نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

مقایسه روش‌های بهینه‌سازی برای تعیین تعداد بهینه‌ی ماشین‌های کشاورزی

رضا علیمردانی[۱]، مهدی خانی[۲]، علیرضا کیهانی[۱]، هومن شریف‌نسب[۳]*، ، غلامرضا پیکانی[٤]

۱- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران
۲- فارغ التحصیل دکتری، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران
۳- استادیار، مؤسسه تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی
٤- دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تهران
استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران
* ایمیل مکاتبه کننده: hsharifnasab@yahoo.com

چکیده

در یک مزرعه می‌توان ترکیب‌های مختلفی از تراکتور و ماشین‌های کشاورزی را انتخاب کرد که وظایف مربوطه را انجام دهد که یکی از آن‌ها، کم‌هزینه‌ترین سامانه‌ی ماشینی است. در این تحقیق، مدلی با نام MAMCO تدوین شد که با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ی کل سامانه‌ی ماشینی، تعداد بهینه‌ی ماشین‌هایی که در فصل کاشت به کار می‌روند (گاوآهن، دیسک، لولر، خطی‌کار و تراکتور) را تعیین می‌کند. برای بهینه‌سازی از روش‌های تکرار، الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شد. روش‌های بهینه‌سازی، در مساحت‌های مختلف مزرعه، از نظر زمان محاسبات و هزینه‌ی ترکیب پیشنهادی، مقایسه شدند. روش تکرار، کندترین ولی قابل اعتمادترین روش بهینه‌سازی بود. در مقابل، روش برنامه‌ریزی ریاضی کم‌دقت‌ترین و سریع‌ترین بود. روش الگوریتم ژنتیک نیز معمولاً به ترکیب بهینه‌ی سراسری می‌رسید. زمان محاسبات در این روش کمتر از روش تکرار بود و محدودیتی از نظر حداکثر مساحت وجود ندارد در صورتی که روش تکرار، حداکثر تا ۲۰۰۰ هکتار اجرا شد. به نظر می‌رسد، در صورتی که تعداد انواع عملیات کشاورزی و به تبع آن تعداد ماشین‌ها افزایش یابد، تعداد ترکیب‌های قابل بررسی بسیار بیشتر از آن خواهد بود که بتوان از روش تکرار استفاده کرد و برای بهینه‌سازی سامانه‌ی ماشینی، نیاز به روش‌های محاسبات نرم مانند الگوریتم ژنتیک خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: انتخاب ماشین، روش تکرار، الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ریزی ریاضی.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین نهاده‌های تولید در مزرعه، تراکتور و ماشین‌های کشاورزی است و با کمینه‌سازی هزینه‌های این نهاده‌ی با اهمیت، می‌توان سودآوری کل مزرعه را به‌طور قابل توجهی افزایش داد. در بین سامانه‌های ماشینی و یا به عبارت دیگر ترکیب‌های مختلفی از تراکتورها و ماشین‌های کشاورزی، می‌توان سامانه‌ای را یافت که وظایف سامانه ماشینی را با کمترین هزینه انجام دهد. انتخاب سامانه بهینه ماشینی، هزینه‌های غیرضروری را کاهش داده و سود را افزایش می‌دهد. پاسخ به این پرسش که ادوات با چه اندازه‌ای برای یک عملیات مناسب است، به چند دلیل مشکل است. اول این که هزینه‌های ماشینی فقط به یک ماشین و یک عملیات مربوط نیستند و بلکه به کل سامانه‌ی ماشینی وابسته‌اند. عملکرد یک ماشین ممکن است تحت تأثیر مشخصات دیگر ماشین‌ها قرار گیرد. به عنوان مثال، هنگام برداشت ذرت، ممکن است عملیات حمل و نقل و خشک کردن، نرخ تکمیل عملیات برداشت را محدود کنند. دوم این که برخی از هزینه‌های ماشینی مانند استهلاک و به موقع انجام نشدن، به صورت مستقیم پرداخت نمی‌گردند و براحتی تشخیص داده نمی‌شوند.

همه این پیچیدگی‌ها باعث شده است که کشاورزان معمولاً نتوانند بر اساس یک روش علمی، تراکتورها و ماشین‌های مناسب را انتخاب کنند. اکثر کشاورزان برای انتخاب ماشین بر روی تجربیات شخصی و توصیه دیگر کشاورزان تکیه دارند زیرا برای یک روش انتخاب مناسب، به حجم بالایی از متغیرها و برهم‌کنش پیچیده‌ی آن‌ها نیاز است.

در یک مزرعه‌ی بزرگ، انتخاب وسیعی در رابطه با ماشین‌های کشاورزی از نظر اندازه، تعداد و نوع ماشین‌ها وجود دارد که محاسبه‌ی کل هزینه‌ی همه ترکیب‌های ماشینی ممکن، بدون استفاده از یک مدل کارآمد رایانه‌ای امکان‌پذیر نیست. بنابراین نیاز به مدلی است که بتواند کشاورزان را در این زمینه یاری دهد .

روش‌های اصلی به‌کار رفته در تعیین سامانه بهینه ماشین‌های کشاورزی عبارتند از: ۱- روش تکرار (Iterative Method): در این روش بهینه‌سازی، تمامی حالاتی که قیود مسئله را فرآهم می‌سازد، بررسی می‌شود و برای هر کدام، تمامی هزینه‌ها محاسبه شده و در نهایت حالتی که کمترین هزینه‌ی کل را داراست، به عنوان حل بهینه معرفی می‌شود. از محققانی که از این روش استفاده کردند می‌توان به حفار و خوری (۱۹۹۲) و پارمار و همکاران (۱۹۹٦) اشاره کرد. ۲- الگوریتم ژنتیک: در این روش مانند بسیاری از روش‌های هوش مصنوعی تنها بخشی از ترکیب‌های ماشیی ممکن بررسی می‌شوند. پارمار و همکاران (۱۹۹٦) از این روش برای بهینه‌سازی استفاده کرده‌اند. ۳- برنامه‌ریزی ریاضی: در این روش، تابع هدف یک معادله‌ی ریاضی است. جانوت و کایرول (۱۹۹٤) کامارنا و همکاران (۲۰۰٤) و گونارسون و هانسون (۲۰۰٤) سوگارد و سورنسن (۲۰۰٤) و زیبایی و غزالی (۱۳۸۹) از این روش استفاده کردند. ٤- روش حداقل هزینه (یا حساب دیفرانسیل مبنا): در این روش با برابر صفر قرار دادن مشتق درجه اول معادله‌ی کل هزینه‌های ماشین نسبت به عرض ماشین، ظرفیت یا اندازه یک ماشین که کمترین هزینه را بر سامانه تحمیل می‌کند، تعیین می‌شود. این روش برای تعیین کل سامانه ماشینی چندان مناسب نیست و فقط برای تعیین یک ماشین مکمل مفید است. زیرا اندازه‌ی هر ماشین بدون توجه به دیگر ماشین‌ها تعیین می‌شود. از مزایای این روش سادگی و سرعت انجام محاسبات است. محققانی که از این روش استفاده کرده‌اند عبارتند از: دش و سیروهی (۲۰۰۸)، واتسا و ساراسوات (۲۰۰۸).

هدف از این تحقیق، مقایسه‌ی میان کارایی روش‌های بهینه‌سازی در انتخاب سامانه‌های ماشینی مناسب در کشاورزی و بررسی مزایا و محدودیت‌های این روش‌ها است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه مدلی (مجموعه مدل‌ها) تحت عنوان MAMCO (Model for Agricultural Machinery Composition Optimization) برای بهینه‌سازی انتخاب تعداد ماشین‌های تهیه بستر و کاشت توسعه یافت. مجموعه عملیات مورد بررسی عبارتند از: شخم، دیسک، تسطیح و کاشت که با احتساب تراکتور، مجموع ماشین‌های مورد بررسی به پنج دستگاه می‌رسد (گاوآهن، دیسک، لولر، خطی‌کار و تراکتور).

در این پژوهش، در بین روش‌های بهینه‌سازی معرفی شده تمامی روش‌ها به غیر از روش حداقل هزینه مورد استفاده قرار گرفته است. این روش برای تعیین ظرفیت ماشینی بهینه‌ی یک ماشین، بدون توجه به دیگر ماشین‌ها قابل استفاده است و برای بهینه‌سازی مجموعه‌ای از ماشین‌ها مناسب نیست. برنامه‌هایMAMCO1، GAMAMCO1 و MPMAMCO1 به ترتیب بر اساس روش تکرار، الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی ریاضی توسعه یافته‌اند. عدد ۱ اشاره به وجود یک انتخاب اندازه برای هر ماشین دارد. حالت‌های بیش از یک انتخاب اندازه برای هر ماشین در این مقاله مورد بررسی قرار نگرفته است. برنامه‌های MAMCO1 و GAMAMCO1 در نرم‌افزار MATLAB و برنامه‌ی MPMAMCO1 در نرم‌افزار GAMS پیاده‌سازی شده‌است. در ادامه، این برنامه‌ها به طور مختصر شرح داده می‌شوند و عملکرد آن‌ها در مساحت‌های مختلف مقایسه می‌شوند. برای اطلاع از جزئیات بیشتر در باره این مدل‌ها می‌توان به خانی (۱۳۹۳) مراجعه کرد.

برنامه‌ی MAMCO1

این مدل با استفاده از روش تکرار، ترکیب بهینه‌ی ماشین‌ها را تعیین می‌کند. به طور خلاصه، مراحل کلی کار مدل عبارتند از:

الف- تعیین ترکیب‌های ماشینی (الف-۱- تعیین تعداد کمینه و بیشینه برای هر ماشین، الف-۲- تعیین ترکیب‌های ماشینی مجاز)

ب- محاسبه‌ی هزینه‌های ترکیب‌های ماشینی و تعیین ترکیب بهینه (ب-۱- زمان‌بندی، ب-۲- محاسبه‌ی هزینه‌ها، ب-۳- رتبه‌بندی ترکیب‌های ماشینی)

ابتدا، تعداد کمینه‌ی مورد نیاز برای ماشین‌های هر عملیات با توجه به زمان در دسترس و ظرفیت مزرعه‌ای ماشین‌ها تعیین می‌شود. اما لازم است برای هر ماشین، تعداد بیشینه نیز در نظر گرفته شود تا تعداد ترکیب‌های مورد بررسی، محدود گردد. تعداد بیشینه باید به اندازه‌ای باشد که اطمینان حاصل گردد که گزینه‌های ماشینی، پوشش دهنده‌ی تعداد بهینه برای هر ماشین است و ترکیب بهینه‌ی سراسری در میان این ترکیب‌ها قرار دارد. بعد از تعیین تعداد کمینه و بیشینه برای هر ماشین،

کل ترکیب‌های حاصله از این ماشین‌ها تعیین می‌شود تا با مقایسه‌ی هزینه‌ی این ترکیب‌ها، مناسبت‌ترین ترکیب ماشینی مشخص شود. مبنای زمان‌بندی عملیات کشاورزی، هزینه‌ی به موقع انجام نشدن عملیات است. یعنی زمان اجرای کارهای مزرعه به چه صورتی باشد تا مقدار این هزینه کاهش یابد.

در مرحله‌ی بعد، هزینه‌ی کل تمامی ترکیب‌های ماشینی مقایسه می‌شوند. اقلام هزینه‌های ماشین‌های کشاورزی به سه دسته تقسیم می‌شوند: ۱- هزینه‌هایی که در تمام ترکیب‌ها و در تمام سال‌های پروژه، مقداری ثابت دارند که عبارتند از: هزینه‌های سوخت، روغن، کارگر. ۲- هزینه‌هایی که در سال‌های مختلف پروژه ثابت‌اند ولی از ترکیبی به ترکیب دیگر تغییر می‌کنند که عبارتند از: هزینه‌های بیمه- مالیات-پناهگاه، به موقع انجام نشدن عملیات. ۳- هزینه‌هایی که هم در ترکیب‌ها و هم در سال‌ها متغیرند که عبارتند از: استهلاک، بهره، تعمیر و نگهداری.

برنامه‌ی GAMAMCO1

این برنامه بر اساس روش الگوریتم ژنتیک کار می‌کند. در این مدل، کروموزوم‌های هماوردی (تولید مثل)، بدون استفاده از روش‌های تصادفی، انتخاب می‌شوند. روش مورد استفاده، انتخاب نخبه‌ترین می‌باشد که بخشی از کروموزوم‌ها که برازندگی بیشتری نسبت به دیگر کروموزوم‌ها دارند، به نسل بعد انتقال می‌یابند و بقیه‌ی کروموزوم‌ها از طریق تقاطع تصادفی کروموزوم‌های هماوردی به دست می‌آیند. اما برای انتخاب کروموزوم‌ها برای تقاطع (جفت‌گیری)، از نوعی روش چرخ گردان (چرخ رولت) استفاده شده است. عملگر جهش، به صورت تصادفی بر روی تمام کروموزوم‌های حاصل از هماوردی و تقاطع، به استثناء تعداد محدودی از کروموزوم‌های هماوردی که بیشترین برازندگی را دارند، اعمال می‌شود.

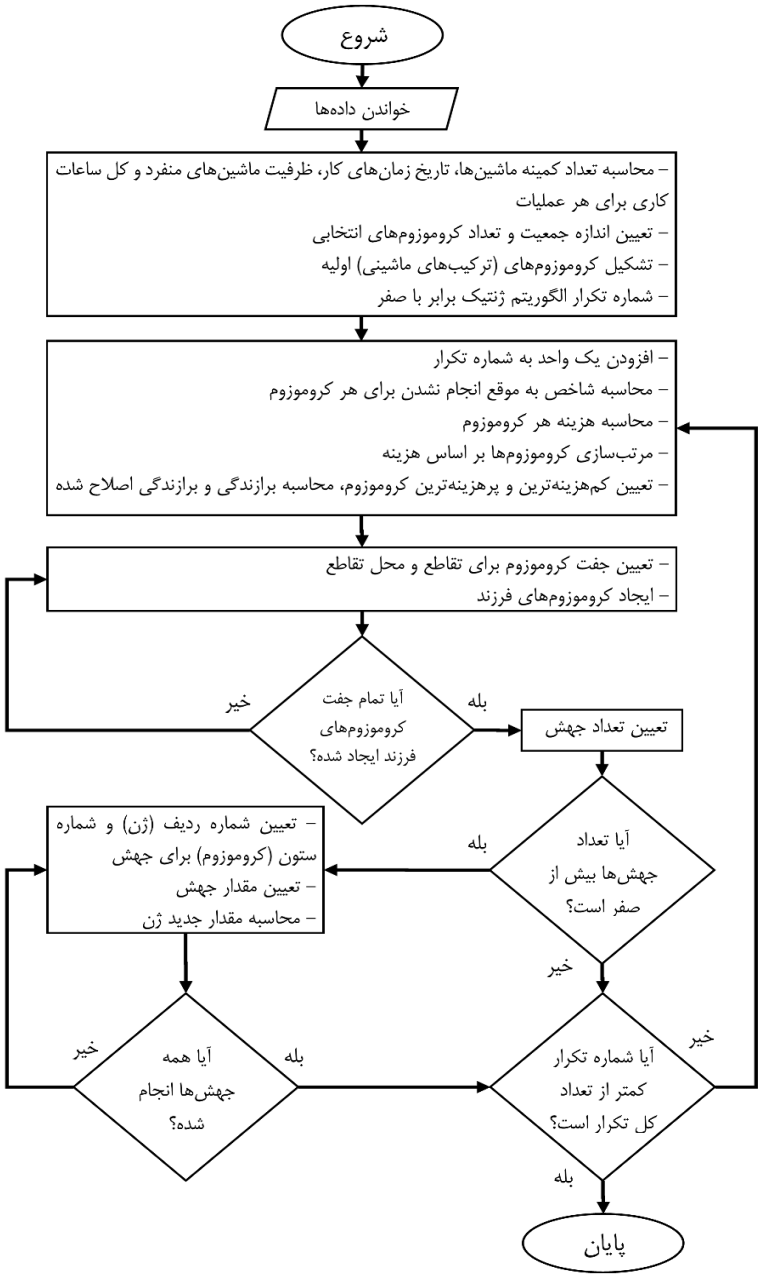
در این مدل تصمیم گرفته شد به جای استفاده از اعداد باینری (دودویی)، مستقیماً تعداد هر ماشین (اعداد صحیح)، به عنوان مقدار یک ژن در کروموزوم استفاده شود. بنابراین یک کروموزوم، دارای پنج ژن می‌باشد که از چپ به راست، به ترتیب مربوط به تعداد گاوآهن، دیسک، لولر، خطی‌کار و تراکتور است.

تنها قید برای تعیین مقدار هر ژن (تعداد هر ماشین)، تعداد کمینه‌ی هر ماشین برای تکمیل عملیات مربوطه در زمان مقرر است. بر خلاف روش تکرار که برای محدود کردن فضای جستجو، یک تعداد بیشینه نیز به عنوان قید معرفی شده بود، در این مدل سقفی برای تعداد ماشین در نظر گرفته نشده است. در شکل ۱ نمودار جریان این برنامه نشان داده شده است.

برنامه‌ی MPMAMCO1

این برنامه برای تعیین ترکیب بهینه‌ی ماشین‌های کشاورزی با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی در محیط نرم‌افزار GAMS توسعه یافته است. در این مدل به جای محاسبه تعداد زیادی از ترکیب‌های ماشینی و اولویت‌بندی آن‌ها، مستقیماً ترکیب ماشینی بهینه معرفی می‌شود. در نتیجه، امکان نمایش دیگر گزینه‌های ترکیب‌های ماشینی که هزینه‌ای تقریباً مشابه با ترکیب بهینه دارند، از بین می‌رود.

در روش برنامه‌ریزی ریاضی، تابع هدف باید به صورت یک معادله‌ی ریاضی مستقل بیان شود و امکان استفاده از یک برنامه‌ی رایانه‌ای به صورت یک زیرروال، به عنوان تابع هدف وجود ندارد. همچنین تابع هدف ریاضی، نیاز به ساده‌تر کردن زمان‌بندی و محاسبات هزینه را نیز به مدل تحمیل می‌کند. در بخش هزینه، امکان محاسبه‌ی هزینه، در طول سال‌های پروژه حذف شده و پروژه، به صورت یک ساله (یک دوره‌ای) تعریف شده است.



شکل ۱– نمودار جریان برنامه GAMAMCO1

مقایسه‌ی روش‌های بهینه‌سازی ماشین‌های کشاورزی

برای بررسی کارایی روش‌های بهینه‌سازی (تکرار، الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی ریاضی) مقایسه‌ای میان برنامه‌های توسعه یافته، از نظر زمان محاسبات، دقت برآورد هزینه و همچنین کیفیت سامانه‌ی ماشینی ارائه شده، انجام گردید. تمامی محاسبات در یک رایانه‌ی لپتاپ مدل acer Extensa 4630z با ۲ گیگابایت حافظه‌ی موقت و با پردازندهی دو هسته‌ای (doul core) با بسامد ۲ گیگاهرتز انجام شد. با استفاده از داده‌های فرضی واقع‌گرایانه (مربوطه به مشخصات ماشین‌ها، زمان‌های کاری هر عملیات و داده‌های مربوط به اقلام هزینه) هر سه مدل در مساحت‌های مختلف (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ٤۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ هکتار) اجرا شدند.

در تمامی مساحت‌ها نرخ انتخاب و نرخ جهش به ترتیب برابر با ۰/۵ و ۰/۳ تعیین شد. برای مساحت‌های کم، نیاز کمتری به تعداد نسل و تعداد کروموزوم در هر جمعیت است. بنابراین ابتدا از مقادیر کم (۲۰ نسل و ۲۰ کروموزوم) استفاده شد و با افزایش مساحت زمین، در صورت نیاز بر تعداد کل کروموزوم‌های مورد بررسی افزوده شد. به علت ماهیت تصادفی روش الگوریتم ژنتیک، مدل مربوطه به برای هر مساحت ۳۰ بار تکرار شد.

به خاطر ساده‌سازی‌های ایجاد شده در روش برنامه‌ریزی ریاضی، لازم است در روش تکرار نیز همین ساده‌سازی‌ها انجام شود تا بتوان از نظر چگونگی تعیین ترکیب بهینه، مقایسه‌ای میان این دو روش انجام داد. اصلی‌ترین تفاوت میان روش تکرار و روش برنامه‌ریزی ریاضی، تعداد سال‌های پروژه است. به علت این که در روش برنامه‌ریزی ریاضی توسعه یافته شده، امکان بررسی هزینه‌ها در طی سال‌های متمادی وجود ندارد، در روش تکرار هماهنگ‌سازی شده با روش برنامه‌ریزی ریاضی نیز طول عمر پروژه یک‌ساله تعریف شده است. بنابراین در هنگام مقایسه‌ی روش برنامه‌ریزی ریاضی با روش تکرار، ابتدا برنامه‌ی هماهنگ‌سازی شده‌ی MAMCO1 با روش برنامه‌ریزی ریاضی اجرا می‌شود تا بتوان فارغ از خطاهای حاصل از ساده‌سازی‌های انجام شده در روش برنامه‌ریزی ریاضی، کیفیت روش جستجوی این دو مدل را نیز مقایسه نمود.

نتایج و بحث

هر سه برنامه با استفاده از داده‌های ورودی در مساحت‌های مختلف اجرا شدند. در تمام مساحت‌ها، روش تکرار با روش الگوریتم ژنتیک همخوانی داشتند. ولی در اکثر مساحت‌ها استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی به دستیابی به ترکیب بهینه‌ی سراسری منتهی نمی‌شد.

روش تکرار به علت این که تمامی ترکیب‌های ممکن بررسی می‌شوند، قابل اعتمادترین روش است و به عنوان مبنایی برای ارزیابی عمکرد دیگر روش‌ها استفاده می‌شود. در این روش با افزایش مساحت، گزینه‌های تعداد هر ماشین در ترکیب‌های ماشینی افزایش می‌یابد و متعاقب آن تعداد کل ترکیب‌های ماشینی به شدت افزایش می‌یابند.

در جدول ۱ تعداد ترکیب‌های مورد بررسی و زمان محاسبات در مساحت‌های مختلف نشان داده شده است. جدول ۲، پنج ترکیب کم‌هزینه‌ی حاصل از اجرای مدل را در مساحت ۱۰۰۰ هکتار با استفاده از روش تکرار را همراه با اقلام هزینه نشان می‌دهد. سامانه‌ی ماشینی بهینه‌ی سراسری دارای ترکیب ۱۲، ۷، ۵، ۱۲ و ۱٦ است. در این جدول تمامی هزینه‌ها بر حسب میلیون ریال (MR) است.

جدول ۱- تعداد ترکیب‌های مورد بررسی و زمان محاسبات در مساحت‌های مختلف در اثر اجرای برنامه MAMCO1

مساحت (هکتار)	تعداد ترکیب‌ها	زمان محاسبات (ثانیه)
۱۰۰	۲۰۳	۰/۰۲
۲۰۰	۳۷٦	۰/۰٤
۳۰۰	۳۹۲	۰/۰٤
٤۰۰	۷۲۰	۰/۰۸
۵۰۰	۱۰۸۳	۰/۱۳
۱۰۰۰	۱۵۹۰۰	۱٦
۲۰۰۰	۱۹٤۵٤٤	۵۳۲۵

جدول ۲- پنج ترکیب کم‌هزینه‌ی حاصل از اجرای مدل MAMCO1 برای مساحت ۱۰۰۰ هکتار

شماره ترکیب	۱	۲	۳	٤	۵
	تعداد ماشین				
گاوآهن	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۳
دیسک	۷	۷	۷	۷	۷
لولر	۵	٦	۷	۵	۵
خطی‌کار	۱۲	۱۲	۱۲	۱۳	۱۲
تراکتور	۱٦	۱٦	۱٦	۱٦	۱٦
	هزینه (MR)				
بیمه-مالیات-سرپناه	۲۰۸	۲۰۹/۲	۲۱۰/٤	۲۱۲	۲۰۹
به موقع انجام نشدن	۱۲۹/۲	۱۲۹/۲	۱۲۹/۲	۱۲۹/۲	۱۲۹/۲
کارگری	٤٤۹/٦	٤٤۹/٦	٤٤۹/٦	٤٤۹/٦	٤٤۹/٦
سوخت	۸۳	۸۳	۸۳	۸۳	۸۳
روغن	۱۲/۳	۱۲/۳	۱۲/۳	۱۲/۳	۱۲/۳
بهره	٤۳۵/۵	٤۳۷	٤۳۷/۹	٤٤۵/۵	٤۳۸
استهلاک	٤۸۱	٤۷۹/۷	٤۷۸/۱	٤۸۸/۳	٤۸۲/۳
تعمیر و نگهداری	۲۳۸/۳	۲۳۹	۲۳۹/٦	۲۳۰/۹	۲۳۷/٦
کل	۲۰۳٦/۹	۲۰۳۸/۹	۲۰٤۰	۲۰٤۰/۹	۲۰٤۰/۹

در مساحت‌های ۱۰۰ تا ۳۰۰ هکتار تعداد ۲۰ نسل و تعداد ۲۰ کروموزوم در هر جمعیت (٤۰۰ کروموزوم در کل) برای رسیدن به جواب بهینه‌ی سراسری در هر ۳۰ تکرار روش الگوریتم ژنتیک کافی بود. زمان محاسبات در این ابعاد الگوریتم ژنتیک برابر با ۰/۰٤ ثانیه بود. در مساحت ٤۰۰ هکتار در ۲۸ اجرا میان روش‌های تکرار و الگوریتم ژنتیک همخوانی وجود داشت (ترکیب بهینه‌ی سراسری به دست آمد) و در دو اجرا ترکیب نهایی با ترکیب بهینه‌ی سراسری اختلاف داشت. با افزایش تعداد نسل و تعداد کروموزوم به ۵۰، در تمام ۳۰ اجرا ترکیب بهینه‌ی سراسری به دست آمد. در این حالت زمان محاسبات ۰/۱٦ بود. این ابعاد برای ۵۰۰ هکتار نیز کافی بود. برای ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هکتار نیاز شد که تعداد نسل و کروموزوم به ۱۰۰ (زمان محاسبات= ۱/۰۵ ثانیه) افزایش یابد.

برای مساحت ۱۰۰۰ هکتار برنامه‌ی GAMAMCO1 ابتدا با تعداد کروموزوم و نسل ۵۰، اجرا شد. در ۲۷ تکرار، همان ترکیب بهینه‌ی سراسری به عنوان ترکیب بهینه معرفی شد. ولی در یک تکرار، ترکیب ۱۲، ۸، ۵، ۱۲، ۱٦ به عنوان ترکیب بهینه معرفی شد که با ترکیب بهینه‌ی سراسری تنها یک دستگاه در تعداد دیسک اختلاف داشت. بنابراین چنین ترکیبی به عنوان ترکیب بهینه‌ی محلی به حساب نمی‌آید. در دو تکرار، ترکیب ۱۲، ۱۰، ۵، ۱۲، ۱٦ به عنوان ترکیب بهینه معرفی شد. این ترکیب، یک ترکیب بهینه‌ی محلی به حساب می‌آید زیرا نسبت به همسایگان خود دارای هزینه‌ی کمتری است. رتبه‌ی این ترکیب، در روش تکرار ۹ می‌باشد. در جدول ۳، این ترکیب ماشینی در مقایسه با ترکیب ماشینی بهینه‌ی سراسری و ترکیب‌های در همسایگی آن‌ها نشان داده شده است.

جدول ۳– مقایسه‌ی ترکیب بهینه‌ی محلی، ترکیب بهینه‌ی سراسری و ترکیب‌های در همسایگی آن‌ها برای مساحت ۱۰۰۰ هکتار*

شماره ترکیب	n1	LO1000	n2	n3	GO1000
گاوآهن	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
دیسک	۱۱	۱۰	۹	۸	۷
لولر	۵	۵	۵	۵	۵
خطی‌کار	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
تراکتور	۱٦	۱٦	۱٦	۱٦	۱٦
هزینه کل (MR)	۲۰۵۲/۹	۲۰٤۳/۷	۲۰٤۵/٦	۲۰٤۳/۱	۲۰۳٦/۹

*GO1000 و LO1000 ترکیب‌های بهینه‌ی سراسری و محلی
و n1، n2 و n3 ترکیب‌های در همسایگی آن‌ها هستند.

اختلاف تمام ترکیب‌های ماشینی ارائه شده در جدول ۳، در تعداد دیسک می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ترکیب بهینه‌ی محلی (LO1000) که دارای ۱۰ دستگاه دیسک است، در مقایسه با دو ترکیب در همسایگی‌اش (n1 و n2) که دارای ۱۱ و ۹ دیسک می‌باشند، هزینه‌ی کمتری دارد و بنابراین یک ترکیب بهینه‌ی محلی به حساب می‌آید.

با توجه به این که محاسبات هزینه برای ۲۰ سال در نظر گرفته شده است، علت اصلی پرهزینه بودن ترکیب ماشینی n2 نسبت به LO1000، کاهش عمر دیسک از ۲۰ به ۱۸ سال است. در ترکیب n2 در ابتدای سال ۱۹ ام، دیسک‌های قبلی با دیسک‌های نو جایگزین می‌شوند. ماشین‌های نو، ارزش بیشتری داشته و به تبع آن هزینه‌های بهره و استهلاک آن بیشتر است. هر چند در این حالت، هزینه‌های تعمیر و نگهداری و بیمه–مالیات–سرپناه کاهش یافته است ولی در نهایت، هزینه‌ی کل ترکیب ماشینی با کاهش تعداد دیسک افزایش یافته است.

ترکیب ماشینی n3 در مقایسه با ترکیب ماشینی n2 و ترکیب بهینه‌ی محلی، کم‌هزینه‌تر است و از نظر تعداد خطی‌کار به ترکیب ماشینی بهینه‌ی سراسری (GO 1000) نزدیک‌تر است. با کاهش یک دستگاه از ترکیب ماشینی n3، ترکیب بهینه‌ی سراسری ایجاد می‌شود.

به طور کل، خروج از این بهینه‌ی محلی بسیار محتمل است و با افزایش تعداد نسل‌ها و تعداد اعضای جمعیت، احتمال گیر افتادن در چنین بهینه‌ی محلی بسیار ناچیز است. با تغییر تعداد نسل و تعداد اعضای جمعیت به ۱۰۰، در هر ۳۰ اجرا ترکیب بهینه‌ی سراسری به دست آمد.

در کار پارمار و همکاران (۱۹۹٦) زمان محاسبات هم در روش تکرار و هم در روش الگوریتم ژنتیک بسیار بیشتر از این تحقیق بود. به نظر می‌رسد یکی از مهمترین دلایل، قدرت کم پردازش رایانه‌ی مورد استفاده آن‌ها (Intel-486) باشد. همچنین به علت محدود کردن تعداد کل ترکیب‌های مورد بررسی، معمولاً در روش الگوریتم ژنتیک سامانه‌ی بهینه‌ی سراسری به دست نمی‌آمد.

زمان محاسبات در روش برنامه‌ریزی ریاضی بسیار ناچیز بود و عملاً نرم‌افزار GAMS، عدد صفر را نمایش می‌داد. به علت ساده‌سازی‌های انجام شده در این روش، هزینه‌ی یک ترکیب ماشینی مشخص متفاوت از روش تکرار محاسبه می‌شود. در این روش هزینه‌ی کل در مقایسه با روش تکرار، بیش برآورد می‌شود. با این وجود، به علت این که در این بیش‌برآورد برای تمامی ترکیب‌ها همزمان رخ می‌دهد، برای مساحت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ هکتار، ترکیب نهایی حاصل این دو روش یکسان است. ولی برای مساحت ۳۰۰، ٤۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتار، دقت محاسبه هزینه باعث تفاوت میان این دو روش در تعیین ترکیب بهینه ماشینی شد. در مساحت ۲۰۰۰ هکتار علاوه بر روش شبیه‌سازی، روش جستجوی برنامه‌ریزی ریاضی نیز باعث عدم دستیابی به ترکیب بهینه سراسری شد. در این مساحت، میان روش برنامه‌ریزی ریاضی و روش تکرار هماهنگ‌سازی شده با این روش نیز اختلاف وجود داشت. در جدول ٤ ترکیب بهینه‌ی نهایی حاصل از روش‌های تکرار، برنامه‌ریزی ریاضی و روش تکرار هماهنگ‌سازی شده با روش برنامه‌ریزی ریاضی نشان داده شده است.

جدول ٤– مقایسه نتایج اجرای برنامه MAMCO1 و MPMAMCO1

مساحت (هکتار)	۲۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰

روش بهینه‌سازی	MP	IP	IM	MP	IP	IM	MP	IP	IM
گاوآهن	۳	۳	۳	۱۲	۱۲	۱۲	۲٤	۲٤	۲٤
دیسک	۲	۲	۲	۷	۷	۷	۱۳	۱۳	۱۳
لولر	۱	۱	۱	۵	۵	۵	۹	۹	۹
خطی‌کار	۲	۲	۲	۸	۸	۱۲	۱٤	۱۷	۲۳
تراکتور	٤	٤	٤	۱٦	۱٦	۱٦	۳۱	۳۱	۳۱

IM، MP و IP به ترتیب مربوطه به روش‌های تکرار، برنامه‌ریزی ریاضی و روش تکرار هماهنگ‌سازی شده با روش برنامه‌ریزی ریاضی می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در بین روش‌های بهینه‌سازی، روش تکرار قابل اعتمادترین روش است ولی با افزایش مساحت و تنوع ماشین‌ها، امکان استفاده از این روش کاهش می‌یابد. استفاده از روش الگوریتم ژنتیک، تضمینی برای رسیدن به سامانه بهینه سراسری ایجاد نمی‌کند ولی این روش در شرایطی که امکان استفاده از روش تکرار وجود نداشته باشد، کارایی مناسبی در موضوع انتخاب ترکیب‌های ماشین‌های کشاورزی دارد. روش برنامه‌ریزی ریاضی، هم به علت روش شبیه‌سازی و چگونگی محاسبات هزینه و هم به خاطر روش جستجو، روش کارآمدی برای تعیین ترکیب ماشینی بهینه، حتی در حالت یک اندازه ماشین نیز نمی‌باشد.

منابع و مآخذ

۱. خانی، م. ۱۳۹۳. توسعه مدل رایانه‌ای تصمیم‌یار برای انتخاب ماشین‌های کشاورزی بر اساس بهینه‌سازی هزینه‌ها. رساله دکتری، دانشگاه تهران.

۲. زیبایی، م. غزالی، س. ۱۳۸۹. تعیین اندازه بهینه اقتصادی ماشینهای کشاورزی در مزرعه دانشکده کشاورزی شیراز: با استفاده از یک مدل مبتنی بر برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲٤(۲): ۲۱۷-۲۲٦.

3. Alam, M. Awal, M. A. & Hossain, M. M. 2001. Selection of farm power by using a computer program. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 32(1): 65-68.

4. Camarena, E. A. Gracia, C. & Cabrera Sixto, J. M. 2004. A mixed integer linear programming machinery selection model for multifarm systems. Biosystems Engineering. 87(2): 145-154.

5. Dash, R. C. & Sirohi, N. P. S. 2008. A computer model to select optimum size of farm power and machinery for paddy-wheat crop rotation in Northern India. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal, Manuscript PM 08 012.Vol. X.

6. Edward, W. & Boehlje, M. 1980. machinery selection considering timeliness losses. Trans. ASAE. 23: 810-815.

7. Gunnarsson, C. & Hansson, P. 2004. Optimisation of field machinery for an arable farm converting to organic farming. Agricultural Systems. 80: 85-103.
8. Haffar, I. & Khoury, R. 1992. A computer model for field machinery selection under multiple cropping. Computers and Electronics in Agriculture. 7: 219–229.
9. Hetz, E. J. & Esmay, M. L. 1986. Optimization of machinery systems. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 17(1): 68-76.
10. Jannot, Ph. & Cairol, D. 1994. Linear programming as an aid to decision-making for investment in farm equipment for arable farms. Journal of Agricultural Engineering Resource. 59: 173-179.
11. Parmar, R. S. McClendon, R. W. & Potter, W. D. 1996. Farm machinery selection using simulation and genetic algorithms. Transactions of the ASAE. 39(5): 1905-1909.
12. Sogaard, H. T. & Sorensen, C. G. 2004. A model for optimal selection of machinery sizes within the farm machinery system. Biosystems Engineering. 89(1): 13-28.
13. Vatsa, D. K. & Saraswat, D. C. 2008. Selection of power tiller and matching equipment using computer program for mechanizing hill agriculture. Agricultural Engineering International: the CIGR E Journal, Manuscript PM 07 025. Vol.X.

Comparison among optimization methods to determine optimum number of agricultural machinery

Abstract

Different combinations of tractors and implements can be selected to perform the related tasks of a field, from which, one of them is the least cost machinery system. In this study, a model namely MAMCO (Model for Agricultural Machinery Composition Optimization) was developed to optimize the number of machines used during the planting period (plow, disk, leveler, planter and tractor) and to minimize total costs of machinery system. Iterative method (IM), genetic algorithm (GA) and mathematical programming (MP) were used as optimization methods. In terms of computation time and cost of proposed combination, optimization methods were compared in different field areas. IM was the slowest and the most confident model whereas, MP resulted in the fastest and the least accurate. Usually genetic algorithm reaches to the global optimum but Computation time for GA was less than that of IM without any area size restriction, whereas maximum applicable area for IM was 2000 ha. It seems that, by increasing types of operations and consequently their related machines, number of combinations becomes more than that in using IM. Therefore, for optimization of machinery system, there is a need to soft computation methods such as genetic algorithm.

Keywords: Machinery selection, Scheduling, Iterative method, Genetic algorithm, Mathematical programming.