

استفاده از برنامه ریزی ترکیبی غیر خطی (MINP) در تعیین اندازه بهینه ماشین‌آلات (کدمقاله ۲۹۸)

محمد رضا کهنسال^۱، حمید طاهرپور^۲

چکیده

در این مطالعه یک مدل سیستمی برای انتخاب سطح بهینه مکانیزاسیون برحسب قابلیت‌های فنی بررسی شده است. مدل بهینه‌سازی یک مدل برنامه‌ریزی ترکیبی غیرخطی MINLP است که به وسیله نرم‌افزار Lingo8 حل شده است. در این مدل سعی شده تا با توجه به تمامی هزینه‌های ثابت و متغیر مربوط به استفاده از ماشین‌آلات خاکورزی را به گونه‌ای حداقل کنیم که تمامی نیازها و محدودیت‌های 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 ماشین‌آلات مورد استفاده، تعداد تراکتور و همچنین توان تراکتورهای مورد استفاده می‌باشد. حداقل‌سازی هزینه براساس محدودیت‌هایی از قبیل: ساعات کاری نیروی کار در دسترس، ساعات در دسترس استفاده از ماشین‌ها و تراکتور، قابلیت انجام عملیات‌ها، زمان انجام عملیات‌ها و ترتیب عملیات‌ها انجام گرفته است.

کلید واژه: برنامه ریزی ترکیبی غیر خطی، اندازه بهینه ماشین‌آلات، مکانیزاسیون، مدیریت ماشین‌آلات کشاورزی

۱- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، پست الکترونیک: kohansal1@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه اقتصاد 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 هواسنجی 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 هزینه‌های در ضمن استفاده از ماشین‌آلات ایجاد خواهد شد. برای پاسخگویی به این سؤالات تاکنون مطالعات (به عنوان مثال، ادسلی و بویس ۱۹۷۴ [۱]، کلاین و همکاران ۱۹۸۹ [۴]، پارمر و همکاران ۱۹۹۶ [۵]، اکمن ۲۰۰۰ [۲] و سورنسن ۲۰۰۳ [۵]) 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 نسبت 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 براساس 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 ۱۹۹۲ [۲] مورد بررسی قرار گرفته و وی 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. اندیس‌ها به کار گرفته شده برای متغیرهای تصمیم و پارامترها شامل اید زیر است.

i : شمارنده ماشین N^M ، $i \in 1, 2, \dots, N^M$ که تعداد ماشین‌ها در سیستم ماشین‌آلات مزرعه به استثنای تراکتورها می‌باشد.

j : شمارنده عملیات‌های آری N^O ، $j \in 1, 2, \dots, N^O$ که تعداد عملیات‌هایی است که بایستی در طی دوره موردنظر انجام شود.

k : شمارنده تعداد هفته‌های سال 52 ، $k \in 1, 2, \dots, 52$

متغیرهای تصمیم عبارتند از:

x_i^M : اندازه ماشین i که به وسیله عرض عملیاتی (به عنوان مثال برای کلوشکن 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 سازه‌سازی 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.

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

که $Q_{0,i}$ ش: ضریبی ده بیانگر رابطه هزینه های ثابت سالانه به اندازه ماشین می باشد برحسب $IT \cdot kg^{-1}$ یا $IT \cdot kg^{-1}$

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

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 $IT \cdot m^3 s^{-1}$ (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 $IT \cdot kg \cdot s^{-1}$ یا $IT \cdot m^3 s^{-1} \cdot W^{-1}$ 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 Γ_j تعداد کارگران تمام وقت عملیات j ، A_j سطح کاری عملیات j برحسب m^3 ، U_j عملکرد محصول برای عملیات برداشت، میزان استفاده از مواد در فعالیت مربوط به کاربرد آنها، γ 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 میباشد.

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.

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

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

^۱ - IT نشان دهنده "مان" می باشد.

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 i یک اندیس دیگر برای نشان دادن شماره عملیات، k اندیس دیگر برای نشان دادن هفته و F_j مجموعه‌ای از عملیات‌ها است که بایستی زودتر از عملیات j 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 یا kg^{-1} و $x_i^{M,max}$ حداکثر اندازه ماشین برحسب m 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 SM ، S یا بدون بعد و 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} ، $Wskg^{-1}$ 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 $\sum_i (\varphi_{1,i} x_i^M + \varphi_{0,i})$ بین‌آلات (بهره، استهلاک و غیره) محاسبه می‌شود. 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} ، $ITkgs^{-1}$ و یا $ITkg^{-1}$ می‌باشد. علاوه بر این فرض شده است که هزینه‌های ثابت کسری c_i^M ، از قیمت خرید باشد یعنی

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

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

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 می‌باشد. علاوه بر این فرض بر این است که هزینه ثابت سالانه تراکتور کسری C^T از قیمت خرید تراکتور باشد که با عبارت

$$\psi \alpha^T \cdot z^T = C^T P^T \quad \text{محاسبه می‌شود که} \quad \psi = C^T P^T$$

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 هزینه‌های متغیر ماشین‌آلات در تمامی هفته‌ها و برای تمامی عملیات‌ها می‌باشد. که این رابطه براساس تابع هزینه انفرادی ماشین‌ها می‌باشد که برای تمامی انواع ماشین‌ها صدق می‌کند و ر آن پارامتر مربوط هزینه‌های سوخت، تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات مورد استفاده در عملیات J (تعریف شده در ضمیمه A) برحسب IT ، β_j پارامتر مربوط به هزینه‌های کارگری و تعمیر - نگهداری ماشین‌های مورد استفاده در عملیات J (تعریف شده در ضمیمه A) برحسب ITm^3s^{-1} یا $ITkgs^{-1}$ ، γ_j پارامتر مربوط به هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتورهای به کار رفته در عملیات J (تعریف شده در ضمیمه A) برحسب $ITm^3s^{-1}W^{-1}$ یا $ITkgs^{-1}W^{-1}$ می‌باشد.

در این رابطه هزینه‌های عملیاتی ماشین‌آلات 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 $x_{j,k}$ ، هزینه‌های 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 جمع‌بندی در مجموع تمام هفته‌ها به عبارت رابطه ۱۶ خواهیم رسید.

نامعادلات نمایش داده شده توسط رابطه‌های ۲، ۳ و ۴ به منظور رعایت محدودیت‌های زمانی اپراتور، ماشین‌ها و تراکتورها در مدل گنجانده شده است. فرض کند که

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

نامعادله ۲ بیان می‌کند که زمان اپراتوری کل در عملیات‌ها در طول هفته k باید کمتر از T_k باشد که زمان اپراتوری مورد انتظار برای عملیات کاری در طول هفته k می‌باشد. این زمان با جمع کردن زمان اپراتوری تمام فلیت‌ها در هفته k ام محاسبه می‌شود. زمان اپراتوری برای عملیات J با ضرب کردن $t_{j,k}$ در تعداد کارگران تمام وقت عملیات J ، I_j و تقسیم بر فاکتور قابلیت کاری W_j محاسبه می‌شود. 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 می‌آید. رابطه ۲ شامل ۵۲ محدودیت است که بایستی در مدل گنجانده شود.

نامعادله‌های رابطه ۳ بیان می‌کند که یک ماشین دلخواه i نمی‌تواند بیش از T^W ثانیه در هفته کار کند. پارامتر T^W حداکثر زمان کاری در طول هفته می‌باشد. لازم به ذکر است که جمع‌بندی تنها بر روی عملیات‌هایی صورت می‌گیرد که از ماشین i استفاده می‌کنند. نامعادلات رابطه ۴ نشان می‌دهد که برای هر هفته دلخواه k زمان کاری تراکتورها کمتر از $Z^T T^W$ می‌باشد. سمت چپ این نامعادله مشابه رابطه ۲ می‌باشد با این تفاوت که I_j با Q_j جایگزین شده است. نامعادلات رابطه ۵ نشان می‌دهد که تعداد تراکتورهای مزرعه بایستی به اندازه‌ای باشد که جوابگوی عملیاتی باشد که دارای بیشترین تراکتوری است که به صورت همزمان کار می‌کنند. در نامعادلات رابطه (۶) انجام عملیات J به تعداد هفته‌های مابین هفته t_j^{\min} و t_j^{\max} محدود شده است. رابطه (۷) نشان می‌دهد که تمام عملیات‌ها بایستی به صورت کامل انجام گیرند.

رابطه (۸) تضمین می‌کند که عملیات‌ها بایستی به ترتیب انجام گیرند. F_j نشان‌دهنده مجموعه‌ای از عملیات‌ها است که بر عملیات J مقدم هستند. بنابراین رابطه (۸) بیان می‌کند که اگر $l \in F_j$ باشد یعنی عملیات l بر عملیات J مقدم باشد در این صورت بخش انجام شده عملیات J در هر هفته بایستی از بخش انجام شده عملیات l 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

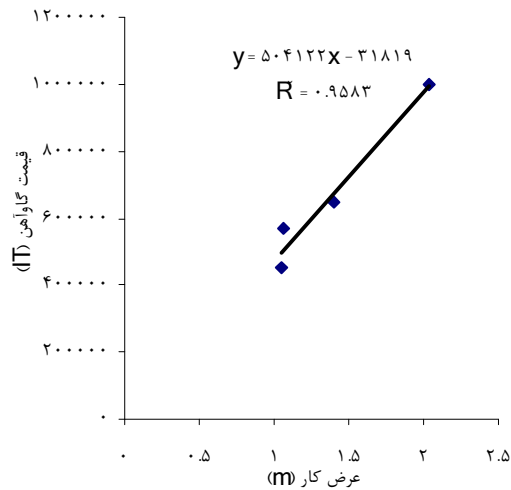
زرعی مجموع ظرفیت موثر همه ماشین های درگیر خواهد بود. در حالتی که تنها یک ماشین به کار گرفته شود نتیجه دو رابطه فوق یکسان خواهد بود.

پارامتر S_{ij} یک ثابت تناسبی است که رابطه بین اندازه ماشین i و ظرفیت ویژه آن را در عملیات j نشان می دهد. اگر ماشین i در عملیات j استفاده نشود در این صورت $S_{ij} = 0$ ست. (محاسبه شده در ضمیمه A)

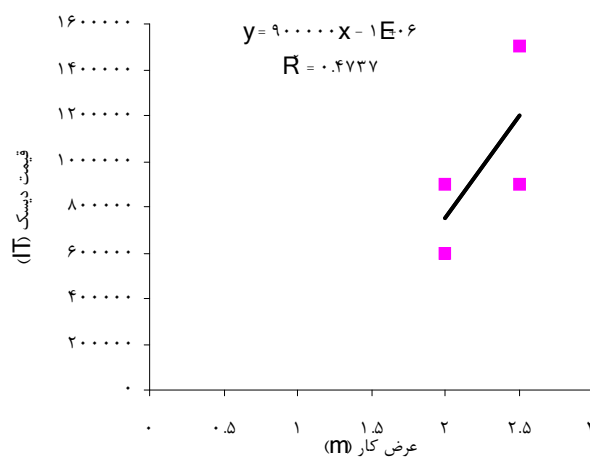
رابطه (۱۱) تضمین می کند که اندازه تراکتور مطابق با ماشینی باشد به بیش از همه به توان تراکتور نیاز دارد. روابط (۱۲) و (۱۳) نشان دهنده غیرمنی بودن متغیرهای تصمیم گیری است و رابطه (۱۳) علاوه بر این نشان می دهد که تعداد متغیرها بایستی یک عدد صحیح باشد. مثبت بودن x_i^M در رابطه (۹) گنجانده شده است و شرط $0 \leq x_{j,k} \leq 1$ توسط رابطه (۷) تضمین می شود.

نتایج

مدل ارائه شده در این بخش بر روی یک مزرعه نسبتاً بزرگ پیاده سازی شده است این مزرعه دارای ۲ محصول گندم و جو به ترتیب با مساحت های $3/2$ و $1/7$ هکتار می باشد. داده های مربوط به مدل توسط روابط و فرمول های ارائه شده در بخش مواد و روش ها و همچنین فرمول های ارائه شده در ضمیمه محاسبه شده اند. از آنجا که پیاده سازی مدل بر روی مکانیزاسیون کل مزرعه بسیار وقت گیر و پیچیده می باشد لذا مسئله بهینه سازی تنها در مورد عملیات های خاکورزی پیاده شده است که شامل عملیات های شخم، کلوش کشنی و پوشش می شود.



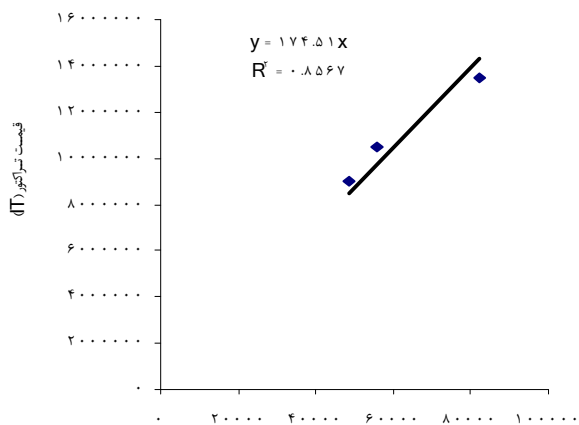
نمودار ۲: رابطه قیمت گاواهن با عرض عملیاتی آن



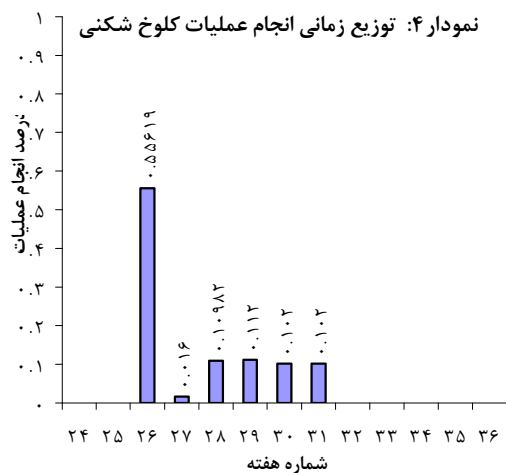
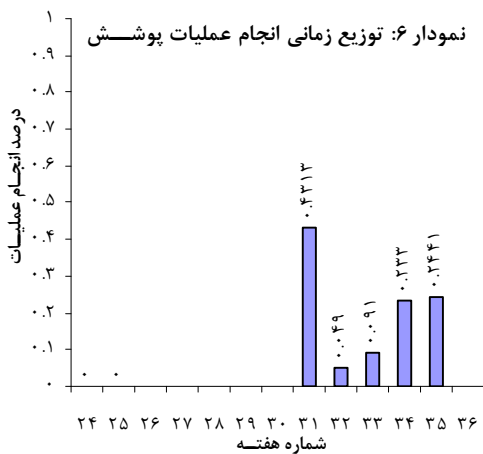
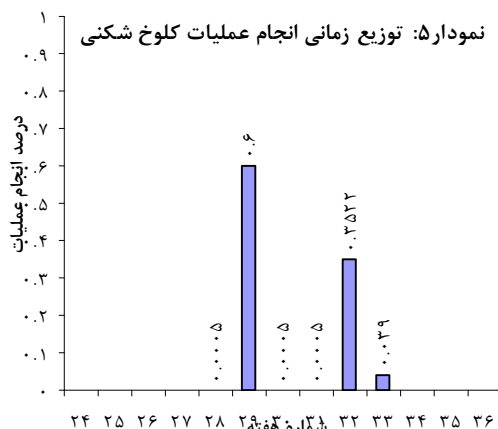
نمودار ۱: رابطه قیمت دیسک با عرض عملیاتی آن

جدول ۱: اندازه ماشین ها و هزینه ها

نوع ماشین	اندازه/هزینه
تعداد تراکتور	۲
اندازه تراکتور ۱، m	۵۲۲۲۰
اندازه تراکتور ۲، m	۵۲۲۲۰
اندازه گاو آهن، m	۱/۵۵۶
اندازه دیسک ۱، m	۲
اندازه دیسک ۲، m	۲
هزینه های ثابت، IT	۳۰۸۹۴۷
هزینه های متغیر، IT	۲۴۲۵۹۶
حداقل هزینه	۵۵۱۵۴۴



توان (W)
نمودار ۳: رابطه قیمت تراکتور با توان آن



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 $P_{1,i}^M$ ، $P_{0,i}^M$ و P^T مورد استفاده قرار گرفته و نمودارهای ۴ تا ۶ نشان دهنده توزیع زمانی انجام عملیات‌های شخم، کلوخ شکنی و پوشش می‌باشد

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 کار 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.

منابع

1. 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.
2. Brooke A; Kendrick D; Meeraus A (1992). GAMS: A User's Guide, Release 2.25. The Scientific Press, Redwood City, California, USA.
3. 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.
4. 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
5. 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.
6. 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

معادلات	پارامترها	واحد	معادلات	واحد
$\alpha = A(rp_{b1} + B_b)/(ve)$ $\beta = A(L + rp_{b0})$ $\gamma = Ad^*$ $s = 1/(ve)$		DKK DKK m ² s ⁻¹ DKK m ² s ⁻¹ W ⁻¹ s m ⁻¹	vbe, m ² s ⁻¹	متر مربع م م
$\alpha = AU(rp_{k1} + B_k)/e$ $\beta = AU(L + rp_{k0})$ $\gamma = AUd^*$ $s = 1/e$		DKK DKK kg s ⁻¹ DKK kg s ⁻¹ W ⁻¹ Dimensionless	Ke, kg s ⁻¹	کیلوگرم بر ثانیه کیلوگرم بر ثانیه کیلوگرم بر ثانیه
$\alpha = M\tau(rp_{m1} + B_m)$ $\beta = M(L + rp_{m0})$ $\gamma = Md^*$ $s = \tau$		DKK DKK kg s ⁻¹ DKK kg s ⁻¹ W ⁻¹ s	mlτ, kg s ⁻¹	کیلوگرم بر ثانیه کیلوگرم بر ثانیه کیلوگرم بر ثانیه

*: اگر ماشین ها به صورت خود کششی 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

عملیات	مزمان	ضریب
مجموع α ها برای ماشینهای انفرادی	مجموع α ها برای ماشینهای انفرادی	α
میانگین β ها برای ماشینهای انفرادی	مجموع β ها برای ماشینهای انفرادی	β
میانگین γ ها برای ماشینهای انفرادی	مجموع γ ها برای ماشینهای انفرادی	γ