

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی‌های (SPI) و (SDI) حوزه آبخیز ملایر با استفاده از سری زمانی ARIMA

سمیرا فلاح ذوله^۱

علیرضا ایلدرمی^۲

حمید نوری^۳

چکیده

در سال‌های اخیر بررسی اثر تغییر اقلیم و پیش‌بینی خشکسالی‌ها در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در تحقیق حاضر ابتدا تغییرات احتمالی اقلیم روی دما و بارش حوزه آبخیز ملایر در دوره آماری (۱۳۷۱-۱۳۹۳) بررسی و پیش‌بینی‌های ماهانه، فصلی و سالانه برای دوره آماری (۱۳۹۰-۱۴۰۹) تحت سه سناریوی A_1 ، A_2 و B_1 با استفاده از مدل گردش عمومی $HadCM_3$ انجام و برای ریزمقیاس نمایی از مدل $LARS-WG$ ^۴ و از سری زمانی $ARIMA$ ^۵ ضربی و معیارهای AIC ^۶ و SBC ^۷ و آزمون پرت-ماتو در پیش‌بینی بارش و از شاخص‌های SDI ، SPI برای پیش‌بینی خشکسالی برای دوره (۱۳۹۷-۱۴۱۸) ایستگاه‌های هیدرومتری مرویل، پیهان و وسج استفاده شده است. نتایج حاکی از افزایش بارش و دما در هر سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه در دوره آینده می‌باشد و نشان می‌دهد که بزرگترین خشکسالی هواشناسی برای دوره پایه در سال ۱۳۷۹-۱۳۷۸ به میزان $1/96$ - رخ داده و در سال ۱۴۱۸-۱۴۱۷ به میزان $2/4$ - رخ می‌دهد. بررسی‌ها نشان داد که شدت وقوع خشکسالی‌های متوسط و شدید در دوره آماری آینده در ایستگاه‌های مرویل، پیهان و وسج افزایش می‌یابد و سبب کاهش دبی و خشکسالی هیدرولوژیکی می‌شود. نتایج حاصله بیانگر این است که به‌علت متغیر بودن میزان بارش و میانگین دمای هوا روند تغییرات خشکسالی‌ها در ماه‌های مختلف یکسان نبوده و طول دوره، شدت و فراوانی خشکسالی در ماه‌ها و سال‌های مختلف متفاوت می‌باشد. بررسی مقادیر همبستگی (r) و میانگین مربعات خطا (MSE) بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی دبی و بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه بیانگر توانمندی بالای مدل $ARIMA$ در شبیه‌سازی دبی ماهانه می‌باشد و می‌توان از آن در سایر حوزه‌های آبخیز کشور استفاده نمود.

واژگان کلیدی: $ARIMA$ ، $LARS-WG$ ، شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص خشکسالی جریان رودخانه‌ای (SDI)

^۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه ملایر

^۲. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر (نویسنده مسئول)

^۳. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

^۴. Hadley Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Model

^۵. Long Ashton Research Station-Weather Generator

^۶. Autoregressive moving average model

^۷. Akaike information criterion

^۸. Schwarz bayes criterion

مقدمه

پدیده خشکسالی به عنوان یکی از پیامدهای تغییر اقلیم موجب کاهش سریع دبی جریان‌های سطحی، افت مخازن آب های زیرزمینی، فرسایش و فرو نشست زمین می‌شود (کریمی جوزانی و همکاران، ۱۳۹۸). تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌ها باعث تغییر و بی نظمی در مدت، شدت، فرم و زمان بارش و دما و به تبع آن تغییر دبی رودخانه ها می‌شود (شی و همکاران^۱، ۲۰۱۵). در ایران توزیع زمانی و مکانی بارش بسیار ناموزون بوده و با توجه به کمبود منابع آب ناشی از تغییرات آب و هوایی و بروز خشکسالی ها، مدیریت منابع آب امری پیچیده می‌باشد (عبدالباطن و همکاران^۲، ۲۰۱۶). در حال حاضر بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش و بروز خشکسالی و کمبود منابع آب سطحی جهت برنامه‌ریزی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است (پاراژولی و همکاران^۳، ۲۰۱۶). برای ارزیابی و پیش‌بینی تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات خشکسالی و دبی استفاده از مدل‌های مناسب ارزیابی اثر تغییرات اقلیمی در کنار مدل‌های ارزیابی دبی می‌تواند بسیار مفید باشد (لین و همکاران^۴، ۲۰۱۵). به همین دلیل در سال‌های اخیر بررسی اثر تغییرات آب و هوایی و خشکسالی‌ها جهت کاهش اثرات و مدیریت خطرآن، به‌ویژه بر روی منابع آب مورد توجه محققان بسیاری قرار گرفته است (کریمی جوزانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ مصباح‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ قضاوی و همکاران، ۱۳۹۷؛ پیرمردیان و همکاران، ۱۳۹۵؛ کریمی، ۱۳۹۰؛ بهلکه و همکاران، ۱۳۹۶؛ عساکره و همکاران، ۱۳۹۶؛ خورانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ وروچیدو و همکاران^۵، ۲۰۱۳؛ الفرج و همکاران^۶، ۲۰۱۴). در این رابطه جهت بررسی و پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز می‌توان از مدل‌های سری زمانی مانند SARIMA به ویژه جهت پیش‌بینی دوره‌های خشک و داده‌های دبی حداقل و حداکثر استفاده و به نتایج قابل قبولی دست یافت (علیچانی و همکاران، ۱۳۹۷).

بازدی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI ایستگاه حوزه آبریز سلماس آذربایجان غربی با استفاده از AR، ARMA و ARIMA نشان دادند که خشکسالی تنها در ایستگاه نظرآباد روند افزایشی و در سایر ایستگاه‌ها روند کاهشی دارد.

کابوسی و همکاران (۱۳۹۶)، در بررسی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی و خشکسالی استان گلستان با استفاده از شاخص SPI و مدل‌های ECHO-G، LARS-WG HadCM3 نشان دادند که بیشترین فراوانی طبقات بارش سالانه در دوره آماری پایه و مدل ECHO-G در محدوده ۳۵۰ تا ۵۵۰ میلی‌متر و در مدل HadCM3 در محدوده ۴۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر قرار گرفته است.

دل آرام و همکاران (۱۳۹۸)، در شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های گزارش ارزیابی پنجم تحت سناریوهای RCP بر منابع آبی حوزه آبریز سد سلمان فارسی نشان دادند که پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی حاکی از افزایش تکرار بارش‌های شدیدتر و کاهش وقایع بارش با شدت کم‌تر در دوره آینده نسبت به گذشته می‌باشد که موجب افزایش سالانه رواناب و پتانسیل سیل‌خیزی حوزه در دوره آینده می‌شود.

جهانبخش اصل و همکاران (۱۳۹۸)، در ریزمقیاس نمایی روابط بارش-رواناب حوزه آبریز رود زرد در بستر تغییر اقلیم نشان دادند که بارش در ماه‌های فصل گرم افزایش و در ماه‌های فصل سرد کاهش خواهد یافت.

ساری صراف و همکاران (۱۳۹۸)، در بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر موازنه آبی ناشی از بارش در آبخوان تسوج با استفاده از مدل HELP نشان دادند در کنار کاهش بارش و افزایش دما، ویژگی‌های هیدرولیکی و رطوبتی خاک در میزان تغذیه نقش مهمی ایفا می‌کند، به طوری که با افزایش رطوبت خاک از میزان تغذیه کاسته شده و بر میزان رواناب افزوده خواهد شد.

¹. Shi, et al

². Abdul Baten, et al

³. Parajouli, et al

⁴. Lin, et al

⁵. Vrochidou, et al

⁶. Al-Faraj, et al



کنیری و همکاران (۱۳۹۹)، در بررسی چشم‌انداز آینده تغییرات دما و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر، نشان دادند که مدل SDSM توانایی لازم جهت شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش در منطقه مورد مطالعه را دارد. بر اساس نتایج حاصل از خروجی مدل CanESM2، مقدار دمای حداقل و حداکثر در همه ادوار مورد بررسی و در هر دوره نسبت به دوره قبل افزایش خواهد یافت.

حیدری و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی اثرات تغییرات دما و بارش با استفاده سناریوهای مختلف RCP در حوضه دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد در دوره‌های آبی میزان بارش کاهش و میزان دما افزایش خواهد یافت.

لی و همکاران^۱ (۲۰۱۶)، در بررسی توزیع مکانی شدت و فراوانی شرایط خشکسالی آینده با استفاده از شبیه‌سازی مدل گردش عمومی جو و شاخص SPI در کره جنوبی به این نتیجه رسیدند که در فصل زمستان بر عکس فصل بهار روند خشکسالی افزایش و شدت و فراوانی خشکسالی فصول گرم نیز در آینده افزایش می‌یابد.

مرسا و همکاران^۲ (۲۰۱۶)، شرایط خشکسالی آینده را با استفاده از شاخص‌های SPI، SPEI، SRI و در نظر گرفتن پیش‌بینی مدل اقلیمی در بخشی از لهستان بررسی کردند. نتایج نشان داد که شاخص SPEI بیانگر شرایط خشک‌تر و دو شاخص دیگر بیانگر اقلیم مرطوب‌تر در آینده خواهد بود.

تان و همکاران^۳ (۲۰۱۷)، به بررسی اثرات هیدرولوژیکی تغییرات اقلیم در حوضه رودخانه جوهور مالزی با استفاده از گروهی متشکل از شش مدل گردش عمومی و سه سناریوی RCP در دوره آینده پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که میانگین دما و بارش سالانه افزایش و به تبع آن دبی جریان حوضه افزایش خواهد یافت.

ژانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۷)، در بررسی پاسخ پوشش گیاهی به خشکسالی در مقیاس زمانی مختلف در سراسر چین: الگوهای مکانی - زمانی، دلایل و پیامدها نشان دادند که شاخص SPI مقدار دما را در ارزیابی خشکسالی به خوبی در نظر می‌گیرد و می‌تواند شرایط خشکسالی منطقه مورد مطالعه را واقعی‌تر و منطقی‌تر نمایش دهد.

لئو^۵ و همکاران (۲۰۱۷)، به چشم‌انداز تغییرات دما با استفاده از مدل SDSM در استان یوننان در چین پرداختند. نتایج نشان داد که در اکثر دوره‌های آینده دما در شمال غربی و جنوب شرقی منطقه به شکل قابل توجه‌ای افزایش خواهد یافت.

بنزه^۶ و همکاران (۲۰۱۸)، به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر بارش حوضه رودخانه زامبزی در آفریقای جنوبی با استفاده از مدل SDSM و سناریوهای RCP^۲ پرداختند. نتایج نشان داد که این مدل از کارایی لازم برای شبیه‌سازی بارش در منطقه برخوردار نیست. همچنین بر اساس نتایج بارش در ماه‌های مرطوب کاهش و در ماه‌های خشک افزایش می‌یابد.

نیلاوار^۷ و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی تغییرات دما و بارش تحت دو سناریوی RCP و اثرات آن بر جریان رودخانه‌های هند پرداختند. نتایج نشان داد که دما و بارش تحت هر دو سناریو در آینده افزایش اما جریان رودخانه‌ها کاهش پیدا خواهد کرد.

پتان^۸ و همکاران (۲۰۲۰)، تغییرات دما و بارش در حوضه بید کین در هندوستان را تحت سناریوهای مختلف RCP ارزیابی کردند. نتایج نشان داد میزان دما و بارش حوضه بر اساس کلیه سناریوها افزایش می‌یابد.

¹ . Lee, et al

² . Meresa, et al

³ . Tan, et al

⁴ . Zhang, et al

⁵ . Liu, et al

⁶ . Banze, et al

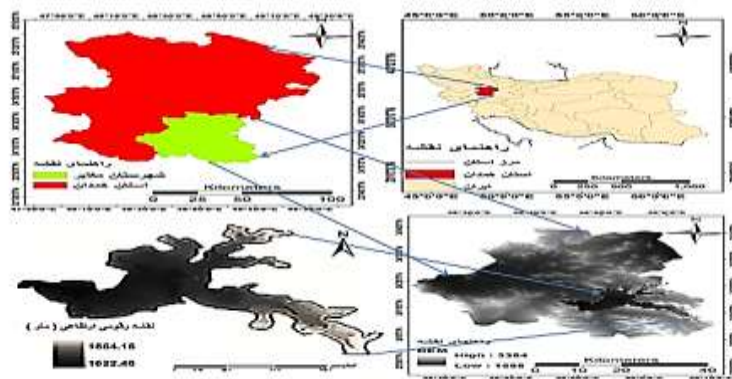
⁷ . Nilawar, et al

⁸ . Pathan, et al

در سال‌های اخیر حوزه‌آبخیز ملایر به‌علت بروز پدیده خشکسالی با کاهش سریع جریان‌های سطحی و افت مخازن آب‌های زیر زمینی روبرو شده است. هدف از این بررسی، ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی، تعیین قانونمندی و شناسایی رفتار پدیده خشکسالی و ارائه کارایی مدل ARIMA جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی وقوع خشکسالی‌های آبی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 مدل LARS- WG است. با توجه به تعداد وقوع خشکسالی‌ها در منطقه و ضرورت تعیین بهترین مدل پیش‌بینی با توجه به خصوصیات و تغییرات اقلیمی، ارزیابی مهارت مدل‌های پیش‌بینی سری‌های زمانی شاخص بارندگی استاندارد شده ضروری به نظر می‌رسد و از آنجائی که بیشترین سطح زیر کشت انگور ایران در شهر ملایر واقع شده و تغییرات اقلیمی نیز تاثیر مستقیمی بر عملکرد، کیفیت و بازده این محصول دارد، نتایج این بررسی می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه مصرف منابع آب و کاهش اثر خشکسالی در منطقه بسیار مفید باشد.

داده و روش‌ها

حوزه آبخیز ملایر با وسعتی حدود ۳۲۱۰ کیلومتر و در مختصات جغرافیایی $39^{\circ} 43' 39''$ تا $48^{\circ} 8' 48''$ طول شرقی و $34^{\circ} 34' 49''$ تا $33^{\circ} 30' 17''$ عرض شمالی در شهرستان ملایر استان همدان واقع شده است. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۱۷۸۰ متر، میانگین درجه حرارت سالانه $13/44$ درجه سانتی‌گراد و دارای آب و هوای معتدل کوهستانی می‌باشد (شکل ۱).



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز ملایر

هدف از این بررسی، ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی و پیش‌بینی خشکسالی‌های آبی در حوزه آبخیز ملایر است. داده‌های پایه مورد استفاده در بخش اقلیم شامل داده‌های مشاهداتی دما (حداقل و حداکثر)، بارش و ساعات آفتابی طی دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۷۱ میلادی ایستگاه سینوپتیک ملایر و داده‌های مربوط به خشکسالی شامل بارش و دبی روزانه ایستگاه‌های پیهان، مرویل و وسج می‌باشد که به‌ترتیب از سازمان هواشناسی کشور و آب منطقه‌ای کل استان همدان دریافت شدند. ابتدا وضعیت اقلیمی گذشته منطقه در دوره آماری ۱۳۷۱-۱۳۹۳ (کامل‌ترین دوره آماری موجود برای منطقه) بررسی و سپس به منظور کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل LARS- WG داده‌های روزانه ایستگاه‌ها شامل دمای (کمینه و بیشینه) و بارش به مدل داده شد و بر اساس این داده‌ها یک سناریوی حالت پایه، برای دوره آماری تدوین و مدل برای آن اجرا گردید. سپس خروجی‌های مدل که شامل بیشینه و کمینه دما، بارش و انحراف معیار آن‌ها می‌باشند، با داده‌های دیده‌بانی مقایسه و توانایی مدل در شبیه‌سازی داده‌ها با کمک آزمون‌های آماری شامل ضریب تبیین (R^2)، میانگین مربعات خطا، میانگین خطای مطلق و ناش ساتکلیف (NSE) ارزیابی شد. در ادامه با استفاده از مدل HadCM3 و سه سناریوی A2، B1 و A1B، پارامترهای اقلیمی در حوزه آبخیز ملایر، برای دوره آماری (۱۳۸۹-۱۳۹۰) بررسی و تولید شد (بایزدی و همکاران، ۱۳۹۵).



شاخص خشکسالی (SPI) و (SDI)

داده‌های پایه در این تحقیق شامل داده‌های مشاهداتی دما (حداقل و حداکثر)، بارش و ساعات آفتابی و دبی مربوط به دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۷۱ ایستگاه سینوپتیک ملایر، هیدرومتری پیهان، مرویل، وسج می‌باشد. جهت محاسبه خشکسالی از شاخص‌های خشکسالی SPI و هیدرولوژیکی SDI برای آینده نزدیک (۱۳۹۷-۱۴۱۸) استفاده و اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات خشکسالی‌ها بررسی گردید (بایزدی و همکاران، ۱۳۹۵). برای محاسبه شاخص‌های SPI و SDI از روابط (۱) و (۲) استفاده شد:

$$SPI_n = \frac{[P_0 + \sum (P_{-i}) - \mu_n]}{\delta_n} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن n تعداد ماه‌هایی که بارندگی تجمعی برای آن‌ها محاسبه شده، P₀ مقدار نرمال شده بارندگی ماه فعلی، P-i مقدار نرمال شده بارندگی ماه قبل، μ_n میانگین مقدار بارندگی تجمعی برای ماه n و δ_n انحراف معیار مقدار بارندگی برای ماه‌ها و V_k و S_k به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریانات تجمعی برای دوره مینا (K) در یک مدت طولانی می‌باشد.

رابطه (۲)

$$i = 1, 2, \dots, k = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, \dots, 12 \quad SDI_{ij} = V_j - V_k / S_k$$

مدل آریمای^۱

انواع مختلفی از مدل‌های مبتنی بر سری‌های زمانی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به فرآیند اتورگرسیو AR(P)، فرآیند میانگین متحرک MA(q)، فرآیند مرکب اتورگرسیو-میانگین متحرک ARMA(p,q)، فرآیند اجماع اتورگرسیو-میانگین متحرک-ARIMA(p,d,q) اشاره نمود، که در بین آن‌ها مدل فرآیند عمومی ARIMA(p,d,q) به لحاظ دقت و سهولت کار بیشتر مورد توجه و استفاده قرار گرفته که به صورت رابطه (۳) ارائه شده است (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۷).

رابطه (۳)

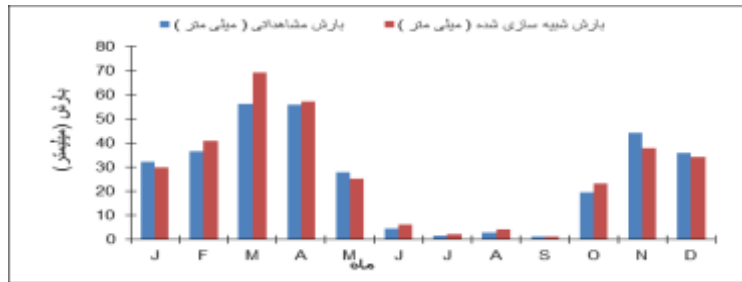
$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \epsilon_t - \theta_1 \epsilon_{t-1} - \theta_2 \epsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \epsilon_{t-q}$$

در فرآیند ARIMA(p,d,q)، به ترتیب p، d و q تعداد جملات فرآیند خود رگرسیون، مرتبه انباشتگی و تعداد جملات فرآیند میانگین متحرک را مشخص می‌کنند. در این رابطه مدلی که باکس جنکینز برای پیش‌بینی سری‌های زمانی معرفی کرده مدل آریمای است که شامل چهار مرحله تشخیص، تخمین، کنترل و پیش‌بینی است. در مرحله اول شناسایی مقادیر واقعی p، d و q تعیین و از آزمون‌های متعددی مانند نمودار همبستگی (ACF) یا نمودار همبستگی جزئی (PACF) تعمیم یافته، معیارهای آکائیک و شوارتز استفاده می‌شود. در مرحله دوم بعد از شناسایی شاخص‌های اصلی و تعداد جملات وقفه AR و MA پارامترهای مدل با استفاده از روش حداقل مربعات برآورد و ارزیابی می‌شوند. در این مرحله در بعضی موارد به جای روش حداقل مربعات از روش حداکثر درست‌نمایی نیز استفاده می‌شود. در مرحله سوم پس از انتخاب مدل ARIMA و تخمین پارامترهای آن، دقت و اعتبار الگو مورد بررسی و آزمون قرار می‌گیرد. در این مرحله از آزمون‌های تکی و کلی رگرسیون استفاده می‌شود. در مرحله چهارم، یعنی پیش‌بینی، با استفاده از الگوی برآورد شده به پیش‌بینی سری زمانی در داخل نمونه و یا خارج نمونه اقدام می‌شود (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۷).

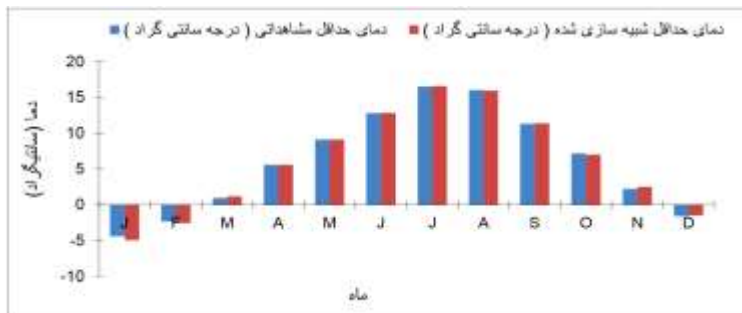
^۱ . ARIMA

بحث و بررسی

بررسی میانگین بین داده‌های واقعی و داده‌های حاصل از مدل در دوره ۱۳۷۱-۱۳۹۳ و نتایج ارزیابی و اعتبارسنجی مدل LARS-WG نشان داد که با توجه به مقادیر بالای ضریب همبستگی و مقادیر پایین پارامترهای شاخص‌های خطاسنجی محاسبه شده، مدل LARS-WG، توانمندی مدل سازی اقلیم دوره گذشته منطقه مورد مطالعه را بر اساس یک سناریوی حالت پایه دارا می‌باشد (اشکال ۴، ۳، ۲ و جدول ۱).



شکل (۲). مقایسه میانگین ماهانه بارش مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده (۱۳۷۱-۱۳۹۳)

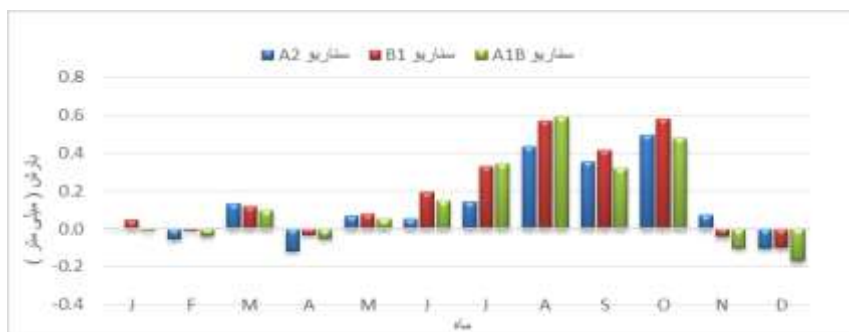


شکل (۳). مقایسه میانگین ماهانه دمای حداقل مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده (۱۳۷۱-۱۳۹۳)

جدول (۱). نتایج ارزیابی و اعتبارسنجی مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG

پارامتر	MAE	RMSE	NSE	R2
بارش	۰/۹۲۵۰۰	۴/۴۰۵۴۵	۰/۹۵۰۱۲	۰/۹۶۶۸۰
دمای حداقل	-۰/۰۰۰۸۳	۰/۱۶۰۳۳	۰/۹۹۹۴۷	۰/۹۹۹۷۰
دمای حداکثر	۰/۰۲۷۵۰	۰/۱۲۵۰۰	۰/۹۹۹۸۵	۰/۹۹۹۹۰
ساعت آفتابی	-۰/۰۳۹۱۷	۰/۲۸۹۷۲	۰/۹۹۷۳۸	۰/۹۹۷۸۰

نتایج شبیه‌سازی مدل HadCM₃ تحت سناریوهای A₂، B₁ و A₁B در مدل LARS-WG نشان داد که میانگین دما در دوره ۱۳۹۰-۱۴۰۹ در سناریوی A₂، B₁ و A₁B به ترتیب به طور متوسط ۰/۰۵۷، ۰/۰۵۲ و ۰/۰۵۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت که بیشترین میانگین افزایش دما مربوط به سناریوی A₂ با ۰/۰۵۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. (شکل ۵). نتایج نشان از افزایش بارش به میزان ۶/۵۱٪ در سناریوی A₁B، ۳/۶۴٪ در سناریوی A₂ و ۶/۵۱٪ در سناریوی B₁ دارد. بررسی نتایج مدل HadCM₃ و سه سناریوی A₂، B₁ و A₁B نیز حاکی از افزایش بارش و دما در حوزه آبخیز ملایر می‌باشد. ضمن آنکه تغییرات دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه بیشتر خواهد بود (اشکال ۵ و ۶). بررسی جدول (۲)، نشان می‌دهد که میانگین بارش سالانه در دوره ۱۳۹۰-۱۴۰۹ و با توجه به هر سه سناریو افزایش خواهد یافت.



شکل (۵). نمودار تغییرات میانگین ماهانه بارش در دوره آماری ۱۴۰۹-۱۳۹۰ و دوره پایه

جدول (۲). تغییرات سالانه پارامترهای اقلیمی شهرستان ملایر

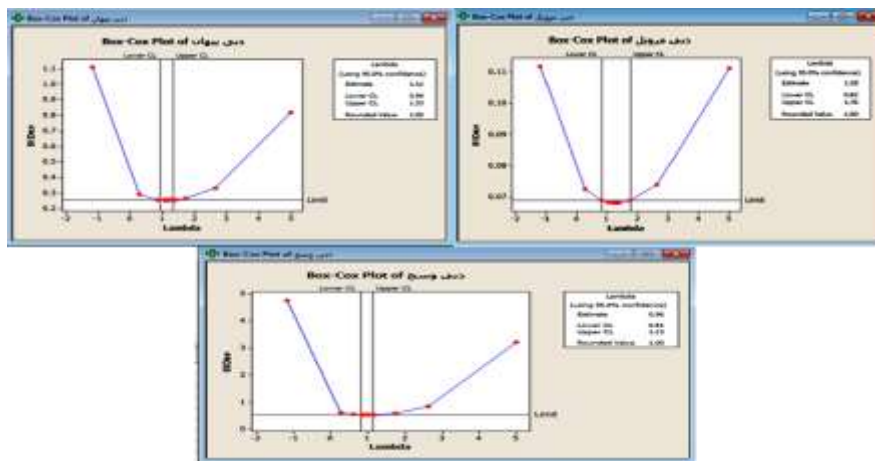
سناریو	بارش (mm)	دمای حداقل (°C)	دمای حداکثر (°C)	میانگین دما (°C)
A ₂	۰/۰۲۸	۰/۰۹۰	۰/۰۲۴	۰/۰۵۷
B ₁	۰/۰۵۶	۰/۰۷۶	۰/۰۲۳	۰/۰۴۹
A ₁ B	۰/۰۱۵	۰/۰۷۶	۰/۰۲۸	۰/۰۵۲

بررسی عملکرد مدل آریمای در پیش‌بینی دبی

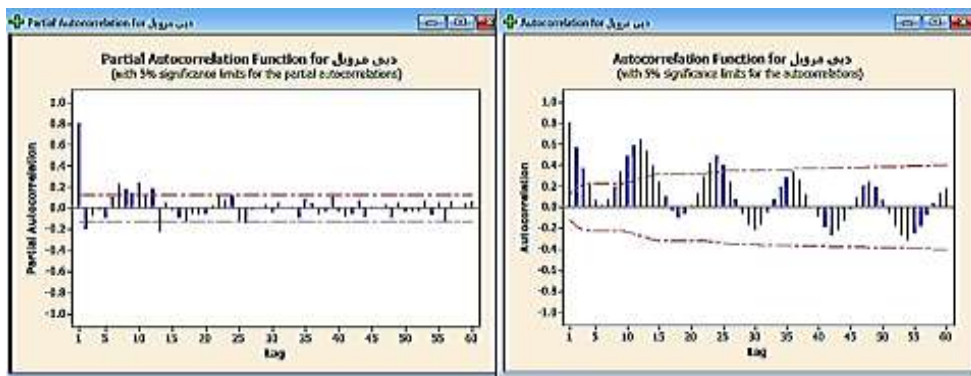
پس از اطمینان از توانایی مدل به منظور پیش‌بینی بلندمدت در آینده، ابتدا داده‌های ماهانه دبی ایستگاه‌های مرویل، پیهان و وسج، از لحاظ واریانس و میانگین با استفاده از روش باکس-کاکس ایستا شدند شکل (۶). سپس نمودار توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی، سری ایستا شده ترسیم شد. که نتایج نشان دهنده فصلی بودن سری بود و لازم بود تا تفاضل فصلی صورت گیرد. به عنوان نمونه شکل (۷) توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سری زمانی میانگین ماهانه دبی مرویل، پس از ایستا شدن را نشان می‌دهد. با بررسی نمودار خود همبستگی و خود همبستگی جزئی برای داده‌های تفاضل گیری شده و براساس مقادیر ACF متغیرها که به صورت ترکیبی از موج‌های نمایی و سینوسی میرا شده بودند مدل MA پیشنهاد گردید. همچنین مقادیر همبستگی‌ها در PACF در تأخیرهای زمانی اول معنی دار بودند و بر این اساس تلفیقی از مدل‌های MA و AR (ARIMA) ضریبی برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. با رسم نمودار خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقیمانده‌ها، پس از برازش مدل مناسب برای تمام ایستگاه‌ها، محدوده تغییرات مرتبه مدل‌ها معادل یک و دو انتخاب گردید که با ترکیبی از آن‌ها و با در نظر گرفتن معیار AIC و SBC مدل برتر انتخاب شد جدول (۳). بررسی‌ها نشان داد که پارامترهای مربوط به مقدار P-VALUE در تمامی تأخیرها بیشتر از ۰/۰۵ می‌باشد، که نشان دهنده خود همبستگی باقیمانده‌ها است جدول (۴). به‌عنوان نمونه نمودار خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقیمانده‌ها پس از برازش مدل‌های مناسب ARIMA، مربوط به ایستگاه وسج در شکل (۸) ارائه شده که نشان می‌دهد تقریباً باقیمانده‌ها بجز یکی دو مورد هیچ‌گونه همبستگی با یکدیگر ندارند و بیانگر برازش خوب مدل بر داده‌ها و تصادفی بودن باقیمانده‌ها می‌باشد.

جدول (۳). معیار AIC و SBC مدل آریمیای ضریبی برای دبی ایستگاه مرویل، پیهان و وسج

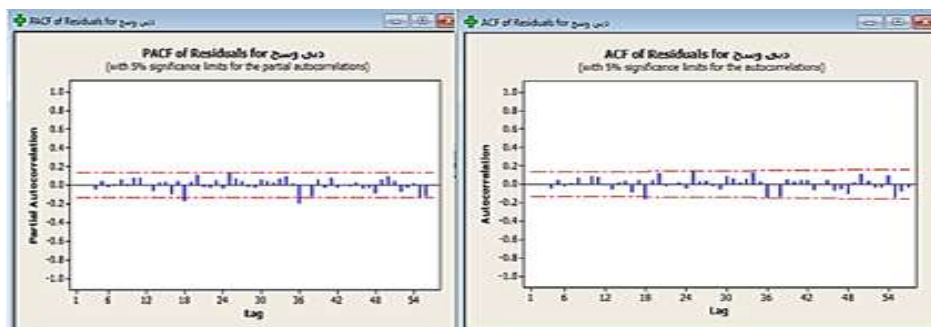
ایستگاه	P	q	P	Q	AIC	SBC
مرویل	۲	۲	۱	۲	۱۵۵۲/۹	۱۶۱۳/۹
پیهان	۲	۲	۰	۲	۸۹۰/۲۳	۹۲۰/۱
وسج	۱	۲	۰	۲	۱۳۶۵/۵	۱۴۰۵/۵



شکل (۶). نمودار باکس کاکس دبی ایستگاه مرویل، پیهان و وسج



شکل (۷). توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی میانگین ماهانه دبی مرویل، پس از ایستادن



شکل (۸). نمودار خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقی مانده‌ها پس از برازش مدل مناسب در ایستگاه وسج



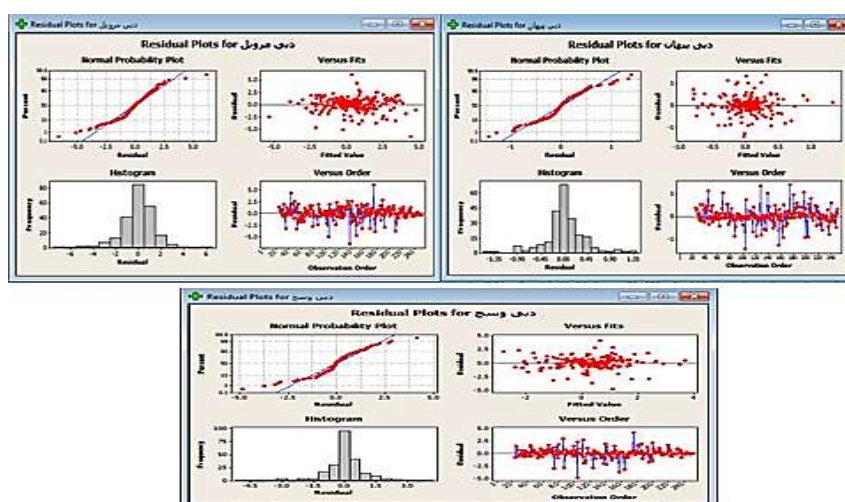
جدول (۴). نتایج آزمون پرت - مانو بر روی داده‌های ایستگاه مرویل، وسج و پیهان

مدل (۲،۱،۲)(۲،۱،۰) آریمای ایستگاه مرویل				
۴۸	۳۶	۲۴	۱۲	گام تأخیر
۰/۱۸۵	۰/۲۸۱	۰/۱۸۱	۰/۲۸۹	P-VALUE
مدل (۲،۰،۰)(۱،۱،۲) آریمای ایستگاه وسج				
۴۸	۳۶	۲۴	۱۲	گام تأخیر
۰/۰۶۴	۰/۳۴	۰/۰۹۷	۰/۰۷	P-VALUE
مدل (۲،۱،۲)(۲،۰،۰) آریمای ایستگاه پیهان				
۴۸	۳۶	۲۴	۱۲	گام تأخیر
۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۳۲	۰/۳۶	P-VALUE

بررسی داده‌های باقیمانده‌ها در برابر پیش‌بینی‌ها و برازش مدل نشان می‌دهند که باقیمانده‌ها کاملاً به شکل تصادفی دارای توزیع نرمال می‌باشند و بیانگر این است که مدل انتخاب شده با داده‌ها کاملاً برازش دارد و از دقت لازم برخوردار است. با توجه به مدل برازش شده برای هر ایستگاه مقدار دبی مشاهداتی با مقدار دبی پیش‌بینی شده مقایسه و برای حصول اطمینان بیشتر جهت انتخاب بهترین مدل و صحت‌سنجی، از معیارهای ارزیابی R^2 ، MSE و MAE استفاده شد، نتایج حاصل نشان داد که مدل در شبیه‌سازی دبی ماهانه از توانمندی بالایی برخوردار می‌باشد جدول (۵) و شکل (۹).

جدول (۵). نتایج ارزیابی مدل آریمای ضربی در شبیه‌سازی دبی ایستگاه‌های مرویل، پیهان و وسج

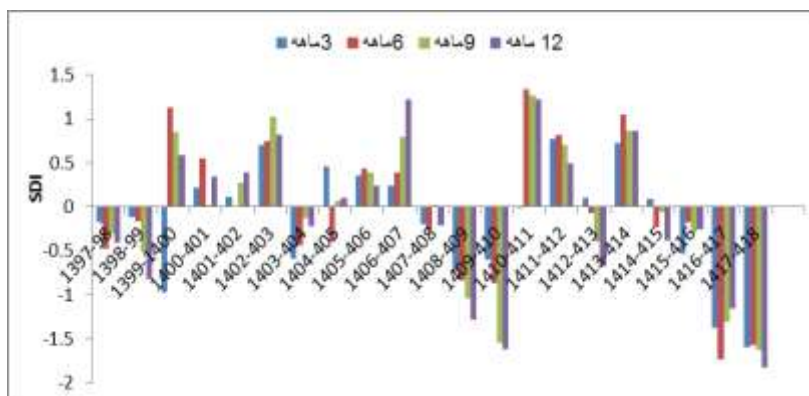
معیار	RMSE	MAE	R^2
مرویل	۰/۱۰۰۲۹	-۰/۰۱۱۴	۰/۹۱
پیهان	۰/۰۵۱۰۲۶	۰/۰۰۲۵۳۲	۰/۸۱
وسج	۰/۰۷۰۲۳	۰/۰۱۳۹۷۶	۰/۸۳



شکل (۹). نمودار ستونی باقی مانده‌ها، احتمال نرمال باقی مانده‌ها و باقی مانده‌ها در برابر پیش‌بینی‌ها پس از برازش مدل انتخاب شده در ایستگاه‌های - مرویل، پیهان و وسج

بررسی روند تغییرات خشکسالی هواشناسی در دوره آماری پایه و آینده

بررسی شبیه‌سازی اقلیم در دوره آتی نشان می‌دهد که در هر چهار مقیاس زمانی بزرگترین خشکسالی در سال ۴۱۶-۱۴۱۵ رخ خواهد داد و همانند دوره آماری پایه بزرگترین شدت خشکسالی مربوط به مقیاس دوازده ماهه و متداومترین دوره خشکسالی مربوط به مقیاس سالانه می‌باشد. بررسی شاخص (SPI) نشان می‌دهد که در هر ۴ مقیاس زمانی و سالانه بزرگترین خشکسالی در سال ۷۹-۱۳۷۸ رخ داده که بزرگترین شدت خشکسالی مربوط به مقیاس دوازده ماهه و متداومترین دوره خشکسالی مربوط به مقیاس سالانه و در هر ۴ مقیاس زمانی بیشترین حالت خشکسالی مربوط به حالت سه و چهار می‌باشد. بررسی شاخص (SDI) ایستگاه‌های هیدرومتری پیهان، مرویل و وسج نیز نشان می‌دهد که در هر چهار مقیاس زمانی در سه ایستگاه بزرگترین خشکسالی در سال ۷۹-۱۳۷۸ رخ داده، که در مقیاس ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه مقادیر آن در ایستگاه مرویل به ترتیب به میزان $-0/8$ ، $-0/9$ ، $-1/2$ و $-1/7$ در ایستگاه وسج $-0/7$ ، $-0/9$ ، $-1/1$ و $-1/6$ و در ایستگاه پیهان $-0/5$ ، $-0/9$ ، $-1/4$ و $-1/5$ می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود شدت خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه بزرگتر از سایر مقیاس‌های زمانی است و متداومترین دوره خشکسالی در مقیاس سالانه طی سال‌های ۷۴-۱۳۷۵ تا ۸۰-۱۳۷۹ رخ داده است (شکل ۱۰).



شکل (۱۰). نمودار سری زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه شاخص SDI ایستگاه سینوپتیک ملایر در دوره (۱۳۹۷-۱۴۱۸)

بررسی روند تغییرات خشکسالی هیدرولوژیکی در دوره آماری پایه و آینده

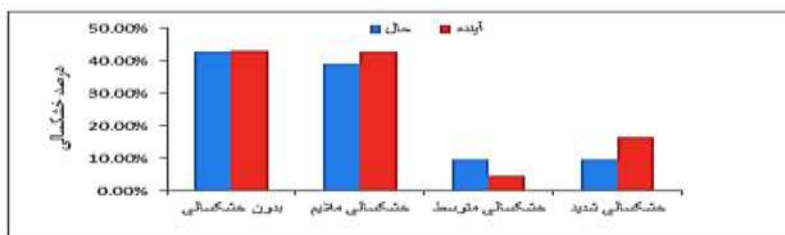
بررسی شبیه‌سازی داده‌های دبی با استفاده از مدل ضریبی ARIMA، و شاخص SDI برای آینده نشان می‌دهد که در ایستگاه مرویل بزرگترین شدت خشکسالی در سال آبی ۴۱۸-۱۴۱۷ در مقیاس زمانی ۳، ۹ و ۱۲ ماهه به ترتیب $-1/6$ ، $-1/6$ و $-1/7$ و در مقیاس زمانی شش ماهه در سال آبی ۴۱۷-۱۴۱۶ به میزان $-1/5$ رخ خواهد داد. در ایستگاه وسج در سال آبی ۴۱۸-۱۴۱۷ در مقیاس زمانی ۳، ۹ و ۱۲ ماهه به ترتیب $-1/7$ ، $-1/7$ و $-1/8$ و در مقیاس زمانی شش ماهه در سال آبی ۴۱۷-۱۴۱۶ به میزان $-1/6$ بزرگترین شدت خشکسالی رخ خواهد داد. در ایستگاه پیهان شدت خشکسالی در مقیاس زمانی ۳ و ۱۲ ماهه در سال آبی ۴۱۸-۱۴۱۷ به میزان $-1/5$ و $-1/6$ و در مقیاس زمانی شش، و نه ماهه در سال ۴۱۷-۱۴۱۶ به میزان $-1/3$ و $-1/4$ (بیشتر از سایر سال‌ها) رخ می‌دهد. در هر دو دوره آماری مورد مطالعه بیشترین حالت خشکسالی حالت صفر و یک می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ایستگاه مرویل بیشترین درصد فراوانی مربوط به وضعیت ترسالی برای دوره آماری پایه و خشکسالی ملایم به میزان $42/8\%$ برای هر دو مورد و کمترین درصد فراوانی مربوط به خشکسالی متوسط برای آینده می‌باشد. در ایستگاه وسج بیشترین درصد فراوانی مربوط به ترسالی دوره آینده به میزان $43/1\%$ و کمترین درصد فراوانی مربوط به خشکسالی متوسط دوره آتی به میزان $4/5\%$ و در ایستگاه پیهان بیشترین درصد فراوانی مربوط به



وضعیت ترسالی دوره آماری پایه به میزان ۴۷/۶٪ و کمترین درصد فراوانی مربوط به خشکسالی شدید در هر دو دوره آماری به میزان ۴/۵٪ می‌باشد. بررسی درصد فراوانی خشکسالی‌ها نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی برابر ۵۰٪ مربوط به ترسالی ملایم در دوره آماری پایه و به میزان ۳۷٪ خشکسالی ملایم مربوط به آینده می‌باشد. همچنین نتایج بیانگر این است که ترسالی متوسط در دوره آینده به میزان ۱۳/۶٪ افزایش پیدا خواهد کرد.

مقایسه فراوانی خشکسالی هیدرولوژیکی در دوره پایه و آینده شهرستان ملایر

بررسی درصد فراوانی خشکسالی‌ها در هر سه ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه در دوره آماری پایه و آینده نشان می‌دهد که در ایستگاه مرویل بیشترین درصد فراوانی مربوط به وضعیت ترسالی برای حال و کمترین درصد فراوانی مربوط به خشکسالی متوسط برای آینده و در ایستگاه وسج بیشترین درصد فراوانی مربوط به ترسالی دوره آینده و کمترین درصد فراوانی مربوط به خشکسالی متوسط دوره آتی - می‌باشد. در ایستگاه پیهان بیشترین درصد فراوانی مربوط به وضعیت ترسالی دوره آماری پایه و کمترین درصد فراوانی مربوط به خشکسالی شدید در هر دو دوره آماری می‌باشد (شکل ۱۱). نتایج مقایسه فراوانی خشکسالی بین دو دوره آماری پایه و آینده نشان داد که بیشترین فراوانی به میزان ۵۰٪ مربوط به ترسالی ملایم و دوره آماری پایه و به میزان ۳۷٪ خشکسالی ملایم دوره آماری آینده می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که ترسالی متوسط در دوره آینده به میزان ۱۳/۶٪ افزایش پیدا خواهد کرد و در هر ۴ مقیاس زمانی بیشترین حالت خشکسالی مربوط به حالت سه و چهار می‌باشد. به طور کلی نتایج مقایسه درصد فراوانی بین دو دوره آماری (پایه و آینده) نشان داد که در ایستگاه‌های مرویل، وسج و پیهان بیشترین درصد فراوانی به ترتیب در دوره آماری پایه، خشکسالی ملایم به میزان ۴۲/۸٪ در ترسالی دوره آینده به میزان ۴۳/۱٪ در وضعیت ترسالی دوره آماری پایه به میزان ۴۷/۶٪ و کمترین درصد فراوانی خشکسالی متوسط برای آینده به میزان ۴/۵٪ می‌باشد.



شکل (۱۱). نمودار درصد فراوانی خشکسالی ایستگاه وسج

نتیجه‌گیری

پیش‌بینی خشکسالی اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع طبیعی و منابع آب دارد. در این مطالعه از مدل‌های اتورگرسیو- میانگین متحرک تلفیق شده فصلی (ARIMA) به عنوان مدل‌های تصادفی خطی برای پیش‌بینی خشکسالی و از سناریوهای مدل‌گردشی عمومی LARS-WG جهت تولید داده‌های روزانه متغیرهای اقلیمی و مهم حوزه آبخیز ملایر استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل، توانمندی قابل قبول و با قابلیت بالا در شبیه‌سازی سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی حوزه مورد مطالعه را دارا می‌باشد. به‌طوریکه پارامترهای اقلیمی بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه با دقت بالایی در سه سناریوی A_2 ، B_1 و A_1B مدل‌سازی شدند. بررسی نتایج مدل HadCM3 و سه سناریوی A_2 ، B_1 و A_1B حاکی از افزایش بارش و دما در حوزه آبخیز ملایر می‌باشد، که اثر افزایش دما در برآورد و تحلیل روند تغییرات شاخص‌ها را به خوبی نشان می‌دهد و نشان می‌دهد که عامل بارش به تنهایی در خشکسالی حوزه آبخیز ملایر موثر نیست بلکه خشکسالی پدیده بسیار پیچیده‌ای است که عوامل مختلفی در ایجاد آن دخالت دارند، که با وجود افزایش بارش در آینده ولی به علت افزایش میانگین دمای هوا، شدت و مدت خشکسالی متوسط و شدید افزایش پیدا خواهد کرد. با اینکه میانگین بارش نسبت به دما در منطقه افزایش قابل توجهی دارد اما باز هم برتری و حاکمیت با خشکسالی و کاهش دبی جریانات سطحی است. بررسی‌ها

نشان می‌دهد که به‌علت متغیر بودن میزان بارش و میانگین دمای هوا در ماه‌های مختلف، شدت و فراوانی خشکسالی‌ها نیز متفاوت می‌باشد، بنابراین روند تغییرات خشکسالی و تغییرات بارش نیز نمی‌تواند یکسان باشد و بیانگر این است که با افزایش دوره آماری، تداوم دوره‌های خشکسالی و ترسالی بیشتر و شدت آن‌ها کمتر و تغییرات دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه بیشتر خواهد بود که با نتایج مرسا و همکاران (۲۰۱۶)، تان و همکاران^۱ (۲۰۱۷)، نیلاوار^۲ و همکاران (۲۰۱۹)، پتان^۳ و همکاران (۲۰۲۰)، ساری صراف و همکاران (۱۳۹۸)، دل آرام و همکاران (۱۳۹۸)، جهانبخش اصل و همکاران (۱۳۹۸) مبنی بر افزایش دما و بارش در تطابق است.

بررسی‌ها نشان داد که با افزایش دوره بررسی به صورت سری‌های زمانی ماهانه، طول دوره ترسالی و خشکسالی بیشتر و مقادیر آن‌ها در بعضی سری‌ها افزایش و در برخی کاهش یافته است که این رخ داد بی‌نظمی جریان‌های سطحی را به شکل کاهش و افزایش دبی در زمان‌های متفاوت و به شکل کمبود جریان و یا وقوع سیلاب‌ها نشان می‌دهد. نتایج الگوهای مدل (۲،۱،۰) (۲،۱،۲) آریما ایستگاه مرویل، مدل (۱،۱،۲) (۲،۰،۰) آریما ایستگاه وسج و مدل (۲،۱،۲) (۲،۰،۰) آریما ایستگاه پیهان با نمایه SPI به ویژه ۱۲ ماهه در ایستگاه ملایر و برازش آن نشان داد که پیش‌بینی ماه‌های آینده در وضعیت‌های ترسالی و خشکسالی شدید و ملایم به درستی انجام شده است و بیانگر این است که الگوی برازش داده شده نشان می‌دهد که نمایه SPI ۱۲ ماهه در هر ماه وابسته به یک ماه نیست بلکه ۱۲ ماه قبل است. بنابراین برای مدل‌سازی نمایه SPI با کاربرد الگوهای ARIMA از داده‌های این نمایه برای چندین ماه قبل هم می‌توان استفاده کرد و مانند زنجیره مارکوف نیست که تنها از یک ماه قبل برای مدل‌سازی استفاده شود.

همچنین بررسی معیار اطلاعاتی (AIC, SBC) نیز بیانگر توانمندی بالای مدل ARIMA در شبیه‌سازی دبی ماهانه می‌باشد. با مقایسه مقیاس‌های زمانی می‌توان گفت هرچه سری زمانی شاخص SPI افزایش یابد، تداوم خشکسالی‌ها طی دوره‌های بلندمدت بیشتر از دوره‌های کوتاه مدت می‌شود و با وجود افزایش بارش در منطقه، خشکسالی نیز افزایش یا تشدید یافته است که این حالت اثر افزایش دما را در برآورد شاخص خشکسالی نمایان می‌سازد. کرمی جوزانی و همکاران (۱۳۹۸) و منجو شری و همکاران^۴ (۲۰۱۱)، تان و همکاران^۵ (۲۰۱۷)، نیلاوار^۶ و همکاران (۲۰۱۹)، پتان^۷ و همکاران (۲۰۲۰)، دل آرام و همکاران (۱۳۹۸)، نیز در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند. به طور کلی نتایج مقایسه بین دو خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بیانگر این است که ارتباط معنی‌داری بین آنها وجود دارد به نحوی که وقوع خشکسالی هواشناسی سبب کاهش حجم آب‌های سطحی شده و خشکسالی هیدرولوژیکی را منجر می‌شود که بر اساس بررسی داده‌های بارش و دبی موجود در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، نتایج نشان می‌دهد که وقوع خشکسالی هواشناسی به صورت هم‌زمان بیشترین تأثیر را در وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که به‌علت متغیر بودن میزان بارش و میانگین دمای هوا در ماه‌های مختلف روند تغییرات خشکسالی‌ها در ماه‌های مختلف یکسان نیست. لذا طول دوره، شدت و فراوانی خشکسالی در ماه‌ها و سال‌های مختلف متفاوت بوده و در حوزه آبخیز ملایر با وجود افزایش بارش در آینده اما به‌علت افزایش میانگین دمای هوا، شدت و مدت خشکسالی متوسط و شدید افزایش پیدا خواهد کرد و موجب کاهش دبی در منطقه خواهد شد. با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک ایران پیشنهاد می‌شود که اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در سایر حوزه‌های آبخیز با مدل ARIMA بررسی و از نتایج آن در مدیریت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی استفاده شود.

1. Tan, et al

2. Nilawar, et al

3. Pathan, et al

4. Mengo sheri et al

5. Tan, et al

6. Nilawar, et al

7. Pathan, et al



منابع

- بایزیدی، مطلب، سی و سه مرده، معروف، عصر آگاه، آریتا، (۱۳۹۵)، پیش‌بینی و بررسی روند خشکسالی هواشناسی با استفاده از سری زمانی مطالعه موردی: حوزه آبریز سلماس، نشریه محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۲، شماره ۴، صص ۳۴۶-۳۵۹.
- بهلکه، مرجان، فتح آبادی، ابوالحسن، روحانی، حامد، سیدیان، سید مرتضی، (۱۳۹۶)، بررسی اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های دوره‌های ترسالی و خشکسالی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های آرازکوسه و تمر در استان گلستان)، نشریه هواشناسی کشاورزی، جلد ۵، صص ۱۱-۲۳.
- پیرمادیان، نادر، هادی نیا، حسین، اشرف زاده، افشین، (۱۳۹۵)، پیش‌بینی دمای کمینه و بیشینه، تابش و بارش در ایستگاه سینوپتیک رشت تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۰، شماره ۵۵، صص ۲۹-۴۴.
- جهانبخش اصل، سعید، عساکره عساکره، حسین، اشرفی، سعیده، (۱۳۹۸)، ریزمقیاس‌نمایی روابط بارش-رواناب حوضه‌ی آبریز رود زرد در بستر تغییر اقلیم، نشریه هیدروژئومورفولوژی، دوره ۶، شماره ۲۱، صص ۱۰۹-۱۳۲.
- خورانی، اسداله، جمالی، زهرا، (۱۳۹۵)، اثر تغییر اقلیم بر شدت و مدت خشکسالی در ایستگاه‌های خشک و نیمه خشک (بندرعباس و شهرکرد) تحت مدل HADCM3، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۰، شماره ۵۷، صص ۱۱۵ تا - ۱۳۱.
- دل‌آرام، هوشمند، اسماعیلی، کاظم، فریدحسینی، علیرضا، ثنائی‌نژاد، سیدحسین، خلیلی، داور (۱۳۹۸)، شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های گزارش ارزیابی پنجم تحت سناریوهای RCP بر منابع آبی حوضه آبریز سد سلمان فارسی، نشریه آبیاری و زهکشی / ایران، دوره ۱۳، شماره ۲، صص ۲۴۳-۲۵۸.
- ساری صراف، بهروز، جلالی عنصرودی، طاهره، (۱۳۹۸)، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر موازنه‌ی آبی ناشی از بارش در آبخوان تسوج برای دوره‌ی ۲۰۳۰-۲۰۱۷، نشریه هیدروژئومورفولوژی، دوره ۵، شماره ۱۹، صص ۱۶۳-۱۸۵.
- عساکره، حسین، صیادی، فریبا، (۱۳۹۶)، تحلیل و پیش‌بینی روزهای خشک با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: ایستگاه تهران)، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۱، شماره ۶۰، صص ۱۶۱-۱۷۷.
- علیجانی، رضوان، وفاخواه، مهدی، (۱۳۹۷)، پیش‌بینی خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از سری زمانی، مهندسی اکوسیستم کویر، دوره ۷، شماره ۲۰، صص ۴۵-۵۶.
- قضاوی، رضا، ندیمی، میثم، امیدوار، ابراهیم، ایمانی، رسول، (۱۳۹۷) بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی آینده بر تغییرات دبی رودخانه‌ی هروچای اردبیل با استفاده از مدل‌های SWAT و LARS-WG، نشریه هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۵، صص ۵۵-۷۴.
- کابوسی، کامی، کردجزی، محمد، (۱۳۹۶)، بررسی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی و خشکسالی استان گلستان، نشریه تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۳، شماره ۳، صص ۲۰۵-۲۱۳.
- کثیری، مریم، گودرزی، مسعود، جانباز قبادی، غلامرضا، متولی، صدرالدین، (۱۳۹۹)، چشم‌انداز آینده تغییرات دما و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر، فصلنامه جغرافیای طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۴۷، صص ۳۵-۵۱.
- کرمی جوزانی، مهناز، ایلدرمی، علی‌رضا، نوری، حمید، پیرنیا، عبدالله، (۱۳۹۸)، تأثیر تغییر اقلیم بر روند نوسانات دبی حوضه‌ی آبخیز گرگانود-قره سو با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو، نشریه هیدروژئومورفولوژی، دوره ۵، شماره ۱۸، صص ۱-۱۸.
- کرمی، فریبا، (۱۳۹۰)، ارزیابی ارتباط خشکسالی هواشناسی با افت سطح آب‌های زیرزمینی دشت تبریز، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی تبریز، دوره ۱۶، شماره ۳۷، صص ۱۱۱-۱۳۱.
- مصباح‌زاده، طیبه، سلیمانی ساردو، فرشاد، (۱۳۹۷)، بررسی روند زمانی خشکسالی هیدرولوژیک و هواشناسی در حوزه آبخیز کرخه، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری/ایران، دوره ۱۲، شماره ۴۰، صص ۱۰۵-۱۱۴.

- AbdulBaten, M., and Titumir, R. (2016). Environmental challenges of trans-boundary water resources management: the case of Bangladesh, *Water resources management*, 2: 13–27.
- Al-Faraj, F.A.M., Scholz, M., Tigkas, D. (2014). Sensitivity of Surface Runoff to Drought and Climate Change: Application for Shared River Basins . *Water*, 6(10): 3033-3048.
- Banze, F.G., Xiaotao, Sh. (2018) .Impact OfClimate Change On Precipitation In Zambeze River Basin In Southern Africa. *Nature Environment AndPollution Technology*, 17 (4): 1093-1103.
- Han, P., Wang, P., Tian, M., Zhang, S., Liu, J., Zhu, D. (2013). Application of the ARIMA Models in Drought Forecasting Using the Standardized Precipitation Index. In Computer and Computing Technologies in Agriculture VI, *Springer*, Pp 352-358.
- Heydari, Sh., Hosseini, S.A., Heydari, A. (2020). Investigating The Effects Of Climate Change On Stream Flows Of Urmia Lake Basin In Iran, *Modeling Earth Systems And Environment*, 1: 329-339.
- Lee, J. H., Kwon, H. H., Jang, H. W., Kim, T. W.(2016). Future Changes in Drought Characteristics under Extreme Climate Change over South Korea.*Advances inMeteorology*, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9164265>.
- Lin, B., Chen, X., Yao H., Chen, Y., Liu, M., Gao, L., James, A. (2015). Analyses of landuse change impacts on catchment runoff using different time indicators based on SWATmodel, *Ecological Indicators*, 58: 55-63.
- Liu, J., Chen, S., Li, L. (2017). Statistica Downscaling And Projection Of Future Air Temperature Changes In Yunnan Province, China, *Advances In Meteorology*, 17: 1-11.
- Manjushree, S., Singh, R., Vipul, S. (2011). Application of Software Packages for Monthly Stream Flow Forecasting of Kangsabati River in India, *Inter. J. Com. Appl*, 20(3): 7-14.
- Meresa, H. K., Osuch, M., Romanowicz, R.(2016). Hydro-Meteorological Drought Projections into the 21-st Century for Selected Polish Catchments Water, 8 (206): 1-22.
- Nilawar, A.P., Waikar, M L. (2019). Impacts Of Climate Change On Stream Flow And Sediment Concentration Under RCP 4.5 And 8.5: A Case Study In Purna River Basin, India . *Science OfThe Total Environment*, 2: 2685-2696.
- Parajuli, P.B., Jayakody, P., Sassenrath, G.F., Ouyang, Y. (2016). Assessing the impacts of climate change and tillage practices on stream flow, crop and sediment yields from the Mississippi River Basin, *Agricultural Water Management*, 168: 112-124.
- Pathan, A., Waikar, M. (2020). Future Assessment Of Precipitation And Temperature For Developing Urban Catchment Under Impact Of Climate Change, *International Journal Of Recent Technology And Engineering (IJRTE)*, 8 (5): 3396-3404.
- Shi, H.Y., Wang, G.Q. (2015). Impacts of climate change and hydraulic structures on runoff and sediment discharge in the middle Yellow River, *Hydrological Processes*, 29(14): 3236–3247.
- Tan, M.L., Ibrahim, A.L., Yusop, Z., Chua, V.P. and Chan, N.W. (2017). Climate change impacts under CMIP5 RCP scenarios on water resources of the Kelantan River Basin, Malaysia. *Atmospheric Research*. 189.Supplement C:1-10.
- Vrochidou, A.E.K., Tsanis, I.K., Grillakis, M.G., Koutroulis, A.G. (2013). The impact of climate change on hydrometeorological droughts at a basin scale. *Journal of Hydrology*, 476: 290–301.
- Zhang, Q., Kong, D., Singh, V.P., Shi, P. (2017). Response of vegetation to different time-scales drought across China: Spatiotemporal patterns, causes and implications. *Global and Planetary Change*, 152: 1-11.