

### مقاله پژوهشی

## تأثیر کاهش یارانه حامل‌های انرژی بر میزان استخراج منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت شبستر از حوزه دریاچه ارومیه)

جواد حسین زاد<sup>۱\*</sup> و آمنه سرباز<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰

۱-دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: J.hosseinzad@tabrizu.ac.ir

### چکیده

یکی از عوامل اصلی در استخراج آب از منابع زیرزمینی، نهاده انرژی می‌باشد. لذا سیاست‌های قیمتی مربوط به حامل‌های انرژی روی هزینه استخراج آب و به تبع آن در میزان برداشت آب تأثیر خواهد گذاشت. یکی از دلایلی که در سال‌های گذشته موجب شده‌است، فشار بیشتری بر منابع آب زیرزمینی وارد شود سیاست‌های یارانه‌ای نامناسب در رابطه با قیمت‌های حامل‌های انرژی می‌باشد. با توجه به ارتباط تنگاتنگ بین قیمت حامل‌های انرژی و هزینه‌های استخراج آب زیرزمینی در مطالعه حاضر سعی شده‌است تا با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی پویا اثر کاهش یارانه حامل‌های انرژی بر میزان استخراج و مصرف منابع آب زیرزمینی، الگوی کشت و درآمد کشاورزان دشت شبستر که از مناطق بحرانی کشور از لحاظ منابع آب زیرزمینی محسوب می‌شود، مورد بررسی قرار گیرد. نتایج نشان داد که با کاهش یارانه حامل‌های انرژی، میزان برداشت آب از منابع زیرزمینی کاهش می‌یابد. مثلاً کاهش ۲۵ و ۵۰ درصدی در یارانه حامل‌های انرژی به ترتیب حدود ۴/۵ و ۶/۵ میلیون متر مکعب استخراج آب از منابع زیرزمینی را در سال کاهش می‌دهد. همچنین سطح زیرکشت برخی محصولات آب‌بر و کم درآمد کاهش یافته و الگوی کشت به سمت محصولات با درآمد بالا مانند پیاز، سیب و گردو تغییر می‌یابد. نتایج حاکی از آن است که اتخاذ سیاست‌های مناسب یارانه حامل‌های انرژی می‌تواند در بهبود شرایط استخراج منابع آب زیرزمینی مفید واقع گردد.

واژه‌های کلیدی: استخراج، مدل برنامه‌ریزی پویا، منابع آب زیرزمینی، یارانه حامل‌های انرژی.

## Effect of Energy Carriers Subsidies Reducing on Groundwater Extraction (Case study: Shabestar Plain of The Urmia Lake Basin)

J hosseinzad<sup>\*1</sup>, A Sarbaz<sup>2</sup>

Received: October 12, 2019 Accepted: June 20, 2021

1- Assoc. Prof. of Agricultural Economics Dept., Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

2- MSc Graduate student of Agricultural Economics Dept., Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

\* Corresponding Author, E-mail: J.hosseinzad@tabrizu.ac.ir

### Abstract

Energy input is one of the main factors of extracting water from groundwater resources. Therefore, pricing policies related to energy carriers affect the cost of water extraction and it also affects the amount of water extraction. In the past years, one of the reasons that has put more pressure on groundwater resources is the inappropriate subsidy policies for energy carrier prices. Given the close relationship between energy carriers prices and the costs of groundwater extraction, in the present study, it was tried to investigate the effect of energy carriers' subsidies decreasing on the amount of groundwater consumption, cropping patterns and agricultural income using the dynamic programming model in Shabestar plain. This plain is one of the critical areas in terms of groundwater resources in Iran. The results showed that decreasing energy carriers' subsidies caused extraction reduction of water from groundwater resources. For example, a 25 and 50 percent reduction in energy carrier subsidies would reduce groundwater extraction by about 4.5 and 6.5 million cubic meters per year, respectively. Also, areas under cultivation of some high water using and low-income products decrease and cropping patterns change toward more high-income products such as onions, apples and walnuts. The results indicated that adopting appropriate energy carrier subsidy policies could be useful for improving groundwater extraction conditions.

**Keywords:** Dynamic programming model, Energy carriers' subsidies, Extraction, Groundwater.

### مقدمه

هزینه‌های زیادی از جمله بهره‌وری اندک نهاده‌های تولید، آلودگی و تخریب محیط‌زیست را به دنبال داشته باشد. در این میان منابع آب به عنوان مهم‌ترین نهاده در بخش کشاورزی، در معرض تهدید جدی ناشی از سیاست‌های اقتصادی ناصحیح می‌باشد. برخی از اقتصاددانان معتقدند که سیاست‌های ناکارآمد نظیر قیمت پایین نهاده‌های تولید در بخش کشاورزی و هزینه پایین بهره‌برداری از آب در نتیجه بالا بودن یارانه پرداختی برای نهاده انرژی اعم از انرژی برق و گازوئیل، یکی از دلایل مهم بهره‌وری اندک در بهره‌برداری از آب در بخش کشاورزی و در نتیجه تخریب این منبع با ارزش می‌باشد. بررسی آمارها نشان می‌دهد که بخش کشاورزی سومین مصرف‌کننده برق و دومین مصرف‌کننده گازوئیل در کشور محسوب می‌گردد (بلالی و همکاران ۲۰۱۴).

حامل‌های انرژی همواره به عنوان یکی از ارکان زیربنایی و عوامل اصلی در فعالیت‌های اقتصادی هر کشور محسوب می‌شود. دولت‌ها هر ساله مقادیر هنگفتی بابت یارانه انرژی هزینه می‌نمایند. یارانه انرژی در اقتصاد ایران از جمله مواردی از یارانه می‌باشد که بر کل اقتصاد کشور اعم از بخش‌های کشاورزی، صنعت، خدمات و مصرف خانوارها تعلق می‌گیرد. بخش اعظم انرژی مصرفی بخش کشاورزی در ماشین‌آلات کشاورزی و در الکتروپمپ‌های مورد استفاده جهت پمپاژ آب چاه‌های کشاورزی به مصرف می‌رسد (قاسمیان و همکاران ۲۰۱۴). هر چند حمایت از بخش‌های مختلف اقتصادی از جمله بخش کشاورزی جزء سیاست‌های معمولی است که در اکثر کشورهای دنیا به آن توجه خاصی می‌شود اما قابل توجه است که سیاست‌های حمایتی مانند پرداخت یارانه‌های مختلف برای نهاده‌های کشاورزی، در صورت بهینه نبودن آن می‌تواند نتایج منفی و

جمعیت و ۴ برابر کشور هند با یک میلیارد و ۱۲۲ میلیون نفر جمعیت بوده است (بی‌نام ۲۰۰۷).

در دهه‌های گذشته به دلیل پایین بودن مضاعف قیمت انرژی که از حمایت‌های خاص دولت برخوردار بوده- است موجب ایجاد مشکلات عدیده مانند هزینه‌های بسیار زیاد اجرای این سیاست‌های حمایتی، پایین بودن بهره‌وری تولید و آسیب‌های محیط‌زیستی شده است. این درحالی است که در میان بخش‌های تولیدی، بخش کشاورزی بیشترین و نزدیک‌ترین ارتباط را با محیط‌زیست دارد (فوجیا و همکاران ۲۰۱۲). بنابراین اصلاح قیمت حامل‌های انرژی از طریق تأثیر در برداشت آب زیرزمینی منجر به بهبود وضع کشاورزی و در نتیجه بهبود شرایط زیست‌محیطی خواهد گردید. دشت شبستر به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی استان آذربایجان شرقی به شدت تحت تأثیر این مساله می‌باشد. طی سال‌های اخیر در این منطقه خشکسالی‌های مستمری رخ داده که منجر به نفوذ آب شور به سفره‌های زیرزمینی شده و تعداد زیادی از چاه‌های آب به خاطر همین مسئله دیگر قابل بهره‌برداری نیستند (اصفیری مقدم و محمدی ۲۰۰۳). بطوریکه در عرض ۲۷ سال (از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۲) حجم آب آبخوان دشت شبستر ۳۱۹/۶ میلیون مترمکعب و عمق آبخوان ۹/۸۱ متر کاهش یافته است (بی‌نام ۲۰۱۴). با توجه به محدودیت قابل ملاحظه منابع آب قابل دسترس در محدوده دشت، بجز اراضی حاشیه رودخانه‌های فصلی، منبع اصلی تأمین نیاز کشاورزی منطقه، منابع آب زیرزمینی می‌باشد. لذا لازم است که استراتژی‌های مناسب جهت استفاده از منابع آب برای رسیدن به کشاورزی پایدار با توجه به سیاست‌های یارانه انرژی که از عوامل تأثیرگذار در هزینه‌های استخراج می‌باشد، صورت پذیرد. در رابطه با تأثیر ابزارهای مختلف سیاستی و قیمت‌گذاری آب بر بهره‌برداری از منابع آب و فعالیت‌های کشاورزی مطالعاتی در داخل و خارج کشور صورت گرفته است که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره گردیده است.

فتاحی چیتگر (۲۰۱۰) به بررسی تأثیر هدفمند کردن یارانه حامل‌های انرژی بر الگوی کشت محصولات زراعی دشت قوچان استان خراسان رضوی با استفاده از مدل

قیمت حامل‌های انرژی اثر مستقیمی در هزینه‌های استخراج منابع آب زیرزمینی دارد و کاهش این هزینه‌ها منجر به کاهش هزینه‌های استخراج آب شده و سبب ایجاد فشار مضاعفی بر تخلیه منابع آبی می‌گردد. افزایش تعداد چاه‌های کشور از حدود ۵ هزار حلقه در سال ۱۳۴۴ به حدود ۵۰۰ هزار حلقه در سال ۱۳۸۹ که میزان تخلیه آب از منابع زیرزمینی را فزون‌تر نموده و سالانه ۴/۸ میلیارد مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی در سطح کشور وجود دارد، خود گواه آشکار این مطلب است (حسین‌زاد و همکاران ۲۰۱۱). بررسی تغییر حجم آبخوان‌ها از سال ۱۳۴۳ تا ۱۳۸۹ نشان می‌دهد که بطور متوسط در هر سال حدود ۲۰۶۵ میلیون مترمکعب در آبخوان‌ها کاهش حجم وجود داشته است، همچنین تغییرات سطح آب زیرزمینی در همین سال‌ها نشان‌دهنده حدود ۴۰ سانتیمتر افت در هر سال می‌باشد (بی‌نام ۲۰۰۷). هزینه‌های استخراج با توجه به شرایط آب و هوایی از عوامل کنترل‌کننده و موثر بر میزان استخراج آب- زیرزمینی می‌باشد. چرا که با کاهش ارتفاع آب آبخوان به دلیل برداشت بیش از حد آب و کاهش نفوذ آب به آبخوان در اثر کاهش نزولات جوی، ارتفاع پمپاژ افزایش یافته و منجر به افزایش مصرف انرژی می‌شود که در نهایت سبب افزایش هزینه‌های استخراج شده و قیمت آب را افزایش می‌دهد.

بررسی نظام یارانه کالاها و خدمات کشور، نشان می‌دهد که بیشتر پرداختی‌های دولت در بخش کشاورزی مربوط به حامل‌های انرژی است بطوریکه در دهه‌های گذشته، بهای داخلی انرژی در ایران در مقایسه با کشورهای منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا، در پایین‌ترین سطح قرار داشته و بر اساس گزارش وزارت نیرو، در پایان سال ۱۳۸۶ نسبت قیمت انرژی در خارج از کشور به قیمت داخلی آن به بیش از نه برابر رسیده بود. به دلیل پایین بودن قیمت انرژی و پرداخت یارانه از سوی دولت به این بخش، مصرف انرژی در کشور دارای روندی غیرمنطقی بوده و تبعات زیادی مانند استفاده ناکارا و زیاد از منابع انرژی، بهره‌وری پایین انرژی در بخش تولید و بالا بودن میزان مصرف داخلی انرژی در مقایسه با استانداردهای بین‌المللی را به دنبال دارد. بطوریکه سرانه مصرف انرژی در ایران به ازای هر نفر بیش از ۵ برابر مصرف سرانه در کشور اندونزی با ۲۲۵ میلیون

برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP<sup>1</sup>) پرداخت. نتایج نشان داد که سطح زیرکشت برخی از محصولات کاهش یافته که منجر به کاهش مصرف آب نیز شده است. نادریان فر و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی اثرات بارندگی و شرایط اقلیمی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی پرداختند. نتایج نشان داد که بارندگی‌ها با یک تأخیر ۱۰ ماهه بیشترین تأثیر را روی ارتفاع سطح آب زیرزمینی داشته و همبستگی بالایی بین SPI<sup>2</sup> با مقیاس زمانی ۴۲ ماهه با سطح آب زیرزمینی وجود دارد. قاسمیان و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی تأثیر حذف یارانه انرژی بر هزینه تولید و قیمت تمام شده محصول پنبه استان گلستان پرداختند. نتایج نشان داد که در اثر اجرای سیاست قیمت تمام شده محصول پنبه از ۷۱۳۰ به ۸۱۹۰ ریال (حذف کامل یارانه گازوئیل) و ۱۳۲۰۰ ریال (حذف کامل یارانه برق) افزایش خواهد یافت. بنابراین بهتر است حذف یارانه انرژی به تدریج صورت گیرد. بلالی و منتشلو (۲۰۱۴) به بررسی آثار آزادسازی قیمت انرژی بر منابع آب و خاک در بخش کشاورزی با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که سیاست کاهش یارانه انرژی تأثیر مثبتی در بهبود برخی شاخص‌های زیست محیطی مانند میزان آب، کود ازته و پتاس مصرفی به ازای واحد سطح داشته است. بلالی و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی پویا بر اساس روش شبیه‌سازی و بهینه‌سازی (S/O) اثرات اقتصادی ناشی از سیاست کاهش و تعدیل یارانه انرژی در بخش کشاورزی بر تعادل و بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی را در دشت همدان- بهار مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سیاست کاهش و تعدیل یارانه انرژی موجب تغییر رفتار بهره‌برداران شده و از طریق تأثیر بر الگوی کشت محصولات کشاورزی در جهت توسعه محصولات با نیاز آبی کمتر تأثیر مثبتی در حفظ منابع آب زیرزمینی و کاهش تخریب آن در بلندمدت دارد. پهلوانی و همکاران (۲۰۱۲) به تعیین میزان تغییرات مصرف نهاده‌های کشاورزی در اثر آزادسازی قیمت نهاده‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که به ازای یک درصد افزایش قیمت انرژی، مصرف این نهاده کمتر از یک درصد کاهش می‌یابد.

گلدن و همکاران (۲۰۰۶) اثرات احتمالی افزایش قیمت انرژی در کشاورزی غرب کانزاس را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که هزینه تولید در اثر افزایش قیمت انرژی افزایش قابل توجهی می‌یابد. هرچند بخشی از این تأثیر از طریق افزایش قیمت و عملکرد محصولات کاهش می‌یابد، ولی اثر کلی در جهت کاهش سود مزارع بوده و تأثیر منفی بر تولید اقتصادی محصولات آبی دارد. کورتینانی و سورنتی (۲۰۰۹) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) و 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 الگوی کشت در کشور ایتالیا پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که افزایش هزینه‌های آب باعث ایجاد انگیزه در استفاده از تکنولوژی کم آبیاری نمی‌شود، ولی کشاورزان در زمانی که آب قابل دسترس کاهش می‌یابد و یا اینکه هزینه تأمین آب افزایش می‌یابد، در راستای صرفه‌جویی و ذخیره آب تمایل به استفاده از تکنیک کم آبیاری دارند. چارلس و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی افزایش قیمت انرژی بر بخش کشاورزی در کشور آمریکا به این نتیجه رسیدند که بین متغیر مستقل قیمت انرژی و متغیر وابسته مصرف انرژی رابطه معنادار وجود دارد و افزایش قیمت انرژی باعث کاهش مصرف آن می‌گردد. همچنین رستمی و همکاران (۲۰۱۱)، حاجی‌حسینلو (۲۰۱۸)، بخشایش و یزدانی (۲۰۱۵)، محمدی و صبوری (۲۰۱۶)، شاهنوشی (۲۰۱۵)، سلطانی و حاج رحیمی (۲۰۱۸) و علیپور و همکاران (۲۰۱۸) در داخل و گومز و آریبازا (۲۰۰۰)، لاک آنتونی (۲۰۰۱)، آمیک و اوگوز (۲۰۱۱)، در خارج با انجام مطالعات مشابه ضمن اشاره به اهمیت و نقش آبهای زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که انجام سناریوهای مختلف اصلاح قیمت حامل‌های انرژی، باعث بهبود شاخص‌های زیست محیطی و اقتصادی می‌شود

به هر حال با توجه به نظریه‌های اقتصادی و همچنین نتایج مطالعات تجربی که به برخی از آنها اشاره شد به نظر می‌رسد که سیاست کاهش و یا تعدیل قیمت حامل‌های انرژی در مصرف این نهاده و به تبع آن در میزان استخراج منابع آبهای زیرزمینی موثر خواهد بود. با توجه به اینکه کمیت و کیفیت اثرگذاری این

<sup>1</sup> Positive Mathematical Programming

<sup>2</sup> Standardized Precipitation Index

می‌باشد. در برنامه‌ریزی پویا، وضعیت یک سیستم در هر لحظه از زمان، مستقل از گذشته آن نیست و همچنین وضعیت فعلی آن، تعیین‌کننده وضعیت آینده سیستم است. لذا با یک پیوستگی زمانی مواجه‌ایم. زیرا هر تصمیمی که راجع به سیستم گرفته می‌شود (یعنی به آن ورودی داده می‌شود) علاوه بر اینکه در همان زمان بر آن اثر می‌گذارد، آینده آن را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (سوری ۲۰۱۱). جواب هر مسئله برنامه‌ریزی پویا به ازاء هر متغیر انتخابی به شکل یک مسیر زمانی بهینه خواهد بود که بهترین مقدار این متغیر را برای زمان حال و زمان‌های دیگر تا پایان دوره‌ی برنامه‌ریزی مشخص می‌کند. فرم عمومی مدل‌های پویا به صورت رابطه (۱) نشان داده می‌شود.

$$\begin{aligned} & \text{Max} \int_0^T [B(R_t) - C(R_t, S_t)] e^{-rt} dt \\ & \text{s.t. :} \\ & \frac{ds}{dt} = G(S_t) - R_t \\ & C_R > 0, C_S < 0 \end{aligned} \quad [1]$$

در رابطه فوق،  $S$  نشان‌دهنده متغیر ذخیره (متغیر وضعیت) و  $R$  متغیر بهره‌برداری (متغیر کنترل) می‌باشد. همچنین  $B(R_t)$  عایدی یا درآمد در دوره  $t$  و  $C(R_t, S_t)$  هزینه‌های کل دوره  $t$  و  $G(S_t)$  نشان‌دهنده تابع رشد منبع آب‌زیرزمینی است. در این حالت هدف، حداکثرسازی منافع خالص تنزیل شده در دوره یا افق زمانی محدود، با توجه به محدودیت رشد منبع است (بلمن، ۱۹۶۱). در این گونه مدل‌ها با معلوم بودن حالت و متغیر تصمیم هر مرحله، حالت مرحله بعد کاملاً مشخص خواهد شد. در این نوع مدل‌ها رابطه برگشتی، رابطه پیوستگی تغییرات آب در منبع می‌باشد که پویایی این مدل‌ها را در طول زمان نشان می‌دهد. حالت کلی این مدل به صورت رابطه ۲ می‌باشد.

$$f_n(S_n, X_n) = \text{opt}\{C_n(S_n, X_n) \otimes f_{n+1}(S_{n+1})\} \quad [2]$$

در رابطه ۲،  $C_n(S_n, X_n)$  سود یا خسارت اضافه شده در مرحله  $n$ ،  $f_{n+1}(S_{n+1})$  سود یا خسارت بهینه از مرحله  $n+1$  به بعد،  $X_n$  متغیر تصمیم در مرحله  $n$ ، وضعیت در مرحله  $n$ ،  $S_{n+1}$  وضعیت مرحله  $n+1$  و  $\otimes$  عملگر وابسته به ساختار مسئله می‌باشد که می‌تواند یکی از چهار عمل اصلی ریاضی را شامل شود.

سیاست در مناطق مختلف متفاوت بوده و بستگی به شرایط اقلیمی هر منطقه دارد. لذا در تحقیق حاضر سعی شده است این مهم در دشت شبستر که یکی از دشت‌های بحرانی و ممنوعه از لحاظ منابع آبهای زیرزمینی بوده استان آذربایجان شرقی هست، انجام گیرد. در این مطالعه فرض شده است که قیمت آب به عنوان ابزار سیاستی نقش موثری در کنترل بهره‌برداری از منابع آب‌زیرزمینی بخصوص در بخش کشاورزی که بیشترین مصرف‌کننده آب در میان سایر بخشهای اقتصادی می‌باشد، دارد.

### مواد و روش‌ها

یکی از رهیافت‌های مناسب و مطمئن که در ادبیات اقتصادی و مدیریت منابع آب برای ارزیابی اثرات سیاست‌های مختلف قیمتی و غیرقیمتی و همچنین بهینه‌سازی سیستم‌های منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل برنامه‌ریزی پویا<sup>۱</sup> یا بهینه‌یابی پویا می‌باشد که توسط بلمن<sup>۲</sup> در سال ۱۹۵۷ فرمول‌بندی شده است. برای درک مفاهیم بهینه‌یابی پویا، نیاز به آشنایی کامل با روش‌های بهینه‌یابی ایستا هم است. در الگوهای برنامه‌ریزی ایستا، تصمیم‌گیرنده هدف یا اهدافی دارد که با توجه به محدودیت‌های خود می‌تواند با انتخاب متغیرهای تصمیم، به آن هدف یا اهداف برسد. لذا هر مقداری که برای متغیرهای تصمیم تعیین کند در همه زمان‌ها مصداق خواهد داشت. به عبارت دیگر تصمیم‌گیری ایستا فقط در یک لحظه از زمان صورت می‌گیرد و مقدار متغیر تصمیم فقط خاص آن زمان است. ویژگی مهم بهینه‌یابی ایستا در این است که هیچ گونه وابستگی زمانی بین مقادیر متغیرها وجود ندارد. اما در مدل‌های برنامه‌ریزی و بهینه‌یابی پویا زمان نقش اساسی داشته و وابستگی زمانی بین مقادیر متغیرها وجود دارد. بنابراین تفاوت اصلی بهینه‌یابی ایستا و پویا در عامل زمان می‌باشد. برنامه‌ریزی پویا یک رهیافت بهینه‌سازی می‌باشد که مسائل پیچیده را به مسائل ساده‌تر تبدیل می‌کند. ویژگی ضروری آن ذات چند مرحله‌ای بودن فرآیند بهینه‌سازی

<sup>1</sup> Daynamic Programming

<sup>2</sup> Bellman

$$\sum_{i=1}^I A_{it} \leq TA_t \quad [4]$$

**محدودیت حداقل سطح زیرکشت:** با توجه به ساختار و فرهنگ کشاورزی هر منطقه معمولاً برخی از محصولات زراعی همواره در ترکیب کشت وجود دارند بطوریکه حتی در بدترین شرایط هم حداقل سطحی ( $MinA_t$ ) برای این محصولات در نظر گرفته می‌شود و مقدار آن برابر با سطح زیرکشت محصولات در سالی است که حداقل زمین در طول دوره مورد مطالعه (۱۰ سال) برای آن محصول تخصیص یافته است. این محدودیت به صورت رابطه ۵ نشان داده شده است.

$$MinA_{it} \leq A_{it} \quad [5]$$

**محدودیت کل آب قابل دسترس:** این محدودیت نشان می‌دهد که کل آب مورد نیاز برای محصولات در هر دوره نباید از مجموع مقادیر آب سطحی ( $SW_t$ ) و زیرزمینی ( $GW_t$ ) در دسترس آن دوره بیشتر باشد. رابطه ۶ نشانگر این محدودیت می‌باشد که در آن،  $WR_{it}$  آب مورد نیاز برای هر هکتار محصول می‌باشد.

$$\sum_{i=1}^I WR_{it} A_{it} \leq SW_t + GW_t \quad [6]$$

**محدودیت بیلان منابع آب زیرزمینی:** این محدودیت که به صورت رابطه ۷ ارائه شده است نشان می‌دهد که میزان برداشت از سفره آب‌های زیرزمینی نباید از میزان تغذیه این سفره‌ها بیشتر باشد تا پایداری آبخوان حفظ گردد. در این رابطه،  $\Delta S$  نشان‌دهنده تغییرات حجم آب آبخوان در دوره  $t+1$  (متغیر وضعیت)،  $R_t$  نرخ تغذیه طبیعی آبخوان که شامل جریان زیرزمینی ورودی، آب نفوذ یافته از سیلاب‌ها، بارش، پساب‌ها و برگشت آب کشاورزی به محدوده بیلان بوده و  $W_t$  کل بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی برای فعالیت‌های کشاورزی و غیر کشاورزی مانند شرب و صنعت (برحسب مترمکعب) در سال  $t$  (متغیر کنترل) می‌باشد که به صورت رابطه ۸ ارائه شده است. در این رابطه،  $AW$  بیانگر میزان آب مصرفی (سطحی و زیرزمینی) هر یک از محصولات،  $A$  سطح زیرکشت گیاه مورد نظر و  $D$  بهره‌برداری‌های غیر از کشاورزی مانند شرب می‌باشد. این محدودیت در واقع بیان‌کننده ارتباط بین بخش کشاورزی و بیلان منابع آب زیرزمینی است. طبیعی است که در صورت

تبیین مدل صحیح برای هر منطقه مستلزم شناخت دقیق اهداف و محدودیت‌های مطالعه می‌باشد. در مطالعه حاضر سعی شده‌است الگوی برنامه‌ریزی پویا با در نظر گرفتن سیاست‌های حامل‌های انرژی در کنار دیگر محدودیت‌های منطقه مورد مطالعه تبیین گردد. با در نظر گرفتن این موارد الگوی صریح و تجربی مطالعه حاضر برای دشت شبستر که به عنوان منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضر در نظر گرفته شده است، به صورت روابط ۳ تا ۱۳ تبیین می‌گردد.

$$MaxZ = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \rho^t \cdot \{ (P_{it} Y_{it} - C_{it}) - [P_{WG} W_G - P_{WS} W_S] A_{it} \} \quad [3]$$

رابطه ۳ تابع هدف الگو را که بیانگر حداکثرسازی ارزش حال بازده ناخالص حاصل از فعالیت‌های عمده کشاورزی منطقه مورد مطالعه (برحسب ریال) است را در طول افق برنامه‌ریزی ۱۰ ساله نشان می‌دهد. در این رابطه،  $t$  بیانگر سال،  $i$  بیانگر نوع محصول (محصولات زراعی شامل گندم، جو، آفتابگردان، پیاز، گوجه‌فرنگی، خیار و یونجه بوده و محصولات باغی شامل سیب، هلو، زردآلو، انگور، بادام و گردو می‌باشد)،  $\rho^t$  عامل تنزیل است که معادل  $(1+r)^{-t}$  بوده و  $r$  هم نرخ تنزیل می‌باشد که در مطالعه حاضر ۲۰ درصد در نظر گرفته شده است،  $P$  قیمت محصول (برحسب ریال)،  $Y$  عملکرد محصول (برحسب کیلوگرم در هکتار)،  $C$  هزینه متغیر تولید هر هکتار از محصول بجز هزینه آب (برحسب ریال)،  $A$  سطح زیرکشت محصول آبی (برحسب هکتار)،  $P_{WG}$  و  $P_{WS}$  به ترتیب قیمت آب زیرزمینی و سطحی (برحسب ریال بر مترمکعب) و  $W_G$  و  $W_S$  به ترتیب مقدار آب زیرزمینی و سطحی تخصیص یافته برای یک هکتار محصول (برحسب مترمکعب) می‌باشد. تابع هدف فوق با توجه به محدودیت‌های مهم موجود در منطقه حداکثر می‌گردد. در ادامه محدودیت‌های الگو به طور مختصر معرفی و تشریح می‌گردند.

**محدودیت سطح زیرکشت محصولات:** این قید بیان می‌کند که مجموع زمین‌های استفاده شده برای فعالیت‌های مختلف کشاورزی در سال  $t$  ( $A_{it}$ ) نباید از موجودی اراضی سال  $t$  ( $TA$ ) در این منطقه بیشتر گردد. این محدودیت در قالب رابطه ۴ در مدل لحاظ می‌گردد.

هزینه‌های استخراج آب‌زیرزمینی می‌شود. بر این اساس افزایش هزینه‌های استخراج، قیمت آب‌زیرزمینی را تحت الشعاع خود قرار داده و موجب تغییر مقدار استخراج آب می‌گردد. بر این اساس ارتباط بین هزینه‌های استخراج و ارتفاع آب‌زیرزمینی به صورت رابطه ۱۲ نشان داده می‌شود. در این رابطه،  $CWE$  نشان‌دهنده هزینه استخراج آب زیرزمینی است که تابعی از ارتفاع پمپاژ آب ( $h$ )، قیمت انرژی بر حسب ریال ( $PE$ ) و متوسط انرژی مصرفی برای پمپاژ یک مترمکعب آب به ارتفاع یک متر ( $\bar{E}$ ) می‌باشد. رابطه ۱۳ نشانگر هزینه کل بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی ( $CW$ ) بوده که برابر با مجموع هزینه استخراج و قیمت پرداختی برای یک مترمکعب آب ( $PW$ ) می‌باشد (بالایی و همکاران ۲۰۰۸). در رابطه ۱۲، ارتفاع پمپاژ ( $h$ ) بر اساس رابطه ۱۰ به دست می‌آید.

$$CWE = h_i * \bar{E} * PE_i \quad [12]$$

$$CW_{it} = [CWE + PW] \quad [13]$$

با توجه به اینکه هرگونه کاهش و یا تعدیل یارانه حامل‌های انرژی در قیمت این حامل‌ها منعکس می‌گردد در مطالعه حاضر سعی شد تحت سناریوهای مختلف قیمت حامل‌های انرژی که در جدول ۱ تنظیم شده‌است تأثیر اعمال سیاست‌های مختلف قیمت حامل‌های انرژی، روی هزینه و مقدار استخراج منابع آب زیرزمینی بررسی گردد.

آمار و اطلاعات مورد نیاز تحقیق حاضر که مربوط

به دوره زمانی ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۴ می‌باشد، از سازمان هواشناسی، سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان-شرقی، وزارت نیرو و سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی بدست آمده‌است. همچنین سال ۱۳۹۳ بعنوان سال پایه برای انجام محاسبات در نظر گرفته شده و برای برآورد الگو از نرم‌افزار Mathematica 10.0 استفاده شده است.

تغییر حجم آب در محدوده بیلان آبخوان، ارتفاع سطح آب آبخوان نیز دچار تغییر خواهد شد. رابطه (۹) بیانگر این تغییرات بوده که در آن  $\Delta h$  نشانگر تغییرات ارتفاع آب آبخوان (بر حسب متر)،  $X$  سطح لایه آبخوان و  $q$  آبدهی مخصوص آبخوان می‌باشد.

$$\mp \Delta S_{t+1} = S_{t+1} - S_t = R_t - W_t \quad [7]$$

$$W_t = \sum_i A_{it} . AW_i + D_t \quad [8]$$

$$\Delta h_{t+1} = (\pm \Delta S_{t+1}) * \frac{1}{X.q} \quad [9]$$

#### محدودیت شرایط آب و هوایی: شرایط آب و هوایی

از طریق تأثیر روی میزان منابع آب زیرزمینی بر فعالیت‌های کشاورزی و دیگر متغیرهای اقتصادی اثرگذار خواهد بود. شاخص‌های متعددی در این زمینه وجود دارد که هر کدام از جنبه‌های مختلف این ارتباط را نشان می‌دهند. در این مطالعه از شاخص بارش استاندارد ( $SPI$ ) به عنوان پرکاربردترین شاخص در میان شاخص‌های آب و هوایی استفاده گردیده- است. این محدودیت به صورت رابطه رگرسیونی ۱۰ در مدل لحاظ گردیده است. در این رابطه،  $h$  میانگین ارتفاع سطح آب‌زیرزمینی در ماه  $m$  و سال  $t$ ،  $SPI$  نشانگر شاخص بارش استاندارد به عنوان شاخص آب و هوایی،  $\alpha$  و  $\beta$  نیز پارامترهای مدل می‌باشند (نادریان فر و همکاران ۲۰۱۱).

$$h_{m,t} = \alpha + \beta(SPI) \quad [10]$$

شاخص بارش استاندارد نیز به صورت رابطه ۱۱ بدست می‌آید که در آن  $\bar{R}_k$  و  $S_k$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار ارتفاع بارش برای دوره مبنای ( $k$ ) می‌باشد (مفیدی پور و همکاران ۲۰۱۲).

$$SPI_{ik} = \frac{(R_k - \bar{R}_k)}{S_k}, i=1,2,\dots, k=1,2,3,\dots \quad [11]$$

کاهش نفوذ ریزش‌های جوی به آبخوان و برداشت بیش از حد منابع آبی منجر به کاهش ارتفاع آب زیرزمینی می‌شود. کاهش ارتفاع آبخوان نیز منجر به افزایش مصرف انرژی جهت استخراج آب می‌گردد که آن هم موجب افزایش

جدول ۱- سناریوهای مورد بررسی در رابطه با قیمت حاملهای انرژی.

| سناریو |    |    |    |    |  |
|--------|----|----|----|----|--|
| ۵      | ۴  | ۳  | ۲  | ۱  | افزایش قیمت انرژی نسبت به حالت موجود (در صد) |
| ۱۰۰    | ۷۵ | ۵۰ | ۲۵ | ۱۰ |  |

## نتایج و بحث

آب از منابع زیرزمینی ارائه و تفسیر شده است. در

مرحله نخست تاثیر تغییر قیمت حاملهای انرژی در سالهای

مختلف روی هزینه استخراج و هزینه کل بهره‌برداری از آب

زیرزمینی بررسی شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

در این قسمت نتایج مربوط به اعمال سیاست های

مختلف قیمت حاملهای انرژی روی هزینه و مقدار استخراج

جدول ۲- نتایج اعمال سناریوهای مختلف سیاست‌های قیمتی انرژی بر هزینه‌های استخراج آب.

| سال           | حالت پایه |      | افزایش ۱۰٪ قیمت حاملهای انرژی |       | افزایش ۲۵٪ قیمت حاملهای انرژی |       | افزایش ۵۰٪ قیمت حاملهای انرژی |       | افزایش ۷۵٪ قیمت حاملهای انرژی |       | افزایش ۱۰۰٪ قیمت حاملهای انرژی |       |
|---------------|-----------|------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|--------------------------------|-------|
|               | CW        | CWE  | CW                            | CWE   | CW                            | CWE   | CW                            | CWE   | CW                            | CWE   | CW                             | CWE   |
| ۸۴            | ۲۳۰۰      | ۲۴۷۱ | ۲۷۰۱                          | ۲۵۳۰  | ۳۰۴۶                          | ۲۸۷۵  | ۳۴۵۰                          | ۳۶۲۱  | ۴۰۸۱                          | ۴۶۰۰  | ۴۷۷۱                           | ۴۷۷۱  |
| ۸۵            | ۲۵۶۱      | ۲۷۵۲ | ۳۰۰۸                          | ۲۸۱۷  | ۳۲۹۲                          | ۳۲۰۱  | ۳۸۴۲                          | ۴۰۳۳  | ۴۵۴۵                          | ۵۱۲۲  | ۵۳۱۳                           | ۵۳۱۳  |
| ۸۶            | ۳۰۱۶      | ۳۲۴۳ | ۳۵۴۴                          | ۳۳۱۸  | ۳۹۹۷                          | ۳۷۷۰  | ۴۵۲۴                          | ۴۷۵۱  | ۵۱۲۸                          | ۶۰۳۳  | ۶۲۵۹                           | ۶۲۵۹  |
| ۸۷            | ۳۷۷۵      | ۴۰۵۹ | ۴۴۳۶                          | ۴۱۵۳  | ۵۰۰۳                          | ۴۷۱۹  | ۵۶۶۳                          | ۵۹۴۷  | ۶۴۱۸                          | ۷۵۰۰  | ۷۸۳۴                           | ۷۸۳۴  |
| ۸۸            | ۴۱۷۹      | ۴۴۹۴ | ۴۹۱۱                          | ۴۵۹۷  | ۵۵۳۸                          | ۵۲۲۴  | ۶۲۶۹                          | ۶۵۸۳  | ۷۱۰۵                          | ۸۳۵۸  | ۸۶۷۳                           | ۸۶۷۳  |
| ۸۹            | ۴۶۸۹      | ۵۰۴۳ | ۵۵۱۲                          | ۵۱۵۸  | ۶۲۱۵                          | ۵۸۶۲  | ۷۰۳۴                          | ۷۳۸۷  | ۷۹۷۲                          | ۹۳۷۹  | ۹۷۳۲                           | ۹۷۳۲  |
| ۹۰            | ۵۶۹۱      | ۶۱۲۰ | ۶۶۸۹                          | ۶۲۶۰  | ۷۵۴۳                          | ۷۱۱۳  | ۸۵۳۶                          | ۸۹۶۵  | ۹۶۷۴                          | ۱۱۳۸۱ | ۱۱۸۱۰                          | ۱۱۸۱۰ |
| ۹۱            | ۷۴۱۴      | ۷۹۷۵ | ۸۷۱۶                          | ۸۱۵۶  | ۹۸۲۹                          | ۹۳۶۸  | ۱۱۱۲۱                         | ۱۱۶۸۲ | ۱۲۶۰۴                         | ۱۴۸۲۸ | ۱۵۳۸۹                          | ۱۵۳۸۹ |
| ۹۲            | ۱۰۲۹۵     | ۱۱۰۷ | ۱۱۳۲۴                         | ۱۲۱۰۵ | ۱۳۶۴۹                         | ۱۲۸۶۸ | ۱۵۴۴۲                         | ۱۶۲۲۳ | ۱۷۵۰۱                         | ۲۰۵۸۹ | ۲۱۳۷۰                          | ۲۱۳۷۰ |
| ۹۳            | ۱۱۸۶۱     | ۱۲۸۶ | ۱۳۰۴۷                         | ۱۴۰۴۷ | ۱۵۸۲۶                         | ۱۴۸۲۶ | ۱۷۷۹۱                         | ۱۸۷۹۱ | ۲۰۱۶۳                         | ۲۳۷۲۱ | ۲۴۷۲۱                          | ۲۴۷۲۱ |
| متوسط قیمت آب | ۵۵۷۸      | ۶۰۰۹ | ۶۱۳۶                          | ۶۵۶۷  | ۷۴۰۴                          | ۶۹۷۳  | ۸۳۶۷                          | ۸۷۹۸  | ۹۴۸۳                          | ۹۹۱۴  | ۱۱۱۵۶                          | ۱۱۵۸۷ |

ارقام بر حسب ریال بر مترمکعب می‌باشد.

۱۵۸۲۶، ۱۸۷۹۱، ۲۱۱۶۳ و ۲۴۷۲۱ ریال بر مترمکعب افزایش

می‌یابد. متوسط ۱۰ ساله قیمت آب نیز نسبت به افزایش

قیمت انرژی روند افزایشی داشته است. با توجه به اینکه آب

یکی از نهاده‌های مهم و خیلی ضروری در بخش کشاورزی

محسوب می‌شود. با کاهش یارانه انرژی و به تبع آن افزایش

هزینه‌های استخراج آب هزینه‌های تولید در فعالیت‌های

کشاورزی نیز به شدت افزایش می‌یابد. در این وضعیت

کشاورزان یا باید افزایش هزینه‌ها را تقبل کنند که خیلی از

با توجه به جدول فوق افزایش قیمت انرژی در

سالهای ۱۳۹۳-۱۳۸۴ منجر به افزایش هزینه استخراج هر

متر مکعب آب و در نتیجه افزایش قیمت آب می‌گردد. به

عنوان مثال در سال ۱۳۹۳، هزینه بهره‌برداری از آب

زیرزمینی در حالت پایه (با یارانه انرژی) برابر ۱۲۸۶۱ ریال

بر متر مکعب می‌باشد که با افزایش قیمت انرژی به اندازه

۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب به مبلغ ۱۴۰۴۷،



### نتایج حل الگوی برنامه‌ریزی پویا

در مرحله بعد با حل الگوی تجربی برنامه‌ریزی پویا تحت سناریوهای مختلف قیمت حامل‌های انرژی سعی شد، تاثیر تعدیل قیمت حامل‌های انرژی روی الگوی کشت و میزان مصرف آب زیرزمینی در دشت شبستر بررسی گردد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

کشاورزان استطاعت مالی برای انجام این کار را ندارند و یا باید مصرف آب خود را کاهش دهند که این امر از طریق افزایش راندمان آبیاری و یا تغییر الگوی کشت به سمت محصولات سودده با نیاز آبی کمتر امکان‌پذیر می‌باشد. بلالی و همکاران در مطالعه آثار تعدیل یارانه انرژی بر تعادل و بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی و همچنین چارلز و همکاران در مطالعه افزایش قیمت انرژی بر بخش کشاورزی آمریکا به نتایج مشابهی دست یافته یافتند.

جدول ۳- نتایج حل الگوی برنامه‌ریزی پویا برای دشت شبستر.

| سناریو ۵ | سناریو ۴ | سناریو ۳ | سناریو ۲ | سناریو ۱ | وضع بهینه | وضع موجود | محصول (هکتار)                               |
|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|---|
| ۸۰۰۰     | ۸۰۰۰     | ۸۰۰۰     | ۸۰۰۰     | ۸۰۰۰     | ۸۰۰۰      | ۸۲۱۰      | گندم  |
| ۱۵۰۰     | ۱۵۰۰     | ۱۵۰۰     | ۱۵۰۰     | ۱۵۰۰     | ۱۵۰۰      | ۱۶۳۶      | جو  |
| ۱۴۰      | ۱۴۰      | ۱۴۰      | ۱۴۰      | ۱۴۰      | ۱۴۰       | ۳۲۰       | آفتابگردان                                  |
| ۵۰۷      | ۵۰۸      | ۶۱۵      | ۸۸۴      | ۹۳۸      | ۹۳۸       | ۷۴۶       | پیاز  |
| ۴۷۵      | ۴۷۵      | ۴۷۵      | ۴۷۵      | ۴۷۵      | ۴۷۵       | ۶۲۶       | گوچه فرنگی                                  |
| ۲۴۰۵     | ۲۴۰۵     | ۲۴۰۵     | ۲۴۰۵     | ۲۴۰۵     | ۲۴۰۵      | ۲۶۸۶      | یونجه                                       |
| ۳۸۰      | ۳۸۰      | ۳۸۰      | ۳۸۰      | ۳۸۰      | ۳۸۰       | ۴۱۰       | خیار  |
| ۵۵۳      | ۵۵۳      | ۵۵۳      | ۵۵۳      | ۵۵۳      | ۵۵۳       | ۱۴۳۳      | آیش   |
| ۲۰۷۷     | ۲۰۷۷     | ۲۰۷۷     | ۲۰۷۷     | ۲۰۷۷     | ۲۰۷۷      | ۱۹۸۸      | سیب   |
| ۶۶۴      | ۶۶۴      | ۶۶۴      | ۶۶۴      | ۶۶۴      | ۶۶۴       | ۹۵۲       | هلو   |
| ۱۱۸۲     | ۱۱۸۲     | ۱۱۸۲     | ۱۱۸۲     | ۱۱۸۲     | ۱۱۸۲      | ۱۲۶۳      | زردآلو                                      |
| ۵۰۰      | ۵۰۰      | ۵۰۰      | ۵۰۰      | ۵۰۰      | ۵۰۰       | ۶۸۶       | انگور                                       |
| ۱۱۶۰     | ۱۱۶۰     | ۱۱۶۰     | ۱۱۶۰     | ۱۱۶۰     | ۱۱۶۰      | ۱۲۶۵      | بادام                                       |
| ۱۲۹۹     | ۱۲۹۹     | ۱۲۹۹     | ۱۲۹۹     | ۱۲۹۹     | ۱۲۹۹      | ۷۲۹       | گردو  |
| ۷۹۳۱۰۹۳۲ | ۷۹۳۱۰۹۳۲ | ۸۰۰۴۸۲۵۰ | ۸۲۱۱۰۱۶۰ | ۸۲۵۷۱۲۷۰ | ۸۲۵۷۱۲۷۰  | ۸۶۵۳۰۰۰۰  | مصرف سالانه آب زیرزمینی (m3)                |
| -۳۲۱۹۷۱۰ | -۳۲۱۹۷۱۰ | -۳۹۵۷۰۲۸ | -۵۲۹۱۷۵۵ | -۶۰۵۶۱۲۲ | -۶۰۵۶۱۲۲  | -۱۰۴۳۸۷۶۰ | تغییرات سالانه حجم آبخوان (m3)              |
| +۶۹/۱۶   | +۶۹/۱۶   | +۶۲/۱    | +۴۹/۳۱   | +۴۱/۹۸   | +۴۱/۹۸    | -         | درصد تغییرات حجم سفره نسبت به شرایط موجود   |
| -۰/۱۴    | -۰/۱۴    | -۰/۱۷    | -۰/۲۲    | -۰/۲۵    | -۰/۲۵     | -۰/۴۴     | تغییرات سالانه ارتفاع آب (m)                |
| -۳۲۴۰۶۰  | ۲۳۳۳۵۱   | ۷۹۰۹۱۰   | ۱۳۶۷۰۵۰  | ۱۷۱۸۷۹۰  | ۱۹۵۳۳۳۰   | ۳۹۸۷۵۵۰   | ارزش فعلی بازده ناخالص سالانه (میلیون ریال) |
| -۱۱۶/۵۹  | -۸۸/۰۵   | -۵۹/۵۱   | -۳۰      | -۱۲      | -         | -         | درصد تغییر بازده ناخالص نسبت به شرایط بهینه |

در جدول ۳ وضعیت موجود نشان‌دهنده شرایط فعلی برداشت آب می‌باشد. در این وضعیت، مقدار بهره‌برداری از آب در فعالیت‌های عمده کشاورزی معادل  $86/53$  میلیون مترمکعب در سال بوده و بیلان منفی آبخوان حدود  $10/44$  میلیون مترمکعب در سال است که معادل کاهش سالانه  $44$  سانتیمتر ارتفاع سفره آب زیرزمینی می‌باشد. درآمد سالانه کشاورزان در این وضعیت برابر  $3987500$  میلیون ریال می‌باشد. ستون مربوط به وضع بهینه نشانگر نتایج حل الگوی برنامه‌ریزی پویای تبیین شده در شرایط فعلی یارانه حامل‌های انرژی می‌باشد. در این وضعیت مقدار بهره‌برداری سالانه آب معادل  $82/07$  میلیون مترمکعب بوده که نسبت به وضع موجود،  $3/96$  میلیون مترمکعب کاهش یافته است. بیلان منفی آبخوان نیز به مقدار  $6/06$  میلیون مترمکعب تنزل کرده که معادل کاهش سالانه  $25$  سانتیمتر ارتفاع آبخوان بوده است. یعنی در مقایسه با وضع موجود ارتفاع آبخوان  $19$  سانتیمتر افزایش داشته است. درآمد سالانه کشاورزان به مبلغ  $1953330$  میلیون ریال نسبت به شرایط موجود کاهش یافته است. با توجه به نیاز آبی گیاهان، بیشترین نیاز آبی بین محصولات زراعی و باغی مربوط به محصولات یونجه، گردو، پیاز و گوجه‌فرنگی و کمترین نیاز آبی به محصولات جو و گندم اختصاص دارد. در الگوی بهینه، سطح زیرکشت اکثر محصولات به حداقل مقدار خود کاهش یافته است و تنها سطح زیرکشت محصولات پیاز، سیب و گردو به دلیل ایجاد درآمد بالاتر افزایش می‌یابد. علت عدم افزایش سطح زیرکشت محصولات کم‌آب می‌تواند در عدم سوددهی آنها باشد. چرا که افزایش هزینه‌های استخراج آب منجر به افزایش هزینه‌های تولیدی شده و کشت چنین محصولاتی دیگر صرفه اقتصادی نخواهند داشت. در کل به دلیل کاهش سطح زیرکشت محصولات پرآب، میزان مصرف آب کاهش می‌یابد. فتاحی چیتگر در مطالعه بررسی تاثیر هدفمند کردن یارانه حامل‌های انرژی بر الگوی کشت محصولات زراعی دشت قوچان استان

خراسان رضوی، بلالی و منتشلو در مطالعه بررسی آثار آزاد سازی قیمت انرژی بر منابع آب و خاک در بخش کشاورزی ایران و گلدن و همکاران در مطالعه تحلیل اثرات احتمالی افزایش قیمت انرژی در کشاورزی کانزاس نیز به تغییر الگوی کشت به سمت محصولات کم‌آبر و کاهش استخراج و مصرف منابع آب در نتیجه کاهش یارانه و افزایش قیمت حامل‌های انرژی اشاره کردند. در ستون مربوط به سناریوی ۱ فرض شده است که قیمت حامل‌های انرژی افزایش ۱۰ درصدی داشته باشند، در این صورت در میزان بهره‌برداری از آب زیرزمینی در مقایسه با وضع بهینه تغییری صورت نگرفته و مصرف آب همانند وضعیت اولیه قیمت‌های انرژی (وضع بهینه) می‌باشد. به نظر می‌رسد این تغییر اندک قیمت، تغییرات چندانی را در میزان استخراج ایجاد نمی‌کند. در این حالت حجم سفره و سطح زیرکشت محصولات نیز همان مقادیری می‌باشند که در وضع بهینه مشخص شدند. تنها عاملی که تغییر یافته است، بازده ناخالص سالانه فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد که با افزایش هزینه استخراج (در اثر افزایش قیمت انرژی) نسبت به وضعیت بهینه، کاهش ۱۲ درصدی داشته است.

با افزایش قیمت حامل‌های انرژی به اندازه ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد قیمت فعلی که به ترتیب در ستون‌های مربوط به سناریوهای ۲، ۳ و ۴ لحاظ شده‌اند، میزان برداشت آب روند کاهشی داشته و برای این سناریوها به ترتیب برابر  $82/11$ ،  $80/05$  و  $79/31$  میلیون مترمکعب بوده است. تغییرات سالانه حجم آب سفره برای سناریوهای ۲، ۳ و ۴ نیز به ترتیب برابر با  $5/29$ ،  $-3/96$  و  $-3/22$  میلیون مترمکعب می‌باشد که نسبت به شرایط موجود دارای روند افزایشی بوده و میزان این افزایش برای سناریوهای فوق به ترتیب معادل  $49/31$ ،  $62/1$  و  $69/16$  درصد می‌باشد. بازده فعالیت‌های کشاورزی برخلاف حجم آبخوان برای سه سناریوی فوق نسبت به وضع بهینه، روند کاهشی داشته و به ترتیب برابر  $1367050$ ،  $790910$  و

تحت فشار می‌توان راندمان آبیاری را افزایش داد تا از این طریق مصرف آب و در نتیجه هزینه‌های تولیدی کاهش یابد. همچنین برای بهبود بیلان آبخوان، بایستی برداشت آب از سفره تا حدی کاهش یابد که علاوه بر کاهش بیلان منفی آبخوان، سطح سفره به حد آستانه خود رسیده و بهبود یابد. این امر زمانی محقق خواهد شد که برداشت آب کمتر از میزان تغذیه سفره باشد. همچنین بهتر است در دوره‌های ترسالی مقدار برداشت از سفره نه تنها افزایش نیابد بلکه با برداشت کمتر سعی گردد تا حجم کاهش یافته آب سفره در سال‌های قبل جبران شود. در غیر این صورت با وجود برداشت بیش از حد آب در سال‌های پرآبی، نه تنها آبخوان ترمیم نخواهد یافت بلکه تخریب بیشتر آن نیز فراهم خواهد شد. تخریب آبخوان نیز به نوبه خود، افزایش شوری آب چاه‌ها، نشست زمین و عوامل زیست محیطی دیگری را به دنبال خواهد داشت که بیشتر مواقع قابل جبران نیست و در صورت قابل جبران بودن هزینه‌های گزاف اجتماعی را دربرخواهد داشت.

در نهایت بهتر است قیمت حامل‌های انرژی در دراز مدت و با روند کاهشی افزایش یابد تا به قیمت واقعی آن برسد و کشاورزان فرصت کافی برای مقابله با این افزایش قیمت را داشته باشند. بنابراین تنظیم استخراج منابع آب براساس هزینه‌های واقعی آن و شرایط خاص آب و هوایی و همچنین اتخاذ سیاست‌های مناسب یارانه حامل‌های انرژی مربوط به استخراج می‌تواند در بهبود شرایط منابع آب زیرزمینی مفید واقع شده و بحران آب در بخش کشاورزی کشور را کاهش دهد.

۲۳۳۳۵۱ میلیون ریال می‌باشد. کاهش درآمد برای این سناریوها نسبت به وضع بهینه به ترتیب شامل ۳۰، ۵۹/۵۱ و ۸۸/۰۵ درصد می‌باشد. با اعمال سناریوی ۵ که افزایش ۱۰۰ درصدی حامل‌های انرژی را نشان می‌دهد، درآمد خالص و یا سود فعالیت‌های کشاورزی منفی می‌گردد. به عبارت دیگر تحت این شرایط نه تنها سودی کسب نخواهد شد بلکه هزینه مازادی معادل ۳۲۴۰۶۰ میلیون ریال را نیز ایجاد خواهد شد. هرچند در این سناریوها بیلان منفی آب زیرزمینی کاهش یافته ولی هنوز صفر و یا مثبت نگردیده است. این وضعیت نشانگر وضعیت بحرانی منابع آب در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

#### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اینکه آب یکی از نهاده‌های مهم در بخش کشاورزی می‌باشد و با توجه به مشکلات مالی که در بخش کشاورزی وجود دارد، افزایش قیمت آب ناشی از افزایش قیمت انرژی، منجر به افزایش هزینه‌های متغیر تولید محصولات و در نتیجه کاهش عایدی کشاورزان می‌شود. بنابراین کشاورزان یا باید منابع دیگری مانند فاضلاب تصفیه شده را جایگزین آب زیرزمینی کنند و یا باید الگوی کشت را از محصولات پرآب منطقه به سمت محصولات کم‌آب تغییر دهند. اما محصولات کم‌آب مانند گندم به علت پایین بودن درآمد، صرفه اقتصادی ندارند. بنابراین یا باید هزینه‌های تولیدی این محصولات کاهش یابد و یا قیمت محصولات افزایش یابد تا میزان سوددهی افزایش یافته و سطح زیرکشت آنها جایگزین محصولات پرآب شود. با توجه به اینکه راندمان آبیاری در این مناطق بسیار کم است، با استفاده از روش‌های نوین آبیاری مانند سیستم‌های

#### منابع مورد استفاده

- Akkemik AK and Oguz F, 2011. Regulation, efficiency and equilibrium: A general equilibrium analysis of liberalization in the Turkish electricity market. *Energy* 36:3282-3292.
- Alipoor A, Derakhshan H and Davari K, 2018. Strategies for achieving sustainable groundwater management. *Journal of Strategic Studies of Public Policy* 8(29):261-275. (In Persian with English abstract)
- Anonymous, 2006. East Azerbaijan, Regional Water Organization, Office of groundwater balance studies in Shabestar-Soofiyan. (In Persian)
- Anonymous, 2007. The report continued hydrogeological study the piezometric network of plains. Department of Water Resources Researches, Tehran Regional Water Company, Ministry of Energy. (In

Persian)

- Anonymous, 2014. East Azerbaijan, Regional Water Organization, Office of groundwater balance studies. (In Persian)
- Asghari Moghaddam A and Mohammadi A, 2003. The causes of salinity of groundwater aquifers in Shabestar Plain. *Agricultural Science* 13(3): 69-78. (In Persian with English abstract)
- Bakhshayesh M and Yazdani S, 2015. Estimation of energy demand function in agricultural sector of Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research* 46 (2):327-334. (In Persian with English abstract)
- Balali H and Montashlu M, 2014. Investigation liberalization of energy prices on water and soil resources in agriculture using mathematical programming. *Iranian Journal of Applied Economic Research*. 10(3): 201-218. (In Persian with English abstract)
- Balali H, Khalilian S, Ahmadian M and Torabi Pelet Kalen S, 2008. Effects of energy subsidies adjustment on groundwater balance and exploitation in agricultural sector. *Agricultural Research: Water, Soil and Plants in Agriculture*, 8(3): 95-106. (In Persian with English abstract)
- Bellman R, 1961. *Adaptive Control Processes: A guided tour*. Princeton University Press.
- Charles BM, Grigorios L and Schmitz A, 2010. The effect of increased energy prices on agriculture: A differential supply approach. *Journal of Agricultural and Applied Economics* 42(4):711-718.
- Cortignani R and Severini S, 2009. Modeling farm-level adoption of deficit irrigation using positive mathematical programming. *Agricultural Water Management*, 96, 1785-1791.
- Fattahi Chetgar M, 2010. Investigation effect of organization of energy carriers subsidies on cultivation crops pattern in Ghoochan plain. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract)
- Fujia Li, Cheng Dong S and Li F, 2012. A system dynamics model for analyzing the eco-agriculture system with policy recommendations. *Ecological Economics* 227: 34-45.
- Ghasemyian SD, Darijani A, Hosseini SS, Hassanpour E and Binazir SAR, 2014. Effects of energy subsidies on production costs and finished price of cotton crop (Case study: Golestan Province). *Iranian Journal of Cotton Researches* 1(2): 29-41. (In Persian with English abstract)
- Golden B, Kastens T and Dhuyvetter K, 2006. Likely impacts of rising energy price on irrigated agriculture in western Kansas. *Kansas Water Office Report Topeka*. Kansas. USA.
- Gomez-Limon JA and Arriaza A, 2000. Socio-economic and environmental impact of AGENDA 2000 and alternative policy choices for market liberalization on an irrigated area in northwestern Spain. *Agricultural Economics Review* 1(2):18 -30.
- Haji Hosseinloo H, 2018. Survey of groundwater level decline using GIS (Case study: Khoy plain aquifer). *Journal of Geography and Environmental Hazards* 26:53-73. (In Persian with English abstract)
- Hosseionzad J, Javadi A, Hayati B, Phishbahar E and Dashti G, 2011. Application of optimal control in extraction water from groundwater resources (Case Study: Ajabshir Plain). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research* 25(2): 212-218. (In Persian with English abstract)
- Luke Anthony Ney JR, 2001. An empirical assessment of virtual water: The impact of liberalization of agricultural subsidies and international trade on irrigation water demand. Ph.D. Thesis, The Fletcher School of Law and Diplomacy, UMI publication.
- Mofidipoor N, Sheikh V, Ownegh M and Sadodin A, 2012. The analysis of relationship between meteorological and hydrological droughts in Atrak watershed. *Journal of Watershed Management* 5:16-26. (In Persian with English abstract)
- Mohammadi M and Saboori M, 2016. Analyzing the role of increase in energy prices on the renewable energy adoption by Broiler Breeders, Garmsar County. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 47 (4):913-927. (In Persian with English abstract)
- Naderianfar M, Ansari H, Ziaie A and Davary K, 2011. Evaluating the groundwater level fluctuations under different climatic conditions in the basin Neyshabour. *Journal of Irrigation & Water Engineering* 1(3):21-37. (In Persian with English abstract)
- Pahlavani M, tayebi K, Taheri P and Kalateh Arabi V, 2012. Determining the rate of change in the consumption of agricultural inputs in effect liberalization of input prices. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research* 26(4): 228-236. (In Persian with English abstract)
- Rostami M, Sarabandi A and Esmaeillian M, 2011. Investigation energy of environmental policy in Iran. Pp.1-8, *Journal of Naft University, Faculty of Naft Tehran*. (In Persian)

- Shahnooshi N, 2015. Estimation of energy demand function in agricultural sector of Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research* 46 (4): 327-334.
- Soltani A and Haj Rahimi M, 2018. Estimation and comparison of groundwater harvesting in various patterns of operation and its impact on sustainability (Case study: Bahar plain of Hamedan province). *Journal of Agricultural Economics Research* 10(4):173-194.
- Soori A, 2011. *Mathematical Economics, Methods and Applications*. Samt Press, Tehran, Iran. (In Persian)