نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره سوم، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.14174.2890

تعیین برداشت بهینه منابع آب زیرزمینی با استفاده از نظریه بازی‌ها (مطالعه موردی: شهرستان گرگان)

الناز اسدی[۱]، *علی کرامت‌زاده[۲] و فرشید اشراقی[۲]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۱٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۲٤

چکیده

سابقه و هدف: یکی از عوامل اصلی و محدودکننده توسعه بخش کشاورزی ایران کمبود منابع آب می‌باشد. برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی و کاهش ریزش‌های جوی، منجر به افت سطح آب زیرزمینی شده و تغذیه سالیانه از طریق ریزش‌های جوی نیز نمی‌تواند این مقدار افت سطح ایستایی را جبران کند. همچنین، کشاورزان انگیزه اقتصادی کافی نیز برای حداقل کردن اثرات محیط‌زیستی منفی مانند کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی را ندارند. بنابراین اغلب مسائل تصمیم‌گیری در مدیریت منابع طبیعی به‌ویژه منابع آب با مسأله وجود اهداف متضاد مانند حداکثر کردن سودهای اقتصادی و حداقل کردن اثرات محیط‌زیستی منفی روبه‌رو است. بر این اساس، در مطالعه حاضر به‌منظور مدیریت منابع آب زیرزمینی از روش نظریه بازی‌ها کمک گرفته شد.

مواد و روش‌ها: جامعه آماری مورد مطالعه حاضر کل چاه‌های آب شهرستان گرگان می‌باشد. اطلاعات مورد نیاز شامل اطلاعات هزینه تولید و اطلاعات چاه‌های آب کشاورزی بوده که در سال زراعی ۹٤-۱۳۹۳ از طریق تکمیل تعداد ۸۸ پرسشنامه با روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای جمع‌آوری گردید. در این مطالعه بر اساس اطلاعات میانگین برداشت آب زیرزمینی در سال‌های مختلف تعداد شش سناریوی استخراج آب زیرزمینی در نظر گرفته شد و برای تخمین منافع اقتصادی و اثرات محیط‌زیستی به‌ترتیب از درآمد خالص کشاورزان و میزان استخراج منابع آب زیرزمینی استفاده گردید. سپس میزان بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی به روش راه‌حل نامتقارن نش تعیین شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه با کاهش استخراج آب زیرزمینی برای آبیاری، سطح زیرکشت بهینه و درآمد خالص کشاورزان کاهش یافت. همچنین نتایج این مطالعه بیان نمود زمانی که سود اقتصادی به‌عنوان تنها هدف ملاحظه می‌شود استخراج آب زیرزمینی در بالاترین حد خود معادل ۵۷۹ میلیون مترمکعب و زمانی که اهداف محیط‌زیستی به‌عنوان تنها هدف ملاحظه شود سناریوی بهینه آب زیرزمینی در حداقل حجم استخراج آب زیرزمینی معادل ٦٦ میلیون مترمکعب می‌باشد. هنگامی که به اهداف محیطی و اقتصادی وزن یکسانی داده شود، بهترین سناریوی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی معادل ۲٤٦ میلیون مترمکعب و درآمد کشاورزان ۲۳٤۰۰۰۰ میلیون ریال در سال می‌باشد.

* مسئول مکاتبه: alikeramatzadeh@yahoo.com

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد میزان برداشت سالانه آب زیرزمینی از تغذیه سالانه این منابع بیش‌تر بوده و تغییرات ذخیره آبخوان منفی می‌باشد. بنابراین برداشت کشاورزان از منابع آب زیرزمینی منطقه بی‌رویه است. این عمل اگر چه در کوتاه‌مدت منجر به افزایش سود خالص برای آن‌ها شده است، ولی در بلندمدت باعث وارد شدن صدمات جبران‌ناپذیری بر توان آبی منطقه و محیط زیست می‌شود. همچنین طبق نتایج به‌دست آمده از نظریه بازی‌ها میزان بهینه برداشت از منابع آب زیرزمینی باید از برداشت فعلی کم‌تر باشد. همچنین نتایج الگوی بهینه کشت بیانگر آن است که با کاهش مصرف آب سطح زیر کشت بهینه محصولات کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، راه‌حل نامتقارن نش، شهرستان گرگان، نظریه بازی‌ها

مقدمه

فعالیت‌های کشاورزی از شاخص‌های مهم توسعه کشورها محسوب می‌گردد و نقش زیربنایی در اقتصاد ملی هر کشور دارد. امروزه آب، این منبع حیات‌بخش یکی از مؤلفه‌های مهم در بخش کشاورزی به حساب می‌آید. از جمله عوامل اصلی و محدودکننده توسعه بخش کشاورزی ایران کمبود منابع آب می‌باشد. با توجه به این‌که در مناطقی که منبع آب سطحی (رودخانه) وجود ندارد و یا به‌دلیل نامنظم بودن جریان آب رودخانه در سال‌ها یا فصول مختلف کمبود آب به‌وجود می‌آید، تنها منبع تأمین آب برای مصارف کشاورزی و شرب آب‌های زیرزمینی است (۲). برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی و کاهش ریزش‌های جوی، منجر به افت سطح آب زیرزمینی شده و تغذیه سالیانه سفره به‌واسطه ریزش‌های جوی نیز نتوانسته است این مقدار افت سطح ایستایی را جبران کند (۹). امروزه تأمین آب مورد نیاز برای آبیاری محصولات در بخش کشاورزی، محور عمده بسیاری از چالش‌های پیش روی بشر است، چرا که یکی از عمده‌ترین مصرف‌کنندگان منابع آب در سطح جهان، کشاورزان می‌باشند. با توجه به این‌که فعالیت‌های کشاورزی حدود ۷۰ درصد آب مصرفی جهان را به خود اختصاص داده‌اند، بنابراین فعالان این بخش باید سازوکارها و دستورالعمل‌های لازم برای تخصیص و بهینه نمودن مصرف آب را سرلوحه تصمیمات خود قرار دهند (۱۲). همچنین محدودیت این منابع، توزیع نامتوازن و افزایش آن برای مصارف مختلف از یک طرف و همچنین افزایش رقابت بین مصرف‌کنندگان از طرف دیگر باعث شده است تا مسأله تخصیص بهینه منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار گردد. اغلب مسائل تصمیم‌گیری در مدیریت منابع طبیعی با مسأله وجود اهداف متضاد مانند حداکثر کردن منافع اقتصادی و حداقل کردن اثرات محیط زیستی منفی روبه‌رو می‌باشند. در این گونه موارد که اهداف با یکدیگر در تعارض هستند، بهبود در یک هدف تنها به قیمت از دست دادن اهداف دیگر به‌دست می‌آید (۱۰). در این شرایط تصمیم‌گیران به تعیین یک راه‌حل توافقی می‌پردازند به‌نحوی‌که به یک رفتار قابل‌قبول اجتماعی دست یابند. بنابراین می‌توان برای تعامل بین اهداف متعارض از روش نظریه بازی‌ها کمک گرفت. نظریه بازی‌ها حوزه‌ای از ریاضیات کاربردی است که در بستر علم اقتصاد توسعه‌یافته است و به مطالعه رفتار راهبردی بین عوامل عقلانی می‌پردازد. رفتار راهبردی، زمانی بروز می‌کند که مطلوبیت هر عامل، نه فقط به راهبرد انتخاب شده توسط خود وی بلکه به راهبرد انتخاب شده توسط بازیکنان دیگر همبستگی داشته باشد. به تعبیر دیگر نظریه بازی‌ها علم مطالعه تعارض‌ها (تضاد

منافع) و همکاری میان بازیکنان عاقل است (۱). اعتبار معرفی مفهوم نظریه بازی‌ها به کار مشترک ون نیومان و مرگن اشترن (۱۹۹٤) پس از انتشار کتابی با عنوان نظریه عمومی بازی‌ها و رفتار اقتصادی برمی‌گردد (۱۵). افزون بر آن جان نش (برنده جایزه نوبل اقتصاد سال ۱۹۹٤) با آوردن مفهوم تعادل نش و اثبات وجود آن در برخی فرض‌های نسبتاً عمومی و دست‌یافتنی در دهه ۵۰ میلادی این اطمینان را به وجود آورد که نظریه بازی‌ها قابلیت فراوانی برای بررسی مسائل مختلف دارد (۷). از آن‌جایی‌که در مطالعه حاضر به تعیین میزان برداشت بهینه منابع آب زیرزمینی با استفاده از نظریه بازی‌ها پرداخته می‌شود، بنابراین بررسی برخی مطالعات انجام شده داخلی و خارجی در ارتباط با موضوع پژوهش به‌شرح زیر می‌باشد. ناکائو و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از تئوری بازی‌ها مدیریت آب‌های زیرزمینی فرامرزی را مورد مطالعه قرار داده‌اند و به تحلیل نظریه بازی‌ها در شرایط رقابتی آب‌های زیرزمینی شهرهای ال‌پاسو، تگزاس و سیوداد خوارز، مکزیک پرداختند (٦). سالازار و همکاران (۲۰۰۷) برای حل مسئله تعارض چندهدفه برای یک منطقه منتخب در مکزیک، از نظریه بازی‌ها استفاده کردند و منافع اقتصادی حاصل از تولیدات کشاورزی را با اثرات محیط‌زیستی منفی مربوطه، در توازن با هم قرار دادند از بین ۱۲ سناریوی جایگزین، سناریوی بهینه را انتخاب کردند (۱۱). صالحی و همکاران (۲۰۱۰) به کاربرد نظریه بازی‌ها در تعیین میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی دشت تایباد پرداخته‌اند. نتایج مطالعه نشان داد هنگامی که اهداف اقتصادی و محیط‌زیستی از درجه اهمیت یکسانی برخوردار باشند، میزان برداشت منابع آب زیرزمینی بهینه می‌گردد (۱۳). صبوحی و مجرد (۲۰۱۰) به کاربرد نظریه بازی در مدیریت منابع آب زیرزمینی حوزه آبریز اترک پرداخته‌اند. نتایج نشان داد زمانی‌که به اهداف محیطی و اقتصادی وزن یکسانی داده شود، بهترین سناریوی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بین ٦٤ تا ۱۱۷ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد (۱۰). ویی و همکاران (۲۰۱۰) از یک مدل مبتنی بر نظریه بازی‌ها برای بررسی حل اختلاف در مورد پروژه انتقال آب در چین استفاده کردند. نتایج اصلی نشان داد حتی اگر بعضی از بازیکنان ضرر کنند، همکاری بازیکنان منجر به تخصیص بهینه منابع آب می‌گردد (۱۷). پورزند و زیبایی (۲۰۱۱) به کاربرد نظریه بازی‌ها در تعیین میزان برداشت بهینه از سفره‌های آب زیرزمینی دشت فیروزآباد پرداخته‌اند. نتایج نشان داد هنگامی‌که اهداف اقتصادی و محیط زیستی از اهمیت یکسانی برخوردار باشند، میزان برداشت بهینه حدود ۱٦۳ میلیون مترمکعب می‌باشد (۸). ونگ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش چانه‌زنی نش به حل مناقشات آبی حوضه کانال ژانگ وینن در شمال چین پرداختند. در این مطالعه حوضه به چهار استان ذینفع تقسیم شد. استفاده از آب و برداشت آلاینده‌ها با استفاده از مدل پایدار و با در نظر گرفتن اهداف محیطی بهینه گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار مصرف آب و مقدار برداشت آلاینده‌ها کاهش می‌یابد (۱٦). کامجو و خوش‌اخلاق (۲۰۱٦) با استفاده از نظریه بازی‌ها به ارزیابی رابطه بین پنج متقاضی آب شامل مسکونی، کشاورزی، صنعت، گردشگری و محیط زیست و عرضه بلندمدت اقتصادی آب در حوضه آبریز زاینده‌رود پرداختند. نتایج حاصل از مجموع برآوردها تحت دو بازی انسان- انسان و بازی انسان- طبیعت تحلیل شد (٤). ترقی و همکاران (۲۰۱۷) جهت حل تعارضات برای مدیریت پایدار منابع آب از تئوری بازی استفاده نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد با افزایش وزن محیط زیستی، سطح زیرکشت و به تبع آن سود خالص کشاورزی، در تمامی سناریوها کاهش می‌یابد

(۱۵). جمع‌بندی مطالعات انجام شده کاربرد نظریه بازی‌ها را در مواردی که اهداف با هم در تضاد است نشان می‌دهد. همچنین در حوزه منابع آبی غالباً از روش برنامه‌ریزی خطی برای به‌دست آوردن هدف اقتصادی یا عایدی کشاورزان استفاده شده است. بر این اساس در مطالعه حاضر به‌منظور تعیین برداشت بهینه منابع آب زیرزمینی از رهیافت تعادل نامتقارن نش استفاده شد. در این مطالعه کشاورزان (بازیکن ۱) به دنبال حداکثر کردن سود اقتصادی و محیط‌زیست (بازیکن ۲) به‌دنبال حداقل کردن زیان محیط زیستی می‌باشند. همچنین حجم کل استخراج از منابع آب زیرزمینی به‌عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شهرستان گرگان می‌باشد که با مساحت ۱۶۱۵/۸ کیلومترمربع حدود ۷/۹۱ درصد از مساحت استان گلستان را به خود اختصاص داده است (شکل ۱). این شهرستان با دارا بودن ۶۷/۳ هزار هکتار اراضی زراعی و ۲/۶ هزار هکتار باغ به‌عنوان یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در استان گلستان می‌باشد (سازمان جهاد کشاورزی شهرستان گرگان، ۱۳۹۳). جامعه آماری مورد مطالعه کل چاه‌های آب شهرستان گرگان بوده و در مجموع تعداد ۸۸ پرسشنامه با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای تکمیل گردیده است.

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان گرگان.

Figure 1. Geographical location of Gorgan County.

بر اساس نتایج آخرین گزارش دفتر مطالعات پایه منابع آب ایران (جدول ۱)، مؤلفه‌های مربوط به بخش آب زیرزمینی شهرستان گرگان بر اساس داده‌های سال آبی ۸۱-۱۳۸۰ لغایت ۹۰-۱۳۸۹ در یک دوره آماری ۱۰ ساله ارائه شده است.

جدول ۱- ترازنامه آب زیرزمینی شهرستان گرگان (میلیون مترمکعب).

Table 1. Gorgan county groundwater balance sheet (MCM).

ردیف Row	اجزای ترازنامه Balance sheet items		تغذیه Recharge	برداشت Exploitation
1	جریان ورودی زیرزمینی Groundwater inflow		397.93	-
2	نفوذ بارندگی بر سطح آبخوان Rainfall infiltration on aquifer	تغذیه Recharge	-	-
3	نفوذ از جریان‌های سطحی و سیلابی Infiltration of surface and flood flows		-	-
4	نفوذ از آب آبیاری Infiltration of irrigation		-	-
5	جمع تغذیه Total recharge		397.93	-
6	بهره‌برداری از چاه Well Exploitation		-	401.3
7	زهکشی آب زیرزمینی Groundwater Drainage		-	-
8	تبخیر از آبخوان Aquifer Evaporation	برداشت Exploitation	-	-
9	سنگ کف Bed Rock		-	-
10	جریان خروجی زیرزمینی Groundwater outflow		-	1.59
11	جمع برداشت Total exploitation		-	402.89
12	تغییرات حجم ذخیره آبخوان Changes in aquifer storage		-	-4.96

مأخذ: دفتر مطالعات پایه منابع آب ایران، ۱۳۹۲

به‌منظور مدل‌سازی استخراج آب زیرزمینی از سناریوهای مختلف برداشت آب زیرزمینی در شهرستان گرگان استفاده شد و برای تعیین اثرات اقتصادی و محیط‌زیستی هر سناریوی تخلیه آب زیرزمینی، از برنامه‌ریزی خطی و روش حل تضاد بین اهداف (نظریه بازی) استفاده گردید، به‌نحوی‌که بین اهداف اقتصادی و محیط‌زیستی در منطقه تعادل ایجاد شود. اهداف اقتصادی شامل درآمد خالص کشاورزان می‌باشد که برای هر سناریو به روش برنامه‌ریزی خطی تعیین می‌شود. اهداف محیط زیستی مربوط به استخراج بیش از حد منابع آب زیرزمینی می‌باشد که با اندازه‌گیری میزان تخلیه منابع آب زیرزمینی به‌دست می‌آید. در جدول ۲ سناریوهای مختلف بهره‌برداری از آب زیرزمینی ارائه شده است که مقدار این سناریوها با توجه به گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای و بر اساس کم‌ترین میزان برداشت تا بیش‌ترین میزان برداشت طی سالیان مختلف به‌دست آمده است. همچنین با توجه به این‌که سناریوهای انتخاب شده بر اساس اطلاعات تاریخی منطقه به‌دست آمده، ممکن است میزان آب استحصال شده بهینه نباشد. بر این اساس این مطالعه به دنبال تعیین میزان بهینه برداشت آب می‌باشد.

جدول ۲- سناریوهای مختلف برداشت آب زیرزمینی در شهرستان گرگان (میلیون مترمکعب).

Table 2. Different scenarios of groundwater exploitation in Gorgan County (MCM).

سناریوها Scenarios	1	2	3	4	5	6
برداشت آب زیرزمینی Groundwater exploitation	66	132	291	398	403	579

مأخذ: شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان، ۱۳۹۳

سود خالص کشاورزان برای هر سناریوی برداشت آب زیرزمینی با این فرض که کشاورزان محصولات خود را در یک الگوی کشت بهینه بر طبق قیمت بازاری و دسترسی به آب کشت می‌کنند با استفاده از برنامه‌ریزی خطی تخمین زده می‌شود. بدین‌منظور تابع هدف به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\begin{aligned} &Max\ z = \sum_{j=1}^{n} (P_j.Y_j - C_j).X_j \\ &s.t.: \\ &\sum_{j=1}^{n} a_{ij} X_j \le b_i \\ &X_j \ge 0 \end{aligned} \qquad (۱)$$

که در آن، z ارزش تابع هدف، Y_j عملکرد محصول j ام (کیلوگرم در هکتار)، P_j قیمت هر کیلوگرم محصول j ام (ریال)، C_j هزینه تولید هر هکتار محصول j (ریال)، Xj سطح زیر کشت محصول j ام (هکتار)، a_{ij} میزان مصرف منبع i ام برای محصول j ام، b_i موجودی منبع i ام، و n تعداد محصولات می‌باشد. در این مطالعه تعداد ۱۱ محصول شامل محصولات گندم، سویا، سیب‌زمینی، کلزا، باقلا، ذرت علوفه‌ای، برنج، گوجه‌فرنگی، پنبه بهاره، پنبه تابستانه و جو در نظر گرفته شد. مهم‌ترین محدودیت‌های مدل به‌شرح زیر می‌باشند:

محدودیت زمین: با توجه به این‌که در منطقه علاوه بر وجود محصولات تک‌کشتی، محصولات کشت دوم نیز وجود دارد بنابراین محدودیت زمین به‌صورت روابط زیر بیان می‌شود:

$$\sum_{j=1}^{n} X_j \le TA \qquad (۲)$$

$$\sum_{j=1}^{s} X_j \le TL \qquad (۳)$$

که در آن، X_j سطح زیر کشت محصول j ام، TA کل سطح زیر کشت موجود در شهرستان گرگان، s محصولات کشت دوم شامل محصولات سویا، برنج، ذرت علوفه‌ای، گوجه، پنبه بهاره و پنبه تابستانه بوده و TL کل زمین‌های قابل کشت در شهرستان گرگان می‌باشد. کل سطح زیر کشت موجود در منطقه به اندازه ٦٥٦٨٨ و کل زمین قابل کشت موجود ٥٦٣٩٥ هکتار است.

محدودیت آب: از آن‌جا که دوره کشت و نیاز آبی محصولات مختلف و میزان موجودی منابع آب مناطق در ماه‌های مختلف سال با یکدیگر تطابق ندارد، بنابراین ضروری است که محدودیت آب به‌صورت ماهانه و جدا از هم در نظر گرفته شود. بر این اساس محدودیت آب به‌صورت رابطه ٤ می‌باشد.

$$\sum_{j=1}^{n} w_{jk} X_{jk} \le Tw_k \quad k = 1, 2, \ldots, 12 \qquad (٤)$$

رابطه بالا بیانگر این است که مجموع آب‌های مصرفی در هر ماه باید کوچک‌تر از کل آب موجود در هر ماه باشد. در این رابطه W_{jk} آب مورد نیاز محصول j ام در ماه K ام بوده و برای محاسبه این مقادیر از نرم‌افزار NETWAT و اطلاعات متوسط راندمان آبیاری منطقه استفاده شده است. همچنین TW_k کل

آب موجود در ماه k ام می‌باشد که از مجموع منابع آب سطحی و سناریوهای مختلف برداشت آب زیرزمینی به‌دست آمده است.

محدودیت نیروی کار: تقاضا برای نیروی کار در فعالیت‌های مختلف تولید محصولات زراعی تابع عملیات مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت می‌باشد. محدودیت مذکور به‌صورت رابطه زیر بیان گردید:

$$\sum_{j=1}^{n} L_{jm} X_j \leq TL_m \quad m = 1,2,3,4 \qquad (۵)$$

که در آن، L_{jm} نیروی کار لازم هر هکتار محصول j ام در ماه m ام بوده و این مقادیر از اطلاعات پرسشنامه به‌دست آمده است و TL_m کل نیروی کار موجود در فصل m ام می‌باشد. برای محاسبه کل نیروی کار موجود در منطقه از اطلاعات مرکز آمار ایران و سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان استفاده شده است.

محدودیت کود شیمیایی: محدودیت‌های جداگانه‌ای برای هر کدام از کودهای شیمیایی ازت و فسفات و پتاس به‌صورت رابطه‌های ٦ الی ٨ در نظر گرفته شده است.

$$\sum_{j=1}^{n} PH_j X_j \leq TPH \qquad (٦)$$

$$\sum_{j=1}^{n} N_j X_j \leq TN \qquad (٧)$$

$$\sum_{j=1}^{n} P_j X_j \leq TP \qquad (٨)$$

که در آن‌ها، PH_j میزان کود فسفات مورد نیاز هر هکتار محصول j ام (کیلوگرم)، TPH میزان کل کود فسفات قابل‌دسترس محصولات، N_j میزان کود ازت مورد نیاز هر هکتار محصول j ام (کیلوگرم)، TN میزان کل کود ازت قابل‌دسترس محصولات، P_j میزان کود پتاس مورد نیاز هر هکتار محصول j ام، (کیلوگرم)، TP میزان کل کود پتاس قابل‌دسترس محصولات می‌باشد. برای محاسبه مقادیر کود مورد نیاز در هر هکتار از اطلاعات پرسش‌نامه استفاده گردید و مقدار کل کود فسفات، ازت و پتاس توزیع شده در منطقه به‌ترتیب ٧٤٩٥٩٠٠، ٩٩٤٩٠٠٠ و ٢٥٦٩٩٨٥ کیلوگرم می‌باشد که بر اساس اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان به‌دست آمد.

محدودیت ماشین‌آلات کشاورزی: از آن‌جا که تقریباً تمام فعالیت‌های کشاورزی با تراکتور و کمباین صورت می‌گیرد، بنابراین دسترسی به ماشین‌آلات به‌عنوان محدودیت لحاظ شد و جهت وارد کردن آن در مدل از روابط زیر استفاده شده است:

$$\sum_{j=1}^{n} t_j X_j \leq Tt \qquad (٩)$$

$$\sum_{j=1}^{n} k_j X_j \leq Tk \qquad (١٠)$$

که در آن‌ها، t_j تعداد ساعت تراکتور مورد نیاز هر هکتار محصول j ام، k_j تعداد ساعت کمباین مورد نیاز هر هکتار محصول j ام بوده و مقادیر آن‌ها بر اساس اطلاعات پرسش‌نامه استخراج گردیده است. همچنین Tt کل ساعت بهره‌برداری قابل‌دسترس تراکتور و Tk کل ساعت بهره‌برداری قابل‌دسترس کمباین می‌باشد. برای محاسبه این مقادیر از اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان استفاده شده است.

محدودیت سرمایه: از آن‌جا که کشاورزان برای تأمین نهاده‌های خود با محدودیت نقدینگی و یا سرمایه روبرو هستند، بنابراین محصولات مختلف برای استفاده از این نهاده با هم رقابت می‌کنند. هر محصول با توجه به‌میزان استفاده از نهاده‌های مختلف، میزان سرمایه متفاوتی را نیز نیاز دارد. به‌منظور وارد کردن محدودیت سرمایه در مدل، میزان سرمایه مورد نیاز هر واحد

فعالیت تولیدی معادل میزان هزینه‌های متغیر آن، که شامل هزینه‌های مربوط به مراحل آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت و برداشت هر هکتار محصول زراعی می‌باشد در نظر گرفته شده است. ساختار کلی معادله مربوط به این محدودیت به‌صورت رابطه ۱۱ وارد مدل گردیده است.

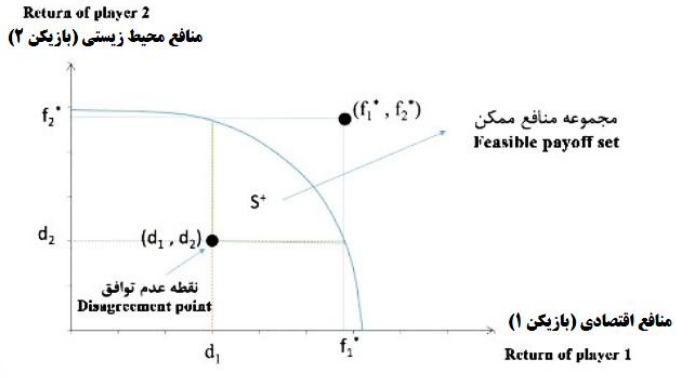
$$\sum_{j=1}^{11} I_j X_j \leq TI \qquad (۱۱)$$

که در آن، I_j نشان‌دهنده هزینه‌های سرمایه‌گذاری نقدی مورد نیاز هر هکتار محصول j ام و TI کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری نقدی در دسترس است.

محدودیت تناوب زراعی: به‌منظور رعایت تناوب زراعی محصولات منتخب در منطقه مورد مطالعه، متوسط سهم سطح زیر کشت هر کدام از محصولات از کل سطح زیر کشت طی چهار سال اخیر مشخص گردید و در محدودیت‌های مدل قرار گرفته است.

کاربرد نظریه بازی‌ها (روش حل تضادها): در این روش هر دو هدف اقتصادی و محیط زیستی بین صفر تا یک نرمال می‌شوند. ارزش صفر و یک به‌ترتیب برابر با بدترین و بهترین نتیجه می‌باشد. تضاد دو هدف به روش ریاضی با مجموعه (s,d) تعریف می‌شود که $s \subseteq R^2$ مجموعه‌ای از منافع ممکن و $d \subseteq R^2$ مجموعه‌ای از بدترین نتایج ممکن می‌باشد. 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 ($d_1 = d_2 = 0$). همان‌گونه که در شکل ۲ ملاحظه می‌گردد مرز پارتو[1] توسط تابع مقعر و اکیداً نزولی g در فاصله $[d_1 , f_1^*]$ تعریف شده است که در آن $d_2=g(f_1^*)$ و $f_2^*=g(d_1)$ می‌باشد. بردار d، به‌عنوان نتایج در حالت عدم توافق تعریف می‌شود (وضع کنونی) و ترکیبی از منافع بازیکن‌ها در حالتی که به یک توافق کلی نمی‌رسند، می‌باشد. در این حالت مجموعه نتایج ممکن S به حالتی که هیچ‌یک از بازیکن‌ها به یک توافق دست نمی‌یابند، محدود می‌شود. اگر بردار d به‌عنوان بدترین نتایج ممکن دو گروه هدف انتخاب شود، آن‌گاه $S_+=S$ خواهد بود (۱۱).

$$S_+=\{f=(f_1,f_2)/\ f \quad S,\ f\geq d\} \qquad (۱۲)$$



شکل ۲- مرز پارتو برای دو گروه هدف اقتصادی و محیط زیستی.

Figure 2. Pareto frontier of the two players.

1- Pareto frontier

در راه‌حل نش بایستی مجموعه شرایطی را رعایت نمود که این شرایط از نقطه‌نظرهای مختلف، راه‌حل بی‌طرفانه‌ای را ارائه می‌کند (٦). این راه‌حل نتایج را از فرآیند چانه‌زنی به‌دست می‌آورد. در راه‌حل نش یک نقطه واحد در مرز پارتو انتخاب می‌شود. برای تعیین جواب بهینه، راه‌حل نش به‌صورت زیر فرموله شد:

$$Max \ (f_1 - d_1)(f_2 - d_2) \qquad (۱۳)$$
$$Subject\ to \quad d_1 \le f_1 \le f_1^*$$
$$f_2 = g(f_1)$$

اگر $f_1 = d_1$ و $f_1 = f_1^*$، تابع هدف برابر صفر و برای همه مقادیر $f_1 \in (f_1, f_1^*)$، تابع هدف مثبت است. در صورتی که محدودیت دوم، $f_2 = g(f_1)$، در تابع هدف جایگزین شود، مسأله به‌صورت تک‌بعدی زیر در می‌آید و با یک الگوریتم جست و جوی ساده تک‌بعدی می‌توان آن را حل کرد (۱۰).

$$Max \quad (f_1 - d_1)(f_2 - d_2) \qquad (۱٤)$$
$$subject\ to \quad d_1 \le f_1 \le f_1^*$$

راه‌حل نامتقارن نش: راه‌حل نامتقارن نش توسط هارسانی و ستلن (۱۹۷۲) از طریق توسعه مدل اولیه نش معرفی شد (٤). این روش تعمیمی از رابطه (١٤)، با وزن‌های نامساوی است. در این روش وزن‌های (w_1 , w_2) به هر یک از بازیکنان داده می‌شود و از این طریق جواب بهینه‌ای برای این مسأله به‌دست می‌آید. بنابراین بازیکنی که دارای وزن بیش‌تری است در تابع هدف از اهمیت بیش‌تری نیز برخوردار است (۳).

$$Max \quad (f_1 - d_1)_1^w (f_2 - d_2)_2^w \qquad (۱٥)$$
$$Subject\ to \quad d_1 \le f_1 \le f_1^*$$
$$f_2 = g(f_1)$$

نتایج و بحث

نتایج الگوی کشت بهینه حاصل از اجرای مدل برنامه‌ریزی خطی برای هر سناریوی استخراج آب زیرزمینی در جدول ۳ ارائه شده است. در ردیف اول جدول، سناریوهای مختلف میزان استخراج آب زیرزمینی از ٦٦ تا ٥٧٩ میلیون مترمکعب آورده شده است. در ردیف دوم جدول سطح زیر کشت بهینه محصولات ارائه شده است. همچنین درآمد خالص کشاورزان بر اساس الگوی کشت منطقه متناظر با هر سناریوی استخراج آب زیرزمینی تعیین گردید.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود سناریوی با استخراج آب کم‌تر دارای درآمد خالص کم‌تری نیز می‌باشد. همین‌طور به‌علت کمبود آب مقداری از زمین دست‌نخورده باقی مانده و برخی از محصولات از مدل حذف شده است. سطح زیر کشت محصولات سیب‌زمینی، ذرت و برنج به‌دلیل سودآوری بالای این محصولات تغییر نکرده و سطح زیر کشت محصولات گندم و سویا با کاهش آب، کاهش یافته است. در جدول ٤ سایر اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت بهینه هر محصول برای سناریوهای استخراج آب آمده است.

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

Table 3. Net income and optimal crop area for different groundwater exploitation scenarios.

6	5	4	3	2	1	سناریوها Scenarios
579	403	398	291	132	66	استخراج آب زیرزمینی (میلیون مترمکعب) Groundwater exploitation (MCM)[1]
						سطح زیر کشت بهینه محصولات (واحد: هکتار) Optimal crop area (ha)[2]
29922	28379	28105	22219	13221	8443	گندم Wheat
25559	23742	23742	17857	9531	5080	سویا Soya
4448	4448	4448	4448	4448	4448	سیب‌زمینی Potato
0	0	0	0	0	0	کلزا Canola
0	0	0	0	0	0	باقلا Bean
764	764	764	764	764	764	ذرت علوفه‌ای Corn
2599	2599	2599	2599	2599	2599	برنج Rice
0	0	0	0	0	0	گوجه‌فرنگی Tomato
0	0	0	0	0	0	پنبه بهاره Spring cotton
0	0	0	0	0	0	پنبه تابستانه Summer cotton
0	0	0	0	0	0	جو Barley
64292	61207	60657	48887	30889	21334	جمع Total
2710000	2640000	2620000	2320000	1830000	1560000	درآمد خالص (میلیون ریال) Net income (million Rials)

منبع: یافته‌های تحقیق

1- Million Cubic Meter
2- Hectare

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

Table 4. Payoff matrix of the two players.

ضریب استخراج بیش از حد آب زیرزمینی (اثر محیطی) Aquifer overexploitation coefficient	درآمد خالص (میلیون ریال) Net income (million Rials)	سطح زیر کشت (هکتار) Crop area (ha)	برداشت آب زیرزمینی (میلیون مترمکعب) Groundwater exploitation (MCM)	سناریوها Scenarios
0.1	1560000	21334	66	1
0.3	1830000	30889	132	2
0.7	2320000	48887	291	3
1	2620000	60657	398	4
1.1	2640000	61207	403	5
1.5	2710000	64292	579	6

منبع: یافته‌های تحقیق

در جدول ٤ ماتریس منافع دو گروه هدف اقتصادی و محیط‌زیستی ذکر شده است که ستون چهارم و پنجم به‌ترتیب هر یک از اهداف اقتصادی و محیط زیستی را نشان می‌دهند. همچنین برای محاسبه اثر محیطی‌زیستی، به‌ازای هر راه‌حل برداشت، از ضریب برداشت بیش از حد که از تقسیم میزان برداشت به تغذیه به‌دست می‌آید، استفاده شد (٦). زمانی که آب موجود کاهش می‌یابد سطح زیر کشت بهینه کاهش می‌یابد که بدین‌معنی است که اغلب محصولات کشت‌شده از نیاز آبی بالایی برخوردارند، بنابراین دارای سودآوری کم‌تری می‌باشند.

قبل از به‌کارگیری نظریه بازی‌ها، مجموعه آلترناتیوها باید بین صفر تا یک نرمال شوند که در جدول ٥ نتایج حاصل از نرمال کردن ماتریس منافع دو گروه هدف اقتصادی و محیط‌زیستی برای پنج سناریوی برداشت آب زیرزمینی آمده است. به‌منظور نرمال نمودن از رابطه زیر استفاده شده است.

$$Z_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \qquad (١٦)$$

که در آن، Z_i عدد نرمال‌شده، X_i عدد به‌دست آمده، X_{min} مقدار حداقل و X_{max} مقدار حداکثر می‌باشد. ارزش صفر و یک به‌ترتیب برابر با بدترین و بهترین نتیجه می‌باشد.

جدول ٥- ماتریس منافع نرمال‌شده دو گروه هدف اقتصادی و محیطی.

Table 5. Normalized payoff matrix of the two players.

ضریب استخراج بیش از حد آب زیرزمینی (نرمال) Normalized groundwater exploitation	درآمد خالص (نرمال) Normalized net income	سطح زیر کشت (هکتار) Crop area (ha)	تخلیه آب زیرزمینی (میلیون مترمکعب) Groundwater exploitation (MCM)	سناریوها Scenarios
1	0	21334	66	1
0.858	0.234	30889	132	2
0.572	0.661	48887	291	3
0.358	0.921	60657	398	4
0.286	0.939	61207	403	5
0	1	64292	579	6

منبع: یافته‌های تحقیق

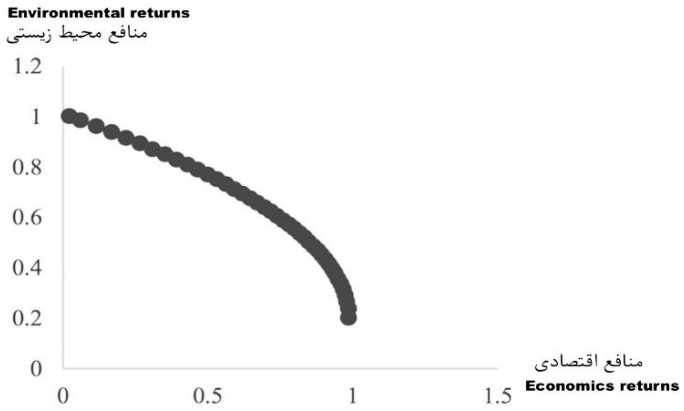
نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد در الگوی کشت سناریوهایی با استخراج آب زیرزمینی بالاتر، مقدار بیش‌تری از زمین کشت می‌شود. همچنین نتایج بیانگر آن است که با استفاده بیش‌تر از آب، درآمد خالص بیش‌تری نصیب کشاورزان شده و اثرات محیط زیستی زیان‌بارتری با برداشت بیش از حد سفره‌های آب زیرزمینی نصیب جامعه خواهد شد. مدل برنامه‌ریزی خطی نیز پیشنهاد می‌کند که به‌منظور افزایش درآمد خالص در زمان کمبود آب، مقداری از زمین دست‌نخورده باقی بماند. سپس به هر یک از دو گروه هدف (اقتصادی و محیطی) وزن‌های مختلفی بین ۰ تا ۱ به‌طور یکنواخت با افزایش ۰/۰۲۵ واحد داده شد و به روش راه‌حل نامتقارن نش، منافع دو گروه هدف، استخراج بهینه آب زیرزمینی و درآمد متناظر با آن برآورد گردید (جدول ٦).

جدول ٦- نتایج بهینه برای دو هدف اقتصادی و محیطی به روش راه‌حل نامتقارن نش.

Table 6. Computational results of the Non-Symmetric Nash solution with varying weight selections.

استخراج آب زیرزمینی (میلیون مترمکعب) Groundwater exploitation (MCM)	درآمد خالص (میلیون ریال) Net income (million Rials)	منافع محیطی Environmental returns (f_2)	منافع اقتصادی Economics returns (f_1)	وزن اثرات محیطی Weight of environmental impacts (w_2)	وزن اثرات اقتصادی Weight of economic impacts (w_1)
579	2710000	0	1	0	1
487	2660000	0.179	0.956	0.025	0.975
464	2650000	0.224	0.948	0.05	0.95
445	2640000	0.26	0.939	0.075	0.925
429	2630000	0.291	0.929	0.1	0.9
415	2620000	0.32	0.918	0.125	0.875
401	2600000	0.346	0.906	0.15	0.85
388	2590000	0.371	0.894	0.175	0.825
376	2570000	0.395	0.881	0.2	0.8
364	2560000	0.418	0.868	0.225	0.775
353	2540000	0.441	0.854	0.25	0.75
341	2530000	0.463	0.839	0.275	0.725
330	2510000	0.484	0.824	0.3	0.7
320	2490000	0.505	0.808	0.325	0.675
309	2470000	0.526	0.792	0.35	0.65
298	2450000	0.546	0.775	0.375	0.625
288	2430000	0.567	0.757	0.4	0.6
278	2410000	0.587	0.739	0.425	0.575
267	2390000	0.607	0.725	0.45	0.55
257	2380000	0.627	0.71	0.475	0.525
246	2340000	0.648	0.679	0.5	0.5
236	2320000	0.668	0.657	0.525	0.475
226	2290000	0.688	0.635	0.55	0.45
215	2260000	0.709	0.611	0.575	0.425
205	2240000	0.729	0.587	0.6	0.4
194	2210000	0.75	0.561	0.625	0.375
183	2180000	0.771	0.535	0.65	0.35
172	2140000	0.792	0.507	0.675	0.325
161	2110000	0.814	0.478	0.7	0.3
150	2080000	0.835	0.448	0.725	0.275
139	2040000	0.857	0.416	0.75	0.25
135	2000000	0.865	0.383	0.775	0.225
130	1960000	0.875	0.348	0.8	0.2
127	1920000	0.88	0.312	0.825	0.175
118	1880000	0.898	0.274	0.85	0.15
116	1830000	0.903	0.234	0.875	0.125
104	1810000	0.926	0.216	0.9	0.1
91.6	1780000	0.95	0.192	0.925	0.075
79.2	1670000	0.974	0.091	0.95	0.05
66.6	1610000	0.998	0.044	0.975	0.025
66	1560000	1	0	1	0

منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۳- مرز پارتو برای دو گروه هدف.

Figure 3. Pareto frontier of the two players.

شکل ۳ مرز پارتو را برای دو گروه هدف اقتصادی و محیطزیستی با اعمال وزن‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به نتایج عددی جدول ۵ مشاهده می‌شود از میان پنج سناریوی استخراج آب، سناریوهای اول، دوم و سوم دارای وزن محیطی بالاتر از ۰/۵ می‌باشند. به بیان دیگر حفظ منابع آب زیرزمینی در این ناحیه از اهمیت بالاتری برخوردار است. بر اساس نتایج جدول ٦ با افزایش وزن‌های اقتصادی درآمد خالص افزایش می‌یابد. زمانی که سود اقتصادی به‌عنوان تنها هدف ملاحظه می‌شود استخراج آب زیرزمینی در بالاترین حد خود معادل ۵۷۹ میلیون مترمکعب و زمانی که اهداف محیطزیستی به‌عنوان تنها هدف ملاحظه شود سناریوی بهینه آب زیرزمینی در حداقل حجم استخراج آب زیرزمینی معادل ٦٦ میلیون مترمکعب می‌باشد. هنگامی که اهداف محیط زیستی و اقتصادی دارای اهمیت یکسانی باشند، استخراج بهینه از منابع آب زیرزمینی (میلیون مترمکعب) به روش راه‌حل نامتقارن نش تعیین می‌گردد که در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- میزان بهینه بهره‌برداری از آب زیرزمینی و درآمد خالص در حالت وزن‌های مساوی (میلیون مترمکعب و میلیون ریال).

Table 7. Optimal groundwater exploitation and net income in equal weights (MCM, million Rials).

وزن اثرات محیطی Weight of environmental impacts	وزن اثرات اقتصادی Weight of economic impacts	راه‌حل نامتقارن نش Non-Symmetric Nash solution	درآمد خالص (میلیون ریال) Net income (million Rials)
0.5	0.5	246	2340000

منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به نتایج به‌دست آمده در جدول ۷ میزان بهینه بهره‌برداری از آب زیرزمینی ٢٤٦ میلیون مترمکعب به‌دست آمد که این مقدار در بین پنج سناریوی استخراج آب زیرزمینی، به سناریوی سوم (۲۹۱ میلیون مترمکعب) نزدیک‌تر است. بنابراین زمانی که هر دو هدف محیطی و اقتصادی دارای اهمیت یکسانی باشند میزان بهینه استخراج آب زیرزمینی معادل ٢٤٦ میلیون مترمکعب و میزان سود کل اقتصادی نیز ٢٣٤٠٠٠ میلیون ریال می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه دو هدف متضاد، افزایش منافع اقتصادی و کاهش اثرات محیط‌زیستی منفی بررسی شد. بر این اساس پنج سناریوی استخراج آب زیرزمینی در نظر گرفته شد و برای تخمین سودهای اقتصادی و اثرات محیط‌زیستی به‌ترتیب از یک مدل برنامه‌ریزی خطی و میزان استخراج منابع آب زیرزمینی استفاده گردید. با توجه به نتایج این مطالعه میزان برداشت سالانه آب زیرزمینی از تغذیه سالانه این منابع بیش‌تر بوده و تغییرات ذخیره آبخوان منفی می‌باشد. بنابراین برداشت کشاورزان از منابع آب زیرزمینی منطقه بی‌رویه است. این عمل اگرچه در کوتاه‌مدت منجر به افزایش سود خالص برای آن‌ها شده است، در بلندمدت باعث وارد شدن صدمات جبران‌ناپذیری بر توان آبی منطقه و محیط‌زیست می‌شود. مطالعه حاضر نشان داد با کاهش استخراج آب زیرزمینی برای آبیاری، سطح زیر کشت بهینه و درآمد خالص کشاورزان کاهش یافت. همچنین نتایج این مطالعه بیان نمود زمانی که سود اقتصادی به‌عنوان تنها هدف ملاحظه می‌شود استخراج آب زیرزمینی در بالاترین حد خود معادل ۵۷۹ میلیون مترمکعب و زمانی که اهداف محیط زیستی به‌عنوان تنها هدف ملاحظه شود سناریوی بهینه آب زیرزمینی در حداقل حجم استخراج آب زیرزمینی معادل ٦٦ میلیون مترمکعب می‌باشد. هنگامی که به اهداف محیطی و اقتصادی وزن یکسانی داده شود، بهترین سناریوی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی معادل ٢٤٦ میلیون مترمکعب و درآمد کشاورزان معادل ٢٣٤٠٠٠٠ میلیون ریال در سال می‌باشد. همچنین مقایسه نتایج این مطالعه با مطالعات انجام شده در این زمینه مانند مطالعه سالازار و همکاران، ۲۰۰۷؛ صبوحی و مجرد، ۲۰۱۰؛ صالحی و همکاران، ۲۰۱۰؛ پورزند و زیبایی، ۲۰۱۱ مطابقت داشته و بیانگر آن است که بهترین سناریوی انتخابی در وزن یکسان اهداف می‌باشد.

منابع

1.Abdoli, Gh. 2007. Game theory and its applications static and dynamic games of complete information. Tehran University Press, 454p. (In Persian)

2.Amadeh, H., and Sadrolashrafi, M. 2009. Optimizing the Joint Utilization and Exploitation of Surface and Groundwater Resources in Agriculture. Iranian, J. Agric. Sci. 32: 3. 815-823. (In Persian)

3.Harsanyi, J.C., and Selten, R. 1972. A generalized Nash solution for two-person bargaining games with incomplete information. Management Science, 18: 80-106.

4.Jalili Kamjou, P., and Khoshakhlagh, R. 2016. Using the Game Theory in Optimal Allocation of Water in Zayandehrud. Iranian, J. Appl. Econ. Stud. 18: 5. 53-80. (In Persian)

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

6.Nakao, M.D., Wichlens, D., and Montgomery, I. 2002. Game theory analysis of competition for groundwater involving El Paso, Texas and Ciudad Juarez, Mexico. In paper presented at "moving with the speed of change", the 2002 annual meeting of the American agricultural economics association in Long Beach. California. Pp: 18-33.

7.Nash, J. 1950a. The bargaining problem, Econometrica. 18: 155-162.

8.Nash, J. 1953. Two- person cooperative games, Econometrica. 21: 128-140.

9.Rahmani, A., and Sedehi, M. 2004. Prediction of Groundwater Level Changes in the Plain of Hamedan-Bahar Using Time Series Model. J. Water Wastewater. 15: 3. 42-49. (In Persian)

10. Sabouhi, M., and Mojarrad, E. 2010. Application of Game Theory for Groundwater Resources Management of Atrak. J. Econ. Agric. Dev. 24: 1. 1-12. (In Persian)
11. Salazar, R., Szidarovszhy, F., Coppola, E., and Rajano, A. 2007. Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. J. Environ. Manage. 54: 560-571.
12. Saleh, I., Paykani, Gh., and Bagherian, A. 2007. Farming optimization and derivation of normative demand Function of water (Case study: Kazeroun region). 6th National Conference of Agricultural Economics. 11: 3. 71-85. (In Persian)
13. Salehi, F., Daneshvar Kakhaki, M., Shahnoushi, N., and Rajabi, M. 2010. Application of Game Theory in Determination of Optimal Groundwater Exploitation in Taybad Plain. Iranian, J. Agric. Econ. 4: 3. 65-90. (In Persian)
14. Taraghi, M., Montaseri, M., Zarghami, M., and Mianabadi, H. 2017. Conflict Resolutions for Sustainable Water Resource Management. J. Agric. Econ. 11: 3. 131-160. (In Persian)
15. Von Neuman, J., and Morgenstern, O. 1994. Theory of Game and Economic Behavior. Princeton University Press, 625p.
16. Wang, X., Zhang, Y., Zeng, Y., and Liu, C. 2013. Resolving Trans-jurisdictional Water Conflicts by the Nash Bargaining Method: A Case Study in Zhangweinan Canal Basin in North China, water resources management. 27: 1235-1247.
17. 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, Water research. 44: 2499-2516.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(3), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.14174.2890

Determining the optimal exploitation of groundwater resources by using game theory (Case study: Gorgan county)

E. Asadi[1], *A. Keramatzadeh[2] and F. Eshraghi[2]
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Agricultural Economics, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Assistant Prof., Dept. of Agricultural Economics, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: 11.05.2017; Accepted: 05.14.2018

Abstract
Background and Objectives: One of the main limiting factors of the development of Iran's agricultural sector is the shortage of water resources. The annual recharge of groundwater aquifers due to atmospheric precipitation has not been able to compensate for this amount of reduction in groundwater level. Also, farmers do not have enough economic incentives to minimize negative environmental effects, such as reducing groundwater aquifers level. Therefore, most decision-making issues in natural resources such as water resources management face the problem of the existence of conflicting objectives, such as maximizing economic benefits and minimizing negative environmental impacts. According to this, in the present study, the game theory method was used to manage the groundwater resources.
Materials and Methods: The statistical population of this study is the total wells water of Gorgan. In current study 88 questionnaires was completed by using stratified random sampling. The information required includes the production costs and agricultural water wells information in the 2014-2015. Accordingly, five scenarios for the exploitation of groundwater were considered. In order to estimate the economic benefits and environmental impacts, farmers' net income and groundwater resources exploitation were used respectively. The optimal application of groundwater resources was then determined by Non- symmetric Nash equilibrium method.
Results: Based on the results of this study, the optimal crop area and the net income of farmers were decreased by declining groundwater exploitation for irrigation. Furthermore, the results of this study showed that when economic profit is considered as the only target, groundwater exploitation is at its highest level of 579 million cubic meters and when environmental goals are considered as the only target, the optimal groundwater scenario is in the minimum volume of groundwater exploitation as 66 million cubic meters. When the same weight is considered for environmental and economic goals, the best scenario for exploitation of groundwater resources is 246 million cubic meters and farmers' income is 2340000 million Iranian Rials per year.
Conclusion: According to the results of sampling, farmers' exploitation from the groundwater resources of the region is wasteful. Although this operation in the short run has led to an increase in net profits, but it will lead to irreversible damage to the hydropower potential of the region and the environment in the long run. Also, the results of this study showed that the optimum exploitation from groundwater by game theory model should be less than the current exploitation. The results of optimal cropping pattern showed that the optimum cropping area is reduced by decreasing the used water.

Keywords: Game theory, Gorgan county, Groundwater, Non-symmetric nash solution

* Corresponding Author; Email: alikeramatzadeh@yahoo.com