

تدوین مدل زمان بندی عملیات کاشت بر اساس بهینه سازی هزینه به موقع انجام نشدن عملیات

مهدی خانی^{۱*}، علیرضا کیهانی^۱، هومن شریف نسب^۲، رضا علیمردانی^۱ و غلامرضا پیکانی^۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۶

۱- گروه مهندسی بیوسیستم دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران

۲- مؤسسه تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی کرج

۳- گروه اقتصاد کشاورزی دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی دانشگاه تهران

*مسئول مکاتبه: E-mail: mahdikhani@ut.ac.ir

چکیده

با مشخص شدن نوع و تعداد ماشین های یک مزرعه، هزینه های ثابت و متغیر ماشین های کشاورزی قابل محاسبه خواهند بود. ولی هزینه به موقع انجام نشدن عملیات، متأثر از زمان بندی عملیات های زراعی نیز می باشد. در صورت انجام کل عملیات کاشت در زمان بهینه، هزینه به موقع انجام نشدن عملیات، برابر با صفر در نظر گرفته می شود. در صورتی که بتوان با استفاده از تمام ظرفیت زراعی کارنده ها، عملیات کاشت را در کوچک ترین بازه زمانی ممکن انجام داد، هزینه به موقع انجام نشدن عملیات حداقل خواهد شد. اما در شرایطی که ظرفیت کاری این ماشین ها کافی نباشد، ممکن است عملیات کاشت با عملیات تهیه بستر تلاقی کرده و عملاً نتوان در بازه زمانی مورد نظر، عملیات کاشت را تکمیل کرد. در چنین شرایطی، زمان بندی عملیات کاشت با روش های عددی ممکن خواهد بود. در این مطالعه با تعریف شاخصی به نام شاخص به موقع انجام نشدن عملیات، مدلی بر مبنای حل عددی برای تعیین زمان بهینه برای آغاز عملیات کاشت، ارائه شده است. پس از اجرای مدل با استفاده از داده های ورودی، زمان بهینه آغاز کاشت، تعیین شد. با مقایسه شاخص به موقع انجام نشدن حاصل از این زمان و دیگر زمان های آغاز کاشت در همسایگی این نقطه، کارایی مدل از نظر تعیین صحیح بهترین زمان برای آغاز عملیات کاشت، به اثبات رسید. افزایش شاخص به موقع انجام نشدن عملیات، با اختلاف زمان آغاز عملیات کاشت و زمان بهینه آغاز این عملیات، رابطه ای درجه دو داشت. بنابراین تعیین دقیق زمان بهینه آغاز کاشت، نقش مهمی در کاهش هزینه به موقع انجام نشدن عملیات دارد.

واژه های کلیدی: حل عددی، زمان بهینه آغاز کاشت، شاخص به موقع انجام نشدن.

(۲۰۱۰)، مسئله زمان بندی عملیات های کشاورزی را همانند مسائل

مسیریابی وسیله نقلیه حل کردند. باچتیس و همکاران (۲۰۱۰) با

استفاده از مدل سازی رطوبت علوفه و با توجه به آستانه های رطوبت

علوفه، عملیات برداشت علوفه را زمان بندی کردند. ارتونو و ویتوریانو

(۲۰۱۱) با استفاده از برنامه ریزی آرمانی، با هدف انجام کارهای مزرعه

در بازه زمانی مقرر، عملیات مزرعه را برنامه ریزی کردند. در صورتی که

زمان اجرای عملیات از بازه ی مقرر فراتر رفت، جریمه ای به عنوان به

موقع انجام نشدن در نظر گرفته شد. بنابراین آن ها به جای تعیین یک

نقطه، بازه ای را تعیین کردند که در صورت اجرای عملیات در این

دوره، هزینه ی به موقع انجام نشدن برابر با صفر در نظر گرفته شود.

دیگر روش های مورد استفاده برای زمان بندی عملیات های مزرعه

عبارتند از: برنامه ریزی تصادفی (داری- داومن و همکاران، ۲۰۰۰)،

شبکه های پتری مرکب (گوان و همکاران، ۲۰۰۸)، فرا ابتکاری (گوان و

همکاران، ۲۰۰۹)، روش گرت (عبدی و همکاران، ۲۰۱۰) و روش

جستجوی تپه نوردی (وینگارد، ۱۹۸۸).

۱- مقدمه

یک سامانه ماشینی کشاورزی، دارای سه دسته هزینه شامل

هزینه های ثابت (مالکیت)، هزینه های متغیر (کاربرد) و هزینه های به

موقع انجام نشدن عملیات می باشد. با تغییر تعداد و اندازه ماشین های

موجود در مزرعه، هر سه گروه هزینه تغییر می کند. اما هزینه به موقع

انجام نشدن عملیات، متأثر از زمان بندی عملیات های زراعی نیز

می باشد. زمان بندی فرآیند تصمیم سازی است که با تخصیص منابع به

کارها در بازه های زمانی سر و کار دارد و هدف آن بهینه سازی یک یا

چند هدف است (پیندو، ۲۰۰۸).

اورفانو و همکاران (۲۰۱۳) یک روش زمان بندی برای کارهای

ترتیبی ارائه دادند که با توجه به عواملی مانند مکان و مساحت مزارع،

ماشین های کشاورزی موجود و برآورد زمان اجرای عملیات، تعیین

می کند که هر ماشین در چه مزرعه ای، با چه ترتیبی و در چه دوره ای

از زمان کار کند تا کل زمان کار حداقل شود. باچتیس و سورنسن

۲- مواد و روش‌ها

۲- ظرفیت کلی ماشین‌ها ثابت است. یعنی همواره تعداد ماشین‌های کاشت فعال ثابت بوده و ماشین یا ماشین‌های کاشت، پس از آغاز عملیات کاشت، بدون هیچ محدودیتی با حداکثر ظرفیت مؤثر خود، تا پایان عملیات کار می‌کنند. بنابراین این عملیات می‌تواند در بازه‌ای با نام دوره‌ی حداقلی کاشت (mplp) که طول آن با معادله‌ی ۴ نشان داده می‌شود، تکمیل شود.

$$mplp = \frac{A}{C_{at} \times dh \times plpwd} \quad (4)$$

که در آن mplp طول دوره‌ی حداقلی (روز) می‌باشد. مشخصاً بازه‌ای، دوره‌ی حداقلی کاشت نامیده می‌شود که نقطه‌ی بهینه‌ی کاشت (op) در وسط آن نیز قرار گرفته باشد.

۳- زمان‌بندی اجرای عملیات کاشت، تنها در ۳ حالت صورت می‌گیرد. در حالت اول، عملیات کاشت در دوره حداقلی کاشت انجام می‌شود. در این حالت، عملیات کاشت در ابتدای دوره حداقلی (smplp= op-0.5×mplp) آغاز شده و در انتهای دوره حداقلی (emplp= op+0.5×mplp) پایان می‌پذیرد. در صورتی که بتوان عملیات کاشت را در این زمان انجام داد، کمترین هزینه به موقع انجام نشدن عملیات حاصل می‌شود و مقدار Z برابر با ۴ خواهد بود. حالت دوم وقتی است که عملیات کاشت در نقطه بهینه کاشت (op) آغاز شده و در زمانی با فاصله دوره حداقلی از این نقطه (op+mplp)، به پایان برسد (Z=2). حالت سوم هنگامی است که عملیات کاشت در نقطه بهینه کاشت (op) تکمیل شده باشد. بنابراین باید در فاصله دوره حداقلی قبل از این نقطه (op-mplp) آغاز شده باشد (Z=2).

در صورتی که بتوان عملیات کاشت را در دوره حداقلی انجام داد، کمترین میزان هزینه‌ی به موقع انجام نشدن عملیات حاصل خواهد شد و برای زمان‌بندی عملیات کاشت، نیازی به روش‌های بهینه‌سازی نیست. اما ممکن است در شرایطی، امکان تکمیل عملیات کاشت در این دوره نباشد. به عنوان مثال، ابتدای دوره حداقلی کاشت (smplp) قبل از زمان مجاز آغاز عملیات کاشت (apls) قرار گیرد و یا به علت محدودیت زمانی و یا پایین بودن ظرفیت کاری ماشین‌های تهیه بستر، قبل از تکمیل عملیات تهیه بستر در کل زمین، عملیات کاشت شروع شود. در نتیجه، ظرفیت ماشین‌های کاشت توسط ظرفیت ماشین‌های تهیه بستر محدود می‌گردد. در این شرایط، در صورت آغاز عملیات کاشت در ابتدای دوره حداقلی، زمان پایان آن، انتهای این دوره نخواهد بود و نمی‌توان از معادله (۲) برای تعیین هزینه به موقع انجام نشدن عملیات استفاده کرد. بنابراین نیاز به روش‌هایی است که بتوان در شرایط عدم ثبات ظرفیت ماشین‌های کاشت، مقدار این هزینه را محاسبه کرد.

هدف کلی این مطالعه، تعیین مناسب‌ترین زمان برای شروع عملیات کاشت (زمان بهینه آغاز کاشت) بر اساس کمینه‌سازی هزینه به موقع انجام نشدن عملیات، می‌باشد. این تحقیق طی مراحل زیر، انجام شد.

در این پژوهش، مبنای زمان‌بندی عملیات کشاورزی، حداقل شدن هزینه به موقع انجام نشدن عملیات می‌باشد. یعنی زمان اجرای کارهای مزرعه به چه صورتی باشد تا مقدار این هزینه کاهش یابد. در فصل کاشت در میان عملیات‌های شخم، دیسک، تسطیح و کاشت، کاری که بیش‌ترین حساسیت به زمان اجرا دارد، عملیات کاشت می‌باشد. بنابراین هزینه‌ی به موقع انجام نشدن عملیات، در رابطه با این عملیات در نظر گرفته می‌شود. برای عملیات کاشت، می‌توان یک روز خاص را به عنوان زمان بهینه کاشت (op) تعیین کرد که در صورتی که کل عملیات، در آن زمان انجام گیرد، حداکثر عملکرد محصول حاصل شده و هزینه به موقع انجام نشدن، برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود. با هر روز تأخیر یا تعجیل در زمان عملیات، هزینه به موقع انجام نشدن عملیات افزایش می‌یابد. در مساحت مشخصی از یک زمین، هزینه به موقع انجام نشدن عملیات برابر است با افت عملکرد ناشی از عدم انجام عملیات در زمان مناسب، ضرب در ارزش واحد محصول. بنابراین، این هزینه طبق معادله ۱ قابل محاسبه است.

$$C_{tt} = A \times Y \times L \times V \quad (1)$$

که در آن C_{tt} نشان دهنده هزینه به موقع انجام نشدن عملیات (ریال)، Y عملکرد محصول (تن در هکتار)، L نسبت افت عملکرد (اعشار)، A مساحت مزرعه (هکتار) و V ارزش واحد محصول (ریال بر تن) می‌باشد.

در منابع، هزینه به موقع انجام نشدن عملیات طبق رابطه ۲ محاسبه می‌شود (ASABE, ۲۰۰۶).

$$C_{tt} = \frac{K_t \times A^2 \times Y \times V}{Z \times dh \times C_{at} \times plpwd} \quad (2)$$

که $plpwd$ احتمال روز کاری برای عملیات کاشت (اعشار)، dh تعداد ساعات کاری در یک روز، C_{at} ظرفیت مجموع ماشین‌های کاشت (هکتار در ساعت) و K_t ضریب افت عملکرد در اثر عدم انجام به موقع عملیات (روز/۱) می‌باشد. در صورتی که زمان بهینه کاشت در وسط بازه کاری قرار گیرد عدد Z برابر با ۴ و اگر این نقطه در ابتدا و یا انتهای بازه کاری قرار گیرد، مقدار این عدد برابر با ۲ خواهد بود.

این معادله با پیش‌فرض‌های زیر ایجاد شده است:

۱- کاهش عملکرد محصول با فاصله زمان کاشت تا نقطه بهینه رابطه خطی دارد و تعجیل و یا تأخیر در عملیات، به یک میزان باعث افت عملکرد می‌شود. بنابراین می‌توان افت عملکرد را با معادله ۳ نمایش داد.

$$L(t) = K_t \times |t - op| \quad (3)$$

نوشته شود نمایانگر تعداد ماشین‌های کاشت فعال می‌باشد. هزینه به موقع انجام نشدن عملیات با استفاده از رابطه ۹ که از روابط ۳، ۷ و ۸ مشتق شده است، محاسبه می‌شود.

$$C_{tt} = C_a \times dh \times plpwd \times Y \times V \times K_t \times \int_{t_1}^{t_2} pln(t) \times |t - op| \times dt \quad (9)$$

پارامتری با نام شاخص به موقع انجام نشدن عملیات (TI) تعریف شد (معادله ۱۰) که نشان دهنده توزیع عملیات کاشت در اطراف نقطه بهینه است. با استفاده از این مفهوم، هزینه کل به موقع انجام نشدن عملیات، با رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$TI = \int_{t_1}^{t_2} pln(t) \times |t - op| \times dt \quad (10)$$

$$C_{tt} = TI \times C_a \times dh \times plpwd \times K_t \times Y \times V \quad (11)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود، شاخص به موقع انجام نشدن، تنها پارامتری است که متأثر از زمان آغاز و پایان عملیات کاشت است و بقیه پارامترها ثابت می‌باشند. بنابراین با کاهش این شاخص، عملیات کاشت بیش‌تر در نزدیکی نقطه بهینه کاشت انجام شده و هزینه به موقع انجام نشدن عملیات کاهش می‌یابد. بنابراین باید زمان‌بندی عملیات کاشت طوری انجام شود که مقدار این شاخص کمینه شود. بدیهی است، زمانی شاخص به موقع انجام نشدن عملیات کمینه خواهد شد که تمام ماشین‌های کاشت موجود، مشغول به کار باشند و زمان آغاز کاشت طوری تعیین شود که نقطه بهینه کاشت در وسط دوره کاشت قرار گیرد یعنی حالت اول مورد بررسی در منابع محقق شود. البته زمان آغاز کاشت نمی‌تواند قبل از زمان مجاز آغاز کاشت (apls) قرار گیرد. بنابراین زمان آغاز و پایان کاشت اولیه با روابط ۱۲ و ۱۳ تعیین می‌شوند.

$$pls = \max\left(op - \frac{mplp}{2}, apls\right) \quad (12)$$

$$ple = pls + mplp \quad (13)$$

با توجه به این که در ابتدا، تعداد ماشین‌های کاشت فعال ثابت فرض شده‌اند، شاخص به موقع انجام نشدن با رابطه ۱۴ محاسبه می‌شود و با حل این انتگرال، معادله ۱۵ حاصل می‌شود.

$$TI = pln \times \int_{pls}^{op} (op - t) \times dt + pln \times \int_{op}^{ple} (t - op) \times dt \quad (14)$$

$$TI = \frac{pln}{2} \times ((op - pls)^2 + (ple - op)^2) \quad (15)$$

در شرایطی که قبل از پایان عملیات تهیه بستر، کل مساحتی که عملیات تهیه بستر در آن انجام شده بود، کاشته شود، مجموعه ماشین‌های کاشت نمی‌توانند با همان ظرفیت مزرعه‌ای قبلی به کار خود ادامه دهند و سرعت این عملیات، توسط عملیات تهیه بستر محدود می‌شود. بنابراین می‌توان دو حالت کلی برای زمان‌بندی عملیات کاشت در نظر گرفت. در حالت اول، بعد از تعیین زمان آغاز کاشت، تمام ماشین‌های کاشت مشغول به کار شده و تا اتمام مساحت زمین، به کار خود ادامه می‌دهند. در این حالت، شاخص به موقع انجام

۱- تعمیم رابطه موجود در منابع برای تعیین هزینه به موقع انجام نشدن عملیات، با هدف ایجاد انعطاف‌پذیری در رابطه با ظرفیت کلی ماشین‌های کاشت و زمان اجرای عملیات.

۲- ارائه یک روش عددی برای تعیین زمان بهینه آغاز کاشت در این مطالعه، به جای سطح زمین کشت شده، زمان کار یک مجموعه منفرد تراکتور- ماشین، مبنای پیش‌روی کار کشاورزی در نظر گرفته شده است. یعنی یک مجموعه منفرد تراکتور- ماشین، چند روز باید کار کند تا در سطح مشخصی از مزرعه، یک عملیات خاص تکمیل گردد. عملیات کاشت برای بخش‌های مختلف مزرعه، در زمان‌های متفاوتی صورت می‌گیرد و هزینه به موقع انجام نشدن برای هر بخش متفاوت است. بنابراین این هزینه، برای هر بخشی از مساحت زمین به طور جداگانه تعیین می‌شود. با جمع مقدار این هزینه در بخش‌های مختلف، مقدار آن برای کل زمین محاسبه می‌شود. برای واحد مساحت، معادله ۱ به صورت معادله ۵ بیان می‌شود.

$$dC_t = Y \times V \times L(t) \times dA \quad (5)$$

که dA و dC_t به ترتیب هزینه به موقع انجام نشدن عملیات و مساحت زمین کشت شده در یک بازه زمانی بسیار کوچک (dt) می‌باشند. با توجه به این که افت عملکرد به زمان اجرای عملیات بستگی دارد، این پارامتر به صورت تابعی از زمان نمایش داده می‌شود. مساحت زمین کشت شده در یک واحد زمانی، طبق معادله ۶ تعیین می‌شود و معادله ۷ برای محاسبه هزینه کل به موقع انجام نشدن عملیات در یک بازه زمانی (از t_1 تا t_2) به کار می‌رود.

$$dA = C_{at} \times dh \times plpwd \times dt \quad (6)$$

$$C_{tt} = dh \times plpwd \times Y \times V \times \int_{t_1}^{t_2} C_{at}(t) \times L(t) \times dt \quad (7)$$

با فرض ثابت بودن ظرفیت ماشین‌های کاشت و قرار دادن $emplp$ و منابع، به عنوان ابتدا و انتهای بازه کار (حالت اول مورد استفاده در منابع)، حل معادله ۷، همان معادله ۲ را نتیجه خواهد داد که به جای Z عدد ۴ در مخرج قرار گرفته شده است. با حل معادله ۷ در حالت‌های ۲ و ۳ نیز دوباره معادله ۲ ($Z=2$) به دست می‌آید. بنابراین معادله ۲ حالت خاصی از معادله ۷ می‌باشد و می‌توان روش مورد استفاده در این مطالعه را تعمیمی از روش مورد استفاده در منابع، به حساب آورد.

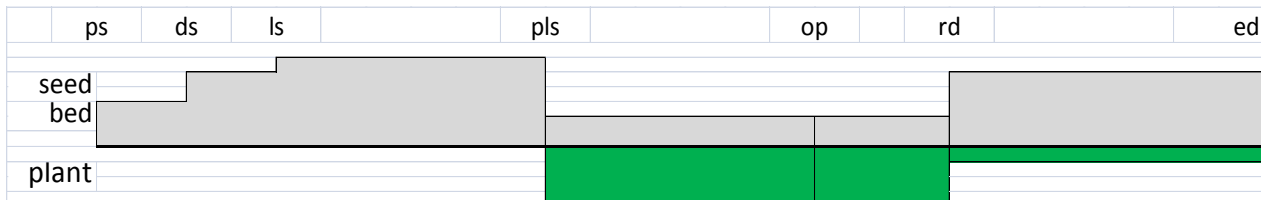
در این مطالعه نیز افت عملکرد با معادله ۳ تعیین می‌شود اما ظرفیت مزرعه‌ای مجموعه ماشین‌های کاشت و زمان آغاز و پایان عملیات کاشت انعطاف بیش‌تری دارند.

ظرفیت مزرعه‌ای هر ماشین منفرد ثابت است و طبق معادله ۸، عاملی که باعث تغییر ظرفیت کلی ماشین‌های کاشت می‌شود، تعداد ماشین‌های کاشت فعال می‌باشد.

$$C_{at}(t) = pln(t) \times C_a \quad (8)$$

C_a ، ظرفیت مؤثر ماشین کاشت منفرد و pln ، تعداد کل ماشین‌های کاشت می‌باشد. در صورتی که به صورت تابعی از زمان

بستر تغییر می‌کند. با استفاده از ظرفیت کاری و کار باقی‌مانده برای هر دو عملیات، زمان پایان این دو عملیات به صورت جداگانه تعیین می‌شود. در صورتی که زمان پایان کاشت بعد از زمان پایان عملیات تهیه بستر باشد، حالت اول رخ خواهد داد. در غیر این صورت، قبل از پایان عملیات تهیه بستر، عملیات کاشت به آن رسیده و حالت دوم روی می‌دهد.



شکل (۱): چگونگی توزیع تراکتورها میان دو عملیات کاشت و تهیه بستر (هر نوار نشان دهنده یک تراکتور است)

همچنین مشابه همین نام‌ها برای پارامترهای مربوط به دیگر ماشین‌ها استفاده می‌شود. با این تفاوت که در ابتدای نام پارامتر، به جای p در گاواهن، d ، l و pl به ترتیب نمایانگر دیسک، لولر و کارنده می‌باشند. همچنین s و t نشان دهنده تراکتور و تهیه بستر می‌باشند. کل کار تهیه بستر (sw) از جمع کار شخم (pw)، دیسک (dw) و تسطیح (lw) به دست می‌آید و کل کار تراکتوری (tw) نیز از جمع کل کار تهیه بستر و کار کاشت (plw) حاصل می‌گردد. نسبت کار ماشینی تهیه بستر به کاشت ($splwr$)، و کاشت به تراکتور ($pltwr$) به ترتیب از تقسیم کل کار تهیه بستر به کل کار کاشت و از تقسیم کل کار کاشت به کل کار تراکتوری به دست می‌آیند.

در ابتدا فرض می‌شود که عملیات کاشت در ابتدای دوره حداقلی آغاز می‌شود ($pls=smplp$) و طبق آن محاسبات پیشرفت کار برای کاشت و تهیه بستر انجام می‌شود. طبق معادلات ۱۸ تا ۲۲، با محاسبه کار تهیه بستر انجام شده از آغاز شخم تا آغاز دیسک ($sw-ps-ds$)، از آغاز دیسک تا آغاز تسطیح ($sw-ds-ls$) و از آغاز تسطیح تا آغاز کاشت انتخابی ($sw-ls-pls$)، کل کار تهیه بستر انجام شده از ابتدای کاشت تا آغاز کاشت انتخابی ($sw-ps-pls$) و کار تهیه بستر از آغاز کاشت تا زمان پایان تهیه بستر ($sw-pls-se$) تعیین می‌شود. بر این اساس، زمان پایان عملیات تهیه بستر (se) محاسبه می‌شود.

$$sw - ps - ds = \min(pw, pn \times (ds - ps)) \quad (18)$$

$$sw - ds - ls = \min((dw + pw - sw - ps - ds), (\min(tn, pn + dn) \times (ls - ds))) \quad (19)$$

$$sw - ls - pls = \min(tn, sn) \times (pls - ls) \quad (20)$$

$$sw - ps - pls = \min(sw, sw_{ps-ds} + sw - ds - ls + sw - ls - pls) \quad (21)$$

$$sw - pls - se = sw - sw - ps - pls \quad (22)$$

از آغاز کاشت تا پایان تهیه بستر، تنها تراکتورهایی که مشغول به کاشت نیستند می‌توانند در کار تهیه بستر باقی بمانند بنابراین:

$$sw - pls - se = (se - pls) \times (tn - pln) \quad (23)$$

نشدن عملیات با معادله (۱۵) محاسبه می‌شود. در حالت دوم، عملیات کاشت و تهیه بستر با هم تلاقی می‌کنند و روش محاسبه این شاخص متفاوت خواهد بود.

برای این که مشخص شود که آیا عملیات کاشت و تهیه بستر تلاقی می‌کنند یا نه، ابتدا باید کل کار تهیه بستر قبل از آغاز کاشت محاسبه گردد. بعد از آغاز کاشت، تراکتورها دوباره میان ماشین‌های کاشت و تهیه بستر توزیع می‌گردند و در نتیجه ظرفیت کلی ماشین‌های تهیه

در این مطالعه فرض می‌شود که هر کدام از عملیات‌های شخم، دیسک و تسطیح، در ابتدای دوره مجاز خود، آغاز می‌شوند و تا آنجا که تعداد تراکتورها اجازه می‌دهد، تمامی ماشین‌های تهیه بستر مشغول به کار می‌شوند. با آغاز کاشت، تمام ماشین‌های کاشت، مشغول به کار شده و باقی‌مانده تراکتورها به همان عملیات تهیه بستر مشغول می‌شوند. بعد از تلاقی دو عملیات، تراکتورها به گونه‌ای میان ماشین‌های کاشت و تهیه بستر توزیع می‌شوند که هر دو عملیات همزمان پیش روند. این فرض‌ها با هدف کاهش شاخص به موقع انجام نشدن صورت گرفته است.

بسته به چگونگی تعیین زمان آغاز کاشت، نقطه تلاقی ممکن است قبل یا بعد از نقطه بهینه کاشت قرار گیرد.

شکل ۱ نمونه‌ای از چگونگی توزیع تراکتور بین ماشین‌های تهیه بستر و کاشت در طول فصل کشت در حالتی که نقطه تلاقی (rd) بعد از نقطه بهینه باشد را نشان می‌دهد. در این مثال، تعداد تراکتور، ماشین‌های کاشت و تهیه بستر به ترتیب ۶، ۴ و ۸ (۳، ۲ و ۳ به ترتیب برای گاواهن، دیسک و خطی‌کار) می‌باشد.

در این مدل، در اولین مرحله، ظرفیت مؤثر منفرد هر کدام از ماشین‌ها تعیین می‌شود. برای نمونه، ظرفیت مؤثر یک گاواهن منفرد و کل کار ماشینی مورد نیاز برای عملیات شخم، با استفاده از معادلات ۱۶ و ۱۷ تعیین می‌شود.

$$spc = \frac{pwidth \times psp \times pef}{10} \quad (16)$$

$$pw = \frac{A}{spc \times dh \times ppwd} \quad (17)$$

که spc ، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر گاواهن (هکتار در ساعت)، $pwidth$ ، عرض کار گاواهن (متر)، psp ، سرعت کار گاواهن (کیلومتر در ساعت)، pef ، بازده مزرعه‌ای گاواهن (اعشار)، pw ، کل کار ماشینی شخم (ماشین-روز) و $ppwd$ ، احتمال روز کاری برای شخم (اعشار) می‌باشد.

مشابه معادلات ۱۶ و ۱۷ برای دیگر عملیات‌ها نیز به کار می‌رود.

و ماشین‌های تهیه بستر فعال به صورتی است که ظرفیت مزرعه‌ای مجتمع این دو دسته از ماشین‌ها برابر باشند. بنابراین تعداد ماشین‌های کاشت فعال در این دوره برابر است با تعداد تراکتورها ضرب در نسبت کار کارنده به تراکتور برای تکمیل کشت در یک واحد مساحت (pltwr). در نتیجه معادله ۱۰ به صورت معادله ۳۰ نوشته می‌شود.

$$TI = \int_{pls}^{op} pln \times (op - t) \times dt + \int_{op}^{rd} pln \times (t - op) \times dt + \int_{rd}^{ed} tn \times pltwr \times (t - op) \times dt \quad (30)$$

با حل این انتگرال، شاخص به موقع انجام نشدن با استفاده از معادله ۳۱ تعیین می‌گردد.

$$TI = \frac{pln}{2} \times ((op - pls)^2 + (rd - op)^2) + tn \times \frac{plw}{tw} \times \left(\frac{ed^2 - rd^2}{2} + op \times (rd - ed) \right) \quad (31)$$

تنها متغیر مستقل معادله، زمان آغاز کاشت می‌باشد و نقطه‌ی تلاقی و زمان پایان کشت، تابع زمان آغاز کاشت می‌باشند که با استفاده از معادلات ۲۷ و ۲۹ تعیین می‌شوند. بقیه‌ی پارامترها، جزء ورودی‌های مدل هستند و ثابت می‌باشند. بنابراین با تعیین زمان آغاز کاشت، شاخص به موقع انجام نشدن طبق زمان آغاز کاشت انتخابی محاسبه می‌شود.

در حالت دوم، نقطه‌ی تلاقی کاشت و تهیه بستر قبل از نقطه‌ی بهینه کاشت روی می‌دهد ($rd < op$)، بازه‌ی کاشت به ۳ بخش تقسیم می‌شود. بخش اول از نقطه‌ی آغاز کاشت تا نقطه‌ی تلاقی، بخش دوم از نقطه‌ی تلاقی تا نقطه بهینه کاشت و بخش سوم از نقطه‌ی بهینه کاشت تا پایان مشترک کاشت و تهیه بستر می‌باشد. در این حالت، معادله‌ی ۳۲ بسط یافته معادله ۱۰ است.

$$TI = \int_{pls}^{rd} pn \times (op - t) \times dt + \int_{rd}^{op} tn \times pltwr \times (op - t) \times dt + \int_{op}^{ed} tn \times pltwr \times (t - op) \times dt \quad (32)$$

با حل انتگرال، معادله‌ی ۳۳ برای تعیین شاخص به موقع انجام نشدن عملیات بر اساس زمان آغاز کاشت انتخابی به دست می‌آید.

$$TI = pln \times \left(\frac{pls^2 - rd^2}{2} + op \times (rd - pls) \right) + \frac{tn}{2} \times \frac{plw}{tw} \times ((op - rd)^2 + (ed - op)^2) \quad (33)$$

وقتی که با انتخاب زمان اولیه آغاز کاشت (ابتدای دوره حداقلی کاشت یا زمان مجاز آغاز کاشت)، عملیات کاشت و تهیه بستر تلاقی کنند، این زمان، لزوماً بهترین زمان برای آغاز کاشت نخواهد بود. با تغییر زمان آغاز کاشت، مقدار شاخص به موقع انجام نشدن تغییر می‌کند. در این میان می‌توان زمانی را یافت که مقدار این شاخص کمترین باشد. برای تعیین زمان بهینه‌ی آغاز کاشت، می‌توان از روش عددی استفاده کرد.

در این روش ابتدا یک بازه اولیه تعیین می‌شود که اطمینان حاصل شود که نقطه بهینه آغاز کاشت در داخل آن قرار دارد. ابتدای این بازه، نقطه ابتدای دوره حداقلی کاشت (smpip) و انتهای آن، نقطه بهینه

برای محاسبه‌ی زمان پایان عملیات تهیه بستر، رابطه ۲۴، از تغییر شکل رابطه ۲۳ به دست می‌آید.

$$se = pls + \frac{sw - pls - se}{tn - pln} \quad (24)$$

در این معادلات، pls ، ls ، ds ، ps ، pln ، dn ، pn و tn به ترتیب زمان آغاز عملیات‌های شخم، دیسک، تسطیح و کاشت هستند و pln ، dn ، pn و tn به ترتیب تعداد گاوآهن، دیسک، لولر، خطی‌کار و تراکتورهای موجود می‌باشند.

در صورتی که زمان محاسبه شده برای پایان عملیات تهیه بستر قبل از زمان اولیه پایان کاشت باشد ($se < ple$)، قبل از رسیدن عملیات کاشت به عملیات تهیه بستر، این عملیات به پایان می‌رسد و طبق معادله ۱۵ شاخص به موقع انجام نشدن تعیین می‌شود. در غیر این صورت، این دو عملیات با هم تلاقی می‌کنند و برای تعیین شاخص به موقع انجام نشدن عملیات، نیاز است که ابتدا زمان‌های تلاقی و پایان مشترک دو عملیات کاشت و تهیه بستر محاسبه شوند.

نسبت‌های معرفی شده میان کل کار ماشین‌های مختلف در هر واحد مساحت که تمام عملیات‌ها تکمیل شده نیز صادق است. در نقطه‌ی تلاقی، تمام عملیات‌ها به یک اندازه پیش رفته‌اند. بنابراین نسبت کار تهیه بستر انجام شده از آغاز شخم تا نقطه تلاقی ($sw-ps$) (rd) به کار کاشت انجام شده از آغاز کاشت تا نقطه تلاقی ($plw-pls$) (rd) برابر با $splwr$ است. بنابراین می‌توان معادله ۲۵ و به تبع آن، معادلات ۲۶ و ۲۷ را برای تعیین نقطه تلاقی نوشت.

$$\frac{sw - ps - rd}{plw - pls - rd} = \frac{sw}{plw} \quad (25)$$

$$\frac{sw - ps - pls + (rd - pls) \times (tn - pln)}{(rd - pls) \times pln} = \frac{sw}{plw} \quad (26)$$

$$rd = pls + \frac{sw - ps - pls}{pln \times \frac{sw}{plw} - tn + pln} \quad (27)$$

طبق معادله ۲۸، کل کار تراکتوری از آغاز شخم تا پایان کشت (ed) از جمع کل کار تراکتوری انجام گرفته تا آغاز کاشت - که فقط شامل کار تهیه بستر می‌شود - و کار تراکتوری از آغاز کاشت تا پایان کشت به دست می‌آید و با تغییر شکل معادله ۲۸، معادله ۲۹ برای تعیین نقطه پایان کشت به دست می‌آید.

$$tw = sw - ps - pls + (ed - pls) \times tn \quad (28)$$

$$ed = pls + \frac{tw - sw - ps - pls}{tn} \quad (29)$$

در حالت اول که نقطه تلاقی کاشت و تهیه بستر بعد از نقطه بهینه کاشت روی می‌دهد ($op < rd$)، کل بازه کاشت را می‌توان به ۳ بخش تقسیم کرد. بخش اول از نقطه آغاز کاشت تا نقطه بهینه کاشت، بخش دوم از نقطه بهینه کاشت تا نقطه تلاقی و بخش سوم از نقطه تلاقی تا پایان مشترک کاشت و تهیه بستر می‌باشد.

در دو دوره اول و دوم، تعداد ماشین‌های کاشت مشغول به کار برابر با کل ماشین‌های کاشت موجود می‌باشد. ولی در دوره سوم، تنها تراکتورها با تمام تعداد کار می‌کنند و نسبت تعداد ماشین‌های کاشت

کمترین شاخص را دارد تنها همسایه این نقطه است. در نتیجه، مقدار k برابر با ۲ خواهد بود. در صورتی که مقدار j برابر با ۴ باشد، مقدار k برابر با ۳ می‌باشد. در صورتی که مقدار j برابر با ۲ یا ۳ باشد، نقطه بهینه موقتی (نقطه‌ای که در بین این چهار نقطه، کمترین مقدار شاخص را دارد) دارای دو همسایه است و باید میان این دو همسایه، نقطه‌ای انتخاب شود که مقدار شاخص آن کمتر از دیگر همسایه باشد. بنابراین شماره این نقطه، طبق رابطه ۳۸ محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} & \text{if } ti(j-1) > ti(j+1) \\ & k = j + 1 \\ & \text{else} \\ & k = j - 1 \end{aligned} \quad (38)$$

مقدار j با استفاده از پارامتری با نام mti تعیین می‌شود که نشان دهنده‌ی شاخص به موقع انجام نشدن کمینه در هر مرحله از محاسبات است.

ابتدا مقداری انتخابی به عنوان شاخص به موقع انجام نشدن عملیات کمینه (mti) تعیین می‌شود که مقادیر جدید شاخص به موقع انجام نشدن با این مقدار مقایسه شود. برای شروع عددی بزرگ ($pln \times mpl^2 \times 10$) برای این پارامتر در نظر گرفته می‌شود که در همان ابتدا با مقدار شاخص به موقع انجام نشدن حاصل از اولین زمان آغاز کاشت انتخابی، جایگزین می‌گردد. در صورتی که مقدار شاخص نقطه‌ی مورد بررسی از مقدار شاخص کمینه کمتر باشد، مقدار شاخص کمینه تغییر می‌کند و برابر با مقدار شاخص در این نقطه شده و عدد j برابر با شماره نقطه مورد بررسی می‌شود. در غیر این صورت، مقدار شاخص کمینه و j تغییری نمی‌کند و بدین ترتیب، مقدار j در بین این چهار نقطه تعیین می‌شود.

در هر مرحله از محاسبات، فاصله نقاط ۱ و ۴ که نشان دهنده طول بازه است، با مقدار q مقایسه می‌شود. در صورتی که طول بازه بیش از این مقدار باشد، محاسبات ادامه می‌یابد در غیر این صورت محاسبات از حلقه خارج شده و عضو دوم ماتریس pls به عنوان نقطه بهینه آغاز کاشت ($opls$) شناخته می‌شود.

این مدل در محیط نرم‌افزار MATLAB 2008a پیاده شد و شکل ۲ فلوجارت این مدل را نشان می‌دهد.

برای بررسی عملکرد روش عددی، ابتدا با استفاده از داده‌های جدول ۱، مدل اجرا شد. در این داده‌ها، زمان آغاز هر عملیات بر اساس شماره روز از ابتدای سال (میلادی) می‌باشد.

جدول (۱): داده‌های مربوط به مزرعه مورد بررسی و ماشین‌های

موجود در آن

A	۵۰۰	pn	۳	ps	۲۷۰	ppwd	۰/۷	pwidth	۰/۹	Psp	۷	pef	۰/۷
dh	۱۰	dn	۲	ds	۲۸۰	dpwd	۰/۷	dwidth	۲/۴	Dsp	۱۰	def	۰/۷
		ln	۲	ls	۲۸۷	lpwd	۰/۷	lwidth	۱/۸	Lsp	۱۰	lef	۰/۷
		pln	۳	apls	۲۹۲	plpwd	۰/۷	plwidth	۲	Plsp	۸	plef	۰/۵۶
		tn	۵	op	۳۱۵								

کاشت (op) می‌باشد. سپس دو نقطه دیگر در بین این دو نقطه با فاصله مساوی تعیین می‌شود. بنابراین چهار نقطه با فاصله‌ی مساوی به عنوان زمان آغاز کاشت، تعیین می‌شوند. برای هر چهار نقطه، تمام محاسبات مربوط به تعیین شاخص به موقع انجام نشدن عملیات، انجام می‌شود. در بین این چهار نقطه، دو نقطه‌ای که دارای کمترین مقدار این شاخص هستند، به عنوان نقاط ابتدا و انتهای بازه‌ی مورد بررسی در مرحله بعد، تعیین می‌شوند. دوباره دو نقطه‌ی دیگر، میان بازه جدید تعیین می‌شود و مقدار شاخص به موقع انجام نشدن عملیات، برای این دو نقطه نیز محاسبه می‌شود. همانند مرحله قبلی، دو نقطه به مرحله بعدی انتقال می‌یابند و دو سر بازه جدید را تشکیل می‌دهند. این مراحل بارها تکرار می‌شوند تا این که اندازه بازه مورد بررسی، از مقدار از پیش تعیین شده (q)، کمتر شود. در این حالت، نقاط مورد بررسی به اندازه کافی به زمان بهینه آغاز کاشت نزدیک شده‌اند. در نهایت یکی از نقاط (نقطه دوم بازه) به عنوان زمان بهینه آغاز کاشت تعیین می‌شود. هزینه به موقع انجام نشدن عملیات نیز بر مبنای شاخص به موقع انجام نشدن حاصل از اعمال این نقطه به عنوان نقطه‌ی آغاز کاشت، محاسبه می‌شود.

برای اجراء در ابتدا پارامتر pls که نشان‌دهنده زمان آغاز کاشت می‌باشد، به صورت یک ماتریس چهار عضوی بیان می‌شود که هر عضو آن نشان دهنده یک نقطه آغاز کاشت در بازه‌ی مورد بررسی است. عدد j شماره نقطه‌ای در داخل بازه است که شاخص به موقع انجام نشدن حاصل از آن، کمترین باشد و عدد k شماره نقطه‌ای است که بعد از j ، کمترین شاخص به موقع انجام نشدن را دارد. در ابتدا j برابر با ۱ و k برابر با ۴ در نظر گرفته می‌شود. بعد از محاسبه مقدار شاخص برای هر چهار نقطه، دوباره مقدار j و k تعیین می‌شود. این دو عدد شماره نقاطی خواهند بود که دو سر بازه مرحله بعد را تشکیل می‌دهند.

البته طبق معادلات ۳۴ و ۳۵، در هر مرحله، نقاط شماره ۱ و ۴ که دو سر بازه مرحله بعد را تشکیل می‌دهند، به صورتی تعیین می‌شوند که زمان نقطه اول جلوتر از نقطه چهارم قرار گیرد.

$$pls(1) = pls(\min(j, k)) \quad (34)$$

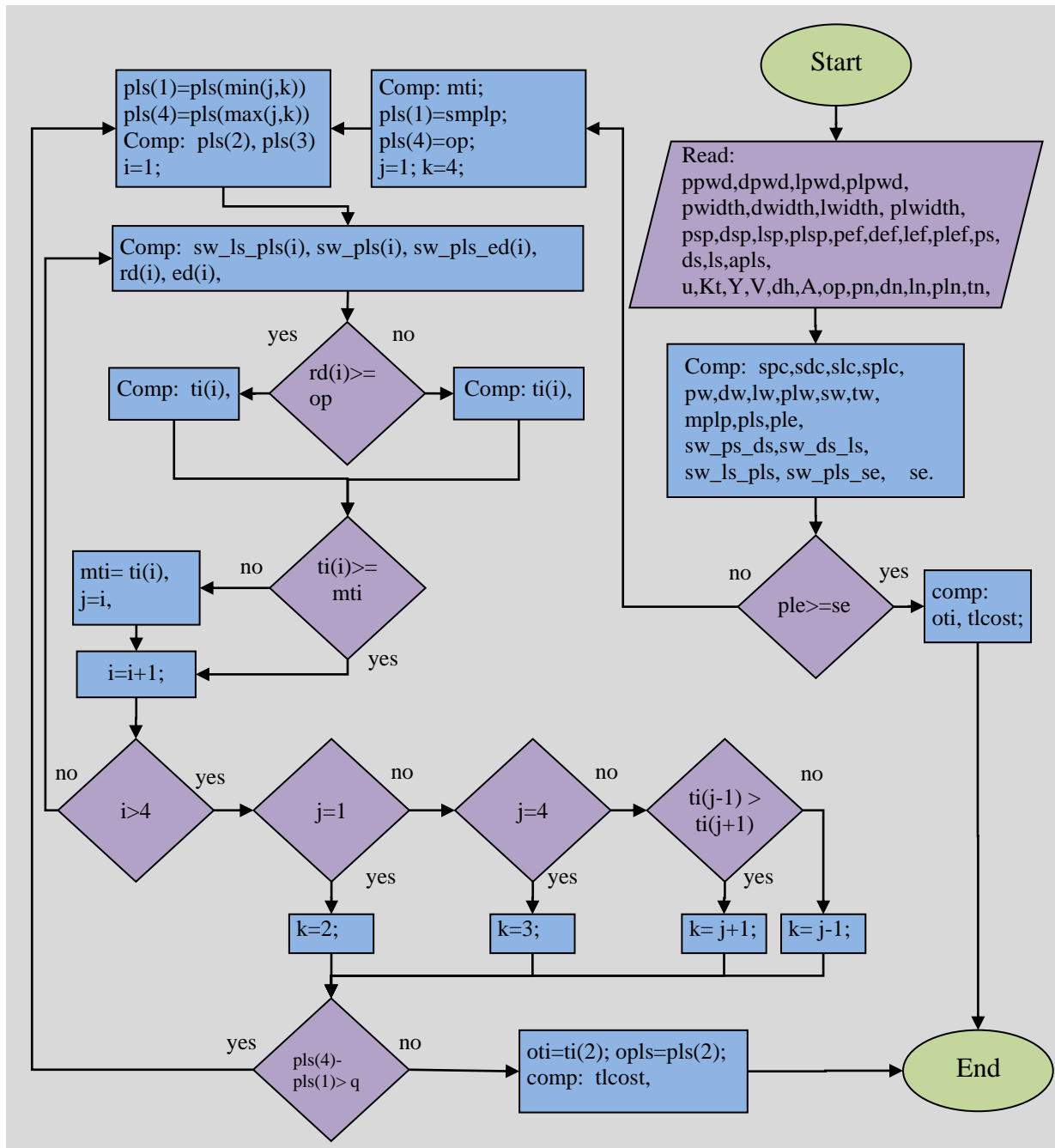
$$pls(4) = pls(\max(j, k)) \quad (35)$$

در هر مرحله، نقاط دوم و سوم با استفاده از معادلات ۳۶ و ۳۷ تعیین می‌شوند.

$$pls(2) = \frac{2 \times pls(1) + pls(4)}{3} \quad (36)$$

$$pls(3) = \frac{pls(1) + 2 \times pls(4)}{3} \quad (37)$$

در هر مرحله، بایستی مقدار j و k تعیین شود. مقدار j برابر با شماره نقطه‌ای (زمان آغاز کاشت) خواهد بود که کمترین مقدار شاخص به موقع انجام نشدن را دارد. اما مقدار k با کمی ملاحظات تعیین می‌شود. در صورتی که مقدار j برابر با ۱ باشد، یعنی اولین نقطه بازه قبلی، کمترین مقدار شاخص را دارد. بنابراین، دومین نقطه‌ای که



شکل (۲): فلوچارت مدل تعیین زمان بهینه آغاز کاشت بر اساس حل عددی

مدل می‌باشد. با اضافه و کم کردن اعداد ۰/۱، ۱، ۲ و ۱۰ به زمان بهینه آغاز کاشت محاسبه شده، نقاط مورد بررسی تعیین شدند.

۳- نتایج و بحث

پس از اجرای مدل با استفاده از داده‌های ورودی، زمان بهینه آغاز کاشت (opls) و شاخص به موقع انجام نشدن کمینه (mti)، به ترتیب ۳۰۵/۰۷۶ و ۶۶۹/۷۴۵ محاسبه شدند. نتایج اجرای برنامه با مقادیر مختلف آغاز کاشت در جدول ۲ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، زمان بهینه محاسبه شده برای آغاز

پس از اجرای مدل و تعیین زمان بهینه آغاز کاشت و محاسبه شاخص به موقع انجام نشدن مربوط به آن، شاخص به موقع انجام نشدن عملیات با استفاده از نقاط دیگری به عنوان زمان آغاز کاشت، محاسبه شد. در صورتی که بتوان نقطه دیگری یافت که شاخص به موقع انجام نشدن آن، کمتر از نقطه بهینه محاسبه شده باشد، نشان دهنده عدم کارایی مدل خواهد بود و در صورتی که نقطه‌ای که به عنوان زمان بهینه آغاز کاشت معرفی شده است، نسبت به نقاط در همسایگی خود، شاخص به موقع انجام نشدن کمتری داشته باشد، نشان دهنده عملکرد صحیح

کاشت، دارای کمترین میزان شاخص به موقع انجام نشدن عملیات در بین دیگر نقاط است. بنابراین در بهینه‌سازی زمان آغاز کاشت با هدف کاهش هزینه به موقع انجام نشدن عملیات، روش عددی مورد استفاده، کارایی لازم را دارد.

با توجه به جدول ۱، با تعویق تاریخ آغاز کاشت، زمان تلاقی (rd) به زمان پایان مشترک عملیات‌های مزرعه (ed) نزدیک می‌شود. با تعویق بیشتر زمان آغاز کاشت، نقطه تلاقی از نقطه پایان عملیات‌ها نیز عبور می‌کند. یعنی، هیچ گونه تلاقی صورت نگرفته و عملیات تهیه بستر قبل از عملیات کاشت به اتمام می‌رسد. می‌توان زمانی را برای آغاز کاشت تعیین کرد که با اعمال آن، نقطه تلاقی بر زمان پایان عملیات، منطبق گردد. اهمیت تعیین این نقطه به نوع مدیریت مزرعه مربوط می‌شود. گاهی به غیر از هزینه به موقع انجام نشدن عملیات، سادگی مدیریت مزرعه و اجتناب از تداخل عملیات‌ها نیز اهمیت پیدا می‌کند. برای تعیین این زمان، نیازی به روش‌های عددی نبوده و کافی است معادلات ۲۷ و ۲۹ را برابر یکدیگر قرار داده و با استفاده از روش تحلیلی این نقطه را پیدا کرد.

۴- نتیجه‌گیری کلی

معادله (۷) که در این مطالعه معرفی شده است، تعمیم‌یافته معادله کلی موجود در منابع (معادله ۲) می‌باشد و می‌توان این معادله را به شرایطی که رابطه افت عملکرد، غیرخطی یا حتی نامتقارن باشد نیز بسط داد. همچنین روش حل عددی ارائه شده نیز به خوبی تعیین‌کننده بهترین زمان برای آغاز عملیات کاشت می‌باشد. مدل ارائه شده، خود می‌تواند به عنوان یک زیرمدل در مدل‌های جامع‌تری که هزینه‌های ترکیب‌های مختلف ماشینی را محاسبه می‌کنند، استفاده شود. بنابراین با تعمیم بیشتر خط مشی ارائه شده در این مطالعه، می‌توان در شرایط واقعی‌تر، اقدام به تعیین دقیق هزینه به موقع انجام نشدن عملیات نمود که نقشی اساسی در تعیین سامانه مناسب ماشینی در یک مزرعه دارد.

در تمام نقاط مورد بررسی، زمان پایان کشت، یکسان است. علت این است که تعداد تراکتورها از تعداد کل ماشین‌های تهیه بستر بیشتر نیست و با آغاز تسطیح، تمام تراکتورها، مشغول به کار می‌شوند. با توجه به این که باید مقدار مشخصی کار ماشینی بر حسب ماشین-روز انجام شود تا عملیات‌های مزرعه تکمیل شود، تعیین زمان آغاز کاشت، در نرخ پیشروی مجموع کار تأثیری نداشته و در نتیجه، زمان پایان مجموع عملیات‌های کاشت و تهیه بستر ثابت خواهد بود.

جدول (۲): شاخص به موقع انجام نشدن عملیات در اثر زمان‌های مختلف آغاز کاشت

pls	rd	ed	Ti	pls-opls	ti-mti
۲۹۵/۰۷۶	۳۰۸/۵۴	۳۴۲/۱۸	۰۹۸۹/۰۸۲	-۱۰	۳۱۹/۳۳۶۹
۳۰۳/۰۷۶	۳۲۱/۶۵	۳۴۲/۱۸	۶۸۵/۵۷۸	-۲	۱۵/۸۳۳۳
۳۰۴/۰۷۶	۳۲۳/۲۹	۳۴۲/۱۸	۶۷۳/۷۰۳	-۱	۳/۹۵۸۶
۳۰۴/۹۷۶	۳۲۴/۷۶	۳۴۲/۱۸	۶۶۹/۷۸۴	-۰/۱	۰/۰۳۹۶
۳۰۵/۰۷۶	۳۲۴/۹۲	۳۴۲/۱۸	۶۶۹/۷۴۵	۰	۰
۳۰۵/۱۷۶	۳۲۵/۰۹	۳۴۲/۱۸	۶۶۹/۷۸۴	۰/۱	۰/۰۳۹۵
۳۰۶/۰۷۶	۳۲۶/۵۶	۳۴۲/۱۸	۶۷۳/۷۰۲	۱	۳/۹۵۷۵
۳۰۷/۰۷۶	۳۲۸/۲	۳۴۲/۱۸	۶۸۵/۵۷۶	۲	۱۵/۸۳۱
۳۱۵/۰۷۶	۳۴۱/۳۱	۳۴۲/۱۸	۱۰۶۵/۵	۱۰	۳۹۵/۷۵۵۴

اختلاف شاخص به موقع انجام نشدن عملیات در زمان آغاز کاشت مورد بررسی با کمینه این شاخص (ti-mti)، با فاصله زمان آغاز کاشت مورد بررسی و زمان بهینه آغاز کاشت (pls-opls)، رابطه‌ای غیرخطی

منابع مورد استفاده

- Abdi, R., H.R. Ghasemzadeh, S. Abdollahpour, M. Sabzeparvar, and A. Dabbag Mohamadi Nasab. 2010. **Modeling and analysis of mechanization projects of wheat production by GERT networks.** *Agricultural Sciences in China*. 9(7): 1078-1083.
- Anonymous. 2006. **Agricultural Machinery Management, EP496.3.** American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Bochtis, D.D and C.G. Sørensen. 2010. **The vehicle routing problem in field logistics: Part II.** *Biosystems Engineering* 105 (2): 180-188.
- Bochtis, D.D., C.G. Sørensen, O. Green, T. Bartzanas and S. Fountas. 2010. **Feasibility of a modelling suite for the optimised biomass harvest scheduling.** *Biosystems Engineering*. 107: 283-293.
- Darby-Dowman, K., S. Barker, E. Audsley and D. Parsons. 2000. **A two-stage stochastic programming with recourse model for determining robust planting plans in horticulture.** *Journal of the Operational Research Society*. 51: 83-89.
- Guan, S., M. Nakamura, T. Shikanai and T. Okazaki. 2008. **Hybrid Petri nets modeling for farm work flow.** *Computers and Electronics in Agriculture*. 62 (2): 149-158.
- Guan, S., M. Nakamura, T. Shikanai and T. Okazaki. 2009. **Resource assignment and scheduling based**

- on a two-phase metaheuristic for cropping system.** Computers and Electronics in Agriculture. 66 (2): 181–190.
- Orfanou, A., P. Busato, D.D. Bochtis, G. Edwards, D. Pavlou, C.G. Sørensen and R. Berruto. 2013. **Scheduling for machinery fleets in biomass multiple-field operations.** Computers and Electronics in Agriculture. 94: 12–19.
- Ortuño, M.T and B. Vitoriano. 2011. **A goal programming approach for farm planning with resources dimensionality.** Annals of Operations Research. 190: 181-199.
- Pinedo, M.L. 2008. **Scheduling. Theory, Algorithms, and Systems, third ed.** Springer Science+Business Media, LLC, NY, USA.
- Wijngaard, P.J.M. 1988. **A heuristic for scheduling problems, especially for scheduling farm operations.** European Journal of Operational Research. 37(1): 127–135.

Developing a Planting Operation Scheduling Model Based on Timeliness Cost Optimization

M. Khani^{1*}, A.R. Keyhani¹, H. Sharifnasab², R. Alimardani¹ and Gh.R. Peykani³

Received: 24 Dec 2014 Accepted: 27 Dec 2015

¹Department of Biosystems Engineering, Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran.

²Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, Iran.

³Department of Agricultural Economics, Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran.

*Corresponding author: E-mail: mahdikhani@ut.ac.ir

Abstract

Upon determination of field machines, ownership and operating costs of agricultural machines are readily computed. However, timeliness cost is also influenced by field operations scheduling. If planting operation is performed in the smallest possible period around optimum planting time, timeliness cost is minimized. But in some conditions, planting operation cannot be completed in such period and for optimum scheduling of operations, a method is required to determine the best time for commencing planting operation. In this study, by definition of a parameter namely timeliness index (TI), a model based on a numerical method was developed to determine optimum planting start date (opls), in which total timeliness cost is minimized. After running the model by use of input data available from a real farm, opls was determined. By comparing, the TI resulted from opls with TI values resulted from deviated planting start dates from opls, the accuracy of the model was verified. increasing rate of TI value Also had a quadratic relationship with difference between planting start day and opls. Therefore, accurate determination of opls has an important role in decreasing timeliness cost.

Keywords: Numerical solution, Optimum time of planting start, Timeliness index.