

## مدل سازی سری زمانی جریان های سیلابی رودخانه گرگانرود

❖ **محمد رضا اکبری؛** دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

❖ **مجید رحیمی\*؛** دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

### چکیده

وقایع حدی از جمله خشکسالی و سیل در کشور ایران همواره به عنوان یکی از مهم ترین و زیان بارترین مسائل کشور بوده و بررسی وقوع و پیش بینی آن ها در کانون توجه اکثر محققان بوده است. وقوع سیلاب در سال های اخیر و عدم توانایی سیستم مدیریت جهت اقدام به موقع جهت کاهش اثرات آن بر جوامع در معرض سیل همه را بر آن داشته تا با استفاده از روش های مختلفی به پیش بینی سیلاب بپردازند؛ اما عدم وجود امکانات پایش و برداشت داده های هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه های آبخیز کشور مانعی بزرگ بر سر راه مطالعات سیلاب تلقی می گردد. از این رو کاربرد حداقل داده های موجود جهت پیش بینی سیلاب می تواند راهی مناسب جهت برنامه ریزی و مطالعه سریع سیلاب در ایران باشد. در این مطالعه به بررسی کاربرد مدل سازی سری زمانی ARIMA و مدل هیبریدی ARIMA-Fourier جهت مدل سازی دبی حداکثر لحظه ای در مقیاس سالانه در ۶ ایستگاه حوزه آبخیز گرگانرود پرداخته شد. نتایج نشان داد که به کارگیری مدل ARIMA به تنهایی نمی تواند نتیجه قابل قبولی به خصوص در مقیاس داده های سالانه داشته باشد، اما کاربرد مدل ARIMA-Fourier به خوبی توانست میزان دقت و کارایی مدل را افزایش دهد، به طوری که میزان شاخص های ارزیابی دقت و کارایی مدل به میزان قابل توجهی بهبود یافتند. در نتیجه می توان کاربرد مدل های هیبریدی مانند ARIMA-Fourier را جهت بهبود کارایی مدل سازی سری زمانی جریان های سیلابی مورد استفاده قرار داد.

**کلمات کلیدی:** مدل ARIMA، تبدیل Fourier، مدل هیبریدی ARIMA-Fourier، دبی حداکثر لحظه ای.

## ۱. مقدمه

مدل ARIMA غیر فصلی معمولاً دارای فرم  $ARIMA(p,d,q)$  است.

[۱۴] جریان و TDS رودخانه کارون در غرب ایران را با استفاده از دو مدل ARIMA و SARIMA مدل‌سازی و پیش‌بینی نمودند. برای این منظور داده‌های سری زمانی از ایستگاه حرمله در رودخانه جمع‌آوری شدند. به منظور جمع‌آوری داده‌های سری زمانی، [۱۵] از کاربرد شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در ترکیب با موجک برای مدل حداکثر دبی جریان سالانه در رودخانه کازی هندوستان استفاده کرده و این روش را جهت بهبود در نتایج مدل‌سازی سری زمانی داده‌های دبی جریان سالانه مفید و معرفی نمودند. [۶] از روش تبدیل Fourier برای شبیه‌سازی داده‌های سری زمانی جریان استفاده نموده و به این نتیجه رسیدند که این روش توانایی خوبی برای مدل‌سازی داده‌های سری زمانی دارد.

همچنین [۳] به تحلیل توانایی مدل میانگین متحرک جامع خود همبسته برای پیش‌بینی دو سال آینده جریان روزانه ورودی به مخزن سد دز و با کاربرد سری Fourier جهت حذف روند داده‌ها پرداخته و به این نتیجه رسیدند که نتایج پیش‌بینی توسط مدل انتخابی آن‌ها توانسته است به طور نسبی روند آبدی متوسط روزانه ورودی به مخزن سد دز برای دو سال آینده را پیش‌بینی نموده و در مقایسه نتایج آن با تحقیقات گذشته نشان داد که میانگین قدر مطلق خطای نسبی پیش‌بینی آبدی روزانه از  $3/12$ ، به  $0/6$  تنزل پیدا کرده و طول دوره پیش‌بینی می‌تواند از ده روز به دو سال افزایش یابد [۳].

به طور کلی بررسی سری زمانی دبی حداکثر سیلابی و مدل‌سازی آن به صورت دقیق و قابل کاربرد، نیازمند در دسترس بودن داده‌های اولیه، یعنی دبی حداکثر لحظه‌ای برای مدتی طولانی می‌باشد، لذا در این تحقیق جهت بررسی توانایی مدل سری زمانی ARIMA و ترکیب آن با مبدل داده Fourier، از داده‌های بلندمدت حداکثر دبی لحظه‌ای ۶ ایستگاه هیدرومتری در حوزه آبخیز گرگانرود استفاده گردید.

کشور ایران به دلیل واقع شدن در منطقه خشک و نیمه خشک جهان هر ساله با وقوع سیلاب‌های شدید و ناگهانی مواجه می‌باشد، به طوری که طی ۵۰ سال (۱۳۳۰-۱۳۸۰) تعداد ۳۷۰۰ مورد سیل حادثه‌خیز در آن به ثبت رسیده است. از این رو با توجه به اهمیت پیش‌بینی و مدل‌سازی سیلاب در مطالعه و طراحی‌های هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب و اینکه پیش‌بینی سیلاب مستلزم نصب، راه‌اندازی و نگهداری از تجهیزات و سامانه ثبت سیلاب می‌باشد و بسیاری از حوضه‌های آبخیز کشور فاقد چنین امکاناتی هستند، استفاده از روش یا روش‌هایی که بتوان به کمک آن‌ها با استفاده از داده‌های اولیه در دسترس، وضعیت سیلاب در آینده را پیش‌بینی نمود، از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد [۲].

تغییرات سیستم‌های هیدرولوژیکی در طی زمان و توانایی سری‌های زمانی در تحلیل وضعیت و ماهیت مدل‌های سری زمانی که در گروه مدل‌های جعبه سیاه قرار می‌گیرند، امکان به‌روزرسانی آن در شرایط متغیر محیطی ناشی از عوامل مختلف را فراهم می‌کند که در آن نیاز به شناخت و تحلیل روابط پیچیده بین عوامل نیست. در کنار دلایل فوق پیشرفت‌های موجود در بررسی سری‌های زمانی و توسعه روز افزون این مدل‌ها در کنار مباحثی از قبیل سری‌های زمانی- مکانی که در آن بعد زمان به عنوان متغیر مستقل وارد می‌شود کاربرد آن را توسعه بخشیده است. کاربرد سری‌های زمانی در هیدرولوژی از چهار دهه پیش آغاز شده و با ارائه مدل‌های باکس و جنکینز به اوج خود رسید [۱۱].

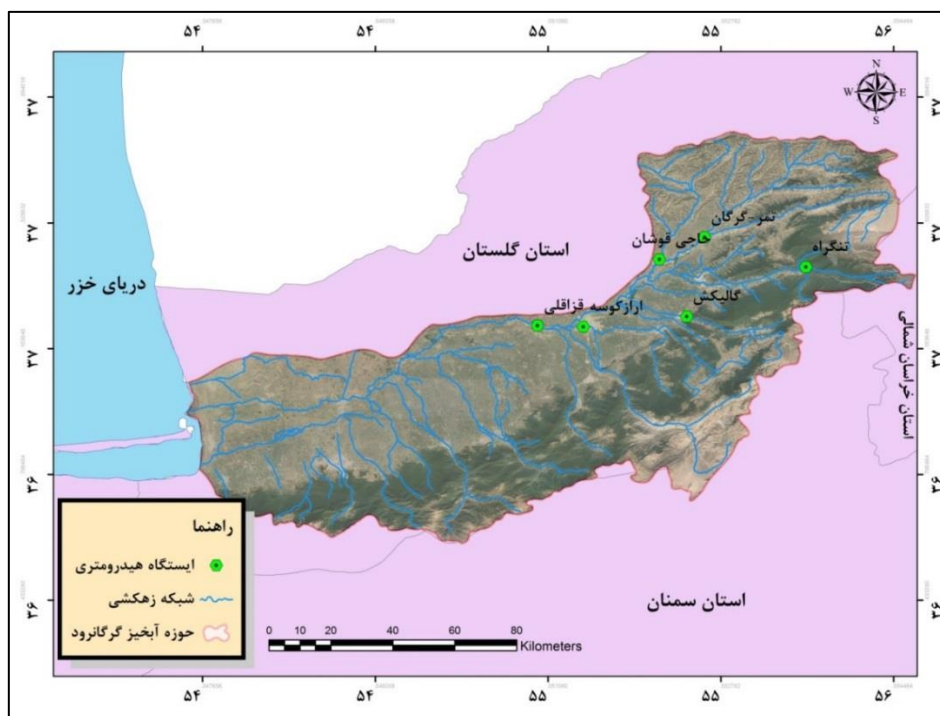
ARIMA اولین بار توسط باکس و جنکینز در سال ۱۹۷۶ ارائه شد [۴]. در این مدل، پیش‌بینی مقادیر آتی یک متغیر، به عنوان یک تابع خطی از مشاهدات گذشته و خطاهای تصادفی فرض شده است. قبل از برازش مدل بهتر است که داده‌ها ایستا شده و روند آنها حذف گردد. این مدل نسبتاً قوی به ویژه در پیش‌بینی‌های کوتاه مدت است. مدل ARIMA هم فصلی و هم غیرفصلی بوده و

## ۲. روش‌شناسی

### ۲.۱. منطقه مورد مطالعه

۳۰۰ میلی‌متر در کناره‌های جنوبی و شمالی حوزه تا حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر در بخش مرکزی آن متغیر است [۷]. این حوزه از شمال و شرق به حوزه رودخانه اترک و از جنوب به حوزه آبخیز کویر نمک و از جنوب غربی به حوزه رودخانه نکا محدود می‌شود. مساحت این حوزه ۱۳۰۶۱ کیلومتر مربع بوده و دارای دو دشت به نام‌های گرگان-گنبد و رباط-قره‌بیل می‌باشد [۱۰].

حوزه آبخیز گرگانرود در بخش جنوب شرقی دریای خزر و در استان گلستان قرار دارد که در محدوده ۵۴ درجه تا ۵۶ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. میانگین سالانه بارش در این حوزه از حدود



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

### ۲.۲. روش تحقیق

سپس با استفاده از آزمون نرمال بودن داده‌ها، از توزیع یا عدم توزیع نرمال داده‌های موجود آگاه گردیده و سپس در صورت نرمال نبودن داده‌ها از آزمون روند غیرپارامتری من-کندال استفاده می‌شود (معادله ۱، ۲ و ۳). همچنین در صورت نرمال بودن داده‌ها باید از روش‌های پارامتری جهت تحلیل روند استفاده گردد.

آزمون من-کندال، یک آزمون غیرپارامتری بر پایه بررسی روند بوده و توسط [۸] و [۹] ارائه شده است. در این آزمون، بر اساس فرض صفر، داده‌ها از یک سری

به منظور مدلسازی سری زمانی جریان‌های سیلابی در حوزه آبخیز گرگانرود، ۶ ایستگاه هیدرومتری در بالادست این حوزه انتخاب گردیده و از داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای بلندمدت سالانه (۴۵ ساله) آن‌ها استفاده گردید. ابتدا داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای مورد نیاز از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری وزارت نیرو جمع‌آوری گردیده و پیش‌پردازش داده‌ها شامل مرتب‌سازی آن‌ها اعمال گردید.

سری‌های زمانی دارای روند، ابتدا باید با استفاده از روش‌های مختلفی اقدام به حذف روند از داده‌ها گردد. یکی از روش‌های رایج در حذف روند از داده‌های با تغییرات زیاد، استفاده از مبدل Fourier است [۵]؛ لذا در این مطالعه ابتدا روش مدل‌سازی ARIMA (معادله ۴، ۵ و ۶) و سپس ترکیب آن با مبدل Fourier (معادله ۷) در مدل هیبریدی ARIMA-Fourier جهت حذف روند و مدل‌سازی سری زمانی داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای رودخانه استفاده گردید. در نهایت دقت و کارایی این دو مدل مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند.

در معادله ۴ مدل ARIMA ارائه شده است:

معادله (۴)

$$\Phi_p(B)\Phi_p^*(B)(1-B)^d(1-B^s)^d\tilde{Z}_t = \theta_q(B)\theta_q^*(b)a_t$$

که "p" ترتیب (تعداد تأخیرهای زمانی) مدل خودهمبسته، "d" درجه اختلاف و "q" ترتیب مدل میانگین متحرک است،  $\tilde{Z}_t = Z_t - \bar{Z}$  و  $a_t$  یک فرآیند نویز سفید با واریانس ثابت است.  $\Phi_p(B)$  و  $\theta_q(B)$  به صورت زیر تعریف می‌شوند:

معادله (۵)

$$\Phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$$

معادله (۶)

$$\theta_p(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_p B^p$$

که در آن  $\phi_j$  و  $\theta_j$  پارامترهای اصطلاحات خودهمبستگی و متحرک غیر فصلی مدل هستند و "B" عملگر تغییر جهت است به طوری که  $BZ_t = Z_{t-1}$  [۱۲]. همچنین تبدیل Fourier یک سری زمانی معین  $x = (x_1, \dots, x_t, \dots, x_n)$  از طول n است:

معادله (۷)

$$f(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi n}} \sum_{t=1}^n e^{-i\omega t} x_t, \quad -\pi \leq \omega \leq \pi$$

مستقل بوده و دارای محتوای یکسانی خواهند بود، در صورت رد شدن فرض صفر داده‌ها دارای روند معنی‌دار بوده که جهت مدل‌سازی نیازمند حذف روند از داده‌ها می‌باشیم [۱۳].

آزمون روند من-کندال به صورت زیر ارائه گردیده است:

معادله (۱)

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i), \text{ where } \text{sgn}(x) = \begin{cases} +1, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases}$$

که فرآیند واریانس از معادله ۲ محاسبه می‌شود:

معادله (۲)

$$\sigma_s^2 = \frac{1}{18} [N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t+5)]$$

در این معادله، "m" تعداد بسته‌های دارای داده گره خورده و "ti" تعداد داده‌های گره‌دار در هر دسته "m" است.

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sigma_s}, & \text{if } s > 0 \\ 0, & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sigma_s}, & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad \text{معادله (۳)}$$

مقدار 'z' بدست آمده با معادلات فوق با مقادیر 'z' با جدول توزیع استاندارد استاندارد با سطح اطمینان مطلوب مقایسه می‌شود. اگر "z" یک جدول محاسباتی بزرگتر از "z" بود، با نبود روند با سطح اطمینان مطلوب، فرضیه صفر رد می‌شد. در صورت وجود فرآیندی از مقادیر مثبت "z"، روند مثبت و منفی "z" نشان دهنده روند منفی است.

پس از تعیین وجود یا عدم وجود روند در داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای و سپس به منظور مدل‌سازی

(مانند سالانه) دارای دقت اندکی بوده و به طور کلی مدل‌سازی ARIMA برای مدل‌های با گام‌های زمانی کوچک دقت بالایی دارد، کاربرد مدل‌های هیبریدی، یعنی ترکیب مدل ARIMA با روش‌های تبدیل داده دیگر می‌تواند به خوبی در رسیدن به نتیجه مطلوب به محققان کمک کند. لذا در این مطالعه از روش تبدیل داده Fourier در ترکیب با مدل ARIMA استفاده شد که در نتیجه باعث به وجود آمدن مدل هیبریدی ARIMA-Fourier گردید.

بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی ایستگاه هیدرومتری تمر، مدل (1,0,1) ARIMA برای این ایستگاه با  $R^2=0.04$  و  $NSE=0.02$  دارای بهترین پاسخ در بین مدل‌های ARIMA بوده که نتیجه قابل قبولی نمی‌باشد. اما با اعمال مبدل Fourier بر روی داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای و سپس اعمال مجدد مدل سری زمانی بر روی داده‌های تبدیل‌یافته، مدل (4,0,4) ARIMA-Fourier دارای بهترین نتیجه با  $R^2=0.57$ ،  $RMSE=81.86$  و  $NSE=0.57$  می‌باشد. همچنین در ایستگاه جاجی قوشان، تنگراه، گالیکش، قزاقلی و ارازکوسه، مدل (1,0,1) ARIMA دارای  $R^2$  تقریباً همانند نتایج ایستگاه تمر محاسبه گردیده، که با اعمال مبدل Fourier و ارائه مدل‌های هیبریدی ARIMA-Fourier با  $R^2$  به ترتیب برابر ۰/۶۵، ۰/۵۱، ۰/۴۴ و ۰/۴۱ بهترین نتایج جهت مدل‌سازی دبی حداکثر لحظه‌ای در مقیاس سالانه بودند (جدول ۱) ارائه گردیدند. به طور کلی میانگین  $R^2$  محاسبه شده تک مدل ARIMA برای تمام ایستگاه‌ها برابر ۰/۰۳، میانگین شاخص  $RMSE$  برابر ۱۲۱/۱۱ و میانگین ضریب  $NSE$  برای تمام ایستگاه‌ها برابر ۰/۰۲ محاسبه گردیده است، در حالی که با کاربرد مدل ARIMA-Fourier مقدار میانگین  $R^2$  به ۰/۵۴ و  $NSE$  به ۰/۵۵ افزایش و  $RMSE$  به ۷۲/۰۸ کاهش یافته است.

با توجه به قرار گرفتن ایستگاه هیدرومتری جاجی قوشان، تمر و تنگراه در بالادست حوزه آبخیز

که در آن  $i = \sqrt{-1}$  واحد فرضی است. سری زمانی اصلی را می‌توان با تبدیل پشتیبان بازیابی کرد [۵، ۱۶]. پس از تبدیل داده‌ها با استفاده از مبدل Fourier، نتایج مدل‌سازی داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای رودخانه با استفاده از دو مدل ARIMA و ARIMA-Fourier توسط دو شاخص ضریب تعیین ( $R^2$ ) و  $RMSE$  مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند. شاخص میانگین مربعات خطا یا  $RMSE$  (معادله ۸)، تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می‌باشد، همچنین  $RMSE$  ابزار خوبی برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی توسط یک مجموعه داده است و برای مقایسه چند مجموعه داده کاربرد ندارد [۱].

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2} \quad \text{معادله (۸)}$$

که  $S_i$  مقدار برآوردی مدل و  $O_i$  مقدار عدد مشاهداتی دبی حداکثر لحظه‌ای می‌باشد.

همچنین ضریب  $NSE$  (معادله ۹) یکی از رایج‌ترین شاخص‌های ارزیابی مدل‌های هیدرولوژیکی است که حالتی استاندارد از تابع حداقل مربعات خطاها است.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad \text{معادله (۹)}$$

که دامنه تغییرات  $NSE$  از  $-\infty$  تا  $+1$  بوده و هر چه به  $+1$  نزدیکتر باشد نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل است [۱]. در نهایت با مقایسه شاخص‌های اندازه‌گیری شده، میزان دقت و کارایی کاربرد دو مدل ARIMA و ARIMA-Fourier مورد بحث و بررسی قرار گرفتند.

### ۳. نتایج

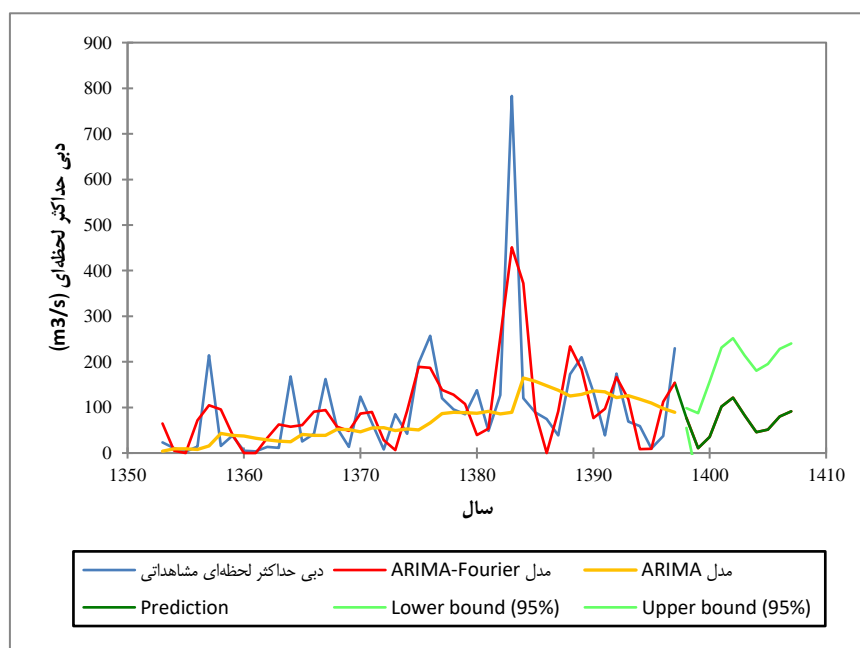
در این مطالعه جهت مدل‌سازی جریان‌های سیلابی رودخانه گرگانرود، از روش مدل‌سازی سری زمانی ARIMA استفاده گردید. از طرفی با توجه به اینکه مدل‌سازی سری زمانی در مقیاس‌های با فاصله زمانی زیاد

ARIMA مقادیر بهینه  $p$  و  $q$  در تمامی ایستگاه‌ها برابر ۱ محاسبه گردیده‌اند، در صورتی که در مدل ARIMA-Fourier مقدار  $p$  برابر ۴ و ۵ و مقدار  $q$  برابر ۱ تا ۴ برای هر ایستگاه متغیر بوده‌اند. در شکل‌های ۲ تا ۷ نتایج مربوط به داده‌های مشاهداتی و خروجی مدل ARIMA-Fourier و همچنین مقادیر پیش‌بینی ۱۰ ساله دبی حداکثر لحظه‌ای هر ایستگاه هیدرومتری نمایش داده شده است.

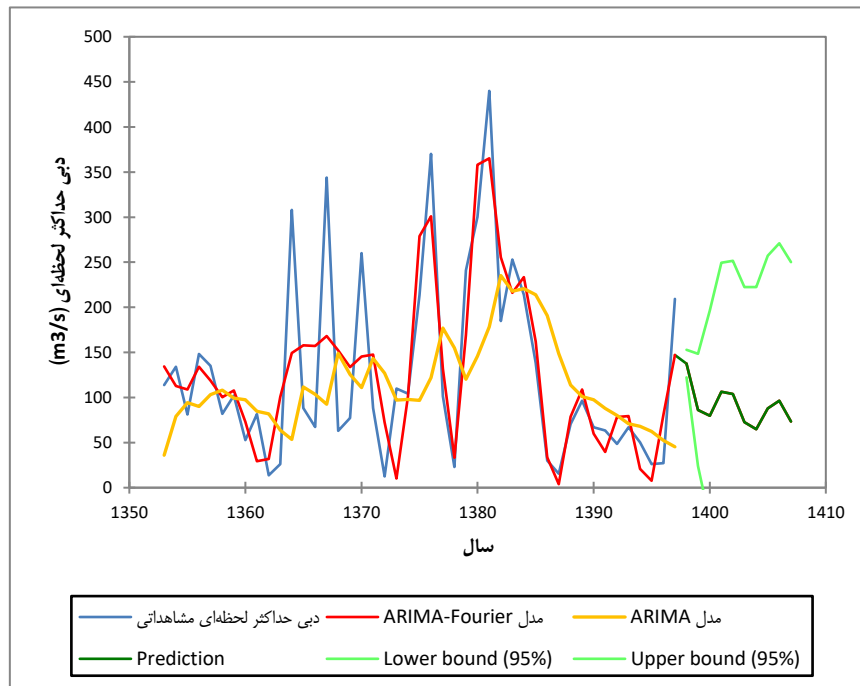
گرگنرود و احتمالاً تاثیر کمتر دخالت‌های انسانی در بالادست این ایستگاه‌ها، شاهد آشفتگی کمتر در داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای آن‌ها می‌باشیم، در حالی که در ایستگاه‌های پایین‌تر حوزه مانند قزاقلی و ارازکوسه، با توجه به وجود شهرها و سدهای مخزنی احتمالی در بالادست این ایستگاه‌ها، آشفتگی و اختلال در داده‌ها بیشتر بوده و لذا مدل‌سازی هیبریدی ARIMA-Fourier نسبت به بقیه ایستگاه‌ها، توانایی کمتری در مدل‌سازی جریان سیلابی در این ایستگاه‌ها داشته است. در مدل

جدول ۱. ارزیابی مدل‌های سری زمانی جریان سیلابی

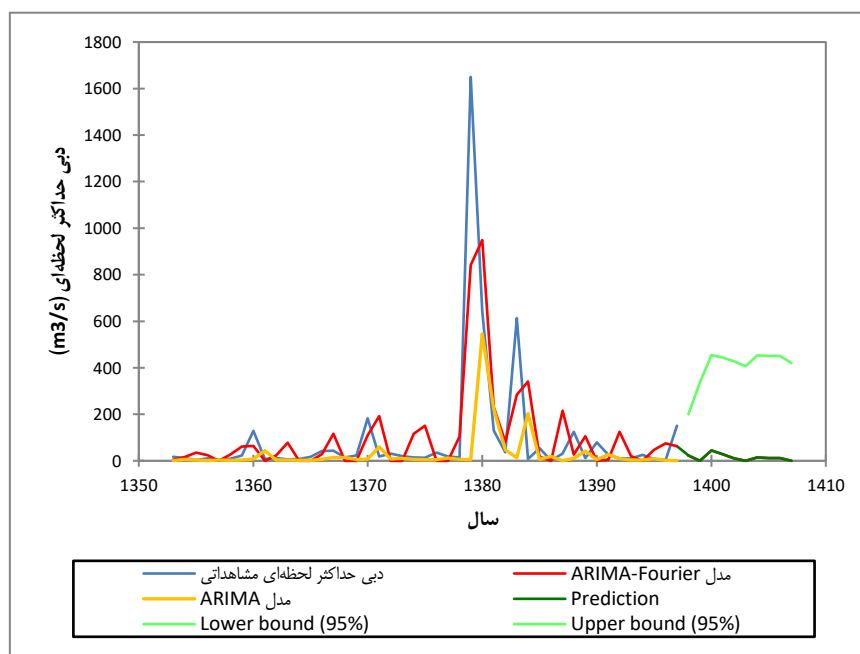
ARIMA-Fourier			ARIMA			ایستگاه		
NSE	RMSE	R2	نوع مدل	NSE	RMSE		R2	نوع مدل
۰/۵۷	۸۱/۸۶	۰/۵۷	ARIMA-Fourier (4,0,4)	۰/۰۲	۱۲۶/۴۱	۰/۰۴	ARIMA(1,0,1)	تمر
۰/۶۶	۶۰/۲۳	۰/۶۶	ARIMA-Fourier (5,0,2)	۰/۰۲	۱۰۴/۶۲	۰/۰۵	ARIMA(1,0,1)	جاجی قوشان
۰/۶۴	۱۶۰/۶۷	۰/۶۵	ARIMA-Fourier (5,0,3)	۰/۰۱	۲۶۷/۶۱	۰/۰۷	ARIMA(1,0,1)	تنگراه
۰/۵۱	۶۱/۱۰	۰/۵۱	ARIMA-Fourier (5,0,1)	۰/۰۳	۸۹/۱۸	۰/۰۴	ARIMA(1,0,1)	گالیکش
۰/۴۴	۷۶/۲۹	۰/۴۴	ARIMA-Fourier (4,0,3)	۰/۰۲	۱۰۳/۴۱	۰/۰۱	ARIMA(1,0,1)	قزاقلی
۰/۴۱	۴۴/۹۹	۰/۴۱	ARIMA-Fourier (5,0,2)	۰/۰۴	۵۹/۶۲	۰/۰۱	ARIMA(1,0,1)	ارازکوسه



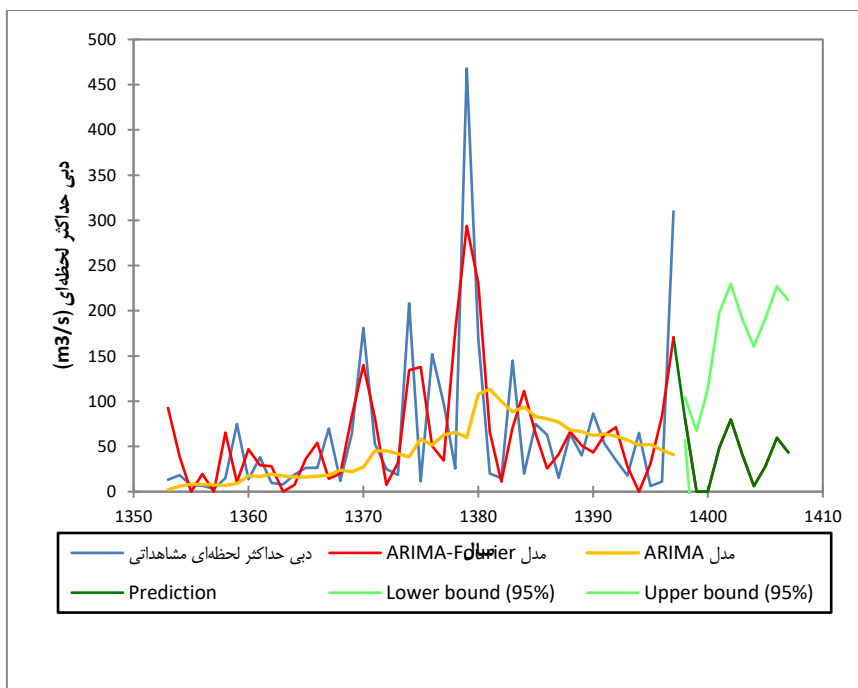
شکل ۲- نتایج مدل‌سازی مدل ARIMA و ARIMA-Fourier ایستگاه هیدرومتری تمر



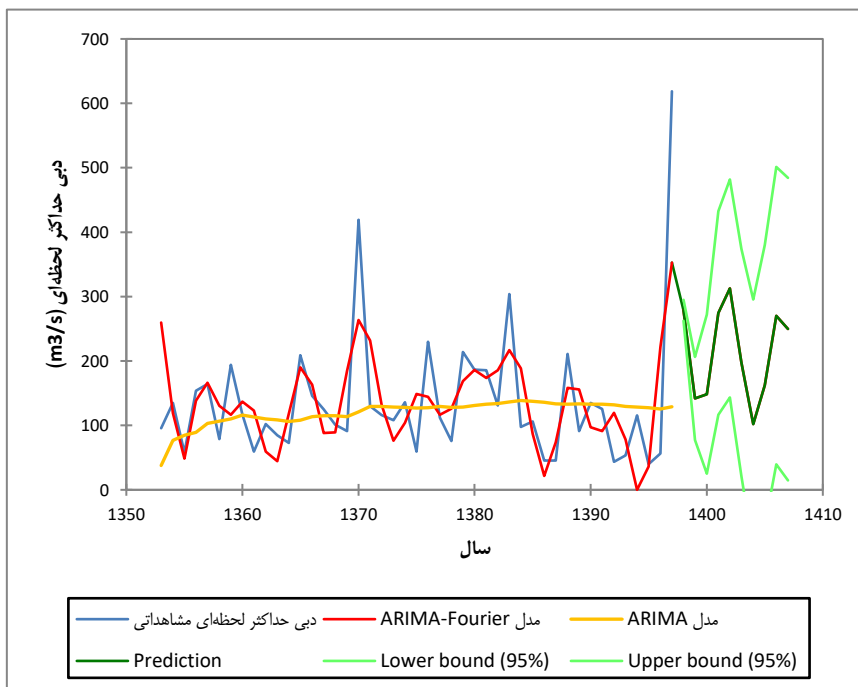
شکل ۳- نتایج مدل‌سازی مدل ARIMA و ARIMA-Fourier ایستگاه هیدرومتری جاچی قوشان



شکل ۴- نتایج مدل‌سازی مدل ARIMA و ARIMA-Fourier ایستگاه هیدرومتری تنگراه

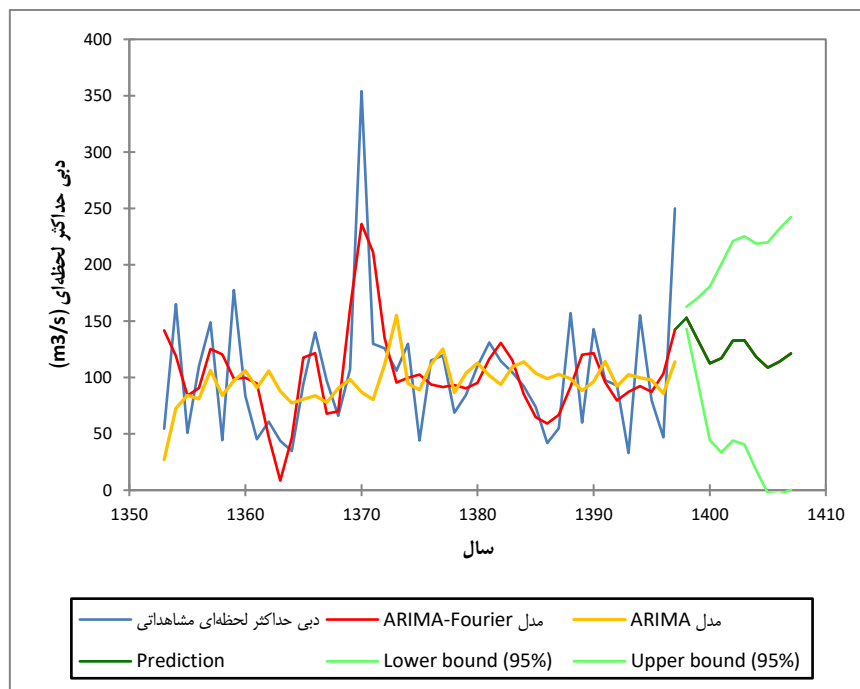


شکل ۵- نتایج مدل سازی مدل ARIMA و ARIMA-Fourier ایستگاه هیدرومتری گالکیش



شکل ۶- نتایج مدل سازی مدل ARIMA و ARIMA-Fourier ایستگاه هیدرومتری فزاقلی





شکل ۷- نتایج مدل‌سازی مدل ARIMA و ARIMA-Fourier ایستگاه هیدرومتری آرازکوسه

داده‌های موجود طولانی‌مدت، یعنی داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای پرداخته و در مقیاس سالانه راه‌حلی جهت پیش‌بینی دبی حداکثر لحظه‌ای در سال‌های آینده ارائه شود.

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد مدل‌های سری زمانی به صورت تک‌مدل نمی‌تواند با دقت مناسبی سیلاب را مدل‌سازی و پیش‌بینی نماید، از این رو با استفاده از مدل‌هایی همچون مبدل Fourier، می‌توان پس از روندزدایی از داده‌ها، در نتیجه مدلی مناسب‌تر و با دقت و کارایی بهتر ارائه نمود. بر این اساس در این مطالعه، آمار دبی حداکثر لحظه‌ای بلندمدت (۴۵ ساله) ۶ ایستگاه هیدرومتری در حوزه آبخیز گرگانرود مورد مدل‌سازی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از مدل ARIMA به صورت تک‌مدل، دارای نتیجه ضعیفی در پیش‌بینی و مدل‌سازی سیلاب بوده، اما تبدیل داده‌ها با استفاده از مبدل Fourier و ساخت مدل هیبریدی ARIMA\_Fourier توانست با ضریب تعیین و میزان

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

کشور ایران با توجه به قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک، همواره با مشکلاتی همچون خشکسالی و سیلاب که به عنوان پدیده‌های حدی شناخته می‌شوند مواجه بوده است. همچنین افزایش روزافزون وقایع فاجعه‌بار به خصوص سیلاب‌های با شدت بیشتر و مدت کمتر، می‌تواند به دلایل مختلفی چون تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی رخ دهد. از این رو مدل‌سازی و پیش‌بینی وقوع سیلاب با استفاده از روش‌های مختلف همواره دچار چالش بوده و بحث‌برانگیز است. از این رو پیش‌بینی وقوع سیلاب به عنوان یک پدیده آشوبناک به متغیرها و پارامترهای مختلفی وابسته می‌باشد. اما در شرایطی که داده‌ها و اطلاعات کافی از شرایط گذشته حوزه‌های آبخیز و رودخانه‌ها در دسترس نمی‌باشد، تکیه بر حداقل داده‌های موجود می‌تواند هم از لحاظ فنی و هم از لحاظ اقتصادی دارای صرفه اقتصادی باشد. از این رو در این مطالعه سعی شد تا با ارائه روشی به کاربرد حداقل

خودهمبستگی بین داده‌ها کاهش می‌یابد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد مدل‌های سری زمانی در ابتدا برای مقیاس‌های زمانی بلندمدت (مانند سالانه) با کاربرد مدل‌های هیبریدی پیشنهاد می‌شود، همچنین جهت عملکرد و کارایی بهتر این مدل‌ها، بهتر است که از بررسی ایستگاه‌ها و حوزه‌های دست‌کاری شده توسط انسان پرهیز شود. اما به طور کلی مدل‌سازی سری زمانی جریان‌های سیلابی توسط مدل ARIMA-Fourier می‌تواند به خوبی برای مناطق مختلف ایران که دارای امکانات و سرمایه کافی جهت برداشت داده متغیرهای جانبی جهت پیش‌بینی سیلاب نیستند مورد استفاده قرار بگیرد.

خطای قابل قبول، به خوبی سیلاب را در ایستگاه‌های مورد مطالعه مدل‌سازی و پیش‌بینی نماید که این مهم با نتایج [۱۵]، [۱۴] و [۶] هم‌خوانی دارد. همچنین با توجه به نتایج، ایستگاه‌هایی که در بالادست حوزه آبخیز قرار داشته و در بالادست آن‌ها تاثیرات انسانی کمتری قابل مشاهده است، مدل‌سازی دارای عملکرد بهتری بوده و در ایستگاه‌های پایین‌دست که تحت تاثیر مناطق شهری، کشاورزی و سدسازی‌های انسان‌ساخت قرار داشته‌اند عملکرد و کارایی کمتری در مدل‌سازی و پیش‌بینی جریان سیلابی وجود دارد. به علاوه با توجه به گام زمانی سالانه داده‌ها، مدل ARIMA به تنهایی نمی‌تواند اثر خودهمبستگی و میانگین متحرک داده‌ها را مدل‌سازی نموده، زیرا در طول یک‌سال میزان

## References

- [1] Akbarifard S, Qaderi K, and Alinnejad M. (2018). Parameter Estimation of the Nonlinear Muskingum Flood-Routing Model Using Water Cycle Algorithm. *jwmr*; 8 (16) :34-43.
- [2] Asadi, M., Jabbari, I., and Hesadi, H. (2020). Flood Modeling in Arid and Semiarid Areas Using HEC-HMS Model (Case Study: Esteghlal Minab Basin). *Quantitative Geomorphological Research*, 8(3), 17-33.
- [3] Banihabib, M., Bandari, R., and Mosavi Nadoshani, S. (2012). Analysis Ability of the Autoregressive Integrated Moving Average Model for Forecasting of Reservoir Daily Inflow of Dez Reservoir with Two-year lead Time. *Irrigation and Water Engineering*, 2(3), 46-57.
- [4] Box, G. E., Jenkins, G. M. and Bacon, D. W. (1967). Models for Forecasting Seasonal and Non-Seasonal Time Series (No. Tr-118). Wisconsin Univ. Madison Dept. of Statistics.
- [5] Bracewell, R. N. (2000). The Fourier transform and its applications (3rd ed.), Boston: McGraw-Hill, 496 pp, ISBN 978-0-07-116043-8.
- [6] Brunner, M. I., Bárdossy, A. and Furrer, R. (2019). Stochastic simulation of streamflow time series using phase randomization. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(8), 3175-3187.
- [7] Hosseini, S., Ghaffarzadeh, H., Abedi, Z. and Shiry, N. (2014). Assessment of Climate Change and its Impacts on the Natural Land use of Gorgan River Basin. *Journal of Natural Environment*, 67(1), 25-39.
- [8] Kendall, M. G. (1975). Rank correlation methods (pp: 202). Charles Griffin Book Series.
- [9] Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*. 13, 245-259.
- [10] Modaresi, F., Araghinejad, S., Ebrahimi, K. and Kholghi, M. (2014). Regional Assessment of Climate Change Using Statistical Tests: Case Study of Gorganroud-Gharehsou Basin. *Water and Soil*, 24(3), 476-489.
- [11] Mojiri, H. and Halabian A. (2019). Prediction of the Surface Run off in Semirom Mehregard Watershed Using ARIMA Model. *jwmseir*; 13 (46) :74-81.

- [12] Nury, A. H., Hasan, K. and Alam, M. J. B. (2017). Comparative study of wavelet-ARIMA and wavelet-ANN models for temperature time series data in northeastern Bangladesh. *Journal of King Saud University-Science*, 29(1), 47-61.
- [13] Nyikadzino, B., Chitakira, M. and Muchuru, S. (2020). Rainfall and runoff trend analysis in the Limpopo river basin using the Mann Kendall statistic. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 102870.
- [14] Salmani, M. H. and Jajaei, E. S. (2016). Forecasting models for flow and total dissolved solids in Karoun river-Iran. *Journal of Hydrology*, 535, 148-159.
- [15] Tiwari, H., Rai, S. P., Sharma, N. and Kumar, D. (2017). Computational approaches for annual maximum river flow series. *Ain Shams Engineering Journal*, 8(1), 51-58.
- [16] Vretblad, A. (2003). *Fourier analysis and its applications (Vol. 223)*. Springer Science & Business Media.