Arch

مقاله کامل علمی- پژوهشی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و هشتم، شماره دوم، ۱۴۰۰
۴۳-۶۲
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2021.18597.3413

کاربرد روش نامتقارن نش در تخصیص بهینه منابع آب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز قره‌سو)

الناز اسدی[۱]، سمیه شیرزادی لسکوکلایه[*۲] و امیر مهرجو[۳]

[۱]گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،
[۳]گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۳

چکیده

سابقه و هدف: برداشت بیش‌ازحد از منابع آب به‌ویژه در مناطقی که منابع آب کم و تقاضای آن بسیار زیاد است، موجب افزایش مناقشات درزمینه چگونگی بهره‌برداری و تخصیص این منابع بین ذینفعان مختلف شده است. اغلب مسائل تصمیم‌گیری در مدیریت منابع طبیعی با مسأله وجود اهداف متضاد مانند حداکثر کردن سودهای اقتصادی و حداقل کردن اثرات محیط‌زیستی منفی روبه‌رو می‌باشند. بر این اساس هدف پژوهش حاضر تعیین یک راه‌حل توافقی بین اهداف متضاد محیط‌زیستی و اقتصادی در حوزه آبخیز قره‌سو است؛ به‌نحوی‌که بین این اهداف تعادل ایجاد شود.

مواد و روش‌ها: حوزه آبخیز قره‌سو یکی از مراکز مهم کشاورزی استان گلستان است که ارزیابی تغییرات سطح آب در این حوزه بیانگر افزایش میزان برداشت از منابع آب به‌خصوص آب زیرزمینی در منطقه است. جهت دستیابی به اهداف محیط‌زیستی و اقتصادی موردنظر ابتدا پنج سناریوی حداکثر برداشت (حالت پایه)، ۱۰ درصد، ۲۰ درصد، ۳۰ درصد و ۴۰ درصد کاهش برداشت از منابع آب اعمال می‌شود؛ سپس با به‌کارگیری مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، تغییرات الگوی کشت و سود کشاورزان منطقه موردمطالعه در سناریوهای مختلف برداشت از منابع آب تعیین می‌گردد. درنهایت با استفاده از تعادل نامتقارن نش، میزان بهره‌برداری بهینه از منابع آب به دست می‌آید. در این مطالعه کشاورزان محلی (بازیکن ۱) به دنبال حداکثر کردن منافع اقتصادی خود و جامعه (بازیکن ۲) به دنبال کاهش برداشت بی‌رویه از منابع آب می‌باشند. هم‌چنین حجم کل استخراج از منابع آب به‌عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته می‌شود.

یافته‌ها: نتایج اعمال سناریوهای کاهش برداشت از منابع آب در مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، حکایت از تغییر الگوی کشت منطقه به سمت محصولات با مصرف آب کم‌تر و سودآوری بالاتر است. نتایج حاصل از نظریه بازی‌ها نشان می‌دهد تصمیم‌گیری بهینه در بهره‌برداری از منابع آب وابسته به اهمیت وزن‌های دو گروه هدف است؛ بنابراین، زمانی که سود اقتصادی به‌عنوان تنها هدف در نظر گرفته شود، استخراج آب در بالاترین حد خود و زمانی که اهداف

[*] مسئول مکاتبه: s.shirzadi@sanru.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

محیط‌زیستی به‌عنوان تنها هدف در نظر گرفته شود استخراج آب در حداقل حجم استخراج خود است. در حالتی که وزن برابر به اهداف محیط‌زیستی و اقتصادی داده شود، میزان برداشت بهینه از منابع آب برابر ۱۷۵ میلیون مترمکعب است. بر این اساس می‌توان میزان بهره‌برداری از منابع آب را به میزان ۲۷ درصد کاهش داد تا اهداف محیطی‌زیستی تأمین گردد.

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان می‌دهد که چگونه می‌توان با استفاده از نظریه بازی به روشی ساده و قابل‌فهم که نظرات و اهداف ذینفعان و تصمیم‌گیران مختلف را تأمین می‌کند، به یک رفتار قابل‌قبول اجتماعی دست یافت. براساس نتایج حاصل از نظریه بازی‌ها میزان بهینه برداشت از منابع آب در حالت وزن‌های برابر اهداف اقتصادی و محیط زیستی کم‌تر از میزان برداشت فعلی است، بنابراین باید تعادل بین سود اقتصادی کشاورزان و اثرات محیط‌زیستی ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آب برقرار شود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، تعادل نامتقارن نش، حوزه آبخیز قره‌سو، نظریه بازی

مقدمه

کمبود آب به‌عنوان بزرگ‌ترین مشکل محیط‌زیستی قرن بیست و یکم شناخته شده است (۸) و از طرفی انتظار می‌رود جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰، به حدود ۹ میلیارد نفر افزایش پیدا کند که باعث افزایش تقاضا برای آب شده و می‌تواند موجودیت آن را تحت‌تأثیر قرار دهد (۳). برداشت بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی و کاهش ریزش‌های جوی، منجر به افت سطح آب زیرزمینی شده و تغذیه سالیانه سفره به‌واسطه ریزش‌های جوی نیز نتوانسته است این مقدار افت سطح ایستایی را جبران کند (۲۶). بخش کشاورزی با ۸۵ درصد مصرف جهانی آب، به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده این منبع نقش مهمی در تخصیص آب بین سایر کاربری‌ها دارد (۲۴). با توجه به شرایط خشک و نیمه‌خشک کشور ایران، وابستگی به منابع آب زیرزمینی از دیرباز مطرح بوده است؛ هم‌چنین محدودیت منابع آب‌های سطحی، کاهش میزان بارندگی، بالا بودن میزان تبخیروتعرق، رشد روزافزون جمعیت، توسعه فعالیت‌های اقتصادی ازیک‌طرف و هم‌چنین افزایش رقابت بین مصرف‌کنندگان از طرف دیگر باعث شده است تا مسأله تخصیص بهینه منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار گردد. حوزه آبخیز قره‌سو یکی از مراکز مهم کشاورزی استان گلستان است که ارزیابی تغییرات سطح آب در این حوزه بیانگر افزایش میزان برداشت از منابع آب به‌خصوص آب زیرزمینی در این حوزه است (۱۴). در این منطقه افزایش بهره‌برداری از رودخانه‌ها و تخلیه سفره‌های زیرزمینی که در نتیجه به حداکثر رساندن سود انجام می‌گیرد، باعث برداشت بی‌رویه از این منابع و کاهش سطح آب این حوزه شده است (۹). اغلب مسائل تصمیم‌گیری در مدیریت منابع طبیعی با مسئله وجود اهداف متضاد مانند حداکثر کردن منافع اقتصادی و حداقل کردن اثرات محیط‌زیستی منفی روبه‌رو می‌باشند. در این‌گونه موارد که اهداف با یکدیگر در تعارض هستند، بهبود در یک هدف تنها به قیمت از دست دادن اهداف دیگر به‌دست می‌آید. در این شرایط تصمیم‌گیران به تعیین یک راه‌حل توافقی می‌پردازند به‌نحوی‌که به یک رفتار قابل‌قبول اجتماعی دست یابند؛ بنابراین می‌توان برای تعامل بین اهداف متعارض از روش نظریه بازی‌ها کمک گرفت (۲۸). از بررسی‌هایی که تاکنون در زمینه نظریه بازی صورت گرفته می‌توان به مطالعات پورزند و زیبایی (۲۰۱۱)،

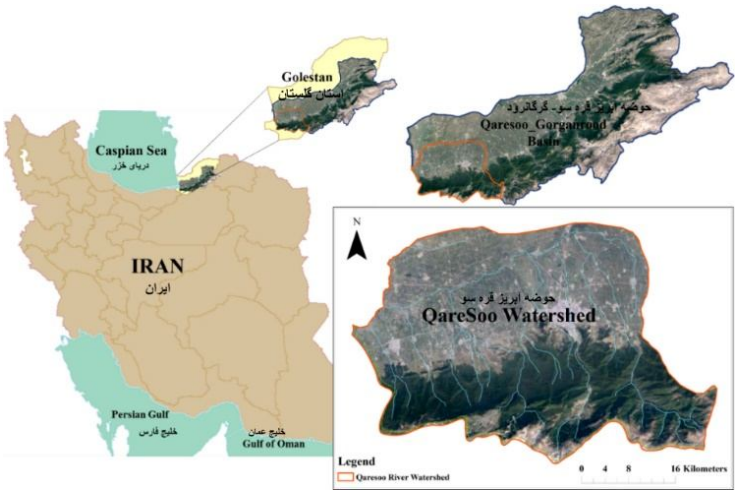
www.SID.ir

Archive of SID

ونگ و همکاران (۲۰۱۳)، کامجو و خوش‌اخلاق (۲۰۱٦)، اسدی و همکاران (۲۰۱۸)، کیانی و همکاران (۲۰۱۹)، زنگ و همکاران (۲۰۱۹)، یوان و همکاران (۲۰۲۰) و مفتاح هلقی و همکاران (۲۰۲۱)، اشاره نمود (۲۵، ۳۱، ۷، ۲، ۱۰، ۳٤، ۳۳ و ۱٤). بررسی مطالعات و پژوهش‌های سال‌های اخیر در نقاط مختلف دنیا در رابطه با مدیریت بهینه تخصیص منابع آب بین بخش‌های مختلف و کاهش بحران‌های آبی موجود نشان داد که اکثر مطالعات هم‌چون مشتاق و مقدسی (۲۰۱۱)، زیولکووسکا (۲۰۱۵) و گنگ و همکاران (۲۰۲۰) تنها با لحاظ یک هدف هم‌چون هدف اقتصادی که در بیش‌تر موارد شامل (حداکثرسازی سود، حداقل کردن هزینه و حداکثرسازی اشتغال) بوده است به حل این مسأله و بحران پرداخته‌اند (۱۷، ۳۵ و ٤) و یا هم‌چون مطالعات سالازار و همکاران (۲۰۰۷)، مدنی (۲۰۱۰)، شنگ‌لی (۲۰۱۲) و شیانشی (۲۰۱۷) به‌طور توأم اهداف متضاد اقتصادی و محیط‌زیستی را مدنظر قرار داده‌اند و در غالب این مطالعات از روش برنامه‌ریزی ریاضی خطی برای دستیابی به هدف اقتصادی استفاده شده است (۲۸، ۱۲، ۳۰ و ۳۲)؛ در این مدل‌ها، هیچ تضمینی برای رسیدن به شرایط موجود یا بازتولید داده‌های مشاهده‌شده وجود ندارد. نتایج به‌دست‌آمده از آن نیز به دلیل خصوصیت هنجاری بودن الگوها اطمینان کافی نداشته و قبولاندن جواب‌های این نوع الگوها به تصمیم‌گیرندگان به‌ویژه کشاورزان مشکلات زیادی را به همراه خواهد داشت (۱۷). ازاین‌رو، در مطالعه حاضر، از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت[1] و نظریه بازی‌ها[2] به‌منظور مدیریت منابع آب در حوزه آبخیز قره‌سو استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش حوزه آبخیز قره‌سو بوده که با ۱٦۷۰ کیلومترمربع وسعت، ۸ درصد مساحت استان گلستان را تشکیل می‌دهد. حوزه قره‌سو در جنوب شرقی دریای خزر بین طول‌های جغرافیایی ٥٤ درجه و ۲ دقیقه تا ٥٤ درجه و ٤٤ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳٦ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۰۰ دقیقه شمالی واقع شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی این حوزه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز قره‌سو.

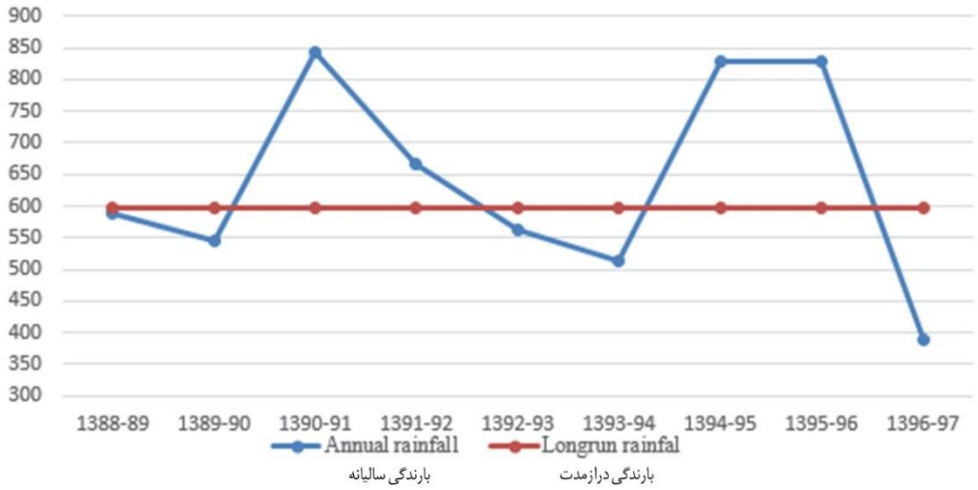
Figure 1. Geographical location of Qarehsou Basin.

1- Positive mathematical programming
2- Game theory

www.SID.ir

Archive of SID

حجم کل آب‌های سطحی در این حوزه ۱۰۰ میلیون مترمکعب و پتانسیل تجمع آب‌های زیرزمینی ۱۷۰ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد؛ از طرف دیگر کل مصرف آب سطحی و زیرزمینی در بخش کشاورزی حدود ۲۳۷ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. هم‌چنین میزان تغذیه آبخوان بر اساس مطالعات مفتاح هلقی و همکاران (۲۰۱۸) معادل ۲۱۰ میلیون مترمکعب در سال لحاظ گردید (۱۳). بر اساس گزارش سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان حوزه‌ای که بیش از ۸۶ درصد منابع آن تخلیه شود در وضع بحرانی قرار دارد (۹) که این نشانه‌ای از استخراج کنترل نشده و فشار بر آب‌های زیرزمینی در این حوزه آبخیز است و در صورت تداوم روند فعلی در درازمدت ممکن است باعث به‌وجود آمدن شکاف بین وضعیت برداشت فعلی و پتانسل موجود شود (۲۷). شکل ۲ روند میزان بارندگی در حوزه آبخیز قره‌سو طی سال‌های آبی ۸۹-۱۳۸۸ تا ۹۷-۱۳۹۶ را نشان می‌دهد (۲۷).



شکل ۲- روند میزان بارندگی در حوزه آبخیز قره‌سو طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷ (میلی‌متر).

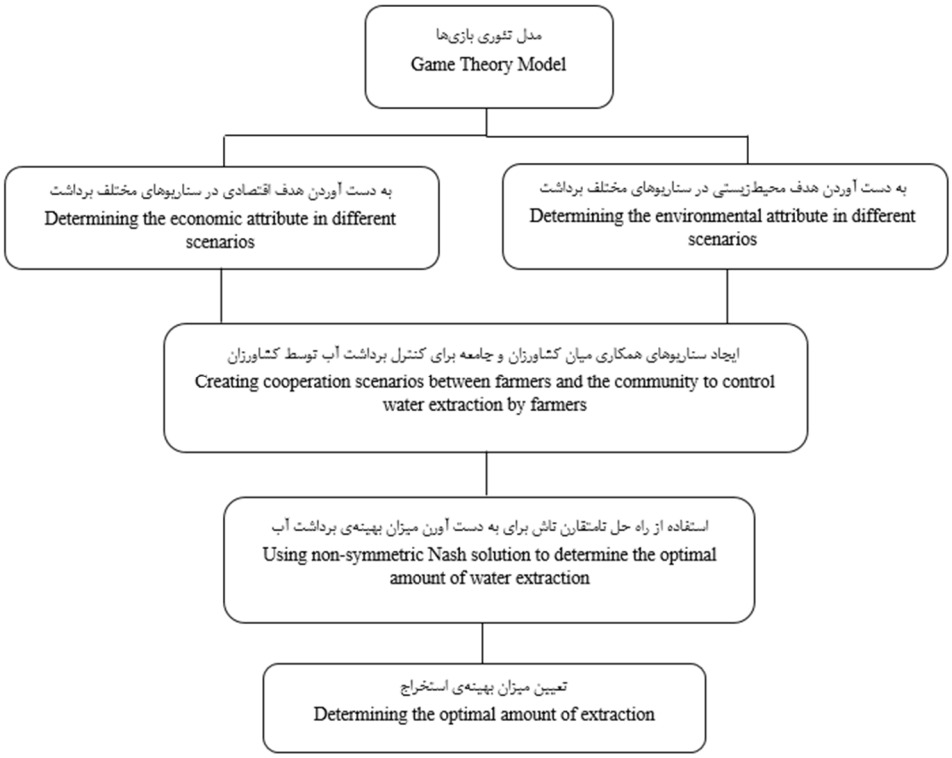
Figure 2. The rainfall trend of Qarehsou Basin.

بررسی داده‌ها در طی این سال‌ها در این حوزه نشان می‌دهد که میزان بارندگی در درازمدت تقریباً ثابت، اما تعداد روزهای آفتابی افزایش‌یافته است و هم‌چنین تبخیروتعرق حوزه به صورتی بوده که در دوره آماری پانزده‌ساله ۴/۵ درصد افزایش داشته است (۱۵)؛ بنابراین، در این پژوهش به‌منظور مدیریت منابع آب، میزان برداشت بهینه از منابع آب با لحاظ اهداف اقتصادی و محیط‌زیستی تعیین می‌گردد.

هدف پژوهش حاضر تعیین میزان برداشت بهینه از منابع آب در حوزه آبخیز قره‌سو است. کشاورزان برداشت بیش‌تر از منابع آب را باهدف حداکثرسازی سود اقتصادی خود دنبال می‌کنند و از سوی دیگر جامعه به پیگیری کاهش برداشت آب باهدف کاهش زیان‌های محیط‌زیستی می‌پردازد؛ بنابراین در این مطالعه منافع اقتصادی کشاورزان به‌عنوان بازیکن اول و کاهش اثرات مخرب برداشت بی‌رویه از منابع آب به‌عنوان بازیکن دوم در نظر گرفته‌شده است. در ادامه با استفاده از تئوری بازی‌های همکارانه، استراتژی بهینه در جهت بهره‌برداری پایدار از منابع آب مشخص خواهد شد. این فرایند در شکل ۳ نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- فرآیند اجرایی تحقیق.

Figure 3. The framework of Research.

برای تعیین اثرات اقتصادی از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت استفاده می‌شود؛ که فرم استاندارد این روش در حالت حداکثرسازی ارزش تابع هدف طی سه مرحله انجام می‌گیرد (٦).

مرحله اول: این مرحله شامل حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی در جهت حداکثر نمودن تابع هدف و محاسبه قیمت سایه‌ای و مقادیر دوگان متغیرها می‌باشد و به صورت رابطه‌های ۱ تا ٤ نشان داده می‌شود.

$$Maximize\ Z = p'xy - c'x \qquad (۱)$$

$$Ax \le b \qquad [\lambda] \qquad (۲)$$

$$x \le x_0 + \varepsilon \qquad [\rho] \qquad (۳)$$

$$x \ge 0 \qquad (٤)$$

که در آن‌ها، Z تابع هدف، p' برداری از قیمت محصولات، c' برداری از هزینه‌های فعالیت، x بردار غیر منفی از سطوح فعالیت‌های تولیدی، y برداری از عملکرد محصولات، A ماتریس ضرایب در محدودیت منابع، b برداری از سطح منابع در دسترس، x_0 برداری غیرمنفی از سطح فعالیت‌های مشاهده شده، ε برداری از اعداد کوچک مثبت برای جلوگیری از وابستگی خطی بین محدودیت‌های

www.SID.ir

Archive of SID

ساختاری و محدودیت‌های کالیبراسیون، λ بردار دوگانه مرتبط با محدودیت منابع قابل تخصیص و ρ بردار دوگانه وابسته با محدودیت کالیبره‌سازی می‌باشد.

در مرحله دوم، برآورد ضرایب تابع هدف غیرخطی با استفاده از رویکرد حداکثر آنتروپی، در این مرحله مقادیر دوگان به‌دست آمده در مرحله اول برای بازتولید پارامترهای تابع هدف درجه دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای این منظور مطابق با روابط ۵ تا ۱۲ از رویکرد ماکزیمم آنتروپی که در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران اقتصاد کشاورزی قرار گرفته است استفاده می‌شود (۲۳)؛ که اولین بار توسط فردی به‌نام شانون[1] (۱۹۴۸) معرفی شد (۲۹). در این روش H که بیانگر ماکزیمم آنتروپی مدل است حداکثر می‌شود و به‌عنوان تابع هدف مدل آورده می‌شود.

$$MaxH(p) = -\sum_{k=1}^{k}\sum_{i=1}^{n} pd_{k,i} \ln pd_{k,i} - \sum_{k=1}^{k}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} pq_{k,i,j} \ln pq_{k,i,j} \qquad (۵)$$

Subject to:

$$d_i + \sum_{j=1}^{n} q_{i,j} x_j = c_i + \rho_i \qquad \forall i,j \qquad i = 1,\ldots,n \qquad j = 1,\ldots,n \qquad (۶)$$

$$d_i = \sum_{k=1}^{k} pd_{k,i} zd_{k,i} \qquad \forall i \qquad i = 1,\ldots,n \qquad k = 1,\ldots,\mathrm{k} \qquad (۷)$$

$$q_{i,j} = \sum_{k=1}^{k} pq_{k,i,j} zq_{k,i,j} \qquad \forall i,j \qquad i,j = 1,\ldots,n \qquad k = 1,\ldots,\mathrm{k} \qquad (۸)$$

$$\sum_{k=1}^{k} pd_{k,\mathrm{i}} = 1 \qquad \forall i \qquad i = 1,\ldots,n \qquad k = 1,\ldots,\mathrm{k} \qquad (۹)$$

$$\sum_{k=1}^{k} pq_{k,\mathrm{i,j}} = 1 \qquad \forall i,j \qquad i,j = 1,\ldots,n \qquad k = 1,\ldots,\mathrm{k} \qquad (۱۰)$$

$$q_{i,j} = q_{j,i'} \qquad \forall i \qquad i = 1,\ldots,n \qquad j = 1,\ldots,n \qquad (۱۱)$$

رابطه ٦ بیانگر شرط اول تخمین ضرایب تابع هزینه متغیر، در رابطه‌های ۷ و ۸ پارامترهای d و Q به‌ترتیب جزء ثابت و جزء متغیر تابع هزینه متغیر غیرخطی، رابطه‌های ۹ و ۱۰ بیان‌کننده مجموعه احتمالات d و Q که باید حداکثر شوند و رابطه ۱۱ شرط تقارن عناصر ماتریس Q را بیان می‌کند.

در روابط ۵ تا ۱۱، d_i عناصر ماتریس d که یک ماتریس $(n\times1)$ است و جزء خطی تابع هزینه متغیر، $q_{i,j}$ عناصر ماتریس q به‌صورت ماتریس $(n\times n)$ مثبت معین متقارن و مربوط به جزء دوم تابع هزینه متغیر است، P بیانگر احتمال، x_j بیانگر عناصر ماتریس X که یک ماتریس $(n\times1)$ غیرمنفی از سطوح مشاهده‌شده محصولات، c_i عناصر ماتریس c که یک ماتریس $(n\times1)$ از هزینه متغیر سطوح فعالیت‌های تولیدی در یک هکتار، ρ_i عناصر ماتریس φ به‌صورت ماتریس $(n\times1)$ از مقادیر دوگان مربوط به محدودیت کالیبراسیون، i تعداد نهاده‌های تولیدی

1- Shannon

www.SID.ir

Archive of SID

به‌کار گرفته‌شده در مدل، j تعداد محصولات تولیدی به‌کار گرفته‌شده در مدل، k بیانگر تعداد نقاط پشتیبان مورداستفاده در تخمین پارامترهای d و Q می‌باشند.

در مرحله سوم، تبیین مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت بدون محدودیت کالیبراسیون، در این مرحله با استفاده از تابع هدف بازتولید شده در مرحله دوم و مجموعه محدودیت‌های منابع (به‌جز محدودیت کالیبراسیون) یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی ساخته می‌شود.

هدف اقتصادی در این پژوهش حداکثر ساختن سود خالص کشاورزان می‌باشد. محدودیت‌هایی که در جهت برآورد مدل اعمال شد شامل محدودیت زمین و محدودیت نیاز ناخالص آبی گیاه، نیروی کار، ماشین‌آلات، سم و کود شیمیایی می‌باشد. فرم استاندارد مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت برای پژوهش حاضر به‌صورت رابطه‌های ۱۲ تا ۱۹ فرموله گردید:

$$Max\ \pi = \sum_{i=1}^{9} P_i Y_i X_i - \sum_{i=1}^{9}\sum_{j=1}^{9} C_{ij} q_{ij} X_i \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{i=1}^{9} X_i \le TX \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{i=1}^{9} W_{im} X_i \le TW_m \qquad (۱٤)$$

$$\sum_{i=1}^{9} L_{im} X_i \le TL_m \qquad (۱٥)$$

$$\sum_{i=1}^{9} M_i X_i \le TM \qquad (۱٦)$$

$$\sum_{i=1}^{9} P_i X_i \le TP \qquad (۱۷)$$

$$\sum_{i=1}^{9} F_i X_i \le TF \qquad (۱۸)$$

$$X_i \ge 0 \qquad (۱۹)$$

رابطه ۱۲ تابع هدف غیر خطی می‌باشد که در آن به‌دلیل سادگی محاسبات از تابع هزینه درجه دوم استفاده شده است. در روابط فوق i محصولات کشاورزی کشت‌شده در حوزه آبخیز شامل گندم، جو، سویا، ذرت علوفه‌ای، برنج و گوجه‌فرنگی P_i قیمت محصولات کشاورزی، Y_i عملکرد محصولات کشاورزی، j نهاده‌های تولید شامل زمین، آب، نیروی کار، ماشین‌آلات، کود و سموم شیمیایی، C_{ij} هزینه نهاده تولید j برای محصول i، q_{ij} مقدار نهاده j برای محصول i، X_i سطح زیر کشت محصولات iام، TX کل اراضی قابل آبیاری در حوزه آبخیز W_{ik} نیاز ناخالص آبی هر هکتار محصول iام در ماه mام، TW_m مقدار کل منابع آب موجود در حوزه آبخیز در ماه mام، L_{im} نیروی کار مورد نیاز هر هکتار محصول i ام در ماه mام، TL_m کل نیروی کار موجود در حوزه در ماه mام، M_i ماشین‌آلات مورد نیاز در یک

www.SID.ir

Archive of SID

هکتار محصول iام، TM کل ظرفیت ماشین‌آلات موجود در حوزه، P_i سموم مورد نیاز در یک هکتار محصول iام، TP کل سموم موجود در حوزه، F_i کود شیمیایی مورد نیاز در یک هکتار محصول iام، TF کل سموم موجود در حوزه می‌باشند. رابطه ۱۹ بیانگر غیرمنفی بودن متغیرهای مورد نظر می‌باشد.

به‌منظور دستیابی به اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی پنج سناریو کاهش برداشت از منابع آب مطابق با جدول ۱ اعمال شده است. قابل ذکر است که حالت حداکثر برداشت بیانگر شرایط موجود (حالت پایه) می‌باشد.

جدول ۱- سناریوهای مختلف برداشت از منابع آب در حوزه قره‌سو (میلیون متر مکعب).

Table 1. Different scenarios of water resources exploitation in Qarehsou Basin (MCM).

سناریوها Scenarios	حداکثر برداشت Maximum Exploitation	۱۰٪ کاهش 10% Reducing	۲۰٪ کاهش 20% Reducing	۳۰٪ کاهش 30% Reducing	٤۰٪ کاهش 40% Reducing
برداشت منابع آب Water Resources Exploitation	237	213	189	166	142

برای اهداف محیط‌زیستی در بخش کاربرد نظریه بازی‌ها (روش حل تضادها)، منافع اقتصادی کشاورزان به‌عنوان هدف اقتصادی و کاهش برداشت بی‌رویه از منابع آب به‌عنوان هدف محیط‌زیستی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این‌که این دو هدف باهم در تضاد هستند، افزایش در سود یک گروه منجر به زیان گروه دیگر می‌شود. در این حالت، تصمیم‌گیرندگان باید با استفاده از مدل‌های همکارانه به بررسی تضادهای خود بپردازند. برای این‌که هدف محیط‌زیستی متفاوت در قالب هدف واحد در مقابل هدف اقتصادی قرار گیرد هر دو هدف اقتصادی و محیط‌زیستی بین صفر تا یک نرمال می‌شوند. به‌منظور نرمال نمودن از رابطه زیر استفاده شده است:

$$Z_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \qquad (۲۰)$$

که در آن، Z_i عدد نرمال‌شده، X_i عدد به‌دست‌آمده، X_{min} مقدار حداقل و X_{max} مقدار حداکثر می‌باشد. ارزش صفر و یک به ترتیب برابر با بدترین و بهترین نتیجه می‌باشد. تضاد دو هدف به روش ریاضی با مجموعه (s,d) تعریف می‌شود که $s \subseteq R^2$ مجموعه‌ای از منافع ممکن و $d \subseteq R^2$ مجموعه‌ای از بدترین نتایج ممکن می‌باشد. هریک از بازیکن‌ها تمایل دارند که ارزش منافع خود را به بهترین نتایج ممکن افزایش دهند. با توجه به این‌که هر یک از اهداف نرمال شده‌اند، بدترین نتیجه ممکن برای دو گروه صفر می‌باشد ($d_1 = d_2 = 0$). با نرمال‌سازی هدف اقتصادی و محیط‌زیستی مرز پارتو را به دست آورد. معمولاً می‌توان جواب بازی را از هر روشی که به‌دست‌آمده باشد و در هر نوع بازی که باشد، ازلحاظ اجتماعی ارزیابی کرد. معیاری که برای ارزیابی استفاده می‌شود، بهینگی پارتویی[1] است. معمولاً آن ترکیب از راهبردهایی که غالب پارتویی است از لحاظ اجتماعی مطلوب است، یعنی به نفع همه بازیکنان است. یک ترکیب راهبرد را غالب پارتویی می‌گویند

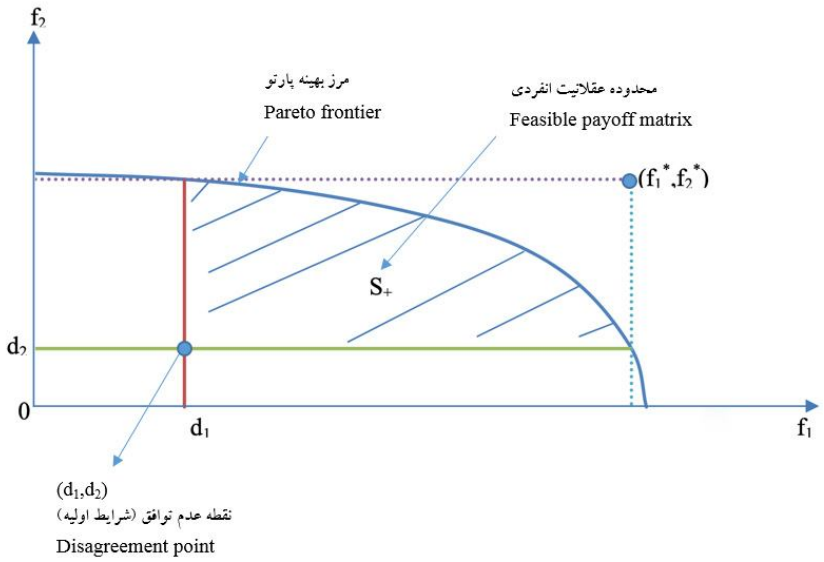
1- Pareto frontier

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن ترکیب، پیامد هر بازیکن نسبت به ترکیب دیگر بزرگ‌تر (یا برابر ولی دست‌کم برای یک بازیکن بیش‌تر باشد) باشد. ترکیب راهبردهایی که مغلوب پارتویی هیچ‌یک از ترکیبات دیگر نباشد، بهینگی پارتویی یا مرز پارتویی است. یعنی حرکت از آن‌ها پی‌آمد دست‌کم یکی از بازیکنان را افزایش و دیگری را کاهش می‌دهد (۱). همان‌گونه که در شکل ٤ ملاحظه می‌گردد مرز پارتو توسط تابع مقعر و اکیداً نزولی g در فاصله $[d_1 , f_1^*]$ تعریف‌شده است که در آن $d_2=g(f_1^*)$ و $f_2^*=g(d_1)$ می‌باشد. بردار d، به‌عنوان نتایج در حالت عدم توافق تعریف می‌شود (وضع کنونی) و ترکیبی از منافع بازیکن‌ها در حالتی که به یک توافق کلی نمی‌رسند، می‌باشد. در این حالت مجموعه نتایج ممکن S به حالتی که هیچ‌یک از بازیکن‌ها به یک توافق دست نمی‌یابند، محدود می‌شود. چراکه هیچ بازیکن عاقلی، توافقی را که بدتر از حالت نبود توافق یا وضعیت موجود است، نمی‌پذیرد (۱۸). اگر بردار d به‌عنوان بدترین نتایج ممکن دو گروه هدف انتخاب شود، آن‌گاه $S^+=S$ خواهد بود (۲۸).

$$S_+=\{f=(f_1,f_2)/\ f\ \ S,\ f\geq d\} \qquad (۲۱)$$



شکل ٤- مرز پارتو برای دو گروه هدف اقتصادی و محیطی.

Figure 4. Pareto frontier of the two players.

جان نش تعریف راهبرد بهینه را تعمیم داد و بیان نمود که به‌وسیله آن می‌توان در هر بازی دونفره و بدون همکاری تعادل را پیدا کرد (۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۲۲). در راه‌حل نش باید مجموعه شرایطی را رعایت نمود که این شرایط ازنقطه‌نظرهای مختلف، راه‌حل‌های بی‌طرفانه‌ای را ارائه می‌کند. این راه‌حل نتایج را از فرآیند چانه‌زنی به دست می‌آورد. در راه‌حل نش یک نقطه منحصربه‌فرد روی مرز پارتو به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که حاصل‌ضرب منافع، بیش‌ترین شود. راه‌حل نش حل منحصربه‌فرد مسأله بهینه‌سازی زیر است (۲۸):

www.SID.ir

Archive of SID

$$maximize \quad (f_1 - d_1)(f_2 - d_2)$$
$$subject\ to \quad d_1 \le f_1 \le f_1^* \qquad (۲۲)$$
$$f_2 = g(f_1)$$

اگر $f_1 = d_1$ و $f_1 = f_1^*$، تابع هدف برابر صفر و برای همه مقادیر $f_1 \in (d_1, f_1^*)$، تابع هدف مثبت است. درصورتی‌که محدودیت دوم، $f_2 = g(f_1)$، در تابع هدف جایگزین شود، مسأله به‌صورت تک‌بعدی زیر درمی‌آید و با یک الگوریتم جست‌وجوی ساده تک‌بعدی می‌توان آن را حل کرد (۲۸).

$$maximize \quad (f_1 - d_1)(g(f_1) - d_2)$$
$$subject\ to \quad d_1 \le f_1 \le f_1^* \qquad (۲۳)$$

راه‌حل نامتقارن نش: راه‌حل نامتقارن نش توسط هارسانی و ستلن (۱۹۷۲) از طریق توسعه مدل اولیه نش معرفی شد (۵). راه‌حل نامتقارن نش، یک راه‌حل منحصر به فرد مساله زیر است:

$$maximize \quad (f_1 - d_1)^{w_1}(f_2 - d_2)^{w_2}$$
$$Subject\ to \quad d_1 \le f_1 \le f_1^* \qquad (۲٤)$$
$$f_2 = g(f_1)$$

روش نامتقارن ناش از رابطه ۲۳، با وزن‌های نامساوی است. در این روش وزن‌های مختلف (w_1 , w_2) بین صفر و یک به هر یک از دو گروه هدف اقتصادی و محیط زیستی داده می‌شود و در ادامه، با استفاده از مقادیر نرمال منافع اقتصادی و محیط‌زیستی، مقادیر درآمد خالص کشاورزان و میزان برداشت بهینه آب با وزن‌های اعمال شده به‌دست می‌آید. بنابراین بازیکنی که دارای وزن بیش‌تری است در تابع هدف از اهمیت بیش‌تری نیز برخوردار است (۵).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تغییرات الگوی کشت تحت سناریوهای مختلف برداشت از منابع آب در جدول ۲ ارائه شده است. اعمال سیاست کاهش تخلیه منابع آب باعث شد که الگوی کشت در منطقه موردمطالعه نسبت به وضعیت فعلی تغییر یابد؛ بنابراین سطح زیرکشت محصولات گندم، جو، سویا و ذرت کاهش یافته و محصولات برنج و گوجه‌فرنگی به‌دلیل سود اقتصادی بالاتر افزایش‌یافته است. به‌طورکلی سطح زیرکشت سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ درصد نسبت به حالت حداکثر برداشت (شرایط موجود) به ترتیب ٤/۳۲، ۱۰/۱۷، ۱۵/٤۲ و ۲۰/۸۹ درصد کاهش داشته است و این امر به دلیل کاهش فشار تخلیه منابع آب در منطقه موردمطالعه می‌باشد. هم‌چنین نتایج بیانگر آن است که با اعمال سناریوهای کم‌آبیاری کشاورزان سعی می‌کنند الگوی کشتی را برای خود انتخاب کنند

www.SID.ir

Archive of SID

که به‌ازای مصرف هر مترمکعب آب، ازنظر اقتصادی برای آن‌ها به‌صرفه باشد؛ به‌عبارت‌دیگر سطح زیرکشت محصولاتی را که دارای مصرف زیاد آب و درآمد کم‌تر هستند را کاهش می‌دهند.

جدول ۲- درآمد خالص، سطح زیرکشت و ارزش اقتصادی آب تحت سناریوهای مختلف برداشت منابع آب.

Table 2. Net income, optimal crop area and economic value of water for different water resources exploitation scenarios.

٤٠٪ کاهش 40% Reducing	۳۰٪ کاهش 30% Reducing	۲۰٪ کاهش 20% Reducing	۱۰٪ کاهش 10% Reducing	حداکثر برداشت Maximum exploitation	سناریو Scenarios
142	166	189	213	237	برداشت منابع آب (میلیون مترمکعب) Water Resources Exploitation (MCM)
25729.4	27281.02	28756.1	30307.6	31596	گندم Wheat
12115.9	12567.03	12978.5	13430.6	13865	برنج Rice
7950.1	8487.4	9002.4	9539.8	10010	سویا Soya
3229.5	3636.4	4005.8	4412.6	4705	سیب‌زمینی Potato
2160.4	2325.06	2493.1	2657.8	2754	ذرت علوفه‌ای corn
1682.7	1853.8	2024.6	2195.6	2426	کلزا canola
1325.1	1458.7	1583.02	1716.6	1864	گوجه‌فرنگی Tomato
429.9	519.7	606.05	965.8	716	جو Barley
1172.07	1523.1	1901.4	2252.4	2587	پنبه Cotton
55795	59652	63351	67479	70523	مجموع Total
2300000	2430000	2520000	2660000	2730000	درآمد خالص (میلیون ریال) Net income (million Rials)
-15.93	-10.88	-7.80	-2.79	-	درصد تغییرات درآمد خالص Net income percentage change

منبع: یافته‌های تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود سناریوی با استخراج آب کم‌تر به دلیل کاهش سطح زیرکشت دارای درآمد خالص کم‌تری نیز می‌باشد؛ به‌طوری‌که در سناریوهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد کاهش برداشت منابع آب، درآمد خالص کشاورزان به‌ترتیب به میزان ۲/۷۹، ۷/۸، ۱۰/۸۸ و ۱۵/۹۳ نسبت به حالت حداکثر برداشت کاهش داشته است. درصد تغییر در الگوی کشت تحت سناریوهای مختلف برداشت آب نسبت به حالت حداکثر برداشت (حالت پایه) در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- درصد تغییرات سطح زیر کشت تحت سناریوهای مختلف برداشت منابع آب.

Table 3. Percentage changes in cropping pattern relative to maximum exploitation in different scenarios.

محصولات Crops	سناریوهای برداشت Scenarios				
	حداکثر برداشت Maximum exploitation	۱۰٪ کاهش 10% Reducing	۲۰٪ کاهش 20% Reducing	۳۰٪ کاهش 30% Reducing	۴۰٪ کاهش 40% Reducing
گندم Wheat	-	-4.08	-8.99	-13.66	-18.5
برنج Rice	-	-3.13	-6.39	-9.36	-12.6
سویا Soya	-	-4.70	-10.07	-15.21	-20.5
سیب‌زمینی Potato	-	-6.21	-14.86	-22.71	-31.3
ذرت علوفه‌ای corn	-	-3.49	-9.47	-15.58	-21.5
کلزا canola	-	-9.50	-16.55	-23.59	-30.6
گوجه‌فرنگی Tomato	-	-7.91	-15.07	-21.74	-28.9
جو Barley	-	34.89	-15.36	-27.42	-39.9
پنبه Cotton	-	-12.93	-26.50	-41.12	-54.6
مجموع Total	-	-4.32	-10.17	-15.41	-20.8

منبع: یافته‌های تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به تغییرات به‌دست‌آمده در جدول ۳ مشاهده می‌شود که با اعمال سناریوهای کاهش موجودی منابع آب مدل برنامه‌ریزی ریاضی آب را به محصولاتی تخصیص می‌دهد که با مصرف کم‌تر آب بازده برنامه‌ای بیش‌تری داشته باشند. براساس نتایج به‌دست‌آمده محصولات برنج و گندم کم‌ترین کاهش را در سطح زیرکشت و محصولات پنبه و جو بیش‌ترین کاهش را در سطح زیرکشت داشته‌اند. در جدول ٤ سایر اطلاعات مربوط به سطح زیرکشت بهینه هر محصول برای سناریوهای استخراج آب آمده است.

جدول ٤- ماتریس منافع دو گروه هدف اقتصادی و زیست‌محیطی.

Table 4. Normalized payoff matrix of the two players.

٤٠٪ کاهش 40% Reducing	۳۰٪ کاهش 30% Reducing	۲۰٪ کاهش 20% Reducing	۱۰٪ کاهش 10% Reducing	حداکثر برداشت Maximum Exploitation	سناریوها Scenarios
142	166	189	213	237	برداشت از منابع آب (میلیون مترمکعب) Water Resources Exploitation (MCM)
2300000	2430000	2520000	2660000	2730000	درآمد خالص (میلیون ریال) Net income (million Rials)
0	0.02	0.5	0.8	1	درآمد خالص (نرمال) Net income (Normalized)
0.6	0.7	0.9	1	1.1	ضریب استخراج بیش‌ازحد منابع آب overexploitation coefficient
1	0.8	0.4	0.2	0	ضریب استخراج بیش‌ازحد منابع آب (نرمال) overexploitation coefficient (Normalized)

منبع: یافته‌های تحقیق

در جدول ٤ ماتریس منافع دو گروه هدف اقتصادی و محیط‌زیستی تحت سناریوهای مختلف ارائه شده است. به‌دست آوردن میزان بهینه درآمد خالص کشاورزان و میزان بهینه تخلیه منابع آب به‌ترتیب بیانگر اهداف اقتصادی و محیط زیستی می‌باشد. هم‌چنین برای محاسبه اثر محیطی زیستی، به‌ازای هر راه‌حل برداشت، از ضریب برداشت بیش‌ازحد که از تقسیم میزان برداشت به تغذیه به‌دست می‌آید، استفاده می‌شود (۱۱). بدیهی است چنان‌چه میزان تخلیه از سفره برابر میزان تغذیه باشد ضریب برداشت معادل یک بوده و تعادل سفره آب زیرزمینی حفظ خواهد شد. قبل از به‌کارگیری نظریه بازی‌ها، مجموعه آلترناتیوها باید بین صفر تا یک برای ۵ سناریوی برداشت آب نرمال شوند که نتایج آن در سطر سوم و پنجم جدول ٤ ارائه شده است. سپس به هر یک از دو گروه هدف (اقتصادی و محیطی) وزن‌های مختلفی بین ۰ تا ۱ به‌طور یکنواخت با افزایش ۰/۰۲۵ واحد داده شد و به روش راه‌حل نامتقارن نش، منافع دو گروه هدف، استخراج بهینه منابع آب و درآمد متناظر با آن در جدول ۵ ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- نتایج بهینه برای دو هدف اقتصادی و محیطی به روش راه حل نامتقارن نش.

Table 5. Computational results of the Non-Symmetric Nash solution with varying weight selections.

استخراج منابع آب (میلیون مترمکعب) Water resources exploitation (MCM)	درآمد خالص (میلیون ریال) Net income (million Rials)	منافع محیطی Environmental returns (f_2)	منافع اقتصادی Economics returns f_1	وزن اثرات محیطی Weight of environmental impacts (w_2)	وزن اثرات اقتصادی Weight of economic impacts (w_1)
237	2730000	0	1	0	1
220	2710000	0	0.905	0.025	0.975
216	2700000	0	0.905	0.05	0.95
212	2700000	0.007	0.905	0.075	0.925
209	2690000	0.034	0.894	0.1	0.9
207	2690000	0.06	0.869	0.125	0.875
204	2680000	0.087	0.845	0.15	0.85
202	2680000	0.113	0.82	0.175	0.825
199	2670000	0.14	0.796	0.2	0.8
197	2670000	0.166	0.771	0.225	0.775
195	2660000	0.192	0.747	0.25	0.75
193	2660000	0.219	0.723	0.275	0.725
191	2650000	0.245	0.699	0.3	0.7
189	2640000	0.271	0.674	0.325	0.675
187	2640000	0.298	0.65	0.35	0.65
185	2630000	0.324	0.626	0.375	0.625
183	2620000	0.337	0.601	0.4	0.6
181	2610000	0.35	0.577	0.425	0.575
179	2610000	0.403	0.553	0.45	0.55
177	2600000	0.429	0.528	0.475	0.525
175	2590000	0.456	0.504	0.5	0.5
173	2580000	0.482	0.479	0.525	0.475
172	2570000	0.509	0.455	0.55	0.45
170	2560000	0.535	0.43	0.575	0.425
168	2550000	0.562	0.406	0.6	0.4
166	2540000	0.588	0.381	0.625	0.375
164	2530000	0.615	0.356	0.65	0.35
162	2510000	0.642	0.331	0.675	0.325
160	2500000	0.669	0.307	0.7	0.3
158	2490000	0.696	0.282	0.725	0.275
155	2470000	0.723	0.257	0.75	0.25
155	2460000	0.75	0.231	0.775	0.225
154	2440000	0.777	0.206	0.8	0.2
153	2430000	0.804	0.181	0.825	0.175
152	2410000	0.832	0.155	0.85	0.15
151	2400000	0.859	0.13	0.875	0.125
149	2390000	0.887	0.104	0.9	0.1
147	2380000	0.9	0.078	0.925	0.075
144	2330000	0.9	0.071	0.95	0.05
142	2310000	0.9	0.071	0.975	0.025
142	230000	1	0	1	0

منبع: یافته‌های تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به نتایج عددی جدول ٤ مشاهده می‌شود از میان پنج سناریوی استخراج آب، سناریوهای چهارم و پنجم دارای وزن محیط زیستی بالاتر از ۰/۵ می‌باشند. به‌بیان‌دیگر حفظ منابع آب در حوزه قره‌سو از اهمیت بالاتری برخوردار است. جدول ۵ نشان‌دهنده تغییرات درآمد کشاورزان و مقدار برداشت از آب در نتیجه وزن‌های متفاوتی است که در پژوهش حاضر، برای هر کدام از اهداف اقتصادی و محیط‌زیستی در نظر گرفته‌شده است. با افزایش در وزن منافع محیط‌زیستی، مقدار برداشت از آب زیرزمینی کاهش می‌یابد؛ هم‌چنین، با افزایش در وزن منافع اقتصادی، مقدار برداشت از آب و درنتیجه درآمد کشاورزان افزایش می‌یابد؛ بنابراین، میزان برداشت بهینه هنگامی‌که وزن اهداف محیط‌زیستی و اقتصادی یکسان باشد (مقدار ۵۰– ۵۰)، برابر با ۱۷۵ میلیون مترمکعب در سال خواهد بود (جدول ۵). درواقع، این همان نقطه‌ای است که از حل مدل چانه‌زنی نش به دست آمده است. با استفاده از نتیجه به‌دست‌آمده از تعادل نش میزان برداشت منابع آب ۲۷ درصد کاهش یافته که درنتیجه این کاهش برداشت، سطح زیرکشت تنها ۵/۱۳ کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر، جهت تعیین میزان برداشت بهینه از منابع آب در حوزه آبخیز قره‌سو از نظریه بازی‌ها استفاده شد. به‌منظور یافتن تعادل بهینه میان دو هدف متعارض حداکثر رساندن سود کشاورزان و کاهش مخاطرات محیط‌زیستی برداشت بی‌رویه از منابع آب از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) استفاده گردید. بدین‌منظور پنج سناریوی برداشت از منابع آب در نظر گرفته شد و متناسب با این سناریوها، محاسبه اهداف اقتصادی و محیط‌زیستی با استفاده از نرم‌افزار GAMS صورت گرفت. نتایج نشان داد با کاهش استخراج منابع آب از سطح زیرکشت محصولاتی مثل جو که حاشیه سود کم‌تری دارند کاسته می‌شود و به محصولاتی مانند برنج که حاشیه سود بیش‌تری دارند افزوده می‌گردد. بر پایه نتایج به‌دست‌آمده درصورتی‌که برای اهداف اقتصادی و محیط‌زیستی وزن یکسان در نظر گرفته شود، میزان برداشت بهینه از منابع آب مقدار ۱۷۵ میلیون مترمکعب به‌دست آمد. بر این اساس می‌توان مقدار بهره‌برداری از منابع آب را به میزان ۲۷ درصد کاهش داد تا هدف زیست‌محیطی کاهش منابع آب تأمین گردد. براساس نتایج حاصل از نظریه بازی‌ها میزان بهینه برداشت از منابع آب در حالت وزن‌های برابر اهداف اقتصادی و محیط زیستی کم‌تر از میزان برداشت فعلی است. هم‌چنین مقایسه نتایج این مطالعه با مطالعات انجام‌شده در این زمینه مانند مطالعه سالازار و همکاران (۲۰۰۷)، پورزند و زیبایی (۲۰۱۱)، اسدی و همکاران (۲۰۱۸)، محمدی سلیمانی و همکاران (۲۰۲۰)، مطابقت داشته (۲۸، ۲۵، ۲ و ١٦) و بیانگر آن است که بهترین سناریوی انتخابی در وزن یکسان اهداف می‌باشد. با توجه به نتایج این مطالعه حاضر پیشنهاد می‌شود سیاست‌های مناسب هم‌چون انجام فعالیت‌های آموزشی و ترویجی برای آشنایی کشاورزان با اهداف محیط‌زیستی در جهت کاهش میزان استخراج آب در منطقه اعمال گردد هم‌چنین با رعایت ملاحظات زیست‌محیطی و منافع درازمدت جامعه، اتخاذ اقداماتی از سوی سیاست‌گذاران در راستای اصلاح الگوی کشت موجود و کاهش حجم برداشت آب از منابع آب زیرزمینی حوزه قره‌سو، پیش از آن‌که منفعت کوتاه‌مدت کشاورزان در حداکثرسازی سودشان سفره آب زیرزمینی این حوزه را با تهدید جدی مواجه سازد. در پایان قابل‌ذکر است که نظریه بازی‌ها می‌تواند به‌طور موفقیت‌آمیزی در سایر مسائل مدیریت منابع طبیعی به‌کار رود.

www.SID.ir

Archive of SID

تقدیر و تشکر

از مسئولین شرکت سهامی آب منطقه‌ای و سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان به‌منظور مساعدت در ارائه آمار و داده سپاسگزاری می‌شود.

داده‌ها و اطلاعات

پژوهش حاضر حاصل پروژه دانشجویی می‌باشد که در دپارتمان اقتصاد کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۹۸-۱۳۹۷ صورت گرفته است. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از طریق مراجعه حضوری به سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان گردآوری شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نگارش، تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها توسط نویسنده اول، طراحی پژوهش، بازبینی و اصلاح آن توسط نویسنده دوم و گردآوری داده‌ها و مشارکت در تجزیه و تحلیل مقاله توسط نویسنده سوم صورت گرفته است.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

هیچ حمایت مالی از پژوهش حاضر صورت نگرفته است.

منابع

1. Abdoli, Gh. 2007. Game theory and its applications static and dynamic games of complete information. Tehran University Press, 454p. (In Persian)
2. Asadi, E., Keramatzadeh, A., and Eshraghi, F. 2018. Determining the optimal exploitation of groundwater resources by using Game Theory (Case study: Gorgan County). J. of Water and Soil Conservation, 25: 3. 129-144. (In Persian)
3. Gleick, P.H., and Palaniappan, M. 2010. Peak Water Limits to Freshwater with Drawl and Use. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107: 11155-11162.
4. Gong, X., Zhang, H., Ren, C., Dongyong, S., and Yanga, J. 2020. Optimization allocation of irrigation water resources based on crop water requirement under considering effective precipitation and uncertainty. Agricultural Water Management, 239: 106264.
5. Harsanyi, J.C., and Selten, R. 1972. A generalized Nash solution for two-person bargaining games with incomplete information. Management Science, 18: 80-106.
6. Howitt, R.E. 1995. Positive Mathematical Programming. American Journal of Agricultural Economics, 77: 329-342.
7. Jalili Kamjou, P., and Khoshakhlagh, R. 2016. Using the Game Theory in Optimal Allocation of Water in Zayandehrud. Iranian, J. of Applied Economic Studies. 18: 5. 53-80. (In Persian)
8. Jury, W.A., and Vaux, Jr. 2005. The Role of Science in Solving the World's Emerging Water Problems, Proc. Natl. Acad. Sci. 102: 15715-15720.
9. Kalbali, E., Ziaee, S., Mardani Najafabadi, M., and Zakerinia, M. 2021. Approches to adapting the impacts of

www.SID.ir

Archive of SID

climate change in northern Iran: The Application of a Hydrology-Economics model. Journal of cleaner production. 280: 124067.

10. Kiani, Gh., Khoshakhlagh, R., and Kamal, M. 2019. Optimal Allocation of Zayanderood River among Chaharmahal &Bakhtiary, Yazd and Isfahan Provinces. Applied Theories of Economics. 6: 3. 165-188. (In Persian)
11. Klozen, W.H., and Garces, R.C. 1998. Assessing irrigation performance with competitive indicators: the case of the Alto Rio Lerma irrigation district, Mexico. International Water Management Institute, Research Report No. 22.
12. Madani, K. 2010. Game Theory and Water Resources. Journal of hydrology, 381: 225-238.
13. Meftah Halaghi, M., Abareshi, F., Ghorbani, Kh., and Dehghani, A. 2018. Assessment of aquifer performance affected by different climate scenarios (Case study: Qareso basin). Iran. J. Irrig. Drain. 12: 5. 1140-1153. (In Persian)
14. Meftah Halaghi, M., Ghorhabi, Kh., Keramatzadeh, A., and Salarijazi, M. 2021. Application of Game Theory to Determining Optimal Harvesting of Water Resources and Determination of Optimal cropping pattern (Case study: Qarehsou basin). Journal of Water and Soil Conservation. 27: 5. 69-87. (In Persian)
15. Meteorological Organization in Golestan Province. 2020. (In Persian)
16. Mohammadi Soleimani, E., Ahmadian, M., Keramatzadeh, A., Shokat Fadaei, M., and Mahmoodi, A. 2020. Application of Non-symmetric Nash solution to determine the Optimal Extraction of Groundwater Aquifers in Jiroft Plain of Iran. Agricultural economics and Development. 27: 107. 181-234. (In Persian)
17. Mushtaq, S., and Moghaddasi, M. 2011. Evaluating the Potentials of Deficit Irrigation as an Adaptive Response to Climate Change and Environmental Demand. Environmental science and policy, Australia College of Agriculture, 14: 1139-1150.
18. Nakao, M.D., Wichelns, D., and Montgomery, I. 2002. Game theory analysis of competition for groundwater involving El Paso, Texas and Ciudad Juarez, Mexico. Annual meeting, July 28-31, Long Beach, CA from American Agricultural Economics Association. pp. 18-33.
19. Nash, J. 1950a. The bargaining problem. Econometrica, 18: 155-162.
20. Nash, J. 1950b. Equilibrium points in N-person games. Proceeding of the national Academy of science, 36: 48-69.
21. Nash, J. 1951. Non-cooperative games. Annals of Mathematics, 54: 286-295.
22. Nash, J. 1953. Two- person cooperative games. Econometrica, 2: 128-140.
23. Paris, Q., and Howitt, R.E. 1998. An Analysis of Ill- Posed Production Problems Using Maximum Entropy. American Journal of Agricultural Economics, 8: 124-138.
24. Pongkijvorasin, S. 2007. Stock-to-Stock Externalities Resources in Renewable Resource Economics: Watersheds, Conjunctive Water Use, and Mud. Ph.D. Dissertation in Economics, University of Hawaii.
25. Poorzand, F., and Zibaei, M. 2011. Application of Game Theory for the Optimal Groundwater Extraction in Firouzabad Plain. 5: 4. 1-24. (In Persian)
26. Rahmani, A., and Sedehi, M. 2005. Predication of Groundwater Level Changes in the Plain of Hamedan-Bahar Using Time Series Model. Journal of Water and Wastewater. 15: 3. 42-49. (In Persian)
27. Regional Water Company of Golestan. 2020. Report on water resources of Golestan County, Gorgan. (In Persian)
28. Salazar, R., Szidarovszhy, F., Coppola, E., and Rajano, A. 2007. Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. Journal of Environmental Management, 54: 560-571.
29. Shannon, C.E. 1948. A Mathematical Theory of Communications. Journal of Bell System Technical, 27: 37-94.
30. Sheng Lee, C. 2012. Multi-objective game theory models for conflict analysis in reservoir watershed management. Chemosphere, 87: 608-613.

www.SID.ir

Archive of SID

31. Wang, X., Zhang, Y., Zeng, Y., and Liu, C. 2013. Resolving Trans-jurisdictional Water Conflicts by the Nash Bargaining Method: A Case Study in Zhangweinan Canal Basin in North China, water resources management, 27: 1235-1247.
32. Xianchi, L. 2017. Research on water resources management based on game model. Procedia Computer Science, 107: 262-267.
33. Yuan, L., He, W., Degefu, M., Liao, Z., Wu, X., An, M., Zhang, Z., and Ramsey, T.S. 2020. Transboundary water sharing problem; a theoretical analysis using evolutionary game and system dynamics, Journal of Hydrology. 582:124521. 1-10.
34. Zeng, Y., Li, J., Cai, Y., Tan, Q., and Dai, C. 2019. A hybrid game theory and mathematical programming model for solving trans-boundary water conflicts. Journal of Hydrology, 570: 666-681.
35. Ziolkowska, J.R. 2015. Shadow Price of Water for Irrigation: A Case of the High Plains. Agricultural Water Management, 153: 20-31.

www.SID.ir

Arc

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Research Full Paper

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 28(2), 2021
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2021.18597.3413

The Application of Asymmetric Nash Solution in Optimal Allocation of Water Resources (Case study: Qarehsou basin)

E. Asadi[1], S. Shirzadi Laskukalayeh[*2] and A. Mehrjou[3]

[1]Dept. of Agricultural Economics, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran,
[2]Assistant Prof., Dept. of Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran,
[3]Dept. of Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
Received: 11.28.2020; Accepted: 07.25.2021

Abstract

Background and Objectives: The excessive use of water resources, particularly in areas where water resources are scarce and demand is much higher, has led to clashes between the various stakeholders that benefit from water extraction and water allocation. Most decision problems in natural resources management involve opposing objectives such as maximizing economic profit and minimizing negative environmental effects. Current research aims to find a compromise solution between economic and environmental objectives in Qarehsou reservoir basin; in order to set a balance between these goals.

Materials and Methods: Qarehsou basin is an important agricultural center in Golestan Province. Assessment of changes in water levels indicates an increase in water extraction, especially groundwater in such basin. In order to achieve economic and environmental goals, five scenarios were analyzed, including 10%, 20%, 30%, 40%, and the maximum withdrawal of water. Then, optimal cropping pattern and optimum amount of water extraction were determined, using positive mathematical programming model and asymmetric Nash solution, respectively. In this research, the two primary stakeholders, or players, are economic benefit, whose payoff goes to the local farmers (player 1), and the reduction of water resources, whose payoff goes to the community residents (player 2). The total water extraction volume is the decision variable.

Results: The result of applying positive mathematical programming indicate that the cropping pattern has changed toward more profitable crops. According to our results from a game theory application, we observe that the optimal decision will depend on the relative importance weights assigned to the conflicting objectives. When economic benefit is considered as the only objective, the optimal groundwater withdrawal is at its maximum level. On the opposite extreme, when only the environment is considered, the optimal groundwater withdrawal decision is to extract the minimum volume of groundwater. Given the equal weights for economics and environmental goals, the optimal extraction of water resources is 175 million cubic meters. Accordingly, the amount of water extraction can be reduced by 27% to achieve environmental goals.

Conclusion: This study illustrates how game theory can be used to obtain tradeoffs in a straightforward and understandable manner to facilitate an objective assessment of benefits to the various stakeholders and decision makers. Based on the results from our game theory

* Corresponding Author; Email: s.shirzadi@sanru.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

application, in a case of equal weights which are given to both economic and environmental impacts, the optimal withdrawal of water resources is less than the current withdrawal. Therefore, the economic benefits should be balanced with associated negative environmental impact of water withdrawal.

Keywords: Asymmetric Nash Equilibrium, Game Theory, Positive Mathematical Programming, Qarehsou Basin

www.SID.ir