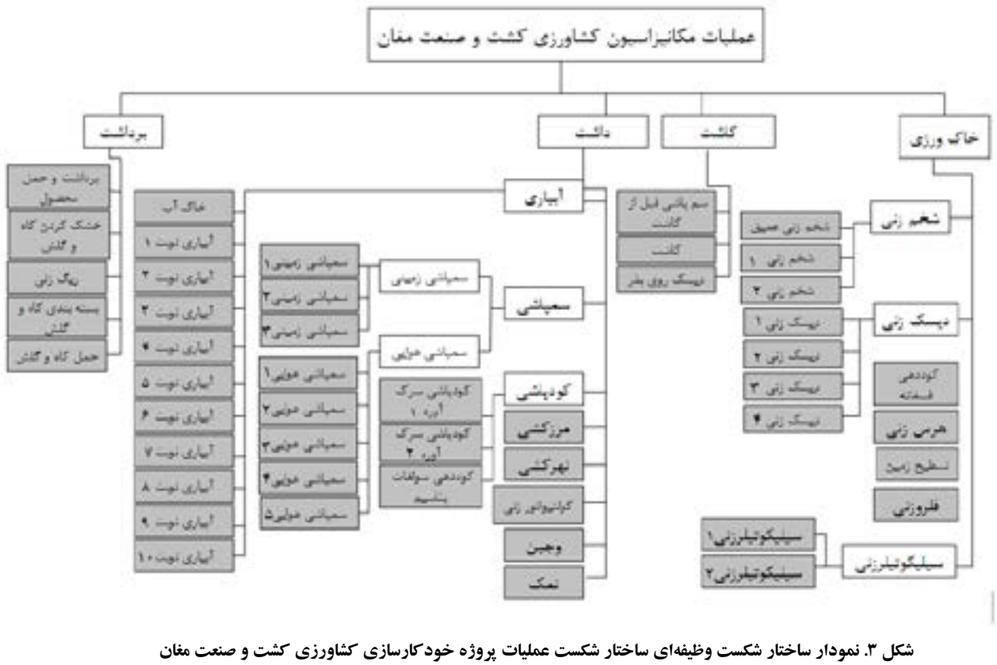
در شکل ۳ ساختار کار نهایی پروژه ۴ محصول کشت و صنعت



شکل ۲. نمودار ساختار شکست کار محصولات زراعی تولیدی کشت و صنعت مغان

۱. Functional Breakdown Structure (FBS)

مغان نشان داده شده است.



شکل ۳. نمودار ساختار شکست وظیفه‌ای ساختار شکست عملیات پروژه خودکارسازی کشاورزی کشت و صنعت مغان

در این پژوهش، برای ارزیابی و مقایسه کیفیت جواب‌های ارائه شده در الگوریتم‌های طبقه‌بندی نامغلوب ژنتیک ۲ و بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندمنظوره، از سه شاخص عملکردی مهم استفاده شد که هرکدام ابعاد متفاوتی از عملکرد الگوریتم‌ها را بررسی می‌کنند. این شاخص‌ها عبارتند از:

- شاخص گسترش راه‌حل‌های نامغلوب[۱]. این شاخص میزان پراکندگی و گستردگی راه‌حل‌های غیرمغلوب را در فضای هدف نشان می‌دهد. هدف از استفاده از شاخص گسترش راه‌حل‌های نامغلوب، سنجش تنوع جواب‌های بهینه است طوری‌که الگوریتم بتواند مجموعه‌ای گسترده و متنوع از راه‌حل‌ها را ارائه دهد تا گزینه‌های متنوعی برای تصمیم‌گیرنده فراهم شود. مقدار بالاتر شاخص گسترش راه‌حل‌های نامغلوب، نشان‌دهنده تنوع بیشتر جواب‌ها است.
- شاخص حداکثر گستره[۲]. شاخص حداکثر گستره نشان‌دهنده بیش‌ترین فاصله بین راه‌حل‌های غیرمغلوب در فضای اهداف و بیانگر دامنه پوشش راه‌حل‌ها است. این شاخص، گستردگی کلی جواب‌ها را می‌سنجد و هرچه مقدار آن بیش‌تر باشد، بیانگر تنوع و پوشش بهتر فضای اهداف در الگوریتم است.
- شاخص میانگین انحراف از ایده‌آل. شاخص میانگین انحراف از ایده‌آل، میانگین فاصله راه‌حل‌های غیرمغلوب تا نقطه ایده‌آل در فضای هدف را نشان می‌دهد. نقطه ایده‌آل به‌ترکیبی از بهترین مقادیر هرهدف گفته می‌شود که ممکن است همزمان قابل دستیابی نباشد. مقدار کمتر شاخص میانگین انحراف از ایده‌آل نشان‌دهنده نزدیکی راه‌حل‌ها به بهینه مطلق و کیفیت بالاتر پاسخ‌ها است.

۱. Spread of Non-dominated Solutions (SNS)
2. Max-Spread

یافته‌ها

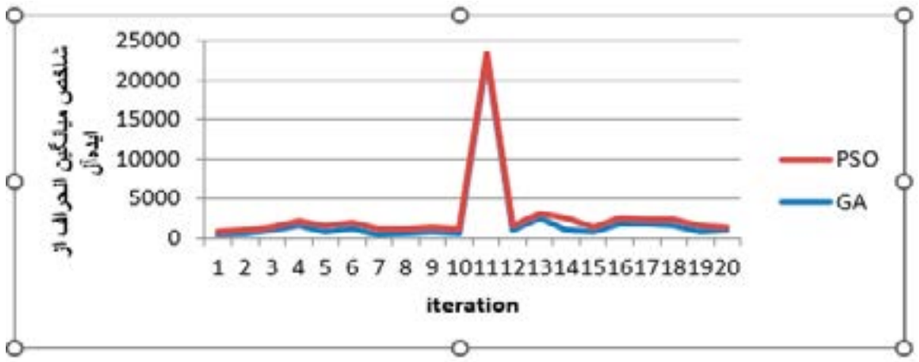
در این بخش، نتایج حاصل از حل ۲۲ مسئله پیشنهادی[1] حاصل از الگوریتم‌های طبقه‌بندی نامغلوب ژنتیک ۲ و بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندمنظوره ارائه شده است. نتایج حاصل بر اساس شاخص‌هایی که در قسمت قبل توضیح داده شد، ارائه شده‌اند. در ادامه، عملکرد الگوریتم‌ها نقد، بررسی و تحلیل آماری شده است.

- نتایج آماری به دست آمده از انجام آزمون t برابری

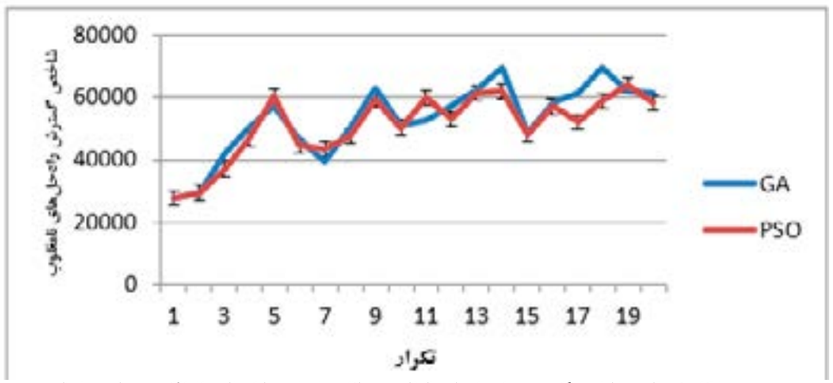
جدول ۲. مقایسه شاخص‌های عملکردی حاصل از الگوریتم‌های طبقه بندی نامغلوب ژنتیک ۲ و بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندمنظوره

	طبقه‌بندی نامغلوب ژنتیک ۲			بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندمنظوره		
شماره مشکل	شاخص میانگین انحراف از ایده‌آل	شاخص حداکثر گستره	شاخص گسترش راه‌حل‌های نامغلوب	شاخص میانگین انحراف از ایده‌آل	شاخص حداکثر گستره	شاخص گسترش راه‌حل‌های نامغلوب
مشکل ۱	۴۰۱.۷۸۱۸	۱۱۶۳۶.۵۷	۲۷۸۵۴.۳۳	۴۰۱.۷۸۱۸	۱۱۶۳۶.۵۶۶۱۶	۲۷۸۵۴.۳۳
مشکل ۲	۵۱۶.۵۰۸۶	۸۱۶۰.۳۳	۲۹۵۰۰.۷۶	۵۱۶.۵۰۸۶	۸۱۶۰.۳۲۹۸۷۹	۲۹۵۰۰.۷۶
مشکل ۳	۹۲۹.۶۶۰۶	۶۱۱۱.۱۵	۶۱۸۱۳.۶۸	۶۶۳.۷۲	۱۶۳۶۹.۶۶۱۶۹	۳۷۲۰۸.۱۵
مشکل ۴	۱۶۹۹.۱۲۲	۳۷۹۷.۳۹۶	۶۹۹۹۸.۰۷	۶۰۷.۹۸۷۳	۱۶۵۸۱.۰۶۷۳۶	۶۶۷۳۵.۲۵
مشکل ۵	۶۹۰.۰۸۱۸	۱۹۱۲۳.۱۶	۵۷۵۲۰.۱۱	۸۳۲.۲۹۶۳	۱۶۵۶۷.۹۱۲۷۱	۶۰۲۰۷.۸۱
مشکل ۶	۱۲۰۹.۸۶۷	۶۶۶۷.۲۶۳	۶۶۵۹۰.۹۱	۷۰۱.۲۶۲۹	۱۲۶۱۲.۸۱۰۸۶	۶۶۵۹۶.۳۶
مشکل ۷	۳۸۶.۶۶۱۹	۲۳۲۶۷.۷۹	۳۹۷۱۳.۵۱	۸۵۶.۶۶۶۶	۸۶۰۹.۳۶۵۶۸۳	۶۳۵۶۷.۲۱
مشکل ۸	۵۸۷.۷۶۸۷	۱۹۵۵۲.۸۳	۵۰۳۹۶.۶۸	۵۶۹.۰۶۰۹	۱۹۵۶۶.۸۶۸۳۶	۶۷۸۰۷.۲۵
مشکل ۹	۸۷۶.۷۸۸۶	۱۵۶۶۹.۸۲	۶۳۱۱۶.۶۵	۵۰۶.۱۸۵۲	۳۳۶۴۵.۲۶۲۸۸	۵۹۶۳۱.۶۶
مشکل ۱۰	۵۱۵.۵۶۷۳	۲۶۰۰۹.۷	۵۱۲۵۹.۵۷	۵۸۵.۱۰۶۶	۱۹۶۶۹.۷۸۰۶۶	۵۰۶۵۲.۹۶
مشکل ۱۱	۲۲۷۸۶.۳۸	۳۳.۶۰۷۹۲	۵۲۹۲۷.۶۵	۶۱۸.۱۲۵۶	۲۶۲۹۹.۵۵۶۳۲	۶۰۱۱۸.۶۶
مشکل ۱۲	۱۰۳۶.۶۶۶	۹۵۵۶.۸۱۲	۵۷۱۸۱.۷۵	۶۵۱.۷۰۷	۲۸۹۰۳.۸۲۲۲۳	۵۳۶۷۶.۸۵
مشکل ۱۳	۲۳۹۳.۶۱۶	۲۳۹۵.۰۵۳	۶۲۶۳۰.۳۱	۷۶۴.۷۸۳۹	۱۹۶۰۶.۱۳۳۳۲	۶۱۵۸۵.۱۹
مشکل ۱۴	۱۶۲۸.۸۸۶	۷۰۶۱.۷۵۸	۶۹۷۵۶.۶۷	۹۶۵.۶۹۵۶	۱۳۰۵۵.۳۶۷۰۱	۶۲۰۷۹.۹۲
مشکل ۱۵	۸۰۶.۲۷۸۶	۱۱۶۸۷.۸۳	۶۸۶۷۶.۱۸	۵۰۰.۹۰۱	۲۲۵۹۷.۶۷۲۳۳	۶۸۲۱۰.۵۶
مشکل ۱۶	۱۷۸۱.۰۶۶	۶۰۲۵.۵۷۶	۵۸۳۹۶.۲۶	۷۶۰.۹۱۲۶	۱۷۹۲۸.۳۶۶۲۵	۵۷۱۵۶.۶۱
مشکل ۱۷	۱۶۶۵.۸۹۳	۶۸۱۶.۲۷	۶۱۲۵۵.۸۶	۶۳۶.۶۸۰۱	۱۹۷۶۳.۶۹۸۸۳	۵۲۲۹۹.۷۸
مشکل ۱۸	۱۵۶۰.۶۹۵	۵۲۷۳.۶۲۳	۶۹۷۰۲.۶۲	۷۳۶.۳۶۱۹	۱۷۷۶۱.۵۶۷۶۹	۵۸۷۶۰.۵۸
مشکل ۱۹	۷۰۱.۶۰۷۹	۲۱۳۶۱.۷	۶۲۰۸۱.۵۲	۷۹۰.۳۷۸۱	۲۰۲۶۲.۶۷۹۰۵	۶۳۸۶۸.۸۱
مشکل ۲۰	۹۶۵.۶۶۷	۱۲۹۹۸.۸۶	۶۱۳۸۷.۶۶	۴۰۱.۷۸۱۸	۲۰۹۳۵.۶۸۶۳۱	۵۸۵۵۷.۸۶
مشکل ۲۱	۵۸۷.۷۶۸۷	۶۶۶۷.۲۶۳	۳۹۷۱۳.۵۱	۶۰۷.۹۸۷۹	۱۶۵۶۷.۹۱۲۷۶	۶۶۷۳۵.۲۸
مشکل ۲۲	۸۷۶.۷۸۸۶	۲۳۲۶۷.۷۹	۵۰۳۹۶.۶۸	۸۳۲.۲۹۶۲	۱۲۶۱۲.۸۱۰۸۶	۶۰۲۰۷.۸۵

1. PSPLIB



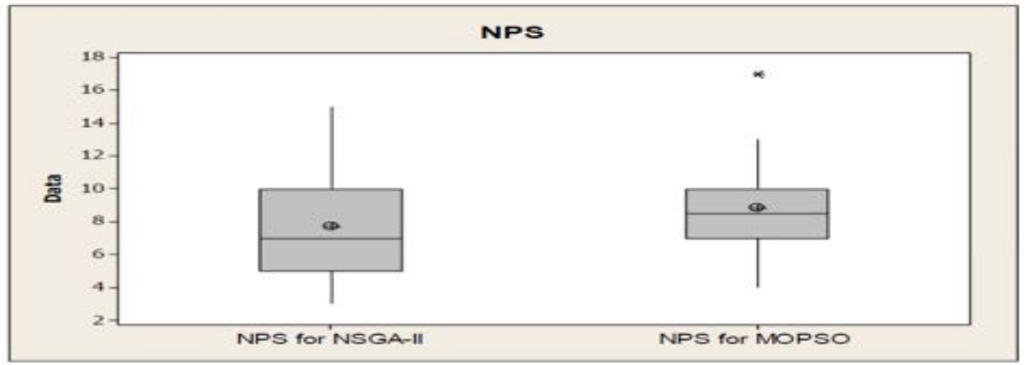
شکل ٤. مقایسه شاخص میانگین انحراف از ایده‌آل مسائل حل شده با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی



شکل ۵. مقایسه شاخص گسترش راه‌حل‌های نامغلوب مسائل حل شده با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی

جدول ۳. نتایج آماری حاصل از آزمون t برابری میانگین‌های شاخص گسترش راه حل‌های نامغلوب به دست آمده از الگوریتم‌های پیشنهادی

SNS				
	N	Mean	St Dev.	SE Mean
SNS for NSGA-I	22	53068	11710	2618
SNS for MOPSO	22	51171	10572	2364
	22	1897	4259	952
95% CI for mean difference: (-97, 3890)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 1.99 P-Value = 0.061				



شکل ٦. نمودار tolp xoB مربوط به آزمون برابری مقادیر SPN به دست آمده از الگوریتم‌های پیشنهادی پیشنهادی

میانگین‌های شاخص گسترش راه‌حل‌های نامغلوب با استفاده از الگوریتم‌های پیشـنهادی در جدول ۴ و شکل ۷ نشان داده شده است:

- همان‌طور که از جدول ۴ استنباط می‌شود، مقدار آماره آزمون در داخـل بازه اطمینان ۹۵ درصـدی قرار می‌گیرد و این بازه مقدار صفر را نیز دربر دارد. لذا دلیلی بر رد فرض صفر وجود

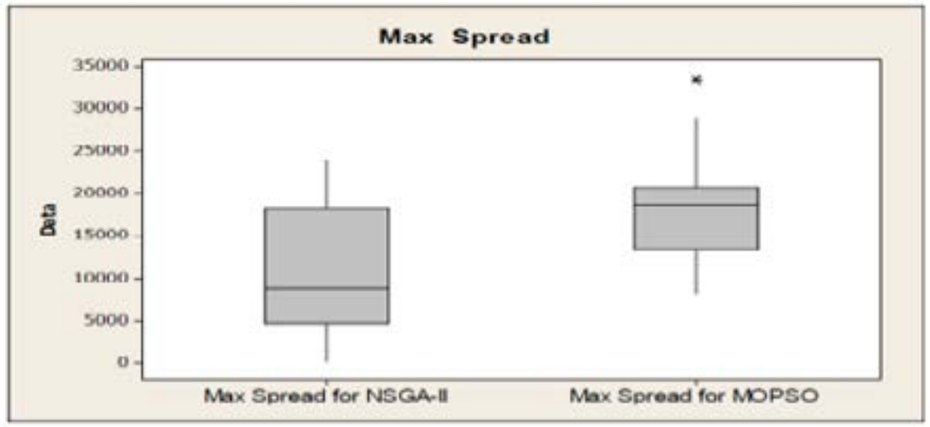
جدول ٤. نتایج آماری حاصل از آزمون t برابری میانگین‌های شاخص میانگین انحراف از ایده‌آل با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی

MID				
	N	Mean	St Dev.	SE Mean
MID for NSGA-II	22	2137	4889	1093
MID for MOPSO	22	647	152	34
	22	1490	4893	1094
95% CI for mean difference: (-800, 3780)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 1.36 P-Value = 0.189				

نـدارد. هم‌چنین نمـودار Box Plot نیز ایـن موضوع را به وضوح تایید می‌کند.

دستاوردها

- پروژه‌های زمان‌بندی در کشاورزی مجموعه‌ای از عملیات و فعالیت‌های وابسته هستند که باید توالی مشخص و در بازه زمانی معینی اجرا شـوند. بهینه‌سـازی زمان انجام این فعالیت‌ها با وجود محدودیت منابـع، تأثیر زیادی روی بهبود بهره‌وری کشـاورزی دارد. این فعالیت‌ها شامل کاشت، داشت، برداشت و سایر عملیات مرتبط‌اند کـه باید با توجه به محدودیت‌هایی مثل تعداد ماشـین آلات، نیروی انسانی و شرایط آب وهوایی برنامه‌ریزی شوند.
- در این پژوهـش، عملکرد دو الگوریتم بهینه‌سـازی ازدحام



شکل ۷. نمودار Box Plot مربوط به آزمون برابری مقادیر شاخص میانگین انحراف از ایده‌آل به‌دست آمده از الگوریتم‌های پیشنهادی

ذرات چندمنظـوره و طبقه‌بنـدی نامغلـوب ژنتیـک ۲ برای حل مسـئله زمان‌بندی پروژه‌های کشاورزی مقایسه شدند. نتایج کمی حاصـل از ۲۲ مسـئله نمونه نشـان داد که الگوریتم بهینه‌سـازی ازدحـام ذرات چندمنظـوره در شـاخص نزدیکی به مـرز پارتو (شـاخص میانگین انحـراف از ایـده‌آل) به‌طـور میانگین مقدار بهتری نسـبت به طبقه‌بندی نامغلوب ژنتیک ۲ دارد. به‌عنوان مثال، در مسـئله شـماره ۱ مقدار شـاخص میانگین انحراف از ایده‌آل برای بهینه‌سـازی ازدحام ذرات چندمنظوره برابر ۴۰۱,۷۸ و برای طبقه‌بنـدی نامغلوب ژنتیک ۲ نیز همین مقدار بود. اما در مسـائل پیچیده‌تر مانند مسـئله شـماره ۱۱، شـاخص میانگین انحراف از ایده‌آل الگوریتم بهینه‌سـازی ازدحام ذرات چندمنظوره ۶۱۸,۱۳ بـود درحالیکه برای طبقه‌بنـدی نامغلوب ژنتیک ۲ مقدار بسـیار بالاتر ۲۲۷۸۶,۳۸ مشاهده‌شد که نشان‌دهنده فاصله بیشتر راه‌حل‌ها از مرز بهینه اسـت. این موضوع نشان می‌دهد که راه‌حل‌های ارائه شـده با اسـتفاده از بهینه‌سـازی ازدحام ذرات چندمنظوره به مرز پارتو نزدیک‌تر بوده و زمان‌بندی دقیق‌تر و بهینه‌تری فراهم کرده اسـت. این نکته اهمیت زیـادی دارد زیرا اجرای به موقع عملیات کشـاورزی مثل کاشـت و برداشـت، مسـتقیماً کیفیت و کمیت محصـول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ازسـوی دیگـر، الگوریتم طبقـه بنـدی نامغلوب ژنتیـک ۲ در شـاخص پراکندگی و تنوع راه‌حل‌ها (شاخص گسترش راه‌حل‌های نامغلوب) عملکرد بهتری نشـان داد. مثلا، در مسئله شـماره ۷ شاخص گسترش راه‌حل‌های نامغلوب بـرای طبقه‌بندی نامغلوب ژنتیـک ۲ مقدار ۳۹۷۱۳,۵۱ اسـت درحالی‌که برای بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندمنظوره این مقـدار ۴۳۵۴۷,۲۱ بود. این تفاوت نشـان می‌دهـد که طبقه‌بندی نامغلوب ژنتیک ۲ توانسـته تنوع و پراکندگی بهتری از راه‌حل‌ها را فراهم کند. این ویژگی در شرایط کشاورزی با عدم‌قطعیت بالا و نیاز به سـناریوهای مختلف تخصیص منابع، بسـیار مفید است و به تصمیم‌گیرندگان گزینه‌های گسترده‌تری را برای انتخاب ارائه می‌دهد. برخـلاف پروژه‌های عمرانی که کاهش مدت زمان کل پروژه اهمیت دارد، در کشـاورزی زمـان دقیق اجرای هر فعالیت بسـیار مهم‌تر اسـت. به عنوان مثال، کاشـت و برداشـت باید در بازه‌های زمانی مشـخص و مناسـب آب وهوایی انجام شود تا از آسیب دیدن محصول جلوگیری شود.

- نتایج حاصل از این پژوهش به روشـنی نشان داد که انتخاب الگوریتم مناسـب، نه تنها می‌تواند کیفیت زمان‌بندی فعالیت‌های کشـاورزی را بهبود بخشـد، بلکه نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش تأخیـرات عملیاتی و جلوگیـری از اتلاف منابـع دارد. بنابراین، مطلوب‌تریـن برنامه زمان‌بندی کشـاورزی، برنامه‌ای اسـت که تضمین کند فعالیت‌ها در زمان مناسـب خود انجام شـوند، حتی

اگـر این موضوع منجر به افزایش نسـبی مدت زمـان کل پروژه شـود. الگوی پیشـنهادی در این پژوهش، همراه با الگوریتم‌های فراابتکاری، در تخصیص منابع محدود به فعالیت‌های کشـاورزی عملکرد مناسبی داشت به‌گونه‌ای که احتمال انجام به‌موقع عملیات کاشـت و برداشت افزایش یافت و از اتلاف منابع جلوگیری شد. همچنین، این روش‌ها باعث شـدند سـامانه کارایی بهتری داشته باشـد و زمان‌بندی فعالیت‌هـا بهینه‌تر و مطابق با شـرایط محیطی تنظیم شـود. با توجه به نتایج به‌دسـت آمده، پیشنهاد می‌شود در تحقیقـات آینده از الگوهای شـبکه‌ای مانند PERT برای تخمین دقیق‌تـر زمان اجرای فعالیت‌ها اسـتفاده شـود. همچنین، ترکیب الگوی فعلی با مسـائل چندهدفه دیگر شـامل موازنه زمان، هزینه و کیفیت می‌تواند به توسـعه الگـوی جامع‌تر و کاربردی‌تر منجر شـود. علاوه بر این، آزمایـش الگوریتم‌های ترکیبـی الگوریتم کلونی مورچه‌ها و الگوریتم‌های یادگیری ماشـین در بهینه‌سازی زمان‌بندی پروژه‌های کشاورزی، می‌تواند چشم اندازهای نوینی را در این حوزه بگشـاید. همچنین پیشنهاد می‌شود الگوی پیشنهادی در بخش‌هـای مختلـف کشـاورزی ماننـد زمان‌بنـدی آبیاری، مدیریت ماشین‌آلات و توزیع نهاده‌های زراعی نیز ارزیابی شده و توسعه یابند تا راهکارهای بهینه‌تری برای مدیریت منابع ارائه شود. این پژوهش نشـان داد که اسـتفاده از الگوریتم‌هـای فراابتکاری نقش کلیدی در بهینه‌سـازی زمان و تخصیـص منابع محدود در خودکارسـازی کشـاورزی دارد و توسـعه الگوهـای دقیق‌تر و کارآمدتـر می‌تواند بهره‌وری را افزایـش داده و به مدیریت بهتر منابع کشاورزی بیانجامد.

منابع

Afzal, A., Buradi, A., Jilte, R., Shaik, S., Kaladgi, A. R., Arıcı, M., … & Nižetić, S. (2023). Optimizing the thermal performance of solar energy devices using meta-heuristic algorithms: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 173, 112903.

Akbarpour, A., Zeynali, M. J., & Nazeri Tahroudi, M. (2020). Locating optimal position of pumping Wells in aquifer using meta-heuristic algorithms and finite element method. *Water Resources Management*, 34, 21-34.

Breman, H., Groot, J. R., & van Keulen, H. (2001). Resource limitations in Sahelian agriculture. *Global Environmental Change*, 11(1), 59-68.

Choopan, Y., & Emami, S. (2020). An approach to reduce water consumption by optimizing and determining of crop cultivation pattern using meta-heuristic algorithms: A case study on Moghan plain. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 7(1), 48-56.

Davis, K. F., Gephart, J. A., Emery, K. A., Leach, A. M., Galloway, J. N., & D'Odorico, P. (2016). Meeting future food demand with current agricultural resources. *Global Environmental Change*, 39, 125-132.

Daneshgari, N., Imani, D. M., & Nouri, S. (2022). Project scheduling model for allocating and leveling limited resources under uncertainty with a meta-heuristic algorithm approach. *Journal of Industrial Engineering and Management Studies*. 4 (12)2016

Gharehveran, S. S., Shirini, K., & Abdolahi, A. (2025). Optimizing Energy Storage Solutions for Grid Resilience: A Comprehensive Overview. From: https://www.*intechopen*.com/chapters/1192415

Golab, A., Gooya, E. S., Al Falou, A., & Cabon, M. (2022, May). Investigating the performance of an artificial neural network for solving the resource constrained project scheduling problem (RCPSP). *In Pattern Recognition and Tracking XXXIII* (Vol. 12101, pp. 78-83). SPIE.

Haddad, O. B., Tabari, M. M. R., Fallah-Mehdipour, E., & Mariño, M. A. (2013). Groundwater model calibration by meta-heuristic algorithms. *Water Resources Management,* 27, 2515-2529.

Jafari, M., & Rezaei-Nik, A. (2017). Modeling and solving multi-objective MRCPSP using NSGA and MOSO meta-heuristic algorithms with a case study. *10th International Conference of the Iranian Operations Research Society*, Babolsar.

Jalalat Ata'Allah, F., Asadi Gangaraj, A., & Emami, S. (2020). Development of scheduling models in agricultural harvesting operations. *13th International Conference of the Iranian Operations Research Society*, Shahrood.

Khalid, Q. S., Azim, S., Abas, M., Babar, A. R., & Ahmad, I. (2021). Modified particle swarm algorithm for scheduling agricultural products. Engineering Science and Technology, *An International Journal*, 24(3), 818-828.

Liu, Y., Zhou, J., Lim, A., & Hu, Q. (2023). A tree search heuristic for the resource constrained project scheduling problem with transfer times. *European Journal of Operational Research*, 304(3), 939-951.

Memmah, M. M., Lescourret, F., Yao, X., & Lavigne, C. (2015). Metaheuristics for agricultural land use optimization. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 975-998.

Saeidian, B., Mesgari, M. S., Pradhan, B., & Alamri, A. M. (2019). Irrigation water allocation at farm level based on temporal cultivation-related data using meta-heuristic optimisation algorithms. *Water*, 11(12), 2611.

Seraj, Y., & Kavousi Davoudi, S. M. (2020). Solving the bi-objective RCPSP model using a hybrid imperialist competitive-genetic meta-heuristic algorithm. 1st International Conference on New Challenges and Solutions in Industrial Engineering, *Management and Accounting,* Sari.

Shirini, K., & Samadi Gharehveran, S. (2024). Balancing Time and Cost in Resource-Constrained Project Scheduling Using Meta-Heuristic Approach. *Journal of Agricultural Machinery*, 14(2).

Shirini, K., Aghdasi, H. S., & Saeedvand, S. (2024). A comprehensive survey on multiple-runway aircraft landing optimization problem. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 25(4), 1574-1602.

Shirini, K., Aghdasi, H. S., & Saeedvand, S. (2024). Modified imperialist competitive algorithm for aircraft landing scheduling problem. *The Journal of Supercomputing,* 80(10), 13782-13812.

Shirini, K., Kordan, M. B., & Gharehveran, S. S. (2025). Impact of learning rate and epochs on lstm model performance: a study of chlorophyll-a concentrations in the Marmara Sea. *The Journal of Supercomputing*, 81(1), 1-18.

Shirini, K., Taherihajivand, A., & Samadi Gharehveran, S. (2023). A review of algorithms for solving the project scheduling problem with resource-constrained considering agricultural problems. *Agricultural Mechanization,* 8(1), 1-14.

Siarry P. and others, "Metaheuristics for Hard Optimizations", *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 2006.

Solano, N. E. C., Llinás, G. A. G., & Montoya-Torres, J. R. (2022). Operational model for minimizing costs in agricultural production systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 197, 106932.

Taheri Hajivand, A., Shirini, K., & Samadi Gharehveran, S. (2023). Presenting a meta-heuristic optimization algorithm for solving the problem of allocating limited resources to agricultural mechanization projects by creating a balance between time and cost goals: *A case study of Moghan Plain. Agricultural Machinery.*

Taherihajivand, A., Shirini, K., & Samadi Gharehveran, S. (2024). An overview of product performance prediction using artificial algorithms. *Agricultural Mechanization*, 9(3), 1-14.

Taherihajivand, A., Shirini, K., & Samadi Gharehveran, S. (2024). Weed detection in fields using convolutional neural network based on deep learning. A*gricultural Engineering,* 47(1), 129-142.

Taherihajivand, A., Shirini, K., & Samadi Gharehveran, S. (2024). An overview of product performance prediction using artificial algorithms. *Agricultural Mechanization*, 9(3), 1-14.

Zaki Dizaji, H., Shirini, K., Taheri Hajivand, A., & Monjezi, N. (2025). Modeling variables affecting the yield of sugarcane fields using deep recurrent neural network. *Iranian Journal of Biosystems Engineering.*

Sprecher, A., & Kolisch, R. (1996). PSPLIB-a project scheduling problem library. *European journal of operational research*, 96, 205-216.

Journal of Agricultural Information sciences and Technology
Volume 8, Issue 1, Serial Number 15, Spring and Summer 2025
jaist.areeo.ac.ir

Comparison of Multi-Objective Particle Swarm Optimization Algorithms and Genetic Undominated Classification 2 in Reducing Agricultural Operation Time with Resource Constraints

Mehran Salehi[1], Adel Taheri Hajivand[2], Kimia Shirini[3]

1. ADepartment of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran **(Corresponding author). Email**.*· a.taheri@tabrizu.ac.ir.*

3. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Abstract

Due to resource constraints in the agricultural sector and to increase productivity and reduce resource waste, optimal management of agricultural activity scheduling is of great importance. In this study, to reduce the time of agricultural processes, metaheuristic algorithms of multi-objective particle swarm optimization and genetic nondominated classification 2 have been used to optimize resource allocation. The research method is descriptive and mathematical tools and modeling have been used for data analysis. One-way analysis of variance (ANOVA) test in Matlab software has been used to evaluate the performance of the proposed model. Quantitative results showed that the multi-objective particle swarm optimization algorithm based on the average deviation index from the ideal with a mean value of 750 has a better performance compared to the value of 1000 of the genetic nondominated classification algorithm 2. In other words, the obtained solutions are closer to the Pareto frontier and more optimal. On the other hand, the Genetic Undominated Classification Algorithm 2 performed better in the measure of the Undominated Solution Expansion Index with an average of 0.25 compared to 0.18 of the Multi-Objective Particle Swarm Optimization, which indicates greater diversity and dispersion of solutions. The presented model has been able to allocate resources to key agricultural activities including tillage, tillage, planting, and harvesting with high efficiency and provide appropriate scheduling for the implementation of these operations. Based on the model, the scheduling of activities for wheat, rapeseed, and barley crops has been determined in such a way that each stage consists of the best time, semi-optimal time, and emergency time intervals; so that tillage is performed between days 1 and 20, tillage between days 30 and 90, planting between days 5 and 30, and harvesting between days 80 and 120. This highly accurate scheduling program increases the probability of timely operations and enables optimal resource management.

Keywords: Moghan Plain, agricultural processes, multi-objective particle swarm optimization algorithm, Genetic Undominated Classification Algorithm 2, resource constraints.