



Gonbad Kavous University
Journal of New Approaches in
Water Engineering and Environment
Volume 1, Issue 2

Introduction and application of transfer function model to predict the process of rainfall-groundwater level in Golestan province

Youl Aman Nazeri¹, Nader Jandaghi^{2*}, Mojtaba Ghareh Mahmoodlu³, Majid Azimmohseni⁴

¹MSc in watershed management, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad, Iran

²Assistant Professor in Engineering Hydrology, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad, Iran

³Assistant Professor in Environmental hydrogeology, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad, Iran

⁴Associate Professor in Statistics, Department of Statistics, Faculty of Science, Golestan University, Gorgan, Iran

Received: 08.11.2022; Accepted: 06.02.2023

Abstract

Groundwater is one of the most valuable water resource in Iran, which is mainly influenced by rainfall patterns in a region. In the present study, 30-years rainfall and groundwater level data were used in the three watersheds of Galikesh, Ramian and Mohammadabad to model the rainfall and groundwater level. The prediction of the groundwater level using the rainfall data for the next 12 months was done using the Transfer Function (TF) and using SAS and MINITAB software. Validation of predicted values was done using MAD, RMSE and MAPE indices. The results showed that according to the autocorrelation diagrams, all-time series have seasonal trend with a period of 12 months. The results of the autocorrelation diagrams showed that in Galikesh and Mohammadabad watersheds, rainfall has a direct effect on the groundwater level with a delay of three months, but in the Ramian watershed, this delay was one month. It was also found that the transfer function model had a good performance in fitting the monthly groundwater level in all 3 studied watersheds.

Keywords: Transfer Function, Cross Correlation, Modelling, Rainfall, Groundwater level.

* Corresponding author, Email: nader.jandaghi@gmail.com



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست"
دوره اول، شماره دوم

<http://Nawee.gonbad.ac.ir>

معرفی و کاربرد مدل تابع انتقال جهت پیش‌بینی فرآیند بارش-تراز آب زیرزمینی در استان گلستان

یول امان ناظری^۱، نادر جندقی^{۲*}، مجتبی قره‌محمودلو^۳، مجید عظیم محسنی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

^۲ استادیار هیدرولوژی مهندسی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران

^۳ استادیار هیدروژئولوژی زیست‌محیطی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران

^۴ دانشیار آمار، گروه آمار، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۷

چکیده

آب‌های زیرزمینی یکی از ارزشمندترین منابع آبی در کشور ایران بوده که عمدتاً تحت تأثیر الگوهای بارش در یک منطقه قرار دارند. در پژوهش حاضر از آمار ۳۰ ساله بارش و تراز آب زیرزمینی در سه حوزه آبخیز گالیکش، رامیان و محمدآباد جهت مدل‌سازی بارش-تراز آب زیرزمینی استفاده شد. پیش‌بینی مقادیر تراز آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های بارش برای ۱۲ ماه آینده به کمک مدل تابع انتقال با استفاده از نرم‌افزارهای MINITAB و SAS انجام شد. اعتبارسنجی مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از شاخص‌های RMSE، MAD و MAPE انجام شد. نتایج نشان داد با توجه به نمودارهای خودهمبستگی‌نگار، در همه سری‌های زمانی مورد استفاده روند فصلی با دوره تناوب ۱۲ ماهه وجود دارد. نتایج نمودار خودهمبستگی متقابل نشان داد در حوزه‌های آبخیز گالیکش و محمدآباد بارش با سه ماه تأخیر بر تراز آب زیرزمینی تأثیر مستقیم گذاشته است اما در حوزه آبخیز رامیان این تأخیر یک ماهه بود. همچنین مشخص شد مدل تابع انتقال در برازش مقادیر تراز آب زیرزمینی ماهانه در هر ۳ حوزه آبخیز مورد بررسی عملکرد مناسبی داشته است.

کلمات کلیدی: تابع انتقال، همبستگی متقابل، مدل‌سازی، بارش، تراز آب زیرزمینی.

*. نویسنده مسئول، Email: nader.jandaghi@gmail.com

مقدمه

کشور ایران به علت واقع شدن در منطقه خشک و نیمه خشک، از نظر منابع آب در وضعیت نامطلوبی نسبت به متوسط دنیا قرار دارد. در حال حاضر حدود ۵۵٪ نیاز آبی کشور، از طریق منابع آب زیرزمینی تامین می گردد که به هیچ وجه با تغذیه آبخوان ها مطابقت ندارد. در چند سال اخیر، افت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در اغلب مناطق ایران مشاهده شده به طوری که در اکثر آبخوان ها، بیلان آب منفی بوده و کیفیت آب به شدت افت کرده است (Jandaghi et al, 2021).

سطح آب های زیرزمینی به میزان مشخصی مربوط به میزان بارش در منطقه است. به طور کلی سیستم های آبی زیرزمینی عمدتاً تحت تأثیر الگوهای بارش در یک منطقه قرار دارند اما مواردی دیگری مانند میزان بارندگی، تبخیر و تعرق، دما، رطوبت هوا، میزان برداشت از منابع آبی و غیره نیز در آن نقش دارند (Nazeri et al., 2023).

در ایران شرایط اقلیمی به گونه ای است که حتی در پرباران ترین مناطق کشور، به آب زیرزمینی نیاز است و همه ساله این نیاز بیشتر می شود، به ویژه اینکه در خشک سالی ها مسائل و مشکلات ناشی از آن ها افزایش می یابد. بنابراین شناخت و پیش بینی تغییرات این منابع به منظور تدوین برنامه بهره برداری بهینه و صحیح با هدف توسعه پایدار یک منطقه به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار ضروری است. بدین منظور یافتن تأثیرات بارندگی و پیش بینی تغییرات آن بر تراز آب های زیرزمینی ضروری است (Rashidi et al., 2016). در حوزه های بسیار نفوذپذیر، سیستم های آبی زیرزمینی به سرعت نسبت به افزایش بارش واکنش نشان داده و سطح آب زیرزمینی افزایش می یابد (Gunduz and Simsek, 2011). از سوی دیگر، تمام دخالت های طبیعی و انسانی، این ارتباط را تغییر داده و الگوی غیرمنتظره ای را ایجاد می کنند. در چنین شرایطی، درک ارتباط بین بارش و سطح آب زیرزمینی مشابه آنچه که بین بارندگی و رواناب در رودخانه ها مشاهده می شود، مشکل است (Fistikoglu et al., 2016).

تاکنون مدل های مختلفی برای پیش بینی تغییرات تراز آب زیرزمینی با استفاده از الگوی بارش ارایه شده است اما

در این بین به مدل تابع انتقال^۱ کمتر توجه شده است. تابع انتقال در واقع یک مدل ناپیوسته^۲ پیشرفته سری زمانی است که علاوه بر داده های سری ورودی، بر روی باقی مانده های مدل نیز مدل مناسب برازش می دهد و برخلاف دیگر مدل های سری زمانی یک مدل چندمتغیره است. مدل تابع انتقال یک رابطه دینامیکی بین یک سری زمانی به عنوان متغیر پاسخ و یک یا چند سری زمانی به عنوان متغیر پیش بینی کننده برقرار می کند. این مدل با در نظر گرفتن تأخیر رابطه بین سری های زمانی، به پیش بینی سری زمانی پاسخ می پردازد.

از بین پژوهش های پراکنده ای که از مدل تابع انتقال جهت مدل سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده کرده اند می توان به مطالعات زیر اشاره داشت. (Eslahi 2003) جهت پیش بینی بارندگی ماهانه، فصلی و سالانه تبریز از مدل توابع انتقال استفاده نمود. در این مطالعه سری ورودی شامل پارامترهای دما، رطوبت، و فشار و سری خروجی بارش انتخاب شد. نتایج برازش مدل نشان داد که استفاده از تابع انتقال دقت قابل توجهی در پیش بینی بارش داشته است. (Jandaghi et al 2021) جهت پیش بینی و مدل سازی فرآیند بارش و رواناب در استان گلستان از دو مدل ساریما و تابع انتقال استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل تابع انتقال دقت پیش بینی را تا دو برابر نسبت به مدل ساریما افزایش داده است. (Willem et al 2019) در مدل سازی اتوماتیک سری های زمانی برای پیرومترها در کشور هلند، جهت استخراج توابع پاسخ تکرانه ای در دامنه فرکانس مقادیر بارش و تبخیر برای هر پیرومتر از مدل تابع انتقال استفاده نموده اند. نتایج نشان داد استفاده از این روش می تواند در تجزیه و تحلیل سیستم آب زیرزمینی موثر باشد. (Michiel et al 2020) جهت مدل سازی دینامیک رطوبت خاک در شرق کشور هلند از روش تابع انتقال و سنجش از دور استفاده کردند. نتایج این بررسی نشان داد که مدل سازی شرایط رطوبت خاک با استفاده از مدل تابع انتقال وقتی که از توابع نمایی برای

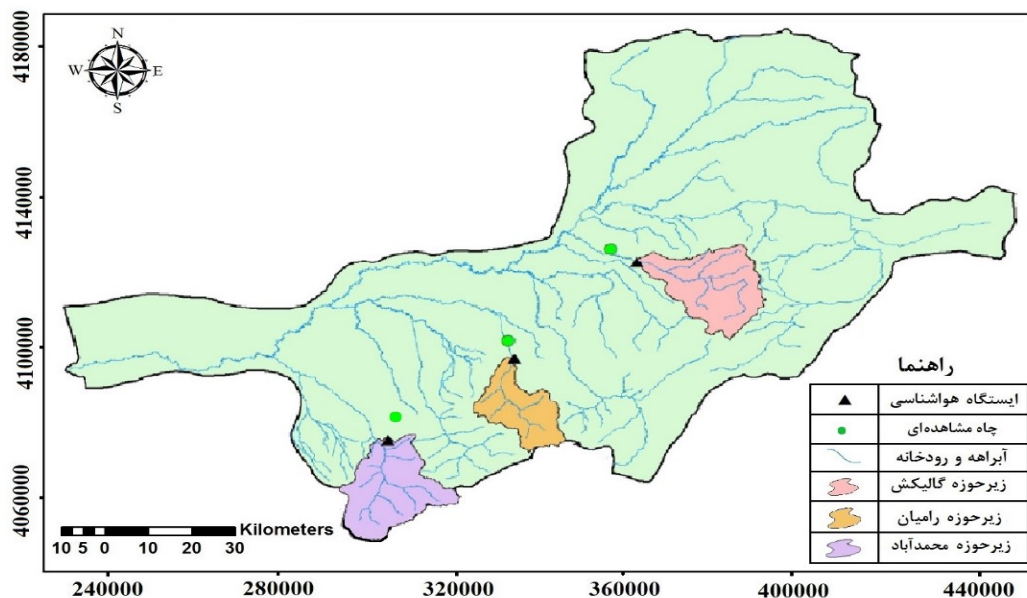
¹ - Transfer Function

² - Non stationary

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی ارتباط بین بارش و تراز آب زیرزمینی، سه زیرحوزه از سرشاخه‌های آبریز گرگانود شامل گالیکش، محمدآباد و رامیان انتخاب شدند (شکل ۱). این ۳ زیرحوزه به ترتیب در سرشاخه‌های شرقی، میانی و غربی حوزه آبریز گرگانود واقع شده‌اند. حوزه آبریز گرگانود اصلی‌ترین حوزه آبریز در استان گلستان محسوب شده که بیشترین مساحت و آبدهی را دارا می‌باشد. در محدوده هر حوزه آبخیز یک ایستگاه باران‌سنجی تعیین شد. همچنین در خروجی هر زیرحوزه، یک چاه که معرف تغییرات تراز آب زیرزمینی می‌باشد مشخص شد (جدول ۱). در این تحقیق پس از بررسی آمار ایستگاه‌های موجود، دوره آماری مشترک ۳۰ ساله (۱۳۷۱-۱۴۰۰) برای انجام پژوهش از شرکت سهامی آب منطقه‌ای گلستان تهیه گردید.

تعریف توابع پاسخ تکرانه استفاده شود، دقیق - است. (Salem (2021) در پیش‌بینی و مدل‌سازی مقادیر بارش ماهانه بر اساس مدل تابع انتقال با چند ورودی (رطوبت و دمای متوسط ماهانه) در عربستان سعودی، اظهار داشت که برای این نوع خاص از داده‌ها، مدل‌های تابع انتقال عملکرد بسیار موثری داشته است. یکی از پیچیده‌ترین فرآیندهای هیدرولوژیکی، فرآیندهای بارش-تراز آب زیرزمینی است که از پارامترهای مختلف فیزیکی و هیدرولوژیکی تأثیر می‌پذیرد. درک و پیش‌بینی فرآیندهای بارش و نفوذ آن به منابع آب زیرزمینی که از منابع اصلی تامین آب شیرین در ایران می‌باشد، یکی از اساسی‌ترین مباحث علم هیدرولوژی در حوضه‌های آبخیز محسوب می‌شود. لذا هدف اصلی این پژوهش معرفی و استفاده از مدل تابع انتقال در پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی ماهانه با استفاده از آمار بارش در سرشاخه‌های حوزه آبریز گرگانود در استان گلستان می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت ۳ زیرحوزه مورد مطالعه در حوزه آبریز گرگانود

جدول ۱-مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های باران‌سنجی و چاه‌های مطالعاتی

ایستگاه یا چاه مشاهده‌ای	نام زیرحوزه	مساحت زیرحوزه (km ²)	نام ایستگاه یا چاه مشاهده‌ای	X	Y
ایستگاه باران‌سنجی	رامیان	۲۴۴	رامیان	۳۳۴۸۷۶	۴۰۹۹۰۱۱
	گالیکش	۴۴۰	گالیکش	۳۶۲۸۸۱	۴۱۲۳۷۸۸
	محمدآباد	۴۰۵	سرمو	۳۰۵۹۵۸	۴۰۷۸۱۹۲
چاه مشاهده‌ای	رامیان	۲۴۴	قره‌قاج	۳۳۳۵۲۹	۴۱۰۳۶۶۱
	گالیکش	۴۴۰	جنوب اسماعیل‌آباد	۳۵۶۹۱۰	۴۱۲۷۲۲۸
	محمدآباد	۴۰۵	پیچک محله ۲	۳۰۷۱۸۵	۴۰۸۶۸۵۱

می‌دهند.

گام دوم: محاسبه تابع خودهمبستگی متقابل بین دو سری زمانی حاصل از گام اول برای شناسایی پارامترهای (b, s, r) .

$$\nabla^{d_1} \nabla_{T_1}^{D_1} Y_t = \mu + \frac{Cw(B)}{\delta(B)} B^b \nabla^{d_2} \nabla_{T_2}^{D_2} X_t + \eta_t \quad (۱)$$

گام سوم: برازش یک مدل SARIMA به سری زمانی باقیمانده، η_t و تعیین مدل نهایی تابع انتقال. پس از برازش یک مدل تابع انتقال، مدلی به صورت رابطه (۲) حاصل می‌شود:

$$Y_t = I_{T_t} + I_{X_t} + I_{Z_t} \quad (۲)$$

که در آن I_{T_t} سهمی از تغییرات متغیر پاسخ است که توسط زمان‌های ماقبل خودش تفسیر می‌گردد. I_{X_t} سهمی از تغییرات در متغیر پاسخ است که توسط سری زمانی ورودی تفسیر می‌گردد. I_{Z_t} شرایط محیطی موثر بر تغییرات متغیر پاسخ می‌باشد. لازم به توضیح است که در رابطه (۲) چنانچه جمله I_{X_t} حذف شود همان مدل SARIMA برای متغیر خروجی حاصل می‌شود. سپس پیش‌بینی مقادیر تراز آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های بارش برای ۱۲ ماه آینده به کمک مدل تابع انتقال و با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9 و MINITAB انجام شد. در مرحله بعد از ۳ معیار ارزیابی برای ارزیابی عملکرد مدل (روابط ۳ تا ۵) استفاده شد که در آنها \hat{Y}_t مقادیر برازش‌شده و Y_t مقدار سری زمانی مشاهده شده در زمان t و m تعداد مقادیر برازش شده یا مقادیر پیش‌بینی می‌باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^m (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{m}} \quad (۴)$$

در این پژوهش پیش‌بینی مقادیر تراز آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های بارش برای ۱۲ ماه آینده به کمک مدل تابع انتقال انجام شد. این مدل با یک سری زمانی پیش‌بینی کننده به صورت رابطه (۱) ارایه شده است:

که در آن μ و C مقادیر ثابت، η_t سری زمانی باقیمانده مدل و $w(B)$ و $\delta(B)$ دو چندجمله‌ای از عملگر پس‌رو می‌باشند. بنابراین هر تابع انتقال با $(d_1, T_1, D_1, d_2, T_2, D_2)$ و پارامترهای (b, s, r) که در آن s, r درجه چندجمله‌ای‌های $w(B)$ و $\delta(B)$ است، تعیین می‌شود. $(d_1, T_1, D_1, d_2, T_2, D_2)$ مانند برازش مدل SARIMA برای هر سری زمانی به طور جداگانه تعیین می‌شود. لازم به توضیح است که دوره تناوب دو سری زمانی ممکن است متفاوت باشد.

پارامتر b تاخیری است که بیشترین ارتباط بین دو سری زمانی در این تاخیر اتفاق می‌افتد. انتظار می‌رود که b یک عدد نامنفی باشد که زمان‌های حال و گذشته سری زمانی ورودی را به زمان‌های حال سری زمانی خروجی پیوند بزند. مقدار b از تابع خودهمبستگی متقابل قابل تشخیص می‌باشد. همچنین مقادیر s, r نیز بر اساس تابع انتقال متقابل تعیین می‌شود (Bowerman and O'Connel, 1993). مراحل ساخت یک تابع انتقال را می‌توان در ۳ مرحله زیر خلاصه کرد:

گام اول: یک مدل SARIMA به متغیر ورودی برازش شده و دقیقاً همین مدل بدون تغییر بر روی سری زمانی خروجی اعمال می‌شود. این عمل را پیش‌صافی کردن سری زمانی می‌نامند. با این تغییرات دو سری زمانی جدید حاصل شده که رابطه بین دو سری زمانی را بهتر نشان

$$MAD = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m |Y_t - \hat{Y}_t| \quad (۳)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^m \left| \frac{F_t - \hat{F}_t}{F_t} \right|}{m} \quad (5)$$

نتایج و بحث

مراحل برازش تابع انتقال برای سری زمانی تراز آب زیرزمینی با سری زمانی ورودی بارش در سه حوزه آبخیز مورد مطالعه به شرح زیر انجام شد.

الف- مرحله پیش‌صافی

برای پیش‌صافی کردن رابطه بین سری‌های زمانی ورودی (بارش) و خروجی (تراز آب زیرزمینی) یک مدل

جدول ۲- نتایج مدل‌سازی باکس و جنکینز برای سری زمانی بارش ماهانه در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب

ایستگاه هواشناسی	مدل باکس و جنکینز	مقدار معنی‌داری
گالیکش	$(0, 0, 1) \times (0, 1, 1)_{12}$	۰/۳۳۸
رامیان	$(0, 0, 2) \times (0, 1, 1)_{12}$	۰/۹۰۴
سرمو	$(0, 0, 4) \times (0, 1, 1)_{12}$	۰/۸۵۷

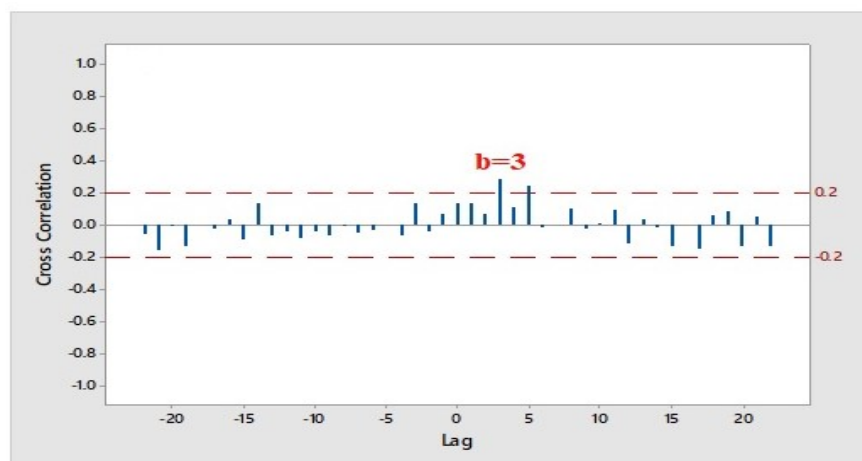
یک از حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه که از لحاظ میزان نفوذ و توان آب‌گذری شرایط متفاوتی دارند، مقدار تاخیرها منطقی به نظر می‌رسد.

ج- برازش تابع انتقال

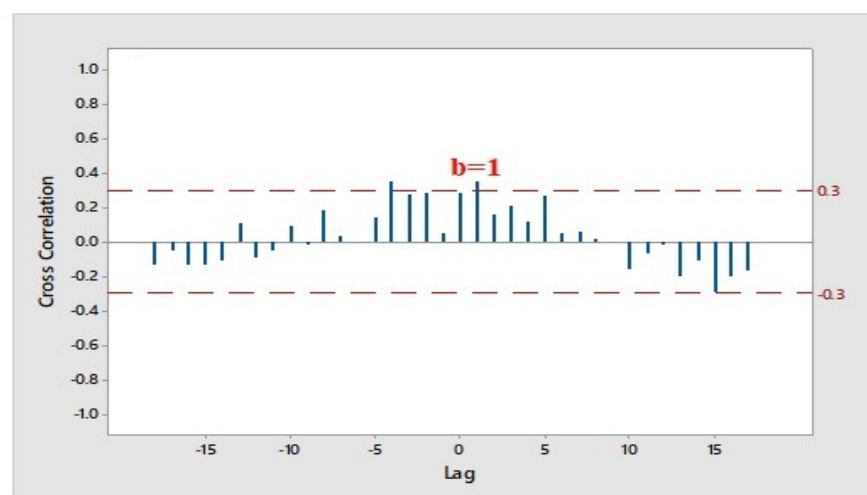
جدول (۳) نتایج برازش مدل تابع انتقال را در ایستگاه‌های منتخب نشان می‌دهد. با توجه به نمودار خودهمبستگی متقابل، مقادیر پارامترهای تابع انتقال تعیین گردید. همچنین به سری زمانی باقی‌مانده، مدل‌های مناسب برازش داده شد. با توجه به سطح مقادیر معنی‌داری که بسیار بالاتر از ۰/۰۵ می‌باشد، هم تابع انتقال و هم مدل سری زمانی مقادیر باقی‌مانده در هر ۳ حوزه آبخیز مورد مطالعه به خوبی برازش داده شده‌اند.

ب- مرحله همبستگی متقابل

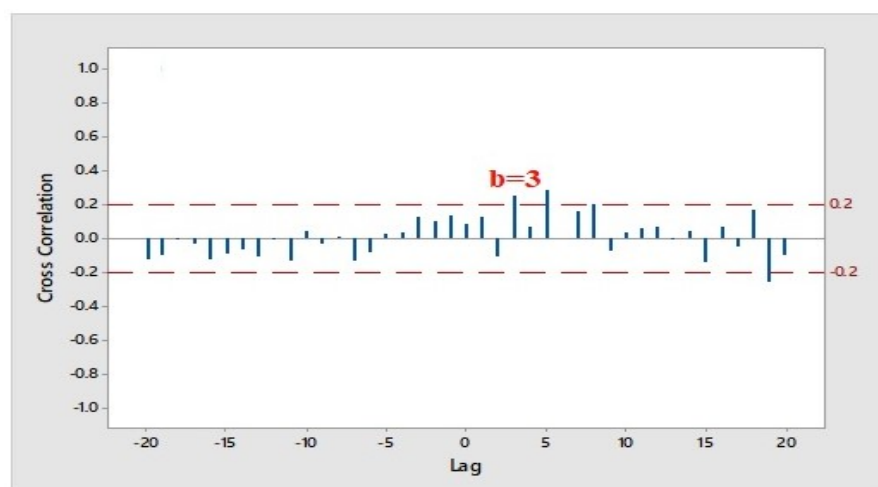
پس از برازش مدل پیش‌صافی، دقیقاً همان ساختار را به داده‌های تراز آب زیرزمینی ماهانه برازش داده شد و خودهمبستگی متقابل بین داده‌های بارش و تراز آب زیرزمینی محاسبه گردید (شکل ۲). وجود یک پیک معنی‌دار در هر سه نمودار بیانگر ارتباط بین بارش و تراز آب زیرزمینی در هر ۳ حوزه آبخیز مورد بررسی می‌باشد که پیش‌شرط استفاده از تابع انتقال می‌باشد. با توجه به شکل‌های (۲) تا (۴) همبستگی متقابل بین بارش و تراز آب زیرزمینی در دو حوزه آبخیز گالیکش و محمدآباد با تاخیر ۳ ماهه دارای یک پیک معنی‌دار است که نشان می‌دهد بارش با سه ماه تاخیر بر تراز آب زیرزمینی تاثیر مستقیم گذاشته است اما در حوزه آبخیز رامیان این تاخیر یک ماه بعد از وقوع بارش اتفاق افتاده است. با توجه به نوع تشکیلات و سازندهای زمین‌شناسی متفاوت در هر



شکل ۲- نمودار خودهمبستگی متقابل بین سری زمانی بارش و تراز آب زیرزمینی در حوزه آبخیز گالیکش



شکل ۳- نمودار خودهمبستگی متقابل بین سری زمانی بارش و تراز آب زیرزمینی در حوزه آبخیز مینودشت



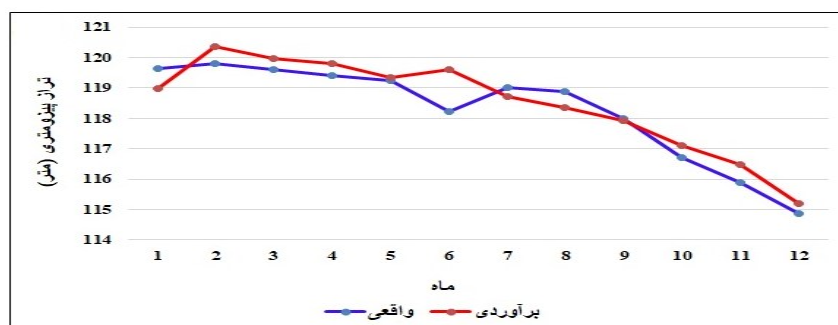
شکل ۴- نمودار خودهمبستگی متقابل بین سری زمانی بارش و تراز آب زیرزمینی در حوزه آبخیز محمدآباد

انتقال در برازش مدل مقادیر تراز آب زیرزمینی ماهانه در سه حوزه آبخیز مورد بررسی عملکرد مناسبی داشته و قادر به تشخیص روند و تغییرات داده‌ها بوده است. در این مدل تابع انتقال بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی پیوسته که باعث افزایش خطا و کاهش عملکرد مدل‌ها می‌شود، مشاهده نشد.

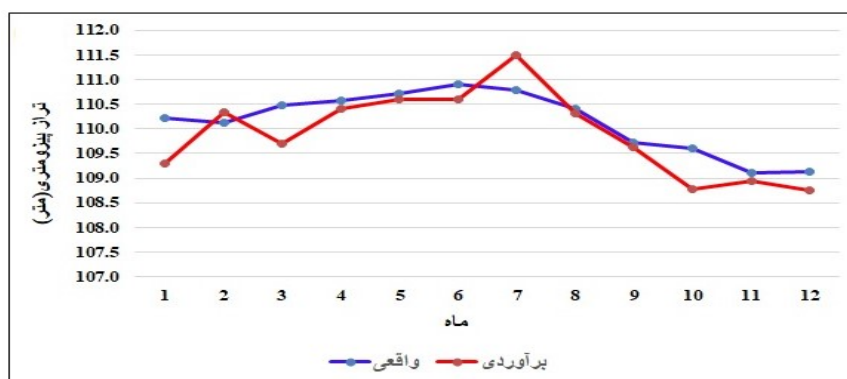
بعد از برازش مدل تابع انتقال در محیط نرم‌افزار SAS، اقدام به پیش‌بینی مقادیر تراز آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های بارش برای ۱۲ ماه آینده شد. شکل (۳) نمودار مقایسه مقادیر تراز آب زیرزمینی واقعی و پیش‌بینی شده به صورت ماهانه توسط مدل تابع انتقال را در هر سه حوزه آبخیز مورد بررسی نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های (۵) تا (۷) می‌توان قضاوت کرد که مدل تابع

جدول ۳- نتایج برازش مدل تابع انتقال بارش-تراز آب زیرزمینی در ایستگاه‌های منتخب

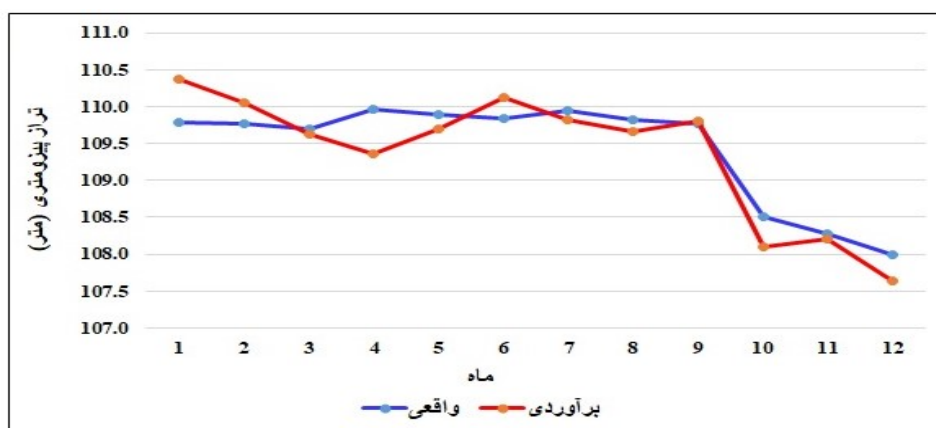
ایستگاه	پارامترهای مدل تابع انتقال			مدل برازش شده به سری زمانی باقی‌مانده	مقادیر معنی‌داری	
	b	r	s		همبستگی بین سری زمانی بارش و باقی‌مانده	همبستگی در سری زمانی باقی‌مانده
گالیکش	۳	۲	۲	$(0, 0, 2) \times (0, 0, 1)_{12}$	۰/۴۵۰	۰/۵۸۰
رامیان	۱	۲	۱۲	$(0, 0, 1) \times (0, 0, 1)_{12}$	۰/۶۵۰	۰/۹۲۵
محمدآباد	۳	۲	۲	$(0, 0, 1) \times (0, 0, 2)_{12}$	۰/۶۵۰	۰/۵۳۰



شکل ۴- نمودار مقایسه مقادیر تراز آب زیرزمینی ماهانه واقعی و پیش‌بینی شده توسط مدل تابع انتقال در حوزه آبخیز گالیکش



شکل ۵- نمودار مقایسه مقادیر تراز آب زیرزمینی ماهانه واقعی و پیش‌بینی شده توسط مدل تابع انتقال در حوزه آبخیز مینودشت



شکل ۷- نمودار مقایسه مقادیر تراز آب زیرزمینی ماهانه واقعی و پیش‌بینی شده توسط مدل تابع انتقال در حوزه آبخیز محمدآباد

عملکرد بوده است. بعد از زیرحوزه محمدآباد، زیرحوزه‌های رامیان و گالیکش دارای عملکرد مناسبی بوده‌اند. همچنین نتایج ضریب همبستگی بین متغیر پیش‌بینی کننده و پاسخ نشان داد که این مدل در هر سه منطقه به خوبی عمل کرده است.

جدول (۴) نتایج اعتبارسنجی مدل تابع انتقال را در سه زیرحوزه مورد بررسی به تفکیک نشان می‌دهد. مطابق این جدول نتایج مدل‌سازی بارش-تراز آب زیرزمینی در هر ۳ زیرحوزه دارای عملکرد مناسبی بوده است با این وجود مدل تابع انتقال در زیرحوزه محمدآباد که در سرشاخه غربی گرگانرود واقع شده است، دارای بهترین

جدول ۴- نتایج اعتبارسنجی مدل تابع انتقال در سه زیرحوزه مورد بررسی

شاخص‌های استاندارد	گالیکش (سرشاخه شرقی)	رامیان (سرشاخه میانی)	محمدآباد (سرشاخه غربی)
MAD	۰/۴۷۱۷	۰/۳۹۹۳	۰/۲۶۵۸
RSME	۰/۵۷۱۱	۰/۵۰۲۳	۰/۳۲۳۴
MAPE	۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۲۴
r	۰/۹۴۱	۰/۸۵۶	۰/۹۳۵

دارد. بررسی نمودار خودهمبستگی متقابل نشان داد که در حوزه‌های آبخیز گالیکش و محمدآباد بارش با سه ماه تاخیر بر تراز آب زیرزمینی تاثیر مستقیم گذاشته است اما در حوزه آبخیز رامیان این تاخیر یک ماهه بود. با توجه به نوع تشکیلات و سازندهای زمین‌شناسی متفاوت در هر یک از حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه که از لحاظ میزان نفوذ و توان آبگذری شرایط متفاوتی دارند، مقدار تاخیرها منطقی به نظر می‌رسد. همچنین مشخص شد مدل تابع انتقال در برازش مقادیر تراز آب زیرزمینی ماهانه در هر ۳ حوزه آبخیز مورد بررسی عملکرد مناسبی داشته است.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر از آمار ۳۰ ساله ایستگاه‌های هواشناسی و تراز آب زیرزمینی چاه‌ها در سه حوزه آبخیز گالیکش، رامیان و محمدآباد که در سرشاخه‌های حوزه آبریز گرگانرود واقع شده بودند، جهت مدل‌سازی بارش-تراز آب زیرزمینی استفاده شد. برازش مدل و پیش‌بینی مقادیر تراز آب زیرزمینی برای ۱۲ ماه آینده با استفاده از مدل تابع انتقال انجام شد. نتایج نشان داد با توجه به نمودارهای خودهمبستگی‌نگار، در همه سری‌های زمانی مورد استفاده روند فصلی با دوره تناوب ۱۲ ماهه وجود

ورودی و خروجی و همچنین بیان مدل که می‌توان بر اساس آن نحوه اثرگذاری بارش را به صورت یک مدل بیان کرد، بسیار موثر است. در این رابطه به سایر پژوهشگران پیشنهاد می‌شود در مدل‌سازی بارش-تراز آب زیرزمینی از مدل تابع انتقال وزنی استفاده کرده و نتایج آن را با تابع انتقال معمولی مورد مقایسه قرار دهند. به نظر می‌رسد تابع انتقال وزنی دارای دقت بالاتری نسبت به تابع انتقال معمولی باشد.

نتایج این بررسی با مطالعات (Eslahi(2003 و et Jandaghi al(2021 در ایران و همچنین Willem et al(2019 و Michiel et al(2020 در کشور هلند و Salem (2021 در عربستان سعودی همسویی دارد. این موضوع بیانگر آن است که استفاده از مدل تابع انتقال جهت برآورد و پیش‌بینی مقادیر تراز آب زیرزمینی ماهانه با استفاده از داده‌های بارش ماهانه موثر می‌باشد. علاوه بر این استفاده از مدل تابع انتقال دارای مزایایی نسبت به سایر مدل‌ها است که نمی‌توان از آن چشم‌پوشی کرد. این مدل در شناسایی تاخیر در تاثیرگذاری بین متغیرهای

منابع

- Bowerman B.L., O'Connel R. 1993. Forecasting and time series: An applied approach, Third edition, Amazon Publication, 722 p.
- Eslahi M. 2003. Groundwork for the application of transfer function models to forecast rainfall in Tabriz region, 03rd Conference of Numerical Wether Prediction, Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Tehran, Iran (In Persian).
- Fistikoglu O., Gunduz O., Simsek C. 2016. The correlation between statistically downscaled precipitation data and groundwater level Records in North-Western Turkey. Water Resources Management, 15(7), pp 122 - 129.
- Gunduz O., Simsek C. 2011. In fluence of climate change on shallow ground water resources: the link between precipitation and ground water levels in alluvial system. In proceedings of the NATO advanced research workshop (ARW) on climate change and its effects on water resources, edited by A. Baba, G. Tayffur, O.gunduz, K.W.F.Howard, M. J. Fricdel. Journal of Hydrology, 23 (51), pp. 225 - 234.
- Jandaghi N., Azimmohseni M., Ghareh Mahmoodlu M. 2021. Rainfall-runoff process modeling using time series transfer function, Environmental Erosion Research Journal, 11(2), pp. 111-128 (In Persian).
- Jandaghi N., Ghareh Mahmoodlu M., Nasiri A. 2021. Effect of Wet and Drought Periods on Physico -Chemical Properties of Groundwater Resources in the Eastern Part of Gorgan Plain, Desert Management, 9(2), 63-78 (In Persian).
- Michiel P., Denie C.M.A., Dimmie M.D.H., Suzanne J.M.H.H. 2020. Applying transfer function-noise modelling to characterize soil moisture dynamics: a data-driven approach using remote sensing data. Environmental Modelling & Software, Vol. 131, pp. 1-15.
- Nazeri Y.A., Jandaghi N., Ghareh Mahmoodlu M., Azimmohseni M. 2023. Relationship between rainfall and groundwater level using time-lagged regression, Master's thesis on watershed management, University of Gonbad Kavous, 52 p. (In Persian).
- Rashidi S., Mohammadian M., Vagharfard H. 2016. Predicting of Groundwater Level Fluctuation Using ANN and ANFIS in Lailakh plain. International Journal of Advanced Biotechnology and Research, 7 (3), pp. 1078-1084.
- Salem A. 2021. Forecasting rainfall in Saudi Arabia via transfer function models. Journal of Research in Environmental and Earth Sciences, 7(1), pp. 6-11.
- Willem J.Z., Stefanie A.R.B., Aris L., Wilbert L.B. 2019. Automated Time Series Modeling for Piezometers in the National Database of the Netherlands. Groundwater, 57(6), pp. 834-843.