

## شبیه‌سازی برنامه‌ریزی مسیر بهینه آن‌لاین ماشین در مزارع مثلثی شکل با استفاده از الگوریتم ژنتیک

فروغ کیهانی نسب<sup>۱</sup>، ترحم مصری گندشمین<sup>۲\*</sup>، غلامحسین شاهقلی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته‌ی مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

۲. دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

۳. دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۲۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۲/۱۷)

## چکیده

در سال‌های اخیر پیشرفت و توسعه دستگاه‌های هدایت خودکار در ماشین‌ها، به افزایش علاقه برای برنامه‌ریزی مسیر به کمک ابزارهای محاسباتی هوش مصنوعی منجر شده‌است. مزارع کشاورزی دارای اشکال و طرح‌های مختلف و متنوعی می‌باشند. در مزارع مثلثی چون طول مسیرها در تمام مزرعه یکسان نیست، بدست آوردن الگوی مناسب حرکت نسبت به مزارعی که شکل چهار وجهی دارند، مشکل‌تر می‌باشد. هدف این پژوهش، شبیه‌سازی برنامه‌ریزی مسیر بهینه آن‌لاین به‌منظور کاهش مسافت و زمان غیرمفید ماشین می‌باشد. در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزار Matlab 2013، الگویی بهینه برای حرکت ماشین‌های کشاورزی هدایت خودکار در مزارع مثلثی شبیه‌سازی، و در نهایت این الگوی بهینه در قالب نمودار با الگوهای سنتی مقایسه گردید. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که الگوی بهینه با اجتناب از دور زدن‌های طولانی، قادر است مسافت غیرمفید را تا ۵۱٪ و زمان غیرمفید را تا ۵۴٪ نسبت به الگوهای تردد مرسوم کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، الگوی بهینه، هدایت خودکار، مسافت غیرمفید.

## مقدمه

در سال‌های اخیر پیشرفت و توسعه دستگاه‌های هدایت خودکار در ماشین‌ها، به افزایش علاقه برای برنامه‌ریزی مسیر به کمک ابزارهای محاسباتی هوش مصنوعی منجر شده‌است (Keicher & Seufert, 2000). تحقیقات صورت‌گرفته در این حوزه بر چندین مساله نظیر کاهش تعداد دورزدن با کاهش پیچیدگی زمین و تفکیک مزرعه به زیر مزرعه‌هایی با شکل ساده‌تر، تاکید دارند. انجام عملیات کشاورزی در مزرعه بدون حرکت ماشین امکان‌پذیر نیست و ماشین‌های زراعی به منظور پوشش کل مزرعه باید از یک انتهای مزرعه بر روی مسیرهای موازی که سطح مزرعه را می‌پوشانند، حرکت کرده و به انتهای دیگر مزرعه برسند که همواره در حین انجام کار درصدی از مسافت را بدون انجام کار مفید طی می‌کنند. الگوهای سنتی مختلفی برای نحوه‌ی حرکت ماشین در مزرعه وجود دارد. این روش‌ها اغلب باعث افزایش مسافت غیرمفید طی‌شده هنگام دور زدن در سرمزرعه برای حرکت از انتهای یک مسیر به ابتدای مسیر بعدی، می‌شوند. بخش زیادی از زمان غیرمفید در طول دور زدن در سرمزرعه اتفاق می‌افتد و زمان دورزدن در بازده مزرعه‌ای و شاخص ماشینی مزرعه تاثیر منفی قابل توجهی دارد (Mestri

Gundoshmian, 2016). لذا ضرورت استفاده از تکنیک‌های

بهینه‌سازی به‌ویژه الگوریتم ژنتیک بعلت داشتن ویژگی‌های خاص در تولید مجموعه جواب‌های اولیه و جستجوی جواب بهینه از مجموعه جواب‌های مناسب و تکرار این عمل تا رسیدن به جواب بهینه‌ی مساله، در تعیین الگو و مسیر بهینه ماشین در مزرعه بسیار کارگشا خواهدبود و هر گونه الگوی بهینه‌سازی در مسیریابی عملیات کشاورزی که منجر به کاهش زمان غیرمفید گردد نیز تاثیر قابل توجهی بر بهبود بازده مزرعه‌ای خواهد داشت.

در زمینه‌ی بهینه‌سازی برنامه‌ریزی مسیر خودکار، تحقیقات زیادی صورت گرفته‌است. برای مثال، محققان راه‌حلی را برای برنامه‌ریزی مسیر بهینه برای عملیات در زمین‌های کشاورزی با استفاده از بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها ارائه کردند. در این پژوهش، رویکرد الگوریتمی برای تولید الگوهای B، مبتنی بر بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها ارائه شده‌است. در واقع بهینه‌سازی کلونی مورچگان برای حل مشکل بهینه‌سازی گراف موجود در ایجاد الگوهای B، انتخاب شد. الگوهای B، نوع جدیدی از الگوهای پوشش مزرعه هستند و با استفاده از یک فرایند بهینه‌سازی ترکیبی، معیارهای عملیاتی از جمله زمان عملیات، مسافت طی‌شده غیرمفید، مصرف سوخت و غیره را به حداقل می‌رسانند. الگوهای B، نتیجه یک روش برنامه‌ریزی

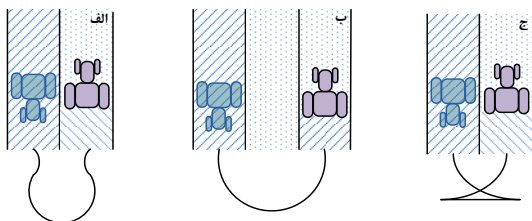
\* نویسنده مسئول: mesrigtm@uma.ac.ir

کرده و از الگوریتم ژنتیک جهت تعیین مسیر حرکت در مزرعه استفاده نموده‌اند (Noguchi et al., 1997). پژوهشگران رویکرد مبتنی بر الگوریتم ژنتیک جهت انتخاب همزمان مسیر رانندگی و ترتیب مسیرها ایجاد کردند که مسافت و زمان عملیاتی و ناحیه‌ی همپوشانی را کاهش می‌دهد (Hameed et al., 2011). هدف اصلی از این پژوهش ایجاد روشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای تعیین الگوی مناسب مسیر حرکت ماشین‌های کشاورزی در مزارع به منظور حداقل کردن مسافت غیرمفید طی شده و زمان غیرمفید تلف شده می‌باشد که بدنبال کمینه‌سازی این دو عامل (مسافت و زمان غیرمفید)، بازده مزرعه‌ای نیز افزایش خواهد یافت.

## مواد و روش‌ها

### جمع آوری اطلاعات پژوهش

در این پژوهش، مزرعه‌ای مثلثی شکل با ابعاد  $120 \times 90 \times 150$  در نظر گرفته شد و در آن عملیات کاشت با استفاده از تراکتور MF399 با سرعت ۷ کیلومتر بر ساعت به‌عنوان وسیله کشنده به همراه ردیف‌کار کششی ۶ ردیفه با عرض کار ۴ متر انجام شد که در این ردیف‌کار فاصله‌ی بین خطوط کشت از ۳۵ سانتی‌متر تا ۷۵ سانتی‌متر قابل تنظیم بود. طول تراکتور به همراه ردیف‌کار ۶/۴ متر و شعاع دور زدن آنها ۵/۲ متر می‌باشد. به‌منظور محاسبه‌ی زمان و مسافت غیرمفید در حین دورزدن، انواع روش‌های دورزدن (شکل ۱) عملاً در مزرعه انجام شد که مسافت طی شده و زمان تلف شده هر سه روش دور زدن در جدول ۱ آمده‌است.



شکل ۱. روش‌های مختلف دورزدن: الف) دورزدن حلقه‌ای (Ω-turn)، ب) دورزدن بین دو مسیر دور از هم (U-turn)، ج) دور زدن با استفاده از دنده عقب (T-turn)

جدول ۱. مسافت و زمان به‌دست آمده برای دور زدن در سر مزرعه به سه روش معمول

روش‌های دورزدن	مسافت (m)	زمان (s)
دورزدن Ω	۳۲	۳۵
دورزدن T	۲۵	۳۷
دورزدن U	۲۰	۲۳

برای دورزدن بین ۲ مسیرکنار هم، از روش دورزدن Ω و

مسیر است که بر اساس این روش، پوشش مزرعه به صورت پیمایش یک گراف وزن‌دار می‌باشد که در آن وزن کمان نمودار می‌تواند بر اساس هر معیار بهینه‌سازی نسبی مانند فاصله طی شده غیرمفید یا فاصله طی شده کل، زمان عملیات صرف شده و غیره انتخاب شود. در این روش، هر مسیر توسط دو نقطه مربوط به دو گره در یک گراف توصیف می‌شود و پیدا کردن دنباله‌ی بهینه پیمایش مسیر، معادل پیدا کردن کوتاه‌ترین تور در گراف است (Bakhtiari et al., 2011). همچنین محققان الگوریتمی را ایجاد کردند که امکان تفکیک بهینه‌ی مزرعه و انتخاب مسیر کاری بهینه را برای مزارع فرعی فراهم می‌کند. الگوریتم، زمین را در چندین ناحیه تفکیک می‌کند و سپس هر ناحیه را بطور جداگانه از لحاظ بهترین مسیر کاری مورد ارزیابی قرار می‌دهد همچنین محققان الگوریتمی را ایجاد کردند که امکان تجزیه‌ی بهینه‌ی مزرعه و انتخاب مسیر کاری بهینه را برای مزارع فرعی فراهم می‌کند. در این پژوهش ابتدا یک نمایش هندسی از شکل زمین برای فرمولاسیون مساله‌ی برنامه‌ریزی مسیر ایجاد شد، سپس جهت مسیر بهینه و تفکیک بهینه‌ی مزرعه برای حل مساله مورد جستجو قرار گرفت. مکانیزم جستجوی الگوریتم توسط تابع هزینه‌ی بدست‌آمده از تحلیل انواع مختلف دور زدن در سر مزرعه هدایت شد و با استراتژی تفکیک و تصرف پیاده‌سازی گردید. بدین صورت الگوریتم، زمین را در چندین ناحیه تفکیک کرده و سپس هر ناحیه را بطور جداگانه از لحاظ بهترین مسیر کاری مورد ارزیابی قرار می‌داد (Jin & Tang, 2010). سایر پژوهشگران با استفاده از الگوریتم ژنتیک روشی را برای حل مساله‌ی برنامه‌ریزی مسیر به منظور پوشش سطح مزرعه ارائه دادند که در این روش، ابتدا شکل مزرعه و مانع تعیین شد، سپس نواحی موردنیاز برای حرکت، به شبکه‌ای از نقاط فاصله‌دار در سرتاسر مزرعه تبدیل شدند. فاصله‌بندی شبکه معادل عرض کار ماشین تعیین شد که تمام نواحی قابل حرکت به‌جز موانع را پوشش می‌داد. نواحی که می‌بایست پوشش داده شوند، به مربع‌هایی تقسیم شدند و از شاخصی برای شناسایی نقطه‌ی مرکزی هر مربع استفاده شد که در این الگوریتم، مسیر به‌عنوان لیستی از این نقاط دوبعدی مرتب در نظر گرفته شد. این الگوریتم توانست مسیری ایجاد کند که ۹۸٪ کل سطح مزرعه را پوشش دهد و هیچ گونه تقاطعی با ناحیه‌ی مانع نداشته باشد (Ryerson & Zhang, 2006). در تحقیقات اخیر از شبکه عصبی مصنوعی به همراه الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل مربوط به برنامه‌ریزی مسیر نیز استفاده شده‌است. محققان در این پژوهش‌ها از شبکه عصبی برای توصیف مسیر حرکت وسیله نقلیه به‌منظور فرمان‌گیری استفاده

برتری نسبت به نسل‌های دیگر برخوردار هستند، شانس بیشتری برای بقا و تکثیر خواهند داشت و ویژگی‌ها و خصوصیات برتر آن‌ها به نسل‌های بعدی آنان نیز منتقل خواهد شد. الگوریتم ژنتیک یک روش جستجوی کلی است که از قوانین تکامل بیولوژیک طبیعی تقلید می‌کند. الگوریتم ژنتیک بر روی یک سری از جواب‌های مساله، به امید به دست آوردن جواب‌های بهتر، قانون بقای بهترین را اعمال می‌کند. در هر نسل، به کمک فرآیند انتخابی متناسب با ارزش جواب‌ها و تولید مثل جواب‌های انتخاب‌شده به کمک عملگرهایی که از ژنتیک طبیعی تقلید شده‌اند، تقریب‌های بهتری از جواب نهایی به دست می‌آید. این فرآیند باعث می‌شود که نسل‌های جدید با شرایط مساله سازگارتر باشند. در واقع، الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم مبتنی بر هوش مصنوعی و یک روش جمعیت مبناست که در تکرارهای مختلف راه‌حل‌ها را بهبود داده و یک سیر تکاملی به راه‌حل‌ها می‌دهد (Keyhani Nasab et al., 2016). الگوریتم ژنتیک از مراحل زیر تشکیل شده است:

در مرحله اول، مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها به صورت تصادفی ایجاد می‌شود. هر راه‌حل مساله را یک کروموزوم می‌نامند. هر کروموزوم از قسمت‌های کوچکتری به نام ژن تشکیل شده است. در الگوریتم ژنتیک به این مجموعه راه‌حل‌ها، جمعیت<sup>۴</sup> گفته می‌شود.

پس از تشکیل هر نسل باید مشخص گردد که کروموزوم‌های آن نسل تا چه حد به جواب بهینه نزدیک هستند. این کار توسط تابع برازش صورت می‌گیرد. به کمک تابع برازش می‌توان بهترین راه‌حل هر نسل را انتخاب کرد.

در مرحله بعد نسل جدیدی ایجاد می‌شود که ایجاد این نسل جدید با استفاده از یک سری از عملگرهای الگوریتم ژنتیک نظیر انتخاب، تقاطع و جهش انجام می‌گیرد (Sivanandam and Deepa, 2008).

**رمزگذاری تعیین مسیر با استفاده از الگوریتم ژنتیک**  
مزرعه منتخب برای شبیه‌سازی به شکل مثلث و با ابعاد  $150 \times 120$  در نظر گرفته شد که به روش‌های مختلف مسیریابی در آن ترسیم شده است. محاسبات و شبیه‌سازی در نرم‌افزار متلب براساس الگوریتم ژنتیک انجام شد. معیار ارزیابی کاندیداهای جواب بهینه از بین راه‌حل‌های موجود، ارزیابی آنها توسط تابع هزینه است که در این مساله حداقل مسافت طی شده به عنوان معیار ارزیابی روش‌های حل تنظیم گردید.

T استفاده می‌شود. دورزدن در حالت  $\Omega$  و T ناشی از محدودیت حرکتی ماشین‌ها بوده و زمانی استفاده می‌شوند که نتوان از حالت U استفاده کرد. زمان تلف شده در این حالت برابر است با همان زمانی که صرف دورزدن به صورت  $\Omega$  و T می‌شود و اگر بین دو مسیری که قصد دورزدن بین آن‌ها را داریم، یک مسیر وجود داشته باشد، آنگاه زمان تلف شده هنگام دورزدن برابر با زمان تلف‌شده در روش U خواهد بود. برای مواقعی که بیش از یک مسیر بین دو مسیری که قصد دورزدن بین آن‌ها را داریم، وجود داشته باشد، باید زمان لازم برای پیمودن فاصله‌ی بین دو مسیر را نیز به زمان تلف‌شده در روش U اضافه کرد.

برنامه‌ریزی مسیر هوشمند برای تراکتورهای هدایت خودکار به دو دسته تقسیم می‌شود: برنامه‌ریزی آفلاین<sup>۱</sup> و برنامه‌ریزی آنلاین<sup>۲</sup>. در این نوع برنامه‌ریزی مسیر، از اندازه‌گیری‌های لحظه‌ای استفاده می‌شود. به همین دلیل این نوع برنامه‌ریزی، برنامه‌ریزی پوششی مبتنی بر سنسور نیز خوانده می‌شود. در واقع در این نوع برنامه‌ریزی، ادوات هدایت خودکار با استفاده از سنسورهای تصویری تعبیه شده در سقف خود ابتدا سطح مزرعه را اسکن کرده و به کمک گیرنده شبکه تعیین موقعیت جهانی (GPS)<sup>۳</sup> که مستقیماً به کامپیوتر ماشین متصل است به صورت لحظه‌ای نقشه‌ای از زمین زراعی را در کامپیوتر تهیه کرده و سپس به کمک الگوریتم‌های کدگذاری شده‌ی هوشمند و با استفاده از سیستم‌های مکان‌یاب کنترل می‌شوند. تراکتور هدایت خودکار با استفاده از الگوریتم‌های مختلفی، نقشه‌های تهیه شده از زمین را به صورت شبکه‌ای از سلول‌ها که اندازه‌ی هر سلول مطابق ابعاد تراکتور می‌باشد، تقسیم می‌کند و پوشش سطح مزرعه را به صورت دنباله‌ای از سلول‌های پشت سرهم انجام می‌دهد (Jeon, 2013).

### الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک تکنیکی است که از تکامل ژنتیکی و اصول طبیعی داروین به عنوان الگوی حل مساله استفاده می‌کند. قانون انتخاب طبیعی بیانگر این مساله است که تنها گونه‌هایی از یک جمعیت می‌توانند نسل خود را ادامه بدهند که بهترین خصوصیات را داشته باشند و این خصوصیات برتر به نسل‌های بعد منتقل خواهد شد و گونه‌هایی که دارای این خصوصیات برتر نیستند بتدریج و در طی زمان از بین می‌روند (Bryant, 2000). بر اساس این تئوری، نسل‌هایی که از ویژگی‌ها و خصوصیات

1. Offline  
2. Online  
3. Global Positioning System

در طول کار خود با استفاده از این روابط، فاصله تمام مسیرها از یکدیگر را بدست می‌آورد.

#### بخش تنظیمات پارامترها<sup>۳</sup>

در قسمت تنظیمات پارامترها، پارامترهای مربوط به تولیدمثل، از قبیل اندازه‌ی جمعیت، تعداد تکرار، درصد فرزندان تولیدی از طریق تقاطع و درصد فرزندان تولیدی از طریق جهش، وارد شده است.

#### بخش جمعیت اولیه<sup>۴</sup>

در بخش جمعیت اولیه، نحوه‌ی محاسبه‌ی جمعیت اولیه تعیین شده است. برای این کار کروموزوم‌هایی که ژن‌های آنها از به هم ریختن کاملاً تصادفی شماره‌ی مسیرهای حرکت تشکیل شده است، ایجاد می‌شوند. تعداد کل جواب‌ها با اندازه‌ی جمعیت که در بخش قبلی تعیین شد، برابر است.

#### بخش حلقه‌ی اصلی الگوریتم<sup>۵</sup>

در حلقه‌ی اصلی، محاسبات اصلی الگوریتم برای پیدا کردن جواب بهینه مساله انجام شده است. در این بخش، الگوریتم، فرزندان جدیدی بر اساس تقاطع و جهش تولید می‌کند. دو عملگر تقاطع و جهش در این قسمت بصورت تابع نوشته می‌شوند.

#### تابع مربوط به عملگر تقاطع

در این قسمت روابط مربوط به عمل تقاطع آورده شده است که در این پژوهش از روش تقاطع یک نقطه‌ای استفاده شده است.

#### تابع مربوط به عملگر جهش

در این قسمت روابط مربوط به عمل جهش آورده شده است. در این پژوهش از روش جهش در کروموزوم‌های با متغیر حقیقی استفاده شده است.

#### تابع مربوط به محاسبه‌ی برازش جواب‌های مساله

در قسمت محاسبه‌ی برازش، مسافت غیرمفید پیموده‌شده در بین مسیرها برای جواب‌هایی که از الگوریتم به دست می‌آید، محاسبه می‌شود.

#### بخش نتایج

نتایج حاصل از الگوریتم شامل: بهترین راه‌حل، بهترین برازش، زمان انجام محاسبات و شکل مربوط به تعداد تکرار و برازش در این بخش کدهی می‌شوند.

راه‌حل‌ها بر اساس مفروضات ذیل شبیه‌سازی و اجرا گردید:  
الف- هر ژن بیانگر شماره‌ی سلول است که از به هم پیوستن تمام سلول‌ها به یکدیگر، الگوی پوشش سطح مزرعه به صورت یک کروموزوم تولید خواهد شد.

ب- کروموزوم‌های الگوریتم در این مساله بیانگر یک ترتیب مسیر حرکت و یک جواب برای مساله می‌باشد.  
ج- عرض هر سلول برابر با عرض کار دستگاه در نظر گرفته شد.

د- براساس پارامترهای مربوط به تولیدمثل از قبیل اندازه جمعیت و تعداد تکرار، درصدی از فرزندان تولیدی از طریق تقاطع نقطه‌ای و درصدی دیگر از طریق جهش تولید شدند.  
برای راحتی کار با الگوریتم ژنتیک، رمزگذاری الگوریتم ژنتیک بصورت چندبخشی انجام شد. بخش‌هایی که در کدنویسی الگوریتم ژنتیک استفاده شده است به ترتیب زیر می‌باشد:

#### بخش ورودی‌ها<sup>۱</sup>

در این بخش به منظور شبیه‌سازی حرکت ادوات هدایت خودکار در مزرعه و پیمایش آن درون سلول‌های ایجاد شده، بجای استفاده از الگوریتم‌های خاص برای ایجاد سلول در سطح مزرعه، از سلول‌های موجود در نرم افزار Excel استفاده گردید. فایل Excel که ورودی‌های مساله نظیر هزینه‌های دور زدن از یک سلول به سلول دیگر در آن لحاظ شده است بصورت Default توسط الگوریتم خوانده می‌شود. به گونه‌ای که داخل فایل Excel ماتریسی  $n \times n$  که  $n$  تعداد متغیر (سلول‌ها) می‌باشد، ایجاد شد و فاصله‌ی طی‌شده‌ی هر سلول با سلول مجاور درون سلول وارد شد اما از آنجاییکه هدف ما در این پژوهش محاسبه‌ی مسافت دورزدن در انتهای مزرعه و کمینه‌کردن آن می‌باشد لذا هزینه‌ی دور زدن برای سلول‌های میانی 0 در نظر گرفته شد و تنها هزینه‌ی دور زدن برای سلول‌های کناری (سر مزرعه) وارد گردید. از آنجاییکه سه نوع دور زدن در این پژوهش در نظر گرفته شده است بدین منظور هر یک از روش‌های دور زدن را در یک Sheet جداگانه در Excel تعریف می‌کنیم و الگوریتم Max V را معادل تعداد Sheet های استفاده‌شده در فایل Excel قرار می‌دهیم تا بتواند داده‌های وارد شده در هر Sheet را از هم متمایز سازد.

#### بخش ماتریس فواصل<sup>۲</sup>

در بخش مربوط به ماتریس فواصل، روابط مربوط به نحوه‌ی محاسبه فاصله‌ی بین مسیرهای حرکت آورده شده است. الگوریتم

3 . Parameter Setting

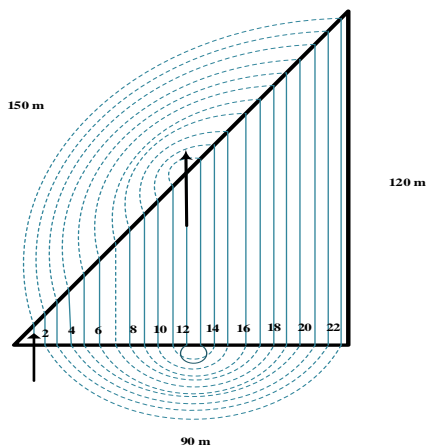
4 . Initial Population

5 . Algorithm Main Loop

1 Inputs Section

2 . Distance Matrix Section

$$\sigma_{\text{دورتادور}} = \left\{ \begin{array}{l} 1, 23, 2, 22, 3, 21, 4, 20, 5, 19, 6, 18, 7 \\ 17, 8, 16, 9, 15, 10, 14, 11, 13, 12 \end{array} \right\}$$



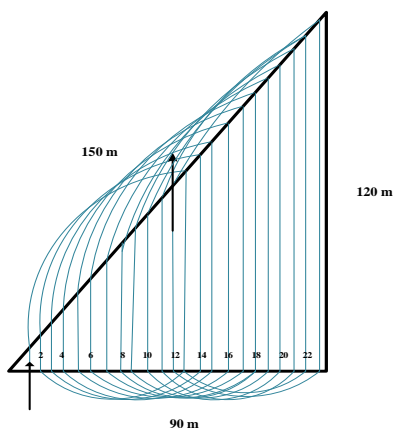
شکل ۳. نحوه ی حرکت در مزرعه مثلثی به روش دورتادور

### الگوی تردد مارپیچ

### الگوی تردد مارپیچ

مسیر ۲ برگشت و بعد از آن مسیر ۱۴ و به همین ترتیب تا انتهای مزرعه حرکت را ادامه داد ( شکل ۴ ). در این حالت مسافتی که در دورزدن بین مسیرهای مختلف در سر مزرعه طی می‌شود، با هم برابر است، چون فاصله ی مسیرهایی که باید بین آنها دور بزنیم ، برابر است. ترتیب مسیر در این روش به صورت زیر می‌باشد:

$$\sigma_{\text{مارپیچ}} = \left\{ \begin{array}{l} 1, 13, 2, 14, 3, 15, 4, 16, 5, 17, 6, 18, 7 \\ 19, 8, 20, 9, 21, 10, 22, 11, 23, 12 \end{array} \right\}$$



شکل ۴. نحوه ی حرکت در مزرعه مثلثی به روش مارپیچ

### الگوی تردد هوشمند

برای مزرعه‌ی فوق می‌توان از الگوهای بهینه به‌دست آمده از الگوریتم ژنتیک نیز استفاده کرد. در این حالت سطح مزرعه به

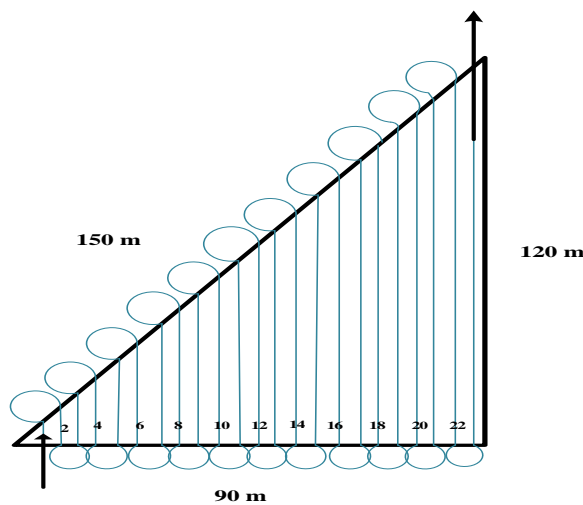
### انواع الگوهای تردد

برای محاسبه‌ی میزان تاثیر روش‌های مختلف دور زدن، برکل مسافت غیرمفید طی‌شده در حین انجام عملیات کشاورزی در مزرعه، مسافت طی‌شده‌ی غیرمفید ۴ ترتیب حرکت (۳ ترتیب حرکت سنتی و ۱ ترتیب هوشمند) با یکدیگر مقایسه گردید.

### الگوی تردد پیوسته

جهت انجام عملیات می‌توان از الگوی پیوسته استفاده کرد. در این حالت، از مسیر ۱ شروع شده و بعد از آن به ترتیب تا مسیر ۲۳ حرکت ادامه می‌یابد، تا کل مزرعه مطابق شکل ۲ پوشش داده شود. در این روش حرکت چون بعد از هر مسیر، حرکت از مسیر کناری ادامه می‌یابد، پس تمام دورزدن‌ها به روش Ω انجام خواهد شد که بر این اساس ترتیب حرکت بصورت زیر خواهد شد:

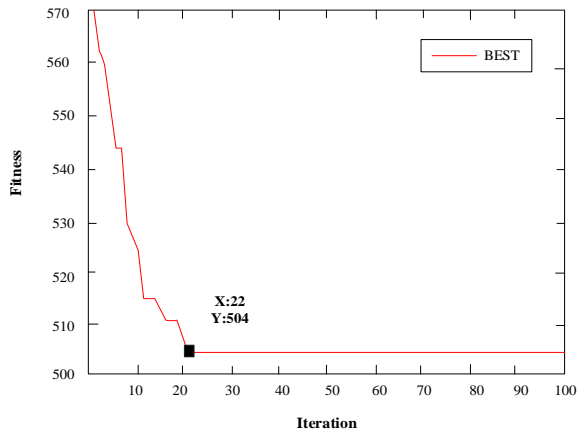
$$\sigma_{\text{پیوسته}} = \left\{ \begin{array}{l} 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 \\ 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 \end{array} \right\}$$



شکل ۲. نحوه ی حرکت در مزرعه مثلثی به روش پیوسته

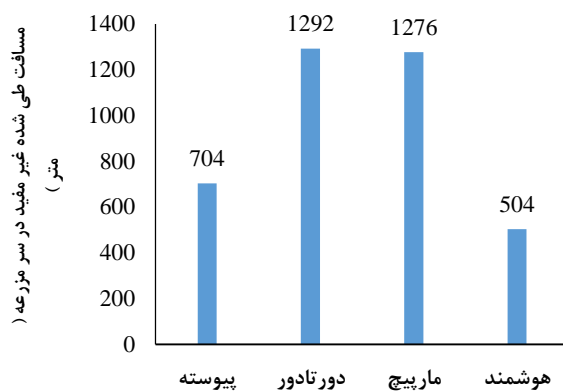
### الگوی تردد دورتادور

می‌توان از روش حرکت از کناره‌ها و اتمام عملیات در مرکز مزرعه نیز استفاده کرد. در این حالت باید از مسیر ۱ شروع به حرکت کرده و در سر مزرعه دورزده و به سمت مسیر ۲۳ حرکت کرد. در اپوک بعدی از مسیر ۲۳ به سمت مسیر ۲ حرکت کرده و به این ترتیب عملیات ادامه می‌یابد تا به وسط مزرعه رسیده و با حرکت از مسیر ۱۳ به مسیر ۱۲ کار را به پایان رساند. در انتها برای حرکت از مسیر ۱۳ به مسیر ۱۲ از روش دورزدن Ω استفاده می‌شود. در شکل ۳ این روش حرکت نشان داده شده است. در این روش حرکت، ترتیب مسیر به صورت زیر می‌باشد:



شکل ۶. نمودار همگرایی تابع هدف (مسافت غیر مفید) در تکرارهای مختلف

نتایج بدست آمده از عملیات با ۴ الگوی فوق (۳ الگوی سنتی و ۱ الگوی هوشمند) در شکل ۷ و ۸ آورده شده است.

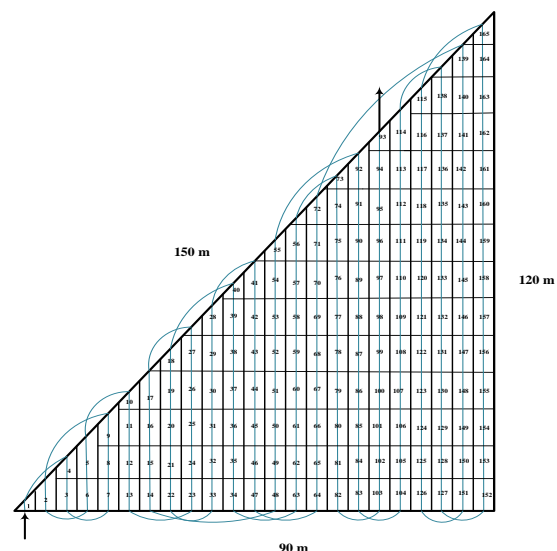


شکل ۷. مسافت غیرمفید طی شده برای الگوی حرکت در مزرعه مثلثی شکل

با توجه به مسافت غیرمفید به دست آمده، مشاهده می‌شود که در الگوی تردد هوشمند، مسافت غیرمفید طی شده برابر ۵۰۴ متر می‌باشد که نسبت به روش پیوسته ۲۹٪، نسبت به روش دورتادور ۶۱٪، نسبت به روش مارپیچ ۶۰٪ کاهش نشان داد. به طور کلی، این الگوی بهینه توانست مسافت غیرمفید را تا ۵۱٪ نسبت به الگوهای سنتی کاهش دهد. دلیل این امر پرهیز از دور زدن طولانی در سر مزرعه نسبت به سایر الگوهای سنتی می‌باشد. زیرا همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در الگوی تردد پیوسته، از روش دور زدن  $\Omega$  شکل استفاده شده است که با توجه به جدول ۱، نسبت به روش U مورد استفاده در الگوی بهینه مسافت بیشتری را می‌بایست برای حرکت از انتهای یک مسیر به ابتدای مسیر بعدی طی کند. در شکل‌های ۳ و ۴ هم مشاهده می‌شود که در تمام دور زدن‌ها از روش U کشیده استفاده شده است که مسافت غیرمفید زیادی را بر جای

سلول‌هایی به اندازه‌ی ابعاد ماشین تقسیم شده است و با استفاده از الگوریتم هوشمند مسیر بهینه‌ی پیمایش سلول‌ها همانند شکل ۵ به دست آمد. ترتیب بهینه‌ی پیمایش سلول‌ها در این حالت به صورت زیر می‌باشد:

$$\sigma_{\text{هوشمند}} = \left[ \begin{array}{l} 1, 4, 3, 7, 8, 9, 2, 6, 5, 10, 11, 12, 13 \\ 23, 24, 25, 26, 27, 17, 16, 15, 14, 48, 49 \\ 50, 51, 52, 53, 54, 55, 92, 91, 90, 89, 88 \\ 87, 86, 85, 84, 83, 104, 105, 106, 107, 108 \\ 109, 110, 111, 112, 113, 114, 138, 137, 136 \\ 135, 134, 133, 132, 131, 130, 129, 128, 127 \\ 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160 \\ 161, 162, 163, 164, 165, 115, 116, 117, 118 \\ 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 151 \\ 150, 149, 148, 147, 146, 145, 144, 143, 142 \\ 141, 140, 139, 72, 71, 70, 69, 68, 67, 66, 65 \\ 64, 47, 46, 45, 44, 43, 42, 41, 28, 29, 30, 31 \\ 32, 33, 22, 21, 20, 19, 18, 40, 39, 38, 37, 36 \\ 35, 34, 63, 62, 61, 60, 59, 58, 57, 56, 73, 74 \\ 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 103, 102, 101 \\ 100, 99, 98, 97, 96, 95, 94, 93 \end{array} \right]$$

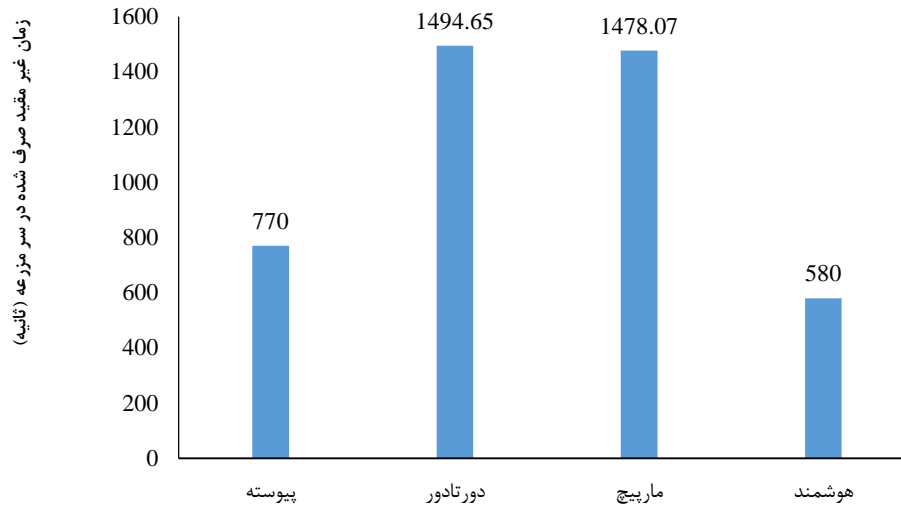


شکل ۵. نحوه‌ی حرکت در الگوی تردد هوشمند

### نتایج و بحث

این ترتیب مسیر بهینه در تکرار ۲۲ حاصل شد و در ادامه با تکرار الگوریتم مسیر بهینه‌ی جدیدی بدست نیامد (شکل ۶).

می‌گذارد در حالیکه در الگوی تردد بهینه (شکل ۵) اغلب از روش دور زدن U کوتاه استفاده شده‌است که نیاز به طی مسافت کمتری دارد.



شکل ۸. تلفات زمانی برای ۴ الگوی حرکت در مزرعه مثلثی شکل

مزرعه‌ی بزرگ جدا از هم نیز مسافت غیرمفید در ترتیب بهینه برابر ۶۱۶/۶۸ متر و در حالت سنتی برابر با ۱۰۷۱/۸۱ متر بدست آمد (Bochtis et al., 2008). نتایج حاصل از تحقیق فوق نشان می‌دهد که با استفاده از الگوی بهینه، مسافت غیرمفید هم برای مزارع کوچک و هم برای مزارع بزرگ تا ۴۳٪ کاهش یافته است.

بکارگیری سیستم‌های هدایت خودکار علیرغم مزیت‌های فراوان نظیر کاهش اثرات بد زیست‌محیطی ناشی از تردد ماشین در مزرعه و کاهش خستگی راننده، دارای محدودیت‌های زیادی می‌باشد. از آنجاییکه پیاده‌سازی این سیستم تنها از طریق بکارگیری سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) امکان‌پذیر می‌باشد، لذا تنظیم و نصب درست سنسورها و سیستم‌های ناوبری GPS برای عملیات میدانی موثر موردنیاز است. تصمیم‌گیری در مورد اتخاذ ناوبری GPS باید بر اساس نیازهای خاص مزرعه، روش‌های عملیاتی مزرعه و درک درست از خطاهای مکان‌یابی باشد و همچنین مسائلی مانند دینامیک خودرو، ردیابی ادوات کشیدنی و خاک زمینی زراعی نیز باید در نظر گرفته شود و در نهایت به‌منظور پیاده‌سازی دقیق این سیستم می‌بایست نمایش هندسی مناسبی از مزرعه فراهم گردد. عامل محدود کننده‌ی دیگر، هزینه‌ی بالای پیاده‌سازی این سیستم‌ها می‌باشد که این هزینه‌ها بسته به محصول، سطح مزرعه و دقت ایجاد مسیر، متفاوت می‌باشد. از طرفی برای اینکه پیاده‌سازی این روش در مزارع مقرون به‌صرفه بوده و هزینه در واحد سطح کاهش یابد، این سیستم‌ها می‌بایست در مزارع بزرگ پیاده‌سازی شود.

همچنین در مورد تلف‌شده، الگوی تردد هوشمند زمان تلف‌شده را نسبت به الگوی پیوسته ۲۵٪، نسبت به الگوی دورتادور ۶۲٪ و نسبت به الگوی ماریچ ۶۱٪ کاهش دهد. به‌طور کلی، الگوی تردد هوشمند قادر است زمان غیرمفید را تا ۵۴٪ نسبت به الگوهای سنتی کاهش دهد که دلیل این امر، طی مسافت کمتر حین دورزدن در سر مزرعه به‌خاطر اتخاذ روش دور زدن U و شکل کوتاه آن برای رسیدن به مسیر بعدی می‌باشد. همانطور که در جدول ۱ ذکر شد، تلفات زمانی در روش دورزدن U در مقایسه با روش‌های  $\Omega$  و T بسیار کمتر می‌باشد که دلیل این امر نیز راحتی اجرای این روش نسبت به روش‌های دیگر می‌باشد.

در تحقیق مشابه، پژوهشگران دیگر نیز نتایج مشابهی گزارش کردند، آنها با استفاده از الگوریتم ژنتیک، الگویی بهینه برای حرکت ماشین‌های کشاورزی در مزرعه‌ی مستطیلی‌شکل شبیه‌سازی، و در نهایت این الگوی بهینه را در قالب نمودار با الگوهای سنتی مقایسه کردند به‌طوری‌که الگوی بهینه توانست با اجتناب از روش‌های دور زدن طولانی به‌طور میانگین تا ۵۰٪ در مسافت و زمان غیر مفید صرفه‌جویی نماید (Keyhani Nasab et al., 2016).

سایر پژوهشگران نیز مقایسه‌ای بین روش‌های سنتی و روش بهینه انجام دادند که در این مقایسه، مسافت غیرمفید برای مزارع کوچک در روش پیوسته ۱۷۴/۴ متر، روش بلوک-بندی با ۷ مسیر، ۱۳۲/۳۵ متر، روش بلوک‌بندی با ۵ مسیر، ۱۵۲/۸۴ متر و در روش بهینه ۹۹/۶۵ متر بدست آمد. برای سه

## نتیجه گیری

کشاورزی هدایت خودکار در مزارع به منظور حداقل کردن مسافت طی شده و زمان تلف شده تعیین شود. الگوریتم ژنتیک با استفاده از داده‌های ورودی اندازه‌گیری شده و با استفاده یک سری عملگرهای خاص، الگوی بهینه‌ی تردد ماشین آلات در مزرعه را ارائه نمود که این الگوی بهینه با ۳ الگوی تردد مرسوم مقایسه گردید و توانست تا ۵۱٪ در مسافت و ۵۴٪ در زمان غیر مفید صرفه‌جویی نماید. در حقیقت این روش در نوابری‌های اتوماتیک قابل اجراست و بسیاری از مشکلات مسافت‌های غیرمفید را حل خواهد نمود اما پیاده سازی آن تنها در صورت استفاده از ابزارهای کشاورزی دقیق نظیر مکان‌یاب امکان‌پذیر می‌باشد.

الگوهای سنتی مختلفی برای نحوه‌ی حرکت ماشین در مزرعه وجود دارد. این روش‌ها اغلب باعث افزایش مسافت غیرمفید طی شده هنگام دور زدن در سرمزرعه برای حرکت از انتهای یک مسیر به ابتدای مسیر بعدی، می‌شوند. بخش زیادی از زمان غیرمفید در طول دور زدن در سرمزرعه اتفاق می‌افتد و زمان دورزدن در بازده مزرعه‌ای و شاخص ماشینی مزرعه تاثیر منفی قابل توجهی دارد اما امروزه با پیشرفت و توسعه دستگاه‌های هدایت خودکار در ماشین‌ها، لزوم استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی به‌ویژه الگوریتم ژنتیک بیش از پیش احساس می‌شود. در این پژوهش، تلاش گردید تا با ایجاد روشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، الگوی مناسب مسیر حرکت ماشین‌های

## REFERENCES

- Bakhtiari, A.A., Navid, H. Mehri, J. Bochtis, D.D. (2011). Optimal route planning of agricultural field operations using ant colony optimization. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal, Vol.13, No.4*. Manuscript No.1939.
- Bochtis, D.D., Vougioukas, S.G. Griepentrog, H.W. Anderson. N.A. (2008). Effect of capacity constrates on the motion pattern of an autonomous orchard sprayer. In proceeding of *agricultural and biosystems engineering for a sustainable world, EuAgEng, Crete, Greece. 8pp*.
- Bryant, K. (2000). Genetic algorithm and the traveling salesman problem. *Department of Mathematics. Hervey Mudd college*.
- Hameed, I.A., Bochtis, D.D., Sørensen, C.G. (2011). Driving angle and track sequence optimization for operational path planning using genetic algorithms. *Appl. Eng. Agric, 27, 1077-1086*.
- Jeon, H.S. (2013). An efficient area maximizing coverage algorithm for intelligent robot with deadline situation. *International Journal of Control and Automation. Vol.6, NO.3*.
- Jin, J., & Tang, L. (2010). Optimal Coverage Path Planning for Arable Farming on 2D Surfaces. *Transactions of the ASABE 53(1):283-295*.
- Keicher, R., & Seufert, H. (2000). Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe. *Computers and Electronics in Agriculture, 25, 169-194*.
- Keyhani Nasab, F., Mesri Gundoshmian, T. Shahgholi, G.H. (2016). Determining the optimal route traffic patterns of machinery in rectangular farms using genetic algorithm. In: *Proceedings of 10<sup>th</sup> National Congress of Biosystems Eng. (Agr. Machinery and Mechanization), 30 -31 Aug., Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*.
- Keyhani Nasab, F., Mesri Gundoshmian, T. Shahgholi, G.H. (2016). Determining the optimal route traffic patterns of machinery in asymmetrical farms using genetic algorithm. In: *Proceedings of 10<sup>th</sup> National Congress of Biosystems Eng. (Agr. Machinery and Mechanization), 30 -31 Aug., Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*.
- Mesri Gundoshmian, T. (2016). *Mechanization of agricultural industries (Strategies and approaches in biosystem industries)*. University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil, Iran.
- Noguchi, N., & Terao, H. (1997). Path planning of an agricultural mobile robot by neural network and genetic Algorithm. *Journal of Computers and Electronics in agriculture, 18: 187-204*.
- Ryerson, A.E., & Zhang, Q. (2006). Vehicle path planning for complete field coverage using genetic algorithms. In: *Proceedings of the Automation Technology for Off-road Equipment (ATOE), Bonn, Germany, pp. 309-317*.
- Sivanandam, S.N., & Deepa, S. N. (2008). *Introduction to Genetic Algorithm. Publisher: Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, Germany*.