نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۹، ص. ۲۲۶-۲۱۷

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 24, No. 2, Summer 2010, p. 217-226

تعیین اندازه بهینه اقتصادی ماشین‌های کشاورزی در مزرعه دانشکده کشاورزی شیراز: با استفاده از یک مدل مبتنی بر برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح

منصور زیبایی [۱] - سمانه غزالی [۲*]

تاریخ دریافت:۸۸/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش:۸۹/۷/۶

چکیده

انتخاب اندازه مناسب ادوات کشاورزی و سرمایه گذاری صحیح در این زمینه از مسائل اصلی مکانیزاسیون کشاورزی می‌باشد. مطالعه حاضر به منظور بهینه‌سازی اندازه ماشین‌های کشاورزی در مزرعه دانشکده کشاورزی شیراز انجام گردیده است. الگوی کشت این مزرعه شامل ۱۳۰ هکتار گندم، ۷۰ هکتار کلزا، ۱۰۰ هکتار ذرت، ۲۵ هکتار یونجه و ۴ هکتار گلرنگ می‌باشد. از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح با هدف حداقل‌سازی هزینه‌های کل سالیانه شامل: هزینه‌های ثابت، هزینه‌های متغیر و تاخیر زمانی برای انجام کار استفاده شده است. برای اجرای مدل از نرم افزار "GAMS" استفاده گردیده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که اندازه‌های ارائه شده توسط مدل برای عرض عملیاتی و ظرفیت بار ماشین‌ها با اندازه‌هایی که در شرایط فعلی در مزرعه استفاده می‌گردند تفاوت معنی‌داری دارد و به‌استثنای سم پاش و تریلر که همان اندازه ظرفیت بار ۴۰۰ و ۴۰۰۰ کیلوگرم پیشنهاد شده است، در مورد بعضی ادوات اندازه‌ای بزرگتر و یا برخی دیگر اندازه‌ای کوچکتر توصیه گشته است. برای تراکتور همان تعداد ۸ عدد ولی قدرت بالاتر ۸۵ اسب بخار پیشنهاد شده است. این عدم تطابق میان اندازه‌های بهینه ماشین‌ها با اندازه‌های واقعی آن‌ها، در هزینه‌های کل سالیانه قابل مشاهده است به‌طوری که اجرای بهینه هزینه‌ای کمتر از هزینه‌های کل سالیانه در شرایط واقعی مزرعه را نشان داده است. بعلاوه برنامه زمان بندی شده برای انجام عملیات در هفته‌های مختلف سال تهیه گردیده که توزیع انجام عملیات زراعی را طی زمان نشان می‌دهد و می‌تواند راهنمای مناسبی برای مدیر مزرعه برای برنامه‌ریزی فعالیت‌های زراعی باشد.

واژه های کلیدی: اندازه بهینه اقتصادی ماشین‌های کشاورزی، هزینه‌های مکانیزاسیون، برنامه زمانی عملیات زراعی، مزرعه دانشکده کشاورزی شیراز

مقدمه

یکی از مهمترین مسائل برای کشاورز و یا یک سازمان کشاورزی، انتخاب ماشین مناسب برای امور مربوطه می‌باشد تا در مراحل بعدی برای انجام عملیات زراعی مشکلات کمتری داشته باشد. انتخاب اندازه مناسب برای ماشین‌ها باعث پیشرفت امور و سهولت انجام عملیات می‌گردد (۱). بعلاوه این نکته قابل توجه است که هزینه‌های مکانیزاسیون قسمت اصلی از هزینه‌های مزرعه را تشکیل می‌دهند و عدم انتخاب بهینه ادوات کشاورزی باعث افزایش هزینه‌ها در سطح مزرعه می‌گردد، بنابراین سرمایه‌گذاری خردمندانه در تجهیزات مزرعه و استفاده صحیح از آن‌ها، از اهمیت بالایی برخوردار است (۴و۹). بر این اساس مطالعاتی در زمینه بهینه‌سازی اندازه ماشین‌های کشاورزی در کشورهای مختلف صورت پذیرفته است. اکمن (۵) برای انتخاب سیستم‌های کاشت غلات و دانه‌های روغنی از مدل برنامه‌ریزی تصادفی ترتیبی گسسته ($DSSP^3$) استفاده کرده است. متغیرهای تصمیم مدل محصولات کشاورزی، سرمایه‌گذاری در تراکتور و ماشین‌ها و برنامه‌ریزی عملیات زراعی می‌باشند این مدل در دو مزرعه نمونه‌ای با خاک رسی سنگین و نیمه سنگین اجرا گردیده است. نتایج نشان داده است که انتخاب اندازه‌های کوچکتر برای تراکتور و ماشین‌های کشاورزی منجر به سودآوری بیشتر در مزرعه می‌گردد. گونارسون و هانسون (۶) بهینه‌سازی اندازه دو ماشین بذرکار غلات و کمباین برداشت غلات را در مزارع جنوبی

۱و۲- به ترتیب دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: Email: samane.ghazali@gmail.com)

3- Discrete Stochastic Sequential Programming

سوئد با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی مورد مطالعه قرار داده‌اند. ایشان با حداقل‌سازی هزینه‌های مکانیزاسیون شامل: هزینه‌های مستقیم ماشین‌ها، هزینه نیروی‌کار و هزینه تاخیر زمانی[1] کاربرد اندازه‌های بزرگتر را برای دو ماشین بذرکار و کمباین توصیه نموده‌اند. جانوت و کایرول (۷) برای انتخاب تجهیزات در سطح یک مزرعه در فرانسه از مدل برنامه‌ریزی خطی استفاده نموده‌اند که با استفاده از نرم افزار "GEDE" اطلاعات در زمینه نیروی‌کار، ماشین‌ها، مساحت مزرعه، عملیات زراعی و بازده برنامه‌ای هر محصول در مدل وارد نموده و با حداکثرسازی سود در مزرعه مورد نظر، زارع را در تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری در تجهیزات مزرعه راهنمایی نموده‌اند. کامارینا و همکاران (۴) از مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای انتخاب ماشین‌ها در سیستم چندگانه مزرعه استفاده نموده‌اند که برای اجرای آن از نرم افزار "MULTIPREDIO" استفاده شده است در این مدل مجموعه‌ای از ماشین‌های کشاورزی برای پنج مزرعه گندم و سورگوم در مکزیک با حداقل نمودن هزینه‌های سالیانه انتخاب گردیده است اطلاعات مدل شامل هزینه‌های ثابت و متغیر ۱۲ سال با ترکیب‌های مختلفی از ماشین‌ها در سطوح مختلف مزرعه بوده است. در این مطالعه سه راه حل مطلوب یکی برای سال‌های یک تا پنج، دیگری برای سال‌های شش تا هشت و آخری برای سال‌های نه تا ۱۲ ارائه شده است. سوگارد و سورینسین (۱۰) از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی برای انتخاب اندازه بهینه ماشین‌های کشاورزی در سطح مزرعه استفاده نمودند اساس کار مدل در راستای حداقل‌سازی هزینه‌های کل سالیانه با در نظر گرفتن محدودیت‌های زمانی می‌باشد مکان این مزرعه در دانمارک بوده و نتایج مدل کاربرد ماشین‌هایی با اندازه بزرگتر در سطح مزرعه را توصیه می‌نماید. کلین و همکاران (۸) یک سیستم حمایت تصمیم سطح مزرعه (FINDS[2]) را برای انتخاب و مدیریت ماشین‌های مزرعه ارائه داده‌اند. مدیریت ماشین‌های کشاورزی شامل انتخاب بهینه ماشین و برنامه‌ریزی عملیاتی آن‌ها می‌باشد سیستم FINDS از مدل برنامه‌ریزی خطی و مدل شبیه‌سازی استفاده نموده و توصیه-های مناسبی را در زمینه مدیریت عملیات زراعی و کاربرد ماشین‌ها با توجه به درآمد مزرعه و میزان ریسک زارعین ارائه داده است. در ایران نیز کهنسال و طاهرپور (۲) یک مدل برنامه‌ریزی ترکیبی غیرخطی برای انتخاب سطح بهینه مکانیزاسیون به‌وسیله نرم افزار Lingo8 بررسی نمودند. در این مدل سعی شده تا با توجه به تمامی هزینه‌های ثابت و متغیر مربوط به استفاده از ماشین‌های خاک‌ورزی به‌گونه‌ای حداقل شود که تمامی نیازها و محدودیت‌های مربوط به کشت دو محصول گندم و جو برآورده شود.

اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه از مدل برنامه‌ریزی خطی با حداقل‌سازی هزینه‌های مکانیزاسیون برای تعیین اندازه‌های بهینه ماشین‌های کشاورزی استفاده شده است که قادر به بهینه‌سازی برنامه زمانی عملیات زراعی نمی‌باشند، اما در این مطالعه علاوه بر بهینه‌سازی اندازه تجهیزات کشاورزی، برنامه زمان‌بندی شده انجام فعالیت‌های زراعی نیز ارائه می‌گردد. مطالعه حاضر به منظور تعیین اندازه بهینه ماشین‌های کشاورزی و ارائه برنامه زمانی عملیات زراعی در سطح مزرعه دانشکده کشاورزی شیراز از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی استفاده نموده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تعیین اندازه بهینه ماشین‌ها و تهیه برنامه زمان‌بندی شده عملیات زراعی از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح بر اساس حداقل نمودن هزینه‌های کل سالیانه استفاده شده است که ساختار آن بر اساس مدل سوگارد و سورینسین (۱۰) می‌باشد و برای اجرای این مدل از نرم افزار "GAMS[3]" استفاده گردیده است و شامل مجموعه‌ها، متغیرها، تابع هدف و محدودیت ها (معادلات و نامعادلات) می باشد، در زیر هر قسمت به‌طور جداگانه توضیح داده شده است (۳).

مجموعه‌ها و متغیرهای مدل

در این مدل فرض شده است که سیستم مکانیزاسیون مزرعه به‌وسیله مجموعه‌ای از ماشین‌های کشاورزی، مجموعه عملیاتی که باید در طول زمان انجام شوند و مجموعه‌ای از دوره زمانی که بایستی عملیات زراعی در آن انجام گردند تعریف می‌شود. بدین ترتیب ابتدا به معرفی این مجموعه‌ها و سپس به تعریف متغیرهای تصمیم مدل پرداخته شده است.

مجموعه‌های تعریف شده در مدل به شرح زیر می‌باشند:

i: مجموعه ماشین‌های کشاورزی در سیستم مکانیزاسیون مزرعه به جز تراکتورها است.

j: مجموعه عملیات زراعی شامل خاک‌ورزی، کاشت، داشت و برداشت که در طول یک سال در مزرعه انجام می‌شوند.

k: مجموعه هفته‌های سال بوده که در این مطالعه ۵۲ هفته در سال در نظر گرفته شده است.

لازم به ذکر است، مولفه های M و T به ترتیب نشاگر ماشین‌های و تراکتور می‌باشند.

لیست کامل تعاریف از متغیرهای تصمیم به صورت زیر است:

x_i^M: اندازه ماشین‌های کشاورزی بر حسب عرض عملیاتی (m) و

1- Timeliness

2- Farm-Level Intelligent Decision Support System

3- General Algebraic Modelling System

ظرفیت انباشته شده یا ظرفیت بار (kg) می‌باشد.

x^T: قدرت تراکتورهای مزرعه (w) می‌باشد.

z^T: تعداد تراکتورها در سیستم مکانیزاسیون مزرعه که یک متغیر عدد صحیح است.

$x_{j,k}$: نسبتی از عملیات j که در هفته k انجام می‌شود $\left(0 \le x_{j,k} \le 1\right)$ که توسط این متغیر برنامه زمانی عملیات زراعی مشخص شده است.

توجه شود که تمام واحدهای به‌کار برده شده در مطالعه بر اساس سیستم SI (متر، کیلوگرم و ثانیه) تعریف گردیده‌اند.

معادلات و نامساوی‌های مدل و پارامترهای به کار برده شده به‌طور کامل در بخش فرمول‌سازی ریاضی شرح داده شده است.

فرمول‌سازی ریاضی

تابع هدف بر اساس حداقل نمودن هزینه‌های کل سالیانه شامل هزینه‌های ثابت، هزینه‌های متغیر و هزینه‌های تاخیر زمانی بوده و براساس مدل سوگارد و سورینسین (۸) به‌صورت رابطه ۱ تعریف شده است.

$$\min_{x_i^M, x_j^0, x_{j,k}, x^T, z^T} f\left(x_i^M, x_{j,k}, x^T, z^T\right) = \sum_i \left(\varphi_{0,i} + \varphi_{1,i} x_i^M\right) + \psi z^T x^T + \sum_k \sum_j x_{j,k} \left(\alpha_j + \frac{\beta_j + \gamma_j x^T}{g_j^0} + \delta_j \left|k - t_j^{opt}\right|\right) \quad (۱)$$

تابع هدف از سه قسمت تشکیل شده است، قسمت اول تابع هدف $\sum_i \left(\varphi_{0,i} + \varphi_{1,i} x_i^M\right)$ بیان‌گر هزینه‌های ثابت ماشین‌های کشاورزی بوده که $\varphi_{0,i}$ هزینه ثابت سالیانه مستقل از اندازه ماشین (Rial) و $\varphi_{1,i}$ هزینه ثابت سالیانه وابسته به اندازه ماشین ($Rialm^{-1}$) یا ($Rialkg^{-1}$) بوده و برای محاسبه این پارامترها قیمت خرید هر یا ماشین (P_i^M) به‌صورت تابعی خطی از اندازه همان ماشین $P_i^M = p_{0,i}^M + p_{1,i}^M x_i^M$ در نظر گرفته شده است، همچنین فرض شده که هزینه‌های ثابت سالیانه شامل بهره و استهلاک (c_i^M) می‌باشند. بنابراین هزینه‌های ثابت سالیانه برای هر ماشین به‌صورت $c_i^M P_i^M = c_i^M \left(p_{0,i}^M + p_{1,i}^M x_i^M\right) = \varphi_{0,i} + \varphi_{1,i} x_i^M$ محاسبه گشته‌اند که $\varphi_{0,i}$ به‌صورت $c_i^M p_{0,i}^M$ و $\varphi_{1,i}$ به‌صورت $c_i^M p_{1,i}^M$ می‌باشد. عبارت دوم تابع هدف $\psi z^T x^T$ است که هزینه ثابت مربوط به تراکتورها را نشان داده است و ψ هزینه ثابت سالیانه تراکتور وابسته به قدرت تراکتور ($Rialw^{-1}$) بوده و برای محاسبه آن فرض شده است که قیمت خرید تراکتور (P^T) تابعی خطی از قدرت آن (x^T) به‌صورت رابطه $P^T = p^T x^T$ بوده و هزینه‌های ثابت سالیانه شامل بهره و استهلاک (c^T) می‌باشند بدین ترتیب هزینه ثابت سالیانه تراکتور به‌صورت $c^T P^T$ محاسبه شده است که این مشابه $c^T p^T x^T$ یا ψx^T است که ψ همان $c^T p^T$ می‌باشد. جزو سوم تابع هدف نیز به‌صورت $\sum_k \sum_j x_{j,k} \left(\alpha_j + \frac{\beta_j + \gamma_j x^T}{g_j^0} + \delta_j \left|k - t_j^{opt}\right|\right)$ تعریف شده است که بیان‌گر هزینه‌های متغیر ماشین‌ها به اضافه‌ی هزینه‌های تاخیر زمانی عملیات زراعی می‌باشد. در قسمت هزینه‌های متغیر مربوط به ماشین‌ها: α_j پارامتری در رابطه با هزینه‌های سوخت، تعمیر و نگهداری ماشین‌های مورد استفاده در عملیات j (Rial)، β_j پارامتری است نشان‌دهنده هزینه‌های نیروی‌کار و هزینه‌های تعمیر و نگهداری ماشین‌های مورد استفاده در عملیات j ($Rialm^2s^{-1}$) یا ($Rialkgs^{-1}$) و γ_j پارامتری است در رابطه با هزینه‌های تعمیر و نگهداری تراکتورهای مورد استفاده در عملیات j ($Rialm^2s^{-1}w^{-1}$) یا ($Rialkgs^{-1}w^{-1}$) و g_j^0 ظرفیت مؤثر به صورت میزان کار انجام شده در واحد زمان (m^2s^{-1}) یا (kgs^{-1}) تعریف شده است. هزینه‌های تاخیر زمانی عملیات j با عبارت $\delta_j \left|k - t_j^{opt}\right|$ محاسبه شده است و بیانگر هزینه‌ای است که به‌علت تاخیر در اجرای عملیات در زمان کاشت و برداشت بهره بردار متحمل می‌شود و به‌دلیل عدم دسترسی به‌موقع کشاورزان به ماشین‌ها موجب کاهش تولید و افزایش هزینه می‌گردد (۱۱). δ_j فاکتوری است در رابطه با به‌موقع انجام نشدن عملیات j ($RialWeek^{-1}$)، t_j^{opt} تعداد هفته بهینه برای انجام عملیات j را نشان می‌دهد و k تعداد هفته واقعی که عملیات طی آن تکمیل می‌گردد بنابراین فرض شده است که ضرر درآمد برابر نسبت دوره زمانی میان t_j^{opt} و تعداد هفته واقعی که طی آن عملیات انجام شده است. نحوه محاسبه ضرایب هزینه (α, β, γ)، ظرفیت مؤثر $\left(g_j^0\right)$ و فاکتور تاخیر زمانی $\left(\delta_j\right)$ در پیوست توضیح داده شده است.

برای این مدل سه گروه محدودیت شامل: محدودیت‌های زمانی، محدودیت‌های عملیاتی و محدودیت‌هایی در رابطه با ماشین‌ها در نظر گرفته شده است. در ابتدا سه محدودیت در رابطه با زمان تعریف گشته‌اند، تا توسط آن‌ها اطمینان حاصل شود که زمان در دسترس برای نیروی‌کار، ماشین‌ها و تراکتورها مقدار زیادی نمی‌باشد. برای فهم بهتر این نامساوی‌ها باید به عبارت سمت راست معادله

$t_{j,k} = \frac{x_{j,k} A_j U_j}{g_j^0}$ توجه نمود که $t_{j,k}$ زمان صرف شده در رابطه با نسبت عملیات j که در هفته k انجام شده است (s) می‌باشد. پارامتر A_j مساحتی از مزرعه که تحت تاثیر عملیات j قرار گرفته است (m^2) را مشخص می‌کند. درصورتیکه مفهوم U_j وابسته به واحد استفاده شده برای g_j^0 است اگر واحد g_j^0 بر حسب (kgs^{-1}) باشد U_j بیانگر عملکرد محصول (kgm^{-2}) و اگر واحد g_j^0 بر حسب (m^2s^{-1}) باشد U_j برابر یک و بدون بعد است. حال با درک مفهوم $t_{j,k}$، محدودیت‌های زمانی مدل بررسی می‌شود.

محدودیت اول: زمان در دسترس برای نیروی‌کار

$$\sum_j \frac{r_j x_{j,k} A_j U_j}{x_j^0 w_j} \le T_k, \qquad \forall k \qquad (۲)$$

این نامساوی بیان می‌کند که کل زمانی که نیروی‌کار در هفته k، به‌کار می‌برد بایستی کمتر از T_k باشد که T_k زمان در دسترس نیروی‌کار برای کار در مزرعه در طول هفته k می‌باشد و r_j تعداد کارگرهایی که در عملیات j به‌طور تمام وقت مشغول به‌کار هستند و w_j عامل انجام‌پذیری کار می‌باشد که به‌صورت نسبت زمان مورد نیاز برای به انجام رساندن عملیات j با حذف زمان مورد انتظاری که به‌دلیل شرایط بد آب و هوایی کار صورت نپذیرفته است.

محدودیت دوم: زمان در دسترس برای ماشین‌ها

$$\sum_{j|i\in M_j} \frac{x_{j,k} A_j U_j}{x_j^0 w_j} \le T^W, \qquad \forall k,i \qquad (۳)$$

این محدودیت بیان می‌کند که یک ماشین i در طول هفته k برای انجام عملیات j بیشتر از T^w نمی‌تواند کار انجام دهد که T^w بیشترین زمان کار انجام شده در طول یک هفته توسط ماشین می‌باشد و M_j ماشین‌های مورد استفاده در عملیات j را مشخص می‌کند.

محدودیت سوم: زمان در دسترس برای تراکتورها

$$\sum_j \frac{q_j x_{j,k} A_j U_j}{x_j^0 w_j} \le z^T T^W, \qquad \forall k \qquad (۴)$$

این نامساوی نیز نشان می‌دهد، مدت زمانی که توسط تراکتور در هفته k صرف می‌شود می‌بایست کمتر از $z^T T^w$ باشد طرف چپ این نامساوی بسیار شبیه طرف چپ رابطه ۲ می‌باشد تنها تفاوت در r_j است که با q_j جایگزین شده است و q_j تعداد تراکتورهای مورد استفاده در عملیات j می‌باشد.

محدودیت‌های عملیاتی شامل سه محدودیت زیر می‌باشند.

محدودیت چهارم: دوره زمانی انجام عملیات زراعی

$$x_{j,k} = 0, \qquad \forall j,k \left| k\langle t_j^{\min} \vee k\rangle t_j^{\max} \right. \qquad (۵)$$

$t_j^{\min}$ اولین هفته از دوره زمانی انجام عملیات j و $t_j^{\max}$ آخرین هفته از دوره زمانی انجام عملیات j می‌باشد. این محدودیت نشان می‌دهد که هر عملیات زراعی در تعدادی محدود از هفته‌ها انجام می‌شود ($t_j^{\min}, t_j^{\min}+1, \ldots, t_j^{\max}$).

محدودیت پنجم: تکمیل عملیات زراعی

$$\sum_k x_{j,k} = 1, \qquad \forall j \qquad (۶)$$

هر یک از عملیات زراعی بایستی به طور صد در صد انجام گردد.

محدودیت ششم: ترتیبی بودن عملیات زراعی

$$\sum_{\kappa=1}^{k} x_{\tau,\kappa} \ge \sum_{\kappa=1}^{k} x_{j,k}, \qquad \forall j,k,\tau \left| \tau \in F_j \right. \qquad (۷)$$

τ شاخصی برای بیان هر عملیات در سیستم مکانیزاسیون مزرعه و κ شاخصی برای بیان هفته‌ها می‌باشد و F_j مجموعه عملیاتی است که نسبت به عملیات j مقدم هستند بدین ترتیب عملیات زراعی می‌بایست در ترتیب مناسبی انجام گردد.

گروه سوم محدودیت‌ها در رابطه با ماشین‌ها به‌شرح زیر می‌باشند.

محدودیت هفتم: تعداد تراکتورها

$$z^T \ge q_j, \qquad \forall j \qquad (۸)$$

این محدودیت بیان می‌کند که تعداد تراکتورهای مزرعه به‌اندازه کافی زیاد باشد تا بتوان تقاضایی که برای تراکتور در هر عملیات وجود دارد را تامین نمود.

محدودیت هشتم: اندازه ماشین‌ها

$$x_i^{M,\min} \le x_i^M \le x_i^{M,\max}, \qquad \forall i \qquad (۹)$$

که $x_i^{M,\min}$ و $x_i^{M,\max}$ به‌ترتیب حداقل و حداکثر اندازه ماشین i را نشان می‌دهد.

محدودیت نهم: روابط میان ظرفیت مؤثر و اندازه هر ماشین

$$\frac{1}{x_j^0} = \begin{cases} \max \frac{s_{j,i}}{x_i^M} & if \quad h_j = 0, \\ \sum_i \frac{s_{j,i}}{x_i^M} & if \quad h_j = 1, \end{cases} \qquad \forall j \qquad (۱۰)$$

$s_{j,i}$ یک نسبت ثابت میان اندازه هر ماشین i و ظرفیت مؤثر آن برای عملیات j را نشان می‌دهد (اندازه= ظرفیت مؤثر× s) و h_j یک شاخص متغیر است به‌طوری که اگر ماشین‌ها در انجام عملیات زراعی به‌طور هم‌زمان به‌کار گرفته شوند $h_j=0$ و اگر به‌طور ترتیبی (متوالی) استفاده گردند $h_j=1$ است. نحوه محاسبه فاکتور ظرفیت (s) در پیوست شرح داده شده است.

محدودیت دهم: قدرت تراکتورها

$$x^T \geq \theta_i x_i^M, \qquad \forall i \qquad (۱۱)$$

θ_i بیان‌گر قدرت تراکتور بر اندازه هر ماشین (wm^{-1}) یا (wkg^{-1}) می‌باشد بنابراین قدرت تراکتورها بایستی از قدرت مورد نیاز برای کشیدن ادوات کششی بیشتر باشند.

محدودیت یازدهم: تعداد تراکتورها، عدد صحیح غیر منفی

$$z^T \in \{0,1,2,\ldots\} \qquad (۱۲)$$

نتایج

مطالعه موردی

بدین ترتیب مدل سوگارد و سورینسین را با در نظر گرفتن شرایط مزرعه دانشکده کشاورزی شیراز (از نظر نوع ماشین‌ها و نوع عملیات زراعی در حال انجام در مزرعه)، تطبیق داده و اجرا نموده تا از این طریق میان مجموعه‌ای از ماشین‌های واقعی که هم‌اکنون در مزرعه مشغول به‌کار هستند و مجموعه شبیه‌سازی شده توسط مدل مقایسه صورت گیرد. کل مساحت مفید این منطقه ۱۰۰۰ هکتار که حدود ۴۵۰ هکتار آن سبز می‌باشد. الگوی کشت شامل ۱۳۰ هکتار گندم، ۷۰ هکتار کلزا، ۱۰۰ هکتار ذرت، ۲۵ هکتار یونجه، ۴ هکتار گلرنگ و مابقی مربوط به فعالیت‌ها و عملیات زراعی و تحقیقاتی (غیر مکانیزه) بوده و ماشین‌های در دسترس برای استفاده در مزرعه شامل: گاوآهن، دیسک، بذرکار پنوماتیک خطی کار، بذرکار همدانی، ردیف کار پنوماتیک ذرت، کودپاش سانتریفوژ، تانکر آبی، سم پاش، تریلر، سواتر برداشت یونجه، چاپر برداشت علوفه ذرت و تراکتور می‌باشد. در این مزرعه کمباین در دسترس نمی‌باشد لذا برای فعالیت‌هایی که نیاز به این ماشین است، این ماشین به‌طور قراردادی از صاحبان آن اجاره می‌گردد.

اطلاعات مورد استفاده

نکته مهم در زمینه داده‌های استفاده شده در مدل، وابستگی آن‌ها به عملیات زراعی و ماشین‌ها می‌باشد. از جمله پارامترهای وابسته به عملیات زراعی می‌توان به مساحت مزرعه، تعداد کارگران، زمان انجام‌پذیری کار، زمان به‌موقع انجام نگرفتن کار، عملکرد محصول و ضرایب هزینه اشاره کرد. هر ماشین مورد بررسی بایستی به‌وسیله تعدادی از پارامترهای اقتصادی مشخص شود از جمله هزینه‌های سوخت، تعمیر و نگهداری، ارزش ماشین که وابسته به اندازه ماشین بر حسب عرض عملیاتی یا ظرفیت بار می‌باشند. تخمین هزینه‌های تاخیر زمانی بر اساس هفته می‌باشد. جدول ۱، بعضی اطلاعات جمع‌آوری شده برای مدل را نشان می‌دهد این اطلاعات همراه با داده‌های جمع‌آوری شده در سطح مزرعه دانشکده کشاورزی شیراز با توجه به پیوست در مدل استفاده گردیده است.

جدول ۱- اطلاعات پایه اقتصادی برای مطالعه موردی

عنوان	ارزش
نرخ بهره (٪)	۱۰
نرخ استهلاک (٪)	۲۰
قیمت خرید هر واحد قدرت تراکتور ($Rialw^{-1}$)	۳۵۰
قیمت گندم ($Rialkg^{-1}$)	۳۵۰۰
قیمت کلزا ($Rialkg^{-1}$)	۱۸۵۰
قیمت ذرت ($Rialkg^{-1}$)	۱۷۲۰
قیمت یونجه ($Rialkg^{-1}$)	۳۴۰۰
قیمت گلرنگ ($Rialkg^{-1}$)	۲۸۰۰

ماخذ: شرکت خدمات حمایتی کشاورزی

نتایج بهینه‌سازی مدل

پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز و انجام محاسبات لازم روی آن‌ها نتایج بهینه‌سازی مدل بر اساس حداقل‌سازی هزینه‌های مزرعه در جدول ۲ آورده شده است و تنها ماشین‌هایی که به‌طور واقعی در مزرعه مورد مطالعه مورد استفاده هستند، گنجانده شده است. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که اندازه بهینه برای عرض عملیاتی گاوآهن و دیسک به‌ترتیب ۳ و ۲/۲۵ متر می‌باشد و برای عرض عملیاتی بذرکار پنوماتیک خطی کار، بذرکار همدانی و ردیف کار پنوماتیک ذرت به‌ترتیب ۴، ۳/۵ و ۴ متر می‌باشد بدین ترتیب اندازه عرض عملیاتی در اجرای بهینه مدل برای تمام ماشین‌های مورد استفاده در عملیات خاک‌ورزی و کاشت به‌استثنای بذرکار پنوماتیک خطی کار، اندازه‌ای بزرگتر پیشنهاد گشته است.

بنابراین در این‌جا این واقعیت مشخص می‌شود که برای ایجاد شرایط مناسب‌تر برای تولید محصولات نیاز به ماشین‌هایی با اندازه بزرگتر بوده و کاربرد تجهیزاتی بزرگتر در دو مرحله خاک‌ورزی و کاشت به‌منظور ایجاد بستر مناسب بذر و بذرافشانی برای رویش مناسب‌تر پیشنهاد گشته است. همچنین مدل در مورد قدرت تراکتور نشان می‌دهد که با بالا رفتن اندازه ماشین‌ها، نیاز به قدرت بالاتری برای تراکتورها یعنی ۶۲/۲۵۰ کیلو وات یا ۸۵ اسب بخار می‌باشد.

اما تعداد تراکتورها همان ۸ عدد پیشنهاد گردیده است. در مورد ماشین های داشت، مدل ظرفیت بار ۳۵۰، ۲۰۰۰، ۴۰۰ و ۴۰۰۰ کیلوگرم را به‌ترتیب برای کودپاش سانتریفوژ، تانکر آبی، سم پاش و تریلر ارائه داده است. به‌استثنای سم پاش و تریلر که همان اندازه‌های واقعی پیشنهاد گشته است برای کودپاش سانتریفوژ و تانکر آبی، ظرفیت بار کمتری بدست آمده است و در نهایت در مورد ادوات برداشت، سواتر برداشت یونجه و چاپر برداشت علوفه ذرت به‌ترتیب عرض عملیاتی کمتر (۲/۴) و بیشتر (۲/۲۵) پیشنهاد گشته است.

جدول ۲- نتایج اندازه بهینه ماشین‌ها در مزرعه

	اندازه ماشین آلات	
	واقعی	اجرای بهینه
تعداد تراکتورها	۸	۸
قدرت تراکتورها (kw)	۵۲	۶۲/۲۵۰
عرض عملیاتی گاوآهن (m)	۲	۳
عرض عملیاتی دیسک (m)	۱/۵	۲/۲۵
عرض عملیاتی بذرکار پنوماتیک خطی کار (m)	۴/۵	۴
عرض عملیاتی بذرکار همدانی (m)	۳	۳/۵
عرض عملیاتی ردیف کار پنوماتیک ذرت (m)	۳	۴
ظرفیت بار کودپاش سانتریفوژ (kg)	۴۰۰	۳۵۰
ظرفیت بار تانکر آبی (kg)	۳۰۰۰	۲۰۰۰
ظرفیت بار سم پاش (kg)	۴۰۰	۴۰۰
ظرفیت بار تریلر (kg)	۴۰۰۰	۴۰۰۰
عرض عملیاتی سواتر برداشت یونجه (m)	۴/۲	۲/۴
عرض عملیاتی چاپر برداشت علوفه ذرت (m)	۱/۵	۲/۲۵

ماخذ: یافته های تحقیق

با نگاهی کلی به جدول ۲ مشاهده می‌شود که اندازه‌های پیشنهاد شده در اجرای بهینه هیچگونه تطابقی با اندازه‌های واقعی که در مزرعه به‌کار برده می‌شود، ندارند. این تفاوت اندازه ماشین‌ها در شرایط واقعی مزرعه و اجرای بهینه مدل، بر هزینه‌های مزرعه قابل مشاهده می‌باشد. جدول ۳ هزینه‌های ثابت، متغیر و تاخیر زمانی برای ماشین-ها را در شرایط واقعی و اجرای بهینه مدل نشان می‌دهد. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که اگرچه هزینه‌های ثابت در اجرای بهینه بزرگتر از شرایط واقعی مزرعه می‌باشند اما هزینه‌های متغیر و تاخیر زمانی در اجرای بهینه کاهش یافته است و در نهایت هزینه‌های کل سالیانه برای اجرای بهینه مدل کمتر از شرایط واقعی مزرعه می‌باشد.

همان‌طور که بر اساس نتایج جدول ۳ مشاهده می‌شود این مقدار هزینه در اجرای بهینه، رقم بالایی است به‌طوری که برای یک منطقه به وسعت ۴۵۰ هکتار این امر به معنای این است که هزینه‌های کل سالیانه برای هر هکتار در اجرای بهینه و شرایط واقعی به ترتیب معادل ۵۳۲۸۸۶ و ۴۳۶۴۲۲ ریال در هکتار است بدین ترتیب اجرای بهینه، هزینه ای حدود ۹۶۴۶۴ ریال در هکتار کمتر از هزینه‌های کل سالیانه در شرایط واقعی مزرعه را نتیجه داده است. به‌منظور مدیریت فعالیت‌های زراعی، اقدام به تهیه برنامه زمان‌بندی شده عملیات زراعی گردید که نتایج آن در نمودار ۱ نشان داده شده است. بر اساس این نمودار انجام عملیات خاک‌ورزی، در هفته‌های ۱ و ۲ از مهر ماه و هفته ۱ اردیبهشت ماه توصیه گردیده است این عملیات شامل شخم زمین و دیسک‌کشی می‌باشد و این نتیجه حاصل می‌شود که هفته-های ۱ و ۲ مهر ماه برای آماده‌سازی بستر جهت کشت دو محصول گندم و کلزا در مزرعه و هفته ۱ اردیبهشت ماه برای آماده‌سازی زمین ذرت و گلرنگ مناسب می‌باشد.

جدول ۳- نتایج مقادیر هزینه در شرایط واقعی و اجرای بهینه مدل (ارقام به هزار ریال)

هزینه	واقعی	اجرای بهینه
هزینه‌های ثابت ماشین‌ها	۶۶۶۰	۷۸۱۴
هزینه ثابت تراکتورها	۱۴۵۷۴۶	۱۷۴۴۷۶
هزینه‌های متغیر و تاخیر زمانی	۸۷۳۹۲	۱۴۱۰۰
هزینه‌های کل سالیانه	۲۳۹۷۹۸	۱۹۶۳۹۰

ماخذ: یافته های تحقیق

نمودار ۱- برنامه زمان‌بندی شده عملیات زراعی

ماخذ: یافته های تحقیق

در مورد عملیات کاشت هفته‌های ۲، ۳ و ۴ از مهر ماه برای کاشت دو محصول گندم و کلزا و هفته دوم خرداد ماه جهت کشت ذرت و گلرنگ توصیه گشته است. عملیات داشت که شامل کودپاشی، آبیاری و سم پاشی می‌باشد برای محصولات مزرعه از اواخر آبان ماه تا اواخر خرداد پیشنهاد گشته است البته لازم است ۳درصد از انجام این عملیات در هفته آخر شهریور ماه انجام گردد و در نهایت بهترین زمان برداشت از هفته آخر مهر ماه تا اولین هفته آذر ماه توصیه شده است با توجه به این که در مدل اطلاعات دو ماشین برداشت ذرت و یونجه وارد گردیده است پس نتایج نمودار ۱، برای عملیات برداشت، مربوط به دو محصول ذرت و یونجه می‌باشد به‌طوری که بهتر است حدود ۹۵درصد عملیات برداشت در مورد دو محصول ذرت و یونجه تا آخر آبان ماه انجام گردد.

بحث

دانستن این مطلب که یک واحد کشاورزی به چه نوع ماشین‌هایی نیاز دارد اساس مکانیزه کردن کشاورزی است و سرمایه-گذاری صحیح در این زمینه از مسائل اصلی مکانیزاسیون کشاورزی به‌حساب می‌آید. در این مطالعه با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح با هدف حداقل نمودن هزینه‌های کل سالیانه، اندازه‌های بهینه برای ماشین‌ها برآورد شده است و با مقایسه اندازه-های بهینه ماشین‌ها با اندازه‌های واقعی مورد استفاده در مزرعه دانشکده کشاورزی شیراز عدم انطباق دو سری اندازه واقعی و بهینه نتیجه گردید به‌طوری که در مورد ماشین‌های خاک‌ورزی و کاشت مدل عرض عملیاتی بزرگتری را توصیه می‌کند این نتیجه با نتایج حاصل شده از مطالعه گونارسون و هانسون (۶) برای مزارع جنوبی سوئد و سوگارد و سورینسین (۱۰) برای یک مزرعه در دانمارک، مشابهت دارد حال آن که اکمن (۵) اندازه‌های کوچکتری را برای ادوات کاشت و تراکتور در سیستم مکانیزاسیون مزرعه پیشنهاد می‌نماید. این در حالی است که مدل برای عرض عملیاتی بذرکار پنوماتیک خطی کار، ظرفیت بار کودپاش سانتریفوژ و آب پاش و عرض عملیاتی سواتر برداشت یونجه اندازه‌های کوچکتری را پیشنهاد می‌دهد. پس در کل عدم انطباق میان اندازه‌های بهینه شبیه‌سازی شده در مدل و اندازه‌های واقعی در مزرعه، وجود دارد. همچنین با توجه به الگوی کشت در مزرعه دانشکده کشاورزی شیراز اقدام به تهیه برنامه زمان‌بندی شده عملیات زراعی گردید که می‌تواند راهنمای مناسبی برای مدیر مزرعه به‌منظور برنامه‌ریزی عملیات زراعی باشد.

منابع

۱- شیخ ه. ۱۳۸۶. عوامل مؤثر در انتخاب ماشین کشاورزی مناسب از میان ماشین‌های مشابه، ماهنامه دام کشت و صنعت، ۹۸.

۲- کهنسال م.ر. و طاهرپور ح. ۱۳۸۷. استفاده از برنامه‌ریزی ترکیبی غیرخطی (MINP) در تعیین اندازه بهینه ماشین آلات، پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون.

3- Brook A., Kendrick D., and Meeraus A. 1992. GAMS: A User's Guide, Release 2.25. The Scientific Press, Redwood City, California, USA.

4- Camarena E.A., Gracia C., and Cabrera Sixto J.M. 2004. A mixed integer linear programming machinery selection model for multifarm systems, Biosystems Engineering, 87(2): 145-154.

5- Ekman S. 2000. Tillage system selection: a mathematical programming model incorporating weather variability, Journal of Agricultural Engineering Resource, 77(3): 267-276.

6- Gunnarsson C., and Hansson P. 2004. Optimisation of field machinery for an arable farm converting to organic farming, Agricultural Systems, 80: 85-103.

7- Jannot Ph., and Cairol D. 1994. Linear programming as an aid to decision-making for investment in farm equipment for arable farms, Journal of Agricultural Engineering Resource, 59: 173-179.

8- Kline D.E., Bender, D.A., and McCarl B.A. 1989. FINDS: Farm-Level Intelligent Decision Support System, Applied Engineering in Agriculture, 5(2): 273-282.

9- Poulsen B., and Jacobsen B.H. 1997. Machinery costs on Danish farms: an empirical analysis based on 500 full time farms. Report No. 92. Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics.

10- Sogaard H.T., and Sorensen C.G. 2004, A model for optimal selection of machinery sizes within the farm machinery system, Biosystems Engineering, 89(1): 13-28.
11- Witney B. 1995. Choosing and using farm machines, Land Technology Ltd. Edinburgh.

پیوست: محاسبه ضرایب هزینه، ظرفیت مؤثر، فاکتور تاخیر زمانی و فاکتور ظرفیت s

در این قسمت نحوه محاسبه ضرایب هزینه (α,β,γ)، ظرفیت مؤثر (g_j^0)، فاکتور تاخیر زمانی (δ_j) و فاکتور ظرفیت (s) توضیح داده شده است. جدول ۴، فرمول‌های متفاوتی را برای محاسبه ضرایب هزینه، ظرفیت مؤثر و s ارائه داده است. از آن‌جا که محاسبه این ضرایب وابسته به اندازه ماشین کشاورزی می‌باشد در این جدول به تفکیک ۲ اندازه عرض عملیاتی و ظرفیت بار، فرمول‌ها آورده شده‌اند.

A: مساحت مزرعه (m^2)، B_b: هزینه روغن و سوخت در هر ثانیه عملیاتی برای هر واحد عرض عملیاتی ماشین ($Rialm^{-1}s^{-1}$)، B_m: هزینه روغن و سوخت در هر ثانیه عملیاتی برای هر واحد ظرفیت بار ماشین ($Rialkg^{-1}s^{-1}$)، d: هزینه تعمیر و نگهداری تراکتور در هر ثانیه عملیاتی برای هر واحد قدرت تراکتور ($Rialw^{-1}s^{-1}$)، e: راندمان $(0\langle e\langle 1)$، L: هزینه نیروی‌کار ($Rials^{-1}$)، M: میزان بار جابه‌جا شده (kg)، p_{b0}: ضریب ثابت وقتی قیمت خرید ماشین تابعی از عرض عملیاتی آن باشد (Rial)، p_{b1}: ضریب شیب وقتی قیمت خرید ماشین تابعی از عرض عملیاتی آن باشد ($Rialm^{-1}$)، p_{m0}: ضریب ثابت وقتی قیمت خرید ماشین تابعی از ظرفیت بار آن باشد (Rial)، p_{m1}: ضریب شیب وقتی قیمت خرید ماشین تابعی از ظرفیت بار آن باشد ($Rialkg^{-1}$)، r: نرخ هزینه تعمیر و نگهداری ماشین در هر ثانیه عملیاتی (s^{-1})، v: سرعت مزرعه‌ای (ms^{-1}) و τ: طول دوره حمل بار (s) می‌باشد.

پس از محاسبه ضرایب هزینه (α,β,γ) و ظرفیت مؤثر (g_j^0) برای هر ماشین بر اساس جدول ۵، این ضرایب برای هر یک از عملیات زراعی محاسبه گردیده‌اند.

فاکتور تاخیر زمانی بر اساس رابطه ۱۳ محاسبه گردیده است:

$$\delta = RAU_vV \qquad (۱۳)$$

که در این رابطه A: مساحت مزرعه (m^2)، U_v: عملکرد محصول (kgm^{-2}) و V: ارزش محصول ($Rialkg^{-1}$) و R: هزینه تاخیر زمانی اگر عملیات قبل یا بعد از زمان بهینه انجام گردیده باشد ($Week^{-1}$). اگر عملیات به‌موقع انجام شده باشد $(R=0)$ در نتیجه $(\delta=0)$ می‌شود.

از میان عملیات زراعی تنها عملیات کاشت و برداشت ممکن است تحت تاثیر اثر به‌موقع انجام نشدن عملیات قرار گیرند. عملیات کاشت به این علت که تاخیر در زمان کاشت باعث کوتاه شدن فصل رشد و در پی آن کاهش درآمد می‌گردد و عملیات برداشت به این علت که برداشت زودتر یا دیرتر از موعد بهینه (بلوغ) منجر به کاهش درآمد می‌گردد. اما تاخیر در عملیات خاک‌ورزی از طریق تاخیر انداختن در زمان کاشت می‌تواند تاثیر غیرمستقیم بر کاهش درآمد داشته باشد (۱۱).

جدول ٤- فرمول های محاسبه ضرایب هزینه، ظرفیت مؤثر و فاکتور ظرفیت s

انواع ماشین	فرمول	واحد	ظرفیت مؤثر	اندازه
گاوآهن، دیسک، بذرکار پنوماتیک خطی کار، بذرکار همدانی، ردیف کار پنوماتیک ذرت، سواتر برداشت یونجه، چاپر برداشت علوفه ذرت	$\alpha = A(rp_{b1}+B_b)/(ve)$ $\beta = A(L+rp_{b0})$ $\gamma = Ad^*$ $s = 1/(ve)$	Rial $Rialm^2s^{-1}$ $Rialm^2s^{-1}w^{-1}$ sm^{-1}	vbe (m^2s^{-1})	عرض عملیاتی (m)
کود پاش سانتریفوژ، تانکر آبی، سم پاش، تریلر	$\alpha = M\tau(rp_{m1}+B_m)$ $\beta = M(L+rp_{m0})$ $\gamma = Md^*$ $s = \tau$	Rial $Rialkgs^{-1}$ $Rialkgs^{-1}w^{-1}$ s	m/τ (kgs^{-1})	ظرفیت بار (kg)

* اگر ماشین خودرو باشد $\gamma = 0$ است.

جدول ۵- روش محاسبه ضرایب هزینه و ظرفیت مؤثر برای عملیات زراعی

ضرایب	عملیات هم‌زمان*	عملیات متوالی**
α	مجموع α ها	مجموع α ها
β	مجموع β ها	متوسط β ها
γ	مجموع γ ها	متوسط γ ها
x_j^0	مجموع x_j^0 ها	متوسط x_j^0 ها

* اگر ماشین‌ها به‌طور هم‌زمان در عملیات زراعی به‌کار برده شوند.

** اگر ماشین‌ها به‌طور ترتیبی (متوالی) در عملیات زراعی به‌کار برده شوند.