

اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۷، شماره ۱۰۷، پاییز ۱۳۹۸

DOI: 10.30490/aead.2020.252687.0

کاربرد روش نامتقارن نش در تعیین میزان برداشت بهینه از سفره‌های آب زیرزمینی دشت جیرفت

ابراهیم محمدی سلیمانی^۱، مجید احمدیان^۲، علی کرامت‌زاده^۳، محسن شوکت فدایی^۴،
ابوالفضل محمودی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۱۶

چکیده

برنامه‌ریزی برای تولید، جلوگیری از تخلیه زیان‌آور سفره‌های آب زیرزمینی و تعادل‌بخشی بدین منابع طبیعی مستلزم توازن در منابع آب و بهینه‌سازی فعالیت‌های زراعی

۱. نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور تهران، ایران.
(emohamadi58@yahoo.com)

۲. استاد گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه تهران، ایران.

۳. استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

۴. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور تهران، ایران.

۵. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور تهران، ایران.

است. برداشت بیش از حد از سفره آب زیرزمینی دشت جیرفت منجر به افت سطح ایستابی آبخوان شده و در صورت تداوم روند فعلی، اقتصاد مبتنی بر کشاورزی منطقه با تهدید جدی مواجه می‌شود. از این رو، هدف مطالعه حاضر تعیین میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی دشت جیرفت با در نظر گرفتن همزمان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی بود. بدین منظور، نخست، محاسبه دو هدف متعارض حداکثرسازی سود کشاورزان و کاهش مخاطرات زیست‌محیطی متناظر با چهارده سناریوی برداشت از منابع آب زیرزمینی در یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (اثباتی) (PMP) و با استفاده از نرم افزار GAMS صورت گرفت. سپس، با بهره‌گیری از نظریه بازی‌ها (راه حل نامتقارن نش)، میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی دشت جیرفت و الگوی کشت متناسب با آن تعیین شد. براساس نتایج مطالعه، هرچه میزان اهمیت اهداف زیست‌محیطی بیشتر می‌شود، مقدار برداشت از منابع آب کاهش می‌یابد و در صورت قائل شدن به وزن یکسان برای اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی، میانگین برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴، ۷۷۳ میلیون مترمکعب می‌شود؛ همچنین، در الگوی کشت متناسب با برداشت بهینه آب، میزان برداشت آب ۹/۸ درصد، سطح زیر کشت موجود ۱۴/۹ درصد و درآمد خالص کشاورزان ۵/۹ درصد در سال کاهش می‌یابد. در نتیجه، پیشنهاد مطالعه حاضر اصلاح الگوی کشت موجود و کاهش حجم برداشت آب از منابع آب زیرزمینی دشت جیرفت با رعایت ملاحظات زیست‌محیطی و منافع بلندمدت جامعه است.

طبقه‌بندی JEL : Q25, D74, C7

کلیدواژه‌ها: آب زیرزمینی، برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (اثباتی) (PMP)، نظریه بازی‌ها، جیرفت (دشت).

مقدمه

به لحاظ جغرافیایی، استان کرمان در زمینه مسائل آب به ویژه آب کشاورزی وضعیت نگران کننده و بحرانی دارد. هم اکنون ۹۵ درصد آب مورد نیاز بخش کشاورزی استان از سفره های آب زیرزمینی تأمین می شود، در حالی که این رقم در کل کشور ۵۵ درصد است (۱۲). برداشت بی رویه از آب های زیرزمینی آبخوان دشت جیرفت موجب افت سطح ایستابی این آبخوان شده است (۲۸). تداوم این روند می تواند اقتصاد منطقه را که بر پایه کشاورزی استوار است، مورد تهدید جدی قرار دهد. چنانچه اقدامی جدی و مؤثر در این زمینه صورت نگیرد، این دشت در آینده نه تنها با تشدید پیامدهای زیست محیطی بلکه با مشکلات اقتصادی و اجتماعی نیز مواجه خواهد شد. این عوامل حاکی از لزوم مدیریت منابع آب زیرزمینی در این منطقه است و باید همکاری ها در راستای کاهش استخراج تقویت شده و مقدار استخراج هر بهره بردار به مقدار پایدار آن کاهش یابد. هنگامی که هیچ مقرراتی برای کشاورزان وجود نداشته باشد، هزینه های بیرونی درونی سازی نمی شوند و باعث می شود که میزان پمپاژ از میزان تغذیه طبیعی آبخوان فراتر رفته و منجر به ایجاد آلودگی شود (۵). بهره برداران از منابع مشترک ناگزیرند به منظور تضمین افزایش سود و بهره مندی خود در بلندمدت، میزان بهره برداری خویش را در کوتاه مدت کاهش دهند (۱۷). اما در بسیاری از موارد، بی اعتمادی، مخاطره گریزی و کوتاه نگری ذی نفعان در بهره برداری از این نظام ها موجب می شود که رفتار آنها به جای آنکه بر عقلانیت جمعی و تلاش برای بهینه سازی سود این نظام و همه ذی نفعان در بلندمدت مبتنی باشد، بر اساس عقلانیت فردی و چشم پوشی نکردن از کاهش کوتاه مدت مزایایشان استوار شود (۱۸). بنابراین، لزوم تعیین میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی به نحوی که هم هدف اقتصادی حداکثرسازی سود مد نظر کشاورزان و هم اهداف کاهش مخاطرات زیست محیطی (جلوگیری از افت سطح آب زیرزمینی، جلوگیری از نشست زمین، کاهش استفاده از کود و سموم شیمیایی و ...) مد نظر جامعه تأمین شود، بسیار ضروری است. به دیگر سخن، باید بین افزایش سود اقتصادی که هدف کشاورز است و کاهش اثرات

منفی زیست محیطی که هدف جامعه است، تعادل ایجاد شود. نظریه بازی‌ها یک شیوه ریاضی به منظور تجزیه و تحلیل مسائلی است که دربرگیرنده موقعیت‌های در تعارض هستند (۳). در زمینه استفاده از نظریه بازی‌ها در حل مسائل مربوط به توزیع منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی تحقیقاتی در خارج و داخل کشور صورت گرفته است که در پی، به پاره‌ای از آنها اشاره می‌شود.

صباحی و مجرد (۲۵)، با استفاده از نظریه بازی‌ها، به حل تعارض منافع بین دو گروه اهداف اقتصادی و زیست محیطی در حوزه آبریز اترک پرداختند. در این مطالعه، تابع هدف کشاورزان با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی به دست آمد و با توجه به سناریوهای مختلف برداشت از آب زیرزمینی نیز تابع عایدی کشاورزان به دست آمد؛ برای تعیین تابع هدف زیست محیطی، از میزان استخراج آب و ضریب برداشت بیش از حد استفاده شد؛ و در نهایت، بهترین سناریو برای برداشت آب بین ۶۴ تا ۱۱۷ میلیون مترمکعب در سال پیشنهاد شد. صالحی و همکاران (۲۷)، با استفاده از رهیافت نظریه بازی‌ها و مدل برنامه‌ریزی خطی، به روش حل تعارض بین کشاورزان در دشت تایباد پرداختند. نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن ارزش یکسان برای هر کدام از اهداف زیست محیطی و اقتصادی، میزان برداشت بهینه برابر با ۱۳۳ میلیون مترمکعب خواهد بود. پورزند و زیبایی (۲۳)، برای تعیین میزان بهینه برداشت در دشت فیروزآباد، از رهیافت نظریه بازی‌ها استفاده کردند و با بهره‌گیری از مدل برنامه‌ریزی خطی و ضریب برداشت بیش از حد، به تعیین توابع عایدی اقتصادی و زیست محیطی و با استفاده از روش حل تعارض و نظریه بازی‌ها نیز به تحلیل مقدار بهینه برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی فیروزآباد پرداختند و در صورت یکسانی اهمیت هر کدام از اهداف اقتصادی و زیست محیطی، مقدار بهینه برداشت را برابر با ۱۶۶ میلیون مترمکعب محاسبه کردند. نجفی علمدارلو (۱۹) به کاربرد نظریه بازی‌ها در ارزیابی اقتصادی و زیست محیطی استفاده از منابع آب زیرزمینی در الگوی کشت دشت ورامین پرداخته و بدین منظور، برای به دست آوردن میزان بهینه برداشت از آب زیرزمینی و الگوی کشت بهینه، از مدل چانه‌زنی نش استفاده کرده است. در این مطالعه،

کاربرد روش نامتقارن نش در تعیین.....

بهترین میزان برداشت از آب زیرزمینی ۳۳۳/۱۷ و ۲۲۵/۶۴ میلیون مترمکعب برای کشاورزان سستی و مدرن تعیین شده است. در این مطالعات اغلب از روش برنامه ریزی خطی برای به دست آوردن هدف اقتصادی یا عایدی کشاورزان استفاده شده است.

سالازار و همکاران (۲۶)، با استفاده از نظریه بازی‌ها، به حل تعارض در برداشت آب زیرزمینی در مکزیک در قالب دوازده سناریوی برداشت آب پرداختند و در هر کدام از سناریوها، عایدی کشاورزان و میزان خسارات زیست‌محیطی را محاسبه کردند. در این مطالعه، از روش برنامه‌ریزی خطی برای به دست آوردن تابع سود کشاورزان استفاده شده و در نهایت، با اعمال وزن‌های مختلف میان صفر و یک به فاصله ۰/۰۲۵ به هر کدام از دو گروه هدف اقتصادی و زیست‌محیطی، مقادیر بهینه مختلف برای برداشت آب به دست آمده است. همچنین، مدنی (۱۶)، با به کارگیری مجموعه‌ای از بازی‌های عاری از همکاری، دامنه کاربرد نظریه بازی‌ها در زمینه مدیریت منابع آب و حل مناقشات موجود در این بخش را ارزیابی کرده و با استفاده از بازی‌های ساده دو به دو، نشان داده است که چگونه نتایج نظریه بازی‌ها ممکن است برای کل نظام بهره‌برداری مطلوب نباشد. در پایان این مطالعه هم نتیجه‌گیری شد که بازی‌های عاری از همکاری در غیاب اطلاعات کمی دقیق می‌تواند تعارضات دنیای واقعی را توضیح دهد. استبان و دینار (۷)، برای ارزیابی میزان همکاری در یک آبخوان مواجه با پدیده استخراج بی‌رویه، از روش نظریه بازی‌ها استفاده کردند و این مدل را در آبخوان معروف استرلامانچا شامل سه قسمت کوچک‌تر آزمودند؛ و در نهایت، برای تخصیص پایدار از دو نوع روش نظریه بازی‌ها به نام «چانه‌زنی نش-هرسانی» و «ارزش‌شیلی» استفاده شده است. بر پایه نتایج این مطالعه، راه حل همکارانه وقتی اتفاق می‌افتد که مسئله حداکثرسازی سود کشاورزان با توجه به اثرات بیرونی زیست‌محیطی و استخراج صورت می‌گیرد. مدنی و دینار (۱۷)، با بهره‌گیری از یک مدل برنامه‌ریزی پویا، به نقش تشکیل نهادهای عاری از همکاری در مدیریت پایدار منابع طبیعی مشترک مانند آب‌های زیرزمینی پرداختند. در این مدل، بازده خالص ناشی از برداشت آب در طول زمان حداکثر می‌شود. در این مطالعه، چنین نتیجه‌گیری شد که بهره‌برداران از

یک منبع طبیعی مشترک در صورتی می‌تواند عایدات پایدارتری داشته باشند که به طرح‌های توسعه‌ای بلندمدت بیشتر توجه کنند و در درونی‌سازی اثرات بیرونی خود بکوشند.

مدل‌های برنامه‌ریزی خطی که اغلب مطالعات یادشده نیز از آن بهره گرفته‌اند، با تأکید بر محدودیت‌های واردشده، به حداکثرسازی تابع هدف می‌پردازند. در این مدل‌ها، هیچ تضمینی برای رسیدن به شرایط موجود یا بازتولید داده‌های مشاهده‌شده وجود ندارد. نتایج به‌دست آمده از آن نیز به دلیل خصوصیت هنجاری بودن الگوها اطمینان کافی نداشته و قبولاندن جواب‌های این نوع الگوها به تصمیم‌گیرندگان به‌ویژه کشاورزان مشکلات زیادی را به‌همراه خواهد داشت. از این‌رو، در مطالعه حاضر، برای تعیین هدف اقتصادی هر راه حل برداشت، از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (اثباتی) (PMP) استفاده شده است. روش PMP که در سال ۱۹۹۵ به‌طور رسمی توسط هاویت (۱۱) معرفی شد، یک روش تحلیل تجربی است که از تمام اطلاعات شرایط موجود برای ساخت الگوی کالیبره استفاده می‌کند. این روش در وضعیتی که داده‌های سری زمانی اندک باشد و به‌ویژه در تحلیل‌های سیاستی منطقه‌ای و بخشی اهمیت دارد (۲). هاویت (۱۰) رهیافت نوین برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) را به‌منظور غلبه بر مشکلات الگوهای برنامه‌ریزی هنجاری در تحلیل سیاست‌ها برای کالیبره کردن مدل‌های تولید کشاورزی و مصرف منابع که از توابع تولید و هزینه غیرخطی استفاده می‌کنند، معرفی کرد که بعدها، در بسیاری از مطالعات کاربردی مورد استفاده قرار گرفت. مطالعه حاضر نیز با به‌کارگیری نظریه بازی‌ها، به بررسی تعادل بهینه و همزمان اهداف اقتصادی - زیست‌محیطی و میزان بهینه برداشت از منابع آب زیرزمینی دشت جیرفت با اعمال وزن‌های مختلف به اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی و همچنین، تعیین الگوی کشت متناسب با برداشت بهینه آب از سفره آب زیرزمینی می‌پردازد.

مبانی نظری

طی دهه‌های اخیر، نظریه بازی‌ها کاربرد زیادی در بحث مدیریت آب‌های زیرزمینی داشته است و در این مدل‌ها، هم محدودیت‌های اقتصادی و هم اثرات بیرونی استخراج را پوشش می‌دهد. بعضی از تصمیمات در حوزه استفاده از منابع طبیعی با هم در تضادند؛ برای نمونه، برداشت از آب‌های زیرزمینی که در نتیجه حداکثرسازی سود انجام می‌گیرد، باعث ایجاد خسارت‌های زیست‌محیطی می‌شود. در این حالت، تصمیم‌گیرندگان باید با استفاده از مدل‌های همکارانه، به بررسی تضادهای خود بپردازند. وقتی که تضاد در اهداف پیش می‌آید، ممکن است افزایش در سود یک گروه منجر به زیان گروه دیگر شود. برای حل این گونه تعارض‌ها، بهترین راه پیشنهادی استفاده از روش نظریه بازی‌هاست (۲۶). از این‌رو، برای حل تعارض میان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی منطقه مورد مطالعه و همچنین، تعیین میزان برداشت آب زیرزمینی، از نظریه بازی‌ها استفاده شده است. تعارض میان اهداف به روش ریاضی با زوج s, d تعریف می‌شود که مجموعه‌ای از منافع ممکن و مجموعه‌ای از بدترین نتایج ممکن است. هر کدام از بازیگران تمایل دارند که ارزش منافع خود را به بهترین نتایج ممکن افزایش دهند. معمولاً جواب بازی را از هر روشی که به دست آمده باشد و در هر نوع بازی‌ای که باشد، می‌توان از لحاظ اجتماعی ارزیابی کرد. معیاری که برای ارزیابی استفاده می‌شود، بهینگی پارتویی^۷ است. معمولاً ترکیب راهبردهای غالب پارتویی از لحاظ اجتماعی مطلوب است؛ یعنی، به نفع همه بازیگران است. یک ترکیب راهبرد را غالب پارتویی می‌گویند که در آن، پیامد هر بازیگر نسبت به ترکیب دیگر بزرگ‌تر باشد (یا برابر ولی دست کم برای یک بازیگر بیشتر باشد). ترکیب راهبردهایی که مغلوب پارتویی هیچ کدام از ترکیبات دیگر نباشد، بهینه پارتویی یا مرز پارتویی^۸ است؛ یعنی، حرکت از آنها پیامد دست کم یکی از بازیگران را افزایش و دیگری را کاهش می‌دهد (۱). مرز پارتویی توسط تابع مقعر و اکیداً نزولی g در

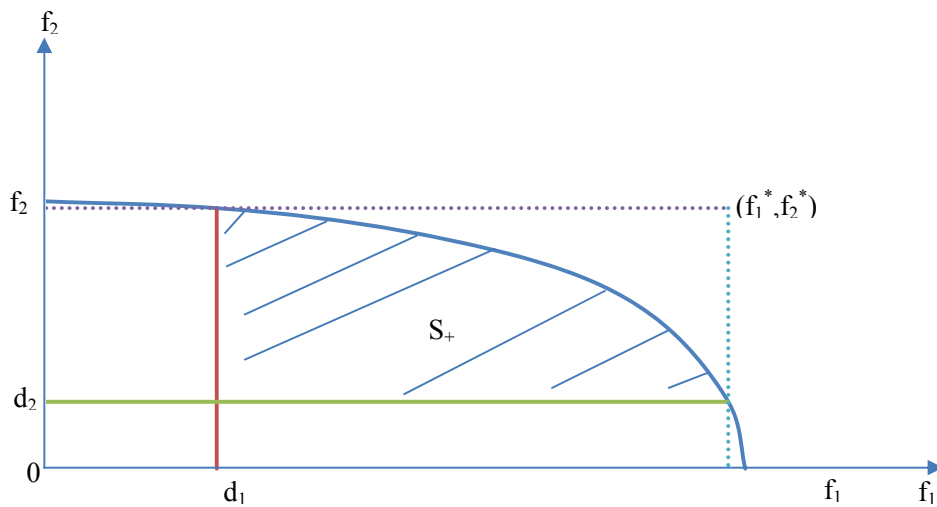
7. Pareto

8. Pareto frontier

فاصله $[d_1, f_1^*]$ مشخص می‌شود که در آن، $g(f_1^*) = d_2$ و $f_2^* = g(d_1)$ است (نمودار ۱). برخی مواقع، بردار d به‌عنوان بردار منافع در حالت نبود توافق (وضعیت موجود^۱) و ترکیبی از منافع بازیگران در حالتی که به یک توافق کلی نمی‌رسند، در نظر گرفته می‌شود. در این موارد، مجموعه منافع ممکن S به مجموعه S_+ که در زیر تعریف شده است، محدود می‌شود، چراکه هیچ بازیگر عاقلی توافقی را که بدتر از حالت نبود توافق یا وضعیت موجود است، نمی‌پذیرد (۲۰):

$$S_+ = \{f = (f_1, f_2) / f \in S, f \geq d\} \quad (1)$$

اگر بردار d به‌عنوان بدترین نتایج ممکن دو گروه هدف انتخاب شود، آنگاه $S_+ = S$ خواهد بود (۲۶).



نمودار ۱. مرز پارتوی دو بازیگر در موقعیت تعارض

جان نش تعریف راهبرد بهینه را تعمیم داد، به‌گونه‌ای که از طریق آن می‌توان در هر بازی دونفره و بدون همکاری، تعادل را پیدا کرد (۱). در راه حل نش، یک نقطه منحصربه‌فرد

9. status quo

کاربرد روش نامتقارن نش در تعیین.....

روی مرز پارتو به گونه‌ای تعیین می‌شود که حاصل ضرب منافع، بیشترین (حداکثر) شود. راه حل نش حل منحصربه‌فرد مسئله بهینه‌سازی زیر است:

$$\text{Maximize } (f_1 - d_1) (f_2 - d_2) \quad (2)$$

$$\text{Subject to } d_1 \leq f_1 \leq f_1^*, f_2 = g(f_1)$$

اگر $f_1 = d_1$ و $f_1 = f_1^*$ باشد، تابع هدف برابر با 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، مسئله به صورت تک‌بعدی زیر درمی‌آید و با یک الگوریتم جست‌وجوی ساده تک‌بعدی می‌توان آن را حل کرد (۲۶):

$$\text{Maximize } (f_1 - d_1) (f_2 - d_2) \quad (3)$$

$$\text{Subject to } d_1 \leq f_1 \leq f_1^*$$

راه حل نامتقارن نش یک راه حل منحصربه‌فرد مسئله زیر است:

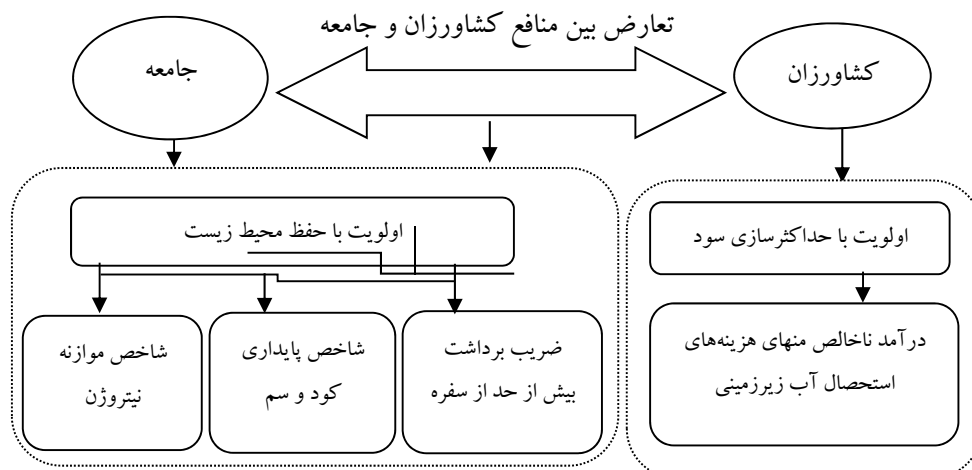
$$\text{Maximize } (f_1 - d_1)^{w_1} (f_2 - d_2)^{w_2} \quad (4)$$

$$\text{Subject to } d_1 \leq f_1 \leq f_1^*, f_2 = g(f_1)$$

این روش تعمیمی از رابطه (۳) با وزن‌های نامساوی است که این وزن‌های W_1 و W_2 به هر کدام از بازیگران داده می‌شود. جمع وزن‌ها یک است. هر بازیگر که وزن بیشتری داشته باشد، در تابع هدف اهمیت بیشتری دارد (۹).

روش تحقیق

در مطالعه حاضر، برای تعیین میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی، از نظریه بازی‌ها استفاده شد. بازیگران این بازی دونفره عبارت‌اند از: در یک سو، کشاورزان که برداشت بیشتر از منابع آب را با هدف حداکثرسازی سود اقتصادی خود دنبال می‌کنند؛ و در سوی دیگر، جامعه که به پیگیری کاهش برداشت آب با هدف کاهش زیان‌های زیست‌محیطی می‌پردازد. گروه‌های چانه‌زننده در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. گروه‌های چانه‌زننده در بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی

قبل از به‌کارگیری نظریه بازی‌ها لازم است ماتریس تاوان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی محاسبه و سپس، با استفاده از این ماتریس، مرز پارتو استخراج شود. بدین منظور، ابتدا چهارده سناریوی برداشت از آب‌های زیرزمینی فرض شد. این سناریوها مشابه مطالعات پیشین در این زمینه (۲۵، ۲۶، ۲۷) بین کمترین میزان تغذیه و بیشترین میزان تخلیه دشت در سال‌های گذشته مد نظر قرار گرفت. کمترین میزان تغذیه دشت در بیست سال گذشته در سال ۱۳۹۲ و معادل ۵۷۳ میلیون مترمکعب بوده است (۱۳). بیشترین حجم برداشت از منابع آب زیرزمینی نیز برای سال زراعی مورد مطالعه (۹۵-۱۳۹۴) معادل ۸۵۷ میلیون مترمکعب برابر با حجم آب قابل دسترس از چاه‌های آب دشت در نظر گرفته شد. راه‌حل‌های مختلف برداشت از آب‌های زیرزمینی بین این دو حد به‌صورت افزایشی با درصدهای مساوی، از کمترین مقدار برداشت تا بیشترین مقدار برداشت، در نظر گرفته شده و در جدول ۱ آمده است.

کاربرد روش نامتقارن نش در تعیین.....

جدول ۱. راه حل های مختلف برداشت آب زیرزمینی در دشت جیرفت

(میلیون مترمکعب در سال)

سناریو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
برداشت آب زیرزمینی	۵۷۳	۵۹۵	۶۱۷	۶۳۹	۶۶۰	۶۸۲	۷۰۴	۷۲۶	۷۴۸	۷۷۰	۷۹۲	۸۱۳	۸۳۵	۸۵۷

مأخذ: یافته های تحقیق

ابتدا هدف اقتصادی حداکثرسازی سود کشاورزان با استفاده از برنامه ریزی ریاضی اثباتی به شرح زیر و سه شاخص زیست محیطی مبین هدف جامعه، متناظر با هر سناریوی برداشت آب در نرم افزار GAMS محاسبه شدند. برای اینکه شاخص های زیست محیطی متفاوت در قالب هدف واحد در مقابل هدف اقتصادی قرار گیرد، شاخص های متفاوت زیست محیطی نرمال سازی می شوند و هدف زیست محیطی (عایدی گروه جامعه) از ترکیب شاخص های زیست محیطی نرمال شده و از طریق رابطه زیر به دست می آید:

$$WE_s = \alpha AI + \beta F + kNE \quad (5)$$

که در آن، WE_s نشان دهنده زیان جامعه در نتیجه برداشت بیش از حد از سفره آب زیرزمینی، مصرف زیاد کود و سموم شیمیایی و عدم توازن نیتروژن ورودی و خروجی به خاک است. AI ضریب برداشت بیش از حد از سفره آب زیرزمینی، F میزان مصرف کود و سم و NE شاخص موازنه نیتروژن است. در پی، این شاخص ها و اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه آنها تشریح شده است. ضرایب α ، β و k درجه اهمیت و وزنی است که با توجه به نظرات کارشناسان محیط زیست، آب منطقه ای و جهاد کشاورزی شهرستان جیرفت برای هر کدام از این شاخص ها منظور شده است. با نرمال سازی هدف اقتصادی، اکنون ماتریس تاوان اهداف اقتصادی و زیست محیطی نرمال شده به دست می آید و می توان هدف نرمال شده زیست محیطی را بر روی هدف نرمال شده اقتصادی رگرس کرد و مرز پارتو را به دست آورد. اما با توجه به تعداد کم

سناریوها به منظور تخمین بهتر و دقت بیشتر و لحاظ کردن درجه آزادی کافی برای برآورد مرز پارتو، تعداد سناریوهای برداشت آب زیرزمینی به چهل سناریو بین کمترین و بیشترین حجم برداشت به صورت افزایشی و با درصدهای مساوی بسط داده شد و هدف نرمال شده زیست محیطی بر روی هدف نرمال شده اقتصادی رگرس شد و مرز پارتو به دست آمد. سپس، براساس این مرز پارتو و روش حل نامتقارن نش و اعمال وزن های مختلف میان صفر و یک به فاصله ۰/۰۲۵ به هر کدام از دو گروه هدف اقتصادی و زیست محیطی، میزان منافع اقتصادی و زیست محیطی متناظر با هر وزن به دست آمد. در ادامه، با استفاده از مقادیر نرمال منافع اقتصادی و زیست محیطی به دست آمده و توابع نرمال سازی داده ها، مقادیر درآمد خالص کشاورزان و میزان برداشت بهینه آب در روش نامتقارن نش متناسب با وزن های اعمال شده به دست آمد. قابل ذکر است که با افزایش وزن منافع زیست محیطی (به نفع افراد جامعه و گروه غیر کشاورزان)، مقدار برداشت از آب زیرزمینی کاهش می یابد؛ همچنین، با افزایش وزن منافع اقتصادی، مقدار برداشت از آب زیرزمینی و نیز درآمد کشاورزان افزایش یافته است. بهترین وزن اهداف اقتصادی و زیست محیطی وزنی است که در آن، ماکزیمم منحنی بهینه پارتو واقع شود. نحوه به دست آوردن هدف اقتصادی با استفاده از الگوی برنامه ریزی ریاضی اثباتی و شاخص های لحاظ شده در هدف زیست محیطی در پی شرح داده شده است.

تبیین هدف اقتصادی

کشاورزان در پی آنند که درآمد خالص خود را در طول زمان به حداکثر برسانند؛ از این رو، سعی در بهره برداری بیشتر از منابع آب زیرزمینی دارند تا با کشت محصول و فروش آن، به هدف خود برسند. از سوی دیگر، با استخراج بیش از حد آب زیرزمینی، سطح آبخوان در منطقه مورد نظر کاهش یافته و هزینه های پمپاژ آب برای کشاورز افزایش می یابد. بنابراین، تفاوت این درآمد از هزینه مطابق روش برنامه ریزی ریاضی مثبت (PMP) به عنوان هدف

کاربرد روش نامتقارن نش در تعیین.....

اقتصادی کشاورزان در سناریوهای مختلف به شرح زیر محاسبه می شود؛ به طور کلی، یک مدل برنامه ریزی مثبت در سه مرحله به شرح زیر انجام می شود (۲۲):

مرحله اول: تبیین یک مدل برنامه ریزی خطی معمولی^{۱۱} با تابع هدف حداکثرسازی

سود کشاورزان منطقه و محدودیت های منابع به همراه محدودیت های کالیبراسیون^{۱۱}.

تابع هدف تحقیق حاضر براساس مدل برنامه ریزی خطی معمولی که حداکثرسازی درآمد خالص کل کشاورزان دشت بوده و بیانگر هدف بهره برداران مبنی بر حداکثرسازی کل بازده برنامه ای آنهاست، به صورت رابطه زیر بیان می شود:

$$Max NB = \sum_1 [A_c (P_c Y_c + SI_c - (\frac{eh_t}{E_p}) P_e + Cr_c) WU_c - TC_c] \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{cj} A_c \leq b_j \quad [\lambda] \quad (7)$$

$$A_c \leq CA_c (1 + \varepsilon_1) \quad [P] \quad (8)$$

در رابطه (۶)، NB درآمد خالص کشاورز، A_c سطح زیر کشت محصول کام بر حسب هکتار، P_c قیمت محصول کام بر حسب ده ریال به ازای هر کیلوگرم، Y_c عملکرد محصول کام بر حسب کیلوگرم در هر هکتار، SI_c درآمد فرعی محصول بر حسب ده ریال در هر هکتار، e انرژی لازم برای بالا آوردن یک مترمکعب آب به اندازه یک متر بر حسب کیلووات-ساعت بر مترمکعب، h_t متوسط ارتفاع پمپاژ آب بر حسب متر، E_p راندمان پمپ آب، P_e قیمت انرژی بر حسب ده ریال بر کیلووات-ساعت، Cr_c هزینه تعمیر و نگهداری پمپ به ازای یک مترمکعب بر حسب ده ریال، WU_c آب مصرفی محصول کام بر حسب مترمکعب در هکتار و TC_c کل هزینه متغیر تولید محصول کام به جز هزینه آب بر حسب ده ریال در هر هکتار است. رابطه (۷) بیانگر محدودیت های اعمال شده در مدل همچون زمین، آب، نیروی کار، سم، کودهای شیمیایی، حیوانی و ماشین آلات است که در آن، A_c سطح زیر کشت محصولات، a_c ضرایب فنی مربوط به میزان مصرف نهاده های آب، نیروی کار، سم، کود شیمیایی و

10. linear programming (LP)

۱۱. محدودیت هایی که سطح فعالیت های مدل را به سطح زیر کشت فعلی منطقه محدود می کند.

ماشین آلات و b_i میزان موجودی هر کدام از محدودیت‌ها در منطقه بوده و λ ارزش سایه‌ای محدودیت‌های موجود در مدل است. همچنین، رابطه (۸) نشان‌دهنده محدودیت‌های کالیبراسیون است. محدودیت‌های کالیبراسیون به مجموعه محدودیت‌های منابع یک مدل برنامه ریزی خطی اضافه می‌شوند. این محدودیت‌ها سطح فعالیت‌ها را به سطوح مشاهده‌شده دوره پایه مقید می‌کنند. در این رابطه، CAC سطح زیر کشت فعلی محصول C ، ϵ_1 عدد مثبت بسیار کوچکی است که برای جلوگیری از همبستگی خطی و عدم ظهور قیمت سایه‌ای صفر در مدل لحاظ می‌شود، و P ارزش سایه‌ای محدودیت کالیبراسیون است. بر این اساس، در مدل برنامه‌ریزی خطی معمولی (LP)، تابع هدف رابطه (۶) با توجه به محدودیت‌های یادشده در روابط (۷) و (۸) حداکثر شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در تابع هدف، هزینه متغیر نهاده‌ها به دو صورت نشان داده شده است: یکی، TC_C که کل هزینه متغیر تولید محصول C به‌جز هزینه آب است و دیگری، عبارت $P_e + Cr_c$ به‌عنوان هزینه متغیر نهاده آب در مدل لحاظ شده است. برای محاسبه هزینه متغیر نهاده آب محصول C ، همان‌گونه که در تابع هدف نشان داده شده است، هزینه پمپاژ و تعمیر و نگهداری پمپ به‌ازای استحصال هر مترمکعب آب در میزان آب مصرفی آن محصول ضرب می‌شود. برای برآورد هزینه پمپاژ آب از رابطه زیر استفاده شده است (۶):

$$C_P = \left(\frac{\alpha \cdot h}{E_P}\right) P_e + C_r \quad (9)$$

ضرایب تابع هدف نظیر قیمت محصولات، درآمد فرعی محصولات و کل هزینه‌های متغیر هر کدام از محصولات نیز براساس اطلاعات پرسشنامه‌ای سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ محاسبه شده است. محصولات زراعی و باغی لحاظ‌شده در مدل عبارت‌اند از گندم، جو، ذرت، خیار، گوجه‌فرنگی، پیاز، سیب‌زمینی، خیار گلخانه‌ای، یونجه، پرتقال و خرما.

مرحله دوم: برآورد ضرایب تابع هدف غیرخطی با استفاده از قیمت‌های سایه‌ای مدل

LP مرحله قبل و اطلاعات الگوی کشت موجود منطقه.

در مرحله دوم، مقادیر دوگان به‌دست آمده از مرحله اول برای تخمین پارامترهای تابع

کاربرد روش نامتقارن نش در تعیین.....

هدف غیرخطی مورد استفاده قرار می گیرند؛ به دیگر سخن، این مقادیر برای کالیبره کردن پارامترهای تابع هدف غیرخطی به کار می روند. برای تدوین مدل های برنامه ریزی ریاضی اثباتی، می توان هم از توابع هزینه غیرخطی و هم از توابع تولید غیرخطی در تابع هدف استفاده کرد. با توجه به خصوصیات مطلوب تابع هزینه درجه دوم همچون تابع هزینه نهایی صعودی برای هر فعالیت و ساده تر بودن کار با این توابع، این فرم تابع به سایر فرم ها ترجیح داده می شود (۴). فرم کلی تابع هزینه غیرخطی ملحوظ در تحقیق حاضر نیز به صورت زیر است:

$$VC_c(A_c) = \alpha_c A_c + \frac{1}{2} \beta_c A_c^2 \quad (10)$$

که در آن، α_c پارامترهای جزء خطی تابع هزینه محصول C و β_c پارامترهای جزء درجه دوم تابع هزینه محصول C است. روش های متفاوتی برای تخمین پارامترهای تابع هزینه غیرخطی متغیر یا شده وجود دارد که در تحقیق حاضر، از روش حداکثر آنتروپی^{۱۲} که پاریس و هاویت در سال ۱۹۹۸ ارائه کردند، استفاده شد. بر این اساس، پارامترهای تابع هزینه غیرخطی ملحوظ در مدل های ریاضی اثباتی به صورت زیر برآورد می شوند:

$$\alpha_c = C_c \quad (11)$$

$$\beta_c = \frac{C_c + P}{CA_c} \quad (12)$$

که در این روابط، C_c هزینه تولید محاسبه شده محصول C ، P متغیرهای دوگان مربوط به محدودیت های کالیبراسیون و CA_c سطح زیر کشت فعلی محصول C است.

مرحله سوم: تبیین یک مدل برنامه ریزی درجه دوم^{۱۳} یا مدل غیرخطی از طریق قرار

دادن ضرایب برآوردی تابع هزینه در تابع هدف مدل LP بدون محدودیت های کالیبراسیون.

حال، تابع هزینه غیرخطی رابطه (۱۰) جایگزین تابع هزینه خطی TC_c در رابطه (۶) یا

تابع هدف شده و این تابع هدف مشروط بر محدودیت های یادشده، بدون در نظر گرفتن

محدودیت کالیبراسیون، حداکثر می شود. مدل نهایی PMP به شرح زیر است:

12. maxzimum antropi (MA)

13. quadratic programming (QP)

$$Max NB = \sum_1 [A_c (P_c Y_c + SI_c - ((\frac{eh_t}{E_p}) P_e + Cr_c) WU_c - VC_c)] \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n a_c A_c \leq b_i \quad [\lambda] \quad (14)$$

که در این روابط، VC_c هزینه غیرخطی متغیر محصول c ام و تابعی از سطح زیر کشت است؛ و رابطه (۱۴)، در واقع، همان محدودیت‌های منابع بوده و محدودیت کالیبراسیون از مدل حذف شده است. سایر متغیرهای رابطه یادشده نیز قبلاً توضیح داده شده است. اکنون، مدل برای اجرای سناریوهای مختلف برداشت آب از منابع زیرزمینی و تحلیل حساسیت آماده می‌شود. بدین منظور، مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت در نرم‌افزار GAMS براساس مراحل پیش‌گفته کدنویسی شده است.

تبیین هدف زیست‌محیطی

براساس ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه و خطرهای زیست‌محیطی مناطق مختلف در مطالعات گذشته، اهداف زیست‌محیطی گوناگون در برابر هدف اقتصادی «حداکثرسازی سود کشاورزان» قرار گرفته است. در برخی از مطالعات، صرفاً از ضریب برداشت بیش از حد از سفره برای اهمیت دادن به میزان تخلیه سفره آب زیرزمینی استفاده شده است (۲۳، ۲۵، ۲۷). در مطالعه حاضر نیز به لحاظ افت شدید سطح آب زیرزمینی دشت جیرفت و از بین رفتن چاه‌های آرتزین در این دشت، شاخص ضریب برداشت بیش از حد از سفره با اعمال وزن بالا به عنوان مهم‌ترین شاخص و میزان مصرف کود و سموم شیمیایی و موازنه نیتروژن به عنوان شاخص‌های تکمیلی برای پایداری کشاورزی مد نظر قرار گرفته اند.

ضریب برداشت بیش از حد از سفره

برای محاسبه اثر زیست‌محیطی، به‌ازای هر راه حل برداشت، از ضریب برداشت بیش از حد که از تقسیم میزان برداشت به تغذیه به‌دست می‌آید، استفاده خواهد شد (۱۵). بدیهی است که چنانچه میزان تخلیه از سفره برابر با میزان تغذیه باشد، ضریب برداشت معادل یک بوده و

کاربرد روش نامتقارن نش در تعیین.....

تعادل سفره آب زیرزمینی حفظ خواهد شد. برای تعیین ضریب استخراج بیش از حد آب زیرزمینی، به کمترین سناریوی تخلیه آب زیرزمینی که برابر با کمترین میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی در دشت طی سال‌های گذشته نیز می‌باشد، مقدار یک اختصاص داده شده و از تفاوت هر کدام از سناریوهای تخلیه آب زیرزمینی با کمترین سناریو و تقسیم بر آن، ضریب استخراج بیش از حد آب زیرزمینی برای هر کدام از سناریوها تعیین خواهد شد.

شاخص پایداری نهاده کود و سم

بحث پایداری در کشاورزی مفاهیم مختلفی را دربرمی‌گیرد و ابعاد گوناگون را پوشش می‌دهد. کشاورزی پایدار شامل نقش مثبت تولید محصولات کشاورزی در رشد اقتصادی به همراه کاهش فقر، حفظ منابع طبیعی و حمایت از محیط زیست است. به‌طور کلی، در کشاورزی پایدار، دو هدف اساسی تداوم تولید محصولات کشاورزی و کاهش آثار زیانبار زیست‌محیطی در بخش کشاورزی وجود دارد (۱۴).

با استفاده از میزان کود و سم مصرفی در واحد سطح، می‌توان به بررسی پایداری کشاورزی پرداخت. هرچه نسبت مصرف کود و سم در واحد سطح در یک دوره زمانی در اثر اعمال یک سیاست مشخص کاهش یابد، بهره‌برداران در راستای پایداری بیشتر عمل می‌کنند. بر همین اساس، شاخص یادشده به‌صورت زیر تعریف می‌شود (۲۴):

$$(15) \quad \text{میزان مصرف کود و سم (کیلوگرم)} = \frac{\text{شاخص پایداری کود و سم}}{\text{سطح زیر کشت (هکتار)}}$$

هرچه شاخص یادشده کوچک‌تر باشد، آلودگی زیست‌محیطی کمتر و پایداری بخش کشاورزی بیشتر خواهد بود. میزان مصرف کود و سم مصرفی هر هکتار محصولات از اطلاعات پرسشنامه هزینه تولید محصولات زراعی و باغی محاسبه شده و سپس، این شاخص با توجه به میزان مصرف کود و سم در هر سناریوی برداشت آب از سفره آب زیرزمینی برآورد شده است.

شاخص موازنه نیتروژن

شاخص موازنه نیتروژن^{۱۴} بیانگر اختلاف فیزیکی بین مقدار کل نیتروژن ورودی به خاک و مقدار کل نیتروژن خروجی از خاک براساس چرخه نیتروژن در یک نظام کشاورزی در هر هکتار است. از آنجا که فراهم سازی مقدار مناسب مواد مغذی در خاک، به ویژه نیتروژن، برای رشد محصول ضروری و اما مصرف میزان اضافی از این نهاده برای محیط زیست مضر است، از میزان تعادل نیتروژن به عنوان یک شاخص زیست محیطی استفاده می شود، شاخصی که اختلاف فیزیکی بین مقدار کل نیتروژن ورودی به خاک از طریق مصرف نهاده ها و مقدار کل نیتروژن خروجی از خاک از طریق تولید محصول را محاسبه می کند؛ هرچه این میزان به صفر نزدیک تر باشد، به لحاظ شاخص های زیست محیطی، سازگاری بیشتری با پایداری خاک دارد و هرچه این شاخص به سمت مقادیر مثبت حرکت کند، به معنی ورود نیتروژن بیشتر به خاک و آلودگی نیتروژن بوده و در صورت منفی شدن، به معنی خروج نیتروژن از خاک و کمبود نیتروژن در خاک محسوب می شود. شاخص موازنه نیتروژن از طریق موازنه نیتروژن سطح خاک که به عنوان مقدار کل ورودی ها و خروجی های نیتروژن در طول یک سال زراعی است (جدول ۲)، محاسبه می شود (۲۱).

جدول ۲. مؤلفه های نیتروژن ورودی و خروجی

خروجی های نیتروژن	ورودی های نیتروژن
میزان نیتروژن جذب شده در محصولات تولیدی (کیلوگرم)	مقدار کل نیتروژن وارد شده بر اثر مصرف کودهای شیمیایی (کیلوگرم)
مقدار کل نیتروژن جذب شده از طریق جذب اتمسفری و زیست شناختی (کیلوگرم)	مقدار کل نیتروژن وارد شده بر اثر مصرف کودهای دامی (کیلوگرم)
جمع کل نیتروژن خروجی	جمع کل نیتروژن ورودی

مأخذ: یافته های تحقیق

بر این اساس، شاخص موازنه نیتروژن به صورت رابطه زیر محاسبه می شود:

14. nitrogen balance index

کاربرد روش نامتقارن نش در تعیین.....

$$(۱۶) \quad \text{نیتروژن ورودی به خاک (kg) - نیتروژن خروجی از خاک (kg)} = \frac{\text{شاخص موازنه نیتروژن (kg/ha)}}{\text{سطح زیر کشت (ha)}}$$

شایان یادآوری است که در پژوهش حاضر، ضرایب یادشده در روابط بالا از محاسبات سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD) (۲۱) اخذ شده است. با توجه به سطح زیر کشت محصولات لحاظ شده در الگوی کشت متناسب با هر سطح برداشت آب، میزان برداشت محصولات و ضرایب مربوط به مؤلفه‌های ورود و خروج نیتروژن، میزان نیتروژن ورودی و خروجی خاک با استفاده از نرم‌افزار GAMS در سناریوهای مختلف برداشت آب محاسبه شد. محدوده مطالعاتی دشت جیرفت بخشی از حوضه غربی جازموریان است و در جنوب شرق ایران قرار دارد. وسعت محدوده مطالعاتی جیرفت ۵۰۵۷ کیلومتر مربع شامل ۲۱۰۶ کیلومتر مربع دشت جیرفت و ۳۹۴۴ کیلومتر مربع ارتفاعات آن است. ارتفاع دشت از سطح دریا بین ۵۰۰-۸۰۰ متر متغیر است. شیب کلی این محدوده از سمت شمال به جنوب و متوسط بارندگی سالانه آن ۱۷۰ میلی‌متر است. در دشت جیرفت چندین رودخانه دائمی و فصلی جریان دارند که مهم‌ترین آنها رودخانه هلیل رود است (۱۳). بخشی از اطلاعات مورد نیاز مانند عملکرد، قیمت و هزینه‌های تولید محصولات مختلف و هزینه‌های استحصال آب از چاه از اطلاعات ۲۲۵ نمونه تصادفی از ۶۰۷۱ بهره‌بردار چاه‌های آب دشت جیرفت شامل شهرستان‌های جیرفت و عنبرآباد به‌دست آمده و بخش دیگر اطلاعات از وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، سازمان آب منطقه‌ای جیرفت و استان کرمان و سازمان جهاد کشاورزی جیرفت و کهنوج جمع‌آوری شده است. تجزیه و تحلیل اطلاعات نیز با استفاده از نرم‌افزارهای Eviews, Excel و GAMS انجام گرفته است. به‌دلیل حفاری‌های بسیار زیاد و ناموزون چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان‌های سطحی و عمقی، فشار آرتزین کاهش بسیار زیادی یافته، به‌گونه‌ای که تخلیه سالانه چاه‌های آرتزین به صفر رسیده است و جداسازی آنها براساس نقشه‌های عمق و تراز آب زیرزمینی میسر نیست و سفره یکپارچه در نظر گرفته می‌شود (۸). بنابراین، در مطالعه حاضر، دشت جیرفت همگن در نظر گرفته شده است و حجم نمونه متناسب با روش نمونه‌گیری تصادفی ساده به‌شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$n = \frac{z^2 pq}{d^2 \left[1 + \frac{1}{N} \left(\frac{z^2 pq}{d^2} - 1 \right) \right]} = 225 \quad (17)$$

که در آن، N حجم جامعه شامل مجموعه کشاورزان صاحب چاه آب کشاورزی در محدوده مطالعاتی دشت جیرفت به تعداد ۶۰۷۱ چاه، Z مقدار متغیر نرمال استاندارد (برابر با ۱/۹۶ در سطح اطمینان ۹۵ درصد)، P مقدار نسبت صفت موجود در جامعه (الکتریکی بودن پمپ مورد بهره‌برداری شامل ۸۱ درصد نمونه‌ها) و q درصد نمونه‌های فاقد آن صفت (دیزلی بودن پمپ آب شامل نوزده درصد نمونه‌ها) ($q = 1 - p$) و d میزان اشتباه مجاز (در تحقیق حاضر، پنج درصد) است.

نتایج و بحث

تفاوت درآمد از هزینه مطابق روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) به‌عنوان هدف اقتصادی کشاورزان در سناریوهای مختلف به‌شرح جدول ۳ به‌دست آمد. درآمد خالص متناسب با الگوی کشت بهینه هر سناریوی برداشت آب است.

جدول ۳. درآمد خالص و سطح زیر کشت بهینه به‌ازای سناریوهای مختلف

سطح زیر کشت محصولات در سناریوهای مختلف برداشت آب (هکتار)											درآمد خالص کشاورزان (میلیون تومان)	سطح زیر کشت (هکتار)	برداشت آب زیرزمینی ^۱	ردیف
گندم	ذرت	سبزی زمینی	پنیر	پنیرک	هندوانه	خیار گلخانه	پنیرک	پنیرک	پنیرک	پنیرک				
۸۴۲۹	۱۳۸۰۸	۲۹۴۰	۷۲۸	-	-	-	۲۸	۱۵۳	-	-	۳۹۰۴۵۶	۲۶۰۹۶	۵۷۳/۳	۱
۸۴۲۹	۱۳۸۰۸	۲۹۴۰	۷۶۵	-	۲۵۹	۲۲۲	۶۲۱	۵۷۴	-	-	۴۳۳۶۹۶	۲۷۶۱۸	۵۹۴/۹	۲
۸۴۲۹	۱۳۸۰۸	۲۹۴۰	۷۹۲	-	۶۰۷	۷۰۴	۹۲۰	۸۲۰	-	-	۴۶۹۲۳۶	۲۹۰۲۰	۶۱۶/۷	۳
۸۴۲۹	۱۳۸۰۸	۲۹۴۰	۸۲۶	-	۱۰۲۷	۱۲۸۵	۱۲۸۰	۱۱۱۷	-	-	۵۰۷۸۸۲	۳۰۷۱۲	۶۳۸/۶	۴
۸۴۲۹	۱۳۸۰۸	۲۹۴۰	۸۵۷	-	۱۴۱۰	۱۸۱۵	۱۶۰۹	۱۳۸۸	-	-	۵۳۹۰۷۷	۳۲۲۵۶	۶۶۰/۴	۵
۸۴۲۹	۱۳۸۰۸	۲۹۴۰	۸۸۶	-	۱۷۵۱	۲۲۸۸	۱۹۰۹	۱۶۴۰	۱۶۷	-	۵۶۶۶۳۰	۳۳۸۱۸	۶۸۲/۳	۶
۸۴۲۹	۱۳۸۰۸	۲۹۴۰	۹۱۴	-	۲۰۵۴	۲۷۱۱	۲۱۸۵	۱۸۷۵	۴۶۵	-	۵۹۰۸۲۸	۳۵۳۸۲	۷۰۴/۱	۷
۸۴۲۹	۱۳۸۰۸	۲۹۴۰	۹۴۲	۵۷	۲۲۰۹	۲۹۴۹	۲۴۰۵	۲۰۹۴	۶۶۷	-	۶۱۲۵۵۷	۳۷۲۹۰	۷۲۶	۸
۸۴۲۹	۱۳۸۰۸	۲۹۴۰	۹۶۲	۸۷	۲۴۰۳	۳۳۳۷	۲۶۳۱	۲۳۰۶	۹۱۰	-	۶۳۱۴۷۵	۳۹۱۲۰	۷۴۷/۸	۹
۸۴۲۹	۱۳۸۰۸	۲۹۴۰	۹۸۶	۱۱۸	۲۵۹۶	۳۵۲۲	۲۸۵۹	۲۵۲۰	۱۱۳۸	۱۲۱	۶۶۷۸۵۰	۴۰۹۸۶	۷۶۹/۷	۱۰
۸۴۲۹	۱۳۸۰۸	۲۹۴۰	۱۰۱۰	۱۴۷	۲۷۸۶	۳۸۰۳	۳۰۸۴	۲۷۳۲	۱۳۶۳	۲۶۷	۶۹۱۶۱۳	۴۲۸۵۶	۷۹۱/۵	۱۱
۸۴۲۹	۱۳۸۰۸	۲۹۴۰	۱۰۳۴	۱۷۶	۲۹۷۶	۴۰۸۵	۳۳۱۰	۲۹۴۵	۱۵۸۸	۴۱۵	۷۲۲۸۹۳	۴۴۷۳۴	۸۱۳/۴	۱۲
۸۴۲۹	۱۴۴۲۳	۲۹۴۰	۱۰۵۰	۱۸۷	۳۰۶۳	۴۲۱۳	۳۴۰۴	۳۰۲۴	۱۶۸۴	۴۷۳	۷۴۴۱۵	۴۶۲۱۲	۸۳۵/۲	۱۳
۸۴۲۹	۱۵۰۳۸	۲۹۴۰	۱۰۶۶	۱۹۸	۳۱۴۹	۴۳۳۸	۳۴۹۸	۳۱۰۴	۱۷۸۰	۵۳۱	۷۶۱۰۶۶	۴۷۶۸۹	۸۵۷	۱۴

مأخذ: یافته‌های تحقیق

^۱ واحد: میلیون مترمکعب

در سناریوی اول که متناسب با کمترین حجم برداشت از منبع آب زیرزمینی است، از محصولات زراعی سالانه تنها پیاز، سیب زمینی و خیار گلخانه‌ای وارد مدل شده‌اند و سطح زیر کشت محصولات باغی نیز در همان سطح حداقل موجود حفظ شده است. محصولات ذرت تا سناریوی پنجم، گندم تا سناریوی هفتم، جو تا سناریوی نهم و هندوانه نیز تا سناریوی هفتم در ترکیب الگوی کشت بهینه جایی ندارند. البته حداقل سطح زیر کشت محصولات باغی و دائمی در تمامی مدل‌ها لحاظ شده است، اما افزایش سطح زیر کشت باغ‌ها و محصول چندساله یونجه در الگوهای کشت بهینه توصیه نمی‌شود و صرفاً سطح زیر کشت محصول پرتقال از سناریوی سیزدهم به بعد افزایش نشان می‌دهد. قابل توجه است که سطح زیر کشت یونجه و خرما در مقایسه با سایر محصولات با توجه به میزان آب مصرفی بیشتر و درآمد نسبی کمتر در سناریوی با بیشترین حجم برداشت آب از منابع آب زیرزمینی نیز افزایش نداشت. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با افزایش برداشت آب از سفره آب زیرزمینی، سطح زیر کشت افزایش یافته و درآمد خالص کشاورزان به‌عنوان هدف اقتصادی مدل نیز افزایش می‌یابد. جدول ۴ اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی متناسب با هر سناریو را با هم نشان می‌دهد. همان‌گونه که انتظار می‌رود، با افزایش میزان برداشت آب زیرزمینی، کل سطح زیر کشت افزایش و بدین ترتیب، درآمد خالص کشاورزان نیز افزایش می‌یابد؛ در مقابل، اثرهای زیست‌محیطی زیان‌بارتری با برداشت بیش از حد از ذخایر زیرزمینی نصیب جامعه خواهد شد. ضرایب α ، β و k در رابطه (۵)، با توجه به نتایج نظرسنجی از بهره‌برداران و البته وزن‌دهی بیشتر به نظرات خبرگان و کارشناسان و بررسی مطالعات مشابه از جمله سالازار و همکاران (۲۶)، به ترتیب، برابر با ۰/۵، ۰/۳ و ۰/۲ منظور شد. شاخص‌های متفاوت هدف زیست‌محیطی نرمال‌سازی شده و تابع عایدی گروه جامعه از ترکیب شاخص‌های زیست‌محیطی نرمال‌شده با ضرایبی که قبلاً توضیح داده شد، به‌دست آمد.

جدول ۴. ماتریس تاوان اهداف اقتصادی و زیست محیطی متناسب هر سناریو

سناریو	برداشت آب (میلیون مترمکعب)	سطح زیر کشت (هکتار)	هدف اقتصادی کشاورزان (میلیون تومان)	هدف زیست محیطی جامعه		
				ضریب برداشت بیش از حد از آبخوان	سم و کود شیمیایی مصرفی (تن)	موازنه نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)
۱	۵۷۳/۳	۲۶۰۹۶	۳۹۰۴۵۶	۱	۲۵۱۲۵	۶۱/۸۴
۲	۵۹۴/۹	۲۷۶۱۸	۴۳۳۶۹۶	۱/۰۳۸	۲۶۶۶۵	۶۲/۰۵
۳	۶۱۶/۷	۲۹۰۲۰	۴۶۹۲۳۶	۱/۰۷۲	۲۷۹۹۷	۶۲/۲۴
۴	۶۳۸/۶	۳۰۷۱۲	۵۰۷۸۸۲	۱/۱۱۴	۲۹۶۰۶	۶۲/۴۵
۵	۶۶۰/۴	۳۲۲۵۶	۵۳۹۰۷۷	۱/۱۵۲	۳۱۰۷۳	۶۲/۶۲
۶	۶۸۲/۳	۳۳۸۱۸	۵۶۶۶۳۰	۱/۱۹۰	۳۲۴۹۰	۶۲/۹۳
۷	۷۰۴/۱	۳۵۳۸۲	۵۹۰۸۲۸	۱/۲۲۸	۳۳۸۵۶	۶۳/۳۱
۸	۷۲۶	۳۷۲۹۰	۶۱۲۵۵۷	۱/۲۶۶	۳۵۳۳۶	۶۵/۲۹
۹	۷۴۷/۸	۳۹۱۲۰	۶۳۱۴۷۵	۱/۳۰۴	۳۶۷۸۲	۶۷/۰۳
۱۰	۷۶۹/۷	۴۰۹۸۶	۶۴۷۸۵۰	۱/۳۴۳	۳۸۲۳۹	۶۸/۴۷
۱۱	۷۹۱/۵	۴۲۸۵۶	۶۶۱۶۱۳	۱/۳۸۱	۳۹۶۹۱	۶۹/۸۱
۱۲	۸۱۳پ۴	۴۴۷۳۴	۶۷۲۸۹۳	۱/۴۱۹	۴۱۱۴۹	۷۱/۰۴
۱۳	۸۳۵/۲	۴۶۲۱۲	۶۸۲۴۱۵	۱/۴۵۷	۴۲۶۱۴	۷۲/۱
۱۴	۸۵۷	۴۷۶۸۹	۶۹۱۰۶۶	۱/۴۹۵	۴۴۰۸۰	۷۳/۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در جدول ۵، می‌توان مقادیر عایدی نرمال شده^{۱۵} هر کدام از بازیگران را در نتیجه سناریوهای مختلف مشاهده کرد و در واقع، این جدول نیز نشان‌دهنده ماتریس تاوان اهداف اقتصادی و زیست محیطی نرمال شده متناظر با هر راه حل برداشت از آب‌های زیرزمینی است.

۱۵. برای نرمال‌سازی داده‌ها از رابطه $X_n = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$ و $X_n = 1 - \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$ استفاده شده است.

کاربرد روش نامتقارن نش در تعیین.....

جدول ۵. مقادیر عایدی نرمال شده جامعه و کشاورزان در سناریوهای مختلف

هدف زیست محیطی جامعه*	شاخص های زیست محیطی			هدف اقتصادی کشاورزان*	سطح زیر کشت (هکتار)	برداشت آب (میلیون مترمکعب)	سناریو
	موازنه نیتروزن *(NE)	سم و کود شیمیایی مصرفی *(F)	ضریب برداشت بیش از حد از آبخوان *(AI)				
+۰/۲ NE	۱	۱	۱	۰	۲۶۰۹۶	۵۷۳/۳	۱
+۰/۳ F	۰/۹۸۱	۰/۹۱۹	۰/۹۲۴	۰/۱۴۴	۲۷۶۱۸	۵۹۴/۹	۲
۰/۵ AI	۰/۸۷۴	۰/۸۴۸	۰/۸۵۴	۰/۲۶۲	۲۹۰۲۰	۶۱۶/۷	۳
	۰/۸۰۳	۰/۷۶۴	۰/۷۷۰	۰/۳۹۱	۳۰۷۱۲	۶۳۸/۶	۴
	۰/۷۳۸	۰/۶۸۶	۰/۶۹۳	۰/۴۹۴	۳۲۲۵۶	۶۶۰/۴	۵
	۰/۶۷۲	۰/۶۱۱	۰/۶۱۶	۰/۵۸۶	۳۳۸۱۸	۶۸۱/۳	۶
	۰/۶۰۵	۰/۵۳۹	۰/۵۳۹	۰/۶۶۷	۳۵۳۸۲	۷۰۴/۱	۷
	۰/۵۰۸	۰/۴۶۱	۰/۴۶۲	۰/۷۳۹	۳۷۲۹۰	۷۲۶	۸
	۰/۴۱۶	۰/۳۸۵	۰/۳۸۵	۰/۸۰۲	۳۹۱۲۰	۷۴۷/۸	۹
	۰/۳۲۸	۰/۳۰۸	۰/۳۰۸	۰/۸۵۶	۴۰۹۸۶	۷۶۹/۷	۱۰
	۰/۲۴۳	۰/۲۳۲	۰/۲۳۱	۰/۹۰۲	۴۲۸۵۶	۷۹۱/۵	۱۱
	۰/۱۶۰	۰/۱۵۵	۰/۱۵۴	۰/۹۷۱	۴۴۷۳۴	۸۱۳/۴	۱۲
	۰/۰۷۹	۰/۰۷۷	۰/۰۷۷	۰/۹۷۱	۴۶۲۱۲	۸۳۵/۲	۱۳
	۰	۰	۰	۱	۴۷۶۸۹	۸۵۷	۱۴

* اعداد نرمال شده و بدون واحد هستند.

مأخذ: یافته های تحقیق

سناریوی چهاردهم مطلوب ترین حالت برای کشاورزان است، چراکه میزان عایدی آنها برابر با یک است (بیشترین مقدار)؛ از سوی دیگر، سناریوی اول دارای کمترین زیان برای جامعه است، به گونه ای که مقدار نرمال شده این زیان برای این گروه برابر با صفر است (کمترین مقدار). نتایج حاصل از تخمین مرز پارتو در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶. تخمین منحنی پارتو برای گروه‌های جامعه و کشاورزان

مقدار t	ضریب	ضریب
۱۰۷/۱۹ ^{***}	۰/۹۶۲۱	عرض از مبدأ
۱/۸۳ [*]	۰/۰۷۶۱	هدف زیست‌محیطی
-۲۵/۰۹ ^{***}	-۱/۰۲۲۴	توان دوم هدف زیست‌محیطی
۱/۸۲		DW
۰/۹۹		R ²

^{***} معنی‌داری در سطح یک درصد ^{*} معنی‌داری در سطح ده درصد

مأخذ: یافته‌های تحقیق

پس از استخراج مرز پارتو، از روش حل نامتقارن نش برای تعیین مقدار بهینه برداشت از منابع آب زیرزمینی استفاده شد. نتایج حاصل از به‌کارگیری این روش در جدول ۷ آمده است.

جدول ۷. میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی دشت جیرفت راه حل نامتقارن نش

راه‌حل نامتقارن نش				وزن هدف اقتصادی	وزن هدف زیست‌محیطی
میزان برداشت بهینه آب ^{**}	درآمد خالص کشاورزان [*]	منافع اقتصادی	منافع زیست‌محیطی		
۷۱۵	۴۰۱۲۵۷	۰/۰۳۶	۱	۰	۱
۷۱۵/۹	۴۰۵۱۲۰	۰/۰۴۹	۰/۹۹۳	۰/۰۲۵	۰/۹۷۵
۷۱۹/۴	۴۱۹۰۵۷	۰/۰۹۵	۰/۹۶۹	۰/۰۵	۰/۹۵
۷۲۲/۸	۴۳۲۳۲۵	۰/۱۳۹	۰/۹۴۵	۰/۰۷۵	۰/۹۲۵
۷۲۶/۲	۴۴۴۹۶۵	۰/۱۸۱	۰/۹۲۱	۰/۱	۰/۹
۷۲۹/۴	۴۵۷۰۱۷	۰/۲۲۱	۰/۸۹۸	۰/۱۲۵	۰/۸۷۵
۷۳۲/۶	۴۶۸۵۲۸	۰/۲۶۰	۰/۸۷۶	۰/۱۵	۰/۸۵
۷۳۵/۷	۴۷۹۵۲۳	۰/۲۹۶	۰/۸۵۴	۰/۱۷۵	۰/۸۲۵
۷۳۸/۸	۴۹۰۰۵۱	۰/۳۳۱	۰/۸۳۲	۰/۲	۰/۸
۷۴۱/۹	۵۰۰۱۱۸	۰/۳۶۵	۰/۸۱۱	۰/۲۲۵	۰/۷۷۵
۷۴۴/۸	۴۰۹۷۶۶	۰/۳۹۷	۰/۷۹۰	۰/۲۵	۰/۷۵
۷۴۷/۸	۵۱۹۰۲۹	۰/۴۲۸	۰/۷۶۹	۰/۲۷۵	۰/۷۲۵
۷۵۰/۷	۵۲۷۹۰۳	۰/۴۵۷	۰/۷۴۹	۰/۳	۰/۷
۷۵۳/۵	۵۳۶۴۳۵	۰/۴۸۶	۰/۷۲۹	۰/۳۲۵	۰/۶۷۵

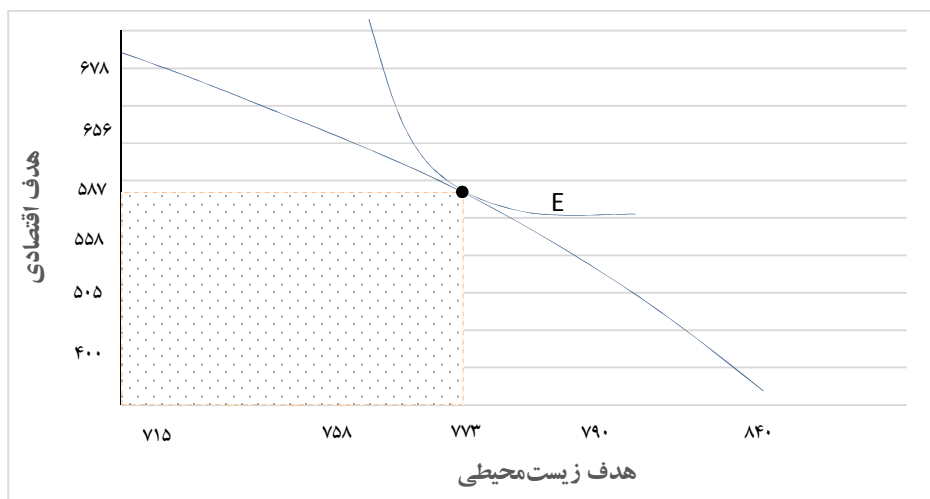
کاربرد روش نامتقارن نش در تعیین.....

ادامهٔ جدول ۷.

راه‌حل نامتقارن نش				وزن هدف اقتصادی	وزن هدف زیست‌محیطی
میزان برداشت بپینه آب**	درآمد خالص کشاورزان*	منافع اقتصادی	منافع زیست‌محیطی		
۷۵۶/۴	۵۴۴۶۳۵	۰/۵۱۳	۰/۷۰۹	۰/۳۵	۰/۶۵
۷۵۹/۲	۵۵۲۵۱۳	۰/۵۳۹	۰/۶۸۹	۰/۳۷۵	۰/۶۲۵
۷۶۲	۵۶۰۱۰۹	۰/۵۶۴	۰/۶۶۹	۰/۴	۰/۶
۷۶۴/۸	۵۶۷۴۱۲	۰/۵۸۹	۰/۶۵۰	۰/۴۲۵	۰/۵۷۵
۷۶۷/۵	۵۷۴۴۵۸	۰/۶۱۲	۰/۶۳۰	۰/۴۵	۰/۵۵
۷۷۰/۳	۵۸۱۲۴۳	۰/۶۳۵	۰/۶۱۱	۰/۴۷۵	۰/۵۲۵
۷۷۳	۵۸۷۷۹۵	۰/۶۵۶	۰/۵۹۲	۰/۵	۰/۵
۷۷۵/۷	۵۹۴۱۱۹	۰/۶۷۷	۰/۵۷۲	۰/۵۲۵	۰/۴۷۵
۷۷۸/۵	۶۰۰۲۰۵	۰/۶۹۸	۰/۵۵۳	۰/۵۵	۰/۴۵
۷۸۱/۲	۶۰۶۱۰۶	۰/۷۱۷	۰/۵۳۴	۰/۵۷۵	۰/۴۲۵
۷۸۴	۶۱۱۷۹۸	۰/۷۳۶	۰/۵۱۴	۰/۶	۰/۴
۷۸۶/۸	۶۱۷۲۹۳	۰/۷۵۵	۰/۴۹۵	۰/۶۲۵	۰/۳۷۵
۷۸۹/۶	۶۲۲۶۲۵	۰/۷۷۲	۰/۴۷۵	۰/۶۵	۰/۳۵
۷۹۲/۴	۶۲۷۷۷۰	۰/۷۸۹	۰/۴۵۵	۰/۶۷۵	۰/۳۲۵
۷۹۵/۳	۶۳۲۷۴۲	۰/۸۰۶	۰/۴۳۵	۰/۷	۰/۳
۷۹۸/۲	۶۳۷۵۴۶	۰/۸۲۲	۰/۴۱۴	۰/۷۲۵	۰/۲۷۵
۸۰۱/۲	۶۴۲۲۱۱	۰/۸۳۷	۰/۳۹۳	۰/۷۵	۰/۲۵
۸۰۴/۳	۶۴۶۷۳۴	۰/۵۸۳	۰/۳۷۱	۰/۷۷۵	۰/۲۲۵
۸۰۷/۵	۶۵۱۰۹۹	۰/۸۶۷	۰/۳۴۸	۰/۸	۰/۲
۸۱۰/۹	۶۵۵۳۲۲	۰/۸۸۱	۰/۳۲۵	۰/۸۲۵	۰/۱۷۵
۸۱۴/۴	۶۵۹۴۰۳	۰/۸۹۵	۰/۳۰۰	۰/۸۵	۰/۵۰۰
۸۱۸/۱	۶۶۳۳۳۵	۰/۹۰۸	۰/۲۷۴	۰/۸۷۵	۰/۱۲۵
۸۲۲/۱	۶۶۷۱۳۲	۰/۹۲۰	۰/۲۴۶	۰/۹	۰/۱
۸۲۶/۶	۶۷۰۷۸۴	۰/۹۳۳	۰/۲۱۴	۰/۹۲۵	۰/۰۷۵
۸۳۱/۸	۶۷۴۲۶۳	۰/۹۴۴	۰/۱۷۸	۰/۹۵	۰/۰۵
۸۳۸/۴	۶۷۷۵۱۴	۰/۹۵۵	۰/۱۳۱	۰/۹۷۵	۰/۰۲۵
۸۴۲/۸	۶۷۸۹۷۰	۰/۹۶۰	۰/۱۰۰	۱	۰

* میلیون تومان ** میلیون مترمکعب مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۷، در واقع، نشان‌دهنده تغییرات درآمد کشاورزان و مقدار برداشت از آب زیرزمینی در نتیجه وزن‌های متفاوتی است که در پژوهش حاضر، برای هر کدام از اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی در نظر گرفته شده است. با افزایش در وزن منافع زیست‌محیطی، مقدار برداشت از آب زیرزمینی کاهش می‌یابد؛ همچنین، با افزایش در وزن منافع اقتصادی، مقدار برداشت از آب زیرزمینی و در نتیجه، درآمد کشاورزان افزایش می‌یابد. ماکزیمم مقدار منحنی بهینه پارتو در حالت تساوی وزن اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی حاصل شد. بنابراین، میزان برداشت بهینه از آب زیرزمینی زمانی که وزن اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی یکسان باشد (مقدار ۵۰-۵۰)، برابر با ۷۷۳ میلیون مترمکعب در سال خواهد بود (جدول ۷). در واقع، این همان نقطه‌ای است که از حل مدل چانه‌زنی نش به دست آمده است و در همین نقطه، شیب منحنی پارتو با شیب منحنی بی‌تفاوتی با هم مماس شده‌اند. از این رو، جواب مدل چانه‌زنی نش همین نقطه است. این نقطه بهینه جواب حل مسئله است و در آن، طرفین به توافق می‌رسند. از آنجا که بهترین حالت در وزن‌دهی مساوی به هر کدام از طرفین به دست آمده، در نتیجه، این نقطه تقریباً در وسط منحنی پارتو قرار دارد. این وضعیت در نمودار ۲ نشان داده شده است.



نمودار ۲. تعیین مقادیر بهینه بر روی مرز پارتو

کاربرد روش نامتقارن نش در تعیین.....

از مقایسه میان جواب بهینه حاصل از حل تعارض و چهارده راه حل اولیه مورد بررسی چنین برمی آید که این میزان به دهمین راه حل «برداشت از آب زیرزمینی» نزدیک تر است. حال، با توجه به میزان برداشت آب زیرزمینی به میزان ۷۷۳ میلیون مترمکعب، می توان با مراجعه به الگوی پایه، الگوی کشت بهینه در دشت جیرفت را مشخص کرد.

جدول ۸. الگوی کشت موجود و الگوی کشت بهینه بعد از حل تعارض

وضعیت تغییرات نسبت به شرایط موجود	سطح زیر کشت (هکتار)		محصول
	الگوی بهینه روش حل تعارض	شرایط موجود	
کاهش	۲۰۳۱	۳۹۸۲	گندم
کاهش	۱۴۳	۷۵۱	جو
کاهش	۱۱۷۲	۲۲۰۹	ذرت
کاهش	۲۵۵۲	۳۳۶۵	پیاز
کاهش	۲۸۹۳	۳۷۱۶	سیب زمینی
کاهش	۳۵۶۴	۴۵۹۴	خیار
کاهش	۲۶۲۴	۳۳۹۰	گوجه
کاهش	۱۲۲	۲۴۷	هندوانه
کاهش	۹۹۰	۱۰۷۸	خیار گلخانه ای
بدون تغییر	۲۹۴۰	۲۹۴۰	یونجه
بدون تغییر	۱۳۸۰۸	۱۳۸۰۸	پرتقال
بدون تغییر	۸۴۲۹	۸۴۲۹	خرما
کاهش	۴۱۲۷۰	۴۸۵۰۹	مجموع سطح زیر کشت
کاهش	۶۵۰۰۹۶	۶۹۱۰۶۶	درآمد خالص کشاورزان (میلیون تومان)
کاهش	۷۷۳	۸۵۷	مقدار متوسط آب زیرزمینی مصرف شده (میلیون مترمکعب)

مأخذ: یافته های تحقیق

همان گونه که مشاهده می‌شود، در الگوی کشت بهینه، سطح زیر کشت تمامی محصولات زراعی سالانه نسبت به شرایط موجود با کاهش مواجه شده و در مجموع، سطح زیر کشت بهینه نسبت به شرایط فعلی ۷۲۳۹ هکتار (۱۴/۹ درصد) کاهش یافته است. سطح زیر کشت محصولات باغی و چندساله حداقل سطح زیر کشت موجود خود را حفظ کرده و در این سطح از برداشت آب افزایشی هم نداشته است. درآمد خالص کشاورزان نیز در الگوی کشت بهینه نسبت به شرایط موجود ۵/۹ درصد کاهش یافته است؛ اما این کاهش درآمد در کوتاه مدت، منافع درازمدت تعادل سفره آب زیرزمینی و تداوم فعالیت کشاورزی دشت و جلوگیری از تخریب کلی سفره آب زیرزمینی را به دنبال دارد. همان گونه که مشاهده می‌شود، در الگوی کشت بهینه نسبت به الگوی کشت موجود، میزان برداشت آب زیرزمینی ۸۴ میلیون مترمکعب (۹/۸ درصد) کاهش یافته که در نتیجه این کاهش برداشت آب، سطح زیر کشت موجود حدود پانزده درصد و درآمد خالص کشاورزان ۵/۹ درصد در سال کاهش یافته است.

نتیجه گیری و پیشنهادها

در تحقیق حاضر، برای تعیین میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی دشت جیرفت، از نظریه بازی‌ها استفاده شد. به منظور یافتن تعادل بهینه میان دو هدف متعارض حداکثرسازی سود و کاهش مخاطرات زیست‌محیطی که ترکیبی از شاخص‌های ضریب برداشت بیش از حد از سفره، میزان مصرف کود و سم در هکتار و شاخص موازنه نیتروژن است، از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) استفاده شد. متناسب با چهارده سناریوی برداشت آب از منابع آب زیرزمینی، محاسبه اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی با استفاده از نرم‌افزار GAMS صورت گرفت و مرز پارتو یا منحنی مبادله با استفاده از داده‌های نرمال اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی تخمین زده شد. در ادامه، با بهره‌گیری از راه حل نامتقارن نش و اعمال وزن‌های متفاوت به اهداف متعارض، میزان بهینه برداشت از آب‌های زیرزمینی تعیین شد. بر پایه نتایج به دست آمده، در صورتی که برای اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی وزن یکسان در نظر گرفته شود،

کاربرد روش نامتقارن نش در تعیین.....

میزان برداشت بهینه آب از منابع آب زیرزمینی در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ برابر با ۷۷۳ میلیون مترمکعب است. در الگوی کشت بهینه، میزان برداشت آب زیرزمینی ۸۴ میلیون مترمکعب نسبت به الگوی کشت موجود (معادل ۹/۸ درصد) کاهش یافته و در نتیجه، سطح زیر کشت موجود حدود پانزده درصد و درآمد خالص کشاورزان ۵/۹ درصد در سال کاهش یافته است. این کاهش درآمد در کوتاه‌مدت منافع درازمدت تعادل سفره آب زیرزمینی و تداوم فعالیت کشاورزی دشت و جلوگیری از تخریب کلی سفره آب زیرزمینی را به دنبال دارد. مطالعات گذشته در خصوص وضعیت سفره آب زیرزمینی دشت جیرفت نیز نشان داده که پمپاژ بیش از حد از سفره آب زیرزمینی پیامدهای زیست‌محیطی فراوان همچون تغییر کیفیت آب زیرزمینی، افزایش مصرف انرژی استحصال آب زیرزمینی، افزایش آسیب‌پذیری دشت نسبت به خشکسالی، نشست زمین و ایجاد شکاف در سطح زمین و ابنیه را به دنبال داشته است. بنابراین، باید همکاری‌ها در راستای کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی تقویت شود.

در پایان، براساس نتایج پژوهش حاضر، پیشنهادهایی به شرح زیر ارائه می‌شود:

- با رعایت ملاحظات زیست‌محیطی و منافع درازمدت جامعه، اتخاذ اقداماتی از سوی سیاست‌گذاران در راستای اصلاح الگوی کشت موجود و کاهش حجم برداشت آب از منابع آب زیرزمینی دشت جیرفت، پیش از آنکه منفعت کوتاه‌مدت کشاورزان در حداکثرسازی سودشان سفره آب زیرزمینی این دشت را با تهدید جدی مواجه سازد؛
- با توجه به نتایج روش‌های حل تعارض، تعیین حد مجاز ۷۷۳ میلیون مترمکعب برای برداشت آب توسط کشاورزان؛
- به‌منظور تداوم تولید، حفظ پایداری و تعادل بخشی به منابع آب زیرزمینی در دشت جیرفت، پیگیری اقدامات لازم در راستای کاهش برداشت ۸۴ میلیون مترمکعب آب از طریق نصب کنتورهای حجمی، کاهش دبی چاه‌ها و سیاست‌های تشویقی، ترویجی و تعرفه‌ای برای افزایش ساعات خاموشی چاه‌های آب؛
- انجام فعالیت‌های آموزشی و ترویجی برای آشنایی کشاورزان با اهداف زیست‌محیطی در

تعیین میزان برداشت از آب زیرزمینی و در نتیجه، بهبود وضعیت آبخوان؛ و

- از آنجا که طرح تعادل بخشی به سفره های آب زیرزمینی در دشت های کشور مورد توجه است، می توان از روش هایی نظیر آنچه در پژوهش حاضر، با توجه ویژه به کاهش مخاطرات زیست محیطی در دشت جیرفت به کار رفته است، برای اجرای طرح های مشابه در تمام دشت های کشور سود جست.

منابع:

1. Abdoli, Gh. (2013). Game theory and its applications (static and dynamic games with full information). Tehran: Tehran University Press. (Persian)
2. Arfini, F., Donati, M. and Paris, Q. (2003). A national PMP model for policy evaluation in agriculture using micro data and administrative information. Paper Presented at the International Conference on Agricultural Policy Reform and the WTO: Where are we heading? Cari, Italy.
3. Asgharpour, M.J. (2003). Group decision making and game theory with the attitude of research in action. Tehran: Tehran University Press. (Persian)
4. Cortignani, R. and Severini, S. (2009). Modeling farm-level adoption of deficit irrigation using Positive Mathematical Programming. *Agricultural Water Management*, 96: 1785-1791.
5. Dinar, A. (1995). Conflict, cooperation and institutions in international water management: an economic analysis. Edward Elgar Publishing, 2007.
6. Ellise, E.M. (1998). Agricultural groundwater conservation program in the phoenix active management area. MSc Thesis, University of Arizona, Tucson, AZ.
7. Esteban, E. and Dinar, A. (2011). Collective action and the commons: are cooperative groundwater institutions stable in the presence of environmental externalities. Presented at the AERE Conference, Seattle, June 2011.
8. First Consulting Engineers (2000). Environmental research project on resources and expenditures in the west of Jazmourian with a systematic and comprehensive approach. *Groundwater Studies*, 3(5): 89-117. (Persian)

9. Harsanyi, J.C. and Selten, R. (1972). A generalized Nash solution for two-person bargaining games with incomplete information. *Management Science*, 18: 80-106.
10. Howitt, R. (1995). A calibration method for agricultural economics production models. *American Journal of Agricultural Economics*, 46(2): 147-159.
11. Howitt, R.E. (1995). Positive Mathematical Programming. *American Journal of Agricultural Economics*, 77: 329-342.
12. Kerman Regional Water Authority (2008). Province water profile. Published by Basic Studies Department of Water Resources. (Persian)
13. Kerman Regional Water Authority (2015). Report on the extension of the ban on underground water resources in the Jiroft study area. Published by Basic studies, Department of Water Resources. (Persian)
14. Khatoonabadi, A. and Amini, M. (1996). Sustainable agricultural principles and natural resources management based on optimal energy productivity. Fourth Congress of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan. (Persian)
15. Kloezen, W.H. and Garcés-Restrepo, C. (1998). Assessing irrigation performance with comparative indicators: the case of the Alto Rio Lerma Irrigation District, Mexico. Research Report 22. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
16. Madani, K. (2010), Game theory and water resources. *Journal of Hydrology*, 381: 225-238.
17. Madani, K. and Dinar, A. (2012). Non-cooperative institutions for sustainable common pool resource management: application to groundwater. *Ecological Economics*, 74: 34-45.
18. Madani, K. and Hipel, W. (2011). Non-cooperative stability definitions for strategic analysis of generic water resources conflicts. *Water Resources Management*, 25(8): 1949.
19. Najafi Almdarloo, H. (2013). Application of game theory in economic and environmental assessment: use of groundwater resources in Varamin cropping pattern. PhD Thesis. Tarbiat Modares University, Tehran. (Persian)
20. Nakao, M., Wichelns, D. and Montgomery, J. (2002). Game theory analysis of competition for groundwater involving El Paso, Texas and Ciudad Juarez, Mexico. To Be Presented at "Moving with the Speed of Change", the 2002 Annual Meeting of the American Agricultural Economics Association in Long Beach, California, July 28-31, 2002.

21. OECD/EUROSTAT. (2007). Gross nitrogen balances handbook. Available at <http://www.oecd.org/tad/env/indicators>. Retrived: Oct. 23.
22. Paris, Q. and Howitt, R.E. (1998). An analysis of ill-posed production problems using maximum entropy. *American Journal of Agricultural Economics*, 80: 124-138.
23. Pourzand, F. and Zibaei, M. (2011). Application of game theory to determine the optimal extraction of groundwater Firouzabad Plain aquifers. *Agricultural Economics*, 5(4): 1-24. (Persian)
24. Riesgo, L. and Gomez-Limo, J.A. (2006). Multi-criteria policy scenario analysis for public regulation of irrigated agriculture. *Agricultural System*, 91: 1-28.
25. Sabouhi, M. and Mojarad, A. (2000). Application of game theory in the management of groundwater resources in Atrak Basin. *Economic and Agricultural Development*. 24(1): 1-12. (Persian)
26. Salazar, R., Szidarovszky, F., Coppola, E. and Rajano, A. (2007). Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. *Journal of Environmental Management*, 54: 560-571.
27. Salehi, F., Daneshvar-Kakhki, M., Shahnoushi, N. and Rajabi, M. (2000). Application of game theory to determine the optimal extraction of groundwater aquifers in Taibad Plain. *Agricultural Economics*, 4(3): 65-89 (Persian)
28. Shahidasht, A.R. and Abbasnejad, A. (2011). Evaluation of the environmental impacts of aquifer depletion in Jiroft Plain and prediction of the future status. *Iran-Water Resources Research*, 7(1):77-81. (Persian)