اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال هشتم، شماره ۳۲، زمستان ۱۳۷۹

استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی چند دوره‌ای[1] در تعیین الگوی بهینه کشاورزان

دکتر جواد ترکمانی، عباس عبدشاهی*

چکیده

تعیین الگوی بهینه بهره‌برداریهای کشاورزی، اهمیت ویژه‌ای دارد. با استفاده از این الگو می‌توان حداکثر درامد حاصل از مصرف میزان معینی از نهاده‌ها و یا حداقل هزینه ایجاد ترکیب خاصی از محصولات را تعیین کرد. برنامه‌ریزی ریاضی از متداولترین روشهای دستیابی به الگوی بهینه است. با این حال، استفاده از نوع خطی متداول آن تنها می‌تواند برنامه بهینه یک سال زراعی را تعیین کند.

هدف اصلی این مطالعه معرفی کاربرد روشی در چارچوب برنامه‌ریزی ریاضی پویاست که می‌تواند تغییرات احتمالی مربوط به دوره‌های زمانی مختلف را در برنامه‌ریزی واحد

1. Multiperiod Linear Programming Method

* به ترتیب : دانشیار و رئیس بخش اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز و کارشناس ارشد اقتصاد کشاورزی

کشاورزی مورد توجه قرار دهد. آمار و اطلاعات مورد نیاز در این مطالعه، با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی، از کشاورزان استان فارس گردآوری شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در سال اول، به علت کمبود سرمایه، لوبیا که محصولی سرمایه‌بر است وارد الگو نشده است. در سال دوم نیز محصولات دیم از نظر میزان سرمایه به تعادل رسیده‌اند و زمین به عنوان عامل محدودکننده‌ای برای این گروه از محصولات درامده است؛ با این حال، محصولات آبی هنوز با مشکل کمبود سرمایه روبه‌رو هستند. همچنین در سال سوم، با افزایش سرمایه، مقداری از زمین به کشت لوبیا اختصاص می‌یابد و از سطح زیر کشت عدس آبی کاسته می‌شود. در این سال، سطح زیرکشت گندم آبی همچنان در حال افزایش است. در سال چهارم نیز سطح زیرکشت لوبیا، با کاهش میزان عدس آبی، همچنان افزایش می‌یابد. در این سال، سطح زیرکشت گندم آبی ثابت باقی می‌ماند. در سال پنجم، الگو به تعادل، می‌رسد. به دیگر سخن، سطح زیرکشت گندم آبی به میزان حداقل موردنیاز، یعنی یک هکتار، می‌رسد. افزون بر آن، عدس آبی از الگو حذف می‌شود و سطح زیرکشت لوبیا به ۲/۵ هکتار می‌رسد. در این حالت، محدودیت سرمایه از میان می‌رود و محدودیت زمین سبب ثابت ماندن سطح زیرکشت محصولات آبی می‌شود. نتایج این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که ارزش کنونی سود ناخالص محصولات وارد شده در الگو، در طول افق برنامه‌ریزی بیش از ۴۵ میلیون ریال است. نتایج تحلیل حساسیت نیز نشان می‌دهد که بازده برنامه‌ای این الگو انعطاف در خور ملاحظه‌ای دارد، به طوری که در دامنه وسیعی از تغییرات سود ناخالص، قیمتها و هزینه‌ها، بازده برنامه‌ای الگوی ارائه شده بدون تغییر باقی می‌ماند. نتایج این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که میزان سرمایه تنها نهاده‌ای است که تغییرات کمی در آن باعث تغییر تابع هدف می‌شود.

کلید واژه‌ها:

روش برنامه‌ریزی ریاضی چند دوره‌ای، الگوی بهینه، روش برنامه‌ریزی ریاضی پویا.

مقدمه

به دست آوردن ترکیبی از محصولات که بتواند بیشترین درامد را از مصرف هزینه ثابتی برای زارع داشته باشد و یا کمترین هزینه ایجاد یک درامد ثابت را دربر داشته باشد، اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از متداولترین ابزارهای اقتصاد کشاورزی برای رسیدن به این هدف، استفاده از برنامه‌ریزی خطی معمولی است. با این حال، با کمک این روش می‌توان مسئله را در یک دوره زمانی معین، مطالعه کرد. ولی مزرعه یا بنگاهی می‌تواند موفق باشد که بتواند تغییرات احتمالی آینده را نیز در برنامه‌ریزی خود وارد کند. برای نمونه ممکن است افزایش سرمایه‌گذاری در دوره بعد یا تغییر نرخ بهره‌وری، بر ترکیب بهینه تأثیر داشته باشد. روشی که برای حل این گونه مسائل ارائه شده است به مدل برنامه‌ریزی خطی چند دوره‌ای موسوم است. این مدل با نامهای گوناگونی همچون برنامه‌ریزی خطی پویا (Dynamic L.P.)، چند دوره‌ای (Multiperiod L.P.)، متوالی (Sequential L.P.) و یا میاندوره‌ای (Intertemporal L.P.) نیز شناخته می‌شود.

مدل برنامه‌ریزی خطی پویا برای نخستین بار از سوی لافتزگارد و هدی (۱۹۵۹) در کشاورزی مطرح شد. آنها این مدل را برای برنامه‌ریزی تولید و رشد مزرعه در طول زمان به کار بردند. این پژوهشگران، ضمن توجه به فعالیتهای مختلف تولید، هزینه‌های گوناگون زندگی را نیز در مدل منظور کردند و برنامه جامع ۸ ساله‌ای را با هدف حداکثر کردن ارزش حال درامدهای خالص آینده واحد کشاورزی ارائه دادند.

در الگوی برنامه‌ریزی ریاضی چند دوره‌ای، همانند مدلهای اقتصاد مهندسی، سطح قیمتها و ضرایب تکنیکی برای دوره مورد مطالعه ثابت فرض می‌شود. با این حال، می‌توان باتوجه به پیشبینیهای موجود در زمینه متغیرهای پیشگفته، آنها را به گونه‌ای مقتضی تغییر داد. در این روش برنامه‌ریزی، طول افق برنامه‌ریزی مجموعه‌ای از چندین دوره برنامه‌ریزی است. در طول این افق، سطح و نوع فعالیتها به طور معمول تغییر می‌کند. با این حال، در سالهای پایانی برنامه، الگوی بهینه به حالت تعادل می‌رسد و دیگر تغییری پدید نمی‌آید. دلیل این امر، عرضه سرمایه مورد نیاز، از سالهای اولیه به سالهای پایانی است. بنابراین، در سالهای پایانی برنامه، محدودیت

سرمایه کمتر می‌شود. با این حال، محدودیتهای منابع دیگر مانع افزایش سطح فعالیتها می‌شود و برنامه در سالهای پایانی به حالت تعادل و ثبات می‌رسد. هدف اصلی در این مطالعه استفاده از برنامه‌ریزی خطی چند دوره‌ای برای تعیین الگوی مطلوب زارعان شهرستان سپیدان استان فارس است. در منطقه پیشگفته سرمایه محدودکننده‌ترین عامل تولید است و درنتیجه، این عامل به عنوان متغیر رابط در نظر گرفته می‌شود.

جعفری (۱۳۷۶)، سرمایه‌گذاری در فناوری آب‌اندوز را در استان همدان مورد تحلیل اقتصادی قرار داد. آمار و اطلاعات مورد نیاز در مطالعه وی مربوط به سال زراعی ۱۳۷۴ـ۷۵ است که از ۱۱۷ بهره‌بردار در استان همدان، گردآوری شد. برای بررسی عوامل مؤثر بر انتخاب روش آبیاری، تکنیک برنامه‌ریزی خطی پویا به کار رفت. با انجام تحلیل حساسیت، تأثیر پارامترهای اقتصادی و غیراقتصادی بر گزینش روش آبیاری و بازدهی اقتصادی سرمایه‌گذاری ارزیابی شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در فناوری آب‌اندوز باعث گسترش سطح زیر کشت محصولات سودآوری همچون یونجه می‌شود. با این حال، کشت غلات به روش آبیاری بارانی مقرون به صرفه نیست، بویژه هنگامی که نرخ کارمزد در حال افزایش است، غلات به روش آبیاری سنتی وارد الگو می‌شوند. تغییرات قیمت محصولات کشاورزی، الگوی کشت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ولی افزایش هزینه‌های آب، بر انتخاب روش آبیاری بی‌تأثیر است و زارعان حساسیت اندکی نسبت به آن نشان می‌دهند.

ترکمانی و جعفری (۱۳۷۷)، تأثیر یارانه اعتبارات و نرخ کارمزد بانکی را در توسعه روش آبیاری بارانی بررسی کردند. آنها در پژوهش خود تعداد ۱۱۷ نفر از زارعان استان همدان را برگزیدند و از راه پرسشنامه با آنها مصاحبه حضوری انجام دادند. زارعان با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، به دو گروه تقریباً همگن تقسیم شدند، و برای بررسی هدفها و آزمون فرضیه‌ها نیز از تکنیک برنامه‌ریزی خطی پویا استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که کاهش یارانه سبب می‌شود غلات با روش آبیاری بارانی وارد الگو شوند و کشت آنها با این روش مقرون به صرفه نباشد. با افزایش تدریجی نرخ کارمزد تا سطح ۱۲ و ۱۵ درصد، تقریباً می‌توان گفت روش

آبیاری بارانی از الگو حذف می‌شوند.

ماتانگا و مارینو (۱۹۷۹)، برنامه‌ریزی آبیاری را باتوجه به الگوی زراعی به کمک برنامه‌ریزی خطی پویا انجام دادند. آنها در مطالعه خود برای محصولات سورگوم، ذرت و لوبیا، الگوی برنامه‌ریزی آبیاری تعیین کردند. هدف مطالعه آنها این بود که سود ناخالص در واحد سطح محصولات گوناگون، با توجه به محدودیتهای عرضه آب در دوره‌های مختلف، ظرفیت سیستم، زمین، نیروی کار و دیگر منابع حداکثر شود. افزون بر آن بااستفاده از تحلیل حساسیت، آثار تغییر قیمت محصولات بر الگوی زراعی بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که وقتی عرضه آب نامحدود است، ذرت کشت نمی‌شود؛ ولی در شرایط محدودیت عرضه آب، این محصول وارد الگو می‌شود.

رید و همکاران (۱۹۸۰)، یک مدل برنامه‌ریزی درازمدت را برای بررسی رفتار سرمایه‌گذاری در کشاورزی محصولات چند ساله به کار بردند. مطالعه آنها روی باغهای انگور و مرکبات انجام گرفت. در این مطالعه پارامترهای قیمت و فناوری به عنوان متغیرهای برونزا و الگوهای کشت بهینه محصولات و ترکیب تکنیکهای آبیاری به عنوان متغیرهای درونزا در نظر گرفته شد.

نتایج این مطالعه نشان داد که این گونه سرمایه‌گذاریها تحت هزینه‌های جاری آب، بویژه برای کشاورزانی که بیکارند، دارای سود است. اگر گزیدار بهتری برای گسترش کشاورزی در دسترس نباشد فناوری آب‌اندوز تحت هزینه‌های بالای آب هم جذاب است.

روش تحقیق

گردآوری آمار و اطلاعات مورد نیاز در این مطالعه، با به کارگیری روش نمونه‌گیری تصادفی از ۳۲ بهره‌بردار شهرستان سپیدان انجام گرفت. در هنگام تکمیل پرسشنامه‌ها مشاهده شد که مهمترین مشکل زارعان منطقه در زمان کاشت و برداشت محصولات، کمبود سرمایه است. بنابراین، در مطالعه حاضر مدل برنامه‌ریزی خطی چند دوره‌ای برای به دست آوردن الگوی

بهینه کشت در طول افق برنامه‌ریزی به کار رفت. طرحریزی مدل پیشگفته برای چندین دوره انجام گرفت. این دوره‌ها از راه متغیرهای رابط با یکدیگر ارتباط داده شدند. چگونگی عمل مدل بدین صورت است که ضمن مشخص شدن برنامه هر دوره، برنامه‌ای مطلوب نیز برای هماهنگی فعالیتهای کل دوره‌ها ایجاد می‌شود. هر دوره می‌تواند برحسب هفته، فصل، سال و مواردی از این دست باشد. مجموعه این دوره‌ها افق برنامه‌ریزی الگوی مورد نظر را ایجاد می‌کنند. بنابراین، ساختار ماتریس برنامه‌ریزی خطی پویا را می‌توان به نحو زیر نشان داد.

فعالیتها (دریافتهای خالص)			
	دوره اول		
محدودیتها	X	دوره دوم	
	Z	Y	دوره سوم

نمودار شماره ۱. الگوی برنامه‌ریزی پویا برای سه دوره

در نمودار شماره ۱ دوره‌های اول و دوم برنامه‌ریزی به وسیله بلوک x با یکدیگر ارتباط پیدا می‌کنند. دوره سوم نیز با دوره دوم از راه بلوک z و با دوره اول، به طور غیرمستقیم، به وسیله بلوکهای z و Y ارتباط می‌یابد. باید توجه کرد که حل دستی این گونه مدلها دشوار است و با افزایش تعداد دوره‌ها باید از رایانه‌هایی که ظرفیت به نسبت بالا دارند، بهره برد. مدلهای پیشگفته، از الگوی برنامه‌ریزی خطی در ساختار خود استفاده می‌کنند و با بهره‌گیری از روش سیمپلکس حل می‌شوند. فعالیتها و محدودیتهای موجود در هر دوره، برای تصمیمگیری مناسب از یک دوره به دوره بعد انتقال می‌یابند یا تکرار می‌شوند. مدلهای برنامه‌ریزی خطی پویا بر مطالعه ساختار و استفاده بهینه از منابع مختلف (بویژه سرمایه) در طول زمان متمرکز است و به همین دلیل، به آنها صفت پویا اطلاق می‌شود. در این نوع برنامه‌ریزی، عامل زمان و روابط میان

متغیرها و همچنین محدودیتها و هدف برنامه، به طور همزمان در نظر گرفته و پاسخ مطلوب ارائه می‌شود.

چنانکه مشاهده می‌شود، این نوع مدلها بیشتر از یک دوره را دربر مـی‌گیرد و عـامل سرمایه‌گذاری، دوره‌ها را به یکدیگر ارتباط می‌دهد. به دیگر سخن، در این مدلها سرمایه را می‌توان از یک دوره به دوره بعد انتقال داد. بدین ترتیب هر فعالیت یک ضریب مثبت (کـل هزینه‌های متغیر مربوط به آن) برای دوره k و یک ضریب منفی برای دوره k + 1 در محدودیت سرمایه به خود اختصاص می‌دهد. برای نمونه چنانچه یک کیلو ذرت به ۵ واحد سرمایه برای کاشت نیاز داشته باشد و در همین سال ۲۰ واحد بازده خالص تولید کند در این حالت، کشاورز در سال دوم به ۲۵ = ۵ + ۲۰ واحد سرمایه دسترسی می‌یابد. این کشاورز اگر ۵ واحد سرمایه اولیه را از بانک به صورت وام گرفته و ناگزیر به پرداخت آن باشد، بنابراین، عرضه سرمایه در سال بعد همان ۲۰ واحد خواهد بود. با این حال، چون به میزان ۲۵ واحد سرمایه به محدودیت سرمایه کل در سال دوم افزوده می‌شود، عدد ۲۵- به عنوان ضریب ذرت تولیدی در سال اول، برای محدودیت سرمایه در سال دوم تعیین می‌شود. افزون بر این، هزینه‌های ثـابت و مخـارج زندگی یا اقساط بانکی نیز می‌تواند به عنوان محدودیتی اجباری وارد مدل شود یا به صورت دسته‌جمعی از سرمایه در دسترس همان سال کسر شود.

در این مدلها، تابع هدف به طور معمول حداکثر می‌شود. در مدل برنامه‌ریزی خطی پویا، تابع هدف را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

حداکثر کنید:

$$Z = C_1^1X_1^1 + C_2^1X_2^1 + \ldots + C_n^1X_n^1 + C_1^2X_1^2 + C_2^2X_2^2 + \ldots + C_n^2X_n^2 + \ldots + C_1^kX_1^k + \ldots + C_n^kX_n^k + \ldots + C_1^tX_1^t + \ldots + C_n^tX_n^t$$

که Z حداکثر ارزش حال درامدهای آینده و C_j^k بازده برنامه‌ای فعالیت jام در سال kام است. C_j^k با استفاده از رابطه زیر به ابتدای سال اول آورده شده است:

$$C_j^k = C_j^{-k}/(1+r)^k$$

در فرمول بالا C_j^{-k} بازده برنامه‌ای فعالیت zام در سال اول، C_j^{k} سود ناخالص هر محصول در سال kام، r نرخ تنزیل و k سال مورد نظر است. بنابراین، در مدل بالا ارزش حال درامدهایی که در دوره‌های مختلف برنامه‌ریزی به دست می‌آید حداکثر می‌شود.

به دلیل وجود دوره‌های مختلف در این نوع از مدلهای برنامه‌ریزی، در قسمت محدودیتها باید برای هریک از این دوره‌ها، یک سری روابط به صورت زیر تعیین شود:

در دوره اول محدودیت به شکل زیر است:

$$a_{11}^{1} X_1^{1} + a_{12}^{1} X_2^{1} + \dots + a_{1n}^{1} X_n^{1} \le S_1^{1}$$

$$a_{21}^{1} X_1^{1} + a_{22}^{1} X_2^{1} + \dots + a_{2n}^{1} X_n^{1} \le S_2^{1}$$

$$a_{i1}^{1} X_1^{1} + a_{i2}^{1} X_2^{1} + \dots + a_{in}^{1} X_n^{1} \le S_i^{1}$$

$$a_{m1}^{1} X_1^{1} + a_{m2}^{1} X_2^{1} + \dots + a_{mn}^{1} X_n^{1} \le S_m^{1}$$

که در آن S_1^{1} محدودیت سرمایه است و سرمایه در دسترس را دربر می‌گیرد. S_2^{1} تا S^{I}_{m-1} محدودیت دیگر منابع را نشان می‌دهد و S_m^{1} هزینه‌های ثابت است که هزینه‌های زندگی، اقساط بانکی و مواردی از این دست را دربر می‌گیرد. a_{ij}^{k} نیز میزان نهاده iام مورد نیاز را برای فعالیت zام در سال kام نشان می‌دهد. همچنین X_j^{k} فعالیت zام در سال kام و S_j^{k} مقدار عرضه نهاده iام در سال kام است. محدودیتهای کلی برای برنامه‌ریزی خطی چند دوره‌ای نیز به شرح زیر است:

$$-a_{11}^{k-1}X_1^{k-1} -a_{12}^{k-1}X_2^{k-1}-\dots-a_{1n}^{k-1}X_n^{k-1}+a_{11}^{k} X_1^{k}+a_{12}^{k} X_2^{k}+\dots+a_{1n}^{k} X_n^{k} \le S_1^{k}$$

$$\vdots \qquad \vdots \qquad \vdots \qquad \vdots$$

$$a_{i1}^{k} X_1^{k} + a_{i2}^{k} X_2^{k} + \dots + a_{in}^{k} X_n^{k} \le S_i^{k}$$

$$\vdots \qquad \vdots \qquad \vdots$$

$$a_{m1}^{k} X_1^{k} + a_{m2}^{k} X_2^{k} + \dots + a_{mn}^{k} X_n^{k} \le S_m^{k}$$

که در آن S_1^k مقدار سرمایه در سال kام و S_2^k تا S^k_{m-1} مقدار عرضه دیگر منابع است که میان دوره‌ها انتقال داده نمی‌شود. S_m^k نیز هزینه ثابت کل را نشان می‌دهد و a_{1j}^{k-1} مقدار سرمایه‌ای است که از سال قبل به سرمایه سال kام افزوده شده است. ضرایب محدودیت آخری به جز در حالت $n = j$ برابر صفر است.

به باور هیزل و نورتن (۱۹۸۶) در تدوین الگوهای برنامه‌ریزی خطی پویا باید به چند مسئله کلیدی توجه کرد: نخست اینکه، در مورد تعداد دوره‌های الگو لازم است تصمیمگیری شود. در این زمینه باید توجه کرد که اگر تعداد دوره‌ها زیاد شود بر ابعاد الگو به سرعت افزوده می‌شود. در این حالت حل کردن آنها مشکل است ولی به پاسخهای متعادل نزدیکتر می‌شود. دوم اینکه، باید به ارزش پایانی منافع و هزینه‌های سرمایه‌گذاری، که در آن سوی افق برنامه‌ریزی، جریانهای درامدی آنها ادامه پیدا می‌کند، توجه کرد. در این زمینه می‌توان برای درامدهای پیشگفته به محاسبه ارزش تنزیل شده آنها پرداخت و آنها را به طور مستقیم در ردیف تابع هدف آورد. سوم اینکه، باید نرخ تنزیل مناسبی انتخاب شود. در این زمینه، اگر نرخ تنزیل بالا باشد، ارزش حال درامدهای سرمایه‌گذاری با دوره‌های طولانی کوچک است. و از این رو احتمال اندکی دارد که پاسخ همان پاسخ بهینه باشد. نرخ تنزیل یا نرخ بهره بانکی ممکن است به جوابهای غیرواقعی منجر شود. برای رفع چنین مشکلی می‌توان از نرخ تنزیل متداول در بازار یا هزینه فرصت سرمایه استفاده کرد.

برنارد و نیکس (۱۹۷۳) دو مشکل را در زمینه کاربرد این مدل بیان کرده‌اند: نخست اینکه، این مدلها انتظارات آینده را با قطعیت، بهینه می‌کنند؛ اگر در طی زمان شرایط به طور غیرمنتظره‌ای تغییر کند، با کمک این مدل توانایی پیشبینی کردن وجود ندارد. دوم اینکه با افزایش تعداد دوره‌ها ابعاد الگو به طور فزاینده‌ای بزرگ می‌شود؛ بنابراین، به رایانه‌هایی نیاز است که ظرفیت بالایی دارند. با این حال می‌توان از تسهیلات رایانه‌های کنونی و ماتریس‌بندی مناسب برای از میان بردن اشکالات پیشگفته استفاده کرد.

نتایج و بحث

در این مطالعه نخست برای تمامی محصولات کشت شده در منطقه، محاسبه هزینه‌های متغیر انجام گرفت؛ سپس این هزینه‌ها از مقدار درامد هر محصول کسر و سود ناخالص برای هر محصول در واحد سطح به شکل زیر محاسبه شد:

$$GM = TR - TVC$$

در رابطه بالا GM سود ناخالص هر محصول در هکتار، TR درامد هر محصول در هکتار (دربر گیرنده محصولات اصلی و فرعی) و TVC هزینه‌های متغیری همچون هزینه‌های کود، بذر، نیروی کار، سم، آب، آماده‌سازی زمین و هزینه‌های برداشت و حمل محصول است.

در منطقه مورد مطالعه سرمایه، آب و زمین از عوامل اصلی محدود کننده تولید به شمار می‌آیند. در این منطقه، محصولات زراعی به دو روش آبی و دیم کشت می‌شوند. در زراعت آبی، محصولات لوبیا، گندم آبی و عدس آبی جزء محصولات تولیدی هستند و در زراعت دیم نخود، گندم و جو کشت می‌شوند؛ بنابراین، محدودیت زمین به دو صورت آبی و دیم است. در منطقه مورد مطالعه برای رعایت تناوب، گندم و جو آبی یا دیم در مقدار معینی از زمین در دو سال پیاپی کشت نمی‌شود. مقداری از محصول گندم در منطقه یاد شده به دلیل وجود نداشتن نانوایی به خودمصرفی اختصاص می‌یابد. بنابراین برای رفع این نیاز، باید هرساله مقداری از زمین در دسترس را به کشت گندم اختصاص داد. با بررسی پرسشنامه‌ها، میزان خودمصرفی کشاورزان از گندم آبی و دیم به دست آمد و در مدل منظور شد. بررسی پرسشنامه‌ها نشان داد که عملکرد در هکتار بیشتر محصولات، در منطقه مورد مطالعه، از متوسط عملکرد کل کشور کمتر است. در این مطالعه، برنامه‌ریزی برای زارعان منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی چند دوره‌ای، در یک دوره پنجساله، انجام شد.

تابع هدف در مدل به کار رفته به صورت زیر است:

حداکثر شود:

$$Z = C_1^1X_1^1 + C_2^1X_2^1 + C_3^1X_3^1 + C_4^1X_4^1 + C_5^1X_5^1 + C_6^1X_6^1 +$$

$$C_1^2X_1^2 + C_2^2X_2^2 + C_3^2X_3^2 + C_4^2X_4^2 + C_5^2X_5^2 + C_6^2X_6^2 +$$
$$C_1^3X_1^3 + C_2^3X_2^3 + C_3^3X_3^3 + C_4^3X_4^3 + C_5^3X_5^3 + C_6^3X_6^3 +$$
$$C_1^4X_1^4 + C_2^4X_2^4 + C_3^4X_3^4 + C_4^4X_4^4 + C_5^4X_5^4 + C_6^4X_6^4 +$$
$$C_1^5X_1^5 + C_2^5X_2^5 + C_3^5X_3^5 + C_4^5X_4^5 + C_5^5X_5^5 + C_6^5X_6^5$$

در این تابع X_1^1 تا X_1^5 سطح زیر کشت گندم آبی، X_2^1 تا X_2^5 سطح زیر کشت گندم دیم، X_3^1 تا X_3^5 سطح زیر کشت نخود دیم، X_4^1 تا X_4^5 سطح زیر کشت عدس آبی، X_5^1 تا X_5^5 سطح زیر کشت لوبیا و X_6^1 تا X_6^5 سطح زیر کشت جو دیم در طول افق برنامه‌ریزی است. C_1^1 تا C_6^5 نیز ارزش کنونی سود ناخالص محصولات مورد بررسی است. در این مطالعه نرخ تنزیل ۲۰ درصد، یعنی بالاترین نرخ بهره بانکی، برای تنزیل کردن سود ناخالص در نظر گرفته شده است.

مدل، دربرگیرنده محدودیتهای مختلفی همچون سرمایه، زمین، آب، تناوب و خودمصرفی است. در محدودیت سرمایه، نخست سرمایه در دسترس کشاورزان، از کسر هزینه‌های مصرفی خانوار و بدهیهای زارع از درامد سال پیش، تعیین شد. میزان این محدودیت در منطقه مورد مطالعه به طور متوسط، ۲۵۲۶۷۴ تومان محاسبه شده است. در ردیف مربوط به محدودیت سرمایه، ضریب متغیر سطح زیر کشت نشاندهنده هزینه متغیر هر هکتار از محصول است. در محدودیت آب، که برحسب ساعت وارد شده است، میزان آب در دسترس زارع به عنوان محدودیت آب و زمان مورد نیاز برای آبیاری هر هکتار از محصولات آبی به عنوان ضریب سطح زیر کشت، در ردیف مربوط درنظر گرفته شد. میزان کل آب قابل استفاده زارع، در زمانی که با محدودیت آب روبه‌روست، برابر ۳۶۸ ساعت است. محدودیت زمین به دو صورت آبی و دیم وارد الگو شده است. میزان زمین در دسترس آبی و دیم، به ترتیب ۳/۵ و ۲۶/۶ هکتار است. افزون بر این، محدودیتهای مربوط به تناوب و خودمصرفی نیز درنظر گرفته شد.

محدودیتهای پیشگفته، در تمام دوره‌ها تکرار و ضرایب آنها نیز بدون تغییر منظور شده است. با این حال، در ردیف مربوط به محدودیت سرمایه، هر ساله مقدار سود ناخالص محصولات کشت شده در دوره قبل، پس از کسر مخارج خانوار و بدهیهای زارع، به عنوان سرمایه برای

دوره بعد در نظر گرفته شد. در ردیف مربوط به محدودیت سرمایه نیز سود ناخالص محصولات دوره قبل وارد شده است؛ بنابراین، سرمایه سال اول در تمام دوره‌ها تکرار می‌شود.

با توجه به مطالب بالا، محدودیتها را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

$$a_{11} X_1^1 + a_{12} X_2^1 + ... + a_{16} X_6^1 \leq S_1^1$$

$$a_{21} X_1^1 + a_{22} X_2^1 + ... + a_{26} X_6^1 \leq S_2^1$$

$$a_{51} X_1^1 + a_{52} X_2^1 + ... + a_{56} X_6^1 \leq S_5^1$$

که در آنها a_{11} تا a_{56} ضرایب محدودیتها در سال اول و S_1^1 تا S_5^1 میزان محدودیتها در این دوره است. در دوره بعد، محدودیتهای S_2^1 تا S_5^1 تکرار می‌شود و تنها محدودیت شماره یک (S_1^1) تغییر می‌کند. بدین منظور، سود ناخالص محصولات سال قبل به محدودیت سرمایه افزوده می‌شود. در سال دوم محدودیت سرمایه به صورت زیر است:

$$- f_{11} X_1^1 - f_{12} X_2^1 - ... - f_{16} X_6^1 + a_{11} X_1^2 + ... + a_{16} X_6^2 \leq S_1^1$$

که در آن f_{11} تا f_{16} میزان سرمایه انتقال یافته را از دوره اول به دوره دوم نشان می‌دهد و محدودیتهای دیگر نیز مانند سال اول است.

جدول شماره ۱ نشاندهنده سود ناخالص، میزان سرمایه و آب مورد نیاز برای هر هکتار از محصولات مختلف است. در این مطالعه، با توجه به آمار و اطلاعات به دست آمده از پرسشنامه‌ها، میزان سود ناخالص منتقل شده به سال بعد به عنوان سرمایه برای محصولات گندم آبی و دیم، نخود دیم، عدس آبی، لوبیا و جو به ترتیب برابر ۲۴، ۲۹، ۱۳، ۸، ۶۷ و ۲۹ درصد سود ناخالص کل درنظر گرفته شد. نتایج به دست آمده از حل الگوی این مطالعه در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول شماره ۱. سود ناخالص هر هکتار و میزان سرمایه و آب مورد نیاز در هکتار

نام محصول	سود ناخالص (تومان)	میزان سرمایه در واحد سطح (تومان)	میزان آب مورد نیاز در هکتار (تومان)
گندم آبی	۱۳۷۹۴۲	۱۷۶۴۱	۲۴
گندم دیم	۷۳۸۶۴	۱۴۲۲۳	-
نخود دیم	۲۹۳۹۴	۱۵۶۲۴	-
عدس آبی	۵۰۶۲۵	۲۱۳۵۰	۲۴
لوبیا	۱۷۵۹۹۸	۱۶۲۷۸۵	۲۴
جو	۷۱۵۹۹	۱۶۵۴۲	-

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول شماره ۲. الگوی بهینه کشت در طول افق برنامه‌ریزی (هکتار)

محصول دوره	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	سال پنجم
گندم آبی	۱/۰۰	۱/۰۴۵	۱/۱۷	۱/۱۷	۱/۰۰
گندم دیم	۶/۴۴	۱۳/۳	۱۳/۳	۱۳/۳	۱۳/۳
نخود دیم	۶/۴۴	۱۳/۳	۱۳/۳	۱۳/۳	۱۳/۳
عدس آبی	۲/۰۰	۲/۰۹	۱/۵۶	۰/۴۵۴	-
لوبیا	-	-	۰/۷۷	۱/۸۸	۲/۵
جو	-	-	-	-	-

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در سال اول، به علت کمبود سرمایه، لوبیا که محصولی سرمایه‌بر است وارد الگو نمی‌شود. همچنین در سال دوم محصولات دیم از نظر میزان سرمایه به تعادل می‌رسند و زمین نیز به عنوان عامل محدودکننده برای این گروه از محصولات درمی‌آید. با

این حال محصولات آبی هنوز با مشکل کمبود سرمایه روبه‌رویند؛ بنابراین، باز هم لوبیا وارد الگو نمی‌شود ولی سطح زیر کشت دو محصول آبی دیگر، یعنی گندم و عدس آبی، افزایش می‌یابد.

در سال سوم، با افزایش سرمایه، مقداری از زمین به کشت لوبیا اختصاص داده و از سطح زیر کشت عدس آبی کاسته می‌شود. ولی به سطح زیر کشت، گندم آبی افزوده می‌شود.

در سال چهارم، سطح زیر کشت لوبیا، با کاهش سطح زیر کشت عدس آبی، همچنان افزایش می‌یابد. در این سال، سطح زیر کشت گندم آبی ثابت باقی می‌ماند. در سال پنجم نیز الگو به تعادل می‌رسد. به دیگر سخن، سطح زیر کشت گندم آبی به میزان حداقل مورد نیاز، یعنی یک هکتار می‌رسد و عدس آبی از الگو حذف می‌شود. سطح زیر کشت لوبیا نیز به ۲/۵ هکتار می‌رسد و محدودیت سرمایه از میان می‌رود و همچنین مقدار زمین زیر کشت محصولات آبی محدود می‌شود. نتایج این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که ارزش کنونی سود ناخالص محصولات وارد شده در الگو در طول افق برنامه‌ریزی برابر ۴۶۴۰۷۹۴ تومان است.

تابع هدف در این مطالعه تحت تأثیر عواملی همچون مقدار منابع و سود ناخالص قرار دارد. بنابراین، تجزیه و تحلیل حساسیت این تابع در هریک از موارد پیشگفته سودمند است (جدولهای شماره ۳ و ۴). نتایج این تجزیه و تحلیل همچنین نشان می‌دهد که بازده برنامه‌ای انعطاف‌پذیری درخور ملاحظه‌ای دارد، به طوری که در دامنه وسیعی از تغییرات سود ناخالص، قیمتها و هزینه‌ها، بازده برنامه‌ای الگوی ارائه شده بدون تغییر می‌ماند. جدول شماره ۴ نیز نشان می‌دهد که در دامنه وسیعی از تغییرات عوامل تولید، بازده برنامه‌ای بدون تغییر می‌ماند. میزان سرمایه تنها منبعی است که تغییرات اندکی در آن باعث تغییر تابع هدف می‌شود. برای نمونه چنانچه میزان سرمایه در سال اول به ۲۴۹۴۹۸ تومان کاهش یابد توابع هدف نیز کاهش خواهد یافت.

جدول شماره ۳. تحلیل حساسیت ضرایب تابع هدف

دوره	سال اول		سال دوم		سال سوم		سال چهارم		سال پنجم	
محصول	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا
گندم آبی	$-\infty$	۱۲۶۳۴۲	۳۳۱۸۲	۳۹۳۷۰	۷۹۷۳۹	$+\infty$	۳۲۵۲۰	$+\infty$	$-\infty$	۷۰۷۲۴
گندم دیم	۵۵۹۲۸	$+\infty$	۵۷۵۲۷	$+\infty$	۳۸۸۵۱	۴۲۸۰۴	۳۳۵۳۷	۵۸۲۸۸	۲۸۷۷۴	۱۲۹۶۸۳
نخود دیم	۱۸۸۷۰	۳۶۱۵۷	۱۶۳۸۴	۸۱۹۱۹	-۲۸۱۸۰	۱۰۷۱۰	-۲۲۸۶۳	۳۶۲۲۰	-۲۹۶۸۴	۲۹۶۸۴
عدس آبی	۸۸۷۶	۴۷۸۷۴	۳۸۵۱	۳۹۲۲۹	۲۹۲۶۲	۶۰۳۲۳	۲۴۱۷۷	۶۶۹۹۰	$-\infty$	۷۰۷۲۴
لوبیا	$-\infty$	۴۷۷۶۰۴	$-\infty$	۴۱۱۵۵۱	-۱۳۷۹	۱۰۲۰۲	۲۴۴۱	۸۵۱۰	۵۵۴۳۵	$+\infty$
جو	$-\infty$	۷۹۶۲۸	$-\infty$	۰۵۲۲	$-\infty$	۴۵۳۲۹	$-\infty$	۳۶۶۱۲	$-\infty$	۲۹۶۸۴

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول شماره ۴. تحلیل حساسیت محدودیتها

دوره	سال اول		سال دوم		سال سوم		سال چهارم		سال پنجم	
محدودیت	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا
سرمایه	۲۴۹۹۴۸	۲۶۱۱۳۷	۲۴۹۹۳۰	۲۵۹۹۸۷	۱۹۵۳۷۷	۳۳۲۴۱۵	۲۰۶۵۰۳	۳۱۶۹۷۱	۲۱۵۴۷۴	$+\infty$
زمین دیم	۱۲/۸	$+\infty$	۲۶/۱	۲۶/۷	۲۶/۶	$+\infty$	۲۶/۶	$+\infty$	۲۶/۶	$+\infty$
زمین آبی	۳	$+\infty$	۳/۱۳	$+\infty$	۳/۵	۶/۱۳	۳/۵	۱۱/۳	۳/۵	۱۵/۸
آب	۷۲	$+\infty$	۷۵	$+\infty$	۸۴	$+\infty$	۸۴	$+\infty$	۸۴	$+\infty$

مأخذ: یافته‌های تحقیق

منابع

۱. جعفری، ع (۱۳۷۶)، تحلیل اقتصادی سرمایه‌گذاری در تکنولوژی آب‌اندوز مطالعه موردی در استان همدان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.

۲. ترکمانی، ج و ع. جعفری (۱۳۷۷)، تأثیر یارانه اعتبارات و نرخ کارمزد بانکی در توسعه روش آبیاری بارانی، دومین کنفرانس اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی کرج.

۳. هیلیر، ف.س و ج.ج. لیبرمن (۱۳۷۴)، برنامه‌ریزی خطی، ترجمه محمد مدرس و اردلان آصف وزیری، انتشارات نشر تندر، تهران.

4. Bernard, C.S. and J.S, Nix (1973), Farm Planning and Control, Cambridge, England.

5. Loftsgard, L.D. and E, Heady (1959), Application of dynamic programming models for optimum farm and home plans. *Journal of Farm Economics*, No. 41: 51-62.

6. Mallawaarachchi, T.N. and N, Hall, and B, Philips (1992), Investment in water saving technology on horticultural farms. *Review of Marketing and Agricultural Economics*, No. 60: 191-204.

7. Matanga, G.B. and M.A, Marino (1979), Irrigation planning: Cropping pattern. *Water Resources Research*, No. 15: 672-678.