

## ارائه‌ی رویکرد احتمالاتی ارزیابی آثار تغییر آب و هوا بر بدهی رود آیدوغموش، آذربایجان

### شرقی

پریسا سادات آشفته<sup>1\*</sup>، امید بزرگ‌حداد<sup>2</sup>

تاریخ دریافت: 1391/6/7 تاریخ پذیرش: 1392/3/14

### چکیده

در این تحقیق، به منظور تحلیل آثار منفی پدیده‌ی تغییر آب و هوا، با ارائه‌ی رویکرد جدید احتمالاتی به ارزیابی اثرات مزبور بر جریان رود پرداخته شده است. برای تولید نمایشنامه‌ی آب و هوای در دوره‌های آتی، شبیه HadCM3 تحت نمایشنامه‌ی انتشار A2 به کار گرفته می‌شود. با معرفی گروه‌های زمانی متغیرهای آب و هوای در دوره‌های آتی به شبیه آشناسی IHACRES، نمایشنامه‌ی شبیه‌سازی جریان بلندمدت تولید می‌شود. با برازش توزیع‌های مختلف آماری بر رواناب‌های تولیدی و با استفاده از آزمون‌های نکویی برازش، مناسبترین توزیع آماری در هر ماه انتخاب و فراسنج‌های آماری مربوطه استخراج و با فراسنج‌های آماری رواناب حوضه در دوره‌ی پایه مقایسه می‌شوند. نتایج نشان می‌دهند که متوسط رواناب سالانه‌ی بلندمدت در سه دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی پایه، کاهش می‌یابد. به‌رغم کاهش حجم کل رواناب در دوره‌های آتی نسبت به دوره‌ی پایه، این کاهش به جریان‌های متوسط و زیاد مرتبط گردیده و در جریان‌های کم، حجم کل رواناب سه دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی پایه، به ترتیب به اندازه 47، 41 و 14 درصد افزایش می‌یابد. برای بررسی بیشتر ارزیابی آثار ضروری است همبستگی گروه زمانی با استفاده از احتمال انتقال جریان نیز مورد بررسی قرار گیرد. پس از گسسته‌سازی جریان رود، به منظور مقایسه‌ی احتمال انتقال جریان در هر یک از دوره‌های آتی با جریان دوره‌ی پایه در هر ماه، از معیارهای عملکرد استفاده می‌شود. این رویکرد در رود آیدوغموش، آذربایجان شرقی به کار گرفته شد. نتایج حاصله نشان از پایین بودن ضریب همبستگی و بالا بودن شاخص‌های خطا دارند.

واژه‌های کلیدی: تغییر آب و هوا، رویکرد احتمالاتی، معیارهای عملکرد.

<sup>1</sup> - دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران،

<sup>2</sup> - دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران،

\* - نویسنده مسئول: [parisa\\_ashofteh@yahoo.com](mailto:parisa_ashofteh@yahoo.com)

## مقدمه

آثار تغییر آب و هوا بر منابع آب به‌عنوان موضوعی چالش برانگیز در بسیاری از مناطق خشک دنیا مطرح بوده، و توجه بسیاری از پژوهشگران را در دهه‌های اخیر به خود معطوف ساخته است. انتظار می‌رود که تغییر در متوسط فراسنجهای آب و هوای، بویژه دما و بارندگی، تأثیر قابل توجهی بر منابع آب در دسترس آینده بگذارد، به‌گونه‌ای که طبق مطالعات صورت گرفته، دگرگونی 10 درصدی اندازه بارشها عمدتاً منجر به تغییرات 15 تا 25 درصدی جریان رودها می‌گردد، و این در حالی است که افزایش دو درجه سانتی‌گرادی دما معمولاً منجر به کاهش 5 تا 12 درصدی جریانها می‌شود (ژانگ و همکاران، 2009؛ لورنا و همکاران، 2010). علاوه بر این، متغیر آبشناسی (رواناب) در مناطق خشک و نیمه خشک حساستر به شرایط تغییر آب و هوا در مقایسه با رواناب در مناطق مرطوب می‌باشد (IPCC)2008. همچنین، مناطقی که در عرضهای جغرافیایی پایین قرار دارند، به دلیل کاهش قابل توجه بارشها (لین و همکاران، 1999)، بیشترین تبعات منفی این پدیده را متحمل خواهند شد؛ بنابراین، کشور ما نیز از آثار ناشی از این پدیده مصون نمانده، و لزوم توجه هر چه بیشتر بر این پدیده و آثار زیانبار آن را برای اقدامات تطبیقی آتی می‌طلبد. به‌منظور بررسی آثار منفی این پدیده، و انجام اقدامات تطبیقی با آن، بررسی نمایشنامه‌ی شبیه‌سازی جریان رود و احتمال انتقال جریان، به‌ترتیب از نظر متخصصان آبشناسی و برنامه‌ریزان منابع آب، ضروری به‌نظر می‌رسد. برای این منظور، شبیه‌های مختلف بارش - رواناب با استفاده از نمایشنامه‌های کوچک مقیاس شده منطقه‌ای تغییر آب و هوا مستخرج از شبیه‌های آب و هوای جهانی<sup>1</sup> (GCMs) بطور گسترده‌ای برای ارزیابی آثار تغییر آب و هوا در مقیاس حوضه به‌کار گرفته می‌شوند.

آثار تغییر آب و هوا بر منابع آب جنوب تایوان به‌وسیله‌ی یو و همکاران (2002) مورد بررسی قرار گرفتند. به‌منظور تولید متغیرهای آب و هوای آتی از خروجی شبیه‌های تولیدکننده‌ی آب و هوا<sup>2</sup> استفاده شد.

در این تحقیق با استفاده از آزمون من-کندال<sup>3</sup>، روند متغیرهای آب و هوای و با آرایه‌ی احتمال انتقال<sup>4</sup> رخداد بارندگی روزانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان از وجود روند افزایشی در دما، اندازه بارندگی در ماههای ژانویه تا مه، و افزایش احتمال انتقال روزهای خشک به روزهای خشک دارند. همچنین، وجود روند کاهش در تعداد روزهای تر در ژوئن تا دسامبر، و کاهش این احتمال برای انتقال روزهای تر به روزهای تر دیده شد. در ادامه، با فرض عدم تغییر روند و واریانس در داده‌های گذشته و آینده، داده‌های دما برای دوره‌های آتی براساس روش اتورگرسیو درجه اول<sup>5</sup> تهیه و با استفاده از توزیع ویبول<sup>6</sup>، شبیه تولید داده‌های بارندگی تهیه شد. نتایج معرفی داده‌های تولید شده‌ی بارندگی به شبیه جریان، نشان از افزایش رواناب به اندازه 26 درصد در فصلهای تر، و کاهش آن به اندازه‌ی 21 درصد در فصلهای خشک دارد.

در تحقیق دیگری که به‌وسیله‌ی اکستروم و همکاران (2005) انجام شد، تأثیر انتخاب توابع توزیع احتمالاتی یکنواخت، بهنجار و لوگ بهنجار برای متغیرهای آب و هوای و تأثیر آن بر تابع احتمالاتی رواناب در بخشهایی از اروپا مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که انتخاب توابع مختلف احتمالاتی برای متغیرهای آب و هوای تأثیر بسزایی بر تابع توزیع احتمالاتی متغیر آبشناسی دارد. در تحقیق مزبور، با این که تأثیر توزیعهای مختلف متغیرهای ورودی سامانه منابع آب بر توزیع احتمالاتی رواناب مورد بررسی قرار گرفت، توزیعهای محدودی برای متغیرهای ورودی مورد تحلیل قرار گرفتند. لورنا و همکاران (2010) به ارزیابی منابع آب حوضه‌ی اوکلاهما<sup>7</sup> تحت نمایشنامه‌های تغییر آب و هوا با استفاده از یک شبیه آبشناسی کاملاً توزیعی، پرداختند. شبیه آبشناسی برای شرایط فعلی، و همچنین تحت نمایشنامه‌های تغییرات آب و هوای تولید شده به‌وسیله‌ی شبیه آب و هوایی احتمالی به‌کار گرفته شد. شبیه‌سازیهای آبشناسی نشان دادند که جریان و تبخیر، واکنشهای

<sup>3</sup> Mann-Kendall

<sup>4</sup> transition probability matrix

<sup>5</sup> first order autoregressive

<sup>6</sup> Weibull Distribution

<sup>7</sup> Oklahoma

<sup>1</sup> Global Climate Model

<sup>2</sup> weather generator

بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی ارزیابی آثار نشان می‌دهد که در بیشتر آنها، وضعیت سامانه تحت تأثیر تغییر آب و هوا، از دیدگاه آشناسی، یعنی فقط با بررسی توزیع احتمالاتی متغیر مورد نظر، و آن هم برای توزیعهای محدود، مورد توجه قرار گرفته است. حال آن که، برای برنامه‌ریزان منابع آب ضروری است که علاوه بر معلوم بودن وضعیت توزیعهای مختلف احتمالاتی سامانه‌ی مورد نظر، در هر ماه (دیدگاه آشناسیها)، همبستگی گروههای زمانی وضعیت سامانه تحت شرایط تغییر آب و هوا از طریق احتمال انتقال جریان نیز مورد بررسی قرار گیرد.

در تحقیق حاضر، ابتدا داده‌های آب و هوای برای سه دوره‌ی آتی 2010-2039، 2040-2069 و 2070-2099 با استفاده از خروجی کوچک مقیاس شده‌ی شبیه HadCM3 و تحت نمایشنامه‌ی انتشار A2 تولید شد. شبیه آب و هوای HadCM3 دارای عملکرد قابل قبولی در شبیه‌سازی متغیرهای آب و هوای دوره‌ی پایه (2000-1971) با مقایسه با متغیرهای آب و هوای دوره آذررایجان شرقی قرار دارد، می‌باشد (آشفته و مساح‌بوانی، 1388). با استفاده از آزمونهای مختلف نکویی برازش، مناسبترین توزیع احتمالاتی بر رواناب هر سه دوره 30 ساله آتی انتخاب و فراسنجهای توزیع آماری مربوطه محاسبه شد و با فراسنجهای توزیع آماری رواناب پایه حوضه‌ی آیدوغموش مورد مقایسه قرار گرفت. به‌منظور بررسی بیشتر ارزیابی اثرات بر جریان از دیدگاه برنامه‌ریزی منابع آب، بررسی احتمال انتقال جریان ضروری می‌باشد. در ادامه، آرایه‌ی احتمال انتقال جریان شبیه‌سازی شده تحت شرایط تغییر آب و هوا (در سه دوره‌ی آتی) با جریان دوره پایه‌ی و با استفاده از معیارهای عملکرد، مورد مقایسه قرار گرفت.

### مواد و روشها

روشهای مورد نیاز برای این تحقیق در چهار بخش عمده ارائه می‌شوند که شامل پردازش داده‌های آب و هوای در دوره‌های آتی، شبیه‌سازی جریان در دوره‌های آتی تحت شرایط تغییر آب و هوا، انتخاب توزیعهای احتمالاتی مناسب و بررسی انتقال جریان، و در نهایت

متفاوتی را نسبت به تغییرات بارش از خود نشان می‌دهند. روندهای مثبت در بارش باعث افزایش منابع سطحی و زیرزمینی می‌شود، در حالی که بارش تأثیر کمی بر تبخیر، با توجه به رطوبت خاک در حوضه، می‌گذارد. مقایسه‌ی اثر روند بارش بر منابع آب سطحی و زیرزمینی نشان داد که افزایش منابع آب سطحی سه برابر بیشتر از منابع آب زیرزمینی است، که بیانگر تأثیرات کمتر سامانه‌ی آب زیرزمینی به تغییرات آب و هوا می‌باشد.

آثار شرایط آب و هوای آینده و پیش‌بینی رشد جمعیت بر سامانه‌های منابع آب در تنگه‌ی پیوجت<sup>1</sup> به‌وسیله‌ی تراینهام و همکاران (2011) مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق به بررسی توانایی سامانه‌ی تأمین آب منطقه‌ی مزبور برای پاسخ‌گویی به تقاضاهای آتی با توجه به این تغییرات می‌پردازد. برای ارزیابی تأمین آب منطقه در افق 75 ساله، سه شبیه‌گردش جهانی و دو نمایشنامه‌ی انتشار به‌کار گرفته شدند. عملکرد هر سامانه‌ی تأمین آب با مقیاسهای اطمینان‌پذیری و آبدهی مطمئن<sup>2</sup> تعیین شد. نتایج نشان دادند که تغییر آب و هوا آبدهی مطمئن سامانه را در آینده کاهش خواهد داد، و لازم است که سیاستهای بهره‌برداری برای تأمین تقاضا در افق آتی تغییر کند.

ارزیابی کمی آثار تغییر آب و هوا بر آشناسی حوضه‌ی رود پلات<sup>3</sup>، وایومینگ<sup>4</sup> به‌وسیله‌ی آچاریا و همکاران (2011) انجام گرفت. این تحقیق به ارزیابی موجودیت بلندمدت آب رود پلات با استفاده از شبیه آشناسی ظرفیت نفوذ متغیر<sup>5</sup> (VIC) و توسعه‌ی پیش‌بینیهای جریان تحت شرایط تغییر آب و هوا می‌پردازد. جریان سالانه‌ی شبیه‌سازی شده برای دوره‌های آتی بین 20- تا 62 درصد نسبت به دوره‌ی پایه (2000-1971) تغییر می‌کند. شبیه‌سازیها نشان می‌دهند که ماههای مرطوب، مرطوبتر و ماههای خشک، خشکتر شدند.

<sup>1</sup> Puget sound

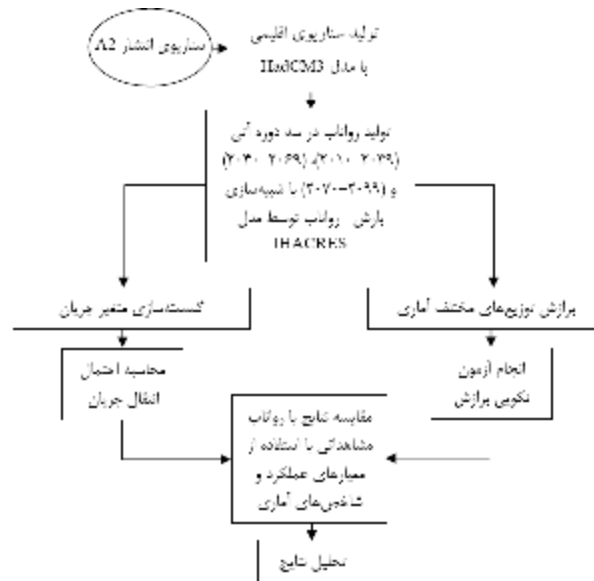
<sup>2</sup> firm yield

<sup>3</sup> Platte

<sup>4</sup> Wyoming

<sup>5</sup> variable infiltration capacity

انجام مقایسه‌ها و تحلیل نتایج می‌باشند. مراحل انجام این تحقیق در شکل 1 ارائه شده‌اند.



شکل 1- روندنمای مراحل مختلف انجام تحقیق.

این داده‌ها بهره‌وری می‌شود (روش خرد مقیاس‌سازی<sup>2</sup>) (ویلیبی و هریس، 2006):

$$T_t = T_{obs,t} + (\bar{T}_{Had,fut,t} - \bar{T}_{Had,bas,t}) \quad (1)$$

$$R_t = R_{obs,t} \times (\bar{R}_{Had,fut,t} / \bar{R}_{Had,bas,t}) \quad (2)$$

در روابط (1) و (2)،  $(\bar{T}_{Had,fut,t} - \bar{T}_{Had,bas,t})$  و میانگین بلندمدت برای ماه  $t$ ام،  $(\bar{R}_{Had,fut,t} / \bar{R}_{Had,bas,t})$  میانگین بلندمدت برای ماه  $t$ ام،  $\bar{T}_{Had,fut,t}$  و  $\bar{T}_{Had,bas,t}$  به ترتیب بیانگر میانگین بلندمدت دما و بارندگی شبیه‌سازی شده با کاربرد شبیه در دوره‌ی آتی برای ماه  $t$ ام،  $\bar{R}_{Had,bas,t}$  و  $\bar{R}_{Had,fut,t}$  به ترتیب بیانگر میانگین بلندمدت دما و بارندگی شبیه‌سازی شده به وسیله‌ی شبیه در دوره‌ی مشابه با دوره‌ی مشاهداتی برای ماه  $t$ ام،  $T_{obs,t}$  و  $R_{obs,t}$  به ترتیب بیانگر گروه زمانی دما و بارندگی مشاهداتی در دوره‌ی پایه برای ماه  $t$ ام و  $T_t$  و  $R_t$  به ترتیب بیانگر گروه زمانی دما و بارندگی حاصل از پدیده تغییر آب و هوا در دوره آتی برای ماه  $t$ ام، می‌باشند.

## پردازش داده‌های آب و هوای در دوره‌ی آتی

در حال حاضر، از روشهای مختلفی برای تولید نمایشنامه‌ی آب و هوای در دوره‌های آتی استفاده می‌شود. این روشها شامل تولید نمایشنامه‌ی مصنوعی، استفاده از داده‌های گذشته متغیر آب و هوای منطقه، و استفاده از شبیه‌های سه‌بعدی جفت شده‌ی اقیانوس- نیوار گردش عمومی جو<sup>1</sup> (AOGCM) است که معتبرترین آنها بهره‌وری از این شبیه‌ها می‌باشند (ویلیبی و هریس، 2006). در این تحقیق شبیه HadCM3 مورد استفاده قرار گرفته است (IPCC, 2008). از آن‌جا که بن‌پار محاسباتی شبیه، به لحاظ مکانی و زمانی نسبت به حوضه‌ی بزرگ مقیاس می‌باشند، متغیر آب و هوای شبیه‌سازی شده به وسیله‌ی HadCM3، به لحاظ مکانی از اطلاعات مربوط به بن‌پاری گرفته می‌شود که حوضه مورد نظر در آن قرار گرفته است (دیاز- نیتو و ویلیبی، 2005) و به لحاظ زمانی، به جای استفاده مستقیم از داده‌های شبیه HadCM3، میانگین بلندمدت دوره‌ی

<sup>2</sup> delta factor

<sup>1</sup> Atmospheric-Ocean General Circulation Model

می‌توان در نظر گرفت؛ لذا، رواناب حاصل به‌صورت نمایی با نرخ  $a$  در هر گام زمانی کاهش می‌یابد.

از طرف دیگر می‌توان آب‌نگار واحد اصلی را به‌صورت تلفیقی از تعداد مختلفی از آب‌نگارهای واحد به‌صورت موازی، یا گروه، و یا به‌صورت منفرد در نظر گرفت. به‌عنوان مثال با تقسیم آب‌نگار واحد کل به دو قسمت موازی آب‌نگار گروه  $q$  و آب‌نگار  $s$ ، رابطه‌ی رواناب حاصله مطابق زیر تعریف می‌گردد:

$$Q_t = a^q Q_{t-1} + b^q (ER_{t-1}) + a^s Q_{t-1} + b^s (ER_{t-1}) \quad (6)$$

بطور کلی، در الگوریتم ارائه شده به‌وسیله‌ی جیکمن و هورن برگر (1993)، سه فراسنج  $f$ ،  $\tau_w$  و  $C$  از میزان غیرخطی تلفات (روابط (4) و (5)) و فراسنجهای  $a$  و  $b$  از میزان خطی آب‌نگار (رابطه‌ی (6)) می‌بایست براساس داده‌های مشاهداتی برای حوضه‌ی مورد مطالعه واسنجی شوند. نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی براساس داده‌های مشاهداتی دما، بارندگی و رواناب حوضه در دوره‌ی پایه در جدول 1 ارائه شده‌اند. در ادامه، با معرفی داده‌های دما و بارندگی حاصل از شبیه‌سازی HadCM3 به شبیه‌آشناسی واسنجی شده، رواناب برای سه دوره‌ی آشناسی آبی شبیه‌سازی شد.

### برازش توزیع‌های احتمالاتی

در بررسی‌های آشناسی، داده‌ها با توابع توزیع انگاره، برازش داده می‌شوند و بهترین تابعی که با داده‌ها مطابقت داشته باشد، به‌عنوان تابع توزیع احتمال، برگزیده می‌شود تا از روی آن بتوان به‌ازای هر احتمال مورد نظر، مقدار متغیر آشناسی را به‌دست آورد. این توزیع‌های احتمالاتی، که برای تحلیل فراوانی به‌کار می‌روند، می‌توانند با استفاده از آزمونهای مختلف نکویی برازش<sup>8</sup> کلموگروف-اسمیرونوف<sup>9</sup>، دارلینگ-اندرسون<sup>10</sup> و کای اسکویر<sup>11</sup>، انتخاب شوند (کایت، 1977). پس از انتخاب توزیع‌های مناسب احتمالاتی برازش داده شده به داده‌های متوسط ماهانه بلندمدت، رواناب آبی حاصل از شبیه‌آشناسی و نیز رواناب مشاهداتی، فراسنجهای توزیع‌های احتمالاتی

## شبیه‌سازی جریان در دوره‌های آبی تحت شرایط تغییر آب و هوا

در این تحقیق، برای تولید رواناب ماهانه از الگوریتم ارائه شده به‌وسیله‌ی جیکمن و هورن برگر (1993) (شبیه‌سازی IHACRES<sup>1</sup>) استفاده شده است. این الگوریتم از دو میزان غیرخطی تلفات<sup>2</sup> و میزان خطی آب‌نگار واحد<sup>3</sup> تشکیل گردیده است که در ادامه تشریح می‌شود.

### • میزان غیرخطی تلفات

به‌منظور تبدیل بارندگی به بارندگی مؤثر از شاخص رطوبتی حوضه<sup>4</sup> که با  $WI_t$  ( $0 < WI_t < 1$ ) نشان داده می‌شود، استفاده می‌گردد:

$$ER_t = WI_t \times R_t \quad (3)$$

از طرف دیگر، شاخص رطوبتی حوضه تابعی از تبخیر - تعرق در حوضه می‌باشد که با روابط زیر بیان می‌شود:

$$WI_t = C \times R_t + \{1 - [1/t_w(T_r)]\} \cdot WI_{t-1} \quad WI_0 = 0 \quad (4)$$

$$t_w(T_r) = t_w \cdot \exp[0.062f(T_r - T_r)] \quad t_w(T_r) > 1 \quad (5)$$

در روابط فوق،  $R_t =$  بارندگی در گام زمانی  $t$ ام،  $ER_t =$  شاخص رطوبتی حوضه در گام زمانی  $t$ ام،  $WI_t =$  مؤثر در هر گام زمانی  $t$ ام،  $T_t =$  دما در گام زمانی  $t$ ام (درجه سانتی‌گراد)،  $T_r =$  دمای مرجع<sup>5</sup> (درجه‌ی سانتی‌گراد)،  $\tau_w =$  ثابت زمانی خشک شدن حوضه<sup>6</sup> (روز) و  $f =$  عامل تعدیل دما<sup>7</sup> و  $C =$  کگروه از بارندگی می‌باشد. فراسنج  $C$  به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که حجم بارندگی مؤثر و رواناب مشاهداتی در دوره‌ی واسنجی، یکسان گردند (لیتل‌وود و همکاران، 1997).

### • میزان خطی آب‌نگار واحد

به‌منظور تبدیل بارندگی مؤثر به رواناب، فرض کنید که بارندگی مؤثر واحد در یک گام زمانی، به مقدار  $b$  واحد، رواناب تولید کند. اندازه‌ی رواناب در گام‌های بعدی را به‌صورت نسبت  $a$  ( $a < 1$ ) از مقدار آن در مرحله‌ی قبل

<sup>1</sup> identification of unit hydrographs and component flows from rainfall, evaporation and streamflow data

<sup>2</sup> nonLinear loss module

<sup>3</sup> linear unit hydrograph module

<sup>4</sup> catchment wetness index

<sup>5</sup> reference temperature

<sup>6</sup> catchment drying time constant

<sup>7</sup> temperature modulation factor

<sup>8</sup> goodness of fit

<sup>9</sup> Kolmogorov-Smirnov

<sup>10</sup> Anderson-Darling

<sup>11</sup> chi-squared

ضروری است که علاوه بر معلوم بودن توزیع احتمالاتی رواناب رود (جریان ورودی به آبگیر)، تسلسل زمانی وضعیت آورد رود در طول دوره‌ی بهره‌برداری نیز مورد بررسی قرار گیرد. چون سامانه منابع آب بایستی بطور پیوسته پاسخگوی نیاز باشد، این رویکرد از طریق بررسی آرایه‌ی احتمال انتقال صورت می‌گیرد که در ادامه تشریح می‌شود.

مربوطه در هر ماه به کمک نرم‌افزار EasyFit 5.5 استخراج می‌شوند. پس از استخراج فراسنجهای هر توزیع، شاخصهای آماری (متوسط، انحراف معیار و ضریب تغییرات) مربوط به داده‌های رواناب در هر ماه محاسبه می‌گردند. از آن جا که، در برنامه‌ریزی منابع آب عملکرد هر سامانه‌ای در طول یک مدت معین تخمین زده می‌شود،

جدول 1- نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی شبیه بارش - رواناب بر اساس داده‌های مشاهداتی در دوره‌ی 1971-2000.

صحت‌سنجی				واسنجی										
معیارهای عملکرد				معیارهای عملکرد				فراسنجهای شبیه						نتایج
<i>NSE</i>	<i>MAE</i>	<i>RMSE</i>	<i>R</i>	<i>NSE</i>	<i>MAE</i>	<i>RMSE</i>	<i>R</i>	<i>C</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>f</i>	$\tau_w$		
0/60	2/55	4/54	0/79	0/55	3/26	5/59	0/75	0/001	0/502	0/288	1/7	1/0		

انتقالها از حالت  $i$  به حالت  $j$ ، و  $N(Q_t = i)$  = تعداد کل جریانهای قرار گرفته در حالت  $i$  می‌باشد. معمولاً  $P_{ij}$  را با توجه به حالت‌های یک سامانه با یک آرایش مربعی  $m \times m$  مرتب می‌کنند (که  $m$  تعداد بازه برای گسسته‌سازی جریان می‌باشد) و نتیجه آن آرایه‌ی مربع  $P$  است که آرایه‌ی احتمال انتقال زنجیره‌ی مارکوف نامیده می‌شود:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \mathbf{K} & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \mathbf{K} & P_{2m} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & & \mathbf{M} \\ P_{m1} & P_{m2} & \mathbf{K} & P_{mm} \end{bmatrix} \quad (8)$$

در آرایه  $P$ ، احتمال ورود سامانه از حالت  $i$  به حالت  $j$  بزرگتر یا مساوی صفر می‌باشد (برای هر  $i, j \in \{1, 2, \dots, m\}$ ،  $P_{ij} \geq 0$  است)، و مجموع احتمالات هر سطر می‌بایست برابر با صفر یا یک گردد، یعنی برای هر  $i \in \{1, 2, \dots, m\}$ ،  $\sum_{j=1}^m P_{ij} = 1$  یا  $0$  است.

قبل از محاسبه‌ی احتمال انتقال بایستی کلیه‌ی متغیرهای به کار رفته (جریان رود)، گسسته‌سازی شوند. در گسسته‌سازی به روش طول بازه‌های مساوی، که در این تحقیق از آن استفاده شده است، فاصله‌ی تغییرات جریان مورد نظر از کمترین تا بیشترین مقدار (در بین روانابهای آتی تولید شده و روانابهای مشاهداتی) به بازه‌هایی با طول ثابت و برابر تقسیم می‌شوند، و فراوانی هر بازه از طریق

## احتمال انتقال جریان

همبستگی گروههای زمانی می‌تواند با استفاده از احتمالات انتقال در شبیه‌ها وارد شود. توزیع احتمالاتی جریانها می‌تواند با یک نمودار ستونی تقریب زده شود. نمودار ستونی‌ها با تقسیم محدوده‌ی مقادیر متغیر تصادفی، مانند جریانها، به بازه‌های گسسته تبدیل می‌شوند. برای بررسی این که آیا احتمال بودن در هر بازه جریان وابسته به بازه‌ی جریان قبلی است یا نه، می‌توان یک آرایه تهیه کرد. ردیفهای آرایه بیانگر بازه‌های جریان  $i$  در دوره‌ی  $t$  و ستونهای آرایه بیانگر بازه‌های جریان  $j$  در دوره‌ی بعدی  $t+1$  هستند. اعداد آرایه بیانگر احتمال بودن در هر بازه‌ی  $j$  در دوره  $t+1$  با معلوم بودن یک جریان در بازه‌ی  $i$  در دوره  $t$  می‌باشند، یعنی شمار دفعاتی که یک جریان در بازه‌ی  $j$  به دنبال یک جریان در بازه‌ی  $i$  اتفاق می‌افتد، بر تعداد کل انتقالهای جریان در همان ردیف (مجموع تعداد جریانها در ردیف) تقسیم می‌شود؛ به این ترتیب، خواهیم داشت:

$$P_{ij} = P_r(Q_{t+1} = j | Q_t = i) = \frac{N(Q_t = i, Q_{t+1} = j)}{N(Q_t = i)} \quad (7)$$

که در آن،  $P_r(Q_{t+1} = j | Q_t = i)$  = بیانگر احتمال این که سامانه در زمان  $t+1$  در حالت  $j$  باشد، به شرط این که در زمان  $t$  حالت سامانه‌ی مشخص و حالت‌های رخ داده قبلی  $i$  نیز مشخص گردند،  $N(Q_t = i, Q_{t+1} = j)$  = شمار

معیار کارایی نش- ساتکلیف برای ارزیابی توان شبیه در شبیه‌سازی به کار می‌رود که اهمیت نسبی واریانس مقادیر شبیه‌سازی شده را در مقایسه با واریانس داده‌های اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد، و به صورت رابطه زیر بیان می‌شود (موریاسی، 2007):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_m - X_s)^2}{\sum_{i=1}^N (X_m - \bar{X}_m)^2} \quad (12)$$

در روابط (9) تا (12)،  $X_s$  داده‌ی شبیه‌سازی شده،  $X_m$  داده‌ی اندازه‌گیری شده،  $\bar{X}_s$  متوسط داده‌ی شبیه‌سازی شده،  $\bar{X}_m$  متوسط داده‌ی اندازه‌گیری شده، و  $N$  تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشند.

### مطالعه‌ی موردی و داده‌ها

#### منطقه‌ی طرح

منطقه‌ی مطالعاتی این تحقیق، حوضه‌ی آیدوغوش است که در استان آذربایجان شرقی بین 47 درجه و 33 دقیقه تا 47 درجه و 49 دقیقه طول جغرافیایی و 37 درجه و 16 دقیقه تا 37 درجه و 31 دقیقه عرض جغرافیایی قرار گرفته است (شکل 2). وسعت حوضه‌ی مورد نظر 1802 کیلومتر مربع است. رود آیدوغوش با طول حدود 80 کیلومتر و با جهت جریان جنوب غربی-شمال شرقی، از ارتفاعات گرگرد (قور-قور) از توابع هشتگرد سرچشمه می‌گیرد و پس از دریافت رودهای قرنقو و شهرچای به رود قزل اوزن می‌ریزد.

#### آمار و اطلاعات

آبدهی سالانه‌ی رود آیدوغوش 190 میلیون متر مکعب و متوسط بارندگی سالانه در سطح حوضه 340 میلی‌متر بوده است، که پر بارانترین ماهها مربوط به ماههای آوریل و مه می‌باشد (مهندسين مشاور یکم، 1385). ایستگاههای موجود در حوضه، داده‌های دوره‌ی 1971-2000 را پوشش می‌دهند؛ لذا، این دوره به عنوان دوره‌ی پایه انتخاب شد. مشخصات ایستگاههای هواشناسی و آبسنجی مورد نظر در جدول 2 ارائه شده‌اند. در این تحقیق از آمار ماهانه‌ی دما و بارندگی متوسط حوضه، و آمار رواناب ماهانه‌ی ایستگاه موتورخانه در دوره‌ی پایه استفاده شده است.

شمارش تعداد مقادیری که بین حدود بالا و پایین آن بازه قرار دارد، تعیین می‌گردد. حال، برای به دست آوردن احتمالات انتقال بین بازه‌های مختلف، تعداد انتقالها از هر بازه در هر دوره‌ی زمانی به هر بازه در دوره‌ی زمانی بعدی تعیین شده، و براساس کل حالات هر بازه در هر دوره‌ی زمانی، احتمال وقوع انتقالها محاسبه می‌گردد.

### معیارهای عملکرد

برای بررسی عملکرد شبیه‌ها و مقایسه‌ی نتایج از معیارهای مرسوم ضریب همبستگی<sup>1</sup> ( $R$ )، جذر متوسط مربعات خطا<sup>2</sup> ( $RMSE$ )، متوسط خطای مطلق<sup>3</sup> ( $MAE$ ) و کارایی نش- ساتکلیف<sup>4</sup> ( $NSE$ ) استفاده شده است.

ضریب همبستگی بیانگر رابطه‌ی خطی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده می‌باشد. این معیار، که به صورت زیر تعریف می‌شود، به تنهایی نمی‌تواند بیانگر عملکرد یک شبیه در شبیه‌سازی داده‌ها باشد (لین و همکاران، 2006):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (X_s - \bar{X}_s)(X_m - \bar{X}_m)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_s - \bar{X}_s)^2 \cdot \sum_{i=1}^N (X_m - \bar{X}_m)^2}} \quad (9)$$

جذر متوسط مربعات خطا به عنوان مقیاسی برای نشان دادن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده به کار می‌رود. از این معیار، که به صورت رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود، به عنوان مرسومترین شاخص خطا بهره‌وری می‌گردد (لین و همکاران، 2006):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_s - X_m)^2}{N}} \quad (10)$$

متوسط خطای مطلق برای مقایسه عبارت به عبارت<sup>5</sup> عبارت<sup>5</sup> خطای نسبی مقادیر شبیه‌سازی شده با توجه به داده‌های اندازه‌گیری شده به کار می‌رود، که به صورت رابطه‌ی زیر ارائه می‌شود (هو و همکاران، 2001):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |X_s - X_m|}{N} \quad (11)$$

<sup>1</sup> coefficient of correlation

<sup>2</sup> root mean square error

<sup>3</sup> mean absolute error

<sup>4</sup> Nash-Sutcliffe efficiency

<sup>5</sup> term by term

ایستگاه باران‌سنجی برپایه‌ی اختلاف رقوم هر ایستگاه با رقوم میانگین حوضه، به‌دست آمد. در انجام تحقیق برای گسسته‌سازی، آورد جریان رود در سه دوره‌ی آتی 2070-2099، 2040-2069 و 2039-2010 در هر ماه، به پنج بازه تقسیم‌بندی شده است.

گفتنی است که برای متغیر دما، با توجه به اختلاف رقوم ایستگاه مبنا و رقوم متوسط حوضه‌ی ایدوغموش، با استفاده از شیب دما و ارتفاع، داده‌های دمای مربوط به متوسط حوضه محاسبه شدند. برای متغیر بارندگی نیز بارندگی ماهانه میانگین حوضه براساس وزن‌دهی آمار هر

جدول 2- مشخصات ایستگاههای هواشناسی موجود در منطقه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع حوضه (متر از سطح دریا)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
تلخاب	باران‌سنجی	2500	46°-57'	36°-57'
تونل 7	باران‌سنجی	1100	47°-37'	37°-24'
استور	کلیماتولوژی	1200	47°-54'	47°-30'
پل دختر	باران‌سنجی	1200	47°-49'	37°-21'
تازه کند	باران‌سنجی	1850	46°-45'	36°-59'
کنگوار	باران‌سنجی	1320	47°-36'	37°-18'
قزل قیه	باران‌سنجی	1499	47°-32'	37°-16'
مکتو	باران‌سنجی	1690	47°-13'	37°-18'
میانه	سینوپتیک	1200	47°-38'	37°-24'
موتور خانه	آبسنجی	1060	47°-43'	37°-23'

و کاهش آن برای بهار و تابستان خواهد بود. همچنین، محدوده‌ی تغییرات بارندگی، بین 28- تا 33، 39- تا 29 و 91- تا 34 درصد نسبت به دوره‌ی پایه خواهد بود. پس از به‌دست آوردن نمایشنامه‌ی آب و هوای حوضه، با استفاده از روابط (1) و (2)، گروه زمانی ماهانه‌ی متغیرهای آب و هوای حوضه در سه دوره‌ی آتی 30 ساله محاسبه شده است.

### بررسی توزیع مناسب آماری رواناب حوضه در سه دوره‌ی آتی

پس از واسنجی و صحت‌سنجی شبیه‌سازی شبیه‌سازی بارش - رواناب، گروه زمانی ماهانه متغیرهای آب و هوای حوضه در دوره‌های آتی به شبیه معرفی و گروه زمانی ماهانه‌ی رواناب حوضه در دوره‌های آتی شبیه‌سازی شد. سپس، توزیعهای مختلف آماری بر آنها برآزش داده و مناسبترین توزیع با آزمونهای نکویی برآزش در همه ماهها انتخاب گردید. در ادامه، فراسنجهای توزیع استخراج گردیدند که نتایج برای دوره‌ی اول آتی (2010-2039) برای ماههای پرآب و کم‌آب در جدول 3 ارائه شده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در ماههای مختلف، داده‌های رواناب منتج از شبیه HadCM3 در دوره‌ی آتی

### نتایج

#### نتایج نمایشنامه‌های آب و هوای حاصل از شبیه HadCM3

در این تحقیق از خروجی شبیه HadCM3 از مرکز تحقیقات و پیش‌بینی آب و هوا Hadley انگلستان از مجموعه‌ی شبیه‌های AOGCM، که دارای بهترین عملکرد در شبیه‌سازی متغیرهای آب و هوای حوضه بوده است، و تحت نمایشنامه‌ی انتشار A2 (به‌دلیل انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای در این نمایشنامه)، استفاده شده است. در ادامه، میانگین بلندمدت دما و بارندگی ماهانه در سه دوره‌ی آتی و دوره‌ی شبیه‌سازی شده پایه با کاربرد همان شبیه محاسبه گردید. نهایتاً، نمایشنامه‌ی آب و هوای دما  $(\bar{T}_{Had,fut,t} - \bar{T}_{Had,bas,t})$  و بارندگی  $(\bar{R}_{Had,fut,t} / \bar{R}_{Had,bas,t})$  حوضه محاسبه شد، که نتایج در شکل 3 ارائه گردیده‌اند.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، انتظار می‌رود دمای حوضه در سه دوره‌ی آتی به ترتیب بین 1/0 تا 1/8، 1/7 تا 3/9 و 3/5 تا 6/7 درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره‌ی پایه افزایش یابد. این در حالی است که حوضه‌ی مزبور در این دوره‌ها شاهد افزایش بارندگی عمدتاً برای پاییز و زمستان،



نسبت به دوره‌ی پایه بوده است؛ یعنی هر دو عامل در جهت کاهش تولید رواناب مؤثر بوده‌اند.

همچنین، نتایج نشان می‌دهند که ضریب تغییرات مربوط به رواناب نیز در دوره‌های آتی کاهش خواهد داشت، به گونه‌ای که اندازه کاهش آن در دوره‌های 2039-2010، 2069-2040 و 2099-2070 نسبت به دوره‌ی پایه به ترتیب برابر با 36/2، 35/5 و 34/2 درصد می‌باشد. از طرف دیگر، تغییرات جریان محدود به میانگین و ضریب تغییرات نشده و توزیع سالانه‌ی جریان را نیز در بر خواهد گرفت، که در شکل 4 نشان داده شده است.

به منظور بررسی بیشتر در جدول 5 حجم کل رواناب داده‌های آتی و پایه برای جریانهای کم، متوسط و زیاد مورد مقایسه قرار گرفته‌اند که نتایج آن با دستاوردهای حاصل از جدول 4 نیز مطابقت دارند.

همان‌طور که در جدول 5 ملاحظه می‌شود، به‌رغم کاهش حجم کل رواناب در دوره‌های آتی نسبت به دوره‌ی پایه، این کاهش به جریانهای متوسط و زیاد مرتبط گشته و در جریانهای کم، حجم رواناب دوره‌های آتی نسبت به دوره‌ی پایه به ترتیب به اندازه 47، 41 و 14 درصد افزایش می‌یابد. این مسأله، به دلیل تأثیر بیشتر متغیر دما در جریان کم، و تأثیر بیشتر متغیر بارندگی در جریان زیاد می‌باشد، و نتایج آن در شکل 5 نیز ارائه شده‌اند.

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، ضروری است که در برنامه‌ریزی منابع آب هر سامانه‌ای تسلسل زمانی وضعیت سامانه مشخص باشد. همبستگی گروههای زمانی می‌تواند با استفاده از احتمالات انتقال مشخص شود که در ادامه تشریح گردد.

(در این‌جا 2010-2039)، و رواناب دوره‌ی پایه دارای فراسنجهای مختلف توزیع آماری می‌باشند. پس از تعیین فراسنجهای توزیع آماری، شاخصهای آماری (میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات) میانگین ماهانه‌ی رواناب بلندمدت در دوره‌ی آتی با میانگین ماهانه‌ی رواناب دوره پایه مقایسه شدند، که نتایج مقایسه متوسط ماهانه بلندمدت رواناب رود در دوره‌های آتی نسبت به دوره‌ی پایه در شکل 4، و مقایسه‌ی متوسط سالانه‌ی بلندمدت آنها در جدول 4 ارائه شده‌اند.

نتایج نشان می‌دهند که به‌رغم این که میانگین رواناب سالانه‌ی بلندمدت در دوره‌ی 2010-2039، 2069-2040 و 2099-2070 نسبت به دوره‌ی 2000-1971 به ترتیب به میزان 22، 11 و 65 درصد کاهش می‌یابد (جدول 4)، این روند کاهشی نیست، و در دوره‌ی 30 ساله‌ی دوم نسبت به 30 ساله‌ی اول افزایش نسبتاً کمی دارد. به این دلیل که میانگین دمای سالانه بلندمدت در سه دوره‌ی آتی به ترتیب 12، 24 و 45 درصد نسبت به دوره‌ی پایه افزایش می‌یابد. این در حالی است که متوسط بارندگی سالانه بلندمدت در سه دوره‌ی آتی، به ترتیب 2 درصد افزایش، 1 درصد افزایش و 5 درصد کاهش می‌یابد؛ بنابراین، افزایش بارندگی در دوره‌ی دوم نسبت به دوره‌ی سوم، به صورت معنی‌داری تغییر نکرده است. این در حالی است که افزایش دما در دوره‌ی دوم نسبت به دوره‌ی اول، بطور معنی‌دار افزایش یافته است؛ بنابراین، افزایش دما منجر به کاهش رطوبت خاک می‌شود. اما دلیل کاهش 65 درصدی میانگین رواناب سالانه‌ی بلندمدت، در ازای افزایش 45 درصدی دما و البته کاهش 5 درصدی بارندگی

جدول 3- استخراج فراسنجهای توزیع احتمالاتی منتخب رواناب در دوره‌ی اول آتی و دوره‌ی پایه با استفاده از آزمون نکویی برازش (برای ماههای پر آب و کم آب).

کلموگروف - اسمیرونوف						
فراسنجهای توزیع				نام توزیع	ماه	دوره
$\gamma=0.00$	$\beta=13.14$	$\alpha=4.15$	$k=0.43$	داگم	آوریل	آتی
	$\gamma=0.00$	$\beta=8.29$	$\alpha=2.46$	لوگ لجستیک	مه	
	$\gamma=0.00$	$\mu=0.67$	$\lambda=0.90$	گوسین معکوس	اوت	
	$\gamma=0.05$	$\beta=0.29$	$\alpha=0.95$	ویبول	سپتامبر	
$\gamma=-0.76$	$\beta=29.12$	$\alpha=6.51$	$k=0.29$	داگم	آوریل	پایه
$\gamma=-1631.10$	$\beta=1644.80$	$\alpha=426.43$	$k=0.57$	بور	مه	
		$\mu=0.11$	$\sigma=0.26$	بهنجار	اوت	
	$\mu=0.08$	$\sigma=0.17$	$k=0.45$	حدی تعمیم یافته	سپتامبر	

کای اسکویر				اندرسون - دارلینگ				
فراسنجهای توزیع			نام توزیع	فراسنجهای توزیع			نام توزیع	
$\gamma=0.00$	$\beta=11.16$	$\alpha=1.77$	ویبول	$\gamma=0.00$	$\beta=13.14$	$\alpha=4.15$	$k=0.43$	داگم
$\gamma=0.00$	$\mu=10.24$	$\lambda=32.51$	گوسین معکوس		$\mu=7.51$	$\sigma=4.58$	$k=0.02$	حدی تعمیم یافته
$\gamma=0.00$	$\beta=0.51$	$\alpha=1.33$	گاما		$\gamma=0.07$	$\beta=0.41$	$\alpha=0.97$	عمر خستگی
$\gamma=0.00$	$\beta=0.24$	$\alpha=2.04$	لوگ لجستیک		$\gamma=0.02$	$\beta=0.22$	$\alpha=0.93$	عمر خستگی
$\gamma=-62.35$	$\mu=82.48$	$\lambda=6184.50$	گوسین معکوس		$\gamma=-54.28$	$\beta=73.84$	$\alpha=13.74$	لوگ لجستیک
	$\gamma=0.00$	$\nu=17.00$	اسکوئر	$\gamma=-1631.10$	$\beta=1644.80$	$\alpha=426.43$	$k=0.57$	بور
	$\mu=-0.01$	$\sigma=0.20$	گامبل بیشینه		$\gamma=0.00$	$\mu=0.11$	$\lambda=0.02$	گوسین معکوس
$\mu=-0.06$	$\sigma=0.26$	$k=0.32$	پارتو تعمیم یافته		$\mu=-0.06$	$\sigma=0.26$	$k=0.32$	حدی تعمیم یافته

جدول 4- شاخصهای آماری سالانه رواناب.

رواناب				دما				بارندگی				شاخصهای آماری
آتی			پایه	آتی			پایه	آتی			پایه	
۲۰۷۰-۲۰۹۹	۲۰۴۰-۲۰۶۹	۲۰۱۰-۲۰۳۹	1971-2000	۲۰۷۰-۲۰۹۹	۲۰۴۰-۲۰۶۹	۲۰۱۰-۲۰۳۹	1971-2000	۲۰۷۰-۲۰۹۹	۲۰۴۰-۲۰۶۹	۲۰۱۰-۲۰۳۹	1971-2000	
3.30	4.92	4.47	5.46	16.34	14.10	12.86	11.53	25.51	29.45	27.01	28.35	میانگین ( $m^3/s$ )
2.59	3.79	3.40	6.51	10.31	9.80	9.42	9.20	19.23	20.92	17.58	18.62	انحراف معیار ( $m^3/s$ )
78.48	76.98	76.05	119.26	63.10	69.47	73.24	79.77	75.37	71.04	65.10	65.68	ضریب تغییرات

جدول 5- مقایسه حجم کل رواناب دوره‌های آتی و دوره‌ی پایه برای جریانهای کم، متوسط و زیاد.

نوع جریان	رواناب پایه (1971-2000)	رواناب شبیه‌سازی (2010-2039)	رواناب شبیه‌سازی (2040-2069)	رواناب شبیه‌سازی (2070-2099)
جریان زیاد = حجم جریان بین 77 تا $116 \times 10^6 \text{ m}^3$ (بدهی جریان = 30 تا 45 مترمکعب بر ثانیه)	831.85	0.00	161.61	0.00
جریان متوسط = حجم جریان بین 38 تا $77 \times 10^6 \text{ m}^3$ (بدهی جریان = 15 تا 30 مترمکعب بر ثانیه)	1931.40	631.00	1055.46	442.18
جریان کم = حجم جریان بین 0 تا $38 \times 10^6 \text{ m}^3$ (بدهی جریان = 0 تا 15 مترمکعب بر ثانیه)	2300.89	3383.69	3245.42	2617.84

### بررسی احتمال انتقال جریان در دوره‌های آتی

قبل از تولید آرایه‌ی احتمال انتقال جریان لازم است جریان رود گسسته‌سازی شود. در انجام تحقیق حاضر برای گسسته‌سازی، جریان رود (در بین روانابهای آتی تولید شده و روانابهای پایه) در هر ماه به پنج بازه تقسیم‌بندی شد. نتایج تقسیم‌بندیهای انجام شده در شکل 6 ارائه شده‌اند. این تقسیم‌بندیها در هر ماه به روش بازه‌های مساوی، صورت گرفته است.

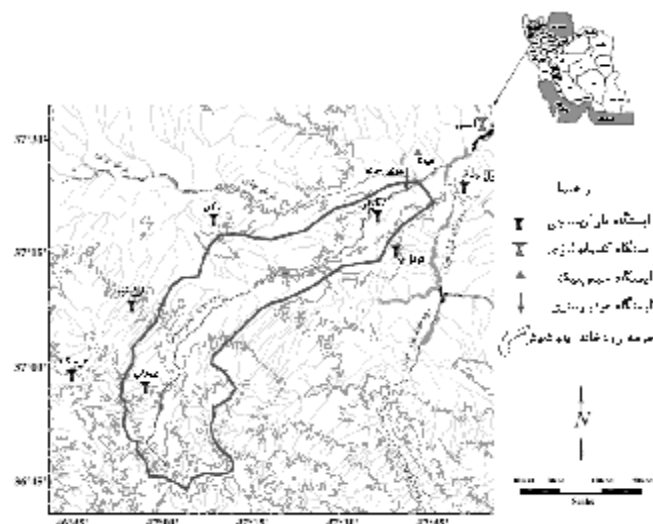
پس از گسسته‌سازی جریان رود، برای تعیین احتمالات انتقال جریان بین بازه‌های مختلف، تعداد انتقالها از هر بازه در هر دوره‌ی زمانی به هر بازه در دوره‌ی زمانی بعدی محاسبه شدند، و براساس کل حالات هر بازه در هر دوره‌ی زمانی، احتمال وقوع انتقالها مشخص گردیدند؛ بنابراین، در مجموع 12 آرایه‌ی احتمال انتقال برای رواناب هر دوره‌ی 30 ساله آتی و 12 آرایه‌ی احتمال انتقال برای رواناب پایه، یعنی در مجموع 48 احتمال وقوع انتقال محاسبه شدند. برای نمونه، احتمال انتقال جریان برای ماه آوریل به مه و اوت به سپتامبر برای دوره‌ی اول آتی و دوره‌ی پایه در جدول 6 ارائه شده‌اند.

در ادامه، به منظور مقایسه‌ی احتمال انتقال جریان در هر یک از دوره‌های آتی با جریان دوره‌ی پایه در هر ماه، از معیارهای عملکرد ضریب همبستگی، جذر متوسط مربعات خطا، متوسط خطای مطلق و کارایی نش- ساتکلیف استفاده شد. برای مقایسه‌ی احتمال انتقال آنها، معیارهای عملکرد فوق برای اجزای نظیر به نظیر هر دو آرایه مورد محاسبه قرار گرفته‌اند (جدول 7). نتایج مربوط به این

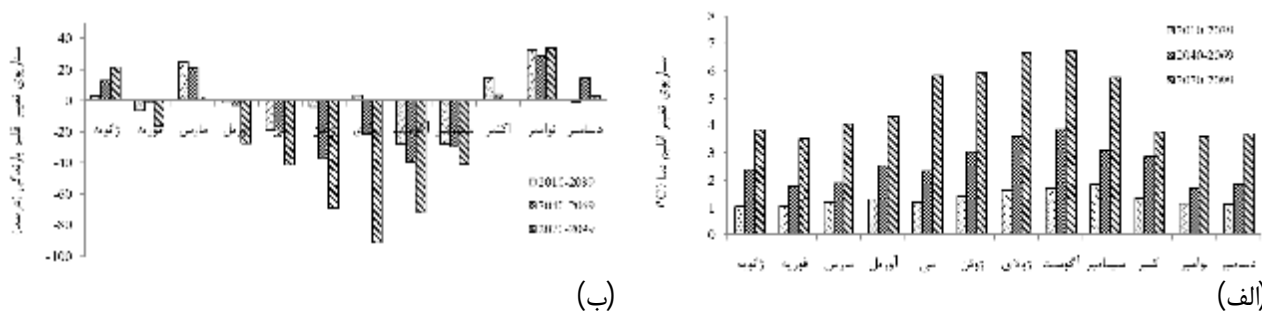
مقایسه‌ها برای ماه آوریل به مه و اوت به سپتامبر برای دوره‌های آتی و دوره پایه در جدول 8 ارائه شده‌اند.

در جدول 8، مقایسه‌ی احتمال انتقال جریان (منتج از شبیه‌های HadCM3 و آشناسی) در دوره‌های آتی، و احتمال انتقال جریان پایه نشان می‌دهد که عمدتاً ضریب همبستگی بین احتمال انتقال جریان در دوره‌های آتی، و احتمال انتقال جریان در دوره‌ی پایه در ماههای تر به نسبت ماههای خشک بیشتر است. در این جدول، شاخصهای خطا بین احتمال انتقال جریان در دوره‌های آتی، و احتمال انتقال در دوره‌ی پایه در ماههای تر کمتر است. البته این مطلب در مورد دوره‌ی سوم بالعکس است، و این امر به دلیل متفاوت بودن ماهیت جریان در دوره سوم می‌باشد، چون در این دوره بارندگی آتی نسبت به بارندگی پایه کاهش، و دمای آتی نسبت به دمای پایه نیز افزایش چشم‌گیری دارد؛ بنابراین، جریان در محدوده‌ی کم دوره‌ی سوم آتی، تطابق بیشتری با جریان در محدوده‌ی کم دوره‌ی پایه دارد.

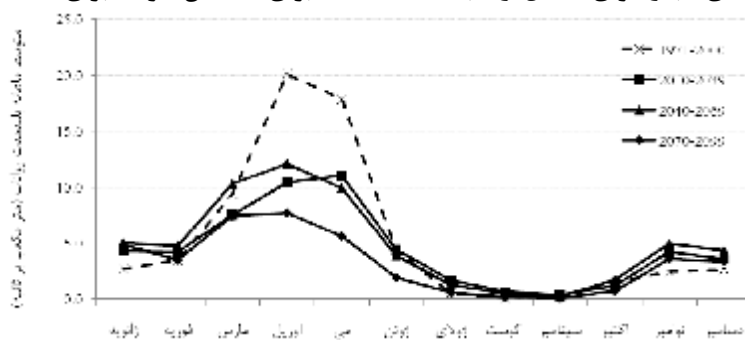
همان‌طور که در جدول 7 نیز ارائه شده است، در مجموع مقایسه‌ی احتمال انتقال جریان در دوره‌های آتی و احتمال انتقال جریان پایه نشان از پایین بودن ضریب همبستگی دارد؛ بنابراین، حتی اگر از نظر آشناسی تغییر زیادی در جریان مشاهده نشود، از نظر برنامه‌ریزی منابع آب و تعیین سیاستهای بهره‌برداری و تخصیص باید بازنگریهایی صورت گیرد، زیرا حتی اگر همان مقدار آب داشته باشیم، توزیع آن کاملاً تغییر کرده است.



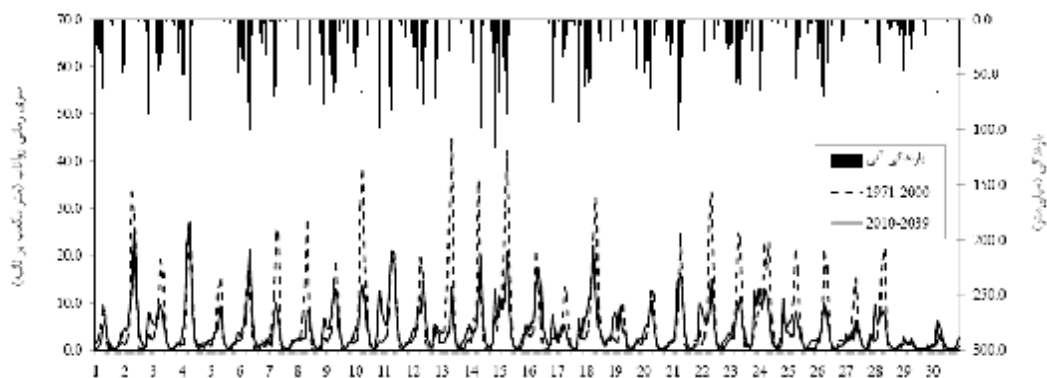
شکل 2- موقعیت حوضه‌ی رود ایدوغموش و جانمایی ایستگاههای هواشناسی.

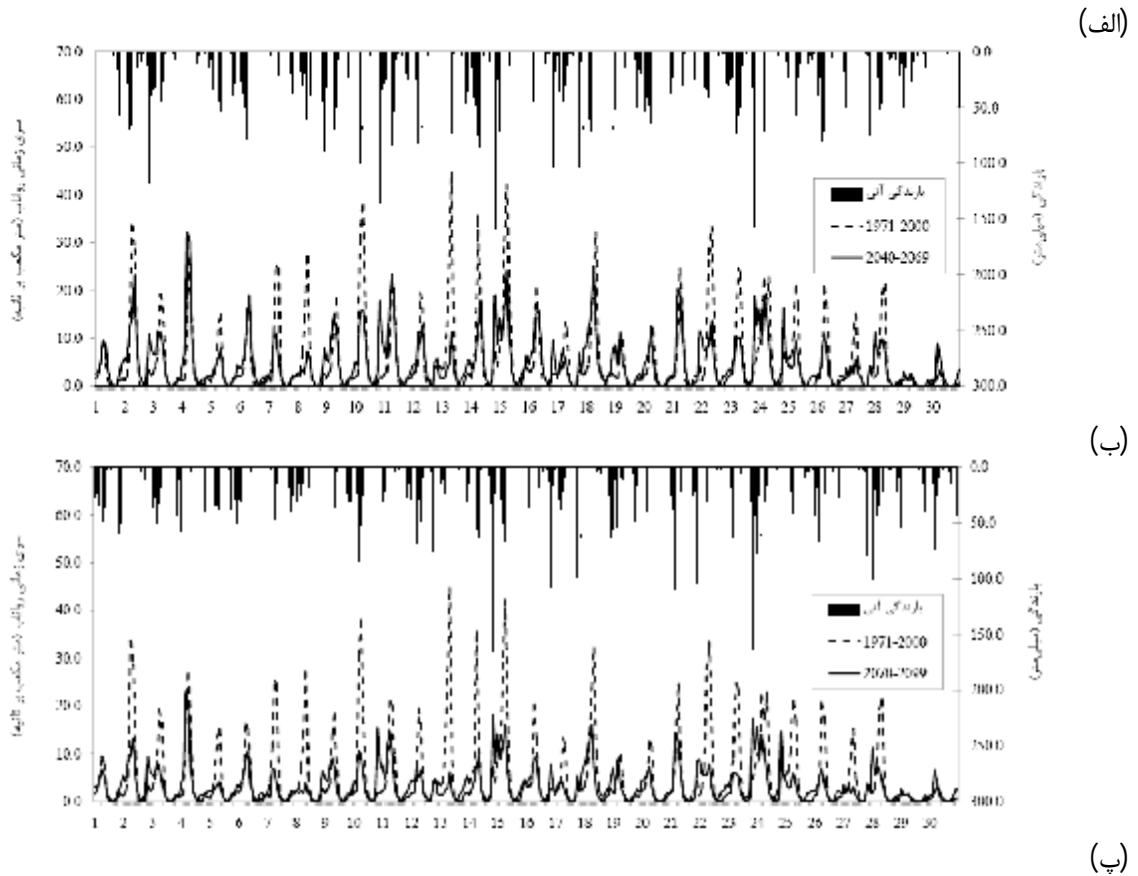


شکل 3- نمایشنامه‌های آب و هوای حاصل از شبیه HadCM3 برای میانگین حوضه برای (الف) دما و (ب) بارندگی.



شکل 4- مقایسه‌ی میانگین ماهانه‌ی بلندمدت رواناب (میانگین حوضه) در دوره‌های آبی نسبت به دوره‌ی پایه.





شکل 5- اختلاف بین رواناب شبیه‌سازی شده در دوره‌ی آتی (الف) 2010-2039، (ب) 2040-2069 و (پ) 2070-2099 با رواناب اندازه‌گیری شده در دوره‌ی پایه 1971-2000 با توجه به بارندگیهای مربوط به هر سه دوره‌ی آتی.



شکل 6- گسسته‌سازی جریان رود در ماههای مختلف.

جدول 6- مقایسه‌ی آرایه‌ی احتمال انتقال برای ماه آوریل به مه، و اوت به سپتامبر، برای دوره‌ی اول آتی با دوره‌ی پایه.

مه						مه					
5	4	3	2	1		5	4	3	2	1	
0.00	0.00	0.00	0.27	0.73	1	0.00	0.00	0.00	0.20	0.80	1
0.00	0.00	0.27	0.36	0.36	2	0.00	0.14	0.29	0.57	0.00	2
0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	3	0.00	0.09	0.36	0.55	0.00	3
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4	0.25	0.50	0.00	0.25	0.00	4
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5	0.00	0.00	0.33	0.67	0.00	5
سپتامبر						سپتامبر					
5	4	3	2	1		5	4	3	2	1	
0.11	0.00	0.11	0.00	0.79	1	0.00	0.00	0.00	0.07	0.93	1
0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	2	0.00	0.08	0.08	0.42	0.42	2
0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	3	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	3
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	4
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	5
پایه						آتی					

جدول 7- معیارهای عملکرد احتمال انتقال جریان دوره‌های آتی (الف) 2010-2039، (ب) 2040-2069 و (پ) 2070-2099

نسبت به احتمال انتقال جریان در دوره‌ی پایه.

معیار عملکرد				
NSE	MAE	RMSE	R	دوره
-0/53	0/21	0/37	0/22	2010-2039
-0/48	0/20	0/37	0/25	2040-2069
-0/45	0/19	0/36	0/24	2070-2099

جدول 8- مقایسه‌ی معیارهای عملکرد احتمال انتقال جریان برای ماه‌های آوریل به مه و اوت به سپتامبر، دوره‌های آتی با

دوره‌ی پایه.

معیارهای عملکرد				از ماه به ماه	دوره
NSE	MAE	RMSE	R		
-0/03	0/39	0/25	0/47	آوریل به مه	2010-2039
-1/08	0/50	0/44	0/09	اوت به سپتامبر	
-0/40	0/42	0/29	0/49	آوریل به مه	2040-2069
-0/59	0/42	0/38	0/19	اوت به سپتامبر	
-1/36	0/49	0/37	0/10	آوریل به مه	2070-2099
-0/09	0/31	0/29	0/45	اوت به سپتامبر	

رود در دوره‌های آتی استفاده شد و نتایج زیر حاصل گردیدند:

انتظار می‌رود که دمای حوضه در سه دوره‌ی آتی در ماه‌های مختلف، به ترتیب بین 1/0 تا 1/8، 1/7 تا 3/9 و 3/5 تا 6/7 درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره‌ی پایه (1971-2000) افزایش یابد. همچنین، حوضه در این دوره‌ها، شاهد افزایش بارندگی عمدتاً برای پاییز و زمستان و کاهش آن برای بهار و تابستان خواهد بود. محدوده‌ی تغییرات بارندگی در سه دوره آتی در ماه‌های مختلف، بین

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی نمایشنامه‌ی شبیه‌سازی جریان حوضه‌ی رودی در استان آذربایجان شرقی، و همچنین، احتمال انتقال جریان در دوره‌های آتی 2039-2010، 2069-2040 و 2099-2070 پرداخته شد. در این تحقیق از شبیه‌سازی آب و هوای HadCM3 و منطق شبیه‌سازی IHACRES، به ترتیب برای شبیه‌سازی متغیرهای آب و هوایی دما و بارندگی، و شبیه‌سازی جریان

کاهش، و دمای آتی نسبت به دمای پایه نیز افزایش چشم‌گیری دارد؛ بنابراین، جریان در محدوده‌ی کم دوره‌ی سوم آتی، تطابق بیشتری با جریان در محدوده‌ی کم دوره‌ی مشاهداتی نسبت به ماه تر دارد.

در مجموع، مقایسه‌ی احتمال انتقال جریان در دوره‌های آتی، و احتمال انتقال جریان پایه نشان از پایین بودن ضریب همبستگی دارد؛ بنابراین، از نظر برنامه‌ریزی منابع آب و تعیین سیاست‌های بهره‌برداری و تخصیص باید بازنگریهایی صورت گیرد، زیرا توزیع جریان کاملاً تغییر کرده است.

### منابع

1. آشفته، پ.، و ع. مساح‌بوانی. 1388. تأثیر عدم قطعیت تغییر آب و هوا بر رژیم سیلاب مطالعه موردی حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی. تحقیقات منابع آب ایران. 39-27:(2)5
2. مهندسیین مشاور یکم، (1385)، "گزارش هواشناسی مطالعات طراحی کشاورزی آیدوغموش".
3. Acharya, A., T.C. Piechota, and G. Tootle. 2011. Quantitative assessment of climate change on the hydrology of the North Platte River watershed, Wyoming. *J. Hydrol. Eng.* doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000543.
4. Diaz-Nieto, J., and R.L Wilby. 2005. A comparison of statistical and climate change factor methods: impacts on low flows in the River Thames, United Kingdom. *Climatic Change*. 69: 245-268.
5. Ekström, M., B. Hingray, A. Mezghani, and P.D. Jones. 2005. Regional climate model data used within the SWURVE project 2: addressing uncertainty in regional climate model data for five European case study areas. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11: 1085-1096.
6. Hu, T.S., K.C. Lam, and S.T Ng. 2001. River flow time series prediction with a range dependent neural network. *Hydrol. Sci. J.* 46: 729-745.
7. IPCC (2008). *Climate change and water*. Cambridge University Press.
8. Jakeman, A.J., and G.M. Hornberger. 1993. How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model? *Water Resour. Res.* 29(8): 2637-2649.

28- تا 33، 39- تا 29 و 91- تا 34 درصد نسبت به دوره‌ی پایه، خواهد بود.

پس از شبیه‌سازی جریان بلندمدت رود و استخراج فراسنجهای توزیع مناسب آماری برآزش داده شده، شاخصهای آماری (میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات) میانگین ماهانه‌ی رواناب بلندمدت در دوره‌ی آتی با میانگین ماهانه‌ی رواناب پایه مقایسه شدند، که نتایج نشان می‌دهند که به‌رغم این که میانگین رواناب سالانه بلندمدت در دوره‌ی 2010-2039، 2040-2069 و 2070-2099 نسبت به دوره‌ی 1971-2000 به‌ترتیب به اندازه 22، 11 و 65 درصد کاهش می‌یابد، این روند کاهشی نیست، و در دوره‌ی 30 ساله دوم نسبت به 30 ساله‌ی اول افزایش نسبتاً کمی دارد. همچنین، ضریب تغییرات مربوط به رواناب نیز در دوره‌های آتی کاهش خواهد یافت، به‌گونه‌ای که اندازه کاهش آن در دوره‌های 2010-2039، 2040-2069 و 2070-2099 نسبت به دوره‌ی 1971-2000 به‌ترتیب برابر با 36/2، 35/5 و 34/2 درصد خواهد بود. به‌رغم کاهش حجم بلندمدت رواناب در دوره‌های آتی نسبت به دوره‌ی پایه، این کاهش به جریانهای متوسط و زیاد مرتبط می‌شود، و در جریانهای کم، حجم رواناب دوره‌های آتی نسبت به دوره‌ی مشاهداتی به‌ترتیب به اندازه 47، 41 و 14 درصد افزایش می‌یابد. این مسأله به‌دلیل تأثیر بیشتر متغیر دما در جریانهای کم، و تأثیر بیشتر متغیر بارندگی در جریانهای زیاد می‌باشد.

بررسی همبستگی گروههای زمانی با کمک احتمالات انتقال امکان‌پذیر است. پس از گسسته‌سازی جریان رود در مجموع 48 احتمال وقوع انتقال محاسبه شدند. نتایج نشان می‌دهند که عمدتاً ضریب همبستگی بین احتمال انتقال جریان در دوره‌های آتی و احتمال انتقال جریان در دوره‌ی پایه در ماههای تر به نسبت ماههای خشک بیشتر است. همچنین، شاخصهای خطا بین احتمال انتقال جریان در دوره‌های آتی و احتمال انتقال در دوره‌ی پایه در ماههای تر کمتر است. البته این مطلب در مورد دوره‌ی سوم بالعکس است؛ این امر به دلیل متفاوت بودن ماهیت جریان در دوره‌ی سوم می‌باشد، چون در این دوره، بارندگی آتی نسبت به بارندگی پایه

13. Moriasi, D.N. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE*. 50: 885-900.
14. Wilby, R.L., and I. Harris. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resour. Res.* 42: 1-10.
15. Traynham, L., R. Palmer, and A Polebitski. 2011. Impacts of future climate conditions and forecasted population growth on water supply systems in the Puget Sound Region. *J. Water Resour. Plan. Manage.* 137:318-326.
16. Yu, P.S., T.C. Yang, and C.K. Wu. 2002. Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. *J. Hydrol.* 260:161-175.
17. Zhange, J.Y., G.Q. Wang, R.M. He and C.S. Liu. 2009. Variation trends of runoffs in the Middle Yellow River basin and its response to climate change. *Adv. Water Sci.* 20: 153-158.
9. Kite, G.W. 1977. Frequency and risk analysis in hydrology. Water Resources Publication. Fort Collins, Colorado. 224p.
10. Lin, J.Y., C.T. Cheng, and K.W. Chau. 2006. Using support vector machines for long-term discharge prediction. *Hydrol. Sci. J.* 51: 599-612.
11. Littlewood, I.G., K. Down, J.R. Parker, and D.A. Post. 1997. IHACRES: Catchment-scale rainfall streamflow modelling (PC version) Version 1.0 - April 1997. Institute of Hydrology, Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, Oxon, UK. <http://www.nwl.ac.uk/ih/www/products/ms/wihacres.html>.
12. Lorena, L., V. Leonardo, R. Enrique, and L. Goffredi. 2010. Basin-scale water resources assessment in Oklahoma under systematic climate change scenarios using a fully distributed hydrologic model. *J. Hydrol. Eng.* 15:107-118.