

# مدل سازی پیش بینی تأثیر تغییرات اقلیمی بر نوسانات سطح سفره های آب زیرزمینی تا سال ۲۰۵۰ با استفاده از GIS (مطالعه موردی دشت ابرکوه یزد)

مرجان شفیعی<sup>۱</sup>، محمد موسایی سنجره ئی<sup>۲</sup> و سید علی المدرسی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS دانشگاه آزاد یزد، Shafieimarjan@yahoo.com

<sup>۲</sup> استادیار و عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد یزد، Mmusaei@yahoo.com

<sup>۳</sup> استادیار و عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد یزد، Almodaresi@yahoo.com

## چکیده

اثرات تغییرات اقلیمی بر بسیاری از سیستم های طبیعی به اثبات رسیده است. مدل های گردش عمومی (GCM) آینده گرمتری برای کره زمین پیش بینی می کنند. وقوع چنین شرایطی می تواند فرآیندهای هیدرولوژیکی را تحت تأثیر قرار داده و بر منابع آب زیرزمینی در سطح یک حوضه آبریز تغییراتی را ایجاد نماید. بر این اساس و به منظور مدیریت بهینه آبخوان، تهیه مدل هایی که بتوانند وضعیت آبخوان را با توجه به تغییر اقلیم پیش بینی کنند، ضروری به نظر می رسد. به منظور بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر نوسانات سطح سفره آب زیرزمینی آبخوان دشت ابرکوه و پیش بینی تراز سطح آب در سال ۲۰۵۰ از داده های سطح آب چاههای مشاهده ای موجود در دوره ۱۳۹۱-۱۳۸۱ استفاده گردیده است. بررسی هیدروگراف واحد دشت در این بازه زمانی بیانگر سیر نزولی تراز سطح آب در این آبخوان است. همچنین این روند نزولی هیدروگراف با کاهش بارندگی، افزایش دما و نیز افزایش برداشت از آب زیرزمینی همراه بوده است. لذا در طول این دوره زمانی با قراردادن تراز سطح آب به عنوان متغیر وابسته و عوامل بارش، دما و برداشت از سفره آب به عنوان متغیرهای مستقل و برقراری مدل سری زمانی، تشخیص داده شد که مدل ARIMA(010) برای ۱۲ حلقه از چاههای مشاهده ای منطقه با مقدار  $R-Squared (0.9)$ ،  $RMSE (0.08)$  و  $Stationary R-Squared (0.71)$  مناسب می باشد. نتایج در پیش بینی تراز سطح آب زیرزمینی برای سال ۲۰۵۰ با فرض ثابت ماندن مقدار برداشت، بیانگر افت سطح آب زیرزمینی منطقه با مدل های اقلیمی مختلف شامل  $MPI-ESM-LR$ ،  $CCSM4$  و  $RCP2.6$  و  $RCP8.5$  است. لذا با توجه به محدودیت منابع و افت سطح آب در سالهای آتی، تصمیم گیری برای مدیریت آب زیرزمینی در محدوده دشت ابرکوه الزامی است

**کلمات کلیدی:** سری زمانی، پیش بینی، آب زیرزمینی، آبخوان ابرکوه، مدل اقلیمی.

## مقدمه:

تغییر اقلیم یک پدیده پیچیده اتمسفری - اقیانوسی در مقیاس جهانی و درازمدت محسوب می شود. این پدیده متأثر از عواملی چون فعالیتهای خورشیدی، آتشفشانها، اقیانوسها و درصد گازهای گلخانه ای در اتمسفر است که دارای اثرات متقابلی می باشند و منجر به دگرگونی در وضعیت آب و هوا، تغییر در توزیع مکانی و زمانی بارش و نوع آن، جریانهای سطحی، تبخیر، تغذیه سفره های آب زیر زمینی و کیفیت آب شده و بطور کلی روند جدیدی را در اقلیم جهانی موجب می شوند. مدل های گردش عمومی اتمسفر ( $GCM^1$ ) آینده گرمتری را برای کره زمین پیش بینی می کنند. وقوع چنین شرایطی می تواند فرآیندهای هیدرولوژیکی را تحت تأثیر قرار داده و از این طریق در چرخه هیدرولوژیکی و منابع آب و نیز نحوه دسترسی به آب در سطح یک حوضه آبریز تغییراتی را ایجاد نماید. در طی دهه های اخیر به دلیل افزایش تقاضای

1. Global Circulation Model

آب و کاهش سرانه منابع آب تجدید شونده، نگرانی های زیادی ایجاد شده و چگونگی استفاده از این منابع به شکل مطلوب و کارآمد برای تضمین توسعه پایدار، یکی از مهمترین موضوعات مطرح در محافل بین المللی است. منابع آب زیرزمینی همواره یکی از مهمترین و مطمئن ترین منابع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شود که مدیریت و بهره برداری بهینه این منابع بدون شناخت آنها امکان پذیر نمی باشد. سطح آب زیرزمینی در ایران در اغلب دشتهای کشت آبی در حدود ۰.۵ تا ۱ متر در سال افت دارد (Shiati, 1999). این وضعیت در بسیاری از دشتهای دنیا مانند ایگنوگانگاتیک در هند، دشتهای شمالی چین و جنوب غربی آمریکا نیز همین گونه است (Smedema and Shiati, 2002). لذا شناخت و بهره برداری اصولی از منابع آب زیرزمینی بویژه در مناطق خشک می تواند در توسعه پایدار فعالیتهای اجتماعی و اقتصادی آن منطقه نقش بسزایی داشته باشد. بدین منظور و برای آگاهی از وضعیت منابع آب زیرزمینی و مدیریت بهینه آن لازم است که نوسانات سطح آب زیرزمینی مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. با بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی می توان از آن در برنامه ریزی تأمین آب و نیز در مدیریت منابع آب استفاده نمود (ایزدی و همکاران، ۱۳۸۷). از منابع مهم تغذیه زیرزمینی، آب رودها هستند که با کاهش حجم آب و بارندگی یا خشک شدن آب رودها بر اثر خشکسالی، این منبع تغذیه آب های زیرزمینی منطقه نیز کاهش می یابد یا به کلی قطع می شود (کردوانی، ۱۳۸۰). بدین منظور، یافتن اثرات بارندگی و بررسی تغییرات آن بر سطح آب زیرزمینی ضروری است (Khan et al., 2008). کنترل سطح ایستابی با استفاده از چاههای مشاهده ای، منبع اصلی اطلاعات جهت بررسی تنشهای هیدرولوژیکی محسوب می شود. با استفاده از داده های ماهیانه این چاهها می توان نوسانات سطح آب را بررسی نمود و این بررسی ها به منظور درک رفتار منابع آب زیرزمینی در دراز مدت و اخذ هر گونه تصمیم مدیریتی لازم می باشد (Reghunath et al., 2005).

مدلهای مختلفی برای بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی و پیش بینی سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف جهان گسترش یافته است. به دلیل غیر خطی بودن فرایندهای هیدرولوژیکی، اغلب هیدرولوژیست ها در سالهای اخیر تلاش کرده اند تا از مدل های آماری و روشهای مدرن نظیر مدل سری زمانی و شبکه عصبی استفاده کنند (Daliakopoulos et. all, 2005 and Wong et. All, 2007).

همچنین مدل های اقلیمی مختلفی از جمله MRI-CGCM3، MPI-ESM-LR و CCSM4 وجود دارد که نقشه های پیش بینی مربوط به سالهای آتی به کمک آنها تهیه شده است. نقشه های پیش بینی بارش و دما در مدل MRI-CGCM3 با کد MG، در مدل MPI-ESM-LR با کد MP و در مدل CCSM4 با کد CC به صورت سالیانه و ماهیانه موجود است. این مدلها از سری مدل های موجود در CMIP5<sup>۱</sup> با چهار سناریو RCP<sup>۲</sup> که هر سناریو RCP نشان دهنده مقدار تجمع گازهای گلخانه ای می باشد. این چهار سناریو شامل RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 است (Alder, 2013).

لذا با در اختیار داشتن پارامترهای اقلیمی نظیر بارش، درجه حرارت و نیز میزان برداشت به عنوان متغیرهای مستقل و سطح آب زیرزمینی به عنوان متغیر وابسته می توان علاوه بر اینکه مقدار تأثیر هر متغیر مستقل را بدست آورد، مدلی مناسب جهت پیش بینی سطح آب زیرزمینی تهیه نمود. در مدل کردن می توان از مدل های رگرسیون خطی ساده، رگرسیون خطی مرکب، رگرسیون لجستیک و رگرسیون سری زمانی استفاده نمود.

تحلیل رگرسیونی، روشی آماری جهت بررسی رابطه بین متغیرها و به طور کلی پژوهشهای علی است. در این روش رابطه بین متغیر یا متغیرهای مستقل با متغیر وابسته نشان داده می شود (Chatterjee and Hadi, 2006). ساده ترین مدل رگرسیون، مدل رگرسیون خطی است که تنها شامل یک متغیر مستقل و یک متغیر وابسته با رابطه خطی می باشد. دیگر مدل های رگرسیون، حالت توسعه یافته مدل رگرسیون خطی ساده می باشد (Kedem and Fokianos, 2004). جهت استفاده از رگرسیون خطی باید میانگین (امید ریاضی) خطاها صفر و واریانس خطاها ثابت باشد. بدین معنی که توزیع

<sup>۱</sup> . Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5

<sup>۲</sup> . Representative Concentration Pathways

خطاها باید نرمال باشد. بدین منظور باید نمودار توزیع خطاها و نمودار نرمال آنها رسم شود و سپس مقایسه ای بین دو نمودار صورت گیرد. همچنین بین خطاهای مدل، همبستگی وجود نداشته باشد. در حالت رگرسیون سری زمانی، متغیری مستقل وجود دارد که معرف زمان است. این متغیر زمان می تواند به همراه سایر متغیرهای مستقل در معادله رگرسیون قرار گیرد. داده ها در سری زمانی مجموعه مشاهدات متوالی می باشد که به صورت منظم با فواصل زمانی یکسان مرتب شده است (Brockwell, ۲۰۰۲). زمان در سری زمانی بسته به نوع متغیر مورد بررسی و هدف می تواند روز، هفته، ماه و یا سال باشد. اگر داده ها از یکدیگر مستقل و تصادفی باشند و مقادیر گذشته تأثیری بر مقادیر حال و آینده نداشته باشد، پیش بینی با استفاده از سری زمانی امکان پذیر نمی باشد. اما اگر داده ها به یکدیگر وابسته بوده و غیرتصادفی باشند، می توان از سری زمانی استفاده نمود. در سری های زمانی معمولاً از خود متغیر برای پیش بینی مقادیر آینده استفاده می کنند اما می توان از چندین متغیر کمکی نیز بهره گرفت. این روش نسبت به روش تک متغیره از کارایی و دقت بیشتری برخوردار است ولی به اطلاعات بیشتری نیازمند است. هدف اصلی در برپا کردن یک سری زمانی معمولاً پیش بینی مقادیر آینده می باشد. نخستین گام در سری های زمانی، رسم نمودار داده ها است. با استفاده از رسم نمودار می توان اطلاعات کلی از جمله روند صعودی یا نزولی، وجود الگوی فصلی، روند دوره ای و وجود داده های پرت در داده ها را تشخیص داد. پس از رسم نمودار برای این که پیش بینی مناسبی وجود داشته باشد، باید داده ها را ایستا کرد. می توان داده ها را با استفاده از تفاضل گیری یا تجزیه به مؤلفه های تشکیل دهنده آن، ایستا نمود. پس از ایستا کردن داده ها می توان با استفاده از نگاره<sup>۱</sup>، مرتبه میانگین متحرک و مرتبه اتورگرسیون مدل را شناسایی نمود. نمودار نگاره از دو نمودار تابع خودهمبستگی<sup>۲</sup> ACF و تابع خودهمبستگی جزئی<sup>۳</sup> PACF تشکیل شده است. از تابع خودهمبستگی برای نشان دادن مرتبه اتورگرسیون (یعنی داده باقیمانده، تحت تأثیر چند داده قبل قرار می گیرد) و از تابع خودهمبستگی جزئی برای نشان دادن مرتبه میانگین متحرک (یعنی مجموع چند داده باقیمانده را می توان صفر در نظر گرفت) استفاده می شود (Anderson, 2011). در صورت معنی دار بودن و عدم وابستگی در باقی مانده ها<sup>۴</sup> می توان پیش بینی مناسبی با کمک داده های گذشته انجام داد، همچنین مقادیر پیش بینی شده را می توان با استفاده از R-Squared، RMSE<sup>۵</sup> و Stationary R-Squared<sup>۶</sup> ارزیابی نمود (حسن زاده، ۱۳۹۴).

از نمونه تحقیقاتی که می توان در زمینه مدلسازی تأثیر تغییر اقلیم به کمک روشهای رگرسیون چند متغیره و رگرسیون سری زمانی انجام گرفته می توان به موارد زیر اشاره نمود.

رحمانی و سدهی (۱۳۸۳)، تحقیقی در پیش بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت همدان – بهار انجام داده اند. در این پژوهش به منظور ارائه مدل آماری و پیش بینی وضعیت سطح آب زیرزمینی از مدل های سری زمانی استفاده شده است. برای مدلسازی از اطلاعات سطح آب زیرزمینی در طی سالهای ۱۳۶۲ تا ۱۳۸۱ استفاده گردیده و سپس با استفاده از مدل  $ARIMA(1,1,0)$  از داده های ارائه شده برای پیش بینی سطح آب زیرزمینی در ۲۰ سال آینده استفاده شده است. نتایج حاصل نشان می دهد که در صورت ثابت ماندن الگوی مصرف و عدم تغییرات در روند تغذیه سفره در طی بیست سال آینده، سطح آب با کاهش حدود ۱۷/۵ متری نسبت به وضعیت فعلی مواجه خواهد بود. Panda و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی اثرات خشکسالی بر روی تراز آب زیرزمینی در اریسا پرداختند. آنها در این بررسی، دوره زمانی ۲۰۰۳-۱۹۹۴ را مورد آنالیز قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افت آب زیرزمینی در طول سال های خشک، ناشی از کمبود بارش، درجه حرارت بالا و رشد و تکامل زندگی بشری بوده که این کمبود آب زیرزمینی در سالهای مرطوب قابل جبران نمی باشد. فرزین و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه نقش خشکسالی های اخیر در افت سطح ایستابی آبهای زیرزمینی

<sup>۱</sup>. Correlogram

<sup>۲</sup>. Autocorrelation Function

<sup>۳</sup>. Partial Autocorrelation Function

<sup>۴</sup>. Residuals

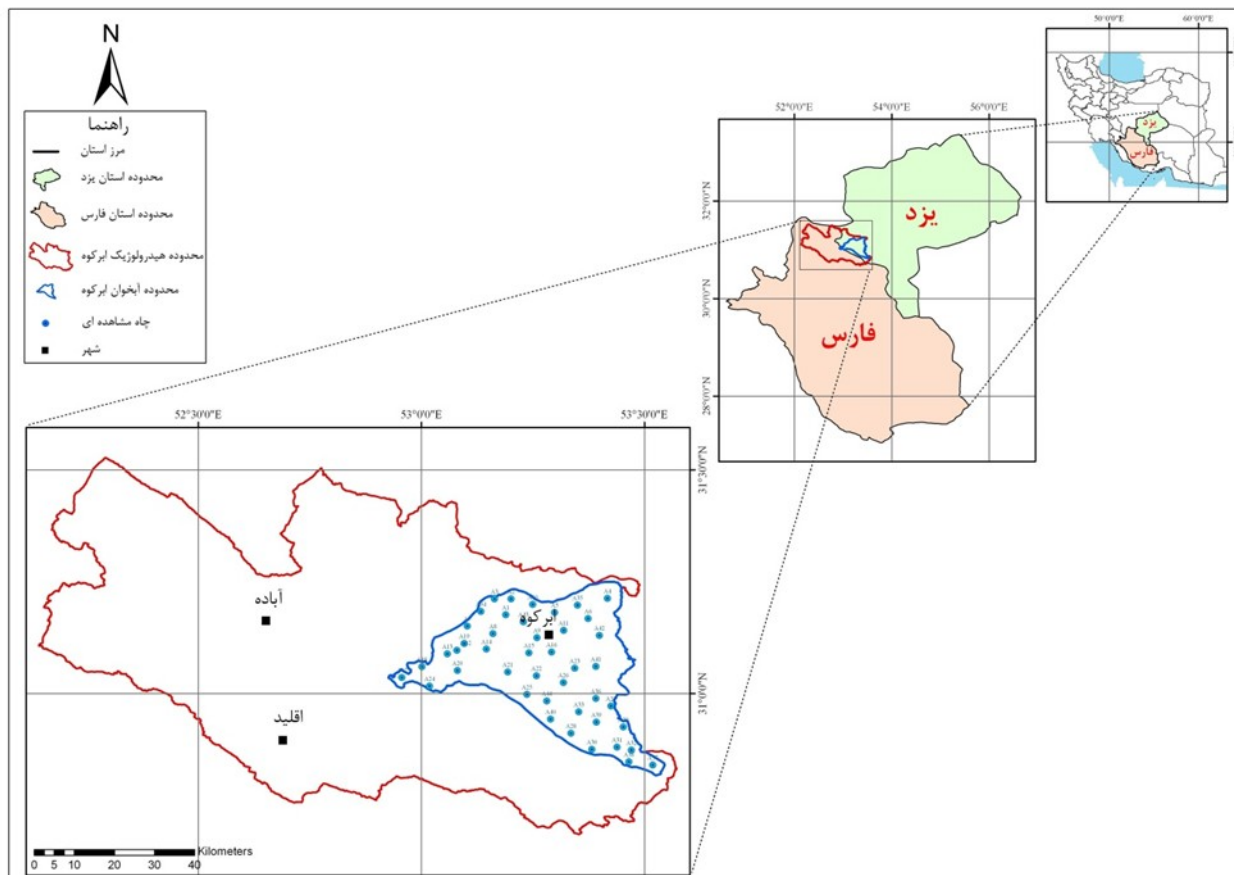
<sup>۵</sup>. Root Mean Squared Error

<sup>۶</sup>. Autoregressive Integrated Moving Average

شهرستان زرین دشت استان فارس، به بررسی ارتباط بین میزان بارندگی با سطح ایستابی آبهای زیرزمینی در دشت خسویه زرین دشت پرداخته شده است. نتایج حاصل از ارزیابی رابطه بین دو متغیر میزان بارندگی و سطح ایستابی نشان می دهد که با یک روند متناوب در میزان بارندگی با یک کاهش شدید در سطح ایستابی همراه است. این نتایج آشکارکننده وجود یک خشکسالی اقلیمی در منطقه مورد مطالعه است. در این بررسی بهترین مدل جهت برآورد تابع هدف، الگوی سری زمانی میانگین متحرک انباشته خودهمبسته (ARIMA) می باشد. نتایج تحقیق نشان داده است که بهترین مدل جهت پیش بینی مقادیر آینده سطح ایستابی آب چاههای منطقه، مدل  $ARIMA(4,1,4)$  است. یانگ و همکاران (۲۰۰۹) در یک بررسی در استان جیلین غربی در چین، دو روش مدل سری زمانی و مدل شبکه عصبی برای پیش بینی سطح ایستابی مورد بررسی قرار داده اند که هر دو مدل نتایج خوبی ارائه داده اند که از این دو، مدل شبکه عصبی نسبت به سری زمانی در این منطقه، جهت پیش بینی سطح آب زیرزمینی از دقت بالاتری برخوردار بوده است. مرادی (۱۳۸۹) در شبیه سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره دشت ساری - نکا از روش رگرسیون چند متغیره استفاده نموده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می دهد که با استفاده از داده های مورد نیاز، شامل دبی رودخانه و بارندگی و تبخیر و دما، مراحل مدلسازی با موفقیت انجام شده و مدل به خوبی توانسته است سطح آب زیرزمینی را در چاههای مورد مطالعه شبیه سازی نماید. همچنین در این تحقیق، بارندگی و دبی رودخانه تأثیرگذارترین عامل در نوسانات سطح آب زیرزمینی بوده اند. Mutasa (2011) در مدلسازی تأثیر تغییرات آب و هوا بر منابع آب زیرزمینی در حوضه ساردن اسپانیا، تأثیر متغیرهای بارش، حداکثر و حداقل دما را بر منابع آب زیرزمینی بیش از بقیه پارامترها می داند. پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۱) در مقایسه کارایی روش های شبکه عصبی و سری های زمانی در پیش بینی سطح آب زیرزمینی زیر حوضه بختگان استان فارس، از داده های سطح ایستابی ۳۵ حلقه چاه موجود در یکی از زیر حوضه های بختگان به صورت ماهیانه استفاده شده است. سطح ایستابی چاهها توسط هر یک از تکنیک های شبکه عصبی و سری زمانی آریما به طور جداگانه شبیه سازی شده و در انتها از آماره های میانگین خطای استاندارد، میانگین خطای مطلق و ضریب همبستگی برای تعیین دقت پیش بینی هر کدام از روش ها استفاده گردید. نتایج این پژوهش، کارایی و دقت بالای هر دو تکنیک شبکه عصبی و سری زمانی را در پیش بینی سطح ایستابی چاههای منطقه را نشان می دهد. خاشعی و همکاران (۱۳۹۲) در مقایسه مدل های شبکه عصبی مصنوعی، سیستم های استنتاج فازی عصبی و رگرسیونی در برآورد سطح ایستابی آبخوان دشت نیشابور، پارامترهای موثر بر تغییرات سطح ایستابی مانند بارندگی و تخلیه بصورت ماهانه تعیین شده است. نتایج روشهای مذکور نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی بهترین دقت و مدل رگرسیونی کمترین دقت را داشته است. همانطور که در نتایج این تحقیقات دیده می شود تقریباً در اکثر آنها، عامل بارش به عنوان مهمترین پارامتر در مدلها لحاظ شده است.

## روش پژوهش:

حوضه هیدرولوژیک ابرکوه با توجه به تقسیمات حوضه های آبریز کشوری، جزئی از حوضه آبریز کویر ابرکوه-سیرجان محسوب می شود. این حوضه آبریز با مساحت ۷۳۴۷ کیلومتر مربع از نظر مختصات جغرافیایی در موقعیت ۰۸° ۵۲ تا ۳۴° ۵۳ طول شرقی و ۳۹° ۳۰ تا ۳۲° ۳۱ عرض شمالی واقع شده است. بخش هایی از این حوضه در جنوب غرب استان یزد و قسمت هایی از آن در شمال استان فارس واقع شده است. نقشه (۱) موقعیت حوضه هیدرولوژیک و آبخوان ابرکوه را نشان می دهد. این آبخوان با مساحت ۱۲۵۱ کیلومترمربع در قسمت شرق حوضه هیدرولوژیک واقع شده است.



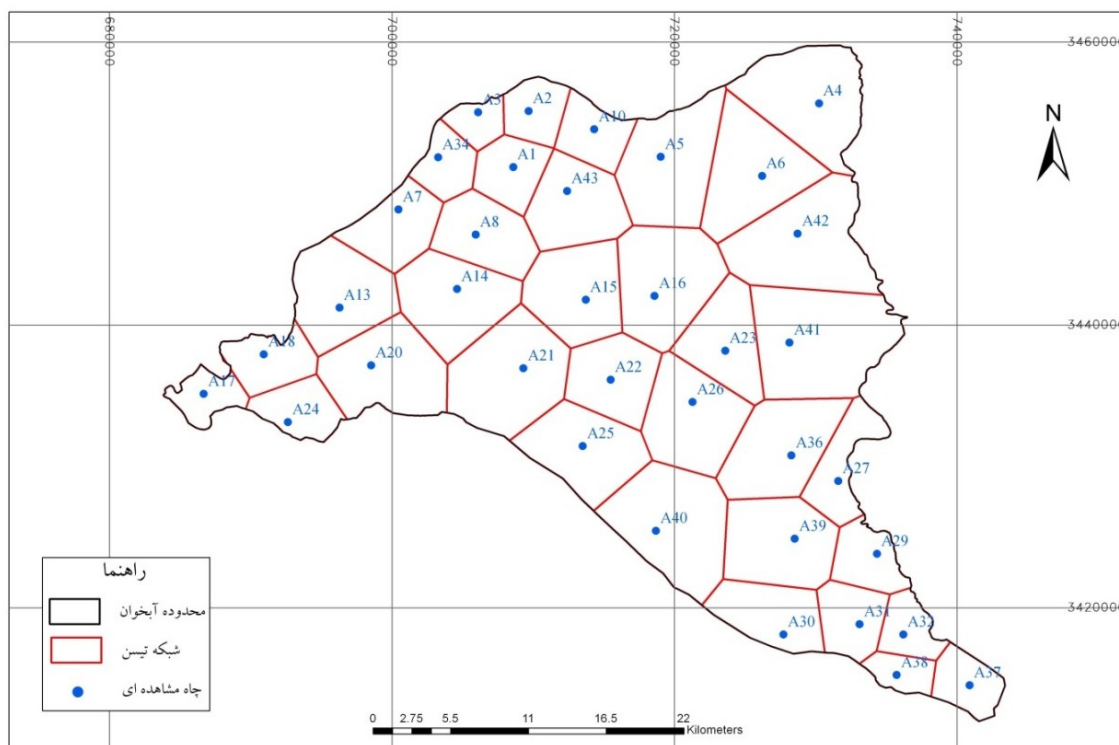
نقشه (۱): موقعیت محدوده هیدرولوژیک و آبخوان ابرکوه

به طور کلی جهت بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر تراز سطح آب زیرزمینی دشت ابرکوه، اطلاعات هواشناسی ایستگاههای موجود در اطراف محدوده مورد مطالعه از قبیل بارش، دما به صورت ماهیانه و نیز اطلاعات چاههای مشاهده ای موجود در منطقه شامل تراز سطح آب به صورت ماهیانه و اطلاعات برداشت ماهیانه از چاههای بهره برداری موجود در منطقه جمع آوری شده است. مرحله بعد پارامترهای اقلیمی بارش و دما به کمک<sup>۱</sup> GIS از نقشه های پیش بینی اقلیمی استخراج گردیده است. با توجه به در اختیار داشتن تراز سطح آب در محل پیزومترهای واقع در محدوده (به عنوان متغیر وابسته) و با بدست آوردن پارامترهای اقلیمی در این نقاط به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و نیز با در نظر گرفتن مقدار برداشت ماهیانه (به عنوان متغیرهای مستقل)، می توان میزان تاثیر هر پارامتر اقلیمی بر سطح آب را بدست آورد و

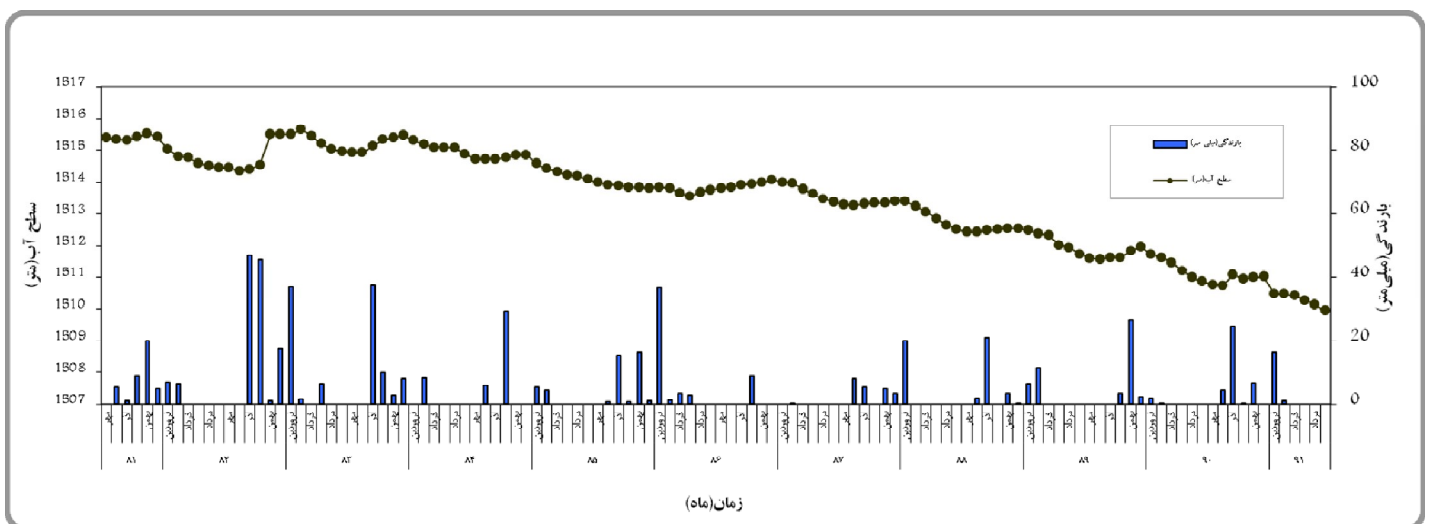
<sup>۱</sup> Geographic Information System

مدلسازی نمود. در مرحله پایانی، پارامترهای اقلیمی پیش بینی آینده در مدل استخراج شده قرار گرفته و نقشه پیش بینی سطح آب زیرزمینی تهیه می گردد.

لذا جهت رسیدن به اهداف فوق، ابتدا بایستی متغیرهای مستقل شامل بارش، دما، برداشت و متغیر وابسته که همان تراز سطح آب زیرزمینی می باشد، در بازه زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۱ مورد بررسی قرار گیرد و میزان ارتباط آنها مشخص گردد. به منظور بررسی تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در دوره مهر ۸۱ تا شهریور ۹۱، هیدروگراف واحد دشت ترسیم شده و از آمار ۳۶ حلقه چاه مشاهده‌ای موجود استفاده و شبکه تیسین آنها ترسیم گردیده است. در نقشه (۲) موقعیت چاههای مشاهده ای و شبکه تیسین آنها ارائه شده است. همچنین نمودار (۱) هیدروگراف واحد دشت ابرکوه را نشان می دهد.



نقشه (۲): شبکه‌بندی تیسین در بازه زمانی مهر ۸۱ تا شهریور ۹۱ محدوده آبخوان ابرکوه



نمودار (۱): هیدروگراف واحد دشت ابرکوه در بازه زمانی مهر ۸۱ تا شهریور ۹۱ دشت ابرکوه و مقایسه با بارندگی ماهانه

همانطور که در نمودار (۱) مشخص است پاسخ آبخوان به فصول بارندگی (تغذیه) در تمام دوره سریع می باشد و بلافاصله بعد از هر بارندگی میزان سطح آب زیرزمینی افزایش می یابد و در ادامه با برداشت از منابع آب زیرزمینی میزان سطح آب روند نزولی را طی می کند. با توجه به نمودار، در طول دوره ۱۰ ساله، میزان متوسط افت سالانه سطح آب زیرزمینی، ۰/۴۸ متر می باشد و افت در طول دوره ۵/۴۶ متر می باشد. همچنین ماکزیمم، متوسط و مینیمم ارتفاع سطح آب به ترتیب در اردیبهشت ۸۳ (۱۵۱۵/۶۵ متر)، بهمن ۸۵ (۱۵۱۳/۸۲ متر) و شهریور ۹۱ (۱۵۰۹/۹۵ متر) اتفاق افتاده است. همچنین هیدروگراف واحد دشت در این بازه زمانی را می توان به دو دوره تقسیم کرد، قبل از بارندگی های بهمن و اسفند ماه سال ۸۳-۸۲ و بعد از آن. بارندگی بهمن و اسفند ماه سال ۸۳-۸۲ باعث افزایش تراز سطح آب زیرزمینی (تقریباً یک متر) می گردد و بعد از آن دوباره هیدروگراف سیر نزولی خود را ادامه داده است که در نهایت در شهریور ۹۱، تراز سطح آب به کمترین میزان خود می رسد .

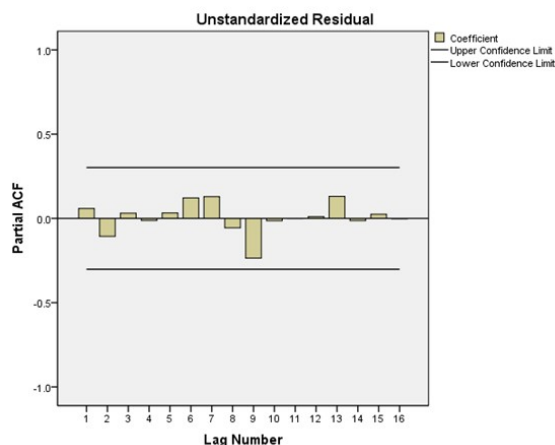
از عوامل تأثیرگذار بر سیر نزولی هیدروگراف، می توان کاهش بارندگی و تخلیه بی رویه آبخوان توسط چاه های بهره برداری را نام برد. به منظور بررسی علل افت هیدروگراف، آمار بارندگی ایستگاه سینوپتیک ابرکوه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. آمار بارندگی ماهانه این ایستگاه نشان می دهد که از سال ۸۳-۸۲ تاکنون میزان بارش سالانه کاهش یافته است. بارندگی سالانه در منطقه معمولاً از آبان ماه آغاز و تا اواخر اردیبهشت ماه ادامه دارد.

بررسی میزان ارتباط بین دمای متوسط سالیانه با تراز متوسط سطح آب زیر زمینی نشان می دهد که با افزایش دما، تراز سطح آب کاهش می یابد و بین این دو پارامتر نیز رابطه وجود دارد.

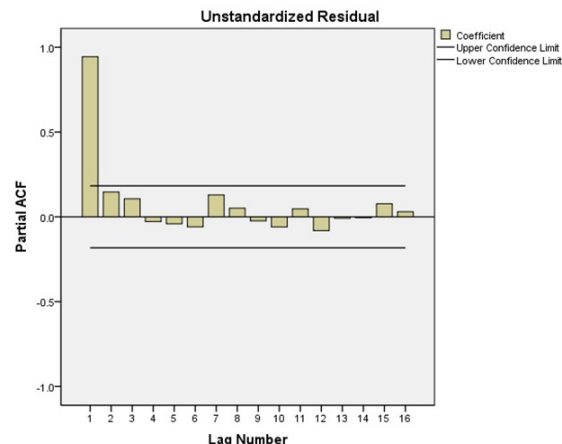
به منظور آگاهی از میزان برداشت آب های زیرزمینی دشت ابرکوه، از اطلاعات دو دوره موجود آماربرداری سراسری که در سالهای ۱۳۸۱ و ۱۳۸۸ در منطقه انجام گرفته، استفاده شده است. میزان مجموع تخلیه سالیانه از تعداد ۶۲۷ حلقه چاه در دشت ابرکوه طی ماههای مختلف سال ۱۳۸۳ در حدود ۱۴۱ میلیون مترمکعب بوده که این میزان در سال ۱۳۸۸، از تعداد ۷۱۸ حلقه چاه، به رقمی در حدود ۱۵۷ میلیون مترمکعب در سال رسیده است. بررسی تعداد چاههای بهره برداری از سال ۸۱ تا سال ۸۸ نشان می دهد که تعداد چاهها افزایش یافته و کاهش سطح آب زیرزمینی با افزایش تعداد چاههای بهره برداری همراه بوده است. از فروردین یا اردیبهشت تا شهریور ماه به دلیل کاهش نزولات جوی و افزایش برداشت از آب زیرزمینی، هیدروگراف واحد سیر نزولی پیدا می کند.

با بررسی های صورت گرفته و با توجه به تأثیری که پارامترهای اقلیمی نظیر بارش و دما در نوسانات سطح آب زیرزمینی در بازه مورد بررسی (۱۳۸۱ تا ۱۳۹۱) داشته اند، مقادیر این پارامترها در مدل بایستی لحاظ شود. البته تأثیر برداشت از سفره های آب زیرزمینی نیز نباید نادیده گرفته شود. در صورت مناسب بودن رگرسیون خطی بین پارامترها، تابع PACF به شکل نشان داده شده در نمودار (۱-الف) در می آید.

جهت بررسی امکان استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه ، تراز سطح آب زیرزمینی به صورت ماهیانه در بازه دهساله و به مدت صد و بیست ماه به عنوان متغیر وابسته و مقادیر بارش، دما و برداشت هر چاه به صورت ماهیانه و به عنوان متغیرهای مستقل به نرم افزار SPSS معرفی شد. با برقرار کردن رگرسیون خطی بین پارامترهای مستقل و وابسته و بدست آوردن مقادیر باقیمانده ها، همچنین بررسی تابع PACF مشخص شد که همبستگی بین تراز سطح آب زیرزمینی در سالهای مختلف وجود دارد، به عبارتی سطح چاه در سال ۸۲ وابسته به سطح آب در سال ۸۱ بوده است. از آنجایی که یکی از مفروضات استفاده از رگرسیون خطی، عدم همبستگی در باقیمانده هاست و این شرط در داده های آب زیرزمینی وجود ندارد، لذا نمی توان با رگرسیون خطی، مدل سازی نمود. نمودار (۲-الف)، تابع PACF برای داده های آب زیرزمینی منطقه را ارائه می دهد. تراز سطح آب زیرزمینی در چاههای مشاهده ای نوعی از داده های سری زمانی را نشان می دهد که بایستی نوع مدل آن با انجام مراحل مدل سازی سری زمانی، مشخص گردد.



نمودار (۲-الف)

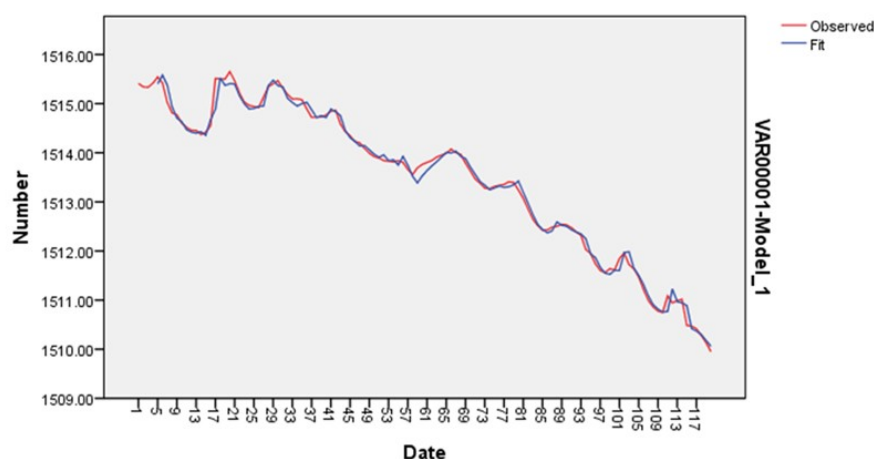


نمودار (۲-ب)

نمودار (۲-الف): نمودار تابع همبستگی جزئی باقیمانده ها در صورت مناسب بودن رگرسیون خطی  
نمودار (۲-ب): نمودار تابع همبستگی جزئی باقیمانده ها در برقراری رگرسیون خطی بین متغیرهای منطقه

با توجه به اینکه تشخیص داده شد که داده ها از نوع سری زمانی می باشند، لذا بین پارامترها، مدل سری زمانی برقرار گردید و پس از طی مراحل تشخیص مدل مناسب، مدل  $ARIMA(010)$  برای ۱۲ عدد از چاههای مشاهده ای منطقه، مناسب شناخته شد. چاههای مذکور شامل  $A1$ ،  $A2$ ،  $A3$ ،  $A4$ ،  $A5$ ،  $A8$ ،  $A13$ ،  $A15$ ،  $A23$ ،  $A36$ ،  $A37$  و  $A40$  است.

مدل ۰۱۰ بدست آمده بیانگر همان نتیجه تابع  $PACF$  است که داده های آب زیرزمینی هر ماه به ماه قبل بستگی دارد. تشخیص مدل ۰۱۰ بر اساس میزان خطای پایین مدل ( $RMSE$ ) که مقدار آن ۰.۰۸ و نیز عدد مناسب  $Stationary R-Squared$  صورت گرفته است (۰.۷۲). مقدار  $R-Squared$  مدل نیز ۰.۹۰ می باشد. نمودار (۳) مقدار مشاهداتی سطح آب و مقدار برآوردی سطح آب در مدل را نشان می دهد. همانطور که در نمودار هم دیده می شود در اکثر قسمتهای آن، دو مقدار مشاهداتی و برآوردی مدل، مشابه و بر روی هم قرار گرفته و بر هم منطبق اند.

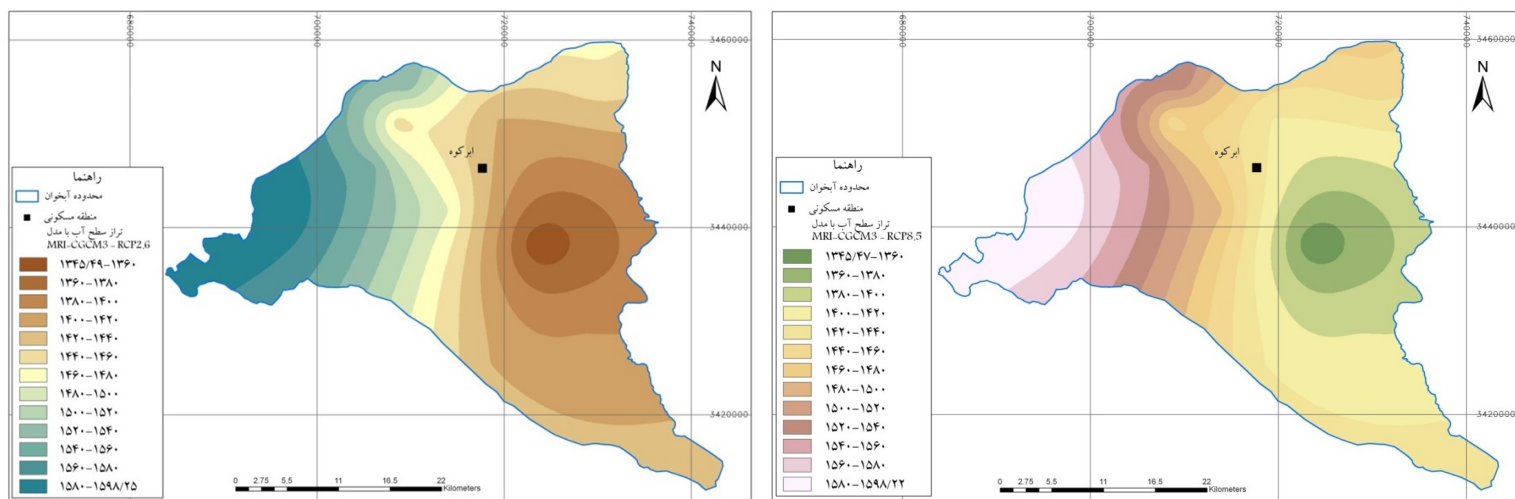


نمودار (۳): مقدار مشاهداتی سطح آب و مقدار برآوردی سطح آب در مدل

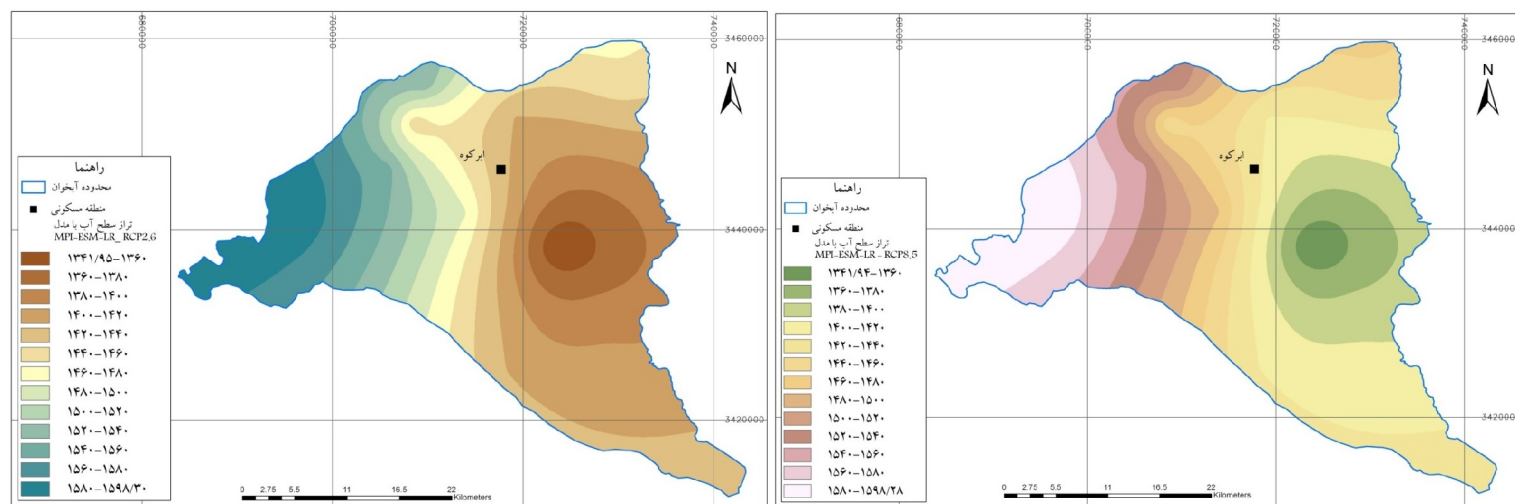


با در اختیار داشتن مدل ۰۱۰ و قرار دادن مقادیر پیش بینی شده دما و بارش برای سال ۲۰۵۰ (تهیه شده از نقشه های پیش بینی مدل های اقلیمی MRI-CGCM3، MPI-ESM-LR و CCSM4 تحت RCP2.6 و RCP8.5) سطح آب زیرزمینی در آینده پیش بینی شد. با توجه به اینکه پیش بینی میزان برداشت در آینده وجود ندارد، ناگزیر بایستی این عامل را ثابت فرض نمود و با در نظر گرفتن همین میزان برداشت موجود، سطح آب را پیش بینی کرد. در سری های زمانی هنگام پیش بینی باید در نظر داشت که هر اندازه تعداد وقفه های پیش بینی بیشتر شود، احتمال خطا افزایش می یابد. لذا جهت جلوگیری از بروز این حالت، از مقادیر پیش بینی مدلها در بازه میانی (از سال ۲۰۱۲ تا رسیدن به سال ۲۰۵۰) استفاده شده است.

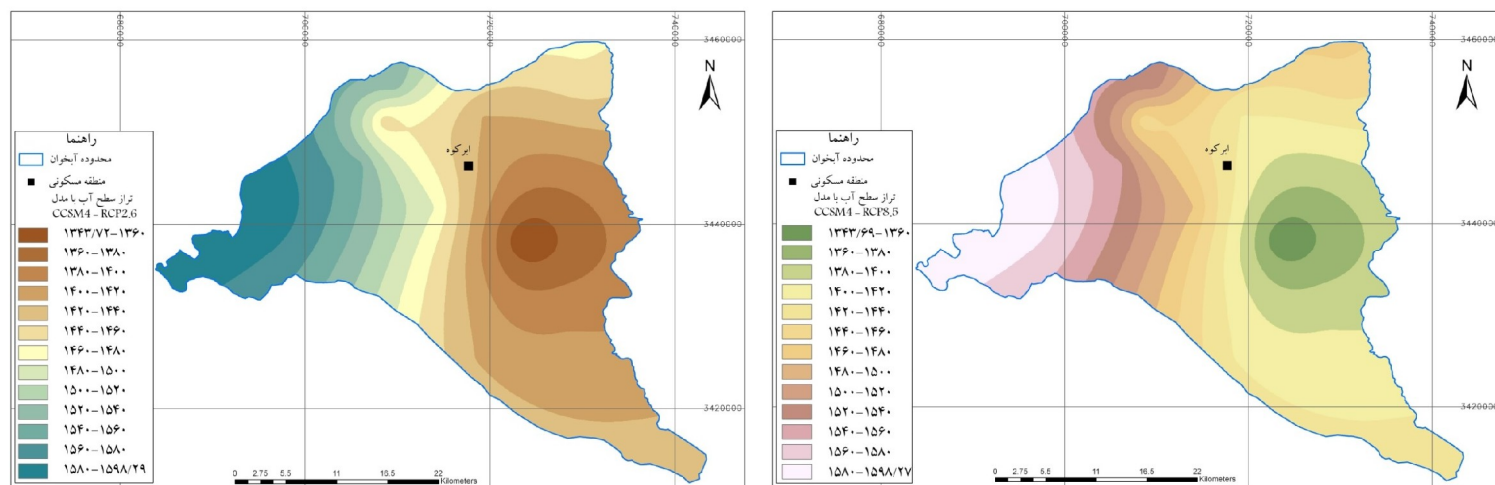
پس از استخراج مقادیر پیش بینی سطح آب در هر مدل و برای هر چاه، از روش درونیابی Kriging جهت تهیه نقشه پهنه بندی هم تراز سطح آب زیرزمینی سال ۲۰۵۰، استفاده شده است. نقشه های (۳) تا (۵)، پیش بینی تراز سطح آب زیرزمینی سال ۲۰۵۰ را برای سه مدل اقلیمی تحت دو سناریو RCP ارائه می دهند.



نقشه (۳): پیش بینی تراز سطح آب زیرزمینی سال ۲۰۵۰ ( با مدل اقلیمی MRI-CGCM3 تحت سناریو RCP2.6 و RCP8.5)



نقشه (۴): پیش بینی تراز سطح آب زیرزمینی سال ۲۰۵۰ ( با مدل اقلیمی MPI-ESM-LR تحت سناریو RCP2.6 و RCP8.5)



نقشه (۵): پیش بینی تراز سطح آب زیرزمینی سال ۲۰۵۰ (با مدل اقلیمی CCSM4 تحت سناریو RCP2.6 و RCP8.5)

## نتایج و بحث

در این تحقیق، جهت بررسی تأثیر پارامترهای اقلیمی بارش، دما و تبخیر- تعرق و نیز پارامتر برداشت آب بر تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت ابرکوه، از آمار و اطلاعات سطح آب ۳۶ حلقه چاه پیژومتری واقع در دشت در بازه زمانی دهساله (مهرماه سال ۱۳۸۱ تا شهریورماه ۱۳۹۱) استفاده گردید. با توجه به مطالعات و بررسی های صورت گرفته و شکل تابع خودهمبستگی جزئی بین باقیمانده ها در برقراری رگرسیون خطی چند متغیره مشخص گردید که نمی توان از این روش در مدلسازی استفاده نمود. با قراردادن سطح آب به عنوان متغیر وابسته و عوامل بارش، دما و برداشت از سفره آب زیرزمینی به عنوان متغیرهای مستقل و برقراری مدل سری زمانی، تشخیص داده شد که مدل  $ARIMA(0,1,0)$  برای ۱۲ حلقه از چاههای مشاهده ای با مقادیر  $R\text{-Squared}$  0.9 و  $Stationary R\text{-Squared}$  0.71 و  $RMSE$  0.08 مناسب می باشد. در ادامه با استخراج پارامترهای بارش و دما از نقشه های پیش بینی با مدل های اقلیمی (MRI-CGCM3، MPI-ESM-LR و CCSM4 تحت RCP2.6 و RCP8.5 و قرار دادن مقادیر پیش بینی در مدل آریما، سطح آب برای سال ۲۰۵۰ در چاههای مشاهده ای بدست آمد و از روش درونیابی Kriging جهت تهیه نقشه پهنه بندی هم تراز سطح آب زیرزمینی سال ۲۰۵۰، استفاده شد.

متوسط سطح آب در سال ۲۰۵۰ در مدل MRI-CGCM3، 1486.75 متر، در مدل MPI-ESM-LR، 1485.55 متر و در مدل CCSM4، 1486.08 متر برآورد شده که این مقادیر نسبت به سطح متوسط آخرین سال مورد بررسی در مدل (۱۳۹۱) یعنی رقم ۱۵۰۹.۹۵ متر، اعداد کمتری را نشان می دهد. لذا نتایج در پیش بینی تراز سطح آب زیرزمینی برای سال ۲۰۵۰ بیانگر افت سطح آب تحت مدل های اقلیمی (MRI-CGCM3، MPI-ESM-LR و CCSM4 تحت RCP2.6 و RCP8.5 در سالهای آتی می باشد. به طوریکه مقدار افت سطح آب در سال ۲۰۵۰ در مدل MRI-CGCM3، 23.2 متر کاهش، در مدل MPI-ESM-LR، ۲۴.۴ متر و در آخرین مدل یعنی CCSM4 نیز کاهشی به اندازه ۲۳.۹ متر داشته است.

در بررسی نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر و مقایسه آن با نتایج حاصل از تحقیقات مشابه صورت گرفته در این زمینه و در دشت های گوناگون، مشخص گردید که در نوع عوامل تأثیرگذار بر سطح آب زیرزمینی، کلیه تحقیقات و پژوهش های صورت گرفته، یکسان و مشابه بوده و همگی آنها به طور کلی، پارامترهای بارش و مصرف (تغذیه و تخلیه آب) به عنوان عوامل اصلی مؤثر بر نوسانات سطح آبهای زیرزمینی دشتهای شناخته شده و از این نظر تفاوتی در تحقیقات مشابه، وجود ندارد. تنها در نوع مدل استفاده از رگرسیون خطی چندگانه تا مدل های غیرخطی و پیشرفته رگرسیون سری زمانی

جهت شبیه سازی سطح آب و پیش بینی در آینده، تفاوت وجود دارد. با توجه به اینکه در این تحقیق مدل سری زمانی میانگین متحرک انباشته خود همبسته ARIMA از نوع (۰۱۰) مناسب شناخته شده است، از این نظر با نتایج تحقیق خاشعی و همکاران (۱۳۹۲) در آبخوان دشت نیشابور که دقت مدل رگرسیون را همواره کم دانسته اند، مطابقت دارد. همچنین نتایج تحقیق حاضر با نتایج حاصل از تحقیق های پورمحمدی (۱۳۹۱) در زیرحوضه بختگان استان فارس که کارایی و دقت بالای سری زمانی را در پیش بینی سطح ایستابی چاههای منطقه را نشان می دهد، با تحقیقات فرزین و همکاران (۱۳۸۸) در منطقه زرین دشت فارس که نتایج آن نشان داده بهترین مدل جهت پیش بینی مقادیر آینده سطح ایستابی آب چاههای منطقه، مدل  $ARIMA(4,1,4)$  است و همچنین فاکتور بارش را مؤثرترین عامل در نوسانات سطح آب می داند، با بررسی های رحمانی و همکاران (۱۳۸۳) در دشت همدان – بهار که با استفاده از مدل  $ARIMA(1,1,0)$  از داده های ارائه شده برای پیش بینی سطح آب زیرزمینی در ۲۰ سال آینده استفاده شده و نتایج حاصل نشان می دهد که در صورت ثابت ماندن الگوی مصرف و عدم تغییرات در روند تغذیه سفره در طی بیست سال آینده، سطح آب با کاهش حدود ۱۷/۵ متری نسبت به وضعیت فعلی مواجه خواهد بود، مطابقت دارد. همینطور می توان گفت که با تحقیقات Panda در منطقه اریسا (۲۰۰۷) که افت سطح آب را ناشی از کمبود بارش و افزایش درجه حرارت دانسته است و نیز Mutasa (2001) در مدلسازی تأثیر تغییرات آب و هوا بر منابع آب زیرزمینی در حوضه ساردن اسپانیا، تأثیر متغیرهای بارش، حداکثر و حداقل دما را بر منابع آب زیرزمینی بیش از بقیه پارامترها می داند، مشابهت بیشتری دارد.

## منابع

- ۱- ایزدی عزیزاله، داوری کامران، علیزاده امین و قهرمان بیژن، (۱۳۸۷). کاربرد مدل داده های ترکیبی در پیش بینی سطح آب زیرزمینی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۲، شماره ۲.
- ۲- پورمحمدی سمانه، ملکی نژاد حسین و پورشرعیاتی ربابه، (۱۳۹۲). مقایسه کارایی روش های شبکه عصبی و سری های زمانی در پیش بینی سطح آب زیرزمینی زیر حوضه بختگان استان فارس. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد بیستم، شماره چهارم.
- ۳- حسن زاده جعفر، نجفی فرید و مرادی نظر مهدی، (۱۳۹۴). چگونه یک مدل مناسب برای داده های سری زمانی انتخاب کنیم. مجله اپیدمیولوژی ایران. ۱۱ (۱): ۹۴-۱۰۲
- ۴- خاشعی عباس، قهرمان بیژن و کوچک زاده مهدی، (۱۳۹۲). مقایسه مدل های شبکه عصبی مصنوعی، سیستم های استنتاج فازی عصبی و رگرسیونی در برآورد سطح ایستابی آبخوان دشت نیشابور، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، ص ۲۲-۱۰.
- ۵- رحمانی علیرضا و سدهی مرتضی، (۱۳۸۳). پیش بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت همدان – بهار، مجله علمی پژوهشی.
- ۶- فرزین مهدی، جباری مظفر و اکبری محمودرضا، (۱۳۸۸). نقش خشکسالی های اخیر در افت سطح ایستابی آب های زیرزمینی استان فارس شهرستان زرین دشت. همایش ملی مدیریت بحران آب.
- ۷- کردوانی پرویز، (۱۳۸۰). خشکسالی و راههای مقابله با آن در ایران. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۹۲ ص.
- ۸- مرادی معصومه، (۱۳۸۹). شبیه سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره دشت ساری – نکا. پایان نامه کارشناسی ارشد

۹- Alder J, Hostetler S, Williams D, (2013). An Interactive Web Application for Visualizing Climate Data. Eos Trans. AGU 94, 197-198.

۱۰- Anderson TW, (2011). The statistical analysis of time series: John Wiley & Sons; 101-120

۱۱- Brockwell PJ, Davis RA, (2002). Introduction to time series and forecasting: Springer; 23-42.

۱۲- Chatterjee S, and Hadi A, (2006). Regression analysis by example, 4th edition, New Jersey, Wiley.

۱۳- Daliakopoulos IN, Coulibaly P and Tsanis IK, 2005. Groundwater level forecasting using artificial neural networks. Journal of Hydrology 309: 229-240.

۱۴- Kedem B, and Fokianos K, (2004). "Regression Model for time series Analysis". Journal of American Statistical Association 99. PP:299.

۱۵- Khan S, Gabriel H, Rana T, (2008). Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. Irrig Drainage Syst. 22:159-177.

۱۶- Mutasa C, (2011). Impacts of climate change on groundwater resources a case study of the sardon catchment Spain.

۱۷- Panda, Dileep K, Mishra A, Jena S, James B, Kumar A, (2007). The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in orissa, India. Journal of hydrology: 343, 140- 153.

- ١٨-Reghunath R, Murthy T, and Raghavan B, (2005). Time series analysis to monitor and assess water resources: A moving average approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 109, 65–72.
- ١٩-Shiati K, (1999). World Water Vision for Food: Country Case Study Iran. Paper presented at the MENA Consultation Meeting, Bari, Italy.
- ٢٠-Smedema L, and Shiati K, (2002). Irrigation and salinity: A perspective review of the salinity hazards of irrigation development in the arid zone. *Irrigation and Drainage Systems*, 16, 161–174.
- ٢١-Wong H, Ip WC, Zhang RQ and Xia J, 2007. Non-parametric time series models for hydrological forecasting. *Journal of Hydrology* 332(3-4): 337-347.
- ٢٢-Yang ZP, Lu WX, Long YQ and Li P, 2009. Application and comparison of two prediction models for groundwater levels: A case Study in Western Jilin Province, China. *Journal of Arid Environments* 73: 487-492.