نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد 31، شماره 2، تابستان 1396، ص. 120-105

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 31, No. 2, Summer 2017, p. 105-120

ارزیابی سیاست قیمت‌گذاری آب بر پایداری و حفظ آبخوان: مطالعه آبخوان مهیار شمالی در حوضه زاینده رود

ابوالقاسم باقری[1*] - علیرضا نیکویی[2] - فرهاد خداداد کاشی[3] - محسن شوکت فدایی[4]

تاریخ دریافت: 1395/05/30
تاریخ پذیرش: 1396/01/29

چکیده

برداشت‌های بی رویه از منابع آب زیرزمینی در دشت مهیار شمالی واقع در حوضه آبخیز زاینده رود، سطح آب در آبخوان این دشت را به شکل قابل توجهی کاهش داده و منابع آب زیرزمینی به عنوان مهمترین منبع تأمین کننده آب مورد نیاز بخش کشاورزی این منطقه را با بیلان منفی مواجه کرده است. بر این مبنا، مدیریت آبخوان از منظر حفظ و پایداری منابع آبی آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است، به ویژه برای این منطقه که اقتصاد آن مبتنی بر تولید محصولات کشاورزی باشد. هدف این مطالعه تحلیل و ارزیابی تأثیر سیاست قیمت گذاری آب به عنوان یکی از سیاست‌های مربوط به حفظ منابع آب زیرزمینی بر متغیرهای اقتصادی و هیدرولوژیکی آبخوان دشت مهیار شمالی می‌باشد. برای این منظور، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)[5] به شکل پویا گسترش یافت و اثرات مربوط به اعمال 8 سناریوی قیمتی آب در بازه صفر تا 1800 ریال بر پارامترهای مورد نظر در طول یک دوره 20 ساله توسط این مدل شبیه سازی شد. روش در نظر گرفته شده برای جمع آوری داده‌های این مطالعه مبتنی بر مطالعات پیمایشی و تکمیل 250 پرسشنامه، اسنادی و استفاده از نظرات و تجربیات کارشناسی بوده است. نتایج نشان داد در محدوده آبخوان مورد مطالعه و در مقایسه با شرایط فعلی حاکم در منطقه، لحاظ سیاست قیمت گذاری منابع آب زیرزمینی با تغییر الگوی کشت در جهت محدود تر شدن درصد کشت محصولات با آبیاری غرقابی و گسترده تر شدن درصد کشت محصولات با آبیاری تحت فشار و در نتیجه تعدیل روند بهره برداری بی رویه از منابع کمیاب آب، متغیرهای هیدرولوژیکی اعم از بیلان آب زیرزمینی، ضخامت لایه اشباع آبخوان و سطح ایستایی آبخوان می‌تواند در سطح قابل ملاحظه ای بهبود یابند. با این حال، به دلیل تأثیر منفی افزایش قیمت آب بر منافع اقتصادی در بخش کشاورزی منطقه، ضروری است سیاست قیمت گذاری آب به گونه ای اعمال گردد که علاوه بر بهبود پایداری کشاورزی و حفظ منابع حیاتی آب، منافع اقتصادی و اجتماعی بهره برداران نیز دچار نوسان زیادی نگردد.

واژه‌های کلیدی: آب‌های زیرزمینی، برنامه‌ریزی پویا، برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، شبیه سازی، قیمت گذاری آب

مقدمه

کمبود آب با کیفیت به عنوان یکی از عوامل مهم بازدارنده توسعه کشاورزی و اقتصادی در بیشتر کشورهای در حال توسعه مطرح می‌باشد. لذا استفاده منطقی و بهینه از منابع آب و اتخاذ سیاست‌های مناسب برای پایداری این منبع به عنوان ارزشمندترین موهبت طبیعی، به یک موضوع مهم و استراتژیک در اکثر کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است. اهمیت این مسأله به اندازه ای است که اقتصاددانان، رفاه جمعیت جهان در آینده ای نزدیک را به حل مشکل کم آبی و بهره برداری بهینه و پایدار از منابع آبی مربوط دانسته اند (14). این در حالی است که ذخیره منابع موجود آب برای آبیاری کشاورزی ثابت و در اکثر موارد رو به کاهش می‌باشد(7 و 20).

از جمله سیاست‌های قابل اجرا در بخش کشاورزی جهت پایداری منابع آب زیرزمینی، سیاست قیمت گذاری منابع آب می‌باشد. با افزایش قیمت هر واحد آب، هزینه نهایی استفاده ازآب افزایش یافته و در نتیجه بهره برداری از منابع آب کاهش می‌یابد. این موضوع افزایش میزان ذخیره آب زیرزمینی و در نتیجه افزایش عمر اقتصادی آبخوان را به همراه خواهد داشت(1و 2). در چارچوب این راهبرد، چالش اساسی در بخش کشاورزی آن است که کاهش تقاضای آب

1- دانشجوی دکتری اقتصاد، دانشگاه پیام نور، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Mmohsen55@yahoo.com)
2- عضو هیات علمی بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
3- استاد گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور، ایران
4- دانشیار گروه اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران
DOI: 10.22067/jead2.v31i2.58090
5- Positive Mathematical Programing

نباید به گونه ای باشد که بر تولیدات بخش کشاورزی و امنیت غذایی آنها و همچنین درآمد بهره برداران اثر منفی گذارد. لذا لازم است با افزایش بهره وری آب تولیدات بخش کشاورزی در جهت امنیت غذایی حفظ گردد(16 و 17).

دشت مهیار شمالی، یکی از واحدهای هیدرولوژیکی واقع در حوضه آبریز رودخانه زاینده رود اصفهان در شمال شهرضا و جنوب اصفهان با متوسط بارندگی سالانه 152 میلیمتر می‌باشد. اهمیت توجه به وضعیت آبخوان دشت مهیار شمالی، از نظر بیلان‌های منفی و آثار مخرب آن به ویژه بر نزول سطح ایستابی و بروز پدیده مخرب فرو نشت زمین در برخی از مناطق این دشت، مسأله ای اجتناب ناپذیر می‌باشد. روشن است ادامه روند برداشت‌های بی رویه از منابع آب زیرزمینی در این آبخوان به ویژه در بخش کشاورزی وضعیت بسیار نگران کننده ای را برای این منابع که علاوه بر بخش کشاورزی، تأمین کننده آب بخش صنعتی و تا حدودی شرب منطقه می‌باشد، بوجود می‌آورد. عمده محصولات زراعی این منطقه عبارت از غلات، یونجه، آفتابگردان، ارزن و ذرت علوفه‌ای بوده و احداث باغات انار نیز در آن رو به گسترش است. بنابراین محدودیت‌های ایجاد شده در مواقع بحران آب، خسارت شدیدی بر تولیدات کشاورزی و امنیت اقتصادی منطقه وارد می‌نماید. لذا آزمون سیاست حفظ منابع آب از جمله قیمت گذاری منابع آب در این منطقه از اهمیت ویژه ای برخوردار می‌گردد(3).

در خصوص مدیریت بهره برداری از منابع آبهای زیرزمینی و اعمال سیاست‌های قیمت گذاری با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی پویا مطالعات زیادی در داخل و خارج کشور صورت گرفته است. بلالی و همکاران (1) در مطالعه خود به بررسی آثار مختلف سیاست قیمت گذاری آب بر روی برداشت بهینه آب در دشت بهار همدان پرداختند. ایشان از مدل برنامه‌ریزی پویای قطعی برای مدلسازی اقتصادی- هیدورلوژیکی استفاده نمودند و اثر تغییر در قیمت آب را بر روی بیلان آب زیرزمینی، ارتفاع آب و الگوی کشت مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد، افزایش در قیمت آب میتواند منجر به بهبود کارایی آب آبیاری و افزایش عمر آبخوان گردد. شهرکی و همکاران(18)، اثرات هدفمندسازی یارانه آب کشاورزی بر بخش کشاورزی ایران را بررسی نمودند. نتایج آنها از این بررسی نشان داد کاهش یارانه آب کشاورزی از طرفی باعث کاهش معنی دار مصرف خانوارهای روستایی و از طرف دیگر باعث افزایش شاخص قیمت و هزینه‌های تولید در بخش کشاورزی و در نتیجه کاهش تولید این بخش می‌گردد. شیرزادی و صبوحی(19) در مطالعه خود، به بررسی وضعیت پایداری و تعادل سفره آب زیرزمینی در جهت دستیابی به مدیریت پایدار حوضه آبریز نیشابور پرداختند. نتایج نشان داد بر اساس مقادیر آب تجدید پذیر، حدود 4300 هکتار از اراضی منطقه تحت آبیاری غیر مجاز می‌باشد. نتایج تخمین تابع تقاضا نشان داد که با تغییر قیمت آب، انگیزه تغییر الگوی کشت، تخصیص مجدد و مصرف بهینه آب با کشت محصولات کم آب تر و صرفه جویی در مصرف آب در کشاورزان بوجود می‌آید. نیکویی(15) در مطالعه خود، استفاده از یک الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اقتصادی- هیدرولوژیکی یکپارچه در مقیاس حوضه آبریز رودخانه را به منظور استفاده پایدار از منابع آب و پاسخگویی به اهداف امنیت غذایی، ارائه کردند. در این الگو با هدف حداکثر کردن ارزش حال خالص منافع اقتصادی و زیست محیطی برای یک دوره 10 ساله مشروط به ساختارهای هیدرولوژیکی، اگرونومیکی، نهادی و اقتصادی، سیاست تخصیص و استفاده بهینه از آب در مقابل سیاست پایه برای دو سناریو عرضه آب نرمال و خشکسالی در حوضه زاینده رود ارزیابی شده است. نتایج حاکی ازبهبود راندمان مصرف آب و امنیت غذایی بوده است. نجفی و همکاران (14) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی پویای قطعی به ارزیابی سیاست قیمت گذاری آب بر بهبود بیلان آب در آبخوان دشت ورامین و الگوی بهینه کشت در دو حالت مدرن و سنتی پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد افزایش قیمت آب می‌تواند منجر به کاهش استخراج از آب زیرزمینی و در نتیجه بهبود بیلان آب گردد. ویلر(22) سیاست‌های حفظ منابع آبی در 9 بخش آبخوان اوگالالای جنوبی را با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی پویا با در نظر گرفتن بهبود تکنولوژی در طول زمان مورد بررسی قرار داده است. سیاست‌های مذکور به شکل تغییر شیوه کشت آبی محصولات به دیم برای هر بخش به میزان 25 درصد کل سطح کشت برای دو دوره 10 سال و 20 سال به منظور حفظ و نگهداری منابع آب بوده است. نتایج کلی این بررسی نشان داد هیچ کدام از سیاست‌های در نظر گرفته شده نتوانسته محدودیت کافی برای رسیدن به حفاظت منابع آب به شکل معنی دار را برقرار نماید. منتا و همکاران (12) با تلفیق دو مدل هیدرولوژیکی و اقتصادی به ارزیابی اثرات اقتصادی خشکسالی در سطح مزرعه در حوضه رودخانه برزیل پرداختند. مدل اقتصادی بکار برده شده در این تحقیق، مدل PMP با استفاده از تابع تولید CES[1] برای محصولات آبی و دیم بود. ایشان به منظور شبیه سازی زمانی و مکانی اثرات تخصیص آب در بخش کشاورزی از مدل هیدرولوژیکی که تغییرات سیستم هیدرولوژیکی حوضه را بر مبنای فعالیت‌های کشاورزی می‌سنجد، استفاده نمودند. نتایج نشان داد کشاورزان در مقابل کاهش در بارندگی به صورت حداقل کردن اثرات آن بر سود پاسخ می‌دهند. همچنین اثرات خشکسالی بر کشاورزان متفاوت بوده است و به عواملی از قبیل دسترسی به آبهای زیرزمینی و موقعیت قرار گرفتن مزرعه نسبت به حوضه بستگی داشته است. کورتیگنانی و سورینی (6) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی با در نظر گرفتن تکنولوژی کم آبیاری به بررسی تأثیر افزایش هزینه تأمین آب، کاهش آب قابل دسترس و تغییر در قیمت محصولات کشاورزی بر

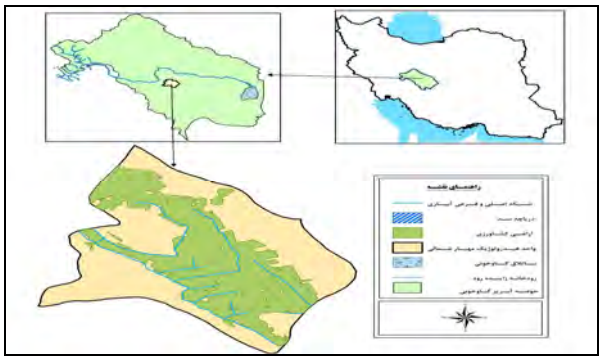
1- Constant Elasticity Substitution

الگوی کشت در کشور ایتالیا پرداخته اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که افزایش هزینه‌های آب باعث ایجاد انگیزه در استفاده از تکنولوژی کم آبیاری نمی شود ولی کشاورزان در زمانی که آب قابل دسترس کاهش می‌یابد و یا اینکه هزینه تأمین آب افزایش می‌یابد، در راستای صرفه جویی و ذخیره آب تمایل به استفاده از تکنیک کم آبیاری داشته اند. کلارک(5) در بررسی خود به اثرات افزایش قیمت محصولات کشاورزی بر الگوی کشت و مصرف آبهای زیرزمینی در کانزاس واقع در حوضه اوگالالا پرداخته است. وی در مطالعه خود از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت برای کالیبره کردن نهاده‌های زمین و آب مورد استفاده در بخش‌های مورد مطالعه با استفاده از داده‌های مربوط به دوره پایه یعنی سال‌های 1999 تا 2003 استفاده نمود. این مدل در طول زمان و برای 60 دوره زمانی شبیه سازی شد. نتایج این بررسی، نشان داد که تحت سناریو قیمت بالاتر محصولات، هم تولید محصولات آبی و هم مصرف آب در هر هکتار در طول سال‌های شبیه سازی به شکل معنی داری افزایش می‌یابد که خود منجر به کاهش حجم آب و ضخامت لایه اشباع در طول سالهای شبیه سازی شده است. نیکویی و همکاران (16) در مطالعه دیگر، با عنایت به موضوع خشکسالی، تغییرات آب و هوایی و تقاضای رو به رشد آب، یک مکانیزم نهادی برای کاهش تقاضای میزان آب مورد استفاده در کشاورزی فاریاب و تخصیص آن برای حفاظت زیست محیطی را با استفاده از مدلهای برنامه‌ریزی ریاضی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، سوبسید حفاظت از آب می‌تواند مشوق‌های لازم برای کشاورزان جهت انتقال از کشاورزی غرقابی به سمت پذیرش برای استفاده از تکنولوژی‌های مدرن آبیاری که با صرفه جویی در آب همراه می‌باشند، را فراهم نماید. علاوه بر این، اتخاذ این سیاست، می‌تواند منجر به افزایش عملکرد محصول، افزایش سودآوری و افزایش قیمت سایه ای آب گردد. کرباسی و آریابد (11) با استفاده از روش برنامه‌ریزی مثبت اثر تغییر در قیمت و مقدار آب آبیاری روی الگوی کشت کشاورزان شهرهای مشهد، تربت حیدریه و نیشابور واقع در استان خراسان رضوی را تحلیل نمودند. این بررسی در شش سناریو انجام شد و نتایج نشان داد میزان استفاده از آب برای آبیاری محصولات گندم، جو و گوجه فرنگی در مشهد و گندم، جو و چغندر قند در تربت حیدریه در شرایط افزایش قیمت آب تغییر زیادی نکرده است. هویت و همکاران (9) در تحقیقی به کالیبره نمودن سیستمی مدل‌های اقتصادی تولید کشاورزی و مدیریت منابع آب و بررسی اثرات آن در بازار آب بخش کشاورزی آبی کالیفرنیا پرداختند. ایشان از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت استفاده نمودند و تحلیل سیاستی را از طریق ارزیابی پتانسیل انتقال آب تحت شرایط خشکسالی انجام دادند. نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن انعطاف زیاد در انتقال آب، عملکرد و تخصیص بازار می‌تواند زیان‌های درآمدی در شرایط خشکسالی را تا 30 درصد کاهش دهد.

با عنایت به مطالعات فوق و لزوم توجه به مدیریت منابع آب، در این تحقیق سعی شده است آثار مختلف سیاست قیمت گذاری منابع آب زیرزمینی بر الگوی کشت و شرایط اقتصادی منطقه و همچنین بر متغیرهای هیدرولوژیکی آبخوان دشت مهیار شمالی در طول یک دوره زمانی شبیه سازی گردد و پایداری این منابع در شرایط اجرای این سیاست قیمتی بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

در مطالعه جاری واحد هیدرولوژیکی مهیار شمالی واقع در حوضه آبخیز زاینده رود اصفهان به عنوان منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. مساحت این حوضه بالغ بر 42000 کیلومتر مربع می‌باشد. بخش عمده ای از مجموع اراضی کشاورزی استان اصفهان از طریق 9 شبکه آبیاری منشعب از رودخانه زاینده رود واقع در این حوضه آبیاری می‌گردند. این رودخانه با طولی معادل 400 کیلومتر از کوه‌های زاگرس سرچشمه گرفته و به باتلاق گاوخونی ختم می‌شود(16 و 17). شکل 1، نمایی از منطقه مورد مطالعه و موقعیت آن در حوضه آبریز زاینده رود را نشان می‌دهد.



شکل 1- موقعیت دشت مهیار شمالی در حوضه زاینده رود

Figure 1- The Location of northern Mahyar plain in Zayandeh-Rud basin

مأخذ: منبع (3)

Source: Source (3)

تحقق هدف اصلی این تحقیق که ارزیابی واکنش بهره برداران واحد هیدرولوژیکی دشت مهیار شمالی تحت شرایط سناریوهای مختلف سیاست قیمت گذاری منابع آب زیرزمینی در یک دوره زمانی20 ساله می‌باشد، در چارچوب یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی اقتصادی-هیدرولوژیکی به شکل پویای تصادفی شبیه سازی شده که ارتباط بین اجزای اقتصادی، کشاورزی و هیدرولوژیکی منابع آب دشت آبخوان به هم پیوند می‌زند، صورت پذیرفت (شکل2). ساختار این الگو، بر اساس مطالعات صورت گرفته در این خصوص می‌باشد (5، 10، 13، 15، 21، 22).

تابع هدف مدل بهینه یابی این تحقیق، حداکثر سازی ارزش حال خالص تنزیل شده منافع در طول زمان مشروط به محدودیت‌های اقتصادی و هیدرولوژیکی از جمله مقادیر اولیه برای ذخایر منابع آبهای زیرزمینی است. حل بهینه تابع هدف منجر به مشخص شدن مقادیر بهینه سطح زمین (هکتار) و حجم آب (متر مکعب) می‌شود. سناریوهای قیمت گذاری منابع آب زیرزمینی شامل 8 سناریو می‌باشد. به طوری که S_W1 قیمت آب تحت شرایط سناریو پایه یعنی معادل صفر را بیان می‌کند. سایر سناریو ها شامل S_W2، S_W3، S_W4، S_W5، S_W6، S_W7، S_W8 قیمت گذاری آب را به ترتیب معادل 250 ، 500 ، 750، 1000، 1250، 1500 و 1800 ریال برای هر متر مکعب آب مشخص می‌نماید.چنانچه تخصیص منابع آب زیرزمینی در افق زمانی T سال مد نظر باشد و نرخ تنزیل[1] یا بهره موجود در جامعه r باشد، مدل رفتار بخش کشاورزی در چارچوب مدل برنامه‌ریزی ریاضی پویای مثبت با هدف حداکثر سازی ارزش کنونی خالص منافع تنزیل شده سالانه (NPV)[2] حاصل از فعالیتهای کشاورزی در طول افق زمان برنامه‌ریزی[3] به صورت زیر می‌باشد:

$$MAX: \quad NPV = \sum_{t=1}^{T} NR_t (1+r)^{-t} \qquad (1)$$

در رابطه فوق، NR_t منافع خالص حاصل از تحویل آب به مصارف کشاورزی در زمان t می‌باشد و به واسطه مساعدتی که آب روی درآمد خالص مزارع دارد، به شکل رابطه (2) در الگو وارد می‌شود. با عنایت به لزوم شبیه سازی رفتار بهره برداران و نتایج آن بر متغیرهای اقتصادی و هیدرولوژیکی آبخوان در طول افق زمانی، این مهم از طریق کاربرد مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت در مدل بهینه سازی زمانی صورت پذیرفته است.

در این رهیافت، معادلات هیدرولوژیکی شرایط پویایی مدل را فراهم ساخته و متغیرهای مربوط به آبخوان و تغییرات آن را از سالی به سال دیگر شبیه سازی می‌نماید و به دنبال آن شبیه سازی تخصیص آب و زمین در طول زمان فراهم می‌گردد. تخصیص‌های آینده نیز به ظرفیت قابل دسترس آب آبخوان در طول زمان بستگی خواهد داشت. در طول سالهای شبیه سازی، متغیرهای تصمیم با حل مسأله زیر پیش بینی می‌شود:

$$NR_t = \sum_i \sum_k AREA_{ikt} \left[P_i YIELD_{ik}(\hat{\beta}_{ik}, \hat{\lambda}_{ikj}) - (C_{ikt}(WP_{ikt}, H_t, S_t, \hat{\alpha}_{ikj}, \hat{\gamma}_{ikj})) \right] \qquad (2)$$

در این رابطه، محصولات با اندیس i، عوامل تولید با اندیس j ، تکنولوژی آبیاری مورد استفاده برای هر محصول با اندیس k و زمان با اندیس t مشخص شده اند. $AREA$ سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی در منطقه مورد بررسی (هکتار)، P قیمت واحد هر محصول (ریال برای هر کیلوگرم)، $YIELD$ تابع عملکرد محصولات مختلف (کیلوگرم در هکتار)، C_{ikt} تابع هزینه شامل هزینه‌های محاسباتی تولید و هزینه‌های ناشی از استخراج و تحویل آب، WP میزان پمپاژ آب زیرزمینی در هر هکتار بر حسب متر مکعب، H ارتفاع سطح ایستایی آب آبخوان (متر)، S_t ضخامت لایه اشباع آبخوان (متر) می‌باشد. $\hat{\alpha}$ و $\hat{\gamma}$ مقدار کالیبره شده پارامترهای تابع هزینه درجه دوم شامل پارامترهای عرض از مبدأ و شیب تابع هزینه و $\hat{\beta}$ و $\hat{\lambda}$ مقدار کالیبره شده پارامترهای تابع تولید با کشش جانشینی ثابت[4] (CES) شامل پارامترهای سهم و مقیاس می‌باشند که بر اساس مطالعات (5 ، 9و 12) برازش گردیدند.

تابع تولید با کشش جانشینی ثابت با i محصول و j نهاده و بازده نسبت به مقیاس ثابت بصورت زیر تعریف می شود:

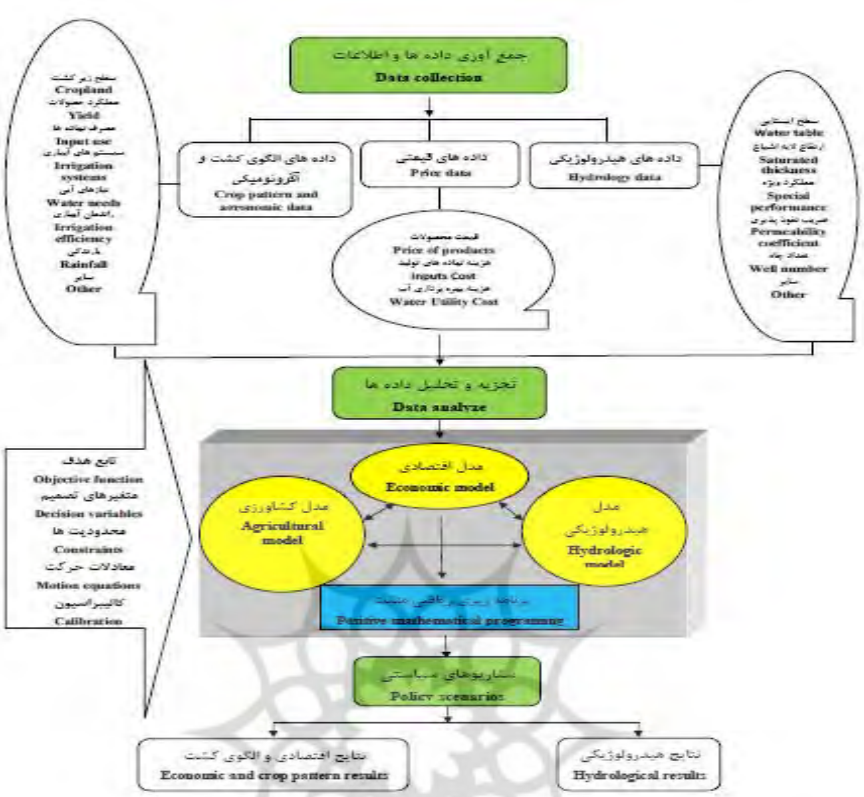
$$YIELD_{ik} = \beta_{ik} \left[\lambda_{ikj} x_{ikj}^{\eta} \right]^{\frac{1}{\eta}} \qquad (3)$$

که در آن $\eta = (\sigma - 1)/\sigma$ و $\sum \lambda_{ikj} = 1$ است. σ نیز مقدار کشش جانشینی عوامل تولید می باشد.

تابع هزینه بکار رفته در تابع هدف شامل هزینه نهاده های تولید و هزینه استفاده از آب زیرزمینی می‌باشد که در رابطه زیر بیان شده است:

$$C_{ikt} = \sum_i \sum_k (COST_t + GWCOST_t) \qquad (4)$$

1- Discount rate
2- Net Present Value
3- Planning Horizon
4- Constant Elasticity of Substitution



شکل 2- چارچوب مدل اقتصادی - هیدرولوژیکی در آبخوان دشت مهیار شمالی

Figure 2- Hydro-economic model framework in northern Mahyar plain aquifer

در این رابطه $COST$ بیانگر هزینه‌های تولید نظیر نیروی کار (LC)، کود شیمیایی (FC)، ماشین آلات (MachC)، استهلاک سرمایه (DC)، تعمیرات و نگهداری (MC) و سایر هزینه‌ها (OC) در تولید محصولات با سیستم‌های مختلف آبیاری می باشد که در قالب تابع عمومی به صورت رابطه (5) بیان می‌گردد.

$$COST_{ikt} = C\,(LC_{ikt}, FC_{ikt}, MachC_{ikt}, DC_{ikt}, MC_{ikt}, OC_{ikt}) \quad (5)$$

$GWCOST_{ikt}$ هزینه استفاده و بهره برداری ازمنابع آب زیرزمینی در یک هکتار زمین زراعی برای محصولات مختلف می‌باشد و شامل هزینه‌های استحصال (IWEC) هر متر مکعب آب در سال پایه، هزینه پمپاژ (PC) هر متر مکعب آب و قیمت پرداختی برای هر متر مکعب آب استخراج شده یا تعرفه هر واحد آب (GWP) می‌باشد که بر اساس رابطه (6) بیان گردیده است.

$$GWCOST_{ikt} = [PC_{ikt} + IWEC + GWP]WP_{ikt} \quad (6)$$

در رابطه فوق، IEWC هزینه استخراج یک متر مکعب آب از منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه بوده و شامل کلیه هزینه های استخراج و بهره برداری آب زیرزمینی به استثنای هزینه انرژی است. این بخش از هزینه آب در واقع شامل هزینه احداث چاه، هزینه تجهیزات چاه، تعمیر و نگهداری آن و غیره می باشد که با استفاده از مفهوم ارزش زمانی پول و با در نظر گرفتن عمر مفید چاهها، میزان کارکرد سالانه و میزان پمپاژ و استخراج آب برای هر سال از دوره برنامه ریزی محاسبه می گردد.

متغیر PC هزینه انرژی مورد نیاز برای پمپاژ یک متر مکعب آب زیرزمینی است که بر اساس مطالعات (20 و 22) به صورت تابعی از ارتفاع پمپاژ آب تا سطح زمین در زمان t (H_t)، قیمت هر کیلووات ساعت مصرف انرژی (EP)، فاکتور متوسط انرژی لازم برای پمپاژ یک متر مکعب آب به ارتفاع یک متر (EF)، فشار عملیاتی سیستم پمپاژ (PSI) و متوسط کارایی موتور پمپ ها در منطقه مورد بررسی (EFF) در نظر گرفته شده است و مقدار آن از رابطه 7 محاسبه می‌گردد:

$$PC_{ikt} = [EF.(H_t + 2.31 * PSI).EP] / EFF \quad (7)$$

در رابطه فوق، مقدار 2/31 ارتفاع ستون آب می‌باشد که برخوردار از فشار یک اتمسفر است. روابط 8 تا 19 محدودیت‌های مدل را در خصوص معادلات حرکت، محدودیت‌های مربوط آب، زمین و سایر

نهاده‌های کشاورزی نشان می‌دهد.

$$S_t = S_{t-1} - GWCHANGE_t \quad (8)$$

$$H_t = H_{t-1} + GWCHANGE_t \quad (9)$$

$$GWCHANGE = (TWPUMP_t - RECHRGE_t)/GW_AREA * GW_YIELD \quad (10)$$

$$TWPUMP_t = \sum_i \sum_k WP_{ikt}.AREA_{ikt} + INDWUSE_t + POTWUSE_t \quad (11)$$

$$RECHARGE_t = R_WATER_t + WPR_t + ISFHR_t + IBFHR_t + R_INDWUSE_t + R_POTWUSE_t \quad (12)$$

$$TPC_t = f\left[(S_t / IS)^2, (\frac{IWY}{IAPW})\right] \quad (13)$$

$$TAQW_t = IWFSV + (RECHARGE_t - TWPUMP_t) \quad (14)$$

$$TWPUMP_t \le TPC_t \quad (15)$$

$$TPC_t \le TAQW \quad (16)$$

$$\sum_i \sum_k AREA_{ikt} \le LAND_t \quad (17)$$

$$\sum_i \sum_k a_{jikt}.AREA_{ikt} \le B_{jt} \quad (18)$$

$$\sum_k AREA_{ikt} \le M_{it} \quad (19)$$

$$Rain_t = \text{Gamma}(x; \alpha, \beta) \quad (20)$$

چندین معادله حرکت در این مدل، شرایط پویا را در مسائل هیدرولوژیکی ایجاد می‌کنند که بر اساس تغییرات زمانی آنها، سایر متغیرهای زمانی در طول دوره مورد بررسی تعیین می‌شوند. اولین معادله مربوط به محاسبه ارتفاع یا ضخامت لایه اشباع آبخوان بر حسب متر در سالهای مختلف است. معادله دوم مربوط به سطح ایستایی آب است که ارتفاع سطح آب زیرزمینی آبخوان تا سطح زمین بر حسب متر در ابتدای سال t را نشان می‌دهد. در این معادلات، $GWCHANGE_t$ به تغییرات مربوط به سطح ایستایی آب زیرزمینی در هر سال اشاره دارد که نحوه محاسبه آن در رابطه 10 ملاحظه می‌شود. در این رابطه، $TWPUMP$ کل میزان آب برداشتی آبخوان بر حسب متر مکعب، $RECHRGE$ کل میزان تغذیه آبخوان بر حسب متر مکعب، GW_AREA سطح سفره آب زیرزمینی بر حسب متر مربع و GW_YIELD ضریب عملکرد ویژه آب زیرزمینی است. رابطه11، کل میزان آب برداشتی را مشخص می‌نماید که بر اساس آن، این میزان برابر مجموع آب استحصالی برای مصارف کشاورزی ($\sum_i \sum_k WP_{ikt}.AREA_{ikt}$)، صنعت ($INDWUSE_t$) و شرب ($POTWUSE_t$) می‌باشد. علاوه بر این، بر اساس رابطه (12)، میزان کل تغذیه سالانه آبخوان که شامل آب برگشتی از مصارف کشاورزی (R_WATER_t)، نفوذ مستقیم به آبخوان از بارندگی (WPR_t)، نفوذ از آبهای سطحی ($ISFHR_t$)، نفوذ از جریان‌های زیرزمینی ($IBFHR_t$)، آب برگشتی از مصارف صنعتی ($R_INDWUSE_t$) و شرب ($R_POTWUSE_t$) می‌باشد.

در رابطه 13، TPC_t کل ظرفیت قابل پمپاژ از آبخوان در زمان t می باشد. مقدار این متغیر تابعی از ارتفاع لایه اشباع در هر زمان است (9، 17و 19). در رابطه اخیر، IS ضخامت اولیه لایه اشباع، IWY متوسط عملکرد (بازده) چاه در سال پایه و $IAPW$ متوسط سطح کشت آبیاری شده توسط هر چاه در منطقه و در سال پایه می‌باشد. کل آب موجود در آبخوان ($TAQW$) می‌باشد که مقدار آن بر اساس رابطه14 بدست می‌آید. در این رابطه، $IWFSV$ ظرفیت اولیه آبخوان می‌باشد که حاصل جمع آن با خالص جریان ورودی آب به آبخوان، کل آب موجود آبخوان را بدست می‌دهد.

منابع آب زیرزمینی بدلیل تأمین درصد عمده آب مورد نیاز بخش کشاورزی در منطقه مورد مطالعه به عنوان مهمترین محدودیت در مدل برنامه ریزی وارد می گردد. بر این اساس رابطه 15 محدودیت مرتبط با حداکثر ظرفیت قابل برداشت از سفره آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. این محدودیت بیان می کند که کل آب پمپاژ شده در هر زمان ($TWPUMP$) نبایستی از حداکثر ظرفیت قابل استخراج آبخوان در هر زمان (TPC_t) تجاوز کند. دیگر محدودیت مرتبط با منابع آبهای زیرزمینی مورد اشاره در رابطه 16، بیانگر این موضوع است که کل ظرفیت آب قابل برداشت یا قابل استخراج در هر زمان (TPCt) باید از ظرفیت آب موجود در آبخوان آب زیر زمینی کمتر باشد. رابطه 17 محدودیت مربوط به زمین است که در آن $LAND$ مقدار زمین در دسترس بر حسب هکتار است که نشان می‌دهد مقدار سطح زیر کشت محصولات مختلف در هر زمان نباید از میزان قابل دسترس زمین بیشتر باشد. محدودیت سایر نهاده ها به طور عمومی در رابطه 18 نشان داده شده است. در این رابطه، B مقدار موجود سایر نهاده‌های تولید اعم از نیروی کار، ماشین آلات، کودهای شیمیایی و a ضرایب فنی مربوط به هر یک از نهاده‌های مذکور در تولید محصولات مختلف زراعی و باغی می‌باشد. رابطه 19 نیز محدودیت بازاری برای برخی محصولات را نشان می‌دهد که در آن M حداکثر ظرفیت بازار برای محصولات است. در نهایت رابطه 20 توزیع آماری بارش به عنوان یک متغیر تصادفی را در دشت مهیار نشان میدهد. بارندگی به عنوان مهمترین عامل تغذیه آبخوان که بدون شک بر بیلان آبخوان بسیار اثرگذار می‌باشد، یکی از منابع نااطمینانی در تولید محصولات کشاورزی است. در تحقیق حاضر، برای شبیه سازی حجم آب آبخوان دشت مهیار و بررسی سناریوهای مختلف سیاستی، میزان بارندگی به عنوان یک متغیر تصادفی در نظر گرفته شده است که مقدار آن در دوره مورد بررسی می‌بایست پیش بینی شود. برای این

منظور در این تحقیق، از توزیع آماری گاما که توزیع مناسبی جهت پردازش داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه به شمار می‌رود، استفاده شده است (8).

روش در نظر گرفته شده برای جمع آوری داده‌های این مطالعه مبتنی بر مطالعات پیمایشی، اسنادی و استفاده از نظرات و تجربیات کارشناسی می‌باشد. اطلاعات و داده‌های مورد نیاز شامل داده‌های کشاورزی نظیر عملکرد محصولات، ضرایب فنی تولید محصولات کشاورزی، قیمت محصولات و نهاده، کارایی مصرف آب با در نظر گرفتن تکنولوژی آبیاری و سایر اطلاعات زراعی می‌باشد که به واسطه سازمان‌های ذیربط به ویژه سازمان جهاد کشاورزی و همچنین بررسی میدانی و تکمیل 250 پرسشنامه از طریق نمونه گیری خوشه ای سیستماتیک تصادفی بدست آمده است. اطلاعات هیدرولوژیکی سفره آب زیرزمینی و سایر اطلاعات شامل بارندگی از سازمان‌های مربوطه از جمله سازمان آب منطقه ای و هواشناسی اصفهان اخذ شده است. بر مبنای اطلاعات جمع آوری شده، الگوریتم‌های لازم برای بسط یک الگوی اقتصادی- هیدرولوژیکی در چارچوب برنامه‌ریزی پویای تصادفی غیر خطی مثبت جهت بررسی اقتصاد کشاورزی و رفتار هیدرولوژیکی آبخوان دشت مهیار شمالی، در بسته نرم افزاری GAMS نوشته شد(4). سپس، شرایط متغیرهای تصمیم در سناریو پایه مبنی بر سیاست فعلی استفاده از منابع آب زیرزمینی و سایر سناریوهای قیمت گذاری آب و تأثیر آن بر متغیرهای اقتصادی و هیدرولوژیکی شامل ظرفیت آبخوان، بیلان آب آبخوان، ارتفاع لایه اشباع و سطح ایستایی آب آبخوان مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

از آنجا که تحلیل نتایج الگوی این مطالعه بایستی در طول یک دوره زمانی شبیه سازی گردد، مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به شکل پویا در این تحقیق گسترش یافت و نسبت به داده‌های مربوط به سطح کشت محصولات در سال نرمال 84-1383 به عنوان آخرین سال نرمال آبی در دوره بررسی 30 ساله منتهی به سال 88-1387 کالیبره گردید. این سال به عنوان سال پایه انتخاب و اطلاعات لازم (به جز اطلاعات هزینه ای و درآمدی) بر مبنای آن جمع آوری گردید.

جدول 1، توانمندی مدل در بازتولید سطح فعالیت‌های کشاورزی در سال پایه در طول 8 سال اول دوره شبیه سازی مورد بررسی با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی مثبت را نشان می‌دهد. در این جدول خطای پیش بینی مدل برای هر محصول به شکل درصدی از اختلاف سطح کشت مشاهده شده با سطح کشت برنامه‌ریزی شده توسط مدل نشان داده شده است. میزان متوسط خطای مدل در بازتولید سطح کشت محصول جو با آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب 0/66- درصد و 0/81- درصد می‌باشد. این میزان از خطا برای محصول گندم با آبیاری بارانی 2/88- درصد بوده است. برای سایر محصولات مورد کشت منطقه، میزان خطای پیش بینی مدل معادل صفر بدست آمده است. بر این مبنی مدل قادر است تغییرات متغیرهای تصمیم مدل را در سالهای آینده تحت شرایط پایه و همچنین در چارچوب سناریوهای مختلف قیمت گذاری آب به خوبی شبیه سازی نماید. این خطای ناچیز برآمده از این واقعیت می‌باشد که متوسط سطح زیر کشت محصولات در مدل کالیبره و ثابت شده است.

جدول1- خطای پیش بینی تحت سناریو پایه طی سالهای 1384 تا 1392 (درصد)

Table 1- Base scenario prediction errors, 2005-2013, (percent)

محصول Crop	روش آبیاری Irrigation	84-85 2005-6	85-86 2006-7	86-87 2007-8	87-88 2008-9	88-89 2009-10	89-90 2010-11	90-91 2011-12	91-92 2012-13	میانگین Mean
جو Barley	غرقابی Flood.	۰	-0.62	-0.64	-0.69	-0.77	-0.81	-0.87	-0.91	-0.66
جو Barley	بارانی Sprinkler	-0.43	-0.81	0.82	-0.84	-0.88	-0.89	-0.92	-0.93	-0.81
گندم wheat	بارانی Sprinkler	-2.55	-2.88	-2.89	-2.91	-2.94	-2.95	-2.97	-2.99	-2.88
سایر Other	-	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

در جدول2، متوسط تغییرات الگوی کشت منطقه مورد مطالعه در قیمت گذاری مختلف آب در طول دوره شبیه سازی ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول، تحت شرایط سناریو پایه، الگوی کشت شامل محصولات زراعی گندم، جو، آفتابگردان، یونجه، ذرت علوفه ای، کلزا، ارزن و خربزه و محصولات باغی انار، پسته، انگور و زیتون می‌باشد. با عنایت به چند ساله بودن محصولات باغی، هزینه‌های تولید این محصولات به خصوص در بحث احداث و بهره برداری از آنها به شکل ارزش کنونی یکنواخت سالانه آنها محاسبه و در مدل همراه با سایر محصولات زراعی منظور گردید. همانطور که ملاحظه می‌گردد، بیشترین درصد کشت محصولات منطقه تحت سناریو پایه مربوط به

گندم با 54/88 درصد، جو با 22/05 درصد، آفتابگردان 14/11 درصد، ذرت علوفه ای با 3/14 درصد و یونجه با 2/82 درصد بوده است.

جدول2- متوسط درصد کشت محصولات تحت سناریوهای قیمت گذاری آب در طول دوره شبیه سازی

Table2- The percent mean of cropland over the simulated time under water pricing scenarios

نام محصول Crop	روش آبیاری Irrigation	S_W1	S_W2	S_W3	S_W4	S_W5	S_W6	S_W7	S_W8
گندم Wheat	بارانی Sprinkler	0.78	0.79	0.85	0.92	1.02	1.15	1.33	1.61
	غرقابی Flood	54.10	53.82	53.50	53.14	52.67	52.02	51.08	46.43
جو Barley	بارانی Sprinkler	0.88	0.90	0.97	1.06	1.17	1.33	1.56	1.90
	غرقابی Flood	21.17	20.36	20.59	20.91	21.33	21.89	22.69	22.92
ارزن Millet	غرقابی Flood	1.57	1.64	1.58	1.49	1.39	1.24	1.04	1.32
یونجه Alfalfa	بارانی Sprinkler	1.60	1.68	1.85	2.07	2.36	2.76	3.32	4.19
	غرقابی	1.22	1.29	1.40	1.55	1.75	2.02	2.40	2.99
ذرت علوفه ای Corn	بارانی Sprinkler	0.58	0.59	0.64	0.70	0.77	0.88	1.03	1.25
	غرقابی Flood	2.56	2.69	2.69	2.63	2.56	2.45	2.30	2.15
آفتابگردان Sunflower	غرقابی Flood	14.11	14.76	14.31	13.74	13.00	11.99	10.55	11.89
خربزه Melon	غرقابی Flood	0.16	0.16	0.18	0.19	0.21	0.24	0.28	0.34
کلزا Colza	غرقابی Flood	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09
انار Pomegranate	قطره ای Drip	0.63	0.66	0.74	0.83	0.96	1.13	1.38	1.76
انگور Grape	غرقابی Flood	0.31	0.33	0.36	0.39	0.42	0.47	0.54	0.64
پسته Pistachio	غرقابی Flood	0.20	0.21	0.23	0.25	0.28	0.32	0.38	0.48
زیتون Olive	غرقابی Flood	0.05	0.05	0.04	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
جمع بارانی Sprinkler Sum		3.84	3.95	4.30	4.75	5.33	6.11	7.24	8.95
جمع غرقابی_زراعی Flood- Rural Sum		94.97	94.80	94.34	93.76	92.99	91.94	90.43	88.14
جمع قطره ای Drip Sum		0.63	0.66	0.74	0.83	0.96	1.13	1.38	1.76
جمع غرقابی_باغی Flood- Garden Sum		0.56	0.59	0.63	0.66	0.73	0.82	0.95	1.15

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

با افزایش قیمت آب، میزان بهره برداری از منابع آب زیرزمینی در طول دوره شبیه سازی به دلیل افـزایش هزینـه‌هـای اسـتفاده از آب کاهش خواهد یافت که این مسأله تغییر ترکیب کشت و درصـد آن را به همراه خواهد داشت. نتایج کلی این بررسی حاکی از آن اسـت کـه متوسط درصد کشت محصولات زراعی با روش آبیاری بارانی به دلیـل راندمان بالای مصرف آب در روش مذکور در مجموع از 3/84 درصـد تحت سناریو پایه به 8/95 درصد تحت سناریو S_W8 افزایش خواهد یافت. این موضوع برای محصولات باغی با هـر دو روش قطـره ای و

غرقابی نیز صادق است با این تفاوت که افزایش درصد کشت محصولات با روش قطره ای بیشتر خواهد بود، به طوریکه متوسط درصد کشت قطره ای در مجموع از 0/63 درصد به 1/76 درصد افزایش خواهد یافت. محصولات باغی که به شکل غرقابی آبیاری می‌گردند، در شرایط پایه تنها 0/56 درصد کل سطح کشت را شامل می‌باشند که با افزایش قیمت آب تا سطح S_W8 به 1/15 درصد کشت افزایش خواهند یافت. در مقابل متوسط درصد کشت محصولات زراعی با روش آبیاری غرقابی در طول دوره شبیه سازی، با افزایش قیمت آب کاهش 6/83 درصدی در سطح کشت را نشان می‌دهد به گونه ای که سطح کشت آنها در مجموع از 94/97 درصد به 88/14 درصد در طول دوره برنامه‌ریزی کاهش خواهند یافت. در روشهای غرقابی به دلیل راندمان پایین مصرف آب، درصد کشت این محصولات عموماً با افزایش قیمت آب کاهش یافته است. به طوری که درصد کشت محصولات گندم ، ارزن، ذرت علوفه ای، آفتابگردان به دلیل نیاز آبی بالاتر تحت سناریوهای افزایش قیمت آب کاهش یافته اند. این میزان کاهش برای محصول گندم، از 54/10 درصد تحت سناریو پایه تا 46/43 درصد تحت سناریو S_W8 بوده است که بیشترین میزان کاهش یعنی معادل 7/67 درصد در بین محصولات کشت شده در منطقه را شامل می‌باشد.

بازده ناخالص حاصل از فعالیت‌های کشاورزی منطقه از دیگر متغیرهایی است که در نتیجه افزایش قیمت هر واحد آب زیرزمینی و در نتیجه تغییر الگوی کشت و کاهش سطح زیر کشت محصولات از روند کاهشی برخوردار می‌گردد. این کاهش در بازدهی و منافع اقتصادی فعالان بخش کشاورزی منطقه به نوعی هزینه کاهش سطح بهره برداری از منابع آب قلمداد می‌شود. بر این اساس در جدول3، متوسط تغییرات سالانه بازده ناخالص فعالیت‌های کشاورزی در طول دوره شبیه سازی تحت سناریوهای مختلف قیمت گذاری ارائه گردیده است.

جدول 3- متوسط بازده ناخالص فعالیت‌های کشاورزی تحت سناریوهای قیمت گذاری آب در طول دوره شبیه سازی (میلیون ریال)
Table3- Annual gross margin of cropland over the simulated time under water pricing scenarios(million Rials)

شرح description	S_W1	S_W2	S_W3	S_W4	S_W5	S_W6	S_W7	S_W8
بازده ناخالص سالانه Annual Gross Margin	122334.78	107813.59	94499.09	82653.09	72275.49	63364.53	55920.10	48741.57
درصد تغییر نسبت به سناریو پایه Change percentage to base senario	0	-11.87	-22.75	-32.44	-40.92	-48.20	-54.29	-60.16

مأخذ: یافته‌های تحقیق
Source: Research findings

نتایج حاکی از کاهش متوسط سالانه بازده ناخالص کشاورزی در طول دوره شبیه سازی می‌باشد به طوری که با اعمال قیمت 250 ریال برای هر مترمکعب آب استخراجی، بازده ناخالص به عنوان شاخص منافع اقتصادی بخش کشاورزی نسبت به شرایط پایه(قیمت صفر) 11/87 درصد کاهش می‌یابد. این روند کاهشی با افزایش قیمت آب ادامه می‌یابد و به 60/16 درصد تحت سناریو قیمت گذاری S_W8 خواهد رسید که این موضوع به دلیل کاهش بیشتر میزان بهره برداری از منابع آب زیرزمینی در قیمت‌های بالاتر آب می‌باشد.

نتایج کلی مربوط به میزان آب استحصالی، حاکی از کاهش این میزان تحت سناریوهای قیمت گذاری آب در مقایسه با شرایط جاری در طول دوره شبیه سازی است (جدول 4). با افزایش قیمت آب زیرزمینی از وضعیت موجود به 250 ریال برای هر متر مکعب آب، بهره برداری از منابع آب سالانه به طور متوسط در طول دوره شبیه سازی 4/18 درصد یعنی معادل 2/47 میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. این میزان کاهش با اتخاذ سیاست قیمت گذاری آب به ترتیب به میزان 500، 750، 1000، 1250، 1500 و 1800 ریال به ازای هر مترمکعب آب معادل 13/62 درصد (8/04 میلیون مترمکعب)، 23/11 درصد (13/66 میلیون مترمکعب)، 32/6 درصد (19/26 میلیون مترمکعب)، 42/08 درصد (24/87 میلیون مترمکعب)، 51/56 درصد (30/47 میلیون مترمکعب) و 60/49 درصد (35/75 میلیون مترمکعب) می‌باشد.

شکل 3، منحنی تقاضا از منابع زیرزمینی به شکل همجمعی بهره برداری آب در طول سالهای شبیه سازی در سناریوهای مختلف قیمتی آب را نشان می‌دهد.

همانطور که نمودار فوق نشان می‌دهد تابع تقاضای آب زیرزمینی دارای شیب منفی می‌باشد. به عبارت دیگر با افزایش قیمت آب میزان تقاضا و بهره برداری از این منابع کاهش خواهد یافت. افزایش قیمت آب از وضعیت موجود به قیمت 250 ریال برای هر متر مکعب آن باعث می‌شود کل بهره برداری از منابع آب زیرزمینی در طول سالهای شبیه سازی از 1182/09 میلیون متر مکعب به 1132/68 میلیون متر مکعب یعنی معادل 4/18 درصد کاهش یابد.

جدول4- پمپاژ آب زیرزمینی تحت سناریوهای قیمت گذاری آب در طول دوره شبیه سازی (میلیون متر مکعب)

Table4- Water consumption over the simulated time under water pricing scenarios(mm^3)

شرح description	S_W1	S_W2	S_W3	S_W4	S_W5	S_W6	S_W7	S_W8
مجموع دوره Total	1182.09	1132.68	1021.14	908.86	796.71	684.63	572.57	467
متوسط دوره Average	59.10	56.63	51.06	45.44	39.84	34.23	28.63	23.35
درصد تغییر نسبت به سناریو پایه Change percentage to base senario	0.0	-4.18	-13.62	-23.11	-32.60	-42.08	-51.56	-60.49

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

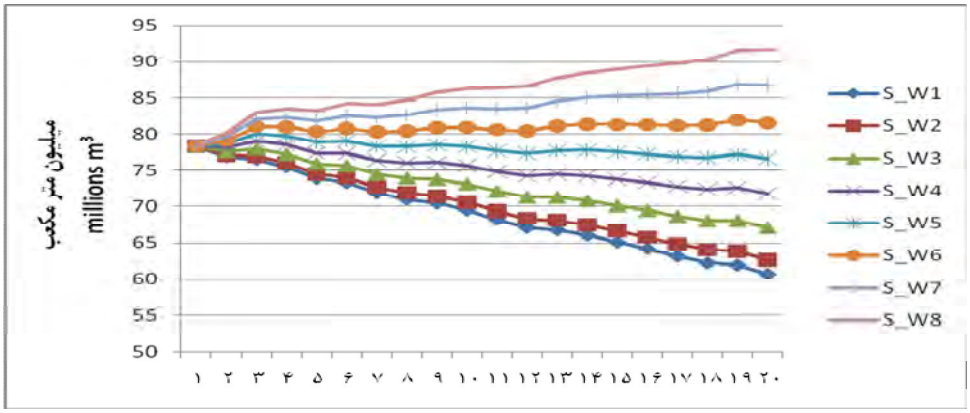
شکل 3- منحنی تقاضای آب زیرزمینی در دشت مهیار شمالی در طی سالهای شبیه سازی

Figure 3- Ground water demand curve over the simulated time in northern Mahyar aquifer plain

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

بررسی منحنی تقاضای منابع آب در دامنه قیمتی 500 ریال تا 1800 ریال برای هر واحد آب حاکی از روند کاهشی ملایم و نسبتا یکنواختی در بهره برداری منابع آب است. در شکل 4، میزان آب قابل دسترس آبخوان دشت در سناریوهای قیمت گذاری آب نشان داده شده است. بر اساس این نمودار، میزان آب قابل دسترس آبخوان تحت شرایط پایه در طول سالهای شبیه سازی با روند نزولی مواجه می‌باشد به گونه ای که از 78/3 میلیون متر مکعب در سال اول برنامه به 60/7 میلیون متر مکعب در سال پایانی کاهش خواهد یافت. به عبارت دیگر حجم آب قابل دسترس آبخوان در طول سال‌های شبیه سازی معادل 29 درصد کاهش می‌یابد. این در حالی است که با اعمال سناریو قیمت گذاری S_W2 این میزان کاهش معادل 25 درصد خواهد بود که بهبودی معادل 4 درصد را در میزان آب قابل دسترس در پایان سالهای شبیه سازی را باعث می‌گردد. با اعمال دیگر سناریوهای قیمت گذاری، وضعیت آبخوان از نظر حجم آب قابل دسترس بهتر شده به گونه ای که شیب منحنی مربوط به ظرفیت آب پمپاژی در این سناریو ها به طور مداوم کمتر می‌شود. تحت سناریو S_W6 شیب منحنی نسبتا ثابت بوده که وضعیت پایدارتری را در این سناریو نسبت به سناریوهای قبلی ارائه می‌دهد. با اعمال سناریو S_W7 و S_W 8 همانطور که ملاحظه می‌گردد، میزان آب آبخوان از یک روند افزایشی در طول سالهای شبیه سازی برخوردار می‌شوند که شرایط را برای برخورداری آبخوان منطقه از بیلان مثبت فراهم می‌نماید. سناریوهای قیمت گذاری اخیر به ترتیب منجر به افزایش حجم آب آبخوان به میزان 10/86 و 16/9 درصد در طول سالهای شبیه سازی می‌گردد. این موضوع بیانگر آن است که با اعمال سیاست قیمت گذاری آب، محدودیت ماکزیمم مصرف آب قابل دسترس به دلیل بهبود در ذخیره آب آبخوان کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، تحت شرایط سیاست قیمت گذاری آب، آب مورد استفاده برای آبیاری محصولات کشاورزی منطقه در زمان دیرتری نسبت به سناریو پایه با محدودیت حداکثر آب قابل دسترس برخورد می‌کند. نتایج این قسمت بیانگر آن است که در پایان دوره شبیه سازی بهره برداران می‌توانند آب بیشتری را برای محصولات تحت شرایط سناریو قیمت گذاری نسبت به شرایط حاکم کنونی در آبخوان دشت مهیار داشته باشند.



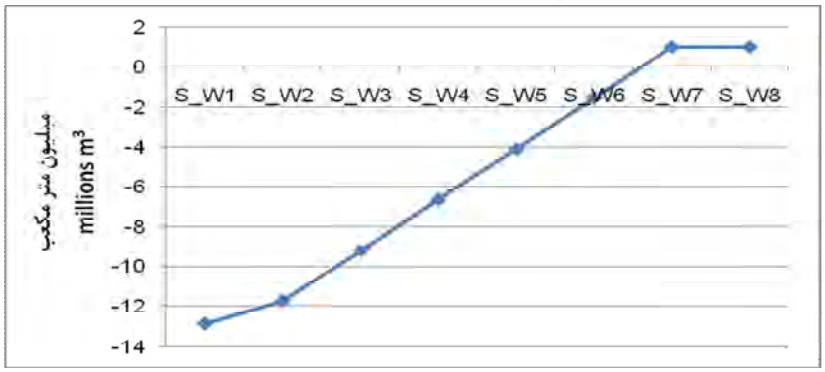
شکل 4- ظرفیت آبخوان دشت مهیار شمالی تحت شرایط سناریو پایه و سناریوهای قیمت گذاری آب در طی سالهای شبیه سازی

Figure 4- The northern Mahyar aquifer capacity over the simulated time under water pricing scenarios

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

شکل5، متوسط تغییرات بیلان آب آبخوان دشت مهیار شمالی را در طول سالهای شبیه سازی و در سناریوهای مختلف قیمت گذاری آب نشان می‌دهد. بطوری که از این نمودار نمایان است تحت شرایط پایه، بهره برداری‌های بی رویه از منابع آب زیرزمینی باعث می‌گردد بیلان آبخوان در انتهای سالهای شبیه سازی منفی باقی بماند و آبخوان با متوسط کاهش سالانه معادل 12/8 میلیون متر مکعب همراه باشد. با افزایش قیمت آب زیرزمینی تا سطح S_W6 وضعیت بیلان آبخوان بهبود یافته است ولی همچنان منفی است. با افزایش قیمت آب تا سطح 1500 ریال، بیلان آب آبخوان از وضعیت مثبت برخوردار می‌گردد که این وضعیت برای قیمت‌های بالاتر نیز معتبر است. طبیعی است قیمت‌های بالاتر آب باعث کاهش بازده ناخالص محصولات کشاورزی به ویژه محصولات با نیاز آبی بالا و راندمان آبیاری پایین تر می‌گردد که این موضوع منجر به محدود شدن سطح کشت و در نتیجه میزان بهره برداری از منابع آب زیرزمینی خواهد شد. با افزایش قیمت آب، هزینه بهره برداری از این منابع افزایش می‌یابد که با عنایت به هدف مدل برنامه‌ریزی در این مقاله که حداکثر سازی ارزش کنونی خالص منافع سالانه می‌باشد سطح زیر کشت محصولات کاهش خواهد یافت. این کاهش برای محصولات با نیاز آبی بالا مشهودتر است. کاهش سطح فعالیت این محصولات منجر به محدودتر شدن میزان بهره برداری از منابع زیرزمینی و کاهش در بازده اقتصادی آنها خواهد شد. علاوه بر نیاز آبی، راندمان آبیاری هم در تغییر الگوی کشت موثر است. راندمان پایین آب که نتیجه آن مصرف بیشتر آب است هزینه‌های بهره برداری آب را افزایش که این موضوع با عنایت به مدل برنامه‌ریزی موجب کاهش سطح کشت و در نتیجه کاهش بهره برداری از منابع آب خواهد شد.در چنین شرایطی انتظار می‌رود بیلان آب آبخوان به شکل مثبت آن بهبود یابد.



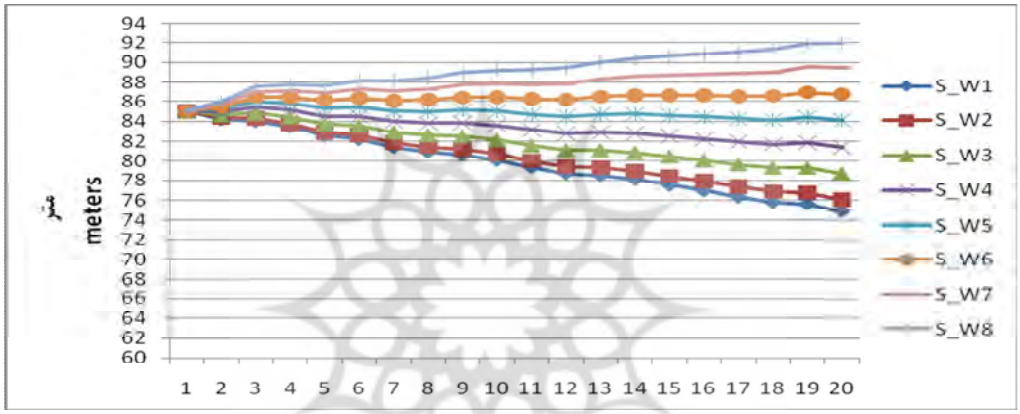
شکل5 - متوسط تغییرات بیلان آب زیرزمینی در سناریوهای مختلف قیمت گذاری آب در طول سالهای شبیه سازی

Figure 5- The change average of ground water balances over the simulated time under water pricing scenarios

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

الگوهای مصرف آب در سناریوهای مختلف قیمت گذاری آب منجر به اثرات متفاوتی بر روی ضخامت لایه اشباع در طول زمان خواهد داشت. شکل6، این تغییرات را در طول دوره شبیه سازی تحت سناریوهای مختلف قیمت گذاری نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌گردد، متوسط ضخامت لایه اشباع آبخوان در شرایط سناریو پایه 85 متر می‌باشد که این میزان در طول سالهای مورد بررسی در نتیجه بهره برداری بیشتر منابع آب زیرزمینی آبخوان به 74/87 متر کاهش یافته است که در طول دوره برنامه‌ریزی کاهشی معادل 10/13 متر(11/9 درصد) را نشان می‌دهد. کاهش ضخامت لایه اشباع تحت شرایط سیاست قیمت گذاری آب به دلیل بهره برداری کمتر از منابع آب، کاهش کمتری را نسبت به سناریو پایه نشان می‌دهد. به طوری که متوسط ضخامت لایه اشباع در سال پایانی تحت سناریو S_W2، 76/05 متر می‌باشد که نسبت سناریو پایه تنها به میزان 1/18 متر به ضخامت لایه اشباع در پایان دوره برنامه‌ریزی افزوده است. متوسط ضخامت لایه اشباع در سناریوهای قیمت گذاری S_W3، S_W4 و S_W5 به ترتیب از 85 متر در سال اول به 78/71 متر، 81/4 متر و 84/08 متر رسیده است.



شکل 6- ضخامت لایه اشباع در سناریوهای مختلف قیمت گذاری آب طی سال‌های شبیه‌سازی (متر)

Figure 6-Saturated thickness levels over the simulated time under water pricing scenarios(meters)

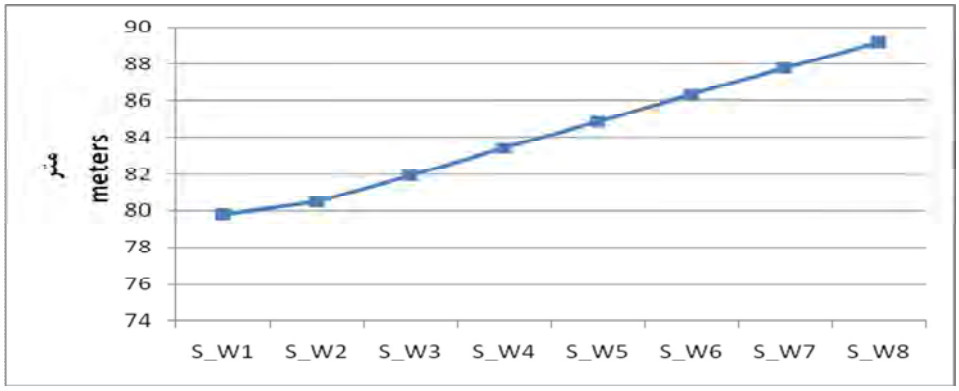
مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

به نظر می‌رسد با توجه به شرایط هیدرولوژیکی و آب و هوایی حاکم در منطقه و آبخوان، سناریو قیمت گذاری S_W5 می‌تواند شرایط نسبتا پایداری را در حفظ منابع آب ایجاد نماید. مقایسه ضخامت لایه اشباع در این سناریو و سناریو پایه بیانگر افزایشی معادل 9/21 متر در سال پایانی دوره می‌باشد. در سایر سناریوهای قیمت گذاری آب شامل S_W6، S_W7 و S_W8 شاهد روند افزایشی در ارتفاع لایه اشباع آبخوان در طول سالهای مورد بررسی می‌باشیم به گونه ای که متوسط ضخامت لایه اشباع آبخوان در این سناریوها، از 85 متر در سال پایه به ترتیب به 86/76 ، 89/45 و 91/98 متر در سال پایانی دوره مورد بررسی در این سناریوها افزایش یافته است. مقایسه سال پایانی بین دو سناریو پایه و آخرین سناریو قیمت‌گذاری (S_W8) حاکی از افزایشی معادل 17/11 متر در ضخامت لایه اشباع می‌باشد.

شکل7، متوسط سالانه ضخامت لایه اشباع در سناریوهای مختلف قیمت گذاری آب را در آبخوان دشت مهیار شمالی نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش قیمت آب به دلیل افزایش هزینه‌های بهره برداری و در نتیجه کاهش میزان مصرف آب کشاورزی متوسط سالانه ضخامت لایه اشباع از یک روند افزایشی برخوردار خواهد شد. به طوری که این متوسط از 79/82 متر در شرایط پایه به 89/18 متر در آخرین سناریو قیمت گذاری افزایش خواهد یافت.

همانند ضخامت لایه اشباع که متأثر از الگوهای مصرف آب در سناریوهای مختلف قیمت گذاری آب می‌باشد، ارتفاع سطح آب زیرزمینی از سطح زمین نیز که به سطح ایستایی آب موسوم می‌باشد، دچار تغییراتی خواهد شد با این تفاوت که جهت تغییرات سطح ایستایی آب عکس تغییرات ارتفاع لایه اشباع آبخوان می‌باشد. به عبارتی، ارتفاع بیشتر لایه اشباع با نزدیک تر شدن سطح آب چاه ها به سطح زمین (کاهش سطح ایستایی آب) همراه می‌باشد. شکل8، این تغییرات را در سناریوهای مختلف قیمت گذاری آب نشان می‌دهد.

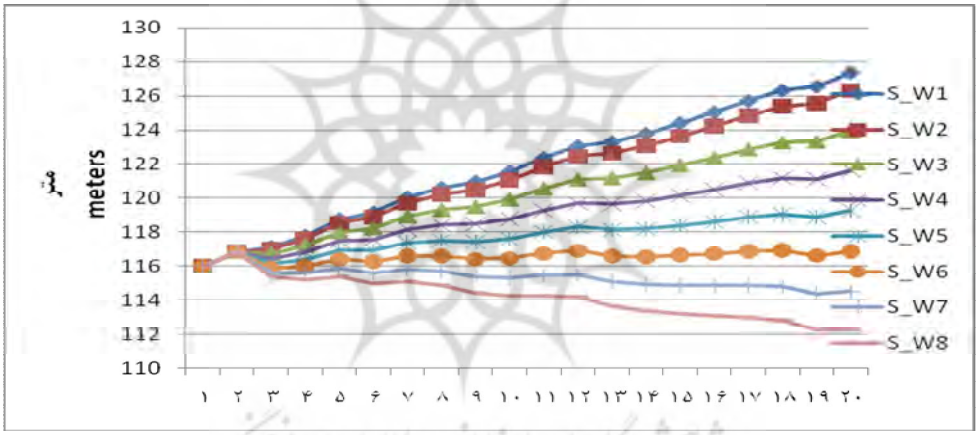


شکل 7- متوسط سالانه ضخامت لایه اشباع تحت سناریو پایه و سناریوهای قیمت گذاری آب طی سال‌های شبیه‌سازی (متر)

Figure 7-The Annual mean of saturated thickness levels over the simulated time under water pricing scenarios(meters)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings



شکل 8- سطح ایستایی در سناریوهای مختلف قیمت گذاری آب طی سالهای شبیه‌سازی (متر)

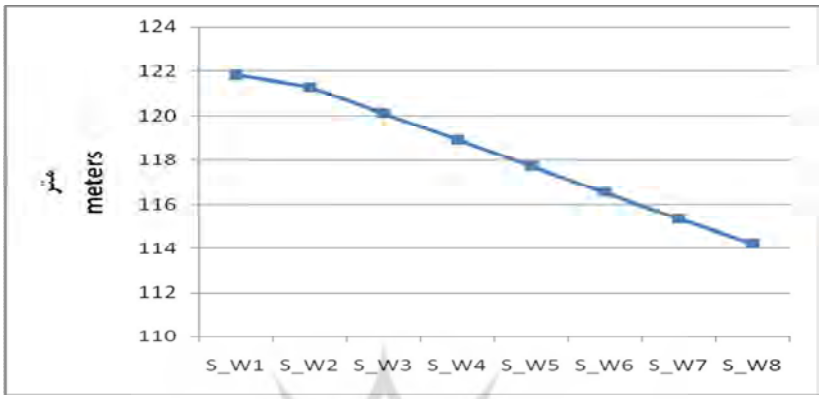
Figure 8- Water table over the Simulated time under water pricing scenarios(meters)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

همان طور که ملاحظه می‌گردد، متوسط سطح ایستایی آبخوان در شرایط سناریو پایه 116 متر می‌باشد که این میزان در طول سالهای مورد بررسی در نتیجه بهره برداری بیشتر منابع آب زیرزمینی آبخوان به 127/37 متر افزایش یافته است که در طول دوره شبیه سازی افزایش 9/8 درصدی را نشان می‌دهد. افزایش سطح ایستایی آب تحت شرایط سیاست قیمت گذاری آب به دلیل بهره برداری کمتر از منابع آب، کمتر از افزایش در شرایط سناریو پایه است. متوسط سطح ایستایی در سال پایانی تحت شرایط قیمت گذاری منابع آب در سناریو S_W2، 126/32 متر می‌باشد که نسبت سناریو پایه کاهشی معادل 1/05 متر را نشان می‌دهد. متوسط سطح ایستایی در سناریوهای قیمت گذاری S_W3، S_W4 و S_W5 به ترتیب از 116 متر در سال اول به 123/97 متر، 121/6 متر و 119/24 متر رسیده است. بنابراین میزان افزایش ارتفاع سطح ایستایی در این سه سناریو اخیر در سال پایانی نسبت به سال ابتدایی برنامه به ترتیب معادل 7/97، 5/6 و 3/24 متر می‌باشد. در سایر سناریوهای قیمت گذاری آب شاهد روند کاهشی در ارتفاع سطح آب در طول سالهای مورد بررسی می‌باشیم به گونه ای که متوسط سطح ایستایی آبخوان از 116 متر در سال اول به ترتیب به 114/51 و 112/29 متر در سال پایانی دوره مورد بررسی در سناریوهای S_W7 و S_W8 کاهش یافته است. مقایسه سال پایانی بین دو سناریو پایه و آخرین سناریو قیمت گذاری حاکی از کاهشی معادل 15/08 متر در سطح ایستایی آب می‌باشد به طوری که سطح ایستایی آب از 127/37 متر در سال پایانی تحت سناریو پایه به 112/29 متر در سال پایانی تحت سناریو قیمت گذاری S_W8 کاهش یافته است. شکل9، متوسط سالانه

سطح ایستایی در سناریوهای مختلف قیمت گذاری آب را در آبخوان دشت مهیار شمالی نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش قیمت آب به دلیل افزایش هزینه‌های بهره برداری و در نتیجه کاهش میزان مصرف آب کشاورزی متوسط سالانه سطح ایستایی از یک روند کاهشی برخوردار خواهد شد. به طوری که این میزان از 121/82 متر در شرایط پایه به 114/23 متر در آخرین سناریو قیمت گذاری کاهش یافته است.



شکل 9- متوسط سالانه سطح ایستایی تحت سناریو پایه و سناریوهای قیمت گذاری آب طی سال‌های شبیه‌سازی (متر)
Figure 9-The Annual mean of water table over the simulated time under water pricing scenarios(meters)
مأخذ: یافته‌های تحقیق
Source: Research findings

به طور مسلم قیمت پایین یا عدم پرداخت برای آب آبیاری، استحصال آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد. ضمن آنکه قیمت‌های پایین آب به طور گسترده به خاطر تأثیرش در کارایی پایین سیستم‌های آبیاری مورد انتقاد قرار گرفته است. نتایج سناریوهای مدیریتی آبهای زیرزمینی به عنوان تلاشی برای حفاظت این منابع در آبخوان دشت مهیار شمالی، نشان داد به کارگیری سیاست قیمت گذاری آب کشاورزی در جهت قیمت بازاری آن یک اثر معنی داری بر میزان استخراج آبهای زیرزمینی داشته و می‌تواند شرایط پایدارتری را در متغیرهای هیدرولوژیکی آبخوان ایجاد نماید. ضمن اینکه مشوق‌های لازم برای بهبود کارایی مصرف آب و در نتیجه مدیریت بهتر را فراهم نماید. این نتیجه گیری با سایر مطالعات صورت گرفته در این موضوع مطابقت دارد (برای نمونه: 1، 4، 9، 13، 14، 17 و 19)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف اصلی این تحقیق ارزیابی واکنش بهره برداران واحد هیدرولوژیکی دشت مهیار شمالی واقع در حوضه آبخیز زاینده رود تحت شرایط سناریوهای مختلف قیمت گذاری منابع آب زیرزمینی در یک افق بلندمدت می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد در محدوده آبخوان مورد مطالعه، بهره برداری‌های بی رویه از منابع آب زیرزمینی می‌تواند شرایط لازم برای تخلیه و کاهش عمر آبخوان در طول زمان فراهم آورد که این به معنای دور شدن از مفاهیم پایداری در سفره آب زیرزمینی می‌باشد. این به خاطر آن است که بهره برداران در شرایط سناریو پایه که هیچ محدودیتی در پمپاژ آب وجود ندارد، آب را با شدت بیشتری مصرف می‌کنند که نتیجه آن وجود میزان کمتری از آب قابل دسترس در سالهای بعدی می‌باشد. علاوه بر این ملاحظه گردید بهره برداری زیاد از منابع آب زیرزمینی در شرایط پایه منجر به افزایش ارتفاع سطح آب در طول سالهای شبیه سازی می‌گردد. با افزایش ارتفاع سطح آب، هزینه نهایی پمپاژ آب زیرزمینی که بر اساس مدل تحقیق رابطه مستقیمی با سطح ایستایی آب دارد، افزایش می‌یابد که نتیجه آن در یک مدل برنامه‌ریزی، تغییر الگوی کشت و در نتیجه کاهش بازده ناخالص فعالیت‌های کشاورزی در منطقه می‌باشد. کاهش این دو عامل یعنی ظرفیت آب آبخوان و بازده ناخالص کشاورزی در طول زمان منجر به محدود شدن فعالیت‌های کشاورزی در منطقه خواهد شد که این موضوع تبعات اجتماعی-اقتصادی جبران ناپذیری را بر شرایط کشاورزی منطقه وارد می‌نماید. با اعمال سیاست قیمت گذاری منابع آب زیرزمینی و تأثیر آن بر متغیرهای اقتصادی و هیدرولوژیکی آبخوان دشت مهیار شمالی ملاحظه گردید با تغییر الگوی کشت در جهت محدود تر شدن درصد کشت محصولات با آبیاری غرقابی و گسترده تر شدن درصد کشت محصولات با آبیاری تحت فشار و در نتیجه تعدیل روند بهره برداری بی رویه از منابع کمیاب آب، متغیرهای هیدرولوژیکی اعم از بیلان آب زیرزمینی، ضخامت لایه اشباع آبخوان و سطح ایستایی آبخوان می‌تواند در سطح قابل ملاحظه ای بهبود یابند. به عبارت دیگر، تحت شرایط سیاست قیمت گذاری، آب به طور یکنواخت تر در طول زمان

توزیع می‌شود و لذا آب بیشتری در سال انتهایی برنامه‌ریزی وجود خواهد داشت. با این حال، به دلیل تأثیر منفی افزایش قیمت آب بر منافع اقتصادی در بخش کشاورزی منطقه، ضروری است در تعیین و انتخاب سناریوی قیمتی صحیح و کارا ، تمامی ابعاد و پیامدهای مثبت و منفی آن مورد توجه قرار گیرید. به عبارت دیگر سیاست قیمت گذاری آب بایستی به گونه ای اعمال گردد که علاوه بر بهبود پایداری کشاورزی و حفظ منابع حیاتی آب، منافع اقتصادی و اجتماعی بخش نیز دچار نوسان زیادی نگردد. با عنایت به بررسی سناریوهای مختلف قیمتی و تأثیر آن بر متغیرهای اقتصادی و هیدرولوژیکی آبخوان دشت مورد بررسی، به نظر می‌رسد اجرای سناریو قیمتی S_W4 پایداری نسبی کشاورزی و منابع آب منطقه را فراهم نماید.

در این سناریو قیمتی با صرف نظر از 32/4 درصد منافع اقتصادی بخش کشاورزی منطقه، بهره برداری از منابع آب زیرزمینی به میزان 23/1 درصد کاهش می‌یابد که در نتیجه آن وضعیت وخیم بیلان آب از 12/8- به 6/6- میلیون متر مکعب بهبود خواهد داد. ضمن اینکه در این سناریو ارتفاع لایه اشباع از 85 متر در سال پایه به 81/4 متر در سال پایانی برنامه یعنی تنها به میزان 3/6 متر کاهش خواهد یافت که این بهبود در مقایسه با سناریوهای قبلی بیشتر است. اجرای سناریوهای بعدی علیرغم بهبود شدیدتر در وضعیت هیدرولوژیکی آبخوان، به دلیل کاهش شدید در منافع اقتصادی و اجتماعی بهره برداران قابلیت اجرایی خوبی ندارند.

منابع

1- Balali H., Ahmadian M., and Khalilian S. 2010. Analysis of water pricing infraction on groundwater balance in agricultural sector, Journal of Agricultural Economics and Development, 2(24): 185- 194. (in Persian).
2- Balali H., Viaggi D. 2015. Applying a System Dynamics Approach for Modeling Groundwater Dynamics to Depletion under Different Economical and Climate Change Scenarios, Water, 7, 5258-5271.
3- Binam. 2012. Annual report of groundwater resource in northern mahyar. Esfahan Regional Water Authority. (in Persian).
4- Brooke A., Kendrick D., and Meeraus A. 1988. GAMS: A Users's Guide. The Scientific Press.
5- Clark M., Peterson J., and Golden B. 2009. Effects of high commodity prices on western kansas crop patterns and the ogallala aquifer. KFMA Newsletter.
6- Cortignani R., and Severini S. 2009. Modeling farm-level adoption of deficit irrigation using Positive Mathematical Programming, Agricultural Water Management, 96: 1785–1791.
7- Dinar A. 1998. Water policy reforms: informational needs and implementation obstacles, Water Policy, 1: 367-382.
8- Heidecke C., and Heckelei T. 2010. Impacts of changing water inflow distributions on irrigation and farm income along the Drˆaa River in Morocco, Agricultural Economics, 41: 135–149.
9- Howitt R.E., Medellín-Azuara J., Duncan M. and Lund J.A. 2012. Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management, Environmental Modelling & Software, 38: 244-258.
10- Johnson J.W. 2003. Regional Policy Alternatives in Response to Depletion of the gallala Aquifer. Unpublished Doctoral Dissertation, Texas Tech niversity,Lubbock, Texas.
11- Karbasi A. R., and Ariabod A. 2012. Analyzing the effects of changes in price and aAmount of irrigation on cropping pattern in khorasan razavi, using PMP pattern. Scholars Research Library, Annals of Biological Research, 3 (8):4132-4138.
12- Maneta M. P.; Torres M.; Wallender W., Vosit S., Howitt R.; Rodrigues L., Bassoi L. and Panday, S. 2009. A spatially distributed hydro economic model to assess the effects of drought on land use, farm profit and agricultural employment, Water Resources Research, 45(11): W11412.
13- Minciardi R., Robba M., and Roberta S. 2007. Decision models for sustainable groundwater planning and control, Journal of Control Engineering Practice, 15: 1013-1029.
14- Najafi Alamdarlou H., Ahmadian M., and Khalilian S. 2013. Economic assessment of groundwater pricing policy in varamin plain, Journal of Agricultural Economics Research, 5(3): 137-154. (In Persian).
15- Nikouei A. 2012. Integrated economic -hydrologic modeling of water allocation and use in Zayandeh- Rud River Basin with emphasis on evaluation of environmental and drought policies, Shiraz University, Shiraz, Iran, 271 pp. (In Persian).
16- Nikouei A., Zibaei M., and Ward F.A. 2012. Incentives to Adopt Irrigation Water Saving Measures for Wetlands Preservation: An Integrated Basin Scale Analysis, Journal of Hydrology, 464: 216–232 .
17- Nikouei A., and Ward F.A. 2013. Pricing irrigation water for drought adaptation in Iran, Journal of Hydrology, 503: 29-46.
18- Shahraki J., Hoseini M., and Khozaei S. 2016. The analysis of water subsidy reform effects on iran agricultural sector, Journal of Agricultural Economics Research, 8(2): 77-94. (in Persian).
19- Shirzadi S., and Sabouhi M. 2014. The survey of aquifer stability and balance status into sustainable management(case study: neishbur basin), Journal of Agricultural Economics Research, 6(4): 107-128. (In Persian).

20- Tsur Y., and Dinar A. 1997. On the relative efficiency of alternative methods for pricing irrigation water and their implementation, World Bank Economic Review, 11: 243-262.
21- Terrell B. 1998. Economic impacts of the depletion of the ogallala aquifer: An application to the Texas high plains. Texas Tech University, Lubbock, Texas.
22- Tsur Y., Roe T., Doukkali R., and Dinar A. 2004 . Pricing Irrigation Water: Principles and Cases from Developing Countries, RFF Press: Washington.
23- Wheeler E. A. 2008. Water conservation program alternatives for the southern ogallala aquifer. Texas Tech University, Lubbock, Texas.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی