

ارزیابی تقابلات بین نوسانات طبیعی اقلیم و فعالیت‌های بشری بر رواناب

پریساسادات آشفته*^۱، امید بزرگ‌حداد^۲

۱. دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱/۲۳)

چکیده

در این پژوهش، روندهای بلندمدت و تغییرات ناگهانی متغیرهای هیدرواقليمی در دوره مشاهداتی 1971-2000 در حوضه آیدوغموش، به ترتیب با آزمون ناپارامتری من-کندال و منحنی تجمعی متغیرهای اقلیمی-رواناب بررسی شد. نتایج روندهای کاهشی برای بارندگی و رواناب و روند افزایشی برای دما، توسط آزمون من-کندال با سطح اطمینان ۹۹ درصد را نشان می‌دهند. تغییر گرادیان منحنی تجمعی متغیرهای اقلیمی-رواناب، بیانگر این است که رابطه بین متغیرهای اقلیمی-رواناب، می‌تواند متأثر از عامل فعالیت‌های بشری باشد. با شناسایی نقطه تغییر گرادیان منحنی، دوره مشاهداتی به دو زیردوره، پایه و دوره مرتبط با فعالیت‌های بشری، تقسیم شد. برای تعیین آثار فعالیت‌های بشری بر رواناب، مدل هیدرولوژیکی در دوره پایه، واسنجی و صحت‌سنجی و با معرفی متغیرهای هیدرواقليمی در دوره فعالیت‌های بشری به مدل، رواناب تولیدی تعیین شد. نتایج نشان می‌دهند که نوسانات طبیعی اقلیم و فعالیت‌های بشری، به ترتیب سهم ۷۹ و ۲۱ درصدی در کاهش رواناب دارند.

کلیدواژگان: حوضه آبریز، نقطه تغییر گرادیان منحنی، نوسانات طبیعی اقلیم.

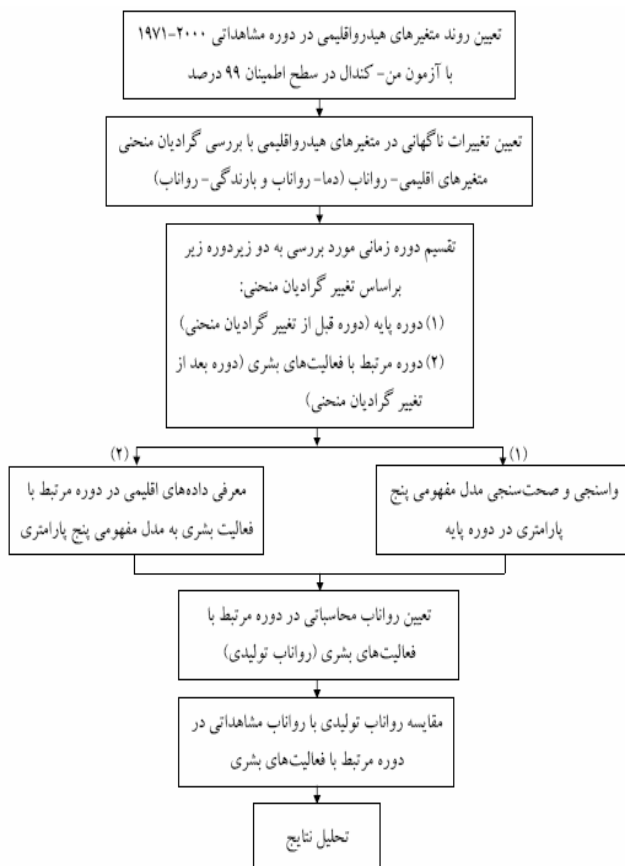
مقدمه

فرایندهای هیدرولوژیکی به دلیل تأثیرات دو عامل شرایط اقلیمی و فعالیت‌های بشری از جمله تغییر کاربری اراضی و ایجاد طرح‌های توسعه منابع آب، فرایندهایی پیچیده هستند. بنابراین، در چند سال اخیر مطالعاتی در این زمینه انجام شده است. اخیراً مطالعاتی که در زمینه ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر هیدرولوژی و منابع آب انجام شده است، با فرض عدم تغییر در کاربری اراضی و پوشش زمین بوده‌اند. این در حالی است که رشد جمعیت، توسعه کشاورزی و تغییر کاربری اراضی از عوامل مهم تغییر در رژیم هیدرولوژیکی هستند (Cong et al., 2009). بنابراین، ضروری است که اثرات این دو عامل (نوسانات طبیعی اقلیم (Natural Climate Variability) و فعالیت‌های بشری) بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه (میزان رواناب) به منظور توسعه راه‌کارهای پایدار مدیریت منابع آب، بررسی شوند. در پژوهشی، Motondo et al. (2004)، تأثیر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی و منابع آب را با استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی اقیانوس-اتمسفر (Atmosphere-Ocean General Circulation)

(Model, AOGCM) (دما، بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل) که به‌عنوان ورودی در مدل‌های بارش-رواناب به کار برده شدند، بر روی سه حوضه ارزیابی شدند. ابتدا داده‌های ناقص بارندگی با استفاده از تحلیل رگرسیون و متوسط بلندمدت روزانه تکمیل و سپس از مدل MAGICC برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی برای دوره پایه استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل‌های اقلیمی به کاررفته، عملکرد خوبی داشتند. همچنین تغییرات رواناب در حوضه ۱، به میزان ± 5 درصد و در حوضه ۲، ± 2 درصد و در حوضه ۳، از ۴ درصد تا ۲۳ درصد خواهد بود. Yang and Tian (2009) تغییر رواناب ناشی از تغییر اقلیم و اقدامات بشری را در حوضه رودخانه هایفا (Haihe) بررسی کردند. آن‌ها در پژوهش خود از آزمون من-کندال برای بررسی تغییرات ناگهانی رواناب طی دوره ۱۹۶۰-۱۹۹۹ استفاده کردند. نتایج نشان دادند که افزایش سطح زیرکشت به میزان ۲۵ درصد، سبب کاهش رواناب شده است. Jiang et al. (2011) به بررسی اثرات تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های بشری بر رواناب حوضه‌ای در چین، با سه روش پرداختند. سه روش به کاررفته عبارت بودند از: روش چندرگرسیونی، تحلیل حساسیت هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی مدل هیدرولوژیکی. نتایج نشان دادند که در دوره ۱۹۸۰-۲۰۰۸، اقدامات بشری سهم به‌سزایی در کاهش رواناب به میزان ۸۹ تا

مواد و روش‌ها

در این بخش روش‌های مورد نیاز برای این پژوهش که شامل تعیین روند متغیرهای هیدرواقليمی، بررسی گرادیان منحنی متغیرهای اقلیمی- رواناب، تعیین رواناب محاسباتی در دوره مرتب با فعالیت‌های بشري (رواناب توليدي)، تفکيک اثرات نوسانات طبيعي اقليم و فعالیت‌های بشري بر رواناب و تحليل نتایج است، ارائه می‌شوند. مراحل اصلی انجام این پژوهش در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. روندنمای مراحل مختلف انجام پژوهش

آزمون تعیین روند من- کندال

آزمون من- کندال یکی از متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌شمار می‌رود (Wang *et al.*, 2011; 2012). مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از رتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر گرفتن مقدار متغیرها است. بنابراین، می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد و داده‌ها نباید الزاماً در قالب توزیع خاصی ارائه شوند (Turgay and Ercan, 2005). مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

۹۳ درصد داشته است. Zhang *et al.* (2012) به ارزیابی آثار تغییر اقليم و فعالیت‌های بشري بر رواناب رودخانه هایفا (Huifa) در شمال شرقی چین پرداختند. آن‌ها از مدل SWAT برای شبیه‌سازی رواناب استفاده کردند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که تغییر اقليم و فعالیت‌های بشري دلایل اصلی بر کاهش رواناب مشاهداتی در رودخانه هایفا هستند. Haung *et al.* (2013) به بررسی پاسخ هیدرولوژیکی به تغییر اقليم و فعالیت‌های بشري در حوضه ساحلی چین پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود از تحلیل‌های من- کندال و موجک (Wavelet) استفاده کردند. نتایج نشان دادند که جریان ده‌ساله حوضه‌های شمالی و غربی، به ترتیب ۹/۲ و ۶/۷ درصد کاهش یافته است. این کاهش به دلیل اقدامات بشري، از جمله احداث سد، تغییرات اراضی و توسعه اجتماعی- اقتصادی است.

عوامل مختلفی سبب بر هم خوردن شرایط حاکم بر اجزای مختلف سامانه اقليم می‌شوند که به دو دسته داخلی و خارجی تقسیم می‌شوند. عوامل داخلی، ناشی از کنش‌های متقابل بین اجزای سامانه اقليم بوده است، مانند پدیده ال‌نینو یا انسو و عوامل خارجی می‌تواند ناشی از تابش خورشیدی، فعالیت‌های آتش‌نشانی و افزایش غیرطبیعی گازهای گلخانه‌ای باشد. این افزایش گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های بشري، همچون تغییر کاربری اراضی، توسعه کشاورزی، طرح‌های توسعه منابع آب و... می‌تواند سبب تغییرات اساسی روی جریان رودخانه‌ها و رواناب شود. گرچه تا کنون پژوهش‌هایی در زمینه اثرات تغییر اقليم بر جریان حوضه آبریز انجام شده است، ولی پژوهش‌ها بر روی تفکيک اثرات نوسانات طبيعي اقليم و فعالیت‌های بشري که هر کدام منجر به تغییر در جریان رودخانه‌ها می‌شود، خیلی نادر است. بنابراین، اهداف این پژوهش، عبارتند از: ۱. آشکارسازی روندهای زمانی و تغییرات ناگهانی در متغیرهای هیدرواقليمی (دما، بارندگی و رواناب) و ۲. تعیین اثرات نوسانات طبيعي اقليم و فعالیت‌های بشري بر رواناب سطحی حوضه. این پژوهش به تفکيک تأثیرات نوسانات طبيعي اقليم و فعالیت‌های بشري بر جریان در مقیاس حوضه کمک خواهد کرد و اطلاعات مفیدی را برای تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران فراهم می‌آورد که به توسعه پایدار منابع آب در سطح حوضه آبریز منجر می‌شود. بنابراین، در پژوهش حاضر سعی شده است آثار نوسانات طبيعي اقليم و فعالیت‌های بشري بر تغییر جریان رودخانه آیدوغموش واقع در استان آذربایجان شرقی در دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ به تفکيک، ارزیابی شوند.

آشفته و بزرگ حداد: ارزیابی تقابلات بین نوسانات طبیعی اقلیم و ... ۱۰۵

تخمین اثرات نوسانات طبیعی اقلیم و فعالیت‌های بشری به تفکیک بر رواناب

تغییرات رواناب را می‌توان به تقابلات بین دو عامل مهم نوسانات طبیعی اقلیم و فعالیت‌های بشری منتسب کرد. به‌طور کلی، اثرات این عوامل بر ایجاد تغییرات فرایندهای هیدرولوژیکی در یک حوضه معین به‌صورت مستقل در نظر گرفته می‌شوند (Wang et al., 2010). بنابراین، سری زمانی رواناب می‌تواند به دو سری زمانی، یعنی سری زمانی مربوط به نوسانات طبیعی اقلیم (دوره پایه) و سری زمانی مربوط به فعالیت‌های بشری (دوره مرتبط به فعالیت‌های بشری) (Peng et al., 2013)، تقسیم شوند:

$$\Delta R_t = \Delta R_c + \Delta R_h \quad (\text{رابطه ۶})$$

که در آن، ΔR_t = تغییر کل رواناب، ΔR_c = تغییر رواناب به‌واسطه نوسانات طبیعی اقلیم و ΔR_h = تغییر رواناب به‌واسطه فعالیت‌های بشری مانند تغییرات کاربری اراضی، ایجاد طرح‌های توسعه منابع آب و غیره است.

ابتدا برای تخمین اثرات فعالیت‌های بشری بر رواناب (ΔR_h)، مدل هیدرولوژیکی براساس متغیرهای هیدرواقليمی (دما، بارندگی و جریان مشاهداتی رودخانه) در دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ واسنجی و صحت‌سنجی می‌شود و سپس با معرفی متغیرهای هیدرواقليمی در دوره مرتبط با فعالیت‌های بشری به مدل واسنجی‌شده، رواناب تولیدی در دوره مرتبط با فعالیت بشری محاسبه می‌شود. در نتیجه اثرات فعالیت‌های بشری بر رواناب می‌توانند به‌صورت زیر محاسبه شوند:

$$\Delta R_h = |R_p^{(h)} - R_o^{(h)}| \quad (\text{رابطه ۷})$$

که در آن، $R_p^{(h)}$ = سری زمانی رواناب تولیدی برای دوره مرتبط با فعالیت‌های بشری، $R_o^{(h)}$ = سری زمانی رواناب مشاهداتی طی دوره مرتبط با فعالیت‌های بشری است. در این پژوهش، مدل هیدرولوژیکی پنج پارامتری پیشنهادشده توسط Jakeman and Hornberger (1993) به کار گرفته شد. به دلیل ورودی‌های قابل دسترس در بیشتر حوضه‌ها، قابلیت ترکیب با مدل‌های برنامه‌ریزی منابع آب و همچنین سادگی مدل برای مطالعات اثرات تغییر اقلیم، از این مدل استفاده شده است. ورودی‌های مورد نیاز این مدل دما، بارندگی و جریان مشاهداتی رودخانه و خروجی مدل، جریان محاسباتی رودخانه است که پنج پارامتر مختلف مدل (f, τ_w, c, α و β) که در ادامه تشریح می‌شود، می‌بایست براساس داده‌های مشاهداتی برای حوضه مطالعه‌شده واسنجی شود (Ashofteh et al., 2013b).

(الف) محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر و اعمال تابع علامت ($Sgn()$) و استخراج پارامتر S به‌صورت زیر:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n Sgn(x_j - x_k) \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن، n = تعداد داده‌های مشاهداتی سری زمانی و x_k و x_j = به‌ترتیب داده‌های j ام و k ام سری هستند. تابع ($Sgn()$) نیز به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Sgn(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۲})$$

(ب) محاسبه واریانس توسط یکی از روابط زیر:

$$Var(S) = \begin{cases} \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} & n > 10 \\ \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} & n < 10 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن، n = تعداد داده‌های مشاهداتی سری زمانی، m = تعداد گره‌ها (منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیشتر از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی، تشکیل یک گره را می‌دهند) و t = تعداد این مقادیر مساوی در گره m است.

(پ) نهایتاً آماره Z توسط یکی از روابط زیر تعیین می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۴})$$

در یک آزمون دو دامنه برای روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن، a = سطح معناداری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_{α} = آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معناداری a است که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $a/2$ استفاده شده است. در این پژوهش، آزمون من-کندل برای سطح اطمینان ۹۹ درصد به کار گرفته شده است. در صورت مثبت بودن آماره Z روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.

متوسط خطای مطلق (MAE) و کارایی نش-سانکلیف (NSE) استفاده شده است (Ashofteh et al., 2013a).

مطالعه موردی و داده‌ها

حوضه مطالعه شده

رودخانه آیدوغموش یکی از رودخانه‌های اصلی حوضه آبریز قزل‌اوزن به شمار می‌آید. وسعت حوضه آبریز این رودخانه حدود ۱۸۰۲ کیلومترمربع است. این رودخانه که در استان آذربایجان شرقی قرار دارد و پس از دریافت جریان رودخانه‌های قرقو و شهرچای به رودخانه قزل‌اوزن می‌ریزد. حوضه مطالعه شده در جنوب و جنوب شرقی آذربایجان شرقی قرار گرفته است (شکل ۲). آبدهی سالانه رودخانه آیدوغموش ۱۹۰ میلیون مترمکعب است. متوسط بارش سالانه در سطح حوضه ۳۴۰ میلی‌متر بوده است که پرباران‌ترین ماه‌ها، ماه‌های فروردین و اردیبهشت هستند. آمار و اطلاعات متغیرهای هیدرواقلمی لازم برای دوره مشاهداتی (۱۹۷۱-۲۰۰۰) از ایستگاه‌های هواشناسی و ایستگاه هیدرومتری مشخص شده در شکل ۲ اخذ شد.

به‌منظور تبدیل بارندگی به بارندگی مؤثر از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$EP_t = WI_t \times P_t \quad (\text{رابطه ۸})$$

که در آن، P_t = سری زمانی بارندگی در گام زمانی t ام، EP_t = سری زمانی بارندگی مؤثر در گام زمانی t ام و WI_t = شاخص رطوبتی حوضه در گام زمانی t ام که از رابطه‌های زیر به دست می‌آید:

$$WI_t = c \times P_t + \{1 - [1/\tau_w(T_t)]\} \cdot WI_{t-1} \quad (\text{رابطه ۹})$$

$$WI_0 = 0 \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

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

که در آن، T_t = سری زمانی دما در گام زمانی t ام، T_r = دمای مرجع، τ_w = ثابت زمانی خشک‌شدن حوضه، f = عامل تعدیل دما و c = کسری از بارندگی است.

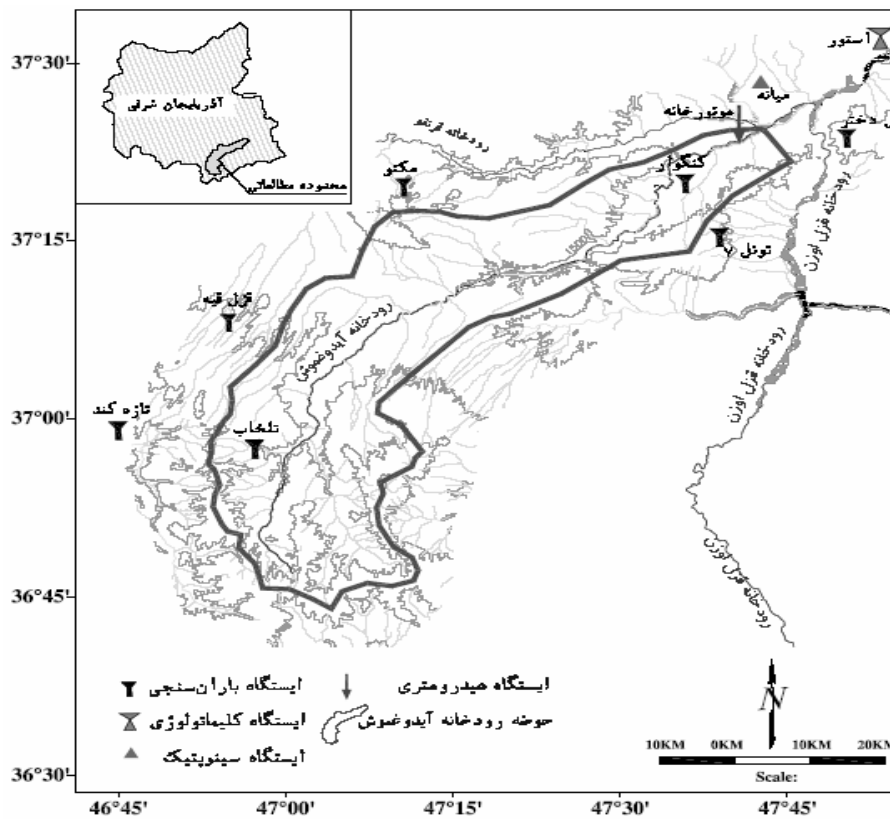
به‌منظور تبدیل بارندگی مؤثر به رواناب از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$R_t = \alpha^q R_{t-1} + \beta^q (EP_{t-1}) + \alpha^s R_{t-1} + \beta^s (EP_{t-1}) \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

که در آن، α و β = ضرایب ثابت است.

معیارهای عملکرد

برای بررسی عملکرد مدل‌ها و مقایسه نتایج از معیارهای مرسوم ضریب همبستگی (r)، جذر متوسط مربعات خطا (RMSE)،

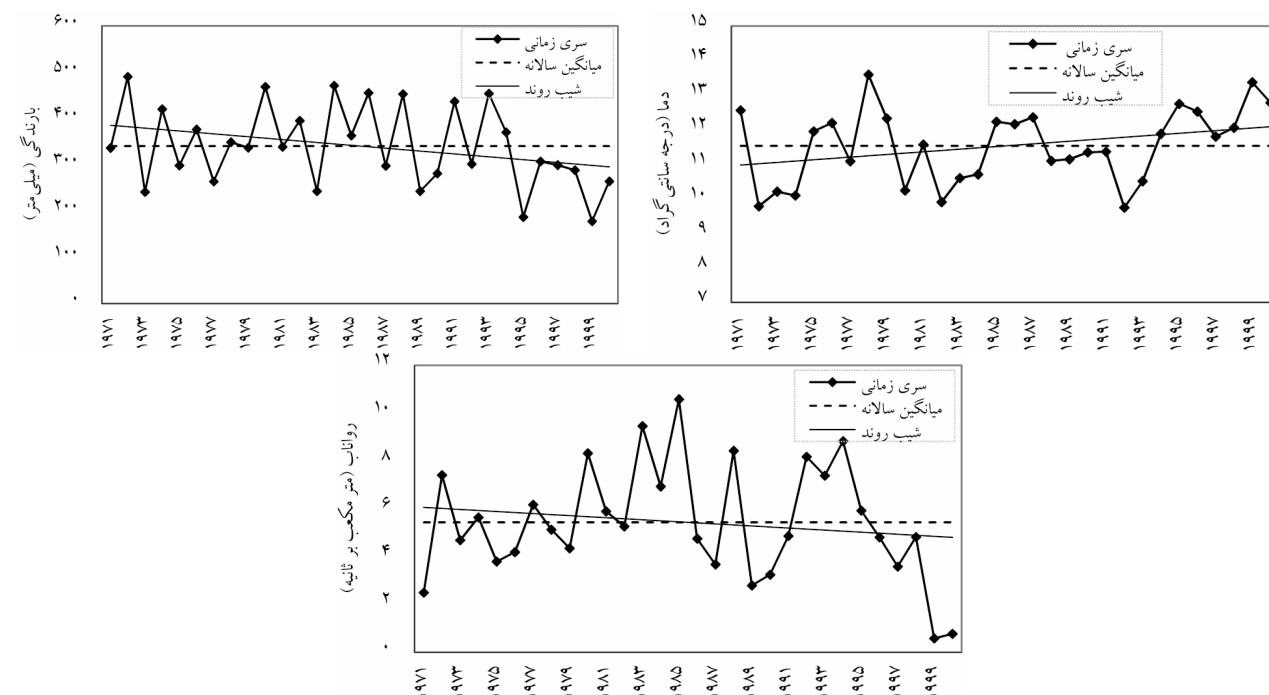


شکل ۲. موقعیت حوضه مورد مطالعاتی همراه با ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری

نتایج و بحث

تحلیل روندهای متغیرهای هیدرو اقلیمی

تعیین روند در متغیرهای اقلیمی مشاهداتی می‌تواند در یافتن نیروهای محرک اصلی برای ایجاد تغییر در سامانه‌های هیدرولوژیکی و منابع آب، کمک کند (Huo et al., 2007). در



شکل ۳. سری زمانی متغیرهای هیدرو اقلیمی در حوضه رودخانه آیدوغموش برای دوره مشاهداتی

جدول ۱. محاسبه شیب روند و آماره آزمون من-کندال برای متغیرهای هیدرو اقلیمی

متغیر	میانگین (میلی متر)	شیب روند (درصد)	آماره Z	سطح اطمینان
دما	۱۱/۵۳	۵/۵۱	۰/۲۴۶	۰/۹۹
بارندگی	۲۸/۳۵	-۲۴/۱۰	-۰/۲۰۰	۰/۹۹
رواناب	۵/۴۳	-۳/۶۶	-۰/۰۷۱	۰/۹۹

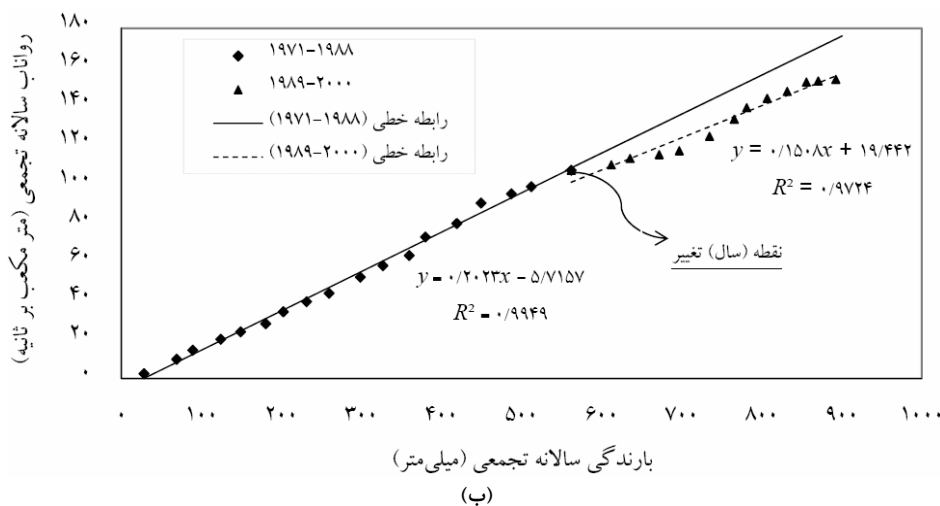
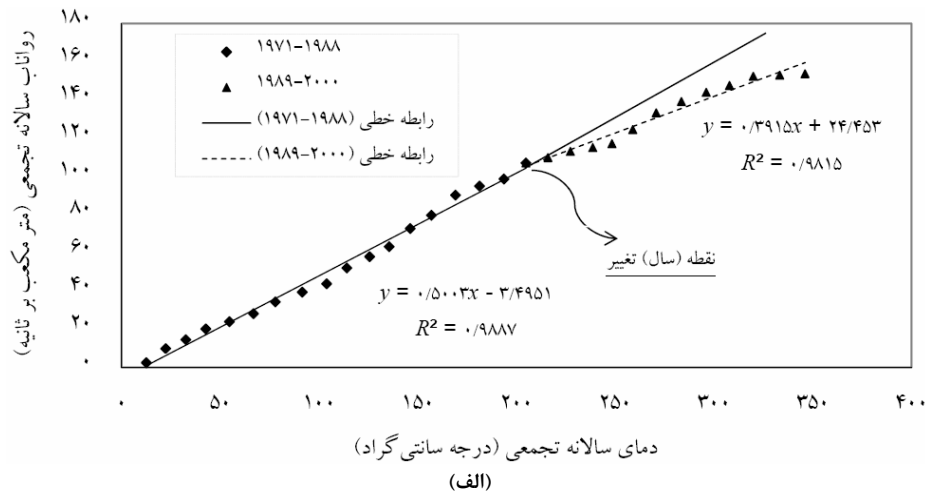
دما- رواناب و بارندگی- رواناب در شکل ۴ ارائه شده است. به‌طور کلی، اگر خصوصیات یک حوضه پایدار باشد، منحنی تجمعی سالانه دما- رواناب و بارندگی- رواناب، به‌صورت خطی است (Ragunath, 2006). بنابراین، تغییر در گرادیان منحنی تجمعی بیانگر آن است که رابطه موجود بین رواناب و متغیرهای اقلیمی، تغییر کرده است و تغییر رواناب می‌تواند احتمالاً متأثر از تغییر عامل دیگری نیز باشد (Ragunath, 2006; Peng et al., 2013).

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، منحنی تجمعی تقریباً به‌صورت خط مستقیم است (ولی با شیب مختلف قبل و بعد از نقطه تغییر (Change point)). آغاز تغییر در گرادیان

همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، سری‌های زمانی بارندگی و رواناب یک روند کاهشی را به‌ترتیب با شیب ۲۴/۱ و ۳/۶۶ درصد نشان می‌دهند که این مورد با مقادیر آماره من-کندال در جدول ۱ برای متغیرهای ذکر شده، به‌ترتیب برابر ۰/۲- و ۰/۰۷۱-، تأیید می‌شود. همچنین سری زمانی دما، یک روند افزایشی را با شیب ۵/۵۱ درصد نشان می‌دهد و مقدار آماره Z برای این متغیر مقدار ۰/۲۴۶ را نشان می‌دهد. بنابراین، کاهش رواناب ممکن است به روند کاهشی متغیر بارندگی و روند افزایشی متغیر دما یا هر دو، نسبت داده شود. به عبارت دیگر، تغییر متغیر هیدرولوژیکی ممکن است به‌واسطه تغییر متغیر اقلیمی باشد. برای بررسی بیشتر این موضوع، منحنی تجمعی

سال ۱۹۸۸، می‌تواند بیانگر تأثیر فعالیت‌های بشری بر رواناب باشد. بنابراین، دوره ۱۹۷۱-۱۹۸۸ به‌عنوان دوره پایه و دوره ۱۹۸۹-۲۰۰۰ به‌عنوان دوره مرتبط با فعالیت بشری، در نظر گرفته شده است.

منحنی تجمعی، منطبق بر سال ۱۹۸۸ است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت سازوکار تولید رواناب تغییر کرده است (Raghnath, 2006) که می‌تواند به فعالیت‌های بشری نسبت داده شود. به عبارت دیگر، سال‌های پس از نقطه تغییر، یعنی

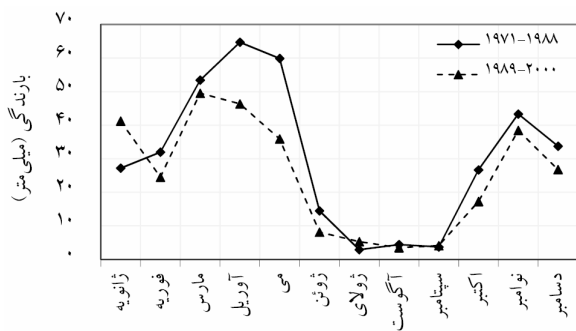


شکل ۴. منحنی تجمعی سالانه رواناب با (الف) دما و (ب) بارندگی

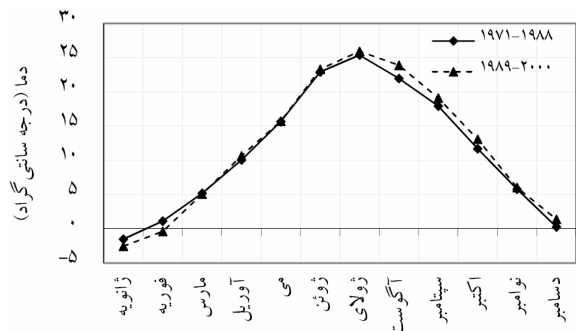
نسبت به دوره پایه، بیشتر است. این در حالی است که مقادیر متوسط ماهانه بارندگی و رواناب در دوره مرتبط با فعالیت‌های بشری در بیشتر ماه‌ها نسبت به دوره پایه، مقادیر کمتری را به خود اختصاص داده است (شکل ۵ ب و پ). ضمناً تغییرات بزرگ‌تری در رواناب نسبت به بارندگی، قابل مشاهده است. بنابراین، علاوه بر نوسانات طبیعی اقلیم، فعالیت‌های بشری نیز در کاهش رواناب تأثیر می‌گذارند. علاوه بر این، بیشتر کاهش‌ها در آغاز فصول توسعه کشاورزی در محدوده طرح (آوریل و می) رخ می‌دهند. یافته‌های مشابهی در برخی مطالعات قبلی وجود دارد (Yang and Tian, 2009; Jiang et al., 2011). برای بررسی بیشتر، مقایسه همبستگی بین دما و بارندگی با رواناب، به ترتیب هر کدام در دو دوره پایه و دوره مرتبط با فعالیت‌های بشری در شکل ۶ الف تا ت نشان داده شده است.

مقایسه متوسط ماهانه متغیرهای هیدرواقليمی و همبستگی آن‌ها با هم در دوره پایه و دوره مرتبط با فعالیت‌های بشری به منظور بررسی تأثیر نوسانات طبیعی اقلیم و فعالیت‌های بشری بر رواناب، به ترتیب طی دوره پایه و دوره مرتبط با فعالیت‌های بشری، تغییرات درون‌سالی متغیرهای اقلیمی و رواناب بررسی شدند. در شکل ۵ (الف)، (ب) و (پ) مقایسه متوسط ماهانه دما، بارندگی و رواناب در دوره ۱۹۷۱-۱۹۸۸ با ۱۹۸۹-۲۰۰۰ نشان داده شده است.

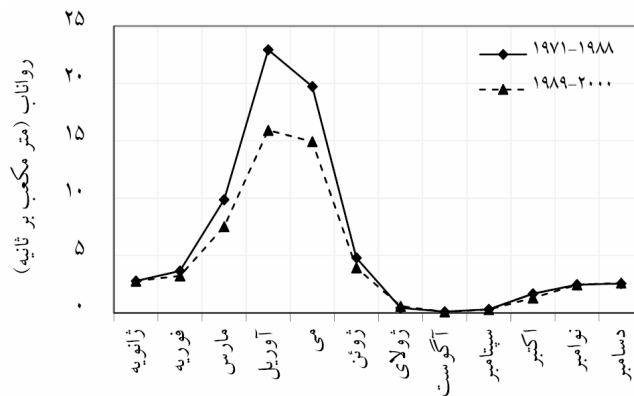
همان‌طور که در شکل ۵- الف مشخص است، تفاوت معناداری بین مقادیر متوسط ماهانه دما در دوره پایه و دوره مرتبط با فعالیت‌های بشری وجود ندارد و در بیشتر ماه‌ها، مقادیر متوسط ماهانه دما در دوره مرتبط با فعالیت‌های بشری



(ب)

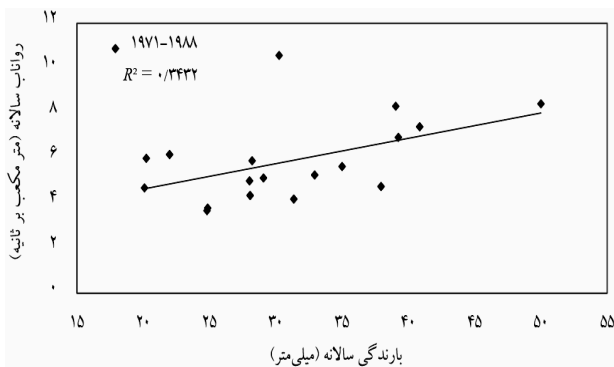


(الف)

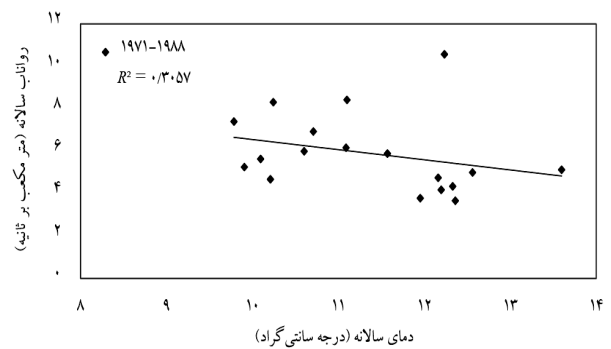


(پ)

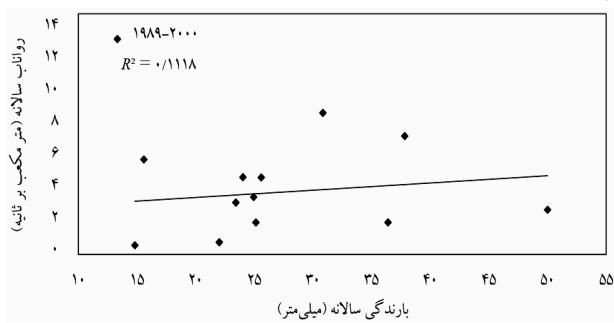
شکل ۵. دما، بارندگی و رواناب ماهانه برای دوره پایه و دوره مرتب با فعالیت‌های بشری



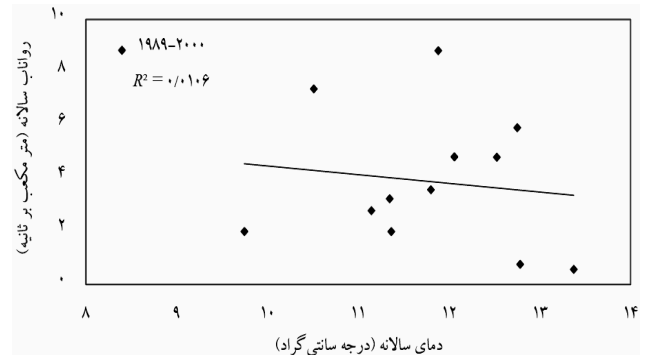
(ب)



(الف)



(ت)



(ب)

شکل ۶. همبستگی بین (الف) و (ب) دما و (پ) و (ت) بارندگی با رواناب، به ترتیب هر کدام برای دوره پایه و دوره مرتب با فعالیت‌های بشری

ژانویه ۱۹۸۳ تا دسامبر ۱۹۸۸ برای صحت‌سنجی به‌کار رفتند. سپس، مقادیر مطلوب پارامترهای مدل (جدول ۲) با استفاده از معیارهای عملکرد (جدول ۳) تعیین شدند. شکل ۷ مقایسه رواناب محاسباتی و مشاهداتی را برای دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد.

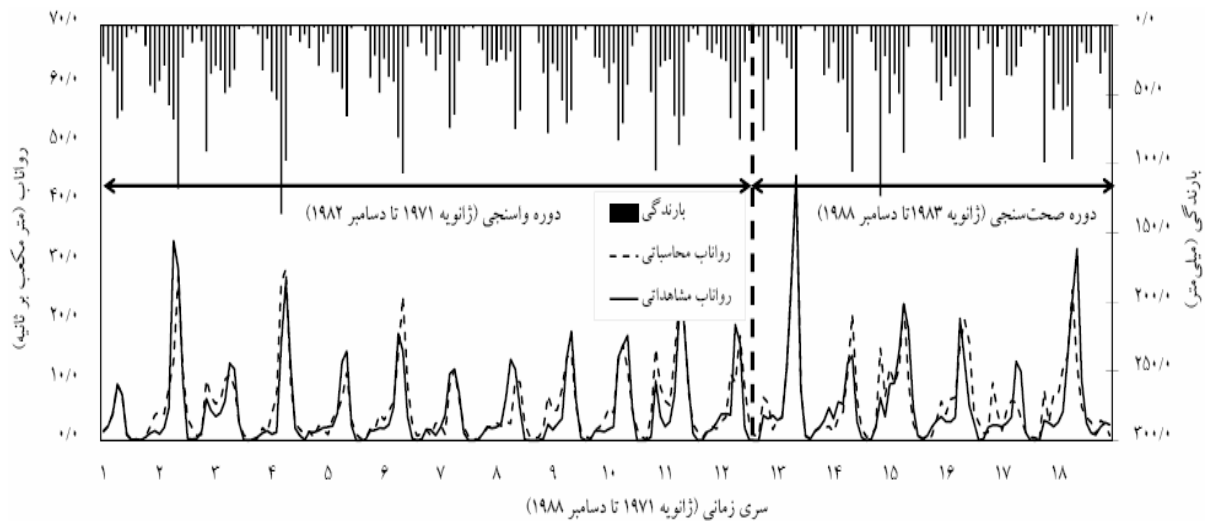
همان‌طور که در شکل ۷ مشخص است، مقادیر رواناب ماهانه محاسباتی با مشاهداتی جز در برخی رواناب‌های بیشینه با هم سازگار هستند.

نتایج حاصل از شکل ۷ و جدول ۳، عملکرد قابل قبولی از مدل پنج پارامتری را در شبیه‌سازی رواناب نشان می‌دهد. پس از واسنجی مدل، داده‌های هیدرواقليمی برای دوره مرتبط با فعاليت‌های بشري به‌عنوان ورودی به مدل برای تولید رواناب معرفی می‌شوند. با ایجاد سری زمانی رواناب تولیدشده در دوره مرتبط با فعاليت‌های بشري و با مقایسه با سری زمانی رواناب مشاهداتی برای همان دوره، اثرات نوسانات طبیعی اقليم و فعاليت‌های بشري به تفکیک توسط رابطه ۷ تعیین می‌شوند.

همبستگی بین دما و رواناب نسبت به همبستگی بین بارندگی و رواناب برای دوره پایه نسبت به دوره فعالیت‌های بشري، بیشتر است. یعنی پس از سال ۱۹۸۹ رواناب متأثر از فعاليت‌های بشري در منطقه است (شکل ۶ الف و ب). این موضوع درباره همبستگی بین بارندگی و رواناب هم صادق است (شکل ۶ پ و ت). همچنین، همبستگی بارندگی- رواناب نسبت به دما- رواناب در هر دو دوره بیشتر است که بیانگر تأثیرپذیری بیشتر رواناب از بارندگی است. یافته‌های مشابهی در این مورد در پژوهش‌هایی مانند *Guo et al.* (2005) یافت می‌شود.

واسنجی مدل مفهومی پنج پارامتری و تولید رواناب

برای تخمین اثرات فعاليت‌های بشري بر رواناب، لازم است مدل مفهومی براساس متغیرهای هیدرواقليمی در دوره پایه، واسنجی و صحت‌سنجی شوند. برای تعیین پارامترهای مدل پیشنهادی توسط جیکمن و هورن‌برگر (1993)، دوره پایه (1971-1988) به دو زیردوره تقسیم شدند. مدل با استفاده از داده‌های مشاهداتی به‌ترتیب از ژانویه ۱۹۷۱ تا دسامبر ۱۹۸۲ برای واسنجی و از



شکل ۷. رواناب ماهانه برای دوره واسنجی (۱۹۷۱-۱۹۸۲) و صحت‌سنجی (۱۹۸۳-۱۹۸۸)

تفکیک اثرات نوسانات طبیعی اقليم و فعاليت‌های بشري

سری زمانی رواناب محاسباتی برای دوره مرتبط با فعاليت‌های بشري (رواناب تولیدی) با استفاده از مدل مفهومی پنج پارامتری تعیین شده است و در شکل ۸ با رواناب مشاهداتی طی دوره مرتبط با فعاليت‌های بشري مقایسه شدند.

همان‌طور که در شکل ۸ ارائه شده است، در بیشتر ماه‌ها رواناب محاسباتی (تولیدی) بیشتر از رواناب مشاهداتی طی دوره مرتبط با فعاليت‌های بشري است که بیانگر تأثیر فعاليت‌های بشري بر کاهش نسبی رواناب است که در این دوره وجود دارد.

جدول ۲. پارامترهای حاصل از واسنجی مدل (*Ashofteh et al., 2013b*)

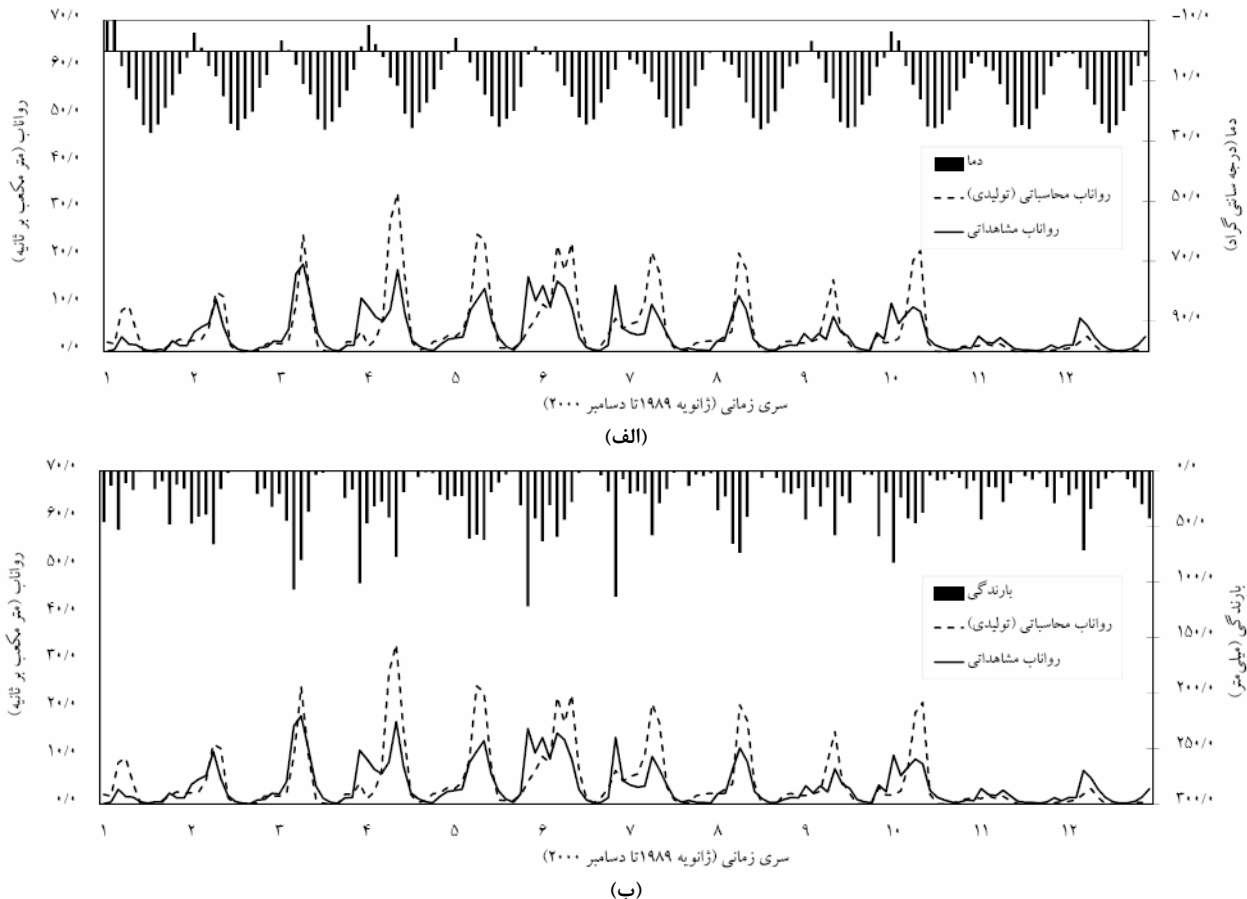
براساس داده‌های مشاهداتی در دوره ۱۹۷۱-۱۹۸۲				
مدل پنج پارامتری				
c	β	α	f	τ_w
۰/۰۰۱	۰/۵۰۲	۰/۲۸۸	۱/۷	۱/۰

جدول ۳. معیارهای عملکرد برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی

دوره	NSE (بدون بعد)	MAE (m^3/s)	$RMSE$ (m^3/s)	R (%)
واسنجی	۰/۷۲	۲/۰۵	۳/۳۴	۰/۸۵
صحت‌سنجی	۰/۷۵	۲/۵۴	۴/۱۴	۰/۸۸

شدند. نتایج نشان می‌دهد که نوسانات طبیعی اقلیم، ۷۹ درصد در کاهش رواناب نقش دارد. این در حالی است که فعالیت‌های بشری سهم ۲۱ درصدی را در کاهش رواناب به خود اختصاص داده‌اند.

مطابق با رابطه ۷ اختلاف بین سری زمانی رواناب تولیدی و رواناب مشاهداتی بیانگر کاهش رواناب، در نتیجه فعالیت‌های بشری است. همچنین، درصد تغییرات در میانگین رواناب سالانه تولیدی برای دوره مرتب با فعالیت‌های بشری (۱۹۸۹-۲۰۰۰) با میانگین رواناب سالانه مشاهداتی در همین دوره مقایسه



شکل ۸. مقایسه رواناب محاسباتی (تولیدی) و مشاهداتی برای دوره مرتب با فعالیت‌های بشری (۱۹۸۹-۲۰۰۰). با (الف) دما و (ب) بارندگی در همین دوره

گردایان منحنی تجمعی بارندگی- رواناب و دما- رواناب در سال ۱۹۸۸ (نقطه تغییر) وجود داشته است که بیانگر تأثیر فعالیت‌های بشری بر رواناب بوده است که از سال ۱۹۸۸ آغاز شده است. بنابراین، دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ به دو زیردوره قابل تقسیم است. دوره ۱۹۷۱-۱۹۸۸ به عنوان دوره پایه و دوره ۱۹۸۹-۲۰۰۰ به عنوان دوره مرتب با فعالیت بشری، در نظر گرفته شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که نوسانات طبیعی اقلیم و فعالیت‌های بشری، به ترتیب سهم ۷۹ و ۲۱ درصدی را در کاهش رواناب دارند.

معرفی نمادها و علائم

a : سطح معنادار برای آزمون من-کندال

EP_t : سری زمانی بارندگی مؤثر در گام زمانی t ام

نتیجه‌گیری کلی

تغییرات هیدرولوژیکی در یک حوضه معین می‌تواند در نتیجه نوسانات طبیعی اقلیم و فعالیت‌های بشری باشد. در این پژوهش، تغییرات در متغیرهای هیدرواقليمی شامل دما، بارندگی و رواناب طی دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ در حوضه آیدوغموش بررسی شد که نتایج زیر از آن حاصل شد. سری‌های زمانی بارندگی و رواناب یک روند کاهشی را به ترتیب با شیب $۰/۲۴/۱$ و $۳/۶۶$ درصد نشان می‌دهند که این مورد با مقادیر آماره من-کندال، به ترتیب برابر $۰/۲$ و $۰/۰۷۱$ ، تأیید می‌شود. همچنین سری زمانی دما روندی افزایشی را با شیب $۵/۵۱$ درصد نشان می‌دهد و آماره Z برای این متغیر مقدار $۰/۲۴۶$ را نشان می‌دهد. بنابراین، کاهش رواناب می‌تواند به روند کاهشی متغیر بارندگی و روند افزایشی متغیر دما، نسبت داده شود. تغییر ناگهانی در

T_t : سری زمانی دما در گام زمانی t ام	f : ضریب تعدیل دما
T_r : دمای مرجع	m : تعداد گره‌ها
$Var(S)$: واریانس آزمون من-کندال	MAE : متوسط خطای مطلق
WI_t : شاخص رطوبتی حوضه در گام زمانی t ام	n : تعداد داده‌های مشاهداتی سری زمانی
x_k و x_j : داده‌های Z ام و k ام سری مشاهداتی	NSE : کارایی نش-ساتکلیف
Z : آماره آزمون من-کندال	P_t : سری زمانی بارندگی در گام زمانی t ام
α : ضرائب ثابت مدل مفهومی	r : ضریب همبستگی
β : ضرائب ثابت مدل مفهومی	$R_o^{(H)}$: سری زمانی رواناب مشاهداتی طی دوره مرتب با
c : ضرائب ثابت مدل مفهومی	فعالیت‌های بشری
τ_w : ثابت زمانی خشک‌شدن حوضه	$R_p^{(H)}$: سری زمانی رواناب تولیدی برای دوره مرتب با
ΔR_C : تغییر رواناب به‌واسطه نوسانات طبیعی اقلیم	فعالیت‌های بشری
ΔR_H : تغییر رواناب به‌واسطه فعالیت‌های بشری	$RMSE$: جذر متوسط مربعات خطا
ΔR_T : تغییر کل رواناب	$Sgn(x_j - x_k)$: تابع علامت
	t : تعداد مقادیر مساوی در گره m ام

REFERENCES

- Ashofteh, P. S., Bozorg Haddad, O., and Marino, M. A. (2013a). Climate change impact on reservoir performance indices in agricultural water supply. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(2), 85-97.
- Ashofteh, P. S., Bozorg Haddad, O., and Mariño, M. A. (2013b). Scenario assessment of streamflow simulation and its transition probability in future periods under climate change. *Water Resources Management*, 27(1), 255-274.
- Cong, Z., Yang, D., Gao, B., Yang, H., and Hu, H. (2009). Hydrological trend analysis in the Yellow river basin using a distributed hydrological model. *Water Resources Research*, 45, W00A13, doi:10.1029/2008WR006852.
- Guo, S. L., Chen, H., Zhang, H. G., Xiong, L. H., Liu, P., Pang, B., Wang, G. Q., and Wang, Y. Z. (2005). A semi-distributed monthly water balance model and its application in a climate change impact study in the middle and lower Yellow river basin. *Water International*, 30(2), 250-260.
- Jakeman A. J. and Hornberger G. M. (1993). How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model?. *Water Resources Research*, 29(8), 2637-2649.
- Jiang, S., Ren, L., Yong, B., Singh, V. P., Yang, X., and Yuan, F. (2011). Quantifying the effects of climate variability and human activities on runoff from the Laohahe basin in northern China using three different method. *Hydrological Process*, 25, 2492-2505.
- Motondo, J. I., Peter, G., and Msibi, K. M. (2004). Evaluation of climate change on hydrology and water resources in Swaziland: Part II. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29(15-18), 1193-1202.
- Peng, Sh., Liu, W., Wang, W., Shao, Q., Jiao, X., Yu, Zh., Xing, W., Xu, J., Zhang, Z., and Luo, Y. (2013). Estimating the effects of climatic variability and human activities on streamflow in the Hutuo River Basin, China. *Journal of Hydrological Engineering*, 18(4), 422-430.
- Raghunath, H. M. (2006). Hydrology, Principles, Analysis and Design. New Age International Publishers, New Dehli, India, pp. 24-26.
- Turgay, P. and Ercan, K. (2005). Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*, 20(9), 2011-2026.
- Wang, J., Hong, Y., Gourley, J., Adhikari, P., Li, L., and Su, F. (2010). Quantitative climate change and human impacts on long-term hydrologic response: A case study in sub-basin of the Yellow river, China. *International Journal of Climatology*, 30(14), 2130-2137.
- Wang, W. G., Peng, S. Z., Yang, T., Shao, Q. X., Xu, J. Z., and Xing, W. Q. (2011). Spatial and temporal characteristics of reference evapotranspiration trends in the Haihe river basin, China. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(3), 239-252.
- Wang, W., Shao, Q., Peng, S., Xing, W., Yang, T., Luo, Y., Yong, B., and Xu, J. (2012). Reference evapotranspiration change and the causes across the Yellow river basin during 1957-2008 and their spatial and seasonal differences. *Water Resources Research*, Doi: 10.1029/2011WR010724.
- Yang, Y. H. and Tian, F. (2009). Abrupt change of runoff and its major driving factors in Haihe river catchment China. *Journal of Hydrology*, 374(3-4), 373-383.
- Zhang, A., Zhang, Ch., Fu, G., Wang, B., Bao, Zh., Zheng, H. (2012). Assessments of impacts of climate change and human activities on runoff with SWAT for the Huifan river basin, Northeast China. *Water Resources Management*, 26(8), 2199-2217.