اقتصاد کشاورزی/ جلد 5/ شماره‌ي 4/ صفحه‌هاي 24-1

کاربرد نظریه‌ي بازي‌ها در تعیین میزان برداشت بهینه از سفره‌های آب زیرزمینی دشت فیروزآباد

فرناز پورزند و منصور زیبایی[1]

تاریخ دریافت:1390/1/10 تاریخ پذیرش:1390/9/3

چکیده

مشکل کم آبی در بیش‌تر استان‌هاي ایران از جمله استان فارس، به دلیل پراکندگی و نـامنظم بـودن بارنـدگی بـسیار محسوس است. از جمله‌ی عوامل دیگری که مشکل کم آبی را شدیدتر کرده است، بهره‌برداري بیش از حد مجاز از آب‌هاي زیرزمینی است. در این تحقیق برای مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت فیروزآباد و تعیـین میـزان برداشـت بهینـه از ذخـایر آب‌هاي زیرزمینی از نظریه‌ي بازي‌ها استفاده شد. در این راستا، برای به‌دست آوردن ماتریس تاوان برای دو هدف متعـارض (اقتصادی و زیست‌محیطی) و استخراج مرز پارتو یا منحنی مبادله از الگوي برنامه‌ریزی خطی و ضریب برداشت بیش از حد استفاده شد. سپس بـا بهـره گیـری از چهـار روش نظریـه‌ي بـازي‌هـا شـامل راه حـل نامتقـارن نـش، راه حـل نامتقـارن کلی-اسمردینسکای، راه حل نامتقارن مساحت یکنواخت و راه حل زیان مساوی، میزان بهینه برداشت از آب‌هاي زیرزمینـی تعیین شد. در این مقاله از داده‌هاي 128 نمونه تصادفی در شهرستان فیروزآباد در سال زراعـی 1386-1387 اسـتفاده شـده است. نتایج نشان داد هنگامی که اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی از اهمیت یکسانی برخوردار باشند، میزان برداشت بهینه در سال 1386-1387 برابر با 162/79 میلیون متر مکعب است

طبقه‌بندي JEL : C7,D74,Q25

واژه‌های کلیدی: سفره‌های آب زیرزمینی، اثرهای زیست محیطی، روش حل تعارض، نظریه‌ي بازي‌ها

[1] به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار بخش اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز

Email: zibaei@shirazu.ac.ir f_pourzand@yahoo.com

مقدمه

در کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب از جمله عوامل مهم تولیدی هستند که در سال‌هاي اخیر باعث افزایش تولیدات کشاورزی و سود خالص کشاورزان شده‌اند. با توجه به این که در مناطقی که منبع آب سطحی(رودخانه) وجود ندارد و یا به دلیل نامنظم بودن جریان آب رودخانه در سال‌ها یا فصول مختلف کم‌بود آب بوجود می‌آید، تنها منبع تأمین آب برای مصارف کشاورزی و شرب آب‌های زیرزمینی است (آماده و صدرالاشراقی، 1380). برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی و کاهش ریزش‌های جوی، منجر به افت سطح آب زیرزمینی شده و تغذیه سالیانه سفره به واسطه ریزش‌های جوی نیز نتوانسته است این مقدار افت سطح ایستایی را جبران کند (رحمانی،1383). آبیاری زمین‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک با خطر شور شدن و قلیایی شدن زمین‌ها همراه است (فائو، 1973). آب‌هاي شور دریاها و دریاچه‌ها تأثیر به‌سزایی بر سفره‌های آب زیرزمینی دارد. با بهره‌وری بیش از اندازه از ذخایر آب‌های شیرین تعادل هیدروستایی تغییر کرده و آب‌هاي شور به سوي آب‌های شیرین جریان پیدا می‌کنند (گهرنژاد، 1381). پدیده‌ی شوری و قلیایی شدن از ترکیب عوامل اقلیمی، معدنی شدن آب آبیاری و بافت خاک حاصل می‌گردد. پایین رفتن آب‌های زیرزمینی علاوه بر کاهش آب آب‌خوان، شور شدن تدریجی آب زیرزمینی و پیش‌روي جبهه‌ي آب شور به سوي آب شیرین، باعث فشرده شدن خاک و نبود نفوذپذیری در موقع بارندگی می‌شود. حالت فشردگی زمین در نتیجه‌ی تخلیه‌ي آب‌های زیرمینی در مناطق ساحلی موجب تخریب زمین می‌شود، سبب بالا آمدن آب دریا و دریاچه می‌شود و اثرهای زیان‌آوری را بر جا می‌گذارد (حسینی میلانی، 1370). از جمله موضوع‌هایی که در رابطه با منابع طبیعی مطرح می‌شود، وجود اهدافی است که با یکدیگر در تعارض است. اغلب تصمیم گیرندگان برای دست‌یابی به تعادل میان اهداف متعارض در سطح جامعه سعی می‌کنند راه حلی توافقی به‌دست آورند. به عبارت دیگر، باید میان افزایش سود اقتصادی که هدف کشاورز (بازیکن1) است و کاهش اثرهای منفی زیست‌محیطی که هدف جامعه (بازیکن2) است، توازن برقرار شود. در این

شرایط که اهداف در تضاد با یک‌دیگر اند، بهبود در یک هدف تنها به قیمت از دست دادن هدف دیگر به‌دست می‌آید (راکوئل و همکاران، 2007). یکی از فنون ریاضی که به تجزیه و تحلیل این گونه مسایل، موقعیت‌های در تعارض، می‌پردازد نظریه‌ي بازي‌ها[1] است. نظریه‌ي بازي‌ها حوزه‌یی از ریاضیات کاربردی است که در بستر علم اقتصاد توسعه یافته است، و به مطالعه رفتار راه‌بردی میان عوامل عقلانی می‌پردازد. رفتار راه‌بردی زمانی پیدا می‌شود که مطلوبیت هر عامل نه فقط به راه‌برد انتخاب شده توسط خود، بل‌که به راه‌برد انتخاب شده توسط بازیگران دیگر هم‌بستگی داشته باشد. بنابراین نظریه‌ي بازي‌ها عبارت است از:« علمی که به مطالعه‌ی تصمیم‌گیری افراد در شرایط تعامل با دیگران می‌پردازد». به تعبیر دیگر نظریه‌ي بازي‌ها علم مطالعه‌ي تعارض‌ها (تضاد منافع) و همکاری‌ها میان بازیکنان عاقل است (عبدلی، 1386). اعتبار معرفی مفهوم نظریه‌ي بازي‌ها به کار مشترک فون نویمان و مرگن اشترن (1944) با عنوان نظریه‌ی عمومی بازی‌ها و رفتار اقتصادي برمی‌گردد. افزون بر آن جان نش (برنده جایزه نوبل اقتصاد سال 1998) با آوردن مفهوم تعادل نش و اثبات وجود آن در برخی فرض‌های نسبتا عمومی و دست یافتنی در دهه‌ي 50 میلادی این اطمینان را به وجود آورد که نظریه‌ي بازي‌ها قابلیت فراوانی برای بررسی مسایل مختلف دارد. تعادل نش به ترکیبی از راه‌بردهاي بازي‌گران اشاره دارد که در آن راه‌برد منفرد هر بازي‌گر پاسخ بهینه‌ي وي به راه‌بردهای بازیگران دیگر است، و در نتیجه هیچ فردی انگیزه‌یی برای انحراف از این نقطه را ندارد (به زبان ریاضی تعادل نش یک نقطه‌ي ثابت تابع مجموعه‌یی بهترین پاسخ همه بازیگران است). نقطه‌ی تعادل نش برای هر بازی لزوما یگانه نیست و ممکن است با موضوع تعادل‌هاي چندگانه مواجه شویم که شرایط پیچیده‌یی را به وجود می‌آورد. توماس شلینگ راه‌حل‌هایی برای خروج از این شرایط پیش‌نهاد کرد. در سال 1965 رینهارت سلتن تعادل کامل بازی فرعی را مطرح کرد و تعادل نش را بیش‌تر گسترش داد. در سال 1967 جان‌هاریزانی مفهوم اطلاعات

[1] Game theory

کامل بازی بیزین را وارد عرصه‌ی نظریه‌ي بازي‌ها کرد. در دهه‌ي 1980 نظریه‌ي بازي‌ها بیش‌تر متمرکز به بازنگری و تکامل اندیشه‌های گذشته شد، که از جمله‌ي آن‌ها می‌توان به بازنگري بازي‌های تکراری توسط آیمان، نظریه‌ي تعادل نش کامل توسط کرپس و ویلسون، و نظریه‌ي چانه‌زنی توسط رامیانشتین اشاره کرد (عبدلی، 1386). نظریه‌ي بازي‌ها در مدیریت منابع کم‌یاب منابع طبیعی کاربرد دارد. از جمله کاربرد آن در مدیریت منابع آب و مسایل تخصیص بهینه‌ي آن است. البته با وجود این که نظریه‌ي بازي‌ها یک روش حل تعارض قوی است، به ندرت برای مدیریت منابع آب به‌کار رفته است. لاند و همکاران (1997) به بررسی کاربرد روش تصمیم‌گیری چند معیاری و راه‌حل تعارض در منابع آب پرداخته اند. دینار و همکاران (2002) در مطالعه‌یی به مقایسه‌ی یک مدل مذاکره با یک نظریه‌ی بازی با همکاری، براي مساله‌ی تخصیص آب در حوضه‌ي آب‌ریز کات در آفریقای جنوبی پرداختند. ناکائو و همکاران (2002) در مطالعه‌یی به بررسی منافع به‌توان حاصل از مشارکت در استفاده‌ي شهرهای ال پاسو و سیوداد جوارز، از منابع آب حوزه‌ی هواکوبلسن، پرداختند. آن‌ها منافع را در وضعیتی پویا و به وسیله‌ی مقایسه‌ي چهار راه‌حل ادامه‌ی وضع کنونی، بازی غیرمشارکتی نش، مذاکره‌ی نش، و بیش‌ترین منافع خالص هر دو شهر آزمودند. هوگو (2004) نقش مشارکت و غیرمشارکت را در برداشت پایدار از منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش تئوري بازي‌ها تعیین کرد. امسانگی (2005)، مساله‌ی استخراج منابع تجدید شدنی را مطابق چارچوب تحلیل یک بازی پویا حل نمود. وي آموزش را در بازي‌هاي پویا وارد کرد، و نشان داد که چگونه اقدامات پی‌درپی دیگر بازکنان می‌تواند روی تصمیمات بهینه اثر بگذارد. راکوئل و همکاران (2007) براي مساله‌ي تعارض چند هدفه براي منطقه‌ی منتخب در مکزیک، از نظریه‌ي بازي‌ها استفاده کردند، و سود اقتصادی کشاورزان را با اثرهای منفی زیست‌محیطی مربوط، در توازن با هم قرار دادند. هم‌چنین در داخل کشور مازندرانی‌زاده و همکاران (1388) بهره‌برداري پایدار از سفره‌ي آب زیرزمینی مشترك میان بهره‌برداران شهري و کشاورزی را با استفاده از نظریه‌ي بازي‌ها مدل‌سازی کردند. شیوه‌ي همکاری و میزان تعامل بهره‌برداران از

آب‌خوان، رفتار آن‌ها در قالب سه راه‌حل مدل شده است: الف) مدل بازي‌هاي ایستا بدون همکاري، ب) مدل بازي‌هاي پویا بدون همکاری و ج) مدل با همکاری کامل. نتایج آن‌ها نشان داد که عواید حاصل از مدل با همکاری کامل بیش از مدل‌هاي بدون همکاری است.

استان فارس در زمینه‌ی مسایل آب به‌ویژه آب کشاورزي وضعیت نگران‌کننده و بحرانی‌یی دارد. هم‌اکنون 75% آب مورد نیاز بخش کشاورزی استان از سفره‌های زیرزمینی تامین می‌شود، در حالی‌که این رقم در کل کشور 55% است. میزان برداشت مازاد آب‌خوان‌های استان نیز سالانه 700 میلیون متر مکعب برآورد می‌گردد (کمیته‌ی کارشناسی ستاد مدیریت خشکی و بحران آب استان فارس، 1387). بر اساس گزارش‌های رسمی ترازنامه‌ی آب زیرزمینی در 67 دشت از مجموع 90 دشت استان فارس منفی است. بنابراین خشکی و بحران آب در بسیاری از دشت‌های استان فارس از جمله دشت فیروزآباد جدی است. محدوده‌ی مطالعاتی فیروزآباد با وسعت 723 کیلومتر مربع در 100 کیلومتری جنوب شرقی شیراز و جزء زیرحوزه‌ي رودخانه‌ی فیروزآباد قرار دارد. منبع آب سطحی در دشت رودخانه‌ی فیروزآباد است. ولی به دلیل کم‌آبی و خشک‌سالی چند سال اخیر رودخانه‌ی فیروزآباد نقشی در آبیاری زمین‌هاي دشت ندارد. ازاین رو بخش قابل توجهی از آب مورد نیاز کشاورزی دشت از سفره‌ي آب زیرزمینی تامین می‌شود (پولادیان، 1386). جدول (1) ترازنامه‌ی آب زیرزمینی دشت فیروزآباد را در سال آبی 85-86 نشان می‌دهد. این اطلاعات بیان‌گر آن است که با توجه به کاهش ریزش‌هاي جوی در چند سال گذشته، حجم مخزن در سال آبی 85-86 حدود 26/3 میلیون متر مکعب کاهش داشته است. بنابراین لزوم بررسی‌های آب زیرزمینی که اصلی‌ترین منبع آب برای آبیاری دشت است، نمایان می‌شود. هدف مطالعه‌ی حاضر تعیین میزان بهینه‌ي بهره‌برداري از آب‌هاي زیرزمینی دشت فیروزآباد در سال 1386-1387 با به‌کارگیری نظریه‌ي بازي‌ها است.

جدول (1). ترازنامهی آب زیرزمینی دشت فیروزآباد (1385-1386)

ترازنامه	تخلیه				تغذیه					
تغییرات **حجم** ذخیره	**جمع** تخلیه	جریان زیرزمینی خروجی	**قنات**	**چاه‌هاي بهره‌برداري**	**جمع** تغذیه	**پس‌آب** آشامیدن و **صنعت**	آبیاری	جریان**هاي** سطحی	**در سطح دشت**	**از ارتفاعات**
-26/3	187/3	3/82	0/662	182/821	161	0/4	39/55	27/03	27/595	66/396

ماخذ: **سازمان آب منطقه‌یی استان فارس**

روش تحقیق

براي مدلسازی استخراج آب زیرزمینی، از **14 راه‌حل برداشت از آب**‌های زیرزمینی در دشت فیروزآباد استفاده شد. **از آن**جا که هدف مطالعه در نظر گرفتن هم**زمان اهداف اقتصادي** و زیست‌محیطی است، به **ازاري هر راه**‌حل برداشت، سود خالص کشاورزان و اثر زیست‌محیطی محاسبه شد. برای تعیین هدف اقتصادی هر راه**‌حل برداشت، سود خالص** کشاورزان منطقه از شیوه**ي الگوي برنامه**‌ریزی خطی محاسبه گردید. **هم‌چونین براي محاسبه‌ي** اثر زیست‌محیطی، به ازای هر راه‌حل برداشت ضریب برداشتِ بیش‌ازحد که از تقسیم میزان برداشت به تغذیه به‌دست می‌آید، استفاده شد (کلوزن و گارسز، 1998). ضریب کم‌تر، بیان**گر** مخاطرات زیست‌محیطی کم**تر است**. پس از این که به ازای هر راه**‌حل برداشت، اهداف** اقتصادی و زیست‌محیطی محاسبه شدند، ماتریس تاوان [1] تشکیل و با استفاده **از آن مرز پارتو** استخراج گردید. سرانجام با استفاده از چهار روش حل تعارض، میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی با اعمال وزن‌های مختلف تعیین **شد**.

[1] - Pay-off Matrix

تعیین هدف اقتصادی

در مدل‌سازی این تحقیق دو جنبه مورد توجه قرار گرفت. جنبه‌ي اول، مساله‌ي بیش‌ترین‌سازي درآمد خالص کشاورزان در سطح دشت و یا منطقه است، و جنبه‌ی دیگر استفاده‌ی تلفیقی از آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی است. بنابراین در این مطالعه، با فرض بر این که کشاورزان با توجه به قیمت محصول و آب در دست‌رس، محصولات را به صورت بهینه کشت می‌کنند، در شرایط استفاده‌ی توام از منابع سطحی و زیرزمینی با به‌کارگیری الگوی برنامه‌ریزی خطی درآمد خالص کشاورزان منطقه که به عنوان اثرهای اقتصادي هر راه حل برداشت از آب در نظر گرفته شده، محاسبه شد. برای طراحی مدل، سال زراعی 1386-1387 بر اساس امکانات آبی موجود و تاریخ کشت گیاهان مختلف (الگوي کشت غالب) در منطقه‌ی فیروزآباد در نظر گرفته می‌شود. هم‌چونین با توجه به ارزش آب در کشاورزی و محدودیت این منبع مهم و حیاتی و وجود خشک‌سالی‌هاي پی‌درپی در کشور صرفه‌جویی در مصرف آب و استفاده از آب موجود، امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد. کم‌آبیاری[1] یکی از راه‌های موثر و علمی است که می‌تواند کم‌ترین آب مصرفی با عمل‌کرد واقعی قابل قبول و اقتصادی را تعیین و توصیه نماید. در واقع کم‌آبیاری یک سیاست بهینه-سازی است که در آن گیاهان درجه‌ی متفاوتی از کم‌بود آب و کاهش محصول را تحمل می-کنند. بنابراین با توجه به منابع محدود (آب و زمین) می‌توان راه‌برد کم‌آبیاری را نیز مانند راه‌بردهای آبیاری کامل برای گیاهان مختلف، در مدل‌های تخصیص بهینه‌ی آب و زمین به‌کار برد. برای این منظور، راه‌بردهای مختلف آبیاری برای هر فعالیت، برای تعیین عمل‌کرد در هکتار متناظر به هر عمق آبیاری، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی شبیه‌سازي شده است. براي گندم و جو پنج راه‌برد آبیاری شامل آبیاری کامل، 30،20،10،5 و 50% تنش آبی، چغندرقند، ذرت و کلزا چهار راه‌برد (20،10،5 و 30) و برای برنج، گوجه فرنگی و هندوانه

[1] -Deficit irrigation

تنها یک راه‌برد در نظر گرفته شد. به علاوه برای گندم، جو و چغندرقند استفاده از سیستم آبیاری بارانی برای افزایش راندمان آبیاری به عنوان یک راه‌برد آبیاری در مدل لحاظ می‌شود. این مدل به‌طور کلی از دو بخش تا هدف و محدودیت‌ها تشکیل شده است.

تابع هدف در این مساله بیش‌ترین کردن بازده برنامه‌یی (درآمد خالص) به شرح زیر است:

$$\text{Max } NB = \sum_{j=1}^{n}\left[Y_j P_{c\,j} - C_j\right]A_{cj} - P_w \sum_{j=1}^{n} IR_j \qquad (1)$$

NB: درآمد خالص کشاورز

A_j: سطح زیرکشت محصول j بر حسب هکتار.ت

Y_j: عملکرد محصول j بر حسب تن در هکتار.

P_{cj}: قیمت محصول j بر حسب ریال.

C_j: هزینه‌ی تولید محصول j بر حسب ریال.

N: تعداد محصولات.

P_w: قیمت آب آبیاری (ریال-متر مکعب)

IR_j: کل آب آبیاری گیاه jام

محدودیت‌های مساله به دو دسته تقسیم شده است:

۱- محدودیت زمین:

محدودیت اول بیان‌گر آن است که کل زمین‌های تخصیص یافته میان فعالیت‌ها نمی‌تواند بیش از کل زمین‌هاي موجود باشد. از آن‌جا که این محدودیت به صورت ماهانه در مدل منظور شده است، امکان انتخاب فعالیت‌ها به‌صورت کشت دوباره در مدل وجود دارد.

محدودیت دوم بیش‌ترین و کم‌ترین سطح زیرکشت هر محصول در منطقه‌ي مورد مطالعه است. به دلیل این که آمار و اطلاعات مربوط به دشت در آمارنامه‌ها موجود نیست، برای تعیین سطح زیرکشت هر محصول در دشت مورد مطالعه از نقشه‌ی توپوگرافی محدوده‌ی فیروزآباد و آمارنامه‌های منتشر شده از سوی سازمان جهاد کشاورزی استان فارس مربوط به هر آبادی واقع در دشت فیروزآباد استفاده شده است.

$$\sum_{j=1}^{12} A_j \le A \qquad (2)$$

$$\text{Min}\, area_j \le A_{cj} \le \text{Max}\ area_j \qquad (3)$$

۲- محدودیت آب:

از آن‌جا که دوره‌ی کشت و نیاز آبی محصولات و میزان موجودی آب منطقه در ماه‌هاي مختلف سال با یک‌دیگر متفاوت است، ضروری است که محدودیت حجم آب به صورت ماهانه و جدا از هم در نظر گرفته شود. در شرایط استفاده‌ی تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی، نیاز آب ماهانه‌ی محصولات نباید بیش‌تر از میزان آب در دست‌رس باشد.

$$\sum_{j=1}^{n} a_{kj} A_{cj} \le Sw_k + Qw_k \qquad (4)$$

a_{kj}: نیاز آب آبیاری گیاه j در ماه k.

Sw_k: حجم آب‌های سطحی در دست‌رس در ماه k بر حسب متر مکعب.

Qw_k: حجم برداشت از آب‌های زیرزمینی در ماه k بر حسب متر مکعب.

نظریه‌ي بازي‌ها: روش حل تعارض

برای حل تعارض میان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی منطقه‌ي مورد مطالعه، و هم‌چنین تعیین میزان برداشت از آب زیرزمینی از نظریه‌ي بازي‌ها استفاده شد. تعارض میان اهداف به روش ریاضی، با زوج (s,d) تعریف می‌شود که مجموعه‌یی از منافع ممکن و مجموعه‌یی از بدترین نتایج ممکن است. هر یک از بازیکنان تمایل دارند که ارزش منافع خود را به بهترین نتایج ممکن افزایش دهند. معمولا می‌توان جواب بازی را از هر روشی که به‌دست آمده باشد و در هر نوع بازی که باشد، از لحاظ اجتماعی ارزیابی کرد. معیاری که برای ارزیابی استفاده

می‌شود، بهینگی پارتویی[1] است. معمولا آن ترکیب راه‌بردهایی که غالب پارتویی است از لحاظ اجتماعی مطلوب است، یعنی به نفع همه‌ی بازیکنان است. یک ترکیب راه‌برد را غالب پارتویی می‌گویند که در آن ترکیب، پی‌آمد هر بازیکن نسبت به ترکیب دیگر بزرگ‌تر (یا برابر ولی دست‌کم برای یک بازیکن بیش‌تر باشد) باشد. ترکیب راه‌بردهایی که مغلوب پارتویی هیچ یک از ترکیبات دیگر نباشد، بهینه‌ی پارتو یا مرز پارتو[2]یی است. یعنی حرکت از آن‌ها پی‌آمد دست‌کم یکی از بازیکنان را افزایش و دیگری را کاهش می‌دهد (عبدلی، 1386). مرز پارتو توسط تابع مقعر و اکیدا نزولی g در فاصله‌ي $[d_1, f_1^*]$ مشخص می‌شود که در آن $g(f_1^*) = d_2$ و $f_2^* = g(d_1)$ است (شکل1). برخی مواقع بردار d به عنوان بردار منافع در حالت نبود توافق (وضعیت موجود[3]) و ترکیبی از منافع بازیگرها در حالتی که به یک توافق کلی نمی‌رسند، در نظر گرفته می‌شود. در این موارد مجموعه‌ی منافع ممکن S، به مجموعه‌ي S_+ که در زیر تعریف شده است، محدود می‌شود، چرا که هیچ بازیکن عاقلی، توافقی را که بدتر از حالت نبود توافق یا وضعیت موجود است، نمی‌پذیرد (ناکاو و همکاران، 2002).

$$S_+ = \{ f = (f_1, f_2) / f \in S, f \geq d \} \qquad (5)$$

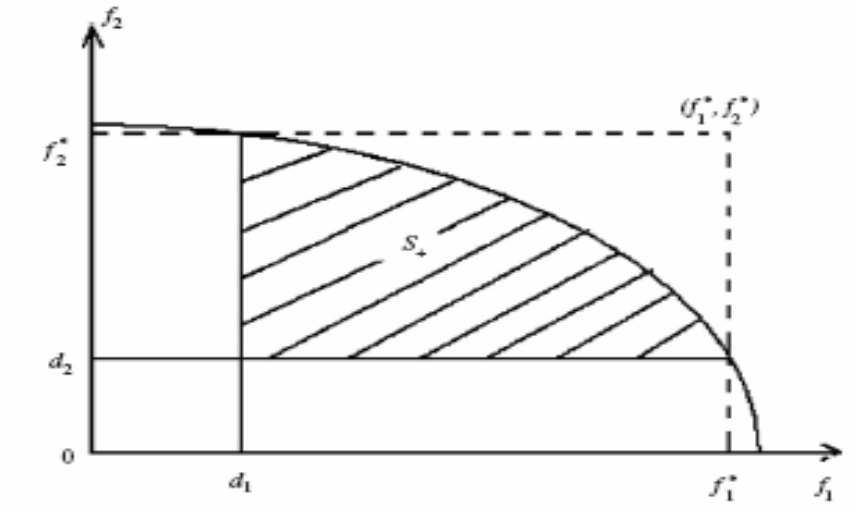
اگر بردارd به عنوان بدترین نتایج ممکن دو گروه هدف انتخاب شود، آن‌گاه $S_+=S$ خواهد بود (راکوئل و همکاران، 2007).

---

[1] - Pareto

[2] - Pareto frontier

[3] - Status quo



شکل (1). مرز پارتوی دو بازیکن در موقعیت تعارض

همان طور که پیش‌تر گفته شد، جان نش تعریف راه‌برد بهینه را تعمیم داد؛ به‌وسیله‌ي آن می‌توان در هر بازی دو نفره و بدون همکاری تعادل را پیدا کرد (عبدلی، 1386). این تعادل نیازمند شرایطی است که اصول بدیهی نامیده می‌شود. برخی از محققان مدل اولیه‌ي نش را توسعه دادند و آن را اصلاح کردند. به عنوان نمونه، راه‌حل نامتقارن نش توسط هارسانی و سلتن معرفی شد. در این روش می‌توان چانه زنی دو طرف را با نیروهای متفاوت تعیین کرد. کلی و اسمردینسکای اصول اولیه‌ی نش را اصلاح کردند، و اصل استقلال از گزینه‌هاي نامربوط را به وسیله‌ی یک‌نواختی منحصر به فرد جای‌گزین کردند. راه حل مساحت یک‌نواخت توسط آنبارسی داده شد. این روش بر اساس اصل یک‌نواختی مساحت است. روش دیگر که به زیان مساوی چان معروف است به گونه‌یی است که باید هر دو طرف در فاصله‌های مساوی از بهترین انتخاب‌هایشان باشند (راکوئل و همکاران، 2007).

در راه حل نش یک نقطه‌ي منحصر به فرد روي مرز پارتو به گونه‌یی تعیین می‌شود که حاصل‌ضرب منافع، بیش‌ترین شود. راه‌حل نش حل منحصربه‌فرد مساله‌ی بهینه‌سازی زیر است:

$$\begin{aligned} &\text{Maximize} && (f_1 - d_1)(f_2 - d_2) \\ &\text{Subject to} && d_1 \le f_1 \le f_1^*, \\ & && f_2 = g(f_1). \end{aligned} \qquad (6)$$

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. در صورتی که محدودیت دوم، $f_2 = g(f_1)$ ، در تابع هدف جاي‌گزین شود، مساله به صورت تک‌بعدی زیر در می‌آید و با یک الگوریتم جست‌وجوي ساده‌ی تک بعدی می‌توان آن را حل کرد (راکوئل و همکاران، 2007).

$$\begin{aligned} &\text{Maximize} && (f_1 - d_1)(f_2 - d_2) \\ &\text{Subject to} && d_1 \le f_1 \le f_1^*, \end{aligned} \qquad (7)$$

در این تحقیق از چهار روش حل تعارض شامل راه حل نامتقارن نش، کلی-اسمردینسکای، راه حل نامتقارن مساحت یک‌نواخت و راه حل نامتقارن زیان مساوی که بر اساس روش حل نش هستند، استفاده می‌شود.

1 - راه حل نامتقارن نش

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

$$\begin{aligned} &\text{Maximize} && (f_1 - d_1)^{w_1}(f_2 - d_2)^{w_2} \\ &\text{Subject to} && d_1 \le f_1 \le f_1^*, \\ & && f_2 = g(f_1). \end{aligned} \qquad (8)$$

این روش تعمیمی از معادله‌ي (5)، با وزن‌هاي نامساوی است که این وزن‌هاي w_1 و w_2 ، به هر یک از بازیکن‌ها داده می‌شود. جمع وزن‌ها 1 است. هر بازیکن که وزن بیش‌تري داشته باشد، در تابع هدف اهمیت بیش‌تري دارد (هارسانی و سلتن، 1972).

2- راه حل نامتقارن کلی-اسمردینسکای

در این روش یک پاره‌خط میان نقطه‌ي نبود توافق (d_1, d_2) و نقطه‌ي مطلوب (f_1^*, f_2^*) رسم می‌شود. نقطه‌ی برخورد این پاره‌خط با مرز پارتو به عنوان جواب میانه معرفی می‌شود (عرض از مبدا این پاره‌خط (d_1, f_1^*) ، جواب میانه به‌دست می‌آید (کلی و اسمردینسکای، 1975).

$$d_2 + \{(f_2^* - d_2)/(f_1^* - d_1)\}(f_1 - d_1) - g(f_1) = 0, \qquad (9)$$

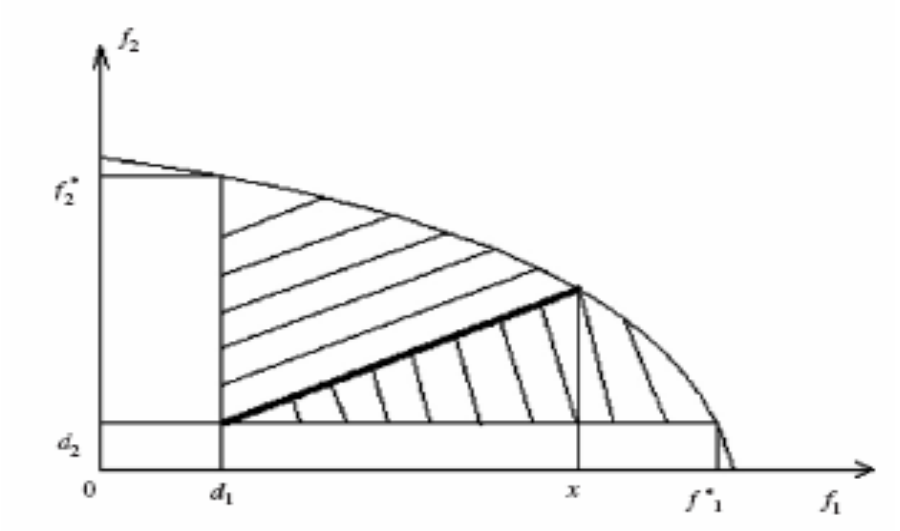
اگر اهداف نرمالیزه شوند، آن گاه $d_1 = d_2 = 0$ و $f_1^* = f_2^* = 1$ می‌شود. بنابراین دو هدف $\overline{f_1}$ و $\overline{f_2}$ ، در طول پاره‌خطی که نقطه‌ي نبود توافق و نقطه‌ي مطلوب را به هم وصل می‌کند، با نرخ مشابهی افزایش می‌یابد. این نظریه منجر به شکل‌گیری راه حل نامتقارن کلی-اسمردینسکای شده است، که محل برخورد مرز پارتو و پاره‌خط مستقیم زیر جواب بهینه را به‌دست می‌دهد (کلی و اسمردینسکای، 1975).

$$\overline{g}(\overline{f_1}) = (w_2 / w_1)\overline{f}_1, \qquad (10)$$

3- راه حل نامتقارن مساحت یک‌نواخت

راه حل سطوح یک‌نواخت بر اساس پاره‌خطی که از نقطه‌ی نبود توافق شروع می‌شود و S_+ را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند، تعریف می‌شود (شکل 2). اگر وزن اهداف با هم برابر نباشد $(w_1 \neq w_2)$، آن‌گاه مساله به‌صورت نامتقارن در می‌آید و باید به گونه‌یی حل شود که نسبت مساحت دو قسمت، w_1 / w_2 باشد. بنابراین جواب بهینه، ریشه‌ی معادله غیرخطی زیر در فاصله‌ي (d_1, f_1^*) است (آنبارسی،1993).

$$w_2\left[\int_{d_1}^{x} g(t)dt - \tfrac{1}{2}(x-d_1)(g(x)+d_2)\right] = w_1\left[\int_{x}^{f_1^*} g(t)dt - (f_1^*-x)d_2 + \tfrac{1}{2}(x-d_2)(g(x)-d_2)\right], \qquad (11)$$



شکل (2). راه حل نامتقارن مساحت یک**نواخت**

4- راه حل نامتقارن زیان مساوی

راه حل زیان مساوی در ابتدا برای حالتی معرفی شد که اهداف وزن**هاي** یک‌سانی بودد و هر دو گروه به طور هم زمان و با سرعت یک‌سان، به یک توافق می‌رسید. **اما در راه حل نامتقارن، اهداف داراي وزن‌هاي** متفاوتی است ($w_1 \neq w_2$). دراین روش، نقطه**ي** ($f_1, g(f_1)$) روی مرز پارتو به صورت زیر تعیین می**شود (چان، 1988)**.

$$(f_1^* - x)w_1 = (f_2^* - g(x))w_2. \qquad (12)$$

بخشی از اطلاعات مورد نیاز مانند عمل‌کرد، قیمت و هزینه‌های تولید محصولات مختلف و **مانند آن در سال 1386-1387** از راه مصاحبه و تکمیل **128 پرسش**نامه از کشاورزان شهرستان فیروزآباد حاصل شده و بخش دیگر اطلاعات از سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه-یی **استان فارس جمع‌آوري شده است**. تجزیه و تحلیل اطلاعات نیز با استفاده از نرم افزارها**ي** GAMS, Eviews, Excel **و** Mathcad **انجام گرفته است**.

نتایج و بحث

براي دست‌یابی به اهداف اقتصادی، مدل برنامه‌ریزی خطی طراحی شده با 14 راه‌حل مختلف به اجرا درآمده است. راه حل‌ها بر اساس میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی در دشت فیروزآباد در طول 20 سال گذشته، طراحی شده است. کم‌ترین میزان تغذیه‌ي دشت در این مدت 93 میلیون متر مکعب بوده است. راه‌حل‌هاي مختلف برداشت از آب‌های زیرزمینی در دشت فیروزآباد در جدول (2) آورده شده است. نتایج اجرای الگوی برنامه‌ریزی خطی برای هر یک از راه حل‌ها در جدول (3) داده شده است. با توجه به نتایج جدول (3) اول، در برخی از محصولات راه‌برد کم‌آبیاری جای‌گزین راه‌بردهاي با نیاز آبی بالاتر می‌شود. براي نمونه گندم 2 (10% کاهش در آب مصرفی) جانشین گندم 1 می‌شود. گندم 1 محصولی است که به‌صورت کامل آبیاری می‌شود. جو 5 (50%تنش) و ذرت 2 (10% تنش) به ترتیب جای‌گزین جو 1 و ذرت 1 شده است. هم‌چنین چغندرقند 5 نیز در جواب بهینه آمده است. چغندرقند 5 فعالیتی است که با استفاده از سیستم آبیاری بارانی کاشته شود. به علاوه چهار محصول کلزا، برنج، گوجه فرنگی و هندوانه در الگوی کشت وارد شده است. دوم، با افزایش میزان برداشت آب زیرزمینی سطح زیرکشت گندم و برنج افزایش می‌یابد، ولی سطح زیرکشت دیگر محصولات تغیری نمی‌کند. هم‌چنین در شرایط کم آبی، کل سطح زیرکشت کاهش می‌یابد، و الگو پیش‌نهاد می‌کند که برای دست‌یابی به بیش‌ترین درآمد خالص، مقداری از زمین‌هاي موجود در منطقه کشت نشده بماند. عوامل اقتصادی و زیست‌محیطی برداشت از آب‌های زیرزمینی در جدول (4) آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش میزان برداشت از سفره‌هاي زیرزمینی، سطح زیرکشت، سود خالص کشاورزان و اثرهای زیست‌محیطی افزایش می‌یابد. بنابراین در مواقعی که برداشت بیش از حد از آب‌هاي زیرزمینی صورت گیرد، درآمد خالص کشاورزان منطقه و اثرهای منفی زیست‌محیطی به ترتیب 79 و 82% افزایش خواهد یافت.

جدول (2). راه‌حل‌هاي مختلف برداشت آب زیرزمینی در دشت فروزآباد (میلیون مترمکعب)

سناریو	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
برداشت آب زیرزمینی	93	128	130	137	140	149	157	161	165	185	193	199	201	235

مأخذ: یافته‌های تحقی

جدول (3). درآمد خالص (ریال) و سطح زیرکشت بهینه (هکتار) به ازاي راه‌حل‌هاي مختلف برداشت

ردیف	برداشت آب زیرزمینی	درآمد خالص کشاورزان (میلیون ریال)	گندم2	جو5	برنج	چغندرقند5	کلزا 1	ذرت2	گوجه فرنگی	هندوانه
1	93/4	725/95	4013/3	964	550	89	500	127.8	53	7
2	130	10144	5327.6	964	876	89	500	1600	53	7
3	130	10182	5345.5	964	884/2	89	500	1600	53	7
4	137	10708	5592.7	964	997/1	89	500	1600	53	7
5	140	10903	5684.4	964	1039	89	500	1600	53	7
6	149	11633	6027/8	964	1196	89	500	1600	53	7
7	157	12249	6317/5	964	1328	89	500	1600	53	7
8	161	12557	6462/2	964	1394	89	500	1600	53	7
9	165	12851	6600/5	964	1457	89	500	1600	53	7
10	185	14442	7348/8	964	1799	89	500	1600	53	7
11	193	15049	7634/1	964	1929	89	500	1600	53	7
12	199	15513	7852/2	964	2029	89	500	1600	53	7
13	201	15622	7903/7	964	2052	89	500	1600	53	7
14	235	18175	8939/0	964	2410	89	500	1600	53	7

مأخذ: یافته‌هاي تحقیق

همان طور که پیش‌تر گفته شد برای حل روش تعارض ابتدا ماتریس تاوان تشکیل شد. جدول (4) نشان‌دهنده‌ی ماتریس تاوان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی متناظر هر راه‌حل برداشت از آب‌هاي زیرزمینی است. همان گونه که انتظار می‌رود، با افزایش میزان برداشت آب زیرزمینی کل سطح زیرکشت افزایش، و به این ترتیب درآمد خالص کشاورزان نیز افزایش می‌یابد؛ در مقابل اثرهای زیست‌محیطی زیان‌بارتری با برداشت بیش از حد از ذخایر زیرزمینی نصیب جامعه خواهد شد. حال برای استخراج مرز پارتو، ابتدا درآمد خالص کشاورزان و ضریب برداشت بیش از حد میان صفر و یک نرمال شده است. سپس با توجه به پراکندگی نقاط و فرم تابعی خطی و چند جمله‌یی با درجات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. چند جمله‌یی درجه‌ی چهار بر اساس معیارهای نکویی برازش به عنوان مرز پارتو تعیین شده است. سپس بر اساس این مرز پارتو و چهار روش بیان شده در قبل، و اعمال وزن‌هاي مختلف میان 0 و 1 به فاصله‌ي 0/025 به هر یک از دو گروه هدف، میزان بهینه‌ي برداشت از سفره‌هاي آب زیرزمینی دشت فیروزآباد برای سال زراعی 1386-1387 محاسبه می‌گردد. جدول (5) نتایج به‌دست آمده از چهار روش حل تعارض را نشان می‌دهد. همان طور که انتظار می‌رود با افزایش اهمیت هدف زیست‌محیطی، میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی کاهش و درآمد خالص کشاورزان کاهش می‌یابد. بنابراین وقتی که تنها منافع اقتصادی مورد توجه قرار می‌گیرد، برداشت از آب‌های زیرزمینی در بیش‌ترین مقدار خود قرار دارد، و بر عکس اگر تنها هدف زیست‌محیطی مورد بررسی قرار گیرد، حجم برداشتی از سفره‌های زیرزمینی کم‌ترین است. جدول (6)، میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی هنگامی که دو گروه هدف (اقتصادی و زیست‌محیطی) دارای وزن و اهمیت یک‌سانی هستند (w_2=0/5 و w_1 =0/5)، را نشان می‌دهد.

جدول (4). ماتریس تاوان دو گروه اقتصادي و زیست‌محیطی به ازاي هر راه‌حل برداشت

راه‌حل	برداشت از آب زیرزمینی (میلیون مترمکعب)	درآمد خالص کشاورزان (میلیون ریال)	کل سطح زیرکشت (هکتار)	ضریب برداشت بیش از حد
1	93/447074	725/95685	1613	1
2	128/70874	10144/21	9416/688	1/3773
3	130/20251	10182/269	9442/757	1/3933
4	137/02279	10707/958	9802/828	1/4663
5	139/55339	10903/01	9936/429	1/4934
6	149/02771	11633/266	10436/62	1/5948
7	157/02071	12249/345	11069/37	1/6803
8	161/013	12557/06	11270/81	1/723
9	164/82854	12851/152	12360/8	1/7639
10	185/47454	14442/49	12776/27	1/9848
11	193/34409	15049/055	13093/98	2/069
12	199/36199	15512/898	13168/92	2/1334
13	200/78159	15622/317	14562/09	2/1486
14	235/46934	18175/28	14562/09	2/5198

مأخذ: یافته‌هاي تحقیق

به دلیل این که چهار روش حل تعارض (نامتقارن نش، کلی-اسمردینسکای، سطح یک‌نواخت و زیان یک‌سان) مبنی بر مفاهیم بی‌طرفی هستند، نتایج به‌دست آمده از آن‌ها اندکی با هم متفاوت است. بنابراین برای رسیدن به یک جواب یگانه که نشان‌دهنده‌ی میزان بهینه‌ي برداشت از ذخایر آب زیرزمینی است، از این چهار روش فوق میانگین گرفته شده است. این مقدار 162/79 میلیون متر مکعب است. از مقایسه‌ی میان جواب بهینه‌ي حاصل از حل تعارض و 14 راه‌حل اولیه‌ی مورد بررسی، دیده می‌شود که این میزان بهینه تقریبا مطابق با هفتمین راه‌حل برداشت از آب زیرزمینی است.

جدول (5). میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی دشت فیروزآباد به روش‌هاي مختلف

وزن هدف زیست محیطی	راه حل نامتقارن نش	راه حل نامتقارن کلی-اسمردینسکای	راه حل نامتقارن مساحت یک‌نواخت	راه حل نامتقارن زیان مساوي
0	235/46934	235/469343	235/4693435	202/90876
0/025	231/49272	231/918787	231/9187867	231/6347422
0/05	227/80014	228/36823	227/9421632	227/8001409
0/075	224/10756	224/817673	223/9655396	224/1075619
0/1	220/55701	221/125094	219/8468938	220/2729606
0/125	217/14847	217/574537	215/8702702	216/7224038
0/15	213/59791	214/023981	211/7516244	213/0298248
0/175	210/18938	210/331402	207/6329786	209/4792681
0/2	206/63882	206/780845	203/7983773	205/9287113
0/225	203/08827	203/230288	199/8217537	202/3781546
0/25	199/67973	199/537709	195/9871524	198/8275978
0/275	196/12917	195/987152	192/2945734	192/2945734
0/3	192/57862	192/436596	188/7440167	191/8685066
0/325	188/88604	188/886039	185/1934599	188/3179499
0/35	185/33548	185/19346	181/6429032	184/7673931
0/375	181/78493	181/642903	178/2343687	181/3588587
0/4	178/23437	178/092346	174/8258342	177/8083019
0/425	174/68381	174/54179	171/4172998	174/2577452
0/45	170/99123	170/991233	168/0087653	170/8492107
0/475	167/44068	167/440676	165/8784312	167/2986539
0/5	162/32787	163/748097	161/3337186	163/7480972
0/525	160/33956	160/19754	157/9251841	160/3395627
0/55	153/09643	156/646984	154/5166497	156/789006

ادامه جدول (5)

وزن هدف زیست محیطی	راه حل نامتقارن نش	راه حل نامتقارن کلی-اسمردینسکای	راه حل نامتقارن مساحت یک‌نواخت	راه حل نامتقارن زیان مساوي
0/575	149/54587	153/096427	151/1081152	153/2384492
0/6	145/99531	149/403848	147/6995807	149/6878925
0/625	142/44476	145/853291	144/2910462	146/279358
0/65	138/75218	142/302734	140/8825118	142/7288013
0/675	135/20162	138/752178	137/4739773	139/1782445
0/7	131/65106	135/059599	134/0654428	135/6276878
0/725	128/10051	131/509042	130/6569083	132/077131
0/75	128/10051	127/958485	127/2483739	128/6685966
0/775	124/54995	124/407928	123/8398394	125/1180398
0/8	120/99939	120/857372	120/4313049	121/5674831
0/825	117/44884	117/306815	117/1647927	118/0169263
0/85	114/0403	113/756258	113/7562582	114/6083919
0/875	110/48975	110/205701	110/489746	111/0578351
0/9	107/08121	106/797167	107/6493006	107/5072784
0/925	103/67268	103/388633	104/0987439	104/0987439
0/95	100/40616	99/9800981	100/5481871	100/5481871
0/975	96/99763	96/7135859	96/9976304	96/9976304
1	93/447074	93/4470737	93/44707365	161/013

ماخذ: یافته‌هاي تحقیق

جدول(6). میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی (میلیون متر مکعب)

وزن هدف زیست محیطی	نامتقارن نش	نامتقارن کلی- اسمردینسکای	نامتقارن سطح یک‌نواخت	نامتقارن زیان یک‌سان	میانگین
0/5	162/33	163/75	161/33	163/75	162/79

ماخذ: یافته‌هاي تحقیق

نتیجه‌گیری و پیش‌نهادها

با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر دشت فیروزآباد، برداشت کشاورزان از ذخایر آب زیرزمینی منطقه بی‌رویه است. این عمل اگر چه در کوتاه مدت منجر به افزایش سود خالص براي آن‌ها شده است، در بلندمدت باعث وارد شدن صدمات جبرانناپذیری بر توان آبی منطقه و محیط زیست می‌شود. در این مطالعه دو هدف متعارض، افزایش منافع اقتصادی و کاهش اثرهای منفی زیست محیطی، همراه با 14 راه‌حل مختلف برداشت از منابع آب زیرزمینی بررسی شد. برای تعیین الگوی کشت بهینه و درآمد خالص هر راه‌حل، از مدل برنامه‌ریزی خطی استفاده شد. این مدل نشان داد که با کاهش برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی، سود کشاورزان و به‌دنبال آن اثرهای زیست‌محیطی کاهش یافت. هم‌چونین در این مطالعه، ضمن معرفی فن ریاضی نظریه‌ي بازي‌ها، کاربرد آن در تعیین میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی آورده شد. نتایج نشان‌دهنده‌ی مزایای استفاده از این روش در مدیریت نهاده‌ي آب در منطقه‌ي مورد مطالعه، نسبت به مدل‌های بهینه‌یابی سنتی تک‌هدفی است. با استفاده از نظریه‌ي بازي‌ها که دو هدف اقتصادی و زیست محیطی را در بر می‌گیرد، میزان بهینه‌ي برداشت از آب‌هاي زیرزمینی 162/79 میلیون متر مکعب به‌دست آمد، و باید از برداشت فعلی 22 میلیون متر مکعب کاسته شود. بنابراین، بر اساس یافته‌های این مطالعه پیش‌نهاد می‌گردد که با اتخاذ راه‌بردهای کم‌آبیاری و به‌کارگیری سیستم آبیاری بارانی برداشت از آب‌های زیرزمینی را کاهش داد. هم‌چونین این مدل می‌تواند به کشاورزان در انتخاب الگوی کشت، راه‌برد آبیاری به نحوی

که درآمد کشاورزان و برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی بهینه گردد، یاری برساند. در نهایت پیش‌نهاد می‌گردد برای تعیین میزان برداشت بهینه از سفره‌هاي آب زیرزمینی که اهدافی در تعارض با یک‌دیگر اند، به جای مدل‌های بهینه‌یابی سنتی تک‌هدفی، از نظریه‌ي بازي‌ها استفاده شود.

منابع

آماده، ح. و صدرالاشرافی، س. م. (1380). بهینه‌سازی تلفیقی آب‌های سطحی و زیرزمینی در کشاورزی. مجله‌ی علوم کشاورزی، 32: 823-815.

پولادیان، ع. (1386). گزارش توجیهی پیش‌نهاد تمدید ممنوعیت منابع آب زیرزمینی محدوده‌ی مطالعاتی فیروزآباد. معاونت مطالعات پایه‌ی منابع آب مدیریت آب‌های زیرزمینی، شرکت سهامی آب منطقه‌یی فارس.

رحمانی، ع.ر. و سدهی، م. (1383). پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت همدان-بهار با مدل سری زمانی. آب و فاضلاب، 15(3):49-42.

حسینی میلانی، م.د. (1370). اضافه‌برداشت از منابع آب زیرزمینی و اثرهای آن. دومین همایش آب استان خراسان، بهره‌وري از منابع آب و توسعه‌ی پایدار.

عبدلی، ق. (1386). نظریه‌ي بازي‌ها و کاربرد آن: بازي‌های ایستا و پویا با اطلاعات کامل. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران.

کمیته‌ی کارشناسی ستاد مدیریت خشکی و بحران آب استان فارس. (1387). تامل و تدبیر در مقابله با بحران آب زراعی استان فارس. سازمان جهاد کشاورزی استان فارس.

گهرنژاد، ح. (1381). آب‌هاي شور و لب شور، بررسی تاثیرات و راه‌کارهای بهره‌برداري. مجموعه مقالات نخستین کنفرانس دانشجویی آب و خاک، دانشگاه اورمیه،310-301.

مازندرانی زاده، ح.، قاهري، ع. و عبدلی، ق.(1388). مدل بهره‌برداری پایدار از سفره‌ي آب زیرزمینی مشترک میان بهره‌برداران شهری و کشاورزی با استفاده از نظریه‌ي بازي‌ها. اقتصاد کشاورزی و توسعه، 67. 51-35.

Anbarci, N. (1993). Noncooperative Foundations of the Area Monotonic Solution. Quarterly Journal of Economics, 108: 245–258.

Aumann, R. (1974). Subjectivity and correlation in randomized strategies. Journal of Mathematical Economics, 1:67-96.

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

Dinar, A., Farolfi, S., Patrone, F. and Rowntree, K. (2006). To negotiate or to game theorize:Negotiation vs. game theory outcomes for water allocation problems in the Kat basin, South Africa. The 6th meeting on game theory and practice, Zaragoza, Spain, July 10-12.

FAO Organization. (1973). Irrigation, Drainage salinity and an international source book.FAO/UNESCO, London, pp:510.

Kloezen, W.H. and Garces, R.C. (1998). Assessing irrigation performance with comparative indicators: the case of the Alto Rio Lerma irrigation district, Mexico. Research Report No. 22, International Water Management Institute.

Kalai, E. and Smorodinsky, M. (1975). other solutions to Nash's Bargaining problem. Econometrica, 43: 513–518.

Kreps D. and Welson, R. (1982). Réputation and imperfect information. Journal of Economic Theory, 27: 253-279.

Harsanyi, J.C. (1967). Games with incomplete information played by baysian players, I-III part I The Basic Model. Management Science, 14(3): 159-182.

Hugo, A.L. (2004). Analytic game- theoretic approach to groundwater extraction. Journal of Hydrology, 297: 23-33.

Lund, J.R. and Palmer, R.N. (1997). Water resource system modeling for conflict resolution. Water Resources Update, 3(108): 70–82.

Msangi, S. (2005). Learning in non-cooperative groundwater extraction application of entropy filters to a dynamic game. In: Paper presented at the Second Conference on Information and Entropy Econometrics: Theory, Method, and Applications, Washington, DC, September, 23–25, 2005.

Nakao, M.D., Wichelns D. and Montgomery, I. (2002). Game theory analysis of competition for groundwater involving El Paso, Texas and Ciudad Juarez, Mexico. In: Paper presented at ''Moving with the Speed of Change'', the 2002 Annual Meeting of the American Agricultural Economics Association, Long Beach, CA, July 18–31, 2002.

Nash, J. (1950). Equilibrium points in N-person games, proceedings of the national Academy of sciences, 36: 48-69.

Raquel, S., Szidarovszky, F., Coppola, E. Jr. and Rajano, A. (2007). Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. Journal of Environmental Management, 54:560-571.

Selten, R. (1965). Spieltheoretische Behandlung eines Oligopolmodells mit Nachfragetragheit, Zeitschrift für die gesamte Staatrwissenschaft, 121: 301 - 24, 667 – 89.

Von Neumann, J. and Morgenstern, O. (1944). Theory of Games and Economic Behavior. Princeton University Press.