

مدیریت مکانیزاسیون با حداقل کردن تابع هزینه به روش برنامه ریزی غیرخطی (۶۵۲)

محمدجواد خلیلی^۱، حمید طاهرپور کلانتری^۲، محمد حسین عدالت^۳ و احسان مصدری^۴

چکیده

در این مطالعه یک مدل سیستمی برای انتخاب سطح بهینه مکانیزاسیون برحسب قابلیت های فنی بررسی شده است. مدل بهینه سازی یک مدل برنامه ریزی ترکیبی غیرخطی است که به وسیله نرم افزار Lingo8 حل شده است. در این مدل سعی شده تا با توجه به تمامی هزینه های ثابت و متغیر مربوط به استفاده از ماشین آلات خاک ورزی را به گونه ای حداقل کنیم که تمامی نیازها و محدودیت های مربوط به کشت محصولات مختلف برآورده شود. این مدل برای یک مزرعه که شامل دو محصول گندم و جو بوده، طراحی شده است. خروجی مدل شامل اندازه و تعداد ماشین آلات مورد استفاده، تعداد تراکتور و همچنین توان تراکتورهای مورد استفاده می باشد. حداقل سازی تابع هزینه براساس محدودیت هایی از قبیل، ساعات کاری نیروی کار در دسترس، ساعات در دسترس استفاده از ماشین ها و تراکتور، قابلیت انجام عملیات ها، زمان انجام عملیات ها و ترتیب و همپوشانی عملیات ها انجام گرفته است.

کلیدواژه: برنامه ریزی ترکیبی غیر خطی، اندازه بهینه ماشین آلات، تعداد وسیله مورد نیاز، مکانیزاسیون

۱- دبیر درس ماشینهای کشاورزی آموزش و پرورش، پست الکترونیک: khalili_javad@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

مقدمه

در طی سال‌های متمادی موضوع استفاده بهینه از منابع جهت انجام عملیات‌های زراعی مزرعه مورد بررسی و مطالعه فراوانی بوده است. با توجه به این مسأله تخصیص بهینه منابع نیروی کار و ماشین‌آلات که بخش عمده‌ای از هزینه‌های زراعی را تشکیل می‌دهند بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین باید به دنبال روش‌هایی جهت کاهش این هزینه‌ها به صورت کلی، و به طور ویژه کاهش در هزینه ماشین‌آلات باشیم. به طور کلی تعیین سطح بهینه مکانیزاسیون یک مسأله بسیار پیچیده است که شامل روابط بین ماشین‌ها، سیستم ماشین‌آلات مزرعه و زیرسیستم‌های بیولوژیکی و هواستجی از قبیل، محصول، خاک و شرایط آب و هوایی می‌شود. در این راستا به مسائل زیر بایستی پاسخ داده شود. چه لوازمی با توجه به تجهیزات فنی بایستی تهیه شود؟ چه ماشین‌هایی در بازار وجود دارند؟ چه اندازه‌ای از ماشین‌ها از نظر اقتصادی به صرفه هستند؟ چه نوع هزینه‌هایی در ضمن استفاده از ماشین‌آلات ایجاد خواهد شد.

برای پاسخگویی به این سؤالات تاکنون مطالعات (به عنوان مثال، ادسلی و بویس [۱] ۱۹۷۴، کلاین و همکاران [۴] ۱۹۸۹، پرمر و همکاران [۵] ۱۹۹۶، اکمن [۲] ۲۰۰۰ و سورنسن [۵] ۲۰۰۳) متعددی با روش‌های گوناگون انجام گرفته است. اغلب این مدل‌ها بسیار پیچیده هستند و به مقادیر بسیار زیادی از داده‌های ورودی که به راحتی قابل جمع‌آوری نیست احتیاج دارند. روش به کار رفته در این مطالعه یک مدل بهینه‌سازی است که براساس سطحی از فشرده‌سازی طراحی شده که سازگار با داده‌های موجود مربوط به مجموعه‌های ماشین‌آلات، محصولات، زمان‌بری عملیات‌ها و از این قبیل می‌باشد.

روش تحقیق

ساختار مدل

مدل به کار گرفته شده در این مطالعه یک مدل بهینه‌سازی ترکیبی غیرخطی بر اساس مفهوم حداقل هزینه می‌باشد که شامل ترکیبی از متغیرهای صحیح و پیوسته می‌باشد و از این رو مدل ترکیبی نامیده می‌شود. این مدل از ساختار کلی مسائل برنامه‌ریزی ریاضی که توسط بروک [۲] ۱۹۹۲ مورد بررسی قرار گرفته پیروی می‌کند و متشکل از متغیرهای تصمیم‌گیری، پارامترها و محدودیت‌ها می‌باشد. این مدل به وسیله نرم‌افزار Lingo8 حل شده است.

متغیرهای تصمیم‌گیری

در این مطالعه سیستم ماشین‌آلات مزرعه توسط مجموعه‌ای از ماشین‌ها، مجموعه‌ای از عملیات‌ها و مجموعه‌ای از دوره‌های زمانی که عملیات‌ها بایستی در طی آن انجام شود توصیف شده است. اندیس‌های به کار گرفته شده برای متغیرهای تصمیم و پارامترها شامل موارد زیر است.

i : شمارنده ماشین $i \in \{1, 2, \dots, N^M\}$ که N^M تعداد ماشین‌های مورد نیاز در سیستم ماشین‌آلات مزرعه به استثنای تراکتورها می‌باشد.
 j : شمارنده عملیات‌های کاری $j \in \{1, 2, \dots, N^O\}$ که N^O تعداد عملیات‌هایی است که بایستی در طی دوره موردنظر انجام شود.
 k : شمارنده تعداد هفته‌های سال $k \in \{1, 2, \dots, 52\}$
متغیرهای تصمیم عبارتند از:

x_i^M : اندازه ماشین i که به وسیله عرض عملیاتی (به عنوان مثال برای دیسک و گاواهن برحسب m)، ظرفیت توده (kgs^{-1}) برای ماشین‌های برداشت) یا ظرفیت بار (برای یدک‌کش‌ها برحسب kg) می‌باشد.

X^T : توان تراکتور برحسب واحد توان، جهت ساده‌سازی مسئله توان همه تراکتورها یکسان در نظر گرفته شده
 Z^T : تعداد تراکتورها که یک عدد صحیح مثبت است.

x_j^O : نرخ کلی کار ماشین یا مجموعه‌ای از ماشین‌ها که برای انجام عملیات j مورد استفاده قرار گرفته است، واحد اندازه‌گیری بر حسب واحد (واحد‌های) به کار رفته برای ماشین (ماشین‌های) انجام‌دهنده عملیات j می‌تواند $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ یا kgs^{-1} باشد.
 $x_{j,k}$: کسری از عملیات j که در هفته k انجام گرفته است.

جهت پرهیز از تبدیل واحدها از واحدهای پایه SI یعنی kg ، m ، s جهت اندازه‌گیری کمیت‌ها استفاده شده است. متغیرهای تصمیم‌گیری اصلی شامل x_i^M و Z^T است و x_j^O جهت ساده‌سازی مدل و $x_{j,k}$ جهت بیان چگونگی توزیع زمان انجام عملیات j در طول سال زراعی تعریف شده است.

تابع هدف

تابع هدف بیانگر حداقل سازی هزینه های سالانه کل می باشد.

$$\min_{x_j^M, x_j^O, x_{j,k}, x^T, z^T} f(x_j^M, x_j^O, x_{j,k}, x^T, z^T) = \sum_i (\varphi_{0,i} + \varphi_{1,i} x_i^M) + \psi z^T x^T + \sum_k \sum_j x_{j,k} \left(\alpha_j + \frac{\beta_j + \gamma_j x^T}{x_j^O} \right) \quad (1)$$

که $Q_{0,i}$: بخشی از هزینه ثابت سالانه که مستقل از اندازه ماشین می باشد برحسب IT ،
 $Q_{1,i}$: ضریبی که بیانگر رابطه هزینه های ثابت سالانه به اندازه ماشین می باشد برحسب ITm^{-1} ، $ITskg^{-1}$ یا $ITkg^{-1}$

Ψ : فاکتور تناسبی بین هزینه های ثابت سالانه تراکتور و اندازه آن $IT.W^{-1}$

α_j : فاکتور مربوط به هزینه های سوخت، تعمیر و نگهداری ماشین های به کار رفته در عملیات j برحسب IT (محاسبه شده در ضمیمه الف)

β_j : پارامتر مربوط به هزینه نیروی کار و هزینه های تعمیر و نگهداری ماشین آلات مورد استفاده برحسب ITm^2s^{-1} (محاسبه شده در ضمیمه الف)

γ_j : پارامتر مربوط به هزینه های تعمیر و نگهداری تراکتورهای به کار گرفته شده در عملیات j (محاسبه شده در ضمیمه الف) برحسب $ITm^2s^{-1}W^{-1}$ یا $IT.kg.s^{-1}$ می باشد.

تعداد محدودیت های مدل بسیار بالا بوده اما در غالب ۱۲ گروه کلی قابل بیان هستند.

الف - زمان اپراتوری محدود است.

$$\sum_j \frac{r_j x_{j,k} A_j U_j}{x_j^O w_j} \leq T_k, \quad \forall k \quad (2)$$

که T_k تعداد کارگران تمام وقت عملیات j ، A_j سطح کاری عملیات j برحسب m^2 ، U_j عملکرد محصول برای عملیات برداشت، میزان استفاده از مواد در فعالیت مربوط به کاربرد آنها، ۱ برای فلیت های خاکورزی و یا بدون بعد، W_j کسری از زمان لازم برای انجام عملیات j به استثنای شرایط نامطلوب آب و هوایی، محصول و یا خاک و T_k زمان اپراتوری در دسترس مورد انتظار در هفته k می باشد.

ب - زمان ماشین آلات محدود است.

$$\sum_{j/i \in M_j} \frac{x_{j,k} A_j U_j}{x_j^O w_j} \leq T^w, \quad \forall k, i \quad (3)$$

که M_j مجموعه ماشین های مورد استفاده در عملیات j ، T^w زمان کاری در طول یک هفته بر حسب S است
ج - زمان کاری تراکتور محدود است.

$$\sum_j \frac{q_j x_{j,k} A_j U_j}{x_j^O w_j} \leq z^T T^w, \quad \forall k \quad (4)$$

که q_j تعداد تراکتورهای مورد استفاده در عملیات j می باشد.

د - تعداد تراکتور بایستی جوابگوی تقاضای فعالیتی که بیشترین تراکتور را لازم دارد باشد.

$$z^T \geq q_j, \quad \forall j \quad (5)$$

ه - دوره زمانی برای انجام هر عملیات محدود است.

$$x_{j,k} = 0, \quad \forall j, k | k < t_j^{min} \vee k > t_j^{max} \quad (6)$$

^۱ - IT نشان دهنده "تومان" می باشد.

که t_j^{\min} اولین هفته از بازه زمانی مجاز برای انجام عملیات زام و t_j^{\max} آخرین هفته از بازه زمانی مجاز برای انجام عملیات زام است.

و - تمامی عملیاتها بایستی تکمیل شوند.

$$\sum_k x_{j,k} = 1, \quad \forall j \quad (7)$$

ض - عملیاتها بایستی به ترتیب مناسب انجام شوند.

$$\sum_{k=1}^k x_{i,k} \geq \sum_{k=1}^k x_{j,k}, \quad \forall j, k, i | i \in F_j \quad (8)$$

که 1 یک اندیس دیگر برای نشان دادن شماره عملیات، k اندیسی دیگر برای نشان دادن هفته و F_j مجموعه‌ای از عملیاتها است که بایستی زودتر از عملیات زام انجام گیرند.

ح - اندازه ماشینها بایستی دارای مرز مشخصی باشد.

$$x_i^{M,\min} \leq x_i^M \leq x_i^{M,\max}, \quad \forall i \quad (9)$$

که $x_i^{M,\min}$ حداقل اندازه ماشین برحسب m، kg s^{-1} یا kg و $x_i^{M,\max}$ حداکثر اندازه ماشین برحسب m، kg s^{-1} یا kg است. ت - رابطه بین ظرفیت موثر زراعی و اندازه انفرادی یک ماشین

$$\frac{1}{x_j^O} = \begin{cases} \max_i \frac{S_{ij}}{x_i^M} & \text{if } h_j = 0, \\ \sum_i \frac{S_{ij}}{x_i^M} & \text{if } h_j = 1, \end{cases} \quad \forall j \quad (10)$$

که S_{ij} ثابت تناسبی بین اندازه ماشین i و ظرفیت موثر در عملیات j (ظرفیت موثر $s \times$ اندازه) برحسب S یا بدون بعد و h_j یک متغیر شاخص برای بیان استفاده همزمان ($h_j=0$) یا ترتیبی ($h_j=1$) ماشین در عملیات j می باشد.

ی - توان تراکتور بایستی جوابگوی بالاترین توان موردنیاز ماشینهای یدکی باشد.

$$x^T \geq \theta_i x_i^M, \quad \forall i \quad (11)$$

که θ_i توان تراکتوری مورد نیاز به ازای یک واحد از اندازه ماشین i برحسب Wm^{-1} ، Wkg^{-1} یا Wkg^{-1} می باشد.

ک - متغیرهای تصمیمگیری پیوسته نباید منفی باشند.

$$x_j^O \geq 0, \forall j; \quad x_{j,k} \geq 0, \forall j, k; \quad x^T \geq 0 \quad (12)$$

ل - تعداد تراکتورها بایستی یک عدد صحیح غیرمنفی باشد.

$$z^T \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad (13)$$

تابع هدف مجموع سه عبارت است. در اولین عبارت $\sum_i (\varphi_{1,i} x_i^M + \varphi_{0,i})$ (بهره، استهلاک و غیره) محاسبه می شود. در این عبارت فرض شده که قیمت ماشین تابعی خطی از اندازه آن باشد. یعنی

$$P_i^M = p_{0,i}^M + p_{1,i}^M x_i^M$$

که $P_{0,i}^M$ عرض از مبدأ برحسب IT و $P_{1,i}^M$ شیب برحسب ITM^{-1} ، ITkg s^{-1} و یا ITkg^{-1} می باشد. علاوه بر این فرض شده است که هزینه‌های ثابت کسری c_i^M ، از قیمت خرید باشد یعنی

$$c_i^M P_i^M = c_i^M (p_{1,i}^M x_i^M + p_{0,i}^M) = \varphi_{1,i} x_i^M + \varphi_{0,i}$$

$$Q_{1,i} = c_i^M P_{1,i}^M \quad \text{و} \quad Q_{0,i} = c_i^M P_{0,i}^M \quad \text{که}$$

در دومین عبارت تابع هدف $\psi Z^T x^T$ هزینه‌های ثابت سالانه تراکتور محاسبه شده است. در این فرض شده که قیمت تراکتور P^T متناسب با توان خروجی آن باشد ($P^T = P^T \cdot X^T$). براساس داده‌های واقعی، این رابطه تقریب خوبی از قیمت تراکتور می باشد. علاوه بر این فرض بر این است که هزینه ثابت سالانه تراکتور کسری C^T از قیمت خرید تراکتور باشد که با عبارت $\psi \alpha^T \cdot Z^T \cdot P^T = C^T P^T = c^T p^T x^T = \psi \alpha^T$ محاسبه می شود که $\psi = c^T p^T$. بنابراین هزینه ثابت کل تراکتورها عبارت است $\psi \alpha^T \cdot Z^T$.

سومین عبارت در تابع هدف

$$\sum_k \sum_j x_{j,k} \left(\alpha_j + \frac{\beta_j + \gamma_j x^T}{x_j^O} \right)$$

مجموع هزینه های متغیر ماشین آلات در تمامی هفته ها و برای تمامی عملیات ها می باشد. که این رابطه براساس تابع هزینه انفرادی ماشین ها می باشد که برای تمامی انواع ماشین ها صدق می کند و در آن پارامتر مربوط هزینه های سوخت، تعمیر و نگهداری ماشین آلات مورد استفاده در عملیات J (تعریف شده در ضمیمه A) برحسب IT ، پارامتر مربوط به هزینه های کارگری و تعمیر - نگهداری ماشین های مورد استفاده در عملیات J (تعریف شده در ضمیمه A) برحسب $ITm^{-1}s^{-1}$ یا $ITkgs^{-1}$ ، پارامتر مربوط به هزینه های تعمیر و نگهداری تراکتورهای به کار رفته در عملیات J (تعریف شده در ضمیمه A) برحسب $ITm^{-1}s^{-1}W^{-1}$ یا $ITkgs^{-1}$ می باشد.

در این رابطه هزینه های عملیاتی ماشین آلات مورد استفاده در عملیات J ام به شکل زیر است.

$$\alpha_j + \frac{\beta_j + \gamma_j x^T}{x_j^O}$$

و اگر تنها کسر مشخصی از عملیات J در هفته k انجام گیرد $x_{j,k}$ ، هزینه های عملیاتی در هفته k به شکل زیر خواهد بود.

$$x_{j,k} \left(\alpha_j + \frac{\beta_j + \gamma_j x^T}{x_j^O} \right)$$

و با جمع بندی در مجموع تمام هفته ها به عبارت رابطه ۱۶ خواهیم رسید.

نامعادلات نمایش داده شده توسط رابطه های ۲، ۳ و ۴ به منظور رعایت محدودیت های زمانی اپراتور، ماشین ها و تراکتورها در مدل گنجانده شده است. فرض کنید که

$$t_{j,k} = \frac{x_{j,k} A_j U_j}{x_j^O}$$

نامعادله ۲ بیان می کند که زمان اپراتوری کل در عملیات ها در طول هفته k باید کمتر از T_k باشد که زمان اپراتوری مورد انتظار برای عملیات کاری در طول هفته k می باشد. این زمان با جمع کردن زمان اپراتوری تمام فعالیت ها در هفته k ام محاسبه می شود. زمان اپراتوری برای عملیات J با ضرب کردن $t_{j,k}$ در تعداد کارگران تمام وقت عملیات J ، T_j و تقسیم بر فاکتور قابلیت کاری W_j محاسبه می شود. فاکتور قابلیت کاری ($0 \leq W_j \leq 1$) یک عملیات بخشی از زمان کاری است که بعد از کسر کردن زمان انتظاری از دست رفته به واسطه شرایط نامطلوب آب و هوایی، خاک و محصول، به دست می آید. رابطه ۲ شامل ۵۲ محدودیت است که بایستی در مدل گنجانده شود.

نامعادله های رابطه ۳ بیان می کند که یک ماشین دلخواه i نمی تواند بیش از T^W ثانیه در هفته کار کند. پارامتر T^W حداکثر زمان کاری در طول هفته می باشد. لازم به ذکر است که جمع بندی تنها بر روی عملیات هایی صورت می گیرد که از ماشین i استفاده می کنند.

نامعادلات رابطه ۴ نشان می دهد که برای هر هفته دلخواه k زمان کاری تراکتورها کمتر از $Z^T T^W$ می باشد. سمت چپ این نامعادله مشابه رابطه ۲ می باشد با این تفاوت که T_j با Q_j جایگزین شده است. نامعادلات رابطه ۵ نشان می دهد که تعداد تراکتورهای مزرعه بایستی به اندازه ای باشد که جوابگوی عملیاتی باشد که دارای بیشترین تراکتوری است که به صورت همزمان کار می کنند.

در نامعادلات رابطه ۶) انجام عملیات J به تعداد هفته های مابین هفته t_j^{\min} و t_j^{\max} محدود شده است. رابطه ۷) نشان می دهد که تمام عملیات ها بایستی به صورت کامل انجام گیرند.

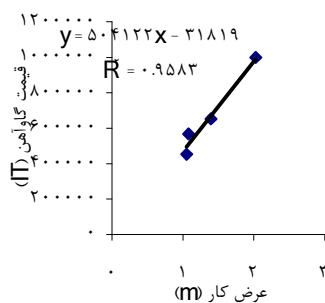
رابطه ۸) تضمین می کند که عملیات ها بایستی به ترتیب انجام گیرند. F_j نشان دهنده مجموعه ای از عملیات ها است که بر عملیات J مقدم هستند. بنابراین رابطه ۸) بیان می کند که اگر $I \in F_j$ باشد یعنی عملیات I بر عملیات J مقدم باشد در این صورت بخش انجام شده عملیات J در هر هفته بایستی از بخش انجام شده عملیات I در همان هفته بیشتر باشد.

هر نوع خاصی ماشین دارای محدودیت‌هایی در اندازه می‌باشد که این مسئله توسط نامعادلات (۹) وارد الگو شده است. رابطه (۱۰)، ارتباط بین ظرفیت زراعی موثر مجموعه ماشین‌های به کار گرفته شده در انجام عملیات‌ها و اندازه ماشین‌ها را به صورت انفرادی بیان می‌کند. اگر ماشین‌ها به صورت همزمان کار کنند در این صورت ظرفیت زراعی موثر به وسیله کندترین ماشین یعنی ماشینی که بزرگترین ظرفیت معکوس را دارد مشخص می‌شود. اگر ماشین‌ها به صورت ترتیبی کار کنند عکس ظرفیت زراعی مجموع ظرفیت موثر همه ماشین‌های درگیر خواهد بود. و در حالتی که تنها یک ماشین به کار گرفته شود نتیجه دو رابطه فوق یکسان خواهد بود.

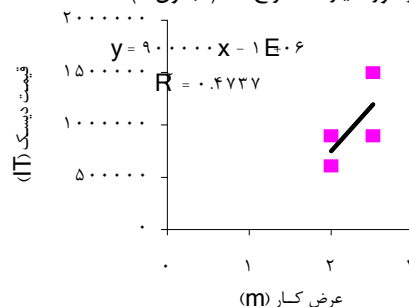
پارامتر S_{ij} یک ثابت تناسبی است که رابطه بین اندازه ماشین i و ظرفیت ویژه آن را در عملیات j نشان می‌دهد. اگر ماشین i در عملیات j استفاده نشود در این صورت $S_{ij} = 0$ ست. (محاسبه شده در ضمیمه A)
رابطه (۱۱) تضمین می‌کند که اندازه تراکتور مطابق با ماشینی باشد به بیش از همه به توان تراکتور نیاز دارد. روابط (۱۲) و (۱۳) نشان‌دهنده غیرمنی بودن متغیرهای تصمیم‌گیری است و رابطه (۱۳) علاوه بر این نشان می‌دهد که تعداد متغیرها بایستی یک عدد صحیح باشد. مثبت بودن x_i^M در رابطه (۹) گنجانده شده است و شرط $0 \leq x_{j,k} \leq 1$ توسط رابطه (۷) تضمین می‌شود.

نتایج

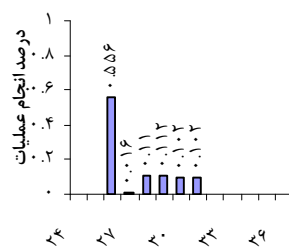
مدل ارائه شده در این بخش بر روی یک مزرعه متوسط پیاده‌سازی شده است این مزرعه رای ۲ محصول گندم و جو به ترتیب با مساحت‌های ۳/۲ و ۱/۷ هکتار می‌باشد. داده‌های مربوط به مدل توسط روابط و فرمول‌های ارائه شده در بخش مواد و روش‌ها و همچنین فرمول‌های ارائه شده در ضمیمه محاسبه شده‌اند. از آنجا که پیاده‌سازی مدل بر روی مکانیزاسیون کل مزرعه بسیار وقت‌گیر و پیچیده می‌باشد لذا مسئله بهینه‌سازی تنها در مورد عملیات‌های خاک‌ورزی پیاده شده است که شامل عملیات‌های شخم، دو مرحله کلوخ‌شکنی و پوشش می‌شود. برای این ابتدا پیش بینی اولیه از تعداد ادوات مورد نیاز و یا آنکه تعداد موجود داده شده تا با حل معادله توسط نرم افزار و بهینه سازی آن مقدار می‌نیمیم تابع هزینه بدست آید، که از آن نتایج بهینه اندازه و تعداد ادوات و تراکتور مورد نیاز استخراج شد. (جدول ۱)



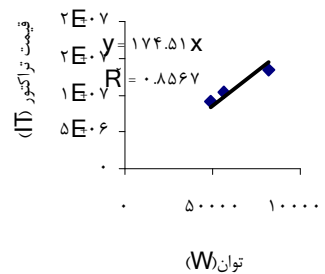
نمودار ۲: رابطه قیمت گاواهن با عرض عملیاتی آن



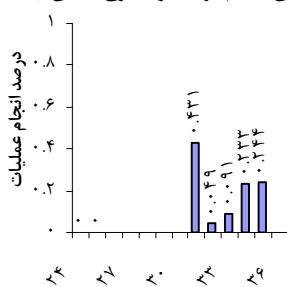
نمودار ۱: رابطه قیمت دیسک با عرض عملیاتی آن



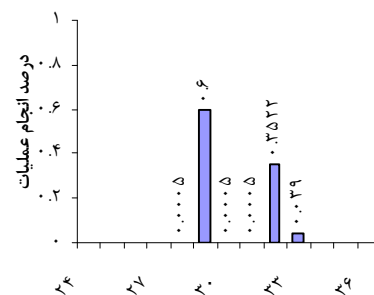
نمودار ۴: توزیع زمانی انجام مرحله اول کلوخ شکنی با دیسک



نمودار ۳: رابطه قیمت تراکتور با توان آن



نمودار ۶: توزیع زمانی انجام عملیات پوشش با دیسک



نمودار ۵: توزیع زمانی انجام مرحله دوم کلوخ شکنی با دیسک

این عملیات‌ها به وسیله دستگاه‌های دیسک و گاوآهن و نیز تراکتور برای کشش آنها انجام می‌گیرد، بنابراین هدف مسئله به صورت یافتن اندازه این ماشین‌ها و تعداد تراکتورها تبدیل خواهد بود. همچنین برنامه زمانی کار این ماشین‌ها نیز قابل محاسبه خواهد بود. از آنجا که عملیات خاک‌ورزی برای دو محصول گندم و جو یکسان می‌باشد سطح کاری سه عملیات یکسان و برابر با کل سطح زیر کشت دو محصول است. سایر داده‌های موردنیاز برای حل مدل در ضمیمه - ب - در داخل مدل نرم‌افزاری در قسمت Data گنجانده شده است. جدول زیر خلاصه‌ای از راه‌حل نهایی مسئله می‌باشد که توسط نرم‌افزار Lingo8 به دست آمده است. نمودارهای ۱ تا ۳ جهت محاسبه $P_{0,i}^M$ ، $P_{1,i}^M$ و PT مورد استفاده قرار گرفته و نمودارهای ۴ تا ۶ نشان دهنده توزیع زمانی انجام عملیات های شخم، کلوخ شکنی و پوشش می باشد

جدول ۱: اندازه ماشین ها و هزینه ها

نوع ماشین	اندازه/هزینه
تعداد تراکتور	۲
توان تراکتور ۱، W	۵۲,۲۲۰
توان تراکتور ۲، W	۵۲,۲۲۰
عرض گاوآهن، m	۱/۵۵۶
عرض دیسک ۱، m	۲
اندازه دیسک ۲، m	۲
هزینه های ثابت، IT	۳۰۸۹۴۷
هزینه های متغیر، IT	۲۴۲۵۹۶
حداقل هزینه	۵۵۱۵۴۴

پیشنهادات

مدل ارائه شده در این مطالعه یک روش مستقیم برای ارزیابی اندازه بهینه ماشین‌آلات یک مزرعه جهت حداقل کردن هزینه‌های ماشین‌آلات می‌باشد. خصوصیت برجسته این مدل این است که سطح کلی‌سازی مدل متناسب با داده‌های در دسترس که بیان‌کننده ویژگی‌های مزرعه هستند می‌باشد. این مدل همچنین عواملی از قبیل انجام‌پذیری، زمان‌بندی، ترتیب عملیات‌ها، محدودیت نیروی ار و غیره را در نظر می‌گیرد. این مدل بر روی عملیات‌های خاک‌ورزی در یک مزرعه پیاده و اجرا شده اما ساختار آن به گونه‌ای است که می‌توان آن را برای تمامی عملیات‌های ماشینی و مکانیزاسیون مزرعه به کار برد.

تفاوت عمده این مدل نسبت به محاسبات و نرم افزارهای دیگر برآورد ماشین ها در مکانیزاسیون یافتن راه حل جهت کمینه کردن هزینه می باشد، پس می تواند محاسبه کند که چه تعداد ماشین، از چه نوعی، در چه زمان مشغول به کار شوند. می توان با یک نتیجه گیری ساده می توان گفت بهتر است طبق روال مرسوم وزارتی برآورد انجام شود و سپس با استفاده از این مدل تعداد محاسبه شده بهینه و بهترین زمانها برای کار و با ضریب اطمینان بالا بدست آید.

منابع

- Audsley E; Boyce D S (1974). Use of weather uncertainty, compaction and timeliness in the election of optimum machinery for autumn field work: a dynamic programme. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 29(2), 141-149.
- Brooke A; Kendrick D; Meeraus A (1992). GAMS: A User's Guide, Release 2.25. The Scientific Press, Redwood City, California, USA.
- Ekman S (2000). Tillage system selection: a mathematical programming model incorporating eather variability. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77, 267-276, doi: 10.1006/jaer.2000.0602.



- Kline D E; Bender D A; McCarl B A (1989). FINDS: farm-level intelligent decision support system. *Applied Engineering in Agriculture*, 5(2), 273–282
- Parmar R S; McClendon R W; Potter W D (1996). Farm machinery selection using simulation and genetic algorithms. *Transactions of the ASAE*, 39, 1905–1909.
- Sorensen C G (2003). Workability and machinery sizing for combine harvesting. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*.

ضمیمه الف

جدول الف ۱: روابط لازم برای محاسبه ضرایب هزینه و فاکتور ظرفیت برای برخی از انواع ماشین آلات

نوع ماشین	رابطه	واحد	ظرفیت موثر	اندازه
گاواهن، غلطک، کلوخ شکن، مته، سم پاش، موور، بذریاش خطی	$\alpha = A(rp_{b1} + B_b)/(ve)$ $\beta = A(L + rp_{b0})$ $\gamma = Ad^*$ $s = 1/(ve)$	DKK DKK m ² s ⁻¹ DKK m ² s ⁻¹ W ⁻¹ s m ⁻¹	vbe, m ² s ⁻¹	عرض عملیاتی اسمی b, m
کمباین، برداشت کننده نوسانی علوفه، چاپر خطی، بیلر ماشوره ای، برداشت کننده چغندرقد	$\alpha = AU(rp_{k1} + B_k)/e$ $\beta = AU(L + rp_{k0})$ $\gamma = AUd^*$ $s = 1/e$	DKK DKK kg s ⁻¹ DKK kg s ⁻¹ W ⁻¹ Dimensionless	Ke, kg s ⁻¹	ظرفیت فنی برداشت K, Kg s ⁻¹
یدک کش، کودپاش	$\alpha = M\tau(rp_{m1} + B_m)$ $\beta = M(L + rp_{m0})$ $\gamma = Md^*$ $s = \tau$	DKK DKK kg s ⁻¹ DKK kg s ⁻¹ W ⁻¹ s	m/τ, kg s ⁻¹	ظرفیت بار m, kg s ⁻¹

* اگر ماشین ها به صورت خود کشی باشد آنگاه $\gamma=0$

** کودپاش ها در گروه یدک کش ها قرار گرفته اند زیرا قیمت خرید کودپاش صورت تابعی از اندازه (ظرفیت بار) محاسبه شده است.

جدول الف ۲: نحوه محاسبه ضرایب هزینه برای برخی از انواع ماشین آلات

ضریب	عملیات همزمان	عملیات ترتیبی
α	مجموع α ها برای ماشینهای انفرادی	مجموع α ها برای ماشینهای انفرادی
β	مجموع β ها برای ماشینهای انفرادی	میانگین β ها برای ماشینهای انفرادی
γ	مجموع γ ها برای ماشینهای انفرادی	میانگین γ ها برای ماشینهای انفرادی



```

!----- مدل اندازه ماشین آلات مزرعه -----!
!-----!

model:
!----- معرفی متغیرها -----!
!-----!

sets:
Machine/1..3/:size,pi0,pi1,c,sv,Tl,Pb0,Pb1,r,teta,sizemin,sizemax,e,Bb,Ppto;
Operation/1..3/:alfa,beta,gama,sigma,overal,delta,A,L,U,rj,q,tmin,tmax,v;
week/1..52/:Topt;
links(Operation,week):frac,t;
Maop(Machine,Operation):alf,bet,s;

!عرض ماشین:wide;
!ضریب اطمینان کار در هفته :W;
!تعداد تراکتور لازم برای عملیات:q;
!نرخ تولید یا مصرف دستگاه :U;
!عمر ماشین:
!نرخ بهره واقعی:
!سطح عملیات:
!اندازه ماشین+pb0=قیمت ماشین;
!اندازه ماشین+pb1=قیمت ماشین;
!قیمت تراکتور * Pt=قیمت تراکتور;
!عمر تراکتور:
!قیمت گازوئیل:

end sets

!----- داده ها -----!
!-----!

data:
pi0=-31819 -1000000 -1000000;
pi1= 504122 900000 900000;
Tl=5 5 5;
IR=0.01;
A=50000 50000 50000;
Pb0=-31819 -1000000 -1000000;
Pb1=504122 900000 900000;
Pt=174.51;
Tt=10;
Pl=30;
Ppto=60 35 35;
teta=33570 26110 26110;
e=.8 .8 .8;
v=1.39 1.39 1.39;
U=1 1 1;
L=.27 .27 .27;
Tk=252000;
Tw=252000;
q=2 2 2;
tmin=26 28 31;
tmax=31 33 35;
sizemin=1 2 2;
sizemax=2.01 2.53 2.53;

!نیاز به توان تراکتور برای واحد اندازه ماشین!
!بازده ماشین در عملیات!
!سرعت ماشین در عملیات!
!عملکرد ماشین!
!کل زمان کاری هفته برای نیروی کار!
!کل زمان کاری هفته برای ماشین آلات!
!تعداد تراکتور عملیات ها!
!زودترین زمان شروع عملیات!
!دیرترین زمان اتمام عملیات!
!حداقل اندازه ماشین!

end data
!-----!
!-----!

```



```

|----- تابع هدف -----|
|=====|
min = @sum(Machine(i):(pi0(i)+pi1(i)*size(i))*c(i))+ sy*Zt*Xt + @sum(links(j,k):
      frac(j,k)*(alfa(j)+(beta(j)+gama(j)*Xt)/overal(j)));

|----- تعریف متغیرها -----|
|=====|

@for(Machine:c=.2116*IR/.1);
sy=.1422*IR/.1*Pt;
@for(Maop(i,j):alf(i,j)=A(j)*(r(i)*Pb1(i)+Bb(i)/v(j)/e(i)));
@for(machine:r=.65/2000/3600);
@for(machine:Bb=1.5*.223*P1*Ppto/3600/size);
@for(Operation(j):alfa(j)=@sum(Machine(i):alf(i,j)));
@for(Maop(i,j):bet(i,j)=A(j)*(r(i)*Pb0(i)+L(j)));
@for(Operation(j):beta(j)=@sum(Machine(i):bet(i,j)));
@for(Operation(j):gama(j)=A(j)*d);
d=.8*Pt/10/3600/1000;
@for(maop(i,j):s(i,j)=1/V(j)/e(i));
@for(operation:rj=Zt);

|----- محدودیت ها -----|
|=====|

@for(week(k):@sum(Operation(j):rj*t(j,k))<=Tk);          !۲ محدودیت
|-----|
@for(week(k):t(1,K)<=Tw);
@for(week(k):t(2,K)+t(3,K)<=Tw);                          !۳ محدودیت
@for(week(k):t(3,K)<=Tw);
|-----|
|----- محدودیت ۴ -----|
@for(week(k):@sum(Operation(j):q(j)*frac(j,k)*A(j)*U(j)/overal(j))<=Zt*Tw);
|-----|
@for(Operation(j):Zt>=q(j));                              !۵ محدودیت
|-----|
@for(links(j,k)|k #LT# tmin(j):frac(j,k)=0);
@for(links(j,k)|k #gt# tmax(j):frac(j,k)=0);             !۶ محدودیت
|-----|
@for(Operation(j):@sum(week(k):frac(j,k))=1);            !۷ محدودیت
|-----|
|----- محدودیت ۸ -----|
@for(week(k):@sum(Week(f)|f #LE# k:frac(1,f))>=@sum(Week(f)|f #LE# k:frac(2,f)));
@for(week(k):@sum(Week(f)|f #LE# k:frac(1,f))>=@sum(Week(f)|f #LE# k:frac(3,f)));
@for(week(k):@sum(Week(f)|f #LE# k:frac(2,f))>=@sum(Week(f)|f #LE# k:frac(3,f)));
|-----|
@for(Machine(i):size(i)>=sizemin(i));
@for(Machine(i):size(i)<=sizemax(i));                    !۹ محدودیت
|-----|
@for(Operation(j):overal(j)=1/(@sum(Machine(i):s(i,j)/size(i)))); !۱۰ محدودیت
|-----|
@for(Machine(i):Xt>=teta(i)*size(i));                    !۱۱ محدودیت
|-----|
@for(operation(j):overal(j)>=0);
@for(links(j,k):frac>=0);                                !۱۲ محدودیت
Xt>=0;
|-----|
@gin(Zt);
Zt>=0;                                                    !۱۳ محدودیت
|-----|
End
|-----|
|=====|

```