



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره دوم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

رویکردی جدید برای ارزیابی عملکرد مدل‌های AOGCM در شبیه‌سازی رواناب

*پریساسادات آشفته^۱ و امید بزرگ حداد^۲

^۱دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران- استاد مدعو گروه مهندسی عمران، دانشگاه قم،

^۲دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۳۰

چکیده

سابقه و هدف: پدیده تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف تأثیر می‌گذارد که منابع آب از مهم‌ترین آن‌ها است. لین و همکاران (۱۹۹۹) بررسی کردند که کشورهای واقع در عرض جغرافیایی پایین، بیش‌ترین تبعات منفی این پدیده را متحمل خواهند شد (۹). پیش‌نیاز ارزیابی اثرات منطقه‌ای تغییر اقلیم تولید سناریوی اقلیمی در دوره‌های آتی توسط مدل‌های AOGCM می‌باشد. پژوهشگران مختلف بسته به نیاز خود، خروجی‌های یک یا چند نمونه از این مدل‌ها را استفاده می‌نمایند. یو و همکاران (۲۰۰۲) اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب جنوب تایوان را با استفاده از مدل‌ها مورد بررسی قرار دادند (۱۲). ویلی و هریس (۲۰۰۶) تأثیر تغییر اقلیم بر روی میزان جریان‌های کم رودخانه‌ای در انگلستان را با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مدل AOGCM در کنار منابع دیگر عدم قطعیت، مورد مطالعه قرار دادند (۱۱). هدف از این پژوهش ارزیابی عملکرد مدل‌های اقلیمی از دو دیدگاه هیدرولوژیکی و منابع آبی است. به این معنی که علاوه بر معلوم بودن وضعیت توزیع احتمالاتی سامانه در هر ماه (دیدگاه هیدرولوژیست‌ها)، توالی زمانی وضعیت سامانه تحت شرایط تغییر اقلیم نیز بررسی شود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، با رویکردی جدید به ارزیابی عملکرد مدل‌های AOGCM پرداخته شد تا بتوان مدل‌های قابل اطمینانی را یافت که ضمن صرفه‌جویی در وقت و هزینه، نتایج رضایت‌بخشی را به‌دست آورد. با به‌کارگیری مدل‌های AOGCM، متغیر دما و بارندگی در دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) برای حوضه آیدوغموش در آذربایجان شرقی برای سناریوی A2 برآورد و با معرفی مقادیر به مدل هیدرولوژیکی IHACRES، رواناب ماهانه شبیه‌سازی شد. برای بررسی کارایی هر کدام از مدل‌ها، از روش متوسط ماهانه داده‌های مشاهداتی رواناب استفاده شد. در ادامه، یک مدل ترکیبی پیشنهاد شد، به‌گونه‌ای که دارای بیش‌ترین وزن اختصاصی به رواناب در هر ماه می‌باشد. با برازش توزیع‌های مختلف آماری بر رواناب‌های شبیه‌سازی و با استفاده از آزمون‌های نکویی برازش، مناسب‌ترین توزیع آماری انتخاب و پارامترهای آماری مربوطه استخراج و با پارامترهای آماری رواناب حوضه در دوره مشاهداتی مقایسه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که مدل ترکیبی و HadCM3 با ضریب همبستگی به‌ترتیب ۹۶ و ۹۷ درصد و شاخص‌های آماری RMSE، MAE و NSE به‌ترتیب $2/09m^3/s$ ، $1/51m^3/s$ و $0/89$ برای مدل ترکیبی و

* مسئول مکاتبه: pashofteh@ut.ac.ir

رواناب نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از مقایسه توزیع‌های احتمالاتی و ماتریس احتمال انتقال متوج از مدل‌های AOGCM با رواناب مشاهداتی نشان می‌دهد که مدل ترکیبی و HadCM3 با ضریب همبستگی به ترتیب ۸۹ و ۸۷ درصد و شاخص‌های آماری RMSE، MAE و NSE به ترتیب $0.1\text{m}^3/\text{s}$ ، $0.02\text{m}^3/\text{s}$ و 0.078 برای مدل ترکیبی و $0.12\text{m}^3/\text{s}$ ، $0.02\text{m}^3/\text{s}$ و 0.077 برای HadCM3، دارای خروجی‌های قابل اعتماد می‌باشند.

نتیجه‌گیری: مدل‌ها توانایی خوبی در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی و در نتیجه رواناب دارند. در صورت استفاده از فقط یک مدل AOGCM، از آنجایی که تفاوت معنی‌داری بین معیارهای عملکرد مدل ترکیبی و HadCM3 وجود ندارد، استفاده از HadCM3 توصیه می‌شود. نتایج مقایسه‌های آماری و احتمال انتقال جریان کاملاً مشابه می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، AOGCM، آزمون نکویی برازش، ماتریس احتمال انتقال، شبیه‌سازی بارش - رواناب

مقدمه

تغییر در متوسط متغیرهای اقلیمی و به دنبال آن متغیرهای هیدرولوژیکی نسبت به مقادیر متناظر گذشته بر اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای در حال افزایش است (۳). این پدیده که به آن تغییر اقلیم اطلاق می‌شود، بر بخش‌های مختلف تأثیر می‌گذارد که بخش منابع آب از مهم‌ترین آن‌ها است. لین و همکاران (۱۹۹۹) بررسی کردند که کشورهای واقع در عرض جغرافیایی پایین، بیش‌ترین تبعات منفی این پدیده را متحمل خواهند شد (۹). بنابراین، کشور ما با توجه به قرارگیری در عرض جغرافیایی پایین از اثرات ناشی از این پدیده مصون نخواهد بود. در ارزیابی اثرات منطقه‌ای تغییر اقلیم پیش از هر چیز نیاز به سری زمانی سناریوی اقلیمی در دوره‌های آتی می‌باشد. در این زمینه رویکردهای متفاوتی وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از خروجی مدل‌های جفت شده گردش عمومی اتمسفر - اقیانوس (AOGCM)^۱ می‌باشند (۱۱). پژوهشگران مختلف به فراخور نیاز خود و با توجه به کاهش حجم محاسبات، خروجی‌های یک یا چند نمونه از این مدل‌ها را به خدمت گرفته‌اند. هر چند که توصیه شده است تعداد

بیش‌تری از این مدل‌ها استفاده شود تا عدم قطعیت‌ها بهتر لحاظ شود (۷، ۱۱). اما اگر بتوان مدل قابل اطمینانی برای حوضه مورد نظر یافت و تنها از آن استفاده نمود، در وقت و هزینه صرفه‌جویی قابل توجهی می‌شود.

به منظور بررسی آثار منفی این پدیده و انجام اقدامات تطبیقی با آن، بررسی عملکرد مدل‌های اقلیمی AOGCM در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی و به دنبال آن هیدرولوژیکی از نظر هیدرولوژیست‌ها و برنامه‌ریزان منابع آبی، ضروری به نظر می‌رسد. یو و همکاران (۲۰۰۲) اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب جنوب تایوان را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از خروجی مدل‌های تولیدکننده آب و هوا^۲ به منظور تولید متغیرهای اقلیمی در آینده استفاده گردید (۱۲). در این پژوهش با استفاده از آزمون من-کندال^۳، روند داده‌های روزانه دمای متوسط، متوسط بارندگی در روزهای تر، تعداد روزهای تر در ماه و ماتریس احتمال انتقال^۴ رخداد بارندگی روزانه مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه با فرض یکسان بودن روند و واریانس در داده‌های گذشته و آینده،

2- Weather Generator

3- Man-Kendall

4- Transition Probability Matrix

1- Atmospheric-Ocean General Circulation Model

گردیده است. نتایج نشان داد که عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM بیش‌ترین سهم و سناریوهای اقلیمی کم‌ترین سهم را در برآورد تابع احتمالاتی رواناب دارند (۱۱). این پژوهش جامع‌ترین پژوهشی است که در آن سعی شده تا تمامی منابع عدم قطعیت، در محاسبات تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب لحاظ گردد. در این پژوهش از روش متوسط مشاهداتی رواناب^۴ برای وزن‌دهی مدل‌های AOGCM استفاده شده است و تأثیر روش‌های مختلف وزن‌دهی این مدل‌ها بر رواناب مورد بررسی قرار نگرفته است.

بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه ارزیابی عملکرد مدل‌های اقلیمی نشان می‌دهد که در بیش‌تر آنها، وضعیت سامانه تحت تأثیر تغییر اقلیم، از دیدگاه هیدرولوژیکی بررسی شده است. حال آن‌که برای برنامه‌ریزان منابع آب ضروری است که علاوه بر معلوم بودن وضعیت توزیع احتمالاتی سامانه در هر ماه (دیدگاه هیدرولوژیست‌ها)، توالی زمانی وضعیت سامانه تحت شرایط تغییر اقلیم نیز بررسی شود. در این پژوهش در ابتدا داده‌های اقلیمی دما و بارندگی برای دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) با استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM و تحت سناریوی انتشار A2 برای حوضه رودخانه آیدوغموش که در استان آذربایجان شرقی قرار دارد، استخراج شده است. سپس با معرفی داده‌های اقلیمی دما و بارندگی حاصل از این مدل‌ها به مدل شبیه‌سازی بارش-رواناب JHACRES، رواناب حاصل از مدل‌های مختلف اقلیمی شبیه‌سازی شده است. در ادامه، هر یک از مدل‌های اقلیمی با استفاده از روش متوسط مشاهداتی رواناب، وزن‌دهی شدند. در ضمن، یک مدل ترکیبی (از مجموعه مدل‌های AOGCM) هم پیشنهاد شده است، به گونه‌ای که دارای بیش‌ترین وزن اختصاصی به رواناب در هر ماه می‌باشد. با استفاده از آزمون‌های

داده‌های دما برای دوره‌های آتی براساس روش رگرسیون خودکار درجه اول^۱ تهیه و با استفاده از توزیع ویبول^۲، مدل تولید داده‌های بارندگی تهیه شد. ارائه داده‌های تولید شده بارندگی به مدل شبیه‌سازی جریان نشان از افزایش رواناب به میزان ۲۶ درصد در فصل‌های تر و کاهش آن به میزان ۲۱ درصد در فصل‌های خشک داشت. در این پژوهش سعی شده است تا با برازش یک مدل آماری بر روندهای موجود در داده‌های اقلیمی منطقه و بسط آن برای دوره‌های آتی، وضعیت این متغیرها در دوره‌های آتی تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم مشخص گردد. به دلیل آن که اساس این روش بر روند موجود در داده‌های مشاهداتی منطقه استوار بوده است، بنابراین، ادامه این روند برای دوره‌های آتی نمی‌تواند بیانگر وضعیت اقلیمی منطقه تحت پدیده تغییر اقلیم باشد (۱۲). بررسی تأثیر انتخاب توابع توزیع احتمالاتی یکنواخت، نرمال و لوگ نرمال برای متغیرهای دما و بارندگی و تأثیر آن بر تابع احتمالاتی رواناب در قسمت‌هایی از اروپا توسط اکستروم و همکاران (۲۰۰۵) انجام شد. نتایج آن نشان داد که انتخاب توابع مختلف احتمالاتی برای متغیرهای دما و بارندگی می‌تواند تأثیر به‌سزایی بر روی تابع توزیع احتمالاتی رواناب بگذارد. در این پژوهش توزیع‌های محدودی برای متغیرهای ورودی مورد بررسی قرار گرفته است (۲). تأثیر تغییر اقلیم بر روی میزان جریان‌های کم رودخانه تیمز^۳ در انگلستان توسط ویلبی و هریس (۲۰۰۶) مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش منابع عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM، روش‌های کوچک مقیاس‌سازی، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، مدل‌های مختلف شبیه‌سازی بارش-رواناب و عدم قطعیت مربوط به پارامترهای آن‌ها با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف و روش مونت‌کارلو شبیه‌سازی

- 1- Autoregressive First Order
- 2- Weibull Distribution
- 3- Thames

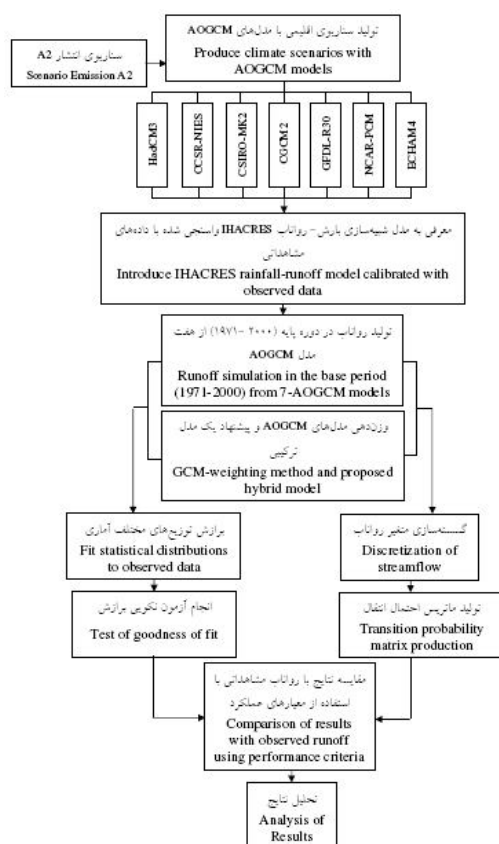
4- Mean Observed Runoff

انتقال رواناب حاصل از مدل‌های مختلف با رواناب مشاهداتی در دوره پایه و با استفاده از معیارهای عملکرد بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

مراحل انجام این پژوهش در شکل ۱ ارائه شده است.

مختلف نکویی برازش، مناسب‌ترین توزیع احتمالاتی بر رواناب منتج از مدل‌های AOGCM انتخاب و پارامترهای توزیع آماری مربوطه محاسبه و با پارامترهای توزیع آماری رواناب مشاهداتی حوضه آیدوغموش مقایسه شده است. در ادامه، عملکرد مدل‌های مختلف AOGCM در شبیه‌سازی متغیر هیدرولوژیکی با استفاده از مقایسه ماتریس احتمال



شکل ۱- روندنمای مراحل مختلف انجام پژوهش.

Figure 1. The flowchart of the different stages of the research.

ملاحظه است. بنابراین در این پژوهش از این سناریو استفاده شده است. در گروه A2، تأکید بر رشد زیاد جمعیت و وابستگی کمتر به پیشرفت اقتصادی می‌باشد.

شبیه‌سازی بارش - رواناب: در این پژوهش برای شبیه‌سازی بارش - رواناب ماهانه از مدل ارائه شده

تولید سناریوهای اقلیمی: از هفت مدل اقلیمی ارائه شده در شکل ۱، استفاده شده است (۵). از مهم‌ترین ورودی‌های این مدل‌ها، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. سناریوی انتشار این گازها در چهار گروه اصلی (A1, A2, B1, B2) دسته‌بندی می‌شود. در گروه A2 بیش‌ترین میزان انتشار قابل

زیاد با عدم قطعیت همراه است. هر طرح منابع آبی در صورتی موفق می‌باشد که این عدم قطعیت‌ها را در نظر بگیرد. یکی از مهم‌ترین منابع عدم قطعیت، عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM می‌باشند که بیش‌ترین تأثیر را بر نتایج خروجی مدل هیدرولوژیکی نسبت به سایر منابع عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم دارا می‌باشند (۴). برای تحلیل‌های بیش‌تر عدم قطعیت در مطالعات تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب، از روش وزن‌دهی استفاده می‌شود. در این پژوهش به‌منظور کاهش محاسبات، از روش متوسط مشاهداتی رواناب برای وزن‌دهی به عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM استفاده گردید. در این روش هر مدل AOGCM براساس میزان انحراف متوسط رواناب شبیه‌سازی شده توسط آن از متوسط رواناب مشاهداتی مطابق رابطه (۴) وزن‌دهی شد:

$$W_{t,j} = \frac{1}{\sum_{j=1}^N \frac{RU_{t,j}}{RU_{t,j}}} \quad (4)$$

که در آن، $RU_{t,j}$ انحراف متوسط رواناب شبیه‌سازی شده توسط هر یک از مدل‌های AOGCM (j) در دوره پایه در ماه t ام و برای مدل j ام از متوسط داده‌های مشاهداتی، N تعداد مدل‌های AOGCM و $W_{t,j}$ وزن مدل j ام و در ماه t ام می‌باشد.

عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM می‌تواند با برازش توزیع‌های احتمالاتی یا ماتریس احتمال انتقال کمی شود.

برازش توزیع‌های احتمالاتی: توزیع‌های احتمالاتی مناسب می‌توانند با استفاده از آزمون‌های مختلف نکویی برازش^۵ کلموگروف-اسمیرنوف^۶، دارلینگ-اندرسون^۷ و کای اسکوئر^۸، انتخاب شوند (۸). پس از

توسط جیکمن و هورنبرگر (۱۹۹۳) (مدل IHACRES) استفاده شده است. این مدل از دو مدول غیرخطی تلفات^۱ و مدول خطی هیدروگراف واحد^۲ تشکیل می‌شود. توسط مدول غیرخطی، بارندگی P_t و دمای T_t منتج از مدل‌های AOGCM، به بارندگی مؤثر U_t تبدیل و توسط مدول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شوند (۶).

$$U_t = S_t \times P_t \quad (1)$$

که در آن، S_t شاخص رطوبتی حوضه^۳ می‌باشد که تابعی از تبخیر و تعرق در حوضه بوده که با روابط زیر بیان می‌شود:

$$\tau_w(T_t) = \tau_w \cdot e^{0.062f(R-T_t)} \quad \tau_w(T_t) > 1 \quad (2)$$

$$S_t = C \times P_t + \left(1 - \frac{1}{\tau_w(T_t)}\right) S_{t-1} \quad S_0 = 0 \quad (3)$$

در روابط فوق، P_t بارندگی در گام زمانی t ام، S_t شاخص رطوبتی حوضه در گام زمانی t ام، U_t بارندگی مؤثر در گام زمانی t ام، T_t دما در گام زمانی t ام (درجه سانتی‌گراد)، R دمای مرجع (درجه سانتی‌گراد)، τ_w ثابت زمانی خشک شدن حوضه^۴ (روز) و f ضریب تعدیل دما و C کسری از بارندگی می‌باشد. در ابتدا IHACRES با استفاده از داده‌های مشاهداتی دما، بارندگی و رواناب حوضه در دوره پایه، واسنجی و صحت‌سنجی شد. سپس، با معرفی داده‌های دما و بارندگی حاصل از مدل‌های AOGCM به آن، رواناب شبیه‌سازی گردید.

وزن‌دهی مدل‌های AOGCM: پیش‌بینی سری زمانی رواناب حوضه، تحت شرایط تغییر اقلیم تا حد بسیار

5- Goodness of Fit
6- Kolmogorov-Smirnov
7- Anderson-Darling
8- Chi-Squared

1- Non Linear Loss Module
2- Linear Unit Hydrograph Module
3- Catchment Wetness Index
4- Catchment Drying Time Constant

که در آن، $N[X_t = i, X_{t+1} = j]$ تعداد انتقالات از حالت i به حالت j و $N[X_t = i]$ تعداد کل دوره‌های زمانی در حالت i می‌باشد. معمولاً P_{ij} را با یک آرایش مربعی $n \times n$ مرتب می‌کنند (که n تعداد دسته یا بازه برای گسسته‌سازی جریان می‌باشد) و نتیجه آن ماتریس مربع P است که ماتریس احتمال انتقال زنجیره مارکوف نامیده می‌شود:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

در ماتریس P ، احتمال ورود جریان از حالت i به حالت j بزرگ‌تر یا مساوی صفر می‌باشد (برای هر $i, j \in E$ ، $P_{ij} \geq 0$ است) و مجموع احتمالات هر سطر باید برابر با صفر یا یک باشد یعنی برای هر $i \in E$ ، $\sum_{j=1}^n P_{ij} = 0$ یا 1 است. لازم به ذکر است که قبل از تولید ماتریس احتمال انتقال باید کلیه متغیرهای به‌کار رفته (جریان رودخانه)، گسسته‌سازی شوند. روش‌های مختلفی برای گسسته‌سازی جریان رودخانه وجود دارند. در روش طول بازه‌های مساوی که در این پژوهش از آن استفاده شده است، فاصله تغییرات متغیر مورد نظر از کم‌ترین تا بیش‌ترین مقدار (در بین تمام مدل‌های AOGCM و داده‌های مشاهداتی) به بازه‌هایی با طول ثابت و برابر تقسیم شده و فراوانی هر بازه از طریق شمارش تعداد مقادیری که بین حدود بالا و پایین آن بازه قرار دارند، تعیین می‌شود. حال، برای به‌دست آوردن احتمالات انتقال بین بازه‌های مختلف، تعداد انتقال‌ها از هر بازه در هر دوره زمانی به هر بازه در دوره زمانی بعدی تعیین شده و براساس کل حالات هر بازه در هر دوره زمانی، احتمال وقوع انتقال‌ها محاسبه می‌شود.

انتخاب توزیع‌های مناسب احتمالاتی برآزش داده شده برای داده‌های رواناب ماهانه بلندمدت حاصل از مدل‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی در دوره پایه و نیز رواناب مشاهداتی در همین دوره، پارامترهای توزیع‌های احتمالاتی مربوطه در هر ماه به کمک نرم‌افزار EasyFit 5.5 استخراج و شاخص‌های آماری (متوسط، انحراف معیار و ضریب تغییرات) مربوط به داده‌های رواناب در هر ماه محاسبه شدند. از آنجایی که، در برنامه‌ریزی منابع آب عملکرد هر سامانه‌ای در طول یک مدت معین برآورد می‌شود، ضروری است علاوه بر معلوم بودن توزیع احتمالاتی رواناب رودخانه (جریان ورودی به مخزن) منتج از مدل‌های AOGCM در هر ماه، تسلسل زمانی وضعیت آورد رودخانه در طول دوره بهره‌برداری نیز مورد بررسی قرار گیرد. از آنجا که سامانه منابع آب باید به‌طور پیوسته پاسخگوی نیاز باشد، این رویکرد از طریق بررسی ماتریس احتمال انتقال صورت گرفت.

ماتریس احتمال انتقال: فرآیند تصادفی $X = [X_t, t \in N]$ یک زنجیره مارکوف نامیده می‌شود، اگر برای هر $t \in N$ شرط زیر صادق باشد:

$$P[X_{t+1} = j | X_t, X_{t-1}, \dots, X_1] = P[X_{t+1} = j | X_t] \quad (8)$$

عبارت بالا بیانگر احتمال وجود جریان در زمان $t+1$ در حالت j است، به شرط این که در زمان t حالت سامانه مشخص و حالت‌های رخ داده قبلی نیز مشخص باشد. در واقع، P احتمال شرطی است و بیان می‌کند که نتیجه هر فرآیند در زمان $t+1$ تنها به شرایط در زمان t بستگی دارد. فرآیندهایی که چنین خاصیتی دارند یک زنجیره مارکوف مرتبه اول نامیده می‌شوند. احتمال شرطی P_{ij} ، $P[X_{t+1} = j | X_t = i]$ ، احتمال انتقال سامانه از حالت i به j نامیده می‌شود که به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$P_{ij} = P[X_{t+1} = j | X_t = i] = \frac{N[X_t = i, X_{t+1} = j]}{N[X_t = i]} \quad (9)$$

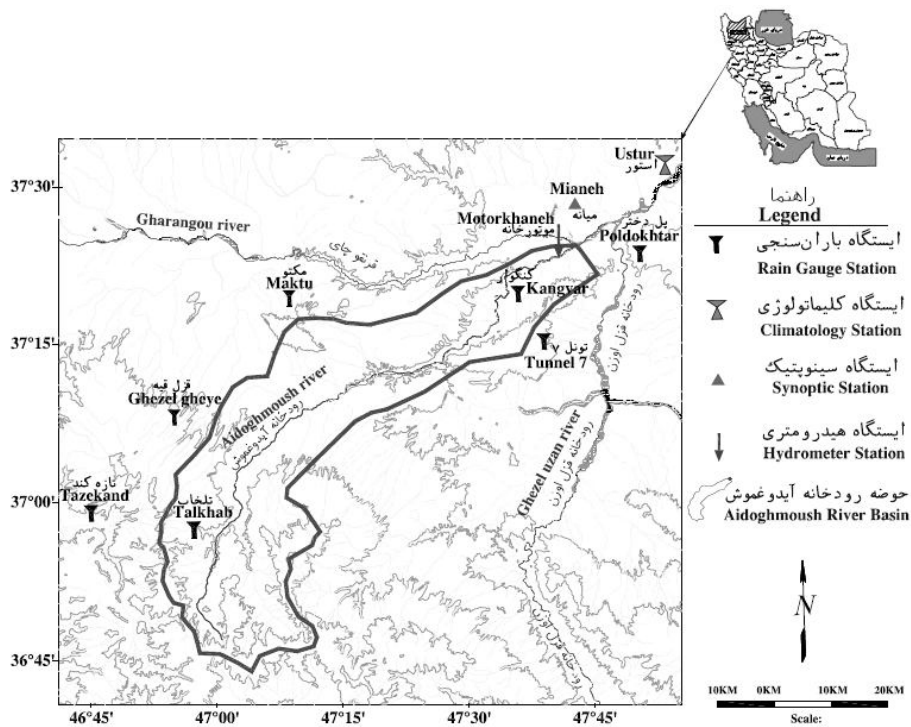
گرفته شده است. برای گسسته‌سازی، آورد رودخانه (از مدل‌های AOGCM) در هر ماه، به پنج بازه تقسیم‌بندی شد.

نتایج و بحث

نتایج شبیه‌سازی بارش - رواناب: در طول دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰)، سال‌های مختلف برای واسنجی مدل مورد آزمون قرار گرفته است و در نهایت، دوره ۱۹۹۱-۲۰۰۰ برای واسنجی و دوره ۱۹۷۱-۱۹۹۰ برای صحت‌سنجی انتخاب گردید. نتایج مربوطه در شکل ۳ ارائه شده‌اند.

معیارهای عملکرد: در این پژوهش از معیارهای ضریب همبستگی^۱ (r)، جذر متوسط مربعات خطا^۲ (RMSE)، متوسط خطای مطلق^۳ (MAE) (۷) و کارایی نش- ساتکلیف^۴ (NSE) (۱۰) استفاده شد.

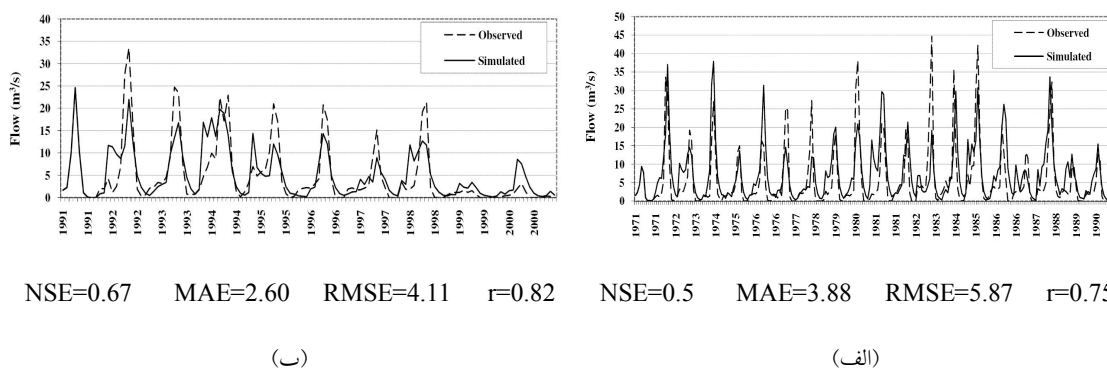
مطالعه موردی و داده‌ها: منطقه مطالعاتی حوضه آیدوغموش است که در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است (شکل ۲). وسعت حوضه ۱۸۰۲ کیلومترمربع و طول رودخانه حدود ۸۰ کیلومتر می‌باشد. آبدهی سالانه رودخانه آیدوغموش ۱۹۰ میلیون مترمکعب و متوسط بارش سالانه در سطح حوضه ۳۴۰ میلی‌متر می‌باشد. آمار و اطلاعات هواشناسی برای دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۰ مد نظر قرار



شکل ۲- موقعیت حوضه رودخانه آیدوغموش و جانمایی ایستگاه‌های هواشناسی.

Figure 2. Aidoghmosh River Basin position and layout of weather stations.

- 1- Coefficient of Correlation
- 2- Root Mean Square Error
- 3- Mean Absolute Error
- 4- Nash-Sutcliffe Efficiency



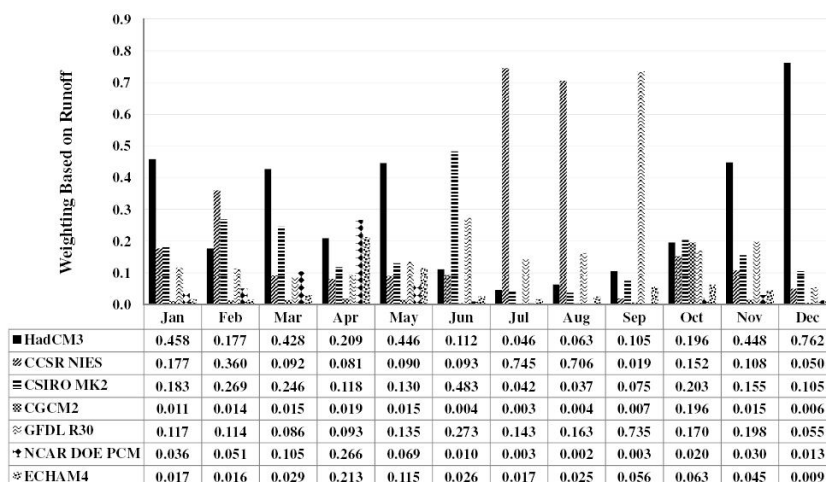
شکل ۳- مقایسه رواناب مشاهداتی متوسط حوضه با رواناب محاسباتی در دوره‌های (الف) واسنجی و (ب) صحت‌سنجی.

Figure 3. Comparison of observed runoff of basin with calculated runoff in periods of (a) calibration and (b) verification.

عملکرد قابل قبول مدل IHACRES در شبیه‌سازی رواناب دارد.

نتایج وزندهی مدل‌های AOGCM: مقادیر وزندهی مدل‌های AOGCM برای رواناب (براساس رابطه (۴)) در شکل ۴ ارائه شده است.

نتایج (شکل ۳ الف)) نشان داد که دوره ۱۹۷۱-۱۹۹۰ دارای r برابر با ۷۵ درصد و معیارهای آماری $RMSE$ ، MAE و NSE به ترتیب برابر با 5.87 ، 3.88 و 0.5 بوده است. پس از واسنجی مدل، دوره ۱۹۹۱-۲۰۰۰ برای صحت‌سنجی مدل استفاده شده که نتایج (شکل ۳ ب)) نشان از



شکل ۴- وزندهی به مدل‌های مختلف AOGCM برای متغیر رواناب.

Figure 4. Weighting of AOGCM Different models for runoff variable.

اختصاص داده است. همچنین مدل‌های CGCM2 و NCAR DOE PCM کم‌ترین تأثیر را بر متغیرهای

مدل HadCM3 نسبت به سایر مدل‌ها بیش‌ترین وزن را از نظر صحت برآورد رواناب به خود

اقلیمی و در نهایت بر رواناب منطقه طرح داشته‌اند. مدل HadCM3 دارای بیش‌ترین وزن برای ماه‌های ژانویه، مارس، می، نوامبر و دسامبر، مدل CCSR NIES دارای بیش‌ترین وزن برای ماه‌های فوریه، اوت، آگوست، مدل CSIRO MK2 دارای بیش‌ترین وزن برای ماه‌های ژوئیه و اکتبر، مدل GFDL R30 دارای بیش‌ترین وزن برای ماه سپتامبر و مدل NCAR DOE PCM دارای بیش‌ترین وزن برای ماه آوریل می‌باشند. بنابراین علاوه بر بررسی عملکرد هفت مدل اقلیمی به تنهایی، یک مدل ترکیبی (از مجموعه فوق) هم پیشنهاد می‌شود. مدل ترکیبی مجموعه‌ای از هفت مدل می‌باشد، به‌گونه‌ای که در هر ماه آن مدلی که بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص داده است در مدل ترکیبی وارد و گنجانیده می‌شود.

بررسی توزیع مناسب آماری رواناب حاصل از مدل‌های اقلیمی در دوره پایه: به‌منظور کوچک مقیاس کردن مکانی^۱ داده‌های اقلیمی طرح از روش تناسبی^۲ استفاده می‌شود. در این روش، متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های AOGCM از اطلاعات مربوط به سلولی استخراج می‌شوند که منطقه مورد مطالعه در آن قرار می‌گیرد (۱۱). در این پژوهش از برنامه بازخوانی اطلاعات از مدل‌های گردش عمومی^۳ (GCM-RDP) استفاده شده است. در ادامه، پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل IHACRES، سری زمانی ماهانه رواناب با استفاده از نتایج هفت مدل AOGCM و مدل ترکیبی در دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ شبیه‌سازی شده است. سپس، توزیع‌های مختلف آماری بر داده‌های رواناب بلندمدت در دوره پایه، برازش داده شده و توزیع لوگ نرمال سه پارامتری با آزمون‌های نکویی برازش به‌عنوان

مناسب‌ترین توزیع برای مدل‌های AOGCM در همه ماه‌ها انتخاب شد. سپس پارامترهای توزیع لوگ نرمال سه پارامتری استخراج شد که نتایج برای مدل‌های AOGCM و ترکیبی در ماه‌های آوریل (پرب‌ترین ماه) و آگوست (کم‌آب‌ترین ماه) در جدول ۱ ارائه شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مدل‌های مختلف در ماه‌های مختلف (آوریل و آگوست) دارای پارامترهای مختلف توزیع آماری می‌باشند که این نشان‌دهنده عدم قطعیت خروجی مدل‌ها نسبت به یکدیگر می‌باشند. پس از تعیین پارامترهای توزیع آماری، شاخص‌های آماری متوسط ماهانه رواناب بلندمدت در دوره پایه منتج از مدل‌های AOGCM و مدل ترکیبی با متوسط ماهانه رواناب مشاهداتی در هر ماه، در جدول ۲ مورد مقایسه قرار گرفته است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، به‌طورکلی، بیش‌ترین درصد ضریب تغییرات در شبیه‌سازی رواناب، به‌ترتیب مربوط به دوره تابستان و اواخر تابستان تا اوایل پاییز می‌باشد. این در حالی است کم‌ترین درصد ضریب تغییرات در بین خروجی هفت مدل AOGCM و مدل ترکیبی، به‌ترتیب مربوط به فصل زمستان و دوره زمستان تا بهار (ماه‌های پرب‌آب)، است.

به‌منظور بررسی بیش‌تر عملکرد هر یک از مدل‌های AOGCM به تفکیک و نیز مدل ترکیبی، شاخص آماری متوسط ۳۰ ساله ماهانه رواناب شبیه‌سازی شده از مدل بارش- رواناب و منتج از هر یک از مدل‌های اقلیمی در دوره پایه محاسبه و در نهایت این مقادیر با متوسط ۳۰ ساله ماهانه رواناب مشاهداتی متوسط حوضه مورد مقایسه قرار گرفته است (شکل ۵).

- 1- Spatial Downscaling
- 2- Proportional
- 3- GCM-Retrieve Data Program

جدول ۱- استخراج پارامترهای توزیع لوگ‌نرمال سه پارامتری منتخب از آزمون نکویی برازش.

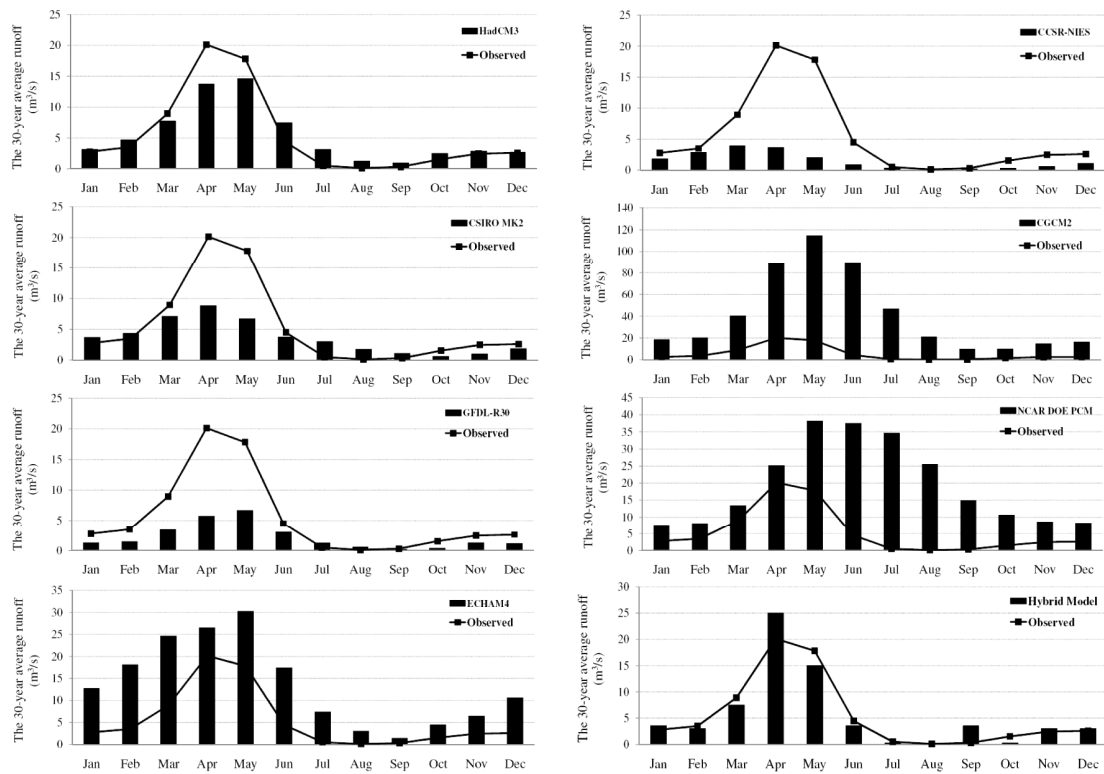
Table 1. Extraction of parameters of lognormal distribution (three-parameter) selected from test of goodness of fit.

ماه Month	نام مدل Model Name	آزمون نکویی برازش Test of Goodness of fit			ماه Month	نام مدل Model Name	آزمون نکویی برازش Test of Goodness of fit		
		γ	μ	σ			γ	μ	σ
آوریل April	HadCM3	-10.88	3.18	0.21	آگوست August	HadCM3	-0.35	0.42	0.37
	CCSR-NIES	0.39	0.75	0.92		CCSR-NIES	0.05	-2.35	1.05
	CSIRO MK2	-3.40	2.39	0.49		CSIRO MK2	0.04	-0.23	1.38
	CGCM2	39.05	3.54	0.91		CGCM2	1.09	2.85	0.52
	GFDL R30	0.44	1.37	0.79		GFDL R30	0.04	-1.19	1.03
	NCAR PCM DOE	-12.46	3.57	0.35		NCAR PCM DOE	5.31	2.29	1.37
	ECHAM4	-1.75	3.27	0.37		ECHAM4	-0.36	1.09	0.49
	ترکیبی Hybrid	-12.46	3.57	0.35		ترکیبی Hybrid	0.05	-2.35	1.05
	داده‌های مشاهداتی Observed Data	-63.05	4.41	0.11		داده‌های مشاهداتی Observed Data	0.00	-1.55	0.92

جدول ۲- پارامترهای آماری متوسط بلندمدت ماهانه رواناب پایه (از هفت مدل AOGCM، مدل ترکیبی و مشاهداتی).

Table 2. statistical parameters of Long-term monthly average runoff for baseline (from seven model AOGCM, hybrid model) and observed.

دوره Period	پارامترهای آماري Statistical Parameters	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئیه	اوت	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
پایه Baseline (AOGCM)	متوسط Average	6.96	8.54	14.39	24.96	30.56	22.98	13.88	8.34	5.16	3.13	5.21	6.06
	انحراف معیار Standard Deviation	5.96	6.99	12.51	28.25	36.43	29.74	17.43	11.26	6.39	3.54	4.80	5.52
	ضریب تغییرات Coefficient of Variation	86	82	87	113	119	129	126	135	124	113	92	91
پایه Baseline (ترکیبی) (Hybrid)	متوسط Average	3.77	2.86	7.78	25.14	14.61	3.77	0.34	0.21	3.68	0.58	2.87	2.69
	انحراف معیار Standard Deviation	3.58	1.72	4.97	13.50	6.54	3.58	0.28	0.23	11.21	0.98	1.71	1.68
	ضریب تغییرات Coefficient of Variation	95	60	63	54	45	95	81	109	305	169	59	63
مشاهداتی (Observed)	متوسط Average	2.75	3.48	8.91	20.13	17.81	5.42	0.91	0.33	0.60	1.83	2.46	2.59
	انحراف معیار Standard Deviation	1.89	1.97	7.37	9.52	9.23	6.84	2.69	0.38	1.71	1.91	1.56	1.47
	ضریب تغییرات Coefficient of Variation	69	57	83	47	52	126	295	116	286	104	63	57



شکل ۵- مقایسه متوسط بلندمدت ماهانه رواناب منتج از مدل‌های AOGCM و ترکیبی در دوره پایه با رواناب مشاهداتی در دوره متناظر.

Figure 5. Comparison of long-term monthly average runoff resulting from AOGCM and hybrid models in the baseline period with observed runoff in the corresponding period.

می‌نماید. مقایسه متوسط بلندمدت ماهانه رواناب رودخانه در دوره پایه منتج از هفت مدل اقلیمی نشان می‌دهد که فصل بهار دارای بیش‌ترین محدوده تغییرات رواناب (بین ۸۷ تا ۱۱۲ مترمکعب بر ثانیه) و پاییز دارای کم‌ترین محدوده تغییرات رواناب (بین ۱۱ تا ۱۵ متر مکعب بر ثانیه) تغییرات نسبت به هم می‌باشند. به عبارت دیگر خروجی مدل‌های AOGCM در شبیه‌سازی رواناب در بهار و پاییز به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین تغییرات نسبت به هم هستند. جدول ۳ معیارهای عملکرد را نشان می‌دهد.

از مدل‌های فوق، مدل HadCM3 و مدل ترکیبی دارای عملکرد مناسب‌تری نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشند. مدل HadCM3 فقط در ماه‌های آوریل و می (ماه‌های پر آب) متوسط رواناب کم‌تری را نسبت به داده‌های مشاهداتی و مدل ترکیبی فقط در ماه‌های آوریل و سپتامبر متوسط رواناب بیش‌تری را نسبت به داده‌های مشاهداتی تخمین زده است. مدل‌های CGCM2، NCAR DOE PCM و ECHAM4، متوسط رواناب بیش‌تری را در بیش‌تر ماه‌ها نسبت به داده‌های مشاهداتی و مدل‌های CCSR-NIES، ECHAM4 و GFDL R30 متوسط رواناب کم‌تری را نسبت به داده‌های مشاهداتی حوضه تخمین

جدول ۳- معیارهای عملکرد مدل‌های AOGCM و مدل ترکیبی.

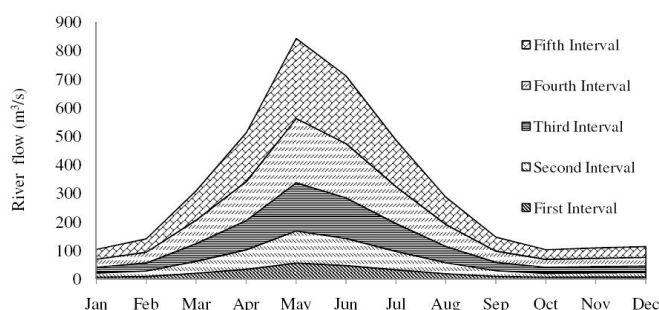
Table 3. Performance criteria of AOGCM models and hybrid model.

نام مدل Model Name	معیار عملکرد Performance Criterion			
	r (%)	RMSE (m ³ /s)	MAE (m ³ /s)	NSE (بدون بعد) (Dimensionless)
HadCM3	97.0	2.32	1.58	0.87
CCSR-NIES	49.0	6.98	4.32	-0.19
CSIRO MK2	88.0	4.73	2.96	0.45
CGCM2	82.0	46.45	34.81	-51.67
GFDL R30	96.0	5.48	3.38	0.27
NCAR DOE PCM	34.0	18.70	14.71	-7.53
ECHAM4	88.0	9.30	8.00	-1.11
ترکیبی Hybrid	96.0	2.09	1.51	0.89

صرف نظر نمود. تسلسل زمانی وضعیت سامانه از طریق بررسی ماتریس احتمال انتقال صورت می‌گیرد که در ادامه تشریح می‌شود.

بررسی ماتریس احتمال انتقال رواناب حاصل از مدل‌های اقلیمی در دوره پایه: در این پژوهش برای گسسته‌سازی آورد رودخانه، حجم جریان (منتج از مدل‌های AOGCM) در هر ماه، به پنج بازه تقسیم‌بندی شد که نتایج در شکل ۶ ارائه شده است. این تقسیم‌بندی‌ها در هر ماه به روش بازه‌های مساوی، صورت گرفته است.

عملکرد مدل HadCM3 و ترکیبی در شبیه‌سازی رواناب نشان از بالا بودن ضریب همبستگی و پایین بودن نسبی شاخص‌های خطا دارند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی و در نتیجه متغیر رواناب داشته و می‌توان به خروجی آن اعتماد نمود. در این میان، مدل‌های CGCM2 و NCAR DOE PCM دارای کم‌ترین عملکرد در شبیه‌سازی رواناب می‌باشند. به دلیل پایین بودن عملکرد مدل‌های CGCM2، NCAR DOE PCM و ECHAM4 در شبیه‌سازی رواناب، باید از استفاده این مدل‌ها در محاسبات مربوط به شبیه‌سازی بارش- رواناب در دوره آتی،



شکل ۶- دسته‌بندی آورد جریان رودخانه در ماه‌های مختلف (منتج از هفت مدل AOGCM).

Figure 6. Categorizing the river flow in different months (resulting from seven AOGCM model).

منتج از هر یک از هفت مدل AOGCM و مدل ترکیبی و ۱۲ ماتریس احتمال انتقال برای رواناب مشاهداتی، یعنی در مجموع ۱۰۸ ماتریس محاسبه شد. ماتریس احتمال انتقال محاسبه شده برای ماه آوریل به می و آگوست به سپتامبر برای مدل HadCM3 و مدل ترکیبی در جدول ۴ آمده است.

در ادامه، برای به دست آوردن احتمالات انتقال جریان بین بازه‌های مختلف، تعداد انتقال‌ها از هر بازه در هر دوره زمانی به هر بازه در دوره زمانی بعدی تعیین شده و براساس کل حالات هر بازه در هر دوره زمانی، احتمال وقوع انتقال‌ها محاسبه می‌شود. بنابراین در مجموع ۱۲ ماتریس احتمال انتقال برای رواناب

جدول ۴- ماتریس احتمال انتقال برای ماه آوریل به مه و آگوست به سپتامبر برای مدل‌های (الف) HadCM3 و (ب) ترکیبی.

Table 4. Transition probability matrix for the April to May and August to September for the models of (a) HadCM3 and (b) hybrid.

		می May				
		1	2	3	4	5
آوریل April	1	1	0	0	0	0
	2	1	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0

		می May				
		1	2	3	4	5
آوریل April	1	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0

		سپتامبر September				
		1	2	3	4	5
آگوست August	1	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0

		سپتامبر September				
		1	2	3	4	5
آگوست August	1	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0

(ب)

(الف)

و NCAR DOE PCM برای ماه‌های خاصی) و مدل HadCM3 نشان می‌دهد که این مدل‌ها توانایی خوبی در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی و در نتیجه متغیر هیدرولوژیکی رواناب حوضه داشته است (۱).

به منظور مقایسه ماتریس احتمال انتقال متغیر رواناب از هر مدل اقلیمی و ترکیبی با رواناب مشاهداتی در هر ماه از معیارهای عملکرد (برای اجزای نظیر به نظیر هر دو ماتریس) استفاده شده که نتایج در جدول ۵ ارائه شده است.

مقایسه ماتریس احتمال انتقال رواناب منتج از مدل ترکیبی (ناشی از پنج مدل اقلیمی HadCM3, GFDL R30, CSIRO Mk2, CCSR NIES

جدول ۵- معیارهای عملکرد ماتریس احتمال انتقال رواناب منتج از مدل‌های AOGCM و مدل ترکیبی.

Table 5. Performance criteria of runoff transition probability matrix resulting from AOGCM models and hybrid model.

نام مدل Model Name	معیار عملکرد Performance Criterion			
	r (%)	RMSE (m ³ /s)	MAE (m ³ /s)	NSE (بدون بعد) (Dimensionless)
HadCM3	87.0	0.12	0.02	0.77
CCSR-NIES	86.0	0.14	0.03	0.76
CSIRO MK2	85.0	0.13	0.04	0.73
CGCM2	30.0	0.31	0.17	-1.12
GFDL R30	81.0	0.13	0.02	0.64
NCAR DOE PCM	55.0	0.25	0.09	-0.33
ECHAM4	61.0	0.21	0.08	0.07
ترکیبی Hybrid	89.0	0.1	0.02	0.78

ترکیبی وارد و گنجانیده می‌شود. عملکرد مدل ترکیبی و HadCM3 در شبیه‌سازی متغیر اقلیمی (و در نتیجه رواناب) با مقایسه شاخص‌های آماری و احتمال انتقال جریان آن‌ها با رواناب مشاهداتی صورت گرفته است. نتایج نشان داد که این مدل‌ها توانایی خوبی در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی و در نتیجه رواناب دارند. در صورت استفاده از فقط یک مدل AOGCM، از آنجایی که تفاوت معنی‌داری بین معیارهای عملکرد مدل ترکیبی و HadCM3 وجود ندارد، استفاده از HadCM3 توصیه می‌شود. عملکرد CGCM2، NCAR DOE PCM و ECHAM4 در شبیه‌سازی متغیر اقلیمی (و در نتیجه رواناب) حوضه پایین بوده است. نتایج مقایسه‌های آماری و احتمال انتقال جریان کاملاً مشابه می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، عملکرد مدل‌های AOGCM در شبیه‌سازی متغیر اقلیمی و هیدرولوژیکی رواناب (مدل IHACRES) حوضه آیدوغموش (در استان آذربایجان شرقی) در دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱)، بررسی شد. نتایج حاصل از وزن‌دهی‌ها نشان داد که مدل HadCM3 بیش‌ترین وزن را در شبیه‌سازی متغیر اقلیمی و به تبع آن متغیر هیدرولوژیکی (رواناب) دارد. در هر ماه یکی از مدل‌های HadCM3، CCSR NIES، CSIRO MK2، GFDL R30 و NCAR DOE PCM دارای بیش‌ترین وزن می‌باشند. لذا، علاوه بر عملکرد هفت مدل اقلیمی، یک مدل ترکیبی (از مجموعه فوق) پیشنهاد شد، به‌گونه‌ای که در هر ماه آن مدلی که بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص داده است در مدل

منابع

1. Ashofteh, P.S. 2008. Uncertainty analysis of climate change impact on the flood regime: A Bayesian approach; Case study Aidoghmosh basin, East Azerbaijan. M.Sc. Thesis in Irrigation and Drainage, University of Tehran, Iran. (In Persian)
2. Ekström, M., Hingray, B., Mezghani, A., and Jones, P.D. 2005. Regional climate model data used within the SWURVE project 2: addressing uncertainty in regional climate model data for five European case study areas. Hyd. Ear. Sys. Sci. 11: 1. 1085-1096.

3. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. 996p, In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Tingor, M. and Miller, H.L. (eds), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
4. IPCC-DDC. 1988. Data distribution centre. <<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>>.
5. IPCC-TGCI. 1999. Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. Cambridge University Press. New York, USA.
6. Jakeman, A.J., and Hornberger, G.M. 1993. How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model? *Wat. Res. Res.* 29: 8. 2637-2649.
7. Jones, R.N. 2000. Managing uncertainty in climate change projections—issues for impact assessment. *Clim. Chan.* 45: 3-4. 403-419.
8. Kite, G.W. 1977. Frequency and risk analysis in hydrology. Water Resources Publication, Fort Collins, Colorado. 224p.
9. Lane, M.E., Kirshen, P.H., and Vogel, R.M. 1999. Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. *J. Wat. Res. Plan. Man.* 125: 4. 194-204.
10. Moriasi, D.N. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. of the ASABE.* 50: 3. 885-900.
11. Wilby, R.L., and Harris, I. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low flow scenarios for the River Thames, UK. *Wat. Res. Res.* 42: 2. 1-10.
12. Yu, P.S., Yang, T.C, and Wu, C.K. 2002. Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. *J. Hyd.* 260: 1-4. 161-175.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(2), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

A new approach for performance evaluation of AOGCM models in simulating runoff

***P.S. Ashofteh¹ and O. Bozorg Haddad²**

¹Ph.D. of Water Resources Engineering, University of Tehran-Adjunct Professor, Dept. of Civil Engineering, University of Qom, Qom, Iran, ²Associate Prof., Dept. of Irrigation and Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Tehran, Iran

Received: 05/05/2013; Accepted: 07/21/2014

Abstract

Background and Objectives: phenomena of climate change affects on various sectors that water resources are those most important. Lane et al (1999) studied that countries located in low-latitude, have the most the negative consequences of this phenomenon (9). A prerequisite for evaluating the regional effects of climate change is to produce climatic scenarios in the future period's by AOGCM models. Different researchers depending on their needs, the outputs of one or more of these models use. Yu et al (2002) examined effects of climate change on water resources in southern Taiwan with the use of models (12). Wilby and Harris (2006) studied the effect of climate change on low flows of the river in the United Kingdom with considering the uncertainties of AOGCM models, along with other sources of uncertainty, (11). The aim of the present study is to evaluate the performance of climate models from two perspectives of hydrological and water resources. This means that in addition to determination of situation of the system probability distribution in each month (perspective of hydrologists), the time sequence of the system situation to be evaluated under climate change conditions.

Materials and Methods: In the present study, a new approach was introduced for the performance investigation of AOGCM models, so that reliable model(s) could be found with saving time and obtaining satisfactory results. With applying 7 AOGCMs, temperature and rainfall variables in base period (1971-2000) for Aidoghmosh basin located in East Azerbaijan were estimated and with introducing variables to hydrological model IHACRES, monthly runoff was simulated. To investigate efficiency of each climate model, the mean observed runoff method was used. Next, a hybrid model was also suggested, so as to assign the higher values to each model in each month. By fitting statistical distributions on runoff and using goodness-of-fit tests, an appropriate distribution was chosen and relevant statistical parameters extracted and compared with observed runoff.

Results: Results show that the hybrid and HadCM3 models with respective ($r=96\%$, $RMSE=2.09\text{ m}^3/s$, $MAE=1.51\text{ m}^3/s$, $NSE=0.89$) for the hybrid model and ($r=97\%$, $RMSE=2.32\text{ m}^3/s$, $MAE=1.58\text{ m}^3/s$, $NSE=0.87$) for HadCM3 can best simulate the runoff. Next, transition probability matrix was assessed. By comparing the results of probability distributions and the transition probability matrix for runoff resulting from AOGCMs with observed runoff showed that performance of hybrid and HadCM3 models with respective correlation coefficients of 89% ($RMSE=0.1\text{ m}^3/s$, $MAE=0.02\text{ m}^3/s$, $NSE=0.78$) and 87% ($RMSE=0.12\text{ m}^3/s$, $MAE=0.02\text{ m}^3/s$, $NSE=0.77$) can be reliable.

Conclusion: Models have Good ability to simulate climatic variables and consequently runoff. In case of using only one AOGCM model, since there is no significant difference between performance criteria of hybrid and HadCM3 models, applying the HadCM3 is recommended. The results of comparisons of statistical and flow transition probability are quite similar.

Keywords: Climate change, AOGCM, Goodness-of-fit tests, Transition probability matrix, Rainfall-runoff simulation

* Corresponding Author; Email: pashofteh@ut.ac.ir