کاربرد تابع انتقال در مدل‌سازی 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، دانشگاه گنبد کاووس، ایران

۲) گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گنبد کاووس، ایران

۳) گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گنبد کاووس، ایران

۴) گروه آمار، دانشگاه گلستان، ایران

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۳۰ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۵**

چکیده

آب‌های زیرزمینی ارزشمندترین منابع آبی در کشور ایران بوده که عمدتا تحت تأثیر الگوهای بارش در یک منطقه قرار دارند. در پژوهش حاضر از آمار ۳۰ ساله بارش و تراز آب زیرزمینی در سه حوضه 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 نرم‌افزار SPSS انجام شد. در مرحله بعد اعتبارسنجی مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از شاخص‌های MAD، RMSE و MAPE مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نمودار خودهمبستگی متقابل نشان داد در حوضه‌های گالیکش و محمدآباد بارش با سه ماه تاخیر بر تراز آب زیرزمینی تاثیر مستقیم گذاشته است، اما در حوضه آبخیز رامیان این تاخیر یک ماهه بود. همچنین مشخص شد مدل تابع انتقال در برازش مقادیر تراز آب زیرزمینی ماهانه در هر ۳ حوضه آبخیز مورد بررسی عملکردی مناسبی داشته است.

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

مقدمه

کشور ایران به علت واقع شدن در منطقه خشک و نیمه‌خشک، 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 می‌گردد که به هیچ وجه با تغذیه آبخوان‌ها مطابقت ندارد. در چند سال اخیر، افت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در اغلب مناطق ایران مشاهده شده به طوری‌که در اکثر آبخوان‌ها، بیلان آب منفی بوده و کیفیت آب به شدت افت کرده است(جندقی و همکاران،۱۴۰۰). سطح آب‌های زیرزمینی به میزان مشخصی مربوط به میزان بارش در منطقه است. به‌طور کلی سیستم‌های آبی زیرزمینی عمدتا تحت تأثیر الگوهای بارش در یک منطقه قرار دارند اما موارد دیگری مانند میزان بارندگی، تبخیر و تعرق، دما، رطوبت هوا، میزان برداشت از منابع آبی و غیره نیز در آن نقش دارند (ناظری و همکاران، ۱۴۰۱). در ایران شرایط اقلیمی به‌گونه‌ای است که حتی در پرباران‌ترین مناطق کشور، به آب زیرزمینی نیاز است و همه ساله این نیاز بیشتر می‌شود، به‌ویژه اینکه در خشکسالی‌ها مسائل و مشکلات ناشی از آن‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین شناخت و پیش‌بینی تغییرات این منابع به منظور تدوین برنامه بهره‌برداری بهینه و صحیح با هدف توسعه پایدار یک منطقه به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار ضروری است. بدین منظور یافتن تاثیرات بارندگی و پیش‌بینی تغییرات آن بر تراز آب‌های زیرزمینی ضروری است(رشیدی و همکاران، ۲۰۱۶). تاکنون مدل‌های مختلفی برای پیش‌بینی تغییرات تراز آب زیرزمینی با استفاده از الگوی بارش ارایه شده است اما در این بین به مدل تابع انتقال[1] کمتر توجه شده است. تابع انتقال در واقع یک مدل ناایستا[2] پیشرفته سری زمانی است که علاوه بر داده‌های سری ورودی، بر روی باقی‌مانده‌های مدل نیز مدل مناسب برازش می‌دهد و برخلاف دیگر مدل‌های 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 پیش‌بینی کننده برقرار می‌کند. این مدل با در نظر گرفتن تاخیر رابطه بین سری‌های زمانی، به پیش‌بینی سری زمانی پاسخ می‌پردازد.

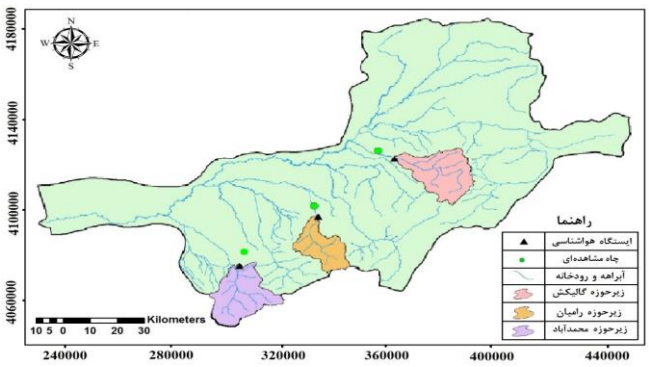
تاکنون پژوهش‌های پراکنده‌ای در زمینه استفاده از مدل تابع انتقال انجام شده است که می‌توان به مطالعات زیر اشاره داشت. اصلاحی (۱۳۸۲) جهت پیش‌بینی بارندگی ماهانه، فصلی و سالانه تبریز از مدل توابع انتقال استفاده نمود. در این مطالعه سری ورودی شامل پارامترهای دما، رطوبت، و فشار و سری خروجی بارش انتخاب شد. نتایج برازش مدل نشان داد که استفاده از تابع انتقال دقت قابل‌توجهی در پیش‌بینی بارش داشته است. جندقی و همکاران (۱۴۰۰) جهت پیش‌بینی و مدل‌سازی فرآیند بارش و رواناب در استان گلستان از دو مدل ساریما و تابع انتقال استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل تابع انتقال دقت پیش‌بینی را تا دو برابر نسبت به مدل ساریما افزایش داده است. Willem و همکاران (۲۰۱۹) در مدل-سازی اتوماتیک سری‌های زمانی برای پیزومترها در کشور هلند، جهت استخراج توابع پاسخ تکانه‌ای در دامنه فرکانس

[1] - Transfer Function
[2] - Non stationary

مقادیر بارش و تبخیر برای هر پیزومتر از مدل تابع انتقال استفاده نموده‌اند. نتایج نشان داد استفاده از این روش می‌تواند در تجزیه و تحلیل سیستم آب زیرزمینی موثر باشد. Michiel و همکاران (۲۰۲۰) جهت مدل‌سازی دینامیک رطوبت خاک در شرق کشور هلند از روش تابع انتقال و سنجش از دور استفاده کردند. نتایج این بررسی نشان داد که مدل‌سازی شرایط رطوبت خاک با استفاده از مدل تابع انتقال وقتی که از توابع نمایی برای تعریف توابع پاسخ تکانه استفاده شود، دقیق است. Salem (۲۰۲۱) 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 گرگانرود در استان گلستان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی ارتباط بین بارش و تراز آب زیرزمینی، سه زیرحوضه از سرشاخه‌های آبریز گرگانرود شامل گالیکش، محمدآباد و رامیان انتخاب شدند(شکل ۱). این ۳ زیرحوضه به ترتیب در سرشاخه‌های شرقی، میانی و غربی حوضه آبریز گرگانرود واقع شده‌اند. حوضه آبریز گرگانرود اصلی‌ترین حوزه آبریز در استان گلستان محسوب شده که بیشترین مساحت و آبدهی را دارا می‌باشد. در محدوده هر حوضه آبخیز یک ایستگاه باران‌سنجی تعیین شد. همچنین در خروجی هر زیرحوضه، 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 (۱۴۰۰-۱۳۷۱) برای انجام پژوهش از شرکت سهامی آب منطقه‌ای گلستان تهیه گردید.



شکل ۱: موقعیت ۳ زیرحوضه مورد مطالعه در حوزه آبریز گرگانرود

جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های باران‌سنجی و چاه‌های مطالعاتی

ایستگاه یا چاه مشاهده‌ای	نام زیرحوضه	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	قره‌قاچ	۳۳۳۵۲۹	۴۱۰۳۶۶۱
	گالیکش	۴۴۰	جنوب اسماعیل‌آباد	۳۵۶۹۱۰	۴۱۲۷۲۲۸
	محمدآباد	۴۰۵	پیچک محله ۲	۳۰۷۱۸۵	۴۰۸۶۸۵۱

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:

رابطه ۱:

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

که در آن μ و C اعداد 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 دقیقا 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 می‌دهند. گام دوم: محاسبه تابع خودهمبستگی بین دو سری زمانی حاصل از گام اول برای شناسایی پارامترهای (b,s,r). گام سوم: برازش یک مدل SARIMA به سری زمانی باقیمانده، η_t وتعیین مدل نهایی تابع انتقال. پس از برازش یک مدل تابع انتقال، مدلی به صورت رابطه (۲) حاصل می‌شود:

رابطه ۲:

$$Y_t = I_{Y_t} + I_{X_t} + I_{Z_t}$$

که در آن I_{Y_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 نرم‌افزار SAS 9 انجام شد. در مرحله بعداز ۳ شاخص استاندارد برای مقایسه مقادیر پیش‌بینی حاصل از مدل و مقادیر واقعی (روابط۳ تا ۵) استفاده شد که در آنها $\hat{Y}_t$ مقادیر برازش‌شده و یا پیش‌بینی‌شده توسط مدل، Y_t مقدار سری زمانی مشاهده‌شده در زمان t و m تعداد مقادیر برازش شده یا مقادیر پیش‌بینی می‌باشد.

رابطه ۳: $$MAD = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left|Y_t - \hat{Y}_t\right|$$

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

رابطه ۵: $$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{m}\left|\frac{Y_t-\hat{Y}_t}{Y_t}\right|}{m}$$

نتایج و بحث

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

الف- مرحله پیش‌صافی

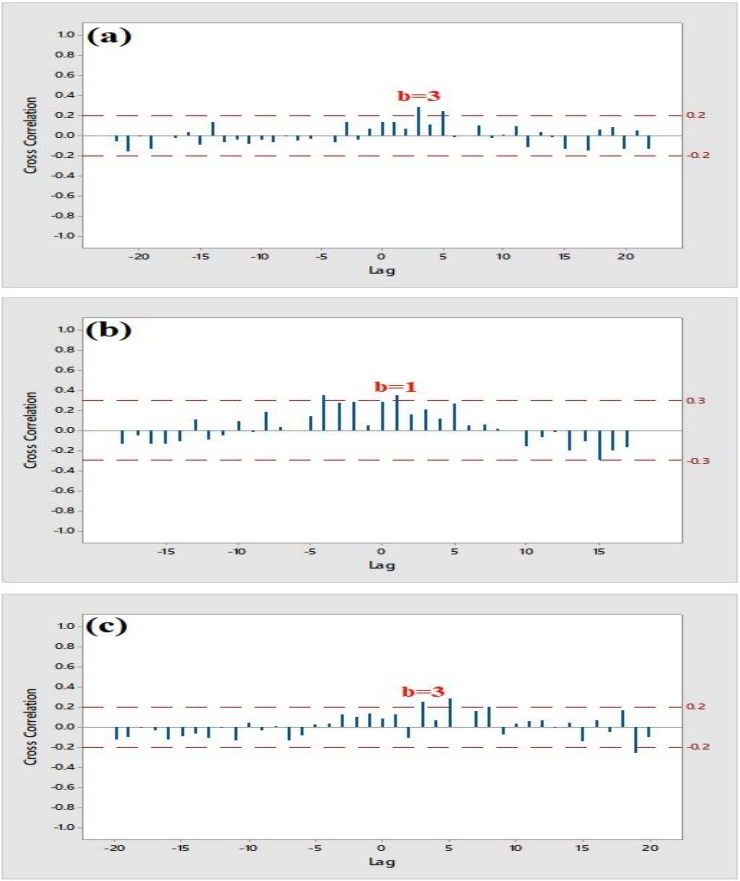
برای پیش‌صافی کردن رابطه بین سری‌های زمانی ورودی (بارش) و خروجی (تراز آب زیرزمینی) یک مدل باکس و جنکینز به بارش در هر سه ایستگاه هواشناسی واقع در حوضه‌های آبخیز گالیکش، رامیان و محمدآباد برازش داده شد. بهترین مدل برازش شده به داده‌های بارش ماهانه در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در جدول (۲) ارایه شده است. مقادیر معنی‌داری نشان می‌دهد که در سری‌های زمانی باقی‌مانده مدل‌ها، همبستگی وجود ندارد در نتیجه مدل‌ها به خوبی برازش داده شده‌اند.

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

ب- مرحله همبستگی متقابل

پس از برازش مدل پیش‌صافی دقیقا همان مدل را به داده‌های تراز آب زیرزمینی ماهانه برازش داده شد (شکل۲). وجود یک پیک معنی‌دار در هر سه نمودار بیانگر ارتباط بین بارش و تراز آب زیرزمینی در هر ۳ حوضه آبخیز مورد بررسی می-باشد که پیش‌شرط استفاده از تابع انتقال می‌باشد. با توجه به شکل (۲) همبستگی متقابل بین بارش و تراز آب زیرزمینی در دو حوضه 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 حوضه آبخیز رامیان این تاخیر یک ماه بعد از وقوع بارش اتفاق افتاده است. با توجه به نوع تشکیلات و سازندهای زمین‌شناسی متفاوت در هر یک از حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه که از لحاظ میزان نفوذ و توان آبگذری شرایط متفاوتی دارند، مقدار تاخیرها منطقی به نظر می‌رسد.



شکل ۲: نمودار خودهمبستگی متقابل بین سری زمانی بارش و تراز آب زیرزمینی در حوضه‌های آبخیز گالیکش (a)، مینودشت (b) و محمدآباد (c)

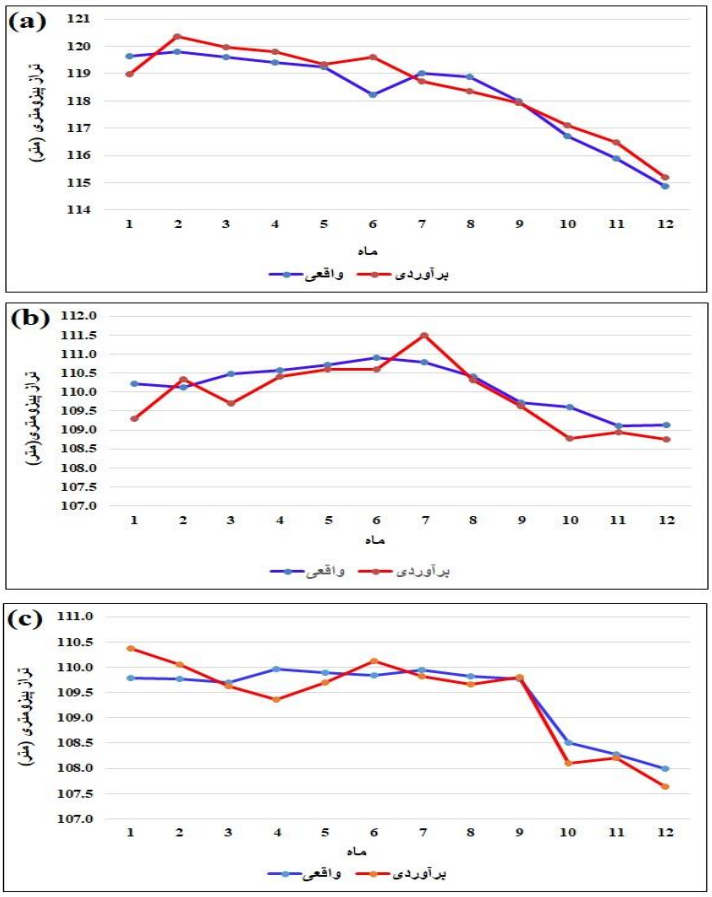
ج- برازش تابع انتقال

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 حوضه آبخیز مورد مطالعه به خوبی برازش داده شده‌اند.

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 هرسه حوضه آبخیز مورد بررسی نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۳) می‌توان قضاوت کرد که مدل تابع انتقال در برازش مدل مقادیر تراز آب زیرزمینی ماهانه در سه حوضه آبخیز مورد بررسی عملکرد مناسبی داشته و قادر به تشخیص 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.

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	/۹۲۵
محمدآباد	۳	۲	۲	$(0, 0, 1) \times (0, 0, 2)_{12}$	۰/۶۵۰	/۵۳۰



شکل (۳): نمودار مقایسه مقادیر تراز آب زیرزمینی ماهانه واقعی و پیش‌بینی شده توسط مدل تابع انتقال در حوزه‌های آبخیز
گالیکش (a)، مینودشت (b) و محمدآباد (c)

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

جدول ۴: نتایج اعتبارسنجی مدل تابع انتقال در سه زیرحوضه مورد بررسی

شاخص‌های استاندارد	نام زیرحوزه		
	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

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر از آمار ۳۰ ساله ایستگاه‌های هواشناسی و تراز آب زیرزمینی چاه‌ها در سه حوضه آبخیز گالیکش، رامیان و محمدآباد که در سرشاخه‌های حوضه 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. بررسی نمودار خودهمبستگی متقابل نشان داد که در حوضه‌های آبخیز گالیکش و محمدآباد بارش با سه ماه تاخیر بر تراز آب زیرزمینی تاثیر مستقیم گذاشته است؛ اما در حوضه آبخیز رامیان این تاخیر یک ماهه بود. با توجه به نوع تشکیلات و سازندهای زمین‌شناسی متفاوت در هر یک از حوضه‌های 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. نتایج این بررسی با مطالعات (اصلاحی، ۱۳۸۲) و (جندقی و همکاران، ۱۴۰۰) در ایران و همچنین Willem و همکاران (۲۰۱۹) و Michiel و همکاران (۲۰۲۰) در کشور هلند و Salem, (۲۰۲۱) 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.

منابع

اصلاحی، م. (۱۳۸۲). زمینه‌سازی برای کاربست مدل‌های توابع انتقال جهت پیش‌بینی بارندگی در منطقه تبریز. سومین همایش پیش‌بینی عددی وضع هوا. پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جوسازمان هواشناسی کشور. ۲۴ آذر ۱۳۸۲، تهران، ایران.

جندقی، ن.، قره‌محمودلو، م. و نصیری، ا. (۱۴۰۰). اثر دوره‌های ترسالی و خشکسالی بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی آبخوان در بخش شرقی دشت گرگان. مدیریت بیابان، دوره ۹، شماره ۲، ص ۷۸-۶۳.

جندقی، ن.، عظیم‌محسنی، م. و قره‌محمودلو، م. (۱۴۰۰). مدل‌سازی فرآیند بارش-رواناب با استفاده از تابع انتقال سری‌های زمانی. مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، دوره ۱۱، شماره ۲، ص ۱۲۸-۱۱۱.

ناظری، ی.ا.، جندقی، ن.، قره‌محمودلو، م. و **عظیم‌محسنی، م. (۱۴۰۱).** ارتباط بین بارش و تراز آب زیرزمینی با استفاده از رگرسیون تاخیر زمانی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه گنبد کاووس. ۵۲ ص.

Bowerman, B.L. and O'Connel, R. (1993). Forecasting and time series: Anapplied approach. Third edition, Amazon Publication, 722 p.

Michiel, P., Denie, C.M.A., Dimmie, M.D.H. and 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, 131, pp: 1-15.

Rashidi, S., Mohammadian, M. and 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. and Wilbert, L.B. (2019). Automated Time Series Modeling for Piezometers in the National Database of the Netherlands. Groundwater, 57 (6), pp: 834-843.

Rainfall-ground water level modeling using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems

Youl Aman Nazeri[1], Nader Jandaghi*[2], Mojtaba Ghareh Mahmoodlu[3], Majid Azimmohseni[4]

1) Master's student in Watershed Management, Gonbad Kavos University, Iran.
2) Department of Pasture and Watershed Management, Gonbad Kavos University, Iran.
3) Department of Pasture and Watershed Management, Gonbad Kavos University, Iran.
4) Department of Statistics, Golestan University, Iran.

***Correspondence Author:** nader.jandaghi@gmail.com

Received Data: 2023. 07. 21 **Accepted Data: 2023. 09.16**

Abstract

Groundwater is 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 software. Then, the validation of predicted data was evaluated using MAD, RMSE and MAPE indices. 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.