

## مدیریت پایدار منابع آب بر اساس بهینه سازی عوامل زراعی، زیست محیطی و اقتصادی با استفاده از برنامه ریزی کسری چند هدفه<sup>۱</sup>: مطالعه موردی دشت فریمان تربت جام

سارا پارساپور<sup>۱</sup>، سحر سلطانی<sup>۲\*</sup>، ناصر شاهنوشی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۲۰

۱- پژوهشگر سازمان جهاد دانشگاهی خراسان رضوی

۲- عضو هیات علمی، سازمان جهاد دانشگاهی خراسان رضوی

۳- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\*مسئول مکاتبه: Email:Soltani.sahar@hotmail.com

### چکیده

مطالعه حاضر به دنبال تعیین الگوی بهینه کشت و میزان بهینه برداشت با تاکید بر پایداری منابع آب و بهینه سازی عوامل اقتصادی و زیست محیطی در محدوده مطالعاتی فریمان - تربت جام است. در ابتدای این مطالعه، با محاسبه بیلان منابع آب زیرزمینی در سالهای تر، خشک و نرمال آبی، وضعیت پایداری منابع آب با استفاده از شاخص های پایداری مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه مطالعه حاضر به دنبال طراحی الگوی بهینه کشت با تاکید بر پایداری کشاورزی و منابع آب همراه با حداکثر کردن بازده برنامه ای می باشد، بایستی به سمت استفاده از مدل های برنامه ریزی چندهدفه و از جمله برنامه ریزی چند هدفه کسری پیش رفت. اهداف تعریف شده در مدل، حداکثر نمودن شاخص های پایداری شامل نسبت بازده برنامه ای به مصرف منابع آبی، کودها و سموم شیمیایی است. با اجرای الگوی بهینه کشت پیشنهادی، میزان مصرف آب، کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی به ترتیب به اندازه ۱۰، ۵/۱۱ و ۱۲/۵۲ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی کاهش و بازده برنامه ای به میزان ۰/۶ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین شاخص پایداری منابع آب، کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی نسبت به الگوی کشت فعلی ۱۱/۷۸، ۶/۰۲ و ۱۵ درصد افزایش یافته است. جهت رسیدن به پایداری کمی منابع آب، از شاخص پایداری نسبت آب مصرفی در بخش کشاورزی به آب تجدیدپذیر استفاده شد. با توجه به اینکه با اجرای الگوی بهینه کشت پیشنهادی سالانه ۱۰ درصد از مصرف آب کاسته می شود لذا در دوره میان مدت ۸ ساله می توان میزان آب مصرفی کشاورزی در محدوده مطالعاتی را به اندازه ۰/۷ آب تجدیدپذیر کاهش داد و به پایداری کمی و کیفی منابع آب دست یافت.

واژه های کلیدی: آب تجدید پذیر، الگوی کشت بهینه، برنامه ریزی کسری چندهدفه، پایداری منابع آب، دشت فریمان تربت جام

۱ - این مقاله بر گرفته از طرح مطالعاتی ارائه راهکارهای مدیریتی پایدار منابع آب در محدوده مطالعاتی فریمان تربت جام بر اساس بهینه سازی عوامل زراعی، اقتصادی و زیست محیطی به کارفرمایی شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی است.

## Sustainable Management of Water Resources Based on Optimizing of Agricultural, Environmental and Economic Factors Using Multi Objective Linear Fractional Programming Approach: Fariman-Torbat Jam Plain

Sara Parsapour<sup>1</sup>, Sahar Soltani<sup>2\*</sup>, Naser Shahnoushi<sup>3</sup>

Received: October 31, 2015 Accepted: December 10, 2016

1-Researcher of Iranian Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Khorasan Razavi, Iran.

2-Academic Staff of Iranian Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Khorasan Razavi, Iran.

3-Prof., Dept. of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

\*Corresponding Author: E-mail: Soltani.sahar@hotmail.com

### Abstract

This study aimed to determine the optimal cropping pattern and the optimal amount of water usage emphasizing on sustainability of water resources and optimizing the economic and environmental factors in Fariman-Torbatjam plain. In the first section of this research, the status of sustainability of water resource were analyzed using the sustainability indices and calculation the water balance of underground water in wet, normal and dry water years. Considering that the study aimed to propose the optimal crop pattern by emphasizing on agricultural sustainability and water resource along with maximizing gross margin, the Multi Objective Programming Models like Multi Objective Fractional Programming must be employed. The defined goals of this model are maximizing sustainable indices which involve the ratio of gross margin to water resource usage, chemical fertilizers and pesticides. By implementation of the optimal cropping pattern, the usage of water, chemical fertilizers and chemical pesticides compared to the current crop pattern will decrease by 10, 5.11 and 12.52 percent respectively and gross margin will be increased by 0.6 percent. Also, sustainability index of water, chemical fertilizers and chemical pesticides compared to current cropping pattern, will be increased by 11.78, 6.02 and 15 percent. In order to achieve to the quantitative sustainability of water resources, the ratio of water usage in agricultural sector to renewable water was used. With the implementation of the proposed optimum model, the water consumption will be reduced by 10 percent yearly, then the amount of water usage in agricultural sector in studied area will be decreased by 0.7 of renewable water in 8 years, and then the quantitative and qualitative of sustainability of water resources will be achieved.

**Keywords:** Fariman-Torbat Jam Plain, Multi Objective Fractional Programming Model, Optimal Cropping Pattern, Renewable Water, Sustainability of Water Resources

## مقدمه

آب کالایی با ارزش و غیرقابل جایگزین در توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها است و یکی از مؤلفه‌های مهم در حفظ تعادل و پایداری اکوسیستم و محیط زیست است که نقش محوری در آمایش سرزمین و زیرساخت توسعه سایر بخش‌ها ایفا می‌نماید. توجه به امر پایداری و مدیریت منابع آب، در سال‌های اخیر از موضوعی فرعی، به مسأله‌ای محوری و پر اهمیت تبدیل شده است. فشار عوامل مختلف و دگرگونی‌های جمعیتی موجب گردیده که سیاست‌های تخصیص آب، خارج از چارچوب توسعه پایدار و موزون عمل نماید و جایگاه بخش آب در شکل‌دهی آمایش سرزمین و برنامه‌های منطقه‌ای مفقود بماند. اصولاً بخش عمده مدیریت آب کشور و زیرساخت‌های آن بر مبنای مدیریت عرضه آب و به طور کلی سازه‌گرایی شکل گرفته و مدیریت تقاضای آب در فرایند تحولات مدیریت ملی آب کم‌رنگ باقی مانده است (سامانی ۲۰۰۵). از آنجایی که بخش کشاورزی بزرگترین مصرف‌کننده آب در کشور است و بیشترین اتلاف آب نیز مربوط به بخش کشاورزی می‌باشد، تمرکز اصلی مدیریت تقاضای آب بر بخش کشاورزی و به طور خاص بر طراحی الگوی کشتی متناسب با امکانات منابع آبی مناطق مختلف است. در واقع پایداری منابع آب، مهم‌ترین سهم را در وجود و دوام سیستم‌های کشاورزی دارد و به میزان زیادی وابسته به الگوی کشت محصولات زراعی می‌باشد.

مدیریت پایدار به معنی مدیریت دراز مدت است. سیستم‌های منابع آبی را که قادرند تقاضاهای متغیری را در زمان، بدون از بین رفتن سیستم آن‌ها، برآورده‌کنند پایدار می‌نامند. تعریف مدیریت پایدار منابع آب بسته به استفاده‌های متعدد این منبع شامل تولید نیرو، آبرسانی (کشاورزی، صنعتی و مسکونی)، تفریحی و اکولوژیکی متغیر می‌باشد. اغلب این استفاده‌ها مستلزم این هستند که مدیریت سیستم‌های منابع آب دربرگیرنده کنترل، بهبود یا حفاظت کمیت و کیفیت آب موجود باشد. به این

دلیل که پایداری تابعی از اهداف مختلف اقتصادی، زیست محیطی، اکولوژیکی، اجتماعی و فیزیکی است، بنابراین مدیریت منابع آب باید یک فرایند تصمیم‌گیری چندجانبه باشد. این تصمیم‌ها تنها از طریق شمول تمام شیوه‌ها و سیاست‌های مرتبط و پارامترهای تأثیرپذیر باید اتخاذ شوند. به عبارت دیگر سیستم‌های منابع آب باید طوری مدیریت شوند تا کاملاً اهداف جامعه را در حال و آینده برآورده کنند ضمن اینکه ثبات و هماهنگی هیدرولوژیکی، زیست‌محیطی و اکولوژیکی آن‌ها حفظ شود (ناظمی ۲۰۰۱).

در زمینه پایداری منابع آب و الگوی بهینه کشت در داخل و خارج از کشور مطالعات زیادی انجام شده است. حسین‌زاد و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای نشان دادند که با اجرای الگوی بهینه کشت در اراضی زیر سد علویان در کوتاه مدت درآمد ناخالص، کمتر از وضعیت فعلی است و مصرف مواد شیمیایی زیان‌آور از جمله کودها و سموم شیمیایی نیز در حداقل خود خواهد بود. همچنین براساس این الگو، مصرف آب به گونه‌ای تنظیم می‌شود که عمدتاً در ماه‌های مختلف کمبودی از لحاظ این منبع در منطقه وجود نداشته باشد. عظیمی فرد و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای نشان دادند در الگوی بهینه کشت در شهرستان قوچان میزان آب استفاده شده در الگوی برنامه‌ریزی کسری کمتر از برنامه‌ریزی خطی است. همچنین در مدل برنامه‌ریزی کسری پیشنهادی، سود منطقه کاهش یافت. شاخص پایداری منطقه (نسبت سود به مصرف آب) افزایش یافته است. علیزاده و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای نشان دادند به کارگیری الگوی کشت بهینه در دشت مشهد- چناران در دوره برنامه‌ریزی ۱۰ ساله علاوه بر دستیابی به اهداف چندگانه (ماکزیم کردن بازده برنامه‌ای، حداقل کردن مصرف آب و هزینه‌های سرمایه‌ای و مصرف کودها و سموم شیمیایی و ثابت ماندن سطح اشتغال نیروی کار)، سبب جبران کسری ذخایر آب زیرزمینی منطقه در سال آخر دوره برنامه می‌گردد. پورزند و زیبایی (۲۰۱۱) در

یافته‌های این تحقیق نشان داد که با افزایش قیمت آب تا ۰/۱۷۵ دلار، ساختار تولید بدون تغییر خواهد ماند. همچنین مشخص شد افزایش قیمت به مقادیر بالاتر از ۰/۳۲۵ دلار باعث از بین رفتن سودآوری فعالیت‌های کشاورزی در منطقه مورد مطالعه می‌گردد.

دشت فریمان - تربت‌جام، با مساحتی در حدود ۶۳۱۲/۹ کیلومتر مربع واقع در حوضه آبریز کویر قره‌قوم، یکی از دشت‌های ممنوعه بحرانی استان خراسان رضوی است. میانگین بارش سالانه این دشت ۲۳۰ میلی‌متر است. روند متوسط تغییرات سطح آب زیرزمینی کاهشی و نوسانات آن بسیار کم است. بطور متوسط سالانه بیش از ۱/۵ متر افت در سطح آبخوان وجود دارد که نشان دهنده برداشت بدون وقفه و مستمر آب زیرزمینی به وسیله چاه‌های بهره‌برداری عمیق است (رهنا ۲۰۱۴). علی‌رغم اهمیت آب در این دشت، بیش از ۸۰ درصد از اراضی زیر کشت در این دشت، محصولات زراعی آبی است و بیش از ۹۰ درصد آب مصرفی بخش از منابع آب سفره‌های زیر زمینی برداشت می‌شود. برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی این دشت به منظور افزایش عملکرد محصولات و سود خالص کشاورزان، باعث افت مستمر سطح آب، منفی شدن بیلان و افزایش شدید کسری مخزن (حدود ۲۱۶ میلیون مترمکعب)، نامطلوب شدن کیفیت آب و هجوم جبهه شوری شده است (محمدیان و همکاران ۲۰۰۹). بروز این عوامل در دشت فریمان - تربت‌جام، بیانگر لزوم مدیریت منابع آب زیرزمینی در این منطقه می‌باشد به گونه‌ای که برداشت از آب زیرزمینی را به حد بهینه رسانده و در عین حال سود اقتصادی زارعین منطقه را افزایش دهد. به عبارتی بایستی بین افزایش سود اقتصادی که هدف کشاورز است و کاهش اثرات منفی زیست محیطی (در قالب هدف پایداری منابع آب) که هدف سیاست‌گذار و جامعه است، تعادل ایجاد شود. در این مطالعه سعی شده است با تعیین الگوی بهینه کشت برای مزارع با راندمان آبیاری متفاوت و در نظر گرفتن حفظ سطح درآمد فعلی

مطالعه‌ای نشان دادند هنگامی که اهداف اقتصادی و زیست محیطی در الگوی بهینه کشت در دشت فیروزآباد از اهمیت یکسانی برخوردار باشند، میزان برداشت بهینه ۱۶۲/۷۹ میلیون مترمکعب است. همچنین می‌بایست برای جبران کسری مخزن از برداشت فعلی آب، ۲۲ میلیون مترمکعب کاسته شود. سالازار و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه‌ای با استفاده از روش نظریه بازی‌ها نشان دادند در الگوی بهینه کشت در منطقه‌ی منتخب در مکزیک، هنگامی که اهداف اقتصادی و زیست محیطی از درجه‌ی اهمیت یکسانی برخوردار هستند، میزان برداشت بهینه به اندازه ۳۶۷ و ۳۷۱ میلیون مترمکعب در سال کاهش خواهد یافت. ژو و خان (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای به مدیریت منابع آب در استرالیا با استفاده از بهینه‌سازی چند هدفه پرداختند. در این تحقیق مسائل اقتصادی و زیست محیطی با استفاده از توابع هدف حداکثرسازی سود، حداقل کردن هزینه‌های متغیر تولید و همچنین حداقل سازی میزان آب پمپاژ شده از سفره آب زیرزمینی مد نظر قرار گرفت. به علت تضادهای میان اهداف چندگانه و رقابت تقاضای آب برای بخش‌های مختلف، تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره برای تحلیل اهداف تولید تحت محدودیت‌های فیزیکی، اقتصادی و زیست محیطی استفاده شد. داپلر و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی خطی به ارائه الگوی بهینه توأم تخصیص آب و کشت برای کشور اردن پرداختند. در این بررسی که ملاحظات ریسکی نیز از طریق مدل تارگت موتاد لحاظ شده بود، اثر افزایش قیمت آب بر روی تغییرات در الگوی بهینه نیز بررسی گردید. بر اساس الگوی بهینه ارائه شده، مشخص شد که در صورت تبعیت از این الگو و در سطح قیمت ۰/۰۲۴ دلار از هر متر مکعب، می‌توان درآمد کشاورزان را به میزان ۲۱٪ افزایش داد. که به موجب این الگو، سطح زیرکشت گروه سبزیجات به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. اما اگر ملاحظات ریسکی نیز وارد مدل گردد به دلیل عدم نوسانات قیمت غلات در الگوی ریسکی، سهم غلات افزایش می‌یابد.

برنامه ریزی کسری بسیار کاراتر از سایر روش‌ها عمل می‌کند. استفاده از این روش مشخص می‌کند که برای حرکت به سمت پایداری چه تغییراتی باید در الگوی کشت و مدیریت منطقه ایجاد شود. بر همین اساس و با توجه به قابلیت‌های مدل برنامه ریزی کسری، در مطالعه حاضر نیز از این رهیافت بهره گرفته می‌شود. در مسائل دنیای واقعی اغلب اهداف متعدد و متناقضی مطرح بوده و دستیابی همزمان به آن‌ها برای یک واحد تصمیم‌گیری مهم و ضروری است. در چنین وضعیتی برنامه ریزی کسری تک هدفه نمی‌تواند جوابگوی خواسته‌های تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران باشد. لذا بایستی به سمت به‌کارگیری الگوهای برنامه ریزی کسری چندهدفه<sup>۱</sup> پیش رفت. فرم کلی یک مسئله برنامه ریزی کسری چندهدفه قطعی به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Optimize } Z_k (X) = \frac{(c_k x + \alpha_k)}{(d_k x + \beta_k)}, k = 1, 2, \dots, K$$

s. t :

$$x \in S = \{x \in R^n \mid Ax \begin{pmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{pmatrix} b ; x \geq 0 ; b \in R^m \}$$

[رابطه ۱]

دستیابی توأم به اهداف مختلف بر مبنای اولویت‌بندی آنها است. لذا چنانچه چند هدف کسری با عبارتهای خطی در صورت و مخرج مدنظر و برای هرکدام از آن‌ها مقدار مطلوبی مانند  $g$  وجود داشته باشد، الگوی برنامه ریزی آرمانی کسری چندهدفه<sup>۲</sup> برای حل مسئله فوق به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{Min } \sum_k w_k n_k$$

s t :

$$x \in S = \{x \in R^n \mid Ax \leq b; x \geq 0; b \in R^m \}$$

$$\frac{(c_k^T x + \alpha_k)}{(d_k^T x + \beta_k)} + n_k - p_k = g_k \quad ; \quad n_k, p_k \geq 0$$

کشاورزان و حتی‌الامکان افزایش آن در مقایسه با شرایط موجود و عدم کاهش سطح زیر کشت کل محدوده مطالعاتی، الگوی بهینه کشت همراه با دستیابی به اهداف زیست محیطی ارائه شود.

## مواد و روش‌ها

در روش‌های معمول بهینه‌یابی از طریق برنامه ریزی خطی، تابع هدف نسبت به محدودیت‌های موجود حداکثر یا حداقل می‌شود. در این حالت نقش تمامی نهاده‌ها در جریان تولید یکسان فرض می‌گردد، در حالی که در روش برنامه ریزی کسری می‌توان محدودیت‌های پایداری را در تابع هدف وارد و استفاده از نهاده‌های مختل‌کننده پایداری را حداقل کرد (لارا و استانکو میناشین ۱۹۹۹). از حیث کارایی در زمینه پایداری کشاورزی و منابع آب،

که در آن  $\beta_k, \alpha_k, c_k, d_k \in R^n$  اعداد ثابت و  $S \neq \emptyset$  و  $k$  اهداف کسری است. معمولاً متداول است که به ازای هر  $x \in S$  مخرج کسر مثبت فرض شود  $d_k x + \beta_k > 0$  برای حل مدل‌های برنامه ریزی کسری چندهدفه روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از ابزارهای برجسته برای تحلیل تصمیم‌های چندهدفه در مدیریت برنامه ریزی آرمانی<sup>۲</sup> می‌باشد که از ویژگی‌های آن

[رابطه ۲]

حداقل‌سازی متغیر انحرافی  $p_k$  حداقل می‌شوند. برای خطی کردن محدودیت‌های تساوی غیرخطی فوق، هر معادله در مخرج  $(d_k^T x + \beta_k)$  با فرض مثبت بودن آن در فضای تصمیم، ضرب و در نهایت مدل آرمانی خطی زیر بیان می‌شود:

$$\text{Min} \sum_k w_k n_k' \quad \text{[رابطه ۳]}$$

$$x \in S = \{x \in R^n \mid Ax \leq b; x \geq 0; b \in R^m\}$$

$$(c_k^T x + \alpha_k) - u_k (d_k^T x + \beta_k) + n_k' - p_k' = 0$$

$$n_k', p_k' \geq 0$$

مدل خطی اخیر معادل مدل غیرخطی فوق بوده و بین متغیرهای انحرافی آن‌ها رابطه زیر برقرار است:

$$n_k' = n_k (d_k^T x + \beta_k) \quad , \quad p_k' = p_k (d_k^T x + \beta_k) \quad \text{[رابطه ۴]}$$

انتخاب و حداقل و حداکثر حجم آب تجدیدپذیر حوضه برآورد شد که به صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$SPI = \frac{(P_i - P)}{S} \quad \text{[رابطه ۳]}$$

در رابطه بالا  $P_i$  بارندگی سال مورد نظر،  $P$  میانگین بارندگی بلند مدت و  $S$  انحراف معیار بلند مدت بارندگی است. اگر این شاخص بیشتر از یک باشد معرف تر سالی و اگر کمتر از ۱- باشد خشکسالی وجود دارد. اعداد بین ۱ و ۱- نشان دهنده سالی با بارندگی نرمال است. بر اساس این شاخص سال ۹۳-۱۳۹۲ به عنوان سال نرمال آبی در نظر گرفته شده است.

معادله بیلان منابع آب در محدوده مطالعاتی

فریمان- تربت جام به صورت معادله زیر است:

$$P - ET + Ri - Ro + Gi - Go - Cg - Cr = \Delta S \quad [۶]$$

$P$ : حجم باران

$ET$ : تبخیر- تعرق

$Ri$ : رواناب ورودی

$Ro$ : رواناب خروجی

$Gi$ : جریان زیرزمینی ورودی

در الگوی بالا،  $w_k$  وزن هدف  $k$ ام،  $n_k$  و  $p_k$  نیز به ترتیب متغیرهای انحرافی منفی و مثبت هدف  $k$  ام برای دستیابی به مقدار مطلوب  $g_k$  هستند. لازم به ذکر است که در الگوی برنامه‌ریزی آرمانی، در اهداف حداکثرسازی متغیر انحرافی  $n_k$  و در اهداف

شاخص پایداری منابع آب (نسبت آب مصرفی به آب تجدیدپذیر) (C/RW)

آب تجدیدپذیر مقدار آبی است که حوضه طی چرخه آبی سالیانه توانایی بازیابی آن را دارد. برای برآورد حجم آب تجدیدپذیر حاصل از بارش در هر حوضه آبریز، نیاز به برقراری بیلان آبی برای یک دوره مشخص می‌باشد. معمولاً بخش وسیعی از نزولات جوی بوسیله تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌شود و فقط درصدی از بارش تبدیل به رواناب سطحی شده یا موجب تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. درصد تبخیر، رواناب و نفوذ حاصل از باران در هر حوضه آبریز با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و اقلیمی آن تقریباً معین است. از آنجا که با تغییرات حجم بارش در سال‌های خشک و تر، حجم آب تجدیدپذیر نیز تغییر می‌کند، لذا بایستی تغییرات حجم آب تجدیدپذیر در سال‌های خشک و تر مد نظر قرار گیرد.

بدین منظور در این مطالعه با بکارگیری شاخص

خشکسالی  $SPI^1$ ، سال آبی ۷۷-۱۳۷۶ به عنوان معرف تر سالی و سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ به عنوان معرف خشک سالی

1- Standard Perspiration Index (SPI)

با توجه به اینکه مقداری از آب برداشت شده سطحی (Ur) و زیرزمینی (Ug) به مخازن آب زیرزمینی باز می‌گردد، مصرف (C) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C = (U_r + U_g) - I_r \quad [9]$$

آسانو و همکاران (۲۰۰۶) نسبت آب مصرفی (C) به آب تجدیدپذیر (RW) را به عنوان شاخصی برای بررسی پایداری منابع آب معرفی کرده‌اند. از آنجایی که رهاسازی مقداری از آب تجدیدپذیر به پایین دست (به ویژه از طریق زه آب زیرزمینی) جهت تعادل بیلان نمک در حوضه آبریز الزامی است، مصرف باید کمتر از آب تجدیدپذیر باشد. لذا طبق استاندارد بین‌المللی، میزان آب مصرفی معادل ۰/۷ آب تجدیدپذیر به عنوان مرز شرایط بحرانی در نظر گرفته می‌شود. با رعایت این حد، تنها پایداری کمی و کیفی منابع آب حفظ می‌شود. اما برای حفظ پایداری توسعه متکی به منابع آب، رعایت حد ۰/۴ مصرف از آب تجدیدپذیر به عنوان استاندارد مطرح شده و بیانگر شرایطی است که این نوع توسعه در خشکسالی‌های طولانی هم پایداری خود را حفظ نماید. بایستی به این نکته توجه شود که این مقادیر آستانه، تخمینی و غیردقیق بوده و در هر حوضه با توجه به شرایط هیدرولوژیکی و میزان آلودگی‌ها و فعالیت‌های بشر قابل تدقیق و تغییر هستند. اما به دلیل نبود داده‌های مرتبط با این مقادیر استاندارد در حوضه آبریز مورد مطالعه، از مقادیر استاندارد بین‌المللی استفاده می‌گردد.

Go: جریان های زیرزمینی خروجی

Cg: مصرف آبهای زیرزمینی

Cr: مصرف آبهای سطحی

$\Delta V$ : تغییرات ذخیره آب در حوضه

با توجه به معادله بالا، بیلان منابع آب زیرزمینی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I + Ir + G_i - U_g - G_o = \Delta V, \quad I = P - ET - R \quad [V]$$

در این روابط:

ا: حجم آب نفوذ یافته

R: رواناب سطحی ناشی از باران

Ug: برداشت از منابع آب زیرزمینی

Ir: آب برگشتی از برداشت سطحی و زیرزمینی

$\Delta V$ : تغییرات حجم آبخوان

در این مطالعه پس از برقراری بیلان آبی

زیرحوضه فریمان- تربت جام، حجم آب تجدیدپذیر (RW) با توجه به معادله زیر محاسبه شده است.

$$RW = R + R_i + I - R_o + G_i - G_o \quad [8]$$

در این مطالعه بیلان آبی زیرحوضه فریمان-

تربت جام برای سال های تر، خشک و نرمال محاسبه و در ادامه حجم آب تجدیدپذیر برای هر یک از آنها تخمین زده شده است.

جدول ۱- مقادیر استاندارد بین المللی آب مصرفی به آب تجدیدپذیر (C/RW)

وضعیت	نسبت آب مصرفی به تجدیدپذیر (C/RW)
خوب	کمتر از ۰/۴
بحرانی	بحرانی ۰/۴-۰/۷
بحرانی شدید	۰/۷-۱
عدم تعادل بیلان	بیشتر از ۱

داده‌های جهاد کشاورزی)، روستاهای واقع در محدوده مطالعاتی شناسایی و با استفاده از اطلاعات موجود در جهاد کشاورزی دو شهرستان فریمان و تربت جام، سطح

با توجه به عدم انطباق حوضه آبریز فریمان تربت جام (واحد مطالعاتی داده‌های شرکت آب منطقه ای) با مرز سیاسی شهرستان‌های واقع در آن ( واحد مطالعاتی

زیرکشت فعلی محصولات زراعی استخراج گردید. همچنین اطلاعات مربوط به ضرایب فنی محصولات عمده کشاورزی در زیرحوضه مورد مطالعه با استفاده از اطلاعات بدست آمده از پرسشنامه‌های هزینه تولید و نظر کارشناسان جهاد کشاورزی فریمان و تربت‌جام بدست آمد. اطلاعات مربوط به میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی گرفته شد.

### نتایج و بحث

بر اساس شاخص خشکسالی SPI سال آبی (۷۷-۷۷) و (۱۳۷۶-۸۷) به ترتیب به عنوان ترسالی و

خشکسالی در نظر گرفته شده اند. در جدول ۲ مقادیر برداشت و مصارف منابع آب سطحی و زیرزمینی در محدوده مطالعاتی فریمان تربت‌جام برای ترسالی (۷۷-۱۳۷۶) و خشکسالی (۸۷-۱۳۸۶) ارائه شده است. کل برداشت از منابع آب در دو سال خشک و تر به ترتیب ۶۶۱ و ۷۵۳ میلیون مترمکعب بوده است. میزان آب برگشتی در سال تر در حدود ۳۲ درصد و در سال خشک در حدود ۲۳ درصد برآورد شده است. بنابراین میزان مصرف کل منابع آبی با توجه به میزان آب برگشتی در سال خشک و تر به ترتیب ۴۲۶ و ۵۷۴ میلیون مترمکعب بوده است (رهنما ۲۰۱۴).

جدول ۲- حجم برداشت و مصارف منابع آب سطحی و زیرزمینی محدوده مطالعاتی فریمان تربت‌جام (میلیون مترمکعب) سال‌های آبی (۷۷-۱۳۷۶) و (۸۷-۱۳۸۶)

سال	منابع آبی	برداشت از منابع آب (MCM)	مصارف آب (MCM)
خشکسالی	سطحی	۳۰	۲۱
	زیرزمینی	۶۶۱/۰	۴۰۵
	کل	۶۳۰/۹	۴۲۶
ترسالی	سطحی	۱۳۱/۴	۱۰۵
	زیرزمینی	۶۲۱/۶	۴۶۹
	کل	۷۵۳	۵۷۴

مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، مطالعات آمایش سرزمین استان خراسان رضوی (۲۰۱۴)

میزان آب تجدیدپذیر در سال‌های خشک و تر به ترتیب معال ۱۸۶ و ۴۷۷ میلیون متر مکعب برآورد شده است. همچنین متوسط آب تجدیدپذیر ۳۳۲ (میانگین در ترسالی و خشکسالی) میلیون متر مکعب بوده است (جدول ۳).

با استفاده از حجم آب تجدیدپذیر، شاخص‌های C/RW (نسبت کل آب مصرفی به آب تجدیدپذیر) و Ca/RW (نسبت آب مصرفی در بخش کشاورزی به کل آب تجدیدپذیر) محاسبه شد و برای تحلیل پایداری منابع آب در محدوده مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت. بخش

کشاورزی محدوده مطالعاتی فریمان- تربت‌جام در سال معرف ترسالی (سال آبی ۷۷-۱۳۷۶) ۹۴ درصد (۵۳۹ میلیون مترمکعب)، در سال معرف خشکسالی (سال آبی ۸۷-۱۳۸۶) ۹۲ درصد (۳۹۲ میلیون مترمکعب) و به طور متوسط ۴۶۵,۵ میلیون مترمکعب از حجم تخلیه آب‌های زیرزمینی و سطحی را به خود اختصاص داده بود. با توجه به برآوردهای انجام شده نسبت آب مصرفی (زیرزمینی و سطحی) کشاورزی به آب تجدیدپذیر (با فرض تخصیص کل آب تجدیدپذیر به بخش کشاورزی)



## جدول ۳- حجم آب تجدیدپذیر به تفکیک سطحی و زیرزمینی در محدوده مطالعاتی فریمان تربت جام

(میلیون متر مکعب) در سال‌های آبی (۱۳۷۶-۷۷) و (۱۳۸۶-۸۷)

سال	منابع آبی	حجم آب تجدید شونده (MCM) (RW)
خشکسالی	سطحی	۳۰
	زیرزمینی	۱۵۶
	کل	۱۸۶
ترسالی	سطحی	۱۳۱
	زیرزمینی	۳۴۵
	کل	۴۷۷
متوسط	سطحی	۸۱
	زیرزمینی	۲۵۱
	کل	۳۳۲

مأخذ: مطالعات آمایش سرزمین استان خراسان رضوی، (۲۰۱۴)

شاخص‌ها به ترتیب ۲،۲۹ و ۲،۱ و در ترسالی ۱،۲ و ۱،۱۳ بوده است. میزان این دو شاخص نشان می‌دهد که زیر حوضه فریمان - تربت جام در شرایط عدم تعادل بیلان بوده و از نظر منابع آبی به شدت ناپایدار است (جدول ۴).

Ca/RW برای ترسالی، خشکسالی و سال نرمال در بخش کشاورزی و کل محدوده مطالعاتی محاسبه شد. با توجه به اطلاعات جدول زیر، شاخص C/RW و Ca/RW برای سال نرمال به ترتیب برابر ۱،۷۴ و ۱،۶۱ برآورد شده است. همچنین در خشکسالی مقدار این

## جدول ۴- شاخص نسبت آب مصرفی به آب تجدیدپذیر منابع آب در محدوده مطالعاتی فریمان - تربت جام در سال‌های آبی

(۱۳۷۶-۷۷) و (۱۳۸۶-۸۷)

شاخص‌های منابع آب در خشکسالی		شاخص‌های منابع آب در ترسالی		متوسط شاخص‌های منابع آب		زیرحوضه
Ca/RW	C/RW	Ca/RW	C/RW	Ca/RW	C/RW	
۱(m3/m3)	۱(m3/m3)	۱(m3/m3)	۱(m3/m3)	۱(m3/m3)	۱(m3/m3)	فریمان - تربت جام
۲،۱۰	۲،۲۹	۱،۱۳	۱،۲	۱،۷۴	۱،۶۱	

مأخذ: مطالعات آمایش سرزمین استان خراسان رضوی (۲۰۱۴)

میزان مصرف آب در بخش کشاورزی به ترتیب باید به اندازه ۵/۲، ۱۱/۵ و ۲۸/۶ درصد کاهش یابد. با توجه به اینکه طبق استاندارد بین‌المللی جهت پایداری نسبی منابع آب، میزان آب مصرفی به تجدیدپذیر باید کوچکتر از ۰/۷ باشد، لذا با فرض اینکه کل آب تجدیدپذیر به بخش کشاورزی تخصیص داده شود، برای

برای رسیدن به تعادل کمی در زیر حوضه فریمان - تربت جام با فرض اینکه کل آب تجدیدپذیر به بخش کشاورزی تخصیص داده شود، مصرف آب کشاورزی باید به اندازه آب تجدیدپذیر (به عبارت دیگر  $\frac{C}{RW} = 1$ ) باشد. به طوریکه در خشکسالی، ترسالی و سال نرمال

سنتی می‌باشد. تفاوت نیاز ناخالص آبی در کل اراضی زراعی (۸۳۲ میلیون مترمکعب) با میزان موجودی آب حاصل از منابع آب زیرزمینی و سطحی در سال نرمال آبی برای بخش کشاورزی (۶۵۱ میلیون مترمکعب) نشان می‌دهد که در ماه‌هایی از سال که کمبود آب وجود دارد کم آبیاری در حدود ۷۶ درصد نیاز آبی صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه دقیقاً مشخص نیست کم آبیاری در مورد کدام یک از محصولات صورت گرفته است، لذا این میزان کم آبیاری در مورد کلیه محصولات یکسان فرض شده است.

الگوی کشت فعلی در جدول ۵ آورده شده است. بر اساس اطلاعات جدول در الگوی کشت فعلی سطح زیر کشت محصولات استراتژیک شامل گندم و جو نسبت به سایر محصولات بالاتر است. با توجه به اینکه هدف اصلی کشاورزان حداکثر کردن بازده برنامه‌ای است، محصولات خربزه و ذرت علوفه‌ای، سیب زمینی و گوجه‌فرنگی به دلیل بالا بودن بازده برنامه‌ای به میزان بیشتری بعد از دو محصول گندم و جو کشت شده‌اند. همچنین بالا بودن سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای و یونجه را می‌توان به دلیل اهمیت بالای این دو محصول در تأمین نیاز دامی منطقه نیز دانست.

بر اساس اطلاعات جدول، شاخص پایداری منابع آب (بهره‌وری فیزیکی آب: نسبت بازده برنامه ای به مصرف آب) در کل مزارع ۰/۴۵۵ بوده است. با افزایش راندمان آبیاری در مزارع این شاخص افزایش یافته است به طوری که بیشترین مقدار این شاخص مربوط به اراضی با راندمان آبیاری ۷۰ درصد است (۰/۸۴۶).

محدودیت منابع آبی و بازده برنامه‌ای بالای محصول خربزه سبب شده که این محصول به میزان ۱۲۰۰۰ هکتار در راندمان آبیاری ۷۰ درصد کشت شود تا کشاورزان علاوه بر بدست آوردن سود حاصل از کشت این محصول، آب کمتری استفاده کنند.

مصرف بهینه کود و افزایش عملکرد محصول از طریق افزایش کارایی مصرف آب امکان پذیر است.

رسیدن به پایداری نسبی (۰,۷ آب تجدیدپذیر) میزان مصرف در بخش کشاورزی در سال نرمال باید به اندازه ۲۳۲ میلیون مترمکعب (۵۰ درصد)، در سال خشک ۱۳۰ میلیون مترمکعب (۶۶,۸ درصد) و در تر سالی به ۳۳۴ میلیون مترمکعب (۲۸ درصد) تنزل یابد.

پایداری توسعه و برقراری شرط  $C/RW = 0.4$  در ارتباط با منابع آب، منوط به بازیابی تعادل و سپس مصرف بهینه آب در تمام بخش‌های مصرف، به ویژه در بخش کشاورزی، خواهد بود.

**بررسی الگوی کشت فعلی از نظر شاخص‌های پایداری مصرف منابع آب، کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی**  
بر اساس اطلاعات بدست آمده، در سال زراعی ۹۳-۹۲ محدوده مطالعاتی فریمان تربت جام دارای ۹۲۶۵۲ هکتار سطح زیرکشت محصولات زراعی بوده است. از این مقدار در حدود ۲۰۱۲۷ هکتار به محصولات زراعی دیم و ۷۲۵۲۵ هکتار به محصولات زراعی آبی اختصاص یافته است. در این محدوده مطالعاتی محصولات عمده زراعی بر اساس بیشترین سطح زیر کشت شامل گندم، جو، چغندر قند، پنبه، خربزه، یونجه، ذرت علوفه‌ای، سیب زمینی، پیاز، گوجه‌فرنگی، حبوبات و کلزا بود است که در حدود ۷۰۵۹۰ هکتار (۹۷ درصد) از اراضی زراعی آبی را به خود اختصاص داده‌اند. در دشت فریمان تربت جام آبیاری محصولات زراعی به شیوه‌های سنتی، تحت فشار و با لوله (ردیفی) انجام می‌گیرد. بر اساس نظر کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی شهرستان‌های تربت جام و فریمان برای مزارعی که از شیوه آبیاری تحت فشار استفاده می‌کنند، راندمان آبیاری ۷۰٪، برای مزارع تحت آبیاری ردیفی، راندمان آبیاری ۵۰٪ و برای مزارع تحت آبیاری سنتی راندمان آبیاری ۳۵٪ در نظر گرفته شده است. بر اساس اطلاعات کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی به طور تقریبی از کل سطح زیر کشت محصولات آبی منتخب حدود ۱۶۲۵۰ هکتار (۲۳ درصد) با سیستم آبیاری تحت فشار، ۳۰۶۲۰ هکتار (۴۳ درصد) از آن تحت آبیاری ردیفی و ۲۳۷۲۰ هکتار (۳۴ درصد) از آن تحت آبیاری

متفاوت توسط کشاورزان تا حد زیادی به بهره‌وری فیزیکی منابع آب (نسبت بازده برنامه‌ای به مصرف آب) بستگی دارد. با افزایش راندمان آبیاری، میزان بهره‌وری آب در محصولات منتخب افزایش یافته است. در راندمان‌های مختلف محصولات سیب‌زمینی، ذرت علوفه‌ای، خربزه، پیاز، گندم و گوجه‌فرنگی به ترتیب از بهره‌وری آب بالاتری برخوردارند. بر این اساس، در الگوی کشت فعلی این محصولات در اراضی با راندمان ۵۰ درصد به میزان بیشتری نسبت به اراضی با راندمان ۳۵ درصد کشت شده‌اند.

**بررسی الگوی کشت بهینه با هدف حداکثر کردن همزمان بازده برنامه‌ای نسبت به مصرف منابع آبی، کود و سموم شیمیایی در اراضی زراعی آبی محدوده مطالعاتی فریمان تربت جام**

برای رسیدن به پایداری منابع آب همراه با بهینه‌سازی عوامل زراعی، اقتصادی و زیست محیطی، باید اهداف حداکثر کردن بازده برنامه‌ای نسبت به آب، کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی به طور هم‌زمان در نظر گرفته شود. الگوی بهینه کشت محصولات زراعی منتخب با در نظر گرفتن حفظ سطح درآمد فعلی کشاورزان و حتی‌الامکان افزایش بازده برنامه‌ای در مقایسه با شرایط موجود و عدم کاهش سطح زیر کشت کل محدوده مطالعاتی بدست آمده است. نتایج برآورد الگوی بهینه کشت با استفاده از برنامه‌ریزی چند هدفه کسری در جدول ۶ ارائه شده است.

کود آبیاری<sup>۱</sup> که عبارت است از مصرف کود با آب آبیاری در طی دوره رشد و نمو گیاه، کارآیی مصرف کود و آب را به طور همزمان افزایش می‌دهد. کود آبیاری با سیستم‌های تحت فشار منجر به افزایش کارآیی مصرف آب و موجب کاهش هدر رفت بخشی از کودهای شیمیایی مصرفی می‌گردد. در الگوی کشت فعلی نیز شاخص پایداری مصرف کودهای شیمیایی نیز در راندمان مختلف آبیاری متفاوت است و با افزایش راندمان آبیاری افزایش یافته است.

به دلیل بالا بودن میزان سموم مصرفی این محصول، بهره‌وری فیزیکی سموم در مزارع با راندمان ۷۰ درصد نسبت به اراضی دیگر پایین‌تر است. شاخص پایداری سم در کل اراضی ۰/۷۷۷ است. بیشترین میزان این شاخص در مزارع با راندمان آبیاری ۵۰ درصد و برابر ۱/۱۲۳ بوده است. در خصوص بهره‌وری فیزیکی سموم، به این دلیل که اغلب سطح زیرکشت اراضی با راندمان ۷۰ درصد، به کشت خربزه اختصاص یافته و میزان سموم مصرفی این محصول در مقایسه با سایر محصولات بالاست، بهره‌وری فیزیکی سموم در مزارع با راندمان ۷۰ درصد نسبت به اراضی دیگر پایین‌تر است. شاخص پایداری مصرف کودهای شیمیایی در کل اراضی ۱/۰۳۳ است. این شاخص در اراضی با راندمان آبیاری ۷۰ درصد نسبت به سایر اراضی مقدار بیشتری (برابر ۱/۳۲۳) را به خود اختصاص داده است.

به دلیل کمبود منابع آب در محدوده مطالعاتی مورد نظر و هدف اصلی کشاورزان یعنی کسب حداکثر سود، توزیع محصولات در اراضی با راندمان آبیاری

## جدول ۵- الگوی کشت و شاخص های پایداری (بهره‌وری فیزیکی) در شرایط فعلی در اراضی زراعی آبی محدوده

## مطالعاتی فریمان - تربت جام

کل	اراضی با راندمان آبیاری			محصولات/ شاخص‌ها
	۷۰ درصد	۵۰ درصد	۳۵ درصد	
۳۱۱۵۰	۲۹۵۰	۱۵۰۰۰	۱۳۲۰۰	گندم
۱۰۴۰۰	۱۰۰۰	۶۰۰۰	۳۴۰۰	جو
۲۸۷۵	۱۵۰	۱۱۰۰	۱۶۲۵	چغندر قند
۵۰۰	.	۴۰۰	۱۰۰	پنبه
۱۶۲۰۰	۱۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۲۰۰	خریزه
۱۵۵۵	.	۵۰۰	۱۰۵۵	یونجه
۲۷۷۰	۱۰۰	۱۴۰۰	۱۲۷۰	ذرت علوفه ای
۱۶۲۰	.	۱۶۲۰	.	سیب زمینی
۱۶۰	.	۱۰۰	۶۰	پیاز
۳۰۰۰	۵۰	۲۵۰۰	۴۵۰	گوجه فرنگی
۲۰۰	.	.	۲۰۰	حبوبات
۱۶۰	.	.	۱۶۰	کلزا
۷۰۵۹۰	۱۶۲۵۰	۳۰۶۲۰	۲۳۷۲۰	کل
۲۹۶۱۸۷/۶۳۰	۸۸۳۳۷/۷۵۰	۱۲۳۲۰۵/۹۰۰	۸۴۶۴۳/۹۸۰	بازده برنامه‌ای (۱۰ میلیون ریال)
۶۵۱۰۰۰/۰۰۲	۱۰۴۴۶۶/۳۴۴	۲۶۵۱۶۲/۵۵۹	۲۸۱۳۹۱/۰۹۹	مصرف منابع آبی (هزار متر مکعب)
۲۸۶۵۹۰/۶۰۰	۶۶۷۵۷/۵۰۰	۱۲۶۶۹۲/۶۰۰	۹۳۱۴۰/۵۰۰	مصرف کودهای شیمیایی (کیلوگرم)
۳۸۱۲۹۶/۲۰۰	۱۸۳۰۴۰	۱۰۹۷۰۱/۲۰۰	۸۸۵۵۵	مصرف سموم شیمیایی (لیتر)
۰/۴۵۵	۰/۸۴۶	۰/۴۶۵	۰/۳۰۱	شاخص پایداری مصرف آب
۱/۰۳۳	۱/۳۲۳	۰/۹۷۲	۰/۹۰۹	شاخص پایداری مصرف کودهای شیمیایی
۰/۷۷۷	۰/۴۸۳	۱/۱۲۳	۰/۹۵۶	شاخص پایداری مصرف سموم شیمیایی

مأخذ: یافته‌های تحقیق

مورد نیاز دام در منطقه و همچنین بازده برنامه‌ای بالای محصول ذرت علوفه‌ای، این محصول در هر سه نوع اراضی کشت شده است. لازم به ذکر است نیاز آبی بالای این محصول سبب شده که این محصول در اراضی با راندمان‌های آبیاری بالاتر به میزان بیشتری کشت شود. با اجرای الگوی کشت پیشنهادی علاوه بر دستیابی به اهداف مورد نظر، ۲۰ درصد نیاز دامی به یونجه در محدوده مطالعاتی نیز از این طریق تأمین خواهد شد. شاخص پایداری مصرف آب، کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی در کل اراضی به ترتیب ۰/۵۰۹، ۱/۰۹۶ و ۰/۸۹۳ است.

بر اساس نتایج، کاشت محصول جو در هر سه دسته از اراضی با راندمان‌های آبیاری مختلف کشت پیشنهاد شده است. به دلیل نیاز آبی پایین محصول جو نسبت به سایر محصولات، کاشت این محصول در راندمان آبیاری ۳۵ درصد به میزان بیشتری پیشنهاد شده و محصولات با نیاز آبی بیشتر (سیب‌زمینی، خربزه و ذرت علوفه‌ای) در مزارع با راندمان‌های آبیاری بالاتر پیشنهاد شده‌اند. با در نظر گرفتن این الگوی پیشنهادی و کاشت این سطح زیرکشت از محصول جو و گندم، کل نیاز دامی منطقه در زمینه کاه گندم و جو تأمین خواهد شد. همچنین برای تأمین حداقل ۴۰ درصد ذرت علوفه‌ای

جدول ۶- الگوی بهینه با هدف حداکثر کردن همزمان بازده برنامه‌ای نسبت به مصرف منابع آبی، کود و سموم شیمیایی در اراضی زراعی آبی محدوده مطالعاتی فریمان تربت جام

محصولات/ شاخص‌ها	اراضی با راندمان			کل
	اراضی با راندمان ۳۵ درصد	اراضی با راندمان ۵۰ درصد	اراضی با راندمان ۷۰ درصد	
گندم	۰	۲۱۸۰۵	۰	۲۱۸۰۵
جو	۱۶۵۹۷	۲۶۵۷	۲۶۲۸	۲۱۸۸۲
چغندر قند	۰	۰	۰	۰
پنبه	۰	۰	۰	۰
خریزه	۵۴۱۰	۰	۸۹۱۵	۱۴۳۲۵
یونجه	۰	۰	۱۱۶۰	۱۱۶۰
ذرت علوفه ای	۱۳۸۰	۴۲۷۸	۲۷۰۸	۸۳۶۶
سیب زمینی	۳۳۳	۱۸۸۰	۰	۲۲۱۳
پیاز	۰	۰	۰	۰
گوجه فرنگی	۰	۰	۰	۰
حبوبات	۰	۰	۰	۰
کلزا	۰	۰	۸۳۹	۸۳۹
کل	۲۳۷۲۰	۳۰۶۲۰	۱۶۲۵۰	۷۰۵۹۰
بازده برنامه‌ای (۱۰ میلیون ریال)	۸۴۶۴۳/۹۸۷	۱۲۳۲۰۵/۸۹۲	۹۰۱۲۲/۲۴۶	۲۹۷۹۷۲/۱۲۵
مصرف منابع آبی (هزار متر مکعب)	۲۳۷۴۱۸/۲۴۲	۲۳۶۶۴۴/۳۲۹	۱۱۱۸۳۷/۴۱۲	۵۸۵۸۹۹/۹۸۳
مصرف کودهای شیمیایی (کیلوگرم)	۷۷۵۴۱/۵۱۵	۱۲۵۳۹۵/۴۸۰	۶۹۰۱۰/۰۹۴	۲۷۱۹۴۷/۰۸۹
مصرف سموم شیمیایی (لیتر)	۱۱۰۰۷۷/۳۸۸	۷۵۰۹۳/۶۶۰	۱۴۸۳۹۲/۲۸۶	۳۳۳۵۶۳/۳۳۴
شاخص پایداری مصرف آب	۰/۳۵۷	۰/۵۲۱	۰/۸۰۶	۰/۵۰۹
شاخص پایداری مصرف کودهای شیمیایی	۱/۰۹۲	۰/۹۸۳	۱/۳۰۶	۱/۰۹۶
شاخص پایداری مصرف سموم شیمیایی	۰/۷۶۹	۱/۶۴۱	۰/۶۰۷	۰/۸۹۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق

مطالعاتی کاهش و محصولات جو، ذرت علوفه‌ای و سیب زمینی و کلزا افزایش یافته است. نتایج به دست آمده از الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه کسری نشان می‌دهد که حرکت به سمت پایداری از تنوع کشت منطقه خواهد کاست و تعدادی از محصولات را از الگوی کشت فعلی منطقه حذف خواهد کرد. به عبارت دیگر برای حرکت به سمت پایداری در منطقه مذکور، باید به سمت تخصصی شدن کشت برخی محصولات خاص سازگار با منابع آب منطقه حرکت نمود. بر اساس نتایج بدست آمده از الگوی بهینه کشت، محصولات چغندر قند، پنبه، پیاز، گوجه‌فرنگی

مقایسه الگوی کشت فعلی با الگوی کشت بهینه با هدف حداکثر کردن همزمان بازده برنامه‌ای نسبت به مصرف منابع آبی، کود و سموم شیمیایی در اراضی زراعی آبی محدوده مطالعاتی فریمان - تربت جام الگوی کشت ارائه شده بر مبنای روش برنامه‌ریزی چندهدفه کسری با الگوی کشت فعلی منطقه بسیار اختلاف دارد. از مقایسه الگوی کشت بهینه با الگوی کشت فعلی مشاهده می‌شود که سطح زیرکشت پیشنهادی محصولات گندم، خربزه، یونجه در محدوده

و حبوبات از الگوی کشت فعلی منطقه حذف شده‌اند که کلیه این محصولات در ردیف محصولات آب‌بر قرار دارند. در الگوی بهینه کشت مصرف آب، کود و سم به ترتیب ۱۰، ۵/۱۱ و ۱۲/۵۲ درصد کاهش یافته است. افزایش ۰/۶ درصدی بازده برنامه‌ای کل مزارع و ثابت ماندن بازده برنامه‌ای در اراضی با راندمان ۳۵ و ۵۰ درصد آبیاری نشان می‌دهد کشاورزان برای دستیابی به پایداری منابع لازم است تا حدی از افزایش سود خود

صرف نظر نمایند. همچنین این امر انگیزه‌ای برای کشاورزان جهت اصلاح روش‌های آبیاری ایجاد خواهد کرد زیرا در آبیاری با راندمان ۷۰ درصد بازده برنامه‌ای در حدود ۲/۰۲ درصد افزایش یافته است. همچنین شاخص پایداری منابع آب، کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی نسبت به الگوی کشت فعلی ۱۱/۷۸، ۶/۰۲ و ۱۵ درصد افزایش یافته است.

جدول ۷- مقایسه الگوی کشت فعلی با الگوی کشت بهینه با هدف حداکثر کردن همزمان بازده برنامه‌ای نسبت به مصرف منابع آبی، کود و سموم شیمیایی در محدوده مطالعاتی فریمان تربت جام

محصولات/ شاخص‌ها	اراضی با راندمان ۳۵ درصد	اراضی با راندمان ۵۰ درصد	اراضی با راندمان ۷۰ درصد	کل
گندم	-۱۰۰/۰۰	۴۵/۳۷	-۱۰۰/۰۰	-۳۰/۰۰
جو	۳۸۸/۱۶	-۵۵/۷۲	۱۶۲/۷۹	۱۱۰/۴۱
چغندر قند	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰
پنبه	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰
خریزه	۱۴۵/۹۱	-۱۰۰/۰۰	-۲۵/۷۱	-۱۱/۵۷
یونجه	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	-۲۵/۴۰
ذرت علوفه‌ای	۸/۶۵	۲۰۵/۵۷	۲۶۰۷/۸۳	۲۰۲/۰۱
سیب زمینی	۱۰۰	۱۶/۰۵	۰/۰۰	۳۶/۵۹
پیاز	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰
گوچه فرنگی	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰
حبوبات	-۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۱۰۰/۰۰
کلزا	-۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۴۲۴/۵۱
کل	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
بازده برنامه‌ای (۱۰ میلیون ریال)	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۰۲	۰/۶۰
مصرف منابع آبی (هزار متر مکعب)	-۱۵/۱۵۶۳	-۱۰/۷۵	۷/۰۸	-۱۰/۰۰
مصرف کودهای شیمیایی (کیلوگرم)	-۱۶/۷۵	-۱/۰۲	۳/۳۷	-۵/۱۱
مصرف سموم شیمیایی (لیتر)	۲۴/۳۰	-۳۱/۵۵	-۱۸/۹۳	-۱۲/۵۲
شاخص پایداری مصرف آب	۱۸/۵۲	۱۲/۰۵	-۴/۷۲	۱۱/۷۸
شاخص پایداری مصرف کودهای شیمیایی	۲۰/۱۲	۱/۰۳	-۱/۳۱	۶/۰۲
شاخص پایداری مصرف سموم شیمیایی	-۱۹/۵۵	۴۶/۰۹	۲۵/۸۴	۱۵/۰۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

از حیث پایداری منابع آب، با اعمال چنین الگوی کشتی توسط کشاورزان، سالانه می‌توان به میزان ۱۰ درصد در مصرف آب محدوده مطالعاتی فریمان -

تربت جام صرفه‌جویی کرد. با برنامه‌ریزی در میان‌مدت، می‌توان ظرف مدت ۵ سال میزان مصرف آب را به میزان مصرف آب تجدیدپذیر (پایداری نسبی) و در مدت زمان

الزامات قانونی خواهد بود. موضوع دیگری که اهمیت مسأله حفظ پایداری منابع آب و محیط زیست را برای کشاورزان کم‌رنگ‌تر می‌کند، تفکر مالکیت بر منابع آب و لحاظ نکردن بیلان منفی دشت و زیان‌های بلندمدت اجرای الگوی کشت فعلی است.

با در نظر گرفتن مجموع این شرایط، دستیابی به پایداری منابع آب فرایندی بسیار زمان‌بر خواهد بود. بر اساس نتایج جدول زیر در صورت کاهش ده درصدی سالانه مصرف آب، برداشت بهینه از منابع آب در سال پنجم به میزان ۳۴/۴ درصد کاهش خواهد یافت. با در نظر گرفتن حدود ۳۰ درصد از میزان آب برداشتی به عنوان آب برگشتی، در سال پنجم میزان آب مصرفی برابر آب تجدیدپذیر در منطقه خواهد شد. در سال هشتم میزان مصرف آب به ۰/۷ آب تجدیدپذیر کاهش یافته و منابع آبی در شرایط پایداری نسبی قرار خواهند گرفت.

هشت سال به ۰/۷ آب تجدیدپذیر کاهش داد و به پایداری در محدوده مطالعاتی فریمان - تربت‌جام دست یافت. لازم به ذکر است که کاهش سالانه ۱۰ درصد از مصرف فعلی آب در صورت پذیرش الگوی کشت توسط کشاورزان، و اجرای آن از سوی دستگاه‌های دولتی و با در نظر گرفتن مشوق‌ها و الزامات قانونی از سوی ایشان امکان پذیر خواهد شد. زیرا بسیاری از مطالعات و تجارب گذشته نشان داده است که کشاورزان تمایلی به تغییر الگوی کشتی که سال‌ها در پیش گرفته بودند، ندارند زیرا از طریق اجرای سالانه الگوی کشت گذشته خود به حد متعارفی از سود و حاشیه مطمئنی از ریسک دست یافته‌اند. به عبارت دیگر با در نظر گرفتن اینکه غالب کشاورزان ریسک‌گریز هستند و دستیابی به سود مطمئن و اندک را بر دستیابی به سود نامطمئن و بیشتر ترجیح می‌دهند، متقاعد کردن آنان برای تغییر الگوی کشت در جهت پایداری منابع آب فرایندی بسیار زمان‌بر و نیازمند

جدول ۸- برآورد شاخص پایداری آب مصرفی به تجدیدپذیر بر اساس ذخیره سالانه آب با توجه به الگوی بهینه کشت

شاخص‌های پایداری آب مصرفی / سال	سال							
	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم
برداشت بهینه (میلیون متر مکعب)	۶۵۱	۵۸۵/۹	۵۲۷/۳۱	۴۷۴/۵۷۹	۴۲۷/۱۲۱	۳۸۴/۴۰۹	۳۴۵/۹۶۸	۳۱۱/۳۷۱
آب برگشتی (میلیون متر مکعب)	۱۶۲/۷۵	۱۴۶/۴۷۵	۱۳۱/۸۲۸	۱۱۸/۶۴۵	۱۰۶/۷۸۰	۹۶/۱۰۲	۸۶/۴۹۲	۷۷/۸۴۳
مصرف بهینه (میلیون متر مکعب)	۴۸۸/۲۵	۴۳۹/۴۲۵	۳۹۵/۴۸۳	۳۵۵/۹۳۴	۳۲۰/۳۴۱	۲۸۸/۳۰۷	۲۵۹/۴۷۶	۲۳۳/۵۲۸
C/RW	۱/۵	۱/۳	۱/۲	۱/۱	۱/۰	۰/۹	۰/۸	۰/۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

تحلیل این الگو از سوی منافع بهره‌برداران کشاورزی این است که کشاورز اطمینان دارد که با در پیش گرفتن الگوی پیشنهادی دارای بازده برنامه‌ای برابر و یا بیشتر از گذشته خواهد بود. علاوه بر این مزیت دیگر این الگو این است که سطح زیرکشت کشاورز را محدود نخواهد کرد.

از حیث پایداری منابع آب، با اعمال چنین الگوی کشتی توسط کشاورزان، سالانه می‌توان به میزان ۱۰ درصد در مصرف آب دشت فریمان - تربت‌جام

الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه کسری برای در نظر گرفتن همزمان هدف‌هایی که در عین لحاظ کردن اهداف اقتصادی، سایر اهداف پایداری را نیز لحاظ نمایند طراحی شده است. الگوی کشت بهینه پیشنهادی دارای این مزیت است که علاوه بر اطمینان از عدم کاهش بازده برنامه‌ای کشاورز (منافع اقتصادی بهره‌بردار)، و سطح زیر کشت فعلی کشاورزان، در جهت پایداری زیست محیطی و منابع آب (منافع زیست‌محیطی) برنامه‌ریزی شده است.

در شرایط فعلی دشت فریمان تربت جام از نظر پایداری منابع آب بر اساس شاخص نسبت آب مصرفی به آب تجدیدپذیر در شرایط ناپایدار قرار دارد. با توجه به اینکه با اجرای الگوی بهینه کشت پیشنهادی سالانه ۱۰ درصد از مصرف آب کاسته می‌شود لذا در دوره میان مدت ۸ ساله می‌توان میزان آب مصرفی کشاورزی در محدوده مطالعاتی را به اندازه ۰/۷ آب تجدیدپذیر کاهش داد و به پایداری کمی منابع آب دست یافت.

صرفه‌جویی کرد. با برنامه‌ریزی در میان‌مدت، می‌توان ظرف مدت ۵ سال میزان مصرف آب را به میزان مصرف آب تجدیدپذیر (پایداری نسبی) و در مدت زمان هشت سال به ۰/۷ آب تجدیدپذیر کاهش داد و به پایداری در محدوده مطالعاتی فریمان - تربت جام دست یافت. همچنین از طریق اجرای الگوی کشت می‌توان میزان مصرف کودهای شیمیایی و سموم را به ترتیب به اندازه ۵/۱ و ۱۲/۵ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی کاهش داد.

#### منابع مورد استفاده

- Alizadeh A, Majidi N, Ghorbani M and Mohammadian F. 2012. Cropping Pattern Optimization with Target Balancing of Ground Water Resources : Case Study of Mashhad-Chenaran Plain, Iran. *Iranian Journal of Irrigation and drainage*, 6(1): 55-68. (In Persian).
- Asano T, Burton F, Leverenz H, Tsuchihashi R and Tchobanoglous G, 2006. *Water reuse: issues, technologies, and applications*. Publisher: McGRAW-HILL.
- Azimifard S, Zare Mehrjardi M.R and Mehrabi Basharabadi H. 2012. Sustainability of Water Resources in Quchan County: Fractional Programming Approach. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*, 23(3):1-11. (In Persian).
- Doppler W, Amer Z.S, Emad K.A and Heinz P.W. 2002. The impact of water price strategies on the allocation of irrigation water: the case of the Jordan Valley. *Agricultural Water Management*, 55:171-182.
- Hosseinzad J., Namvar A., Hayati B. and Pishbahar E. 2014. Determination of Crop Pattern with Emphasis on Sustainable Agriculture in the Lands Below the Alavian Dam and its Network. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*, 24(2):41-54. (In Persian).
- Lara P and Stancu-Minasian I. 1999. Fractional programming: a tool for the assessment of sustainability. *Agricultural Systems*, 62:131-141.
- Mohammadian F, Shahnoushi N, Ghorbani M and H Aghel .2009. Choosing a Potential Crop Pattern by Using AHP Analysis Model (Case Study: Torbat-e-Jam Plain). *Journal of Sustainable Agriculture Science*, 19(1):168-194. (In Persian).
- Nazemi A.M. 2000. Sustainable development of water resources- Aspects of Integrated Management. The first national conference on Mitigation of Water Crises, Zabol University. (In Persian).
- Pourzand F and Zibaei M. 2012. Application of game theory for the optimal groundwater extraction in Firozabad plain. *Journal of Sustainable Agricultural Economics*, 5(4): 1-24. (In Persian).
- Rahnama M.R. 2014. National studies of Land Use Planning Khorasan Razavi Province. Governor of Khorasan Razavi. (In Persian).
- Salazar R, Szidarovszky F, Coppola E and Rajano A, 2006. Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. *Journal of Environmental Management*, 54: 560-571.



- Samani J. 2003. Report of Water Resources Management and Sustainable Development. Iran Resources Management Company. (In Persian).
- Xevi E and Khan S, 2005. A multi-objective optimization approach to water management. *Journal of Environmental Management*, 77: 269–277.
- Zenga X, Kang SH, Li F, Zhang L and Guo P, 2010. Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. *Journal of Agricultural Water Management*, 98(1): 134–142.