دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هفدهم، شماره‌ی ۵۷
بهار ۱۳۹۶، صفحات ۲۸۷-۲۷۳

مجید رضایی بنفشه[۱]
*طاهره جلالی عنصرودی[۲]
محمد علی حسن پور اقدم بگلو[۳]

تحلیل و مدل‌سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج با استفاده از فرآیند اتورگرسیو میانگین متحرک

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۰۸/۲۷

چکیده

با عنایت به توانمندی فن سری‌های زمانی در الگوبندی و پیش‌بینی رفتار پدیده‌های مربوط به آب، این پژوهش با هدف پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج با الگوی سری زمانی انجام شده است. برای این منظور داده‌های تراز آب زیرزمینی در مقیاس ماهانه از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی بین سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۷۳ اخذ گردید. پس از برازش الگوهای مختلف بر داده‌های تراز آب، الگوی ARIMA (2 ,0 ,3) با داشتن کم‌ترین مقدار آگاهی آکائیک (۷۸/۷٦-) نسبت به سایر الگوها مناسب تشخیص داده شد. لذا افت سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۹۲ تا سال ۱٤۰۱ نسبت به سال پایه (۱۳۷۳) با الگوی حاصل برازش داده شد و تغییرات سطح آب زیرزمینی تا سال ۱٤۰۱ با الگوی به‌دست آمده، در نرم‌افزار R پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد با فرض ادامه یافتن شرایط بهره‌برداری موجود و روند کنونی الگوی مصرف آب زیرزمینی در حوضه آبریز تسوج، میانگین افت تجمعی سطح آب زیرزمینی در سال دهم پیش‌بینی (۱٤۰۱) نسبت به سال اول پیش‌بینی (۱۳۹۲) ۷/۲۵ متر خواهد

۱- گروه جغرافیایی طبیعی، گرایش اقلیم شناسی دانشگاه تبریز. E-mail: mrbanafsheh@yahoo.com
*۲- دکتری اقلیم دانشگاه تبریز. (نویسنده مسئول) E-mail: t_jalali19045@yahoo.com
۳- کارشناس ارشد زمین شناسی-هیدروژئولوژی.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

بود. از نتایج پیش‌بینی الگوی حاصل می‌توان در برنامه‌ریزی‌های مدیریت بهینه و پایدار منابع آب زیرزمینی در حوضه آبریز تسوج استفاده نمود. با توجه به وسعت آبخوان تسوج و روند قابل ملاحظه افت حجم آب زیرزمینی در سال‌های پیش‌بینی، مدیریت بهینه و اصلاح الگوی مصرف آب زیرزمینی ضرورت دارد.

کلید واژه‌ها: آب‌های زیرزمینی، حوضه آبریز تسوج، پیش‌بینی، فرآیند اتورگرسیو میانگین متحرک.

مقدمه

امروزه با بهره‌برداری فراوان و بی‌رویه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، مساله کمبود آب جنبه بحرانی پیدا کرده است به‌طوری که سده آینده را می‌توان سده مبارزه با مالکیت منابع آب نام‌گذاری کرد (فریدپور، ۱۳۹۲: ۲۰). این مساله به‌ویژه در مناطقی با اقلیم خشک مثل ایران بیش‌تر نمود دارد. استفاده بی‌رویه و غیرمجاز از منابع آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در مسئله بهره‌برداری از منابع آب می‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۷: ٤۳). میزان وابستگی تولیدات زراعی و باغی به این منبع طبیعی تا حدی است که برداشت بیش از حد مجاز و در برخی مواقع بی‌رویه موجب کاهش سطح آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط کشور گردیده است (سیادت، ۲۰۰۰: ۱۰۹). منابع آب زیرزمینی در استان آذربایجان‌شرقی شامل ۳٤۸۰۹ حلقه چاه با تخلیه ۹۰۲ میلیون مترمکعب، ۱۸۹۹ رشته قنات با تخلیه ۲۷۳ میلیون مترمکعب و ۱۹۸۰ دهنه چشمه با تخلیه ۱۳۹ میلیون مترمکعب و در مجموع تخلیه کل سالانه از منابع آب زیرزمینی استان در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ برابر ۱۳۱٤ میلیون مترمکعب بوده است. آمار نشان می‌دهد میزان تخلیه از منابع آب زیرزمینی سطح کشور از سال آبی ۵۲-۱۳۵۱ لغایت ۸۹-۱۳۸۸ از ۱۸٦۹۹ میلیون مترمکعب به ۷۵۷۱٤ میلیون مترمکعب افزایش یافته است. وابستگی تولیدات کشاورزی به آب زیرزمینی در استان آذربایجان‌شرقی نیز قابل توجه است. مدیریت ویژه منابع آب زیرزمینی در حوضه آبریز تسوج به دلیل سهم زیاد آب زیرزمینی در تامین نیاز آبی جهت شرب و آبیاری محصولات مختلف زراعی و باغی ضروری است. یکی از مناسب‌ترین روش‌های مرسوم برای الگوبندی و پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در دنیا استفاده از فن سری‌های زمانی است. استفاده از این فن در برخی از مسائل هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، هواشناسی و حتی آبیاری در حال گسترش است. برخی از مهم‌ترین پژوهش‌ها در زمینه آب‌های زیرزمینی را می‌توان به شرح ذیل خلاصه نمود:

کاو و کاریلیوتیس (۱۹۷۰)[4] سری‌های زمانی مولفه‌های تغذیه و تخلیه بیلان آب زیرزمینی (بارش و تبخیر) و نیز سری‌های ذخیره آب زیرزمینی در حوضه رودخانه Sangamon واقع در شرق ایلینوی را تحلیل نموده و در بررسی آمار بلندمدت تغییرات گردشی (فصلی) در هر سال را مشاهده نموده‌اند. سالاس و همکاران (۱۹۸۰)[5] مناسب‌ترین الگو برای تحلیل مطالعات هیدرولوژی و اقلیمی را الگوی ARIMA معرفی نموده‌اند. سامانی (۱۹۹٤) با تحلیل

4- Chow and Kareliotis
5- Salas

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

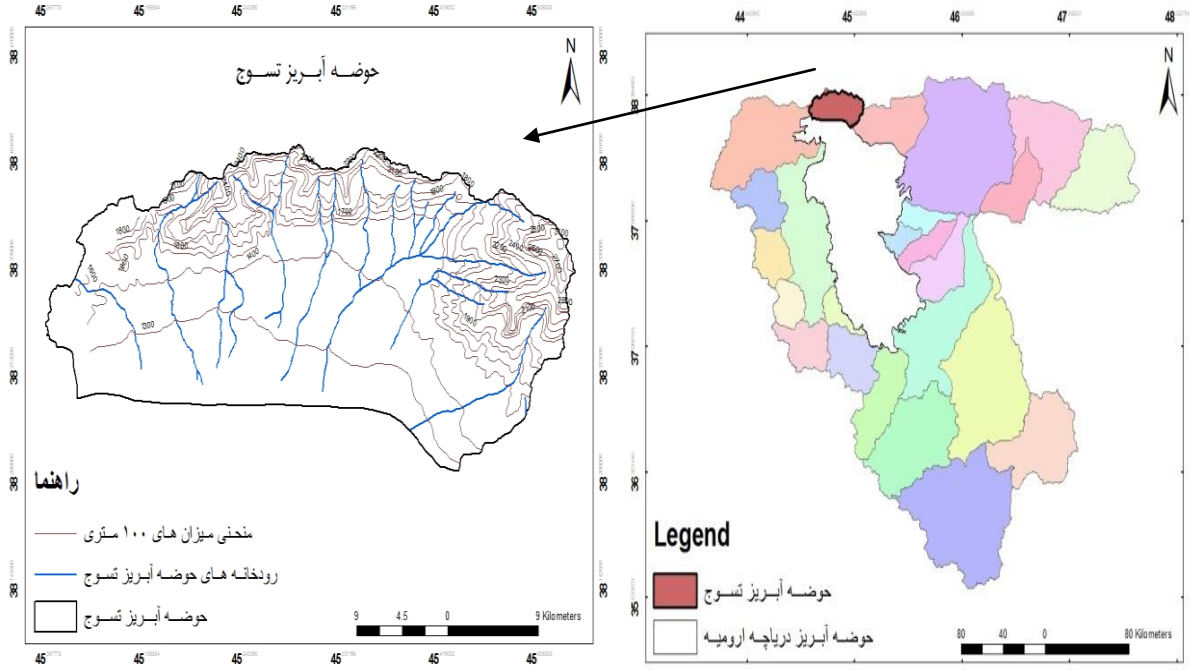
سری‌های زمانی سطح آب‌زیرزمینی و برخی مولفه‌های تغذیه و تخلیه مانند مولفه بارش و تبخیر در چاه‌های مشاهداتی در دشت بهشهر–نکا، قابلیت و کارآئی این فن را تائید نموده است. پادیلا و همکاران (۱۹۹٦)[6] برای پیش‌بینی آبدهی چشمه کارستی پس از تبدیل لگاریتمی و تفاضل گیری از سری داده‌ها، از الگوی ARMA استفاده و کاربرد آن را توصیه نموده‌اند. سامانی (۲۰۰۱) برای بررسی وضعیت سفره‌های کارستی و عکس‌العمل این سفره‌ها به مولفه‌های تغذیه و تخلیه مانند بارش و تبخیر در حوضه مهارلو از توابع خودهمبستگی و چگالی طیفی فن سری‌های زمانی استفاده کرده است. رحمانی و سدهی (۲۰۰٤) برای الگوبندی و پیش‌بینی وضعیت سطح آب زیرزمینی دشت همدان–بهار از الگوهای سری‌های زمانی استفاده کرده و نتیجه گرفتند که در صورت ثابت ماندن الگوی مصرف و همچنین عدم تغییرات در روند تغذیه سفره در طی بیست سال آینده دشت همدان–بهار با کاهش ۱۷/۵ متر نسبت به وضعیت فعلی سطح سفره مواجه خواهد شد. فرزین و همکاران (۲۰۰۹) به‌منظور پیش‌بینی سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی استان فارس از رهیافت باکس–جنکیز استفاده کرده و نشان دادند که بهترین مدل در پیش‌بینی مقادیر آینده سطح آب چاه‌های منطقه مدل ARMA (4,1,4) می‌باشد. شکیبا و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر خشکسالی را بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده بررسی نمودند. نتایج پژوهش ایشان در رابطه با تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی نشان داد که خشکسالی‌های رخ داده بر افت سطح آب‌های زیرزمینی تأثیر به سزایی داشته است. دودانگه و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده در راستای مدیریت منابع آب از مدل ARIMA استفاده کردند نتایج این مطالعه بیانگر سودمندی مدل سری زمانی در مطالعات منابع آب از طریق پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و تعیین روند آن‌ها در آینده است. قهرمان و قره‌خانی (۲۰۱۱) برای الگوبندی سری تبخیر، که یکی از مؤلفه‌های تخلیه سطح آب زیرزمینی به‌شمار می‌رود، در ایستگاه سینوپتیک شیراز از الگوی ARIMA (1, 1, 1) استفاده نموده و عملکرد آن را بسیار رضایت‌بخش اعلام نموده‌اند. پورمحمدی و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی به مقایسه کارایی روش شبکه عصبی و سری زمانی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در زیرحوضه بختگان استان فارس پرداختند نتایج این پژوهش کارایی و دقت بالای هر دو تکنیک شبکه عصبی و سری زمانی را در پیش‌بینی سطح ایستابی چاه‌های منطقه نشان داد. شیروانی ایچی و همکاران (۲۰۱۳) جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی وضعیت آب زیرزمینی دشت کرمان از بین مدل‌های استوکاستیک مدل ARIMA (2 ,1 ,0) را بهترین مدل جهت پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه معرفی کردند. حبشی (۲۰۱٤) جهت پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی دشت ارومیه از مدل سری زمانی استفاده کرده و عملکرد آن را رضایت‌بخش اعلام نمود. با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در تامین بخش اعظم نیاز آبی در حوضه آبریز تسوج و اهمیت بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب زیرزمینی در این حوضه، هدف این پژوهش پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج با الگوی مناسب سری‌های زمانی می‌باشد.

6- Padilla

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی تسوج در شمال‌غرب کشور و در غرب استان آذربایجان‌شرقی و در شمال دریاچه ارومیه قرار دارد. این محدوده مطالعاتی از شمال به محدوده مرند و از غرب به محدوده سلماس و از شرق به محدوده شبستر-صوفیان محدود می‌گردد. از نظر موقعیت جغرافیایی بین ٤٥ درجه و ٢ دقیقه تا ٤٥ درجه و ٣٢ دقیقه طول شرقی و ٣٨ درجه و ١١ دقیقه الی ٣٨ درجه و ٢٥ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. محدوده تسوج یکی از حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه به‌شمار می‌رود که از طرف شمال در ادامه کوه‌های میشو به کوه‌های قاطر اوچان متصل بوده و از طرف جنوب هم به دریاچه ارومیه می‌رسد (کوهپایه‌ای-ساحلی). مساحت حوضه آبریز تسوج حدود ٥٥٩ کیلومترمربع و وسعت آبخوان آن حدود ٢٦٢ کیلومترمربع می‌باشد. در محدوده تسوج رودخانه دائمی جریان نداشته و فقط ٨ مسیل یا رودخانه فصلی در آن جریان دارد. مهم‌ترین رودخانه فصلی منطقه رودخانه‌ای است که از کوه‌های میشو سرچشمه گرفته و از شمال‌شرق منطقه وارد دشت می‌شود. گستره بزرگی در جنوب حوضه به علت عقب‌نشینی دریاچه به‌صورت شوره‌زار در آمده است. شیب سطح زمین از دامنه‌ها به سمت دریاچه به‌تدریج کم شده و در شوره‌زارهای ساحلی کم‌وبیش هموار می‌باشد. بلندترین نقطه در محدوده مطالعاتی تسوج بر پایه نقشه توپوگرافی، کوه علمدار به ارتفاع ٣١١٣ متر و پست‌ترین نقطه ١٢٧٨ متر در نزدیکی‌های ساحل دریاچه و روستای شیخ ولی است. بیش‌تر دره‌ها و مخروط‌افکنه‌های منطقه حالت V شکل و شیب تندی دارند. شیب منطقه به سمت جنوب و جنوب‌غربی و میزان آن در شرق حوضه ١٠ درصد، در بخش میانی دشت ٢ درصد و در شمال‌شرق ٨ درصد می‌باشد. (شکل ١) موقعیت حوضه آبریز تسوج را در کشور و نسبت به استان آذربایجان‌شرقی نشان می‌دهد.

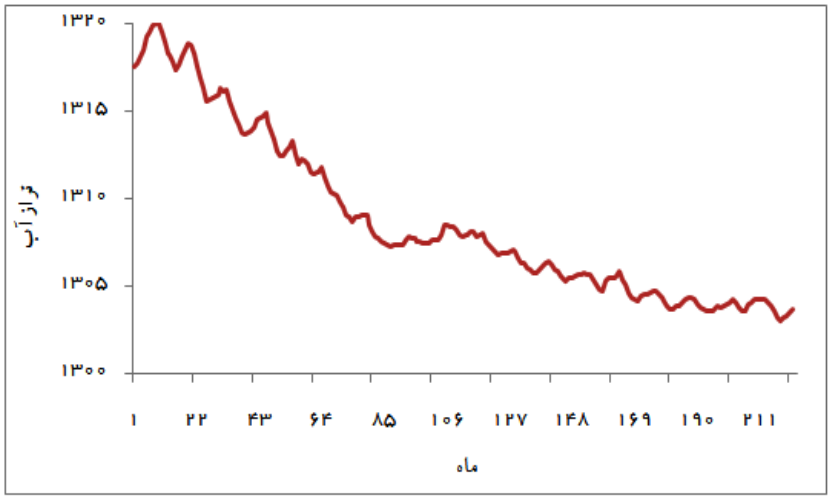


شکل ١: موقعیت منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مواد و روش‌ها

در این مطالعه به‌منظور آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج با استفاده از فن سری‌های زمانی، آمار ماهانه تراز آب از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌شرقی طی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۷۳ اخذ گردید. (شکل ۲) تغییرات تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج را بین سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۷۳ نشان می‌دهد.



شکل ۲: تغییرات تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج بین سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۷۳

برای تشخیص الگوی اولیه برای یک سری ایستا از تابع خودهمبستگی نمونه[۷] (ACF) و تابع خودهمبستگی جزء[۸] (PACF) استفاده شد. تابع خودهمبستگی نمونه که آن را با $\hat{\rho}(k)$ نشان می‌دهند عبارت از همبستگی بین سری سطح آب زیرزمینی با همان سری در تاخیر k مین ماه است. مقدار ACF نمونه از رابطه زیر محاسبه می‌شود (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۷: ۸۲۹-۸۱۹).

رابطه (۱)

$$\hat{\rho}(k) = r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k}(Z_t - \overline{Z})(Z_{t+k} - \overline{Z})}{\sum_{t=1}^{n}(Z_t - \overline{Z})^2}$$

که در آن r_k ضریب خودهمبستگی سری سطح آب زیرزمینی در تاخیر k، $\overline{Z}$ میانگین سری سطح آب زیرزمینی و Z_t مقدار سری در زمان t و n تعداد مشاهدات سری می‌باشد. تابع خودهمبستگی جزء (PACF) عبارت است از همبستگی بین سری سطح آب زیرزمینی در t و t+k وقتی که وابستگی خطی سری سطح آب زیرزمینی در t+1 و...و t+k-1 حذف شده باشد، تابع خودهمبستگی جزء نمونه از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (نیرومند، ۱۹۹۷: ٤٤).

7- autocorrelation function (ACF)
8- Partial autocorrelation function (PACF)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

رابطه (۲)

$$\hat{\phi}_{k+1,k+1}=\frac{\hat{\rho}_{k+1}-\sum_{j=1}^{k}\hat{\phi}_{kj}\hat{\rho}_{k+1-j}}{1-\sum_{j=1}^{k}\hat{\phi}_{kj}\hat{\rho}_{j}}$$

رابطه (۳)

$$\hat{\phi}_{k+1,k+1}\text{-}\ \hat{\phi}_{kj}\ \hat{\phi}_{k+1,j}\ \hat{\phi}_{k,k+1-j}$$

برای الگوبندی سری زمانی یک فرآیند از انواع مختلف فرآیندهای احتمالاتی ازجمله: فرآیندهای تصادفی، فرآیندهای میانگین متحرک و اتورگرسیو، الگوهای اتورگرسیو میانگین متحرک و اتورگرسیو تجمعی میانگین متحرک استفاده می‌شود (باکس و کاکس، ۱۹٦٤: ۲۱۵).

پس از شناسایی آزمایشی الگوی سری زمانی لازم است پارامترهای آن با یکی از روش‌ها مانند حداکثر درست نمایی[9] برآورد شود. در تحلیل سری‌های زمانی ممکن است چندین الگو برای توصیف مجموعه‌ای از داده‌های معلوم تشخیص داده شوند. برای انتخاب بهترین الگو از بین الگوهای مختلف، عموما از معیار آگاهی آکائیک[10] (AICC) استفاده می‌شود. این معیار به صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه (٤)

$$AICC=-2(\log L(\phi,\theta,\sigma^{2})+M)$$

که درآن M تعداد پارامترهای الگو است. بروکویل و داویس (۱۹۹٦) برای محاسبه آن رابطه زیر را پیشنهاد نموده‌اند.

رابطه (۵)

$$M=\frac{2(p+q+1)n}{(n-p-q-2)}$$

که در آن p و q مراتب الگوی ARMA و n تعداد مشاهدات است. حداقل بودن مقدار این معیار بر مناسب بودن الگوی انتخاب شده دلالت دارد. پس از برازش الگوی سری زمانی، برای آزمون واقعی بودن توصیف داده‌ها با الگوی حاصل، باقی‌مانده‌های سری تحلیل می‌شوند. مقدار باقی‌مانده‌ها از رابطه زیر حاصل می‌شود:

رابطه (٦) مقدار پیش‌بینی شده-مقدار واقعی= مقدار باقی‌مانده‌ها

در صورت مناسب بودن الگو، انتظار می‌رود نمودار تغییرات باقی‌مانده‌ها در طول زمان، طرح بدون روندی را نشان دهند یا ACF و PACF سری باقی‌مانده‌های الگوها به‌طور عمده در درون دامنه بحرانی قرارگرفته باشد (چاتفیلد، ۱۹۹٦: ۲۱۳). صحت سنجی مدل‌های پیش‌بینی به‌منظور سنجش دقت مدل‌ها در انجام پیش‌بینی‌ها انجام می‌شود؛ که

9- Maximum likelihood
10- Akaike information criterion

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

میانگین قدر مطلق خطای نسبی (MARE) و ضریب تعیین (R2) از کاربردی‌ترین آن‌ها می‌باشد که از روابط زیر به‌دست می‌آیند.

رابطه (۷)

$$MARE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{z_i - \hat{z}_i}{z_i}\right|$$

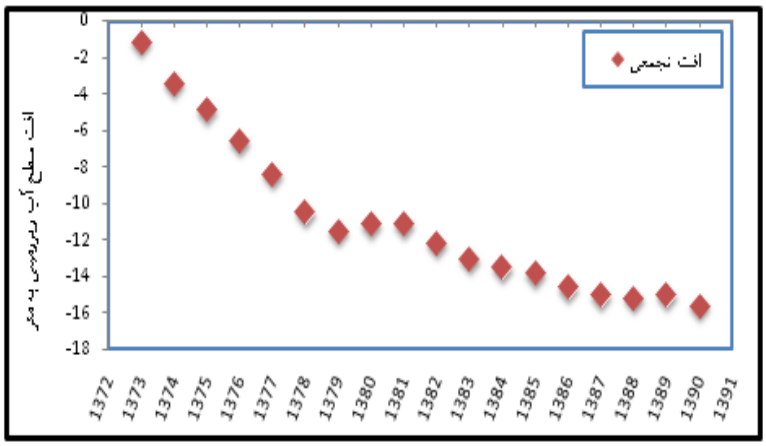
رابطه (۸)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(z_i - \hat{z}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(z_i - \bar{z})^2}$$

در روابط بالا z_i مقادیر مشاهداتی و $\hat{z}_i$ مقادیر برآورد شده و $\bar{z}$ میانگین مقادیر مشاهده شده است.

یافته‌ها و بحث

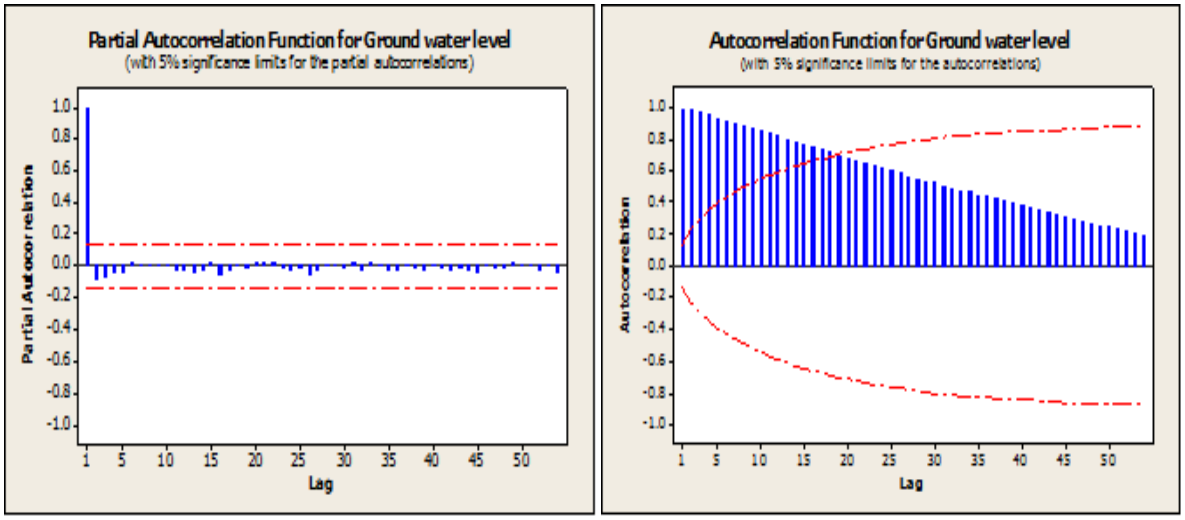
در این مطالعه برای بررسی و پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج، میانگین سری افت تجمعی سطح آب زمینی نسبت به مقادیر سال آبی ۱۳۷۳ (سال پایه) محاسبه و نتایج سال‌های مختلف با فواصل مساوی در (شکل ۳) رسم شده است. نتایج نشان داد در طول ۱۹ سال مورد بررسی، سطح تجمعی آب زیرزمینی در طول سال‌های مختلف روند کاهشی داشته است. به‌طوری که در طول نوزده سال بررسی ۱۵ متر از سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز تسوج افت داشته است. می‌توان گفت به‌طور میانگین هر سال حدود ۷۸ سانتی‌متر از سطح آب زیرزمینی در این حوضه کاسته می‌شود.



شکل ۳: افت تجمعی سطح آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج

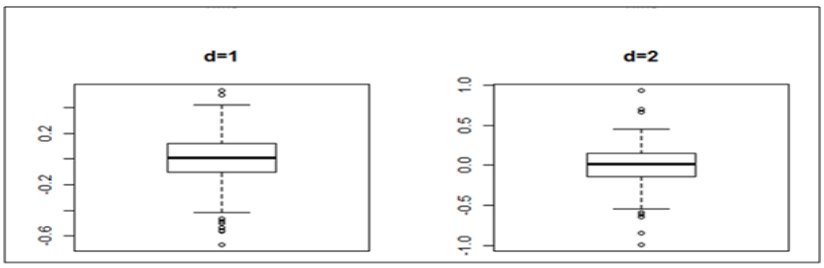
بر اساس داده‌های افت سطح آب زیرزمینی نمودار تغییرات ضرایب خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزء (PACF) تا تاخیرهای به تعداد یک سوم تعداد کل مشاهدات در (شکل ٤) نشان داده شد که در آن دامنه بحرانی به‌صورت خطوط موازی رسم شده است. نمودار خودهمبستگی نشان از نامانا بودن داده‌ها دارد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ٤: خودهمبستگی نگار و خودهمبستگی جزء نگار سری افت تجمعی سطح آب زیرزمینی در تاخیرهای مختلف

علاوه بر استفاده از نمودار خودهمبستگی برای بررسی مانا بودن داده‌ها از آزمون ریشه واحد دیکی فولر (ADF) و رسم نمودار خطا استفاده شد؛ که مقدار P value به‌دست آمده از آزمون دیکی فولر (۰/۲۹) نیز دلالت بر نامانا بودن داده‌ها داشته و نمودار خطا نیز همین نتیجه را در برداشت لذا برای تفکیک روند و ایستا سازی سری داده‌ها از عمل تفاضلی کردن استفاده شد. از نمودار جعبه‌ای برای تعیین درجه تفاضل‌گیری استفاده شد و با توجه به نمودارهای جعبه‌ای حاصل از تفاضل گیری d=1 و d=2 مرتبه تفاضل‌گیری d=1 مناسب تشخیص داده شد. (شکل ۵) نشان دهنده این است که برای داده‌های تفاضلی با درجه یک (d=1)، ۵۰٪ داده‌ها در فاصله بین ۰/۱- و ۰/۱۱۹ قرار گرفته‌اند ولی برای داده‌های تفاضلی با درجه ۲، ۵۰٪ درصد داده‌ها در فاصله بین ۰/٤۲- و ۰/۱٤۳ قرار گرفته است؛ به عبارت دیگر d=1 نشان از واریانس و مشاهدات دور افتاده‌ی کم نسبت به d=2 می‌باشد. لذا مرتبه تفاضل‌گیری جهت ایستاسازی داده‌ها d=1 انتخاب شد.



شکل ۵: نتایج حاصل از مرتبه تفاضل گیری ۱ و ۲

در (جدول ۱) مشخصات الگوهای مختلف قابل انتخاب برای بیان افت تجمعی سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز تسوج برای داده‌های تفاضلی با درجه یک ارائه شده است. بر اساس معیار آگاهی اکائیک که حداقل مقدار برای آن، مدل بهینه را نتیجه می‌دهد، از بین الگوهای مندرج در (جدول ۱) الگوی ARIMA (2 ,0 ,3) مناسب تشخیص داده

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

شد. معیار آگاهی آکائیک این الگو برابر ۷۸/۷۶- می‌باشد که کم‌ترین مقدار نسبت به مقدار معیار سایر الگوهای (جدول ۱) می‌باشد.

جدول ۱- الگوهای ممکن برای انتخاب مناسب‌ترین الگوی افت تجمعی سطح آب در آبخوان تسوج

نوع الگو	مرتبه p	مرتبه d	مرتبه q	مقدار ثابت معادله	AIC
ARIMA (1,0,0)	۱	۰	۰	-۰/۰۶۰	-۳٤/۱۱
ARIMA (1,0,1)	۱	۰	۱	-۰/۰٦	-۳۲/٦۲
ARIMA (1,1,1)	۱	۱	۱	۰	-۲۹/۱
ARIMA (0,0,1)	۰	۰	۱	-۰/۰٦۱	-۱۸/٦٥
ARIMA (0,1,1)	۰	۱	۱	۰	۱۱/٥٤
ARIMA (1,1,0)	۱	۱	۰	۰	۱۳/٥٤
ARIMA (2,1,3)	۲	۱	۳	۰	-٦۹/٦۹
ARIMA (3,0,2)	۳	۰	۲	-۰/۰٦٦	-۷۷/٤
ARIMA (2,0,1)	۲	۰	۱	-۰/۰٦٦	-٤۳/۱۱
ARIMA (2,0,3)	**۲**	۰	**۳**	**-۰/۰٦۷**	**-۷۸/۷٦**

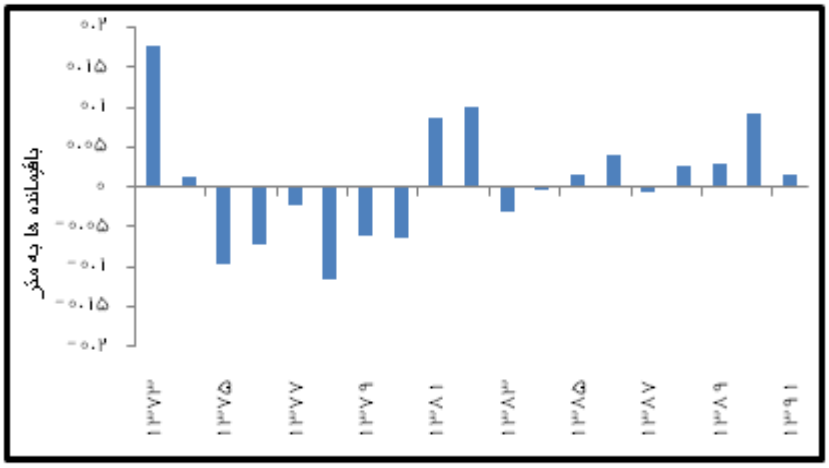
P-value به‌دست آمده از آزمون دیکی فولر برای داده‌های تفاضلی با درجه یک برابر ۰/۰۱ به‌دست آمد که بیانگر ایستایی داده‌های تفاضلی درجه یک در سطح اطمینان ۹۹ درصد است. بنابراین الگوی انتخاب شده برای بیان سری زمانی سطح آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج به‌صورت زیر تنظیم شد:

$Z_t = GWL_t - GWL_t$ رابطه (۹)

$$\hat{z}_t = -0.067 + 1.72z_{t-1} - 0.99z_{t-2} - 1.37\varepsilon_{t-1} + 0.46\varepsilon_{t-2} + 0.22\varepsilon_{t-3}$$ رابطه (۱۰)

برای رابطه (۹) GWL_t سطح آب زیرزمینی در زمان t و GWL_{t-1} سطح آب زیرزمینی در زمان (t-1) است. z_t مقدار تفاضلی درجه یک در زمان t که از تفاضل‌گیری مقادیر سطح آب زیرزمینی در زمان مشخص t با مقادیر سطح آب زیرزمینی در زمان (t-1) به‌دست می‌آید. $\hat{z}_t$ مقدار پیش‌بینی شده برای زمان t بر اساس مقادیر تفاضلی درجه یک و مقادیر خطا با توجه به رابطه (۱۰) است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

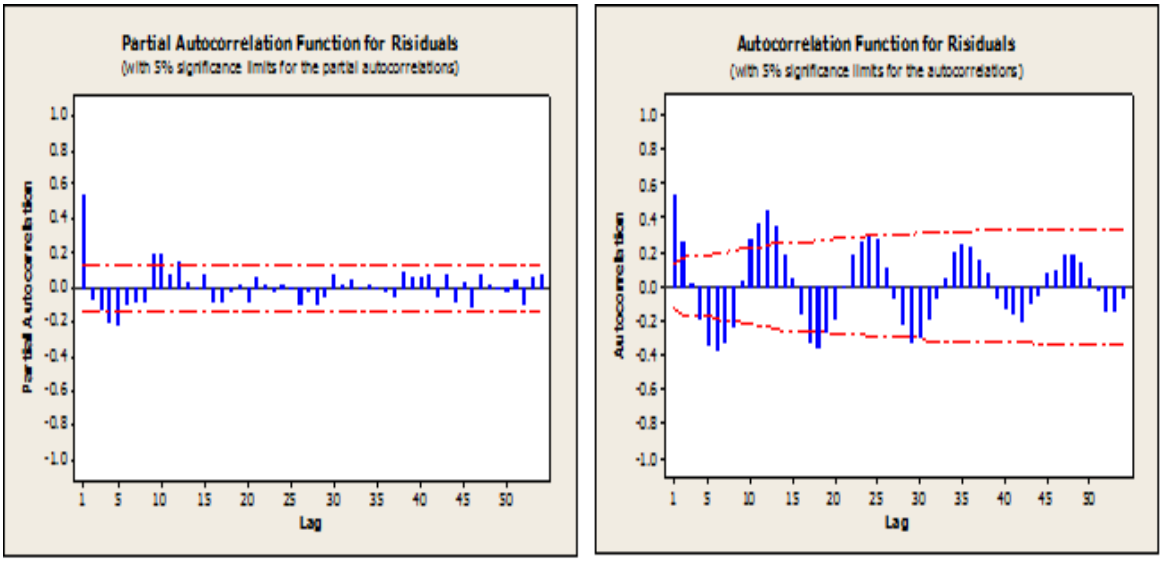


شکل ٦: باقی‌مانده الگوی سری زمانی افت سطح آب زیرزمینی

پس از شناسایی الگوها و برآورد پارامترها لازم است درستی تشخیص الگوها بررسی شود. با توجه به این که سری باقی‌مانده‌ها نتیجه برآورد پارامترهای الگو است. بنابراین بررسی درستی تشخیص الگو با تحلیل سری باقی‌مانده‌ها صورت می‌گیرد. مقادیر باقی‌مانده‌های الگوی سری افت سطح آب زیرزمینی در نوزده سال مورد بررسی، در (شکل ٦) بر اساس میانگین سالانه رسم شده است. مشاهده می‌شود که تغییرات باقی‌مانده‌ها روند خاصی ندارد. مقادیر باقی‌مانده الگوی سری افت سطح آب زیرزمینی تفاضلی درجه یک باید دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس ثابت باشد. P-value به‌دست آمده از آزمون شاپیرو-ویلک برای باقی‌مانده‌های داده تفاضلی درجه یک افت سطح آب زیرزمینی برابر 4.42×10^{-9} است که نشان از نرمال بودن مقادیر باقی‌مانده‌ها است.

برای بررسی تصادفی بودن باقی‌مانده‌ها، مقادیر ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزیی باقی‌مانده‌ها برآورد شد (شکل ۷). مقادیر ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقی‌مانده‌ها نشان می‌دهد که مقادیر خودهمبستگی در محدوده ۹۵ درصدی قرار گرفته و با افزایش تأخیر همبستگی صفر و مقادیر از یکدیگر مستقل می‌باشند. بنابراین می‌توان گفت تغییرات باقی‌مانده‌ها تصادفی بوده و الگوی انتخاب شده مناسب است. در نتیجه با پذیرش الگوی یادشده، می‌توان تغییرات سطح ایستابی در سال‌های آینده را با فرض ادامه یافتن شرایط موجود بهره‌برداری و روند کنونی الگوی مصرف آب زیرزمینی در دشت به‌صورت نسبتاً دقیق پیش‌بینی نمود. برای پیش‌بینی افت حجم آب زیرزمینی در سال‌های آینده نخست باید معنی‌داری پارامترهای الگوی ARIMA (2 ,0 ,3) در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد آزمون قرار گیرند. بر اساس نتایج به‌دست آمده در (جدول ۲)، فرض صفر بودن پارامترهای الگوی ARIMA (2 ,0 ,3) حداقل در سطح اطمینان ۹۵ درصدی رد می‌شود. مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از الگوی آریما نشان داد با فرض ادامه یافتن شرایط موجود بهره‌برداری و روند کنونی الگوی مصرف آب زیرزمینی در دشت، میانگین افت تجمعی سطح آب زیرزمینی در اولین سال (۱۳۹۲) و آخرین سال پیش‌بینی (۱٤۰۱) نسبت به سال پایه (۱۳۷۳) به‌ترتیب ۱۵/۹ و ۲۳/۱۵ متر افت خواهد داشت.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل ۷: خودهمبستگی نگار و خودهمبستگی جزء نگار سری باقی‌مانده‌های الگوی اتورگرسیو میانگین متحرک

جدول ۲- مقادیر و سطح احتمال معنی‌داری ضریب الگوی اتورگرسیو میانگین متحرک

پارامترهای الگوی ARIMA(2,0,3)	برآورد پارامترها	حد پایین سطح اطمینان (۹۵٪)	حد بالا سطح اطمینان (۹۵٪)	آماره t
مقدار ثابت	-۰/۰۶۷	۱/۷۰٤	۱/۷٤٤	۱٦۷/٤۰۷
ضریب Z_{t-1}	۱/۷۲	-۱/۰۰۸	-۰/۹۷٦	-۱۲۲/۵۳۱
ضریب Z_{t-2}	-۰/۹۹	-۱/۵۰۵	-۱/۲٤۲	-۲۰/۵۰٦
ضریب ε_{t-1}	-۱/۳۷	۰/۲۵۵	۰/٦۷۸	٤/۳۳۱
ضریب ε_{t-2}	۰/٤٦	۰/۰۹۵	۰/۳۵۲	۳/٤۰۷
ضریب ε_{t-3}	۰/۲۲	-۰/۰۹۷۵	-۰/۰۳٦	-٤/۳۳۵

به منظور صحت‌سنجی داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل، مقادیر R^2 و MARE بین داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده محاسبه شد؛ که حداکثر شدن شاخص اول و حداقل بودن شاخص دوم نشان دهنده صحت بالای مدل برازش داده شده است. مقدار بالای ضریب تعیین (۰/۹۹) و مقدار پایین میانگین قدر مطلق خطای نسبی (۰/۰۰۱) در این مطالعه نمایان گر پیش‌بینی نسبتاً دقیق می‌باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۳- مقادیر پیش‌بینی شده برای تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج

سال	تراز پیش‌بینی شده	حد پایین سطح اطمینان (۹۵٪)	حد بالای سطح اطمینان (۹۵٪)
۱۳۹۲	۱۳۰۳/۰۵	۱۳۰۰/٤۲	۱۳۰۵/٦۸
۱۳۹۳	۱۳۰۲/۲۵	۱۲۹٤/۵۷	۱۳۰۹/۹۳
۱۳۹٤	۱۳۰۱/٤٤	۱۲۸۸/۵۱	۱۳۱٤/۳۷
۱۳۹۵	۱۳۰۰/٦٤	۱۲۸۲/۲۸	۱۳۱۹
۱۳۹٦	۱۲۹۹/۸۳	۱۲۷۵/۸۸	۱۳۲۳/۷۸
۱۳۹۷	۱۲۹۹/۰۲	۱۲٦۹/۳٤	۱۳۲۸/۷
۱۳۹۸	۱۲۹۸/۲۲	۱۲٦۲/٦۸	۱۳۳۳/۷۵
۱۳۹۹	۱۲۹۷/٤۱	۱۲۵۵/۹۱	۱۳۲۸/۹۲
۱٤۰۰	۱۲۹٦/٦۱	۱۲٤۹/۰۳	۱۳٤٤/۱۸
۱٤۰۱	۱۲۹۵/۸۰	۱۲٤۲/۰٦	۱۳٤۹/۵٤

نتیجه‌گیری

در این مطالعه مدل‌سازی سری زمانی برای پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی به‌منظور مدیریت و سیاست‌گذاری در زمینه منابع آب در شرایط بحرانی به کار گرفته شد. بدین منظور از مدل باکس جنکیس (ARIMA) استفاده شد. نتایج در برازش به داده‌های تراز آب نشان دهنده قابلیت بالای مدل آریما در پیش‌بینی می‌باشد. با توجه به قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه در اقلیم خشک و نیمه‌خشک و رویارویی با مشکلات ناشی از کمبود آب نتایج این مطالعه با پیش‌بینی نسبتاً دقیق تصویر روشنی از روند تراز آب زیرزمینی در آینده را نشان می‌دهد و می‌تواند مورد استفاده متخصصان و برنامه‌ریزان مرتبط با مسایل آب قرار گیرد. مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از این الگو نشان داد با فرض ادامه یافتن شرایط موجود بهره‌برداری و روند کنونی الگوی مصرف آب زیرزمینی در دشت، میانگین افت تجمعی سطح آب زیرزمینی در سال دهم پیش‌بینی (۱٤۰۱) نسبت به سال پایه ۲۳/۱۵ متر خواهد بود. مطالعات ضرغامی و همکاران، در بررسی تغییر اقلیم استان آذربایجان شرقی و رضایی بنفشه و همکاران در بررسی روند دما و بارش‌های روزانه حدی در حوضه دریاچه ارومیه بیانگر کاهش بارش و افزایش دما در سال‌های آتی می‌باشد. حبیب‌زاده (۱۳۹۰) در بررسی خشکسالی و اثرات آن در افت آب‌های زیرزمینی منطقه تسوج به نتایج مشابه با این تحقیق دست یافت. همچنین نتایج این تحقیق همسو با یافته‌های سایر پژوهشگران نظیر رحمانی و سدهی (۱۳۸۳)، کوهستانی (۱۳۸۸)، کرمی (۱۳۹۰) و قلعه‌نی (۱۳۹۰) می‌باشد. از جمله تهدیدات ناشی از کاهش بارش و افزایش دما کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی و به دنبال آن محدودیت در تامین آب مورد نیاز بخش‌های کشاورزی، صنعت و... خواهد بود. لذا مساله کاهش تراز آب زیرزمینی را باید موضوعی مهم و درخور توجه قلمداد نموده و با آن به‌صورت دقیق و علمی و نه انتفاعی برخورد نمود تا در صورت وقوع بحران بتوان با کم‌ترین صدمات و خسارات زیست‌محیطی، اقتصادی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

از آن عبور نمود. با توجه به وسعت آبخوان تسوج و روند قابل ملاحظه افت حجم آب زیرزمینی در سال‌های پیش‌بینی از جمله اقدامات پیشگیرانه اصلاح الگوی مصرف آب زیرزمینی، تغییر نوع محصولات کشاورزی و انتخاب گونه‌های مقاوم به خشکی با کم‌ترین احتیاجات آبی و اجرای برنامه‌های مدون آبخیزداری جهت کمک به تغذیه منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

منابع

- پورمحمدی، س؛ ملکی‌نژاد، ع؛ پورشرعیانی، ر (۱۳۹۲)، «مقایسه کارایی روش شبکه عصبی و سری زمانی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی، مطالعه موردی: زیر حوضه بختگان استان فارس»، ***نشریه پژوهش‌های آب‌وخاک***، شماره ۲۰، صص ۳٤-۲۰.

- حبشی، ر (۱۳۹۳)، «پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های سری زمانی، مطالعه موردی: دشت ارومیه»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

- حبیب‌زاده، ا؛ محمدی، ع؛ مصطفایی، ا (۱۳۹۰)، «خشکسالی و اثرات آن در افت آب‌های زیرزمینی، مطالعه موردی: منطقه تسوج در شمال دریاچه ارومیه»، اولین کنفرانس ملی خشکسالی و تغییر اقلیم، ۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۰، مرکز تحقیقات کم‌آبی و خشکسالی در کشاورزی و منابع طبیعی شهر کرج.

- دودانگه، ا؛ عابدی کوپائی، ج؛ گوهری، ع (۱۳۹۱)، «کاربرد مدل سری‌های زمانی به منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده در راستای مدیریت منابع آب»، ***مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌وخاک***، شماره ۵۹، صص ۷٤-۵۹.

- رضایی‌بنفشه، م؛ سرافروزه، ف؛ جلالی، ط (۱۳۹۰)، «بررسی روند دما و بارش‌های روزانه حدی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه»، ***نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی***، شماره ۳۸، صص ۷٤-٤۳.

- رحمانی، ع؛ سدهی، م (۱۳۸۳)، «پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت همدان-بهار با مدل سری زمانی»، ***فصلنامه آب و فاضلاب***، سال ۱۵، شماره ۵۱، صص ٤۹-٤۲.

- شکیبا، ع؛ میرباقری، ب؛ خیری، ا (۱۳۸۹)، «خشکسالی و تاثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI»، ***فصلنامه انجمن جغرافیای ایران***، سال هشتم، شماره ۲۵، صص ۱۲٤-۱۰۵.

- شیروانی‌ایچی، ح؛ رشک‌علیا، ه؛ ذونعمت کرمانی، م (۱۳۹۲)، «شبیه‌سازی و پیش‌بینی وضعیت آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از مدل‌های بازگشتی و سری زمانی استوکاستیک»، اولین کنفرانس ملی هیدرولوژی مناطق خشک، ۳ تا ۵ اردیبهشت ۱۳۹۲، جهاد دانشگاهی استان کردستان.

- فریدپور، م (۱۳۹۲)، تحلیل و بررسی تاثیر خشکسالی بر خصوصیات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مرند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تبریز.

- فرزین، م؛ جباری، م؛ اکبری، م (۱۳۸۸)، «نقش خشکسالی‌های اخیر در افت سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی استان فارس، مطالعه موردی: شهرستان زرین دشت»، همایش ملی مدیریت بحران آب، ۱٦ اسفند ۱۳۸۸، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

- قهرمان، ن؛ قره‌خانی، ا (۱۳۹۰)، «ارزیابی مدل‌های تصادفی سری زمانی در برآورد تبخیر از تشت، مطالعه موردی: ایستگاه شیراز»، ***مجله پژوهش آب در کشاورزی***، شماره ٦۰، صص ۸۱-۷۵.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

– قلعه‌نی، م؛ ابراهیمی، ک؛ عراقی‌نژاد، ش (۱۳۹۰)، «ارزیابی تاثیر خشکسالی بر نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از شاخص استاندارد شده، مطالعه موردی: آبخوان دشت ساوه»، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۰، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

– کرمی، ف؛ اسمعیل‌پور، م (۱۳۹۰)، «بررسی تاثیر تغییر بارش بر روند افت سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، مطالعه موردی: دشت سراب»، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۰، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

– کوهستانی، ن؛ مفتاح‌هلقی، م؛ دهقانی، ا (۱۳۸۸)، «تاثیر تغییرات اقلیمی بر روی سطح آب زیرزمینی، مطالعه موردی: منطقه نرماب استان گلستان»، همایش ملی مدیریت بحران آب، ۱۶ اسفند ۱۳۸۸، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

– محمدی، م؛ مرادی، ح؛ وفاخواه، م (۱۳۸۷)، «تعیین خشکسالی آب‌های زیرزمینی دشت اراک با استفاده از شاخص SWI و رویکرد GIS»، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۲۳ تا ۲۵ مهر ۱۳۸۷، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز.

– ضرغامی، م؛ حسن‌زاده، ی (۱۳۸۹)، «مطالعه تغییر اقلیم و اثرات آن بر خشکسالی استان آذربایجان شرقی»، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ۲۱ تا ۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۹، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه.

- Box, G. E. P., Cox, D. R., (1964), "An analysis of transformation", ***Journal of the Royal Statistical Society*, *Series B***, 26 (2): 211-252.

- Brockwell, P. J., Davis, R. A., (1996), "***Introduction to time series and forecasting***, Springer-Verlag, New York.

- Chow, V. T, Kareliotis, S. J., (1970), "Analysis of stochastic hydrologic systems, ***Water Resources Re*search**, 6 (6): 1569–1582.

- Chatfield, C., (1996), "***The Analysis of Time Series*"**, 5th ed., Chapman & Hall, New York.

- Niroomand, H. A., (1997), "***Time series analysis*"**, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

- Padilla, A., Puldo-Bosch, A., Cavache, M., Vallejos, A., (1996), "The ARMA model applied to the flow of Karst Spring", ***Water Resources Bulletin***, 32 (5): 917-928.

- Siadat, H., (2000), "Iranian agriculture and salinity, In: Proc. Of the conference on new technologies to combat desertification", Tehran, Iran, pp: 10-14.

-Salas, J. D., Delleur, J. W., Yevjevich, V., Lane, W. L., (1980), "Applied modeling of hydrologic time series", ***Water Resources publications***, Littleton, Colorado.

- Samani, N., Raeissi, E., Soltani, A., (1994), "Modeling the stochastic behavior of the Fars river", ***Journal of Science IRI***, 5: 49-58.

- Samani, N., (2001), "Response of karst aquifer to rainfall and evaporation in Maharlu **basin", *Journal of Cave and Karst Studies*, 63 (12): 23-40.**

- Soltani, S., Modarres, R., Eslamian, S., (2007), "The use of time series modeling for the determination of rainfall climate of Iran", ***International Journal of Climatology***, 27 (6): 819-829.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]