

تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه غیرخطی فازی: مطالعه موردی

فرشید کفیل‌زاده^۳

فردین بوستانی^۲

حمید محمدی^۱

(دریافت ۸۹/۴/۱۵ آخرین اصلاحات دریاقتی ۹۰/۹/۲۰ پذیرش ۹۰/۹/۲۷)

چکیده

افزایش بهره‌وری استفاده از منابع به کمک بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات زراعی، یک راهکار مناسب برای توسعه بخش کشاورزی است. در این تحقیق با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه غیرخطی فازی امکان تحقق آرمان‌های حداکثر کردن بازده برنامه‌ای در مصالحه با اهداف کاهش مصرف آب، حداقل کردن مصرف کود شیمیایی، حداقل کردن ریسک تولید و افزایش منافع اجتماعی از طریق افزایش سطح اشتغال نیروی کار در الگوی کشت شهرستان مرودشت استان فارس بررسی شد. در این روش با هدف حداکثر شدن جمع موزون مقادیر اهداف فازی، سطح زیر کشت محصولات به گونه‌ای بهینه‌سازی می‌شود که قادر به تأمین اهداف یاد شده در بازه حد تحمل تعریف شده برای آنها باشد. هر چند در بسیاری موارد امکان تحقق کامل این آرمان‌ها در الگوی چندهدفه در مقایسه با الگوهای تک‌هدفه وجود ندارد، ولی در نظر گرفتن برابری نتایج و اختصاص وزن مربوطه به هر یک از اهداف از سوی تصمیم‌گیرنده که در قالب تابع مسافت مرکب آرمانی نمایان می‌شود، نشان داد که الگوی چندهدفه نسبت به الگوی جاری و حتی الگوهای تک‌هدفه با انجام مصالحه بین آرمان‌های چندگانه، برتری دارد. اجرای این الگو در مناطق مورد مطالعه علاوه بر کاهش مصرف آب و کود شیمیایی، افزایش بازده برنامه‌ای و کاهش ریسک را نیز در بر دارد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، بهینه‌سازی چندهدفه، برنامه‌ریزی فازی غیرخطی، بازده اقتصادی، اشتغال

Optimal Cropping Pattern Using a Multi-objectives Fuzzy Non-linear Optimization Algorithm: A Case Study

Hamid Mohammadi¹

Fardin Bostani²

Farshid Kafilzadeh³

(Received July 6, 2010 Revised Dec. 11, 2011 Accepted Dec. 18, 2011)

Abstract

Increasing the resources productivity using cropping pattern optimization is a proper way for agricultural development. In this study, the ideals' realization possibility of maximizing the gross margin in compromising with reducing the water consumption, minimizing the fertilizers uses, minimizing the production risk, and maximizing the social benefits of cropping pattern were analyzed using a multi-objectives fuzzy non-linear programming model in Marvdasht City of Fars Province. In this approach, the crop area is optimized to maximize the weighted sum of fuzzy objective in the range of their given bearing bounds. Results show that in many cases the possibility of complete ideals realization in the multiple goals model in comparison with single goal patterns was not observed. Considering the outcomes and the relevant weight assigned to each of the goals by the decision maker consisting of the Fuzzy Composite Distance Function reveals that the cropping patterns base on multiple goals are superior to current patterns and even single goal pattern in supply of multiple compromised ideals. Implementation of these models in study areas has significant influence on reducing water use as well as increasing the gross margin and reducing fertilizer use and risk.

Keywords: Crop Pattern, Multi-Objective Optimization, Fuzzy Non-Linear Programming, Economic Return, Employment.

1. Assist. Prof. of Economy, Zabol University (Corresponding Author)
(+98 542) 2255136 hamidmohammadi1378@gmail.com
2. Assist. Prof. of Water Eng., Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Fars
3. Assoc. Prof. of Biology, Islamic Azad University, Jahrom Branch, Jahrom

۱- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل (نویسنده مسئول) ۲۲۵۵۱۳۶ (۰۵۴۲) hamidmohammadi1378@gmail.com

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، فارس

۳- دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد جهرم

بوده است [۶-۸]. علاوه بر این، وجود ریسک در کشاورزی بر تصمیمات کشاورزان اثر گذاشته و باعث بروز ناکارایی فنی و تخصصی در به‌کارگیری عوامل تولید می‌شود [۹ و ۱۰]. لذا لازم است در ارائه الگوهای تصمیم‌گیری، مسئله ریسک نیز مورد توجه قرار گیرد. طرح ریسک به‌عنوان یک هدف در مطالعه دوپلر و همکاران در اردن، سوره^۷ و موجومدار^۸ در هند و فرانسیسکو^۹ و مباریک^{۱۰} در تایوان این اهمیت را بیان می‌کنند [۱۱، ۱۲]. مطالعه ترکمانی و کلایی و همچنین حسن‌شاهی نیز حاکی از اهمیت ریسک در میان بهره‌برداران ایران است [۱۳ و ۱۴].

در کنار این اهداف، مقوله‌ای که معمولاً در سیاست‌های دولت به آن توجه ویژه‌ای می‌گردد آن است که با توجه به نرخ بیکاری موجود در مناطق روستایی، اتخاذ تصمیماتی که به هر شکل موجب اشتغال بیشتر نیروی کار شده و نرخ بیکاری را کاهش دهد، منافع اجتماعی را افزایش خواهد داد. بر این اساس، میزان اشتغال در مدل‌های تصمیم‌گیری به‌عنوان شاخص منافع اجتماعی و حداکثر کردن آن به‌عنوان یکی دیگر از اهداف باید مدنظر قرار گیرد. علاوه بر این، اهمیت نگاه محیط زیستی به مصرف نهاده‌های آب، کود شیمیایی و سموم شیمیایی باعث شده که تمرکز بسیاری از مطالعات مختلف به بهینه‌سازی الگوی مصرف این نهاده‌ها معطوف گردد [۸ و ۱۵-۱۸].

تأمین این اهداف در یک الگوی کشت، مشخص می‌کند که هدف تصمیم‌گیرنده در انتخاب فعالیت‌های مختلف زراعی معمولاً به یک موضوع خاص ختم نشده و تصمیم‌گیرنده باید تعادلی بین نتایج و خروجی‌های حاصل از تصمیم که در تضاد و تقابل همدیگر هستند، برقرار کند [۱۹]. تصمیم‌گیری در شرایطی که چند هدف ویژه در پیش روی مدیران واحدهای کشاورزی قرار دارد، علاوه بر ابزار تصمیم‌سازی، نیازمند اطلاعات متنوع و مختلفی است. ساز و کار یک نظام مدیریتی بر اساس چنین اطلاعاتی و اهداف چندگانه در طول زمان و مکان‌های مختلف کار ساده‌ای نیست و نیازمند روشی است که بتواند بر اساس مجموعه‌ای از اطلاعات موجود و آرمان‌های متفاوتی که در پیش روی مدیران واحدهای کشاورزی وجود دارد، آنها را در جهت اتخاذ یک تصمیم منطقی راهنمایی کند. در ادبیات علمی بهینه‌سازی، نوع مدل تصمیم‌گیری مناسب در چنین شرایطی یکی از روش‌های چند معیاری^{۱۱}، چندهدفی^{۱۲}، اهداف متقابل^{۱۳} و چندخصلتی^۱ است. وجه مشترک تمامی این روش‌ها آن

در راستای هدف رشد اقتصادی در هر کشور و تأمین نیاز افراد، کالاها و خدماتی توسط سازمان‌های مختلف در بخش‌های دولتی و خصوصی تولید و عرضه می‌شود و یا از خارج وارد می‌گردد. به این ترتیب، افزایش درآمد ملی، پیش‌نیاز افزایش درآمد سرانه و افزایش رفاه و کامیابی جامعه و معیاری برای اندازه‌گیری رشد اقتصادی است. موانع موجود بر سر راه رشد اقتصادی عبارت است از محدودیت‌های عرضه و رشد روز افزون تقاضا که منجر به ایجاد شکاف بین عرضه و تقاضا می‌گردد. افزایش بهره‌وری، مهم‌ترین راه حل پر کردن این شکاف است. طبق تعریف، بهره‌وری عبارت است از نسبت مقدار معینی از محصول به مقدار معین از یک یا چند نهاده [۱].

با توجه به تقاضای در حال افزایش محصولات کشاورزی، افزایش بهره‌وری استفاده از منابع کمیاب، ضرورتی انکارناپذیر است. بهره‌برداری مطلوب از این منابع، افزون بر تأمین تقاضای جامعه به‌عنوان یک هدف کلان، می‌تواند افزایش درآمد بهره‌برداران را که برای آنها فعالیت کشاورزی علاوه بر یک فعالیت اقتصادی به‌عنوان شیوه‌ای از زندگی نیز محسوب می‌شود، به‌دنبال داشته باشد. به‌همین دلیل در برنامه‌ریزی‌های اقتصادی و کلان کشورهای مختلف، افزایش بهره‌وری استفاده از منابع یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مورد توجه در توسعه کشاورزی بوده است.

یکی از راهکارهای مناسب برای افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی، اصلاح الگوی کشت محصولات با توجه به معیارهای اقتصادی در مناطق مختلف و همچنین در نظر گرفتن محدودیت‌های فنی و عوامل تولید است. پیشرفت‌های امروزی به بشر توانایی داده تا از این راهکار به‌گونه مطلوب‌تری استفاده کند. مزیت روش‌های نوین به روش‌های سنتی، اختصاص بهینه عوامل تولید برای حصول حداکثر بهره‌وری استفاده از آنها است.

تحقق هدف افزایش بهره‌وری از طریق تأمین حداکثر بازده ناخالص کشت محصولات، در الگوی کشت مناطق مختلف در مطالعات دوپلر و همکاران^۱ و همچنین رستگاری پور و صبحی^۲ مورد توجه قرار گرفته است [۲ و ۳]. از طرف دیگر، استفاده پایدار از منابع آبی کمیاب به‌عنوان یک هدف برای محققان و برنامه‌ریزان منابع آب مورد توجه است [۴ و ۵]. این هدف علاوه بر هدف تأمین حداکثر بازده ناخالص و تخصیص بهینه آب در بهینه‌سازی الگوهای زراعی، از اهداف مشخص بسیاری از مطالعات از جمله مطالعه بندر^۲ و سیمونوویک^۳، بربل^۴، گومز-لیمون^۵ و بارتولینی و همکاران^۶

⁵ Gomez-Limon

⁶ Bartolini et al

⁷ Suresh

⁸ Mujumdar

⁹ Francisco

¹⁰ Mubarik

¹¹ Multi Criteria

¹² Multi Objective

¹³ Competing Objective

¹ Doppler et al

² Bender

³ Simonovic

⁴ Berbel

اهداف یاد شده از حد بحرانی هر یک طراحی گردید. فرم عمومی این الگو که چارچوب کلی آن برگرفته از مطالعه بارنز^۳ و جانز^۴ بود، به صورت زیر است [۱۹]

$$\text{Max} : \lambda = \left[\sum_{j=1}^M w_j \lambda_j^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (1)$$

Subject to:

$$\lambda_j (Z_j^{\text{Max}} - Z_j^{\text{Min}}) + Z_j(x^*) \leq Z_j^{\text{Max}} \quad (2)$$

When Z_j^{Min} is best

$$Z_j(x^*) - \lambda_j (Z_j^{\text{Max}} - Z_j^{\text{Min}}) \geq Z_j^{\text{Min}} \quad (3)$$

When Z_j^{Max} is best

$$A_{hi} x_i \leq b_h \quad (4)$$

$$x_i \geq 0 \quad (5)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, 5 \quad h = 1, 2, \dots, q$$

که در این روابط

x_i سطح زیر کشت محصول i ام و λ مسافت تا حد آرمانی هدف Z ام عبارت از متغیرهای تصمیم الگو هستند که باید مقادیر بهینه آنها پس از حل آن به دست آیند. رابطه ۱ تابع هدف الگو است که در آن λ جمع موزون (مرکب) آرمانی اهداف مورد نظر در مطالعه جاری است که هدف حداکثر کردن آن است. در این رابطه w_j وزن هدف j ($\sum_{j=1}^M w_j = 1, w_j \geq 0$) و P عامل تعادلی اهداف است. این عامل به نوعی درجه جانشینی بین اهداف را مشخص می‌کند. درجه جانشینی عبارت است از میزانی از تحقق یک هدف که برای دستیابی به هدف دیگر باید صرف نظر شود. در این مطالعه این جانشینی با تکیه بر وزن اهداف تعیین شده، مسافت بهینه‌سازی شده تا حد آرمانی برای هر هدف و مصالحه صورت گرفته بین آنها در فضای محدودیتهای حاکم انجام شد. هر چه عامل تعاملی بزرگ‌تر باشد تأثیری که تغییرات جانشینی بین اهداف بر جمع موزون مسافت آرمانی اهداف می‌گذارد بیشتر شده و بنابراین امکان جانشینی و مصالحه بین اهداف کمتر می‌گردد.

در حالت P برابر ۱، اهداف بیشترین درجه جانشینی و در حالت P برابر ۳، اهداف کمترین درجه جانشینی را دارند. روابط ۲ و ۳ تابع عضویت اهداف یاد شده در الگوی مطالعه را مشخص می‌کنند.

است که یک توافق کامل در خصوص یک هدف ویژه ساده به دست نمی‌آید [۲۰]. در این راستا، استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی برای ارائه الگوی کشت بهینه از مزیت‌های قابل توجهی برخوردار است که در مطالعات مختلف از آن استفاده شده است [۷ و ۱۲]. مزیت استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی چندهدفه، ایجاد امکان برای در نظر گرفتن اهداف مختلف در فرایند الگوی‌سازی و دستیابی به مصالحه‌ای بهینه بین اهداف یاد شده مشروط بر محدودیتهای موجود است.

با توجه به اینکه بسیاری از اهداف مورد نظر نامتجانس هستند، لذا لازم است به‌گونه‌ای متجانس گردند. در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌هایی که معیارهای تصمیم‌گیری از مقیاسهای نامتجانسی برخوردارند می‌توان از منطق فازی برای همجنس کردن آنها استفاده کرد [۲۱ و ۲۲]. از این روش تاکنون در مطالعات و تصمیم‌گیری چندهدفه استفاده‌های گسترده‌ای شده است [۶، ۱۹، ۲۳ و ۲۴]. منطق فازی، تکنولوژی جدیدی است که در آن شیوه‌هایی که برای طراحی و مدلسازی یک سیستم نیازمند ریاضیات پیچیده و پیشرفته است، با استفاده از مقادیر زبانی و دانش فرد خیره جایگزین می‌شود [۲۰]. به کمک این تئوری نوین می‌توان سطوح مورد نظر برنامه‌ریزان را که به صورت مبهم بیان می‌شود و حالت زبان طبیعی دارد، به صورت کمی و مقداری تعریف نمود [۲۵].

در این مطالعه با توجه به اهمیت تعیین الگوی کشتی که تأمین کننده اهداف چندگانه تصمیم‌گیرندگان است، سعی شد که با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی و منطق فازی، امکان برقراری مصالحه‌ای بین تأمین هدف افزایش بازده ناخالص توأم با اهداف کاهش مصرف آب، کاهش مصرف کود شیمیایی، کاهش واریانس درآمد و اشتغال نیروی کار کشاورزی به‌عنوان دغدغه‌های بهره‌برداران بررسی شود. برای تحقق این امر، با توجه به این که شهرستان مرودشت در استان فارس به‌عنوان یکی از قطبهای مهم کشور در تولید محصولات کشاورزی است، مطالعه موردی حاضر در این شهرستان صورت گرفت.

۲- مواد و روشها

همان‌طور که عنوان شد هدف از این مطالعه افزایش بازده برنامه‌ای کشاورزان در کنار کاهش مصرف آب، کاهش مصرف کود شیمیایی، حداقل ریسک و افزایش اشتغال در استان فارس از راه اصلاح الگوی کشت محصولات زراعی بود. برای متجانس کردن این اهداف از منطق فازی استفاده شد. الگوی در نظر گرفته شده برای مطالعه جاری در چارچوب هدف حداکثر مسافت مرکب آرمانی^۲

³ Barnes

⁴ Jones

¹ Multi Attribute

² Fuzzy Composite Distance

$$\text{Min: } Z_4 = \sum_{i=1}^n F_i X_i \quad (10)$$

$$\text{Max: } Z_5 = \sum_{i=1}^n L_i X_i \quad (11)$$

که در این روابط

Y عملکرد محصول، F میزان استفاده از کود شیمیایی، W میزان آب مصرفی، L نفر روز، کار به کار گرفته شده در یک هکتار کشت، P قیمت واحد محصول، C هزینه‌های متغیر سایر نهاده‌ها به جز نهاده‌های کود شیمیایی و آب، P_F قیمت کود شیمیایی، P_w قیمت آب، و اندیس‌های i و k نیز نشان دهنده نوع محصول هستند. در روابط بالا، حداکثر بازده برنامه‌ای مشروط بر سطح فعلی آب و سایر نهاده‌های در دسترس مطابق رابطه ۷ حاصل شد. حداقل مصرف آب، مشروط بر تأمین سطح فعلی بازده برنامه‌ای مطابق رابطه ۸ ارائه شد. حداقل ریسک نیز مشروط بر سطح فعلی به‌کارگیری نهاده‌ها و همچنین تأمین سطح فعلی بازده برنامه‌ای مطابق رابطه ۹ به دست آمد. حداقل مصرف کود شیمیایی و حداکثر اشتغال نیز مشروط بر تأمین سطح فعلی بازده برنامه‌ای، سطح فعلی آب و سایر نهاده‌های در دسترس به ترتیب مطابق روابط ۱۰ و ۱۱ به دست آمدند. علاوه بر این، σ نیز نشان دهنده ماتریس واریانس-کوواریانس بازده حاصل از تولید محصول است که به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری ریسک ارائه شده است ولی اساس و چارچوب تمامی این روشها آن است که واریانس در آمد کشاورزان در اثر اتخاذ تصمیمهای مختلف چگونه خواهد بود [۹، ۱۰ و ۱۴]. در شرایطی که انتخاب نوع و سطح چند رشته فعالیت مشخص مدنظر باشد، ریسکی بودن این فعالیتها نسبت به هم می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای تصمیم‌گیری و انتخاب فعالیتهای توأم با حداقل نوسانات درآمدی، مورد توجه قرار گیرد. در این مطالعه به‌منظور محاسبه ضریب احتمال خطر برای هر محصول از ماتریس واریانس-کوواریانس پنج‌ساله در آمد حاصل از محصولات منتخب برای بهره‌برداران (σ) استفاده شد.

به‌دلیل غیرخطی بودن تابع مسافت مرکب آرمانی مطالعه جاری، از روش برنامه‌ریزی غیرخطی^۱ برای حل آن استفاده شد. به این ترتیب، با توجه به فازی‌سازی اهداف مطالعه و تلاش در راستای تحقق یک آرمان کلی بر اساس حداکثر کردن مقدار تابع مسافت مرکب آرمانی آنها، ساختار مدل تصمیم‌گیری به‌شکل یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی فازی چندهدفه^۲ که امکان مصالحه چند هدف را به‌طور توأم، مشروط بر محدودیت منابع فراهم نماید،

در این روابط، Z_j^{\max} و Z_j^{\min} به ترتیب حداقل و حداکثر هدف زام، $Z_j(X^*)$ مقدار بهینه هدف و X^* جواب بهینه است و اختلاف Z_j^{\max} و Z_j^{\min} را با عنوان حد تحمل تعریف می‌کنند. رابطه ۲ برای اهدافی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مقدار آرمانی آنها حداقل شدن مقدار متغیر هدف مربوطه (آب، ریسک و کود شیمیایی) است در حالی که رابطه ۳ برای عضویت اهداف آرمانی حداکثر شدن (بازده برنامه‌ای و اشتغال) در نظر گرفته شده است. در اینجا فرض بر آن است که مقدار بحرانی هر یک از اهداف که Z_j^{\max} برای رابطه ۲ و Z_j^{\min} برای رابطه ۳ است، شرایط جاری منطبق با الگوی کشت فعلی بهره‌برداران است. بنابراین مقدار بهینه تعیین شده توسط الگو ($Z_j(X^*)$) نباید از این حد بحرانی کمتر برای آرمان‌های حداکثر شدن، یا بیشتر برای آرمان‌های حداقل شدن باشد. به این ترتیب مقدار آرمانی هر یک از اهداف که Z_j^{\min} برای رابطه ۲ و Z_j^{\max} برای رابطه ۳ است باید بر اساس یک فرایند بهینه‌سازی تک‌هدفه به دست آید.

مجموع روابط ۱ تا ۳ مشروط بر محدودیتهای فنی در قالب رابطه ۴ در نظر گرفته می‌شوند. در این رابطه، A_{hi} ضریب فنی i امین محصول برای h امین محدودیت (منابع تولید) و b_{hi} موجودی h امین محدودیت (منابع تولید) در الگو است. محدودیتهای الگو شامل محدودیت زمین، آب، نیروی کار، سرمایه، تناوب زراعی و محدودیتهای ریسکی و محدودیتهای خاص روش حل مقید برنامه‌ریزی چندهدفی شامل محدودیت سطح بازده مشخص و میزان معین از مصرف آب است. منظور از ضرایب فنی در الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی مقادیر واحد مورد استفاده از هر یک از نهاده‌ها (مقدار آب در واحد سطح، مقدار کود شیمیایی در واحد سطح، مقدار زمین اشغال شده در واحد زمان و غیره) مرتبط با مقیاس در نظر گرفته شده برای هر یک از آنها است.

همان‌گونه که گفته شد، برای تشکیل توابع عضویت پنج هدف یاد شده، ابتدا باید مقادیر بهینه یا آرمانی برای هر یک از اهداف انفرادی را تعیین نمود. منظور از مقدار بهینه، حداکثر بازده برنامه‌ای Z_1 ، حداقل مصرف آب Z_2 ، حداقل ریسک Z_3 ، حداقل مصرف کود شیمیایی Z_4 و حداکثر اشتغال Z_5 است. این مقادیر در قالب یک الگوی برنامه‌ریزی تک‌هدفه مشروط بر محدودیتهای موجود در روابط ۴ و ۵ و توابع هدف ۷ تا ۱۱ تعیین می‌گردند

$$\text{Max: } Z_1 = \sum_{i=1}^n (Y_i P_i - C_i - P_{Fi} F_i - P_w W_i) X_i \quad (7)$$

$$\text{Min: } Z_2 = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad (8)$$

$$\text{Min: } Z_3 = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \sigma_{ik} X_i X_k \quad (9)$$

¹ Non-Linear Programming (NLP)

² Multi Objective Fuzzy Non-Linear Programming (MOFNLP)

طراحی گردید.

مقادیر وزن اهداف باید بین حداکثر و حداقل باشد و بر این اساس وزن اهداف به صورت زیر تعریف می‌گردد [۲۸]

$$w_j = \ln\left(\frac{1}{\lambda_j}\right) / \sum_{j=1}^M \ln\left(\frac{1}{\lambda_j}\right) \quad (15)$$

که در این روابط

w_j تابعی معکوس از میانگین سطح اهداف نسبت به هدف زاست. تابع لگاریتمی نیز بیانگر آن است که اولویت هر الگوی بهینه تابعی غیر خطی از اهداف مورد استفاده است.

با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده، الگوریتم‌های لازم شامل محاسبات مربوط به وضعیت موجود (بحرانی)، الگوهای تک‌هدفه (۵ الگو منطبق با اهداف)، الگوی چندهدفه فازی مصالحه‌ای این مطالعه و محاسبات لازم به منظور استخراج نتایج جمع‌بندی شده در بسته نرم‌افزاری GAMS نوشته شد [۲۹]. سپس با استفاده از گزینه حل حداکثرسازی تابع هدف به صورت برنامه‌ریزی غیرخطی و با فرض ثابت بودن تکنولوژی تولید، قیمت نهاده‌ها، روابط نهاده-ستاده و موجودی منابع آب و خاک (شرایط استاتیک) به شیوه حل CONOPT مستتر در بسته نرم‌افزاری یاد شده و با یک مرتبه اجرای نهایی، نتایج مورد نظر به دست آمد.

۳- مطالعه موردی

مطالعه موردی این تحقیق در شهرستان مرودشت از استان فارس در راستای تأمین اهداف مورد نظر صورت پذیرفت. این شهرستان در ۴۵ کیلومتری شمال شرق شیراز، روی دشت وسیع و حاصلخیزی قرار گرفته و مساحت آن برابر ۴۰۴۰ کیلومتر مربع است که ۲۲۰۳ کیلومتر مربع آن را دشت و ۱۸۳۷ کیلومتر مربع را ارتفاعات تشکیل می‌دهد و متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۵۹۰ متر است [۳۰]. منطقه مورد مطالعه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین قطبهای کشاورزی کشور محسوب می‌شود و از نظر آب و هوایی، در اقلیم مدیترانه‌ای استان قرار دارد [۳۱-۳۳]. میانگین بارش سالانه در شهرستان مرودشت حدود ۵۰۰ میلی‌متر است و منابع آب زیرزمینی آن در دشتهای رامجرد، مرودشت-کربال، و دشتبال-لانه طاووس قرار داشته و مهم‌ترین جریان‌ات سطحی موجود در این منطقه رودخانه‌های کر، سیوند و مائین است. آمارهای موجود نشان می‌دهد که حجم بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی بیش از ظرفیت ذخایر است به‌شکلی که ارتفاع آبهای زیرزمینی در دشت‌های شهرستان مرودشت و ورودی سدها در سالهای اخیر دچار افت شدیدی شده و از روند کاهشی برخوردار بوده است [۳۰]. به این ترتیب علاوه بر عوامل جوی، روند صعودی بهره‌برداری از آبهای سطحی و زیرزمینی در سطح استان فارس و شهرستان مرودشت که

پس از مشخص شدن الگوی مورد استفاده برای بهینه‌سازی فعالیتها در چارچوب تأمین آرمان‌های یاد شده، باید محدودیتها و معیارهای تصمیم‌گیری برای رسیدن به اهداف مشخص در هر گزینه مشخص شود. به طور کلی، این یک فرایند ذهنی است که کاملاً مشخص و مستند نیست و وابسته به ترجیحات و دانش تصمیم‌گیرنده است. برای در نظر گرفتن دانش و ترجیحات تصمیم‌گیرنده، وزن‌هایی بر حسب اهمیت اهداف رقیب به آنها داده می‌شود [۱۹]. با فرض اینکه $n \in [1, N]$ و N تعداد بهره‌برداران و $z \in [1, M]$ که z شماره معیار (هدف) مورد نظر را مشخص می‌کند و همچنین Z_j^n مقداری است که معیار z برای بهره‌بردار n اختیار می‌کند. آنگاه روش کار برای به دست آوردن تابع عضویت شاخص z برای بهره‌بردار n در شرایطی که کمترین مقدار شاخص به‌عنوان حد آرمانی در نظر گرفته می‌شود (در اینجا، مصرف آب، احتمال خطر، و مصرف کود شیمیایی) را می‌توان به صورت زیر تعریف نمود [۲۶]

$$\lambda_j(n) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_j^n \leq Z_j^{\min}, \\ \frac{Z_j^{\max} - Z_j^n}{Z_j^{\max} - Z_j^{\min}} & \text{if } Z_j^{\min} \leq Z_j^n \leq Z_j^{\max}, \\ 0 & \text{if } Z_j^n \geq Z_j^{\max}, \end{cases} \quad (12)$$

که در آن

تابع $\lambda_j(n)$ درجه برخورداری n امین بهره‌بردار را نسبت به معیار z اندازه‌گیری می‌کند. به همین ترتیب اگر بیشترین مقدار اهداف به‌عنوان حد آرمانی تعریف شود (در اینجا، بازده برنامه‌ای و اشغال) تابع عضویت $\lambda_j(n)$ به صورت زیر تعریف خواهد شد

$$\lambda_j(n) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_j^n \geq Z_j^{\max} \\ \frac{Z_j^n - Z_j^{\min}}{Z_j^{\max} - Z_j^{\min}} & \text{if } Z_j^{\min} \leq Z_j^n \leq Z_j^{\max} \\ 0 & \text{if } Z_j^n \leq Z_j^{\min} \end{cases} \quad (13)$$

توابع یاد شده تابعی افزایشی از درجه برخورداری الگو بوده و مقادیری بین صفر و یک اختیار می‌کنند. این توابع عضویت برای رتبه‌بندی اهداف مدنظر بهره‌برداران مطالعه جاری استفاده شد. در این مطالعه با استفاده از روش پیشنهادی سریولی^۱ و زانی^۲، میانگین وزن هندسی برای توابع عضویت اهداف بهره‌برداران به صورت زیر تعیین گردید [۲۷]

$$\lambda(i) = \sum_{j=1}^M w_j \lambda_j(i) \quad (14)$$

¹ Cerioli
² Zani

۴- نتایج و بحث

به منظور تأمین اهداف مطالعه جاری، قبل از اجرای الگوهای برنامه‌ریزی، لازم بود وزن هر یک از اهداف در نظر گرفته شده، مشخص گردد. تعیین این وزن پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز و بر اساس روش تحقیق ارائه شده (مجموعه روابط ۱۲ تا ۱۵) صورت پذیرفت. جدول ۱، وزن محاسبه شده برای هر یک از اهداف در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱- وزن اهداف در نظر گرفته شده در مدل برنامه‌ریزی شهرستان مرودشت

اهداف	شهرستان مرودشت
حداکثر بازده برنامه‌های	۰/۴۱
حداقل ریسک	۰/۱۹
حداقل مصرف آب	۰/۲۰
حداقل مصرف کود شیمیایی	۰/۰۸
حداکثر اشتغال	۰/۱۲

سطح زیر کشت کل محصولات زراعی آبی شهرستان مرودشت در سال زراعی ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۶ برابر ۱۱۷۰۱۷ هکتار است. ۹۶/۷۵ درصد از این سطح، در سال زراعی ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۶ به کشت ۸ محصول گندم، جو، برنج، چغندر قند، کلزا، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی اختصاص یافته است (جدول ۲). با توجه به اهمیت کشت این محصولات در شهرستان و پرهیز از مداخله ترکیب کشت محصولات کم اهمیت‌تر در الگوی کلی این شهرستان، الگوی برنامه‌ریزی در نظر گرفته شده با فرض عدم تغییر در سطح زیر کشت سایر محصولات که کمتر از ۳/۲۵ درصد از کل اراضی آبی را تشکیل می‌دهند، اجرا شد.

جدول ۲- سطح زیر کشت، عملکرد و فراوانی سطح محصولات زراعی شهرستان مرودشت

محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	عملکرد (کیلوگرم)	فراوانی از کل (درصد)	فراوانی جمعی (درصد)
گندم	۶۸۴۴۰	۵۱۲۶	۵۸/۴۹	۵۸/۴۹
جو	۷۷۷۰	۳۲۶۲	۶/۶۴	۶۵/۱۳
برنج	۲۵۵۶۵	۴۴۲۵	۲۱/۸۵	۸۶/۹۷
چغندر قند	۸۷۱	۴۴۱۰۱	۰/۷۴	۸۷/۷۲
کلزا	۱۳۱۷	۲۹۵۸	۱/۱۳	۸۸/۸۴
ذرت دانه‌ای	۳۶۶۲	۷۷۴۰	۳/۱۳	۹۱/۹۷
ذرت علوفه‌ای	۳۰۴۰	۶۳۱۵۰	۲/۶۰	۹۴/۵۷
گوجه‌فرنگی	۲۵۴۴	۵۵۸۹۶	۲/۱۷	۹۶/۷۵
سایر محصولات	۳۸۰۸	-	۳/۲۵	۱۰۰/۰۰
جمع کل	۱۱۷۰۱۷	-	۱۰۰/۰۰	-

با افزایش تمایل زارعان به توسعه کشت محصولات زراعی آب‌دوست، تقاضا برای حفر چاههای جدید و استحصال شدیدتر منابع آب از چاههای موجود همراه بوده، از جمله عوامل بحران آب در این دشت است. لذا هرگونه مطالعه و تحقیقی که بتواند موجب کاهش مصرف آب و رهایی از بحران شود ضروری است. افزون بر آب که به طور بی‌رویه استفاده می‌شود، در سطح استان از نهاده کود شیمیایی نیز در حد بسیار بالایی استفاده می‌گردد که لزوم توجه به الگوی مصرف بهینه آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۳۴].

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز این مطالعه موردی، بر اساس آنچه که متضمن رسیدن به اهداف مطالعه و الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه طراحی شده برای آن بود، جمع‌آوری شد.

۳-۱- الگوی کشت جاری محصولات

با استفاده از آمار، سطح زیر کشت محصولات بر مبنای اطلاعات سال زراعی ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۷ برای محصول عمده مورد کشت در شهرستان به دست آمد [۳۲]. سطح هر محصول به صورت درصدی از مجموع سطح محصولات عمده مورد کشت محاسبه شد. در این خصوص، نتایج ارائه شده برای متغیر تصمیم (سطح زیر کشت) در الگوهای زراعی پیشنهادی نیز به درصد بیان شدند.

۳-۲- هزینه تولید و درآمد محصولات

به منظور اخذ اطلاعات این قسمت، پرسشنامه‌ای حاوی اطلاعات فنی و اقتصادی تولید محصولات شامل متغیرهای برونزای مصرف نهاده‌ها، قیمت نهاده‌ها، عملکرد محصول و قیمت محصولات مختلف طراحی گردید. با استفاده از این پرسشنامه، اطلاعات مورد نظر از ۱۴۸ بهره‌بردار کشاورزی در محدوده مطالعاتی که به روش نمونه‌گیری خوشه‌ای چندمرحله‌ای^۱ انتخاب شده بودند، در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ جمع‌آوری شد.

۳-۳- نیاز آبی و راندمان مصرف آب برای محصولات مختلف

مبنای لحاظ این اطلاعات در الگوهای در نظر گرفته شده، مطالعه عزیزاده و کمالی در مناطق مورد مطالعه و سند ملی آب کشور قرار داده شد [۳۵].

۳-۴- سابقه عملکرد و قیمت محصولات

سابقه عملکرد و قیمت محصولات بر اساس اطلاعات حاصله از وزارت جهاد کشاورزی، مرکز آمار ایران و سایر سایت‌های مرتبط، در سالهای مختلف جمع‌آوری گردید.

^۱ Multi Stage Cluster Sampling

جدول ۳. اطلاعات پایه مورد استفاده در این مطالعه که پس از جمع‌آوری و استنتاج داده‌های پرسشنامه‌های تکمیل شده از جمعیت نمونه این مطالعه به روش میانگین‌گیری به دست آمد را نشان می‌دهد. علاوه بر این، اطلاعات نیاز آبی ناخالص محصولات و موجودی آب در دسترس برای یک سال نرمال زراعی در جدول ۴ ارائه شده است. از آنجا که فرض اساسی در اجرای الگوی این مطالعه این بود که شرایط پیش رو استاتیک هستند، لذا لازم بود که تحلیل حساسیتی نیز بر موجودی منابع آب به عنوان محدودیت اصلی الگوی‌های پیش رو صورت گیرد. نتایج این تحلیل که با استفاده از اجرای الگوی بهینه تک‌هدف حداکثر کننده بازده برنامه‌ای به دست آمد، دامنه‌های پایین و بالای تغییرات منابع آب را به شکلی که در قسمت پایین جدول ۴ نشان داده شده است، مشخص نمود. در صورتی که موجودی منابع آب تا حداقل مقدار مشخص شده در دامنه پایین و حداکثر مقدار دامنه بالا نوسان کند، در ارزش سایه‌ای^۱ ایجاد شده توسط هر واحد آب اضافی، تغییری ایجاد نمی‌شود. به عنوان نمونه، اطلاعات حاصل از تحلیل قیمت سایه‌ای منابع آب نشان داد که اضافه شدن هر متر مکعب آب به موجودی آن در ماه آذر، بازده برنامه‌ای الگو را در حدود ۲۹۴۰ ریال اضافه خواهد کرد. دامنه پایین موجودی آب در جدول ۴ نشان می‌دهد که اگر مقدار فعلی موجودی که برابر ۲۱۱ متر مکعب در یک هکتار زمین است تا حد ۸۷ متر مکعب نیز پایین آید، هر واحد کاهش به مقدار قیمت سایه‌ای ذکر شده از بازده برنامه‌ای کل کسر خواهد کرد.

^۱ Shadow Price (Dual value)

در عین حال اضافه شدن موجودی تا حد ۳۷۷ متر مکعب در هکتار نیز به همین مقدار به بازده برنامه‌ای اضافه خواهد کرد. بدیهی است در صورتی که این موجودی خارج از دامنه ذکر شده تغییر کند، عدد قیمت سایه‌ای نیز تغییر خواهد کرد.

با استفاده از اطلاعات جدولهای ۱ تا ۴، ابتدا مقادیر بحرانی (شرایط جاری) اهداف، محاسبه و سپس الگوهای تک‌هدفه برای به دست آوردن مقادیر آرمانی هر یک از اهداف اجرا شد (پنج نوبت اجرا). این مقادیر داده‌های ورودی لازم در توابع عضویت فازی را تولید کردند (روابط ۲ و ۳). به کمک مقادیر به دست آمده و با استفاده از الگوی چندهدفه طراحی شده، نتایج این مطالعه به شرح جدولهای ۵ تا ۷ به دست آمد. برای این نتایج، فاکتور توازن معادل ۱ که نشان‌دهنده بیشترین اجازه جانشینی بین اهداف الگو است، در نظر گرفته شد. این نتایج در چارچوب دامنه‌های پایین و بالای منابع آب جدول ۴ به دست آمده و در صورتی که موجودی منابع آب خارج از دامنه یاد شده تغییر کند، شرایط مدل برای ایجاد هر واحد بازده برنامه‌ای تغییر خواهد کرد و الگوی‌های تک‌هدفه برای رسیدن به الگوی چندهدفه مصالحه کننده اهداف باید مجدداً اجرا شوند. از آنجا که تحلیل مقادیر مختلف منابع آب خارج از تحلیل حساسیت صورت گرفته در این مطالعه (دامنه‌های پایین و بالا) مستلزم اعمال سناریوهای مختلف کمبود آب در شرایط خشکسالی یا اضافه شدن به منابع آب در شرایط ترسالی است که هر کدام اجرای مجدد الگو و اخذ و تدوین نتایج را می‌طلبد، از وارد شدن به این میحث به دلیل رعایت اختصار در مقاله خودداری شد.

جدول ۳- اطلاعات پایه مورد استفاده در الگوی مطالعه بر اساس مطالعات اسنادی و پیمایشی صورت گرفته

محصول	ترکیب کشت (درصد)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	ریسک (واریانس در آمد)	ارزش سموم (ریال در هکتار)	کود شیمیایی (کیلوگرم در هکتار)	نیروی کار (نفر روز در هکتار)	اقتصاد (هزار ریال در هکتار)	
							درآمد ناخالص	هزینه
گندم	۰/۵۸	۵۱۲۶	۰/۳۹۵	۹۲۴۲۵	۵۸۳	۲۰/۳۸	۱۴۷۶۶	۵۲۹۲
جو	۰/۰۷	۳۲۶۲	۰/۹۳۱	۲۵۶۱۲	۳۱۲	۱۳/۷۱	۶۴۰۶	۴۴۳۹
برنج	۰/۲۲	۴۴۲۵	۰/۷۷۴	۲۸۶۰۴۶	۵۱۶	۵۲/۳۵	۲۵۰۸۱	۲۰۴۲۹
چغندر قند	۰/۰۱	۴۴۱۰۱	۰/۹۹۲	۳۸۵۰۸۴	۹۷۱	۲۳/۳۸	۲۱۴۵۴	۱۷۳۰۲
کلزا	۰/۰۱	۲۹۵۸	۰/۹۸۸	۲۴۸۰۸۳	۸۱۵	۱۳/۶۳	۱۰۷۱۶	۸۲۰۴
ذرت دانه‌ای	۰/۰۳	۷۷۴۰	۰/۹۶۸	۲۲۳۷۳۷	۷۳۳	۳۰/۴۶	۱۷۰۹۷	۱۰۰۳۸
ذرت علوفه‌ای	۰/۰۳	۶۳۱۵۰	۰/۹۷۳	۲۲۳۷۳۷	۷۳۳	۳۰/۴۶	۱۷۶۸۲	۹۰۳۴
گوجه‌فرنگی	۰/۰۲	۵۵۸۹۶	۰/۹۷۸	۵۴۴۳۱۸	۸۶۰	۶۰/۴۴	۵۷۳۵۸	۴۰۷۹۵
آیش	۰/۰۳	-	-	-	-	-	-	-

جدول ۴- نیاز آبی ناخالص و موجودی منابع آب در دسترس برای اجرای الگوی مطالعه (متر مکعب در هکتار)

شرح	ماه											
	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
نیاز آبی ناخالص گندم	۰	۱۲۲۰	۴۸۰	۰	۰	۱۰۲۰	۱۷۰۰	۳۸۳۰	۴۵۴۰	۰	۰	۱۲۷۹۰
جو	۰	۸۹۰	۸۰	۰	۲۹۰	۱۰۵۰	۲۵۰۰	۴۱۰۰	۱۵۳۰	۰	۰	۱۰۴۴۰
برنج	۳۸۰۰	۳۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۶۳۰	۵۷۰۰	۲۰۵۴۰
چغندر قند	۲۱۶۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۴۶۰	۵۱۵۰	۶۲۵۰	۵۶۱۰	۲۷۳۲۰
کلزا	۰	۱۲۲۰	۴۸۰	۰	۰	۱۰۲۰	۱۷۰۰	۳۸۳۰	۴۵۴۰	۰	۰	۱۲۷۹۰
ذرت دانه‌ای	۸۶۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۰۹۰	۴۸۱۰	۵۳۹۰	۲۰۴۱۰
ذرت علوفه‌ای	۲۶۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۳۶۰	۴۹۶۰	۱۶۶۹۰
گوجه‌فرنگی کل آب در دسترس	۲۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۳۶۰	۵۱۱۰	۱۹۲۴۰
موجودی	۶۸۵	۶۱۸	۲۱۱	۰	۱۴	۴۹۰	۸۵۳	۱۸۶۸	۲۲۴۳	۱۱۹۹	۱۲۲۷	۱۰۴۹۱
دامنه پایین	۶۳۱	۵۲۶	۸۷	۰	۰	۱۶۶	۷۵۰	۱۸۲۷	۲۲۲۵	۱۱۹۹	۱۲۲۰	۱۰۰۸۶
دامنه بالا	+ ۰۰	+ ۰۰	۳۷۷	+ ۰۰	+ ۰۰	۵۱۷	+ ۰۰	+ ۰۰	۲۲۵۳	+ ۰۰	+ ۰۰	+ ۰۰

جدول ۵- الگوی کشت مدل‌های مختلف در نظر گرفته شده در شهرستان مرودشت (درصد)

محصول	جاری	حداکثر بازده برنامه‌ای	هدف الگو		حداکثر بازده مصرف آب	حداکثر بازده مصرف آب (احتمال خطر)	حداکثر بازده مصرف کود شیمیایی	حداکثر بازده اشتغال	مصالحه اهداف
			حداقل کننده ریسک	حداقل کننده مصرف کود شیمیایی					
گندم	۶۰/۴۵	۶۱/۶۱	۴۳/۵۰	۵۸/۴۱	۴۳/۵۰	۴۳/۵۰	۶۰/۹۱	۶۰/۵۲	۵۲/۵۲
جو	۶/۸۶	۳/۴۳	۳/۴۳	۳/۴۳	۳/۴۳	۳/۴۳	۶/۸۶	۶/۸۶	۶/۸۶
برنج	۲۲/۵۸	۱۱/۲۹	۱۱/۲۹	۱۱/۲۹	۱۱/۲۹	۱۱/۲۹	۲۳/۰۶	۱۴/۶۸	۱۴/۶۸
چغندر قند	۰/۷۷	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸
کلزا	۱/۱۶	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸
ذرت دانه‌ای	۳/۲۳	۱/۶۲	۱/۶۲	۱/۶۲	۱/۶۲	۱/۶۲	۱/۶۲	۱/۶۲	۱/۶۲
ذرت علوفه‌ای	۲/۶۹	۱۴/۰۰	۱/۳۴	۱/۳۴	۱/۳۴	۱/۳۴	۱/۳۴	۱/۳۴	۱/۳۴
گوجه‌فرنگی	۲/۲۵	۵/۲۲	۱۷/۱۰	۸/۵۷	۱۷/۱۰	۱۷/۱۰	۴/۷۳	۱۳/۵۳	۱۳/۵۳
آیش	۰/۰۰	۱/۸۶	۲۰/۷۵	۱۴/۳۷	۲۰/۷۵	۲۰/۷۵	۰/۵۰	۸/۴۷	۸/۴۷

جدول ۵ نتایج حاصل از اجرای الگوهای برنامه‌ریزی با اهداف متفاوت در شهرستان مرودشت را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، در الگوی جاری کشت محصولات این شهرستان، دو محصول گندم و برنج به ترتیب در کشت‌های اول و دوم سال زراعی، بیشترین سهم را در ترکیب کشت محصولات مختلف دارا هستند. این در حالی است که الگوی حداکثر کننده بازده برنامه‌ای،

سطح زیر کشت محصولاتی چون ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی را اضافه می‌کند. الگوی حداکثر کننده مصرف آب نیز، سطح زیر کشت تمامی محصولات به جز گوجه‌فرنگی را کاهش می‌دهد که به این ترتیب بخشی از زمین‌های قابل کشت زراعی، به صورت آیش باقی می‌مانند. این در حالی است که در الگوی حداکثر کننده ریسک، میزان کاهش سطح زیر کشت محصولات مختلف کمتر است تا

ضمن حفظ سطح بازده فعلی احتمال خطر محصولات پرخطرتر کاهش یابد. ولی هنوز زمین‌هایی به صورت آیش رها شده هستند. با نگاهی به سهم محصولات مختلف در الگوی حداقل کننده مصرف کودهای شیمیایی مشاهده می‌شود که این الگو معادل الگوی حداقل کننده مصرف آب است. این نکته، تلویحاً حکایت از رابطه مکملی بین نهاده‌های آب و کود در ادبیات زراعی کشت محصولات این شهرستان دارد. به گونه‌ای که با تغییر سطح زیر کشت به سوی محصولات با نیاز آبی پایین‌تر، مصرف کود شیمیایی نیز کاهش یافته است.

الگوی برنامه‌ریزی دیگری که در اهداف تحقیق به آن توجه شده و در جدول ۵ نیز نتایج آن ارائه شده است، الگوی تأمین کننده منافع اجتماعی با در نظر گرفتن حداکثر سطح اشتغال ممکن برای کارگران کشاورزی این شهرستان بود. نتایج جدول نشان می‌دهد که این الگو به جز پاره‌ای تغییرات در ترکیب کشت چند محصول، شباهت زیادی به الگوی جاری کشت محصولات در منطقه دارد.

همان‌گونه که در قسمتهای قبل به آن اشاره شد، در تصمیم‌گیری برای تعیین ترکیب کشت محصولات زراعی در مناطق مختلف، تصمیم زراعی منطقی مشتمل بر در نظر گرفتن تمامی اهداف مهم پیش‌گفته است. از آنجا که امکان تأمین تمامی اهداف که گاهاً به صورت متضاد ظاهر می‌شوند، وجود ندارد با اجرای الگوی مصالحه‌ای پیش‌گفته سعی شد تا به تأمین آرمانی این اهداف در شهرستان مرودشت بر اساس وزن در نظر گرفته شده برای آنها و امکان جانشینی آنها در الگو پرداخته شود. در این راستا، الگوی مصالحه‌ای اهداف در جدول ۵ ارائه شده است. در این الگو با کاهش سطح کشت گندم از ۶۰/۴۵ درصد، به ۵۲/۵۲ درصد، حفظ سطح زیر کشت جو در سطح الگوی جاری کاهش سطح زیر کشت برنج ۲۲/۵۸ درصد، به ۱۴/۶۸ درصد، کاهش نسبی سطح محصولات چغندر قند، کلزا، ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای در کنار افزایش سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی از ۲/۲۵ درصد، به ۱۳/۵۳ درصد، مصالحه‌ای اهداف پنج‌گانه در راستای تأمین حداکثری آرمان‌های مربوطه صورت پذیرفت.

جدول ۶ تأثیر اجرای الگوهای برنامه‌ریزی با اهداف متفاوت بر شاخصهای در نظر گرفته شده در مطالعه جاری را نشان می‌دهد. در این جدول فاصله شاخصها تا آرمان در نظر گرفته شده و حد بحرانی آن ارائه شده است. از آنجا که حد بحرانی تمامی آرمان‌های در نظر گرفته شده، الگوی جاری کشت محصولات فرض شده است در این جدول، تابع مسافت مرکب آرمانی در الگوی جاری برابر صفر است. این در حالی است که در الگوی برنامه‌ریزی حداکثر کننده بازده برنامه‌ای هر چند که فاصله تا آرمان دستیابی به بیشترین بازده برنامه‌ای ممکن به صفر رسیده است، ولی فاصله آن تا حد بحرانی

احتمال خطر ممکن نیز، صفر است. علاوه بر این آرمان‌هایی چون حداقل ساختن مصرف کود شیمیایی و حداکثر ساختن اشتغال در حد بحرانی نیز کمتر شده است (با توجه به علامت منفی آنها). آرمان حداقل ساختن مصرف آب نیز تا حد بحرانی، تنها ۵۸ مترمکعب فاصله دارد. این عوامل باعث شده که مسافت مرکب آرمانی این الگو، تنها در حدود ۲۱ درصد نسبت به الگوی جاری ارتقا یابد.

در الگوی حداقل کننده مصرف آب، رسیدن به آرمان‌های کاهش مصرف آب و کود شیمیایی تحقق یافته است ولی آرمان حداکثر ساختن بازده برنامه‌ای به دست نیامده و این آرمان در حد بحرانی ثابت مانده است. هر چند به آرمان حداقل سازی احتمال خطر تا حدودی نزدیک شده است و تنها ۲/۴۴ درصد با آن فاصله دارد ولی تحقق آرمان حداکثر سازی اشتغال به میزان ۲ نفر روز کارگر در هکتار از حد بحرانی نیز کمتر شده است. مجموعه فواصل مذکور تا حد آرمانی مورد نظر باعث شده که فاصله مرکب آرمانی، تنها حدود ۲۰ درصد نسبت به مقدار بحرانی آن بهبود یابد.

نتایج جدول ۶، دستیابی در خصوص الگوی حداقل کننده ریسک، حکایت از آن دارد که هر چند احتمال خطر نسبت به شرایط جاری ۱۰/۳۹ درصد کاسته شده است و تا آرمان‌های کاهش مصرف آب و کود شیمیایی، به ترتیب تنها ۲۷ مترمکعب و ۱۴ کیلوگرم فاصله وجود دارد ولی تحقق آرمان حداکثر سازی بازده برنامه‌ای، صورت نگرفته و در حد بحرانی باقی مانده و شاخص اشتغال از حد بحرانی خود در حدود ۴ نفر روز نیز کمتر شده است. این فواصل باعث شده که مسافت مرکب آرمانی در حدود ۶ درصد نسبت به وضعیت بحرانی کاهش یابد.

الگوی دیگری که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است، الگوی حداقل کننده مصرف کود شیمیایی است. مشاهده نتایج به دست آمده برای این الگو حکایت از آن دارد که شاخصهای به دست آمده برای آن مشابه الگوی حداقل کننده مصرف آب است. بنابراین مسافت مرکب آرمانی برای این الگو نیز در حدود ۲۰ درصد است.

الگوی حداکثر کننده اشتغال نیز الگوی دیگری است که با تحقق آن ۰/۷۸ نفر روز کارگر در هکتار به اشتغال کارگران نسبت به الگوی جاری اضافه خواهد شد. با اجرای این الگو، از حد بحرانی بازده برنامه‌ای به میزان ۲۱۶،۹۷۰ ریال در هکتار فاصله حاصل شده است. در عین حال شاخصهای احتمال خطر، مصرف آب و کود شیمیایی نیز تا حد بحرانی فاصله مثبتی گرفته‌اند، ولی هنوز تا حد آرمانی فاصله زیادی دارند. مجموعه فاصله تا آرمان‌های مورد نظر باعث شده که مسافت مرکب آرمانی برای الگو به میزان ۲۳/۱۵ درصد نسبت به شرایط بحرانی بهبود یابد.

جدول ۶- تأثیر الگوی کشت بر شاخصهای مختلف در شهرستان مرودشت*

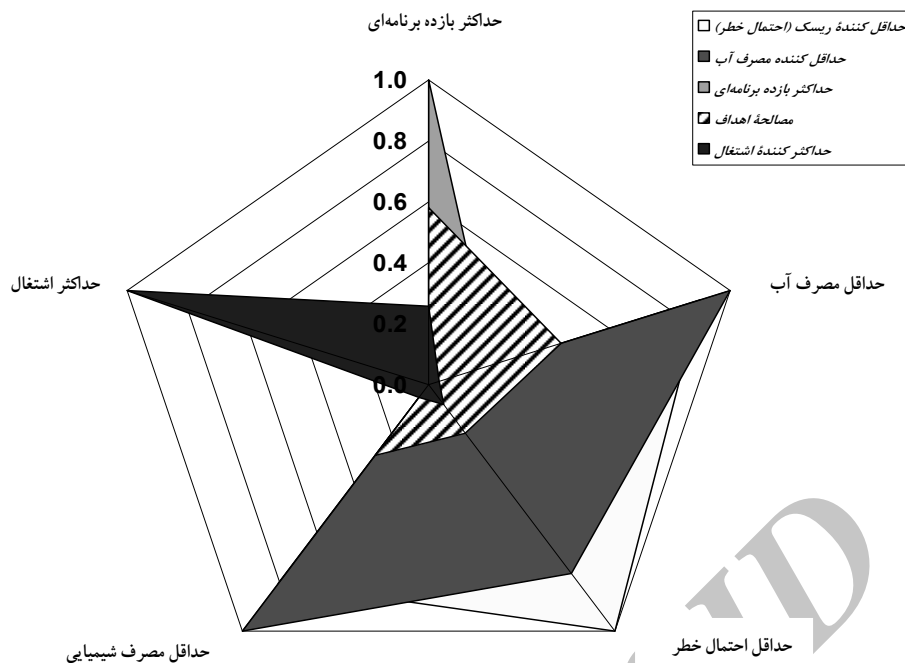
شرح متغیر	هدف الگو					
	جاری	حداکثر بازده برنامه‌ای	حداقل کننده مصرف آب	حداقل کننده ریسک (احتمال خطر)	حداقل کننده مصرف کود شیمیایی	حداکثر مصالحه اهداف
شاخص به دست آمده						
بازده برنامه‌ای	۷.۸۰۷.۲۷۳	۸.۶۵۰.۰۶۲	۷.۸۰۷.۲۷۳	۷.۸۰۷.۲۷۳	۷.۸۰۷.۲۷۳	۸.۲۹۶.۸۶۱
مصرف آب	۱۴۹۹	۱۴۴۱	۱۲۲۶	۱۲۵۳	۱۲۲۶	۱۳۷۹
احتمال خطر	۵۷/۶۴	۵۷/۵۵	۴۹/۶۸	۴۷/۲۴	۴۹/۶۸	۵۵/۵۹
کود شیمیایی	۵۷۰	۵۹۶	۵۰۰	۵۱۳	۵۰۰	۵۵۰
اشتغال	۲۸/۵۸	۲۷/۰۲	۲۶/۶۵	۲۴/۵۴	۲۶/۶۵	۲۸/۵۸
فاصله تا آرمان						
حداکثر بازده برنامه‌ای	۸۴۲.۷۸۹	۰	۸۴۲.۷۸۹	۸۴۲.۷۸۹	۸۴۲.۷۸۹	۳۵۳.۲۰۱
حداقل مصرف آب	۲۷۲	۲۱۴	۰	۲۷	۰	۱۵۲
حداقل احتمال خطر	۱۰/۳۹	۱۰/۳۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۴۴	۸/۳۵
حداقل مصرف کود شیمیایی	۷۰	۹۶	۰	۱۴	۰	۵۰
حداکثر اشتغال	۰/۷۸	۲/۳۴	۲/۷۱	۴/۸۳	۲/۷۱	۰/۷۸
فاصله تا حد بحرانی						
حداکثر بازده برنامه‌ای	۰	۸۴۲.۷۸۹	۰	۰	۰	۴۸۹.۵۸۸
حداقل مصرف آب	۰	۵۸	۲۷۲	۲۴۶	۲۷۲	۱۲۰
حداقل احتمال خطر	۰/۰۰	۰/۰۸	۷/۹۵	۱۰/۳۹	۷/۹۵	۲/۰۵
حداقل مصرف کود شیمیایی	۰	-۲۶	۷۰	۵۷	۷۰	۲۰
حداکثر اشتغال	۰/۰۰	-۱/۵۶	-۱/۹۳	-۴/۰۵	-۱/۹۳	۰/۰۰
مسافت مرکب فازی	۰/۰۰	۲۰/۶۰	۲۰/۴۷	-۵/۹۳	۲۰/۴۷	۳۸/۸۴

* واحد بازده برنامه‌ای: ریال در هکتار، مصرف آب: مترمکعب در هکتار، احتمال خطر: درصد، مصرف کود شیمیایی: کیلوگرم در هکتار و اشتغال: نفر - روز در هکتار است.

شکل ۱ وضعیت تحقق آرمان‌های مختلف در الگوهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. آنچه که از بررسی این شکل می‌توان دریافت آن است که هر چند در الگوهای با اهداف واحد، بخشی از سطوح آرمان اهداف در نظر گرفته شده تحقق یافته است، ولی از سطوح آرمانی سایر اهداف که با هدف مورد نظر در تضاد بوده‌اند، فاصله به وجود آمده است. این در حالی است که در الگوی مصالحه‌ای اهداف، با لحاظ وزن آرمان‌های مختلف از دیدگاه تصمیم‌گیرندگان، امکان تحقق حداکثری مصالحه اهداف مهمی چون حداکثر بازده برنامه‌ای و حداقل مصرف آب وجود داشته است. علاوه بر این، آرمان‌های حداقل احتمال خطر و حداقل مصرف کود شیمیایی نیز در این مصالحه نقش داشته‌اند.

از آنجا که بررسی الگوی کشت منطقه مورد مطالعه به صورت نسبت سطح زیر کشت محصولات مورد بررسی از مجموع سطح آنها در یک هکتار صورت پذیرفت، نیاز بود تا پس از مشخص شدن الگوی برتر به بررسی تأثیر کلی اجرای آن بر سطوح آرمانی اهداف مورد نظر پرداخته شود.

آنچه که از بررسی نتایج این الگوها می‌توان دریافت آن است که هر چند در الگوهای با هدف واحد بخشی از آرمان در نظر گرفته شده تحقق یافته است، ولی از سایر آرمان‌هایی که با آرمان مورد نظر در تضاد بوده‌اند، فاصله به وجود آمده است. در این خصوص نیاز به الگویی که بتواند حداکثر مصالحه بین اهداف گاهاً متضاد را در بر داشته باشد، دیده می‌شود. الگوی مصالحه‌کننده اهداف در پاسخ به این نیاز در شهرستان مرودشت اجرا شد. نتایج این الگو نشان می‌دهد که فاصله آرمانی برای هیچ یک از شاخصهای در نظر گرفته شده صفر نیست. به عبارت دیگر هیچکدام از آرمان‌ها به صورت کامل تحقق نیافته است. ولی در عین حال شاخصهای بازده برنامه‌ای، مصرف آب، ریسک و مصرف کود شیمیایی از حد بحرانی خود فاصله گرفته‌اند و شاخص اشتغال در حد بحرانی خود یعنی همان الگوی جاری باقی مانده است، به عبارتی اشتغال در سطح الگوی جاری حفظ شده است. مجموعه این فواصل باعث شده که فاصله مرکب آرمانی نسبت به شرایط موجود، ۳۸/۸۴ درصد ارتقا یابد که نسبت به سایر الگوهای در نظر گرفته شده در وضعیت مناسب‌تری قرار دارد.



شکل ۱- مقایسه وضعیت تحقق آرمان‌های پنج‌گانه در الگوهای مختلف

هدف واحد توانسته است که بهینه‌یابی لازم را در خصوص انتخاب الگوی کشت مورد نیاز در راستای تأمین هدف آرمانی حداکثر بازده برنامه‌ای انجام دهد. مقایسه شاخصهای به‌دست آمده بر هر یک از آرمان‌ها در الگوهای مصالحه‌کننده اهداف با معادل خود در الگوی تک‌هدفه در تمامی مناطق مورد بررسی نشان داد که در بسیاری موارد امکان تأمین کامل این آرمان‌ها در الگوی مصالحه‌کننده اهداف در مقایسه با الگوهای تک‌هدفه وجود ندارد، با این حال در نظر گرفتن برآیند نتایج و اختصاص وزن مربوطه به هر یک از اهداف از سوی مدیران واحدهای کشاورزی که در قالب تابع مسافت مرکب آرمانی نمایان می‌شود، حکایت از آن دارد که این الگوها نسبت به الگوی جاری و حتی الگوی تک‌هدفه حداکثر کننده بازده برنامه‌ای در تأمین کلی آرمان‌های چندگانه در نظر گرفته شده، برتری دارند. نتایج به‌دست آمده از تأثیر اجرای این الگو بر کل اراضی زراعی در مناطق مورد مطالعه نشان داد که این امر علاوه بر کاهش مصرف آب، کاهش مصرف کود شیمیایی و احتمال ریسک در مناطق را به‌همراه دارد.

۶- پیشنهادها

از آنجا که الگوی زراعی جاری در مقایسه با سایر الگوهای ارائه شده در کمینه تأمین اهداف اساسی چون حداقل شدن مصرف آب، حداکثر شدن بازده برنامه‌ای، حداقل شدن مصرف کود شیمیایی، حداقل شدن ریسک و حداکثر شدن اشتغال قرار دارد، پیشنهاد

جدول ۷ نتایج این تأثیر را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، با اجرای الگوی مصالحه‌کننده بین آرمان‌های پنج‌گانه حداکثر شدن بازده برنامه‌ای، حداقل شدن مصرف آب، کود شیمیایی و احتمال خطر و حداکثر شدن اشتغال نیروی کار، بازده برنامه‌ای شهرستان در حدود ۵۵ میلیارد ریال ارتقا خواهد یافت. علاوه بر این مصرف کمتر حدود ۱۳/۶ میلیون مترمکعب آب و ۲۲۷۶ تن کود شیمیایی در کنار ثابت نگهداشتن اشتغال نیروی کار در سطح الگوی جاری از دیگر نتایج به‌دست آمده از اجرای این الگو خواهد بود.

جدول ۷- تأثیر نهایی الگوی کشت مصالحه‌کننده اهداف نسبت به الگوی جاری

شرح متغیر	فاصله تا حد بحرانی برای سطح زیر کشت	
	۱ هکتار	۱۱۳۲۰۹ هکتار
بازده برنامه‌ای (هزار ریال)	۴۸۹	۵۵،۴۲۵،۷۷۰
مصرف آب (متر مکعب)	۱۲۰	۱۳،۵۷۲،۴۳۷
مصرف کود شیمیایی (کیلوگرم)	۲۰	۲،۲۷۶،۳۰۱
اشتغال (نفر روز)	.	.

۵- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که الگوی جاری کشاورزان، الگوی بهینه زراعی نبوده و زارعان در برقراری مصالحه بین اهداف مختلف، ناکارا عمل می‌نمایند. در عین حال الگوی با

سایر شهرستان‌های استان فارس که در مناطق آب و هوایی در نظر گرفته شده و غیر از آن قرار دارند، مطالعات لازم در خصوص الگوهای مصالحه‌کننده اهداف مطابق آنچه که در این مطالعه برای شهرستان مرودشت صورت پذیرفت، اجرا شود.

می‌شود که امکانات و ابزارهای حمایتی دولت در جهت اجرای الگوی بهینه ارائه شده برای منطقه تجمیع گردد. در این خصوص، اجرای الگوی مصالحه‌کننده اهداف با توجه به برتری‌های مورد اشاره برای آن توصیه می‌شود. علاوه بر این، توصیه می‌گردد که در

۷- مراجع

- 1- Abtahi, S.H., and Kazemi, B. (2001). *Productivity*, Institution of Trade's Studies and Researches, Tehran. (In Persian)
- 2- Doppler, W., Salman, A.Z., Al-Karablieh, E.K., and Wolf, H.P. (2002). "The impact of water price strategies on the allocation of irrigation water: The case of the Jordan Valley." *J. of Agricultural Water Management*, 55, 171-182.
- 3- Rastegaripour, F., and Sabouhi Sabouni, M. (2010). "An optimization model for Kardeh reservoir operation using interval-parameter, multi-stage, stochastic programming." *J. of Water and Wastewater*, 75, 88-98. (In Persian)
- 4- Mohammad Rezapour Tabari, M., Maknoon, R., and Ebadi, T. (2009). "Multi-objective optimal model for surface and groundwater conjunctive use management using SGAs and NSGA-II." *J. of Water and Wastewater*, 69, 2-12. (In Persian)
- 5- Alimohammadi, S., and Hosseinzadeh, H. (2010). "Conjunctive use of surface water and groundwater resources in Abhar river basin." *J. of Water and Wastewater*, 75, 75-87. (In Persian)
- 6- Bender, M.J., and Simonovic, S.P. (2000). "A fuzzy compromise approach to water resource systems planning under uncertainty." *J. of Fuzzy Sets and Systems*, 115, 35-44.
- 7- Berbel, J., and Gomez-Limon, J.A. (2000). "The impact of water-pricing policy in Spain: An analysis of three irrigated areas." *J. of Agricultural Water Management*, 43, 219-238.
- 8- Bartolini, F., Bazzani, G.M., Gallerani, V., Raggi, M., and Viaggi, D. (2007). "The impact of water and agriculture policy scenarios on irrigated farming systems in Italy: An analysis based on farm level multi-attribute linear programming models." *J. of Agricultural System*, 93, 90-114.
- 9- Torkamani, J. (2005). "Using a whole-farm modeling approach to assess prospective technologies under uncertainty." *J. of Agricultural Systems*, 85, 138-154.
- 10- Torkamani, J. (2006). "Measuring and incorporating farmers' beliefs and preferences about uncertain events in decision analysis: A stochastic programming experiment." *Indian J. of Agricultural Economics*, 61(2), 185-199.
- 11- Suresh, K.R., and Mujumdar, P.P. (2004). "A fuzzy risk approach for performance evaluation of an irrigation reservoir system." *J. of Agricultural Water Management*, 69, 159-177.
- 12- Francisco, S.R., and Mubarik, A. (2006). "Resource allocation tradeoffs in Manila's peri-urban vegetable production systems: An application of multiple objective programming." *J. of Agricultural Systems*, 87, 147-168.
- 13- Torkamani, J., and Kalaei, A. (1999). "Effects of risk on farming cropping patterns: Comparison of risk programming methods of MOTAD and TMOTAD." *J. of Agricultural Economic and Development*, 25, 7-28. (In Persian)
- 14- Hasanshahi, M. (2006). "Farming decision making under risk conditions: A case study of Arsanjan township." *J. of Agricultural Economic and Development*, 54, 161-178. (In Persian)
- 15- Ten Berge, H.F.M., van Ittersum, M.K., Rossing, W.A.H., van de Ven, G.W.J., Schans, J., and van de Sanden, P.A.C.M. (2000). "Farming options for The Netherlands explored by multi-objective modeling." *European J. of Agronomy*, 13, 263-277.
- 16- De Koeijer, T.J., Wossink, G.A.A., Smitc, A.B., Janssens, S.R.M., Renkema, J.A., and Struike, P.C. (2003). "Assessment of the quality of farmers' environmental management and its effects on resource use efficiency: A Dutch case study." *J. of Agricultural System*, 78, 85-103.

- 17- Almasri, M.N., and Kaluarachchi, J.J. (2005). "Multi-criteria decision analysis for the optimal management of nitrate contamination of aquifers." *J. of Environmental Management*, 74, 365-381.
- 18- Latinopoulos, D., and Mylopoulos, Y. (2005). "Optimal allocation of land and water resources in irrigated agriculture by means of goal programming: Application in Loudias river basin." *J. of Global Nest*, 7, 264-273.
- 19- Barnes, E.M., and Jones, D. (2000). "Fuzzy composite programming to combine remote sensing and crop models for decision support in precision crop management." *J. of Agricultural System*, 65, 137-158.
- 20- Azar, A., and Faraji, H. (2002). *Fuzzy Management Science*, Ejtemae Press, Tehran. (In Persian)
- 21- Asadpour, A. (2005). "Theory and application of fuzzy programming model in crops production." *Agricultural Economic and Development*, Special Issue of Productivity and Efficiency. (In Persian)
- 22- Mohammad Rezapour Tabari, M., Maknoon, R., and Ebadi, T. (2009). "Conjunctive use management under uncertainty in aquifer parameters." *J. of Water and Wastewater*, 72, 2-12. (In Persian)
- 23- Ghosh, S., and Mujumdar, P.P. (2006). "Risk minimization in water quality control problems of river system." *J. of Advances in Water Resources*, 29, 458-470.
- 24- Maqsood, I., Huang, G.H., and Scott Yeomans, J. (2005). "An interval-parameter fuzzy two-stage stochastic program for water resources management under uncertainty." *European J. of Operational Research*, 167, 208-225.
- 25- Zadeh, L.A. (1965). "Fuzzy sets." *J. of Information and Control*, 8(3), 338-343.
- 26- Berenger, V., and Verdier-Chouchane, A. (2007). "Multidimensional measures of well-being: Standard of living quality of life across countries." *J. of World Development*, 35(7), 1259-1276.
- 27- Cerioli, A., and Zani, S. (1990). "A fuzzy approach to the measurement of poverty." Dagum, C., and Zenga, M. (Eds.), *Income and wealth distribution, inequality and poverty*, Springer-Verlag, Berlin.
- 28- Chiappero Martinetti, E. (1996). "Standard of living evaluation based on Sen's approach: Some methodological suggestions." *J. of Notizie di Politeia*, 12, 37-53.
- 29- Brooke, A., Kendrick, D., and Meeraus, A. (1988). *GAMS: A users's guide*, The Scientific Press, Redwood City, California.
- 30- Khoshakhlagh, F., Ranjbar, F., Toulabi, S., Moghbel, M., and Masoumpour Samakosh, J. (2010). "Studing of drought and its effects on water resources and agriculture in 2008 (Case study: Marvdasht city)." *J. of Geography*, 24, 119-136.
- 31- Anonymous. (2005). *National documents of Fars Province development in 4th 5-years development plan*, Agricultural Planning, Economic and Rural Development Research Institute, Tehran. (In Persian)
- 32- Anonymous. (2008). *Crops data bank*, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran. (In Persian)
- 33- Haiati, D. (1995). "Economic-social and farming-producing factors affecting the technical knowledge, sustainable agricultural knowledge, sustainability of farming system among wheat farmers in Fars province." M.Sc. Thesis, Agricultural College, Shiraz University. (In Persian)
- 34- Karimzadeh, H., Gilanpour, A., and Mirhoseini, S.A. (2006). "Fertilizer subsidy effect on its non-optimal use in wheat production." *J. of Agricultural Economic and Development*, 55, 121-133. (In Persian)
- 35- Alizadeh, A., and Kamali, G. (2007). *Crops' water requirement in Iran*, Emam Reza University, Mashhad. (In Persian)