

## ارائه مدل انتخاب ناوگان ماشینی مزارع چندکشتی بر اساس برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح

امیرعباس بختیاری<sup>1\*</sup>، دکتر حسین نوید<sup>2</sup>، دکتر جواد حسین زاد<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 89/7/10 تاریخ پذیرش: 89/11/4

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز،

2- استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز،

3- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تبریز

\* مسئول مکاتبه Email: [bakhtiari@tabrizu.ac.ir](mailto:bakhtiari@tabrizu.ac.ir)

### چکیده

هر بنگاه اقتصادی برای نیل به اهداف خود با توجه به ساختارش، نیازمند گونه‌های مختلفی از مدیریت است. در مزارع کشاورزی مدیریت سیستم‌های مکانیزه یکی از زمینه‌های مؤثر در موفقیت کشاورز محسوب می‌شود. در این پژوهش مدلی برای انتخاب ناوگان ماشین‌های کشاورزی به ویژه در مزارع چندکشتی مطرح شده است. مدل به کار گرفته شده یک مدل بهینه‌سازی خطی عدد صحیح با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها می‌باشد که تحت برنامه LP-ILP (QSB) اجرا شد. داده‌های خام از مجتمع کشاورزی احيایی واقع در شهرستان همدان تهیه و برای سه محصول گندم، جو و سیب‌زمینی آنالیزهای مربوطه انجام شد. در نهایت مجموعه بهینه ماشین‌های مورد نیاز در مزرعه با توجه به محدودیت‌های دوره‌های کاری محاسبه و پیشنهاد گردید. این مجموعه بهینه ضمن تأمین نیازهای ماشینی مزارع، هزینه‌های مربوط به ماشین‌ها را کمینه کرد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح، صفحه گسترده، ناوگان ماشین‌های کشاورزی

## A Integer Linear Programming Agricultural Machinery Fleet Selection Model for Multicropping Systems

AA Bakhtiari<sup>1\*</sup>, H Navid<sup>2</sup> and J Hoseinzad<sup>3</sup>

Received : 02 October 2010 Accepted : 24 January 2011

<sup>1</sup>MSc Student, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Assist Prof, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>3</sup>Assist Prof, Department of Agricultural Economical Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

\* Corresponding author : E-mail: [bakhtiari@tabrizu.ac.ir](mailto:bakhtiari@tabrizu.ac.ir)

### Abstract

Each enterprise considering its structure, requires different types of management to achieve the goals. Management of farmlands mechanized agricultural systems is one of the important factors to succeed farmers. In this research, a model was developed to select agricultural machinery fleet, particularly in multicropping systems. The Model was a linear integer optimization model for minimization of costs and performed under LP-ILP (QSB) program. Raw data for three crops of wheat, barley and potato were obtained from the Ahyai Agriculture Complex located in Hamedan city, and related analyses were performed. Finally, according to the constraints of working periods, optimal required machinery set was calculated and proposed. This optimal machinery set supplied machinery requirements of farms and also minimized machinery costs.

**Keywords:** Agricultural machinery fleet, Integer Linear Programming, Spreadsheet

### مقدمه

دقیق تعداد و اندازه ماشین‌های کشاورزی از سرمایه‌گذاری و هزینه زیاد کاسته و از راکد ماندن سرمایه در فصولی از سال جلوگیری می‌نماید. یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری که بطور وسیع برای تعیین الگوهای بهینه در زمینه‌های مختلف علوم مدیریتی مورد توجه محققان قرار گرفته است مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی می‌باشد. برنامه‌ریزی ریاضی و به‌ویژه برنامه‌ریزی خطی (که زیر مجموعه برنامه‌ریزی ریاضی است)، مدیران را برای تصمیم‌گیری کارآمدتر و هوشمندانه‌تر در زمینه تخصیص منابع محدود بین

یکی از مسائل عمده مکانیزاسیون کشاورزی، سرمایه‌گذاری خردمندان در تجهیزات زراعی و استفاده مناسب و صحیح از آنهاست. با توجه به لزوم سرمایه‌گذاری زیاد در مزارع مکانیزه کشاورزی، انتخاب دقیق و حساب شده انواع ماشین‌های مورد نیاز که از لحاظ تنوع نیز زیاد هستند، امری ضروری است. در واقع در هر کشور مدیریت مناسب ماشین‌آلات یکی از مهمترین مسائل مطرح در بخش کشاورزی است و بنابراین نیاز به پژوهش‌هایی با موضوعات بهینه‌سازی عوامل مؤثر در انتخاب آن‌ها احساس می‌گردد. تخمین

قابل انعطاف بوده و کم هزینه‌ترین سیستم آبیاری را انتخاب می‌کرد.

کلاین و همکاران (1988) سیستمی به نام FINDS<sup>2</sup> (سیستم پشتیبانی تصمیم هوشمند مزرعه‌ای) را ارائه دادند. پایگاه اطلاعاتی این برنامه براساس قوانین اگر- آنگاه<sup>3</sup> و توابع LISD شکل می‌گرفت و سیستم به طور اتوماتیک یک مدل برنامه‌ریزی خطی را ارائه می‌داد. سپس خروجی مناسب استخراج و تفسیر شده و تغییراتی در مجموعه ماشین‌آلات که می‌توانست سودمندی زراعی را افزایش دهد پیشنهاد می‌شد. سیستمی مشابه نیز به نام سیستم پشتیبانی تصمیم-گیری (DSS)<sup>4</sup> توسط بوتانی و سینگ (1994) به منظور انطباق ماشین‌های زراعی با اندازه و مشخصات مزرعه و همچنین درآمدها و هزینه‌های زراعی توسعه داده شد. کاتزابیسایز و استوت (1990) برای مدیریت‌های هزینه‌بر ماشین‌های زراعی یک بسته نرم‌افزاری به نام FARM را به عنوان یک کمک تصمیم‌گیرنده ارائه دادند. این نرم افزار بر پایه بانک‌های اطلاعاتی بسیار زیاد و مدل‌هایی برای پیش‌بینی عملکرد تراکتور، انتخاب و زمان‌بندی ماشین‌ها و آنالیز هزینه‌ها طراحی شده بود. هافار و کوری (1992) مدل MSMC را برای انتخاب مجموعه بهینه ماشین‌آلات به منظور کمک به زارعین در سیستم‌های چند کشتی آمریکا توسعه دادند. مدل ابتدا نیازهای عملیاتی برای الگوی کشت را تعیین کرده و سپس به انتخاب سیستم کاری با کمترین هزینه می‌پرداخت. این مدل به صورت مکان-ویژه<sup>5</sup> طراحی شده بود اما بر اساس ادعای نویسندگان با تغییر در پارامترهای آن می‌توان مدل را به ابزاری جامع تبدیل نمود.

جن نات و کایرول (1994) نرم‌افزاری به نام GEDE را برای تعیین الگوی کشت، سود زراعی و نیروی کار، نیروی ماشینی و منابع مزرعه‌ای مورد نیاز در فرانسه تدوین کردند. این نرم‌افزار که براساس روش

فعالیت‌های رقیب یاری می‌رساند (گس 1385 و ویتنی 1988).

از زمانی که برنامه‌ریزی خطی به عنوان ابزاری از ریاضیات کاربردی مطرح شده است، یکی از مسائل مهم محاسباتی برنامه‌ریزی خطی، پیدا کردن جواب بهینه برنامه‌ای بوده است که در آن همه یا برخی از متغیرها به مقادیر صحیح مقید می‌باشند. حالت اول برنامه‌ریزی صحیح محض نامیده می‌شود، در حالی که حالت دوم مسئله برنامه‌ریزی صحیح آمیخته خوانده می‌شود (گس 1385).

فلاح شمسی و همکاران (1384) با پیشنهاد یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای تخصیص مناسب اراضی زراعی در منطقه کلبرچای استان آذربایجان شرقی توانستند بهره‌وری زمین را بهبود بخشند. کوپاهی و کیانی (1385) نیز یک مدل برنامه‌ریزی خطی را برای تعیین کم‌هزینه‌ترین برنامه حمل‌ونقل گندم در داخل کشور توسط بسته نرم‌افزاری Lingo ارائه کردند. اما علیرغم ضرورت پرداختن به مباحث برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی در تهیه و کاربرد ماشین‌های کشاورزی، مطالعات قابل توجهی در این زمینه صورت نگرفته است.

آدسلی (1981) یک مدل برنامه‌ریزی خطی را برای استفاده محققین یا مهندسين به منظور توسعه تکنولوژی‌ها و ماشین‌های جدید در ایالات متحده آمریکا پیشنهاد داد. این مدل با توجه به محدوده شرایط مزرعه‌ای و محدودیت‌های اقتصادی و تکنیکی، ماشین‌های مناسب را براساس نوع کاربری (زراعی، باغی، خدماتی و سایر) ارزیابی کرد. این مدل همچنین برای بررسی تدابیر مختلف مدیریتی در مزارع شخصی (دهقانی) سودمند بود. همچنین یو (1985) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته را به منظور تدوین طرح‌های بهینه سیستم آبیاری در جنوب شرقی ایالت آیداهو<sup>1</sup> آمریکا مورد استفاده قرار داد. تشریح این مدل می‌توانست برنامه‌ریزان و آبیاران را برای توسعه و ترمیم پروژه‌های آبیاری یاری کند. همچنین این مدل

<sup>2</sup> Farm-level Intelligent Decision Support System

<sup>3</sup> If-Then

<sup>4</sup> Decision Support System

<sup>5</sup> Site Specific

<sup>1</sup> Idaho

کردن آن با ادوات مختلف توسعه دادند. این مدل با زبان برنامه‌نویسی ویژوال بیسیک به صورت نرم‌افزاری نوشته شد که می‌توانست در صورت دسترسی به پایگاه‌های داده<sup>3</sup>، تراکتورها و ادوات مناسب با مزارع را پیشنهاد کند. این پایگاه‌های داده می‌توانند اطلاعاتی مانند مشخصات تراکتور و ادوات و شرایط انجام عملیات را در اختیار برنامه قرار دهند.

با توجه به مطالعات انجام شده در این زمینه و ضرورت بسط و توسعه این مباحث، مطالعه‌ای تدوین و انجام شد. هدف عمده این پژوهش ارائه برنامه‌ای برای تصمیم‌سازی در سرمایه‌گذاری بر ماشین‌های کشاورزی مورد استفاده در سیستم‌های چندکشتی و اختصاص صحیح ماشین‌آلات در بازه زمانی مورد نیاز می‌باشد. با استفاده از این برنامه می‌توان مدیریت زمان و هزینه را در مزارع، به شکل مناسبتری نسبت به حالت‌های متداول انجام داد و متعاقب آن نتایج بهتری نیز کسب نمود.

#### مواد و روش‌ها

این مطالعه براساس اطلاعات جمع آوری شده در سال 1388 از مجتمع کشاورزی احيایی (مکا)، اداره جهاد کشاورزی شهرستان همدان، اداره هواشناسی شهرستان همدان و زارعین منطقه انجام گرفت. مجتمع کشاورزی احيایی در روستای قرخلر و در طول و عرض جغرافیایی 48 درجه و 45 دقیقه شرقی و 35 درجه و 1 دقیقه شمالی واقع شده است. روستای قرخلر در بخش قهاوند شهرستان همدان واقع است. این روستا در 5 کیلومتر 5 جاده قهاوند، کیلومتر 25 جاده تهران در سمت شمال شرقی همدان قرار دارد. میزان بارش سالیانه در این منطقه 250 میلی‌متر است. نوسانات دمایی در این منطقه بسیار زیاد است و از 33/7- درجه سانتیگراد در زمستان تا حدود 40+ درجه سانتیگراد در تابستان متغیر است. با توجه به شرایط مذکور، کشاورزی در این منطقه محدود به مدت زمان

برنامه‌ریزی خطی تحلیل انجام می‌داد، می‌توانست در ارزیابی تجاری ماشین‌های تجاری نیز مورد استفاده قرار گیرد. همچنین لازاری و مازتو (1996) یک مدل شبیه‌سازی‌کننده به نام کام‌فارمز<sup>1</sup> را برای آنالیز مسائل مکانیزاسیونی مزارع ایتالیا ارائه دادند. این مدل با داشتن دیدگاهی مدیریتی برای انتخاب ماشین‌آلات مزرعه توسعه داده شد. پس از ورود داده‌های مورد نیاز، مدل به کاربر ترکیبات ماشینی را پیشنهاد می‌داد که شامل نوع، تعداد و اندازه ماشین‌آلات است. اما این مدل ممکن است بتواند تنها قسمتی از ناوگان ماشینی مورد نیاز را ارائه کند.

پارمار و همکاران (1996) از شبیه‌سازی کامپیوتری و الگوریتم‌های ژنتیک برای بهینه‌سازی انتخاب ماشین‌ها در مزرعه بادام‌زمینی استفاده کردند. مدل شبیه‌سازی کامپیوتری برای تعیین بیشینه بازگشت خالص هزینه‌های ماشینی به کار برده شد و مجموعه بهینه ماشین‌آلات با استفاده از جستجوی هوشمند الگوریتم ژنتیک تعیین گردید. نتایج بدست آمده موفقیت-آمیز و جواب‌ها نزدیک به شرایط بهینه ارزیابی شدند. سوچارد و سورنسن (2004) یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی را که شامل تمامی هزینه‌های ثابت و متغیر بود توسعه دادند. این مدل براساس نظریه حداقل‌سازی هزینه‌ها و برای برنامه کشت خاص یک مزرعه در غرب دانمارک بیان گردید. خروجی این مدل شامل اندازه ماشین‌ها، تعداد تراکتور و توان مورد نیاز بود که توسط نرم افزار GAMS تحلیل می‌گشت.

کامارنا و همکاران (2004) یک برنامه تلفیقی به نام مولتی‌پردیو<sup>2</sup> را برای کشت‌های عمده اراضی وسیع مطرح و در مناطق مرکزی مکزیک بررسی کردند. این برنامه با استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته و بانک‌های مختلف اطلاعاتی به کاهش هزینه‌های ماشین‌آلات پرداخته و به عنوان نرم‌افزاری با کاربری آسان معرفی شده است. به علت وجود انواع مختلف تراکتور در کشور هند، مهتا و همکاران (2011) مدل سیستماتیکی را برای انتخاب تراکتور و هماهنگ

<sup>1</sup> ComFARMS

<sup>2</sup> Multipredio

<sup>3</sup> Databases

ساله) در نظر گرفته شد. میزان استهلاک از رابطه زیر بدست آمد. (الماسی و همکاران 1384، مدرس رضوی 1387)

$$D_n = R.V_n - R.V_{n-1} \quad [2]$$

در رابطه مذکور  $D_n$  میزان استهلاک در سال  $n$  (ریال) و  $R.V_n$  و  $R.V_{n-1}$  ارزش باقیمانده یا بازفروش ماشین در سال  $n$  و  $n-1$  را نشان داده و از رابطه زیر قابل محاسبه هستند.

$$R.V = P \left(1 - \frac{r}{Lu}\right)^{y_n} \quad [3]$$

که در آن  $P$  قیمت اولیه ماشین (ریال)،  $r$  ضریب استهلاک،  $Lu$  میزان عمر مفید ماشین (سال) و  $y_n$  سال مورد نظر برای محاسبه ارزش باقیمانده ماشین می‌باشد. همچنین برای محاسبه بهره سرمایه از رابطه زیر استفاده گردید. (کای و همکاران 2008، الماسی و همکاران 1384، مدرس رضوی 1387)

$$I = \frac{(P+S)i}{2} \quad [4]$$

که  $I$  سود سرمایه‌گذاری سالیانه (ریال)،  $S$  قیمت بازخرید ماشین (ریال) و  $i$  نرخ بهره (%) می‌باشد.

هزینه جایگاه نیز به میزان 1/5% ارزش باقیمانده ماشین‌آلات در هر سال تخمین زده شد. بیمه و مالیات نیز به علت آنکه در ایران به صورت محسوسی وجود ندارند در محاسبات منظور نشد. نتایج محاسبات مربوط به هزینه‌های ثابت تراکتورهای مورد بررسی در جدول 1 مشاهده می‌شود. این تراکتورها به ترتیب شامل مسی‌فرگوسن 285 تک دیفرانسیل، مسی‌فرگوسن 285 جفت دیفرانسیل، مسی‌فرگوسن 399 تک دیفرانسیل و مسی‌فرگوسن 399 جفت دیفرانسیل می‌باشند.

کوتاهی است که منجر به تولید محصولاتی خاص می‌شود.

صفحه‌گسترده ظرفیت مزرعه‌ای و نرخ کاری

ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای برای هر ترکیب ممکن تراکتور- ادوات (که براساس حداقل توان مورد نیاز و محدودیت‌های عملیاتی هریک از ادوات تعیین می‌شود) در یک صفحه گسترده و براساس رابطه (1) محاسبه شد (ویتنی 1988). این کمیت با توجه به سرعت‌های پیشروی متداول عملیات‌ها و عرض کار هریک از ترکیبات بدست آمد. بطور متوسط بازده تمامی عملیات‌ها 0/9 در نظر گرفته شد.

$$C_a = \frac{V.W.h}{10} \quad [1]$$

که در آن  $C_a$  ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای (ha/h)،  $V$  سرعت پیشروی (km/h)،  $W$  عرض کار (m) و  $\eta$  بازده مزرعه‌ای عملیات می‌باشد. نرخ کاری که از معکوس ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای حاصل می‌شود نیز در صفحه گسترده بدست آمد.

صفحه گسترده هزینه ثابت سالیانه

هزینه‌های سالیانه برای تمامی تراکتورها و ادوات مورد مطالعه در صفحه‌گسترده هزینه‌های ثابت سالیانه محاسبه گردید و برای دوازده سال تخمین زده شد. در این مرحله تنها داده ورودی مورد نیاز برای محاسبه هزینه‌های ثابت، قیمت اولیه ماشین‌آلات بود.

استهلاک توسط روش تعادل نزولی و بهره سرمایه به روش متداول محاسبه شد. نرخ سود بانکی بر اساس نرخ سود علی‌الحساب سپرده‌های سرمایه گذاری مدت‌دار اعلام شده توسط بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران 14/5% (برای سپرده‌های یک

جدول 1- صفحه گسترده هزینه ثابت سالیانه تراکتورها (برحسب ریال)

سال	تراکتور 1	تراکتور 2	تراکتور 3	تراکتور 4
1	43810841/1	62101109/4	87115989/6	105342555
2	36509034/3	51750924/5	72596658	87785462/2
3	30424195/2	43125770/4	60497215	73154551/9
4	25353496	35938142	50414345/8	60962126/6
5	21127913/4	29948451/7	42011954/9	50801772/1
6	17606594/5	24957043/1	35009962/4	42334810/1
7	14672162/1	20797535/9	29174968/6	32579008/4
8	12226801/7	17331279/9	24312473/9	29399173/7
9	10189001/4	14442733/2	20260394/9	24499311/4
10	8490834/52	12035611	16883662/4	20416092/8
11	7075695/44	10029675/9	14069718/7	17013410/7
12	5896412/86	8358063/22	11724765/6	14177842/2

(قیمت اولیه تراکتورها از نمایشگاه دائمی ماشین‌آلات کشاورزی شهرستان همدان

در سال 1388 استعلام شده است.)

#### صفحه گسترده هزینه سوخت و روانسازها

سوخت و روغن مصرف شده در هر ترکیب توسط توان مورد نیاز برای هر عملیات مزرعه‌ای در یک صفحه گسترده محاسبه گردید. توان با ملاحظه عرض ادوات، سرعت انجام عملیات، و نیروی کششی در خاک‌های نیمه سنگین بدست می‌آید (گریسو 2004). برای محاسبه میزان سوخت مصرفی از توصیه‌های ASAE (2009) استفاده شد (رابطه 5) و قیمت هر لیتر سوخت برای محاسبه هزینه سوخت، 165 ریال (براساس قیمت یارانه‌ای سوخت گازوئیل) در نظر گرفته شد. بدیهی است که با حذف یارانه‌ها، نرخ جدید در معادله قرار خواهد گرفت.

$$Q_{avg} = 0.223 \times P_{PTO} \quad [5]$$

که در آن  $Q_{avg}$  مصرف متوسط سوخت گازوئیل (L/h) و  $P_{PTO}$  ماکزیمم توان محور تواندهی تراکتور (kW) را نشان می‌دهد. هزینه روانسازها نیز بنابر استانداردهای ASAE (2009) معادل 15 درصد هزینه سوخت در نظر گرفته شد.

#### صفحه گسترده هزینه تعمیر و نگهداری

این صفحه گسترده هزینه‌های متغیر متناظر با تعمیر و نگهداری برای هر ترکیب را به ازای هر ساعت محاسبه می‌کند. این هزینه براساس استاندارد ASAE (2009) و مقادیر RF1 و RF2 مطرح شده در این استاندارد مورد محاسبه قرار گرفت:

$$C_{rm} = (RF1)P \left[ \frac{h}{1000} \right]^{(RF2)} \quad [6]$$

که در آن  $C_{rm}$  هزینه تعمیر و نگهداری تجمعی (ریال)، RF2 و RF1 ضرایب تعمیرات، P قیمت خرید ماشین (ریال) و h استفاده تجمعی از ماشین (h) می‌باشد.

#### صفحه گسترده هزینه‌های متغیر ساعتی

این صفحه گسترده با صفحه گسترده‌های هزینه‌های تعمیر و نگهداری و هزینه‌های سوخت و روانسازها مرتبط می‌باشد. هزینه‌های متغیر به ازای هر ساعت (VCH) شامل هزینه‌های کارگری نیز می‌شود که براساس مبالغ متداول منطقه در نظر گرفته شد. همچنین میزان ساعات کاری روزانه در محاسبات، هشت ساعت

جدول 2- صفحه گسترده هزینه متغیر ساعتی ترکیب تراکتور 1 (تراکتور MF285 تک دیفرانسیل) و سمپاش 1 (سمپاش پشت تراکتوری 400 لیتری) (برحسب ریال)

سال	هزینه سوخت	هزینه روانسازها	هزینه کارگری	هزینه تعمیر و نگهداری تراکتور 1	هزینه تعمیر و نگهداری سمپاش 1	کل هزینه متغیر
1	1617	242,55	10000	55,665	3439,1	15354,3
2	1617	242,55	10000	166,99	5028,9	17055,4
3	1617	242,55	10000	278,32	5876,9	18014,8
4	1617	242,55	10000	389,65	6505,7	18754,9
5	1617	242,55	10000	500,98	7017,1	19377,7
6	1617	242,55	10000	612,31	7453,6	19925,5
7	1617	242,55	10000	723,64	7837,3	20420,5
8	1617	242,55	10000	834,97	8181,5	20876
9	1617	242,55	10000	946,3	8494,9	21300,7
10	1617	242,55	10000	1057,6	8783,3	21700,5
11	1617	242,55	10000	1169	9051,2	22079,7
12	1617	242,55	10000	1280,3	9301,7	22441,6

(تمامی هزینه ها مربوط به سال 1388 است.)

در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که به ازای هر روز بارانی در محدوده عملیات‌ها، به علت نامطلوب بودن رطوبت خاک، بطور متوسط دو روز از بازه عملیاتی از دسترس خارج خواهد شد. البته میزان بارش که باعث توقف عملیات خواهد شد برای خاک‌های مختلف متفاوت می‌باشد. همچنین تعداد روزهایی که پس از بارندگی موجب متوقف شدن عملیات می‌شود، به جنس و بافت خاک وابسته است. متوسط روزهای بارانی در بازه‌های مورد نظر از اطلاعات اداره هواشناسی شهرستان همدان کسب گردید.

منظور گردید (بی‌نام 1388). نتایج محاسبات مربوط به هزینه‌های متغیر ساعتی در جدول 2 مشاهده می‌شود. تمامی صفحه گسترده‌های مذکور تحت محیط نرم‌افزار Microsoft Excel 2007 تهیه گردید.

با توجه به اینکه عمده عملیات ماشینی متعلق به خاکورزی است و اینکه کشت‌های گندم و جو پاییزه سطح زیادی از اراضی را به خود اختصاص داده‌اند؛ زمان بحرانی عملیات در پاییز قرار خواهد داشت. برنامه زمانی عملیات ماشینی محصولات در جدول 3 است. از سوی دیگر چون عمده بارش‌های فصلی نیز در این فصل صورت می‌گیرد فرصت زمانی انجام عملیات را محدود می‌کند. ساعات کاری با توجه به شرایط جغرافیایی منطقه و پرسش از زارعین، بطور متوسط هشت ساعت

جدول 3- برنامه زمانی عملیات ماشینی محصولات

نام محصول	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
گندم آبی												
جو آبی												
سیب زمینی												

عملیات شخم زنی (مربع آبی)، عملیات دیسک زنی (مربع قرمز)، عملیات تسطیح (مربع سبز)، عملیات کاشت (مربع زرد)، عملیات سمپاشی (مربع نارنجی)، عملیات برداشت (مربع سیاه).  
 (براساس اطلاعات اکتسابی از جهاد کشاورزی شهرستان همدان، کشاورزان و تعاونی تولید منطقه در سال 1388)

محدودیت‌ها

محدودیت نوع اول

این نوع محدودیت بیان می‌کند که ظرفیت ترکیب‌های تراکتور- ادوات محاسبه شده برای سطح کاری مورد نیاز هر مزرعه باید کافی باشد. به عبارتی دیگر می‌توان چنین نوشت:

$$\sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} Ca_{ij} x_{ij} \geq A \quad [8]$$

در این رابطه A مساحت زیر کشت محصول و  $Ca_{ij}$  ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای ترکیب (i,j) است. این محدودیت برای هر محصول و هر عملیات زراعی مورد نیاز است.

محدودیت نوع دوم

این نوع محدودیت بیان می‌کند که برای همه انواع تراکتورها و همه انواع ادوات موجود در معادله، باید میزان ساعات کاری در دسترس بیشتر از ساعات کاری مورد نیاز باشد.

$$\sum_{j=1}^{n_2} x_{ij} \leq tx_i \quad [9]$$

$$\sum_{i=1}^{n_1} x_{ij} \leq tx_j \quad [10]$$

در فرمول فوق  $\tau$  میزان ساعات کاری در دسترس را نشان می‌دهد. این محدودیت برای هر محصول، هر عملیات، هر تراکتور و هر یک از ادوات تعریف می‌شود.

تابع هدف

یکی از اهداف این پژوهش توسعه مدل برنامه‌ریزی خطی در تجهیز سیستم ماشین‌آلات است. بنابراین مدلی برای کمینه‌سازی هزینه‌های سالانه مکانیزاسیون تعریف شد. بطوری که تابع هدف  $Z_{min}$  شامل سه جمله است. جمله اول و دوم بیانگر هزینه‌های ثابت سالانه تراکتورها و ادوات می‌باشد و جمله سوم هزینه‌های متغیر ساعتی ترکیبات مختلف تراکتور- ادوات را نشان می‌دهد.

$$Z_{min} = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{h=1}^{n_3} \sum_{k=1}^{n_4} T_i x_i + \sum_{j=1}^{n_2} \sum_{h=1}^{n_3} \sum_{k=1}^{n_4} E_j x_j + \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} \sum_{h=1}^{n_3} \sum_{k=1}^{n_4} C_{ij} x_{ij} \quad [7]$$

که در آن  $T_i$  هزینه ثابت سالیانه تراکتور  $i$ ،  $E_j$  هزینه ثابت سالیانه ماشین  $j$ ،  $C_{ij}$  هزینه متغیر ساعتی ترکیب تراکتور- ادوات (i,j)،  $x_i$  تعداد مورد نیاز تراکتور  $i$ ،  $x_j$  تعداد مورد نیاز ادوات  $j$  و  $x_{ij}$  ساعات کاری مورد نیاز برای ترکیب (i,j) می‌باشد.  $h$  و  $k$  به ترتیب مشخص کننده نوع محصولات و عملیات زراعی مربوطه می‌باشد.



ویژه کاشت این محصول (سیب‌زمینی کار) انجام می‌شود. همچنین از سمپاش‌های مزرعه‌ای برای مبارزه با آفات و بیماری‌ها در زمان مناسب استفاده می‌گردد. در نهایت گندم و جو توسط کمباین غلات و سیب‌زمینی توسط ماشین‌آلات برداشت سیب‌زمینی برداشت می‌شوند.

#### ماشین‌آلات مزرعه

جدول 4 ماشین‌آلاتی را که می‌توانند در مزارع به کار گرفته شوند همراه با علامت اختصاری و قیمت آن‌ها نشان می‌دهد. جدول 5 نیز ترکیبات ممکن را (براساس پیشنهادات سازندگان) برای تطابق نسبی بین تراکتور و ادوات بیان می‌کند. توان مورد نیاز برای تطبیق هر یک از ادوات با تراکتور مناسب، با توجه به عرض کار ادوات، سرعت عملیاتی آن‌ها و نیروی کششی در خاک‌های با بافت نیمه سنگین به ازای واحد عرض محاسبه شد.

جدول 5- ترکیبات ممکن تراکتور- ادوات

ترکیبات					عملیات
T <sub>4</sub> P <sub>3</sub>	T <sub>4</sub> P <sub>2</sub>	T <sub>3</sub> P <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	خاکورزی اولیه
	T <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	T <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	خرد کردن کلوخه‌ها
	T <sub>4</sub> L <sub>2</sub>	T <sub>3</sub> L <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> L <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> L <sub>1</sub>	تسطیح
	T <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	T <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	مبارزه با آفات و بیماریها
T <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	T <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	T <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	کاشت سیب زمینی

#### آنالیز مدل

جدول 6 آنالیز مدل را در برنامه LP-ILP برای تعیین تعداد بهینه ماشین‌های مورد نیاز برای انجام خاکورزی اولیه سیب‌زمینی نشان می‌دهد. بدیهی است که نرم‌افزار برای هر محصول و هر مرحله از عملیات زراعی، چنین جدولی را ارائه می‌کند.

جدول 4- مجموعه ماشین‌آلات مورد استفاده

ماشین‌آلات	علامت اختصاری	قیمت (ریال)
تراکتور MF285 تک دیفرانسیل	T <sub>1</sub>	139266250
تراکتور MF285 جفت دیفرانسیل	T <sub>2</sub>	197407500
تراکتور MF399 تک دیفرانسیل	T <sub>3</sub>	276925000
تراکتور MF399 جفت دیفرانسیل	T <sub>4</sub>	334863750
گاواهن سه خیش	P <sub>1</sub>	8000000
گاواهن چهار خیش	P <sub>2</sub>	10000000
گاواهن پنج خیش	P <sub>3</sub>	17000000
دیسک تاندوم	D <sub>1</sub>	18500000
دیسک افست	D <sub>2</sub>	34500000
لولر 3 متری	L <sub>1</sub>	19500000
لولر 4 متری	L <sub>2</sub>	42500000
سمپاش پشت تراکتوری 400 لیتری	F <sub>1</sub>	19800000
سمپاش پشت تراکتوری 600 لیتری	F <sub>2</sub>	22500000
سیب زمینی کار سه ردیفه نیمه اتوماتیک	C <sub>1</sub>	15000000
سیب زمینی کار دو ردیفه اتوماتیک	C <sub>2</sub>	35000000
سیب زمینی کار چهار ردیفه اتوماتیک	C <sub>3</sub>	65000000

(قیمت‌ها از نمایشگاه دائمی ماشین‌آلات کشاورزی شهرستان همدان در سال 1388 استعلام شده است.)

#### ورودی مدل

مجموعه تابع هدف و انواع محدودیت‌های به کار گرفته شده در این مطالعه، یک مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح بر اساس مفهوم حداقل هزینه می‌باشد که اطلاعات ورودی مورد نیاز مدل از صفحه گسترده‌های داده‌ها استخراج و به سیستم آنالیزکننده منتقل می‌شود. عملیات‌های مختلف این پژوهش تحت دو برنامه LP-ILP (QSB) و Excel انجام گرفت.

#### بحث و نتیجه‌گیری

این برنامه برای نیاز ماشینی سه محصول گندم و جو آبی و سیب‌زمینی تعریف گردید. عملیات معمول خاکورزی برای این محصولات شامل شخم زمین با گاواهن برگرداندار، خرد کردن کلوخ‌ها توسط دیسک و تسطیح به وسیله لولر می‌باشد. کاشت گندم و جو با ماشین‌های خطی‌کار و کاشت سیب‌زمینی با دستگاه‌های

جدول 6- آنالیز نرم افزاری عملیات خاکورزی اولیه سیب زمینی

<b>Solution Summary for ploughing potato</b>						
01-30-2010 22:27:21	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit C(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status
1	X1	2.0000	43,810,840.0000	87,621,680.0000	43,810,840.0000	at bound
2	X2	0	62,101,110.0000	0	62,101,110.0000	at bound
3	X3	1.0000	87,115,990.0000	87,115,990.0000	87,115,990.0000	at bound
4	X4	0	105,342,600.0000	0	105,342,600.0000	at bound
5	X5	2.0000	2,516,666.0000	5,033,332.0000	2,516,666.0000	at bound
6	X6	1.0000	3,145,833.0000	3,145,833.0000	3,145,833.0000	at bound
7	X7	0	5,347,916.0000	0	5,347,916.0000	at bound
8	X8	233.0000	14,918.0000	3,475,894.0000	14,918.0000	at bound
9	X9	0	14,746.0000	0	14,746.0000	at bound
10	X10	134.0000	16,266.0000	2,179,644.0000	16,266.0000	at bound
11	X11	0	16,074.0000	0	16,074.0000	at bound
12	X12	0	17,091.0000	0	17,091.0000	at bound
	Objective	Function	(Min.) =	188,572,400.0000		

می‌تواند با توجه به محدوده‌های زمانی هر یک از عملیات برنامه کاری ماشین‌آلات خود را نیز تنظیم کند. جدول 8 هزینه‌های مجموعه بهینه ماشین‌آلات مورد نیاز در مزرعه را نشان می‌دهد.

پس از بررسی تمامی نتایج تعداد بهینه ماشین‌های مورد نیاز محاسبه شده برای انجام عملیات زراعی محصولات مزرعه در جدول 7 آمده است.

نتایج حاصله می‌تواند نقش شایانی را در انتخاب ناوگان ماشینی مزارع چندکشتی ایفا نماید. از آنجا که مدل ترکیبات مطلوب را معرفی می‌کند مدیر مزرعه

جدول 7- مجموعه بهینه ماشین‌آلات

C <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>1</sub>	ماشین‌آلات
3	2	2	2	1	4	1	4	تعداد

T<sub>1</sub> تراکتور مسی فرگوسن 285 تک دیفرانسیل؛ T<sub>3</sub> تراکتور مسی فرگوسن 399 تک دیفرانسیل؛ P<sub>1</sub> گاواهن سه خیش؛ P<sub>2</sub> گاواهن چهار خیش؛ D<sub>1</sub> دیسک تاندوم 28 پره؛ L<sub>1</sub> لندلور سبک 3متری؛ F<sub>1</sub> سمپاش پشت تراکتوری 400 لیتری و C<sub>1</sub> سیب‌زمینی کار نیمه‌اتوماتیک 3ردیفه.

های مکانیزاسیون توسعه داده شد و در سیستم چند کشتی مورد استفاده قرار گرفت. در مدل ارائه شده، اطلاعات محاسبه شده از داده‌های خام، در صفحه گسترده‌های مختلف به یکدیگر مرتبط شده و نتایج نهایی به نرم‌افزار آنالیزکننده منتقل می‌شود. نرم‌افزار پس از بررسی تمامی داده‌ها تعداد بهینه ماشین‌های مورد نیاز را با در نظر گرفتن ابعاد فنی و اقتصادی محاسبه کرده و ارائه می‌دهد.

همانطور که در جدول فوق مشاهده می‌شود هزینه مکانیزاسیون، طبق انتظار با گذشت زمان کاهش می‌یابد. این کاهش در نتیجه نزول سالانه هزینه‌های ثابت به خصوص استهلاک به وجود می‌آید.

### نتیجه‌گیری کلی

برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای انتخاب ناوگان ماشین‌آلات کشاورزی به منظور حداقل سازی هزینه-

جدول 8- هزینه‌های مجموعه بهینه ماشین‌آلات

مجموع کل	T <sub>1</sub> C <sub>1</sub> (تعداد = 3)	T <sub>1</sub> F <sub>1</sub> (تعداد = 2)	T <sub>1</sub> L <sub>1</sub> (تعداد = 2)	T <sub>1</sub> D <sub>1</sub> (تعداد = 2)	T <sub>3</sub> P <sub>2</sub> (تعداد = 1)	T <sub>1</sub> P <sub>1</sub> (تعداد = 4)	سال
720655057,4	145689702,4	1001098990,8	99918983,2	99288684,4	90278089,2	185369707,2	1
600629016,7	121433421	83433429,47	83272781,9	82748793,8	75239291,4	154501299,2	2
500609535,8	101221840,4	69535461,77	69400555,9	689665541,5	62707364,3	128778771,9	3
417264257,9	84380695,37	57953703,2	57840384	57479741,8	52264647	107345086,5	4
347814538,3	70348211,22	48302249,85	48206990,9	47908540,8	43562972	89485573,48	5
289944590,8	58656268,03	40259429,72	40179270,1	39932858,5	36312177,8	74604586,62	6
241724513,1	48914775,33	33557156,67	33489619,5	33286783,1	30270455,5	62205723,09	7
201546019,9	40798661,98	27972015,13	27915031,8	27748716,2	25236294,3	51875300,5	8
168068857,5	34037037,37	23317820,63	23269665,5	23133990	21041766,8	43268577,09	9
140176139,8	28404160,3	19439416,98	19398651,1	19288713,6	17546933,1	36098264,74	10
116937124,3	23711913,6	16207506,06	16172930,2	16084643,8	14635175,7	30124954,99	11
97576189,53	19803533,09	13514338,7	13484953,6	13414910,8	12209313,4	25149139,91	12

موارد پاسخی تئوریک و به صورت اعداد غیرصحيح ارائه می‌دهد. در این موارد ممکن است تنها با تبدیل این اعداد به اعداد صحیح نزدیک به آنها جواب بهینه نشود. زیرا با انجام این کار ممکن است در برآوردهای فنی مشکلی ایجاد نشود اما احتمالاً برآوردهای هزینه‌ای دچار نقص می‌شوند بطوریکه ممکن است بتوان تراکتور یا ادوات دیگر را جایگزین آنها کرده و به پیشنهادات بهتری رسید. در این پژوهش با بهره‌گیری از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مشکل مذکور برطرف شده و برآوردها تصحیح می‌گردد.

با توجه به اطلاعاتی که مدل در اختیار مدیر مزرعه قرار می‌دهد او می‌تواند با بینش بهتری برای گزینش و برنامه‌ریزی ناوگان ماشینی خود اقدام کند و درنهایت از بهره‌وری بیشتری در مسائل فنی و اقتصادی برخوردار شود. از جمله محدودیت‌هایی که پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی به مسأله اضافه شود احتمال خرابی دستگاه در طی بازه زمانی عملیات می‌باشد.

این مدل از انعطاف‌پذیری قابل قبولی برخوردار است و می‌تواند تغییرات در داده‌های خام را به دیگر محاسبات تعمیم دهد. بسیاری از مدل‌هایی که پیش از این ارائه شده بود ممکن است تنها بتوانند برنامه‌ریزی را برای قسمتی از ناوگان ماشینی مورد نیاز را ارائه کنند (یو 1985، هافار و کوری 1992، لازاری و مازتو 1996). این مشکل در مدل کنونی برطرف شده و برنامه‌ریزی را برای کلیه عملیات‌های متداول زراعی ممکن می‌سازد. همچنین به نظر می‌رسد رویکرد پیش‌رو در مقایسه با بخشی از مدل‌های پیشین (بوتانی و سینگ 1994، پارمار و همکاران 1996، سوچارد و سورنسن 2004، کامارنا و همکاران 2004) از سادگی و انعطاف بیشتری برخوردار است. طبیعتاً این ویژگی موجب کارایی بیشتر آن، به‌خصوص توسط کشاورزان با دانش و پیشرو خواهد بود. مدل ارائه شده توسط مهتا و همکاران (2011) اگرچه بصورت نرم‌افزاری و دقیق تنظیم شده بود اما به علت عدم استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح و تنها اتکا به روابط و معادلات ریاضی در بسیاری از

## منابع مورد استفاده

- الماسی مرتضی، کیانی شهرام و لویمی نعیم، 1384. مبانی مکانیزاسیون کشاورزی. مؤسسه انتشارات حضرت معصومه (س). چاپ سوم.
- بی‌نام، 1388. اطلاعات پایه شرکت تعاونی تولید روستای قرخلر.
- فلاح شمسی سیدرشید، سبجانی هوشنگ، ارسطو سعید، درویش صفت علی اصغر و فرجی دانا احمد، 1384. مدل برنامه ریزی خطی در تخصیص زمین به کاربری های مختلف در حوزه آبخیز کلیبر چای وسطی. مجله منابع طبیعی ایران، جلد 85، شماره 3. صفحه‌های 579 تا 589.
- کوپاهی مجید و کیانی غلامحسین، 1385. تعیین برنامه بهینه حمل و نقل گندم در ایران با استفاده از روش برنامه ریزی خطی. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد 2-37، شماره 1. صفحه‌های 127 تا 135.
- گس سل آی، 1385. برنامه ریزی خطی روشها و کاربردها. ترجمه فائزه توتونیان. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ویرایش پنجم.
- مدرس رضوی مجتبی، 1387. مدیریت ماشین های کشاورزی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ASAE Standards, 2009. EP497.6 . Agriculture machinery management data. St. Joseph, Mich.
- Audsley E, 1981. An arable farm model to evaluate the commercial viability of new machines or techniques. Journal of agriculture engineering research 26: 135-149.
- Butani KM and Singh G, 1994. Decision support system for the selection of agriculture machinery with a case study in India. Computers and electronics in agriculture 10: 91-104.
- Camarena EA, Gracia C and Cabrera sixto JM, 2004. A mixed integer linear programming machinery selection model for multifarm systems. Biosystems engineering 87: 145-154.
- Grisso RD, Kocher MF and Vaughan DH, 2004. Predicting tractor fuel consumption. American society of agriculture engineers. ISSN 0883-8542.
- Haffar I and Khoury R, 1992. A computer model for field machinery selection under multiple cropping. Computers and electronics in agriculture 7: 219-229.
- Jannot Ph and Cairol D, 1994. Linear programming as an aid to decision making for investments in farm equipment for arable farms. Agriculture engineering research 59: 173-179.
- Kay RD, Edwards WM and Duffy PA, 2008. Farm management. McGraw-Hill Inc., sixth edition, ISBN 9780071259538.
- Kline DE, Bender DA, McCarl BA and Van Donge CE, 1988. Machinery selection using expert systems and linear programming. Computers and electronics in agriculture 3: 45-61.

- Kotzabassis and Stout BA, 1990. Farm machinery management another approach. ASAE paper. No. 90-1106.
- Lazzari M and Mazzetto F, 1996. A PC model for selecting multicropping farm machinery systems. Computers and electronics in agriculture 14: 43-59.
- Mehta CR, Singh K and Selvan MM, 2011. A decision support system for selection of tractor-implement system used on Indian farms. Journal of terramechanics 48: 65-73.
- Parmar RS, McClendon RW and Potter WD, 1996. Farm machinery selection using simulation and genetic algorithms. American society of agriculture engineers 39: 1905-1909.
- Sogaard HT and Sorensen CG, 2004. A model for optimal selection of machinery sizes within the farm machinery system. Biosystems engineering 89: 13-28.
- Witney B, 1988. Choosing and using farm machines. John Wiley & sons Inc., New York.
- Yoo KH, 1985. Planning of irrigation distribution and application systems by mixed integer linear programming. Agriculture water management 10: 265-282.