نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۷ شماره ۴صفحه‌های ۱۸۵ تا ۱۹۶/ سال ۱۳۹۶

مدل سازی زمانی تراز آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های پایه تحلیل سری‌های زمانی (مطالعه موردی: دشت اردبیل)

جعفر جعفرزاده[1]*، هاشم رستم زاده[2]، اسماعیل اسدی[3]

تاریخ دریافت:۹۴/۳/۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۱۴

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز

۲-استادیار گروه اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز

۳-استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: jjafar1364@gmail.com

چکیده

در بیشتر مناطق، منابع آب زیرزمینی سهم عمده‌ای در تأمین نیازهای آبی در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت ایفا می‌نمایند. محدوده مطالعاتی اردبیل دارای وسعت ۴۸۰۴/۷ کیلومترمربع بوده و وسعت دشت اردبیل در این محدوده ۸۲۰ کیلومترمربع می‌باشد. این آبخوان از طریق نفوذ مستقیم ریزش‌های سطحی، آب برگشتی از مصارف کشاورزی، شرب و صنعت و همچنین ورودی‌های زیرزمینی تغذیه و از طریق برداشت آب زیرزمینی برای مصارف مختلف و نیز خروجی زیرزمینی تخلیه می‌گردد. در این پژوهش، ابتدا روش‌های پایه تحلیل سری‌های زمانی شامل مدل‌های خودبرگشتی(AR)، میانگین متحرک (MA) و ترکیبی از خودبرگشتی و میانگین متحرک (ARMA) بر روی داده‌ها اجرا شده و با استفاده از آزمون‌های ضریب آکائیک و توابع خودهمبستگی بهترین مدل انتخاب شد. سپس با توجه به همین آزمون‌ها و ضرایب، ملاحظه گردید که مدل AR(2) نتایج بهتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد. در نهایت با استفاده از همین مدل، برای دوره زمانی سی ساله یک پیش‌بینی انجام شد. نتایج حاصل از مقادیر پیش‌بینی‌شده به‌وسیله سری‌زمانی، نشان می‌دهد که در صورت ثابت ماندن الگوی مصرف و هم‌چنین عدم تغییرات در روند تغذیه سفره در طی سی سال آینده با کاهش حدود ۱۱ متری نسبت به وضعیت فعلی سطح سفره مواجه خواهیم شد. با توجه به محدودیت منابع و افت سطح ایستابی و نیز حساسیت ویژه این منطقه در تأمین آب شرب در سال‌های آینده، تصمیم‌گیری برای مدیریت آب زیرزمینی در این محدوده الزامی است.

واژه‌های کلیدی: آب‌های زیرزمینی، اردبیل، پیش‌بینی، سری‌زمانی، سطح ایستابی.

Modeling temporal of groundwater level using basic techniques of time series analysis (Case Study: Ardabil Plain)

J Jafarzadeh[1]*, H Rostamzadeh[2], E Asadi[3]

Received: 28 May 2015 Accepted: 04 July 2016
1-M.sc student of Remote Sensing and GIS, School of Geography and Planning, University of Tabriz
2-Assist. Prof., Dept. of Geography and Planning, University of Tabriz
3-Assist. Prof., , Dept. of Water Engineeringr, Faculty of Agricalture, University of Tabriz, Iran

Abstract

In most areas, groundwater resources play a major role in water supply of the needs in parts of agriculture, drinking and industry. The scope of studied area of Ardebil is 4804.7 square kilometers and the extent of Ardebil plain in this region is 820 square kilometers. This aquifer feeds through the direct infiltration of surface downfalls, returning water from agriculture, drinking and industry expenditures and also the underground drains. In this study, the basic methods of the analysis of time series includes models of autoregressive (AR), moving average (MA) and the combination of autoregressive and moving average (ARMA) were implemented on the data and the best model was chosen by using the test of Akaike coefficient data autocorrelation functions. Then, it was observed the results of model AR (2) are better than other models according to these tests and coefficients. Finally, a prediction was accomplished for a period of thirty years by using the same model. The results of the predicted values by time series shows a reduction of approximately 11 meters into the current situation of water table of aquifer in the case of constant consumption patterns and also without change in the procedure of the feeding in the aquifer during the next thirty years. The decision to manage the groundwater in this area is required, due to the restriction of the resources and the drawdown of water table and the particular sensitivity of this region about drinking water supply in the coming years.

Keywords: Ardebil, Groundwater, Predicting, Time Series, Water Table.

مقدمه

امروزه دسترسی به منابع آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های دولت‌ها و ملت‌ها می باشد، چرا که با افزایش جمعیت و فعالیت انسان‌ها مصرف آب نیز بیشتر گردیده است. این در حالی است که منابع موجود آب در چرخه هیدرولوژیکی کره زمین ثابت بوده و در نتیجه نیاز و وابستگی انسان به آن به صورت روزافزون افزایش می-یابد. تحلیل پدیده‌های تصادفی در قلمرو علم آمار و احتمال، از زیرمجموعه‌های علم هیدرولوژی قرار می‌گیرد. آگاهی از وضعیت منابع آب کشور و چگونگی تحولات آتی در تقاضا برای آب و خدمات وابسته به آن، جزء پیش‌شرط‌های اصلی و اساسی برای مدیریت منابع آب محسوب می‌گردد. افزایش و تشدید تقاضا برای آب و خدمات مربوط به آن، تنزل کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی و هم‌چنین تخریب محیط‌زیست که براثر شهرنشینی و صنعتی‌شدن و تغییر در کاربری اراضی ایجاد گردیده و یا شتاب می‌گیرد، منابع آب موجود هر کشور را تحت فشارهای فزاینده‌ای قرار داده و مدیریت مطلوب آن را بسیار دشوارتر و پیچیده‌تر از سابق نموده است. در دهه‌های اخیر، رشد جمعیت در کشور بالا بوده است و این امر با توجه به محدود بودن میزان آب قابل استحصال، پتانسیل سرانه آب را به‌شدت تهدید کرده است (رحمانی و سدهی ۱۳۸۳). درک و مدیریت منابع آب مشکلات عدیده‌ای دارد که شامل فرآیندهای پیچیده و

روابط بین آب‌های سطحی و زیرسطحی می‌شود. یکی از راه‌حل‌های مدیریت منابع آب‌های سطحی و زیرسطحی استفاده از مدل‌های تصادفی می‌باشد. به‌دلیل اینکه فرآیندهای مربوط به شاخه آب تصادفی هستند بنابراین آمار و احتمال، اساس تجزیه وتحلیل پدیده‌های مذکور است. بر این اساس روش‌های سری‌های زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سری زمانی بطور ساده عبارت از یک متغیر هیدرولوژیک وابسته به زمان می‌باشد. به‌نظر می‌رسد اولین گام مهم در کاربرد عملی سری‌های زمانی در هیدرولوژی توسط مک کرچار و دولر برداشته شده باشد که با توجه به ویژگی‌های فصلی در پارامترهای جریان رودخانه مدل ساریما[1] و پارما[2] را جهت شبیه-سازی رودخانه انتخاب نمودند (لائو و همکاران ۲۰۱۱).

مدل‌های آب زیرزمینی در واقع عبارات و یا الگوریتم-های ریاضی برای بیان جریان آب و انتقال محلول‌های موجود در آبخوان‌های زیرزمینی می‌باشند (وانگ ۲۰۰۷). تاکنون مدل‌های مختلفی در پیش‌بینی پارامترهای مختلف مربوط به آب‌های زیرزمینی مانند تراز آب زیرزمینی و مقدار املاح و آلاینده‌های موجود در این منابع ارائه شده اند. به‌طور عمده متغیر اصلی مورد مطالعه در این مدل‌ها، روش حل آن‌ها می‌باشد. به‌عنوان مثال گتاردی و ونوتلی(۲۰۰۷)، معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی را با روش اجزای محدود تخمین زده و یک مدل برای پیش بینی تراز آب زیرزمینی ارائه نمودند. فاروک (۲۰۱۰) در پژوهشی با استفاده از ترکیب مدل‌های شبکه عصبی و مدل‌های سری‌زمانی به پیش‌بینی کیفیت آب رودخانه بویوک مندرس ترکیه پرداخت. ایشان در این تحقیق به بررسی ترکیب مدل‌های شبکه عصبی و سری‌زمانی پرداخته و نتایج حاصل را بهتر از مدل‌های فقط سری-زمانی دانست. این مدل‌ها می‌توانند شرایط تجربه نشده را نیز شبیه‌سازی نمایند. اما مشکل مواجهه با معادلات حاکم و تخمین پارامترهای موجود بکار رفته در آن‌ها که خود نسبت به زمان و مکان متغیر می‌باشند، استفاده از آن‌ها را محدود می‌نماید (مانزینی ۲۰۰۴). با توجه به حجم نسبتاً پایین محاسبات، عدم نیاز به تخمین پارامترهای مؤثر در معادلات حاکم (مانند ضریب نفوذپذیری در معادله ریچاردز) و طبیعت ساده مدل‌های تصادفی، امروزه کاربرد این روش‌ها در مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی و پیش‌بینی پارامترهای مرتبط با آن‌ها افزایش روزافزونی پیدا نموده است. این روش‌ها عمدتاً به روش‌های زمین‌آماری، روش‌های تحلیل سری‌های زمانی و روش‌های هوش مصنوعی مانند شبکه‌های هوش مصنوعی و روش‌های فازی تقسیم می‌گردند (احمدی و صدق‌آمیز ۲۰۰۷). داده‌هایی که از مشاهده یک پدیده در طول زمان به دست می‌آیند بسیار متداول هستند. به‌عنوان نمونه در هواشناسی بیشترین و کمترین درجه حرارت روزانه، در کشاورزی ارقام سالیانه مربوط به محصول و میزان فرسایش خاک و کمیت‌های مشابه با آن موردنظر هستند. این مثال‌ها و ده‌ها مثال دیگر، همه نمونه‌هایی از سری‌های زمانی هستند. سری زمانی به‌طور ساده عبارت از یک متغیر هیدرولوژیک وابسته به زمان، نظیر دبی یک رودخانه است (سالاس ۱۹۹۳). یوسف و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به بررسی روند کیفیت آب رودخانه لانگات ایالت سلانگور مالزی با استفاده از داده‌های سری زمانی بلند مدت پرداختند. ایشان در تحقیق خود از مدل‌های سری زمانی به ویژه مدل باکس-جنگینز و آرما استفاده کرده‌اند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که یک روند معنی‌داری بین مقادیر داده‌های سری زمانی وجود دارد.

تاکنون مدل‌های زیادی جهت پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته است. ازجمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های سری زمانی تجربی و مدل‌های فیزیکی اشاره کرد (ستاری و شمسی سوسهابی ۱۳۹۳). وانگ و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی به بررسی دقت و صحت پیش بینی رواناب سالانه سری زمانی با استفاده از مدل آریما و و روش تجزیه‌ای(EEMD[3]) پرداختند. ایشان در این تحقیق استفاده از این مدل تعیین صحت تجزیه‌ای را جهت بهبود پیش بینی با استفاده از مدل‌های سری زمانی مناسب دانستند.

[1] Seasonal ARIMA
[2] Periodic ARMA
[3] Ensemble empirical model decomposition

محدوده مورد مطالعه دشت اردبیل یکی از مناطقی است که بروز افت در سطح آب زیرزمینی در آن مورد توجه قرار گرفته است. حساسیت ویژه این منطقه در تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت شهر اردبیل و شهرهای تابعه و لزوم برداشت بیشتر در سال‌های آینده است. در تحقیق حاضرسعی شده است وضعیت کمی سفره آب زیرزمینی دشت اردبیل با توجه به اطلاعات موجود از سطح تراز ایستابی آن در طی چهل سال گذشته مورد تجزیه وتحلیل قرار گیرد و با استفاده از مدل‌های سری زمانی، نوسانات آن بررسی و با ارائه مدل مناسب، وضعیت احتمالی آن در آینده مورد پیش‌بینی قرارگرفته و راهکارهای اجرایی نیز ارائه گردد.

شکل ۱- موقعیت دشت اردبیل در سطح کشور و استان اردبیل.

موقعیت جغرافیایی محدوده دشت اردبیل

محدوده مطالعاتی دشت اردبیل (شکل ۱) در عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی واقع‌شده است. این منطقه مشرف بر ارتفاعات بخش غربی رشته‌کوه البرز و در امتداد دامنه شرقی سبلان قرار دارد. مساحت آن حدود ۸۲۰ کیلومترمربع می‌باشد. متوسط بارش سالانه اردبیل حدود ۳۰۴ میلی‌متر می‌باشد (ستاری و شمسی سوسهاب ۱۳۹۳). کل پتانسیل منابع آبی شهرستان اردبیل حدود ۲۸۵ میلیون مترمکعب شامل ۱۲۰ میلیون مترمکعب آب سطحی و ۱۶۵ میلیون مترمکعب آب زیرزمینی قابل استحصال از طریق قنات و چاه می‌باشد. از حجم آب زیرزمینی یادشده در شهرستان اردبیل، ۳۹ رشته قنات و ۲۱۹۲ حلقه چاه در مجموع ۱۲۸ میلیون مترمکعب در سال به مصرف می‌رسد و از حجم آب سطحی یادشده، ۱۰۶ میلیون مترمکعب در سال معادل ۸۹ درصد پتانسیل آب سطحی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (بی نام۱۳۸۷). محدوده مطالعاتی اردبیل به‌صورت یک افتادگی تکتونیکی بوده که توسط ارتفاعات مشرف بر آن محدود می‌گردد و تنها خروجی آن رودخانه قره‌سو می‌باشد. وسعت ناحیه ارتفاعات و دشت در این محدوده مطالعاتی به ترتیب ۳۷۳/۰۷ و ۱۰۷۴ کیلومترمربع می‌باشد.

بیلان آب زیرزمینی

برای تعیین بیلان آب زیرزمینی دشت اردبیل، توجه به دو عامل تغذیه و تخلیه ضروری است. عوامل تغذیه آب زیرزمینی شامل نفوذ مستقیم از ریزش‌های جوی، نفوذ از جریان‌های سطحی، نفوذ از جریان‌های زیرزمینی و آب‌های برگشتی کشاورزی، شهری و صنعتی می‌باشد. تخلیه آب زیرزمینی منطقه، شامل برداشت برای مصارف مختلف و خروجی آب زیرزمینی می‌باشد. بیلان آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی اردبیل در ادامه آورده شده است. شبکه چاه‌های مشاهده‌ای از سال ۱۳۴۹ در این منطقه احداث شده است و تاکنون چندین مرتبه تکمیل گردیده است که آخرین مرحله تکمیل، بازسازی و ترمیم شبکه مذکور مربوط به سال ۱۳۸۲ می‌باشد. بر اساس آمار اخذشده در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ شبکه چاه‌های مشاهده‌ای در این محدوده دارای ۵۸ حلقه چاه می باشد که تعداد ۳ حلقه از آن‌ها فاقد تراز نقطه نشانه می‌باشند. با استفاده از آمار تعداد ۲۹ حلقه چاه مشاهده‌ای آبنمود آبخوان آبرفتی برای دوره ۴۰ ساله سال آبی ۵۱-۱۳۵۰ لغایت سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ تهیه و در جدول ۱ و شکل ۳ ارائه شده است. بر اساس آبنمود مذکور طی دوره ۴۰ ساله اخیر سطح آب زیرزمینی در این دشت ۱۲/۸۹ متر افت داشته است که متوسط سالانه آن معادل ۰/۲۸ متر است.

شکل ۲- موقعیت چاه‌های نیمه عمیق، چاه‌های عمیق، چشمه و قنات در محدوده مطالعاتی اردبیل.

جدول ۱- متوسط تراز آب سطح آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت اردبیل.

سال آبی	میزان تغییرات	سال آبی	میزان تغییرات	سال آبی	میزان تغییرات	سال آبی	میزان تغییرات	سال آبی	میزان تغییرات
۱۳۵۰-۵۱	۱۳۳۸/۶	۱۳۵۸-۵۹	۱۳۳۸/۶۸	۱۳۶۶-۶۷	۱۳۳۶/۳۹	۱۳۷۴-۷۵	۱۳۳۴/۴۴	۱۳۸۲-۸۳	۱۳۲۹/۸۲
۱۳۵۱-۵۲	۱۳۳۸/۷۵	۱۳۵۹-۶۰	۱۳۳۸/۵۹	۱۳۶۷-۶۸	۱۳۳۶/۲۶	۱۳۷۵-۷۶	۱۳۳۳/۷۷	۱۳۸۳-۸۴	۱۳۲۸/۶۴
۱۳۵۲-۵۳	۱۳۳۸/۶۵	۱۳۶۰-۶۱	۱۳۳۸/۳۳	۱۳۶۸-۶۹	۱۳۳۵/۹۹	۱۳۷۶-۷۷	۱۳۳۲/۶۷	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۲۷/۸۱
۱۳۵۳-۵۴	۱۳۳۸/۶۲	۱۳۶۱-۶۲	۱۳۳۸/۵۴	۱۳۶۹-۷۰	۱۳۳۵/۶۰	۱۳۷۷-۷۸	۱۳۳۱/۹۹	۱۳۸۵-۸۶	۱۳۲۶/۹۹
۱۳۵۴-۵۵	۱۳۳۸/۵۴	۱۳۶۲-۶۳	۱۳۳۸/۵۲	۱۳۷۰-۷۱	۱۳۳۵/۴۰	۱۳۷۸-۷۹	۱۳۳۱/۳۸	۱۳۸۶-۸۷	۱۳۲۶/۳۱
۱۳۵۵-۵۶	۱۳۳۸/۵	۱۳۶۳-۶۴	۱۳۳۸/۰۷	۱۳۷۱-۷۲	۱۳۳۵/۳۹	۱۳۷۹-۸۰	۱۳۳۰/۷۹	۱۳۸۷-۸۸	۱۳۲۶/۲۴
۱۳۵۶-۵۷	۱۳۳۸/۴۴	۱۳۶۴-۶۵	۱۳۳۷/۴۱	۱۳۷۲-۷۳	۱۳۳۵/۳۸	۱۳۸۰-۸۱	۱۳۳۰/۰۹	۱۳۸۸-۸۹	۱۳۲۵/۸۲
۱۳۵۷-۵۸	۱۳۳۸/۵۱	۱۳۶۵-۶۶	۱۳۳۷/۸۲	۱۳۷۳-۷۴	۱۳۳۵/۰۶	۱۳۸۱-۸۲	۱۳۲۹/۹۰	۱۳۸۹-۹۰	۱۳۲۵/۷۱

مجموع افت سطح آب زیرزمینی ۱۲/۸۹ متر

شکل ۳- کموگراف دشت اردبیل در دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۵۰.

مواد و روش‌ها

ازآنجا که در برنامه‌های درازمدت، اطلاع از وضعیت آبخوان‌های زیرزمینی و میزان آب در دسترس، یکی از موارد مهم و ضروری در توسعه پایدار به شمار می‌آید، داشتن اطلاعات موثق و علمی از وضعیت آینده منابع آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (رحمانی وسدهی ۱۳۸۳) که یکی از ابزارهای پیشرفته مدل‌سازی برای پیش‌بینی، تحلیل سری‌های زمانی در آمار است که در این پژوهش برای مدل‌سازی و پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی مورداستفاده قرارگرفته است. تحلیل سری‌های زمانی معمولاً دو هدف را دنبال می‌کند که اولین هدف به مدل درآوردن مکانیسم تغییرات فرایند مورد نظر در طول زمان و دیگری پیش‌بینی مقادیر آینده فرایند با استفاده از مدل ارائه‌شده و بر مبنای روند تغییرات آن در طول زمان است. برای برازش یک مدل سری زمانی بر مجموعه‌ای از مشاهدات، سه مرحله اساسی باید طی شود:

الف) شناخت مدل ب)برآورد ضرایب مدل ج) بررسی درستی مدل.

در مرحله اول کار اصلی عبارت است از شناسایی زیررده مناسبی از خانواده مدل‌های کلی که می‌توانند برای نمایش الگوی داده‌ها به کار گرفته شوند (بزرگ نیا ۱۳۶۷).

در این پژوهش از نوع تحلیلی گذشته‌نگر استفاده شده است و در آن با استفاده از اطلاعات مربوط به سال‌های گذشته سطح آب زیرزمینی، اقدام به مدل‌سازی برای بررسی روند تغییرات سطح آب در طول زمان شده و سپس با استفاده از مدل ارائه‌شده، سطح آب در ۳۰ سال آینده پیش‌بینی‌شده است. بدین منظور داده‌های میانگین سالانه سطح آب زیرزمینی چاه های مشاهده ای محدوده مطالعاتی در طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۵۰ در نظر گرفته‌شده است.

بررسی وجود مؤلفه های روند[4]و تناوب[5]

مرحله دوم در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، تعیین مؤلفه روند در سری زمانی و همچنین حذف آن در جهت ایستایی داده‌ها می‌باشد و پس از بررسی ایستایی داده‌ها، مدل‌های مناسب به داده‌ها برازش داده می‌شوند. برای تعیین مؤلفه روند، یک خط بر داده‌ها برازش‌داده می‌شود. شیب این خط برابر با مؤلفه روند می‌باشد. بدیهی است در صورتی که شیب این خط صفر باشد و خط افقی باشد، داده‌ها فاقد مؤلفه روند بوده و ایستا می‌باشند (نیرومند و بزرگ نیا ۱۳۷۲). با بررسی صورت گرفته مشخص گردید که داده‌های تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل دارای یک روند نزولی می باشند. معادله خط برازش داده شده برداده‌ها به صورت رابطه ۱ می باشد:

$$Yt = 1341.72 - 0.3621\times t \qquad [۱]$$

[4]Trend

[5]Periodic

این امر مبین ناایستایی مدل می‌باشد. بنابراین ضروری است با استفاده از یک روش مناسب، سری زمانی موجود به سری ایستا تبدیل گردد. برای این منظور، میزان تابع روند در هر زمان محاسبه گردید و مقدار داده‌های سری زمانی از داده های متناظر در معادله خط روند کسر و این تفاضل به عنوان مقادیر جدید برای سری زمانی در نظر گرفته شد.

بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها

مرحله سوم در تجزیه و تحلیل سری های زمانی، بررسی نرمال بودن داده ها می باشد که از طریق دو آزمون نکویی برازش اسمیرنف-کولموگرف و آزمون کای اسکوئیر صورت می‌گیرد که در این مقاله فقط به آزمون نکویی برازش اسمیرنف-کولموگرف پرداخته شده است. نرمال بودن داده‌ها به این دلیل اهمیت دارد که تئوری سری های زمانی بر اساس نرمال بودن داده‌ها توسعه یافته است و در صورتی که داده‌ها نرمال نباشند بایستی با استفاده از روش‌های مختلف، آن‌ها را نرمال-سازی نمود. از جمله روش‌های نرمال‌سازی داده‌ها، استفاده از روش لگاریتم‌گیری از داده‌ها می باشد (فاطمی قمی ۱۳۷۳). در این روش مقدار D_{max} که از رابطه ۲ به دست می‌آید، باید از مقدار C که از رابطه ۳ به دست آمده و حد آستانه تعریف شده است، کمتر باشد تا فرض نرمال بودن داده‌ها تأیید شود:

$$D_{\max} = sup_{x\in\in R}(F_n - F) \qquad [۲]$$

که در آن

$Dmax$ = بیشینه تفاوت داده‌ها از مقدار متناظر در توزیع نرمال

F= مقدار تابع تجمعی داده‌ها در نمودار توزیع تجمعی

F_n =مقدار تابع تجمعی نرمال داده‌ها در نمودار توزیع تجمعی نرمال

$$C = \frac{1.36}{\sqrt{n}} \qquad [۳]$$

که در آن، n تعداد داده‌ها که در این مقاله برابر با ۴۰ است و C مقدار حد آستانه برای آزمون نرمال سازی است. با توجه به اینکه در سطح اعتماد ۹۵٪ طبق رابطه ۳، C= 0.1923 از طرفی طبق محاسبات مربوط به حداکثر اختلاف داده ها از مقدار متناظر در توزیع نرمال = D_{max} 0.155، لذا $D_{max} < C$ می‌باشد، بنابراین فرض نرمال بودن داده‌ها تا حدودی مورد تأیید می‌باشد. همچنین چون داده‌ها حول خط مستقیم هستند (شکل۴) می‌توان نتیجه گرفت که داده‌ها از آزمون نرمال پیروی می کنند.

شکل ۴- نمودار تست نرمال بودن داده ها.

شناسایی نوع و مرتبه مدل و بررسی مدل های آماری

برای تعیین و شناسایی نوع و مرتبه مدل، بایستی ابتدا بر روی نمودارهای ACF[6] و PACF[7] قضاوت نمود. به‌طور معمول مدل‌های AR[8]، MA[9] و ARMA[10] قابل انتخاب می-باشند. دلیل استفاده گسترده از این مدل‌ها را می‌توان مربوط به توانایی آن‌ها در ایجاد همبستگی بین مقادیر زمان حال با زمان‌های پیشین و همچنین سادگی ساختار این مدل‌ها دانست (سالاس۱۹۹۶).

بررسی توابع خودهمبستگی(ACF) و خودهمبستگی جزئی(PACF)

یک روش برای بیان وابستگی زمانی در ساختار یک سری زمانی، تعریف تابع خودهمبستگی می‌باشد. رابطه تابع خودهمبستگی(ACF) با تأخیر k به صورت رابطه ۴ نشان داده می شود:

$$\rho_k = \frac{\sum_i^{n-k}(z_i-\bar{z})(z_{i+k}-\bar{z})}{\sum_{i=1}^{n}(z_i-\bar{z})} \qquad -1 \le \rho_k \le 1 \qquad [۴]$$

[6]Auto Correlation Function
[7]Partial Auto Correlation Function
[8]Auto Regressive
[9]Moving Average
[10]Auto Regressive Moving Average

ρ_k مقدار تابع خودهمبستگی سری زمانی با تأخیرk

Z_i و Z_{i+k} مقادیر متغیرها یا داده‌های سری زمانی در مرحله زمانی i و مرحله با تأخیر زمانی k

$\bar{z}$ مقدار میانگین مربوط به متغیرها

روش دیگر برای عنوان نمودن وابستگی زمانی در ساختار یک سری زمانی، تعریف تابع خودهمبستگی جزئی می‌باشد. اگر $\emptyset_k$ تابع خودهمبستگی جزئی سری زمانی با تأخیرk باشد، رابطه تابع خودهمبستگی جزئی(PACF) به صورت رابطه ۵ نشان داده می شود:

$$\emptyset_{(k)} = \frac{\rho_k - \sum_{i=1}^{k-1} \emptyset_i(k-1)\rho_{k-1}}{1-\sum_{i=1}^{k-1} \emptyset_i(k-1)\rho_i} \qquad [۵]$$

$\emptyset_{(k)}$ مقدار تابع خودهمبستگی جزئی سری زمانی با تأخیرk

بررسی نوع مدل‌ها

به طور کلی ۳ مدل با مرتبه های مختلف می توانند بر داده‌ها برازش داده شوند و در آزمون‌های انتخاب مدل، مورد بررسی قرار گیرند که در بندهای زیر، ساختار کلی این مدل‌ها به اختصار تشریح می‌شوند:

ساختار کلی مدل خود برگشتی AR

این مدل از مدل‌های متداول در استوکاستیک است و همان گونه که از نام آن مشخص می‌باشد، بر روی جملات خود رگرسیون‌گیری را اعمال می‌کند، و البته این رگرسیون‌گیری بر مقادیر Z_t انجام می گیرد. این مدل برای سری های زمانی ایستا و ناایستا قابل کاربرد می-باشد و ساختار اصلی آن مطابق رابطه ۶ می باشد (سالاس ۱۹۹۶):

$$Z_t = \emptyset_1 Z_{t-1} + \emptyset_2 Z_{t-2} + \cdots \emptyset_p Z_{t-p} + \alpha_t \qquad [۶]$$

$\emptyset_1$و $\emptyset_2$ و....و $\emptyset_p$: ضرایب و پارامترهای مدلAR

α_t : مقدار تصادفی و مستقل از زمان باقیماندها[11] که از توزیع نرمال با میانگین صفر تبعیت می کند.

ساختار کلی مدل میانگین متحرک (MA)

فرم عمومی مدل با مرتبه q به‌صورت رابطه ۷ می باشد (سالاس ۱۹۹۶):

$$Z_t = \alpha_t + \theta_1 \alpha_{t-1} + \theta_2 \alpha_{t-2} + \cdots \theta_q \alpha_{t-q} \qquad [۷]$$

θ_1و θ_2 و....و θ_q : ضرایب و پارامترهای مدل MA

ساختار کلی مدل ARMA

از ترکیب نمودن مدل خودبرگشتی (AR) با مرتبه p و مدل میانگین متحرک (MA) با مرتبه q مدل ARMA با مرتبه p,q ایجاد می‌گردد. ساختار کلی مدل مطابق رابطه ۸ می‌باشد (سالاس ۱۹۹۶):

[۸]

$$Z_t = \emptyset_1 Z_{t-1} + \emptyset_2 Z_{t-2} + \cdots \emptyset Z_{t-pp} + \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} + \theta_2 \alpha_{t-2} + \cdots \theta_p \alpha_{t-p}$$

پارامترهای مربوط به این مدل نیز همانند مدل های AR و MA می باشد.

بررسی آزمون بر اساس معیارAIC[1]

آزمون و معیار آکائیک (AIC) یکی از روش‌های مقایسه مدل‌های مختلف می‌باشد. این روش بر این مبنا استوار است که از بین مدل‌های مناسب، مدلی که دارای کمترین مقدار ضریب آکائیک باشد به عنوان بهترین مدل انتخاب می شود (سالاس ۱۹۹۶). صورت کلی معادله ضریب آکائیک به‌صورت رابطه ۹ می‌باشد:

$$AIC(p,q) = NLn(\sigma_\varepsilon^2) + \frac{2N(p+q+1)}{(N-2-p-q)} \qquad [۹]$$

که در این رابطه: σ_ε^2 برابر است با واریانس باقی‌مانده‌ها p و q مرتبه مدل و N تعداد داده‌ها.

نتایج و بحث

در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب نمودارهایACF و PACF برای داده‌های حذف روندشده به ازای۱۰ مرتبه تأخیر نمایش داده شده است:

شکل ۵- نمودار تابعACF مربوط به داده های حذف روند شده.

[11]Noise

[1] Akaike information criterion [2]

شکل ۶- نمودار تابع PACF مربوط به داده های حذف روند شده.

با توجه به نمودارهای ACF و PACF مربوط به داده‌های حذف روندشده و پس از بررسی جداگانه این نمودارها برای هریک از مدل‌های AR(1)، AR(2)، MA(1)، MA(2)، ARMA(1,1)، ARMA(1,2)، ARMA(2,1) و ARMA(2,2) مدلی برای برازش بر داده‌ها انتخاب می گردد که در آزمون‌های ذیل صدق کند:

در نمودار تابع PACF آن برای انتخاب مرتبه مدل، اختلاف معنی‌دار مقدار تأخیر با عدد صفر و تجاوز آن از محدوده رابطه $\pm\frac{2}{\sqrt{n}}$ بررسی گردد.

معیار آکائیک (AIC) نیز در مورد مدل‌ها بررسی شود.

مقادیر ضرایب AIC و پارامترهای مدل به همراه واریانس داده‌های حذف روندشده یا باقیمانده برای هر مدل در جدول ۲ آورده شده است:

جدول ۲- مقادیر ضرایب AIC و پارامترهای مدل.

نوع مدل	$\emptyset 1$	$\emptyset 2$	$\theta 1$	$\theta 2$	ضریب AIC
AR(1)	۰/۵۷۲۶				۹۶۸/۰۴
AR(2)	۰/۴۴۸۶	−۰/۳۰۸۹			۹۶۷/۴۵
MA(1)			−۰/۴۰۴۱		۹۶۶/۱۲
MA(2)			−۰/۷۰۲۸	−۰/۱۶۶۵	۹۶۷/۰۳
ARMA(1,1)	۰/۲۹۹۴		−۰/۳۲۵۶		۹۶۷/۲۵
ARMA(1,2)	۰/۰۷۶۹		۰/۴۴۵۸	۰/۵۶۲۴	۹۶۵/۱۴
ARMA(2,1)	۰/۸۸۶۵	−۰/۰۷۳۱	۰/۸۹۱۴		۹۶۶/۴۱
ARMA(2,2)	۱/۴۵۲۴	−۰/۲۱۵۶	۰/۵۲	۰/۵۹۳۲	۹۶۴/۶۵

از بین مدل‌های ۸ گانه بررسی شده بر اساس تمامی معیارهای مذکور، مدل ARMA(2,1) به دلیل تجاوز پارامتر مدل از عدد یک، مدل ARMA(1,1) نیز به دلیل طولانی بودن گام‌های سعی و خطا و مدل-های ARMA(1,2) و ARMA(2,2) نیز به دلیل زیاد بودن پارامترهای مدل از گزینش حذف می‌گردند. مدل MA(2) نیز نسبت به مدل MA(1) دارای ضریب AIC بیشتر بوده و از انتخاب‌های موجود خارج می‌گردد. از بین سه مدل باقیمانده AR(1)، AR(2) و MA(1)، مدل AR(1) دارای ضریب AIC بیشتر نسبت مدل AR(2) می‌باشد و حذف می‌گردد. از بین دو مدل MA(1) و AR(2)، مدل AR(2) برای تولید داده ها مناسب تر بوده (به دلیل ضریب آکائیک کمتر) و به عنوان مدل نهایی انتخاب می گردد.

جدول ۳ نتایج حاصل از پیش بینی سی ساله سطح ایستابی چاه های مشاهده‌ای را بر اساس مدل AR(2) نشان می‌دهد.

جدول ۳ - نتایج حاصل از پیش بینی داده ها با استفاده از مدل AR(2).

سال آبی	سطح آب زیرزمینی	سال آبی	سطح آب زیرزمینی	سال آبی	سطح آب زیرزمینی	سال آبی	سطح آب زیرزمینی
۱۳۹۱-۹۲	۱۳۲۶/۲۱	۹۹-۱۴۰۰	۱۳۲۳/۲۰	۱۴۰۷-۰۸	۱۳۲۰/۴۵	۱۴۱۵-۱۶	۱۳۱۷/۱۰
۱۳۹۲-۹۳	۱۳۲۶/۰۲	۱۴۰۰-۰۱	۱۳۲۳/۱۴	۱۴۰۸-۰۹	۱۳۲۰/۷۸	۱۴۱۶-۱۷	۱۳۱۶/۷۸
۱۳۹۳-۹۴	۱۳۲۵/۷۵	۱۴۰۱-۰۲	۱۳۲۳/۱۲	۱۴۰۹-۱۰	۱۳۱۹/۱۲	۱۴۱۷-۱۸	۱۳۱۶/۱۴
۱۳۹۴-۹۵	۱۳۲۵/۴۴	۱۴۰۲-۰۳	۱۳۲۳/۰۱	۱۴۱۰-۱۱	۱۳۱۹/۰۱	۱۴۱۸-۱۹	۱۳۱۶/۱۱
۱۳۹۵-۹۶	۱۳۲۴/۱۷	۱۴۰۳-۰۴	۱۳۲۲/۲۱	۱۴۱۱-۱۲	۱۳۱۸/۵۶	۱۴۱۹-۲۰	۱۳۱۶/۰۴
۱۳۹۶-۹۷	۱۳۲۴/۰۵	۱۴۰۴-۰۵	۱۳۲۲/۱۴	۱۴۱۲-۱۳	۱۳۱۸/۷۸	۱۴۲۰-۲۱	۱۳۱۵/۰۲
۱۳۹۷-۹۸	۱۳۲۳/۴۱	۱۴۰۵-۰۶	۱۳۲۱/۲۵	۱۴۱۳-۱۴	۱۳۱۸/۴۵		
۱۳۹۸-۹۹	۱۳۲۳/۲۱	۱۴۰۶-۰۷	۱۳۲۱/۳۵	۱۴۱۴-۱۵	۱۳۱۷/۱۵		

میزان افت برای سی سال برابر ۱۱/۱۹ متر می‌باشد.

ستاری و شمسی سوسهاب (۱۳۹۳) در تحقیق خود برای تخمین سطح آب زیرزمینی دشت اردبیل به این نتیجه رسیده اند که سطح تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل (به جز ایستگاه‌های مناطق غرب و شمال‌غربی) روند نزولی داشته به‌طوری که شدیدترین افت در شرق دشت مشاهده گردید. با توجه به اینکه بارش در این دشت در طول دوره آماری مورد مطالعه روند کاهشی ندارد، به نظر می‌رسد کاهش تراز آب زیرزمینی در اغلب ایستگاه-ها به برداشت بی‌رویه از آبخوان زیرزمینی مربوط باشد. اعلمی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیق خود در مورد تاثیر خشکسالی بر تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل به این نتیجه رسیده‌اند که تراز آب زیرزمینی اغلب ایستگاه‌ها دارای روند منفی معنی‌داری بوده است. همچنین آنها اظهار داشته‌اند که کاهش سطح ایستابی آبخوان معلول کاهش بارندگی نبوده بلکه به علت برداشت بی‌رویه از چاه‌های موجود در محدوده دشت می‌باشد.

با توجه به داده‌های مشاهده‌ای از این چاه‌ها که برای چهل سال گذشته ثبت شده‌اند و هم چنین داده‌هایی که از تحلیل سری های زمانی برای سی سال آینده تخمین زده شده‌اند، مشاهده می‌شود که روند افت سطح ایستابی چاه‌های مشاهده‌ای در این محدوده یک سیر نزولی شدید داشته است به طوری که روند افت سالانه برای چهل سال چیزی در حدود ۱۲/۸ متر در سال بوده و این روند افت برای سی سال برآورد شده چیزی در حدود ۱۱/۲ متر در سال می‌باشد (شکل ۷).

شکل ۷- کموگراف دشت اردبیل در دوره آماری ۱۴۲۰-۱۳۹۱.

نتیجه‌گیری کلی

استفاده از مدل‌های سری‌های زمانی با توجه به ماهیت تصادفی و غیرقطعی مسائل مهندسی آب و مدیریت منابع آب، به‌عنوان یکی از روش‌های توصیه شده در پیش‌بینی پدیده‌های تصادفی نظیر سیلاب‌ها می‌باشند. نتایج حاصل از تحلیل سری‌های زمانی در مورد سطح ایستابی چاه-های پیزومتری در محدوده مورد مطالعه و همچنین تحقیقات انجام شده توسط محققین در این مورد نشان می‌دهد که روند سالانه این مشاهدات یک روند نزولی بوده و به همین علت انتظار می‌رود که در آینده نیز این روند ادامه داشته باشد. نتایج شبیه‌سازی تخمین سطح ایستابی آبخوان دشت اردبیل برای سه دهه آینده، حاکی از یک روند نزولی می‌باشد و با توجه به پیشینه تحقیق می‌توان علت این روند کاهشی را برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی اظهار نمود. بنابراین با تمهیداتی مثل کاهش سرانه آب و استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری و یا تغذیه مصنوعی آبخوان، بایستی این روند نزولی را تا حدودی کاهش داد و یا تا آنجا که می وان سرعت این افت را کم کرد.

منابع مورد استفاده

Aalami M.T, Dinpajhouh Y and and Dashvar Vosoughi F, 2011. The Effect of Drought on Groundwater Alignment in Two Decades (Case Study: Ardebil plain). Journal of Water and Soil Science. Volume 21, Number 4, pages 165 to 179.

Bozorg Nia A, 1997. Analysis of time series and prediction. Mashhad. Astan Quds Razavi Publishing House.

Anonymous, 2008. Water Resources of Ardabil City, Department of Management Planning and Improvement, Ardebil Regional Water Authority.

Anonymous, 2009. Summary of Climate Image, Department of Studies and Economic, Climate and Water Resources of Ardabil Province.

Anonymous, 2014. Detailed results of the Population and Housing Census 2012 - Ardebil County, Planning Deputy, Office of Statistics and Information, Ardabil Governorate.

Rahmani A and Sadehi M, 2004. Prediction of ground water level changes in Hamedan-Bahar plain with time series model. Water and Wastewater Journal, No. 51, pages 42 to 47.

Sattari M and Shamsi Sosahab R, 2014. Estimation of Groundwater Level in Ardebil Plain Using Artificial Neural Networks. Pages 1-7. 11th National Students Conference. University of Urmia, Urmia, September 11-13.

Fatemi Ghomi M, 1994. Forecasting and analyzing time series (translation). Amir Kabir University of Technology Publication (Tehran Polytechnic).

Meshkani M., 1992. Time series analysis: prediction and control. Tehran. Shahid Beheshti University Press.

Niroumand H.A and Bozorg Nia A, 1991. An Introduction to Time Series Analysis (translation). Ferdowsi University of Mashhad.

Ahmadi SH and Sedghamiz A, 2007. Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level. Environmental Monitoring and Assessment, 129, 277-294.

Daniel EB, Camp JV, LeBoeuf EJ, Penrod JR, Dobbins JP and Abkowitz MD, 2011. Watershed Modeling and its Applications: A State-of-the-Art Review. Vanderbilt University, VU Station B 351831, Nashville, Tennessee 37235-1831, USA. The Open Hydrology Journal 5: 26-50.

Faruk DÖ, 2010. A hybrid neural network and ARIMA model for water quality time series prediction. Water Resources Research Center, Adnan Menderes University, Aydın, Turkey. 23(4): 586–594.

Gottardi G and Venutelli M, 2007. Mathematical development and verification of a non-orthogonal finite volume model for groundwater flowapplications, Advances in Water Resources 30(1): 29-42.

Roger JS, Sun CT and Mizutani E, 1997. Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. Englewood Cliffs, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall International.

Laux P, Vogl S, Qiu W, Knoche HR, and Kunstmann H, 2011. Copula-based statistical refinement of precipitation in RCM simulations over complex terrain. Hydrology and Earth System Sciences 15: 2401–2419.

Manzini G and Ferraris S, 2004. Mass-conservation finite volume methods on 2-D unsaturated grids for the Richards' equation, Advances in Water Resources 27(12): 1199-1215.

Shaghaghian MR, 2010. Prediction of dissolved oxygen in rivers using a wang-mendel method – case study of Au Sable River, World Academy of Science, Engineering and Technology 62: 795-802.

Wang LX and Mendel JM, 1992. Generating fuzzy rules by learning from examples, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 22(6): 1414-1427.

Wang H and Anderson MP, 2007. Introduction to Groundwater Modeling: Finite Difference and Finite Element Methods, Freeman Inc., San Francisco.

Wang WC, Chau KW, Xu DM, and Chen XY, 2015. Improving forecasting accuracy of annual runoff time series using ARIMA based on EEMD decomposition. Water Resources Management 29(8): 2655-2675.

Yusof NAU, Mat MZ and Khalid N, 2015. Feasibility study of water quality trend in long term time series for Langat River. Journal of Scientific Research and Development 2(14): 33-37.

Salas, J.D,1993, Anlysis and Modeling of Hydrologic Time Series, Chapter 19(72 p) in the McGraw Hill Handbook of Hydrology, D.R Maidment Editor.