

## بررسی آثار کاهش یارانه انرژی بر پایداری منابع آب در آبخوان مهیار شمالی: رویکرد مدل برنامه‌ریزی پویای تصادفی مثبت

ابوالقاسم باقری<sup>۱\*</sup>، علیرضا نیکویی<sup>۲</sup>، فرهاد خداداد کاشی<sup>۳</sup> و محسن شوکت فدایی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه پیام نور، <sup>۲</sup> استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران، <sup>۳</sup> استاد، گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور و <sup>۴</sup> دانشیار، گروه اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه پیام نور

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۳۰

### چکیده

اگرچه پرداخت‌های حمایتی دولت در بخش کشاورزی در جهت افزایش رفاه جامعه صورت می‌گیرد، اما تبعاتی نظیر تأثیرگذاری بر محیط زیست و به‌ویژه منابع آب به همراه دارد. به گونه‌ای که امروزه توسعه فعالیت‌های کشاورزی منجر به افت سطح آب زیرزمینی در بیشتر این آبخوان‌ها شده است. این موضوع انگیزه بخش‌های دولتی مربوطه را در توسعه و به‌کارگیری گزینه‌های سیاستی برای حفظ منابع آب آبخوان و در نتیجه پایداری آن را بیش از پیش افزایش داده است. هدف این مطالعه تحلیل و شبیه‌سازی تأثیر سیاست کاهش یارانه انرژی و ارزیابی اثر آن روی بهره‌برداری منابع آب و الگوی کشت محصولات کشاورزی در آبخوان دشت مهیار شمالی واقع در استان اصفهان با استفاده از مدل بهینه‌یابی غیرخطی شبیه‌سازی شده می‌باشد. برای این منظور، ابتدا، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به شکل پویا گسترش یافت و نسبت به داده‌های مربوط به سطح کشت محصولات در سال پایه ۸۴-۱۳۸۳ کالیبره شد. پس از کالیبره شدن، مدل اثرات مربوط به اعمال سناریوهای سیاستی کاهش یارانه انرژی را روی پارامترهای اقتصادی و هیدرولوژیکی منطقه در طول یک دوره ۲۰ ساله شبیه‌سازی نمود. نتایج این مطالعه نشان داد، اعمال سیاست کاهش یارانه انرژی، علی‌رغم کاهش نسبی در منافع اقتصادی بخش کشاورزی منطقه باعث تعدیل روند بهره‌برداری بی‌رویه از منبع کمیاب آب و تغییر الگوی کشت و در نتیجه افزایش عمر آبخوان و هدایت بهره‌برداری آب بر اساس مفاهیم پایداری شده است. با این حال، ضروری است، سیاست قیمت‌گذاری انرژی به گونه‌ای اعمال شود که علاوه بر بهبود پایداری کشاورزی و حفظ منابع حیاتی آب، منافع اقتصادی و اجتماعی بخش نیز دچار نوسان زیادی نشود. بر این مبنا و با توجه به نتایج تحقیق، به نظر می‌رسد افزایش ۱۰ درصدی در قیمت انرژی بتواند پایداری نسبی کشاورزی و منابع آب منطقه را فراهم نماید.

**واژه‌های کلیدی:** آب‌های زیرزمینی، حفاظت منابع آب، شبیه‌سازی، قیمت‌گذاری، گزینه سیاستی

### مقدمه

آن در برقراری امنیت غذایی در جهان، ریسک بسیار بالا در تولید محصولات کشاورزی و اهمیت حفظ و پایداری اشتغال در آن و همچنین، توسعه صادرات

بخش کشاورزی یکی از بخش‌های مهم اقتصادی است که حمایت از تولیدات این بخش به دلیل نقش

\* مسئول مکاتبات: [mmohsen55@yahoo.com](mailto:mmohsen55@yahoo.com)

است. Balali و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه خود به بررسی آثار مختلف سیاست تعدیل یارانه انرژی در بخش کشاورزی بر تعادل و بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی پویا در دشت بهار همدان پرداختند. نتایج حاصل نشان داد، سیاست کاهش و تعدیل یارانه انرژی از طریق تأثیر بر الگوی کشت محصولات کشاورزی به شکل توسعه محصولات با نیاز آبی کمتر و تغییر رفتار بهره‌برداران می‌تواند تأثیر مثبتی در حفظ منابع آب زیرزمینی در دشت همدان-بهار و کاهش تخریب منابع آب در بلندمدت به همراه داشته باشد.

Barikani (۲۰۱۲) به بررسی استفاده تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی در تعیین الگوی کشت بهینه دشت قزوین پرداخته است. در این مطالعه از روش برنامه‌ریزی پویا استفاده شده و بهینه‌سازی الگوی کشت در دو حالت با و بدون تغییر در قیمت حامل‌های انرژی صورت گرفته است. نتایج نشان داد که با افزایش قیمت نهاده انرژی میزان استحصال از آب کاهش یافته و الگوی بهینه کشت در این منطقه به سمت محصولاتی با نیاز آبی کمتر تغییر یافته است، لذا، پایداری آبخوان دشت قزوین در این شرایط می‌تواند افزایش یابد. Mousavi و همکاران (۲۰۱۳) به اثرات رفاهی کاهش یارانه انرژی در بخش کشاورزی ایران پرداختند. برای این منظور، پس از تخمین تابع تقاضای نهاده‌های تولید شامل نیروی کار، سرمایه و انرژی، اثر افزایش قیمت انرژی بر تقاضای آن‌ها ارزیابی شد. در ادامه اثر کاهش مصرف انرژی بر روی تولید بخش کشاورزی با استفاده از تابع تولید و همچنین، بر روی قیمت محصولات کشاورزی با استفاده از تابع تقاضای محصولات بخش کشاورزی محاسبه شد. نتایج کلی این تحقیق نشان داد، افزایش قیمت انرژی موجب کاهش رفاه بهره‌برداران شده است که این میزان کاهش در کوتاه‌مدت بیشتر از بلندمدت می‌باشد.

Pahlevani و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به تعیین میزان تغییرات مصرف نهاده‌های کشاورزی در اثر آزادسازی قیمت نهاده‌ها پرداختند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که به ازای یک درصد افزایش قیمت انرژی، مصرف این نهاده کمتر از یک

امری اجتناب‌ناپذیر است. این امر در کشورهای در حال توسعه که بخش کشاورزی در توسعه اقتصادی و اجتماعی آن‌ها نقش کلیدی دارد، حائز اهمیت بیشتری بوده، حتی سازمان تجارت جهانی نیز اعمال برخی روش‌های حمایتی را از سوی دولت‌ها مجاز دانسته است (Harati و Shafipour, ۲۰۰۵).

در ایران نیز در راستای تأمین اهداف بخش کشاورزی از جمله حمایت از تولیدات داخل و رفع وابستگی، حفظ اشتغال و کاهش فقر، دولت بیشترین حمایت خود را با استفاده از پرداختی‌های مربوط به حامل‌های انرژی در این بخش ارائه داده است (Karimi و Zahedi, ۲۰۱۱). پایین بودن قیمت انرژی در چنین شرایطی باعث شده مصرف انرژی در بخش کشاورزی از روند منطقی برخوردار نباشد و تبعات زیادی به دنبال داشته باشد. از مهمترین این پیامدها، نابودی کمی و کیفی آبخوان‌ها و فرونشست دشت‌ها در بخش کشاورزی ایران به دلیل بهره‌برداری‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی بوده است. وضع یک تعرفه مناسب یا کاهش منطقی یارانه انرژی می‌تواند نقش مهمی در کنترل تخریب منابع آب‌های زیرزمینی و بهره‌برداری صحیح آن داشته باشد؛ چرا که کاهش یارانه پرداختی به عامل انرژی به دلیل اهمیت این عامل در استخراج منابع آب باعث افزایش هزینه بهره‌برداری در بخش کشاورزی و در نتیجه کاهش تقاضا برای آب، اصلاح سامانه مصرف آب و همچنین تغییر الگوی کشت می‌شود. ضمن این‌که این موضوع تغییراتی را در بیلان و متغیرهای هیدرولوژیکی تأثیرگذار آن در محدوده آبخوان ایجاد خواهد نمود (Balali و Viaggi, ۲۰۱۵). در سالیان اخیر، پایین بودن قیمت انرژی که از حمایت‌های خاص دولت برخوردار بوده، مشکلات پایین بودن بهره‌وری تولید و آسیب رساندن به محیط زیست را بیشتر نمایان ساخته است؛ به ویژه در بخش کشاورزی که از میان بخش‌های مختلف تولیدی، بیشترین و نزدیک‌ترین ارتباط را با محیط زیست دارد.

در خصوص مدیریت بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی و اعمال سیاست‌های قیمتی مطالعات زیادی در داخل و خارج کشور با استفاده از روش‌های مختلف برنامه‌ریزی ریاضی و اقتصاد سنجی صورت گرفته

افزایش قیمت سایه‌ای آب شود. در این مطالعه، با عنایت به هدف اصلی تحقیق که ارزیابی واکنش بهره‌برداران واحد هیدرولوژیکی دشت مهبیار شمالی تحت شرایط سناریوهای مختلف تعدیل یارانه انرژی برق در یک دوره ۲۰ ساله می‌باشد، سعی شده است در چارچوب یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی پویای تصادفی شبیه‌سازی شده آثار بلندمدت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و تأثیر آن بر سطح فعالیت‌های کشاورزی و جنبه‌های اقتصادی آن و همچنین، اثربخشی آن بر متغیرهای هیدرولوژیکی آبخوان دشت مهبیار شمالی ترسیم و شبیه‌سازی شود تا بر اساس آن تلاش‌های مجدانه مسئولین امر برای حفظ منابع ارزشمند آب در این آبخوان صورت گیرد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** در مطالعه جاری واحد هیدرولوژیکی مهبیار شمالی واقع در حوزه آبخیز زاینده‌رود اصفهان به‌عنوان منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. مساحت این حوزه بالغ بر ۴۲۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. بخش عمده‌ای از مجموع اراضی کشاورزی استان اصفهان از طریق نه شبکه آبیاری منشعب از رودخانه زاینده‌رود واقع در این حوزه آبیاری می‌شوند. این رودخانه با طولی معادل ۴۰۰ کیلومتر از کوه‌های زاگرس سرچشمه گرفته، به باتلاق گاوخونی ختم می‌شود. شکل ۱، نمایی از منطقه مورد مطالعه و موقعیت آن در حوزه آبخیز زاینده‌رود را نشان می‌دهد.

**روش پژوهش:** روش در نظر گرفته شده برای جمع‌آوری 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 از طریق سازمان‌های ذیربط به ویژه سازمان جهاد کشاورزی و همچنین از طریق بررسی میدانی و تکمیل پرسشنامه از طریق نمونه‌گیری خوشه‌ای سیستماتیک تصادفی به‌دست آمده است. اطلاعات هیدرولوژیکی

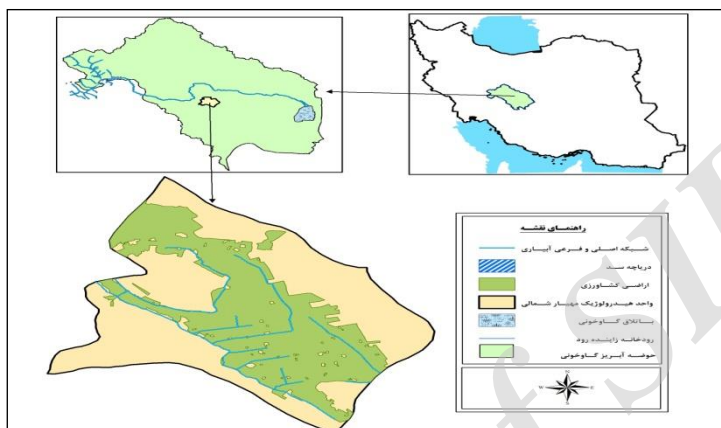
درصد کاهش می‌یابد. Severini و Cortignani (۲۰۰۹) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی<sup>۱</sup> (PMP) با در نظر گرفتن تکنولوژی کم آبیاری به بررسی تأثیر افزایش هزینه تأمین آب، کاهش آب قابل‌دسترس و تغییر در قیمت محصولات کشاورزی بر الگوی کشت در کشور ایتالیا پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که افزایش هزینه‌های آب باعث ایجاد انگیزه در استفاده از تکنولوژی کم آبیاری نمی‌شود، ولی کشاورزان در زمانی که آب قابل‌دسترس کاهش می‌یابد و یا اینکه هزینه تأمین آب افزایش می‌یابد، در راستای صرفه‌جویی و ذخیره آب تمایل به استفاده از تکنیک کم آبیاری دارند.

Clark و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی خود به اثرات افزایش قیمت محصولات کشاورزی بر الگوی کشت و مصرف آب‌های زیرزمینی در کنزاس واقع در حوضه اوگالالا پرداختند. ایشان از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت برای کالیبره کردن نهاده‌های زمین و آب مورد استفاده در این بخش‌ها با استفاده از داده‌های مربوط به دوره پایه یعنی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۳ استفاده نمودند. 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 شبیه‌سازی به شکل معنی داری افزایش می‌یابد که خود منجر به کاهش حجم آب و ضخامت لایه اشباع در طول سال‌های شبیه‌سازی می‌شود. Nikouei و همکاران (۲۰۱۲) 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 زیست‌محیطی را با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، سوبسید حفاظت از آب می‌تواند مشوق‌های لازم برای کشاورزان برای انتقال از کشاورزی غرقابی به سمت پذیرش برای استفاده از تکنولوژی‌های مدرن آبیاری که با صرفه‌جویی در آب همراه می‌باشند، را فراهم نماید. علاوه بر این، اتخاذ این سیاست، می‌تواند منجر به افزایش عملکرد محصول، افزایش سودآوری و

<sup>1</sup> Positive Mathematical Programming

شمالی، در بسته نرم‌افزاری GAMS نوشته شد (Brooke و همکاران، ۱۹۸۸). سپس، شرایط متغیرهای تصمیم در سناریو پایه مبنی بر سیاست فعلی استفاده از منابع آب زیرزمینی و سایر سناریوهای قیمت‌گذاری آب و تأثیر آن بر متغیرهای اقتصادی و هیدرولوژیکی آبخوان دشت مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

سفره آب زیرزمینی و سایر اطلاعات شامل بارندگی از سازمان‌های مربوطه از جمله سازمان آب منطقه‌ای و هواشناسی اصفهان اخذ شده است. بر مبنای اطلاعات جمع‌آوری شده، الگوریتم‌های لازم برای بسط یک الگوی اقتصادی-هیدرولوژیکی در چارچوب برنامه‌ریزی پویای تصادفی غیرخطی مثبت برای بررسی اقتصاد کشاورزی و رفتار هیدرولوژیکی آبخوان دشت مهیار



شکل ۱- موقعیت دشت مهیار شمالی در حوزه آبخیز زاینده‌رود

متغیرهای اقتصادی و هیدرولوژیکی آبخوان در طول افق زمانی، این مهم از طریق کاربرد مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت در مدل بهینه‌سازی زمانی صورت پذیرفته است. به طوری که پس از کالیبره شدن مدل، شرایط برای شبیه‌سازی تخصیص آب و زمین در طول زمان فراهم می‌شود. لازم به توضیح است، این مدل نسبت به داده‌های مربوط به سطح کشت محصولات و میزان مصرف آب در سال نرمال ۸۴-۱۳۸۳ کالیبره شد. این سال به عنوان سال پایه انتخاب و اطلاعات لازم (به جز اطلاعات هزینه‌ای و درآمدی) بر مبنای آن جمع‌آوری شد. در این رهیافت، معادلات هیدرولوژیکی شرایط پویایی مدل را فراهم ساخته و متغیرهای مربوط به آبخوان و تغییرات آن از سالی به سال دیگر شبیه‌سازی شده است.

تحقق هدف اصلی این تحقیق در چارچوب یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی اقتصادی-هیدرولوژیکی به شکل پویای تصادفی شبیه‌سازی شده که ارتباط بین اجزای اقتصادی، کشاورزی و هیدرولوژیکی منابع آب دشت آبخوان را با در نظر گرفتن تغییرات ناپایدار آب و هوایی به هم پیوند می‌زند، صورت پذیرفت (شکل

**مدل تحقیق:** تابع هدف مدل بهینه‌بایی این تحقیق، بیشینه‌سازی ارزش کنونی خالص منافع در طول یک افق برنامه‌ریزی ۲۰ ساله می‌باشد. در این راستا، چنانچه تخصیص منابع آب زیرزمینی در افق زمانی  $T$  سال مدنظر باشد و نرخ تنزیل<sup>۱</sup> یا بهره موجود در جامعه  $r$  باشد، مدل رفتار بخش کشاورزی در چارچوب مدل برنامه‌ریزی ریاضی پویای مثبت با هدف بیشینه‌سازی ارزش کنونی خالص منافع تنزیل شده سالانه (NPV)<sup>۲</sup> حاصل از فعالیت‌های کشاورزی در طول افق زمان برنامه‌ریزی<sup>۳</sup> به صورت زیر می‌باشد.

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

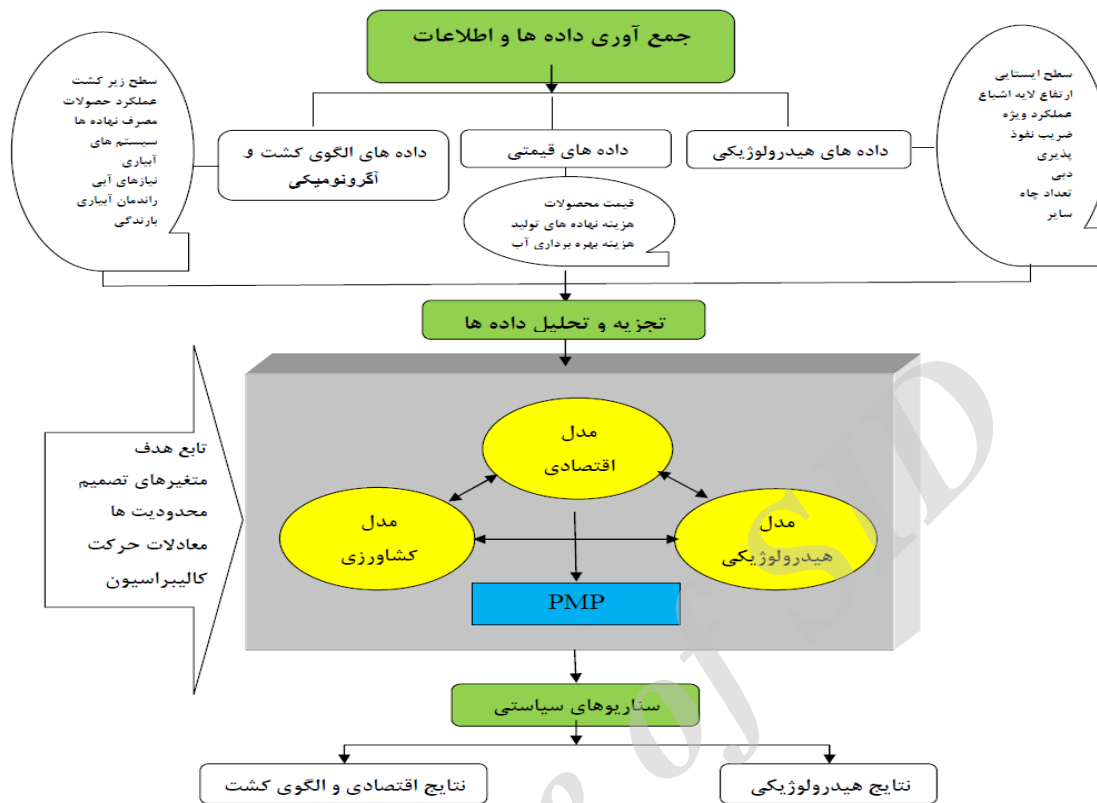
که در آن،  $NR_t$  منافع خالص حاصل از تحویل آب به مصارف کشاورزی در زمان  $t$  می‌باشد و به واسطه مساعدتی که آب روی درآمد خالص مزارع دارد، به شکل رابطه (۲) در الگو وارد می‌شود. با عنایت به لزوم شبیه‌سازی رفتار بهره‌برداران و نتایج آن بر

<sup>1</sup> Discount rate

<sup>2</sup> Net Present Value

<sup>3</sup> Planning Horizon

۲). ساختار این الگو، بر اساس مطالعات صورت گرفته در این خصوص می‌باشد (Tsur و همکاران، ۲۰۰۴؛ Clark، Wheeler، ۲۰۰۸؛ همکاران، ۲۰۰۹؛ Nikouei و همکاران، ۲۰۱۲).



شکل ۲- نمودار جریان‌ی روش کار اقتصادی-هیدرولوژیکی آبخوان دشت مهبیار شمالی

پمپاژ آب زیرزمینی در هر هکتار (مترمکعب)،  $H$  ارتفاع سطح ایستابی 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 واسنجی شده پارامترهای تابع تولید با کشش جانشینی ثابت<sup>۱</sup> (CES) شامل پارامترهای سهم و مقیاس می‌باشند که بر اساس مطالعات Clark و همکاران، (۲۰۰۹)، Howitt و همکاران (۲۰۱۲) و Maneta و همکاران (۲۰۰۹) برازش شدند. تابع تولید با کشش جانشینی ثابت با  $\hat{i}$  محصول و  $\hat{j}$  نهاده و بازده نسبت به مقیاس ثابت به صورت زیر تعریف می‌شود.

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

تخصیص‌های آینده نیز به ظرفیت قابل دسترس آب آبخوان در طول زمان بستگی خواهد داشت. در طول سال‌های شبیه‌سازی، متغیرهای تصمیم با حل مسأله زیر پیش‌بینی می‌شود.

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

که در آن، 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 شده‌اند.  $AREA$  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

<sup>1</sup> Constant Elasticity of Substitution

ارتفاع پمپاژ آب تا سطح زمین در زمان  $t$  ( $H_t$ )، قیمت هر کیلووات ساعت مصرف انرژی ( $EP$ )، عامل متوسط انرژی لازم برای پمپاژ یک مترمکعب آب به ارتفاع یک متر ( $EF$ )، فشار عملیاتی سامانه پمپاژ ( $PSI$ ) و متوسط کارایی موتور پمپ ها در منطقه مورد بررسی ( $EFF$ ) در نظر گرفته شده است و مقدار آن از رابطه (۷) محاسبه می شود.

$$PC_{ikt} = [EF \times (H_t + 2.31 \times PSI) \times EP] / EFF \quad (۷)$$

که در آن، مقدار  $۲/۳۱$  ارتفاع ستون آب می باشد که برخوردار از فشار یک اتمسفر است. روابط (۸) تا (۱۹) محدودیت های مدل را در خصوص معادلات حرکت، محدودیت های مربوط آب، زمین و سایر نهاده های کشاورزی نشان می دهد.

$$S_t = S_{t-1} - GWCHANGE_t \quad (۸)$$

$$H_t = H_{t-1} + GWCHANGE_t \quad (۹)$$

$$GWCHANGE = (TWPUMP_t - RECHARGE_t) / GW\_AREA \times GW\_YIELD \quad (۱۰)$$

$$TWPUMP_t = \sum_i \sum_k WP_{ikt} \cdot AREA_{ikt} + INDWUSE_t + POTWUSE_t \quad (۱۱)$$

$$RECHARGE_t = R\_WATER_t + WPR_t + ISFHR_t + IBFHR_t + R\_INDWUSE_t + R\_POTWUSE_t \quad (۱۲)$$

$$TPC_t = f \left[ (S_t / IS)^2, \left( \frac{IWY}{IAPW} \right) \right] \quad (۱۳)$$

$$TAQW_t = IWFSV + (RECHARGE_t - TWPUMP_t) \quad (۱۴)$$

$$TWPUMP_t \leq TPC_t \quad (۱۵)$$

$$TPC_t \leq TAQW_t \quad (۱۶)$$

$$\sum_i \sum_k AREA_{ikt} \leq LAND_t \quad (۱۷)$$

$$\sum_i \sum_k a_{jikt} \times AREA_{ikt} \leq B_{jt} \quad (۱۸)$$

$$\sum_k AREA_{ikt} \leq M_{it} \quad (۱۹)$$

$$Rain_t = Gamma(x; \alpha, \beta) \quad (۲۰)$$

چندین معادله حرکت در این مدل، شرایط پویا را در مسائل هیدرولوژیکی ایجاد می کنند که بر اساس تغییرات زمانی آن ها، سایر متغیرهای زمانی در طول دوره مورد بررسی تعیین می شوند. اولین معادله مربوط به محاسبه ارتفاع یا ضخامت لایه اشباع آبخوان بر حسب متر در سال های مختلف است. معادله دوم مربوط به سطح ایستابی آب است که ارتفاع سطح آب زیرزمینی آبخوان تا سطح زمین بر حسب متر در

که در آن،  $\eta = (\sigma - 1) / \sigma$  و  $\sum_{kj} \lambda_{kj} = 1$  است.  $\sigma$  نیز مقدار کشش جانشینی عوامل تولید می باشد. تابع هزینه به کار رفته در تابع هدف شامل هزینه نهاده های تولید و هزینه استفاده از آب زیرزمینی می باشد که در رابطه زیر بیان شده است.

$$C_{ikt} = \sum_i \sum_k (COST_t + GWOCOST_t) \quad (۴)$$

که در آن،  $COST$  بیانگر هزینه های تولید نظیر نیروی کار ( $LC$ )، کود شیمیایی ( $FC$ )، ماشین آلات ( $MachC$ )، استهلاک سرمایه ( $DC$ )، تعمیرات و نگهداری ( $MC$ ) و سایر هزینه ها ( $OC$ ) در تولید محصول  $i$  با سامانه آبیاری  $k$  در زمان  $t$  می باشد که در قالب تابع عمومی به صورت رابطه (۵) بیان می شود.

$$COST_{ikt} = C(LC_{ikt}, FC_{ikt}, MachC_{ikt}, DC_{ikt}, MC_{ikt}, OC_{ikt}) \quad (۵)$$

که در آن،  $GWOCOST_{ikt}$  هزینه استفاده و بهره برداری از منابع آب زیرزمینی در یک هکتار زمین زراعی محصول  $i$  با سامانه آبیاری  $k$  در زمان  $t$  می باشد و شامل هزینه های استحصال ( $IWEC$ ) هر مترمکعب آب در سال پایه، هزینه پمپاژ ( $PC$ ) هر مترمکعب آب و قیمت پرداختی برای هر متر مکعب آب استخراج شده یا تعرفه هر واحد آب ( $GWP$ ) می باشد و بر اساس رابطه (۶) بیان شده است.

$$GWOCOST_{ikt} = [PC_{ikt} + IWEC + GWP] \times WP_{ikt} \quad (۶)$$

که در آن،  $IWEC$  هزینه استخراج یک مترمکعب 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 چاه ها، میزان کارکرد سالانه و میزان پمپاژ و استخراج آب برای هر سال از دوره برنامه ریزی محاسبه می شود. متغیر  $PC$  هزینه انرژی مورد نیاز برای پمپاژ یک مترمکعب آب زیرزمینی است که بر اساس مطالعات (Terrell, ۱۹۹۸؛ Minciardi و همکاران، ۲۰۰۷؛ Wheeler, ۲۰۰۸) به صورت تابعی از

محدودیت بیان می‌کند که کل آب پمپاژ شده در هر زمان ( $TWPUMP_t$ ) نبایستی از بیشینه ظرفیت قابل استخراج آبخوان در هر زمان ( $TPC_t$ ) تجاوز کند. دیگر محدودیت مرتبط با منابع آب‌های زیرزمینی مورد اشاره در رابطه (۱۶)، بیانگر این موضوع است که کل ظرفیت آب قابل برداشت یا قابل استخراج در هر زمان ( $TPC_t$ ) باید از ظرفیت آب موجود در آبخوان آب زیرزمینی کمتر باشد. رابطه (۱۷) محدودیت مربوط به زمین است که در آن  $LAND$  مقدار زمین در دسترس (هکتار) است که نشان می‌دهد مقدار سطح زیرکشت محصولات مختلف در هر زمان نباید از میزان قابل دسترس زمین بیشتر باشد. محدودیت سایر نهاده‌ها به‌طور عمومی در رابطه (۱۸) 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 (۱۹) نیز محدودیت بازاری برای برخی محصولات را نشان می‌دهد که در آن  $M$  بیشینه ظرفیت بازار برای محصولات است. در نهایت رابطه (۲۰) توزیع آماری بارش به‌عنوان یک متغیر تصادفی را در دشت مهیار نشان می‌دهد. بارندگی به‌عنوان 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 شبیه‌سازی حجم آب آبخوان دشت مهیار و بررسی سناریوهای مختلف سیاستی، میزان بارندگی به‌عنوان یک متغیر تصادفی در نظر گرفته شده است که مقدار آن در دوره مورد بررسی می‌بایست پیش‌بینی شود. برای این منظور در این تحقیق، از توزیع آماری گاما که توزیع مناسبی برای پردازش داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه به شمار می‌رود، استفاده شده است (Heckelei و Heidecke، ۲۰۱۰).

### نتایج و بحث

جدول ۱، توانمندی مدل در بازتولید سطح فعالیت‌های کشاورزی در سال پایه را در طول هشت سال اول دوره شبیه‌سازی مورد بررسی با استفاده از

ابتدای سال  $t$  را نشان می‌دهد. در این معادلات،  $GWCHANGE_t$  به تغییرات مربوط به سطح ایستابی آب زیرزمینی در دوره زمانی  $t$  اشاره دارد که نحوه محاسبه آن در رابطه (۱۰) ملاحظه می‌شود. در این رابطه،  $TWPUMP_t$  کل میزان آب برداشتی آبخوان در زمان  $t$  (مترمکعب)،  $RECHRG_t$  کل میزان تغذیه آبخوان در زمان  $t$  (مترمکعب)،  $GW\_AREA$  سطح سفره آب زیرزمینی (مترمربع) و  $GW\_YIELD$  ضریب عملکرد ویژه آب زیرزمینی است. رابطه (۱۱)، کل میزان آب برداشتی را مشخص می‌نماید که بر اساس آن، این میزان برابر مجموع آب استحصالی برای مصارف کشاورزی ( $\sum_i \sum_k WP_{ikt} \cdot AREA_{ikt}$ )، صنعت ( $INDWUSE_t$ ) و شرب ( $POTWUSE_t$ ) می‌باشد. علاوه بر این، بر اساس رابطه (۱۲)، 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 (۱۳)  $TPC_t$  کل ظرفیت قابل پمپاژ از آبخوان در زمان  $t$  می‌باشد. مقدار این متغیر تابعی از ارتفاع لایه اشباع در هر زمان ( $S_t$ ) است (Terrell، ۱۹۹۸؛ Johnson، ۲۰۰۳؛ Wheeler، ۲۰۰۸). در رابطه اخیر،  $IS$  ضخامت اولیه لایه اشباع،  $IWY$  متوسط عملکرد (بازده) چاه در سال پایه و  $IAPW$  متوسط سطح کشت آبیاری شده به‌وسیله هر چاه در منطقه و در سال پایه می‌باشد. کل آب موجود در آبخوان ( $TAQW$ ) می‌باشد که مقدار آن بر اساس رابطه (۱۴) به‌دست می‌آید. در این رابطه،  $IWFSSV$  ظرفیت اولیه آبخوان می‌باشد که حاصل جمع آن با خالص جریان ورودی آب به آبخوان، کل آب موجود آبخوان را به‌دست می‌دهد. منابع آب زیرزمینی به‌دلیل تأمین درصد عمده آب مورد نیاز بخش کشاورزی در منطقه مورد مطالعه به‌عنوان مهمترین محدودیت در مدل برنامه‌ریزی وارد می‌شود. رابطه (۱۵) محدودیت مرتبط با بیشینه ظرفیت قابل برداشت از سفره آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. این

خطا برای محصول گندم با آبیاری بارانی ۲/۸۸- درصد بوده است. برای سایر محصولات مورد کشت منطقه، میزان خطای پیش‌بینی مدل معادل صفر به دست آمده است. بر این اساس مدل قادر است تغییرات متغیرهای تصمیم مدل را در سال‌های آینده تحت شرایط پایه و همچنین در چارچوب سناریوهای مختلف تعدیل یارانه انرژی به خوبی شبیه‌سازی نماید. مدل همچنین می‌تواند کل سطح کشت محصولات در سال‌های مختلف را با متوسط خطای ۰/۲۶- درصد پیش‌بینی نماید. این خطای ناچیز برآمده از این واقعیت می‌باشد که متوسط کل سطح زیرکشت در مدل واسنجی و ثابت شده است.

برنامه‌ریزی ریاضی مثبت نشان می‌دهد. بر اساس منطق PMP، مدل بایستی سطح کشت محصولات در سال پایه (۱۳۸۳-۱۳۸۴) را بتواند به درستی بازتولید نماید. سال‌های شبیه‌سازی بعد از سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ شروع می‌شود، به عبارت دیگر سال ۱ در نمودار به سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ اشاره دارد. در جدول مورد اشاره، خطای پیش‌بینی مدل برای هر محصول به شکل درصدی از اختلاف سطح کشت مشاهده شده با سطح کشت برنامه‌ریزی شده به وسیله مدل نشان داده شده است. میزان متوسط خطای مدل در بازتولید سطح کشت محصول جو با آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب ۰/۶۶- و ۰/۸۱- درصد می‌باشد. این میزان از

جدول ۱- خطای پیش‌بینی تحت سناریو پایه طی سال‌های ۸۵-۸۴ تا ۹۲-۹۱

محصول	روش آبیاری	۸۴-۸۵	۸۵-۸۶	۸۶-۸۷	۸۷-۸۸	۸۸-۸۹	۸۹-۹۰	۹۰-۹۱	۹۱-۹۲	میانگین
جو	غرقابی	۰	-۰/۶۲	-۰/۶۴	-۰/۶۹	-۰/۷۷	-۰/۸۱	-۰/۸۷	-۰/۹۱	-۰/۶۶
جو	بارانی	-۰/۴۳	-۰/۸۱	-۰/۸۲	-۰/۸۴	-۰/۸۸	-۰/۸۹	-۰/۹۲	-۰/۹۳	-۰/۸۱
گندم	بارانی	-۲/۵۵	-۲/۸۸	-۲/۸۹	-۲/۹۱	-۲/۹۴	-۲/۹۵	-۲/۹۷	-۲/۹۹	-۲/۸۸
سایر		۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

سناریو پایه مربوط به گندم با ۵۴/۸۸ درصد، جو با ۲۲/۰۵ درصد، آفتابگردان ۱۴/۱۱ درصد، ذرت علوفه‌ای با ۳/۱۴ درصد و یونجه با ۲/۸۲ درصد بوده است. با افزایش قیمت انرژی به دلیل افزایش هزینه‌های استفاده از آب، تغییراتی در سطح زیرکشت محصولات قابل ملاحظه می‌باشد. نکته حائز اهمیت در این بررسی آن است که درصد کشت همه محصولات که با روش‌های نوین آبیاری از یک روند افزایشی برخوردار شده‌اند که این موضوع به دلیل راندمان بالای مصرف آب در روش‌های مذکور می‌باشد. به طوری که درصد کشت محصول گندم از ۰/۷۸ درصد در شرایط سناریو پایه به ۰/۹۸ درصد تحت سناریو S\_E3 افزایش یافته است. این میزان افزایش برای محصول جو از ۰/۸۸ تا ۱/۱۶ درصد، یونجه از ۱/۶۰ تا ۲/۹۹ درصد و برای ذرت علوفه‌ای از ۰/۵۸ تا ۰/۷۶ درصد بوده است. نتایج همچنین حاکی از کاهش درصد کشت محصولات بارانی به جز یونجه در سناریو قیمتی S\_E4 نسبت به سناریو S\_E3 می‌باشد. افزایش

**نتایج الگوی کشت:** جدول ۲، متوسط تغییرات صورت گرفته در الگوی کشت بخش کشاورزی منطقه مورد مطالعه در ازای وضع سطوح مختلف قیمت انرژی برای هر کیلووات ساعت آن در طول دوره شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. بر این مبنا، S\_E1 قیمت نهاده انرژی تحت شرایط سناریو پایه بوده و نشان دهنده قیمت انرژی یارانه‌ای بدون اعمال هیچگونه تعدیل قیمت برای نهاده انرژی می‌باشد و همواره در سطح بسیار پایین‌تری از قیمت واقعی آن قرار دارد. سناریو S\_E2 و S\_E3 به ترتیب تأثیر افزایش سالانه قیمت نهاده انرژی را به میزان ۱۰ و ۲۰ درصد نشان می‌دهد و در نهایت در سناریو S\_E4 افزایش و رشد قیمت انرژی به گونه‌ای تعریف شده است که در پایان دوره مورد بررسی به قیمت واقعی و تمام شده آن برسد. بر این اساس و با توجه به اطلاعات موجود در خصوص تعرفه انرژی برق، رشد ۱۶۸ درصدی در سناریو اخیر برای قیمت نهاده انرژی منظور شد. بر اساس نتایج این جدول، بیشترین درصد کشت محصولات منطقه تحت



قطره‌ای و غرقابی نیز صادق است با این تفاوت که افزایش درصد کشت محصولات با روش قطره‌ای بیشتر خواهد بود، به طوری که متوسط درصد کشت قطره‌ای در مجموع از ۰/۶۳ به ۱/۸۱ درصد افزایش خواهد یافت. محصولات باغی که به شکل غرقابی آبیاری می‌شوند، در شرایط پایه تنها ۰/۵۶ درصد کل سطح کشت را شامل می‌باشند که با افزایش قیمت انرژی تا سطح S\_E4 به ۰/۶۸ درصد کشت افزایش خواهند یافت. در مقابل متوسط درصد کشت محصولات زراعی با روش آبیاری غرقابی در طول دوره شبیه‌سازی، با افزایش قیمت انرژی برق کاهش ۳/۵۷ درصدی در سطح کشت را نشان می‌دهد به گونه‌ای که سطح کشت آن‌ها در مجموع از ۹۴/۹۷ درصد به ۹۱/۴۰ درصد در طول دوره برنامه‌ریزی کاهش می‌یابد.

**نتایج هیدرولوژیکی:** در این قسمت، مقدار کل آب مصرف شده در بخش کشاورزی منطقه و اثرات آن روی بیلان آب، ارتفاع لایه اشباع آبخوان و سطح ایستابی آب در طول افق زمانی مورد بررسی تحت شرایط پایه و سناریوهای تعدیل پارانه انرژی، شرح داده می‌شود.

**بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی:** بر اساس اطلاعات جدول ۳، تحت شرایط سناریو پایه، متوسط سالانه کل آب پمپاژ شده در طول سال‌های شبیه‌سازی معادل ۵۹/۱ میلیون مترمکعب بوده است. در سناریو S\_E2 بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی ۲۳/۲۸ درصد نسبت به سناریو پایه کاهش می‌یابد و به ۴۵/۳۴ میلیون مترمکعب می‌رسد. این میزان تحت سناریو S\_E3 به ۳۳/۲۹ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. در نهایت در سناریو S\_E4، کاهش بهره‌برداری از آب زیرزمینی برای فعالیت‌های کشاورزی در حدود ۶۰/۹۱ درصد نسبت به سناریو پایه می‌باشد. نتایج کلی این بخش بیانگر آن است که کل میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی که معادل حجم آب پمپاژ شده برای آبیاری محصولات در دشت مهیار بر حسب متر مکعب می‌باشد، تحت شرایط سناریوهای تعدیل پارانه انرژی نسبت به شرایط حاکم در منطقه با نرخ بسیار شدیدتری در طول دوره شبیه‌سازی، کاهش پیدا کرده است.

سودآوری محصول یونجه باعث شده درصد کشت این محصول در شرایط اخیر بر خلاف سایر محصولات بارانی روند افزایشی خود را حفظ نماید. در روش‌های غرقابی به دلیل راندمان پایین مصرف آب، درصد کشت محصولات غرقابی عموماً با افزایش قیمت انرژی کاهش یافته است. به طوری که درصد کشت محصولات گندم، ارزن، ذرت علوفه‌ای، آفتابگردان به دلیل نیاز آبی بالاتر تحت سناریوهای افزایش قیمت انرژی کاهش یافته‌اند. این میزان کاهش برای محصول گندم، از ۵۴/۱۰ درصد تحت سناریو پایه تا ۵۱/۵۱ درصد تحت سناریو S\_E4 بوده است که بیشترین میزان کاهش یعنی معادل ۲/۵۹ درصد در بین محصولات کشت شده در منطقه را شامل بوده است. کاهش درصد کشت جو از ۲۱/۱۷ تا ۲۰/۵۴، ارزن از ۱/۵۷ تا ۱/۴۸، ذرت علوفه‌ای از ۲/۵۶ تا ۲/۴۴ و برای آفتابگردان از ۱۴/۱۱ تا ۱۳/۳۵ درصد بوده است. در مقابل متوسط درصد کشت سایر محصولات غرقابی علی‌رغم افزایش قیمت انرژی، از افزایش نسبی برخوردار بوده‌اند. برای مثال متوسط درصد کشت محصول یونجه از ۱/۲۲ درصد در شرایط پایه به ۱/۸۳ درصد در شرایط سناریو S\_E4 افزایش یافته است. خربزه نیز از ۰/۱۶ به ۰/۱۹ درصد افزایش یافته است. علی‌رغم نیاز آبی بالاتر محصولات یونجه و خربزه نسبت به سایر محصولات زراعی، متوسط درصد کشت آن‌ها تحت سناریوهای تعدیل پارانه انرژی افزایش یافته است که این مسأله را می‌توان به بازده اقتصادی بالاتر آن‌ها مربوط دانست. این موضوع برای محصولات باغی پسته و انگور نیز صادق است به طوری که متوسط درصد کشت پسته از ۰/۲۰ به ۰/۲۸ درصد و برای انگور از ۰/۳۱ به ۰/۳۵ درصد افزایش خواهد یافت. درصد کشت کلزا و زیتون نیز با افزایش قیمت انرژی به ترتیب در سطح ۰/۰۸ و ۰/۰۵ درصد ثابت مانده است.

نتایج کلی این بررسی حاکی از آن است که متوسط درصد کشت محصولات زراعی با روش آبیاری بارانی در مجموع از ۳/۸۴ درصد تحت سناریو پایه به ۶/۱۱ درصد تحت سناریو S\_E4 افزایش خواهد یافت. این موضوع برای محصولات باغی با هر دو روش

**جدول ۲- متوسط درصد کشت محصولات تحت سناریوهای تعدیل یارانه انرژی برق در طول دوره شبیه‌سازی**

S_E4	S_E3	S_E2	S_E1	روش آبیاری	نام محصول
۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۷۸	بارانی	گندم
۵۱/۵۱	۵۱/۸۹	۵۲/۷۲	۵۴/۱۰	غرقابی	
۱/۰۹	۱/۱۶	۱/۱۳	۰/۸۸	بارانی	جو
۲۰/۵۴	۲۰/۶۲	۲۱/۱۴	۲۱/۱۷	غرقابی	
۱/۴۸	۱/۴۷	۱/۴۷	۱/۵۷	غرقابی	ارزن
۳/۴۰	۲/۹۹	۲/۲۶	۱/۶۰	بارانی	یونجه
۱/۸۳	۱/۸۹	۱/۶۸	۱/۲۲	غرقابی	
۰/۷۱	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۵۸	بارانی	ذرت علوفه‌ای
۲/۴۴	۲/۴۸	۲/۵۴	۲/۵۶	غرقابی	
۱۳/۳۵	۱۳/۳۴	۱۳/۴۲	۱۴/۱۱	غرقابی	آفتابگردان
۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۱۶	غرقابی	خربزه
۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	غرقابی	کلزا
۱/۸۱	۱/۴۰	۰/۹۲	۰/۶۳	قطره ای	انار
۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۴۰	۰/۳۱	غرقابی	انگور
۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۲۷	۰/۲۰	غرقابی	پسته
۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	غرقابی	زیتون
۶/۱۱	۵/۸۹	۵/۱۲	۳/۸۴	جمع بارانی	
۹۱/۴۰	۹۱/۹۹	۹۳/۲۵	۹۴/۹۷	جمع غرقابی_زراعی	
۱/۸۱	۱/۴۰	۰/۹۲	۰/۶۳	جمع قطره ای	
۰/۶۸	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۵۶	جمع غرقابی_باغی	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

**جدول ۳- متوسط پمپاژ آب زیرزمینی تحت سناریوهای تعدیل یارانه انرژی برق در طول دوره شبیه‌سازی (میلیون مترمکعب)**

S_E4	S_E3	S_E2	S_E1	شرح
۴۶۲/۰۴	۶۶۵/۷۶	۹۰۶/۸۸	۱۱۸۲/۰۹	مجموع دوره
۲۳/۱۰	۳۳/۲۹	۴۵/۳۴	۵۹/۱۰	متوسط دوره
-۶۰/۹۱	-۴۳/۶۸	-۲۳/۲۸	۰/۰۰	درصد تغییر نسبت به سناریو پایه

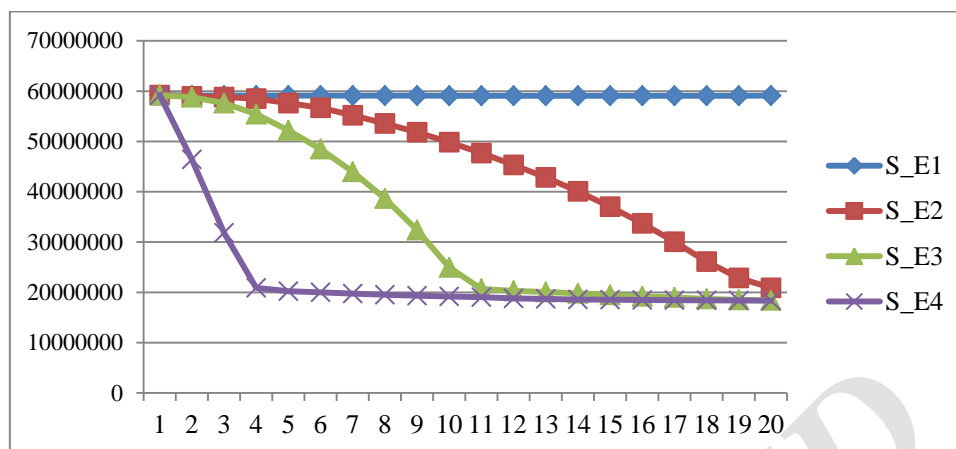
مأخذ: یافته‌های تحقیق

روند کاهش در این سناریو نسبتاً یکنواخت می‌باشد. در سناریو S\_E3 در سال‌های اولیه دوره، میزان بهره‌برداری آب زیرزمینی با نرخ نسبتاً یکنواخت کاهش می‌یابد، سپس این میزان کاهش تا سال یازدهم دوره با نرخ بیشتری ادامه می‌یابد و از این سال تا پایان دوره کاهش بهره‌برداری با نرخ بسیار کم ادامه می‌یابد و در نهایت به ۱۸/۴ میلیون مترمکعب در سال بیستم دوره خواهد رسید. در نهایت و در سناریو S\_E4 که رشد قیمتی حامل انرژی برق با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد، میزان بهره‌برداری آب طی چهار سال اول دوره با نرخ قابل توجه از ۵۹/۱ به ۲۰/۸ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد و پس از این

در شکل ۳، میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی برای فعالیت‌های کشاورزی دشت مهیار شمالی در سال‌های شبیه‌سازی تحت سناریوهای مختلف سیاستی تعدیل یارانه انرژی ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد با اجرای سناریو S\_E2 بر خلاف سناریو پایه که از یک روند نسبتاً ثابتی در بهره‌برداری آب زیرزمینی در سال‌های مختلف برخوردار می‌باشد، میزان بهره‌برداری آب در طول سال‌های مختلف شبیه‌سازی از یک روند کاهشی برخوردار خواهد بود و از ۵۹/۱ میلیون مترمکعب در سال ابتدایی دوره به ۲۰/۹ میلیون مترمکعب در سال انتهایی دوره مورد بررسی کاهش می‌یابد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود،

بهره‌برداری آب زیرزمینی در سال پایانی دوره مورد بررسی ۱۸/۳ میلیون مترمکعب خواهد بود.

سال، کاهش میزان بهره‌برداری آب با نرخ بسیار کم تا پایان دوره ادامه می‌یابد، به طوری که میزان کل

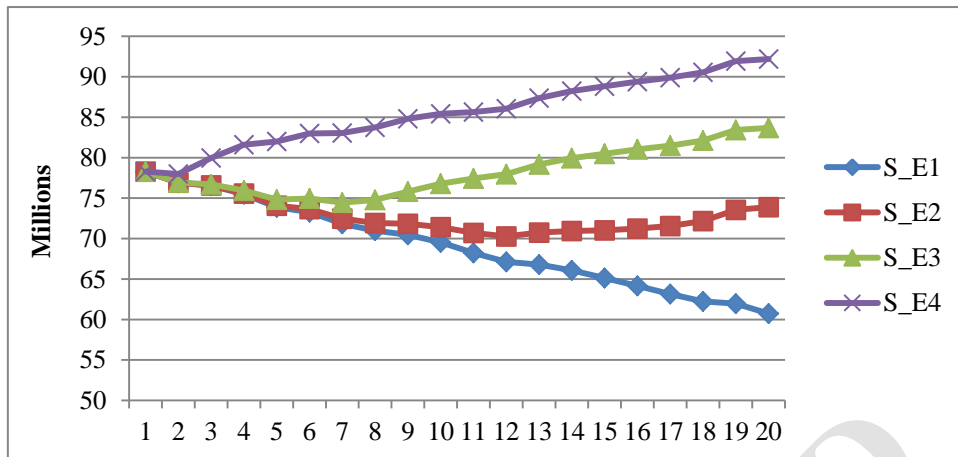


شکل ۳- بهره‌برداری آب زیرزمینی در بخش کشاورزی دشت مهیار شمالی در سال‌های شبیه‌سازی تحت سناریوهای تعدیل یارانه انرژی

طول سال‌های شبیه‌سازی از یک روند افزایش برخوردار شود که این مسأله خود شرایط را برای برخورداری آبخوان منطقه از بیلان مثبت فراهم می‌نماید. سناریو سیاستی اخیر منجر به افزایش حجم آب آبخوان به میزان ۱۷/۷۵ درصد در طول سال‌های شبیه‌سازی می‌شود، به طوری که حجم آب آبخوان از ۷۸/۳ میلیون مترمکعب در سال اول به ۹۲/۱ میلیون مترمکعب در سال آخر دوره برنامه‌ریزی افزایش می‌یابد. این موضوع بیانگر آن است که با اعمال سیاست تعدیل یارانه انرژی، میزان بهره‌برداری از آب به دلیل افزایش هزینه نهایی کاهش می‌یابد که خود منجر به کاهش سطح زیرکشت بسیاری از محصولات به ویژه محصولات زراعی با روش آبیاری غرقایی می‌شود. این بدان مفهوم است که محدودیت بیشترین مصرف آب قابل دسترس تحت شرایط افزایش قیمت انرژی به خوبی کاهش می‌یابد چرا که ملاحظه شد ذخیره آب آبخوان با لحاظ سیاست اخیر بهبود می‌یابد. به عبارت دیگر، تحت شرایط این سیاست، آب مورد استفاده برای آبیاری محصولات کشاورزی منطقه در زمان دیرتری نسبت به سناریو پایه با محدودیت بیشینه آب قابل دسترس برخوردار می‌کند. نتایج این قسمت بیانگر آن است که در پایان دوره شبیه‌سازی بهره‌برداران می‌توانند آب بیشتری را برای محصولات تحت شرایط سناریو سیاستی تعدیل یارانه انرژی

بنابراین در نتیجه اجرای این سیاست می‌توان انتظار داشت، آب بیشتری در سال‌های انتهایی قابل دسترس باشد. این موضوع را می‌توان در شکل ۴، ملاحظه نمود. بررسی این نمودار نشان می‌دهد میزان آب قابل دسترس آبخوان تحت شرایط پایه (S\_E1) در طول سال‌های شبیه‌سازی با روند نزولی مواجه می‌باشد به گونه‌ای که از ۷۸/۳ میلیون مترمکعب در سال اول برنامه به ۶۰/۷ میلیون مترمکعب در سال پایانی خواهد یافت. به عبارت دیگر حجم آب قابل دسترس آبخوان در طول سال‌های شبیه‌سازی معادل ۲۹ درصد کاهش می‌یابد. این در حالی است که با اعمال سناریو S\_E2 میزان آب قابل دسترس به ۷۳/۹ میلیون مترمکعب در سال پایانی می‌رسد که کاهش معادل ۵/۶ درصد را در میزان آب قابل دسترس در پایان سال‌های شبیه‌سازی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود، در این شرایط ظرفیت آبخوان در انتهای دوره برنامه‌ریزی نسبت به شرایط پایه به طور قابل توجهی بهبود یافته است. با اعمال سناریو S\_E3 همانطور که ملاحظه می‌شود، میزان آب آبخوان در ابتدا از یک روند کاهشی برخوردار می‌باشد، به طوری که از ۷۸/۳ میلیون مترمکعب در سال اول به ۷۴/۷ میلیون متر مکعب در سال هشتم برنامه کاهش می‌یابد و سپس با یک روند افزایشی به ۸۳/۷ میلیون مترمکعب در سال پایانی خواهد رسید. اجرای سناریو سیاستی S\_E4 باعث می‌شود حجم آب آبخوان در

نسبت به شرایط حاکم کنونی در آبخوان دشت مهیار داشته باشند.

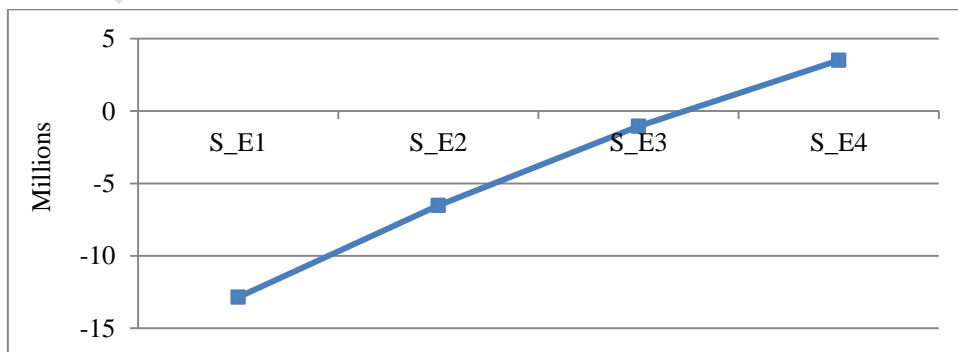


شکل ۴- ظرفیت آبخوان دشت مهیار شمالی تحت شرایط سناریو پایه و سناریوهای تعدیل یارانه انرژی در طی سال‌های شبیه‌سازی

تحت سناریو S\_E2 در طول سال‌های بررسی معادل منفی ۶/۵ میلیون مترمکعب می‌باشد که نسبت به شرایط پایه بهبود قابل توجهی را نشان می‌دهد. با اجرای سناریو سیاستی S\_E4، بیلان آب آبخوان از وضعیت مثبت برخوردار می‌شود. با این حال همان‌طور که ملاحظه شد عملاً اجرای سناریو اخیر به دلیل کاهش قابل توجه در منافع اقتصادی حاصل از فعالیت‌های کشاورزی امکان‌پذیر نیست.

**ارتفاع لایه اشباع:** الگوهای مصرف آب در سناریوهای مختلف تعدیل یارانه انرژی برق منجر به اثرات متفاوتی بر ارتفاع لایه اشباع در طول زمان خواهد داشت. جدول ۴، تغییرات ضخامت لایه اشباع را در طول دوره شبیه‌سازی تحت سناریوهای مختلف افزایش قیمت انرژی برق نشان می‌دهد.

**تعالی آب زیرزمینی:** تغییرات ایجاد شده بر بیلان آب آبخوان تحت سناریوهای مختلف سیاستی تعدیل یارانه انرژی در شکل ۵، آمده است. به طوری که از این نمودار نمایان است تحت شرایط پایه، بهره‌برداری‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی باعث می‌شود بیلان آبخوان در انتهای سال‌های شبیه‌سازی منفی باقی بماند و آبخوان با متوسط کاهش سالانه معادل ۱۲/۸ میلیون مترمکعب همراه باشد. سیاست تعدیل یارانه انرژی در این منطقه و دشت می‌تواند تا حدودی به بهبود وضعیت بیلان آبخوان کمک نماید. همان‌طور که در نمودار مشخص است، با افزایش قیمت انرژی برق تا سطح S\_E3 وضعیت بیلان آبخوان بهبود یافته است ولی همچنان منفی است. به طوری که از ۱۲/۸ میلیون مترمکعب در شرایط پایه به ۱/۰۵ میلیون مترمکعب تحت سناریو S\_E3 رسیده است. متوسط بیلان آب



شکل ۵- متوسط تغییرات بیلان آب زیرزمینی در سناریوهای مختلف تعدیل یارانه انرژی در طول سال‌های شبیه‌سازی

جدول ۴- متوسط ضخامت لایه اشباع در سناریوهای مختلف تعدیل پارانه انرژی طی سال‌های شبیه‌سازی

S_E4	S_E3	S_E2	S_E1	سال
۸۵	۸۵	۸۵	۸۵	۱
۸۴/۸۳	۸۴/۲۶	۸۴/۲۵	۸۴/۲۴	۲
۸۵/۹۰	۸۴/۱۳	۸۴/۰۷	۸۴/۰۵	۳
۸۶/۷۸	۸۳/۷۲	۸۳/۵۲	۸۳/۴۷	۴
۸۷	۸۳/۱۰	۸۲/۶۷	۸۲/۵۷	۵
۸۷/۵۲	۸۳/۱۷	۸۲/۴۴	۸۲/۲۴	۶
۸۷/۵۵	۸۲/۸۸	۸۱/۷۷	۸۱/۴۲	۷
۸۷/۹۰	۸۳/۰۷	۸۱/۴۷	۸۰/۹۳	۸
۸۸/۴۷	۸۳/۶۴	۸۱/۴۲	۸۰/۶۴	۹
۸۸/۷۹	۸۴/۱۸	۸۱/۱۸	۸۰/۱۱	۱۰
۸۸/۹۰	۸۴/۵۳	۸۰/۷۷	۷۹/۳۵	۱۱
۸۹/۱۱	۸۴/۸۲	۸۰/۵۳	۷۸/۷۰	۱۲
۸۹/۷۹	۸۵/۴۷	۸۰/۸۰	۷۸/۵۱	۱۳
۹۰/۲۳	۸۵/۹۰	۸۰/۹۱	۷۸/۰۹	۱۴
۹۰/۵۴	۸۶/۱۸	۸۰/۹۶	۷۷/۵۲	۱۵
۹۰/۸۳	۸۶/۴۷	۸۱/۰۹	۷۶/۹۵	۱۶
۹۱/۰۸	۸۶/۷۲	۸۱/۲۶	۷۶/۳۳	۱۷
۹۱/۴۱	۸۷/۰۵	۸۱/۶۱	۷۵/۷۹	۱۸
۹۲/۱۱	۸۷/۷۵	۸۲/۳۸	۷۵/۶۱	۱۹
۹۲/۲۴	۸۷/۸۸	۸۲/۵۸	۷۴/۸۷	۲۰
۸۸/۸۰	۸۵	۸۲/۰۴	۷۹/۸۲	متوسط سالانه

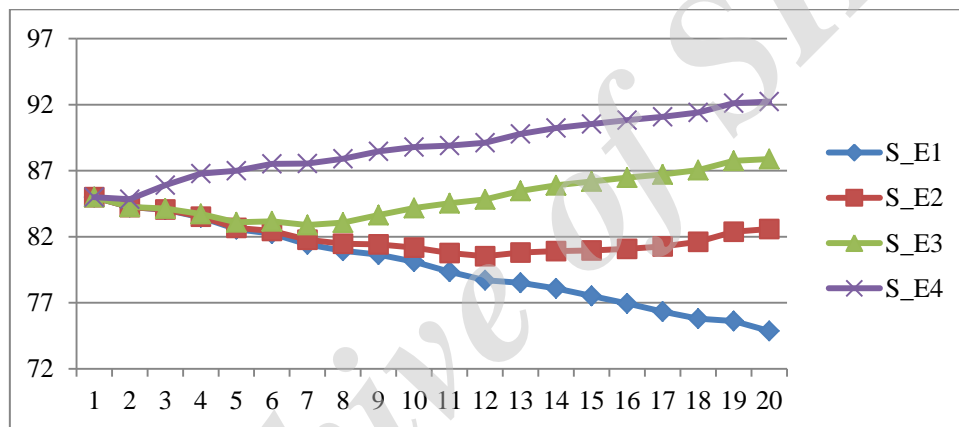
مأخذ: یافته‌های تحقیق

پایه به میزان ۷/۷۱ متر به ضخامت لایه اشباع در پایان دوره برنامه‌ریزی افزوده است. به نظر می‌رسد با توجه به شرایط هیدرولوژیکی و آب و هوایی حاکم در منطقه و آبخوان، سناریو S\_E2 یعنی افزایش سالانه ۱۰ درصد به قیمت هر کیلووات ساعت انرژی برق، بتواند شرایط نسبتاً پایداری را در حفظ منابع آب ایجاد نماید. متوسط ضخامت لایه اشباع در سناریوهای S\_E3 و S\_E4 به ترتیب از ۸۵ متر در سال اول به ۸۷/۸۸ و ۹۲/۲۴ متر در سال پایانی دوره مورد بررسی رسیده است. در این دو سناریو، شاهد روند افزایشی در ارتفاع لایه اشباع آبخوان در طول سال‌های مورد بررسی می‌باشیم به گونه‌ای که متوسط ضخامت

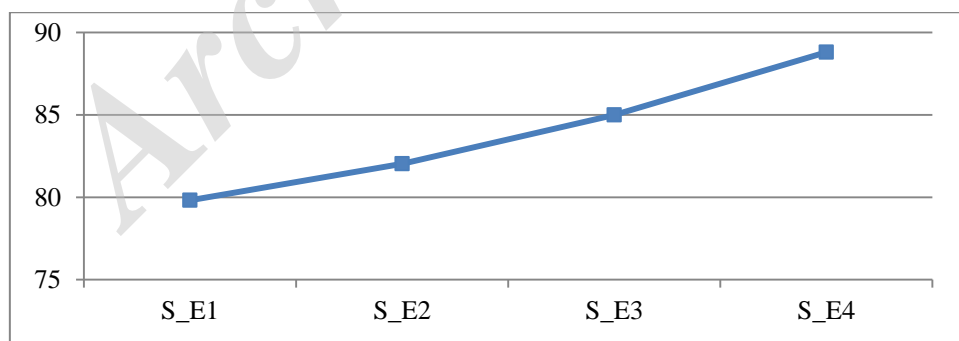
همان‌طور که ملاحظه می‌شود، متوسط ضخامت لایه اشباع آبخوان در شرایط سناریو پایه ۸۵ متر می‌باشد که این میزان در طول سال‌های مورد بررسی در نتیجه بهره‌برداری بیشتر منابع آب زیرزمینی آبخوان به ۷۴/۸۷ متر کاهش یافته است که در طول دوره برنامه‌ریزی کاهش معادل ۱۰/۱۳ متر (۱۱/۹ درصد) را نشان می‌دهد. کاهش ضخامت لایه اشباع تحت شرایط سیاست تعدیل پارانه انرژی به دلیل بهره‌برداری کمتر از منابع آب، کمتر از کاهش در شرایط سناریو پایه است. به طوری که، متوسط ضخامت لایه اشباع در سال پایانی تحت شرایط سناریو S\_E2، ۸۲/۵۸ متر می‌باشد که نسبت سناریو

سناریو پایه و آخرین سناریو تعدیل یارانه انرژی یعنی S\_E4 حاکی از افزایشی معادل ۱۷/۳۴ متر در ارتفاع لایه اشباع می‌باشد. در شکل ۷، متوسط سالانه ضخامت لایه اشباع در سناریوهای مختلف تعدیل یارانه انرژی در آبخوان دشت مهیار شمالی ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش قیمت انرژی به دلیل افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و در نتیجه کاهش میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی متوسط سالانه ضخامت لایه اشباع از یک روند افزایشی برخوردار خواهد شد. به طوری که این متوسط از ۷۹/۸۲ متر در شرایط پایه به ۸۸/۸۰ متر در آخرین سناریو مربوط به تعدیل یارانه انرژی، افزایش می‌یابد.

لایه اشباع آبخوان از ۸۵ متر در سال اول به ترتیب به میزان ۲/۸۸ و ۷/۲۴ متر در سال پایانی بهبود یافته است. شکل ۶، اثرات مصرف آب را در سناریوهای مختلف سیاست تعدیل یارانه انرژی بر روی ضخامت لایه اشباع آبخوان دشت مهیار شمالی نشان می‌دهد. نمودار فوق یک تفاوت قابل ملاحظه را نسبت به ارتفاع لایه اشباع در سناریو پایه نسبت به آخرین سناریو تعدیل یارانه انرژی در پایان سال شبیه‌سازی نشان می‌دهد. در ابتدای سال شبیه‌سازی، ارتفاع لایه اشباع در همه سناریوها ۸۵ متر می‌باشد، اما مصرف بیشتر آب تحت شرایط سناریو پایه منجر به کاهش شدیدتر ضخامت لایه اشباع در این سناریو نسبت به سایر سناریوها می‌شود. مقایسه سال پایانی بین دو



شکل ۶- ضخامت لایه اشباع در سناریوهای مختلف تعدیل یارانه انرژی طی سال‌های شبیه‌سازی



شکل ۷- متوسط سالانه ضخامت لایه اشباع تحت سناریو پایه و سناریوهای تعدیل یارانه انرژی طی سال‌های شبیه‌سازی

بررسی به‌عنوان یک شاخص اقتصادی محاسبه و تغییرات آن در سناریوهای مختلف بررسی شده است. نتایج حاکی از کاهش این شاخص می‌باشد به طوری که اجرای سیاست تعدیل یارانه انرژی تحت سناریو S\_E2، ارزش کنونی خالص حاصل از فعالیت‌های

**نتایج اقتصادی:** در جدول ۵، اثرات اقتصادی اعمال سناریوهای سیاستی تعدیل یارانه انرژی در طول دوره شبیه‌سازی تحت سناریوهای مختلف تعدیل یارانه انرژی ارائه شده است. بر این اساس ارزش کنونی خالص منافع فعالیت‌های کشاورزی منطقه مورد

کشاورزی را نسبت به شرایط پایه ۱۳/۱ درصد کاهش داده است به طوری که این شاخص از ۷۲۷/۸ میلیون ریال به ۶۳۱/۹ میلیون ریال کاهش یافته است. این روند کاهشی با افزایش قیمت انرژی ادامه می‌یابد و به ۴۹۴/۳ میلیون ریال (۷۰/۷۳ درصد) تحت سناریو S\_E3 نسبت به سناریو پایه می‌رسد که البته این موضوع به دلیل کاهش بیشتر میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه کاهش سطح

فعالیت‌های کشاورزی در قیمت‌های بالاتر انرژی است. با اجرای سناریو سیاستی S\_E4 که روند افزایشی قیمت انرژی برق را تا رسیدن به قیمت تمام شده آن دنبال می‌کند، ارزش کنونی منافع اقتصادی حاصل از فعالیت‌های کشاورزی به شدت کاهش می‌یابد و به ۱۸۰/۳ میلیون ریال خواهد رسید. این میزان، کاهشی معادل ۷۵/۲ درصد در شاخص اقتصادی مذکور را نسبت به سناریو پایه نشان می‌دهد.

جدول ۵- ارزش کنونی خالص منافع فعالیت‌های کشاورزی تحت سناریوهای تعدیل یارانه انرژی در دوره شبیه‌سازی (میلیون ریال)

S_E4	S_E3	S_E2	S_E1	شرح
۱۸۰/۳	۴۹۴/۳	۶۳۱/۹	۷۲۷/۸	بازده ناخالص سالانه
-۷۵/۲	-۳۲/۱	-۱۳/۱	۰	درصد تغییر نسبت به سناریو پایه

مأخذ: یافته‌های تحقیق

### نتیجه‌گیری

هدف اصلی این تحقیق ارزیابی واکنش بهره‌برداران واحد هیدرولوژیکی دشت مهبیار شمالی واقع در حوزه آبخیز زاینده‌رود تحت شرایط کاهش یارانه انرژی برق در یک افق ۲۰ ساله بلندمدت می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد که در محدوده آبخوان مورد مطالعه، بهره‌برداری‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در شرایط فعلی که هیچ محدودیتی در پمپاژ آب وجود ندارد، 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. بهره‌برداری زیاد از منابع آب زیرزمینی در شرایط پایه منجر به افزایش ارتفاع سطح آب در طول سال‌های شبیه‌سازی می‌شود که در نتیجه آن هزینه نهایی پمپاژ آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. این مسأله در یک مدل برنامه‌ریزی، تغییر الگوی کشت و در نتیجه کاهش بازده ناخالص فعالیت‌های کشاورزی در منطقه را به دنبال خواهد داشت. کاهش این دو عامل یعنی ظرفیت هیدرولوژیکی و اقتصادی آبخوان 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 تعدیل یارانه انرژی و تأثیر آن بر متغیرهای اقتصادی و

هیدرولوژیکی آبخوان دشت مهبیار شمالی ملاحظه شد با تغییر الگوی کشت در جهت محدودتر شدن کشت محصولات با آبیاری غرقابی و گسترده‌تر شدن درصد کشت محصولات با آبیاری تحت فشار و در نتیجه بهره‌برداری کمتر از منابع آب زیرزمینی، متغیرهای هیدرولوژیکی اعم از بیلان آب زیرزمینی، ارتفاع لایه اشباع آبخوان و سطح ایستایی آبخوان می‌تواند در سطح قابل ملاحظه‌ای بهبود یابد. با این حال، به دلیل تأثیر کاهش یارانه انرژی بر منافع اقتصادی در بخش کشاورزی منطقه، ضروری است در تعیین و انتخاب سناریوی قیمتی صحیح و کارا برای انرژی، تمامی ابعاد و پیامدهای مثبت و منفی آن مورد توجه قرار گیرد. به عبارت دیگر سیاست کاهش یارانه انرژی باید به گونه‌ای اعمال شود که علاوه بر بهبود پایداری کشاورزی و حفظ منابع حیاتی آب، منافع اقتصادی و اجتماعی بخش کشاورزی دچار نوسان زیادی نشود. با عنایت به بررسی سناریوهای مختلف تعدیل یارانه انرژی و تأثیر آن بر متغیرهای اقتصادی و هیدرولوژیکی آبخوان دشت مورد بررسی، به نظر می‌رسد اجرای سناریو قیمتی S\_E2 پایداری نسبی کشاورزی و منابع آب منطقه را فراهم نماید. در این سناریو قیمتی با صرف نظر از ۱۳/۱ درصد منافع اقتصادی بخش کشاورزی منطقه، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به میزان ۲۳/۲۸ درصد کاهش می‌یابد

میزان ۲/۴ متر کاهش خواهد یافت. اجرای سناریوهای بعدی علی‌رغم بهبود شدیدتر در وضعیت هیدرولوژیکی آبخوان، به دلیل کاهش شدید در منافع اقتصادی بهره‌برداران قابلیت اجرایی خوبی ندارند.

که در نتیجه آن وضعیت وخیم بیلان آب از ۱۲/۸- به ۶/۵- میلیون متر مکعب بهبود خواهد داد. ضمن این که در این سناریو ارتفاع لایه اشباع از ۸۵ متر در سال پایه به ۸۲/۶ متر در سال پایانی برنامه یعنی تنها به

#### منابع مورد استفاده

- Balali, H. and D. Viaggi. 2015. Applying a system dynamics approach for modeling groundwater dynamics to depletion under different economical and climate change scenarios. *Water*, 7: 5258-5271.
- Balali, H., S. Khalilian, M. Ahmadian and S. Torabi. 2010. Analysis of water pricing infraction on balance and groundwater exploitation in agricultural sector. *Journal of Agricultural Research*, 8(3): 95- 106 (in Persian).
- Barikani, E. 2012. Consolidated optimum use of surface and groundwater resources in the production of crops, according to the cropping pattern in Qazvin Plain. PhD Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, 125 pages (in Persian).
- Brooke, A., D. Kendrick and A. Meeraus. 1988. GAMS: A Users's Guide. The Scientific Press, 24 pages.
- Clark, M., J. Peterson and B. Golden. 2009. Effects of high commodity prices on western kansas crop patterns and the Ogallala Aquifer. *KFMA Newsletter*, 3: 1-3.
- Cortignani, R. and S. Severini. 2009. Modeling farm-level adoption of deficit irrigation using positive mathematical programming. *Agricultural Water Management*, 96: 1785-1791.
- Heidecke, C. and T. Heckelei. 2010. Impacts of changing water inflow distributions on irrigation and farm income along the Dr'aa River in Morocco. *Agricultural Economics*, 41: 135-149.
- Howitt, R.E., J. Medellín-Azuara, M. Duncan and J.A. Lund. 2012. Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. *Environmental Modelling and Software*, 38: 244-258.
- Johnson, J.W. 2003. Regional policy alternatives in response to depletion of the Ogallala Aquifer. Unpublished Doctoral Dissertation. Texas Tech University, Lubbock, Texas.
- Karimi, F. and M. Zahedi. 2011. Determine the optimal allocation of agricultural subsidies to consumers and producers. *Journal of Agricultural Economics Research*, 2(4): 99-120 (in Persian).
- Maneta, M. P. Torres, M. Wallender, W. Vosit, S. Howitt, R. Rodrigues, L. Bassoi and S. Panday. 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): 114-122.
- Minciardi, R., M. Robba and S. Roberta. 2007. Decision models for sustainable groundwater planning and control. *Journal of control Engineering Practice*, 15: 1013-1029.
- Mousavi, N., Z. Farajzade and F. Taheri. 2013. Welfare effects of reducing energy subsidies in the agricultural sector of Iran. *Journal of Economics and Agricultural Development*, 26(4): 298- 306 (in Persian).
- Nikouei, A., M. Zibaei and F.A. Ward. 2012. Incentives to adopt irrigation water saving measures for wetlands preservation: an integrated basin scale analysis. *Journal of Hydrology*, 464-465(2012): 216-232 .
- Pahlevani, M., K. Tayebi, P. Taheri and V. Kalate. 2013. Determining changes in the liberalization of agricultural inputs in Release of inputs price. *Journal of Economics and Agricultural Development*, 26(4): 228- 236 (in Persian).
- Shafipour, M. and A. Harati. 2005. The effect of rising energy prices on the economic, social and environmental. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22: 31-35 (in Persian).
- Terrell, B. 1998. Economic impacts of the depletion of the Ogallala Aquifer: an application to the Texas high plains. MSc Thesis, Texas Tech University, Lubbock, Texas, 135 pages.
- Tsur, Y. and A. Dinar. 2004. On the relative efficiency of alternative methods for pricing irrigation water and their implementation. *World Bank Economic Review*, 11: 243-262.
- Wheeler, A. 2008. Water conservation program alternatives for the Southern Ogallala Aquifer. Unpublished dissertation. Texas Tech University.