نشریه دانش آب و خاک/ جلد 22 شماره 2/ سال 1391

تعیین میزان برداشت آب از منابع زیرزمینی بر اساس مدیریت هزینه

(مطالعه موردی: دشت عجب شیر)

جواد حسین‌زاد[1*]، اکرم جوادی[2] و فاطمه کاظمیه[2]

تاریخ دریافت: 89/10/11 تاریخ پذیرش: 89/12/22

1- استادیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

2- دانشجویان سابق کارشناسی ارشد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبه Email: J.hosseinzad@tabrizu.ac.ir

چکیده

منابع آب زیرزمینی، بزرگترین ذخیره قابل دسترس آب شیرین در کره زمین را تشکیل می‌دهند. اما با توجه به محدودیت آن‌ها و افزایش میزان مصرف دیری نخواهد گذشت که جهان با بحران کمبود آب مواجه خواهد شد. این وضعیت برای کشور ایران به دلیل اقلیم خشک و بیابانی هشداردهنده‌تر است. بر اساس گزارش وزارت نیرو در سال 1386، سالانه 4/8 میلیارد مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی در سطح کشور وجود دارد. سفره آب زیرزمینی دشت عجب شیر که از مناطق مهم کشاورزی استان آذربایجان شرقی می‌باشد، با مشکل کمبود و تراز منفی سطح آب زیرزمینی مواجه است. بنابراین مطالعه چگونگی مصرف کارآمد و مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی آن ضروری است. مدیریت بر اساس هزینه استخراج یکی از متداول‌ترین روش‌های مدیریتی در برداشت آب از منابع زیرزمینی است. در این نوع مدیریت تا جایی از منابع آبی استفاده می‌شود که هزینه نهایی با سود نهایی برابر شود. با اجرای چنین مدیریتی برای دشت عجب شیر، میزان استخراج آب در طول زمان از منبع زیرزمینی این منطقه تعیین گردید. نتایج حاکی از آنست که به دلیل وضعیت بحرانی این دشت، با روند فعلی حدود 8 سال دیگر می‌توان از این سفره آب برداشت کرد اما پس از آن سفره زیرزمینی با لایه شور مواجه خواهد شد و قابل بهره‌برداری نخواهد بود. به این ترتیب صرفه جویی در مصرف آب و جایگزین کردن منابع آبی جدید برای مصرف در بخش کشاورزی موجب بازسازی سفره و بهبود بخشیدن به وضع آن خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: برداشت آب، دشت عجب شیر، منابع آب زیرزمینی، هزینه استخراج

Determination of Groundwater Extraction Based on Cost Management (Case study: Ajabshir Plain)

J Hosseinzad[1*], A Javadi[2] and F Kazemiyeh[2]

Received: January 1, 2011 Accepted: March 13, 2011
[1]Assoc. Prof., Agric. Econ. Dept., Univ. of Tabriz, Iran
[2]Former MSc Students, Agric. Econ. Dept., Univ. of Tabriz, Iran
*Corresponding author: Email: J.hosseinzad@tabrizu.ac.ir

Abstract

Groundwater is the largest available resource of fresh water on the earth. But due to its limitation and also consumption augmentation, the world would face with crisis of water resource shortage. Since Iran is located in an arid and semi-arid region, the situation is more serious for the country. According to the reports published by the Ministry of Energy in Iran, there is 4.8 billion m^3/y excessive depletion of groundwater in the country. Ajabshir plain is an important agricultural area in East Azarbaijan. This plain has been faced with deficiency and shortage of water supplies along with steadly falling water table level in the aquifer. Therefore, studies about the consumption manner and proper management of water resource usage seem to be very crucial. Management based on the extraction cost is one of the most adapted methods in ground water exploitation management. In this procedure, water utilization is based on the equality of net benefit and cost. The extraction path was determined by execution of the mentioned model in this aquifer. The results showed that the aquifer would be useful for the next 8 years. After that it would face with salt water layer. Subsequently, by saving of water and use of alternative resources the agricultural sector, it would cause the aquifer to be built-up and get improved.

Keywords: Ajabshir plain, Extraction cost, Water extraction, Water resources

مقدمه

منابع آب زیرزمینی، بزرگترین ذخیره قابل دسترس آب شیرین در کره زمین را تشکیل می‌دهند. به دلیل اینکه 97 درصد منابع آبی شور می‌باشد، مقدار بسیار محدودی از آنها به طور مستقیم از سوی انسان مورد استفاده قرار گرفته است (خلیلیان و مهرجردی 1384). بنابراین با توجه به محدودیت منابع آبی و افزایش میزان مصرف فعلی آن از یک طرف و کاهش این منابع و عدم توفیق در ایجاد منابع آبی جدید از سوی دیگر، دیری نخواهد گذشت که جهان با بحران کمبود آب مواجه خواهد شد. این وضعیت برای کشور ایران به دلیل اقلیم خشک و بیابانی، هشداردهنده‌تر است. چرا که به علت رشد نسبتاً بالای جمعیت کشور، افزایش فعالیت-های کشاورزی، صنعت و شهرنشینی در سال‌های

اخیر، متوسط سرانه آب قابل تجدید کشور تقلیل یافته است. هم‌چنین برداشت بیش از حد مجاز از سفره‌های آب زیرزمینی کشور باعث بوجود آمدن خسارات جبران‌ناپذیری به این منابع شده است. بر اساس گزارش وزارت نیرو (بی‌نام 1386 و 1388) سالانه 4/8 میلیارد مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی در سطح کشور وجود دارد. بنابراین برای انجام فعالیت-های کشاورزی که به منابع متنابهی از آب نیاز دارد، بایستی مطالعات مربوط به چگونگی مصرف کارآمد و مدیریت صحیح از منابع آب انجام گیرد. یکی از متداول-ترین روش‌های مدیریتی در برداشت آب از منابع زیرزمینی، مدیریت بر اساس هزینه استخراج می‌باشد. در این نوع مدیریت تا جایی از منابع آبی استفاده می-شود که هزینه نهایی با سود نهایی برابر شود.

در راستای مطالعات مربوط به منابع آب با روش مدیریت بر پایه هزینه استخراج آب از منبع زیرزمینی، مطالعات مختلفی توسط محققین انجام گرفته است. آموندسن (1999) به مطالعه مدیریت سفره آب زیرزمینی در داییر-یلاتو در اتیوپی پرداخت. او سیاست برداشت آب از منبع زیرزمینی بر پایه هزینه استخراج را برای یک دوره خشکسالی بررسی کرده و با توجه به مسیر برداشت به دست آمده، نتیجه گرفت که بایستی در مصرف آب صرفه جویی به عمل آید. هله گرز و همکاران (2001) مطالعه‌ای را در مورد مدیریت آب‌های زیرزمینی منطقه هلند انجام دادند. ایشان مسیر استخراج آب در حالت برداشت بر پایه هزینه استخراج را به دست آورده و با توجه به آن پیشنهادها و سیاست‌هایی را ارائه کردند. پی‌تافی و روماست (2006) مصرف آب زیرزمینی را در منطقه هونولولو امریکا مطالعه کردند. آن‌ها مسیرهای استخراج، قیمت‌گذاری آب و نیز مسیر تغییر ارتفاع سطح سفره آب زیرزمینی را بر پایه مدیریت بر اساس هزینه استخراج مورد بررسی قرار دادند.

دشت عجب‌شیر از جمله مناطق مهم کشاورزی استان آذربایجان شرقی و کشور است که با بحران کاهش آب‌های زیرزمینی روبروست. سطح اراضی کشاورزی این دشت حدود 7000 هکتار می‌باشد که به کشت محصولات مختلف زراعی و باغی اختصاص دارد. استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در این منطقه موجب شده است که ارتفاع سفره آب زیرزمینی در طول 20 سال اخیر، حدود 6 متر افت داشته باشد و این وضعیت موجب شده است که در سال‌های اخیر دشت عجب‌شیر به عنوان منطقه ممنوعه، اعلام شده است (بی‌نام 1384). با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در فعالیت‌های کشاورزی دشت عجب‌شیر، در مطالعه حاضر سعی می‌شود روش مدیریتی برداشت آب بر اساس هزینه‌های استخراج در این منطقه مورد بررسی قرار گرفته و مسیر زمانی استخراج آب از سفره زیرزمینی دشت مذکور، به دست آید تا اولاً تصویر واضح‌تری از وضعیت منابع آب منطقه در دسترس قرار گیرد ثانیاً راهکارها و تدابیر مناسب در رابطه با آن اتخاذ گردد تا ضمن جلوگیری از تخریب سفره موجبات بازسازی آن در سال‌های آینده نیز فراهم گردد.

مواد و روش‌ها

در روش مدیریتی بر اساس هزینه استخراج، مسیری برای برداشت آب از منبع زیرزمینی در طول زمان به دست می‌آید که این میزان برداشت بایستی بتواند هزینه‌های استحصال آن را پوشش دهد. این هزینه، همان هزینه انرژی لازم برای بالا کشیدن آب زیرزمینی از ارتفاعی است که سطح سفره آب در آن قرار دارد. این روش زمانی منجر به برداشت بهینه آب می‌شود که هزینه نهائی استخراج با قیمت آب برابر باشد. در این‌حالت، میزان استخراج آب، معادل مقدار تقاضای به دست آمده برای آن با اجرای روش مدیریت بر اساس هزینه استخراج می‌باشد. این میزان برداشت از سفره زیرزمینی تا زمانی ادامه می‌یابد که سطح سفره آب زیرزمینی به کمترین حد مجازش یعنی ارتفاعی که پس از آن لایه شور آب قرار دارد، رسیده باشد. در این‌حالت برای ثابت ماندن سطح آب زیرزمینی در این ارتفاع، میزان برداشت از سفره برابر میزان جایگزینی آن خواهد بود. زیرا اضافه برداشت از آن باعث افت بیش از حد سفره و نفوذ آب شور به چاه‌ها

خواهد شد. در روش یاد شده، قیمت آب زیرزمینی از رابطه 1 به دست می‌آید(پی‌تافی و روماست 2006):

$$p_t = \begin{cases} c(h_t) & h_t > h_{min} \\ [c(h_{min})R(h_{min}) + p_b(q_t - R(h_{min})]/q_t & h_t = h_{min} \end{cases} \quad [1]$$

مطابق رابطه 1 اگر ارتفاع سطح آب در سفره بالاتر از حداقل ارتفاع مجاز سفره باشد، P_t یا قیمت آب برابر هزینه استخراج آب از سفره خواهد بود ولی اگر ارتفاع سفره در حداقل مجاز قرار داشته باشد، P_t برابر میانگین وزنی هزینه‌های تأمین آب از سفره زیرزمینی و منبع جایگزین خواهد بود. تغییرات h_t (سطح سفره آب زیرزمینی در زمان t) نیز از رابطه2 قابل محاسبه است که در واقع بیانگر معادله حرکت سطح سفره می‌باشد. این معادله نشانگر تفاوت میزان ورودی آب و خروجی آن از سفره می‌باشد. ریزش‌های جوی منهای نشتی چشمه‌ها از سفره، جریان ورودی و میزان برداشت آب از طریق مصرف‌کنندگان، خروجی‌های منبع را تشکیل می‌دهند. بدین ترتیب معادله حرکت سطح سفره آب زیرزمینی به صورت معادله 2 نوشته می‌شود:

$$\dot{h}_t = R(h_t) - q_t \quad [2]$$

در روابط فوق متغیرها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$R(h_t)$: خالص جایگزینی طبیعی در h_t که بیانگر تفاوت بارندگی و خروجی آب از سفره به صورت چشمه‌ها می‌باشد. رابطه بین سطح سفره و میزان تخلیه آب چشمه، توسط مینک (1980) به صورت $l(h_t) = kh^2$ بیان شده است که k ضریب مخصوص سفره آب زیرزمینی می‌باشد.

h_{min} : حداقل ارتفاع مجاز برای سطح سفره آب زیرزمینی (سطح برخورد به لایه شور).

$c(h_t)$: هزینه استخراج واحد آب می‌باشد که به عنوان یک تابع مثبت، نزولی و محدب از ارتفاع سطح سفره آب در نظر گرفته می‌شود (کرولس و همکاران 1997). در این مطالعه با عنایت به ادبیات موضوع، رابطه $c(h_t) = c_0(h_{grd} - h_t)$ همانند آنچه پانگ کیجوراسین وهمکاران (2008) در مطالعه خود برای هزینه استخراج آب به‌کار بردند، انتخاب شد. در رابطه فوق h_{grd} ارتفاع زمین از سطح دریا می‌باشد و c_0 هزینه انرژی لازم است برای اینکه یک مترمکعب آب به اندازه یک متر بالا بیاید.

q_t : میزان استخراج آب.

p_b : هزینه تأمین هر واحد حجم آب از منبع جایگزین. اگر هزینه استخراج آب از سفره به قدری بالا رود که برداشت آب غیرممکن شود، منابع جایگزین عرضه می‌شود.

p_t : قیمت هر واحد آب زیرزمینی که شکل تابعی آن به‌صورت $p_t \equiv D_t^{-1}(q_t)$ در نظر گرفته می‌شود.

$D_t^{-1}(q_t)$: تابع معکوس تقاضای آب زیرزمینی. در مطالعه حاضر الگوی تقاضای آب زیرزمینی به‌صورت $D\ (p,t) = \alpha + \beta P_t$ تبیین می‌گردد که در آن $\beta < 0$ می‌باشد.

$R(h_{min})$: خالص جایگزینی طبیعی در سفره زمانی که ارتفاع سطح سفره در حداقل مجاز خود قرار دارد.

رابطه 1 بیان می‌کند که تا هنگامی‌که ارتفاع سطح آب در سفره بالاتر از کمترین ارتفاع مجاز (قبل از شور شدن) می‌باشد، قیمت آب زیرزمینی بگونه‌ای تعیین می‌شود که $p_t = c(h_t)$. پس از این‌که سطح سفره به نقطه حداقل مجازش برسد (h_{min})، میزان استخراج آب زیرزمینی در $R(h_{min})$ ثابت نگه داشته می‌شود و تقاضای اضافی از طریق منبع جایگزین تأمین خواهد شد. در این حالت قیمت آب زیرزمینی یک میانگین وزنی از هزینه‌های تأمین آب از دو منبع (سفره آب زیرزمینی و منبع جایگزین) می‌باشد. در مطالعه حاضر فاضلاب تصفیه شده به عنوان منبع جایگزین در نظر گرفته می‌شود.

آمار و اطلاعات مورد نیاز جهت انجام محاسبات و برآورد مدل‌ها از گزارش‌ها و اسناد سازمان‌ها و ادارات ذیربط من جمله اداره جهادکشاورزی و اداره آبیاری شهرستان عجب شیر و سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی گردآوری شده است.

نتایج و بحث

با استفاده از ابعاد GIS سفره، محدوده سفره آب زیرزمینی دشت عجب‌شیر حدود 131/250 کیلومتر مربع و تخلخل مؤثر آن به طور میانگین 18 درصد تعیین شد. به این ترتیب برداشت هر متر مکعب از آب زیرزمینی سطح آن را حدود 0/0000000423 متر کم خواهد کرد (γ=0/0423 m/mm^3). متوسط جریان برگشتی طبیعی به سفره سالانه حدود 32/6 میلیون مترمکعب می‌باشد. از طرفی رابطه نشتی از سفره به صورت چشمه (بر حسب مترمکعب) با ارتفاع سطح آب در سفره، به صورت زیر برآورد گردید:

$$l(h_t) = 5.898h_t^2 \qquad [3]$$

بنابراین معادله حرکت که به عنوان محدودیت مدل مورد نظر می‌باشد، به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\dot{h}_t = 0.0000000423\,(32611957 - 5.898h_t^2 - q_t) \qquad [4]$$

با استفاده از قیمت‌های موجود برای آب زیرزمینی و هم‌چنین میزان استخراج آب از سفره زیرزمینی، تابع تقاضای آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه به صورت زیر برآورد شد:

$$q_t = 72898000 - 39500p_t \qquad [5]$$

کشش قیمتی آب بر اساس تابع فوق برابر 0/57- می‌باشد که بیانگر کشش ناپذیر بودن تقاضای آب در منطقه می‌باشد.

با توجه به اطلاعات به دست آمده از صاحبان چاه‌ها، متوسط هزینه پمپاژ برابر 16/76 ریال برای هر متر مکعب آب می‌باشد. از طرف دیگر با توجه به اینکه ارتفاع دشت عجب‌شیر به‌طور متوسط حدود 1350 متر بالاتر از سطح دریای آزاد است، هزینه استخراج هر واحد آب از ارتفاع h_t به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

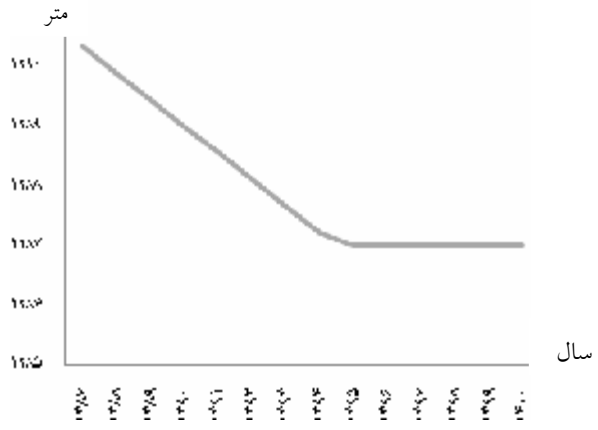
$$c(h_t) = 16.76(1350 - h_t) \qquad [6]$$

کمترین سطح مجاز برای پائین آمدن در سفره آب زیرزمینی، 1287 متر می‌باشد. (ارتفاعی که لایه شور پس از آن قرار دارد) و در حال حاضر ارتفاع سطح اولیه در این سفره 1290/36 متر است. با توجه به اینکه در این مطالعه فاضلاب تصفیه شده به عنوان منبع جایگزین در بخش کشاورزی در نظر گرفته شده است، طبق محاسبات کارشناسی مربوط به اداره آب و فاضلاب آذربایجان شرقی-تبریز هزینه هر واحد آب تصفیه شده فاضلاب برای مصرف در بخش کشاورزی حدود 1200 ریال برای هر مترمکعب آب تخمین زده شده است.

مسیر بهینه ارتفاع سطح سفره آب زیرزمینی طی زمان به شکل زیر به دست می‌آید:

$$h_t = -0.449t + 1290.36 \qquad [7]$$

شکل 1 روند تغییرات ارتفاع سطح سفره را نشان می‌دهد. طبق این شکل ارتفاع سفره که در شروع مطالعه برابر 1290 متر است، مطابق با معادله 7 روند کاهشی به خود می‌گیرد تا در سال 1395 یعنی حدود 8 سال بعد، سطح آب در سفره به سطح بحرانی آن یعنی 1287 متر می‌رسد. قیمت آب در آن زمان برابر 1094 ریال (میانگین هزینه برداشت و هزینه تأمین فاضلاب) خواهد بود.



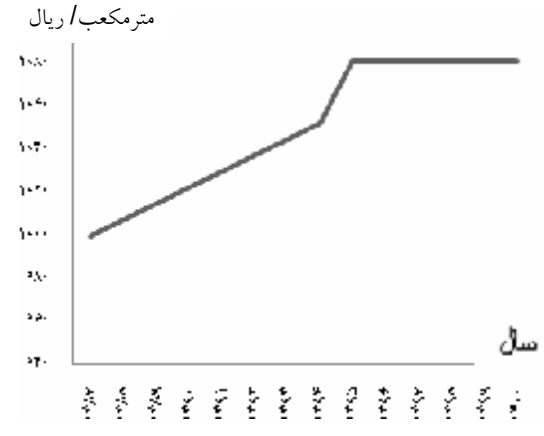
شکل1- روند کاهش سطح سفره آب زیرزمینی

از طریق رابطه 7 و نیز با استفاده از رابطه‌ای که بین p_t و h_t برقرار است، مسیر بهینه قیمت آب زیرزمینی در طی زمان به‌صورت زیر به دست آمد:

$$p_t = 7.525t + 999.56 \quad [8]$$

بدین ترتیب قیمت آب از 999/56 ریال برای هر مترمکعب آب شروع و در طی زمان به دلیل پائین آمدن سطح سفره در اثر استخراج، رو به افزایش می‌گذارد تا اینکه ارتفاع سطح آب تا کمترین ارتفاع مجاز یعنی 1287 متر پایین بیاید. در این مرحله قیمت آب از 1052 ریال در سال 1394 به 1094 ریال در سال 1395 افزایش می‌یابد. این قیمت در واقع برابر میانگین وزنی هزینه-های تأمین آب از منبع زیرزمینی و منبع جایگزین (فاضلاب تصفیه شده) می‌باشد. در واقع این نتیجه نشان می‌دهد که هنگام کاهش ارتفاع سفره قیمت استخراج مسیر صعودی را بخود خواهد گرفت. نتیجه مشابهی را آموندسن (1999) نیز برای مسیر قیمت آب زیرزمینی در منطقه دایبر-یلاتوی اتیوپی به دست آورده است.

شکل 2 که بر اساس معادله 8 ترسیم شده است، روند تغییرات قیمت را تحت روش مدیریت بر پایه هزینه استخراج نشان می‌دهد.



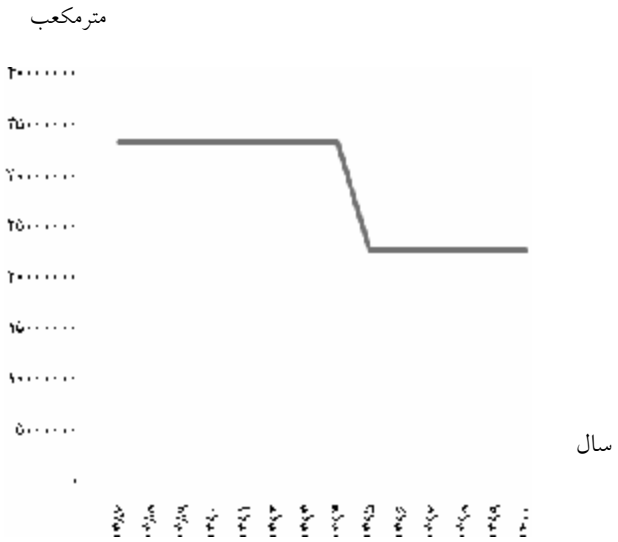
شکل2- روند افزایش قیمت آب

نهایتاً از طریق تابع تقاضا و معادله حرکت و رابطه به دست آمده برای مسیر زمانی ارتفاع سطح سفره، مسیر بهینه برداشت آب از سفره زیرزمینی در مدیریت بر پایه هزینه به شکل زیر حاصل می‌شود:

$$q_t = 33406191.58 + 6834.268t - 1.189t^2 \quad [9]$$

شکل3 میزان استخراج مطابق با قیمت بر پایه مدیریت بر اساس هزینه استخراج را نشان می‌دهد. برداشت سالانه از سفره آب زیرزمینی بر طبق رابطه 9 صورت می‌گیرد. این رابطه نشان می‌دهد روند برداشت آب از منبع زیرزمینی حالت نزولی دارد. آموندسن (1999) و پی تافی و روماست (2006) نیز نتیجه مشابهی را در مطالعات خود بدست آوردند.

به هرحال با توجه به روند قیمت، میزان استخراج از آب زیرزمینی از حدود 33 میلیون مترمکعب در سال اول به حدود 31 میلیون مترمکعب در سال هفتم می-رسد. به دلیل رسیدن سطح سفره به سطح بحرانی در سال 1395 (سال هشتم)، کاهش نسبتاً زیادی در برداشت آب از سفره وجود خواهد داشت. در واقع در آن سال میزان برداشت از سفره بایستی برابر میزان جایگزینی آن یعنی حدود 22 میلیون مترمکعب باشد.



شکل3- روند میزان برداشت آب از منبع زیرزمینی

با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان اظهار کرد که به دلیل وضعیت بحرانی منابع آب زیرزمینی که دشت عجب‌شیر با آن مواجه است، با ادامه وضع موجود در رابطه با مصرف آب در این دشت، دیری نمی‌پاید که منطقه دچار مشکل جدی کمبود آب و از دست رفتن منابع زیرزمینی شود. جهت جلوگیری از این وضعیت انجام اقداماتی ضروری است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. استفاده صحیح از آب‌های سطحی و مهار آب‌هایی که از دسترس خارج می‌شوند تا بدین ترتیب فشار کمتری بر منابع آب زیرزمینی وارد آید. یافتن منابع جایگزین دیگر برای آب‌های زیرزمینی از دیگر اقدامات مناسب است. اینکار باعث می‌شود استفاده از آب زیرزمینی کاهش یافته و سطح آن در طول زمان بالا بیاید. در بعضی موارد مسئولین ذیربط می‌توانند با لحاظ تأسیسات و دستگاه-های کنترل کننده فنی و از طریق محدود کردن ساعت کار موتورهای آبی برای استخراج آب از منابع زیرزمینی مانع برداشت بیش از حد آب توسط مصرف کنندگان شوند.

منابع مورد استفاده

خلیلیان ص و مهرجردی م، 1384. ارزش‌گذاری آب‌های زیرزمینی در بهره‌برداری های کشاورزی. اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال سیزدهم، شماره51. صفحه‌های 96-83 .

بی‌نام، 1388. دفتر مطالعات آب‌های زیرزمینی. سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی. وزارت نیرو.

بی‌نام، 1386. دفتر مطالعات آب‌های زیرزمینی. گزارش ادامه مطالعه و وضعیت هیدروژئولوژیکی دشت‌های دارای شبکه پیزومتریک. معاونت مطالعات و پژوهش منابع آب. شرکت آب منطقه‌ای تهران. وزارت نیرو.

بی‌نام، 1384. مهندسین مشاور آب خاک تهران. مطالعات اجتماعی تکمیلی منطقه بهبود عجب شیر. آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و اردبیل. پروژه مطالعات شبکه آبیاری و زهکشی قلعه چای. وزارت نیرو.

Amundsen ES, 1999. Drought and optimal groundwater management. Munich personal RePEe archive paper, No. 10902.

Hellegers P, Zilberman D and Ekko Van Ierland, 2001. Dynamics of agricultural groundwater extraction. Pp.1-18. Annual Meeting American Agricultural Economists Association. August 5-8, Chicago.

Krulce DL, Roumasset JA and Wilson T, 1997. Optimal management of a renewable and replaceable resource: The case of coastal groundwater. American Journal of Agricultural Economics 79: 1218-1228.

Mink JF, 1980. State of the groundwater resources of southern Ohau. Honolulu Board of Water Supply. Honolulu, HI, USA.

Pitafi BA and Roumasset JA, 2006. Integrated management of multiple aquifers with subsurface flow and inter-district water transport. Pp. 1-14. American Agricultural Economics Association Aannual Meeting. July 23-26, California.

Pongkijvorasin S, Roumasset JA, and Duarte T, 2008. Coastal groundwater management with near hore resource interactions. Working Paper No. 08-08. Water Resources Research Center, University of Hawaii, Manoa.