تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هفدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰
Volume 17, No. 1, Spring 2021 (IR-WRR)
۳۳-۴۶

بررسی وضعیت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی دشت ابهر و تعیین حداکثر عمق کف‌شکنی چاه‌ها

عبدالمجید نوری[۱]، حامد سرورام[۱*]، هومن اسحاقی شربیانی[۱]، محمدحسین نوری قیداری[۱] و فرناز قاسمی[۲]

چکیده

محدودیت منابع آب شیرین در کشور ما و نیاز روزافزون به منابع آبی پایدار موجب توجه ویژه به آب‌های زیرزمینی شده است. این در حالی است که تجدیدپذیری آبخوان‌ها در اثر خشک‌سالی و تغییرات اقلیمی کاهش یافته است. منابع آب زیرزمینی دشت ابهر تأمین‌کننده نیاز عمده شهرستان‌های ابهر و خرمدره، در اثر حفر چاه‌های متعدد، با افت سطح ایستابی چشم‌گیری مواجه گشته و در نتیجه کف‌شکنی چاه‌ها به عنوان راهکار مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش، منابع آب زیرزمینی دشت ابهر به منظور تعیین حداکثر عمق کف‌شکنی چاه‌ها بررسی گردیده است. بدین منظور، حجم آبخوان دشت ابهر با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تعیین شد. براساس وضعیت فعلی دشت و سیاست‌های مدیریت منابع آب آن، سه سناریوی پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان دشت تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج هر سه سناریو نشان می‌دهد در صورت ادامه رویه بهره‌برداری فعلی، قسمت وسیعی از بخش غربی دشت طی ۲۵ سال آینده کاملاً خشک شده و وسعت اشباع آبخوان به ۶۵ درصد اندازه فعلی کاهش خواهد یافت. نتایج حاصل بیانگر نقش مؤثر محدود ساختن عمق چاه‌های کشاورزی به عنوان یک راهبرد مدیریتی در جلوگیری از خشک شدن آبخوان و کند شدن روند کاهش وسعت اشباع آن می‌باشد.

کلمات کلیدی: ذخیره آبخوان، GIS، مدیریت آب زیرزمینی، عمق چاه، کف‌شکنی، دشت ابهر.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۴/۱۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱/۱۶

۱-گروه مهندسی عمران، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران.
۲- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۴۰۰ امکانپذیر است.

An Investigation into Groundwater Exploitation in Abhar Plain and Determination of Maximum Well Deepening

A. Noori[1], H. Sarveram[1], H. Eshaghi Sharabiani[1], M.H. Nouri Gheidari[1], and F. Ghasemi[2]*

Abstract

Limitated fresh water resources in Iran and increasing need for sustainable water resources have attracted great attention to groundwater. However, the renewability of aquifers has worsened owing to drought and climate changes. Groundwater supplies in Abhar plain which provide water for Abhar and Khorramdareh cities have been dramatically affected by over-drilling, which resulted in a sharp drop in the water level. Consequently, deepening of wells has been applied in this area. In this study, the groundwater resources of Abhar plain were investigated to determine the optimum depth in well deepening. To this end, Abhar plain aquifer volume was determined using ArcGIS software. Considering the current conditions of the plain and water resources management policies, three different scenarios were used to predict and evaluate the future conditions of the plain aquifer. The results of these scenarios demonstrated that in the case of current exploitation method, a large area of the western part of the plain would thoroughly dry over the next 25 years, and the saturated aquifer extent will diminish to 65% of the current level. The study findings illustrated the critical role of limiting the agricultural well depth as a management strategy in retarding the aquifer drying trend and slowing down the decreasing rate of the saturated aquifer level.

Keywords: Aquifer Storage, GIS, Groundwater Management, Well Depth, Well Deepening, Abhar Plain.

Received: July 3, 2020
Accepted: April 5, 2021

1- Department of Civil Engineering, Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran. Email: hamed.sarveram@gmail.com
2- Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
*- Corresponding author
Dor: 20.1001.1.17352347.1400.17.1.3.4

۱- مقدمه

توسعه پایدار هر منطقه، در صورتی به دست می‌آید که برنامه‌ریزی‌های انجام شده متناسب با شرایط حاکم بر آن باشد. در کشور ایران که جزء مناطق خشک جهان محسوب می‌شود، توسعه پایدار نیازمند برنامه‌ریزی براساس منابع طبیعی موجود می‌باشد. تمرکز بر بخش کشاورزی بدون توجه به میزان آب در دسترس، موجب اعمال فشار بیش از حد به منابع آب زیرزمینی کشور و در نتیجه بحرانی شدن وضعیت دشت‌ها گردیده است. علت این امر، مصرف بسیار بیشتر آب زیرزمینی در بخش کشاورزی نسبت به سایر بخش‌ها (شرب و صنعت و بهداشت) است. با توجه به اینکه ۹۳/۲ درصد (۸۲/۵ میلیارد مترمکعب) از آب‌های زیرزمینی استحصال شده به مصرف کشاورزی می‌رسد (Mostafaei et al., 2017)، تعداد زیاد چاه‌های مجاز و غیر مجاز و کمبود بارش تبدیل به تهدیدی جدی برای دشت‌های کشور شده است.

استحصال آب‌های زیرزمینی در ایران هم‌اکنون از سقف مجاز بهره‌برداری عبور نموده و در شرایط حاضر برداشت اضافی از ذخیره ثابت سفره‌های آب زیرزمینی حدود ۶/۱ میلیارد مترمکعب در سال است. بنابراین، بهره‌برداری از منابع آبی کشور را باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی کرد که با استفاده از روش‌های منطقی از استحصال بی‌رویه آب‌های زیرزمینی جلوگیری شود. به طوری که سهم آب‌های زیرزمینی در تأمین نیازهای آبی کشور از ۵۵ درصد فعلی به ۴۵ درصد در بیست سال آینده کاهش یابد (Akbari et al., 2009). با توجه به موارد فوق، اهمیت بهره‌برداری صحیح از چاه‌ها و رعایت اصول علمی و فنی در مراحل مختلف نمایان می‌گردد. با توجه به کاهش شدید پتانسیل آبخوان‌ها در سطح کشور، متوسط آبدهی چاه‌ها در سال‌های اخیر کاهش یافته است. به طوری که علی‌رغم افزایش تعداد چاه‌ها، میزان تخلیه از آبخوان کم شده است (Bijani et al., 2016).

در سال‌های اخیر نگرانی‌ها در خصوص افت سطح آب زیرزمینی، کاهش ظرفیت مخزن آبخوان‌ها و کاهش راندمان چاه‌های آب موجب شده تا مطالعات زیادی در رابطه با بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی و بهبود مدیریت آن صورت پذیرد. کشور ایران دربرگیرنده ۶۰۹ دشت می‌باشد که وضعیت منابع زیرزمینی آب ۲۹۰ دشت بحرانی است و بقیه دشت‌ها نیز نیازمند مراقبت و برنامه‌ریزی فوری برای جلوگیری از خطر نابودی هستند. از ۷ دشت دربرگیرنده استان زنجان، ۵ دشت ممنوعه و ۲ دشت آزاد می‌باشند که دشت ابهر با کسری مخزن تجمعی به میزان ۱۰۱۳ میلیون مترمکعب بحرانی‌ترین دشت استان محسوب می‌گردد (Iran Water Resources Management Company, 2014).

Fazeli et al. (2008)، حداکثر عمق کف‌شکنی چاه‌های کشاورزی را به منظور مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت بروجن مورد بررسی قرار دادند. آنان نشان دادند ادامه بهره‌برداری از چاه‌های موجود در دشت بروجن، موجب افت شدید سطح آب خواهد شد. لذا توقف کف‌شکنی در چاه‌های کشاورزی موجود در بخش جنوبی دشت الزامی است. Kazemi et al. (2011)، تغییرات حجم آبخوان آبرفتی فارسان- جونقان را طی دوره آماری ۲۰ ساله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی *GIS* محاسبه نمودند. نتایج نشان داد حجم اشباع آبخوان طی دوره آماری، ۴/۲ میلیون مترمکعب کاهش پیدا کرده که به طور متوسط سالانه ۲۱۰ هزار مترمکعب از این آبخوان اضافه برداشت صورت گرفته است. بنابراین، برای بهبود وضعیت آبخوان اعمال محدودیت‌های لازم در برداشت سالیانه ضروری است.

در وضعیت کنونی، افزایش عمق چاه‌ها جهت دسترسی به آب‌های ذخیره شده در بخش‌های عمیق سفره‌های آب زیرزمینی به عنوان راه حل سریع و مقرون به صرفه به طور گسترده توسط کشاورزان مورد استفاده قرار می‌گیرد. کنترل عمق حداکثری برای چاه‌ها می‌تواند سبب کاهش برداشت از چاه‌ها و کاهش روند کسری مخازن در دشت‌ها شود و لذا به عنوان روشی کوتاه مدت و میان مدت در کنترل روند کاهش سطح ایستابی و حفظ ذخایر در آینده مطرح گردد. Bijani et al. (2016)، نیز با استفاده از مدل عددی MODFLOW تأثیر کف‌شکنی چاه‌ها را بر پتانسیل برداشت از آبخوان دشت علی‌آباد ساوه مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج این تحقیق، عمق بحرانی کف شکنی در کل دشت ۸۰ متر تخمین زده شد و با توجه به کاهش شدید پتانسیل آبخوان، ارائه مجوز کف‌شکنی برای چاه‌های کشاورزی موجب آسیب جدی به آبخوان خواهد شد. Rezaie et al. (2019) نیز با استفاده از مدل عددی MODFLOW و با بهره‌گیری از نرم‌افزار GMS، تأثیر کف‌شکنی چاه‌ها را بر پتانسیل برداشت از آبخوان دشت مهاباد مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق عمق بحرانی کف‌شکنی دشت مورد مطالعه ۱۱۵ متر تعیین گردید و اشاره شده است در صورت ادامه کف‌شکنی بی رویه چاه‌های بهره‌برداری، بخش‌هایی از دشت خشک و مهاجرت روستاییان آغاز خواهد شد. Zeraati (2018) در پژوهشی به تعیین عمق بهینه چاه‌ها جهت کف‌شکنی با در نظر گرفتن مدیریت یکپارچه منابع آب و تغییرات اقلیم در حوضه آبریز خاش پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد مدیریت آب در بخش کشاورزی با کنترل میزان کف‌شکنی چاه‌ها، بیشترین تأثیر در کاهش استفاده از آب زیرزمینی را تا سال ۲۰۴۴ خواهد داشت.

مطالعات فوق نشان دادند کنترل کف‌شکنی آبخوانها بیشترین تأثیر را بر کاهش استفاده از آب زیرزمینی داشته و پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان‌ها مهم‌ترین عامل جهت تعیین محدودیت کف‌شکنی‌ها و تعیین عمق نهایی چاه‌ها می‌باشد. ولی عدم ارائه راهکار یا ارائه راهکارهای ساده از قبیل پیشنهاد عدم کف‌شکنی یا بیان یک عدد به عنوان عمق نهایی کف‌شکنی برای کل آبخوان از نقاط ضعف مطالعات پیشین محسوب می‌گردند. با توجه به متغیر بودن سطح ایستابی و سنگ کف در نقاط مختلف آبخوانها، ارائه یک سطح متغیر به عنوان عمق نهایی چاه‌ها می‌تواند راهکار دقیق‌تری نسبت به ارائه سطح ثابت به عنوان عمق نهایی چاه‌ها برای کل آبخوان باشد که در مطالعه پیشرو تلاش شده تا نسبت به انجام این مهم اقدام گردد.

با توجه به این‌که ادامه روند فعلی بهره‌برداری می‌تواند باعث خشک شدن سفره آب زیرزمینی گردد در این پژوهش تلاش گردیده است پس از پیش‌بینی وضعیت آینده دشت با سناریوهای مختلف، عمق نهایی کف‌شکنی را در تمامی پهنه مورد مطالعه با هدف جلوگیری از خشک شدن سفره در نواحی مرزی و بروز منازعات و مسائل اجتماعی تعیین نماید. تعیین عمق نهایی متغیر در تمام پهنه مورد مطالعه و نیز روش انجام کار از نوآوری این پژوهش محسوب می‌گردند که در ادامه و در بخش ۳-۲ به آن پرداخته خواهد شد و محاسبه ذخیره فعلی آبخوان و وسعت اشباع آبخوان در زمان حاضر و آینده از دستاوردهای مهم این پژوهش می‌باشند.

در چنین شرایطی با محدود کردن عمق چاه‌های کشاورزی، امید آن می‌رود که دیدگاه کشاورزان نسبت به افزایش عمق چاه‌ها به عنوان نخستین روش تأمین کسری آب تغییر کرده و روش‌های جایگزین از قبیل بازیابی چاه‌ها، افزایش راندمان چاه‌ها و افزایش راندمان آبیاری مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مطالعه موردی

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی ابهر یکی از ۲۶ محدوده مطالعاتی حوضه آبریز دریاچه نمک (کد ۴۱۰۷) واقع در شمال غربی این حوضه می‌باشد. این محدوده تنها دارای یک دشت به همین نام می‌باشد که موقعیت آن حوضه آبریز رودخانه اصلی منطقه یعنی ابهررود و شاخه جنوبی متصل به آن می‌باشد. دشت ابهر بین طول‌های جغرافیایی ′۵۰ °۴۸ تا ′۲۵ °۴۹ شرقی و عرض‌های ′۵۴ °۳۵ تا ′۳۰ °۳۶ شمالی در مسیر زنجان- تهران قرار گرفته است.

۲-۲- توپوگرافی

توپوگرافی محدوده مورد مطالعه در شکل ۱ نمایش داده شده است. مطابق خطوط هم‌ارتفاع موجود در نقشه مذکور، کل محدوده مطالعاتی ابهر ۱۹۱۶ کیلومترمربع بـــوده و بـــه دشت (۹۸۰ کیلومترمربع معادل ۵۱ درصد کل محدوده) و ارتفاعات (۹۳۶ کیلومترمربع معادل ۴۹ درصد کل محدوده) تفکیک می‌گردد (Sazabandish Consulting Engineers Company, 2013).

۲-۳- چاه‌های مشاهده‌ای دشت ابهر

در این دشت تقریباً به ازاء هر ۳۰ کیلومترمربع یک حلقه چاه مشاهده‌ای فعال وجود دارد و پراکندگی مناسب این چاه‌ها به خوبی بیانگر سطح ایستابی واقعی آب در منطقه می‌باشد. موقعیت این چاه‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده است. در شکل مذکور تفکیک دشت و ارتفاعات نیز مشخص شده است.

۲-۴- وضعیت آبهای زیرزمینی

دشت ابهر در حال حاضر دارای ۱۳۷۸ چاه دارای پروانه می‌باشد که میزان تخلیه مجاز آن‌ها حدود ۲۰۰ میلیون مترمکعب محاسبه شده است. چاه‌های مذکور براساس نوع مصرف مطابق جدول ۱ تقسیم‌بندی شده‌اند. تعداد چاه‌های فاقد پروانه واقع در محدوده آبخوان ابهر ۴۳۲ حلقه می‌باشد. میزان تخلیه این چاه‌ها حدود ۲۱ میلیون مترمکعب محاسبه شده است که آب استحصالی آن‌ها عموماً به مصرف کشاورزی می‌رسد (Regional Water Company of Zanjan, 2019).

قنات‌های فعال دشت ابهر به تعداد ۷۶ رشته دارای حجم تخلیه‌ای در حدود ۲ میلیون مترمکعب می‌باشند که عموماً برای مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تعداد چشمه‌های دشت ابهر نیز حدود ۲۶۰ دهنه می‌باشد که این چشمه‌ها نیز غالباً هوابین و فصلی بوده و آبدهی پایدار ندارند. میزان تخلیه این چشمه‌ها بین ۱۰-۵ میلیون مترمکعب بسته به میزان بارش‌های فصلی می‌باشدکه عمدتاً در فصل بهار دارای آبدهی بوده و در فصل تابستان خشک می‌شوند. مصرف عمده آب استحصالی این چشمه‌ها نیز در بخش کشاورزی می‌باشد (Regional Water Company of Zanjan, 2019).

شکل ۳ نشان می‌دهد در ۲۵ سال گذشته مجوز بهره‌برداری برای حدود ۴۹۴ چاه غیرکشاورزی با تخلیه مجاز ۲۸ میلیون مترمکعب در دشت مذکور صادر گشته است که انتظار می‌رود این روند در ۲۵ سال آینده نیز ادامه یابد. این چاه‌ها عموماً برای مصارف شرب شهری و روستایی، صنعت، خدمات و صنایع وابسته به کشاورزی صادر شده‌اند.

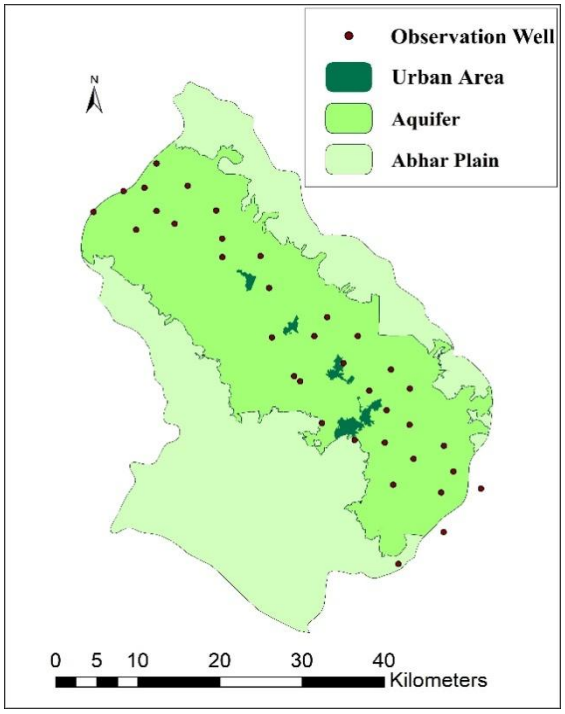

Fig. 2- Location of observation wells of Abhar plain

شکل ۲- موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در دشت ابهر

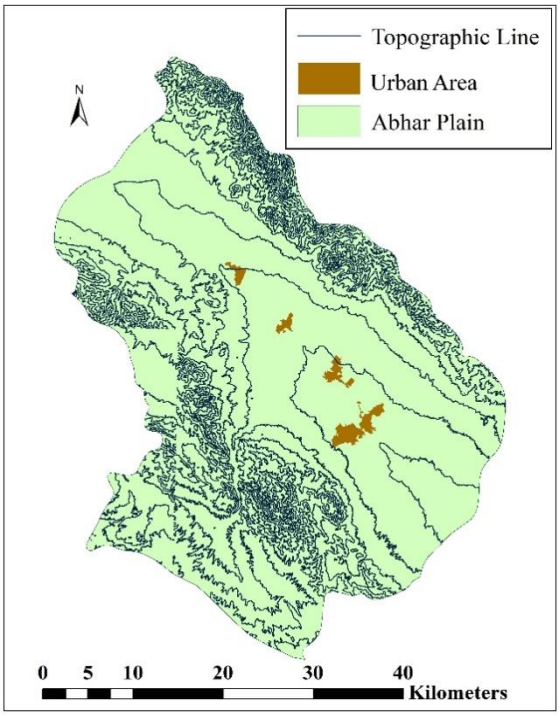

Fig. 1- Topography of Abhar plain

شکل ۱- توپوگرافی دشت ابهر

Table 1- Statistics of the authorized wells in Abhar studied area based on consumption types (Regional Water Company of Zanjan, 2019)

جدول ۱- آمار چاه‌های پروانه‌دار محدوده مطالعاتی ابهر به تفکیک نوع مصرف (Regional Water Company of Zanjan, 2019)

Consumption Type	Service	Multipurpose	Rural Drinking Water	Urban Drinking Water	Domestic	Agriculture-based Industries	Industry	Greenery Irrigation	Catholic	Agriculture	Total
Number	64	9	38	31	8	246	221	5	17	740	1378
Discharge (MCM)	3.21	1.02	6.06	21	0.07	6.88	15.48	1.44	0	145.82	200

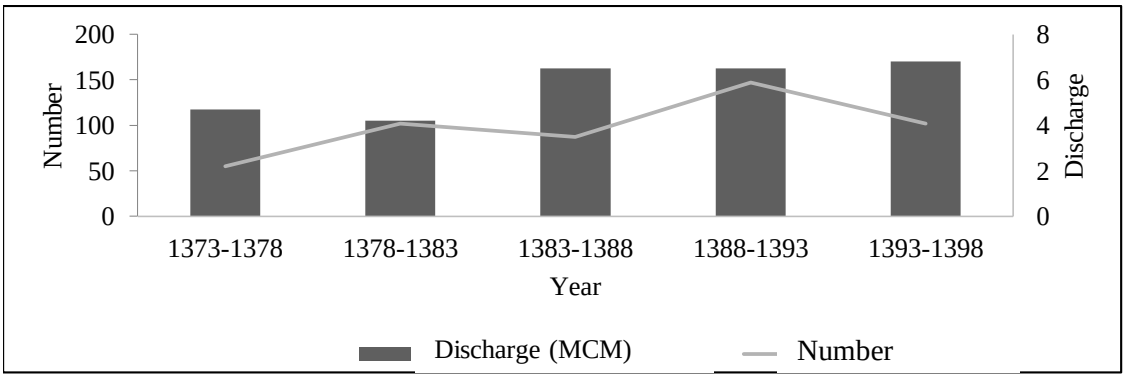

Fig. 3- Increasing trends of the number and discharge rate changes of authorized Non-agricultural wells in Abhar plain (Regional Water Company of Zanjan, 2019)

شکل ۳- روند افزایش تعداد و تخلیه چاه‌های مجاز غیر کشاورزی در دشت ابهر (Regional Water Company of Zanjan, 2019)

۲-۵- تغییرات زمانی سطح آب زیرزمینی

مطابق شکل ۴ سطح آب زیرزمینی دشت ابهر در دوره ۲۲ ساله اخیر حدود ۳۱ متر و بطور متوسط سالیانه ۱/۴ متر افت داشته است. به‌علاوه، ماکزیمم تراز سطح آب زیرزمینی در سال‌های مختلف عموماً در فروردین ماه و حداقل تراز نیز در ماه مهر قرار دارد. حجم آب کاهش یافته معادل این افت ۱۰۱۳/۳۹ میلیون مترمکعب اعلام شده است (Regional Water Company of Zanjan, 2019). بر این اساس در تحقیق حاضر نیز حجم تغییرات ذخیره آبخوان به صورت متوسط سالیانه ۴۶/۰۶ میلیون مترمکعب و به صورت کاهشی در نظر گرفته شده است.

۳- روش انجام کار

کف‌شکنی به عملیات تعمیق یا ادامه حفاری چاه گفته می‌شود که با افزایش عمق چاه، سبب دسترسی به بخش‌های عمیق لایه آبدار و درنتیجه افزایش آبدهی چاه می‌گردد. کف‌شکنی چاه‌های آب تنها با اخذ مجوز قانونی از شرکت آب منطقه‌ای و در قالب مقررات قانون توزیع عادلانه آب و آئین‌نامه اجرایی آن میسر می‌باشد (Iran Water Resources Management Company, 2014). انجام عملیات کف‌شکنی مستلزم توجیهات قانونی و فنی از نظر شرایط چاه و منطقه (مناسب بودن ساختار چاه و منطقه و عدم تأثیر سوء بر آبدهی چاه‌های منطقه) می‌باشد.

در این پژوهش، بجای تأکید بر محاسبات پیچیده بیلان آب زیرزمینی، بر تغییر تراز آب زیرزمینی به عنوان نتایج بیلان تکیه گردیده است. تغییر تراز آب زیرزمینی بیانگر اختلاف تخلیه و تغذیه در بیلان آب زیرزمینی می‌باشد. در صورت ترسیم هندسه فضایی سنگ کف و بررسی همزمان با هندسه فضایی سطح ایستابی بدست آمده از تغییر تراز آب زیرزمینی، این تغییر تراز می‌تواند حجم کاهش یا افزایش آب آبخوان را تعیین نماید. با توجه به اندازه‌گیری منظم سطح تراز آب زیرزمینی توسط شرکت آب منطقه‌ای زنجان، از داده‌های جمع‌آوری شده آن شرکت و ترسیم رویه سه بعدی سطح آب و تقاطع آن با رویه سه بعدی سنگ کف با داشتن ضرایب هیدرودینامیکی، احجام مورد نظر محاسبه گشته‌اند.

دشت ابهر اولین بار در سال ۱۳۵۱ توسط مهندسین مشاور آب و خاک ژئوفیزیک شده و در سال ۱۳۸۹ توسط شرکت مهندسین مشاور صحرا کاو، عملیات تکمیلی ژئوفیزیک روی آن انجام شده است که از نتایج حاصل از این عملیات‌ها برای ترسیم سه بعدی لایه سنگ کف بهره گرفته شده است.

۳-۱- بررسی وضعیت فعلی دشت ابهر

۳-۱-۱- ضخامت آبرفت

شکل ۵ ضخامت آبرفت دشت و شکل ۶ ارتفاع مطلق سنگ کف (ارتفاع از سطح آزاد) را براساس نتایج ژئوفیزیک نشان می‌دهد. براساس شکل ۵ قابل مشاهده است که ضخامت آبرفت در ابهر و صائین قلعه بیشترین مقدار خود را داشته و در ناحیه مرکزی دشت به طور متوسط ۲۰۰-۱۰۰ متر می‌باشد. همچنین این میزان در قسمت‌های شمالی و جنوبی کاهش یافته است. از ترکیب شکل‌های ۵ و ۶ هندسه فضایی آبخوان ترسیم گردیده است.

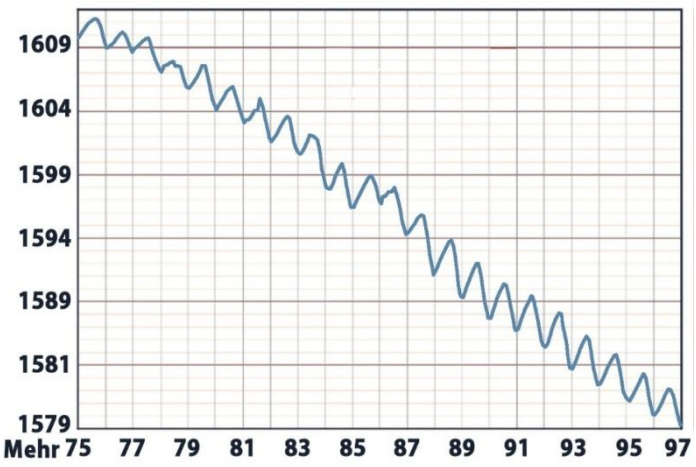

Fig. 4- Unit Hydrographic of Abhar plain (Regional Water Company of Zanjan, 2019)

شکل ۴- هیدروگراف واحد دشت ابهر (Regional Water Company of Zanjan, 2019)

شکل ۷ بیانگر آن است که روند تغییرات عمق سطح آب زیرزمینی منطقه تابع مورفولوژی عمومی منطقه می‌باشد و از حاشیه ارتفاعات شمالی به طرف نواحی جنوب و جنوب شرقی دشت از عمق مطلق سطح آب زیرزمینی کاسته می‌شود. ضخامت آبرفت در بخش غربی دشت بسیار کمتر از بخش شرقی می‌باشد. این موضوع باعث خواهد شد افت تراز آب زیرزمینی ابتدا بخش غربی دشت را متأثر سازد. حجم ذخیره آبخوان در بخش غربی بواسطه کوچکتر بودن مخزن در آن قسمت کمتر می‌باشد.

۳-۱-۲- وسعت فعلی آبخوان اشباع

براساس نقشه توپوگرافی نشان داده شده در شکل ۱، مرزهای فیزیکی دشت ترسیم شده است. به منظور تعیین شرایط مرزی هیدرولیکی، نقشه سطح تراز آب زیرزمینی برگرفته از چاه‌های مشاهده‌ای در محیط نرم‌افزاری ArcGIS برای سال ۹۷-۹۶ رسم و از طریق روی‌هم‌گذاری لایه سطح آب و لایه سنگ کف، محدوده اشباع آبخوان شناسایی و اندازه گیری شد که نتایج در شکل ۸ نمایش داده شده است. در شکل ۸ بخش اشباع آبخوان با مساحت ۵۵۵ کیلومترمربع با رنگ آبی و بخش غیراشباع آبخوان با مساحت ۴۲۵ کیلومتر با رنگ قرمز مشخص شده‌اند. برای اطمینان از صحت نتایج این بخش از برخی روستاها که سابقاً جزء مناطق اشباع آبخوان بوده‌اند ولی اکنون در بخش غیراشباع آبخوان واقع شده اند بازدید شد.

۳-۱-۳- عمق آب زیرزمینی

نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی تهیه شده از داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای در شکل ۹ نمایش داده شده است. بر اساس شکل ۹ عمق برخورد به آب زیرزمینی از حاشیه ارتفاعات شمالی و جنوبی دشت به سمت مرکز دشت و رودخانه ابهررود، کاهش می‌یابد. براساس نقشه فوق رقم منحنی‌های هم عمق از ۱۰ متر در منطقه شریف‌آباد تا حدود ۱۷۰ متر در قسمت‌های شمالی در نزدیکی روستاهای چرگر و ویستان تغییر می‌کند. براساس مطالعات تورنت وایت، تبخیر از آب زیرزمینی حداکثر تا عمق ۵ متر امکان‌پذیر می‌باشد (Sedaghat, 1999). با توجه به حداقل عمق آب زیرزمینی در منطقه، تبخیر از آبخوان در این منطقه صورت نخواهد گرفت.

شکل ۱۰ برشی از شکل ۸ را نشان می‌دهد که روستای شویر و چاه‌های بهره‌برداری آن را با وضوح و بزرگنمایی بالاتر نمایش داده است. همانطور که مشخص است تعداد زیادی از چاه‌های این روستا هم اکنون در بخش غیراشباع آبخوان قرار گرفته‌اند. مطالعه سوابق چاه‌های واقع در بخش غیراشباع فعلی نشان می‌دهد آبدهی آن‌ها سابقاً در حدود ۳۰ لیتر در ثانیه بوده است که در حال حاضر به کمتر از ۱ لیتر در ثانیه کاهش یافته‌اند و با چالش شدید جهت تأمین آب مزارع روبرو گشته‌اند. نتایج حاصل از بازدید و بررسی سوابق این چاه‌ها نشان‌دهنده تغییر شدید آبدهی چاه‌های واقع در بخش غیراشباع فعلی بوده که صحت ترسیم وسعت اشباع فعلی (شکل ۸) را نشان می‌دهد.

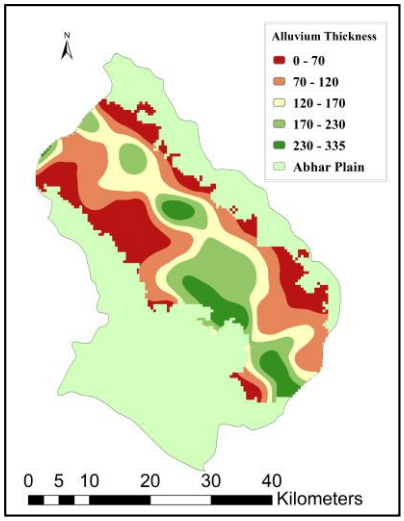

Fig. 5- Alluvium thickness of Abhar plain

شکل ۵- ضخامت آبرفت در دشت ابهر

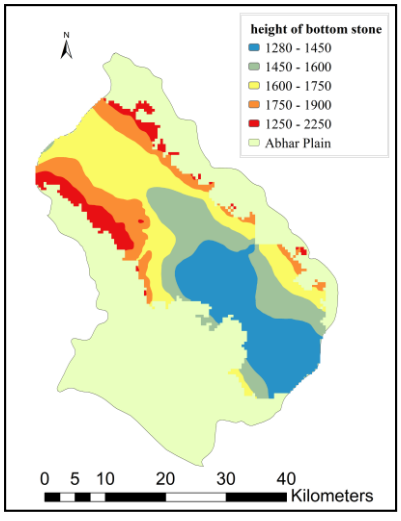

Fig. 6- Absolute height of the bottom stone level (above sea level) of Abhar plain

شکل ۶- ارتفاع مطلق تراز سنگ کف (ارتفاع از سطح آزاد) در دشت ابهر

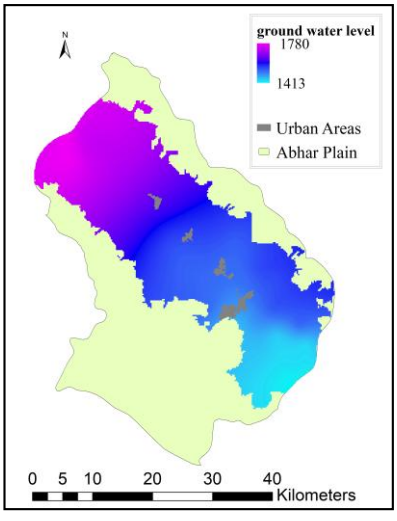

Fig. 7- Absolute height of ground water level (above sea level) of Abhar plain

شکل ۷- ارتفاع مطلق تراز آب زیرزمینی (ارتفاع از سطح آزاد) در دشت ابهر

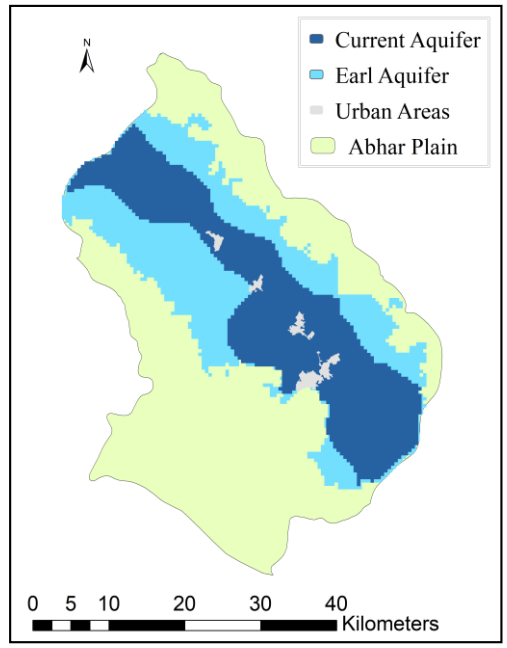

Fig. 8- Current area of Abhar aquifer saturation

شکل ۸- محدوده فعلی اشباع آبخوان ابهر

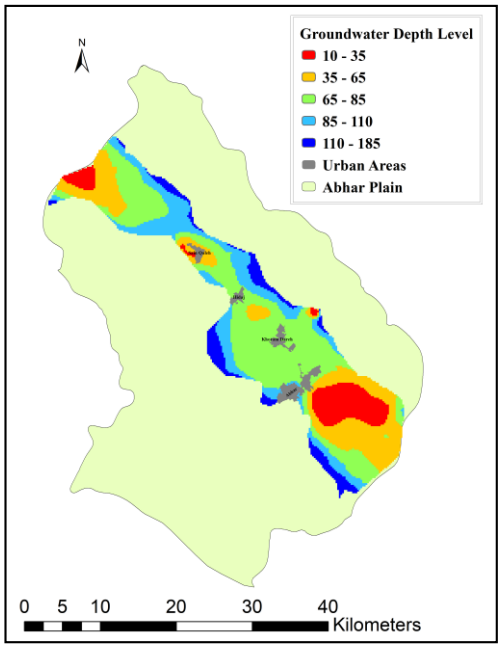

Fig. 9- Groundwater depth level of Abhar aquifer

شکل ۹- عمق آب زیرزمینی آبخوان ابهر

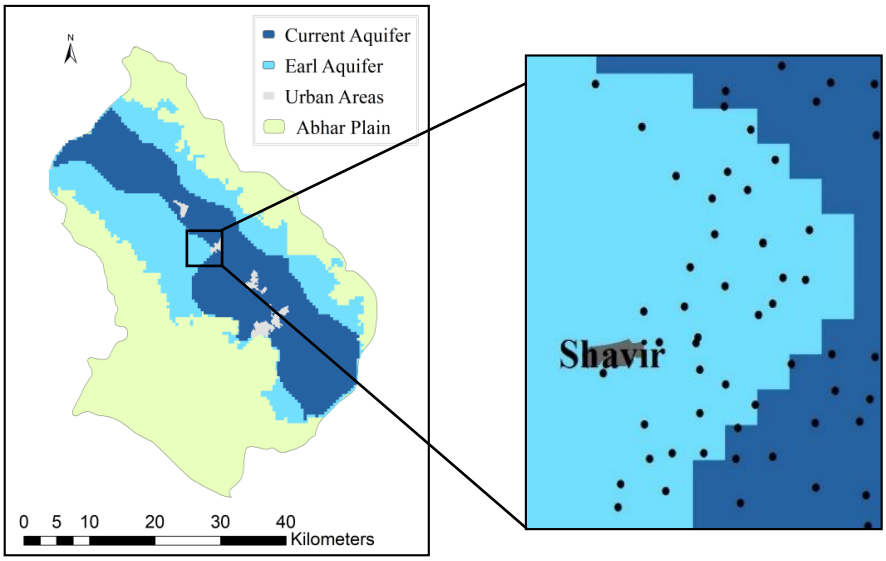

Fig. 10- Location of Shevir village's water wells in current unsaturated area of aquifer

شکل ۱۰- موقعیت چاه‌های آب روستای شویر در بخش غیراشباع فعلی آبخوان

۳-۲- پیش‌بینی آینده آبخوان ابهر براساس سه سناریو

در اکثر پژوهش‌های مشابه، پژوهشگران با تمرکز بر روی عوامل بیلان و مدل‌سازی آنها اقدام به پیش‌بینی می‌نمایند. اندازه‌گیری داده‌های بیلان کار مشکلی بوده و با خطا همراه است. داده‌های بیلان به صورت مرتب به روز نمی‌شوند. اگر به مشکلات مذکور خطای احتمالی پژوهشگر در کالیبره و صحت‌سنجی مدل را نیز اضافه کنیم درصد خطای پژوهش به صورت فزاینده‌ای افزایش خواهد یافت. بنابراین در این پژوهش برای دوری از ورود خطاهای مذکور روش نوآورانه‌ای در پیش گرفته شده است. بدین صورت که از افت تراز آب زیرزمینی به عنوان نتیجه تقابل عوامل بیلان آب زیرزمینی (خروج- ورود) استفاده گردیده که به سادگی و به صورت مستمر و به روز اندازه‌گیری می‌گردد و نیازی به مراجعه به تک تک عوامل بیلان را نخواهد داشت.

در ۲۲ سال گذشته هم دوره ترسالی بوده و هم دوره خشکسالی بوده است. برداشت از چاهها نیز در هر دوره متفاوت و متناسب با وضعیت همان دوره صورت پذیرفته است (به عنوان مثال در صورت قرارگیری در دوره ترسالی به دلیل مناسب بودن بارندگی‌ها ۱- بهره‌برداری از چاهها دیرتر آغاز شده و برداشت از آبخوان در آن سال کاهش یافته، ۲- تغذیه آبخوان به تبعیت از افزایش بارندگی‌ها افزایش یافته است که نتیجه هر دو موضوع باعث کاهش افت تراز آب زیرزمینی شده است و عکس همین حالت برای دوره خشکسالی اتفاق افتاده است). انتظار می‌رود در ۲۵ سال آینده نیز دوره‌های تر سالی و خشکسالی وجود داشته باشد و بنابر کسری متوسط آبخوان در صورت هیچگونه تغییر در تعداد چاهها به صورت متوسط ۴۶/۰۶ میلیون متر مکعب باقی خواهد ماند و منظور از ثابت بودن عوامل بیلان در سناریوهای طرح شده ذیل، ثابت بودن تک تک عوامل از قبیل میزان بارندگی و غیره نمی‌باشد و منظور آن است که تقابل عوامل بیلان (ورودی و خروجی) در ۲۵ سال آینده مشابه ۲۲ سال گذشته خواهد بود و تغییری در کسری متوسط مخزن نمی‌دهد (در صورت عدم تغییر در تعداد منابع بهره‌برداری).

شکل ۱۱ محل مقطع برش سنگ کف را در بخش جنوب شرقی دشت و در حوالی روستای حصار قاجار نمایش می‌دهد. شکل ۱۲ برش سنگ کف را به صورت شماتیک و با اغراق فراوان نمایش داده است. براساس شکل ۱۲ سنگ کف آبخوان به صورت دوخط همگرا به مرکز دشت ولی با شیب‌های متفاوت می‌باشند (شکل ۱۲ در راستای ایجاد ذهنیت نسبت به شکل فضایی آبخوان بوده و حتماً در تمام آبخوان با همین شکل نمی‌باشد).

بنابراین انتظار می‌رود حجم مشخصی از کسری مخزن با توجه به شیب‌دار بودن سنگ کف و همینطور داشتن شیب‌های متفاوت دو طرف، به صورت افت‌های متفاوتی نمایان شود که این افت‌ها بر اساس شکل فضایی سنگ کف محاسبه و مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

با توجه به موارد پیش گفته حتی در صورت ثابت فرض کردن تقابل عوامل بیلان در ۲۵ سال آینده و حتی عدم تغییر در بهره‌برداری چاهها و ثابت ماندن کسری متوسط سالانه آبخوان به میزان ۴۶/۰۶ میلیون متر مکعب باز هم به دلیل شکل فضایی آبخوان هر سال میزان افت بیشتری خواهیم داشت و وسعت اشباع کاهش خواهد یافت و سناریو یک بر همین اساس (توجه به شکل فضایی آبخوان) طرح‌ریزی شده است و در سناریوهای ۲ و ۳ نیز کاهش وسعت اشباع ناشی از شکل فضایی آبخوان به همراه افت ناشی از افزایش مصارف مد نظر قرار گرفته است.

۳-۲-۱- سناریو اول: حفظ وضعیت موجود (ثابت فرض کردن تمام مؤلفه‌های بیلان)

در این سناریو فرض شده هیچ تغییری در تقابل عوامل بیلان از تخلیه و تغذیه رخ نمی‌دهد.

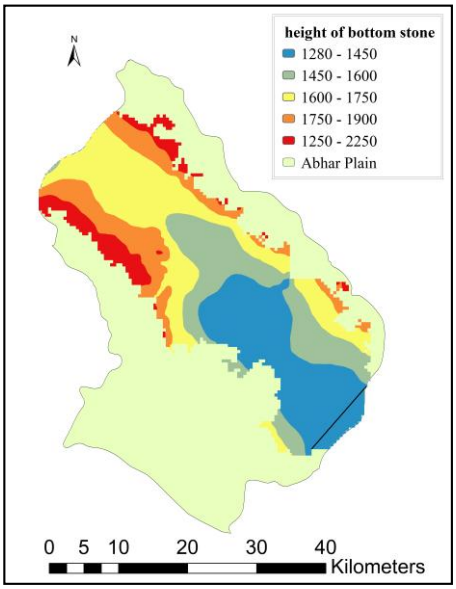

Fig. 11- Location of cross section of the bottom stone

شکل ۱۱- محل برش مقطع سنگ کف

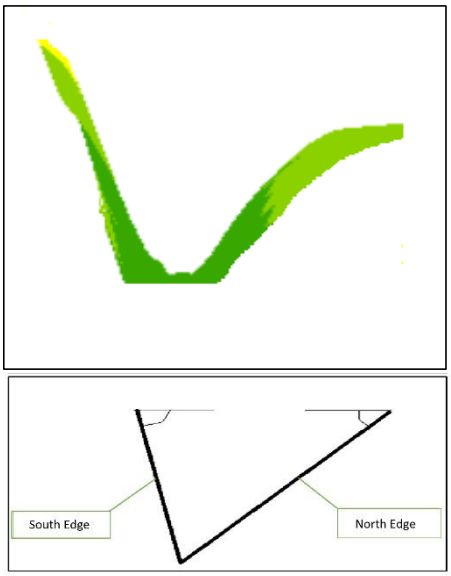

Fig. 12- Schematic and real view of the determined cross section

شکل ۱۲- نمای واقعی و شماتیک برش مقطع مشخص شده

بنابراین کسری سالیانه متوسط مخزن به میزان ۴۶/۰۶ میلیون مترمکعب در این سناریو ثابت خواهد بود.

براساس این سناریو و مطابق شکل۱۳ (a)، در انتهای ۲۵ سال آینده، مجموع مساحت مناطق خشک شده دشت، ۱۳۹ کیلومترمربع بوده و روستاهای عمیدآباد، پیرسقا و قمیچ آباد تا ۸۰ درصد خشک خواهند شد. بعلاوه، در بخش جنوبی شهر هیدج و شمال شهر خرمدره و شمال شهر ابهر (اطراف روستای شریف آباد) نیز مناطقی خشک شده و نواحی نزدیک به آن‌ها با کاهش شدید آبدهی چاه‌ها مواجه خواهند شد.

۳-۲-۲- سناریو دوم: جلوگیری از فعالیت چاه‌های فاقد پروانه (ثابت فرض کردن تمام عوامل بیلان بجز تخلیه- تخلیه کاهشی)

در این سناریو فرض شده است تغییری در عوامل تغذیه دشت اتفاق نیفتد ولی تخلیه دشت با انسداد تمام چاه‌های فاقد پروانه و عدم بارگذاری برداشت جدید نسبت به وضعیت موجود کاهش یابد. بر اساس این سناریو و مطابق شکل ۱۳ (b)، در انتهای ۲۵ سال آینده مجموع مساحت مناطق خشک شده دشت، ۳۰ کیلومترمربع بوده و عموماً این مناطق در حاشیه شمالی و جنوبی دشت قرار خواهند گرفت.

۳-۲-۳- سناریو سوم: ادامه وضعیت توسعه‌ای (ثابت بودن تمام عوامل بیلان بجز تخلیه- تخلیه افزایشی)

بـــررسی ســـوابق گذشته نشان می‌دهد جلوگیری از بهره‌برداری کامل چاه‌های آب فاقد پروانه بنا به دلایل اجتماعی، اقتصادی و سیاسی هرگز میسر نبوده است. بنابراین، بدترین سناریو ممکن، حالتی خواهد بود که چاه‌های فاقد پروانه به بهره‌برداری خود ادامه داده و بارگذاری‌های مجاز جدید نیز با مصارف شرب و صنعت و خدمات و براساس الگوی شکل ۳ ادامه یابد. مطابق شکل ۱۳ (c) مجموع مساحت مناطق خشک شده براساس این سناریو در ۲۵ سال آتی، ۱۸۱ کیلومترمربع (حدود ۳۲ درصد آبخوان فعلی) می‌باشد. همچنین، اراضی روستاهای عمیدآباد، قمیچ آباد و حصار قاجار و شریف آباد به صورت کامل خشک خواهد شد.

بعلاوه، حدود ۷۰ درصد اراضی پیرسقا، بخشی از اراضی شهر هیدج، بخشی از اراضی شمالی ابهر و خرمدره و بخش‌های جنوبی روستای بالقلو دچار مشکلات و تنش آبی خواهند شد. براساس این سناریو پس از طی ۲۵ سال، بخش غربی دشت تا حدود زیادی از بین رفته و بخش‌های شرقی و شمالی آبخوان دچار تنش شدید آبی خواهند شد. مضاف بر این‌که شهر قدیمی و تاریخی هیدج در معرض خطر جدی قرار خواهد گرفت. این سناریو واقعی‌ترین سناریوی احتمالی پیش رو خواهد بود.

براساس مقایسه وضعیت آتی دشت ابهر در ۲۵ سال آینده با احتساب بهره‌برداری از چاه‌های آب فاقد پروانه و/یا جلوگیری از بهره‌برداری آن‌ها با فرض ثابت بودن سایر عوامل مؤثر، به خوبی تأثیر بهره‌برداری چاه‌های آب فاقد پروانه در آینده دشت مشخص می‌گردد.

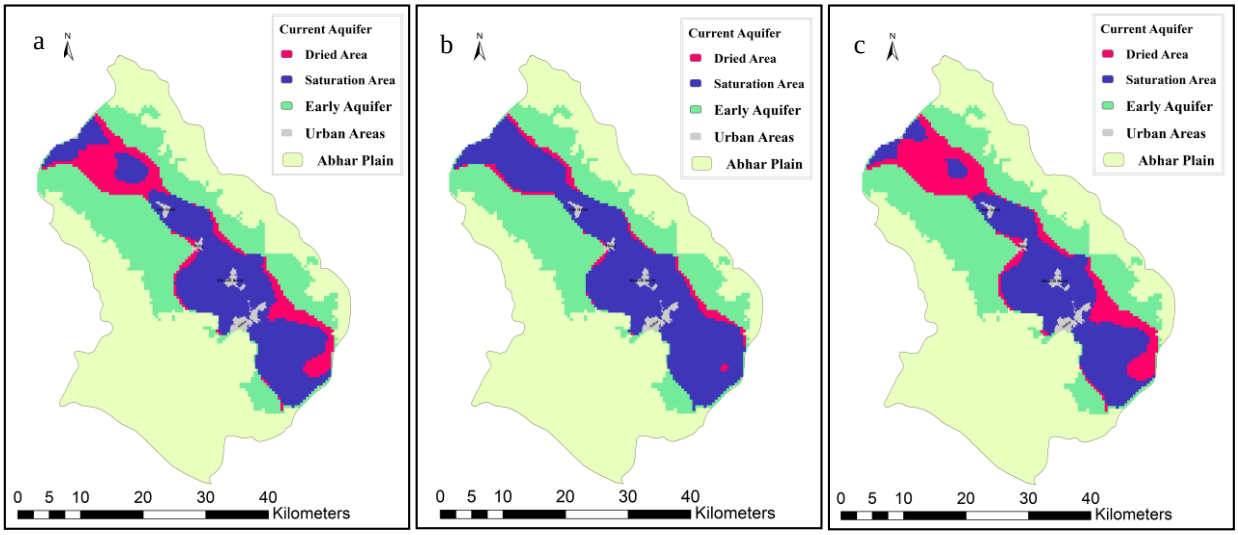

Fig. 13- Comparative status of the plain in the three scenario: (a) first scenario-dried area 139 Km, (b) second scenario-dried area 30 Km, & (c) third scenario-dried area 181 Km

شکل ۱۳- وضعیت مقایسه‌ای دشت ابهر در سه سناریوی مختلف : (a) سناریو اول- وسعت ناحیه خشک شده ۱۳۹ کیلومترمربع، (b) سناریو دوم- وسعت ناحیه خشک شده ۳۰ کیلومترمربع و (c) سناریو سوم- وسعت ناحیه خشک شده ۱۸۱ کیلومترمربع

۴- نتایج و بحث

۴-۱- حجم ذخیره موجود آبخوان

ضریب ذخیره متوسط دشت ابهر براساس مطالعات قبلی از جمله گزارش توجیهی تمدید ممنوعیت دشت ابهر، ۰/۰۵ درنظر گرفته شده است (Sazabandish Consulting Engineers Company, 2013). با ترسیم سه بعدی سطح ایستابی و سنگ کف محدوده مورد مطالعه و انجام آنالیز سه بعدی در نرم‌افزار GIS، حجم آبخوان مابین این دو سطح محاسبه شده است. در روش مذکور کنترل شرایط مرزی و بخصوص یکسان نگه داشتن آن‌ها در محاسبات دو سطح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و با توجه به وسعت منطقه با بارها تکرار و کنترل جهت تدقیق موضوع اقدام شده است. حجم آبخوان آبرفتی اشباع به کمک نرم‌افزار ArcGIS حدود ۴۳ میلیارد مترمکعب محاسبه گردید. حجم موجود ذخیره آب زیرزمینی دشت ابهر که از ضرب ضریب ذخیره آبخوان در حجم آبخوان بدست آمده، حدود ۲۱۵۰ میلیون مترمکعب تخمین زده می‌شود.

۴-۲- روندیابی تعداد و تخلیه آب زیرزمینی

شکل ۱۴ تعداد و تخلیه تجمعی آب زیرزمینی دشت را در دهه ۵۰ تا ۹۰ شمسی نمایش داده است. این شکل به خوبی نمایانگر آغاز خشک شدن برخی مناطق دشت از ابتدای دهه ۸۰ می‌باشد. در دشت ابهر با شروع دهه ۸۰ نرخ رشد تعداد چاه‌ها، تقریباً ثابت بوده ولی نرخ رشد تخلیه چاه‌ها کاهش یافته است. بنابراین، خشک شدن بخش‌هایی از آبخوان و کوچک شدن بخش اشباع آبخوان از ابتدای دهه ۸۰ براساس داده‌ها دیده می‌شود که با شکل ۸ انطباق محتوایی دارد.

۴-۳- نتایج حاصل از رخداد سناریوی شماره ۳

سناریو شماره ۳ محتمل‌ترین سناریو قابل تصور می‌باشد. مطابق این سناریو تعداد ۳۳۰ حلقه چاه مجاز با تخلیه ۲۸ میلیون مترمکعب خشک خواهند شد که اطلاعات تکمیلی آن‌ها مطابق جدول ۲ خواهد بود.

همچنین ۴۱ حلقه چاه فاقد پروانه فعلی نیز با تخلیه تقریبی ۳ میلیون مترمکعب خشک خواهد شد. ۳۷۱ حلقه چاه در معرض خشک شدن دائم در این سناریو مطابق جدول ۳ می‌باشد. در جدول ۳ تعداد ۱۸ روستا که با رنگ قرمز مشخص شده‌اند بالغ بر ۹۰ درصد چاه‌های خود را از دست خواهند داد و ادامه حیات روستاهای مذکور تقریباً ناممکن خواهند شد. از این تعداد حدود ۱۱ روستا، روستاهای مهم و پرجمعیت و برخوردار محسوب می‌شوند.

کم بودن تعداد منابع در معرض نابودی دائم برخی از روستاهای جدول فوق که در انتهای جدول قرار دارند مثل سوکهریز، رحمت آباد و شویر به معنای آن نیست که این روستاها با خطر کمتری مواجه هستند.

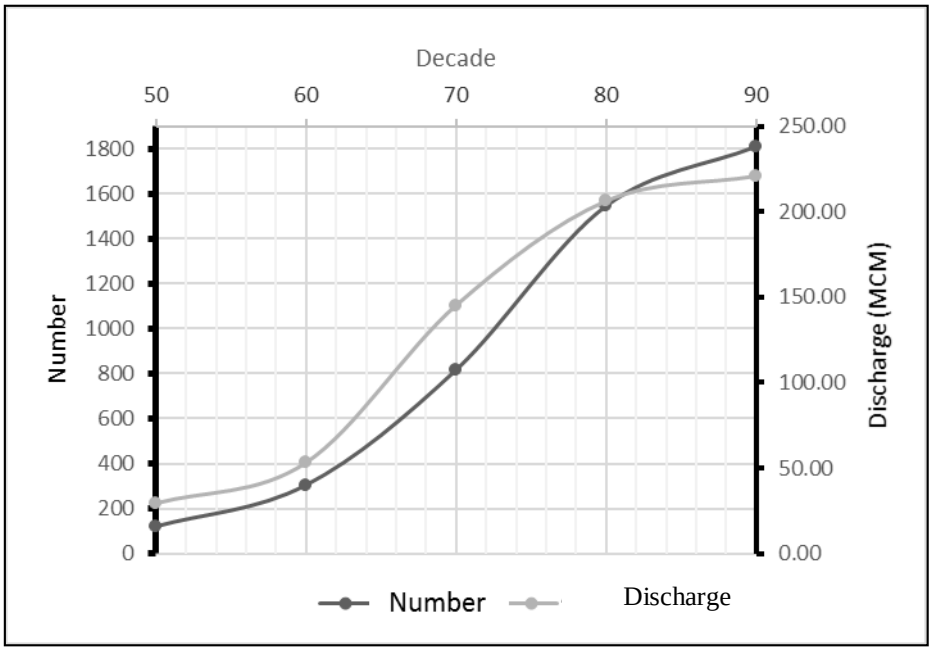

Fig. 14- Changes in the number and discharge rate of wells in Abhar plain in the past five decades (Regional Water Company of Zanjan, 2019)

شکل ۱۴- تغییرات تعداد و تخلیه چاه‌های دشت ابهر طی ۵ دهه اخیر (Regional Water Company of Zanjan, 2019)

Table 2- Number and discharge of wells exposed to drying in the third scenario

جدول ۲- تعداد و تخلیه چاه‌های مجاز در معرض خشک شدن در سناریوی سوم

Consumption Type	Agriculture	Industries & Services	Drinking Water	Agriculture-based Industries	Others
Number	232	25	7	61	5
Discharge (MCM)	23.2	1.5	1.3	1.7	0.3

Table 3- Wells exposed to drying according to the third scenario

جدول ۳- چاه‌های در معرض خشک شدن در سناریوی سوم

No.	Village	Number of Wells	No.	Village	Number of Wells	No.	Village	Number of Wells
1	Pirsagha *	101	11	Hesarghajar	7	21	Shevir *	3
2	Amidabad *	74	12	Aliabad	6	22	Vazdeh *	2
3	Sainghalee *	31	13	Abhar	5	23	Soukahriz*	2
4	Shenat *	31	14	Kouhzin *	5	24	Pelas *	2
5	Ghamichabad *	25	15	Ghouyjoughkhan*	4	25	Alvand *	1
6	Hidaj	17	16	Khorramdarreh	3	26	Ahak *	1
7	Chargar *	11	17	Nourin	3	27	Khalaj *	1
8	Jodaghiye *	9	18	Rahmatabad*	3	28	Algezir *	1
9	Ghaleyehosseiniye	9	19	Meimoundarreh	3			
10	Sharifabad	8	20	Khorasanlou	3			

* روستاهایی که بالغ بر ۹۰ درصد چاه‌های بهره‌برداری آنها خشک خواهد شد.

***** The villages witch above 90 percent of their wells will go dry

بلکه با توجه به شکل ۱۰ به معنای آن است که تعداد زیادی از چاه‌های این روستاها هم‌اکنون در منطقه غیراشباع واقع شده و تک چاه‌های باقیمانده تا آن زمان از دست خواهند رفت.

۴-۴- تعیین حداکثر عمق کف‌شکنی چاه‌ها

تداوم وضعیت فعلی منجر به افت مستمر تراز سطح ایستابی گشته و چاه‌های دشت ابهر نیز با هدف ثابت نگه داشتن میزان بهره‌برداری به ادامه حفاری و افزایش عمق چاه‌های خود اقدام نموده و خواهند نمود. این امر براساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته منجر به خشک شدن بخش قابل توجهی از دشت ابهر می‌گردد. بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد عمق متوسط چاه‌های دشت ابهر در حال حاضر حدود ۱۰۰ متر می‌باشد و بیشترین عمق آن در شمال خرمدره با عمق ۲۵۰ متر است. بنابراین، در این تحقیق حداکثر عمق کف‌شکنی چاه‌ها به گونه‌ای طرح‌ریزی و محاسبه گشته است که بتواند از طریق محدود ساختن عمق چاه‌ها و حفظ ذخائر لازم از خشک شدن بخش غربی دشت مطابق سناریوی شماره ۳ جلوگیری نماید. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد سمت غربی دشت با توجه به میزان ضخامت آبرفت و شیب هیدرولیکی دشت در معرض خطر جدی خشک شدن قرار دارد.

محاسبات در سناریو شماره ۳ به همراه محاسبات مربوط به شکل هندسی مخزن نشان می‌دهد طی ۲۵ سال آتی در این سناریو سطح ایستابی دشت، ۴۷ متر افت خواهد نمود. تلفیق لایه‌های مکانی سنگ کف با ترازهای مختلف سطح ایستابی نشان می‌دهد برای آنکه هیچ بخشی از آبخوان به خصوص در بخش غربی خشک نشود، تراز آب زیرزمینی نباید طی ۲۵ سال بیشتر از ۲۸ متر افت پیدا کند. برای رسیدن به این امر کسری سالیانه مخزن باید از ۴۶/۰۶ به ۲۷/۶ میلیون مترمکعب کاهش یابد. براین اساس، حداکثر عمق چاهها جهت کف‌شکنی برای رسیدن به این هدف توسط نرم‌افزار ArcGIS طراحی گردیده است (شکل ۱۵).

شکل ۱۶، آبخوان موجود را براساس حداکثر عمق چاهها جهت کف‌شکنی به ۶ بخش تقسیم نموده است. براساس این پژوهش کمترین عمق چاه‌ها در منطقه شریف آباد ابهر و حداکثر تا ۵۰ متر باید معین گردد و بیشترین عمق چاه‌ها در حاشیه‌های شمالی و جنوبی دشت از قبیل جنوب روستای چرگر یا شمال روستای سوکهریز حداکثر ۲۲۵ متر می‌تواند باشد. اغلب چاه‌های آبخوان می‌بایست عمقی بین ۹۰ تا ۱۳۰ متر را براساس نقشه به خود اختصاص دهند. لازم به ذکر است که عبور از این سطح از اعماق می‌تواند خطر خشک شدن بخش‌های مهمی از آبخوان را به همراه داشته باشد.

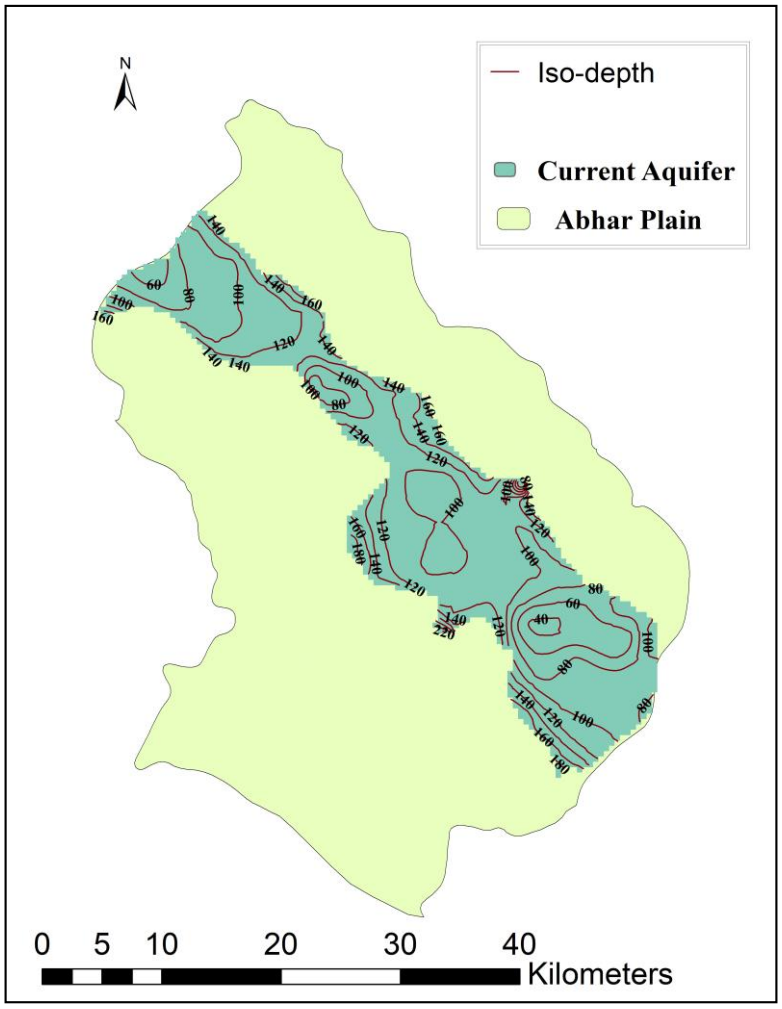

Fig. 15- Iso-depth contour map used for well deepening in Abhar aquifer

شکل ۱۵- نقشه خطوط هم‌عمق چاه‌ها جهت کف‌شکنی در آبخوان ابهر

۵- جمع‌بندی

در این پژوهش وضعیت آتی دشت ابهر از نظر کمی و براساس میزان تغییرات سطح و حجم آبخوان اشباع بررسی گردیده است. مناطق در معرض خطر از نظر خشک شدن منابع آب زیرزمینی براساس سناریوهای احتمالی شناسایی شده است و حداکثر عمق چاه‌ها جهت کف‌شکنی با درنظر گرفتن اولویت حفظ بخش اشباع فعلی آبخوان و جلوگیری از خشک شدن بخش غربی آبخوان تعیین گردیده است.

در سناریو اول محدوده اشباع آبخوان با فرض اینکه هیچگونه تغییری در تغذیه و تخلیه آبخوان رخ ندهد و وضعیت موجود دقیقا در سالهای آتی ادامه یابد پیش‌بینی شد و مشاهده گردید که در صورت وقوع این سناریو، ۱۳۹ کیلومترمربع از وسعت آبخوان اشباع کاهش خواهد یافت. در سناریو دوم محدوده اشباع آبخوان با فرض اینکه هیچگونه تغییری در تغذیه آبخوان اتفاق نیفتد ولی تخلیه آبخوان با انسداد چاه‌های فاقد پروانه، کاهش یابد پیش‌بینی شد و مشاهده گردید که در صورت وقوع این سناریو، ۳۰ کیلومترمربع از وسعت آبخوان اشباع کاهش خواهد یافت. در سناریو سوم محدوده اشباع آبخوان با فرض این‌که هیچگونه تغییری در تغذیه آبخوان اتفاق نیفتد ولی تخلیه آبخوان به دلیل عدم انسداد چاه‌های فاقد پروانه و نیز صدور مجوزهای جدید شرب و صنعت افزایش یابد پیش‌بینی شد و مشاهده گردید که در صورت وقوع این سناریو، ۱۸۱ کیلومترمربع از وسعت آبخوان اشباع کاهش خواهد یافت.

سوابق نشان می‌دهد سناریو شماره ۳ به واقعیت نزدیکتر می‌باشد که در اینصورت بخشهای غربی و برخی مناطق شمال شرقی دشت کاملاً منابع آب زیرزمینی خود را از دست خواهند داد و روستاها و مراکز جمعیتی مهمی با خطر بیکاری و مهاجرت اجباری روبرو خواهند شد.

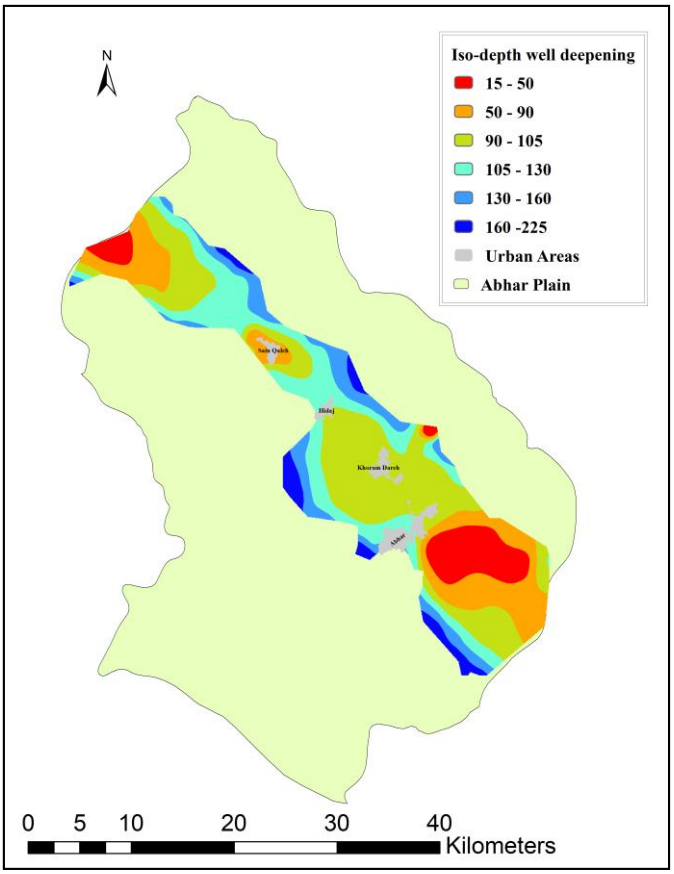

Fig. 16- Maximum depth of wells used for well deepening in Abhar aquifer

شکل ۱۶- حداکثر عمق چاه‌ها جهت کف‌شکنی در آبخوان ابهر

بررسی هندسه آبخوان و وضعیت سطح ایستابی نشان داده است بخش غربی دشت در معرض خطر جدی خشک شدن قرار دارد و پراکندگی و تجمع منابع آبی تخلیه کننده نیز در این بخش بیشتر از بخش شرقی دشت است. به همین دلیل پیشگیری از خشک شدن بخش غربی دشت با تکیه به اصل محدود ساختن دسترسی به منابع آب زیرزمینی، مبنای محاسبات حداکثر عمق چاه‌ها جهت کف‌شکنی قرار گرفت.

حداکثر عمق چاه‌ها جهت کف‌شکنی با تلفیق لایه‌های اطلاعات مکانی اعم از سنگ کف، سطح ایستابی آب و توپوگرافی دشت و در جهت هدف ذکر شده به کمک نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شده و نتایج حاصل نشان داد حداکثر عمق چاه‌های آبخوان جهت کف‌شکنی بین ۲۳۵–۱۵ متر متغیر می‌باشد. کمترین عمق چاه به میزان ۱۵ متر در منطقه شریف آباد و بیشترین عمق چاه به میزان ۲۳۵ در حاشیه جنوبی دشت و حدود روستای میموندره قرار دارد. حداکثر عمق چاه‌های هفتاد درصد مناطق آبخوان جهت انجام کف‌شکنی ۱۳۰–۹۰ متر تعیین گردید.

۶- تشکر و قدردانی

سپاس ویژه از آقای مهندس افشاری مدیر عامل محترم شرکت آب منطقه‌ای زنجان، آقای مهندس باقری معاون محترم حفاظت و بهره‌برداری شرکت آب منطقه‌ای زنجان و آقای مهندس رهروی مدیر محترم دفتر بهره‌برداری شرکت آب منطقه‌ای زنجان که در تهیه اطلاعات مورد نیاز پژوهش مساعدت نمودند.

۷- مراجع

Akbari M, Jarge MR, Madani Sadat H (2009) Assessment of decreasing of groundwater-table using Geographic Information System (GIS) (Case study: Mashhad Plain Aquifer). Journal of Water and Soil Conservation 16(4):63-78 (In Persian)

Bijani M, Moridi A, Majdzadeh Tabatabaie MR (2016) Investigation of well deepening effects on aquifer yield using numerical model. Iran-Water Resources Research 12(4):83-92 (In Persian)

Fazeli Farsani A, Naseri H, Karimi Ardajani H, Mohamadi Z (2008) The calculation of maximum of increasing agricultural wells' depth for underground

Eastern Iran, 15th February, University of Birjand, Iran (In Persian)

Reginal Water Company of Zanjan (2018) Groundwater resources identification studies report in Abhar study area. Deputy of Conservation and Operation of Water Resources, Technical Report (In Persian)

Rezaie E, Zeinalzade K, Nabeghi J (2019) Determining of maximum of increasing agricultural wells' depth by combining mathematical models. In: Proc. of 1st International and 4th National Congress on Iranian Irrigation and Drainage, 13th November, Urmia, Iran (In Persian)

Sazabandish Consulting Engineers Company (2013) Justification report extending prohibition on Abhar plain. Deputy of Conservation and Operation of Water Resources, Technical Report (In Persian)

Sedaghat M (1999) Earth and water resources. Payam Noor University Press, 322p (In Persian)

Zeraati E (2018) Determining optimized depth of wells for extension considering integrated water resources management and climate change in a watershed. M.Sc. Thesis, School of Civil Engineering, University of Sistan & Baluchestan (In Persian)

water resources management (Case study: Broojen Plain). In: Proc. of 12th Symposium of Geological Society of Iran, 18th February, Ahvaz, Iran (In Persian)

Iran Water Resources Management Company (2014) Groundwater restoration and balancing plan. Deputy of Water and Water Administration Office of Water and Wastewater Operations and Protection Systems. Technical Report (In Persian)

Kazemi M, Mohamadzade H, Afrouzi M, Aslani H (2011) Calculation of volume changes of Farsan-Jonghan alluvial aquifer during 20 years statistical period using Geographic Information System (GIS). In: Proc. of International Conference on Geomatics, 15th May, Iranian Surveying Organization, Tehran, Iran (In Persian)

Maroun Consulting Engineers Company (2009) Groundwater balancing studies in critical forbidden areas of Zanjan plain. Geology and Groundwater Report Abhar. Technical Report (In Persian)

Mostafaei M, Alahmadi J, Salehi M, Shahidi A (2017) The effect of different irrigation levels and density on functional properties of Quinoa. In: Proc. of 1st National Congress on the New Opportunities for Production and Employment in Agriculture Sector of