

مدیریت بهینه کشت محصولات زراعی دشت فیروزآباد در راستای پایداری منابع آب و خاک با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی فازی

فاطمه فتحی^{۱*}، منصور زیبایی^۲

تاریخ دریافت: ۹۸/۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۹/۴/۲۵

۱- استادیار بخش اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲- استاد بخش اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

مسئول مکاتبه: Email: f.fathi@shirazu.ac.ir

چکیده

اهداف: منابع آب و خاک از مهمترین منابع کشاورزی هستند که حفاظت از آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در این پژوهش تلاش شده است با اهداف چندگانه، الگوی کشت همسو با کشاورزی پایدار برای دشت فیروزآباد تعیین گردد. هدف اقتصادی این پژوهش حداکثرسازی سود و اهداف زیست‌محیطی شامل کاهش آب مصرفی، کودشیمیایی و آفت‌کش‌ها در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها: با توجه به این که نبود قطعیت جزء جدایی ناپذیر تصمیم‌گیری در بخش کشاورزی به شمار می‌آید، لذا این نااطمینایی با الگوی فازی در این تحقیق تعدیل شد. شرایط کم آبیاری و تنش آبی و همچنین اتخاذ سیستم آبیاری مناسب با متغیرهای متفاوت تصمیم‌وار مدل شدند و با در نظر گرفتن حد بالا و پایین اهداف به شکل فازی و نه اعداد قطعی شرایط واقعی دشت فیروزآباد در سال نرمال و کم آبی مدلسازی شد.

یافته‌ها: الگوی بهینه کشت با استفاده از برنامه‌ریزی فازی برای سال‌های دارای شرایط نرمال و کم آبی ارائه گردید. بگونه‌ای که درجه عضویت هر سه هدف تقریباً به یک میزان ایجاد رضایتمندی را نشان دادند. الگوهای کشت ارائه شده در شرایط کم آبی شامل گندم ۲۵، گندم ۴۹، جو ۴۴، ذرت ۳، چغندر قند ۴۸ و برنج می‌باشد و همین محصولات با سطوح مختلف کم آبیاری در سال نرمال پیشنهاد شد. نتایج حاکی از آن است که الگوی ارائه شده با میانگین ده ساله دشت فیروزآباد تفاوت آشکاری ندارند و محصولات انتخابی بر اساس سیستم‌های مختلف آبیاری و تنش آبی انتخاب شدند.

نتیجه‌گیری: جهت همسویی با کشاورزی پایدار و حفاظت از منابع آب و خاک، لزوماً نیازی به تغییر الگوی کشت منطقه نخواهد بود و با انتخاب نوع سیستم آبیاری مناسب، زمان آبیاری و تغییر سهم سطوح زیرکشت دشت به محصولاتی متناسب با الگوی ارائه شده توسط مدل فازی می‌توان به کشاورزی پایدار دست یافت.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی فازی، دشت فیروزآباد، کشاورزی پایدار، منبع آب، منبع خاک

Optimal Crop Pattern Management in Firozabad Plain According to Water and Soil Sustainability by Applying Fuzzy Mathematical Programming

Fatemeh Fathi^{1*}, Mansour Zibaei²

Received: May 15, 2019 Accepted: July 15, 2020

1-Assist. Prof., of Agricultural Economics, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

2- Prof., of Agricultural Economics, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

*Corresponding Author Email: f.fathi@shirazu.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Water and soil resources protecting in agriculture has particular importance. This study attempts to determine optimal crop patterns in Firozabad plain taking to account agriculture sustainability with three objectives. For this purpose, utilizing Fuzzy mathematical programming, profit-maximizing as the economic goal and reduction in water, fertilizer and pesticides uses as environmental goals were considered.

Materials and Methods: Deficit irrigation and water stress conditions, as well as the adoption of an appropriate irrigation system, was modeled with different decided variables to show the actual conditions of the plain in normal and drought years, by considering the upper and lower targets in the fuzzy model.

Results: Results showed that all the three objectives contribute approximately the same levels of satisfaction and there are no clear differences between crop patterns with and without dry farming. In the case of drought years, wheat 25, wheat 49, barley 44, corn 3, sugar beet 48 and rice, and the same products with different levels of deficit irrigations were recommended in the normal year. Optimal crop pattern was determined and comparing it with the average crop pattern in the past 10-year in the region.

Conclusion: To align with sustainable agriculture and protecting water and soil resources in Firozabad plain, it is not necessary to change the crop pattern of the area. The main difference is due to choose of an irrigation system, irrigation time, and changing the share of plains cultivation levels to products suitable.

Keywords: Fuzzy Mathematical Programming, Firozabad Plain, Sustainable Agriculture, Water Resource, Soil Resource

مقدمه

در حالی است که بشر از مدت‌ها پیش به جای استفاده از درآمدهای حاصل از سرمایه‌های طبیعی، اصل آن‌ها را مصرف کرده است. آب و خاک به عنوان دو سرمایه‌ی طبیعی جدایی ناپذیر رویش گیاهان هستند و نگاه‌ها به

منابع طبیعی چون آب، خاک و انرژی جزو منابع محدود هستند و تولید دوباره و احیاء این منابع، بسیار پرهزینه بوده و طولانی‌تر از حفاظت آن‌ها می‌باشد. این

بهره‌گیری از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی یک هدفه و چندهدفه کسری انجام داده و با محاسبه و مقایسه کارایی اقتصادی و اجتماعی هر واحد مصرف آب کشاورزی در سناریوهای مختلف، مناسب‌ترین الگوهای کشت منطقه با توجه به منابع موجود آب و خاک و نیروی انسانی تعیین و معرفی نمودند. لیکن در بررسی پایداری، حداکثر کردن یک هدف مدنظر نمی‌باشد بلکه از آنجایی که پایداری کشاورزی در برگیرنده ابعاد مختلفی می‌باشد، اهداف پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی نیز در نظر گرفته می‌شود و کاهش اثرات زیانبار زیست‌محیطی به‌عنوان اهدافی در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار معرفی شده‌اند (کهنسال و زارع ۲۰۰۸). از این‌رو روش‌های چند هدفه قادرند به تجزیه و تحلیل روابط متعارض میان اهداف مختلف پردازند. اما از آنجایی که در دنیای واقعی داشتن اهداف و محدودیت قطعی به‌ندرت اتفاق می‌افتد و با شرایط عدم قطعیت مواجه است، استفاده از برنامه‌ریزی فازی از جایگاه بالاتری برخوردار است. برنامه‌ریزی هدف با استفاده از تکنیک فازی و با اهداف متضاد در مطالعات مختلف چون بلین (۱۹۷۴) و سیسکوس در (۱۹۸۲) و سیو و ساکاووا در سال (۱۹۸۵) آغاز شد. بند و سیمونویک (۲۰۰۰) به تخصیص آب در شرایط عدم اطمینان با ارایه رتبه‌بندی بین گزینه‌های مختلف تصمیم‌گیری آبیاری پرداختند. محمدی و همکاران (۲۰۰۹)، به تعیین الگوی بهینه کشت با در نظر گرفتن هدف حداقل نمودن آب مصرفی، ریسک و حداکثر کردن بازده برنامه‌ای با استفاده از برنامه‌ریزی فازی^۱ در منطقه مرودشت پرداختند. همایونی‌فر و رستگاری‌پور (۲۰۱۰) تخصیص آب را برای سد لتیان با استفاده از روش فازی انجام دادند. پرهیزکاری و همکاران (۲۰۱۵) کم آبیاری توام با کاهش آب در دسترس را راهکاری برای حفاظت منابع آب در دشت قزوین توصیه نمودند. مظفری (۲۰۱۶) در مطالعه ارزیابی اثرات سیاست‌گذاری آب آبیاری بر

این دو مقوله بخصوص آب از جنبه حیاتی برای بخش کشاورزی بویژه در شرایط اقلیمی ایران اهمیت بالایی دارد. حفاظت از منابع آب و خاک می‌تواند کشاورزی پایدار را ایجاد می‌نماید. چرا که بحث پایداری کشاورزی مفاهیم چندگانه‌ای را پوشش می‌دهد. بگونه‌ای که در یک تعریف کلی، پایداری کشاورزی سه جنبه‌ی اساسی حفاظت، کارآمدی، تعادل و پایداری (کورنلیسن ۲۰۰۳) را در بر دارد. بنابراین شرط اولیه پایداری حفاظت است که نقطه آغازین و اساسی در پایداری محسوب می‌شود و حفاظت از منابع خود دارای دو سویه اساسی شامل نگهداری منابع و جلوگیری از تخریب محیط و همچنین بطور همزمان احیا و باروری منابع است. در بخش کشاورزی که به عنوان بزرگترین مصرف‌کننده آب محسوب می‌شود احیاء منابع آب پرهزینه بوده بنابراین حفاظت از منابع آب نقش ویژه‌ای در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری دارد. دستیابی به کشاورزی پایدار طبق تعریف بیان شده با در نظر گرفتن یک هدف مهیا نمی‌شود و نیازمند اهداف چندگانه می‌باشد. سیاست‌های مختلفی از جمله تغییر و تعیین قیمت آب کشاورزی در جهت مدیریت پایدار منابع آب مورد بررسی قرار گرفته است از جمله عزیزی (۲۰۰۱) که نشان داد که سیاست افزایش قیمت آب کشاورزی در استفاده پایدار از آب بی‌اثر بوده است. همچنین معیارهای مختلفی در محاسبه شاخص پایداری در نظر گرفته شده است. بریم‌نژاد و یزدانی (۲۰۰۴) شاخص پایداری را با نسبت درآمد ناخالص به میزان آب مصرفی تحت سناریوهای مختلف راندمان آبیاری کمی نمودند. امینی فسخودی و نوری (۲۰۱۲) در زمینه پایداری دو معیار نسبی بیشترین عایدی اقتصادی و ایجاد بیشترین فرصت‌های اشتغال به ازای هر واحد مصرف آب کشاورزی، به عنوان شاخص‌هایی برای پایداری تعریف نمودند. بهینه‌سازی نسبت‌های سود خالص به مصرف آب و ایجاد اشتغال به مصرف آب، با

¹ -Fuzzy Programming

می‌نماید فعالیت کشاورزی هستند که انواع آلودگی را وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی نموده و تخریب محیط زیست را ایجاد می‌نمایند. این امر ناشی از استفاده از انواع کودها و مواد شیمیایی جهت افزایش بازده تولید می‌باشد و ارتباط مستقیمی بین میزان مواد شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی و شدت آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی وجود دارد. در بین دشت‌های استان فارس دشت فیروزآباد جهت بررسی پایداری کشاورزی انتخاب شد چرا که سطح آب زیرزمینی دشت مواجه با نوسانات فصلی و سالانه بوده و در مجموع روند نزولی داشته است بطوری که با توجه به برداشت ۱۸۷/۳۱۴ میلیون مترمکعب از سفره‌های دشت، تغییر حجم ذخیره منفی (۲۱/۱۵۲- میلیون مترمکعب) بوده است (پولادیان ۲۰۰۷). هدف از انجام مطالعه کنونی ارائه الگوی کشت مناسب در راستایی دستیابی به مرحله پیشنهاد ایجاد پایداری یعنی حفاظت و مدیریت بهینه آب و خاک در دشت فیروزآباد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جهت برنامه‌ریزی و جمع‌آوری اطلاعات در مطالعه کنونی اراضی دشت فیروزآباد که از آب زیرزمینی استفاده می‌کنند در نظر گرفته شد چرا که رودخانه فیروزآباد در سال‌های اخیر به دلیل وجود مشکل خشکسالی امکان استفاده از آب سطحی را برای کشاورزان حداقل و یا غیرممکن نموده است. جهت تعیین ضرایب متغیرهای تصمیم مدل از کشاورزان منطقه پرس و جو صورت گرفت و مابقی اطلاعات مربوط به دشت از سازمان جهاد کشاورزی استان فارس و شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس جمع‌آوری شد.

در یک محیط تصمیم‌گیری فازی، اهداف تصمیم‌گیرنده بصورت فازی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در محیط تصمیم‌گیری فازی، اهداف بوسیله توابع عضویت مربوطه که از تعریف تغییرات قابل تحمل بالا و پایین بدست می‌آید، مشخص می‌شوند و نوع تابع عضویت بستگی به نوع تابع هدف دارد. در برنامه‌ریزی فازی

مدیریت تقاضای آب در دشت اردلان از یک سیستم مدل سازی اقتصادی مشتمل بر مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP^+) و رهیافت حداکثر آنتروپی (ME^+) استفاده نمود و اعمال سیاست قیمت‌گذاری آب آبیاری و بکارگیری راهبرد تغییر الگوی کشت به صورت توأم با آن را در جهت کاهش تقاضای آب آبیاری و پایداری منابع آب دشت اردلان توصیه نمودند. ری و همکاران (۲۰۱۷) به پایداری منابع آب و خاک در چین، با استفاده از اهداف اقتصادی و اکولوژیکی پرداخته و سطح بهینه آبیاری و استفاده از زمین را ارائه نمودند. لی و همکاران (۲۰۱۷) به تخصیص بهینه آب در شرایط پرآبی و کم‌آبی پرداخته‌اند. سیدان و همکاران (۲۰۱۷) پایداری منابع آب در دشت بهار همدان را مورد ارزیابی قرار دادند و با استفاده از مدل کنترل بهینه، مسیر بهینه استخراج آب از منابع زیرزمینی را مشخص کردند. وجود اهداف و یا محدودیت‌های غیرقطعی در همه مطالعات ذکر شده مورد توجه قرار گرفته است لیکن لازم است به اهداف چندگانه فازی که حفاظت از منابع آب و خاک را نتیجه می‌دهد به همراه تأمین درآمد کشاورزان مورد توجه قرار داد تا نخست پایداری کشاورزی به نتیجه برسد.

استان فارس یکی از استان‌هایی که در مقایسه با سایر استان‌های کشور با مشکل بیلان منفی دشت‌ها روبرو است. این استان ۸۰ درصد آب مصرفی خود را از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌کند که عمدتاً با بیلان منفی روبه رو هستند. این استان هفت درصد خاک و جمعیت کشور را داراست و در طی دوره سی سال اخیر جزو سه استان برتر کشور در تولید محصولات کشاورزی کشور می‌باشد و جایگاه مهمی در کشاورزی ایران به خود اختصاص داده است (آمارنامه کشاورزی، ۲۰۱۵). مشکل کم‌آبی از یک سو و تغییر کیفیت آب و مشکلات زیست محیطی از سوی دیگر در این استان پایداری کشاورزی را به خطر انداخته است. یکی از فعالیت‌هایی که آلودگی آبهای زیرزمینی را در سطح وسیع متوجه خود

³ -Maximum Entropy

² -Positive Mathematical Programming

$FN(x)$ بزرگتر از FN_{Min} و کمتر از FN_{Max} باشد (کرکمار و همکاران ۲۰۰۸). FN_{Max} و FN_{Min} به ترتیب ارزش حداقل و حداکثر توابع فازی می‌باشند که با برنامه‌ریزی ریاضی مقدار هر یک از این اهداف بدست می‌آید. FN_{Min} مقدار تابع هدف $FN(x)$ است زمانی که این هدف حداقل شود و FN_{Max} مقدار حداکثر تابع هدف FN است. توابع هدف که باید حداکثر شوند در مطالعه کنونی سود اقتصادی هدف حداکثر سازی در نظر گرفته شد (کرکمار و همکاران ۲۰۰۸).

$$\mu_{FN(x)} = \begin{cases} 1 & \text{if } FN(x) > FN_{Max} \\ \frac{FN - FN_{min}(x)}{FN_{Max} - FN_{Min}} & \text{if } FN_{Min} \leq DV(x) \leq FN_{Max} \\ 0 & \text{if } FN(x) < FN_{Min} \end{cases} \quad \text{[رابطه ۱]}$$

ترتیب مقدار حداقل و حداکثر تابع هدف می‌باشند و $\mu_{DV(x)}$ درجه عضویت می‌باشد

نقطه‌ای بینابین محدوده تعیین شده توسط برنامه‌ریزی توافقی، انتخاب می‌شود (کرکمار و همکاران ۲۰۰۸). در این نوع برنامه‌ریزی حداقل رضایتمندی از دسته استراتژی‌های امکان پذیر، حداکثر می‌شود (سیسکوس ۱۹۸۲). تابع عضویت خطی زمانی که بازده حداکثر وجود دارد به صورت رابطه ۱ می‌باشد. زمانی که تابع هدف $FN(x)$ بزرگتر از FN_{Max} (حداکثر مقدار تابع هدف) است. درجه عضویت $(\mu_{FN(x)})$ برابر با یک می‌باشد $(\mu_{FN(x)}=1)$ و درجه عضویت تابع بین صفر و یک $(0 \leq \mu_{FN(x)} < 1)$ زمانی اتفاق می‌افتد که ارزش

$DV(x)$ توابع هدفی هستند که بایستی حداقل شوند (مصرف آب و مصرف سموم و کود شیمیایی) که در رابطه ۲ مشخص شده است. DV_{Max} و DV_{Min} به

$$\mu_{DV(x)} = \begin{cases} 1 & \text{if } DV(x) < DV_{Min} \\ \frac{DV_{Max} - DV(x)}{DV_{Max} - DV_{Min}} & \text{if } DV_{Min} \leq DV(x) \leq DV_{Max} \\ 0 & \text{if } DV(x) > DV_{Max} \end{cases} \quad \text{[رابطه ۲]}$$

$\max \alpha$

subject to:

$$\mu_{FN(x)} = \frac{FN(x) - FN_{Min}}{FN_{Max} - FN_{Min}} \geq \alpha \quad \text{[رابطه ۳]}$$

$$\mu_{DV(x)} = \frac{DV_{Max} - DV(x)}{DV_{Max} - DV_{Min}} \geq \alpha$$

$x \in F$

وارد شده است. این ضرایب از کسر هزینه‌های متغیر (خرید نهاده‌های تولید از جمله بذر، کود (خرید آزاد و دولتی)، سم، نیروی کار و هزینه ماشین‌آلات) و هزینه

جهت تعیین جواب‌های بهینه، مدل فازی با اهداف حداکثرسازی و حداقل‌سازی به رابطه ۳ تبدیل می‌شود. در این رابطه $\alpha = \min[\mu_{FN(x)}, \mu_{DV(x)}]$ است (کرکمار و همکاران ۲۰۰۸).

یکی از اهداف در نظر گرفته شده حداکثرسازی سود ناخالص کشاورز است. ضرایب تابع هدف سود ناخالص هر فعالیت است که به عنوان بازده برنامه ای در مدل

استحصال هر مترمکعب آب از درآمد حاصل از کشت محصول i محاسبه گردید.

[رابطه ۴]

$$\max FN(x) = \sum_{i=1}^n (PY_i - TVC_i - C_w TW_i) X_i$$

در رابطه ۵، TW_i کل آب مصرفی برای کشت یک هکتار محصول i در طول فصل زراعی است که این مقدار برای هر محصول از حداکثر آب مورد نیاز هر فعالیت تقسیم بر راندمان توزیع و انتقال بدست آمده است. در هدف زیست محیطی حداقل‌سازی مصرف کود و سموم شیمیایی با حداقل نمودن تغذیه گیاه با استفاده از کود شیمیایی و آفت‌کش‌ها را در نظر گرفته شد. حداقل کردن مصرف کودهای شیمیایی با استفاده از رابطه ۶ تأمین می‌گردد (بندر و سیمونیک ۲۰۰۰).

$$\min DV_2(x) = \sum_i AC_i X_i \quad [\text{رابطه ۶}]$$

AC_i ضریب محاسبه شده از طریق رابطه ۷، می‌باشد با این فرض که هر محصول تنها یکبار در سال کشت می‌شود. این ضریب تلفیقی از آفت‌کش و کود به کار رفته محصول i ام است و در واقع نسبتی از نیاز آفت‌کش و کود برای هر محصول می‌باشد. در این رابطه B_i و F_i به ترتیب مقدار استفاده از آفت‌کش و مقدار کود مصرفی مورد نیاز، کیلوگرم در هکتار برای محصول i ام می‌باشد. علائم \max و \min ارزش حداقل و حداکثر مقدار پارامترهای B_i و F_i می‌باشد که جهت تأمین نیازهای خاک و در عین حال جلوگیری از آلوده شدن خاک می‌باشد. با توجه به این که به طور کلی ۷۵/۳ درصد کل اراضی دشت فیروزآباد شامل اراضی با کلاس خاک ۱، ۲ و ۳، یا جزو اراضی قابل آبیاری هستند (پولادیان ۲۰۰۷) حداکثر نیاز خاک با فرض همگن بودن تمام اراضی دشت از کارشناسان جهاد کشاورزی در نظر گرفته شد.

در رابطه ۴ P_i قیمت محصول i ، Y_i عملکرد محصول i ، TVC_i هزینه خرید بذر، کود، سم، نیروی کار، ماشین آلات برای یک هکتار محصول i ، C_w هزینه استحصال هر مترمکعب آب، TW_i کل آب مصرفی برای کشت یک هکتار محصول i در طول فصل زراعی و X_i متغیر تصمیم، سطح زیر کشت محصول i برای محصولاتی که از سیستم آبیاری متفاوت استفاده می‌نمایند، می‌باشد بنابراین هزینه یکنواخت سالانه سیستم آبیاری نیز از سود ناخالص هر هکتار این گونه محصولات کسر شد. هزینه استحصال هر واحد آب از مجموع متوسط هزینه‌های متغیر و ثابت از بدست می‌آید. برای این منظور هزینه‌های ثابت یکنواخت سالانه محاسبه شد و با مجموع هزینه متغیر سالانه جمع شد.

با توجه به این که پیامدهای زیست‌محیطی به عنوان مانعی برای رسیدن به کشاورزی پایدار است کاهش اثرات زیست‌محیطی نیز می‌تواند به عنوان یک هدف مطرح گردد. در جهت پایداری لازم است تا در کنار کاهش حذف استفاده از فرآورده‌های شیمیایی به‌ویژه کود و سم‌ها، کاهش تخریب منابع آب و خاک نیز مورد توجه قرار گیرد، لذا حداقل‌سازی مصرف آب به عنوان موضوع مهمی است که لازم است مدنظر قرار گیرد. هدف دوم حداقل‌سازی مصرف آب کشاورزی است که در رابطه ۵ مشخص شده است و حداقل‌سازی مصرف کود و سموم شیمیایی بیش از نیاز گیاه در رابطه ۶ مشخص شده است.

$$\min DV_1(x) = \sum_{i=1}^n TW_i X_i \quad [\text{رابطه ۵}]$$

$$AC_i = (B_i - B_{\min}) / (B_{\max} - B_{\min}) + (F_i - F_{\min}) / (F_{\max} - F_{\min}) \quad [\text{رابطه ۷}]$$

که در دوره‌های مختلف رشد مقدار آن در شرایط آبیاری کامل برابر $W_a = W_p$ و در شرایط اعمال کم‌آبیاری از بدست می‌آید.

$$W_{aj} = (1-h)W_{pj} \quad [\text{رابطه ۹}]$$

در رابطه ۹ W_p ، حداکثر آب مورد نیاز گیاه و h مقدار کاهش نسبی مصرف آب در کل دوره رشد (کوچکتر یا مساوی یک) است. رابطه فوق در هریک از مراحل مختلف رشد اعمال می‌گردد. در این قسمت استراتژی‌های کم‌آبیاری به‌گونه‌ای تعریف شده است که اگر کم‌آبیاری در یک دوره اتفاق افتد در سایر دوره‌های آبیاری به‌صورت کامل در نظر گرفته شده است به طوری که اگر در یک دوره کم‌آبیاری ($h > 0$) باشد در سایر دوره‌های رشد $h = 0$ (آبیاری کامل $W_a = W_p$) فرض شده است. در مطالعه حاضر مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی است که X_i متغیر مربوط به محصولات مختلف در منطقه است که تقسیم‌بندی این محصولات بر اساس استراتژی آبیاری و راندمان آبیاری متفاوت (بر اساس سیستم آبیاری) می‌باشد. بر اساس نظر کارشناسان منطقه راندمان آبیاری با استفاده از سیستم آبیاری بارانی، ۶۵ درصد و برای لوله‌های پلاستیکی، ۴۰ درصد در نظر گرفته شد. میزان تنش‌ها در هر دوره ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ درصد در مراحل مختلف رشد از جمله استقرار، رشد، گلدهی، شکل‌گیری عملکرد و رسیدن اعمال تحت سناریوهای مختلف تنش آبی لحاظ شد. به عنوان مثال متغیر برای چغندر قند به شکل زیر تقسیم بندی شد. متغیر تصمیم چغندر قند ۱ تا ۲۶ تا به ترتیب چغندر قند در شرایط آبیاری کامل، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ درصد کم آبیاری در مراحل اوایل و اواخر رشد گیاه، شکل‌گیری عملکرد و رسیدن می‌باشد. تنش در مرحله گلدهی برای چغندر قند معنا ندارد. در آخر چغندر قند ۲۶، ۱۵ درصد کم‌آبیاری در همه مراحل در نظر گرفته شد. چغندر قند ۲۷ چغندر قند با آبیاری کامل، چغندر قند ۲۸ تا ۳۲ چغندر قند با تنش آبی، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ درصد در مرحله اوایل

نخستین گام در ساختن مدل برنامه‌ریزی ریاضی تعریف متغیرهای تصمیم‌گیری یا فعالیت‌ها است. انتخاب استراتژی‌های مناسب توجه به بیشینه کردن محصول تولیدی به ازای مصرف هر چه کمتر آب ضروری می‌باشد از این رو کم‌آبیاری به عنوان یک راهبرد عملی، اقتصادی و حفاظتی در حصول الگوی بهینه مصرف آب به شمار می‌رود. با توجه به منابع محدود (آب و زمین) می‌توان استراتژی‌های کم‌آبیاری را نیز مانند استراتژی‌های آبیاری کامل برای گیاهان مختلف، در مدل‌های تخصیص بهینه آب و زمین به کار برد. همچنین وارد نمودن محصولاتی که از سیستم آبیاری نوین برای بالا بردن راندمان آبیاری استفاده می‌کنند همراه با استراتژی‌های کم‌آبیاری به شکل توأم به مدل، مدل را کامل‌تر و واقعی‌تر می‌نماید. از این رو فعالیت‌های مدل بر اساس استراتژی‌های مختلف آبیاری، راندمان آبیاری متفاوت بر اساس سه روش آبیاری بارانی، استفاده از لوله برای انتقال آب و آبیاری سنتی همراه با تنش آبی و بدون تنش آبی تقسیم بندی شدند. برای تقسیم‌بندی فعالیت‌های مدل، لازم است که عملکرد متناظر با هر فعالیت محاسبه گردد. بدین منظور در این مطالعه از رابطه ۴ که توسط میر و همکاران (۱۹۹۳) پیشنهاد شده است، استفاده گردید. اعمال کم‌آبیاری منجر به کاهش در میزان عملکرد محصولات می‌گردد. پس از محاسبه حداکثر عملکرد گیاه در شرایط بدون تنش، عملکرد واقعی با در نظر گرفتن تنش برای گیاهان مختلف با استفاده از نرم افزار Excel برای منطقه مورد بررسی محاسبه شد.

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{j=1}^n \left[1 - KY_j \left[1 - \frac{W_a}{W_p} \right] \right] \quad [\text{رابطه ۸}]$$

در رابطه ۸ Y_a حداکثر محصول در شرایط واقعی (شرایط تنش آبی)، Y_p حداکثر محصول تولیدی در شرایط بدون تنش آبی، KY_j ضریب واکنش عملکرد نسبت به آب در مرحله رشد J که از پژوهش‌های گذشته بدست آمده است. W_a مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه

بیش از کل اراضی موجود در دشت یعنی به میزان ۲۷۹۰۰ هکتار باشد. لحاظ نمودن محدودیت زمین در دوره‌های مختلف باعث می‌گردد تا مدل بتواند روابط رقابتی و تکمیلی بین محصولات را در الگوی بهینه منظور نماید.

۲- محدودیت آب در دسترس

از آنجا که دوره کشت و نیاز آبی محصولات و میزان موجودی آب منطقه در ماه‌های مختلف سال با یکدیگر متفاوت است، محدودیت آب به صورت دوره‌های ده روزه در نظر گرفته شد. در واقع محدودیت آب بیانگر آن است که جمع مقدار آب مورد نیاز هر یک از گیاهان در دوره‌های مختلف نمی‌تواند از کل آب در دسترس بهره بردار که در راندمان آبیاری توزیع و انتقال ضرب شده است بیشتر شود. این محدودیت در رابطه ۱۱ تعریف شده است. در این رابطه $water_k$ حداکثر آب در دسترس بهره‌برداران دشت در دوره k است که بر اساس متوسط آب‌دهی چاه در هر دوره ضربدر ساعات آبدی در شبانه‌روز در راندمان آبیاری توزیع و انتقال محاسبه شد. و W_{ik} آب مورد نیاز گیاه در دوره k است که بر اساس رابطه ۱۲ بدست آمد.

$$\sum_{i=1}^n W_{ik} X_{ik} \leq water_k \quad k = 1, 2, \dots, 27 \quad \text{[رابطه ۱۱]}$$

$$W_{ik} = (1-h)W_{pi_k} \quad \text{[رابطه ۱۲]}$$

تقاضا برای نیروی کار در فعالیتهای تولیدی محصولات زراعی تابع عملیات مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت است و به دلیل تنوع کشت محصولات و متفاوت بودن دوره رشد آنها، تأمین نیروی کار مورد نیاز در فصل‌های مختلف متفاوت خواهد بود، لذا نیروی کار مورد نیاز فعالیت‌های مختلف در چهار دوره فصلی به صورت زیر در مدل لحاظ گردید:

$$\sum_i^n L_{is} X_{is} \leq labour_s \quad s = 1, 2, 3, 4 \quad \text{[رابطه ۱۴]}$$

رشد و استفاده از لوله برای انتقال آب، چغندر قند ۳۳ تا ۳۷، چغندر قند با تنش آبی ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ درصد در مرحله اواخر رشد و چغندر قند ۳۸، چغندر قند با آبیاری کامل و استفاده از سیستم آبیاری بارانی می‌باشد. چغندر قند ۳۹ تا ۴۳ تنش آبی ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ درصد در مرحله اوایل رشد و استفاده از سیستم آبیاری بارانی. چغندر قند ۴۴ تا ۴۸ چغندر قند با تنش آبی ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ درصد در مرحله اواخر رشد و استفاده از سیستم آبیاری می‌باشد.

محدودیت‌های مدل:

محدودیت‌های مدل که عمدتاً مربوط به منابع تولیدی است، عبارتند از: ۱- محدودیت زمین زراعی، ۲- محدودیت آب در دسترس و ۳- محدودیت نیروی کار می‌باشد.

۱- محدودیت زمین به صورت رابطه ۱۰ تعریف شد.

$$\sum_{i=1}^n X_i \leq X_{total} \quad \text{[رابطه ۱۰]}$$

X_i سطح زیر کشت فعالیت i و X_{total} کل اراضی موجود دشت می‌باشد. محدودیت زمین بیانگر آن است که کل اراضی تخصیص یافته بین فعالیت‌ها نمی‌تواند

حداکثر آب آبیاری مورد نیاز گیاه i ام که برابر با $W_{pi_k} = IN_{ik} \times 10$ است. مقدار آب خالص مورد نیاز گیاه i ام است. عدد ۱۰ برای تبدیل میلی متر به مترمکعب در هکتار می‌باشد مقدار IN از رابطه ۱۳ بدست آمد.

$$IN_{ik} = ET_{Crops_i} - P_e \quad \text{[رابطه ۱۳]}$$

P_e بارندگی مؤثر است و ET_{Crops_i} تبخیر تعرق گیاه است که با استفاده از نرم افزار Cropwat محاسبه شد.

۳- محدودیت نیروی کار

جدا نشان می‌دهد. در سطر دوم هدف حداقل کردن مصرف آب در نظر گرفته شد. در این نقطه بهینه مصرف آب ۷/۵۵۱۳۴۵ میلیون مترمکعب و با الگوی کشت حاصل از بهینه‌سازی هدف حداقل کردن آب مصرفی، سود معادل با ۱۵۱۱۲/۷۴ میلیون ریال است و شاخص مصرف کود شیمیایی و آفت‌کش ۲۵۶۴ می‌باشد. الگوی کشت حاصل از بهینه‌سازی این هدف شامل گندم دیم ۱۴۱۰ هکتار، جو دیم ۲۲۸ هکتار، ذرت ۲۶ (۱۵ درصد تنش در مرحله رسیدن و سیستم آبیاری سنتی) ۳۲۲ هکتار و چغندر قند ۲ (۱۰ درصد تنش در مرحله اوایل رشد گیاه) ۲۵ هکتار و برنج ۳۲۶ هکتار را پیشنهاد نموده است. دسترسی همزمان به این سه نقطه غیرممکن است. رسیدن به اهداف حداقل مصرف آب و کودشیمیایی و آفت‌کش‌ها و حداکثر سود به‌طور کامل قابل دستیابی نیست بنابراین مقدار بهینه مصرف آب، حداکثر سود و شاخص مصرف کود شیمیایی مقدار قطعی نیستند. از این رو استفاده از روش برنامه‌ریزی چندهدفه فازی نتایج واقعی‌تری را ارائه خواهد نمود. با استفاده از این نوع مدل‌ها می‌توان سود را با توجه به حداقل کردن آب مصرفی، کودشیمیایی و آفت‌کش‌ها در جهت جلوگیری از بوجود آمدن بیلان منفی و اثرات زیست‌محیطی ناشی از کودهای شیمیایی، حداکثر ساخت.

این محدودیت بصورت فصلی منظور گردید که در آن L_{is} تعداد نیروی کار مورد نیاز فعالیت i در فصل s است و $labour_s$ تعداد نیروی کار در دسترس بهره‌بردار نمونه در فصل s می‌باشد.

نتایج و بحث

جهت تعیین الگوی کشت در راستای حفاظت منابع آب و خاک دشت در ابتدا شرایط سال نرمال در نظر گرفته شد که بارندگی مناسب در دشت فیروزآباد در فصول رشد گیاه وجود داشته و امکان کشت محصولات دیم نیز وجود دارد. بنابراین نخست گندم و جو دیم در الگو وارد شد و مدل بر اساس وجود این دو محصول در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی هر هدف به طور جداگانه (ماتریس بازده) در جدول ۱ نشان داده شده است. عناصر این ماتریس از طریق بهینه‌سازی هر یک از اهداف مورد نظر به طور جداگانه تعیین شده اند. با حل مدل بهینه‌سازی، ۵۲۳۶۷۸ میلیون ریال سود نصیب کشاورزان دشت می‌شود که با این الگوی حداکثر سازی سود، ۴۲۹/۹۰۲۹ میلیون مترمکعب آب مصرف می‌شود و شاخص مصرف کود شیمیایی ۴۹۷۱۹ می‌باشد. این جدول تضاد بین اهداف را نشان می‌دهد. عناصر قطر فرعی ماتریس، مقادیر بهینه هر یک از اهداف را به طور

جدول ۱- ماتریس بازده برای اهداف در نظر گرفته شده دشت در سال نرمال

اهداف در نظر گرفته شده	سود	آب مصرفی	شاخص مصرف کود- شیمیایی و آفت‌کش
سود (میلیون ریال)	۵۲۳۶۷۸	۴۲۹/۹۰۲۹	۴۹۷۱۹
مصرف آب (میلیون مترمکعب)	۱۵۱۱۲/۷۴	۷/۵۵۱۳۴۵	۲۵۶۴
شاخص مصرف کود شیمیایی و آفت‌کش	۱۵۱۱۲/۷۴	۷/۵۵۱۳۴۵	۲۵۶۴

مأخذ: یافته‌های تحقیق

درجه اهمیت یکسان به طور تقریباً برابر برآورده شدند. درجه عضویت هدف حداکثرسازی سود ۰/۴۹۴، حداقل سازی آب ۰/۵۵۰ و حداقل سازی مصرف کود شیمیایی و آفت‌کش‌ها ۰/۵۰۶ می‌باشد.

جدول ۲ نتایج حاصل از حل مدل با استفاده از روش فازی و همچنین الگوی کشت محصولات زراعی دشت فیروزآباد را بر اساس متوسط ۱۰ سال گذشته نشان می‌دهد. در این جدول درجه عضویت توابع هدف، نشان می‌دهد که هر سه هدف متضاد با یک وزن مشخص و

جدول ۲- نتایج حاصل از مدل فازی و مقایسه با الگوی کشت دشت در سال نرمال

درجه عضویت اهداف	نتایج حاصل از حل مدل فازی	
۰/۴۹۴	۲۶۴۸۷۸	سود (میلیون ریال) با حضور محصولات دیم
۰/۵۵۰	۲۲۶/۱۳۵۶	مصرف آب (میلیون مترمکعب)
۰/۵۰۶	۲۲۶۴۴/۲	مصرف کود شیمیایی و آفتکش
سهم سطح زیر کشت محصولات از کل اراضی دشت (%)	سطح زیر کشت با استفاده از مدل برنامه‌ریزی فازی	سطح زیر کشت
۰/۶۸	۱۸۹/۴	گندم ۱
۰/۶۷	۱۸۷/۸	گندم ۲۱
۵۷/۶۹	۱۶۰۹۴/۴	گندم ۲۲
۰/۶۶	۱۸۵/۲	گندم ۲۳
۰/۶۵	۱۸۳/۸	گندم ۲۴
۰/۶۵	۱۸۲/۴	گندم ۲۵
۰/۲۰	۵۶/۷	جو ۱۰
۰/۲۰	۵۶/۹	جو ۱۱
۰/۲۰	۵۷/۱	جو ۱۲
۰/۲۰	۵۷/۳	جو ۱۳
۱/۱۵	۳۲۲	ذرت ۳
۰/۹۰	۲۵	چغندر قند ۱۳
۵/۳۱	۱۴۸۳	برنج
۳۱/۶	۸۸۱۹	سایر
سهم سطح زیر کشت محصولات از کل اراضی دشت (طی ۱۰ سال)	متوسط سطح زیر کشت دشت در ۱۰ سال اخیر	سطح زیر کشت
۵۰	۱۴۱۰۳	گندم
۸	۲۲۸۱	جو
۱۲	۳۲۶۳	برنج
۱۱	۳۲۲۳	ذرت
۰/۱	۲۵۷	چغندر قند
۱۹	۵۳۰۱	سایر

همسویی نزدیکی با الگوی ۱۰ سال اخیر دارد. نتایج الگوی حاضر، گندم ۱، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵ (به ترتیب گندم با آبیاری کامل، گندم با ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد تنش آبی در مرحله رسیدن و سیستم آبیاری سنتی) به ترتیب ۱۸۹/۴، ۱۸۷/۸، ۱۶۰۹۴/۴، ۱۸۵/۲، ۱۸۳/۸ و ۱۸۲/۴ هکتار و جو ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ (به ترتیب جو با ۱۵، ۲۰،

اگر چه برآورده شدن سه هدف به شکل غیرقطعی با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی به سادگی قابل دستیابی نیست اما ارائه مدل فازی و وارد نمودن محصولات مختلف با استراتژی‌ها و سیستم آبیاری متفاوت مدل را به شرایط دنیای واقعی نزدیک نموده و بنابراین الگوی ارائه شده توسط این نوع مدل در دشت،

از بهینه سازی هر هدف به طور جداگانه (ماتریس بازده) در جدول ۳ نشان داده شده است. مطابق انتظار حذف محصولات دیم و وارد نمودن محصولات آبی میزان بهینه مصرف آب را در مدل‌های بهینه سازی هر هدف به طور مجزا تغییر می‌دهد. نتایج حاصل از حداکثرسازی سود، مطابق ماتریس بازده در شرایط وجود محصولات دیم، (بارندگی مناسب در دوره رشد) ۵۲۳۶۷۸ میلیون ریال سود نصیب کشاورزان دشت می‌شود که با این الگوی حداکثر سازی سود، ۴۲۹/۹۰۲۹ میلیون مترمکعب آب مصرف می‌شود و شاخص مصرف کودشیمیایی ۴۹۷۱۹ می‌باشد. نتایج این سطر با سال نرمال یکسان است چرا که حداکثرسازی سود بدون لحاظ نمودن سایر اهداف محصولات با مصرف آب بیشتر را پیشنهاد می‌نماید. مقدار بهینه مصرف آب ۱۵/۹۰۱ میلیون مترمکعب است که به میزان ۵۲/۵ درصد مصرف آب نسبت به حالت حل مدل با حضور محصولات دیم افزایش یافته و سود معادل با ۲۱۷۷۱/۱۴ میلیون ریال است که سود به میزان ۳۰ درصد افزایش نسبت به سال نرمال را نشان می‌دهد. می‌یابد. شاخص مصرف کودشیمیایی و آفت‌کش مشابه سال نرمال ۲۵۶۴ است.

۲۵ و ۳۰ درصد تنش آبی درمرحله شکل‌گیری عملکرد) به ترتیب ۵۶/۷، ۵۶/۹، ۵۷/۱ و ۵۷/۳ هکتار و ذرت ۳، (۱۰ درصد تنش در مرحله استقرار) ۳۲۲ هکتار، چغندر قند ۱۳ (۱۳ درصد تنش در اواخر رشد)، ۲۵ هکتار و برنج ۱۴۸۳ هکتار (۵/۳۱ درصد از کل راضی) پیشنهاد می‌دهد. سایر سطح زیر کشت باقی مانده به کشت محصولاتی که برخی سال‌ها در منطقه کشت شده‌اند و استقبال عمومی برای کشت آنها وجود نداشته چون کنجد، گوجه فرنگی و یا آیش نگه داشتن زمین می‌باشد.

با ارائه این الگو اهداف زیست‌محیطی، کاهش آب مصرفی و کاهش مصرف کود و آفت‌کش‌های شیمیایی نسبت به تابع سود برآورده می‌شود. به عبارت دیگر گرچه اهمیت یکسانی به اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی داده شده است اما الگوی کشت حاضر با الگوی کشت دشت همسویی داشته و تغییر الگوی کشت را پیشنهاد نمی‌کند تنها اتخاذ سیاست زمان آبیاری بهینه و سیستم آبیاری مناسب و تغییر سهم سطح زیرکشت هر یک از محصولات می‌توانند به پایداری کشاورزی در این منطقه کمک نماید.

مدل دشت بر اساس حذف محصولات دیم و به عبارت دیگر سال کم آبی در نظر گرفته شد. نتایج حاصل

جدول ۳- ماتریس بازده برای اهداف در نظر گرفته شده در دشت در شرایط کم آبی

اهداف در نظر گرفته شده	سود (میلیون ریال)	آب مصرفی (میلیون مترمکعب)	مصرف کود شیمیایی و آفت‌کش
سود (میلیون ریال)	۵۲۳۶۷۸	۴۲۹/۹۰۲۹	۴۹۷۱۹
مصرف آب (میلیون مترمکعب)	۲۱۷۷۱/۱۴	۱۵/۹۰۱	۲۵۶۴
مصرف کود شیمیایی و آفت‌کش	۲۸۲۲۷/۷۶	۲۴/۳۲۸۳۷	۲۵۶۴

درصد تنش در مرحله رسیدن و سیستم آبیاری سنتی)، ۱۴۷۰۶/۲ هکتار و گندم ۴۹ (۳۰ درصد تنش در مرحله رسیدن و سیستم آبیاری بارانی)، جو ۴۴ (جو با ۳۰ درصد تنش در مرحله اواخر رشد و سیستم آبیاری بارانی)، ذرت ۳، چغندر قند ۴۸ (چغندر قند با ۳۰ درصد درصد تنش در مرحله اواخر رشد و سیستم آبیاری

با استفاده از نتایج بدست آمده از ماتریس بازده، مدل فازی بر اساس سه هدف حل گردید. با حل مدل درجه عضویت هدف حداکثرسازی سود ۰/۴۴۹، حداقل - سازی آب ۰/۵۵۱ و حداقل سازی مصرف کودشیمیایی و آفت‌کش‌ها ۰/۵۵۱ بدست آمد که در جدول ۴ نتایج آورده شده است. در الگوی حاضر گندم ۲۵ (گندم با ۳۰

داشتن زمین می‌باشد. الگوی پیشنهادی کشت در شرایطی که امکان کشت محصولات دیم وجود ندارد. از کشت محصولات با استفاده از سیستم آبیاری سنتی به محصولات با سیستم آبیاری بارانی تغییر یافت.

بارانی) و برنج به ترتیب ۰/۴، ۰/۲۲۸، ۰/۵۷۹۸، ۰/۲۵ و ۱۴۸۳ هکتار می‌باشد. سایر سطح زیر کشت باقی مانده به کشت محصولاتی که در هر سال در منطقه کشت نشده است چون کنجد، گوجه فرنگی و غیره و یا آیش نگه

جدول ۴- نتایج حاصل از مدل فازی در شرایط کم‌آبی و مقایسه با الگوی کشت دشت

درجه عضویت اهداف	نتایج حاصل از حل مدل	
۰/۴۴۹	۲۸۸۶۵۹	سود (میلیون ریال)
۰/۵۵۱	۲۲۹/۹۷۲۷	مصرف آب (میلیون مترمکعب)
۰/۵۵۱	۲۷۰۹۳	مصرف کود شیمیایی و آفت‌کش
سهم سطح زیر کشت محصولات از کل اراضی دشت (درصد)	سطح زیر کشت با استفاده از مدل برنامه‌ریزی فازی	
۵۲/۷	۱۴۷۰۶/۲	گندم ۲۵
۲۰/۷۸	۵۷۹۸/۴	گندم ۴۹
۰/۸۲	۲۲۸	جو ۴۴
۱/۱۵	۳۲۲	ذرت ۳
۰/۰۱	۲۵	چغندر قند ۴۸
۵/۳۱	۱۴۸۳	برنج
۱۹/۲۳	۵۳۶۵	سایر
سهم سطح زیر کشت محصولات از کل اراضی دشت (طی ۱۰ سال)	متوسط سطح زیر کشت دشت طی ۱۰ سال	
۵۰	۱۴۱۰۳	گندم
۸	۲۲۸۱	جو
۱۱	۳۲۲۳	ذرت
۰/۱	۲۵۷	چغندر قند
۱۲	۳۲۶۳	برنج
۱۹	۵۳۰۱	سایر

باشد نشان می‌دهد که مصرف آب تنها ۱/۷ درصد اضافه می‌شود. اختلاف میان نتایج دو هدف فازی در شرایط سال نرمال و کم‌آبی نسبت به مدل‌های تک هدفه ناچیز بوده است. نتایج این مقایسه در جدول ۵ آورده شده است. بر اساس نتایج این جدول میزان سود ۸/۲، میزان مصرف آب ۱/۷ و شاخص مصرف کود شیمیایی ۱۶/۴ درصد نسبت به شرایطی که محصولات دیم در الگو حضور دارند افزایش می‌یابد به عبارت دیگر کشت گندم یا جو دیم در شرایط سال نرمال (بارندگی مناسب در

اگر چه دسترسی کشاورزان به آب در شرایطی که امکان کشت محصولات دیم وجود ندارد با حالت سال نرمال متفاوت می‌باشد. در سال کم‌آبی حذف محصولات دیم از الگو، باعث ایجاد تفاوت فاحشی در مقدار بهینه اهداف در نظر گرفته شده می‌گردد. به طوری که بر اساس ماتریس بازده جدول ۱ و ۳ (بهینه‌سازی تک هدفه)، مصرف آب در شرایط کم‌آبی در مقایسه با سال نرمال، ۵۲/۵ درصد افزایش را نشان می‌دهد اما مقایسه دو وضعیت موجود در حالتی که مدل‌های چندهدفه فازی

برآورده شود. سطح زیر کشت پیشنهادی افزایش سهم کشت گندم از ۵۰ درصد در منطقه به ۷۳/۵ درصد (شامل گندم ۲۵ و ۴۹) و کاهش کشت جو از ۸ درصد به ۰/۸ درصد و کاهش سهم کشت ذرت، چغندر قند و برنج به- ترتیب از ۱۱، ۰/۱ و ۱۲ درصد به ۱/۱۵، ۰/۰۱ و ۵/۳ درصد می‌باشد.

فصول رشد) موجب می‌شود سود و آب مصرفی در نتیجه بالا رفتن سطح زیر کشت بالا رود و در عین حال شاخص مصرف کود شیمیایی نیز افزایش یابد. اگر چه افزایش سطح زیر کشت در سال معمولی دور از انتظار نیست اما مدل بدون تغییر در نوع محصول انتخابی توسط زارعین، زمان آبیاری را بگونه‌ای مشخص می- نماید که هر سه هدف در نظر گرفته شده بطور همزمان

جدول ۵- مقایسه نتایج حاصل از مدل فازی در سال نرمال و سال کم آبی

درجه عضویت اهداف	نتایج حاصل از حل مدل فازی	درجه عضویت اهداف
۰/۴۹۴	۲۶۴۸۷۸	سود(میلیون ریال) در سال نرمال
۰/۴۴۹	۲۸۸۶۵۹	سود(میلیون ریال) در سال کم آبی
	۸/۲	تغییرات (درصد)
۰/۵۵۰	۲۲۶/۱۲۵۶	مصرف آب(میلیون مترمکعب) در سال نرمال
۰/۵۵۱	۲۲۹/۹۷۲۷	مصرف آب(میلیون مترمکعب) در سال کم آبی
	۱/۷	تغییرات (درصد)
۰/۵۰۶	۲۲۶۴۴/۲	مصرف کودشیمیایی و آفتکش در سال نرمال
۰/۵۵۱	۲۷۰۹۳	مصرف کود شیمیایی و آفتکش در سال کم آبی
	۱۶/۴	تغییرات (درصد)

فازی تفاوت معناداری وجود ندارد و درصد تغییرات سود و آب مصرفی کمتر از ۱۰ درصد و شاخص مصرف کودشیمیایی کمتر از ۲۰ درصد می‌باشد. از این رو بسته به شرایط دشت می‌توان الگوهای ارائه شده که با متوسط ۱۰ سال اخیر همسویی داشته و تنها تفاوت در زمان آبیاری و هدف زیست محیطی باشد را به کشاورزان ارائه داد. الگوی کشت ارائه شده با مطالعه فتحی و زیبایی (۲۰۱۰) در منطقه فیروزآباد برای هر کشاورز مطابقت دارد.

نتایج حاکی از آن است که جهت حفاظت از منابع آب و خاک و مدیریت بهینه بهره‌برداری از منابع آب که از اقدامات پایداری است لزوماً نیاز به تغییر الگوی کشت منطقه نیست بلکه با کشت همان محصولات که در دوره زمانی ده ساله در منطقه کشت می‌شده است می‌توان به مدیریت بهینه برداشت آب دست یافت و کافی است سهم

نتیجه گیری کلی

الگوی بهینه کشت دشت فیروزآباد با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست محیطی به پایداری منابع آب این دشت یاری می‌رساند. با توجه به این که نبود قطعیت جزء جدایی ناپذیر تصمیم‌گیری در بخش کشاورزی به شمار می‌آید، لذا باید با اتخاذ راهبردهای مناسب تا حد ممکن این نااطمینانی را با الگوی فازی و مدل‌های به کار گرفته شده در این تحقیق تعدیل نمود به گونه‌ای که شرایط کم آبیاری و تنش آبی و همچنین اتخاذ سیستم آبیاری مناسب را با ارائه متغیرهای متفاوت تصمیم وارد مدل شدند و با در نظر گرفتن حد بالا و پایین اهداف به شکل فازی و نه اعداد قطعی شرایط واقعی دشت مدلسازی شد. الگوی کشت برای سال نرمال و کم آبی ارائه گردید. میان دو الگوی کشت ارائه شده با استفاده از مدل

می‌رسد بنابراین تأمین اعتبار لازم برای حمایت و استفاده از این نوع سیستم آبیاری یکی از راهکار می‌باشد و همچنین امکان ذخیره‌سازی آب برای مدیریت زمان آبیاری می‌تواند به اهداف در نظر گرفته شده برای کشاورزی پایدار کمک نماید. لذا با با احداث استخرهای متناسب با شرایط منطقه جهت هدایت کشاورز به مدیریت زمان آبیاری مناسب که می‌تواند بیشترین بازده را با آب موجود ایجاد می‌نماید، راهگشا باشد.

کشت محصولات بر اساس سال نرمال و کم آبی تغییر کرده و حتی با انتخاب و پیشنهاد سیستم آبیاری متناسب با الگوهای ارائه شده به این مهم دست یافت.

الگوی ارائه شده قادر است سه هدف را در سطح مطلوب تأمین نماید. از آنجایی که مدل با عدم حضور محصولات دیم، محصولات با سیستم آبیاری بارانی را پیشنهاد نموده است لذا برای عملی ساختن شرایط مدیریت مصرف و زمان آبیاری سازوکاری جهت حمایت برای استفاده از سیستم آبیاری ذکر شده ضروری بنظر

منابع مورد استفاده

- Amini faskhodi A. and Nouri SH. 2012. Sustainability Evaluation and Cropping System Modeling Based on Optimization of Utilization of Water and Soil Resources Using Nonlinear Mathematical Programming Patterns. *Journal of Agricultural Science and Technology, Water and Soil Science*, 15(55): 99-109.
- Agricultural Jihad Statistics. 2015. Agricultural statistic. Ministry of Agriculture, <https://www.maj.ir/Index.aspx?page=form&lang=1&PageID=11583&tempname=amar&sub=65&methodName=ShowModuleContent#>
- Azizi J. (2001). Agricultural Sustainability. *Agricultural Economics and Development*, 9(36): 113-136.
- Bender M. and Simonovic S. 2000. A Fuzzy Compromise Approach to Water Resource Systems Planning Under Uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 115: 35-44.
- Boremnejad VA. and Yazdani S. 2004. Sustainability Analysis in Water Resources in Agriculture Using Fraction Planning. Case Study of Kerman Province. *Research and Construction*, 63:1-15.
- Blin J. 1974. Fuzzy Relations in Group Decision Theory. *Journal of Cybernet*, 4(2): 17-22.
- Cornelissen AMG. 2003. The Two Faces of Sustainability; Fuzzy Evaluation of Sustainable Development. Wageningen University Netherlands.
- Fathi F. and Zibaei M. (2010). Factors Affecting Groundwater Utilization Management Using Multi-Objective Programming Model: A Case Study of Firoozabad Plain. *Journal of Agricultural Science and Technology, Water and Soil Science*. 53: 155-164.
- Homayuni far M. and Rastegaripour F. 2010. Water Allocation of Latina Dam between Agricultural Products under Uncertain Conditions. *Journal of Agricultural Economics and Development (Agricultural Sciences and Technology)*. 24(2). 259-267.
- Kohansal M. and Zare F. 2008. Determination of Optimal Cropping Pattern for Sustainable Agriculture Using Fuzzy Fractional Planning with Multiple Objectives, Case Study of North Khorasan Province. *Economics and development*. 8 (15): 191-201.
- Krcmar E. and Kooten GV. 2008. Economic Development Prospects of Forest-Dependent Communities: Analyzing Trade-Offs Using a Compromise-Fuzzy Programming Framework. *American Journal of Agricultural Economics*, 90(4): 1103-1117.

- Li M., Fu Q., Singh V., Ma M. and Liu X. 2017. An Intuitionistic Fuzzy Multi-Objective Non-Linear Programming Model for Sustainable Irrigation Water Allocation under the Combination of Dry and Wet Conditions. *Journal of Hydrology*, 555: 80-94.
- Meyer SJ., Hubbard K. and Wilhite DA. 1993. A Crop- Specific Drought Index for Corn: Model Development and Validation. *Agronomy Journal*, 85: 388-395.
- Mohammadi M., Naghshineh Fard M., Bostani F. and Pishbin S. 2009. Application of Fuzzy Factor Planning for Optimization of Agricultural Production in Fars Province: A Case Study of Marvdasht Region. *Journal of Agricultural Science*. 5(15): 115-133.
- Mozafari MM. 2016. Management of Irrigation Water Demand in Ardalan Plain with Emphasis on Pricing Policy. *Protection of Water and Soil Resources*, 4(5): 47-68.
- Parhizkari A., Mozafari MM., Shokat Fadayi M. and Mahmoodi A. 2015. Low Irrigation with Available Water Reduction. A solution to Protect Water Resources in Qazvin Plain. *Protection of Water and Soil Resources*, 1(5): 67-80.
- Poladian A. 2007. Report on the Justification of the Extension of the Ban on Groundwater Resources in the Study Area of Firoozabad, Yazd, Iran. 85-86. Deputy Head of Water Resources Management Water Resources Management. Ministry of Energy: Fars Regional Water Authority. 1-95.
- Ren C., Guo P., Tan Q. and Zhang L. 2017. A Multi-Objective Fuzzy Programming Model for Optimal Use of Irrigation Water and Land Resources under Uncertainty in Gansu Province, China, *Journal of Cleaner Production*, 164: 85-94.
- Seyidan SM. and Ghorbani M. 2017. Achieving the Optimal Route of Extraction from Groundwater Resources by Applying Side Effects in Hamedan-Bahar Plain. *Research Center for Management of Watershed District*, 8(15): 191-201.
- Seo F. and Sakawa M. 1985. Fuzzy Multi attribute Utility Analysis for Collective Choice, *Iee Trans. Systems Man Cybernet*, 15(1): 45-53.
- Siskos J. 1982. A Way to Deal with Fuzzy Preferences in Multi criteria Decision Problems. *European Journal Operation Research*, 10: 314-324.