نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۴، شماره ۱، بهار ۱۳۸۹، ص. ۱۲-۱

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 24, No. 1, Spring 2010, p. 1-12

کاربرد نظریه بازی در مدیریت منابع آب زیرزمینی حوزه آبریز اترک

محمود صبوحی[1*] - عصمت مجرد[2]

تاریخ دریافت: ۸۷/۳/۱
تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۳۱

چکیده

حوزه‌ی آبریز اترک در استان خراسان شمالی یک ناحیه‌ی کشاورزی است که اغلب کشاورزان آن برای آبیاری محصولات خود از منابع آب زیرزمینی استفاده می‌کنند. با کاهش بارندگی در سال‌های اخیر در این ناحیه، رقابت بین مصرف کنندگان شهری، کشاورزی و صنعتی برای کسب آب افزایش یافته است. در مطالعه حاضر به منظور مدیریت منابع آب زیر زمینی حوزه آبریز اترک از نظریه بازی کمک گرفته شد. میزان بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی برای ۶ سناریوی مختلف برداشت آب، با استفاده از منحنی بهینه پارتو و چهار روش حل تضاد تعیین شد. نتایج نشان داد زمانی که به اهداف محیطی و اقتصادی وزن یکسانی داده شود بهترین سناریوی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بین ۶۴ تا ۱۱۷ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. در نهایت تصمیم‌گیری بهینه در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی وابسته به اهمیت وزن‌های دو گروه هدف می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبریز اترک، روش حل تضاد، مدیریت منابع آب زیرزمینی، نظریه بازی

مقدمه

نیاز روز افزون انسان به آب از یکسو و کمبود آن از سوی دیگر بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، باعث افزایش بهره‌برداری از منابع آب، بخصوص منابع آب زیرزمینی شده است. با پیشرفت تکنولوژی، استحصال آب بویژه از طریق چاه روز به روز در حال افزایش است، بطوریکه در حال حاضر تعداد زیادی از دشت‌های ایران و استان خراسان شمالی با کسری مخزن و بحران آب مواجه هستند. منابع آب سطحی و غیر سطحی اگر به طور صحیح مدیریت نشوند بحران های آبی شدیدی را موجب می‌شوند که از تبعات اجتماعی، اقتصادی و سیاسی برخوردار می‌باشد (۶).

حوره‌ی آبریز اترک، از لحاظ ذخیره آب زیرزمینی و حاصلخیزی یکی از مناطق مهم استان خراسان شمالی است. سالانه بیش از ۶۰۰ میلیون متر مکعب آب زیرزمینی توسط چاه‌های عمیق و نیمه عمیق از آبخانه این حوزه استخراج می‌شود که حدود ۹۵٪ آن به مصارف کشاورزی می‌رسد (۴). بیش از ۸۰٪ از خاک این حوزه قابل آبیاری و مناسب برای کشت و زرع می‌باشد و باعث شده که این دشت موقعیت کشاورزی مطلوبی را در استان خراسان شمالی بدست آورد. بیش از ۶۰٪ از محصولات کشت شده در این ناحیه، آبی بوده و بیشترین سطح زیر کشت را غلات و محصولات صنعتی و باغی به خود اختصاص می‌دهند که از نظر نیاز آبی در حد بالایی بوده و با شرایط کم آبی منطقه، سازگار نمی‌باشد. عواملی نظیر بالا بودن میزان تبخیر، کمی و توزیع نامناسب بارش و برداشت بی رویه توسط چاه‌های عمیق مسائل و مشکلاتی را برای سفره‌های آب زیرزمینی این حوزه بوجود آورده است. حوزه آبریز اترک بطور متوسط هر ساله با حدود ۰/۲ متر افت سطح آب زیرزمینی مواجه بوده است (۴). در جدول ۱ میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی استان خراسان شمالی به تفکیک دشت‌های حوزه‌ی آبریز اترک نشان داده شده است، همانگونه که ملاحظه می‌شود در تمام دشت‌های حوزه‌ی مورد مطالعه مصرف آب زیرزمینی در بخش کشاورزی به طور متوسط ۸۳٪ از پتانسیل آب زیرزمینی را شامل می‌شود.

برخی تلاش‌هایی را که تاکنون در زمینه نظریه بازی[3] صورت گرفته می‌توان در مطالعه‌ی گنجی و همکاران (۱۳) بر روی بهره‌برداری از مخازن سدها با بکارگیری راه حل پویای تصادفی ناش در حوزه رودخانه زاینده رود، بیلی و همکاران (۱۰) در بخش شیلات، وی و همکاران (۱۹) در تحلیل تضاد بین تخصیص آب و کاهش آلودگی در پروژه‌های انتقال آب، کراچیان و همکاران (۱۶) در مدیریت منابع آب زیرزمینی ایران یافت.

۱و۲- به ترتیب استادیار و دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل
(* - نویسنده مسئول: Email: msabuhi39@yahoo.com)

3- Game theory

(جدول ۱)- میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در حوزه‌ی آبریز اترک به تفکیک دشت‌های حوزه (واحد میلیون متر مکعب)

دشت	پتانسیل آب زیرزمینی	بهره برداری از آب زیرزمینی در بخش کشاورزی	درصد بهره برداری از آب زیرزمینی در بخش کشاورزی	کل تخلیه سالانه
قوچان- شیروان	۳۲۰	۳۰۷/۱	۹۶	۳۳۹
بجنورد	۱۰۸	۶۴	۶۰	۷۵
مانه	۸۵	۵۵	۶۵	۷۸
سملقان	۹۵	۷۸/۵	۸۳	۸۳
قوری میدان	۲۲	۲۰	۹۱	۲۲
غلامان	۱۴	۱۲	۸۵	۱۴
جمع کل حوزه	۶۴۴	۵۳۶/۵	۸۳	۶۱۱

منبع: جهاد کشاورزی استان خراسان شمالی سال ۱۳۸۵

بایی و پارسامقدم (۱) استراتژی پیشنهاد قیمت بهینه در بازار برق را با استفاده از تئوری بازی‌ها تحلیل نمودند. خانمحمدی و همکاران (۲) به توسعه روش برآورد ماتریس نتیجه در بازی‌های چند هدفه غیر مشارکتی مبتنی بر احتمال انتخاب و امکان اجرای استراتژی‌ها پرداختند. عزیزی (۵) در مطالعه‌ای بر روی ارتباط خشکسالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی بیان می‌کند که خشکسالی در آب‌های زیرزمینی با دو الی سه ماه تاخیر نسبت به خشکسالی‌های اقلیمی بروز می‌کند. همچنین گودرزی و همایونی فر (۷) به کاربرد نظریه بازی‌ها در کشت محصولات زراعی استان فارس پرداختند. خلیلیان و زارع (۳) به ارزش‌گذاری منابع آب‌های زیرزمینی و محاسبه‌ی اثرات جانبی برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی پرداخته اند.

اغلب مسائل تصمیم‌گیری در مدیریت منابع طبیعی با مسئله وجود اهداف متضاد از قبیل حداکثر کردن سودهای اقتصادی و حداقل کردن اثرات زیست محیطی منفی رو به رو است. در این شرایط تصمیم گیران به تعیین یک راه حل توافقی می‌پردازند به نحوی که به یک رفتار قابل قبول اجتماعی دست یابند. در مسائل چند هدفه برخلاف تک هدفه که همواره یک جواب بهینه بدست می‌آید مجموعه‌ای کارا مشخص می‌گردد که مجموعه پارتو نامیده می‌شود. در مجموعه پارتو همواره مبادله بین اهداف در تعارض با یکدیگر قرار دارند و افزایش منافع یک یا چند هدف بدون کاهش در منافع اهداف دیگر صورت نمی‌گیرد. بنابر مفهوم بهینه پارتو، تضاد بین اهداف اقتصادی و محیطی به گونه‌ای است که هر بهبودی در یک هدف فقط با ایجاد ضرر در هدف دیگر بدست می‌آید. شرایط بهینه پارتو، موقعیت‌های مختلف تخصیص منابع اقتصادی و توزیع کالاها را مورد بررسی قرار می‌دهد و نهایتاً راه حلی را ارایه می‌نماید که مطلوبیت یا رفاه اجتماعی حداکثر گردد. از نظر پارتو یک تخصیص منابع، زمانی بهینه است که هر نوع تخصیص مجدد که بخواهد انجام گیرد، منجر به کاهش گردد (۸).

در مطالعه حاضر به منظور مدیریت منابع آب زیرزمینی حوزه آبریز اترک از نظریه بازی کمک گرفته شد. متاسفانه طی ۱۰ سال اخیر، بازده خالص اغلب کشاورزان ناحیه کاهش یافته است به نحوی که آن‌ها انگیزه‌ی اقتصادی کافی برای حداقل کردن اثرات محیطی منفی از قبیل کاهش سفره‌های آب زیر زمینی و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی ندارند. از طرف دیگر، تصمیم گیران در سطح ناحیه‌ای و ملی، بایستی پاسخگوی منافع زیست محیطی جامعه و منافع اقتصادی کشاورزان باشند. در این مطالعه، سودهای اقتصادی و کاهش ریسک‌های محیطی به ترتیب به عنوان منافع کشاورزان (بازیکن ۱) و منافع جامعه (بازیکن ۲) و همچنین حجم کل استخراج از منابع آب زیر زمینی به عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شد. میزان بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی به چهار روش حل تضاد[1] تعیین شد که عبارتند از: راه حل نامتقارن ناش[2]، راه حل نامتقارن کلی- اسمردینسکای[3]، راه حل نامتقارن سطوح همگن[4] و راه‌حل نامتقارن ضررهای یکسان[5].

مواد و روش‌ها

مدلسازی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی

به منظور مدلسازی استخراج آب زیرزمینی، از ۶ سناریوی مختلف تخلیه‌ی آب زیر زمینی در حوزه‌ی آبریز اترک استفاده شد که برای تعیین اثرات اقتصادی و محیطی هر سناریوی تخلیه آب زیرزمینی، از برنامه‌ریزی خطی و روش‌های حل تضاد بین اهداف (نظریه بازی)

1- Conflict resolution
2- Non-symmetric Nash solution
3- Non-symmetric Kalai–Smorodinsky solution
4- Non-symmetric area monotonic solution
5- Non-symmetric equal loss solution

استفاده شد به نحوی که بین اهداف محیطی و اقتصادی در منطقه تعادل ایجاد شود. اهداف اقتصادی شامل درآمد خالص کشاورز و هزینه‌های پمپاژ می‌باشد که درآمد خالص برای هر سناریو به روش برنامه‌ریزی خطی تعیین می‌شود. اهداف محیطی مربوط به استخراج بیش از حد منابع آب زیر زمینی می‌باشد که با اندازه‌گیری میزان تخلیه منابع آب زیرزمینی بدست می‌آید. در جدول ۲ سناریوهای مختلف تخلیه آب زیرزمینی ارائه شد که بر اساس متوسط داده‌های تاریخی منطقه مورد مطالعه تعیین شده است.

(جدول ۲) - سناریوهای مختلف تخلیه‌ی آب زیرزمینی در حوزه‌ی آبریز اترک (واحد میلیون متر مکعب)

سناریوها	۱	۲	۳	٤	٥	٦
تخلیه آب زیرزمینی	۳۳۹	۸۳	۷۸	۷۵	۲۲	۱۴

منبع: یافته‌های تحقیق

برآورد هدف اقتصادی

سود خالص کشاورزان برای هر سناریوی تخلیه آب زیرزمینی با این فرض که کشاورزان محصولات خود را در یک الگوی بهینه برطبق قیمت بازاری و دسترسی به آب کشت می‌کنند با استفاده از برنامه‌ریزی خطی تخمین زده شد. بدین منظور تابع هدف به صورت زیر تعریف شد (۱۸):

$$\max \quad NB = \sum_{j=1}^{n} \left[Y_j P_j - C_j \right] A_j \qquad (۱)$$

که در رابطه ۱،NB سود خالص(میلیون ریال)، A_j سطح زیر کشت محصول j (هکتار)، Y_j عملکرد محصول j (تن در هکتار)، P_j قیمت محصول j (ریال هر تن)، C_j هزینه تولید محصول j (ریال در هکتار) که شامل هزینه پمپاژ می‌باشد و n تعداد محصولات می‌باشد.

محدودیت‌های مسئله به دو محدودیت زمین و آب تقسیم شد.

محدودیت زمین: محدودیت زمین شامل محدودیت سطح زیر کشت و حداقل و حداکثر سطح زیر کشت برای هر محصول می‌باشد که در روابط ۲ و ۳ به ترتیب نشان داده شده است.

$$\sum_{j=1}^{n} A_j \le A \qquad (۲)$$

$$Min \quad area_j \le A_j \le Max \quad area_j \qquad (۳)$$

حداقل و حداکثر سطح زیر کشت برای هر محصول با استفاده از اطلاعات سال‌های گذشته منطقه بدست آمد.

محدودیت آب: نیاز آبی محصولات برای الگوی کشت نباید بیشتر از مقدار استخراج سالانه آب زیرزمینی باشد.

$$\sum_{j=1}^{n} \alpha_j A_{cj} \le Qg \qquad (۴)$$

که در رابطه ۴، α_j نیاز ناخالص آبی برای محصول j در منطقه و Q_g مقدار استخراج سالانه آب زیرزمینی (میلیون متر مکعب در سال) می‌باشد.

هزینه پمپاژ: هزینه‌ی متوسط پمپاژ آب در سال برای هر متر مکعب آب از رابطه زیر بدست آمد (۱۲):

$$C_p = \left[\frac{h * a}{\eta} \right] C_e + C_r \qquad (۵)$$

در رابطه فوق a انرژی مورد نیاز برای پمپاژ ۱ مترمکعب آب به ارتفاع یک متر (کیلو وات در ساعت بر متر مکعب) ، h ارتفاع پمپاژ (متر)، C_e متوسط هزینه سالانه انرژی (ریال بر کیلو وات در ساعت)، η راندمان پمپ و C_r هزینه تعمیر و نگهداری (ریال) می‌باشد. از حاصلضرب هزینه پمپاژ هر مترمکعب آب در سال بر مقدار تخلیه سالانه آب زیر زمینی($C_p * Q_g$) هزینه پمپاژ آب زیر زمینی بدست می‌آید.

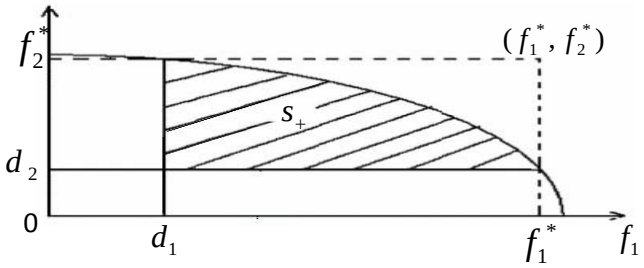
کاربرد نظریه بازی

روش حل تضادها

در این روش هر دو هدف اقتصادی و محیطی بین صفر تا یک نرمال می‌شوند. ارزش صفر و یک به ترتیب متناظر با بدترین و بهترین نتیجه می‌باشد. تضاد بین دو هدف به روش ریاضی، با مجموعه ی$(S, \boldsymbol{d})$ تعریف می‌شود که $S \subseteq R^2$ مجموعه‌ای از منافع ممکن و $\boldsymbol{d} \in R^2$ 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($d_1=d_2=0$). مرز پارتو، توسط تابع مقعر و اکیداً نزولی g در فاصله $[d_1, f_1^*]$ تعریف شده است که در آن $g(f_1^*) = d_2$ و $f_2^* = g(d_1)$ می‌باشد(نمودار ۱). بردار **d**، به عنوان بردار 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 مجموعه‌ی نتایج ممکن S به حالتی که هیچ یک از بازیکن‌ها به یک توافق دست نمی‌یابند؛ محدود می‌شود. اگر بردار **d** به عنوان بدترین نتایج ممکن دو گروه هدف انتخاب شود آنگاه $S_+=S$ خواهد بود (۱۸).

$$S_+ = \left\{ f = (f_1, f_2) / \; f \in S, f \ge d \right\} \qquad (۶)$$

میزان بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیر زمینی به چهار روش حل تضاد شامل راه حل نامتقارن ناش، راه حل نامتقارن کلی- اسمردینسکای، راه حل نامتقارن سطوح همگن و راه حل نامتقارن ضررهای یکسان تعیین شد.



(شکل ۱)– مرز پارتو برای دو گروه هدف اقتصادی و محیطی

در راه حل ناش بایستی مجموعه شرایط معینی را رعایت نمود که این شرایط از نقطه نظرهای مختلف، راه حل بی طرفانه ای را ارائه می‌کند (۱۷). اغلب نویسندگان راه حل ناش را توسعه و اصلاح کرده‌اند. راه حل نامتقارن ناش توسط هارسانیا و ستن(۱۴) معرفی شد که در این روش به هر یک از گروه‌های هدف وزن‌های نابرابری داده می‌شود. راه حل نامتقارن کلی– اسمردینسکای (۱۵)، راه حل سطوح همگن توسط انبرسی (۹) و راه حل ضررهای یکسان توسط چان (۱۱) پشنهاد شد. راه حل ناش نتایج را از فرآیند چانه زنی بدست می‌آورد. در راه حل ناش یک نقطه واحد در مرز پارتو انتخاب می‌شود برای تعیین جواب بهینه، راه حل ناش به صورت زیر فرموله شد:

$$\begin{aligned} &Maximize \quad (f_1 - d_1)(f_2 - d_2) \\ &subject\,to \quad d_1 \le f_1 \le f_1^* \\ &\qquad f_2 = g(f_1) \end{aligned} \qquad (۷)$$

توجه شود که در $f_1=d_1$ و $f_1 = f_1^*$ ، تابع هدف برابر صفر و برای همه ی مقادیر $f_1 \in (d_1, f_1^*)$ ، تابع هدف مثبت می‌باشد. محدودیت دوم را می‌توان در تابع هدف جایگزین کرده و مسئله را به صورت یک بعدی فرموله کرد به نحوی که معادله بر مبنای شرط اول حل شود:

$$\begin{aligned} &Maximize \quad (f_1 - d_1)(g(f_1) - d_2) \\ &subject\,to \quad d_1 \le f_1 \le f_1^* \end{aligned} \qquad (۸)$$

راه حل نامتقارن ناش: در این روش وزن‌های (w_1, w_2) به هر یک از بازیکن‌ها داده می‌شود و از این طریق جواب بهینه‌ای برای مسئله بدست می‌آید. بنابراین بازیکنی که دارای وزن بیشتری است در تابع هدف از اهمیت بیشتری برخوردار است. این راه حل با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است (۱۴).

$$\begin{aligned} &Maximize \quad (f_1 - d_1)_1^w (f_2 - d_2)_2^w \\ &subject\,to \quad d_1 \le f_1 \le f_1^* \\ &\qquad f_2 = g(f_1) \end{aligned} \qquad (۹)$$

راه حل نامتقارن کلی– اسمردینسکای، بدین صورت تعریف می‌شود که بین نقطه‌ی عدم توافق (d_1, d_2) و نقطه‌ی ایده‌ال (f_1^*, f_2^*) پاره‌خطی رسم می‌شود و نقطه‌ی برخورد این پاره خط با مرز پارتو را به عنوان جواب بهینه معرفی می‌کند. بنابراین برای تعیین راه حل بهینه از معادله زیر استفاده شد:

$$d_2 + \{(f_2^* - d_2)/(f_1^* - d_1)\}(f_1 - d_1) - g(f_1) = 0 \qquad (۱۰)$$

در فاصله‌ی (d_1, f_1^*).

با توجه به اینکه دو هدف نرمال شده‌اند؛ نقطه‌ی عدم توافق $d_1=d_2=0$ و نقطه‌ی ایده‌ال $f_1^* = f_2^* = 1$ می‌باشد. لذا توابع هدف $\overline{f_1}$ و $\overline{f_2}$ در طول پاره‌خطی که نقطه‌ی عدم توافق و نقطه‌ی ایده‌آل را به هم متصل می‌کند؛ با نرخ مشابهی افزایش می‌یابند. اگر اهداف دارای وزن‌های متفاوتی باشند؛ هدفی که دارای اهمیت بیشتری است با سرعت بیشتری افزایش می‌یابد. 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 بدست می‌دهد (۱۵):

$$\overline{g}(\overline{f_1}) = (w_2 / w_1)\overline{f_1} \qquad (۱۱)$$

قابل ذکر است که در رابطه ۱۰ دو تابع هدف نرمال شده‌اند.

راه حل نامتقارن سطوح همگن

راه حل سطوح همگن بدین صورت است که یک پاره خط از نقطه ی عدم توافق رسم می‌شود به نحوی که مجموعه‌ی S_+ را به دو زیر مجموعه‌ی با مساحت برابر تقسیم کند. در این روش اهداف دارای وزن‌های یکسانی می‌باشند. اگر اهداف دارای وزن‌های نامتناسبی باشند؛ $(w_1 \neq w_2)$ به آن راه حل نامتقارن سطوح همگن گفته می‌شود که نسبت مساحت‌ها برابر با w_1/w_2 می‌باشد. بنابراین جواب بهینه، از ریشه‌ی معادله‌ی غیر خطی زیر بدست آمد (۹):

$$\begin{aligned} &w_2\left[\int_{d_1}^{x} g(t)dt - 1/2(x - d_1)(g(x) + d_2)\right] \\ &= w_1\left[\int_{x}^{f_1^*} g(t)dt - (f_1^* - x)d_2 \right. \\ &\qquad \left. + 1/2(x - d_1)(g(x) - d_2)\right] \end{aligned} \qquad (۱۲)$$

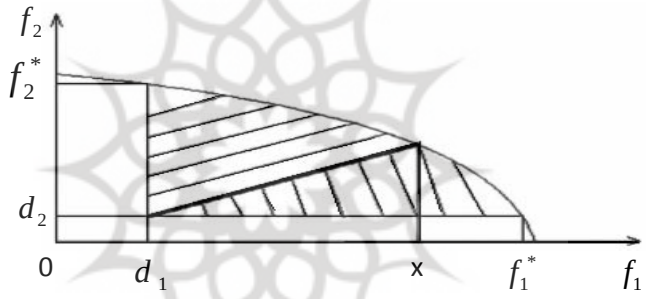
در فاصله‌ی (d_1, f_1^*).

در نمودار۲، مجموعه‌ی نتایج ممکن S به دو زیر مجموعه با مساحت‌های برابر تقسیم شده، در این حالت مجموعه‌ی منافع هر یک از بازیکن‌ها سطوح یکسانی خواهد بود. در حالتی که به یکی از اهداف وزن بیشتری داده شود مساحت بیشتری از مجموعه نتایج S را به خود اختصاص می‌دهد.

راه حل نامتقارن ضررهای یکسان

راه حل ضررهای یکسان در ابتدا برای حالتی معرفی شد که اهداف دارای وزن های یکسانی بودند و هر دو گروه به طور هم زمان و با سرعت یکسانی به یک توافق می‌رسیدند. اما در راه حل نامتقارن ضررهای یکسان، اهداف دارای وزن‌های متفاوتی می‌باشند ($w_1 \neq w_2$) و هدف مهم‌تر با سرعت کمتری نسبت به دیگری زیان خواهد دید و نسبت زیان آن‌ها برابر w_2/w_1 خواهد بود. بنابراین در این روش، نقطه‌ی $(x, g(x))$ روی مرز پارتو به صورت زیر تعیین شد (۱۱):

$$(f_1^* - x)w_1 = (f_2^* - g(x))w_2 \qquad (۱۳)$$



(شکل۲)- راه حل نا متقارن سطوح همگن

قابل ذکر است که مانند سایر روش‌ها، معادله ۱۳ نیز یک معادله‌ی غیر خطی است و بایستی مقدار متغیر مجهول x را تعیین نمود.

نتایج و بحث

مدل برنامه‌ریزی خطی برای هر سناریوی استخراج آب زیرزمینی به کار گرفته شد که خلاصه‌ای از نتایج آن در جدول ۳ آمده است در ردیف اول جدول، ۶ سناریوی مختلف میزان تخلیه آب زیرزمینی از ۱۲ تا ۳۰۷/۱ میلیون متر مکعب و در ردیف دوم، درآمد خالص کشاورزان بر اساس الگوی کشت منطقه متناظر با هر سناریوی تخلیه آب زیر زمینی آورده شده است. سناریوی با استخراج آب کمتر دارای درآمد خالص کمتری نیز می‌باشد. سایر اطلاعات جدول ۳ مربوط به سطح زیر کشت بهینه‌ی هر محصول برای ۶ سناریوی استخراج آب می‌باشد.

(جدول ۳)- درآمد خالص و سطح زیر کشت بهینه در سناریوهای مختلف بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی

سناریوها	۱	۲	۳	٤	٥	٦
استخراج آب زیرزمینی (میلیون متر مکعب)	۳۳۹	۸۳	۷۸	۷۵	۲۲	۱۴
درآمد خالص(میلیون ریال)	۱۸۷۵۹	۸۰۳۱	۵۷۰۳	۵۳۵۶	۱۹۸۴	۱۲۲۱
سطح زیر کشت بهینه محصولات						
گندم	۱۶۶۰۱/۱۳	۲۰۰۰	۱۲۰۰	۳۲۲۸/۱۵	۳۴۸/۴۹	۵۲۱/۸۲
جو	۷۰۰۰	۱۵۰۰	۲۶۲۶/۲	۱۶۷۱/۰۹	۱۱۵۴	۴۰۰
حبوبات	۱۰۰۰	۰	۵۰۰	۵۰۰	۳۰	۰
آفتابگردان	۱۰۰	۰	۳۰۰	۳/۱۵	۰	۹۰
یونجه	۱۵۰	۰	۲۵۰	۳/۱۵	۸۹	۰
پنبه	۴	۱۲۵۰	۱۵۰	۹	۰	۰

منبع: یافته‌های تحقیق

(جدول ٤)- ماتریس منافع دو گروه هدف اقتصادی و محیطی

سناریوها	تخلیه‌ی آب زیرزمینی (میلیون متر مکعب)	سطح زیر کشت (هکتار)	درآمد خالص (میلیون ریال)	ضریب استخراج بیش از حد آب زیرزمینی(اثر محیطی)
۱	۳۳۹	۲۴۸۵۵/۱۳	۱۸۷۵۹	۲۴/۲۱
۲	۸۳	۴۷۵۰/۲۷	۸۰۳۱	۵/۹۲
۳	۷۸	۵۰۲۶/۲۰۴	۵۷۰۳	۵/۵۷
۴	۷۵	۵۴۱۴/۵۵	۵۳۵۶	۵/۳۵
۵	۲۲	۱۶۲۱/۵	۱۹۸۴	۱/۵۷
۶	۱۴	۱۰۱۱/۸۲	۱۲۲۱	۱

منبع: یافته‌های تحقیق

(جدول ۵)- ماتریس منافع نرمال شده دو گروه هدف اقتصادی و محیطی

سناریوها	تخلیه‌ی آب زیرزمینی (میلیون متر مکعب)	سطح زیرکشت (هکتار)	درآمد خالص نرمال (میلیون ریال)	ضریب استخراج بیش از حد آب زیرزمینی(نرمال)
۱	۳۳۹	۲۴۸۵۵/۱۳	۱	۰
۲	۸۳	۴۷۵۰/۲۷	۰/۴۹۳	۰/۷۲۴
۳	۷۸	۵۰۲۶/۲۰۴	۰/۳۰۷	۰/۷۴۵
۴	۷۵	۵۴۱۴/۵۵	۰/۲۸۰	۰/۷۵۹
۵	۲۲	۱۶۲۱/۵	۰/۰۴۳	۰/۹۷۲
۶	۱۴	۱۰۱۱/۸۲	۰	۱

منبع: یافته‌های تحقیق

زمانی که آب موجود کاهش می‌یابد سطح زیر کشت بهینه ی کاهش می‌یابد که بدین معنی است که اغلب محصولات کشت شده از نیاز آبی بالایی برخوردارند. بنابراین دارای سودآوری کمتری می-باشند. قابل ذکر است که هزینه پمپاژ آب بر طبق رابطه ۵، مقدار۵/۲۸ ریال بر متر مکعب تعیین شد که این هزینه بر میزان تخلیه سالانه آب زیرزمینی ضرب و به سایر هزینه‌های تولید در هدف اقتصادی افزوده شد.

ماتریس منافع دو گروه هدف محیطی و اقتصادی در جدول ۴ ذکر شد که ستون چهارم و پنجم به ترتیب هر یک از اهداف اقتصادی و محیطی را نشان می‌دهد. برای تعیین ضریب استخراج بیش از حد آب زیرزمینی به کمترین سناریوی تخلیه آب زیرزمینی مقدار یک اختصاص داده شد و از تفاوت هر یک از سناریوهای تخلیه آب زیرزمینی از کمترین سناریوی تخلیه آب زیرزمینی و تقسیم بر آن ضریب استخراج بیش از حد آب زیرزمینی برای هر یک از سناریوها تعیین شد. قبل از به کارگیری نظریه بازی‌ها، مجموعه آلترناتیوها باید بین صفر تا یک نرمال شوند که در جدول ۵ نتایج حاصل از نرمال کردن ماتریس منافع دو گروه هدف اقتصادی و محیطی برای ۶ سناریوی تخلیه‌ی آب زیرزمینی آمده است. به منظور نرمال نمودن ماتریس منافع از تابع NORMDIST[1] در EXCEL استفاده شد که توزیع تجمعی نرمال را برای میانگین و انحراف معیار معین ماتریس منافع دو گروه هدف تعیین می‌کند.

در الگوی کشت سناریوهایی با استخراج آب زیر زمینی بالاتر، مقدار بیشتری از زمین کشت می‌شود. همچنین مدل برنامه‌ریزی خطی پیشنهاد می‌کند که به منظور افزایش درآمد خالص در زمان کمبود آب، مقداری از زمین دست نخورده باقی بماند (بدون کشت و آبیاری).

جدول ۵ ماتریس منافع گروه‌های هدف را نشان می‌دهد که برای ۶ سناریوی استخراج آب زیرزمینی بین ۰ تا ۱ نرمال شده‌اند. با استفاده بیشتر از آب، زمین بیشتری کشت شده و درآمد خالص بیشتری نصیب کشاورزان شده و اثرات محیطی زیان بارتری با برداشت بیش از حد سفره‌های آب زیرزمینی نصیب جامعه خواهد شد.

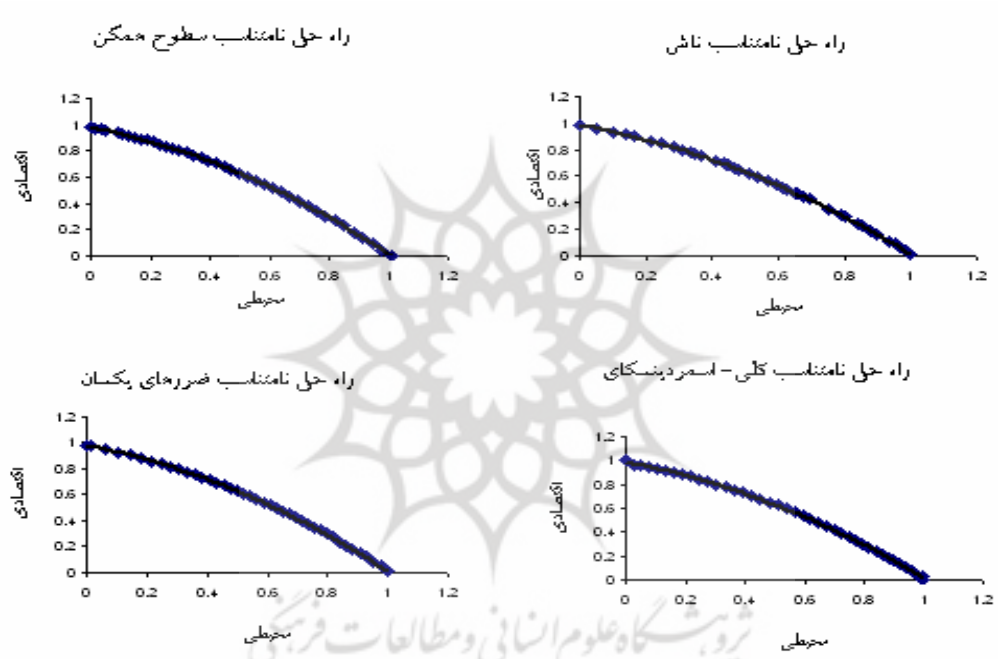
به هر یک از دو گروه هدف (اقتصادی و محیطی) وزن‌های مختلفی بین ۰ تا ۱ به طور یکنواخت با افزایش ۰/۰۲۵ داده شد و به هر یک از چهار روش مذکور، منافع دو گروه هدف، استخراج بهینه آب زیرزمینی و درآمد خالص متناظر با آن برآورد گردید. در نمودار ۳ جواب‌های بهینه برای دو هدف اقتصادی و محیطی به روش‌های

1- Normal cumulative distribution

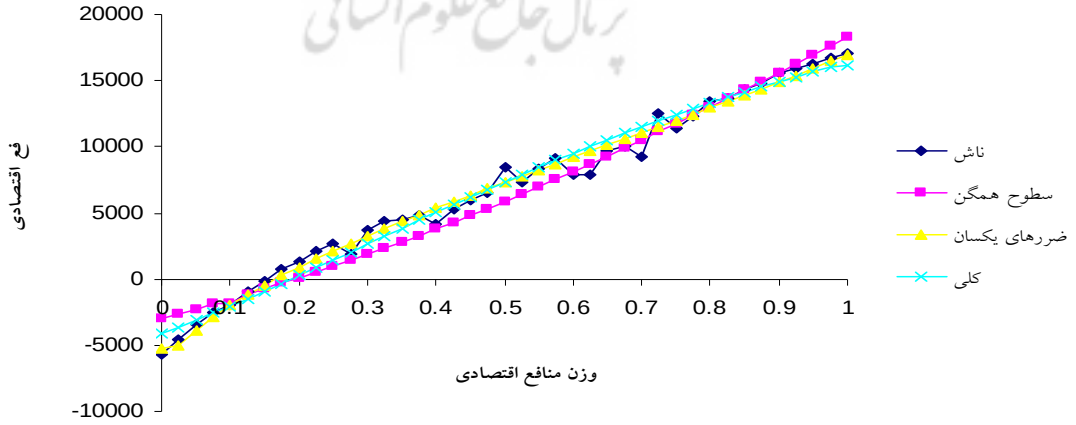
مختلف رسم شده است. با توجه به نتایج عددی جدول ۶ (پیوست)، مشاهده شد که در راه حل نامتقارن کلی- اسمردینسکای، جواب های بهینه به صورت یکنواخت تری روی مرز پارتو ایجاد شده‌اند. همچنین مشاهده می‌شود که از میان ۶ سناریوی ابتدایی استخراج آب (جدول ۱) ۵ سناریوی آن دارای وزن محیطی بالاتر از ۰/۵ می‌باشند که بیانگر این است که اهداف محیطی دارای اهمیت بیشتری می‌باشند به بیان دیگر حفظ منابع آب زیرزمینی در این ناحیه از اهمیت بالاتری برخوردار است. این در حالی است که حجم بهینه استخراج آب زیرزمینی برای آبیاری کشاورزی مقدار کمتری است.

در نمودار۴ درآمد خالص بدست آمده در وزن های مختلف، برای چهار روش رسم شده است. تقریبا در تمامی روش‌ها، با افزایش وزن-های اقتصادی درآمد خالص به طور خطی افزایش یافت. زمانی که سود اقتصادی به عنوان تنها هدف ملاحظه می‌شود استخراج آب زیرزمینی در بالاترین حد خود می‌باشد و زمانی که اهداف محیطی به عنوان تنها هدف ملاحظه می‌شود سناریوی بهینه‌ی آب زیرزمینی در حداقل حجم استخراج آب زیرزمینی می‌باشد. هنگامی که اهداف محیطی و اقتصادی دارای اهمیت یکسانی می‌باشند؛ استخراج بهینه از منابع آب زیرزمینی (میلیون متر مکعب) برای ۴ روش در جدول ۷ ذکر شده است.

در بین ۶ سناریوی استخراج آب زیرزمینی، سناریوی ۲ (۸۳ میلیون متر مکعب) به نتایج بهینه‌ی جدول۷ نزدیکتر هستند. بنابراین زمانی که هر دو هدف محیطی و اقتصادی دارای اهمیت یکسانی می‌باشند میزان بهینه تخلیه آب زیرزمینی حدود ۹۱ میلیون متر مکعب می‌باشد.



(شکل ۳) – مرز یاراتو برای اهداف نرمال شده



(شکل ٤) – منافع اقتصادی کشاورزان در وزن های مختلف به ٤ روش

(جدول ۷)- میزان بهینه‌ی بهره‌برداری از آب زیرزمینی در حالت وزن‌های مساوی (میلیون متر مکعب)

وزن اثرات محیطی	راه حل نامتناسب ناش	راه حل سطوح همگن	راه حل نامتناسب کلی- اسمردینسکای	راه حل نامتناسب ضررهای یکسان
۰/۵	۱۱۷/۴۶	۶۴/۹۴	۹۱/۶۶	۹۲/۸۸

منبع: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری

در این مطالعه با استفاده از نظریه بازی، منافع بهینه‌ی دو گروه هدف اقتصادی و محیطی از استخراج منابع آب زیرزمینی در حوزه‌ی آبریز اترک تعیین شد. پمپاژ بیش از حد منابع آب زیرزمینی در این ناحیه، به منظور دستیابی کشاورزان به سودهای کوتاه مدت اقتصادی، اثرات زیان باری را به سفره‌های آب زیرزمینی وارد نموده است. در این مطالعه دو هدف متضاد ملاحظه شدند: افزایش سودهای اقتصادی و کاهش اثرات زیان بار محیطی. ۶ سناریوی استخراج آب زیر زمینی در نظر گرفته شد و برای تخمین سودهای اقتصادی و اثرات محیطی به ترتیب از درآمد خالص کشاورزان و میزان استخراج منابع آب زیرزمینی استفاده شد. از یک مدل برنامه ریزی خطی برای تعیین الگوی کشت بهینه در هر سناریوی استخراج آب زیرزمینی استفاده شد. با کاهش استخراج آب زیرزمینی برای آبیاری، درآمد خالص کشاورزان کاهش یافته و همچنین مقدار بیشتری از زمین دست نخورده باقی خواهد ماند. علاوه بر این، کاهش استخراج منابع آب زیرزمینی، اثرات محیطی کمتری را در بر خواهد داشت و کشاورزان بایستی توجه بیشتری به اثرات محیطی منفی و تعادل بین سودهای اقتصادی و ضررهای محیطی داشته باشند. در نهایت تصمیم گیری بهینه در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی وابسته به اهمیت وزن‌های دو گروه هدف می‌باشد. زمانی که به اهداف محیطی و اقتصادی وزن یکسانی داده شود بهترین سناریوی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بین ۶۴ تا ۱۱۷ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. بنابراین برای ایجاد انگیزه اقتصادی در کشاورزان در عین حفظ منابع آبی به منظور افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی توصیه می‌شود آموزش کشاورزان و آشنا نمودن آن‌ها با روش‌های نوین آبیاری مورد توجه قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود که با برگزاری دوره‌های آموزشی و ترویجی در زمینه کاربرد درست و بهینه از منابع آبی از لحاظ دورنمای اقتصادی و مدیریتی، اعمال سیاست‌های حمایتی در خصوص بازار نهاده و فروش محصول جهت کاهش هدر رفت عوامل تولید درآمد کشاورزان را بهبود بخشید. در پایان قابل ذکر است که نظریه‌ی بازی‌ها می‌تواند به طور موفقیت آمیزی در سایر مسائل مدیریت منابع طبیعی به کار رود.

(جدول ٦)- نتایج بهینه برای دو هدف اقتصادی و محیطی به روش های مختلف

استخراج آب زیر زمینی (میلیون متر مکعب)	درآمد خالص (میلیون ریال)	منافع محیطی f_2	منافع اقتصادی f_1	وزن اثرات محیطی w_2	وزن منافع اقتصادی w_1
نتایج راه حل نامتقارن ناش					
۳۲۵/۷۹۶	۱۷۰۷۳/۰۲۸	۰/۰۱۲	۰/۹۹۹	۰	۱
۳۱۶/۰۹۸	۱۶۷۶۹/۵۰۵	۰/۰۳۵	۰/۹۸۶	۰/۰۲۵	۰/۹۷۵
۳۰۱/۵۲۸	۱۶۲۴۰/۰۴۵	۰/۰۶۹۵	۰/۹۶۳	۰/۰۵	۰/۹۵
۲۹۳/۷۷۸	۱۵۹۵۲/۴۹۴	۰/۰۸۷	۰/۹۵۰	۰/۰۷۵	۰/۹۲۵
۲۸۲/۶۸۲	۱۵۵۳۹/۴۲۶	۰/۱۱۴	۰/۹۳۲	۰/۱	۰/۹
۲۶۲/۵۲۲	۱۴۷۶۵/۷۷۸	۰/۱۶۱	۰/۸۹۸	۰/۱۲۵	۰/۸۷۵
۲۵۱/۳۸۴	۱۴۳۳۶/۷۳۵	۰/۱۸۷	۰/۸۸	۰/۱۵	۰/۸۵
۲۳۴/۱۴۷	۱۳۶۵۲/۰۹۱	۰/۲۲۸	۰/۸۵	۰/۱۷۵	۰/۸۲۵
۲۲۹/۲۷۶	۱۳۴۵۳/۵۴۴	۰/۲۴۰	۰/۸۴۱	۰/۲	۰/۸
۲۰۰/۸۵۸	۱۲۲۸۰/۵۲۱	۰/۳۰۷	۰/۷۸۹	۰/۲۲۵	۰/۷۷۵
۱۸۰/۴۰۲	۱۱۳۹۵/۰۴۸	۰/۳۵۵	۰/۷۵۱	۰/۲۵	۰/۷۵
۲۰۶/۳۲۱	۱۲۵۰۸/۷۳۶	۰/۲۹۴	۰/۷۹۹	۰/۲۷۵	۰/۷۲۵
۱۳۲/۹۶۸	۹۲۴۹/۸۳۰۷	۰/۴۶۷	۰/۶۵۷	۰/۳	۰/۷
۱۵۰/۵۲۲	۱۰۰۶۶/۸۳۹	۰/۴۲۶	۰/۶۹۲	۰/۳۲۵	۰/۶۷۵
۱۴۳/۳۴۴	۹۷۳۵/۹۲۷	۰/۴۴۳	۰/۶۷۸	۰/۳۵	۰/۶۵
۱۰۴/۶۳۵	۷۸۶۴/۵۶۷	۰/۵۳۴	۰/۵۹۶	۰/۳۷۵	۰/۶۲۵
۱۰۴/۵۹۲	۷۸۶۴/۵۶۷	۰/۵۳۴	۰/۵۹۶	۰/۴	۰/۶

۱۳۰/۴۲۷	۹۱۳۵/۷۲۳	۰/۴۷۳	۰/۶۵۲	۰/۴۲۵	۰/۵۷۵
۱۱۳/۲۷۴	۸۳۰۰/۴۵۷	۰/۵۱۴	۰/۶۱۵	۰/۴۵	۰/۵۵
۹۳/۲۴۲	۷۲۹۴/۰۳۱	۰/۵۶۱	۰/۵۷۱	۰/۴۷۵	۰/۵۲۵
۱۱۷/۴۶۷	۸۵۰۸/۱۳۳	۰/۵۰۴	۰/۶۲۴	۰/۵	۰/۵
۷۹/۳۵۱	۶۵۶۶/۰۲۶	۰/۵۹۴	۰/۵۳۵	۰/۵۲۵	۰/۴۷۵
۶۷/۲۳۸	۵۹۰۸/۷۶۸	۰/۶۲۲	۰/۵۱۰	۰/۵۵	۰/۴۵
۵۵/۳۷۹	۵۲۴۹/۲۲۸	۰/۶۵۰	۰/۴۸۱	۰/۵۷۵	۰/۴۲۵
۳۶/۸۷۲	۴۱۶۲/۹۲۶	۰/۶۹۴	۰/۴۳۴	۰/۶	۰/۴
۴۹/۰۲۷	۴۸۷۷/۲۳۸	۰/۶۶۵	۰/۴۶۵	۰/۶۲۵	۰/۳۷۵
۴۱/۴۸۸	۴۴۳۶/۷۸۴	۰/۶۸۳	۰/۴۴۶	۰/۶۵	۰/۳۵
۳۹/۷۹۴	۴۳۳۶/۳۶۹	۰/۶۸۷	۰/۴۴۱	۰/۶۷۵	۰/۳۲۵
۲۸/۶۵۵	۳۶۶۳/۱۳۶	۰/۷۱۳	۰/۴۱۲	۰/۷	۰/۳
۰/۷۸۸	۱۸۷۱/۶۵۱	۰/۷۷۹	۰/۳۳۳	۰/۷۲۵	۰/۲۷۵
۱۲/۳۵۰	۲۶۳۶/۱۷۰	۰/۷۵۲	۰/۳۶۷	۰/۷۵	۰/۲۵
۴/۶۴۲	۲۱۲۷/۲۵۲	۰/۷۷۰	۰/۳۴۵	۰/۷۷۵	۰/۲۲۵
−۷/۸۰۹	۱۲۷۱/۴۴۷	۰/۷۹۹	۰/۳۰۷	۰/۸	۰/۲
−۱۵/۰۹۳	۷۴۱/۹۸۹	۰/۸۱۷	۰/۲۸۴	۰/۸۲۵	۰/۱۷۵
−۲۶/۶۵۵	−۱۱۶/۰۹۷	۰/۸۴۴	۰/۲۴۶	۰/۸۵	۰/۱۵
−۳۶/۵۶۶	−۹۰۱/۱۵۶	۰/۸۶۷	۰/۲۱۲	۰/۸۷۵	۰/۱۲۵
−۴۹/۳۹۸	−۱۹۸۷/۴۵۷	۰/۸۹۸	۰/۱۶۴	۰/۹	۰/۱
−۵۵/۲۴۳	−۲۵۰۷/۷۸۷	۰/۹۱۱	۰/۱۴۱	۰/۹۲۵	۰/۰۷۵
−۶۵/۳۶۵	−۳۴۷۹/۹۸۱	۰/۹۳۵	۰/۰۹۹	۰/۹۵	۰/۰۵
−۷۵/۸۲۶	−۴۵۶۶/۲۸۲	۰/۹۶۰	۰/۰۵۱	۰/۹۷۵	۰/۰۲۵
−۸۵/۹۰۵	−۵۷۴۱/۵۸۸	۰/۹۸۴	۰/۰۰۰۲	۱	۰

نتایج راه حل نامتقارن سطوح همگن

۳۵۵/۳۰۴	۱۸۲۷۹/۵۵۵	۰/۰۰۰۲	۱	۰	۱
۳۳۵/۷۵۷	۱۷۶۱۰/۳۷۸	۰/۰۴۷	۰/۹۷۶	۰/۰۲۵	۰/۹۷۵
۳۱۶/۶۲۲	۱۶۹۴۱/۲۰۲	۰/۰۹۴	۰/۹۴۴	۰/۰۵	۰/۹۵
۲۹۸/۰۶۵	۱۶۲۷۶/۲۴۷	۰/۱۳۹	۰/۹۱۳	۰/۰۷۵	۰/۹۲۵
۲۷۹/۹۶۱	۱۵۶۱۳/۴۰۳	۰/۱۸۲	۰/۸۸۱	۰/۱	۰/۹
۲۶۲/۴۷۵	۱۴۹۵۴/۷۸۱	۰/۲۲۵	۰/۸۵۰	۰/۱۲۵	۰/۸۷۵
۲۴۵/۴۸۵	۱۴۳۰۰/۳۸۱	۰/۲۶۶	۰/۸۱۹	۰/۱۵	۰/۸۵
۲۲۹/۰۷۲	۱۳۶۵۲/۳۱۴	۰/۳۰۶	۰/۷۸۸	۰/۱۷۵	۰/۸۲۵
۲۱۳/۲۳۶	۱۳۰۰۸/۴۶۹	۰/۳۴۴	۰/۷۵۸	۰/۲	۰/۸
۱۹۷/۸۹۵	۱۲۳۷۰/۹۵۷	۰/۳۸۱	۰/۷۲۸	۰/۲۲۵	۰/۷۷۵
۱۸۳/۱۳۲	۱۱۷۳۹/۷۷۸	۰/۴۱۷	۰/۶۹۸	۰/۲۵	۰/۷۵
۱۶۸/۹۴۶	۱۱۱۱۴/۹۳۱	۰/۴۵۲	۰/۶۶۸	۰/۲۷۵	۰/۷۲۵
۱۵۵/۲۹۶	۱۰۴۹۸/۵۲۹	۰/۴۸۵	۰/۶۳۹	۰/۳	۰/۷
۱۴۲/۱۴۰	۹۸۸۸/۴۵۹	۰/۵۱۷	۰/۶۱۰	۰/۳۲۵	۰/۶۷۵
۱۲۹/۵۶۲	۹۲۸۶/۸۳۳	۰/۵۴۷	۰/۵۸۱	۰/۳۵	۰/۶۵
۱۱۷/۵۶۲	۸۶۹۵/۷۶۲	۰/۵۷۶	۰/۵۵۳	۰/۳۷۵	۰/۶۲۵
۱۰۶/۰۱۵	۸۱۱۱/۰۲۴	۰/۶۰۴	۰/۵۲۶	۰/۴	۰/۶
۹۵/۰۰۴	۷۵۳۶/۸۴۱	۰/۶۳۱	۰/۴۹۹	۰/۴۲۵	۰/۵۷۵
۸۴/۵۳۰	۶۹۷۳/۲۱۳	۰/۶۵۶	۰/۴۷۲	۰/۴۵	۰/۵۵
۷۴/۵۰۹	۶۴۱۸/۰۲۸	۰/۶۸۱	۰/۴۴۶	۰/۴۷۵	۰/۵۲۵
۶۴/۹۴۱	۵۸۷۱/۲۸۸	۰/۷۰۴	۰/۴۲۰	۰/۵	۰/۵
۵۵/۸۶۹	۵۳۳۷/۲۱۳	۰/۷۲۶	۰/۳۹۴	۰/۵۲۵	۰/۴۷۵
۴۷/۲۵۰	۴۸۱۱/۵۸۲	۰/۷۴۷	۰/۳۶۹	۰/۵۵	۰/۴۵
۳۹/۰۰۲	۴۲۹۴/۳۹۵	۰/۷۶۷	۰/۳۴۵	۰/۵۷۵	۰/۴۲۵
۳۱/۲۴۹	۳۷۸۹/۸۷۴	۰/۷۸۶	۰/۳۲۱	۰/۶	۰/۴
۲۳/۸۶۷	۳۲۹۳/۷۹۷	۰/۸۰۳	۰/۲۹۸	۰/۶۲۵	۰/۳۷۵
۱۶/۸۵۷	۲۸۰۸/۲۷۴	۰/۸۲۰	۰/۲۷۵	۰/۶۵	۰/۳۵
۱۰/۲۵۸	۲۳۳۳/۳۰۶	۰/۸۳۶	۰/۲۵۲	۰/۶۷۵	۰/۳۲۵
۳/۹۴۹	۱۸۶۶/۷۸۳	۰/۸۵۲	۰/۲۳۰	۰/۷	۰/۳
−۱/۹۴۷	۱۴۱۲/۹۲۵	۰/۸۶۶	۰/۲۰۸	۰/۷۲۵	۰/۲۷۵
−۷/۵۵۶	۹۶۵/۳۹۹	۰/۸۸۰	۰/۱۸۷	۰/۷۵	۰/۲۵
−۱۲/۸۳۴	۵۲۸/۴۲۹	۰/۸۹۲	۰/۱۶۷	۰/۷۷۵	۰/۲۲۵

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

-۱۷/۸۲۴	۱۰۲/۰۱۴	۰/۹۰۵	۰/۱۴۶	۰/۸	۰/۲
-۲۲/۵۲۶	-۳۱۵/۹۵۷	۰/۹۱۶	۰/۱۲۷	۰/۸۲۵	۰/۱۷۵
-۲۶/۹۷۹	-۷۲۵/۴۸۴	۰/۹۲۷	۰/۱۰۷	۰/۸۵	۰/۱۵
-۳۱/۱۴۵	-۱۱۲۴/۴۵۷	۰/۹۳۷	۰/۰۸۸	۰/۸۷۵	۰/۱۲۵
۱۸۵/۰۷۰	۱۱۸۲۲/۱۰۶	۰/۴۱۳	۰/۷۰۲	۰/۹	۰/۱
-۳۸/۷۷۴	-۱۸۹۹/۱۸۲	۰/۹۵۵	۰/۰۵۲	۰/۹۲۵	۰/۰۷۵
-۴۲/۲۳۸	-۲۲۷۲/۸۲۴	۰/۹۶۴	۰/۰۳۴	۰/۹۵	۰/۰۵
-۴۵/۴۹۶	-۲۶۳۸/۰۲۱	۰/۹۷۲	۰/۰۱۷	۰/۹۷۵	۰/۰۲۵
-۴۸/۵۸۹	-۲۹۹۶/۸۸۶	۰/۹۷۹	۰	۱	۰
نتایج راه حل نامتقارن ضررهای یکسان					
۳۲۷/۱۶۱	۱۶۹۸۹/۲۱۹	۰/۰۱۲	۱	۰	۱
۳۱۱/۷۳۲	۱۶۴۴۶/۴۳۷	۰/۰۴۸	۰/۹۷۵	۰/۰۲۵	۰/۹۷۵
۲۹۶/۹۳۹	۱۵۹۱۷/۰۰۲	۰/۰۸۳	۰/۹۵۱	۰/۰۵	۰/۹۵
۲۸۲/۶۵۵	۱۵۳۹۶/۴۶۵	۰/۱۱۷	۰/۹۲۸	۰/۰۷۵	۰/۹۲۵
۲۶۸/۹۲۱	۱۴۸۸۷/۰۵۱	۰/۱۴۹	۰/۹۰۵	۰/۱	۰/۹
۲۵۵/۶۵۴	۱۴۳۸۶/۵۳۵	۰/۱۸۱	۰/۸۸۳	۰/۱۲۵	۰/۸۷۵
۲۴۲/۸۵۳	۱۳۸۹۴/۹۱۷	۰/۲۱۱	۰/۸۶۰	۰/۱۵	۰/۸۵
۲۳۰/۳۴۹	۱۳۴۰۷/۷۴۸	۰/۲۴۰	۰/۸۳۹	۰/۱۷۵	۰/۸۲۵
۲۱۸/۲۶۹	۱۲۹۲۷/۲۵۲	۰/۲۶۹	۰/۸۱۷	۰/۲	۰/۸
۲۰۶/۴۸۵	۱۲۴۵۱/۲۰۶	۰/۲۹۷	۰/۷۹۶	۰/۲۲۵	۰/۷۷۵
۱۹۴/۹۹۸	۱۱۹۷۷/۳۸۴	۰/۳۲۴	۰/۷۷۴	۰/۲۵	۰/۷۵
۱۸۳/۸۵۰	۱۱۵۱۰/۲۳۶	۰/۳۵۰	۰/۷۵۳	۰/۲۷۵	۰/۷۲۵
۱۷۲/۹۱۴	۱۱۰۴۳/۰۸۷	۰/۳۷۶	۰/۷۳۲	۰/۳	۰/۷
۱۶۲/۲۳۳	۱۰۵۷۸/۱۶۴	۰/۴۰۱	۰/۷۱۱	۰/۳۲۵	۰/۶۷۵
۱۵۱/۸۰۶	۱۰۱۱۵/۴۶۴	۰/۴۲۶	۰/۶۹۱	۰/۳۵	۰/۶۵
۱۴۱/۵۴۸	۹۶۵۲/۷۶۵	۰/۴۵۰	۰/۶۷۰	۰/۳۷۵	۰/۶۲۵
۱۳۱/۵۰۲	۹۱۹۰/۰۶۵	۰/۴۷۴	۰/۶۴۹	۰/۴	۰/۶
۱۲۱/۶۲۶	۸۷۲۵/۱۴۱	۰/۴۹۷	۰/۶۲۸	۰/۴۲۵	۰/۵۷۵
۱۱۱/۸۷۷	۸۲۵۷/۹۹۳	۰/۵۲۰	۰/۶۰۷	۰/۴۵	۰/۵۵
۱۰۲/۳۴۰	۷۷۹۰/۸۴۵	۰/۵۴۲	۰/۵۸۶	۰/۴۷۵	۰/۵۲۵
۹۲/۸۸۸	۷۳۱۷/۰۲۳	۰/۵۶۵	۰/۵۶۵	۰/۵	۰/۵
۸۳/۵۶۲	۶۸۴۰/۹۷۶	۰/۵۸۷	۰/۵۴۳	۰/۵۲۵	۰/۴۷۵
۷۴/۳۶۴	۶۳۵۸/۲۵۷	۰/۶۰۸	۰/۵۲۲	۰/۵۵	۰/۴۵
۶۵/۲۰۹	۵۸۶۸/۸۶۳	۰/۶۳۰	۰/۵۰۰	۰/۵۷۵	۰/۴۲۵
۵۶/۱۸۰	۵۳۷۰/۵۷۱	۰/۶۵۱	۰/۴۷۷	۰/۶	۰/۴
۴۷/۱۹۴	۴۸۶۵/۶۰۶	۰/۶۷۳	۰/۴۵۵	۰/۶۲۵	۰/۳۷۵
۳۸/۲۹۳	۴۳۴۹/۵۱۹	۰/۶۹۴	۰/۴۳۱	۰/۶۵	۰/۳۵
۲۹/۳۹۲	۳۸۲۰/۰۸۴	۰/۷۱۵	۰/۴۰۸	۰/۶۷۵	۰/۳۲۵
۲۰/۵۷۵	۳۲۷۷/۳۰۲	۰/۷۳۵	۰/۳۸۳	۰/۷	۰/۳
۱۱/۷۵۹	۲۷۱۸/۹۴۸	۰/۷۵۶	۰/۳۵۸	۰/۷۲۵	۰/۲۷۵
۲/۹۴۲	۲۱۴۰/۵۷۴	۰/۷۷۷	۰/۳۳۲	۰/۷۵	۰/۲۵
-۵/۹۵۸	۱۵۳۷/۷۳۱	۰/۷۹۸	۰/۳۰۵	۰/۷۷۵	۰/۲۲۵
-۱۴/۸۱۷	۹۱۰/۴۱۷	۰/۸۱۹	۰/۲۷۷	۰/۸	۰/۲
-۲۳/۷۶۱	۲۵۱/۹۶۰	۰/۸۴۰	۰/۲۴۷	۰/۸۲۵	۰/۱۷۵
-۳۲/۷۸۹	-۴۴۶/۵۳۷	۰/۸۶۱	۰/۲۱۶	۰/۸۵	۰/۱۵
-۴۱/۹۰۳	-۱۱۹۱/۷۵۰	۰/۸۸۳	۰/۱۸۲	۰/۸۷۵	۰/۱۲۵
-۵۱/۲۲۸	-۱۹۹۷/۰۲۴	۰/۹۰۵	۰/۱۴۶	۰/۹	۰/۱
-۶۰/۷۲۲	-۲۸۷۷/۹۳۳	۰/۹۲۷	۰/۱۰۶	۰/۹۲۵	۰/۰۷۵
-۷۰/۵۱۴	-۳۸۶۵/۶۱۸	۰/۹۵۰	۰/۰۶۲	۰/۹۵	۰/۰۵
-۸۰/۶۴۴	-۵۰۰۲/۳۴۵	۰/۹۷۴	۰/۰۱۱	۰/۹۷۵	۰/۰۲۵
-۸۲/۷۶۴	-۵۲۵۵/۹۴۰	۰/۹۷۹	۰	۱	۰
نتایج راه حل نامتقارن کلی- اسمردینسکای					
۳۰۹/۱۹۶	۱۶۱۳۲/۸۸۳	۰	۰/۹۹۹	۰	۱
۲۹۹/۴۱۳	۱۶۰۰۱/۲۳۹	۰/۰۲۵	۰/۹۹۳	۰/۰۲۵	۰/۹۷۵
۲۸۹/۴۷۱	۱۵۶۴۴/۷۸۶	۰/۰۵۱	۰/۹۷۵	۰/۰۵	۰/۹۵
۲۷۹/۳۶۴	۱۵۲۸۴/۲۸۲	۰/۰۷۷	۰/۹۵۸	۰/۰۷۵	۰/۹۲۵
۲۶۹/۱۰۰	۱۴۹۱۱/۶۲۷	۰/۱۰۴	۰/۹۳۹	۰/۱	۰/۹

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۲۵۸/۶۹۲	۱۴۵۲۴/۷۹۴	۰/۱۳۱	۰/۹۲۰	۰/۱۲۵	۰/۸۷۵
۲۴۸/۱۱۰	۱۴۱۳۵/۹۳۷	۰/۱۵۹	۰/۹۰۱	۰/۱۵	۰/۸۵
۲۳۷/۴۲۴	۱۳۷۲۴/۸	۰/۱۸۶	۰/۸۸۱	۰/۱۷۵	۰/۸۲۵
۲۲۶/۶۱۴	۱۳۳۰۱/۵۱۳	۰/۲۱۵	۰/۸۶۰	۰/۲	۰/۸
۲۱۵/۶۶۹	۱۲۸۷۰/۱۲۳	۰/۲۴۳	۰/۸۳۸	۰/۲۲۵	۰/۷۷۵
۲۰۴/۵۹۱	۱۲۴۳۰/۶۳۳	۰/۲۷۲	۰/۸۱۷	۰/۲۵	۰/۷۵
۱۹۳/۳۹۷	۱۱۹۸۱/۰۱۶	۰/۳۰۱	۰/۷۹۴	۰/۲۷۵	۰/۷۲۵
۱۸۲/۱۶۱	۱۱۵۱۳/۱۷۲	۰/۳۳۰	۰/۷۷۱	۰/۳	۰/۷
۱۷۰/۸۹۷	۱۱۰۲۹/۱۲۵	۰/۳۶۰	۰/۷۴۷	۰/۳۲۵	۰/۶۷۵
۱۵۹/۴۹۳	۱۰۵۴۳/۰۵۲	۰/۳۸۹	۰/۷۲۳	۰/۳۵	۰/۶۵
۱۴۸/۰۹۹	۱۰۰۴۰/۷۷۸	۰/۴۱۹	۰/۶۹۹	۰/۳۷۵	۰/۶۲۵
۱۳۶/۷۵۴	۹۵۲۲/۳	۰/۴۴۹	۰/۶۷۳	۰/۴	۰/۶
۱۲۵/۳۶۳	۸۹۹۷/۷۴۷	۰/۴۷۸	۰/۶۴۷	۰/۴۲۵	۰/۵۷۵
۱۱۴/۰۹۱	۸۴۵۶/۹۹۲	۰/۵۰۸	۰/۶۲۰	۰/۴۵	۰/۵۵
۱۰۲/۸۲۷	۷۹۱۰/۱۶۱	۰/۵۳۷	۰/۵۹۳	۰/۴۷۵	۰/۵۲۵
۹۱/۶۶۶	۷۳۵۳/۲۰۳	۰/۵۶۶	۰/۵۶۶	۰/۵	۰/۵
۸۰/۷۸۱	۶۷۸۰/۰۴۳	۰/۵۹۴	۰/۵۳۸	۰/۵۲۵	۰/۴۷۵
۶۹/۸۹۴	۶۲۰۶/۸۸۲	۰/۶۲۳	۰/۵۰۹	۰/۵۵	۰/۴۵
۵۹/۱۶۱	۵۶۲۷/۶۴۶	۰/۶۵۱	۰/۴۸۱	۰/۵۷۵	۰/۴۲۵
۴۸/۹۲۰	۵۰۳۲/۲۰۸	۰/۶۷۷	۰/۴۵۱	۰/۶	۰/۴
۳۸/۸۲۰	۴۴۳۶/۷۶۹	۰/۷۰۴	۰/۴۲۲	۰/۶۲۵	۰/۳۷۵
۲۸/۸۸۹	۳۸۴۱/۳۳۱	۰/۷۲۹	۰/۳۹۳	۰/۶۵	۰/۳۵
۱۹/۴۸۷	۳۲۳۷/۷۹۱	۰/۷۵۴	۰/۳۶۳	۰/۶۷۵	۰/۳۲۵
۱۰/۴۲۵	۲۶۳۴/۲۵۱	۰/۷۷۷	۰/۳۳۳	۰/۷	۰/۳
۱/۴۹۳	۲۰۳۶/۷۸۷	۰/۸۰۱	۰/۳۰۳	۰/۷۲۵	۰/۲۷۵
-۶/۷۲۹	۱۴۳۵/۲۷۳	۰/۸۲۲	۰/۲۷۴	۰/۷۵	۰/۲۵
-۱۴/۶۴۰	۸۳۹/۸۳۴	۰/۸۴۳	۰/۲۴۴	۰/۷۷۵	۰/۲۲۵
-۲۲/۳۲۱	۲۵۲/۴۹۷	۰/۸۶۳	۰/۲۱۵	۰/۸	۰/۲
-۲۹/۱۹۶	-۳۳۲/۸۱۴	۰/۸۸۱	۰/۱۸۶	۰/۸۲۵	۰/۱۷۵
-۳۵/۹۶۸	-۹۰۵/۹۷۴	۰/۸۹۸	۰/۱۵۸	۰/۸۵	۰/۱۵
-۴۲/۴۴۶	-۱۴۶۹/۰۰۸	۰/۹۱۵	۰/۱۳۰	۰/۸۷۵	۰/۱۲۵
-۴۷/۸۶۱	-۲۰۲۵/۹۶۶	۰/۹۲۹	۰/۱۰۳	۰/۹	۰/۱
-۵۳/۱۶۱	-۲۵۶۸/۷۴۶	۰/۹۴۳	۰/۰۷۶	۰/۹۲۵	۰/۰۷۵
-۵۷/۸۴۷	-۳۰۹۹/۳۷۵	۰/۹۵۵	۰/۰۵	۰/۹۵	۰/۰۵
-۶۲/۲۶۳	-۳۶۱۵/۸۲۷	۰/۹۶۷	۰/۰۲۴	۰/۹۷۵	۰/۰۲۵
-۷۴/۸۶۰	-۴۱۱۸/۱۰۲	۱	۰	۱	۰

منبع: یافته‌های تحقیق

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

۱- بایی ن. و پارسامقدم م. ۱۳۸۷. پیشنهاد قیمت بهینه در بازار برق با استفاده از تئوری بازی‌ها. مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، ۶(۳): ۲۲۰-۲۱۵.

۲- خان محمدی س. جاسبی ج. و پورابراهیمی ع. ۱۳۸۶. توسعه روش برآورد ماتریس نتیجه در بازی‌های چند هدفه غیر مشارکتی، مبتنی بر احتمال و امکان. جستارهای اقتصادی، ۴(۷): ۱۹۶-۱۶۹.

۳- خلیلیان ص. و زارع مهرجردی م. ۱۳۸۴. ارزشگذاری آب‌های زیری زمینی در بهره‌برداری‌های کشاورزی. فصلنامه اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۵۱: ۷۱-۸۶.

۴- سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان شمالی.۱۳۸۵.

۵- عزیزی ق. ۱۳۸۲. ارتباط خشکسالی های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین. پژوهشهای جغرافیایی، ۴۶ :۱۳۱ -۱۴۳.

۶- فرج زاده م. و ولایتی س. و حسینی آ. ۱۳۸۴. تحلیل بحران آب در دشت نیشابور با رویکرد برنامه ریزی محیطی. گزارش شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان.

۷- گودرزی ر. و همایونی فر م. ۱۳۸۷. کاربرد نظریه بازی‌ها در کشت محصولات زراعی استان فارس. پژوهشهای اقتصادی، ۱۰(۳۴):۱۴۴-۱۲۵.

۸- هندرسون ج.م. و کوانت ر.ا. ۱۹۲۹. تئوری اقتصاد خرد (تقرب ریاضی). ترجمه مرتضی قره باغیان، جمشید پژویان.تهران، خدمات فرهنگی

رسا،۱۳۸۱.
9- Anbarci N. 1993. Noncooperative Foundations of the Area Monotonic Solution. Quarterly Journal of Economics, 108: 245–258.
10- Bailey M., Sumaila U.R., and Lindroos M. 2010. Application of game theory to fisheries over three decades. Fisheries Research, 102(1-2): 1-8.
11- Chun Y. 1988. Equal-loss principle for bargaining problems. Economics Letters. 26: 103–106.
12- Ellise E.M. 1998. Agricultural groundwater conservation program in the phoenix active management area. M.S. Thesis, University of Arizona, Tucson, AZ.
13- Ganji A., Khalili D., and Karamouz. M. 2007. Development of stochastic dynamic Nash game model for reservoir operation. I. The symmetric stochastic model with perfect information. Advances in Water Resources, 30:528–542.
14- Harsanyi J.C., and Selten R. 1972. A generalized Nash solution for two-person bargaining games with incomplete information. Management Science, 18: 80–106.
15- Kalai E., and Smorodinsky M. 1975. Other solutions to Nash's Bargaining problem. Econometrica, 43: 513–518.
16- Kerachian R., Fallahnia M., Bazargan-Lari M.R., Mansoori A., and Sedghi H. 2009. A fuzzy game theoretic approach for groundwater resources management: Application of Rubinstein Bargaining Theory. Resources, Conservation and Recycling, In Press, Corrected Proof, Available online
17- Nakas 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, Long Beach, CA, July 18–31.
18- Salazar R., Szidarovszky F., Coppola Jr E., and Rojano A. 2007. Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. Journal of Environmental Management, 84: 560–571.
19- Wei S., Yang H., Abbaspour K., Mousavi J., and Gnauck A. 2010. Game theory based models to analyze water conflicts in the Middle Route of the South-to-North Water Transfer Project in China. Water Research, In Press, Corrected Proof, and Available online.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی