

## کاربرد نظریه بازی در مدیریت منابع آب زیرزمینی حوزه آبریز اترک

محمود صیوحی<sup>۱\*</sup> - عصمت مجرد<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۷/۳/۱

تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۳۱

### چکیده

حوزه آبریز اترک در استان خراسان شمالی یک ناحیه 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

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 حوزه آبریز اترک نشان داده شده است، همانگونه که ملاحظه می‌شود در تمام دشت‌های حوزه 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<sup>۳</sup> 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.

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 بحران‌های آبی شدیدی را موجب می‌شوند که از تبعات اجتماعی، اقتصادی و سیاسی برخوردار می‌باشد (۶).

حوزه 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

۱ و ۲- به ترتیب استادیار و دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل  
(\* نویسنده مسئول: Email: msabuhi39@yahoo.com)

(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

در مطالعه حاضر به منظور مدیریت منابع آب زیرزمینی حوزه آبریز اترک از نظریه بازی کمک گرفته شد. متأسفانه 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<sup>۱</sup> تعیین شد که عبارتند از: راه حل نامتقارن ناش<sup>۲</sup>، راه حل نامتقارن کلی - اسمردینسکای<sup>۳</sup>، راه حل نامتقارن سطوح همگن<sup>۴</sup> و راه‌حل نامتقارن ضررهای یکسان<sup>۵</sup>.

## 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)

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. عزیز (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 پرداخته‌اند.

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 ارائه 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).

- 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

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

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

$$C_p = \left[ \frac{h * a}{\eta} \right] C_e + C_r \quad (5)$$

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)،  $\eta$  راندمان پمپ و  $C_r$  هزینه تعمیر و نگهداری (ریال) می‌باشد. حاصل ضرب 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  $S \subseteq R^2$  تعریف می‌شود که  $d \in R^2$  مجموعه‌ای از منافع ممکن و  $d \in R^2$  مجموعه‌ای از بدترین نتایج ممکن می‌باشد. هر یک 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 اکیدا 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).

$$S_+ = \{f = (f_1, f_2) / f \in S, f \geq d\} \quad (6)$$

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.

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 تخلیه آب زیرزمینی در حوزه‌ی

آبریز اترک (واحد میلیون متر مکعب)						
سناریوها	۱	۲	۳	۴	۵	۶
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):

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

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.

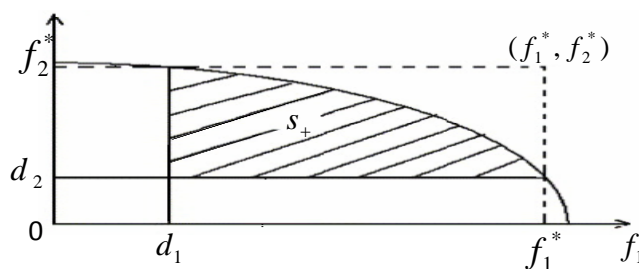
$$\sum_{j=1}^n A_j \leq A \quad (2)$$

$$\text{Min } area_j \leq A_j \leq \text{Max } area_j \quad (3)$$

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.

$$\sum_{j=1}^n \alpha_j A_{c_j} \leq Q_g \quad (4)$$



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

می‌شود که بین نقطه‌ی عدم توافق  $(d_1, d_2)$  و نقطه‌ی ایده-ال  $(f_1^*, f_2^*)$  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:

$$d_2 + \{(f_2^* - d_2)/(f_1^* - d_1)\}(f_1 - d_1) - g(f_1) = 0 \quad (10)$$

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  $f_1$  و  $f_2$  در طول پاره‌خطی که نقطه‌ی عدم توافق و نقطه‌ی ایده-ال 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):

$$\overline{g}(f_1) = (w_2/w_1) \overline{f}_1 \quad (11)$$

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 نقطه‌ی 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؛ 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):

$$w_2 \left[ \int_{d_1}^x g(t) dt - 1/2(x - d_1)(g(x) + d_2) \right] = w_1 \left[ \int_x^{f_1^*} g(t) dt - (f_1^* - x)d_2 + 1/2(x - d_1)(g(x) - d_2) \right] \quad (12)$$

در فاصله‌ی  $(d_1, f_1^*)$ .

در راه حل ناش بایستی مجموعه شرایط معینی را رعایت نمود که این شرایط از نقطه نظرهای مختلف، راه حل بی طرفانه‌ای 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) پیشنهاد 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:

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } (f_1 - d_1)(f_2 - d_2) \\ & \text{subject to } d_1 \leq f_1 \leq f_1^* \\ & f_2 = g(f_1) \end{aligned} \quad (7)$$

توجه شود که 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 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:

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } (f_1 - d_1)(g(f_1) - d_2) \\ & \text{subject to } d_1 \leq f_1 \leq f_1^* \end{aligned} \quad (8)$$

**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).

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } (f_1 - d_1)^w (f_2 - d_2)^w \\ & \text{subject to } d_1 \leq f_1 \leq f_1^* \\ & f_2 = g(f_1) \end{aligned} \quad (9)$$

راه حل نامتقارن کلی-اسمردینسکای، بدین صورت تعریف

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

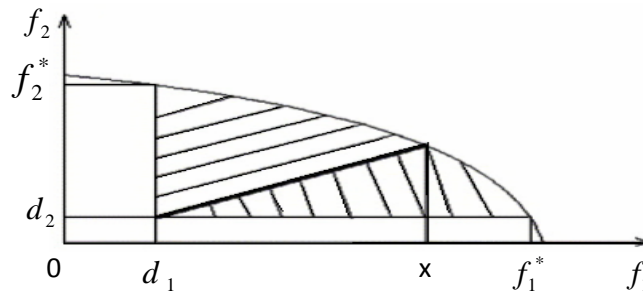
مدل برنامه‌ریزی خطی برای هر سناریوی استخراج آب زیرزمینی به کار گرفته شد که خلاصه‌ای از نتایج آن در جدول ۳ آمده است در ردیف اول جدول، ۶ سناریوی مختلف میزان تخلیه آب زیرزمینی از ۱۲ تا ۳۰۷/۱ میلیون متر مکعب و در ردیف دوم، درآمد خالص کشاورزان بر اساس الگوی کشت منطقه متناظر با هر سناریوی تخلیه آب زیر زمینی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

در نمودار ۲، 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 وزن‌های 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:

$$(f_1^* - x)w_1 = (f_2^* - g(x))w_2 \quad (13)$$



(شکل ۲) - راه حل نامتقارن سطوح همگن

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

سناریوها	۱	۲	۳	۴	۵	۶
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 ۴) - 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 زیر کشت (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

ماتریس منافع از تابع  $NORMDIST^1$  در EXCEL استفاده شد که توزیع تجمعی نرمال را برای میانگین و انحراف 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 زیان‌بارتری 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

زمانی که آب موجود کاهش می‌یابد سطح زیر کشت بهینه‌ی کاهش می‌یابد که بدین معنی است که اغلب محصولات کشت شده از نیاز آبی بالایی برخوردارند. بنابراین دارای سودآوری کمتری می‌باشند. قابل ذکر است که هزینه پمپاژ آب بر طبق رابطه ۵، مقدار ۵/۲۸ 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

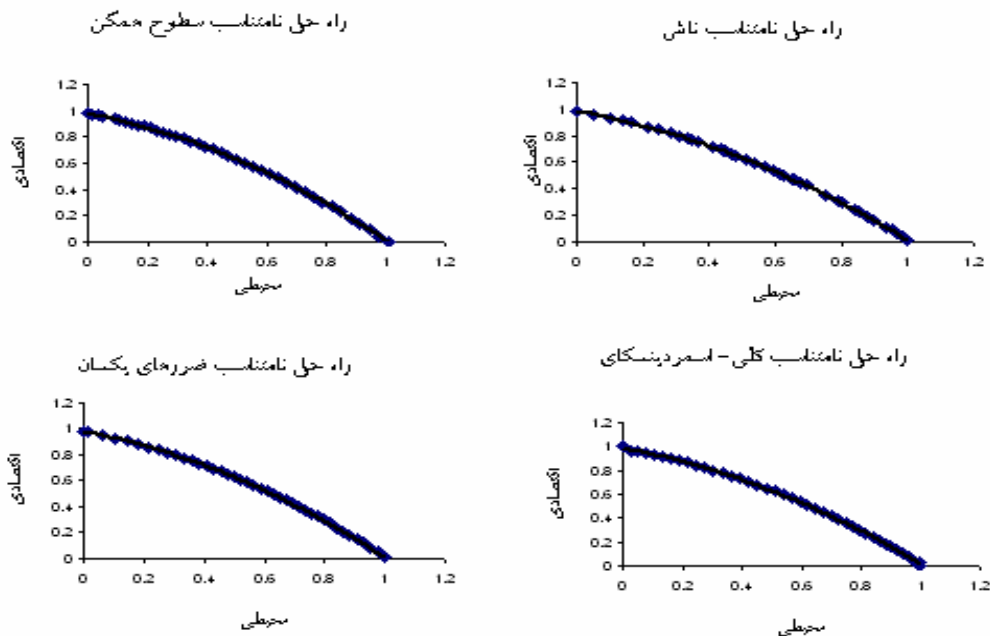
1- Normal cumulative distribution

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.

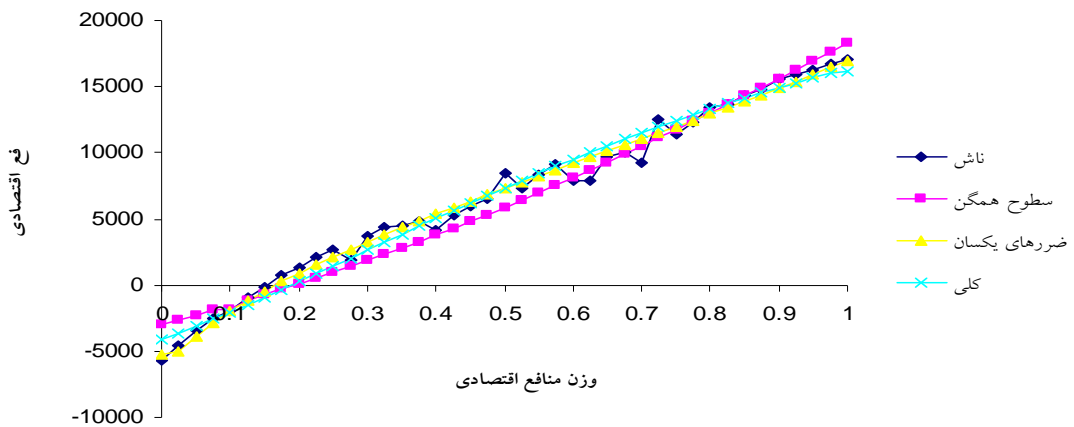
در بین ۶ سناریوی استخراج آب زیرزمینی، سناریوی ۲ (۸۳ میلیون متر مکعب) به نتایج بهینه‌ی جدول ۷ نزدیکتر هستند. بنابراین زمانی که هر دو هدف محیطی و اقتصادی دارای اهمیت یکسانی می‌باشند میزان بهینه تخلیه آب زیرزمینی حدود ۹۱ میلیون متر مکعب می‌باشد.

مختلف رسم شده است. با توجه به نتایج عددی جدول ۶ (پیوست)، مشاهده شد که در راه حل نامتقارن کلی - اسمردینسکای، جواب‌های 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 نمودار ۴ درآمد خالص بدست آمده در وزن‌های مختلف، برای چهار روش رسم شده است. تقریباً در تمامی روش‌ها، با افزایش وزن‌های اقتصادی درآمد خالص به طور خطی افزایش یافت. زمانی که



(شکل ۳) - مرز یاراتو برای اهداف نرمال شده



(شکل ۴) - منافع اقتصادی کشاورزان در وزن‌های مختلف به ۴ روش

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

وزن اثرات محیطی	راه حل نامتناسب	راه حل سطوح	راه حل نامتناسب کلی -	راه حل نامتناسب ضررهای
ناش	همگن	اسمردینسکای	یکسان	
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 تصمیم‌گیری 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 ۶) - نتایج بهینه برای دو هدف اقتصادی و محیطی به روش‌های مختلف

وزن منافع اقتصادی $W_1$	وزن اثرات محیطی $W_2$	منافع اقتصادی $f_1$	منافع محیطی $f_2$	درآمد خالص (میلیون ریال)	استخراج آب زیر زمینی (میلیون متر مکعب)
نتایج راه حل نامتقارن ناش					
۱	۰	-۰/۹۹۹	-۰/۱۲	۱۷۰۷۳/۰۲۸	۳۲۵/۷۹۶
۰/۹۷۵	۰/۰۲۵	-۰/۹۸۶	-۰/۰۳۵	۱۶۷۶۹/۵۰۵	۳۱۶/۰۹۸
۰/۹۵	۰/۰۵	-۰/۹۶۳	-۰/۰۶۹۵	۱۶۲۴۰/۰۴۵	۳۰۱/۵۲۸
۰/۹۲۵	۰/۰۷۵	-۰/۹۵۰	-۰/۰۸۷	۱۵۹۵۲/۴۹۴	۲۹۳/۷۷۸
۰/۹	۰/۱	-۰/۹۳۲	-۰/۱۱۴	۱۵۵۳۹/۴۲۶	۲۸۲/۶۸۲
۰/۸۷۵	۰/۱۲۵	-۰/۸۹۸	-۰/۱۶۱	۱۴۶۶۵/۷۷۸	۲۶۲/۵۲۲
۰/۸۵	۰/۱۵	-۰/۸۸	-۰/۱۸۷	۱۴۳۳۶/۷۳۵	۲۵۱/۳۸۴
۰/۸۲۵	۰/۱۷۵	-۰/۸۵	-۰/۲۲۸	۱۳۶۵۲/۰۹۱	۲۳۴/۱۴۷
۰/۸	۰/۲	-۰/۸۴۱	-۰/۲۴۰	۱۳۴۵۳/۵۴۴	۲۲۹/۲۷۶
۰/۷۷۵	۰/۲۲۵	-۰/۷۸۹	-۰/۳۰۷	۱۲۲۸۰/۵۲۱	۲۰۰/۸۵۸
۰/۷۵	۰/۲۵	-۰/۷۵۱	-۰/۳۵۵	۱۱۳۹۵/۰۴۸	۱۸۰/۴۰۲
۰/۷۲۵	۰/۲۷۵	-۰/۷۹۹	-۰/۲۹۴	۱۲۵۰۸/۷۳۶	۲۰۶/۳۲۱
۰/۷	۰/۳	-۰/۶۵۷	-۰/۴۶۷	۹۲۴۹/۸۳۰۷	۱۳۳/۹۶۸
۰/۶۷۵	۰/۳۲۵	-۰/۶۹۲	-۰/۴۲۶	۱۰۰۶۶/۸۳۹	۱۵۰/۵۲۲
۰/۶۵	۰/۳۵	-۰/۶۷۸	-۰/۴۴۳	۹۷۳۵/۹۲۷	۱۴۳/۳۴۴
۰/۶۲۵	۰/۳۷۵	-۰/۵۹۶	-۰/۵۳۴	۷۸۶۴/۵۶۷	۱۰۴/۶۳۵
۰/۶	۰/۴	-۰/۵۹۶	-۰/۵۳۴	۷۸۶۴/۵۶۷	۱۰۴/۵۹۲



-/۵۷۵	-/۴۲۵	-/۶۵۲	-/۴۷۳	۹۱۳۵/۷۳۳	۱۳۰/۴۲۷
-/۵۵	-/۴۵	-/۶۱۵	-/۵۱۴	۸۳۰-/۴۵۷	۱۱۳/۲۷۴
-/۵۲۵	-/۴۷۵	-/۵۷۱	-/۵۶۱	۷۲۹۴/-۳۱	۹۳/۲۴۲
-/۵	-/۵	-/۶۲۴	-/۵۰۴	۸۵۰۸/۱۳۳	۱۱۷/۴۶۷
-/۴۷۵	-/۵۲۵	-/۵۲۵	-/۵۹۴	۶۵۶۶/-۲۶	۷۹/۳۵۱
-/۴۵	-/۵۵	-/۵۱۰	-/۶۲۲	۵۹۰۸/۷۶۸	۶۷/۲۳۸
-/۴۲۵	-/۵۷۵	-/۴۸۱	-/۶۵۰	۵۲۴۹/۲۲۸	۵۵/۳۷۹
-/۴	-/۶	-/۴۳۴	-/۶۹۴	۴۱۶۲/۹۲۶	۳۶/۸۷۲
-/۳۷۵	-/۶۲۵	-/۴۶۵	-/۶۶۵	۴۸۷۷/۲۳۸	۴۹/۰۲۷
-/۳۵	-/۶۵	-/۴۴۶	-/۶۸۳	۴۴۳۶/۷۸۴	۴۱/۴۸۸
-/۳۲۵	-/۶۷۵	-/۴۴۱	-/۶۸۷	۴۳۳۶/۳۶۹	۳۹/۷۹۴
-/۳	-/۷	-/۴۱۲	-/۷۱۳	۳۶۶۳/۱۳۶	۲۸/۶۵۵
-/۳۷۵	-/۷۲۵	-/۳۳۳	-/۷۷۹	۱۸۷۱/۶۵۱	-/۷۸۸
-/۲۵	-/۷۵	-/۳۶۷	-/۷۵۲	۲۶۳۶/۱۷۰	۱۲/۳۵۰
-/۲۲۵	-/۷۷۵	-/۳۴۵	-/۷۷۰	۲۱۳۷/۲۵۲	۴/۶۴۲
-/۲	-/۸	-/۳۰۷	-/۷۹۹	۱۲۷۱/۴۴۷	-/۷۸۰۹
-/۱۷۵	-/۸۲۵	-/۲۸۴	-/۸۱۷	۷۴۱/۹۸۹	-۱۵/-۹۳
-/۱۵	-/۸۵	-/۲۴۶	-/۸۴۴	-۱۱۶/-۹۷	-۲۶/۶۵۵
-/۱۲۵	-/۸۷۵	-/۲۱۲	-/۸۶۷	-۹۰/۱/۱۵۶	-۳۶/۵۶۶
-/۱	-/۹	-/۱۶۴	-/۸۹۸	-۱۹۸۷/۴۵۷	-۴۹/۳۹۸
-/۰۷۵	-/۹۲۵	-/۱۴۱	-/۹۱۱	-۲۵۰۷/۷۸۷	-۵۵/۲۴۳
-/۰۵	-/۹۵	-/۰۹۹	-/۹۳۵	-۳۴۷۹/۹۸۱	-۶۵/۳۶۵
-/۰۲۵	-/۹۷۵	-/۰۵۱	-/۹۶۰	-۴۵۶۶/۲۸۲	-۷۵/۸۲۶
.	۱	-/۰۰۰۲	-/۹۸۴	-۵۷۴۱/۵۸۸	-۸۵/۹۰۵

نتایج راه حل نامتقارن سطوح همگن

۱	.	۱	-/۰۰۰۲	۱۸۲۷۹/۵۵۵	۳۵۵/۳۰۴
-/۹۷۵	-/۰۲۵	-/۹۷۶	-/۰۴۷	۱۷۶۱۰/۳۷۸	۳۳۵/۷۵۷
-/۹۵	-/۰۵	-/۹۴۴	-/۰۹۴	۱۶۹۴۱/۲۰۲	۳۱۶/۶۲۲
-/۹۲۵	-/۰۷۵	-/۹۱۳	-/۱۳۹	۱۶۲۷۶/۲۴۷	۲۹۸/۰۶۵
-/۹	-/۱	-/۸۸۱	-/۱۸۲	۱۵۶۱۳/۴۰۳	۲۷۹/۹۶۱
-/۸۷۵	-/۱۲۵	-/۸۵۰	-/۲۲۵	۱۴۹۵۴/۷۸۱	۲۶۲/۴۷۵
-/۸۵	-/۱۵	-/۸۱۹	-/۲۶۶	۱۴۳۰۰/۳۸۱	۲۴۵/۴۸۵
-/۸۲۵	-/۱۷۵	-/۷۸۸	-/۳۰۶	۱۳۶۵۲/۳۱۴	۲۲۹/۰۷۲
-/۸	-/۲	-/۷۵۸	-/۳۴۴	۱۳۰۰۸/۴۶۹	۲۱۳/۲۳۶
-/۷۷۵	-/۲۲۵	-/۷۲۸	-/۳۸۱	۱۲۳۷۰/۹۵۷	۱۹۷/۸۹۵
-/۷۵	-/۲۵	-/۶۹۸	-/۴۱۷	۱۱۷۳۹/۷۷۸	۱۸۳/۱۳۲
-/۷۲۵	-/۲۷۵	-/۶۶۸	-/۴۵۲	۱۱۱۱۴/۹۳۱	۱۶۸/۹۴۶
-/۷	-/۳	-/۶۳۹	-/۴۸۵	۱۰۴۸۸/۵۲۹	۱۵۵/۲۹۶
-/۶۷۵	-/۳۲۵	-/۶۱۰	-/۵۱۷	۹۸۸۸/۴۵۹	۱۴۲/۱۴۰
-/۶۵	-/۳۵	-/۵۸۱	-/۵۴۷	۹۲۸۶/۸۳۳	۱۲۹/۵۶۲
-/۶۲۵	-/۳۷۵	-/۵۵۳	-/۵۷۶	۸۶۹۵/۷۶۲	۱۱۷/۵۶۲
-/۶	-/۴	-/۵۲۶	-/۶۰۴	۸۱۱۱/-۲۴	۱۰۶/۰۱۵
-/۵۷۵	-/۴۲۵	-/۴۹۹	-/۶۳۱	۷۵۳۶/۸۴۱	۹۵/۰۰۴
-/۵۵	-/۴۵	-/۴۷۲	-/۶۵۶	۶۹۷۳/۲۱۳	۸۴/۵۳۰
-/۵۲۵	-/۴۷۵	-/۴۴۶	-/۶۸۱	۶۴۱۸/-۲۸	۷۴/۵۰۹
-/۵	-/۵	-/۴۲۰	-/۷۰۴	۵۸۷۱/۲۸۸	۶۴/۹۴۱
-/۴۷۵	-/۵۲۵	-/۳۹۴	-/۷۳۶	۵۳۳۷/۲۱۳	۵۵/۸۶۹
-/۴۵	-/۵۵	-/۳۶۹	-/۷۴۷	۴۸۱۱/۵۸۲	۴۷/۲۵۰
-/۴۲۵	-/۵۷۵	-/۳۴۵	-/۷۶۷	۴۲۹۴/۳۹۵	۳۹/۰۰۲
-/۴	-/۶	-/۳۲۱	-/۷۸۶	۳۷۸۹/۸۷۴	۳۱/۲۴۹
-/۳۷۵	-/۶۲۵	-/۲۹۸	-/۸۰۳	۳۲۹۳/۷۹۷	۲۳/۸۶۷
-/۳۵	-/۶۵	-/۲۷۵	-/۸۲۰	۲۸۰۸/۲۷۴	۱۶/۸۵۷
-/۳۲۵	-/۶۷۵	-/۲۵۲	-/۸۳۶	۲۳۳۳/۳۰۶	۱۰/۲۵۸
-/۳	-/۷	-/۲۳۰	-/۸۵۲	۱۸۶۶/۷۸۳	۴/۹۴۹
-/۳۷۵	-/۷۲۵	-/۲۰۸	-/۸۶۶	۱۴۱۲/۹۲۵	-۱/۹۴۷
-/۲۵	-/۷۵	-/۱۸۷	-/۸۸۰	۹۶۵/۳۹۹	-۷/۵۵۶
-/۲۲۵	-/۷۷۵	-/۱۶۷	-/۸۹۲	۵۲۸/۴۲۹	-۱۲/۸۳۴

-/۲	-/۸	-/۱۴۶	-/۹۰۵	۱۰۲/۰۱۴	-۱۷/۸۲۴
-/۱۷۵	-/۸۲۵	-/۱۲۷	-/۹۱۶	-۳۱۵/۹۵۷	-۲۲/۵۲۶
-/۱۵	-/۸۵	-/۱۰۷	-/۹۲۷	-۷۲۵/۴۸۴	-۲۶/۹۷۹
-/۱۳۵	-/۸۷۵	-/۰۸۸	-/۹۳۷	-۱۱۳۴/۴۵۷	-۳۱/۱۴۵
-/۱	-/۹	-/۷۰۲	-/۴۱۳	۱۱۸۳۲/۱۰۶	۱۸۵/۰۷۰
-/۰۷۵	-/۹۲۵	-/۰۵۲	-/۹۵۵	-۱۸۹۹/۱۸۲	-۳۸/۷۷۴
-/۰۵	-/۹۵	-/۰۳۴	-/۹۶۴	-۲۲۷۲/۸۳۴	-۴۲/۲۳۸
-/۰۲۵	-/۹۷۵	-/۰۱۷	-/۹۷۲	-۲۶۳۸/۰۲۱	-۴۵/۴۹۶
.	۱	.	-/۹۷۹	-۲۹۹۶/۸۸۶	-۴۸/۵۸۹

نتایج راه حل نامتقارن ضررهای یکسان

۱	.	۱	-/۰۱۲	۱۶۹۸۹/۳۱۹	۳۲۷/۱۶۱
-/۹۷۵	-/۰۲۵	-/۹۷۵	-/۰۴۸	۱۶۴۴۶/۴۳۷	۳۱۱/۷۳۲
-/۹۵	-/۰۵	-/۹۵۱	-/۰۸۳	۱۵۹۱۷/۰۰۲	۲۹۶/۹۳۹
-/۹۳۵	-/۰۷۵	-/۹۲۸	-/۱۱۷	۱۵۳۹۶/۴۶۵	۲۸۲/۶۵۵
-/۹	-/۱	-/۹۰۵	-/۱۴۹	۱۴۸۸۷/۰۵۱	۲۶۸/۹۲۱
-/۸۷۵	-/۱۲۵	-/۸۸۳	-/۱۸۱	۱۴۳۸۶/۵۲۵	۲۵۵/۶۵۴
-/۸۵	-/۱۵	-/۸۶۰	-/۲۱۱	۱۳۸۹۴/۹۱۷	۲۴۲/۸۵۳
-/۸۲۵	-/۱۷۵	-/۸۳۹	-/۲۴۰	۱۳۴۰۷/۷۴۸	۲۳۰/۳۴۹
-/۸	-/۲	-/۸۱۷	-/۲۶۹	۱۲۹۳۷/۲۵۲	۲۱۸/۲۶۹
-/۷۷۵	-/۲۲۵	-/۷۹۶	-/۲۹۷	۱۲۴۵۱/۲۰۶	۲۰۶/۴۸۵
-/۷۵	-/۲۵	-/۷۷۴	-/۳۲۴	۱۱۹۷۷/۳۸۴	۱۹۴/۹۹۸
-/۷۳۵	-/۲۷۵	-/۷۵۳	-/۳۵۰	۱۱۵۱۰/۲۳۶	۱۸۳/۸۵۰
-/۷	-/۳	-/۷۳۲	-/۳۷۶	۱۱۰۴۳/۰۸۷	۱۷۲/۹۱۴
-/۶۷۵	-/۳۲۵	-/۷۱۱	-/۴۰۱	۱۰۵۷۸/۱۶۴	۱۶۲/۲۳۳
-/۶۵	-/۳۵	-/۶۹۱	-/۴۲۶	۱۰۱۱۵/۴۶۴	۱۵۱/۸۰۶
-/۶۲۵	-/۳۷۵	-/۶۷۰	-/۴۵۰	۹۶۵۲/۷۶۵	۱۴۱/۵۴۸
-/۶	-/۴	-/۶۴۹	-/۴۷۴	۹۱۹۰/۰۶۵	۱۳۱/۵۰۲
-/۵۷۵	-/۴۲۵	-/۶۲۸	-/۴۹۷	۸۷۲۵/۱۴۱	۱۲۱/۶۲۶
-/۵۵	-/۴۵	-/۶۰۷	-/۵۲۰	۸۲۵۷/۹۹۳	۱۱۱/۸۷۷
-/۵۲۵	-/۴۷۵	-/۵۸۶	-/۵۴۲	۷۷۹۰/۸۴۵	۱۰۲/۲۴۰
-/۵	-/۵	-/۵۶۵	-/۵۶۵	۷۳۱۷/۰۲۳	۹۲/۸۸۸
-/۴۷۵	-/۵۲۵	-/۵۴۳	-/۵۸۷	۶۸۴۰/۹۷۶	۸۳/۵۶۲
-/۴۵	-/۵۵	-/۵۲۲	-/۶۰۸	۶۳۵۸/۲۵۷	۷۴/۳۶۴
-/۴۲۵	-/۵۷۵	-/۵۰۰	-/۶۳۰	۵۸۶۸/۸۶۳	۶۵/۲۰۹
-/۴	-/۶	-/۴۷۷	-/۶۵۱	۵۳۷۰/۵۷۱	۵۶/۱۸۰
-/۳۷۵	-/۶۲۵	-/۴۵۵	-/۶۷۳	۴۸۶۵/۶۰۶	۴۷/۱۹۴
-/۳۵	-/۶۵	-/۴۳۱	-/۶۹۴	۴۳۴۹/۵۱۹	۳۸/۲۹۳
-/۳۳۵	-/۶۷۵	-/۴۰۸	-/۷۱۵	۳۸۲۰/۰۸۴	۳۹/۳۹۲
-/۳	-/۷	-/۳۸۳	-/۷۳۵	۳۲۷۷/۳۰۲	۲۰/۵۷۵
-/۳۲۵	-/۷۲۵	-/۳۵۸	-/۷۵۶	۳۷۱۸/۹۴۸	۱۱/۷۵۹
-/۲۵	-/۷۵	-/۳۳۲	-/۷۷۷	۲۱۴۰/۵۷۴	۲/۹۴۲
-/۲۲۵	-/۷۷۵	-/۳۰۵	-/۷۹۸	۱۵۳۷/۷۳۱	-۵/۹۵۸
-/۲	-/۸	-/۲۷۷	-/۸۱۹	۹۱۰/۴۱۷	-۱۴/۸۱۷
-/۱۷۵	-/۸۲۵	-/۲۴۷	-/۸۴۰	۲۵۱/۹۶۰	-۳۳/۷۶۱
-/۱۵	-/۸۵	-/۲۱۶	-/۸۶۱	-۴۴۶/۵۳۷	-۳۲/۷۸۹
-/۱۳۵	-/۸۷۵	-/۱۸۲	-/۸۸۳	-۱۱۹۱/۷۵۰	-۴۱/۹۰۳
-/۱	-/۹	-/۱۴۶	-/۹۰۵	-۱۹۹۷/۰۲۴	-۵۱/۲۲۸
-/۰۷۵	-/۹۲۵	-/۱۰۶	-/۹۲۷	-۲۸۷۷/۹۳۳	-۶۰/۷۲۲
-/۰۵	-/۹۵	-/۰۶۲	-/۹۵۰	-۳۸۶۵/۶۱۸	-۷۰/۵۱۴
-/۰۲۵	-/۹۷۵	-/۰۱۱	-/۹۷۴	-۵۰۰۲/۳۴۵	-۸۰/۶۴۴
.	۱	.	-/۹۷۹	-۵۲۵۵/۹۴۰	-۸۲/۷۶۴

نتایج راه حل نامتقارن کلی - اسمردینسکای

۱	.	-/۹۹۹	.	۱۶۱۳۲/۸۸۳	۳۰۹/۱۹۶
-/۹۷۵	-/۰۲۵	-/۹۹۳	-/۰۲۵	۱۶۰۰۱/۲۳۹	۲۹۹/۴۱۳
-/۹۵	-/۰۵	-/۹۷۵	-/۰۵۱	۱۵۶۴۴/۷۸۶	۲۸۹/۴۷۱
-/۹۳۵	-/۰۷۵	-/۹۵۸	-/۰۷۷	۱۵۲۸۴/۲۸۲	۲۷۹/۳۶۴
-/۹	-/۱	-/۹۳۹	-/۱۰۴	۱۴۹۱۱/۶۲۷	۲۶۹/۱۰۰

۰/۸۷۵	۰/۱۲۵	۰/۹۲۰	۰/۱۳۱	۱۴۵۳۴/۷۹۴	۲۵۸/۶۹۲
۰/۸۵	۰/۱۵	۰/۹۰۱	۰/۱۵۹	۱۴۱۳۵/۹۳۷	۲۴۸/۱۱۰
۰/۸۲۵	۰/۱۷۵	۰/۸۸۱	۰/۱۸۶	۱۳۷۲۴/۸	۲۳۷/۴۲۴
۰/۸	۰/۲	۰/۸۶۰	۰/۲۱۵	۱۳۳۰/۱۵۱۳	۲۲۶/۶۱۴
۰/۷۷۵	۰/۲۲۵	۰/۸۲۸	۰/۲۴۳	۱۲۸۷۰/۱۱۲۳	۲۱۵/۶۶۹
۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۸۱۷	۰/۲۷۲	۱۲۴۴۰/۶۳۳	۲۰۴/۵۹۱
۰/۷۲۵	۰/۲۷۵	۰/۷۹۴	۰/۳۰۱	۱۱۹۸۱/۰۱۶	۱۹۳/۳۹۷
۰/۷	۰/۳	۰/۷۷۱	۰/۳۳۰	۱۱۵۱۳/۱۷۲	۱۸۲/۱۶۱
۰/۶۷۵	۰/۳۲۵	۰/۷۴۷	۰/۳۶۰	۱۱۰۲۹/۱۲۵	۱۷۰/۸۹۷
۰/۶۵	۰/۳۵	۰/۷۲۳	۰/۳۸۹	۱۰۵۴۳/۰۵۲	۱۵۹/۴۹۳
۰/۶۲۵	۰/۳۷۵	۰/۶۹۹	۰/۴۱۹	۱۰۰۴۰/۷۷۸	۱۴۸/۰۹۹
۰/۶	۰/۴	۰/۶۷۳	۰/۴۴۹	۹۵۲۲/۳	۱۳۶/۷۵۴
۰/۵۷۵	۰/۴۲۵	۰/۶۴۷	۰/۴۷۸	۸۹۹۷/۷۴۷	۱۲۵/۳۶۳
۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۶۲۰	۰/۵۰۸	۸۴۵۶/۹۹۲	۱۱۴/۰۹۱
۰/۵۲۵	۰/۴۷۵	۰/۵۹۳	۰/۵۳۷	۷۹۱۰/۱۶۱	۱۰۲/۸۲۷
۰/۵	۰/۵	۰/۵۶۶	۰/۵۶۶	۷۳۵۳/۲۰۳	۹۱/۶۶۶
۰/۴۷۵	۰/۵۲۵	۰/۵۳۸	۰/۵۹۴	۶۷۸۰/۰۴۳	۸۰/۷۸۱
۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۵۰۹	۰/۶۲۳	۶۲۰۶/۸۸۲	۶۹/۸۹۴
۰/۴۲۵	۰/۵۷۵	۰/۴۸۱	۰/۶۵۱	۵۶۲۷/۶۴۶	۵۹/۱۶۱
۰/۴	۰/۶	۰/۴۵۱	۰/۶۷۷	۵۰۳۲/۲۰۸	۴۸/۹۲۰
۰/۳۷۵	۰/۶۲۵	۰/۴۲۲	۰/۷۰۴	۴۴۳۶/۷۶۹	۳۸/۸۲۰
۰/۳۵	۰/۶۵	۰/۳۹۳	۰/۷۲۹	۳۸۴۱/۳۳۱	۲۸/۸۸۹
۰/۳۲۵	۰/۶۷۵	۰/۳۶۳	۰/۷۵۴	۳۲۳۷/۷۹۱	۱۹/۴۸۷
۰/۳	۰/۷	۰/۳۳۳	۰/۷۷۷	۲۶۳۴/۲۵۱	۱۰/۴۲۵
۰/۲۷۵	۰/۷۲۵	۰/۳۰۳	۰/۸۰۱	۲۰۳۶/۷۸۷	۱/۴۹۳
۰/۲۵	۰/۷۵	۰/۲۷۴	۰/۸۲۲	۱۴۳۵/۲۷۳	-۶/۷۲۹
۰/۲۲۵	۰/۷۷۵	۰/۲۴۴	۰/۸۴۳	۸۳۹/۸۳۴	-۱۴/۶۴۰
۰/۲	۰/۸	۰/۲۱۵	۰/۸۶۳	۲۵۲/۴۹۷	-۲۲/۳۲۱
۰/۱۷۵	۰/۸۲۵	۰/۱۸۶	۰/۸۸۱	-۳۳۲/۸۱۴	-۲۹/۱۹۶
۰/۱۵	۰/۸۵	۰/۱۵۸	۰/۸۹۸	-۹۰۵/۹۷۴	-۳۵/۹۶۸
۰/۱۲۵	۰/۸۷۵	۰/۱۳۰	۰/۹۱۵	-۱۴۶۹/۰۰۸	-۴۲/۴۴۶
۰/۱	۰/۹	۰/۱۰۳	۰/۹۲۹	-۲۰۲۵/۹۶۶	-۴۷/۸۶۱
۰/۰۷۵	۰/۹۲۵	۰/۰۷۶	۰/۹۴۳	-۲۵۶۸/۷۴۶	-۵۳/۱۶۱
۰/۰۵	۰/۹۵	۰/۰۵	۰/۹۵۵	-۳۰۹۹/۳۷۵	-۵۷/۸۴۷
۰/۰۲۵	۰/۹۷۵	۰/۰۲۴	۰/۹۶۷	-۳۶۱۵/۸۱۲۷	-۶۲/۲۶۳
۰	۱	۰	۱	-۴۱۱۸/۱۰۲	-۷۴/۸۶۰

منبع: یافته‌های تحقیق

## 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- عزیززی ق. ۱۳۸۲. ارتباط خشکسالی‌های 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 پژوهیان. تهران، خدمات فرهنگی

- 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.