دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

مدل‌سازی و پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی با کاربرد مدل‌های سری زمانی (مطالعه موردی: دشت‌های استان همدان)

علی افروزی[۱] و حمید زارع ابیانه[۲]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا
۲- دانشیار ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، (نویسنده مسوول: zare@basu.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۱۷

چکیده

با توجه به اتکاء بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب در استان همدان به منابع آب زیرزمینی، مدل‌سازی و پیش‌بینی نوسانات تراز آب زیرزمینی برای بهره‌برداری از این منبع یک ضرورت اساسی است. مدل‌های سری زمانی یکی از روش‌های قابل استفاده در این زمینه است، که با کاربرد اصولی و صحیح آن‌ها، در عین سادگی، پیش‌بینی‌های کوتاه مدت خوبی را به‌دست می‌دهند. بدین منظور داده‌های خام چاه‌های مشاهداتی دشت‌های استان همدان تهیه شدند، که پس از ویرایش و استفاده از چندضلعی تیسن، سری زمانی تراز آب زیرزمینی هر دشت تشکیل شد. آزمون من-کندال وجود روند قطعی در تمام سری‌های زمانی دشت‌های استان همدان را نشان داد، که بدین‌ترتیب لازم شد با کسر جمله روند از سری‌های زمانی تراز آب زیرزمینی روندزدایی شود. سپس آزمون ریشه واحد برای بررسی مانایی سری‌های زمانی انجام شد و با توجه به روش باکس-جنکینز، مدل‌های ARIMA فصلی روی داده‌های نمونه برازش و مناسب‌ترین آن‌ها انتخاب شدند. سپس از مدل‌های ARIMA فصلی برای پیش‌بینی ۱۲ ماهه استفاده شد که پیش‌بینی‌های خارج از نمونه خوبی را به‌دست دادند. به‌طوری که بین همه دشت‌های تحت مطالعه کمترین ضریب همبستگی پیرسون ۰/۹۳ و بیشترین جذر میانگین مربع خطا ۰/۷۳ متر برای دشت همدان-بهار به‌دست آمد. همچنین بهترین پیش‌بینی ۱۲ ماهه در دشت کبودرآهنگ با مقدار ضریب همبستگی پیرسون ۰/۹۹ و جذر میانگین مربع خطا ۰/۲۰ متر صورت گرفت.

واژه‌های کلیدی: افت آب زیرزمینی، باکس-جنکینز، روند، ARIMA فصلی، SARIMA

مقدمه

آب‌های زیرزمینی در استان همدان با سهم ۸۳ درصدی در فراهم‌سازی آب مورد نیاز بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب، مهم‌ترین منبع آب استان می‌باشد. بهره‌برداری از این منبع از حدود ۱۷۵۰۰ حلقه چاه، ۱۴۰۰ رشته قنات و ۲۸۰۰ دهنه چشمه صورت می‌گیرد. این امر سبب بیلان منفی ۲۵۲ میلیون متر مکعب و ممنوعه بودن دشت‌های استان شده است. در این بین دشت کبودرآهنگ، با افت بلندمدت سالانه ۱/۶۹ متر، ممنوعه بحرانی است (۹). در سایر استان‌ها نیز این وضعیت قابل مشاهده است. به‌طور نمونه روند افت سطح آب زیرزمینی دو استان فارس و خراسان به‌عنوان تولید کنندگان گندم و چغندرقند تهدیدی برای کشت پایدار آبی است (۲۸).

توسعه برداشت آب زیرزمینی در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک از سال ۱۹۵۰ بوده است (۲۶). حفر و راه‌اندازی بیش از ۲۰ هزار حلقه چاه عمیق در پاکستان در ۱۰ سال گذشته باعث افت سطح ایستابی و بیابانی شدن اراضی کشاورزی، افت کیفیت آب زیرزمینی، خشک شدن باغات میوه و مشکلات اجتماعی شده است (۲۴). رشد اقتصادی، اعمال سیاست خودکفایی در تولید مواد غذایی و افزایش جمعیت از جمله عوامل برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی در ناحیه شمال کشور چین بوده است. به‌گونه‌ای که در برخی مناطق سطح آب زیرزمینی تا صدها متر افت داشته است (۳۳). به‌همین ترتیب برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی سبب بروز تهدید اقتصادی در ناحیه مرکزی آمریکا شده است (۳).

اهمیت منابع آب زیرزمینی و مخاطره‌آمیز بودن برداشت بیش از حد، سبب شکل‌گیری برخی مطالعات مدل‌سازی و پیش‌بینی نوسانات آب زیرزمینی در سال‌های اخیر شده است. در این راستا شبکه عصبی یکی از پرکاربردترین روش‌ها در شبیه‌سازی و پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی بوده است (۱۲،۳۰،۳۱،۳۲،۳۳،۳۴). ایزدی و همکاران (۱۳) یک مدل رگرسیونی با داده‌های بارندگی، سطح آب اولیه، دمای حداکثر، حداقل و میانگین هوا، برای پیش‌بینی سطح آب در تعدادی از پیزومترهای دشت نیشابور ارائه نمودند. نتایج آنان حاکی از دقت مناسب روش فوق در مقایسه با روش شبکه عصبی مصنوعی بود. نادریان‌فر و همکاران (۲۰) اثرات بارندگی و شرایط اقلیمی بر نوسانات سطح ایستابی دشت نیشابور را مطالعه نمودند و نشان دادند بارندگی بیشترین همبستگی را با نوسانات سطح آب زیرزمینی دارد. نتایج مطالعه نخعی و صابری نصر (۲۲) حاکی از دقت مناسب روش شبکه عصبی موجک برای پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت قروه در مقایسه با روش عددی MODFLOW بود. مهدوی و همکاران (۱۷) با شبیه‌سازی تغییرات سطح ایستابی دشت همدان-بهار در یک دوره دو ساله به کمک مدل PMWIN، تغییرات سطح ایستابی پنج ساله دشت را پیش‌بینی نمودند. زارع ابیانه و همکاران (۳۵) با مطالعه روند نوسانات ارتفاع آب زیرزمینی دشت ملایر به‌روش من-کندال کاهش حجم ذخایر آبخوان و افت سطح آب زیرزمینی را گزارش نمودند. مک‌کی و همکاران (۱۶) با استفاده از یک مدل مفهومی یک‌پارچه، سری زمانی تراز آب زیرزمینی را در چهار آبخوان آزاد انگلستان شبیه‌سازی کردند. نتایج آنان نشان داد که مدل AquiMod در عین سهولت و سرعت اجرا، توانایی پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی در آبخوان را دارد.

مدل سری‌های زمانی از جمله روش‌های تحلیل سری‌های هیدرولوژیکی است (۶،۱۱) که در مطالعاتی مختلفی چون نوترز و وان‌والسام (۱۴)، بیرکنز و نوترز (۴)، آهن (۲)، سامانی (۲۵)، گوان (۸) و آداموسکی و چان (۱) برای مدل‌سازی و پیش‌بینی نوسانات آب زیرزمینی استفاده شده است. نادریان‌فر و همکاران (۲۱) از مدل

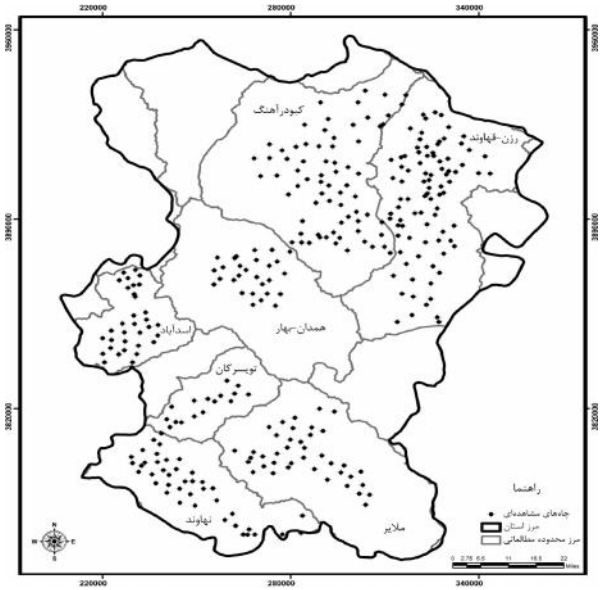
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.102]

فصلی $ARIMA(0, 1, 0)\times(0, 1, 1)_{12}$ برای پیش‌بینی موفقیت آمیز تراز آب زیرزمینی دشت نیشابور استفاده کردند. شیرمحمدی و همکاران (۲۷) با کاربرد مدل سری‌های زمانی نوع آرما تراز آب زیرزمینی دشت مشهد را پیش‌بینی نمودند. ملکی‌نژاد و پورشرعیاتی (۱۸) از مدل غیرفصلی $ARIMA(1, 1, 0)$ برای پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت مروست استان یزد استفاده کردند. پورمحمدی و همکاران (۲۳) با مدل‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی یکی از زیر حوزه‌های دریاچه بختگان با شبکه عصبی و سری‌های زمانی، مدل غیرفصلی $ARMA(1, 2)$ را پیشنهاد دادند. میرزاوند و همکاران (۱۹) از مدل $AR(2)$ برای پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی دشت کاشان استفاده کردند.

با عنایت به اهمیت آبخوان دشت‌های مختلف استان در تأمین آب و لزوم انجام مطالعات شبیه‌سازی جهت تصمیم‌گیری مدیران برای مدیریت بهتر منابع آب استان از یک سو و دقت و سهولت استفاده از مدل‌های سری زمانی مبتنی بر روش‌شناسی باکس و جنکینز (۵) از سوی دیگر موجب شد تا پتانسیل مدل‌های سری زمانی ARIMA فصلی مورد بررسی قرار گیرد. در واقع روش فوق مدلی گذشته‌نگر است که با به‌کارگیری اطلاعات تراز آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای وضعیت آتی هر آبخوان را شبیه‌سازی و پیش‌بینی می‌نماید.

مواد و روش‌ها

استان همدان در گستره‌ای به مساحت ۱۹۴۹۱ کیلومتر مربع، بین ′۵۹ °۳۳ تا ′۴۴ °۳۵ عرض شمالی و ′۴۷ °۴۷ تا ′۳۰ °۴۹ طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). این استان هفت دشت مستقل دارد که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. مطابق این جدول بیلان آبی تمام دشت‌ها منفی است و دشت کبودرآهنگ بحرانی‌ترین وضعیت را از نظر افت سطح ایستابی دارد.



شکل ۱- محدوده‌های مطالعاتی استان همدان در غرب ایران و موقعیت چاه‌های مشاهداتی

Figure 1. The study area of Hamadan province in western Iran and the location of the observation wells

جدول ۱- مشخصات دشت‌های استان همدان (۹)

Table 1. The characteristics of the plains of Hamadan province (9)

دشت	نحوه پیدایش	وسعت (km^2)		دوره آماری		تغییرات تراز آب زیرزمینی (m)		حلقه چاه‌های مشاهده‌ای
		محدوده مطالعاتی	آبخوان	سال آبی	طول (سال)	در دوره آماری	دراز مدت سالانه	
اسدآباد	تراکمی	۹۶۳	۲۹۸	۷۳/۰۷ تا ۹۲/۰۷	۱۹	−۲۳/۳۹	−۱/۲۳	۲۳
تویسرکان	فرسایشی	۸۰۵	۱۵۰	۷۲/۰۷ تا ۹۲/۰۷	۲۰	−۱۴/۶۷	−۰/۷۳	۱۷
رزن-قهاوند	تراکمی	۳۰۸۵	۱۷۰۹	۶۷/۰۷ تا ۹۲/۰۷	۲۵	−۲۱/۶۰	−۰/۸۶	۷۳
کبودرآهنگ	تراکمی	۳۴۴۸	۱۱۸۶	۶۷/۰۷ تا ۹۲/۰۷	۲۵	−۴۰/۵۴	−۱/۶۹	۵۳
ملایر	فرسایشی	۲۹۸۴	۵۱۹	۷۳/۰۷ تا ۹۲/۰۷	۱۹	−۲۲/۲۲	−۱/۱۷	۴۰
نهاوند	تراکمی	۱۹۰۲	۴۵۷	۷۵/۰۷ تا ۹۲/۰۷	۱۷	−۹/۹۸	−۰/۵۹	۳۷
همدان-بهار	تراکمی	۲۴۹۲	۴۶۸	۷۰/۰۷ تا ۹۲/۰۷	۲۲	−۱۸/۱۳	−۰/۸۲	۲۶

داده‌های ماهانه عمق آب در چاه‌های مشاهده‌ای از ابتدای دوره آماربرداری تا پایان سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ و موقعیت جغرافیایی آن‌ها از شرکت آب منطقه‌ای همدان دریافت شدند. سپس با کسر عمق آب چاه از ارتفاع دهانه چاه از سطح دریای آزاد، ارتفاع مطلق آب زیرزمینی که همان ارتفاع سطح آب داخل چاه از سطح دریای آزاد باشد، به‌دست آمد. با توجه به موقعیت چاه‌های مشاهداتی، چند ضلعی تیسن برای هر دشت ترسیم و میانگین‌گیری وزنی برای محاسبه تراز آب زیرزمینی انجام شد. سپس با اعمال آزمون ران[1] تعداد ۱۳ داده از مجموع ۱۷۸۷ داده، پرت تشخیص داده شد. اصلاح داده‌های محدود با کیفیت نامناسب از راه میان‌یابی اسپلاین مکعبی با برازش منحنی هموار بر تمام داده‌ها انجام شد.

1- Run test

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.102]

استفاده از این روش به‌دلیل در نظر گرفتن همه داده‌ها و به‌تبع دقت مناسب در برآورد داده‌های پرت و گمشده در مطالعات آب زیرزمینی معمول است (۱۳،۱۲،۷).

در مدل‌سازی با استفاده از سری‌های زمانی می‌بایست وجود روند در داده‌ها بررسی شود و در صورتی که وجود روند در سری زمانی قطعی تشخیص داده شد، با کسر جمله روند از سری زمانی روندزدایی نمود (۲۹). بدین‌ترتیب، از آزمون من–کندال، در سطح معنی‌داری ۵ درصد، برای بررسی وجود روند در سری‌های زمانی تراز آب زیرزمینی هر دشت استفاده شد. نتایج حاکی از وجود روند قطعی در سری‌های زمانی بود، که با کسر جمله روند، کلیه سری‌های زمانی روندزدایی شدند. همچنین در مدل‌سازی سری‌های زمانی بررسی ایستایی یا مانایی متغیرها، جهت اطمینان از نبود رگرسیون کاذب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مطالعه مانایی سری‌های زمانی تراز آب زیرزمینی در دشت‌های مختلف با آزمون دیکی–فولر تعمیم‌یافته[1] بررسی شد و سری‌های زمانی نامانا با تفاضل‌گیری به سری‌های زمانی مانا تبدیل شدند.

در این پژوهش مدل‌سازی با مدل فصلی ARIMA انجام گرفت. این مدل، برای متغیر z_t که یک سری زمانی گسسته اندازه‌گیری شده در فواصل زمانی برابر است، به‌صورت زیر نوشته می‌شود (۵):

$$\phi_p(B)\Phi_P(B^s)\nabla^d\nabla_s^D z_t = \theta_q(B)\Theta_Q(B^S)a_t \quad (۱)$$

که s دوره فصلی سری زمانی که برای داده‌های ماهانه تراز آب زیرزمینی برابر ۱۲ است، B عملگر پسرو است، a_t فرآیند نوفه‌ی سفید مستقل، $\phi(B)$ عملگر اتورگرسیو غیرفصلی (AR) با درجه p است، ∇^d عملگر تفاضل‌گیری غیرفصلی با درجه d است، $\Phi(B^s)$ عملگر فصلی AR با درجه P است، ∇_s^D عملگر تفاضل‌گیری فصلی درجه D است؛ $\theta(B)$ عملگر غیرفصلی میانگین متحرک (MA) با درجه q است و $\Theta(B^s)$ عملگر فصلی MA با درجه Q می‌باشد.

مدل ARIMA فصلی با توجه به رابطه (۱) به‌صورت ARIMA$(p, d, q)\times(P, D, Q)_s$ نمایش داده می‌شود که در آن (p, d, q) درجه عملگرهای غیرفصلی و (P, D, Q) درجه عملگرهای فصلی هستند. پس از روندزدایی از داده‌های تراز آب زیرزمینی، مدل‌سازی بر اساس رابطه (۱) در محیط نرم‌افزار Eviews 7 صورت گرفت.

مدل‌سازی سری‌های زمانی در قالب مدل‌های ARIMA شامل سه مرحله تشخیص، تخمین و کنترل تشخیصی یا بازبینی اجرا می‌باشد (۵). در مرحله اول توابع خودهمبستگی[2] (AC) و خودهمبستگی جزئی[3] (PAC) رسم شدند، که علاوه بر کمک برای تشخیص درجه مدل، معنی‌داری ضرایب خودهمبستگی مدل را نشان می‌دهند و قابلیت مدل‌های ARIMA در شبیه‌سازی را بیان می‌کنند. تعداد وقفه‌ها در توابع AC و PAC بنا به توصیه هیپل و همکاران (۱۰) بین ۲۰ تا ۴۰ وقفه بوده که در این پژوهش ۲۲ وقفه لحاظ شد. تفسیر AC و PAC برای تشخیص مدل وقتی از داده‌های واقعی استفاده می‌شود غالباً مشکل و نیازمند استدلال‌های ذهنی است. به‌همین دلیل در این پژوهش برای انتخاب مدل‌های ARIMA از سه معیار اطلاعات آکایک (AIC)، شوارتز (SC) و حنان–کوئین (HQC) در قالب معادلات زیر استفاده شد.

$$\mathrm{AIC} = \left(2k - 2\ln(\mathrm{L})\right)/\mathrm{N} \approx \ln\left(\pounds^2\right) + 2k/\mathrm{N} \quad (۲)$$

$$\mathrm{SC} = \ln\left(\pounds^2\right) + k\ln\mathrm{N}/\mathrm{N} \quad (۳)$$

$$\mathrm{HQC} = \ln\left(\pounds^2\right) + 2k\ln\left(\ln\mathrm{N}\right)/\mathrm{N} \quad (۴)$$

که در روابط فوق L حداکثر تابع درست‌نمایی و $\pounds^2$ واریانس باقی‌مانده‌ها است که معادل با مجموع مجذور خطا تقسیم بر درجه آزادی آن یعنی $n-k$ است که $k = p - q + 1$ با N مشاهدات می‌باشد. در انتخاب مدل با توجه به روابط (۲) تا (۴) هدف این است که مقدار معیار اطلاعات حداقل گردد. در گام بعدی، مدل با روش حداقل مربعات معمولی برآورد و سپس مورد بازبینی قرار گرفت و کفایت آن بررسی شد. در این مرحله از روش پیشنهادی باکس و جنکینز (۵) استفاده شد. بدین ترتیب که به مرتبه AR و MA تا زمانی که مدل کفایت کند، افزوده شد. سپس مستقل بودن باقی‌مانده‌ها و نبود وابستگی خطی در باقی‌مانده‌ها بررسی شد. همچنین در این مطالعه به‌منظور تشخیص خودهمبستگی مرتبه اول، در مدل‌های برازش داده شده، از آماره دوربین–واتسون (DW) به‌صورت زیر استفاده شد.

$$\mathrm{DW} = \sum_{i=2}^{n}\left(e_i - e_{i-1}\right)^2 \Big/ \sum_{i=2}^{n} e_i^2 \quad (۵)$$

که در رابطه فوق e_i خطای مدل در برآورد مقدار واقعی اندازه‌گیری شده در زمان i می‌باشد. مقدار DW برابر صفر، ۲ و ۴ به‌ترتیب به‌معنی خودهمبستگی کامل مثبت، عدم خودهمبستگی و خودهمبستگی کامل منفی است. برای ارزیابی پیش‌بینی‌ها، از جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و ضریب همبستگی پیرسون (r) استفاده شد، که به‌ترتیب زیر می‌باشند:

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i - O_i\right)^2 / n} \quad (۶)$$

$$\mathrm{r} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i - \bar{P}\right)\left(O_i - \bar{O}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(P_i - \bar{P}\right)^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(O_i - \bar{O}\right)^2}} \quad (۷)$$

در دو رابطه فوق O_i داده مشاهداتی iاُم، P_i داده پیش‌بینی شده iاُم، n تعداد کل مشاهدات و $\bar{O}$ و $\bar{P}$ مقادیر متوسط O_i و P_i با $i = 1, 2, 3, \ldots, n$ می‌باشند.

نتایج و بحث

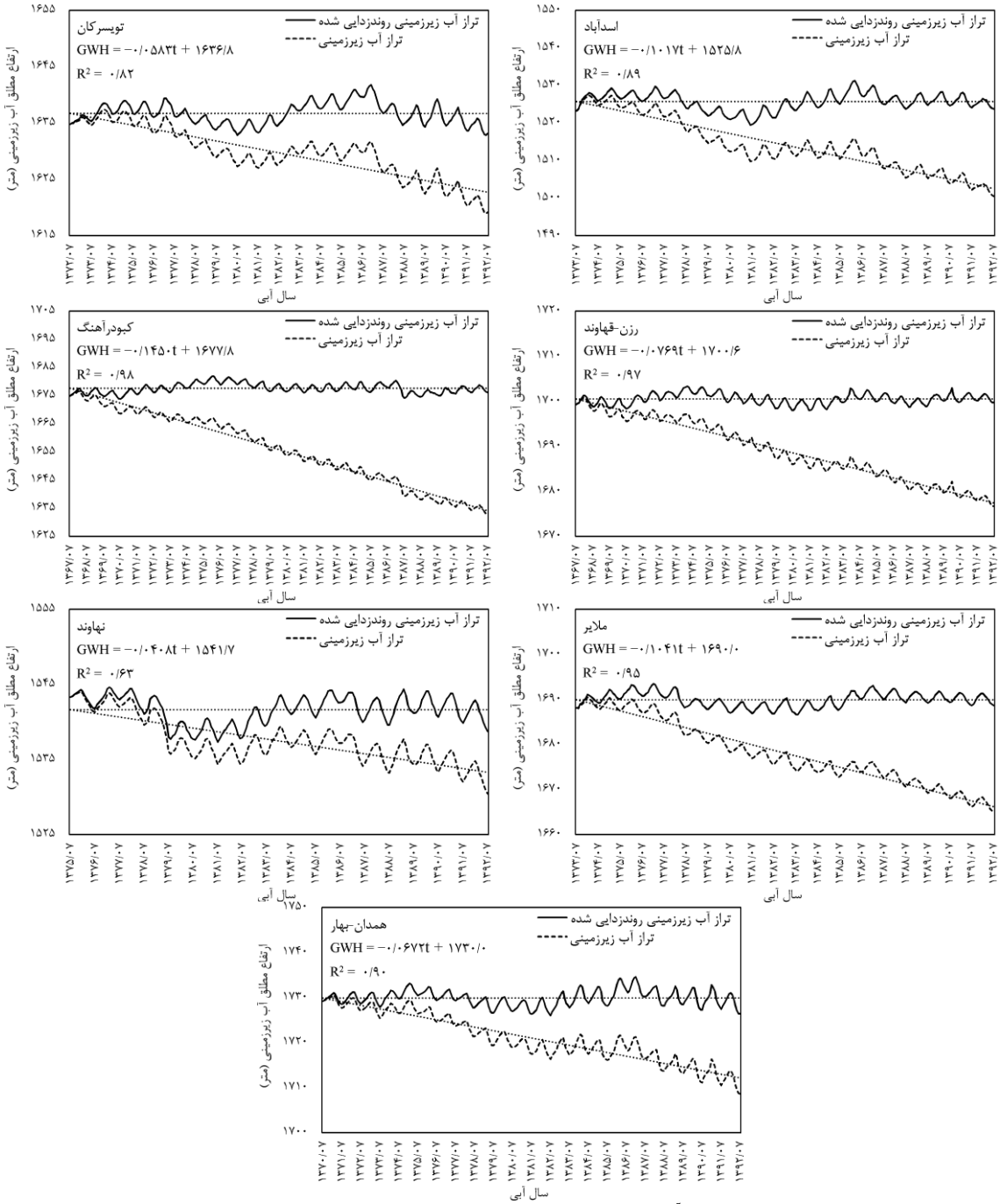
شکل ۲ هیدروگراف دشت‌های استان همدان را نشان می‌دهد که با توجه به آن روند ادامه‌دار و معنی‌دار افت سطح ایستابی و نبود توازن بین برداشت و تغذیه مشاهده می‌شود. معادله خطی روند نزول تراز آب زیرزمینی بر روی داده‌ها برازش داده شد، که ضرایب معادله و مقدار ضریب تبیین (R^2) آن در شکل ۲ آورده شده است. در این معادلات GWH تراز آب زیرزمینی (متر) و t زمان (ماه) است. همچنین نتایج آزمون من–کندال حاکی از وجود روند قطعی در سری‌های زمانی تراز آب زیرزمینی دشت‌های استان همدان می‌باشد. بدین‌ترتیب جمله روند (αt) از داده‌های تراز آب زیرزمینی در دشت‌های مختلف کسر شد و از سری‌های زمانی روندزدایی شده در مدل‌سازی و پیش‌بینی استفاده شد، که در شکل ۲ آورده شده‌اند. روندزدایی از سری‌های زمانی تراز آب زیرزمینی در

1- Augmented Dicky-Fuller test (ADF) 2- Autocorrelation (AC) 3- Partial autocorrelation (PAC)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.102]

دشت‌های استان همدان باعث شد توزیع داده‌ها به توزیع نرمال نزدیک‌تر شود. این مسئله به‌طور نمونه برای دشت اسدآباد در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج برای سایر دشت‌ها نیز مشابه بودند. در این شکل هیستوگرام تراز آب زیرزمینی قبل و بعد از روندزدایی نشان داده شده است.



شکل ۲- تراز ماهانه آب زیرزمینی و معادله روند برازش داده شده برای دشت‌های استان همدان

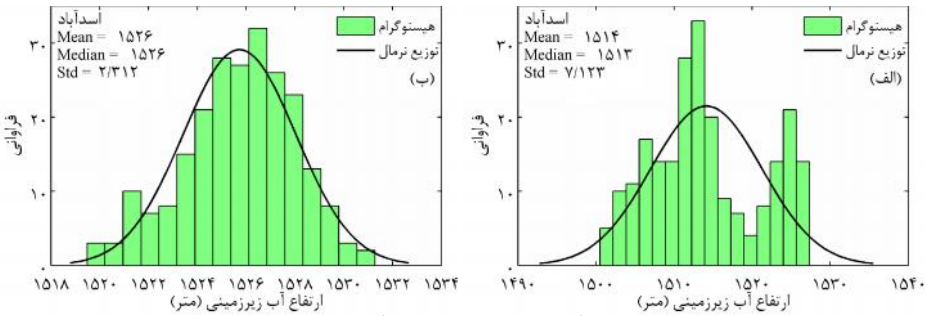
Figure 2. Monthly groundwater level and the fitted trend equation for the plains of Hamadan province

در شکل ۳ مشاهده می‌شود که روندزدایی باعث کاهش انحراف معیار (Std) شده است. بیشترین تغییر انحراف معیار در دشت کبودرآهنگ که بیشترین افت سطح ایستابی بلندمدت برابر ۴۰/۵۴ متری را داشته است با ۸۷ درصد کاهش اتفاق افتاد و کمترین تغییرات انحراف معیار در دشت نهاوند که کمترین افت بلند مدت تراز آب زیرزمینی برابر ۹/۹۸ متری را داشته است با ۳۹ درصد رخ داد. کاهش انحراف معیار در اثر روندزدایی نشان می‌دهد که پراکندگی داده‌ها کمتر شده است. پس از روندزدایی از داده‌ها حداکثر و حداقل انحراف معیار برابر ۲/۳۱ و ۱/۱۷ متر به‌ترتیب در اسدآباد و رزن–قهاوند به‌دست آمد. همچنین روندزدایی باعث شد

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.102]

که مقادیر میانگین (Mean) و میانه (Median) برابر شوند. نزدیک‌تر شدن توزیع داده‌ها به توزیع نرمال تأثیر مستقیم بر مقادیر AC و PAC گذاشت، به‌نحوی که دقت در مرحله تشخیص مدل را افزایش داد. با توجه به اینکه نتایج مراحل تشخیص، تخمین و کنترل در شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ برای دشت‌های استان همدان مشابه بودند، این نتایج به‌طور نمونه تنها برای دشت اسدآباد ارائه شد.



شکل ۳- نمونه هیستوگرام تراز آب زیرزمینی در دشت اسدآباد، (الف) قبل و (ب) بعد از روندزدایی

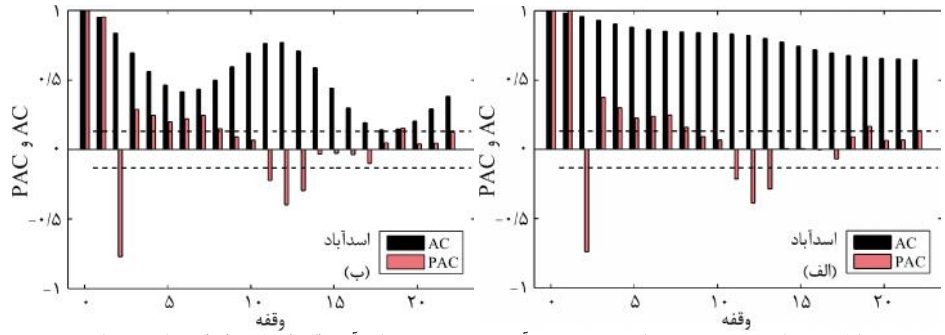
Figure 3. Typical histogram of groundwater level in Asadabad plain (a) before and (b) after the detrending

جدول ۲- انایی سری زمانی تراز آب زیرزمینی روندزدایی شده

Table 2. Stationary of the detrended groundwater level time series

دشت	آماره ADF	مقدار بحرانی آزمون در سطح ۵ درصد	نتیجه آزمون	آماره DW
اسدآباد	−۲/۶۰	−۳/۴۳	نامانا	۲/۰۳
تویسرکان	−۲/۸۲	−۳/۴۳	نامانا	۱/۹۴
رزن-قهاوند	−۲/۱۸	−۳/۴۳	نامانا	۲/۰۶
کبودرآهنگ	−۲/۴۱	−۳/۴۳	نامانا	۲/۰۲
ملایر	−۲/۱۹	−۳/۴۳	نامانا	۲/۱۳
نهاوند	−۲/۲۵	−۳/۴۳	نامانا	۱/۹۹
همدان-بهار	−۲/۷۱	−۳/۴۳	نامانا	۱/۹۶

نتایج آزمون ریشه واحد دیکی-فولر تعمیم یافته، برای بررسی مانایی سری‌های زمانی روندزدایی شده تراز آب زیرزمینی، در جدول ۲ آورده شده است. این جدول نشان می‌دهد که در سطح ۵ درصد کلیه سری‌های زمانی دارای ریشه واحد هستند و نامانا می‌باشند. سری‌های زمانی نامانا با تفاضل‌گیری مرتبه اول به سری‌هایی مانا تبدیل شدند. نزدیک بودن مقادیر آماره دوربین-واتسون به ۲ نشان می‌دهد مدل‌ها خود همبستگی مرتبه اول ندارند و تعداد وقفه‌های در نظر گرفته شده برای آزمون ریشه واحد مناسب می‌باشند.



شکل ۴- توابع AC و PAC برای سری زمانی آب زیرزمینی دشت اسدآباد، (الف) قبل و (ب) بعد از روندزدایی

Figure 4. The AC and PAC functions for the groundwater level time series of Asadabad plain; (a) before and (b) after the detrending

نمودار توابع AC و PAC برای سری‌های زمانی قبل و بعد از روندزدایی در شکل ۴ به‌طور نمونه برای دشت اسدآباد آورده شده است. نتایج برای سایر دشت‌ها نیز مشابه بود. در این شکل مقادیر توابع AC و PAC به‌وسیله نمودار میله‌ای و حدود معنی‌داری آن‌ها با دو خط نقطه‌چین موازی با محور افقی نشان داده شده است. عبور نمودارهای میله‌ای از خطوط نقطه‌چین بیانگر معنی‌دار بودن AC یا PAC در وقفه مشخص است. همان‌طور که در شکل ۴- الف مشاهده می‌شود با استفاده از داده‌های روندزدایی نشده تراز آب زیرزمینی، پیک محلی در مقادیر تابع AC در وقفه‌های ضرایب ۱۲ قابل تشخیص نمی‌باشد. بدین ترتیب روندزدایی از سری زمانی آب

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.102]

زیرزمینی باعث شد که مقدار تابع AC در وقفه‌های ضرایب ۱۲ به پیک محلی برسد (شکل ۴–ب). این مسئله نیز لزوم روندزدایی از سری‌های زمانی که در آن‌ها روند قطعی وجود دارد را مشخص می‌کند. وجود پیک محلی در تابع AC در وقفه‌ها با ضرایب ۱۲ در شکل ۴–ب نشان می‌دهد که سری زمانی، روندی فصلی با دوره ۱۲ دارد (s = ۱۲). همچنین معنی‌دار بودن مقادیر AC و PAC در شکل ۴–ب نشان می‌دهد که سری زمانی تراز آب زیرزمینی از نوع فرآیندهای کاملاً تصادفی نبوده و می‌توان آن‌ها را بر اساس مقادیر گذشته‌شان پیش‌بینی کرد. الگوی نزولی مستقیم و نوسانی در مقادیر AC و PAC در شکل ۴-ب نشان می‌دهد که سری‌های زمانی به‌ترتیب از نوع AR و MA، یا به‌عبارت دیگر از نوع ARMA می‌باشند.

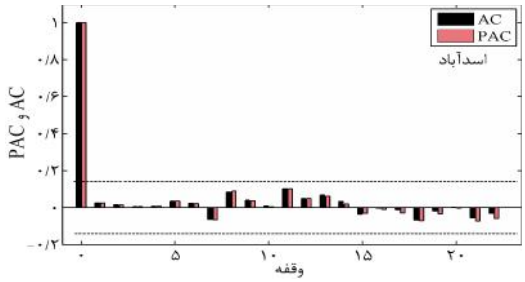
جدول ۳– الگوهای سری‌های زمانی انتخابی

Table 3. The selected time series models

دشت	مدل بهینه ARIMA فصلی	AIC
اسدآباد	ARIMA$(3, 1, 4)\times(0, 1, 1)_{12}$	۰/۴۸
تویسرکان	ARIMA$(5, 1, 4)\times(0, 1, 1)_{12}$	۰/۱۷
رزن–قهاوند	ARIMA$(3, 1, 3)\times(1, 0, 1)_{12}$	−۰/۰۸
کبودرآهنگ	ARIMA$(4, 0, 3)\times(0, 1, 1)_{12}$	۰/۲۸
ملایر	ARIMA$(2, 1, 2)\times(0, 1, 1)_{12}$	−۰/۰۵
نهاوند	ARIMA$(2, 0, 0)\times(0, 1, 1)_{12}$	۰/۲۱
همدان–بهار	ARIMA$(2, 1, 3)\times(1, 0, 1)_{12}$	۰/۵۸

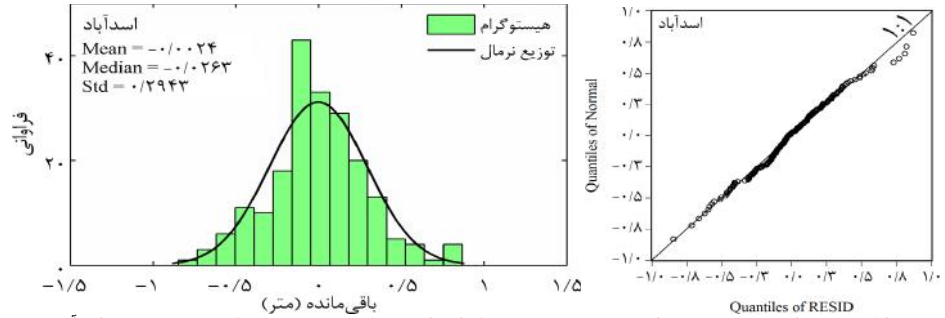
با تغییر مقادیر p و q از صفر تا ۶ در ترکیب‌های مختلف و تغییر درجه پارامترهای فصلی، کلیه حالات ممکن در نظر گرفته و مدل‌های ARIMA$(p, d, q)\times(P, D, Q)_s$ بر روی سری‌های زمانی برازش داده شدند. سپس بهترین مدل برای هر دشت بر اساس AIC، HQC، SC، بازبینی باقی‌مانده‌ها و DW انتخاب شد (جدول ۳). همچنین کنترل شد که قدر مطلق ریشه‌های معادله مشخصه هر مدل برازش شده اتورگرسیو (AR) و میانگین متحرک (MA) کوچکتر از یک باشند. به‌عبارت دیگر شرط مانایی فرآیندهای AR و MA مورد بررسی قرار گرفت.

بازبینی و کنترل باقی‌مانده‌ها برای تمامی مدل‌های برازش داده شده انجام شد، که نمودارهای آن تنها برای مدل‌های انتخاب شده در شکل‌های ۵ و ۶ در دشت اسدآباد آورده شده است. نتایج سایر دشت‌ها مشابه بود. شکل ۵ که ترسیم مقادیر AC و PAC می‌باشد، نشان می‌دهد خودهمبستگی مقادیر باقی‌مانده در وقفه‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری از صفر ندارند. به‌عبارت دیگر باقی‌مانده‌ها مستقل و ناهمبسته می‌باشند. شکل ۶ نمودار Q-Q و هیستوگرام مقادیر باقی‌مانده حاصل از برازش مدل بر روی داده‌های سری زمانی تراز آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. در شکل ۶ با توجه به نزدیک بودن نقاط نمودار Q-Q به خط ۱:۱ و برازش خوب هیستوگرام مقادیر باقی‌مانده با توزیع نرمال، می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر باقی‌مانده توزیعی نرمال دارند. به‌طور کلی شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند که مدل‌های ارائه شده، به‌خوبی نوسانات تراز آب زیرزمینی را شبیه‌سازی و تبیین کردند.



شکل ۵– نمودار توابع AC و PAC برای باقی‌مانده‌های مدل سری زمانی برازش داده شده، به‌طور نمونه در دشت اسدآباد

Figure 5. The AC and PAC functions for the residuals of the fitted time series model, typically represented for Asadabad plain

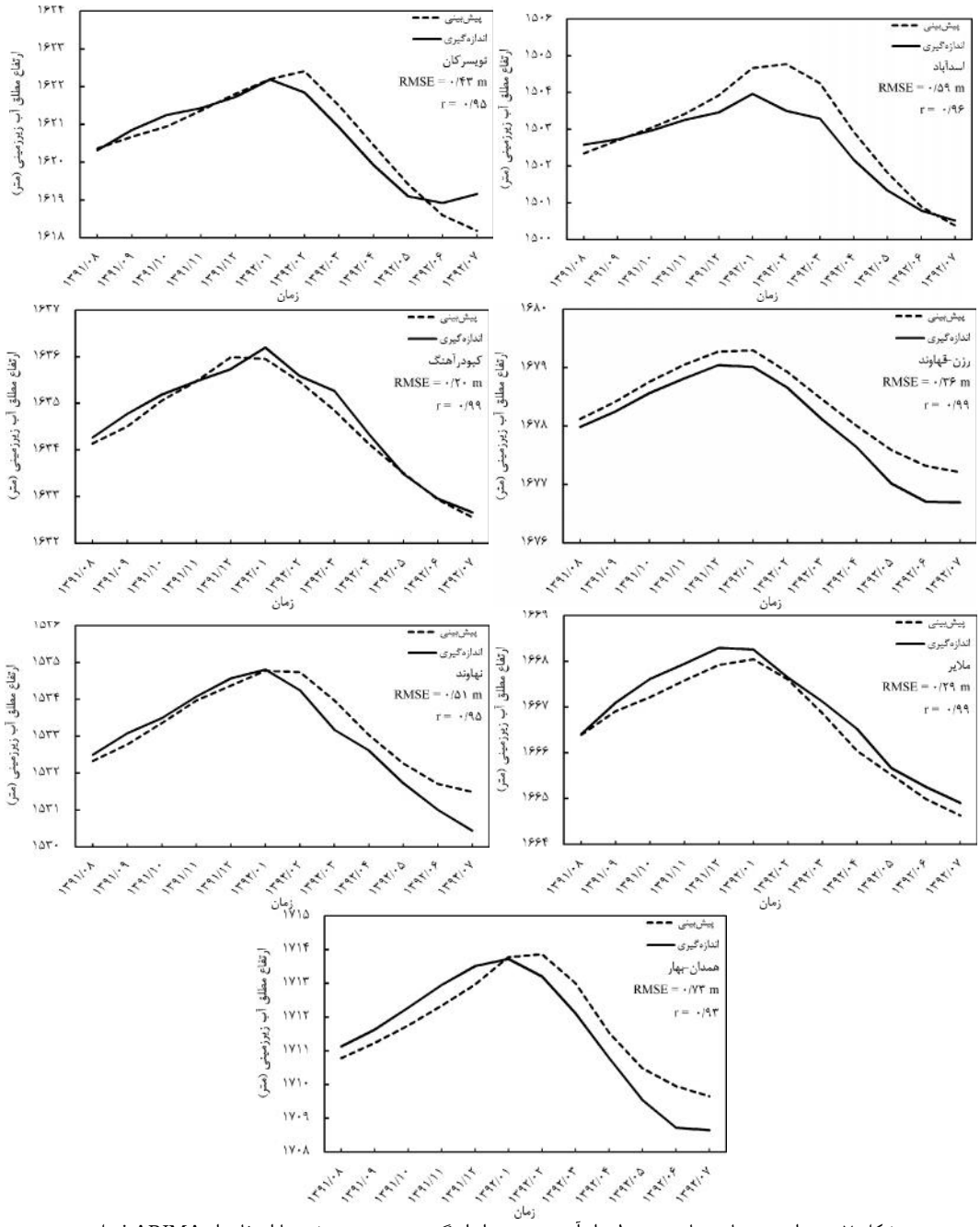


شکل ۶- نمودار Q-Q و هیستوگرام مقادیر باقی‌مانده حاصل از برازش مدل سری زمانی به‌طور نمونه در دشت اسدآباد

Figure 6. The QQ-plot and the histogram for the residuals of the fitted time series model, Asadabad plain typically represented

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.102]



شکل ۷- نمودار سری‌های زمانی متوسط تراز آب زیرزمینی اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده با استفاده از ARIMA فصلی
Figure 7. The observed and forecasting of the average groundwater level time series using seasonal ARIMA

پیش‌بینی‌های خارج از نمونه با استفاده از مدل‌های انتخابی ARIMA فصلی تنها برای ۱۲ ماه انجام شد. زیرا این مدل‌ها اساساً برای پیش‌بینی‌های کوتاه مدت ارائه شده‌اند و از سوی دیگر پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت نسبت به بلندمدت مطمئن‌تر هستند (۲۹). با توجه به اینکه پیش‌بینی‌ها برای سری‌های زمانی روندزدایی شده انجام شده بود، مقدار جمله روند به آن‌ها اضافه شد. شکل ۷ مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده تراز آب زیرزمینی در سال آبی ۹۲-۹۱ را نشان می‌دهد. این شکل و مقادیر RMSE و r نشان می‌دهند، دقت مدل‌های ARIMA فصلی برازش شده در پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی ۱۲ ماهه مناسب است. در پیش‌بینی‌های انجام شده، مقادیر r از ۰/۹۳ تا ۰/۹۹ و RMSE از ۰/۲۰ تا ۰/۷۳ متر به‌دست آمد و بهترین و ضعیف‌ترین پیش‌بینی‌ها به‌ترتیب در دشت‌های کبودرآهنگ و همدان-بهار صورت گرفت.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.102]

در این مطالعه سری‌های زمانی تراز آب زیرزمینی ماهانه در دشت‌های استان همدان تشکیل و مدل‌های مختلف ARIMA فصلی بر روی آن‌ها برازش داده شدند. بهترین مدل در هر دشت با استفاده از معیارهای اطلاعات، بازبینی باقی‌مانده‌ها و DW انتخاب شد. از مدل‌های انتخابی برای پیش‌بینی‌های خارج از نمونه ۱۲ ماهه استفاده و نتایج آن با مقادیر مشاهداتی مقایسه شد. نتایج نشان داد مدل‌های ARIMA فصلی پیشنهادی، تراز آب زیرزمینی را به‌خوبی پیش‌بینی می‌کنند، به‌طوری که در همه دشت‌ها مقادیر r بیشتر از ۰/۹۳ و RMSE کوچک‌تر از ۰/۷۳ متر به‌دست آمد. بنابراین می‌توان از مدل‌های ارائه شده در پیش‌بینی‌ها و محاسبه داده‌های مفقود تراز آب زیرزمینی در دشت‌های مورد مطالعه استفاده کرد. کاربرد مدل‌های ارائه شده برای پیش‌بینی‌های بلند مدت توصیه نمی‌شود. زیرا با افزایش دوره زمانی پیش‌بینی از کیفیت پیش‌بینی کم می‌شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود این مدل‌ها تنها در پیش‌بینی‌های کوتاه مدت استفاده شوند. در مدل‌سازی سری‌های زمانی غالباً چندین مدل می‌توان یافت که برازش خوبی روی داده‌های نمونه دارند و پیش‌بینی از طریق تک‌تک آن‌ها امکان‌پذیر است. اما نباید به‌سادگی تصور نمود که مدل با برازش بهتر، الزاماً پیش‌بینی‌های بهتر را ارائه می‌دهد.

بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی تمامی دشت‌ها براساس داده‌های گذشته نشان داد مقدار افت سالانه بین ۰/۵۹ متر در دشت نهاوند تا ۱/۶۹ متر برای دشت کبودرآهنگ در نوسان بود. به‌طوری که بخشی از این نوسانات به‌واسطه گسترش کشت‌های آبی جدید ناشی از توسعه آبیاری تحت فشار، جایگزینی چاه‌های خشک شده به‌دلیل محدودیت‌های قانونی عدم جایگزینی و ارائه تسهیلات و حمایت‌های ارزان قیمت می‌باشد. از طرفی ادامه مداخلات انسانی به‌موازات تغییرات طبیعی نظیر تغییر اقلیم و خشک‌سالی‌ها می‌تواند مقدار تغییرات منفی را در دوره‌های آتی تشدید نماید. تشکیل موارد متعدد فروچاله به‌ویژه در دشت کبودرآهنگ نتیجه مداخلات انسانی در برداشت خارج از ظرفیت منابع آب زیرزمینی است. از آنجا که اقتصاد استان همدان بنیان کشاورزی دارد، توصیه می‌شود که بهره‌برداری از آبخوان‌های استان همدان محدود و متوازن شود. همچنین توصیه می‌شود ضمن ارتقاء راندمان آبیاری و استفاده روش‌های نوین آبیاری، گسترش زمین‌های کشاورزی آبی محدود گردد. اعمال کم‌آبیاری به همراه تغییر الگوی کشت نظیر جایگزینی کشت دیم محصولات گندم و جو به جای کشت آبی آن‌ها اقدام شود. خلاءهای قانونی در عدم جایگزینی چاه‌های خشک و کف شکنی چاه‌های کم آب مرتفع گردد. استفاده از آب‌های نامتعارف در تأمین بخشی از آب کشاورزی و عدم توسعه صنایع آب‌بر جدید در دستور کار مدیریت اجرایی استان قرار گیرد. فرهنگ استفاده بهینه از آب در همه بخش‌های مصرف نظیر شرب، کشاورزی و صنایع از طریق راه‌کارهایی نظیر افزایش قیمت آب بهاء، اعمال جریمه‌های مصارف مازاد، نصب کنتورهای هوشمند و آگاهی‌رسانی از طریق رسانه‌ها ایجاد گردد.

تشکر و قدردانی

از شرکت آب منطقه‌ای همدان که با در اختیار گذاشتن داده‌ها به این مطالعه کمک کرده‌اند، صمیمانه سپاس‌گزاری می‌شود.

منابع

1. Adamowski, J. and H.F. Chan. 2011. A wavelet neural network conjunction model for groundwater level forecasting. Journal of Hydrology, 407: 28-40.
2. Ahn, H. 2000. Modeling of groundwater heads based on second-order difference time series models. Journal of Hydrology, 234: 82-94.
3. Amosson, S., L. Almas, B. Golden, B. Guerrero, J. Johnson, R. Taylor and E. Wheeler-Cook. 2009. Economic Impacts of selected water conservation policies in the Ogallala aquifer. Report on Ogallala Aquifer Project, Texas AgriLife Extension Service, Texas, US, 50 pp.
4. Bierkens, M.F.P. and M. Knotters. 1999. Calibration of transfer function-noise models to sparsely or irregularly observed time series. Water Resources Research, 35(6): 1741-1750.
5. Box, G.E.P., G.M. Jenkins and G.C. Reinsel. 2008. Time series analysis: forecasting and control. 4th ed., John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, US, 746 pp.
6. Chow V.T. and S.J. Kareliotis. 1970. Analysis of stochastic hydrologic systems. Water Resources Research, 6(6): 1569-1582.
7. Engel, B.A. and K.C.S. Navulur. 2006. The role of geographical information systems in groundwater engineering. In: Delleur, J. W. (ed.) The handbook of groundwater engineering. 717-732 pp., CRC press, Boca Raton, Florida, US.
8. Guan, X., S. Wang, Z. Gao, Y. Lü and C. Wang. 2011. Groundwater depth forecast based on multi-variate time series CAR model. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 27(7): 64-69.
9. Hamadan Regional Water Authority, 2014. Basic research reports of the Hamadan province water resources. Hamadan Regional Water Authority co., Hamadan, Iran, 197 pp. (In Persian).
10. Hipel K.W., A.I. McLeod and W.C. Lennox. 1977. Advances in Box-Jenkins modeling 1. model construction. Water Resources Research, 13(1): 567-575.
11. Hipel, K.W. and A.I. McLeod. 1994. Time series modelling of water resources and environmental systems. Vol. 45 In: Developments in water science, Elsevier, New York, US, 1012 pp.
12. Izadi, A., K. Davari, A. Aliazdeh, B. Ghahreman and S.A. Haghayeghi Moghadam. 2007. Water table forecasting using artificail neural networks. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 1(2): 59-71 (In Persian).
13. Izadi, A., K. Davari, A. Alizadeh and B. Ghahreman. 2008. Application of Panel Data Model in Predicting Groundwater Level. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 2(2): 133-144(In Persian).
14. Knotters, M. and P.E.V. van Walsum. 1997. Estimating fluctuation quantities from time series of water-table depths using models with a stochastic component. Journal of Hydrology, 197: 25-46.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.102]

15. Llamas, M.R. and A. Garrido. 2007. Lessons from intensive groundwater use in Spain: economic and social benefits and conflicts. In Giordano, M. and K.G. Villholth (eds) The agricultural groundwater revolution: Opportunities and threats to development. 266-298, CABI, Trowbridge, UK.
16. Mackay, J.D., C.R. Jackson and L. Wang. 2014. A lumped conceptual model to simulate groundwater level time-series. Environmental Modelling & Software, 61: 229-245.
17. Mahdavi, M., B. Farokhzadeh, A. Salajeghe, A. Malakian and Souri M. 2012. Simulation of Hamedan-Bahar aquifer and investigation of management scenarios by using PMWIN. Watershed Management Research, 98: 108-116 (In Persian).
18. Malekinezhad, H. and R. Poorshareiati. 2013. Application and Comparison of Integrated Time Series and Artificial Neural Network Model for Prediction of the Variations of Groundwater Level (Case study: Plain Marvast). Journal of Irrigation Science and Engineering, 36(3): 81-92 (In Persian).
19. Mirzavand, M., J. Sadatinejad, H. Ghasemieh, R. Imani, M. Soleymani Motlagh. 2014. Prediction of ground water level in arid environment using a non-deterministic model. Journal of Water Resource and Protection, 6: 669-676.
20. Naderianfar, M., H. Ansari, A. Ziaie and K. davary. 2011. Evaluating the groundwater level fluctuations under different climatic conditions in the basin Neyshabour. Irrigation and Water Engineering, 1(3): 22-37 (In Persian).
21. Naderianfar, M., H. Ansari, H. Dehghan and M. Salari. 2009. Forecasting the groundwater oscillation of the Nishapur plain using the time series models. National Conference on Sustainable Development Patterns in Water Management, 779-794 pp., Mashhad, Iran (In Persian).
22. Nakhaei, M. and A. Saberi Nasr. 2012. Groundwater oscillation forecasting of the Qorveh plain using wavelet-neuarl network and comparing with the MODFLOW numerical model. Advanced Applied Geology, 1(4): 47-58 (In Persian).
23. Poormohammadi, S., H. Malekinezhad and R. Poorshareyati. 2013. Comparison of ANN and time series appropriately in prediction of ground water table (Case Study: Bakhtegan basin). Journal of Water and Soil Conservation, 20(4): 251-262 (In Persian).
24. Qureshi, A.S., P.G. McCornick, A. Sarwar and B.R. Sharma. 2010. Challenges and prospects of sustainable groundwater management in the Indus Basin, Pakistan. Water Resources Management, 24(8): 1551-1569.
25. Samani, N. 2001. Response of karst aquifers to rainfall and evaporation, Maharlu Basin, Iran. Journal of Cave and Karst Studies, 63(1): 33-40.
26. Shah, T. 2005. Groundwater and human development: challenges and opportunities in livelihoods and environment. Water Science and Technology, 51(8): 27-37.
27. Shirmohammadi, B., M. Vafakhah, V. Moosavi and A. Moghaddamnia. 2013. Application of several data-driven techniques for predicting groundwater level. Water Resources Management, 27: 419-432.
28. Soltani, G. and M. Saboohi. 2008. Economic and social impacts of groundwater overdraft: the case of Iran. Equity and Economic Development EFR 15th ERF annual conference, 1-16, Cario, Egypt.
29. Souri, A. 2012. Econometrcs with the application of Eviews7. Farhangshenasi Publication and Noor-e Elm Publication, Tehran, Iran, 519 pp (In Persian).
30. Sreekanth, P.D., N. Geethanjali, P.D. Sreedevi, S. Ahmed, N.R. Kumar and P.K. Jayanthi. 2009. Forecasting groundwater level using artificial neural networks. Current science, 96(7): 933-939.
31. Taormina, R., K.W. Chau and R. Sethi. 2012. Artificial neural network simulation of hourly groundwater levels in a coastal aquifer system of the Venice lagoon. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 25(8): 1670-1676.
32. Trichakis, I.C., I.K. Nikolos and G.P. Karatzas. 2009. Optimal selection of artificial neural network parameters for the prediction of a karstic aquifer's response. Hydrological Processes, 23(20): 2956-2969.
33. Yang, L. 2013. Evaluation of the Impact of Government Policy on the Overuse of Groundwater in the Minqin Basin in China. Computational Water, Energy and Environmental Engineering, 2: 59-68.
34. Yoon, H., S.C. Jun, Y. Hyun, G.O. Bae and K.K. Lee. 2011. A comparative study of artificial neural networks and support vector machines for predicting groundwater levels in a coastal aquifer. Journal of Hydrology, 396(1): 128-138.
35. Zare Abianeh, H., M. Bayat Varkeshi and S. Marofi. 2012. Investigating Water Table Depth Fluctuations in the Malayer Plain. Water and Soil Science, 22(2): 173-190 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.102]

Groundwater Level Modeling and Forecasting using the Time Series Models (Case Study: the Plains of Hamadan Province)

Ali Afruzi[1] and Hamid Zare Abyaneh[2]

1- Ph.D. Student, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University
2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University (Corresponding author: zare@basu.ac.ir)
Received: February 19, 2016 Accepted: October 8, 2016

Abstract

Regarding the reliance of the agricultural and industrial sections and the drinking water on the groundwater resources in Hamadan province, the modeling and forecasting groundwater level fluctuations to utilize the resources is a basic necessity. One of the usual method in this way is the utilization of the time series models that give simply and clearly good short-term forecasts if the models are used in the correct way. Therefore, the raw data of piezometers in the plains of Hamadan province are taken and after the preprocessing job and using the Thiessen polygon, the time series of each plain is formed. The Mann-Kendall test showed deterministic trend in all the time series of the plains which consequently it is needed to detrend by excluding the trend term from the time series. Subsequently, the unit root test is carried out for whether the time series are stationary, and then using the Box-Jenkins method, seasonal ARIMA models are applied to the sample data and the bests are selected. Afterwards, the ARIMA models are used in the 12 months forecasting that gives the good out-of-sample forecasts, which in all the plains the lowest Pearson's correlation coefficient and the highest root mean square error are calculated 0.93 and 0.73 m, respectively, for the Hamadan-Bahar plain. Moreover, the best 12-months forecast is obtained in the Kaboudarahang plain with a Pearson's correlation coefficient of 0.99 and a root mean square error of 0.20 m.

Keywords: Box-Jenkins, Groundwater level decline, SARIMA, Seasonal ARIMA, Trend

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.102]