

نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## الگوی بهینه‌ی حرکت ماشین‌های زراعی در مزارع مثلی شکل با استفاده از الگوریتم ژنتیک

ترحم مصری گندشمین<sup>۱\*</sup>، ابراهیم عبداللهی<sup>۲</sup>، غلامحسین شاهقلی<sup>۱</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، رشته مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی

Email: mesrightm@uma.ac.ir

### چکیده

کنترل تردد طی انجام عملیات زراعی تراکم خاک ناشی از فشار چرخ‌های ماشین را حداقل خواهد نمود. از مهم‌ترین مزیت‌های سیستم کنترل تردد در کشاورزی، افزایش بهره‌وری مزرعه با توجه به کاهش قابل توجه زمان تلف‌شده حین حرکت در مزرعه می‌باشد. مزارع کشاورزی دارای اشکال و طرح‌های مختلف و متنوعی می‌باشند. در مزارع مثلی چون طول مسیرها در تمام مزرعه یکسان نیست، بدست آوردن الگوی مناسب حرکت نسبت به مزارعی که شکل چهار وجهی دارند، مشکل‌تر می‌باشد. روش‌های مختلفی برای نحوه‌ی حرکت ماشین در مزرعه به صورت سنتی وجود دارد که متداول‌ترین آن الگوی حرکت پیوسته است. علاوه بر این الگوی تردد متداول الگوهای دیگری از جمله الگوی مارپیچی، دور تا دور و ۶ الگوی مبتنی بر الگوریتم ژنتیکی بررسی و شبیه‌سازی شد. در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک، الگوی بهینه برای حرکت ماشین‌های کشاورزی مختلف در داخل مزارع مثلی را بدست آمد که مسافت غیرمفید را بیش از ۵۰٪ کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، الگوهای سرمزرعه‌ای، برنامه‌ریزی مسیر حرکت.

### مقدمه

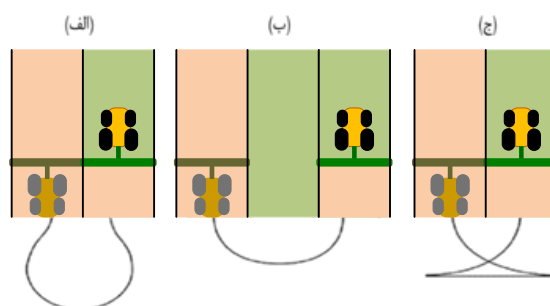
ماشین‌های کشاورزی مختلف برای انجام عملیات‌های کشاورزی باید از یک انتهای مزرعه بر روی مسیرهای موازی که سطح مزرعه را می‌پوشانند، حرکت کنند و به انتهای دیگر مزرعه برسند. عملیات زراعی در انتهای مزرعه پس از دور زدن و ورود به مسیر بعدی، داخل مزرعه ادامه می‌یابد تا به انتهای مسیر حرکت نموده و در دیگر سوی شروع عملیات به کار خود خاتمه دهد که با تکرار این کار، کل سطح مزرعه پوشش داده خواهد شد. مسیرهای حرکت در مزرعه به پهنای عرض کار ماشین‌ها و ادوات عملیاتی می‌باشند (Bochtis & Vougioukas). الگوهای سنتی مختلفی برای نحوه‌ی حرکت ماشین در مزرعه وجود دارد. این روش‌ها اغلب باعث افزایش مسافت غیرمفید طی شده هنگام دور زدن در



سرمرزعه برای حرکت از انتهای یک مسیر به ابتدای مسیر بعدی، می‌شوند. بخش زیادی از زمان غیرمفید در طول دور زدن در سرمرزعه اتفاق می‌افتد و زمان دورزدن در بازده مزرعه تاثیر منفی قابل توجهی دارد (Hansen, et al., 2003; Taylor, et al., 2002). بنابراین بدست‌آوردن روش‌های محاسبه مسافت طی‌شده توسط ماشین‌های کشاورزی در حین دور زدن در منطقه سرمرزعه و تلاش برای انجام روشی که کمترین مسافت غیرمفید طی‌شده را داشته باشد، می‌تواند به کاهش مسافت و زمان غیرمفید در حین انجام عملیات‌های کشاورزی مختلف منجر شود.

### مواد و روش‌ها

در طول عملیات دورزدن در سرمرزعه (به عنوان مثال طول مانور) زمان غیرمفید و تلف‌شده طی دور زدن در سرمرزعه ناشی از مسافت طی‌شده و سرعت متوسط دور زدن در انتهای مزرعه است. برخی از انواع مانورها به راحتی قابل اجرا هستند و در نتیجه در سرعت بالا نیز اجرا می‌گردند، در حالی که اغلب آنها به مهارت بالای راننده نیاز داشته و در برخی موارد بدون استفاده از دنده عقب امکان اجرا ندارند، این کار علاوه بر سرعت متوسط پایین، تلفات زمانی بالا، به منطقه سرمرزعه بزرگتر نیز نیاز دارند. همچنین، باید دقت کرد زمانی که ادوات مختلف از جمله ادوات کششی و نیمه‌سوار به تراکتور متصل هستند استفاده از دنده عقب نیاز به مهارت بالای رانندگی دارد و تا حد ممکن باید از شرایطی که برای ادامه عملیات ملزم به استفاده از دنده عقب بشویم، اجتناب کنیم. سه حالت دورزدن که بیشتر استفاده می‌شود در شکل ۱ آورده شده‌اند (Bochtis & Vougioukas).



شکل ۱- روش‌های مختلف برای دور زدن: (الف) دور زدن حلقه‌ای ( $\Omega$ -turn) (ب) دور زدن بین دو مسیر دور از هم (U-turn) (ج) دور زدن با استفاده از دنده عقب (T-turn)

دور زدن در حالت  $\Omega$  و T ناشی از محدودیت حرکتی ماشین‌ها بوده و زمانی استفاده می‌شوند که نتوان از حالت U استفاده کرد. دور زدن در حالت  $\Omega$  و T به فاکتورهایی مثل عرض کار ادوات دنباله‌بند، نوع اتصال، توانایی راننده، فضای در دسترس، عرض منطقه سرمرزعه و ... بستگی دارند (Bochtis, et al., 2009). در این پژوهش از تراکتور MF399 به عنوان وسیله کشنده به همراه خطی کار کششی با عرض کار ۴ متر استفاده شد. حداقل مسافت طی‌شده برای هر نوع دور زدن بر اساس معادلات سینماتیک حرکت برای یک وسیله نقلیه محاسبه شود (Bochtis & Vougioukas). محاسبه حداقل مسافت لازم برای دور زدن دستگاه و حرکت از انتهای مسیر i به ابتدای مسیر j برای سه روش معمول برای دور زدن در منطقه سرمرزعه توسط ماشین‌های مزرعه‌ای بصورت ذیل محاسبه شد:



$$\Omega_{min}(|i-j|) = r_{min} \left[ 3\pi - 4\sin^{-1} \left( \frac{2r_{min} + |i-j|w}{4r_{min}} \right) \right] \quad (1)$$

$$T_{min}(|i-j|) = r_{min}(2+\pi) - |i-j|w \quad (2)$$

$$U_{min}(|i-j|) = |i-j|w + (\pi-2)r_{min} \quad (3)$$

که در آن  $r_{min}$  حداقل شعاع دور زدن ماشین و  $w$  عرض کار ماشین است. حداقل شعاع دور زدن، شعاع دور زدن وسط دو چرخ عقب در حالی که چرخ‌های هدایت‌کننده در حداکثر زاویه فرمان خود قرار دارند اندازه‌گیری گردید. مشخصات کاری اندازه‌گیری شده در جدول ۱ بطور خلاصه آمده است.

مزرعه منتخب برای شبیه‌سازی به شکل مثلث و با ابعاد  $120 \times 90 \times 150$  متر در نظر گرفته شد که به صورت مختلف مسیری در آن ترسیم شد. محاسبات و شبیه‌سازی در نرم‌افزار متلب براساس الگوریتم ذیل کد نویسی و بصورت اجرا شد:

الف - هر ژن بیانگر شماره‌ی مسیر است که از به هم پیوستن ژن‌های تمام مسیرها به یکدیگر، کروموزوم به وجود می‌آید.

ب - کروموزوم‌های الگوریتم در این مسئله بیانگر یک ترتیب مسیر حرکت و یک جواب برای مسئله می‌باشد.

ج - عرض هر مسیر 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 شد.

جدول ۱- مشخصات کاری ادوات مورد استفاده

عرض کار	دور زدن $\Omega$	دور زدن $U$	دور زدن $T$
۴ متر	۵۰ متر	۷/۸ متر	۵۱ متر

## نتایج و بحث

برای محاسبه‌ی میزان تاثیر روش‌های مختلف دور زدن، بر روی کل مسافت غیرمفید طی شده در حین انجام عملیات کشاورزی در مزرعه، مسافت طی شده غیرمفید ۹ ترتیب حرکت (۳ ترتیب حرکت سنتی و ۶ ترتیب هوشمند) با یکدیگر مقایسه گردید. در تمام این الگوها علاوه بر اولویت‌ها مسیر حرکت، از نظر نوع دورزدن در سرمزرعه نیز با یکدیگر تفاوت دارند.

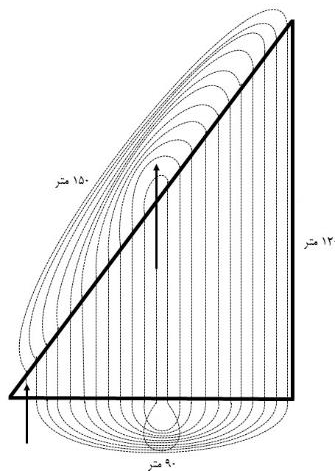
### - الگوی پیشروی دور تا دور

مطابق الگوهای سنتی دور زدن در انتهای مزرعه، با حرکت از کناره‌ها و اتمام عملیات در مرکز مزرعه ادامه می‌یابد (Buckingham & Hathaway, 1984). شروع عملیات از مسیر ۱ واقع در کناره مزرعه آغاز شده و مسیر بازگشت دور اول با مسیر شماره ۲۳ کامل می‌گردد. ادامه عملیات با مسیر رفت ۲ تداوم می‌یابد و این الگو تا تکمیل سطح مزرعه



ادامه می‌یابد تا به وسط مزرعه رسیده و با حرکت از مسیر ۱۳ به مسیر ۱۲ کار به پایان می‌رسد. آخرین مسیر طی شده شامل حرکت در مسیر مجاور هم است که ناگزیر از استفاده از دور زدن نوع  $\Omega$  در جابجایی بین این دو مسیر است، در دیگر مسیرها از دور زدن نوع U بخاطر راحتی و سهولت، استفاده شده است. ترتیب حرکت در این الگوی پیشروی مطابق الگوی حرکت ذیل انجام خواهد شد که در شکل ۲ نیز الگوی حرکت ترسیم شده است:

$\sigma^{\text{round}} = \{ 1; 23; 2; 22; 3; 21; 4; 20; 5; 19; 6; 18; 7; 17; 8; 16; 9; 15; 10; 14; 11; 13; 12 \}$

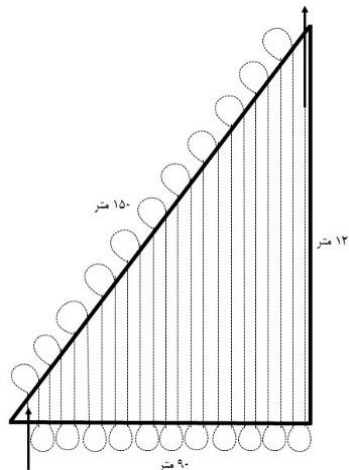


شکل ۲- نحوه حرکت در مزرعه مثلثی به روش دور تا دور

### - الگوی پیشروی پیوسته

الگوی دوم استفاده از حالت حرکتی دور پیوسته است (شکل ۳). در این روش ابتدای حرکت از مسیر ۱ شروع شده و سپس به ترتیب تا مسیر ۲۳ ادامه می‌یابد تا کل مزرعه پوشش داده شود (Bakhtiari, et al., 2011). در این روش چون بعد از هر مسیر، حرکت بعدی از مسیر کناری ادامه می‌یابد، لذا تمام دور زدن‌های سر مزرعه به روش  $\Omega$  انجام خواهد شد. ترتیب حرکت در مسیرهای مزرعه به صورت زیر خواهند بود:

$\sigma^{\text{Contiguous}} = \{ 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23 \}$



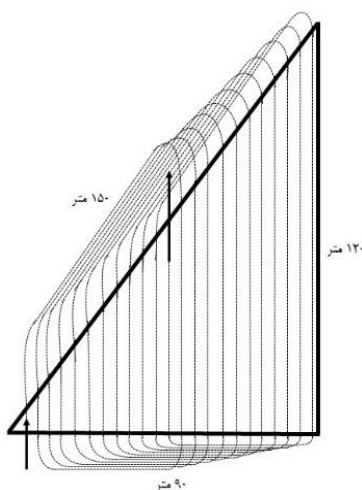
شکل ۳- نحوه حرکت در مزرعه مثلثی به روش پیوسته



### - الگوی پیشروی مارپیچی

روش سوم پیشروی کمک گرفتن از الگوی حرکت مارپیچی است، طوری که حرکت از مسیر ۱ شروع شده و در انتهای مسیر برگشت از مسیر ۱۳ ادامه خواهد یافت. دور دوم پیشروی از مسیر ۲ آغاز و برگشت آن از مسیر ۱۴ ادامه خواهد یافت و به همین ترتیب تا تکمیل کل مساحت مزرعه پیشروی ادامه خواهد یافت (شکل ۴). در این حالت مسافت طی شده در فاصله بین دو مسیر که طی دور زدن بین مسیرهای مختلف در سرمزرعه طی می‌شود، با هم برابر خواهند شد. ترتیب مسیر حرکت در این الگوی پیشروی به صورت زیر می‌باشد:

$$\sigma^{Spiral} = \{1; 13; 2; 14; 3; 15; 4; 16; 5; 17; 6; 18; 7; 19; 8; 20; 9; 21; 10; 22; 11; 23; 12\}$$



شکل ۴- نحوه حرکت در مزرعه مثلی به روش مارپیچ

### - الگوی هوشمند موازی با ضلع بزرگ

برای مزرعه فوق می‌توان از الگوهای بهینه مبتنی بر الگوریتم ژنتیکی نیز استفاده کرد. در حالت اول، جهت حرکت موازی با ضلع ۱۲۰ متری شبیه‌سازی و اجرا شد (شکل ۵). با استفاده از الگوریتم اجرا شده ترتیب مسیر در این الگوی پیشروی به صورت زیر بدست آمد:

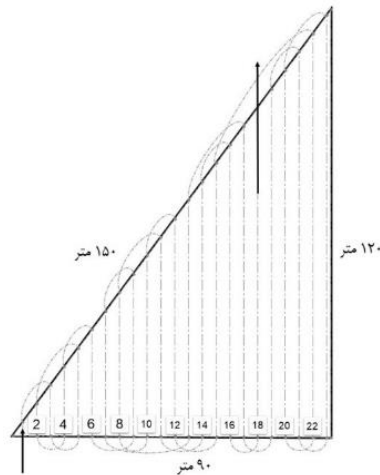
$$\sigma^{90} = \{1; 3; 5; 2; 4; 6; 9; 7; 13; 17; 19; 21; 23; 20; 22; 15; 12; 10; 8; 11; 14; 16; 18\}$$

نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج

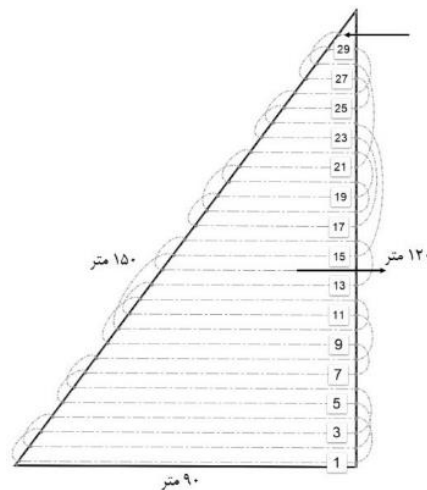


شکل ۵- الگوی بهینه در حالت عمود بر ضلع ۹۰ متری

#### - الگوی هوشمند موازی با ضلع کوچک

در حالت دوم، جهت حرکت موازی با ضلع ۹۰ متری می‌باشد (شکل ۶). با استفاده از الگوریتم ژنتیک ترتیب مسیر در این حالت به صورت زیر می‌باشد:

$$\sigma^{120} = \{30; 28; 21; 18; 20; 22; 19; 17; 23; 25; 27; 29; 26; 24; 15; 10; 12; 9; 7; 5; 2; 4; 1; 3; 6; 8; 11; 13; 16; 14\}$$



شکل ۶- الگوی بهینه در حالت عمود بر ضلع ۱۲۰ متری

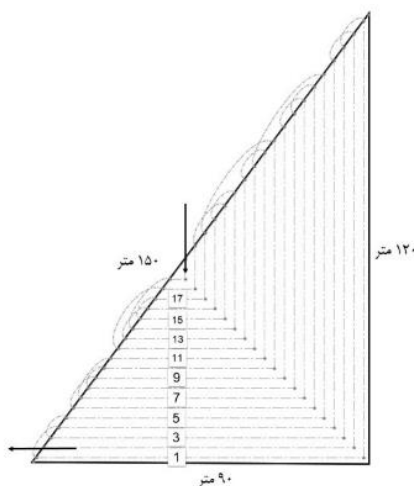
#### - الگوی هوشمند موازی با اضلاع قائم

در روش دیگر، جهت حرکت به موازات اضلاع ۹۰ و ۱۲۰ متری تعیین شد. به گونه‌ای که هر مسیر از ضلع ۱۵۰ متری شروع شده و با رسیدن به محل تقاطع اضلاع ۹۰ و ۱۲۰ متری، تغییر زاویه داده و به سمت ضلع ۱۵۰ متری برگشته و با ادامه‌ی مسیر در نهایت در همان ضلع ۱۵۰ متری مسیر حرکت به پایان می‌رسد (شکل ۷). با استفاده از الگوریتم ژنتیک ترتیب مسیر در این حالت به صورت زیر می‌باشد:



$$\sigma^{90-120} = \{19; 14; 16; 13; 11; 7; 9; 6; 8; 10; 17; 15; 18; 12; 5; 3; 1; 4; 2\}$$

با توجه به اینکه مرکز تقاطع دو ضلع بصورت امکان جاروب به صورت عمود بر هم ندارند لازم به ذکر است که در خاتمه بایستی مرکز تقاطع دو ضلع، به منظور اتمام عملیات بصورت عمود بر وتر نیز تحت تیمار عملیاتی قرار گیرند.



شکل ۷- الگوی بهینه در حالت موازی با اضلاع ۹۰ و ۱۲۰ متری

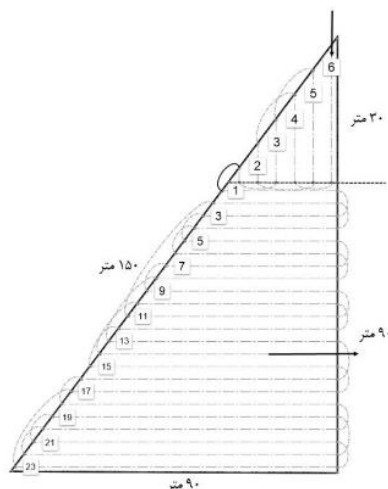
### - الگوی هوشمند بلوکی بطول ۳۰

روش دیگر بلوک‌بندی با تقسیم کردن مزرعه از طرف ضلع بزرگتر به دو بخش است. عملیات در دور بلوک جدید بصورت مجزا از هم انجام خواهد شد و در آخر مسافت غیر مفید طی شده‌ی کل مزرعه از مجموع این دو بلوک محاسبه گردید. بلوک بندی مزرعه بصورت مثلثی به ابعاد  $30 \times 22/5 \times 37/5$  متر در قسمت بزرگ‌تر انجام شد (شکل ۸). عملیات از بلوک یک با ترتیب مسیر بهینه ذیل آغاز گردید:

$$\sigma^{22.5} = \{6; 4; 2; 5; 3; 1\}$$

در ادامه پیشروی در بلوک بعدی و به موازات ضلع اصلی ۹۰ متری انجام با ترتیب بهینه مسیر ذیل ادامه یافت:

$$\sigma^{90-30} = \{1; 3; 5; 7; 9; 11; 2; 4; 6; 8; 13; 16; 18; 20; 22; 19; 21; 23; 17; 15; 10; 12; 14\}$$



شکل ۸- الگوی بهینه در حالت دو بلوکی با بلوک ۳۰ متری

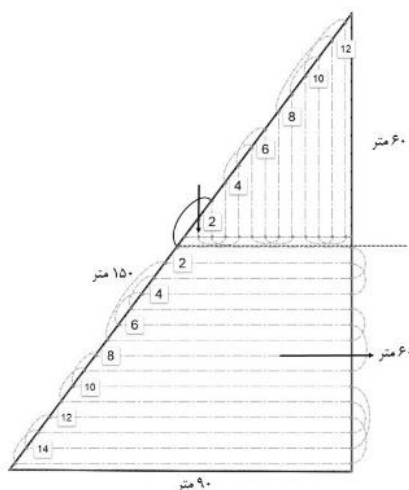
#### - الگوی هوشمند بلوکی بطول ۶۰

الگوی پیشروی دیگر را با تغییر اندازه بلوک‌بندی به ابعاد  $۶۰ \times ۴۵ \times ۷۵$  متر انجام شد (شکل ۹). طبق الگوی قبل حرکت از بلوک کوچکتر با ترتیب مسیر بهینه ذیل شروع خواهد شد:

$$\sigma^{45} = \{1; 3; 5; 7; 11; 9; 12; 10; 8; 6; 4; 2\}$$

ادامه حرکت را در بلوک بعدی و به موازات ضلع اصلی ۹۰ متری با ترتیب بهینه مسیر زیر دامه می‌یابد (شکل ۹).

$$\sigma^{60-60} = \{1; 3; 5; 7; 2; 4; 6; 9; 11; 13; 15; 12; 14; 10; 8\}$$



شکل ۹- الگوی بهینه در حالت دو بلوکی با بلوک ۶۰ متری

#### - الگوی هوشمند بلوکی بطول ۹۰

الگوی بلوک‌بندی سوم با اختصاص ابعاد  $۹۰ \times ۶۷/۵ \times ۱۱۲/۵$  متر مطابق شکل ۱۰ تقسیم‌بندی شد. در این الگو نیز براساس خروجی شبیه‌سازی الگوریتم ژنتیکی، ترتیب بهینه مسیر ذیل در بلوک اولیه بدست آمد:

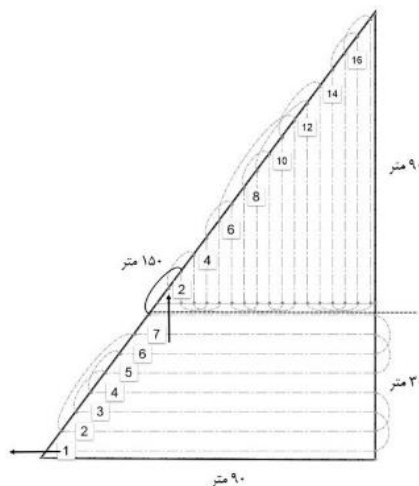




$$\sigma^{67.5} = \{1; 3; 5; 11; 9; 7; 10; 13; 15; 17; 14; 16; 12; 8; 6; 4; 2\}$$

برای تکمیل عملیات در کل سطح مزرعه الگوریتم ترتیب بهینه مسیر حرکت ذیل را پیشنهاد نمود:

$$\sigma^{30-90} = \{8; 6; 4; 2; 7; 5; 3; 1\}$$



شکل ۱۰- الگوی بهینه در حالت دو بلوکی با بلوک ۹۰ متری

### نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی الگوی تردد ماشین‌ها طی الگوهای بحث شده در شکل ۱۱ و ۱۲ ترسیم شده است. با توجه به مسافت‌های غیرمفید، مشاهده می‌شود، در حالتی که تردد بصورت موازی با اضلاع با تقاطع عمود برهم، انجام گیرد، مقدار مسافت غیرمفید طی شده برابر با  $317/8$  متر می‌باشد که کمترین مسافت غیرمفید برای کار در این مزرعه می‌باشد. دلیل این امر آن است که در این حالت بیشتر مسافت طی ماشین در داخل مزرعه می‌باشد که در واقع در حین انجام عملیات بوده و پیشروی جزئی از مسافت غیرمفید به حساب نمی‌آید. همچنین ماشین بعد از طی مسافت نسبتاً طولانی از مرز مزرعه خارج شده و اقدام به دور زدن می‌کند که این امر باعث می‌شود، ماشین بیش‌تر زمان خود را برای دور زدن در خارج از مزرعه تلف نکند. مقایسه روش‌های متداول تردد با الگوهای هوشمند در دو گروه مستقل بیانگر تفاوت معنی‌دار میانگین این دو گروه در سطح احتمال یک درصد است.

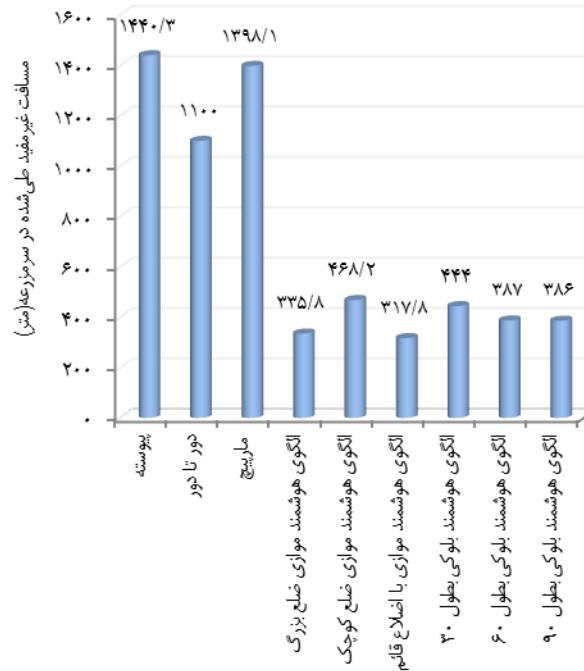
در مورد تلفات زمانی، چنانچه در شکل ۱۲ نتایج شبیه‌سازی ترسیم شده است، اگرچه مسافت غیرمفید طی شده در روش تردد پیوسته ماکزیمم است ولی بخاطر نوع دور زدن  $U$ ، مقدار تلفات زمانی آن نسبت به الگوهای دور تا دور و ماریجی کمتر است. لذا در تلفات زمانی روش دور زدن در سر مزرعه تاثیر قابل توجهی در مقدار تلفات زمانی دارد.

نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

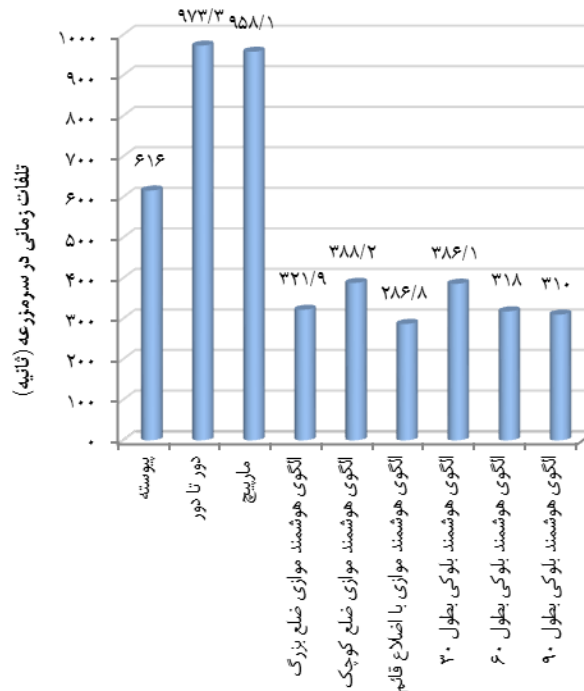
مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



شکل ۱۱- مسافت غیر مفید طی شده برای ۹ روش کار در مزرعه مثلثی شکل



شکل ۱۲- تلفات زمانی برای ۹ الگوی حرکت در مزرعه مثلثی شکل



## منابع و مآخذ

1. Bakhtiari, A. A. Navid, Mehri, H. J. and Bocthi, D. D. 2011. Optimal route planning of agricultural field operations using ant colony optimization”, Agricultural Engineering International: CIGR Journal. 13 (4): 1-16.
2. Bochtis, D. D. and Vougioukas, S. G. 2008. Minimising the non-working distance travelled by machines operating in a headland field pattern. Biosystems Engineering, 101(1): 1-12.
3. Bochtis, D. D. Vougioukas, S. G. and Griepentrog, H. W. 2009. A Mission Planner for an Autonomous Tractor, Transactions of ASABE, 52(5): 1429-1440.
4. Buckingham, F. and Hathaway, L. R. 1984. Tillage (Fundamentals of Machine Operation Series)”, Deere & Co; 2 edition.
5. Hansen, A. C. Hornbaker, R. H. and Zhang, Q. 2003. Monitoring and analysis of in-field grain handling operations. Proceedings of International Conference on Crop Harvesting, Louisville, Kentucky, USA.
6. Taylor, R. K. Schrock, M. D. and Staggenborg, S. A. 2002. Extracting Machinery Management Information from GPS Data, Paper No. 02-10008, ASAE, St. Joseph, Michigan.

نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## Optimal traffic pattern for agricultural machinery on triangular farms by using Genetic Algorithms

### Abstract:

Traffic control during agricultural operations will minimize soil compaction caused by the pressure of the wheels of the machinery. The main advantages of the traffic control system, increasing farm machinery efficiency due to a significant reduction in non-work travelling time. The purpose of this study was reducing the non-working distance travelled by agricultural machinery during turning in the triangular field headland to move from the one track to the next track. There are several traditional turning patterns in the field headland. These patterns are often increasing the non-working distance travelled during turning in the field headland. In this study, optimized pattern for moving farm machinery in the field obtained by using Genetic Algorithms which applied by MATLAB 2012 software, which, reduced non-working distance and waste time by agricultural machinery so, increase the farm efficiency of agricultural machinery. Genetic Algorithm, proposed the best turning pattern which avoid longer turning distance more than 50% reduction in the non working distance.

**Keywords:** Field headland patterns, Genetic algorithms, Path planning.