

کاربرد نظریه‌ی بازی‌ها در تعیین میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی دشت تایباد

فرزانه صالحی، محمود دانشور کاخکی، ناصر شاهنوشی و میترا ژاله رجیبی*

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۷/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۶/۲۷

چکیده

در این مطالعه به منظور مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت تایباد و تعیین مقدار برداشت بهینه از ذخایر آب‌های زیرزمینی از نظریه بازی‌ها استفاده شد. به این ترتیب که نخست با استفاده از الگوی SARIMA میزان بارندگی سال زراعی ۴۳۸۸ برای دشت مورد مطالعه پیش‌بینی شد و برای تعیین ضریب برداشت بیش از حد، مقدار تغذیه به ذخایر آب‌های زیرزمینی با استفاده از مقادیر پیش‌بینی شده‌ی بارندگی تخمین زده شد. در گام بعد به منظور به‌دست آوردن ماتریس تاوان برای دو گروه هدف و استخراج مرز پارتو یا منحنی مبادله، بازه برنامه‌ای محصولات زراعی عمده‌ی دشت تایباد با استفاده از الگوهای سری زمانی ARIMA پیش‌بینی شد. بازه برنامه‌ای و ضرایب فنی محصولات در سال زراعی ۴۳۸۷-۱۳۸۶، با بهره‌گیری از اطلاعات ۱۰۹ کشاورز منطقه‌ی مورد مطالعه به‌دست آمد که به روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب شده بودند. سپس با استفاده از چهار روش نظریه‌ی بازی شامل راه حل نامتقارن نش، راه حل نامتقارن کلی-اسمردینسکای، راه حل نامتقارن مساحت یک‌نواخت و راه حل نامتقارن زیان مساوی، میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی تعیین شد. نتایج مطالعه نشان داد هنگامی که اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی از درجه‌ی اهمیت یکسانی برخوردار هستند، میزان برداشت بهینه برای سال زراعی ۴۳۸۸-۱۳۸۷، ۱۳۳/۲۵ میلیون متر مکعب خواهد بود. در پایان پیش‌نهاد می‌شود از این روش در کلبه‌ی دشت‌ها بر حسب میزان ریسکی بودن سطح آب‌های زیرزمینی استفاده شود و الگوی کشت منطقه بر اساس نتایج این روش تعیین شود.

طبقه‌بندی JEL: Q25

واژه‌های کلیدی: منابع آب زیرزمینی، دشت تایباد، روش حل تعارض، ماتریس تاوان، مرز پارتو، میزان برداشت بهینه، نظریه‌ی بازی‌ها

*به ترتیب کارشناس ارشد، دانشیاران و کارشناس ارشد گروه اقتصاد کشاورزی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه فردوسی

مشهد

مقدمه

کشاورزی آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیش‌تر وابسته به استحصال آب‌های زیرزمینی است. برداشت بیش از حد در این مناطق در چند دهه‌ی اخیر منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ی سطح ایستابی و افزایش هزینه‌های استحصال شده است. افت سطح آب‌های زیرزمینی یکی از پی‌آمدهای اصلی و تعیین‌کننده است که در اثر اضافه برداشت پدید می‌آید. پایین رفتن آب‌های زیرزمینی افزون بر کاهش آب آبخوان، شور شدن تدریجی آب زیرزمینی و پیش‌روی جبهه‌ی آب شور به طرف آب شیرین، باعث فشرده شدن خاک و نفوذناپذیری در موقع بارندگی می‌شود. این پدیده افزون بر ناپایداری زمین و ساختمان‌های موجود در منطقه، موجب غیرقابل استفاده شدن آبخوان‌ها در بارندگی‌های بعدی شده و برای همیشه منطقه را از بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی بی‌نصیب می‌کند. خاک‌های زراعتی موجود در اطراف این چاه‌ها از حیز انتفاع افتاده و غیرقابل استفاده می‌شود. حالت فشردگی زمین در نتیجه‌ی تخلیه‌ی آب‌های زیرزمینی در مناطق ساحلی موجب تخریب زمین شده و سبب بالا آمدن آب دریا و دریاچه می‌شود و مشکلات عدیده‌ای را به وجود می‌آورد (حسینی میلانی، ۱۳۷۰).

افت سطح آب‌های زیرزمینی در استان خراسان رضوی به طور کامل مشهود است. برداشت بیش از حد و افت زیاد سطح آب باعث شده که از ۳۶ دشت موجود در این استان، ۳۳ دشت به‌عنوان دشت‌های ممنوعه و ممنوعه‌ی بحرانی اعلام شود (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۶). دشت تایباد یکی از دشت‌های واقع در استان خراسان رضوی است که از حد بحرانی نیز فراتر رفته است. برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی دشت تایباد به‌منظور افزایش عمل‌کرد محصولات و سود خالص کشاورزان، باعث افت مستمر سطح آب، منفی شدن بیلان و افزایش شدید کسری مخزن، نامطلوب شدن کیفیت آب و هجوم جبهه‌ی شوری شده است. این عوامل حاکی از لزوم مدیریت منابع آب زیرزمینی در این منطقه است. به طوری که برداشت از آب زیرزمینی در حد بهینه صورت گرفته و در عین حال سود اقتصادی کشاورزان منطقه افزایش یابد. به سخن دیگر بایستی بین افزایش سود اقتصادی که هدف کشاورز است و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی که هدف جامعه است، تعادل ایجاد شود. در این گونه موارد که اهداف با یک‌دیگر در تعارض هستند، به‌بود در یک هدف تنها به قیمت از دست دادن

اهداف دیگر به دست می آید. نظریه‌ی بازی‌ها یک تکنیک ریاضی به منظور تجزیه و تحلیل مسایلی است که در برگیرنده‌ی موقعیت‌های در تعارض هستند (اصغرپور، ۱۳۸۲).

اغلب ادبیات موضوع درباره‌ی مسایل تخصیص آب، روش‌های بهینه‌یابی سنتی را مورد استفاده قرار می‌دهند. در مقابل نظریه‌ی بازی که یک روش حل تعارض قوی است؛ در همین راستا سالازار و هم‌کاران (۲۰۰۷) و دینار و هم‌کاران (۲۰۰۲)، در مطالعه‌ای به مقایسه‌ی یک الگوی مذاکره با یک نظریه‌ی بازی با هم‌کاری، برای مساله‌ب تخصیص آب در حوضه‌ی آبریز کات^۱ در آفریقای جنوبی پرداختند. ناکایو و هم‌کاران (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای به بررسی منافع بالقوه‌ی حاصل از مشارکت در استفاده‌ی شهرهای ال پاسو^۲ و سیوداد جوارز^۳، از منابع آب حوضه‌ی هواکو بلسن^۴، پرداختند. آنان منافع را در وضعیتی پویا و به وسیله‌ی مقایسه‌ی چهار سناریو، شامل سناریوی ادامه‌ی وضع کنونی، سناریوی بازی غیرمشارکتی نش، سناریوی مذاکره‌ی نش و سناریوی ماکزیم منافع خالص هر دو شهر آزمون کردند. امسانگی (۲۰۰۵)، مساله‌ی استخراج منابع تجدید شذنی را مطابق چارچوب تحلیلی یک بازی پویا حل می‌کند. وی آموزش را در بازی‌های پویا وارد کرده و نشان می‌دهد که چگونه اقدامات پی‌درپی دیگر بازیگران، می‌تواند روی تصمیمات بهینه اثر بگذارد. سالازار و هم‌کاران (۲۰۰۷) برای مساله‌ی تعارض چند هدفه برای یک منطقه‌ی منتخب در مکزیک، از نظریه‌ی بازی‌ها استفاده کردند و منافع اقتصادی از تولید کشاورزی را با اثرات زیست‌محیطی منفی مربوطه، در توازن با هم قرار دادند. وانگ و هم‌کاران (۲۰۰۸)، الگوی *CWAM*^۵ را در قالب یک برنامه‌ریزی ریاضی عمومی برای الگوسازی تخصیص موثر و منصف آب در میان مصرف‌کنندگان رقابتی، در نظر گرفتند و آن را برای مساله‌ی تخصیص آب در مقیاس بزرگ در حوضه‌ی رودخانه‌ی ساسکات‌چوان جنوبی^۶ واقع در استان آلبرتا^۷ در کانادا مورد استفاده قرار دادند.

1 - Kat

2- El Paso

3 - Ciudad Juarez

4- Hu eco Bolson

5- Cooperative Water Allocation Model

6- South Saskatchewan

7- Alberta

در این مطالعه سعی می‌شود با استفاده از تکنیک نظریه‌ی بازی‌ها به تعادل بهینه که هم‌زمان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی را در نظر بگیرد، دست یافته و میزان بهینه‌ی برداشت از منابع آب زیرزمینی دشت تایباد، با اعمال وزن‌های مختلف به اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی تعیین شود.

روش تحقیق

قبل از به‌کارگیری نظریه‌ی بازی‌ها، لازم است که ماتریس تاوان^۸ اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی محاسبه و سپس با استفاده از این ماتریس، مرز پارتو استخراج شود. به این منظور نخست، ۴۰ سناریوی^۹ برداشت از آب‌های زیرزمینی بین مقدار تغذیه در سال و بیش‌ترین میزان تخلیه در سال‌های گذشته (۱۶۴ میلیون متر مکعب) فرض خواهد شد. به این صورت که مقدار تغذیه، به عنوان کم‌ترین میزان برداشت فرض خواهد شد و بقیه‌ی سناریوها، به‌صورت افزایشی با درصد‌های مساوی، از کم‌ترین مقدار برداشت تا بیش‌ترین مقدار برداشت در نظر گرفته خواهد شد. سپس به منظور به دست آوردن اثر زیست‌محیطی، به ازای هر سناریوی برداشت، ضریب برداشت بیش از حد^{۱۰} مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ضریب از تقسیم میزان برداشت به تغذیه حاصل می‌شود (کلوزن و گارسز، ۱۹۹۸) و ضریب کم‌تر، نشان‌دهنده‌ی مخاطرات زیست‌محیطی کم‌تر است. از آن جا که محاسبه‌ی ضریب برداشت بیش از حد، به مقادیر تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی نیازمند است، بنابراین نخست مقادیر بارندگی منطقه با استفاده از الگوی خودرگرسیون میانگین متحرک فصلی^(۱۱) (**SARIMA**) پیش‌بینی شده و سپس تغذیه‌ی ناشی از بارندگی تخمین زده خواهد شد.

به منظور به دست آوردن هدف اقتصادی متناظر با هدف زیست‌محیطی، به ازای هر سناریوی برداشت، با استفاده از یک الگوی برنامه‌ریزی خطی ساده، سود خالص کشاورزان منطقه محاسبه می‌شود. تابع هدف این الگو، بیشینه کردن بازده برنامه‌ای (سود خالص) است. بنابراین بازده برنامه‌ای محصولات عمده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه در سال آتی مورد نیاز است. به این منظور الگوی خود رگرسیون میانگین

8- Payoff Matrix

- است برای ای که درجه‌ی آزادی کافی برای برآورد مرز پارتو در اختیار باشد، تعداد سناریو فرض .

10- Overexploitation Coefficient

11- Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average

متحرک $(ARIMA)^{12}$ برای پیش‌بینی بازده برنامه‌ای، مورد استفاده قرار خواهد گرفت. پس از این که به ازای هر سناریوی برداشت از منابع آب زیرزمینی، اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی محاسبه شد، ماتریس تاوان تشکیل و با استفاده از آن، مرز پارتو استخراج می‌شود. در پایان با استفاده از چهار روش حل تعارض، میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی با اعمال وزن‌های مختلف تعیین می‌شود. با توجه به آن چه بیان شد، در این قسمت نخست به مبانی نظری و تجربی الگوها و روش‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل الگوی خودرگرسیون میانگین متحرک، الگوی خود رگرسیون میانگین متحرک فصلی، تخمین تغذیه‌ی ناشی از بارندگی به ذخایر آب زیرزمینی و روش‌های حل تعارض شامل راه حل نامتقارن نش¹³، راه حل نامتقارن کلی اسمردینسکای¹⁴، راه حل نامتقارن مساحت یک‌نواخت¹⁵ و راه حل نامتقارن زیان مساوی¹⁶ اشاره خواهد شد. سپس به بررسی منطقه‌ی مورد مطالعه و داده‌های تحقیق پرداخته می‌شود.

الگوهای $ARIMA(p, d, q)$

روش اصلی تجزیه و تحلیل‌های سری زمانی، الگوسازی رفتار گذشته یک متغیر و استفاده از آن برای پیش‌بینی رفتار آینده متغیر می‌باشد (ابریشمی و مهر آرا، ۱۳۸۱). الگوهای خود رگرسیون میانگین متحرک، یکی از الگوهای پیش‌بینی سری‌های زمانی در اقتصادسنجی است. فرآیند $ARIMA(p, d, q)$ برای سری زمانی Z_t به صورت رابطه‌ی زیر خواهد بود:

$$\phi_p(B)W_t = \delta + \theta_q(B)a_t \quad (1)$$

$$W_t = (1 - B)^d Z_t \quad (2)$$

که در آن $\phi_p(B)$ و $\theta_q(B)$ به ترتیب چند جمله‌ای‌های خودرگرسیون و میانگین متحرک، هستند. B عمل‌گر وقفه، p و q به ترتیب درجه‌ی عمل‌گر خودرگرسیون و میانگین متحرک و d نیز مرتبه‌ی تفاضل‌گیری هستند. a_t دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی مستقل و هم‌توزیع با میانگین صفر و واریانس

12- Autoregressive Integrated Moving Average

13- non-symmetric Nash solution

14- non-symmetric Kalai-Smorodinsky solution

15- non-symmetric area monotonic solution

16- non-symmetric equal loss solution

σ_a^2 است.

عمل گره‌های به کار رفته نیز به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\phi_z(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p \quad (3)$$

$$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \quad (4)$$

اگر در یک سری، بعد از هر S فاصله‌ی زمانی پایه، شباهت‌هایی پیدا می‌شود، گفته می‌شود که سری، رفتار فصلی یا تناوبی با دوره‌ی تناوب S را از خود نشان می‌دهد. نوع خاصی از الگوهای فصلی که بر ساختار کلی الگوهای $ARIMA$ منطبق هستند، الگوی فصلی ضربی باکس-جنکینز است. چنان چه Z_t به عنوان یک فرایند فصلی ضربی $ARIMA$ با درجات غیرفصلی (p, d, q) ، درجات فصلی (P, D, Q) و دوره‌ی تناوب S باشد، آن گاه الگوی فصلی ضربی باکس-جنکینز به صورت زیر خواهد بود:

$$\phi_z(B)\varphi_p(B^S)W_t = \theta_q(B)\theta_Q(B^S)a_t \quad (5)$$

$$W_t = (1-B)^d(1-B^S)^D Z_t \quad (6)$$

$\phi_p(B)$ و $\theta_q(B)$ به ترتیب چند جمله‌ای‌های خودرگرسیو و میانگین متحرک غیرفصلی و $\varphi_p(B^S)$ و $\theta_Q(B^S)$ به ترتیب چند جمله‌ای‌های خودرگرسیو و میانگین متحرک فصلی هستند. در روابط بالا B عمل‌گر وقفه، p و q به ترتیب درجه‌ی عمل‌گر خودرگرسیو و میانگین متحرک غیرفصلی، P و Q به ترتیب درجه‌ی عمل‌گر خودرگرسیو و میانگین متحرک فصلی و d و D نیز به ترتیب مرتبه‌ی تفاضل‌گیری غیرفصلی و فصلی هستند، a_t دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی مستقل و هم‌توزیع با میانگین صفر و واریانس σ_a^2 است.

عمل گره‌های به کار رفته نیز به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\phi_z(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p \quad (7)$$

$$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \quad (8)$$

$$\varphi_p(B^S) = 1 - \varphi_1 B^S - \varphi_2 B^{2S} - \dots - \varphi_p(B^{pS}) \quad (9)$$

$$\theta_Q(B^S) = 1 - \Theta_1 B^S - \Theta_2 B^{2S} - \dots - \Theta_Q(B^{QS}) \quad (10)$$

شرط کافی برای این که فرایند تصادفی W_t ایستا باشد، این است که قدر مطلق هر یک از ریشه‌های دو معادله‌ی $\phi_p(B) = 0$ و $\phi_p(B^s) - 0$ بزرگ‌تر از واحد باشد و برای قابل استفاده بودن الگو در پیش‌بینی، شرط معکوس‌پذیری W_t نیز لازم است. یک شرط کافی برای معکوس‌پذیر بودن فرایند W_t این است که قدر مطلق هر یک از ریشه‌های معادله‌ی $\theta_q(B) = 0$ و $\theta_q(B^s) = 0$ بزرگ‌تر از واحد باشد (نیرومند و بزرگ‌نیا، ۱۳۷۲). به طور معمول برای تخمین الگوی ARIMA و SARMA، از روش باکس-جنکینز^{۱۷} استفاده می‌شود که دارای چهار مرحله‌ی شناسایی، تخمین، تشخیص دقت پردازش و پیش‌بینی است (ابریشمی و مهر آرا، ۱۳۸۱).

تخمین تغذیه‌ی ناشی از بارندگی به ذخایر آب زیرزمینی

برای محاسبه‌ی تغذیه‌ی ناشی از بارندگی به ذخایر آب زیرزمینی به این صورت عمل

می‌شود:

$$\bar{R}_t = \frac{(R_{td} \times A_d) + (R_{th} \times A_h)}{A_d + A_h} \quad (11)$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_t^n \bar{R}_t}{n} \quad (12)$$

$$\bar{E} - \bar{ST} = \bar{VM} \quad (13)$$

$$\bar{ST} = 10^6 \times d \times c \times A_t \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{\bar{VM}}{A_d \times \bar{R}} \times 10^{-3} \quad (15)$$

که در آن:

\bar{R}_t : میانگین موزون بارندگی منطقه در سال t ام به میلی‌متر

R_{td}, R_{th} : به ترتیب بارندگی سالیانه‌ی ارتفاعات و دشت در سال t ام به میلی‌متر

A_d, A_h : به ترتیب سطح ارتفاعات و دشت به کیلومتر مربع

\bar{R} : میانگین طولانی مدت بارندگی سالیانه‌ی دشت به میلی‌متر

\bar{E} : میانگین تخلیه‌ی طولانی مدت به متر مکعب

\overline{ST} : میانگین افت طولانی مدت به متر مکعب

\overline{VM} : میانگین تغذیه‌ی طولانی مدت به متر مکعب

d : افت متوسط سطح آب به متر

c : ضریب ذخیره

A_t : سطح تیسس به کیلو متر مربع

α : درصد تغذیه از بارندگی در مقیاس طولانی مدت

اکنون ارتفاع و حجم تغذیه برای هر سال $t + 1$ ام به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$H_{t+1M} = \alpha \times R_{t+1} \quad (16)$$

$$V_{t+1N} = H_{t+1M} \times A_d \times 10^3 \quad (17)$$

که در آن:

\bar{R}_{t+1} : میانگین وزنی بارندگی سالیانه‌ی دشت در سال $t + 1$ ام به میلی‌متر

H_{t+1M} : ارتفاع تغذیه در سال $t + 1$ ام به میلی‌متر

V_{t+1N} : حجم تغذیه در سال $t + 1$ ام به متر مکعب است (محمدیان، ۱۳۸۶).

الگوی تجربی برنامه‌ریزی خطی

همان گونه که پیش از این اشاره شد، در این مطالعه درآمد خالص کشاورزان منطقه به عنوان اثرات اقتصادی هر سناریوی برداشت در نظر گرفته می‌شود. به این منظور برای هر سناریو- با فرض این که کشاورزان با توجه به قیمت محصول و آب در دسترس، محصولات را به صورت بهینه کشت می‌کنند با استفاده از یک الگوی برنامه‌ریزی خطی درآمد خالص کشاورزان منطقه محاسبه می‌شود.

تابع هدف و محدودیت‌های مسأله‌ی مورد نظر به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\text{Max } NB = \sum_{j=1}^n (B_j - C_j)A_j \quad (18)$$

Subject to:

$$B_j = Y_j \times P_j \quad j = 1, 2, \dots, 12 \quad (19)$$

$$VTAI \leq GW + SW \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^{12} A_j \leq A \quad (21)$$

$$A_j \leq 1.5 \times A_{pj} \quad j = 1, 2, \dots, 12 \quad (22)$$

$$A_j \geq 0.5 \times A_{pj} \quad j = 2, \dots, 12 \quad (23)$$

$$A_j \geq 0.8 \times A_{pj} \quad j = 1 \quad (24)$$

در الگوی برنامه‌ریزی خطی، رابطه‌ی (۱۸) تابع هدف بیشینه کردن بازده برنامه‌های (سود خالص) است و روابط (۱۹) تا (۲۴) محدودیت‌های فیزیکی الگو هستند. کلیه‌ی متغیرها و پارامترهای به کار رفته در تابع هدف و محدودیت‌ها در جدول (۱) معرفی شده است. همان گونه که در جدول (۱) گفته شد، \bar{I} متغیر مربوط به محصولات مختلفی است که در دشت تایباد کشت می‌شود. این محصولات به ترتیب عبارتند از: گندم ($j=1$)، جو ($j=2$)، چغندر قند ($j=3$)، پنبه ($j=4$)، خربزه ($j=5$)، هندوانه ($j=6$)، یونجه ($j=7$)، ذرت خوشه‌ای ($j=8$)، زیره ($j=9$)، گوجه‌فرنگی ($j=10$)، پیاز (۱۱) $j=$ سیب‌زمینی ($j=12$).

\bar{i} متغیر مربوط به فصل‌های سال است که به این صورت است:

بهار (۱ - \bar{i})، تابستان (۲ - \bar{i})، پاییز (۳ - \bar{i})، زمستان (۴ - \bar{i}).

جدول (۱). تعریف متغیرهای به کار رفته در تابع هدف و محدودیت‌ها

متغیر	تعریف
NB	درآمد خالص به ده هزار ریال
B_j	درآمد ناخالص محصول \bar{I} به ده هزار ریال

ادامه جدول (۱). تعریف متغیرهای به کار رفته در تابع هدف و محدودیت‌ها

متغیر	تعریف
Y_j	عمل کرد محصول j به کیلوگرم
P_j	قیمت محصول j به ده هزار ریال
C_j	هزینه‌ی تولید محصول j به ده هزار ریال
A_j	سطح زیر کشت محصول j به هکتار
A_{pj}	سطح زیر کشت کنونی محصول j به هکتار
A	کل زمین‌های قابل کشت و آبیاری محصولات کشاورزی منطقه به هکتار
$VTAI$	کل حجم آب مصرفی به متر مکعب
GW	حجم برداشت از آب‌های زیرزمینی به متر مکعب
SW	حجم آب‌های سطحی در دسترس به متر مکعب
n	تعداد محصولات که برابر با ۱۲ است
j	متغیر مربوط به محصولات مختلف
i	متغیر مربوط به فصل‌های سال

روش حل تعارض

به منظور حل تعارض بین اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی منطقه‌ی مطالعه شده و تعیین میزان برداشت بهینه از ذخایر آب زیرزمینی، از نظریه‌ی بازی‌ها استفاده شد. تعارض به وضعیتی گفته می‌شود که در آن دو یا چند تصمیم‌گیرنده بر سر برخی مسایل و موضوعات در حال بحث و مناقشه هستند (فانگ و هم‌کاران، ۱۹۹۳). نظریه‌ی بازی‌ها یک تکنیک ریاضی برای تجزیه و تحلیل مسایلی است که در برگیرنده‌ی موقعیت‌های در تعارض است (اصغرپور، ۱۳۸۲).

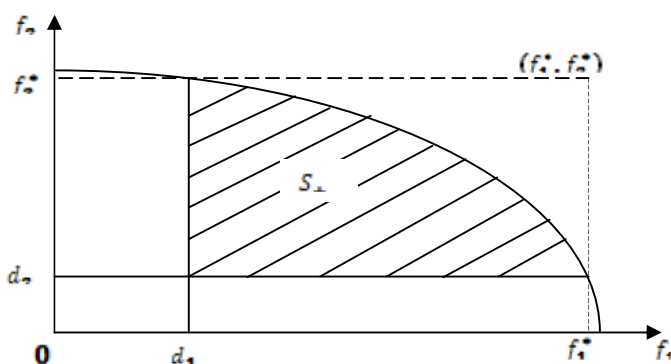
تعارض بین اهداف به روش ریاضی، با زوج (S, d) تعریف می‌شود که $S \subseteq R^2$ مجموعه‌ای از منافع ممکن و $d \in R^2$ مجموعه‌ای از بدترین نتایج ممکن است. هر یک از بازیکنان تمایل دارند که ارزش منافع خود را به بهترین نتایج ممکن افزایش دهند.

مرز پارتو^{۱۸} توسط تابع معقر و اکیداً نزولی g در فاصله‌ی $[d_1, f_1^*]$ مشخص می‌شود که در آن $f_1^* = g(d_1)$ و $g(f_1^*) = d_2$ است (شکل ۱). برخی مواقع بردار d به عنوان بردار منافع در حالت نبود توافق (وضعیت موجود^{۱۹}) در نظر گرفته می‌شود و ترکیبی است از منافع بازیگرها در حالتی که به یک توافق کلی نمی‌رسند. در این موارد مجموعه‌ی منافع ممکن S ، به مجموعه‌ی S_+ محدود می‌شود که در زیر تعریف شده است؛ زیرا هیچ بازیکن عاقلی، توافقی را که بدتر از حالت نبود توافق یا وضعیت موجود است، نمی‌پذیرد.

$$S_+ = \{f = (f_1, f_2) | f \in S, f \geq d, f_2 = g(f_1)\} \quad (25)$$

اگر بردار d به عنوان بدترین نتایج ممکن دو گروه هدف انتخاب شود، آن گاه، $S_+ = \square$

خواهد بود (سالازار و هم‌کاران، ۲۰۰۷).



شکل (۱). مرز پارتو دو بازیگر در موقعیت تعارض

نش مفهوم راه حل تعادل را برای بازی‌های دو نفره و بدون هم‌کاری توسعه داد. این راه حل تعادل می‌بایست دارای شرایطی باشد. این شرایط اصول بدیهی^{۲۰} نامیده می‌شوند. برخی از محققان الگوی اولیه‌ی نش را توسعه داده و آن را اصلاح کرده‌اند. برای نمونه، راه حل نامتقارن نش توسط هارسانی و

18- Pareto Frontier

19- Status quo

20- Axiom

سلتن معرفی شد که در این روش می‌توان چانه‌زنی طرفین با نیروهای متفاوت را طراحی کرد. کلی و اسمردینسکای از افرادی بودند که اصول اولیه‌ی نش را اصلاح کردند و اصل استقلال از گزینه‌های نامربوط را به وسیله‌ی یک‌نواختی منحصر به فرد جای‌گزین کردند. راه حل مساحت یک‌نواخت که توسط آنبارسی معرفی شد، بر اساس اصل یک‌نواختی مساحت است و زیان مساوی چنان به گونه‌ای است که بایستی هر دو طرف در فواصل مساوی از به‌ترین انتخاب‌هایشان باشند (اصغرپور، ۱۳۸۲).
 راه حل نش یک نقطه‌ی منحصر به فرد را روی مرز پارتو به گونه‌ای انتخاب می‌کند که حاصل ضرب منافع، بیشینه شود. راه حل نش، حل منحصر به فرد مساله‌ی بهینه‌سازی زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Maximize} \quad & (f_1 - d_1)(f_2 - d_2) \\ \text{subject to} \quad & d_1 \leq f_1 \leq f_1^* \\ & f_2 = g(f_1) \end{aligned} \quad (26)$$

در $f_1 = f_1^*$ و $f_1 = d_1$ تابع هدف برابر صفر و برای همه‌ی مقادیر $f_1 \in (d_1, f_1^*)$ تابع هدف مثبت است. در صورتی که محدودیت دوم، یعنی $f_2 = g(f_1)$ در تابع هدف جای‌گزین شود، مساله‌ی (۲۶)، به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Maximize} \quad & (f_1 - d_1)(g(f_1) - d_2) \\ \text{subject to} \quad & d_1 \leq f_1 \leq f_1^* \end{aligned} \quad (27)$$

در این حالت مساله به صورت تک بعدی درمی‌آید و یک الگوریتم جست‌وجوی ساده‌ی تک‌بعدی، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.
 در این مطالعه چهار روش حل تعارض شامل راه حل نامتقارن نش، راه حل نامتقارن کلی-اسمردینسکای، راه حل نامتقارن مساحت یک‌نواخت و راه حل نامتقارن زیان مساوی که همگی بر مبنای روش حل تعارض نش هستند، به کار می‌رود.

راه حل نامتقارن نش

راه حل نامتقارن نش، یک حل منحصر به فرد مساله‌ی زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Maximize} \quad & (f_1 - d_1)^{w_1}(f_2 - d_2)^{w_2} \\ \text{subject to} \quad & d_1 \leq f_1 \leq f_1^* \\ & f_2 = g(f_1) \end{aligned} \quad (28)$$

این روش تعمیمی از مسأله‌ی (۲۶)، با وزن‌های نامساوی است. در این روش وزن‌های w_1 و w_2 ، به هر یک از بازیکن‌ها داده می‌شود. جمع وزن‌ها مساوی یک است و بازیکنی که دارای وزن بیش‌تری است، در تابع هدف از اهمیت بیش‌تری برخوردار است (هارسانی و سلتن، ۱۹۷۲).

راه حل نامتقارن کلی-اسمردینسکای

در این روش یک پاره خط ما بین نقطه‌ی نبود توافق (d_1, d_2) و نقطه‌ی ایده‌آل (f_1^*, f_2^*) ، رسم می‌شود و نقطه‌ی برخورد این پاره خط با مرز پارتو به عنوان جواب بهینه معرفی می‌شود (عرض از مبدا این پاره خط با مرز پارتو). بنابراین با حل رابطه‌ی زیر، در فاصله‌ی (d_1, f_1^*) ، جواب بهینه به دست می‌آید.

$$d_2 + [(f_2^* - d_2) / (f_1^* - d_1)](f_1 - d_1) - y(f_1) = 0 \quad (29)$$

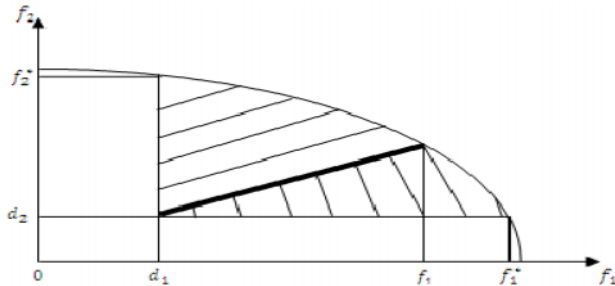
اگر اهداف نرمالیزه شده باشند، آن‌گاه $d_1 = d_2 = 0$ و $f_1^* = f_2^* = 1$ است. بنابراین دو هدف \bar{f}_1 و \bar{f}_2 ، در طول پاره خطی که نقطه‌ی نبود توافق و نقطه‌ی ایده‌آل را به هم وصل می‌کند، با نرخ مشابهی افزایش می‌یابند. اگر اهداف دارای وزن‌های اهمیت متفاوتی باشند، آن‌گاه هدف مهم‌تر باید با سرعت بیش‌تری افزایش یابد. این نظریه منجر به شکل‌گیری راه حل نامتقارن کلی-اسمردینسکای شده است که جواب بهینه‌ای را در محل برخورد مرز پارتو و پاره خط مستقیم زیر محاسبه می‌کند (سالازار و هم‌کاران، ۲۰۰۷).

$$\bar{g}(\bar{f}_1) = (w_2 / w_1) \bar{f}_1 \quad (30)$$

راه حل نامتقارن مساحت یک‌نواخت

راه حل سطوح یک‌نواخت بر اساس پاره خطی تعریف می‌شود که از نقطه‌ی نبود توافق شروع می‌شود و S_+ را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند. اگر وزن اهداف با هم برابر نباشد $(w_1 \neq w_2)$ ، آن‌گاه مسأله به صورت نامتقارن درمی‌آید و بایستی به گونه‌ای حل شود که نسبت مساحت دو قسمت، برابر با w_1/w_2 باشد. بنابراین جواب بهینه، ریشه‌ی معادله‌ی غیرخطی زیر در فاصله‌ی (d_1, f_1^*) است (آنبارسی، ۱۹۹۳). شکل (۲) راه حل نامتقارن مساحت یک‌نواخت را نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned}
 & w_2 \left[\int_{d_1}^{f_1} g(t) dt - \frac{1}{2} (f_1 - d_1) (g(f_1) + d_2) \right] \\
 & = w_1 \left[\int_{f_1}^{f_1^*} g(t) dt - (f_1^* - f_1) d_2 + \frac{1}{2} (f_1 - d_1) (g(f_1) - d_2) \right] \quad (31)
 \end{aligned}$$



شکل (۲). راه حل نامتقارن مساحت یک‌نواخت

راه حل نامتقارن زیان مساوی

راه حل زیان مساوی نخست برای حالتی معرفی شد که اهداف دارای وزن‌های یکسانی بودند و هر دو گروه به طور هم‌زمان و با سرعت یکسان، به یک توافق می‌رسیدند. اما در راه حل نامتقارن، اهداف دارای وزن‌های متفاوتی هستند $[(w_1] \neq w_2)$. در این روش، نقطه $(f_1, g(f_1))$ روی مرز پارتو، به صورت زیر تعیین می‌شود (چان، ۱۹۸۸):

$$(f_1^* - f_1)w_1 = (f_2^* - g(f_1))w_2 \quad (32)$$

همان گونه که دیده می‌شود، معادله (۳۲) نیز یک معادله‌ی غیرخطی است و بایستی f مجهول

را به دست آورد.

معرفی محدوده‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مطالعاتی تایباد با وسعت ۲۹۷۵/۵ کیلومتر مربع در ۲۰ کیلومتری جنوب شهرستان تربت جام و در جنوب حوضه‌ی آبریز قره‌قوم قرار دارد. به لحاظ جغرافیایی در محدوده‌ی ۱۱° ۶۰' تا

۰۹° ۶۰ طول شرقی و ۳۶° ۳۴ تا ۱۲° ۳۵ عرض شمالی واقع شده است. با توجه به توزیع مکانی بارندگی در دشت تایباد و همچنین شبکه ایستگاه‌های اندازه‌گیری ریزش‌های جوی از میان ایستگاه‌های موجود دو ایستگاه تایباد و باخرز به ترتیب معرف دشت و ارتفاع انتخاب شدند. این ایستگاه‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند که اول، به‌ترین معرف برای محدوده‌ی خود بوده و دوم دارای آمار طولانی‌مدت و مشاهده‌ای باشند.

روش گردآوری اطلاعات

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه از منابع مختلفی جمع‌آوری شده است. داده‌های مربوط به ذخایر و تخلیه‌ی منابع آب زیرزمینی و بارندگی از شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، داده‌های مربوط به الگوی کشت موجود و بازده برنامه‌ای محصولات زراعی در طی سال‌های مختلف، از سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی و جهاد کشاورزی شهرستان تایباد^{۱۱} و داده‌های مربوط به قیمت، عمل‌کرد و هزینه‌های تولید محصولات مختلف و آب مصرفی در سال زراعی ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۶، از طریق تکمیل پرسش‌نامه و با بهره‌گیری از اطلاعات ۱۰۹ کشاورز منطقه‌ی مورد مطالعه به دست آمد که به روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب شده بودند. سری‌های زمانی مورد نیاز برای پیش‌بینی بازده برنامه‌ای، مربوط به سال‌های زراعی ۱۳۶۶ تا ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۵ است. سری‌های زمانی در نظر گرفته شده برای پیش‌بینی بارندگی در ایستگاه باخرز و تایباد مربوط به دوره‌ی زمانی ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۶ است. هم‌چنین در این مطالعه از بسته‌های نرم‌افزاری Excel، Eviews 3، Lingo 8، Maple 11، Microfit 4، Minitab 14 و SPSS 10 برای انجام محاسبات و تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شده است.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از پیش‌بینی بارندگی و تخمین تغذیه

برای استفاده از فرآیند **SARIMA**، نخست با رسم نمودار سری زمانی و نمودارهای

- این داده از مکاتبات موجود و منتشر نشده‌ی سازمان جهاد کشاورزی به دست آمده است.

(خودهم‌بستگی) ACF (و خودهم‌بستگی جزئی) $PACF$: ایستایی داده‌ها بررسی شد. نتایج الگوسازی در ایستگاه‌های تایباد و باخرز به ترتیب الگوهای $SARIMA(0,0,0)(3,1,4)$ و $SARIMA(0,0,0)(4,1,0)$ را توصیه می‌کند که بر اساس مراحل تکراری حاصل شده است. برای بررسی صحت الگوی برازش شده، نمودارهای مربوط به باقی‌مانده‌ها بررسی شد و مناسبت الگوهای انتخاب شده تایید شد. برای اطمینان از کفایت الگو، افزون بر روش نموداری، از آزمون پرت مانتو استفاده شد که بر مبنای آماره‌ی اصلاح شده‌ی باکس-پیرس (جانگ باکس) است. نتایج مربوط به این آزمون در جدول (۲) آمده است. همان‌طور که دیده می‌شود، فرضیه‌ی ناهم‌بسته بودن باقی‌مانده‌ها پذیرفته می‌شود. بنابراین با توجه به بررسی‌های بالا، مناسبت الگوهای انتخاب شده، تایید می‌شود.

بر اساس الگوی بهینه‌ی به دست آمده در هر یک از ایستگاه‌ها، مقادیر بارندگی فصلی برای سال زراعی ۸۸ ۱۳۸۷ محاسبه شده که نتایج آن در جدول‌های (۳) و (۴) آورده شده است.

جدول (۲). نتایج آزمون پرت مانتو

ایستگاه	الگو	آماره‌ی Q	تعداد وقفه‌ها (k)	P - Value
تایباد	$SARIMA(0,0,0)(3,1,4)$	۲۱/۲	۳۶	۰/۸۵۳
باخرز	$SARIMA(0,0,0)(4,1,0)$	۲۹/۶	۳۶	۰/۵۸۷

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول (۳). مقادیر بارندگی فصلی پیش‌بینی شده‌ی ایستگاه تایباد (میلی‌متر)

سال	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	سالانه
۸۸ ۱۳۸۷	۲۱/۶	۹۴/۱	۳۳/۶	۰/۵	۱۴۹/۷

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول (۴). مقادیر بارندگی فصلی پیش‌بینی شده‌ی ایستگاه باخرز (میلی‌متر)

سال	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	سالانه
۸۸ ۱۳۸۷	۳۴/۱	۱۱۸/۹	۳۴/۶	۰/۹	۱۸۸/۵

ماخذ: یافته‌های تحقیق

بر اساس جدول‌های (۳) و (۴) که پیش‌بینی مقادیر بارندگی سالانه را نشان می‌دهد، و همچنین روابط یاد شده در بخش ۴، ۲، حجم تغذیه‌ی سالانه به ذخایر آب زیرزمینی دشت تایباد ۱۰۶۸۷۶۰۰۴/۴ متر مکعب نخمین زده شد.

نتایج حاصل از پیش‌بینی بازده برنامه‌ای محصولات مختلف

تعیین میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه برای سال آینده، نیازمند پیش‌بینی بازده برنامه‌ای محصولات مختلف است. برای پیش‌بینی بازده برنامه‌ای، از فرآیند **ARIMA** استفاده شد. به این شکل که نخست مرتبه‌ی ایستایی (d) با استفاده از آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته تعیین شد و سپس تعداد جملات خودرگرسیو (p) و تعداد جملات میانگین متحرک (q)، با بهره‌گیری از روش پسران و پسران (۱۹۷۷) و معیار شوارتز بیزین، برای بازده برنامه‌ای محصولات مختلف محاسبه شد. از بین الگوهای مختلف، الگویی انتخاب می‌شود که دارای کم‌ترین مقدار آماره‌ی شوارتز بیزین باشد. بر این اساس، به‌ترین الگو برای پیش‌بینی بازده برنامه‌ای هر محصول، در جدول (۵) آمده است.

جدول (۵). مقادیر p ، d و q الگوی نهایی $ARIMA(p, d, q)$ برای محصولات مورد مطالعه

محصول	p	d	q
گندم	۱	۱	۱
جو	۲	۱	۳
چغندر قند	۱	۱	۳
پنبه	۳	۱	۳
خریزه	۲	۱	۲
هندوانه	۲	۱	۲
یونجه	۳	۱	۱
ذرت	۰	۱	۳
زیره	۱	۱	۳
گوجه‌فرنگی	۱	۱	۱
پیاز	۱	۱	۲
سیب‌زمینی	۱	۱	۲

ماخذ: یافته‌های تحقیق

بر اساس الگوی بهینه‌ی به دست آمده برای بازده برنامه‌ای هر محصول، مقادیر بازده برنامه‌ای محصولات، برای سال زراعی ۱۳۸۸-۱۳۸۷ محاسبه شده که نتایج آن در جدول (۶) آورده شده است.

جدول (۶). مقادیر بازده برنامه‌ای پیش‌بینی شده (ریال)

محصول	گندم	جو	چغندر قند	پنبه	خریزه	هندوانه	یونجه	ذرت	زیره	گوچه فرنگی	پیاز	سیب زمینی
بازده برنامه‌ای	۴۶۲۰۶۸۴	۴۱۸۵۴۷۴	۷۶۳۳۳۵۶	۶۳۲۸۵۷۲	۶۸۸۶۸۳۶	۸۱۲۰۲۹۳	۸۰۴۷۱۶۰	۶۸۷۵۳۴۷	۷۱۳۵۹۶۲	۵۱۹۱۵۲۵	۷۲۴۴۳۲۶	۸۰۳۳۳۹۲

ماخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از حل تعارض با استفاده از نظریه‌ی بازی‌ها

با توجه به این که مقدار تغذیه، $۱۰۶/۸۷۶$ میلیون متر مکعب تخمین زده شد، سناریوهای برداشت از $۱۰۶/۸۷۶$ تا ۱۶۴ میلیون متر مکعب در نظر گرفته شد. این سناریوها، هم‌راه با درآمد خالص و ضریب برداشت بیش از حد، در جدول (۷) نشان داده شده است. همان طور که انتظار می‌رفت و جدول (۷) نیز نشان می‌دهد، با افزایش برداشت آب، درآمد بیش‌تری نصیب کشاورزان منطقه می‌شود. در مقابل اثرات محیطی زیان‌بارتری با برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی، نصیب جامعه خواهد شد.

جدول (۷). درآمد خالص و ضریب برداشت بیش از حد به ازای سناریوهای مختلف برداشت.

سناریو	میزان برداشت (میلیون متر مکعب)	درآمد خالص (هزار ریال)	ضریب برداشت بیش از حد	سناریو	میزان برداشت (میلیون متر مکعب)	درآمد خالص (هزار ریال)	ضریب برداشت بیش از حد
۱	$۱۰۶/۸۷۶$	۸۱۴۱۵۸۵۰	۱	۲۱	$۱۳۶/۱۷۰$	۱۰۲۳۹۳۳۰۰	$۱/۲۷۴$
۲	$۱۰۸/۳۴۱$	۸۲۴۷۸۳۳۰	$۱/۰۱۴$	۲۲	$۱۳۷/۶۳۵$	۱۰۳۴۰۰۶۰۰	$۱/۲۸۸$
۳	$۱۰۹/۸۰۵$	۸۳۵۴۰۸۱۰	$۱/۰۲۷$	۲۳	$۱۳۹/۱۰۰$	۱۰۴۴۰۸۰۰۰	$۱/۳۰۲$
۴	$۱۱۱/۲۷۰$	۸۴۶۰۳۲۹۰	$۱/۰۴۱$	۲۴	$۱۴۰/۵۶۵$	۱۰۵۴۱۵۳۰۰	$۱/۳۱۵$
۵	$۱۱۲/۷۳۵$	۸۵۶۶۵۷۸۰	$۱/۰۵۵$	۲۵	$۱۴۲/۰۲۹$	۱۰۶۳۳۳۸۰۰	$۱/۳۲۹$
۶	$۱۱۴/۲۰۰$	۸۶۷۲۸۲۵۰	$۱/۰۶۹$	۲۶	$۱۴۳/۴۹۴$	۱۰۷۲۴۴۷۰۰	$۱/۳۴۳$
۷	$۱۱۵/۶۶۴$	۸۷۷۹۰۷۳۰	$۱/۰۸۲$	۲۷	$۱۴۴/۹۵۹$	۱۰۸۱۵۵۶۰۰	$۱/۳۵۶$
۸	$۱۱۷/۱۲۹$	۸۸۸۵۳۲۱۰	$۱/۰۹۶$	۲۸	$۱۴۶/۴۲۳$	۱۰۹۰۶۶۵۰۰	$۱/۳۷۰$

ادامه جدول (۷). درآمد خالص و ضریب برداشت بیش از حد به ازای سناریوهای مختلف برداشت

سناریو	میزان برداشت (میلیون متر مکعب)	درآمد خالص (هزار ریال)	ضریب برداشت بیش از حد	سناریو	میزان برداشت (میلیون متر مکعب)	درآمد خالص (هزار ریال)	ضریب برداشت بیش از حد
۹	۱۱۸/۵۹۴	۸۹۹۱۵۷۰۰	۱/۱۱۰	۲۹	۱۴۷/۸۸۸	۱۰۹۷۸۸۵۰۰	۱/۳۸۴
۱۰	۱۲۰/۰۵۸	۹۰۹۷۸۱۷۰	۱/۱۲۳	۳۰	۱۴۹/۳۵۳	۱۱۰۳۵۹۵۰۰	۱/۳۹۷
۱۱	۱۲۱/۵۲۳	۹۲۰۴۰۶۶۰	۱/۱۳۷	۳۱	۱۵۰/۸۱۸	۱۱۰۸۰۰۲۰۰	۱/۴۱۱
۱۲	۱۲۲/۹۸۸	۹۳۱۰۳۱۳۰	۱/۱۵۱	۳۲	۱۵۲/۲۸۲	۱۱۱۲۴۰۹۰۰	۱/۴۲۵
۱۳	۱۲۴/۴۵۳	۹۴۱۶۵۶۱۰	۱/۱۶۴	۳۳	۱۵۳/۷۴۷	۱۱۱۶۳۴۳۰۰	۱/۴۳۹
۱۴	۱۲۵/۹۱۷	۹۵۲۲۸۱۰۰	۱/۱۷۸	۳۴	۱۵۵/۲۱۲	۱۱۲۰۰۱۴۰۰	۱/۴۵۲
۱۵	۱۲۷/۳۸۲	۹۶۲۹۰۵۹۰	۱/۱۹۲	۳۵	۱۵۶/۶۷۶	۱۱۲۳۶۸۶۰۰	۱/۴۶۶
۱۶	۱۲۸/۸۴۷	۹۷۳۵۳۰۶۰	۱/۲۰۶	۳۶	۱۵۸/۱۴۱	۱۱۲۷۳۵۷۰۰	۱/۴۸۰
۱۷	۱۳۰/۳۱۱	۹۸۳۶۴۰۵۰	۱/۲۱۹	۳۷	۱۵۹/۶۰۶	۱۱۳۱۰۲۸۰۰	۱/۴۹۳
۱۸	۱۳۱/۷۷۶	۹۹۳۷۱۳۷۰	۱/۲۳۳	۳۸	۱۶۱/۰۷۱	۱۱۳۴۷۰۰۰۰	۱/۵۰۷
۱۹	۱۳۳/۲۴۱	۱۰۰۳۷۸۷۰۰	۱/۲۴۷	۳۹	۱۶۲/۵۳۵	۱۱۳۸۱۶۳۰۰	۱/۵۲۱
۲۰	۱۳۴/۷۰۶	۱۰۱۳۸۶۰۰۰	۱/۲۶۰	۴۰	۱۶۴/۰۰۰	۱۱۴۱۴۳۷۰۰	۱/۵۳۴

ماخذ: یافته‌های تحقیق

برای استخراج مرز پارتو، نخست درآمد خالص و ضریب برداشت بیش از حد، بین صفر (۰) تا یک (۱) نرمال شد و سپس با توجه به پراکندگی نقاط، فرم‌های تابعی خطی و چند جمله‌ای با درجات مختلف، بررسی شد. سرانجام بر اساس معیارهای نیکویی برازش، چند جمله‌ای درجه شش به عنوان مرز پارتو انتخاب شد. جدول (۸)، نتایج برآورد مرز پارتو را نشان می‌دهد.

اکنون با استفاده از مرز پارتو و چهار روش یاد شده در فصل روش تحقیق، میزان بهینه‌ی برداشت از آب‌های زیرزمینی دشت تایباد برای سال زراعی ۱۳۸۸ تا ۱۳۸۷ مشخص می‌شود. به هر یک از دو گروه هدف (اقتصادی و محیطی)، وزن‌های مختلفی بین ۰ تا ۱ و به فاصله‌ی ۰/۰۵، داده شد. از آن جا که روش‌های نامتقارن نش، روش کلج-اسمردینسکای، روش سطوح یک‌نواخت و روش زیان یکسان، مبنی بر مفاهیم متفاوت بی طرفی هستند، بنابراین نتایج حاصل از آن‌ها اندکی با یکدیگر متفاوت است. برای رسیدن به یک نقطه که بیانگر مقدار بهینه‌ی برداشت از منابع آب باشد، از جواب‌های به دست آمده از این چهار روش، میانگین گرفته شد. نتایج حاصل از حل تعارض در جدول (۹) آورده شده است.

جدول (۸). نتایج حاصل از استخراج مرز پارتو، سال زراعی ۱۳۸۸ + ۱۳۸۷

متغیر	ضریب	خطای استاندارد	آماره ی χ^2	prob
x	۰/۵۲	۰/۰۴۸	۴۰/۷۷۰	۰/۰۰۰
x^2	۲/۸۴	۰/۵۰۶	۵/۶۱۹	۰/۰۰۰
x^3	۴۵/۹۲	۲/۰۶۹	۴/۶۹۵	۰/۰۰۰
x^4	۲۸/۰۹	۳/۹۱۹	۷/۱۶۹	۰/۰۰۰
x^5	۴۱/۹۸	۳/۴۶۹	۶/۳۳۷	۰/۰۰۰
x^6	۶/۴۹	۱/۱۶۱	۵/۵۸۷	۰/۰۰۰
عرض از مبدا	۱/۰۰	۰/۰۰۲	۵۹۱/۷۹۴	۰/۰۰۰
			$F(Prob)$	
				$301101/20(0/000)$
			R^2	
				۰/۹۹
				۱/۹۵
آزمون خودهمبستگی				
			$F(Prob)$	
				$2/11(0/157)^*$
آزمون رمزی				
			$F(Prob)$	
آزمون واریانس ناهمسانی وایت				$1/47(0/211)$

※: سطح معناداری آزمون فروض کلاسیک (آزمون رمزی و واریانس ناهمسانی وایت) ۵ درصد در نظر گرفته شده است.
 ماخذ: یافته‌های تحقیق

همان گونه که انتظار می‌رفت و جدول (۹) نیز نشان می‌دهد، هر چه میزان اهمیت اهداف اقتصادی کم‌تر می‌شود، مقدار برداشت از منابع آب نیز کاهش می‌یابد. میزان برداشت بهینه از منابع آب، در حالتی که وزن و اهمیت یکسانی به اقتصاد و محیط زیست داده می‌شود ($w_1 = w_2 = 0/5$)، ۱۳۳/۲۲۵ میلیون متر مکعب است. براساس میزان برداشت بهینه‌ی گفته شده و کم‌ترین و بیش‌ترین میزان برداشت، الگوی کشت بهینه‌ی منطقه به دست آمد. جدول (۱۰) حاوی نتایج مربوط به تعیین الگوی کشت بهینه است.

جدول (۹). میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی (میلیون متر مکعب)

میانگین	نامتقارن زیان یکسان	نامتقارن سطوح یک‌نواخت	نامتقارن کلج اسمردینسکای	نامتقارن نش	وزن هدف زیست‌محیطی W_1
۱۶۴/۰۰۰	۱۶۴/۰۰۰	۱۶۴/۰۰۰	۱۶۴/۰۰۰	۱۶۴/۰۰۰	۰
۱۵۸/۸۴۹	۱۵۷/۲۷۸	۱۶۰/۶۳۳	۱۶۱/۰۶۸	۱۵۶/۴۱۹	۰/۰۵۰
۱۵۵/۰۶۸	۱۵۲/۰۷۰	۱۵۷/۲۵۷	۱۵۷/۹۲۳	۱۵۳/۰۲۲	۰/۱۰۰
۱۵۱/۹۱۹	۱۴۸/۶۳۱	۱۵۳/۹۱۹	۱۵۴/۵۷۷	۱۵۰/۵۵۱	۰/۱۵۰
۱۴۹/۰۰۵	۱۴۵/۸۴۸	۱۵۰/۶۷۴	۱۵۱/۱۲۰	۱۴۸/۳۷۹	۰/۲۰۰
۱۴۶/۲۲۹	۱۴۳/۳۷۵	۱۴۷/۵۵۵	۱۴۷/۶۷۲	۱۴۶/۳۱۵	۰/۲۵۰
۱۴۳/۵۵۳	۱۴۱/۰۶۲	۱۴۴/۵۶۵	۱۴۴/۳۲۱	۱۴۴/۲۶۴	۰/۳۰۰
۱۴۰/۹۴۴	۱۳۸/۸۲۷	۱۴۱/۶۸۵	۱۴۱/۱۰۴	۱۴۲/۱۶۱	۰/۳۵۰
۱۳۸/۳۷۲	۱۳۶/۶۲۱	۱۳۸/۸۹۱	۱۳۸/۰۲۰	۱۳۹/۹۵۷	۰/۴۰۰
۱۳۵/۸۰۷	۱۳۴/۴۱۱	۱۳۶/۱۵۷	۱۳۵/۰۵۱	۱۳۷/۶۱۰	۰/۴۵۰
۱۳۳/۲۲۵	۱۳۲/۱۷۴	۱۳۳/۴۶۰	۱۳۲/۱۷۴	۱۳۵/۰۹۳	۰/۵۰۰
۱۳۰/۶۱۱	۱۲۹/۸۹۵	۱۳۰/۷۷۹	۱۲۹/۳۶۹	۱۳۲/۴۰۱	۰/۵۵۰
۱۲۷/۹۶۶	۱۲۷/۵۶۶	۱۲۸/۱۰۲	۱۲۶/۶۲۴	۱۲۹/۵۷۳	۰/۶۰۰
۱۲۵/۳۰۶	۱۲۵/۱۸۳	۱۲۵/۴۲۳	۱۲۳/۹۳۴	۱۲۶/۶۸۳	۰/۶۵۰
۱۲۲/۶۵۱	۱۲۲/۷۴۶	۱۲۲/۷۴۳	۱۲۱/۳۰۵	۱۲۳/۸۱۱	۰/۷۰۰
۱۲۰/۰۱۹	۱۲۰/۲۵۶	۱۲۰/۰۷۳	۱۱۸/۷۴۴	۱۲۱/۰۰۲	۰/۷۵۰
۱۱۷/۴۱۰	۱۱۷/۷۱۲	۱۱۷/۴۲۱	۱۱۶/۲۶۱	۱۱۸/۲۴۷	۰/۸۰۰
۱۱۴/۸۱۵	۱۱۵/۱۱۰	۱۱۴/۷۹۷	۱۱۳/۸۵۵	۱۱۵/۴۹۸	۰/۸۵۰
۱۱۲/۲۱۲	۱۱۲/۴۴۲	۱۱۲/۱۹۳	۱۱۱/۵۱۵	۱۱۲/۶۹۶	۰/۹۰۰
۱۰۹/۵۷۱	۱۰۹/۶۹۸	۱۰۹/۵۷۸	۱۰۹/۲۱۰	۱۰۹/۸۰۰	۰/۹۵۰
۱۰۶/۸۷۶	۱۰۶/۸۷۶	۱۰۶/۸۷۶	۱۰۶/۸۷۶	۱۰۶/۸۷۶	۱

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول (۱۰). سطح زیر کشت بهینه (هکتار) و درآمد خالص (هزار ریال)

میزان برداشت (میلیون متر مکعب)	۱۶۴/۰۰۰	۱۳۳/۲۲۵	۱۰۶/۸۷۶
گندم	۱۰۹۷۴/۲	۱۱۲۶۶/۵	۷۸۰۲/۱
جو	۱۵۵۵/۰	۴۶۶۵/۰	۴۶۶۵/۰
چغندر قند	۴۸۴/۵	۱۶۱/۵	۱۶۱/۵
پنبه	۲۳۶۸/۴	۱۰۲۸	۱۰۲۸/۰
خریزه	۴۱۸۳/۵	۱۸۲۲/۰	۱۳۹۴/۵
هندوانه	۵۱/۰	۵۱/۰	۵۱/۰
یونجه	۱۱۵/۵	۳۸/۵	۳۸/۵
ذرت	۵۷/۰	۱۹/۰	۱۹/۰
زیره	۱۰۶۲/۰	۱۰۶۲/۰	۱۰۶۲/۰
گوجه‌فرنگی	۷/۵	۷/۵	۷/۵
پیاز	۹/۰	۳/۰	۳/۰
سیب‌زمینی	۱/۵	۰/۵	۰/۵
جمع	۲۰۸۶۹	۲۰۱۲۴/۵	۱۶۲۳۲/۶
درآمد خالص	۱۱۴۱۴۳۷۰۰	۱۰۰۳۶۷۷۰۰	۸۱۴۱۵۸۵۰

ماخذ: یافته‌های تحقیق

مقدار زمین در دسترس منطقه که می‌توان به کشت محصولات آبی اختصاص داد، ۲۰۸۶۹ هکتار است. همان‌طور که جدول (۱۰) نشان می‌دهد، هنگامی که میزان برداشت از آب در بالاترین سطح خود باشد، تمام زمین‌های موجود زیر کشت می‌رود ولی با کاهش آب در دسترس، کل سطح زیر کشت نیز کاهش می‌یابد و الگو پیش‌نهاد می‌کند که برای به دست آوردن بیش‌ترین درآمد خالص، مقداری از زمین‌های موجود در منطقه بدون کشت باقی‌بمانند. هم‌چنین با افزایش اهمیت هدف زیست‌محیطی، سطح زیر کشت محصولاتی مانند چغندر قند، پنبه و خربزه که نیاز آبی بالایی دارند کاهش یافته و کل سطح زیر کشت بهینه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه، ۲۲ درصد کم می‌شود و با تغییر ترکیب محصولات الگوی کشت بهینه و کاهش سطح زیر کشت، درآمد ۲۹ درصد کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج این مطالعه از این جهت اهمیت دارد که برای سیاست‌گذاری در بخش کشاورزی از یک سو دست‌یابی به اهداف خودکفایی و تامین امنیت غذایی و از سوی دیگر با توجه به محدودیت منابع آب به عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید در بخش کشاورزی؛ تعیین میزان بهینه برداشت از منابع آب نقش مهمی در پایداری منابع کمیاب در راستای اهداف مورد نظر خواهد داشت. این موضوع امکان جلوگیری از تخلیه‌ی زیان‌آور منابع آب را که مد نظر مسوولین و برنامه‌ریزان است، فراهم خواهد کرد. بر این اساس توصیه می‌شود تا به طور گسترده در کلیه‌ی دشت‌ها با منظور کردن ریسکی بودن سطح دسترسی به منابع آب‌های زیرزمینی، از این روش برای تعیین میزان برداشت بهینه استفاده شود و الگوی کشت منطقه نیز بر اساس همین روش تعیین شود.

منابع

- آماده، ح.، و صدراالشرافی، س. م. (۱۳۸۰). بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در کشاورزی. *مجله‌ی علوم کشاورزی ایران*، ۳۲(۴): ۸۱۵-۸۲۳.
- ابریشمی، ح. و مهرآرا، م. (۱۳۸۱). اقتصادسنجی کاربردی (روی‌کردهای نوین). انتشارات دانشگاه تهران.
- اصغریور، م. ج. (۱۳۸۲). تصمیم‌گیری گروهی و نظریه‌ی بازی‌ها با نگرش تحقیق در عملیات. انتشارات دانشگاه تهران.
- تجریشی، م.، و ابریشم‌چی، ا. (۱۳۸۳). مدیریت تقاضای منابع آب در کشور. اولین کنفرانس روش‌های پیش‌گیری از اتلاف منابع، ۱۹ الی ۲۱ خرداد، تهران.
- حسینی میلانی، م. د. (۱۳۷۰). اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی و اثرات آن. دومین همایش آب استان خراسان، بهره‌وری از منابع آب و توسعه‌ی پایدار.
- خرمی، م. و بزرگ‌نیا، ا. (۱۳۸۶). تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی با نرم‌افزار MINITAB 14. انتشارات سخن گستر.

داورپناه، غ. (۱۳۸۰). بررسی مهم‌ترین اثرات اقتصادی و اجتماعی سیل و خشک‌سالی و روش‌های کمک دولت در کاهش این تاثیرات. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راه‌کارهای مقابله با بحران آب، جلد ۱۸، ۲ و ۱۹ اسفند، زابل.

سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی. هزینه تولید محصولات کشاورزی، اداره‌ی کل آمار و اطلاعات.

سازمان تحقیقات منابع آب. (۱۳۸۲). کشاورزی و سال جهانی آب شیرین. بولتن شماره‌ی ۱۱ کمیته‌ی ملی توسعه‌ی پایدار، ۴۴-۱۱.

سیار ایرانی، ک. (۱۳۸۳). ضرورت اهمیت بهینه‌سازی مصرف آب کشاورزی و تغییر مدیریت تقسیم و توزیع آب از دولتی به خصوصی. گوهران کویر، اولین همایش بررسی مشکلات شبکه‌های آبیاری، زه‌کشی و مصرف بهینه‌ی کشاورزی، تهران.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی. (۱۳۸۵). مطالعات آب‌های زیرزمینی در مناطق ممنوعه‌ی بحرانی: دشت تایباد.

فرشی، ع. ا. (۱۳۸۳). مصرف بهینه‌ی آب کشاورزی. گوهران کویر، اولین همایش بررسی مشکلات شبکه‌های آبیاری، زه‌کشی و مصرف بهینه‌ی کشاورزی، تهران.

فیض‌اللهی، ک. (۱۳۸۰). آب هدیه‌ی بی‌پایان یا توهم جاری. همشهری (ویژه‌نامه‌ی طبیعت)، اردی‌بهشت ماه.

محمدیان، ف. (۱۳۸۶). تعیین الگوی زراعی پایدار با تاکید بر آب مجازی (مطالعه‌ی موردی دشت فریمان تربت جام). پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

نیرومند، ح. و بزرگ‌نیا، ا. (۱۳۷۲). مقدمه‌ای بر تحلیل سری‌های زمانی. تالیف سی چتفیلد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

Anbarci, N. (1993). Noncooperative foundations of the area monotonic solution. *Quarterly Journal of Economics*, 108: 245-258.

Chan, Y. (1988). The equal loss principle for bargaining problems. *Economics Letters*, 26: 103-106.

Dinar, A., Farolfi, S., Patrone, F. and Rowntree, K. (2006). To negotiate or to game theorize:

- Negotiation vs. game theory outcomes for water allocation problems in the Kat basin, South Africa. The 6th meeting on game theory and practice, Zaragoza, Spain, July 10-12.
- Fang, L., Hipel, K. W. and Kilgour, M. D. (1993). Interactive decision making the graph model for conflict resolution. Wiley. New York.
- Harsanyi, J. C. and Selten, R. (1972). A generalized Nash solution for two-person bargaining games with incomplete information. *Management Science*, 18: 80-106.
- Kloezen, W. H. and Garces, R. C. (.1998). Assessing irrigation performance with comparative indicators: the case of the Alto Rio Lerma irrigation district, Mexico. Research Report No 22, International Water Management Institute.
- Li, X., Shi, H. and Lin, X. (2006). Modeling of water resources allocation regimes with a case study of the Yellow River Basin. The 6th meeting on game theory and practice, Zaragoza, Spain, July 10-12.
- Lund, J. R. and Palmer, R. N. (1997). Water resource system modeling for Conflict resolution. *Water Resources Updates*, 3(108): 70–82.
- Mainuddin, M., Gupta, A. D. and Onta, P. R. (1997). Optimal crop planning model for an exiting groundwater irrigation project in Thailand. *Agricultural Water Management*, 33: 43-62.
- Msangi, S. (2005). Learning in non-cooperative groundwater extraction application of an entropy filter to a dynamic game. The second conference on information and entropy econometrics: theory, method, and applications. Washington, D.C., September 23–25.
- Nakao, M. D., Wichelns, D. and Montgomery, I. (2002). Game theory analysis of competition for groundwater involving El Paso, Texas and Ciudad Juarez, Mexico. In: Paper presented at ‘‘Moving with the speed of change’’, the 2002 annual meeting of the American agricultural economics association in Long Beach. California, July, 18–31.
- Pesaran, H. M. and Pesaran, B. (1997). Working with microfit 4.0: An introduction to economics, Oxford University Press, Oxford.
- Salazar, R., Szidarovszky, F., Coppola E. and Rajano, A. (2007). Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. *Journal of Environmental Management*, 54: 560-571.