# ارزیابی اقتصادی سیاست قیمت‌گذاری آب زیرزمینی در دشت ورامین

حامد نجفی علمدارلو[۱]، مجید احمدیان*[۲]، صادق خلیلیان[۱]

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۷/۱۵

## چکیده

ایران به علت قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک همواره با پدیده کم آبی مواجه بوده است. از طرف دیگر برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در سال‌های اخیر، منجر به کاهش سطح این آب‌ها شده و پایداری آنها را به خطر انداخته است. یکی از آبخوان‌هایی که با پدیده‌ی ناپایداری مواجه است، دشت ورامین است که از سوی وزارت نیرو به‌عنوان یکی از دشت‌های ممنوعه ایران در نظر گرفته شده است. در این تحقیق با استفاده از برنامه‌ریزی پویای قطعی به ارزیابی سیاست قیمت‌گذاری آب بر روی بهبود بیلان آب در آبخوان دشت ورامین و الگوی بهینه کشت در دو حالت مدرن و سنتی پرداخته شده است. دوره مطالعه ۱۰ ساله بوده و نرخ تنزیل نیز ۲۰ درصد می‌باشد. داده‌های مورد نیاز از طریق شرکت منابع آب ایران و تکمیل پرسشنامه به روش طبقه بندی ساده جمع‌آوری شده است. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که افزایش در قیمت آب میتواند منجر به کاهش استخراج از آب زیرزمینی شده و بیلان آب را بهبود ببخشد. اما کشاورزان مدرن در این زمینه عملکرد بهتری دارند. از این رو کشاورزان مدرن به علت اینکه حساسیت کمتری نسبت به تغییر در قیمت آب دارند، میزان درآمد خالص ایشان در نتیجه اعمال سیاست قیمت‌گذاری کمتر دچار تغییر خواهد شد. حال با توجه به اینکه غالب کشاورزی در منطقه به‌صورت آبیاری سنتی می‌باشد، توصیه می‌شود که قیمت‌گذاری آب همراه با سیاست مکمل مانند دادن یارانه برای بهبود کارایی سیستم آبیاری همراه باشد.

**طبقه‌بندی *JEL***: *C6, C23, D6, Q25*

**واژه‌های کلیدی:** آب زیرزمینی، دشت ورامین، سیاست قیمت‌گذاری، برنامه ریزی پویا.

۱- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

۲- استاد دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران.

*نویسنده مسئول: mahmadian@ut.ac.ir

Archive of SID

## پیشگفتار

آب ارزشمندترین موهبت طبیعی است که نقش بسزایی در رشد و توسعه تمدن‌ها ایفا نموده است. متوسط بارندگی در ایران سالانه ۲۵۰ میلیمتر است که در حدود یک سوم متوسط جهانی می‌باشد، از طرفی متوسط تبخیر در کشور(۲۱۰۰ میلیمتر) در حدود سه برابر متوسط جهانی(۷۰۰ میلیمتر است). از این‌رو محدودیت آب، یکی از مهمترین عواملی است که می‌تواند توسعه کشور را دچار مشکل نماید. این تهدید در کشورهایی که دارای منابع آب شیرین کمتری هستند، بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد (علیزاده، ۱۳۸۲).

در ایران کشاورزی دارای بیشترین آب مصرفی می‌باشد و در حدود ۹۰٪ از آب استحصال شده در این بخش به مصرف می‌رسد. سالانه به طور متوسط بیش از ۹۳ میلیار مترمکعب آب برداشت می‌شود که در حدود ۸۶ میلیارد مترمکعب آن در بخش کشاورزی به مصرف می‌رسد. بقیه آب نیز به بخشهای صنعت و خانگی اختصاص می‌یابد. راندمان آبیاری در بخش کشاورزی در حدود ۴۰ درصد بوده و بقیه آن در مزارع تلف می‌گردد (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۲).

به باور بسیاری از محققین حوزه آب، در صورت عدم دخالت در مدیریت آب زیرزمینی، این منبع طبیعی به صورت مناسب اختصاص نخواهد یافت. به دلیل دسترسی آسان و سادگی بهره‌بردای از منابع آب زیرزمینی، میزان برداشت از این منابع برای استفاده‌های مختلف افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته و در بعضی مناطق باعث نابودی این منابع شده است(نیامنسی و مبو، ۲۰۰۹). و به همین خاطر مهمترین و ارزان‌ترین منبع تأمین آب، آب‌های زیرزمینی می‌باشند و بیشتر کشاورزان در مناطق خشک و نیمه خشک وابسته به استحصال آن هستند. برداشت بیش از حد در چند دهه اخیر منجر به کاهش قابل ملاحظه سطح ایستایی و افزایش هزینه‌های استحصال شده است(صبوحی و همکاران، ۱۳۸۶). همچنین کاهش ذخیره آب‌های زیرزمینی بر روی دیگر منابع طبیعی نیز موثر است. به‌عنوان مثال حیات بسیاری از محیط‌های زیست‌آبی به صورت مستقیم و غیرمستقیم به منابع آب زیرزمینی وابسته است (هاتون و اوانس، ۱۹۹۸).

یکی از منابع اصلی تامین آب در ایران منابع زیرزمینی است، اما برداشت بی‌رویه این منابع را با مشکل جدی مواجه کرده است، به طوری‌که میزان تخلیه در سال آبی ۸۸-۸۹ برابر با ۷۵/۷ میلیارد مترمکعب بوده است. ایران دارای ۶ حوزه آبریز اصلی می‌باشد که بزگترین آن حوزه مرکزی است که در این حوزه بیشترین تخلیه از آب زیرزمینی معادل با ۲۷/۴ میلیارد مکعب صورت می‌گیرد. دشت ورامین در حوزه مرکزی قرار دارد و مقدار تخلیه سالانه آب زیرزمینی آن برابر با ۴۱۴ میلیون مترمکعب است. مقدار افت ارتفاع سالانه آب زیرزمینی به طور متوسط ۱/۴ متر بوده و در سال گذشته بیش از ۲ متر کاهش یافته است، به طوریکه متوسط به آب رسیدن چاه در این منطقه

Archive of SID

حدود ۴۵ متر می‌باشد (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۰). یکی از واقعیت‌های مهم در منطقه ورامین این است که اگر بهره برداران مقدار استخراج خود را از آب‌های زیرزمینی کاهش ندهند، امکان دارد که کل کشاورزی منطقه به خطر افتد. در نتیجه بایستی همکاری‌ها در جهت کاهش در استخراج تقویت شده و مقدار استخراج هر بهره بردار به مقدار پایدار[1] آن کاهش یابد.

با بهره برداری بی‌رویه، کشاورزان با کاهش سود دهی و دیگر صنایع مصرف کننده آب نیز با کاهش سطح ایستایی آب و افزایش هزینه های استحصال مواجه گشته‌اند (صبوحی و همکاران، ۱۳۸۶). آگاهی از این شرایط، کشاورزان و دولت را نسبت به آینده کشاورزی نگران کرده است و همین دلیل طرح هایی در جهت عرضه بیشتر آب و مدیریت تقاضای آن مطرح شده است.

مطالعات اولیه در باره مدیریت آب زیرزمینی از مدل‌های هیدرولوژیکی ساده شروع می‌گردد. از سال ۱۹۶۰ که مدل‌های هیدرولوژیکی پیشرفته‌تر شده‌اند، از برنامه‌ریزی پویا برای مدیریت و مدلسازی آن استفاده شده است. از مطالعات اولیه می‌توان به مطالعه بارت (۱۹۶۴ و ۱۹۶۶) اشاره نمود که با توجه به مقدار و قیمت، رفاه اجتماعی را بهینه نموده و نشان می‌دهد که خرید و فروش حقوق آب می‌تواند باعث رسیدن به رفاه اجتماعی بهینه گردد. از ابزارهای سیاستی که می‌توانند به بهبود مدیریت در آبخوان‌ها کمک کنند، عبارتند از: اخذ مالیات (براون، ۱۹۷۴ و برون و داکن، ۱۹۷۲) سهمیه‌بندی و حقوق مالکیت (پروونچر، ۱۹۹۳). از این رو استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی پویا در مدیریت آبخوان‌ها قابل توجیه می‌باشد.

بلالی و همکاران (۱۳۸۹) در رساله خود به بررسی آثار مختلف سیاست‌گذاری بر روی برداشت بهینه آب در دشت بهار همدان پرداخته‌اند. ایشان از مدل برنامه ریزی پویای قطعی برای مدلسازی اقتصادی-هیدورلوژیکی استفاده نموده و اثر تغییر در قیمت آب و انرژی را بر روی بیلان آب زیرزمینی، ارتفاع آب و الگوی کشت مورد بررسی قرار داده اند. وی نتیجه گرفته است که افزایش در قیمت آب میتواند منجر به بهبود کارایی آب آبیاری و افزایش عمر آبخوان گردد. در نهایت پیشنها میگردد که افزایش در قیمت آب بایستی همراه با سیاست های مکمل اقتصادی صورت گیرد تا بتواند کاهش در درآمد کشاورز را به حداقل برساند.

باریکانی (۱۳۹۰) در رساله خود به بررسی استفاده تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی در دست قزوین پرداخته است. در این مطالعه از روش برنامه ریزی پویا استفاده شده و بهینه سازی الگوی کشت در با نرخ بهره ۱۶ درصد و راندمان آبیاری ۴۰ درصد در دو حالت انجام شده است. در حالت اول بهینه سازی بدون تغییر در قیمت حامل های انرژی انجام شده است و در حالت دوم با سناریو سازی قیمتی برای نهاده انرژی بهینه یابی انجام شده است. در حالت دوم که قیمت نهاده انرژی

۱. شرایط پایدار شرایطی است که در آن آب استخراج شده با میزان تغذیه طبیعی سفره برابر باشد.

Archive of SID

افزایش یافته است، میزان استحصال از آب کاهش یافته و الگوی کشت در این منطقه به سمت محصولاتی گرایش پیدا میکند که سهم آن ها در مصرف از آب زیرزمینی کمتر است. از این رو پیشنهاد می شود که الگوی کشت در این منطقه به سمت محصولاتی حرکت کند که به میزان کمتری از آبهای زیرزمینی ستفاده می کنند، در نتیجه پایداری آبخوان دشت قزوین را میتوانند افزایش دهند..

بریل و بارنس (۱۹۹۴) به مقایسه دو روش رقابتی و کنترل شده در استخراج از آبهای زیرمینی پرداخته اند. به عقیده ایشان استخراج از آبهای زیرزمینی منجر به بروز اثرات بیرونی می شود که باعث ایجاد تفاوت بین روش برداشت آزاد و کنترل شده خواهد شد. در این مطالعه نیز «اثر گیسر و سانچز» مورد آزمون قرار میگیرد. تابع هدفی که در اینجا مورد استفاد قرار گرفته میزان ارزش سود خالص است که از تفاوت درآمد حاصل از استخراج آب و هزینه های استحصال آن به دست می آید. در این مطالعه نتیجه گرفته میشود که هنگامی که تقاضا افزایش یابد یا آبدهی چاه کاهش یابد و یا نرخ تنزیل اجتماعی ناچیز باشد، آنگاه تفاوت بین روش رقابتی و روش کنترل شده زیادتر خواهد شد.

ناپ و السون (۱۹۹۶)مدیریت آب‌های زیرزمینی را با استفاده از یک تابع مطلوبیت برگشت پذیر مدل‌سازی نموده‌اند. تابع هدف مورد استفاده یک تابع مطلوبیت انتظاری است که با توجه به نرخ تنزیل بین دوره‌ای و احتمال وقوع ریسک در طی زمان، حداکثر می‌گردد. در اینجا از یک مدل برنامه‌ریزی شبکه‌ای استفاده شده است که مقدار بهینه آن با توجه به محدودیت موجودی منابع و متغیرهای ریسک بهینه می‌گردد. ایشان نتیجه می‌گیرند که کاهش در کشش جانشنی بین دوره‌ای به مانند افزایش در ریسک منجر به افزایش استخراج و کاهش در موجودی منابع خواهد شد.

چاکرتورنیوآمستا(۲۰۰۳) با استفاده از یک مدل فضایی و استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی پویا به ارزیابی روشهای مدیریت منابع آب پرداخته‌اند. در این مدل ارزش حال ناشی از منافع ناشی از کشاورزی منهای هزینه‌های آن، حداکثر شده است. در این مطالعه نیز از معادله حرکت آب‌های زیرزمینی در جهت توضیح پویایپی سیستم استفاده شده است. در پایان پیشنهاد شده است که تفکیک بهرداران به دو گروه بالادستی و پایین‌دستی صورت گرفته و با حرکت به سمت تکنولوژی مدرن استفاده از آب، می‌توان مدیریت بهتری را اعمال نمود.

ایجاز قریشی و همکاران (۲۰۰۶) به ارزیابی اقتصادی روشهای مختلف در بهره برداری از آب های زیرزمینی پرداخته اند. به عقیده ایشان افزایش در مصرف بی رویه آب منجر به فشار به منابع آب زیرزمینی شده است و در نهایت منجر به ناپایداری اقتصادی برای کشاورزان خواهد شد. از این رو بایستی روش‌هایی را برای محدود کردن برداشت از آب‌های زیرزمینی به کار برد. در این مطالعه

Archive of SID

هزینه هایی که در نتیجه محدود کردن برداشت آب زیرزمینی به کشاورزان وارد میشود را مورد بررسی قرار داده است و روشهای به حداقل رساندن آن را با استفاده از مدل برنامه ریزی پویا به دست آورده است.

کندوری و کریستو (۲۰۰۶) در مطالعه ای با استفاده از مدل برنامه ریزی پویا، کمیابی منابع آب زیرزمینی منطقه کیتی قبرس را مورد بررسی قرار داده اند. در این مطالعه اثرات شیوهای متفاوت مدیریتی بر روی میزان استخراج و هزینه های آن تجزیه و تحلیل شده است. نتایج نشان داده است که اگر حد مشخصی برای استخراج در نظر گرفته شود، اهمیت کاربرد روش مدیریتی کنترل بهینه کاهش می یابد، اما با در نظر گرفتن این حد مجاز برای استخراج، روش ککترل بهینه رفاه اجتماعی بیشتری را نسبت به روش مدیریتی انحصاری به ارمغان می آورد.

استبان و آلبیاک (۲۰۱۱)، در مطالعه ای به بررسی رابطه بین برداشت آب زیرزمینی و خسارتهای اکوسیستمی می‌پردازند. مطالعه ایشان در واقع آزمونی برای صحت «اثر گیسر-سانچز» است. در این تحقیق در واقع از یک مدل برنامه‌ریزی پویای قطعی استفاده می‌شود و این مدل در جهت پوشش دادن اثرات زیست محیطی توسعه داده می‌شود. در ادامه مقدار بهینه استخراج و ارتفاع بهینه آب در آبخوان در سه حالت بازار آزاد، درونی سازی اثرات بیرونی ناشی از استخراج و درونی-سازی اثرات بیرونی استخراج و زیست‌محیطی، به دست آورده می‌شود. این مدل در آبخوان لامانچای شرقی مورد آزمون تجربی قرار می‌گیرد. در نهایت ایشان نتیجه می‌گیرند که در صورت در نظر نگرفتن اثرات استخراج و اثرات زیست‌محیطی، اثر گیسر-سانچز تایید می‌گردد، اما با در نظر گرفتن اثرات بیرونی این دو، نتایج متفاوتی حاصل می‌گردد. بنابراین، پیشنهاد می‌کنند که بایستی از روش دخالت در بازار آب استفاده شود، تا مدیریت پایدارتری در برداشت آب زیرزمینی حاصل شود.

فیفر و لین (۲۰۱۲) به مطالعه در رابطه با اثرات بیرونی ناشی از استخراج بر روی کشاورزی در یک منطقه چین پرداخته اند. در این مطالعه رفتار کشاورزن در بهره برداری از آبخوان مورد بررسی قرار گرفته است. در این حالت استخراج یک کشاورز از آب زیرزمینی میتواند اثراتی را بر روی استخراج نزدیکترین همسایه خود داشته باشد. این اثرات بیرونی منجر به زیانهای رفاهی خواهد شد و از این رو در این مطالعه با استفاده از برنامه ریزی پویا و معادله هیدرولوژیکی آبخوان، درونی سازی این اثرات مور بررسی قرار گرفته است. در نهایت نتیجه گرفته شده است که در هر سال ۲/۵ درصد از استخراج از آبخوان کانزاس غربی، به خاطر خنثی نمودن اثرات بیرونی استخراجی است که توسط بهره برداران مجاور به کشاورز تحمیل می‌شود. در واقع این استخراج برای جبران زیانهای ناشی از اثرات بیرونی است.

Archive of SID

با توجه به مطالعات پیشین داخلی و خارجی، برای تحلیل مدیریت آبهای زیرزمینی بایستی از روش برنامه ریزی پویا استفاده نمود. اما در مطالعات فوق تفکیک مناسبی برای نوع سیستم آبیاری انجام نشده است. از این رو در این مطالعه از روش برنامه‌ریزی پویا، برای ارزیابی سیاست قیمت‌گذاری آب زیرزمینی در دو حالت سنتی و مدرن استفاده شده است و الگوی کشت بهینه دشت ورامین در این دو حالت به دست آورده شده است. در ادامه آثار افزایش در قیمت آب بر روی الگوی کشت و بیلان آب زیرزمینی در دشت ورامین مورد بررسی قرار گرفته است. از این رو هدف از این مطالعه بررسی آثار بهبود در کارایی سیستم آبیاری بر روی واکنش کشاورزان نسبت به قیمت گذاری آب و همچنین تغییرات بیلان آب می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### مدل عمومی مساله بهینه‌یابی پویا

در مدل‌های بهینه‌یابی ایستا، فقط یک مقطع خاصی از زمان انتخاب شده و مدل به توجه به شاخص مورد نظر بهینه می‌گردد، اما در مدل‌های پویا، بهینه‌یابی در طی زمان و برای دوره‌های مختلف انجام می‌گیرد. در این‌حالت، جواب بهینه به ازای هر متغیر انتخابی به شکل یک مسیر زمانی بهینه است که بهترین مقدار را برای دوره‌های مختلف برنامه‌ریزی، مشخص می‌کند. با فرض اینکه بهره برداری از منبع در هر دوره با مقدار افزایش آن در هر دوره برابر است. در اینحالت هدف، حداکثرسازی منافع خالص تنزیل شده در یک دوره زمانی نامحدود، با توجه به محدودیت رشد منبع است (بلمن، ۱۹۶۱):

$$Max \int_0^{\infty} \left[ \left( B(R_t) - C(R_t, S_t) \right) \cdot e^{-rt} \right] dt$$

$$s.t.$$

$$\frac{ds}{dt} = G(S_t) - R_t \qquad (۱)$$

$$C_R > 0$$

$$C_S < 0$$

که در این رابطه، S متغیر ذخیره (متغیر وضعیت) و R متغیر بهره‌برداری (متغیر کنترل) میباشد. همچنین $B(R_t)$ عایدی در کل دوره و $C(R_t, S_t)$ هزینه های کل دوره و $G(S_t)$ نشان دهنده تابع رشد منبع آب زیرزمینی است. در نتیجه ارزش فعلی هامیلتونی برای این مساله عبارت است از:

$$H_t = e^{-rt}\left(B(R_t) - C(R_t, S_t)\right) + \lambda\left(G(S_t) - R_t\right) \qquad (۲)$$

Archive of SID

که در این رابطه $\lambda$، ضریب لاگرانژ و یا قیمت خالص منبع می‌باشد. شرط لازم حداکثرسازی تابع نیز به صورت زیر است:

$$\frac{\partial H_t}{\partial R_t} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial B}{\partial R_t} - \frac{\partial C_t}{\partial R_t} - \lambda_t = 0 \qquad (۳)$$

$$\frac{\partial \lambda_t}{dt} = r.\lambda_t - \lambda_t \frac{dG_t}{dS_t} + \frac{\partial C}{\partial S_0} \qquad (۴)$$

$$\frac{ds}{dt} = G(S_t) - R_t \qquad (۵)$$

رابطه ۳، ارتباط بین قیمت خالص منبع طبیعی با قیمت ناخالص و هزینه نهایی را نشان میدهد. معادله ۴ هم شرط بهره‌برداری کارآمد هتلیتگ برای یک منبع طبیعی است که درآن هزینه ها، تابعی از سطح موجودی منبع میباشد. در صورت برقراری این شرط، نرخ بازده به دست آمده توسط بهره‌بردار، با نرخ بازده ناشی از سرمایه گذاری در سایر بخش های اقتصادی برابر خواهد بود. معادله ۵ هم رشد منبع است که بستگی به مقدار بهره برداری دارد. با استفاده از این نوع از مدلهای برنامه ریزی ریاضی، میتوان الگوی کشت بهینه زراعی را در دشت ورامین و با توجه به بهره برداری از آب زیرزمینی به دست آورد.

بیلان آب زیرزمینی در دشت ورامین

بیلان آب زیرزمینی شکل ویژه ای از بیلان آب است که در آن مؤلفه‌های تغذیه، تخلیه و تغییرات ذخیره در یک آبخوان زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بیلان آب زیرزمینی لازم است کلیه حجم های تغذیه با تمام اجزا تخلیه معادل گردند. در محدوده هایی که همواره تغذیه نسبت به تخلیه در آبخوان زیرزمینی بیشتر است، مقادیر مازاد آب به صورت زیاد شدن آب چشمه ها ، قنات ها ، زهکش ها ، کاهش عمق آب زیرزمینی و یا باتلاقی شدن قسمت هایی از سطح زمین بروز خواهد کرد. به عکس در پاره ای از نواحی که به علت وضعیت آب و هوایی و برداشت بی رویه، همواره میزان تغذیه نسبت به تخلیه کمتر است، با کاهش ذخیره آبخوان ، زهکشی و تبخیر از آب زیرزمینی و حتی آبدهی چشمه ها، قنات ها و چاه ها نیز با کاهش مواجه خواهند شد و در نهایت منجر به فرونشست زمین می گردد. برای برقراری بیلان آب زیرزمینی از رابطه زیر استفاده می‌شود (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۲):

$$Q_{in} + R_p + R_r + R_w - (Q_{out} + D + E + W) = \pm \Delta V \qquad (۶)$$

که در این رابطه، $Q_{in}$ میزان آب ورودی به محدوده بیلان، $Q_{out}$ میزان آب خروجی از محدوده بیلان، $R_p$ میزان آب ناشی از نفوذ بارندگی، $R_r$ میزان تغذیه از سیلابها، $R_w$ میزان آب برگشتی از کشاورزی، شرب و صنعتی، D میزان آب زهکش شده از آبخوان، E مقدار تبخیر از سطح سفره آب

Archive of SID

زیرزمینی در محدوده بیلان،W بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی (کشاورزی، شرب و صنعت)، $\pm \Delta V$ تغییرات حجم مخزن آبخوان در دوره مشخص و محدوده معین.

**مدل برنامه‌ریزی پویای قطعی مورد استفاده**

تابع هدف: مهمترین جزء در مدل‌سازی برای آب زیرزمینی دشت ورامین، تصریح درست تابع هدف می‌باشد. از این رو تابع هدف در این مطالعه به صورت زیر نوشته شد:

$$Max\ Z = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=0}^{T}\left(\frac{1}{(1+r)^t}\right)\cdot\left(\left(\left(P_{jt}Y_{ijkt} - C_{ijtk}\right)\cdot A_{ijkt}\right) - PW_G\cdot W_G - PW_S\cdot W_S\right) \quad (۷)$$

که در اینجا، $i$ نشان دهنده تعداد بخش های مورد مطالعه در دشت ورامین (۲ بخش شامل بخش جنوبی و بخش شمالی)؛$j$بیانگر نام محصول (گندم، جو، خربزه، خیار، سبزیجات، طالبی، ذرت علوفه ای، گوجه فرنگی، هندوانه، یونجه)؛$k$ نوع سیستم آبیاری (سنتی یا مدرن)؛$t$ بیانگر تعداد سال و $t = 1,2,...,10$ و $r$ هم نرخ بهره یکساله بوده که در این مطالعه ۲۰ درصد در نظر گرفته شده است. $Y_{ijkt}$نشان دهنده عملکرد در هر هکتار محصول jام با سیستم آبیاری kام در بخش i ام و در سال t ام می‌باشد. $P_{jt}$نشان دهنده قیمت هر کیلوگرم به ریال محصول jام در سال t ام می-باشد. $C_{ijkt}$نشان دهنده هزینه تولید هر هکتار از محصول jام با سیستم آبیاری kام در بخش i ام و در سال t ام است. این هزینه ها به جز هزینه‌های آب می‌باشد. $A_{ijklt}$نشان دهنده سطح زیرکشت محصول jام با سیستم آبیاری kام در بخش i ام و در سال t ام است؛PW و W به ترتیب نشان دهنده قیمت آب و مقدار مصرف آب و اندیس G بیانگر آب زیرزمینی و S نشان دهنده آب سطحی است. تابع هدف شامل حداکثر کردن ارزش حال بازده خالص کشاورزان دشت ورامین است. بازده ناخالص از تفاوت درآمد ناخالص و هزینه ها به دست آمده است. تابع هدفی که در اینجا شرح داده شده با توجه به محدودیت های فنی و همچنین معادله حرکت آبخوان باید حداکثر گردد.

محدودیت زمین: مقدار زمینی که برای هر محصول و از هر نوع در هر منطقه اختصاص داده میشود، نباید بیش از کل زمین های موجود در آن ناحیه باشد. از این رو:

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}A_{ijkl} \le TA_{ij} \quad (۸)$$

محدودیت آب: آب مورد نیاز گیاهان در هر منطقه و با هر نوع سیستم آبیاری باید در طی فصل کاشت تا برداشت توسط آب سطحی و یا آب زیرمینی تامین گردد. از این رو محدودیت آب به صورت زیر خواهد بود:

Archive of SID

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{k} WU_{ijk} \cdot A_{ijk} - (W_G - W_S) \le 0 \qquad (۹)$$

برای به دست آوردن نیاز آبی گیاهان در حالت آبیاری مدرن و سنتی از نرم افزار NETWAT و OPTIWAT استفاده شده است.

محدودیت آب سطحی: مقدار آب سطحی که در هر فصل زراعی توسط شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین اختصاص داده می‌شود نباید بیش از ظرفیت آن باشد، از این رو محدودیت عرضه آب سطحی به صورت زیر خواهد بود:

$$\sum_{i=1}^{I} WS_i \le AWS_i \qquad (۱۰)$$

که در این رابطه $AWS_{il}$ مقدار ظرفیت شبکه آبیاری و زهکشی در منقطه $i$می‌باشد.

محدودیت هزینه نهاده ها به جز آب: هزینه کل ناشی از زراعت محصولات مختلف در هر منطقه از رابطه زیر به دست می آید:

$$TC_{ijkt} = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=0}^{T}\left(MC_{ijkt} + FC_{ijkt} + LC_{ijkt} + OC_{ijkt}\right) \qquad (۱۱)$$

که در این رابطه، MC هزینه ماشین آلات، FC هزینه کودهای شیمیایی، LC هزینه زمین و OC هزینه سایر نهاده ها مثل بذر، سموم و ... است.

محدودیت هزینه آب: هزینه آب مشتمل بر دو نوع هزینه است. ابتدا هزینه پمپاژ آب زیرزمینی و دوم هزینه پرداختی برای اختصاص آب سطحی توسط متولی آن. از این رو هزینه آب به صورت زیر خواهد بود:

$$TCW_{ijkt} = \left(\frac{eh_t P_e}{E_p}\right) \cdot W_G + PWS_t \cdot W_S \qquad (۱۲)$$

که در این رابطه نیز، $TCW_{ijlt}$ کل هزینه پرداختی برای آب، $e$ انرژی لازم برای بالا آوردن یک متر مکعب آب به اندازه یک متر میباشد (در این منطقه و برای سال زراعی ۱۳۹۰-۹۱ برابر ۲۹/۰۲ تومان است)، $h_t$ارتفاع سطح زمین تا سطح آب بر حسب متر، $P_e$قیمت انرژی و $E_p$ نیز راندمان پمپ آب میباشد، از این رو کل هزینه استحصال هر واحد آب زیرزمینی برابر $\frac{eh_t P_e}{E_p}$خواهد بود.

PWS نیز قیمت آب پرداختی برای آب سطحی می‌باشد.

محدودیت ماشینآلات،نیرویکار،کودهایشیمیایی،سموم،سرمایهنقدیوبذر: در این محدودیت نیز با توجه به ضرایب فنی هر یک از این نهاده ها، محدودیت هایی به صورت زیر تعریف میگردد:

Archive of SID

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} tco_{ijk} \cdot A_{ijk} \le B_t \qquad (۱۳)$$

که در این معادله، $tco$ نشان دهنده ضرایب فنی و B هم مقدار موجودی از آن نهاده ها را نشان میدهد.

محدودت غیرمنفی بودن: سطح زیرکشت محصولات نمیتواند منفی باشد. در نتیجه:

$$A_{ijk} \ge 0 \qquad (۱۴)$$

محدودیت معادله وضعیت آبخوان در بین دوره ها: این معادله در واقع تامین کننده شرایط پویایی در مدل میباشد. این معادله به صورت زیر است:

$$S_{t+1} = S_t + R_t - W_t \qquad (۱۵)$$

که در رابطه فوق $S_{t+1}$ نشان دهنده مقدار آب در آبخوان در دوره بعد (متغیر وضعیت)، $S_t$ مقدار آب در آبخوان در دوره جاری، $R_t$ نرخ تغذیه طبیعی آبخوان و $W_t$ مقدار برداشت آب(متغیر کنترل) در هر سال میباشد. مقدار آب برداشتی در هر دوره از مجموع برداشت آب توسط همه بهره برداران کشاورزی به دست می آید. نرخ تغذیه طبیعی آبخوان نیز از رابطه زیر به دست آورده میشود:

$$R_t = Q_{UG} + Q_{RB} + Q_S + Q_{AG} + Q_{MI} \qquad (۱۶)$$

که در رابطه فوق، $Q_{UG}$ جریان زیرزمینی ورودی به آبخوان، $Q_{RB}$ مقدار نفوذ از بارندگی مستقیم، $Q_S$ نفوذ از آبهای سطحی، $Q_{AG}$ نفوذ از آب مصرفی کشاورزی و $Q_{MI}$ نفوذ از آب شرب و صنعتی میباشد.

محدودیت تعادل آب زیرزمینی: مقدار آب زیرزمینی که توسط بهره‌برداران در مناطق محتلف برداشت میشود، به صورت زیر در مدل آورده میشود:

$$\alpha\sum_{i=1}^{I}\sum_{i=1}^{I} WS_{ij} + \beta\sum_{i=1}^{I}(WS_i + WG_i) + \kappa\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J} RF_{ij} \cdot A_{ijk} - \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I} WG_{ij} \ge TGW \qquad (۱۷)$$

که در این معادله؛TGW مقدار آب قابل استخراج مجاز در هر منطقه، $\alpha$ کارایی انتقال آب سطحی، $\beta$ کارایی آبیاری در مزرعه، $\kappa$ بارندگی موثر و RF هم کل میزان بارندگی را نشان می‌دهد. پارامترهای $\alpha$، $\beta$ و $\kappa$ در واقع نرخ تغذیه‌های آب زیرزمینی توسط هر یک از موارد فوق هستند. چرا که این آب‌های هدر رفته به آب زیرزمینی اضافه می‌شود. این معادله از این رو حالت بزرگتر یا مساوی دارد که در این منطقه محدودیت برداشت وجود دارد و یکی از دشت‌های ممنوعه توسط وزارت نیرو می باشد.

Archive of SID

محدودیت رابطه هیدرولوژیکی آب زیرزمینی: این معادله دیفرانسیلی نسبت به ارتفاع آب در طی زمان اندازه‌گیری می‌شود:

$$\dot{H} = \frac{R + (\alpha - 1)W_t}{AS} \qquad (۱۸)$$

به طوریکه R تغذیه طبیعی، $\alpha$ ضریب جریانات برگشتی، A مساحت آبخوان و S ضریب ذخیره آبخوان می‌باشد.

این مدل برنامه‌ریزی پویای قطعی با استفاده از نرم‌افزارGAMS و در یک دوره ۱۰ ساله و با نرخ تنزیل ۲۰ درصد حل شده است. داده های مورد نیاز از طریق جمع اوری ۲۴۲ عدد پرسشنامه حضوری از کشاورزان به طریق طبقه بندی ساده و همچنین اطلاعات دریافتی از وزرات جهادکشاورزی مرکز آمار ایران، ادارات جهادکشاورزی ورامین و پاکدشت و پیشوا، اداره آب منطقه‌ای شرق تهران، وزارت نیرو، آب منطقه ای تهران و شرکت مطالعات و مدیریت آب ایران به دست آورده شده است.

در ابتدا با استفاده از آمار و اطلاعات جمع آوری شده از وزارت نیرو و شرکت مطالعات منابع آب ایران بیلان آب زیرزمینی برای دشت ورامین در دوره ۱۰ ساله ۱۳۸۱-۸۲ تا ۱۳۹۰-۹۱ به دست آورده شده است. از نتایج حاصل از این مدل در طراحی محدودیت های مربوط به آب زیرزمینی استفاده می‌شود.

یکی از اهداف ارائه مدلهای برنامه ریزی، تعیین الگوی کشت بهینه است. این الگو در واقع نشان دهنده بهترین ترکیب محصولات است که با توجه به آن، مقدار بازده خالص حداکثر می‌شود. در ابتدا با توجه شرایط موجود و با فرض آبیاری سنتی، مقدار بهینه از هر یک از محصولات به دست آورده شده است. لازم به توضیح است منظور از شرایط موجود، الگوی کشت قبل از بهینه‌سازی است و منظور از الگوی بهینه، الگوی کشت بعد از بهینه سازی و منظور از الگوی بیلان مثبت، الگوی کشتی است که در آن بیلان آب زیرزمینی مثبت شده و در پایدارترین وضعیت قرار دارد.

## بحث و نتایج

### الگوی کشت بهینه

در جدول ۱ نتایج الگوی کشت حاصل از بهینه‌سازی برای کل دشت ورامین در دو حالت آبیاری مدرن و سنتی آورده شده است.

همانطور الگوی کشت در حالت سنتی نشان می دهد، سطح زیرکشت خربزه و هندوانه در الگوی کشت بهینه به صفر می‌رسد. همچنین مقدار سطح زیرکشت محصولات جو، خیار، گوجه‌فرنگی و هندوانه کاهش می‌یابد. اما در الگوی بیلان مثبت که از افزایش در قیمت آب زیرزمینی حاصل شده است، ذرت علوفه‌ای و خربزه از الگوی کشت حذف شده‌اند.ارزش حال تابع هدف برای کل دشت

Archive of SID

ورامین نیز در جدول فوق نشان داده شده است. این مجموع ارزش حال در الگوی بیلان مثبت نسبت به الگوی بهینه به میزان ۴۴/۶ درصد کاهش یافته است. مقدار مصرف آب نیز در نتیجه بهینه سازی به میزان درصد ۳ درصدکاهش و در نتیجه افزایش قیمت آب برای مثبت سازی بیلان، به میزان ۳۵/۸ درصد نسبت به شرایط موجود و به میزان ۳۲ درصد نسبت به شرایط بهینه کمتر شده است. همانطور که مشخص است، افزایش در قیمت آب، در این حالت میزان ارزش حال را بیشتر از مقداری که مصرف آب را کاهش می‌دهد، کاهش داده است.

درحالت الگوی بهینه در حالت مدرن نسبت به سنتی، مقدار سطح زیرکشت محصولات تغییرات چندانی نکرده است. البته در این حالت مقدار سطح زیرکشت جو و طالبی نسبت به حالت سنتی با اندکی افزایش روبرو بوده است. در حالت الگوی کشت بیلان مثبت مدرن نسبت به سنتی، سطح زیرکشت محصولات گندم، جو، طالبی، ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی افزایش و محصولات خیار، سبزیجات و یونجه کاهش یافته است. در این حالت نیز میزان مجموع ارزش حال تابع هدف نسبت به حالت الگوی بهینه ۱۶/۴ درصد کمتر شده است، از طرفی، میزان مصرف آب در حالت الگوی بهینه نسبت به شرایط موجود ۶۲/۴ درصد و نسبت به الگوی بیلان مثبت به اندازه ۷۴/۴ درصد کاهش یافته است.

**تابع تقاضای آب زیرزمینی**

آب به عنوان یک نهاده در تولیدات کشاورزی به کار می‌رود. بعد از بهینه‌سازی مدل برنامه ریزی پویا، تابع تقاضا از آب زیرزمینی در دشت ورامین به دست آمده است. برای به دست آوردن این توابع تقاضا از سناریوهای متفاوت قیمتی برای آب استفاده شده و در نهایت میزان تغییر در مصرف آب زیرزمینی به دست آورده می‌شود (بلالی و همکاران، ۱۳۸۹ و باریکانی، ۱۳۹۰). نتایج حاصل از این توابع تقاضا در طول دوره برنامه‌ریزی ده ساله به صورت نمودار زیر است:

همانطور که نمودار فوق نشان می‌دهد، این تابع دارای شیب منفی است، به این معنا که با افزایش قیمت آب در طی دوره زمانی، مقدار تقاضا از آب کاهش خواهد یافت. شیب تابع تقاضای آب برای کشاورزان مدرن برابر ۱۱/۴- و برای کشاورزان سنتی برابر ۳/۹۸- می‌باشد. از این رو کشاورزان مدرن، نسبت به تغییرات قیمت واکنش کمتری نشان می‌دهند.

**بیلان آب زیرزمینی**

بیلان زیرزمینی آب از تفاوت ورودی و خروجی آب به محدوده دشت ورامین به دست می آید. در نمودار زیر اثر افزایش قیمت بر روی بیلان آب زیرزمینی در حالت آبیاری سنتی قابل مشاهده است: همانطور که نمودار فوق نشان می‌دهد، افزایش در قیمت آب زیرزمینی توانسته است، بیلان آب زیرزمینی را بهبود ببخشد. در واقع با انجام فرایند بهینه‌سازی، بیلان آب زیرزمینی در روش سنتی

Archive of SID

به میزان ۱۲/۳ درصد و با اولین سناریوی قیمتی به میزان ۵۸ درصد بیلان آب را افزایش می‌دهد. در ادامه تداومروند قیمت‌گذاری، بیلان آب مثبت خواهد شد. حال اگر روش آبیاری مدرن اعمال شود، بیلان آب زیرزمینی مثبت خواهد شد و دیگر نیازی به افزایش در قیمت آب نخواهد بود. از طرفی مادامی که قیمت آب افزایش می‌یابد، بیلان آب مثبت‌تر می‌شود، اما این فرآیند دارای آستانه مشخصی است و بهبود بیلان در حد مشخصی متوقف می‌شود.

## جمع‌بندی و پیشنهادات

مقایسه الگوهای کشت در دو حالت سنتی و مدرن نشان دهنده این است که مدل برنامه‌ریزی پویا توانایی مناسبی در تعین میزان بهینه آن دارد. همچنین الگوی بیلان مثبت در حالت مدرن نسبت به حالت سنتی نشان دهنده افزایش ۱۸/۲ درصدی در کل سطح زیرکشت منطقه است. از این رو منجر به افزایش درآمد بیشتری برای کشاورزان منطقه خواهد شد. . تغییرات در الگوی کشت بسته به نوع تکنولوژی آبیاری و میزان افزایش قیمت آب و نوع منطقه دارای تفاوت است و به طور کلی جهت‌گیری آن به سمت محصولاتی است که به ازای هر واحد از آب زیرزمینی، ارزش بیشتری را نصیب کشاورز کرده‌اند.

مقدار ارزش حال تابع هدف، در حالت مدرن نسبت به حالت سنتی بیشتر است. چرا که در روش مدرن از آب زیرزمینی کمتر استفاده شده و در نتیجه میزان هزینه‌های مربوط به استحصال آن کاهش یافته و سود خالص حاصل از کشت را افزایش داده است. هنگامی که قیمت آب افزایش و الگوی کشت بهینه به الگوی بیلان مثبت ارتقا می‌یابد، در روش آبیاری سنتی میزان ارزش حال به مقدار ۴۴/۶ درصد کاهش یافته است، اما در حالت مدرن این کاهش فقط به میزان ۱۶/۴ درصد می‌باشد. از این رو استفاده از روش های مدرن آبیاری، حساسیت کشاورزان را در مقابل افزایش قیمت آب کمتر کرده و این افراد بهتر می‌تواند افزایش در قیمت آب را تحمل کنند.

از طرفی مقایسه دو تابع تقاضا از آب زیرزمینی در حالت مدرن و سنتی نشان میدهد که این تابع برای بهره برداران مدرن دارای کشش کمتری است، از این رو ایشان نسبت به افزایش قیمت آب حساسیت کمتری خواهند داشت. در نتیجه اعمال سیاست افزایش در قیمت آب زیرزمینی برای بهبود بیلان برای کشاورزان مدرن مناسب تر خواهد بود. از این رو توصیه می‌شود برای بهبود بیلان در دشت ورامین همزمان به بهبود کارایی آب، نسبت به اعمال سیاست قیمت‌گذاری آب زیرزمینی اقدام شود تا کمترین تبعات اجتماعی و اقتصادی را به همراه داشته باشد.

قیمت‌گذاری بر روی آب زیرزمینی می‌تواند منجر به افزایش عمر آبخوان گردد، اما این سیاست در حالتی که کشاورزان از سیستم آبیاری پیشرفته استفاده کرده‌اند، با چالش‌های کمتری مواجه خواهد شد. از این رو پیشنهاد می‌شود که هر گونه سیاست قیمت‌گذاری آب همراه با اعمال

Archive of SID

سیاست هایی مانند بهبود سیستم‌های آبیاری همراه باشد. الگوی کشت در منطقه بعد از تغییر در مکانسیم آبیاری دستخوش تغییر می‌شود. همچنین درآمد خالص کشاورزان بعد از اعمال این سیستم افزایش می‌یابد. از این رو ارئه یارانه به کشاورزان در جهت توسعه سیستم آبیاری مزارعشان می‌تواند مفید واقع شده و منجر به افزایش درآمد کشاورزان شود. حرکت الگوی کشت بعد از اعمال سیاست افزایش قیمت به سمت محصولاتی است که به ازای هر واحد آب مصرفی، میزان سود خالص بیشتری را نصیب کشاورز می‌نمایند. از این رو پیشنهاد می‌شود با اعمال سیاست های قیمتی مناسب در فروش محصولات، الگوی کشت کشاورز به سمت بهینه هدایت شود.

Archive of SID

## فهرست منابع


۱. ادارات جهاد کشاورزی ورامین و پاکدشت (۱۳۹۲).

۲. باریکانی الهام (۱۳۹۰)؛ «استفاده تلفیقی بهینه اقتصادی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در تولید محصولات زراعی بر طبق الگوی کشت در دشت قزوین». رساله دکتری دانشگاه تربیت مدرس.

۳. بلالی حمید؛ احمدیان مجید؛ خلیلیان صادق؛ (۱۳۸۹) «بررسی نقش قیمت گذاری آب در بخش کشاورزی بر تعادل منابع آب زیرزمینی«. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، (۲۴)۲: ۱۸۵-۱۹۴.

۴. شرکت مدیریت منابع آب ایران (۱۳۹۲).

۵. صبوحی محمود؛ سلطانی غلامرضا؛ زیبایی منصور؛ (۱۳۸۶) «ارزیابی راهکارهای مدیریت آب زرزمینی: مطالعه موردی دشت نریمانی خراسان». مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع‌طبیعی، سال یازدهم، شماره اول (ب).

۶. علیزاده امین (۱۳۸۲)؛ «هیدرولوژی کاربردی». ویرایش شانزدهم. انشارات دانشگاه امام رضا(ع).

7. Bellman, R. (1961): "Adaptive Control Processes: A Guided Tour", Princeton University Press.
8. Brill, T., Burness, S. (1996) "Planning versus Competitive Rates of Groundwater Pumping". Water Resources Research, 30(6): 1873-1880.
9. Brown, G. (1974)"An Optimal Program for Managing Common Property Resources with Congestion Externalities". Journal of Political Economy 82: 163-173.
10. Brown, G., R. Deacon. (1972)"Economic Optimization of a Single-Cell Aquifer". Water Resource Research 8 (3): 557-563.
11. Burt, O. (1964)"Optimal Resource Use over Time with Application to Ground Water". Management Science 11 (1): 80-93.
12. Burt, O. (1966)"Economic Control of Groundwater Reserves". Journal of Farm Economics 48 (3): 632-647.
13. Chakravorty, U., Umestu, Ch. (2003) "Basianwide water Management: A Spatial Model". Journal of Environmental Economic and Management, 45: 1-23.


Archive of SID

14. EjazQureshi, M., EjazQureshi, S., Goesch, T., Hafi, A. (2006) "Preliminary Economic Assessment of Groundwater Extraction Rules". Economic Papers Vol. 25 No. 1 March 2006 pp. 41-67.
15. Esteban, E., Albiac, J., (2011) "Groundwater and ecosystems damages: Questioning the Gisser–Sánchez effect". Ecological Economics 70 (2011), 2062- 2069.
16. Hatton, T., Evans, R. (1998) "Dependence of Ecosystems on Ground-water and its Significance to Australia". CSIRO Land & Water Resources Research and Development Commission Occasional Paper No 12/98 - Canberra, Australia.ed1.
17. Knapp, K., Olson, L. (1996) "Dynamic Resource Management: Intertemporal Substitution and Risk Aversion". American. J. Agricultural Economic. 78 (November 1996): 1004-1014
18. Koundouri, P., Christou, Ch. (2006) "Dynamic adaptation to resource scarcity and backstop availability: theory and application to groundwater". Australian Journal of Agricultural and Resource Economics.
19. Niamnsi, Y.N., Mbue, I.N. (2009) "Estimation for ground water balance based on recharge and discharge: a tool for sustainable ground water management, zhongmu county alluvial plain aquifer, Henan province, china". Journal of American Science, 5 (2):40-83.
20. Pfeiffer, L., Lin, C. (2012) "Groundwater pumping and spatial externalities in agriculture". Journalof Environmental Economics and Management, 64 (1), 16-30.
21. Provencher, B. (1993)"A Private Property Rights Regime to Replenish a Groundwater Aquifer". Land Economics 69 (4): 325-340.

Archive of SID

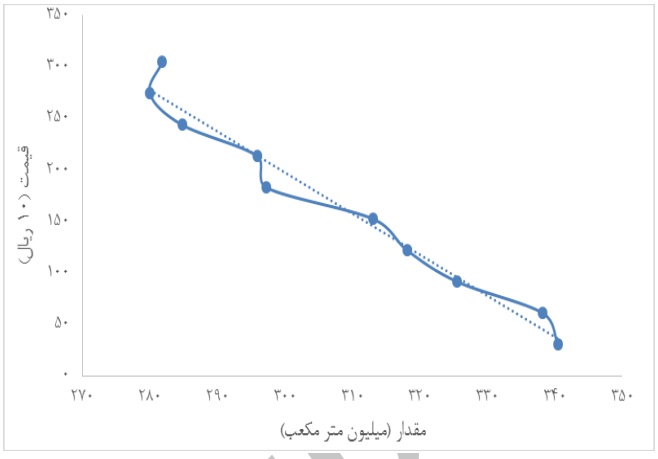
## پیوست‌ها

**جدول ۱) متوسط الگوی کشت بهینه و مقادیر تابع هدف در دوره ده ساله در کل دشت ورامین به هکتار**

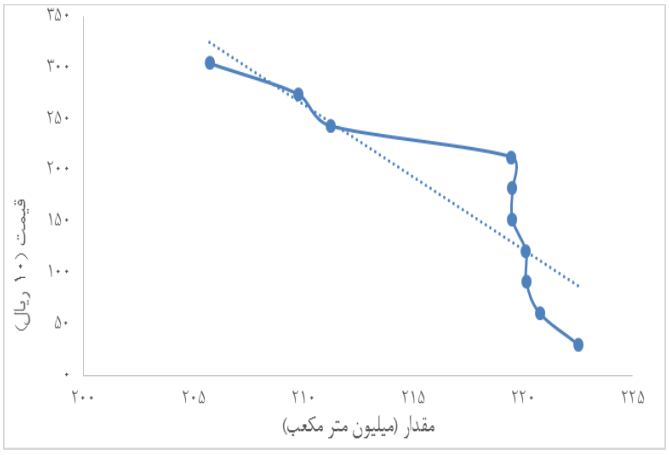
| نام محصول | شرایط موجود | سنتی | | مدرن | | وضعیت تغییرات نسبت به شرایط موجود | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | الگوی بهینه | الگوی بیلان مثبت | الگوی بهینه | الگوی بیلان مثبت | سنتی | مدرن |
| گندم | ۲۷۷۰۹ | ۳۳۹۱۷ | ۲۳۲۶۰ | ۳۳۹۱۷ | ۳۶۲۵۰ | افزایش | افزایش |
| جو | ۲۳۲۸۵ | ۱۰۷۰۹ | ۳۲۷۰ | ۹۶۴۶ | ۵۷۹۶ | کاهش | کاهش |
| خربزه | ۳۳۴/۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | کاهش | کاهش |
| خیار | ۱۰۹۴/۳ | ۳۲۲ | ۲۹۷۵ | ۳۲۲ | ۱۵۷۶ | کاهش | کاهش |
| سبزیجات | ۳۲۹۷ | ۳۴۰۰ | ۳۰۷۱ | ۳۴۰۰ | ۲۶۴۴ | افزایش | افزایش |
| طالبی | ۲۵۱۲/۳ | ۳۰۲۶ | ۱۶۷۳ | ۲۷۲۴ | ۲۱۹۳ | افزایش | افزایش |
| ذرت علوفه‌ای | ۹۰۶۲ | ۱۱۹۷۷ | ۰ | ۱۱۹۷۷ | ۷۹۱۲ | افزایش | افزایش |
| گوجه فرنگی | ۳۲۲۸/۷ | ۶۶۱۸ | ۴۳۷۱ | ۶۶۱۸ | ۴۷۴۰ | کاهش | کاهش |
| هندوانه | ۴۴۱ | ۰ | ۱۲۵۷ | ۰ | ۰ | کاهش | کاهش |
| یونجه | ۴۶۰۴/۷ | ۴۴۶۱ | ۲۲۲۹۰ | ۴۴۶۱ | ۱۲۳۷۸ | افزایش | افزایش |
| مجموع ارزش حال تابع هدف* | | ۴۸۰ | ۳۳۲ | ۵۴۶ | ۴۶۹ | | |
| مقدار متوسط آب زیرزمینی مصرف شده** | | ۳۷۲/۳ | ۲۸۲/۰۲ | ۲۳۵/۷۶ | ۲۱۹/۵۳ | | |

ماخذ: یافته‌های تحقیق *واحد: میلیارد تومان **واحد: میلیون متر مکعب

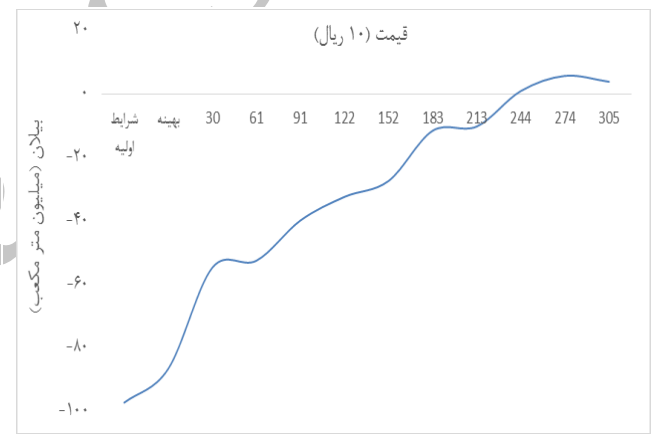
Archive of SID



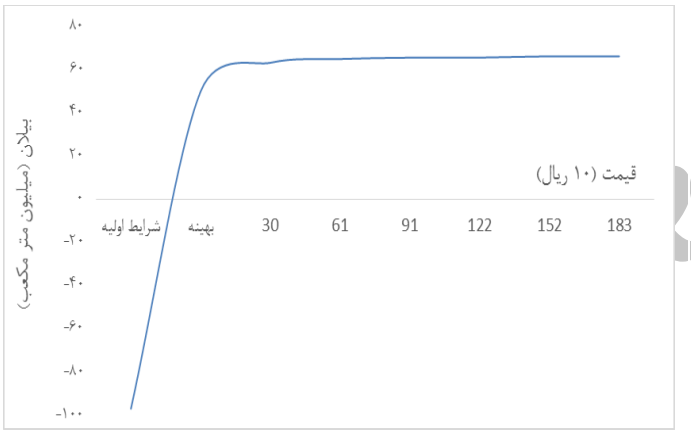

نمودار ۱) تابع تقاضا از آب زیرزمینی در روش آبیاری سنتی




نمودار ۲) تابع تقاضا از آب زیرزمینی در روش آبیاری مدرن




نمودار ۳) تغییرات در بیلان آب زیرزمینی در نتیجه تغییر در قیمت آب زیرزمینی در روش سنتی




نمودار ۴) تغییرات در بیلان آب زیرزمینی در نتیجه تغییر در قیمت آب زیرزمینی در روش مدرن