Modeling of drought effect on the Total Hardness and Total Dissolved Solids in ground water of Mashhad plain

Rouya Peiravi
Faculty member of Environmental Health Engineering Department, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran.

Hossein Alidadi
* Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Health Sciences Research Center, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran. (Corresponding author). Email: alidadih@mums.ac.ir

Allah Bakhsh javid
Asistant Professor, Department of Environmental Health Engineering,Shahrood, Iran

Ali Asghar Najafpoor
Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering,Health Sciences Research Center, Mashhad University of Medical Sciences,Mashhad, Iran

Habibollah Esmaeili
Associate Professor, Department of Biostatistical,Health Sciences Research Center, Mashhad University of Medical Sciences,Mashhad, Iran

Fatemeh Joulaei
MS student of Environmental Health Engineering,Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran.

Received: 25 April 2015
Accepted: 28 June 2015

ABSTRACT

Background and objectives: Water is the major challenging issue worldwide. In Iran, water shortage is more serious than other countries because it is located on arid and semi-arid region. The objective of this research was modeling of drought effects on variation of chemical water quality in the wells of Kashaf Rood area in Mashhad plain in 2006-2010.

Materials and Method: Quality and levelraw data(2006-2010) of 16 drinking water wells in Kashaf Rood area and also meteorological parameters were extracted.Data were analyezed by SPSS and Excel softwares and modeled was by STELLA software.Normal and Pearson corrolate test were used in significance level α= 0.05, to understand relationship between water level and quality.

Results: Ground water level from 2006 to 2010 have had 6 meter loss. Mashhad plain experienced the least rainfall with an average annual 104.7 mm in 1998-99 and the most rainfall with an minimum annual 414.6 mm. Maximum temperature have been 35 to 40 ^{0}C in the hot months and also shortage rain and intensive water level loss were observed in these months in 1991-1992. Examination between water level variation and water ground indexes (TDS & TH) determined that all wells had no significant relationship between those parameters except wells No 5(p=0.028) and 9 (p=0.024). According to model results could be concluded model have good accuracy to estimate groundwater characteristics concentration.

Conclusion: Mentioned ground water level loss in the area indicates need for appropriate planninig and management of water resources and rainfall so that will be prevented direct and indirect drought (ie: quality change)

Keyword: Ground water Drought,Wter Quality, Water Well, Modelling

▶ **Citation**: Peiravi, R. Alidadi, H. Javid, A. Naiafpoor, AA. Esmaili, H. & Joulaei, F. Modeling of drought effect on the Total Hardness and Total Dissolved Solids in ground water of Mashhad plain. Journal of Research in Environmental Health.Summer 2015;1 (2) : 85-94.

مدل‌سازی اثر خشک‌سالی بر سختی کل و جامدات محلول آب زیرزمینی دشت مشهد

رؤیا پیروی
مربی گروه آموزشی مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران.

حسین علیدادی
*دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط – مرکز تحقیقات علوم بهداشتی مشهد- دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد (نویسنده مسئول).
Email: alidadih@mums.ac.ir

الله‌بخش جاوید
استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود

علی‌اصغر نجف‌پور
دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط – مرکز تحقیقات علوم بهداشتی مشهد- دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم

حبیب‌الله اسماعیلی
دانشیار گروه آمار زیستی، مرکز تحقیقات علوم پزشکی مشهد، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد.

فاطمه جولائی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۰۷

چکیده

زمینه و هدف: آب مهم‌ترین مسئله چالش‌برانگیز جهان است. بحران آب در ایران به دلیل قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک، جدی‌تر از دیگر کشورهاست. هدف از این مطالعه، مدل‌سازی تغییر کیفیت آب چاه‌های منطقه کشف‌رود دشت مشهد، ناشی از خشک‌سالی در سال‌های ۸۶ تا ۸۹ بود.

مواد و روش‌ها: جامعه پژوهش، چاه‌های آب آشامیدنی و پیزومتریک منطقه کشف‌رود دشت مشهد بود. آمار بازه زمانی سال‌های ۸۶ تا ۸۹ مربوط به کیفیت و سطح ایستایی ۱۶ حلقه چاه موجود در منطقه، به همراه پارامترهای هواشناسی استخراج گردید. داده‌ها پس از جمع‌آوری با استفاده از نرم‌افزار SPSS و Excel تجزیه و با نرم‌افزار STELLA مدل‌سازی شدند. برای یافتن ارتباط بین کیفیت (TH و TDS) و افت آب در سطح معنی‌داری ۵ درصد، از آزمون طبیعی و همبستگی پیرسون استفاده شد.

یافته‌ها: سطح آب طی بازه سال‌های ۸۶ تا ۸۹ حدود ۶ متر افت داشته است. کمترین بارندگی با میزان ۱۰۴/۷ در سال‌های ۷۸ تا ۷۹ و بیشترین در سال‌های ۷۱ تا ۷۲ به میزان ۴۱۴/۶ میلی‌متر بوده است. در ماه‌های گرم حداکثر دما بین ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتیگراد بوده که افت شدید سطح ایستایی آب و همچنین کمبود بارش مشاهده شده است. تنها در مورد چاه شماره ۵ (P=۰/۰۲۸) و ۹ (P =۰/۰۲۴) بین تغییرات سطح آب و TH رابطه معنی‌دار بود. طبق نتایج خروجی مدل، می‌توان گفت مدل توانسته است غلظت شاخص‌های آب زیرزمینی را با صحت خوبی برآورد کند.

نتیجه‌گیری: افت مذکور در آب زیرزمینی منطقه، نشانگر لزوم برنامه‌ریزی و مدیریت درست منابع آبی و بارندگی است تا از تأثیرات خشک‌سالی ازجمله تغییر کیفیت، جلوگیری شود.

کلیدواژه‌ها: خشک‌سالی آب زیرزمینی، سختی کل، همه جامدات محلول، مدل‌سازی

◀ **استناد:** پیروی ر، علیدادی ح، جاوید ا، نجف‌پور ع، اسماعیلی ح، جولائی ف. مدل‌سازی اثر خشک‌سالی بر سختی کل و همه جامدات محلول آب زیرزمینی دشت مشهد. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط. تابستان ۱۳۹۴؛۱ (۲): ۸۵-۹۴.

۱. مقدمه

آب مهم‌ترین مسئله چالش‌برانگیز بین کشورهای جهان است؛ به‌طوری‌که در سال ۲۰۰۰ میلادی بیش از ۲۶ کشور با کمبود آب درگیر بودند و پیش‌بینی‌شده است که این میزان در سال ۲۰۵۰ به ۶۶ کشور خواهد رسید. به‌طورکلی، مسئله کمبود بارندگی یکی از مشکلات اساسی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده است. کشور ایران نیز به دلیل داشتن چنین اقلیمی، همواره به‌مراتب جدی‌تر از دیگر کشورها با بحران آب درگیر است. صرف‌نظر از نوار ساحلی و باریک دریای خزر که میزان بارندگی سالیانه آن بیشتر از ۶۰۰ میلی‌متر بوده و آب و هوایی مرطوب دارد، آب‌وهوای دیگر قسمت‌های ایران با ۴۸۰-۱۰۰ میلی‌متر بارندگی سالیانه خشک تا نیمه‌خشک است. در میان عناصر اقلیمی، بارش بیشترین نوسان را دارد. این مسئله در کشور ما که متوسط بارش سالیانه آن حدود ۲۵۰ میلی‌متر است، اهمیت بیشتری دارد. به همین دلیل، مشاهده خشک‌سالی‌هایی با شدت‌های گوناگون و ترسالی‌های مخرب، امری طبیعی و تقریباً متداول است. این بی‌نظمی‌ها و نوسانات زیاد در بارش سالیانه، سبب خسارات سالانه بسیاری می‌شود (۱).

خشک‌سالی یکی از رخدادهای پرخطر در ارتباط با هواشناسی است. این حادثه طبیعی بر همه جنبه‌های زندگی انسان تأثیرگذار است. در سال‌های اخیر، اقلیم جهان تغییر کرده است که به‌احتمال‌زیاد سبب افزایش بروز خشک‌سالی می‌شود. خشک‌سالی به‌عنوان یک فاجعه زیست‌محیطی به رسمیت شناخته شده و توجه محیط‌زیست، بوم‌شناسان، آب شناسان، هواشناسان، زمین‌شناسان و دانشمندان کشاورزی را به خود جلب کرده است. به‌طور تقریبی خشک‌سالی در همه اقلیم‌ها، چه مناطقی با بارش‌های بالا و چه بارش کم روی می‌دهد. به‌طور عمده، خشک‌سالی به کاهش میزان بارش در مدت‌زمان طولانی، مانند یک‌فصل یا یک سال مربوط است (۲). خشک‌سالی بر هر دو نوع منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی تأثیر می‌گذارد و می‌تواند سبب کاهش منابع آب، تنزل کیفیت آب، تخریب محصولات (۳)، کاهش تولیدات، کاهش ظرفیت تولید (۴)، برهم زدن زیستگاه‌های ساحلی و فعالیت‌های تفریحی شود؛ همان‌طور که فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۵).

افزون بر این، خشک‌سالی می‌تواند تعادل املاح خاک را به هم بزند؛ مثل تجمع سدیم در خاک و تأثیرات بعدی آن، مثل دگرگون شدن ساختار خاک (۶)؛ همچنین، افت منابع آب زیرزمینی می‌تواند موجب نشست زمین شود که خطرات جدی را در پی خواهد داشت (۸-۷). خشک‌سالی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، به‌ویژه آب شیرین، از اهمیت بالایی برخوردار است. این موضوع مستلزم کسب آگاهی درباره تاریخچه خشک‌سالی است که تأثیرات آن در منطقه مشاهده می‌شود؛ بنابراین، درک مفهوم متفاوت از خشک‌سالی برای مدل‌های در حال پیشرفت به‌منظور بررسی‌های گوناگون ویژگی‌های خشک‌سالی، مفید خواهد بود (۲, ۹).

در مطالعه‌ای که با عنوان تأثیر خشک‌سالی و پدیده‌های انسانی بر سطح آب‌های زیرزمینی در پریسای هند انجام شد، مشاهده شد که میزان افت سطح آب در منابع زیرزمینی ناشی از پدیده‌های انسانی و کمبود بارش، در طی ترسالی‌ها احیا نشده است. هرچند در این مطالعه خشک‌سالی هواشناسی شناسایی نشد، فعالیت‌های انسانی و افزایش دما بر افت سطح آب تأثیرگذار بوده‌اند (۹). مطالعه «عزیزی» بر دشت قزوین درباره خشک‌سالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی، نشان داد که کمبود بارش‌ها بیشتر بوده است؛ همچنین، تأثیر فعالیت‌های انسانی در ناهنجاری‌های آب زیرزمینی بی‌تأثیر نبوده است؛ بلکه نقش بسزایی داشته و تقریباً هرسال ۲۵ سانتی‌متر بر افت سطح آب زیرزمینی افزوده شده است (۱). بنا بر پژوهش‌های انجام‌شده داخل و خارج کشور، می‌توان به این نکته پی برد که بررسی خشک‌سالی و در موارد اندک مدل‌سازی آن انجام شده است؛ ولی مطالعه و مدل‌سازی در ارتباط با اثر خشک‌سالی بر کیفیت آب، به‌ویژه آب‌های زیرزمینی، صورت نگرفته است. از سوی دیگر، در دهه اخیر کمبود بارش در ایران و به‌ویژه در استان خراسان رضوی و دشت

مشهد، سبب کمبود تغذیه منابع آبی به‌خصوص آب‌های زیرزمینی شده است. در این راستا، منطقه کشف‌رود در خراسان رضوی ازلحاظ کمی و کیفی به‌عنوان بحرانی‌ترین منطقه شناسایی شد؛ ضمن این‌که کشف‌رود تقریباً در سراسر دشت مشهد پراکنده شده است و به‌نوعی می‌تواند معرف همه دشت باشد. بر این اساس، هدف از انجام این پژوهش تحقیق درباره رابطه بین خشک‌سالی و تغییر کیفیت (همه جامدات محلول [TDS] و سختی کل[TH]) آب آشامیدنی چاه‌های روستایی موجود در منطقه کشف‌رود دشت مشهد در طی سال‌های ۸۶ تا ۸۹ و مدل‌سازی آن طی سال‌های آینده بود.

۲. روش‌ها

۲-۱. روش گردآوری داده‌ها

نوع مطالعه، بررسی توصیفی مقطعی محیط پژوهش دشت مشهد و جامعه پژوهش چاه‌های آب آشامیدنی روستایی در حال بهره‌برداری و پیزومتریک منطقه کشف‌رود واقع در دشت مشهد و پارامترهای هواشناسی آن بود. در اداره آب و فاضلاب روستایی مشهد، نتایج آنالیز کیفی آب چاه‌ها از سال ۱۳۸۶ موجود بود و تا آخرین داده‌های موجود در زمان جمع‌آوری وارد مطالعه گردید. پارامترهای هواشناسی از اداره هواشناسی مشهد دریافت شد. بررسی خشک‌سالی نیازمند مطالعه آن در دوره آماری جامعی است؛ بنابراین، پارامترهای مؤثر در بروز خشک‌سالی (دما و بارش) در سی سال اخیر (۹۱-۱۳۶۱) وارد مطالعه شدند. برای استخراج داده‌های مربوط به چاه‌های پیزومتریک که فاصله سطح زمین تا سطح ایستایی آب به‌طور سالانه از طریق تجهیزات آنها اندازه‌گیری می‌شود، به سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی مراجعه گردید.

۲-۲. روش تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

۲-۲-۱. حجم نمونه و بررسی آماری داده‌ها

با توجه به معیارهای ورود (همه چاه‌های آب آشامیدنی روستایی در حال بهره‌برداری در منطقه کشف‌رود) و خروج (۱- چاه‌های روستایی که نتایج آنالیز شیمیایی آنها در دوره زمانی در نظر گرفته‌شده برای مطالعه موجود نبود و ۲- چاه‌هایی که از مدار خارج شده بودند) مطالعه در منطقه کشف‌رود، ۱۶ حلقه چاه در منطقه امکان ورود به مطالعه را داشتند؛ بنابراین، با در نظر گرفتن بازه زمانی ۴ ساله (۸۶ تا ۸۹)، هرسال تعداد ۱۶ حلقه چاه ازنظر سطح ایستایی آب و کیفیت آن بررسی شدند. در این بخش، ابتدا داده‌ها به نرم‌افزار spss وارد شدند و برای بررسی ارتباط بین تغییرات سطح ایستایی و کیفیت آب، از آزمون طبیعی و همبستگی پیرسون در سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده گردید. داده‌های سطح ایستایی آب به‌صورت سری زمانی برحسب ماه تبدیل شده و نمودار آنها ترسیم گردید. نتایج داده‌های کیفیت آب که نوسانات متفاوتی را نشان داد. ، دو پارامتر TDS و TH از بین پارامترهای کیفی که هم دارای روند تغییرات باثبات‌تری بودند وهم جزو ویژگی‌های اصلی آب‌های زیرزمینی به شمار می‌روند، برای مدل‌سازی انتخاب شدند.

۲-۲-۲. مدل‌سازی

در مدل‌سازی هرچه بتوان پارامترهای مؤثر در مدل را کامل‌تر در نظر گرفت و روش تأثیر آنها را در مدل بررسی و نقش این عوامل را در مدل تعریف کرد، مدل از اعتبار بالاتری برخوردار خواهد شد و قابلیت استفاده بیشتری را پیدا خواهد کرد؛ بنابراین برای مدل‌سازی داده‌ها، افزون بر در نظر گرفتن پارامترهای هواشناسی به‌عنوان عامل‌های مؤثر، ضریب نفوذپذیری خاک، دبی برداشتی از چاه‌ها به همراه لحاظ کردن نرخ رشد جمعیت در این میزان، برداشت و جذب آب به سطح ذرات خاک به‌عنوان دیگر عوامل مؤثر داخل مدل شدند.

۲-۲-۲-۱. نرم‌افزار استلا (STELLA)

برای مدل‌سازی داده‌ها از نرم‌افزار استلا (STELLA) استفاده شد. از این نرم‌افزار برای مدل‌سازی دینامیکی یا پویا استفاده می‌شود. منظور از مدل یا سیستم دینامیکی، سیستمی است که متغیرهای آن با گذشت زمان تغییر داشته باشند. این نرم‌افزار که قابلیت‌های زیادی دارد و کاربرد آسان آن مهم‌ترین آنهاست،

سبب شده است تا بسیاری از پژوهشگران و استادان از آن به‌عنوان استاندارد طلایی نام ببرند. از استلا می‌توان در علوم گوناگون ازجمله اقتصاد و سیاست تا فیزیک و شیمی استفاده کرد. در زیر به برخی از ویژگی‌های این نرم‌افزار اشاره می‌شود:

- آسان کردن درک مدل و ساختن آن با استفاده از آیکون‌های تصویری و بصری
- قابلیت تعریف دقیق از عملکرد سیستم با استفاده از ایجاد ارتباط بین آنها
- ارائه فرمول‌ها به‌وسیله برنامه (۱۰-۱۲)

۲-۲-۳. محاسبات

با توجه به شکل ۱، عوامل مؤثر بر ورودی و خروجی چاه که مبدل نام دارد با شکل دایره و چاه و غلظت املاح موجود در آن‌که مخزن نام دارد، به شکل مستطیل نشان داده‌شده است. مخازن موجود در مدل باید مانند واقعیت دارای حجم اولیه، ورودی و همچنین غلظت اولیه و خروجی برای هر پارامتر کیفی باشد. در روش اول، پارامترهای اندازه‌گیری شده سه سال اول بازه به‌عنوان مقدار اولیه و سال آخر به‌عنوان ورودی در نظر گرفته شدند و سال‌های پس‌ازآن با استفاده از مدل برآورد گردیدند. در روش دوم که به‌نوعی، درستی و دقت مدل را نیز سنجش می‌کرد، سال اول (۱۳۸۶) به‌عنوان میزان اولیه و سال ۱۳۸۷ به‌عنوان میزان ورودی در نظر گرفته شد؛ همچنین، سال‌های ۸۸ و ۸۹ نیز پیش‌بینی شدند و مقدار برآورد شده به‌وسیله مدل با مقدار واقعی اندازه‌گیری شده مقایسه گردید.

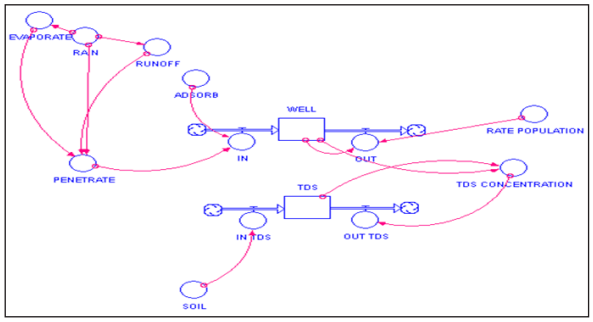
$$Q = 0/00278 \times b \times c \times I \times A$$

برای محاسبه حجم (اولیه و ورودی) آب چاه از فرمول بالا (فرمول محاسبه حجم روان‌آب) استفاده شد که در این فرمول:

I = بارش میلی‌متر در ساعت A = مساحت برحسب هکتار

b= ضریب توزیع بارش در منطقه (بدون واحد) Q = دبی برحسب مترمکعب بر ثانیه

پارامترهای کیفی نیز با استفاده از حجم محاسبه‌شده آب چاه و غلظت‌های ثبت‌شده در داده‌های جمع‌آوری‌شده، به‌صورت گرم در سال محاسبه شدند. با استفاده از داده‌های موجود و ضرایب تعریف‌شده در منابع، تعداد چاه‌ها و تعدادی فرضیه‌ها برای انجام هرچه شبیه‌تر مدل به واقعیت، درنهایت طرح زیر به‌عنوان مدل نهایی که برای پیش‌بینی‌ها از آن استفاده شد، به دست آمد.



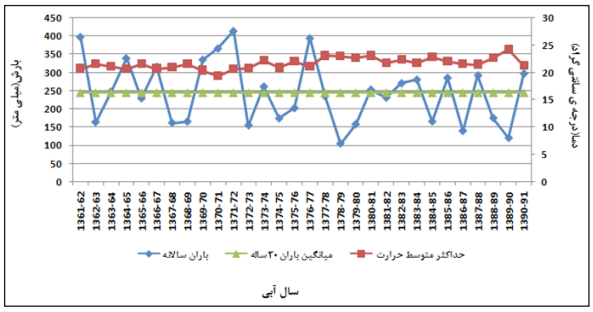
شکل ۱: طرح مدل اجراشده

* منظور از soil در مدل، درواقع میزان املاح موجود در خاک است که به‌وسیله باران شسته می‌شود و به لایه آبخوان می‌رسد. در مرحله‌های بعد با فرمول‌های مرحله اول، اما با مقادیر اولیه متفاوت، برای مقایسه کمیت و کیفیت آب در هر مرحله آزمون شد. این تغییر مقدار، افزایش و کاهش میزان حجم ورودی به چاه از طریق افزایش میزان بارش، افزایش و کاهش ضریب رشد جمعیت و همچنین افزایش و کاهش مقدار حجم آب موجود در چاه، تقابل هر یک از این تغییرات با یکدیگر و سنجش اثر این تغییرات بر پارامترهای کیفی بررسی‌شده را شامل می‌شد.

۳. نتایج

۳-۱. نمودار پارامترهای هواشناسی

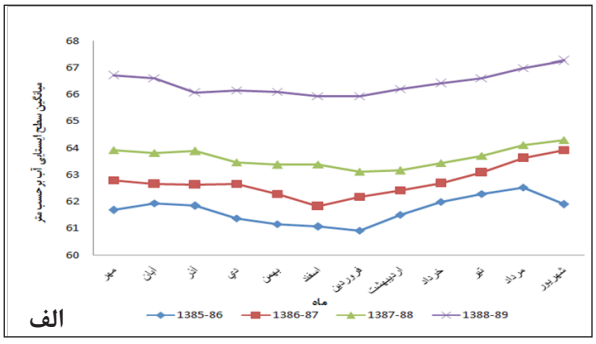
در نمودار ۱ می‌بینید که میانگین سالیانه بارندگی دشت مشهد در برخی از سال‌ها از میانگین سی‌ساله (۹۱-۱۳۶۱) آن کمتر و در بعضی از سال‌ها از آن بیشتر بوده است که این تفاوت‌ها در برخی موارد جزئی و در برخی دیگر قابل‌توجه است. با توجه به نمودار، مشخص است که کمترین بارندگی با میزان ۱۰۴/۷ میلی‌متر به سال‌های ۷۸ تا ۷۹ مربوط بوده و بیشترین بارندگی در سال‌های ۷۱ تا ۷۲ به میزان ۴۱۴/۶ میلی‌متر روی داده است؛ همچنین، میانگین بارش سی‌ساله (۲۴۴/۵ میلی‌متر) دشت مشهد نزدیک به متوسط بارش کشور (۲۵۰) است. پس‌ازاین، سال‌های ۸۹ تا ۹۰ کمترین و ۶۱ تا ۶۲ بیشترین بارش را داشته‌اند. در مورد حداکثر درجه حرارت متوسط طی این بازه زمانی، دامنه تغییرات آن بین ۲۰ تا نزدیک ۲۵ و بیشترین آن در سال‌های ۸۹ تا ۹۰ به میزان ۲۴/۲۵ درجه سانتی‌گراد بوده است.

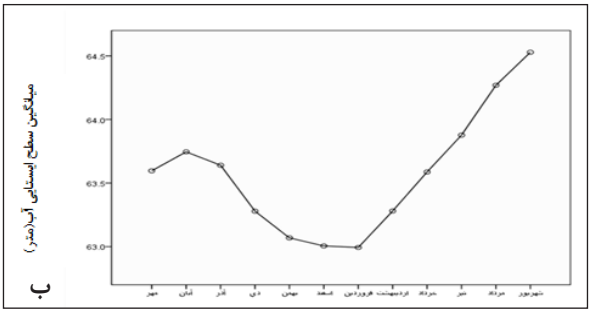


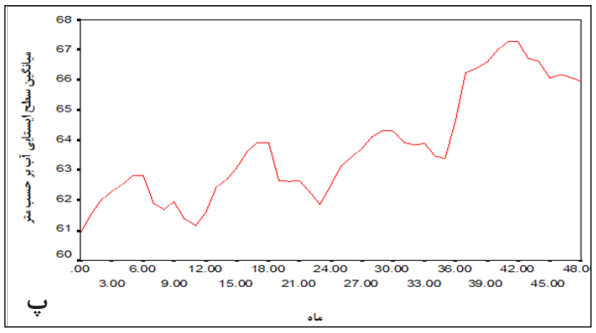
نمودار ۱: روند تغییرات میانگین حداکثر حرارت و بارش سی‌ساله دشت مشهد در بازه زمانی ۶۱ تا ۹۱

۳-۲. نمودار سطح ایستایی آب

در شکل ۲- الف می‌بینید که سطح ایستایی چاه‌های انتخابی در منطقه، طی این ۴ سال حدود ۶ متر افت داشته است. در شکل ۲- ب که درمجموع این ۴ سال (۸۶ تا ۸۹)، به‌طور متوسط سطح ایستایی آب‌های زیرزمینی حدود ۱/۵ متر افت پیدا کرده است. در شکل ۲- پ افت حدود ۶ متر به‌صورت سری زمانی برحسب ماه نشان داده شده است که نوسانات به‌صورت متمایزتری مشاهده می‌شوند. ازآنجاکه سطح ایستایی به‌وسیله چاه پیزومتریک از سطح زمین تا سطح ایستایی اندازه‌گیری می‌شود، روند صعودی هریک از خطوط نمودار نشان‌دهنده افت (پایین رفتن) سطح ایستایی آب است.



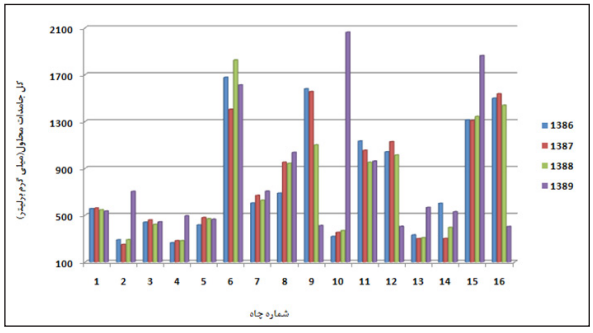




شکل ۲: نمایش تغییرات سطح ایستایی آب؛ الف) به تفکیک سال، ب) میانگین ماهانه طی ۴ سال و ج) سری زمانی برحسب ماه

۳-۳. روند تغییرات ویژگی‌های آب زیرزمینی

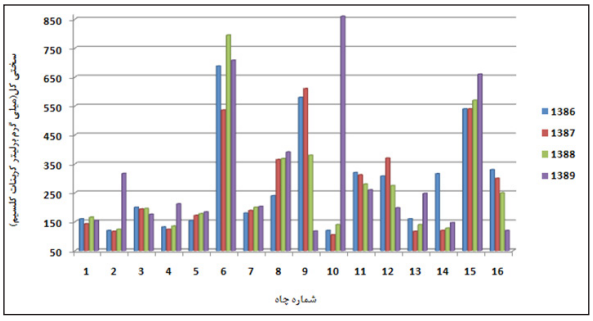
همان‌طور که در مقدمه اشاره شد، ازآنجاکه جامعه موردمطالعه آب زیرزمینی بوده و از ویژگی‌های برجسته‌ی این آب‌ها، همه جامدات محلول (TDS) و سختی کل (TH) است، در این مقاله به بررسی و مدل‌سازی آنها پرداخته شد. نمودار ۲ میزان تغییرات TDS مربوط به چاه‌های منطقه را نشان می‌دهد. میزان TDS بیشتر چاه‌ها از میزان مطلوب و مجاز استانداردها فراتر نرفته است. تنها تعدادی از آنها و در برخی از سال‌ها، بازه زمانی TDS بالاتر از حداکثر مطلوب ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (چاه‌های ۱۱ و ۱۲) یا حداکثر مجاز ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (چاه‌های ۶،۱۰ و ۱۶) استانداردهای اروپایی و ایرانمی باشند.



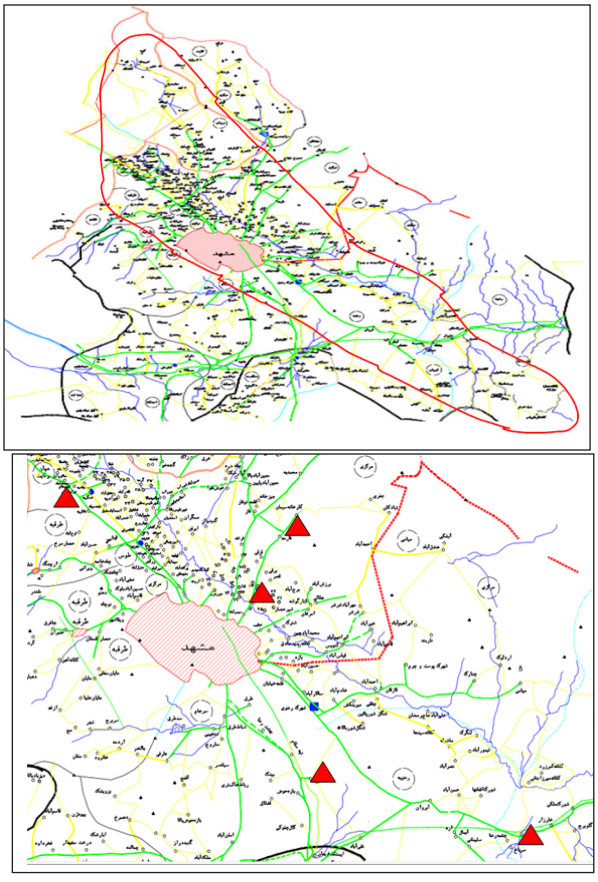
نمودار ۲: همه جامدات محلول برحسب میلی‌گرم بر لیتر، در بازه زمانی ۸۶ تا ۸۹ به تفکیک چاه

نمودار ۲ میزان تغییرات TH مربوط به چاه‌های منطقه را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینید، به‌جز چاه‌های ۱،۳،۵ و ۷ که پایین‌تر از میزان حداکثر مطلوب (۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم) و

چاه‌های ۶،۹، ۱۰ و ۱۵ که از میزان حداکثر مجاز (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم) بالاتر بوده‌اند، چاه‌های دیگر تنها از میزان حداکثر مطلوب با مقادیر متفاوتی فراتر رفته‌اند.



نمودار ۳: سختی کل برحسب میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم، در بازه زمانی ۸۶ تا ۸۹ به تفکیک چاه



شکل ۳: منطقه موردمطالعه و موقعیت چاه‌هایی با غلظت‌های TDS یا TH فراتر از استاندارد مجاز (مثلث‌های قرمز)

۳-۴. نتایج خروجی مدل با اعمال تغییر ضرایب

نتایج مرحله‌های مدل‌سازی شاخص‌های آب زیرزمینی در زیر ارائه شده‌اند:

۱. مرحله اول (مقادیر محاسبه‌شده بر اساس داده‌ها): مشاهده شد که با مقادیر تعریف‌شده طی سی سال آینده، مقدار TDS به حدود ۲۳۰۰ گرم بر مترمکعب و TH به حدود ۸۰۰ گرم بر مترمکعب کربنات کلسیم خواهد رسید.

۲. مرحله دوم (کاهش حجم موجود و ورودی): دیدید که با تغییر مقادیر، طی سی سال آینده مقدار TDS به حدود ۳۰۰۰ گرم بر مترمکعب و TH به حدود ۱۳۰۰ گرم بر مترمکعب کربنات کلسیم خواهد رسید.

۳. مرحله سوم (کاهش حجم اولیه و ورودی و افزایش جمعیت): مشاهده شد که با تغییر مقادیر، طی سی سال آینده مقدار TDS به حدود ۴۰۰۰ گرم بر مترمکعب و TH به حدود ۱۵۰۰ گرم بر مترمکعب کربنات کلسیم خواهد رسید.

۴. مرحله چهارم (افزایش حجم ورودی [حجم موجود و جمعیت مانند حالت قبل]): ملاحظه گردید که با افزایش میزان بارندگی T افت قابل‌توجهی در غلظت TDS (۷۵۰ گرم بر مترمکعب) و TH (۲۵۰ گرم بر مترمکعب کربنات کلسیم) روی خواهد داد؛ اما با گذشت زمان، این غلظت همراه با رشد جمعیت و افزایش مصرف دوباره افزایش می‌یابد و به ۱۱۵۰ گرم بر مترمکعب و TH به حدود ۴۰۰ گرم بر مترمکعب کربنات کلسیم خواهد رسید.

جدول ۱: پارامترهای برآورد شده به‌وسیله مدل و مقایسه آن با میزان واقعی

پارامتر	نوع غلظت	غلظت در سال‌های پیش‌بینی‌شده (گرم بر مترمکعب)				
		۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۴۱۹ (۳۰ سال بعد)	۱۴۴۹ (۶۰ سال بعد)	۱۴۸۹ (۱۰۰ سال بعد)
TDS	مقدار اندازه‌گیری شده	۷۶۹	۸۲۴	–	–	–
	برآورد مدل	۹۶۳	۱۱۰۶	۲۲۳۳	۲۹۸۴	۴۰۶۴
	اختلاف مدل و واقعیت	۱۹۴	۲۸۲	اختلاف با روش اول:۶۷		
TH	مقدار اندازه‌گیری شده	۲۷۰	۳۰۹	–	–	–
	برآورد مدل	۳۴۷	۳۹۳	۷۶۸	۱۰۲۴	۱۳۹۳
	اختلاف مدل و واقعیت	۷۷	۸۴	اختلاف با روش اول:۳۲		

با توجه به مدل تعریف‌شده، معادلات زیر به دست آمد:

TDS (t +Δt) = TDS (t) + (IN_TDS - OUT_TDS) *

ΔtWELL(t +Δt) = WELL(t) + (IN - OUT) * Δt

تابع غلظت عبارت است از $c = \frac{m}{v}$. این تابع به زمان وابسته است. $c(t) = \frac{m(t)}{v(t)}$ با محاسبه غلظت در زمان‌های گوناگون تابعی برحسب زمان به دست می‌آید.

آهنگ تغییرات غلظت نسبت به زمان :

$$\frac{dc}{dt} = \text{مشتق تابع به دست آمده}$$

غلظت در یک بازه زمانی

$$\int_0^t c(t)dt = \int_0^t (\text{تابع به دست آمده})\,dt$$

واحد این تابع گرم بر مترمکعب در واحد زمان (ثانیه) است.

تابع به‌دست‌آمده بر اساس داده‌ها

$$y = -1204.7\,x + 21023$$

X=5,6,7,

$$y = Ax + B \int_a^b (Ax + B)dx = Ax^2 + Bx$$

T=1,2,30,60,100

$$y = A\frac{x^2}{2}\int_a^b + Bx\int_a^b = \frac{A}{2}[b^2 - a^2] + B[b - a]$$

*TDS در این روابط به‌عنوان یکی از پارامترهای کیفی در نظر گرفته‌شده است و به جای آن می‌توان هر پارامتر دیگری قرار داد.

بحث

با توجه به نمودار ۱ که به تغییرات بارندگی و حداکثر دما در دوره زمانی سی‌ساله اخیر مربوط است، ملاحظه می‌شود میانگین بارندگی سی‌ساله مشهد حدود ۵/۵ میلی‌متر از متوسط بارندگی ایران (۲۵۰ میلی‌متر) کمتر و در بعضی سال‌ها نیز از آن بیشتر و گاهی کمتر بوده است؛ اما نکته قابل‌تأمل این است که در دهه اخیر این تفاوت بیشتر شده؛ یعنی مقدار بارش کمتر شده است. برای نمونه، در سال‌های ۸۹ تا ۹۰ میزان بارش به ۱۲۰ میلی‌متر رسیده که این کاهش بارندگی در شکل ۲ به‌صورت افت سطح آب خود را نشان داده است. می‌بینید که منحنی مربوط به سال‌های ۸۹ تا ۹۰ بالاتر از منحنی دیگر سال‌ها قرار گرفته که به معنی افت بیشتر سطح آب است (شکل ۲ الف).

بیشترین میزان بارش‌ها برحسب فصل، به‌ترتیب به بهار، زمستان، پاییز و تابستان متعلق بود. همچنین، منحنی تغییرات دما نشان می‌دهد که دشت مشهد بیشترین دماها را در دهه اخیر و به‌ویژه سال‌های ۸۹ تا ۹۰ تجربه کرده است. برای اطمینان از بررسی دقیق خشک‌سالی، داده‌های هواشناسی طی دوره سی‌ساله بررسی گردید. نمودارهای ۲ و ۳ نشان می‌دهند که تأثیرات خشک‌سالی بر سطح آب در سال آخر بازه (کمترین بارش)، بیش از نیمی از این چاه‌ها TDS و TH بیشتر از سه سال گذشته خود داشته و در برخی از این موارد، از حد استاندارد مطلوب یا مجاز خود فراتر رفته‌اند. اختلافات برآورد مدل با واقعیت که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، به نظر می‌رسد ناشی از دلایل احتمالی شامل: ۱) تنها ۱۶ حلقه چاه داده‌های کیفیت آب کامل داشتند که درنتیجه، در محاسبات فقط از آنها استفاده شد؛ درحالی‌که برای محاسبات مربوط به حجم آب ورودی به چاه، میزان روان‌آب محاسبه‌شده منطقه بین ۲۵ چاه توزیع گردید؛ ۲) به دلایلی ازجمله بارندگی متغیر، بافت و جنس خاک در هر قسمت از منطقه (درصدهای گوناگون و متفاوت از املاح حل شونده در آب) و همچنین میزان ترقیق و تغلیظی که در هر بازه زمانی در هر چاه اتفاق می‌افتد، سبب متفاوت بودن این تغییرات در بین چاه‌ها می‌شود که این امر، موجب نیافتن روند منطقی و قابل‌محاسبه برای تغییرات پارامترهای کیفی آب گردید؛ ۳) نبود داده‌هایی درباره دیگر منابع کیفی و کمی. برای نمونه، پساب یا فاضلاب کارخانه‌ها به منطقه که می‌تواند در مدل به‌عنوان عامل تأثیرگذار تعریف شود. با توجه به تغییرات بارندگی در بازه زمانی موردبررسی، مشاهده می‌شود که در اوایل دهه ۷۰ میزان بارندگی به میزان ۱۶۴ میلی‌متر از متوسط بارش ایران و تقریباً ۱۶۰ میلی‌متر از متوسط سی‌ساله خود بالاتر بوده است. مطالعه «مرادی» نشان داده که ایستگاه پلور حوضه رود هراز نیز وضعیت مشابه‌ای را پشت

سر گذاشته است (۱۳). افت سطح آب در این مطالعه حدود ۱/۴ متر در هرسال بود که در مقایسه با مطالعه دشت قزوین بسیار زیاد است. این مطالعه توسط «عزیزی» انجام شد. میزان افت برابر ۲۵ سانتی‌متر در هرسال اعلام گردید (۱)؛ اما میزان افت به‌دست‌آمده در مطالعه اخیر، نزدیک به میزان افت دشت نیشابور بوده که توسط دمشناس سالی یک متر اعلام شده است (۷).

در تحقیق دیگری در کشور هند با عنوان تغییرات فصلی آب زیرزمینی انجام شد ، نمونه‌های آب زیرزمینی به‌صورت فصلی قبل و بعد از بادهای موسمی، در طول سه سال از چهل حلقه چاه جمع‌آوری گردید و پارامترهای هدایت الکتریکی، همه جامدات محلول، قلیائیت کل، سختی کل، یون‌های کلسیم، منیزیوم، پتاسیم و سدیم، کربنات و بیکربنات، کلرور، سولفات، نیترات و فلوراید انالیز شدند. نتایج نشان داد که بیشتر نمونه‌ها به‌ویژه نمونه‌های بعد از بادهای موسمی، طبق استانداردهای آب آشامیدنی برای مصرف مناسب نبودند (۱۴)؛ درحالی‌که در مطالعه کنونی، کیفیت آب باوجود تغییرات در بارش و سطح آب در وضعیت قابل شرب قرار داشته است.

هرچند خشک‌سالی‌های اخیر موجب خسارات فراوانی شده، بهتر است با هدف جلوگیری از تکرار این خسارات، شناخت دقیق این نوسانات در طول دوره‌های آماری و پیش‌بینی آنها در برنامه‌ریزی‌های کشوری و استانی موردتوجه قرار گیرد (۱۵). با عنایت به نمودارهای بارش، ناهمگونی‌های زمانی بارش که از ویژگی‌های اقلیمی ایران و مشهد است مشاهده می‌شود؛ به‌شکلی‌که فصل تابستان از حداقل بارش و زمستان از حداکثر بارش برخوردار بوده است. از سوی دیگر، در نتایج پیش‌بینی‌شده به‌وسیله مدل در حالت‌هایی که حجم آب ورودی (بارش) کمتر می‌شود، غلظت یون‌ها به‌طور قابل‌توجهی در سال‌های آینده افزایش می‌یابد و از حد استاندارد فراتر می‌رود.

این امر به‌این‌علت که نوسانات بارندگی عامل مهمی در ایجاد خشک‌سالی‌هاست، لزوم ذخیره‌سازی زمستانه (۱۶) و تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد (۱۷)؛ به‌ویژه درباره آب‌های زیرزمینی که تأثیرات خشک‌سالی با تأخیر زمانی بیشتری روی می‌دهد (۱۸). با توجه به نمودارهای مربوط به بارش، دما و سطح آب، مشخص می‌شود که نوسانات این پارامترها با یکدیگر تطابق دارند؛ بدین معنی که در سال‌هایی که میانگین دما بالا بوده است، بارندگی کمتری روی داده و سطح ایستایی آب نیز افت بیشتری داشته است؛ اما واضح است با وجود این‌که در برخی از سال‌ها که متوسط بارندگی بیشتر از سال قبل خود بوده، نتوانسته است افت سطح آب را جبران کند.

این موضوع می‌تواند به چند دلیل باشد؛ ازجمله این‌که بارش زیاد برای تغذیه سفره‌های زیرزمینی کافی نیست؛ بلکه میزان ورودی به لایه‌های آبخوان است که بر میزان آب موجود در آنها تأثیر می‌گذارد. بدیهی است میزان نفوذ به عوامل گوناگونی همچون جنس زمین و به عبارتی جنس بستر نفوذ، شیب زمین و بافت سطحی منطقه بستگی دارد. لازمه اصلاح و تغییر این پارامترها در جهت نفوذ بیشتر، در گرو اجرای طرح‌های مدیریت منبع آبی و درواقع آبخیزداری است. از سوی دیگر، در صورتی بیلان آب سفره زیرزمینی حفظ می‌شود که میزان ورودی و خروجی به آن برابر باشد؛ اما با توجه به نتایج این تحقیق، واضح است افزون بر این‌که بارندگی‌ها در سال‌های پر بارش نتوانسته است کمبود آن را در خشک‌سالی‌ها جبران کند، میزان مصرف نیز با توجه به جمعیت ثابت و مهاجر و زائران روند صعودی داشته است. دلیل دیگر برای برهم زدن بیلان سفره‌ها این است که در صورت خشک‌سالی‌های شدید و کاهش آبدهی، جریانات سطحی به‌جای تغذیه سفره‌های زیرزمینی به زهکشی تبدیل می‌شوند که از سفره زیرزمینی تغذیه می‌کنند (۱۸).

نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که غلظت برخی از یون‌ها در بازه بررسی‌شده افزایش داشتند، درحالی‌که برخی دیگر کاهش غلظت را نشان دادند، پیشنهاد می‌شود مطالعاتی در این زمینه توسط کارشناسان رشته‌های گوناگون مانند خاک‌شناسی، شیمی خاک، هیدرولوژی

و دیگر رشته‌های مربوط انجام و دلایل این تفاوت‌ها بررسی شود. درباره چاه‌هایی که TDS و TH آنها برابر یا بیشتر از حد استاندارد بوده، لازم است توجه بیشتری به این روستاها شود و با تدابیری چون رقیق‌سازی با آبی باکیفیت بهتر یا تعویض منبع آبی (چاه)، کیفیت آب آشامیدنی مصرف‌کنندگان ارتقا یابد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح پژوهشی مصوب دانشگاه علوم پزشکی مشهد با کد ۹۰۰۹۱۷ است. نویسندگان مراتب قدردانی خود را از گروه مطالعات منابع زیرزمینی آب منطقه‌ای و اداره مشهد آبفار خراسان رضوی اعلام می‌دارند.

Reference

1- Azizi G. Relation of recent drought & ground water resource in Qazvin plain. Geographical Research Quarterly 2003;3(35):131-43. [In Persian]
2- Mishra AK, Singh VP. Drought modeling - A review. Journal of Hydrology. 2011;403(1-2):157-75.
3- Mishra AK, Desai VR. Drought forecasting using feed-forward recursive neural network. Ecological Modelling. 2006;198(1-2):127-38.
4- Mingeau M, Perrier C, Améglio T. Evidence of drought-sensitive periods from flowering to maturity on highbush blueberry. Scientia Horticulturae. 2001;89(1):23-40.
5- Salami H, Shahnooshi N, Thomson KJ. The economic impacts of drought on the economy of Iran: An integration of linear programming and macroeconometric modelling approaches. Ecological Economics. 2009;68(4):1032-9.[In Persian]
6- van der Zee SEATM, Shah SHH, van Uffelen CGR, Raats PAC, dal Ferro N. Soil sodicity as a result of periodical drought. Agricultural Water Management. 2010;97(1):41-9.
7- Lashkaripoor G, Ghafoori M, Damshenas M, Kazemi R. Earth subsidence due to drop of ground water level in Neishaboor plain Iranian conference of engineering ecology & the environment 2007. [In Persian]
8- Kinzelbach W, Bauer P, Siegfried T, Brunner P. Sustainable groundwater management-Problems and scientific tool. Episodes-Newsmagazine of the International Union of Geological Sciences. 2003;26(4):279-84.
9- Mishra AK, Singh VP. A reviewof drought concepts. Journal of Hydrology. 2010;391(1-2):202-16.
10-Ouyang Y, Huang CH, Huang DY, Lin D, Cui L. Simulating uptake and transport of TNT by plants using STELLA. Chemosphere. 2007;69(8):1245-52.
11- Costanza R, Voinov A. Modeling ecological and economic systems with STELLA: Part III. Ecological Modelling. 2001;143(1–2):1-7.
12- Feng YY, Chen SQ, Zhang LX. System dynamics modeling for urban energy consumption and CO2 emissions: A case study of Beijing, China. Ecological Modelling. 2013(252):44-52
13- Moradi HR, Erfanzade R, editors. Survey of droughts & wetness in Haraz River Basin. The first National Conference of strategies to deal with water crisis; 2001; Zabol: Zabol University[InPersian].
14- Subba Rao N. Seasonal variation of groundwater quality in a part of Guntur District, Andhra Pradesh, India. Environmental Geology. 2006;49(3):413-29.
15- Banivaheb A, Alijani B. Survey of drought & forecasting climate variability in Birjand Geographical Research Quarterly 2002;37(1). [In Persian]
16- Querner EP, van Lanen HAJ. Impact assessment of drought mitigation measures in two adjacent Dutch basins using simulation modelling. Journal of Hydrology.2001;252(1-4):51-64.
17- Abianeh HZ, Mahboobi A. Evaluation of drought situation and its process in Hamadan region on the basis of drought statistical indexes. Pajouhesh & Sazandegi. 2003;64:2-7. [In Persian]
18- Hosseinmorad M, AliAkbar S. Effects of recent drought on the loss of groundwater resources of Hamadan Northernplains 204;2(35):115-30. [In Persian]