دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

تحلیل روند تغییرات جریان در ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست رودخانه لیقوان

رضا کنعانی[۱]، احمد فاخری‌فرد[۲]، محمدعلی قربانی[۳] و یعقوب دین‌پژوه[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسوول: rezakanani@gmail.com)
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۰۸
صفحه: ۱۱ تا ۱۹

چکیده

در سال‌های اخیر جریان رودخانه‌ها در اثر تغییر اقلیم و اقدامات انسانی بویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است. در این تحقیق اثرات تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر رواناب حوضه لیقوان واقع در شمال غرب ایران با استفاده از شبیه‌سازی مدل هیدرولوژیکی مطالعه شد. در تعیین مدل هیدرولوژیکی از روش‌های رگرسیون چندگانه پیشرو و ریج استفاده شد. برای تعیین روند داده‌های هیدرواقلیمی تست من‌کندال بکار رفت. همچنین تست پتیت برای تشخیص نقاط تغییر سریع مقادیر دبی سالانه و متغیرهای اقلیمی استفاده شد. نتایج نشان داد مقادیر آبدهی دارای روند منفی بوده و در ایستگاه پایین‌دست هروی در سطح ۱۰٪ معنی‌دار است. در رابطه با عوامل اقلیمی روند اقزایشی در متغیرهای دما و روند نزولی در مقادیر نم‌نسبی حوضه وجود دارد. همچنین تمام متغیرهای بارش در فصل بهار دارای روند کاهشی است. تغییرات سریع در مقادیر رواناب و اغلب متغیرهای اقلیمی در میانه دهه ۱۹۹۰ رخ داده است. مقایسه متوسط دبی در ایستگاه هروی در دو دوره نشان داد در دوره اخیر نسبت به دوره اول ۳۶ ٪ کاهش یافته است. درصد تاثیر عوامل انسانی و اقلیمی بر کاهش رواناب در تمام مدل‌های مورد استفاده به‌ترتیب بین ۸۴-۶۵ و ۳۵-۱۶ درصد بود. بنابراین اثر فعالیت‌های انسانی بر تغییرات جریان رودخانه قابل توجه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اقدامات انسانی، پتیت، تغییر اقلیم، لیقوان‌چای، نقطه تغییر

مقدمه

در سال‌های اخیر تغییرات عمده‌ای در حوضه‌های آبریز صورت گرفته و میزان رواناب‌ها و جریان رودخانه‌ها دچار کاهش شده و یا در برخی موارد به‌صورت وقوع سیلاب‌ها جریان افزایش یافته است (۷). موضوع کاهش میزان رواناب‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران یکی از چالش های اساسی در رابطه با مدیریت منابع آب می‌باشد. تغییرات هیدرولوژیکی بوجود آمده عمدتا ناشی از عوامل طبیعی (اقلیمی) و انسانی بوده است (۲۱). شناخت عوامل تغییر منابع آبی به‌ویژه مخازن طبیعی و دریاچه‌ها از جمله دریاچه ارومیه و تعیین سهم هر کدام از عوامل موثر در کاهش رواناب، اهمیت بسزایی در رفع ابهام‌ها و مباحث مطروحه در رابطه با مدیریت منابع آب دارد. دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران که بزرگترین دریاچه شور خاورمیانه بوده و به‌عنوان یکی از زیستگاه‌های اصلی آرتمیا در جهان شناخته می‌شود، طی دهه گذشته رو به خشکی گذاشته است.

مطالعات متعددی در رابطه با تغییرات جریان رودخانه‌ها توسط محققین صورت گرفته است. در مطالعه‌ای که جهت ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و اقدامات انسانی بر جریان رودخانه وودینگ توسط لی و همکاران (۱۴) انجام گرفته برای تعیین روند تغییرات جریان تست ناپارامتری من کندال[۱] بکار رفته است. برای ارزیابی اثرات متغیرهای اقلیمی بر رواناب نیز دو روش حساسیت جریان به بارش و تبخیر پتانسیل و دومی بر پایه رابطه بین جریان سالانه و بارش استفاده شده است. نتایج نشان داده جریان سالانه روند نزولی داشته و تخمین زده شد عملیات آبخیزداری حدود ۸۷ درصد کل کاهش جریان سالانه را در دوره ۱۹۹۷-۱۹۷۲ باعث شده است و کاهش از طریق تغییرات بارش و تبخیر ۱۳ درصد است. جیانگ و همکاران (۹) به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی در حوضه لائوهاهه در شمال چین از سه روش رگرسیون چندگانه، تحلیل حساسیت هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی مدل هیدرولوژیکی استفاده کردند. برای تعیین روند و تغییرات نقطه‌ای رواناب تست ناپارامتری من‌کندال و تست پتیت[۲] و منحنی تجمعی مضاعف بارش- رواناب[۳] سالانه به‌کار برده شده است. نتایج نشان داده در دوره ۲۰۰۸-۱۹۸۰ اقدامات انسانی عامل اصلی کاهش رواناب برابر ۹۳-۸۹ درصد بوده و سهم کاهش از تغییرات بارش و تبخیر تعرق پتانسیل فقط ۱۱-۷ درصد است. گو و همکاران (۴) در خصوص کمی‌سازی اثرات تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی در رواناب دو زیر حوضه از حوضه ویهه مطالعه نموده و برای تعیین روند سری هیدروکلیماتولوژی تست من‌کندال بکار بردند. برای تعیین تغییرات نقطه‌ای جریان سالانه تست پتیت و منحنی تجمعی مضاعف بارش- رواناب استفاده شده است. نتایج نشان داده هر دو حوضه روند منفی دارند و تغییر نقطه‌ای جریان در ۱۹۹۳ رخ داده است. همچنین بر اساس تحلیل حساسیت هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی مدل هیدرولوژیکی روند کاهش رواناب هر دو حوضه عمدتا مربوط به فعالیت‌های انسانی بوده و سهم آن در کاهش رواناب حدود ۵۹ تا ۷۷ درصد است. اثرات تغییر اقلیم و اقدامات انسانی بر رواناب حوضه لوان در دوره زمانی ۲۰۰۰-۱۹۵۶ توسط وانگ و همکاران (۲۰) مطالعه شده است. نتایج حاکی از آن است که فعالیت‌های بشری اثرات بیشتری از اقلیم بر تغییرات جریان دارند چنانکه

1- Mann-Kendall 2- Pettitt's test 3- Double mass curve of precipitation-runoff

در تغییرات سالانه سهم متغیرهای اقلیمی ۴۰/۹ درصد و فعالیت‌های انسانی ۵۹/۱ درصد است. در اقدامات انسانی تنظیم آب در مخازن نقش بیشتری نسبت به تغییر کاربری اراضی دارد (در جریان سالانه ۳۸/۸۶ درصد در مقابل ۲۰/۲۶ درصد). تحقیقات مشابه‌ای توسط ما و همکاران (۱۵)، وانگ و همکاران (۱۹)، ژانگ و همکاران (۲۴) گائو و همکاران (۳) و لی و همکاران (۱۳) انجام گرفته است. در یک خلاصه از بررسی پیشینه تحقیق می‌توان بیان نمود روش‌های مختلفی توسط محققین برای تعیین سهم عوامل اقلیمی و انسانی در تغییرات رواناب حوضه‌ها بکار رفته و نتایج حاصل نشان داده که اهمیت و نقش عوامل اقلیمی یا انسانی در حوضه‌های مختلف متفاوت بوده است.

هدف از این تحقیق بررسی روند تغییرات عوامل هیدرواقلیمی و تعیین نقش فاکتورهای طبیعی و انسانی در تغییرات جریان رودخانه لیقوان می باشد که یکی از رودخانه-های مهم حوضه دریاچه ارومیه است. در مطالعات قبلی عوامل اقلیمی بکار رفته شامل بارش و تبخیرتعرق به‌طور کلی بوده و جزئیات عوامل اقلیمی لحاظ نشده است. در این تحقیق اکثر عوامل موثر مانند نوع و طبقه‌بندی بارش‌ها، متغیرهای مرتبط با دما و نم‌نسبی در مقیاس‌های زمانی مختلف مطالعه شده است. بنابراین دقت مدل‌های قبلی افزایش یافته است.

مواد و روش‌ها

منطقه و داده‌های مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز لیقوان‌چای می‌باشد که از زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه بوده و در شمال‌غرب ایران واقع است. خروجی حوضه در محدوده مورد مطالعه (در محل ایستگاه هیدرومتری هروی) در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵۵ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۹ دقیقه و ارتفاع ۱۹۲۰ متر قرار دارد. مساحت حوضه ۱۸۶ کیلومتر مربع و طول آبراهه اصلی ۲۸/۵ کیلومتر می‌باشد. داده‌های آبدهی حوضه در این ایستگاه در دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۴۹ مورد بررسی روند قرار گرفتند. داده های اقلیمی حوضه نیز از ایستگاه‌های هواشناسی در بالادست حوضه اخذ شده که در دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۵۰ مورد تحلیل قرار گرفتند. در شکل (۱) موقعیت حوضه لیقوان‌چای نشان داده شده است. در جدول ۱ مشخصات آماری داده‌های هیدرواقلیمی مورد استفاده ارائه شده است.

آزمون من‌کندال اصلاح شده (MK3)

شکل کلاسیک آزمون ناپارامتری من‌کندال (MK1) در مقالات متعدد ارائه شده و در اینجا صرف‌نظر می‌گردد (۱۶،۱۰). آزمون اصلاح شده من‌کندال توسط حامد و رائو (۵) ارائه گردیده است. در این روش، اثر همه ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از سری داده‌ها حذف‌شده و برای سری‌هایی به‌کار می‌رود که ضرایب خودهمبستگی آنها حداقل در یک مورد معنی‌دار می‌باشد. برای این‌کار، ابتدا واریانس اصلاح شده یا $V(S)^*$ به‌شرح زیر محاسبه می‌شود:

(رابطه ۱)

$$V(S)^* = V(S)\frac{n}{n^*}$$

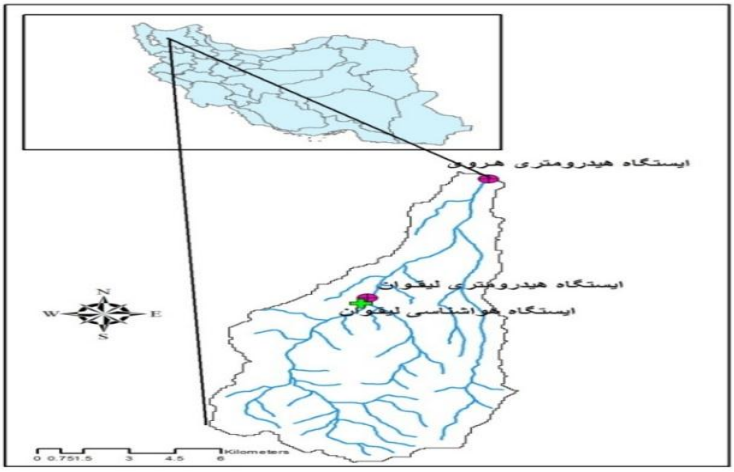
(رابطه ۲)

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)}\sum_{i=1}^{n-1}(n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i$$

جدول ۱- مشخصات آماری داده‌های هیدرواقلیمی مورد استفاده در مقیاس سالانه

Table 1. Statistical parameters of the hydroclimatic annual data

پارامتر	دبی هروی (m^3s^{-1})	دبی لیقوان (m^3s^{-1})	بارش (mm)	دمای میانگین (° C)	دمای حداکثر (° C)	دمای حداقل (° C)	اختلاف دمای حداقل و حداکثر (° C)	نم نسبی (%)
Mean	۰/۶۰۴	۰/۷۸۹	۳۳۶/۶	۶/۸	۱۳/۲	۰/۵	۱۲/۷	۵۸/۷
Max	۱/۲۵۸	۱/۳۹۱	۵۱۶/۱	۹/۲	۱۶/۶	۳/۱	۱۶/۸	۶۹/۴
Min	۰/۲۵۴	۰/۳۶۹	۱۸۶/۷	۴/۰	۱۰/۳	-۱/۹	۱۰/۰	۴۶/۸
Stdv	۰/۲۳۴	۰/۲۳۵	۸۰/۶	۱/۲	۱/۵	۱/۲	۱/۵	۶/۶
C.V.	۰/۳۸۷	۰/۲۹۸	۰/۲۳۹	۰/۱۷۶	۰/۱۱۳	۲/۴	۰/۱۱۸	۰/۱۱۲



شکل ۱- موقعیت حوضه لیقوان‌چای

Figure 1. Location of the Lighvan basin

که در آن r_i ضریب خودهمبستگی با تاخیر i و n تعداد داده‌ها بوده و $V(S)$ از رابطه ۳ قابل محاسبه است.

(رابطه ۳)

$$V(S) = [n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{n} t_i(t_i - 1)(2t_i + 5)]/18$$

که در آن t_i گروه‌های با داده مشابه در دسته i ام می‌باشد. برای محاسبه آماره Z من‌کندال اصلاح شده (MK3)، $V(S)$ با $V(S)^*$ جایگزین می‌گردد. مقدار $|Z|$ محاسبه شده چنانکه بیشتر از ۱/۶۴، ۱/۹۶ و ۲/۳۳ باشد روند به‌ترتیب، در سطح اعتماد ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار تلقی خواهد شد (۲).

آزمون پتیت

آزمون پتیت یک تست ناپارامتری است که برای تشخیص یک نقطه تغییر در سری‌های هیدرولوژیکی یا اقلیمی با داده‌های پیوسته بکار برده می‌شود و توسط پتیت (۱۷) ارائه شده است. در این آزمون برای تعیین یک تغییر، از یک ویرایش تست دو نمونه‌ای من- ویتنی استفاده می‌کند:

(رابطه ۴)

$$D_{ij} = Sgn(x_i - x_j)$$

که Sgn تابع علامت است. آماره $U_{t,T}$ که معادل آماره من- ویتنی برای تست است به‌شرح زیر محاسبه می‌شود:

(رابطه ۵)

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=i+1}^{T} D_{ij}$$

آماره $U_{t,T}$ مقادیر t در بازه $1 \le t < T$ را در بر می‌گیرد. برای آزمون از آماره فوق به‌شکل زیر استفاده می‌شود:

(رابطه ۶)

$$K_T = \max|U_{t,T}|$$

نقطه تغییر سریع سری در K_T قرار دارد و احتمال معنی‌داری K_T در سطح ۵ درصد با رابطه زیر تقریب شده است:

(رابطه ۷)

$$p \cong 2\exp\left(\frac{-6K_T^2}{T^3+T^2}\right)$$

در روابط ۵ تا ۷، T تعداد داده‌های سری زمانی است.

پیش بینی آبدهی حوضه

پس از تعیین نقطه شکست و تغییر ناگهانی پارامترهای مورد بررسی به‌ویژه داده‌های آبدهی حوضه با روش پتیت، به‌منظور تعیین پیش‌بینی مقادیر آبدهی طبیعی (یعنی با حذف اثرات انسانی) در دوره دوم و یا همان دوره تغییر یافته، در دوره اول آماری مدل رگرسیونی برای تابع دبی با بکارگیری متغیرهای اقلیمی حوضه تشکیل گردید. مقادیر دبی در دوره دوم با لحاظ همان متغیرهای اقلیمی موثر در رواناب حوضه پیش‌بینی می‌گردد که در این‌صورت فقط عوامل طبیعی و اقلیمی در ایجاد رواناب دخالت داده شده و نقش عوامل انسانی منظور نمی‌شود.

تعیین سهم عوامل اقلیمی و انسانی در تغییرات رواناب

تعیین سهم عوامل طبیعی و انسانی در تغییرات رواناب حوضه هدف عمده تحقیق می‌باشد. برای کمی نمودن اثرات تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی و جداسازی سهم هرکدام از این دو از بسط یک مدل تجربی که توسط لی و همکاران (۱۴) ارائه شده بود استفاده می‌گردد. شکل کلی مدل بکار رفته به‌صورت زیر است:

(رابطه ۸)

$$Q_k = a\,(P_k/PE_k)^b + c$$

a وb و c ضرایب ثابت که از دوره زمانی طبیعی (تاثیر نیافته) بدست می‌آید، Q رواناب، P بارش، PE تبخیر تعرق پتانسیل و k اندیس مربوط به سال است. البته در این تحقیق رابطه تجربی مورد استفاده توسط لی و همکاران یعنی رابطه (۸) با استفاده از وارد کردن سایر پارامترهای اقلیمی (مانند دمای میانگین، حداکثر و حداقل، نم‌نسبی، تعداد روزهای یخبندان و ...) که در بخش تحلیل روند بکار رفته است توسعه داده شد و بهترین رابطه با بکار بردن روش‌های رگرسیون چندگانه و رگرسیون ریج بدست آمد.

سهم عوامل اقلیمی و انسانی از کل تغییرات رواناب بر حسب درصد به‌ترتیب از روابط (۹) و (۱۰) قابل محاسبه است (۴):

(رابطه ۹)

$$C_c = \Delta Q_c/\Delta Q * 100 = (Q_{sim}-Q_{nat})/\Delta Q * 100$$

(رابطه ۱۰)

$$C_h = \Delta Q_h/\Delta Q * 100 = (Q_{sim} - Q_{imp})/\Delta Q * 100$$

(رابطه ۱۱)

$$\Delta Q = \Delta Q_c + Q_h$$

اندیس‌های c، h، sim، nat و imp به‌ترتیب مربوط به اقلیم، فعالیت‌های انسانی، شبیه‌سازی شده، دوره طبیعی و دوره متاثر می‌باشد.

نتایج و بحث

بررسی روند تغییرات عوامل هیدرواقلیمی

نتایج حاصل از بررسی روند در مورد داده‌های آبدهی در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه لیقوان‌چای نشان داد در مقیاس سالانه، دبی جریان در ایستگاه هروی واقع در پایین‌دست حوضه دارای روند نزولی (در سطح ۱۰ درصد) می‌باشد. روندهای منفی برای همه ماه‌های سال نیز وجود دارد به‌طوری‌که شدیدترین آن مربوط به ماه تیر (Z=-۳/۱۸) می‌باشد. در ایستگاه لیقوان واقع در بالادست حوضه، آبدهی سالانه نزولی بوده ولی سطح معنی‌داری آن کمتر از ۱۰ درصد (Z=-۱/۰۳) می‌باشد. مقدار جریان در ماه‌های سال نیز به‌غیر از فروردین و اردیبهشت نزولی بوده و از خرداد تا شهریور روند کاهشی معنی‌دار است. در مقیاس فصلی در هر چهار فصل سال، در هر دو ایستگاه روند نزولی وجود دارد که در هروی در تمام فصول معنی‌دار بوده و در لیقوان در تابستان معنی‌دار می‌باشد (۱درصد). نتایج تحقیق بهره‌مند و همکاران (۱) نیز در رابطه با تحلیل روند تغییرات بارش و دبی در غرب دریاچه ارومیه نشان داد دبی در اکثر موارد روند کاهشی دارد. عموم متغیرهای اقلیمی حوضه مانند بارش، دما(میانگین، حداکثر، حداقل، اختلاف حداکثر و حداقل)، نم‌نسبی و تبخیر مورد بررسی روند قرار گرفت. نتایج نشان داد اکثر متغیرهای دمایی حوضه در مقیاسهای مختلف زمانی روند افزایشی داشتند. در مورد بارش، نتایج نشان داد در تمام مشخصه‌های بارش در فصل بهار روند کاهشی وجود دارد که بیانگر اثرات منفی آن در جریان رودخانه حوضه می‌باشد. چنانکه در اوایل دوره آماری بارش‌های قابل توجهی در فصل بهار (از جمله بارش‌های موسوم به نیسان) نازل می‌شد و در ایجاد رواناب حوضه نقش به‌سزایی داشت که نتایج حاصله از بررسی روند

نشان داد این گونه نزولات روند کاهشی داشته است. در فصل پاییز علی‌رغم روند افزایشی کل بارش، نزولات جامد (برف) روند کاهشی داشته و نیز بارش‌های سنگین و جریان‌ساز نیز روند نزولی دارند که این موضوع نیز در راستای کاهش رواناب قابل توجیه می‌باشد. خوش‌روش و همکاران (۱۲) در تحقیقی در رابطه با بررسی روند تغییرات بارش شمال کشور با استفاده از آزمون من‌کندال نشان دادند روند تغییرات از لحاظ زمانی و مکانی در منطقه متفاوت است. در رابطه با مقادیر نم‌نسبی نتایج نشان داد بطورکلی دارای روند منفی بوده ولی سطح معنی‌داری پایین است و شدیدترین روند نزولی مربوط به ماه بهمن می‌باشد (Z برابر ۱/۵۴-). بارش در زمستان و تابستان عموما روند مثبت دارند که هر کدام می‌تواند تفسیر جداگانه‌ای داشته باشد، به‌طوری‌که روند افزایشی مشخصه‌های بارش در زمستان شاید با روند صعودی متغیرهای دما و کاهش رطوبت‌نسبی نتوانسته نقش مثبتی در افزایش رواناب حوضه داشته باشد.نتایج آزمون روند در مقیاس فصلی و سالانه در جدول (۲) ارائه شده است.

در بررسی وجود تغییر نقطه‌ای (سریع) در سری‌های مورد مطالعه با آزمون پتیت، چنانکه در جدول (۳) ارائه شده نتایج نشان داد در رابطه با ایستگاه هروی در خروجی حوضه، نقطه تغییر ناگهانی در سال ۱۹۹۵ تشخیص داده شده و دوره آماری مقادیر دبی سالانه به دو دوره ۱۹۹۵-۱۹۷۰ و ۲۰۱۴-۱۹۹۶ تقسیم گردید. ولی در بالادست حوضه در ایستگاه لیقوان تغییر نقطه‌ای تشخیص داده نشد که احتمالاً بدلیل اثر فعالیت‌های انسانی در پایین‌دست می‌باشد چون در پایین‌دست لیقوان تا خروجی حوضه افزایش برداشت از رودخانه و مصارف آب بدلیل افزایش جمعیت و تغییر کاربری اراضی و الگوی کشت گزارش شده است. در شکل ۲ نحوه تغییرات نقطه‌ای آبدهی در بالادست و پایین دست حوضه لیقوان نشان داده شده است. مقایسه متوسط آبدهی ایستگاه هروی در دو دوره آماری حاکی از کاهش ۳۶ درصدی در دوره اخیر (متاثر) نسبت به دوره طبیعی اول می‌باشد.

جدول ۲- نتایج تست من‌کندال (مقادیرآماره Z) برای پارامترهای هیدرواقلیمی حوضه لیقوان.

Table 2. Results of the Mann-Kendall test (Z values) for the hydro-climatic variables of Lighvan basin

متغیر	دبی هروی	دبی لیقوان	بارش	دمای میانگین	دمای حداکثر	دمای حداقل	اختلاف دمای حداقل و حداکثر	نم نسبی
پاییز	-۲/۳۸$^{++}$	-۱/۷۷	۱/۷۰	۰/۲۲	۱/۱۶	۰/۰۱	۰/۷۴	۰/۰۸
زمستان	-۳/۱۲$^{++}$	-۰/۶۸	۱/۸۰	۲/۴۴$^{++}$	۱/۸۶	۱/۸۲	۱/۶۱	-۱/۶۳
بهار	-۱/۸۷	-۰/۲۹	-۰/۷۶	۲/۴۴$^{++}$	۱/۸۶	۰/۷۱	۱/۶۱	-۰/۶۰
تابستان	-۳/۳۰$^{++}$	-۲/۳۸$^{++}$	۱/۷۹	۰/۵۰	۱/۳۹	-۰/۲۸	۰/۶۳	-۰/۱۶
سالانه	-۱/۷۳	-۱/۰۳	۰/۱۴	۱/۵۲	۱/۸۲	۰/۵۴	۱/۳۹	-۰/۶۱

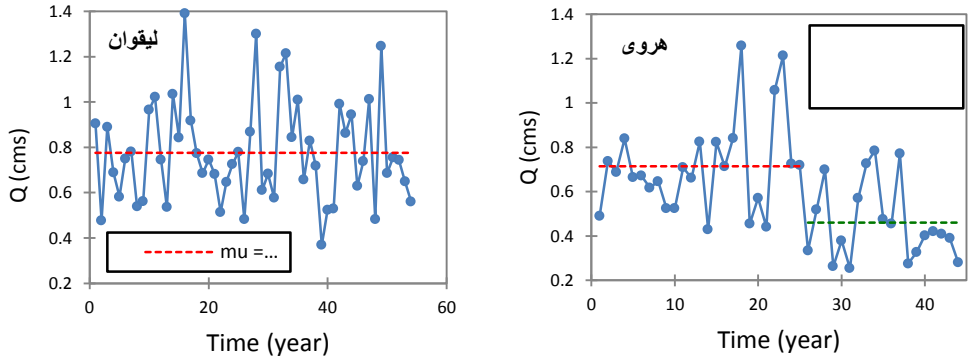
توجه: ارقام پررنگ و علامت‌های + و ++ به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری روند در سطح ۱۰ درصد، ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد

جدول ۳- نتایج آزمون پتیت در رابطه با بررسی وجود نقطه تغییر پارامترهای حوضه لیقوان در مقیاس سالانه

Table 3. The Pettitt test results for the annual hydro-climatic variables in Lighvan basin

متغیر	k	p-value	نقطه تغییر	متوسط دوره اول	متوسط دوره دوم
دبی هروی	۳۱۲	۰/۰۰۰۴$^{++}$	۱۹۹۵	۰/۷۱۴	۰/۴۶۰
دبی لیقوان	۱۱۰	۰/۹۳۴	–	–	–
بارش	۲۰۶	۰/۰۴۹$^{+}$	۲۰۰۱	۳۱۳/۵	۳۸۹/۸
دمای میانگین	۲۴۱	۰/۰۱۴+	۱۹۹۸	۶/۴	۷/۵
دمای حداکثر	۲۵۶	۰/۰۰۷$^{++}$	۱۹۹۳	۱۲/۵	۱۴
دمای حداقل	۲۳۸	۰/۰۱۶$^{+}$	۱۹۹۸	۰/۱	۱/۲
اختلاف دمای حداکثر و حداقل	۲۳۴	۰/۰۱۶$^{+}$	۱۹۷۸	۱۰/۹	۱۳/۱
نم‌نسبی	۲۴۴	۰/۰۱۲$^{+}$	۲۰۰۲	۶۰/۶	۵۳/۵
آب معادل برف	۱۴۲	۰/۳۴	–	–	–

توجه: علامت‌های + و ++ به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری روند در سطح ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد



شکل ۲- تغییرات آبدهی سالانه حوضه لیقوان‌چای در ایستگاه‌های بالادست (لیقوان) و پایین‌دست حوضه (هروی)

Figure 2. Changes in annual discharge of the Lighvan River in upstream (Lighvan Station) and downstream of the basin (Hervy Station)

شبیه‌سازی رواناب حوضه

برای تشکیل مدل‌های رگرسیونی برای شبیه‌سازی آبدهی در دوره اول متغیرهای متعدد اقلیمی (سالانه و فصلی) که بیش از ۲۰ متغیر را شامل می‌شد، وارد شده و مدل‌های بهینه بر اساس آماره‌های تعیین انتخاب گردید که خلاصه نتایج حاصل در جدول ۴ ارائه شده است. چنان‌که ملاحظه می‌شود در مدل‌های بدست آمده از روش فوروارد به‌جهت حذف تورم واریانس و همپوشانی متغیرهای وارد شده، تعداد زیادی از متغیرهای اقلیمی حذف می‌گردند و در مدل ارائه شده شرکت نمی‌کنند در حالی‌که برخی از آنها به‌طور فیزیکی در ایجاد رواناب حوضه موثرند. بدین‌منظور و برای شرکت دادن اکثر متغیرهای اقلیمی که به‌صورت تحلیلی و فیزیکی در تولید رواناب خروجی حوضه موثر تشخیص داده‌شد از روش رگرسیون ریج استفاده گردید که در این روش تورم واریانس حاصل از رگرسورهای وارده حذف می‌گردد. مناسب‌ترین مدل برای شبیه‌سازی جریان رودخانه مدل model1-1 انتخاب گردید.

بنابراین رابطه لی (رابطه ۸) بر اساس مدل انتخابی به‌شکل زیر استخراج و ارائه گردید:

$$Q=-0.548+5.253E\text{-}04P-2.743E\text{-}02T_{mean}+1.091E\text{-}02RH+2.981E\text{-}03FD+1.764Snow/p_{spring}+8.930E\text{-}04P_{autumn}$$

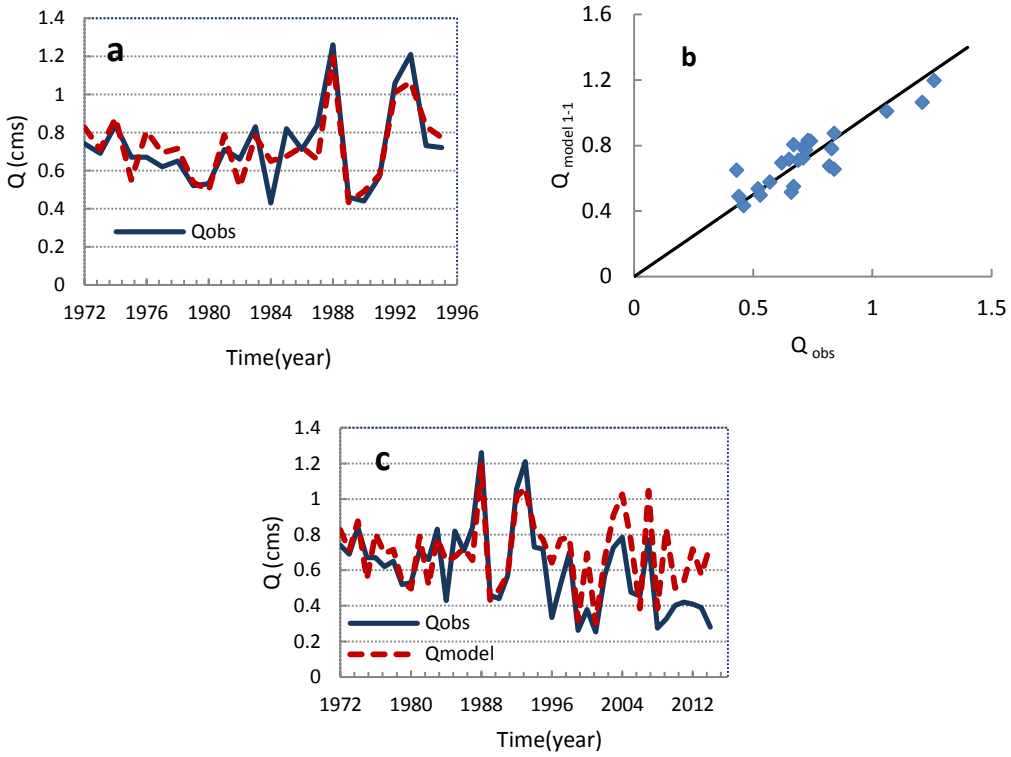
در شکل 3-a مقایسه ارقام دبی ایستگاه هروی مشاهداتی و محاسباتی حاصل از مدل بهینه ۱-۱ برای دوره اول آماری نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد ارقام مشاهداتی و محاسباتی به‌طور مناسب انطباق دارند. در شکل ۳-b نیز نمودار پراکنش ارقام مزبور ارائه شده است که نشان می‌دهد به‌طور قابل قبول نقاط حول نیمساز قرار گرفته‌اند. در شکل 3-c مقایسه مقادیر مشاهداتی و حاصل از مدل انتخابی برای کل دوره آماری نشان داده شده است. در واقع دوره اول ۹۵-۱۹۷۰ (که همان شکل a است) دوره طبیعی یا ایستا بوده و بعد از آن در دوره دوم (۲۰۱۴-۱۹۹۶) مقادیر حاصل از مدل با وارد کردن متغیرهای اقلیمی دوره دوم بدست آمده است. یعنی تغییرات اقلیمی در آن وارد شده و مورد انتظار بوده است. در حالی‌که اختلاف معناداری بین دو سری آبدهی دیده می‌شود که ناشی از عوامل انسانی است و در محاسبات منظور نشده است.

جدول ۴- خلاصه نتایج مربوط به تشکیل مدل‌های شبیه‌سازی رواناب حوضه

Table 4. Best input variables selected by three models based on statistical measures

مدل	متغیرها	R^2	RMSE
Model- forward	RH, Snow/P_{Spring} , P_{autumn}	۰/۷۵	۰/۱۱۴
Model 1-1	P, T_{mean}, RH, FD, Snow/P_{Spring}, P_{autumn}	۰/۷۸	۰/۱۱۷
Model 1-2	P, T_{mean}, RH, FD, Snow/P_{Spring}, P_{autumn}	۰/۵۲	۰/۱۴۸

توجه: مدل‌های Model 1-1 و Model 1-2 حاصل از رگرسیون ریج بوده و به‌ترتیب برای دوره اول و دوم می‌باشد.



شکل ۳- مقایسه مقادیر دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی با مدل ۱-۱ در دوره اول و کل دوره آماری

Figure 3. Comparison of the observed and simulated flow values of the model1-1 in the first period (a) and the total statistical period (c)

تعیین سهم عوامل اقلیمی وانسانی در کاهش رواناب

سهم هر یک از مجموعه عوامل اقلیمی و انسانی در کاهش آبدهی خروجی حوضه لیقوان‌چای در ایستگاه هروی، بر مبنای روابط ارائه شده در بخش مواد و روش‌ها محاسبه گردید که خلاصه آن در جدول ۵ درج شده است.

جدول ۵- نتایج مربوط به برآورد سهم عوامل اقلیمی و انسانی در کاهش رواناب حوضه

Table 5. The results of contribution of climatic and human factors in river flow reduction

C_h (٪)	C_c (٪)	ΔQ_h (cms)	$\bar{Q}_{sim(2)}$ (cms)	$\bar{Q}_{sim(1)}$ (cms)	C (٪)	ΔQ (cms)	$\bar{Q}_{imp}$ (cms)	$\bar{Q}_{nat}$ (cms)	مدل
۷۷	۲۳	–	–	۰/۶۶۳	۳۶/۶	۰/۲۶۵	۰/۴۵۹	۰/۷۲۴	model 1-1

چنان‌که ملاحظه می‌شود سهم عوامل اقلیمی در کاهش رواناب حوضه در روش اول حدود ۲۳ درصد و عوامل انسانی ۷۷ درصد می‌باشد. در ضمن قابل ذکر است در سایر مدل‌های انتخابی که در اینجا ارائه نگردید نیز سهم عوامل انسانی بیشتر از عوامل اقلیمی محاسبه گردید و تقریبا سهم عوامل اقلیمی حدود یک سوم کل تغییرات را در بر می‌گرفت و دو سوم بقیه ناشی از عوامل انسانی برآورد گردید.

راهکارهای پیشنهادی برای کاهش اثرات منفی فعالیت‌های انسانی در حوضه می‌تواند شامل کنترل مصارف و توجه به الگوی کشت و نیز جلوگیری از افزایش بی‌رویه سطوح زیر کشت آبی به‌ویژه توسعه باغات باشد و به‌طورکلی با توجه به بیلان آبی حوضه و منابع محدود آن برنامه‌ریزی و مدیریت صورت گیرد.

با توجه به نتایج بدست آمده در مدل انتخابی بهینه برای پیش‌بینی جریان رودخانه می‌توان دریافت که اولاً روش رگرسیون ریج در مقایسه با سایر روش‌های ساده رگرسیون نتایج بهتری می‌دهد و پارامترهای موثر اقلیمی را که به‌صورت تحلیل فیزیکی نیز ضروری تشخیص داده می‌شود، در مدل نگه می‌دارد. ثانیاً ملاحظه گردید متغیرهایی مانند نسبت برف به کل بارش بهار و بارش پاییز و حتی نم‌نسبی در مدل‌های مختلف شرکت داده شده و نقش موثری در مقدار رواناب حوضه دارند، یعنی توجه به نوع بارش (برف) و توزیع زمانی بارش (فصول پاییز و بهار) را ضروری می‌سازد. در حالیکه در برخی مطالعات قبلی از جمله تحقیقات گو و همکاران (۴) و تان و گان (۱۸) و سایر فقط مجموع بارش سالانه (P) و تبخیرتعرق (PET) بکار رفته و جزئیات عوامل اقلیمی منظور نشده است.

نتایج تست من‌کندال و پتیت در مورد بررسی تغییرات تدریجی و ناگهانی جریان رودخانه در بالادست و پایین‌دست حوضه نشان داد در بالادست حوضه (ایستگاه لیقوان) هرچند روند نزولی تدریجی وجود دارد ولی افت ناگهانی وجود ندارد. در پایین‌دست حوضه (ایستگاه هروی) افت سریع جریان رودخانه بسیار معنی‌دار بوده و روند نزولی تدریجی نیز شدیدتر است. لذا می‌توان این بحث را مطرح نمود نظر به اینکه شرایط اقلیمی حوضه تقریبا یکنواخت است پس نقش اقدامات انسانی مانند تغییر سطوح و الگوی کشت و برداشت آب برای مصارف شرب نواحی شهری در تغییرات جریان رودخانه برجسته‌تر می‌باشد. مطالعات یه و همکاران (۲۲) در حوضه پویانگ واقع در یانگ تسه نیز نشان‌داد روند تغییرات جریان رودخانه در مقاطع مختلف مکانی حوضه متفاوت است.

برآورد سهم عوامل اقلیمی و انسانی در تغییرات جریان حوضه مورد مطالعه با استفاده از دو مدل بکار رفته نشان‌داد سهم عوامل انسانی بیشتر از عوامل اقلیمی می‌باشد و نتایج هر دو مدل انتخابی نیز تقریبا یکسان بوده و تفاوت فاحشی ندارند. در برخی مدل‌های تست شده در این تحقیق که در اینجا ارائه نگردید نیز سهم عوامل اقلیمی حداکثر یک سوم کل تغییرات را ناشی می‌شد و دو سوم بقیه مربوط به اقدامات انسانی بود.

از جمله اقدامات انسانی می‌توان به حفر بیش از ۶۰ حلقه چاه در حوضه مورد مطالعه برای تامین آب شرب تبریز در سال ۸۰- ۱۳۷۹ اشاره نمود. همچنین تحقیقات خالقی (۱۱) نشان داده اراضی مسکونی در منطقه حدود ۸۸ درصد افزایش داشته و مساحت باغات بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۱ حدود ۲۸ درصد افزایش دارد. البته اگر این تحقیق در حوضه‌های دیگر منطقه انجام شود نتایج ممکن است متفاوت باشد ولی انتظار می‌رود از یک رویه عمومی تبعیت کند (پیشنهاد می‌شود در چند حوضه دیگر نیز این مطالعه تکرار شود). مطالعات قبلی محققین نیز نتایج متفاوتی در حوضه‌های متفاوت داشته است. بطوریکه مطالعات هو و همکاران (۸) نشان داد سهم عوامل انسانی و اقلیمی به‌ترتیب ۳۸-۴۰٪ و ۶۲-۶۰٪ می‌باشد. نتایج مطالعات ژان و همکاران (۲۳) نیز مشابه آن بود. تحقیقات جیانگ و همکاران (۹) نشان داد سهم عوامل انسانی در تغییرات جریان رودخانه ۹۳-۸۹٪ می باشد. در برخی حوضه‌های مورد مطالعه اثر عوامل اقلیمی بر رواناب مثبت بوده و عوامل انسانی منفی می‌باشد که در مجموع باعث کاهش رواناب شده است (۲۵).

لازم به‌ذکر است تخمین‌های انجام یافته با استفاده از مدل‌های مورد استفاده عدم قطعیت‌هایی نیز دارد. از جمله خطاهای احتمالی داده‌های مورد استفاده. همچنین شاید قسمتی از مقدار اختلاف جریان برآوردی ناشی از اقدامات انسانی در دو پرید زمانی (طبیعی و متاثر) مربوط به خطای مدل باشد. ولی این عدم قطعیت‌ها به‌نظر می‌رسد در نتیجه‌گیری کلی تاثیر قابل توجهی نداشته باشد.

نتایج بررسی روند آبدهی حوضه نشان از روند کاهشی در اکثر مقیاس‌های زمانی دارد، و بررسی روند عوامل اقلیمی حاکی از افزایش متغیرهای دمایی و کاهش نم‌نسبی در حوضه می‌باشد. نتایج آزمون پتیت زمان تغییر نقطه‌ای و سریع عموم متغیرهای مورد بررسی را میانه دهه ۱۹۹۰ نشان می‌دهد. در یک جمع‌بندی آنچه که از تحلیل اثرات عوامل اقلیمی و انسانی در تغییرات آبدهی حوضه مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت این است که در عموم مدل‌های شبیه‌سازی آبدهی مورد استفاده و نیز دو رویکرد محاسباتی بکار رفته، سهم فعالیت‌ها و عوامل انسانی در تغییرات رواناب خروجی حوضه بیشتر از سهم عوامل اقلیمی بوده است به‌طوری‌که میزان سهم عوامل انسانی در کلیه مدل‌های بکار رفته بین ۶۵ تا ۸۴ درصد بوده و به‌تبع آن سهم عوامل اقلیمی در بازه ۳۵ تا ۱۶ درصد تخمین زده شد. پس در کنار تاثیر متغیرهای طبیعی و اقلیمی، نقش فعالیت‌های انسانی در حوضه قابل توجه بوده است و ضرورت بازنگری در برنامه‌های مدیریت منابع آب و خاک حوضه و اتخاذ راهکارهای مناسب در جهت حفاظت منابع آب و خاک در حوضه‌های آبریز را بیش از پیش نمایان می‌سازد.

منابع

1. Bahremand, A., G. Hamdami and E. Saniyi. 2013. Long-Term Changes Trend Analysis in Rainfall and Discharge in West Lake Urmia. Journal of Watershed Management Research, 4(8): 43-57 (In Persian).
2. Dinpazhooh, Y., F. Niazi and H. Mofid. 2015. Trend analysis and considering effect of meteorological parameters in Tabriz. Journal of Geography and Planning, 19(51): 145-169 (In Persian).
3. Gao, P., V. Geissen, C.J. Ritsema, X. Mu and F. Wang. 2013. Impact of climate change and anthropogenic activities on stream flow and sediment discharge in the Wei River basin, China. Hydrology and Earth System Sciences, 17: 961-972.
4. Guo, Y., Z. Li, M.A. Boateng, P. Deng and H. Pengnian. 2014. Quantitative assessment of the impact of climate variability and human activities on runoff changes for the upper reaches of Weihe River. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 28(2): 333-346.
5. Guo, A., Q. Huang and Y. Wang. 2015. Quantitative study of impacts of climate change and human activities on runoff in Beiluohe River basin. Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources, IAHS Publ, 368: 263-268.
6. Hamed, K.H. and A.R. Rao. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for auto correlated data. Journal of Hydrology, 204: 182-196.
7. Hood, M. 2011. Increased flooding driven by climate change. African Network of Environmental Journalists (ANEJ.

8. Hu, S., H. Zheng, Z. Wang and J. Yu. 2012. Assessing the impacts of climate variability and human activities on streamflow in the water source area of Baiyangdian Lake. Journal of Geographical Sciences, 22(5): 895-905.
9. Jiang, S., L. Ren, B. Yong, V.P. Singh, X. Yang and F. Yuan. 2011. Quantifying the effects of climate variability and human activities on runoff from the Laohahe basin in northern China using three different methods. Hydrological Processes, 25(16): 2492-2505.
10. Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods. Griffin, London, England.
11. Khalegi, S. 2014. The Evaluation of morphologic changes of river in drainage basins in response to land use changes (case study: Lighvan Chai catchment). Thesis approved for Ph.D Degree in Geomorphology, University of Tabriz.
12. Khoshravesh, M., M. Mirnaseri and M. Pesarakloo. 2017. Change Detection of Precipitation Trend of Northern Part of Iran using Mann- Kendall Non-Parametric Test. Journal of Watershed Management Research, 8(16): 223-231 (In Persian).
13. Li, F., G. Zhang and Y. Xu. 2014. Separating the impacts of climate variation and human activities on runoff in the Songhua River basin. Northeast China. Water, 6: 3320-3338.
14. Li, L., L. Zhang, J. Wang, J. Yang, D. Jiang, J. Li and D. Qin. 2007. Assessing the impact of climate variability and human activities on streamflow from the Wuding River basin in China. Hydrological Processes, 21: 3485-3491.
15. Ma, H., D. Yang, S. Tan, B. Gao and Q. Hu. 2010. Impact of climate variability and human activity on streamflow decrease in the Miyun Reservoir catchment. Journal of Hydrology, 389(3-4): 317-324.
16. Mann, H.B. 1945. Non-parametric tests against trend. Econometrica, 33: 245-259.
17. Pettitt, A.N. 1979. A non-parametric approach to the change point problem. Applied Statistics, 28(2): 126-135.
18. Tan, X. and T.Y. Gan. 2015. Contribution of human and climate change impacts to changes in streamflow of Canada. Scientific Reports, 5.
19. Wang, D. and M. Hejazi. 2011. Quantifying the relative contribution of the climate and direct human impacts on mean annual streamflow in the contiguous United States. Water Resources Research, 47.
20. Wang, H., L. Chen and X. Yu. 2016. Distinguishing human and climate influences on streamflow changes in Luan River basin in China. Catena, 136: 182-188.
21. Yao, H., C. Shi, W. Shao, J. Bai and H. Yang. 2015. Impacts of climate change and human activities on runoff and sediment load of the Xiliugou basin in the upper Yellow river. Advances in Meteorology, 12-25.
22. Ye, X., Q. Zhang, J. Liu, X. Li and C. Xu. 2013. Distinguishing the relative impacts of climate change and human activities on variation of streamflow in the Poyang Lake catchment, China. Journal of Hydrology, 494: 83-95.
23. Zhan, C.S., S.S. Jiang, F.B. Sun, Y.W. Jia, C.W. Niu and W.F. Yue. 2014. Quantitative contribution of climate change and human activities to runoff changes in the Wei River basin, China, Hydrology and Earth System Sciences, 18: 3069-3077.
24. Zhang, Y., D. Guan, C. Jin, A. Wang, J. Wu and F. Yuan. 2011. Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in northeast China. Journal of Hydrology, 410(3–4-22): 239–247.Zhao, C., C. Liu, X. Dai, T. Liu, Z. Duan, L. Liu and S.M. Mitrovic. 2015. Separation of the impacts of climate change and human activity on runoff variations. Hydrological Sciences Journal, 60(2): 234-246.

Trend Analysis of the Streamflow in the Lighvan River Hydrometric Stations (Upstream and Downstream)

Reza Kanani[1], Ahmad Fakheri Fard[2], Mohammad Ali Ghorbani[3] and Yaaghob Dinpashoh[3]

1- Ph.D. Candidate, Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran
(Corresponding Author: rezakanani@gmail.com)
2- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran
Received: 2 September 2018 Accepted: 29 December 2018

Abstract

In recent years, rivers flows have significantly decreased due to regional or global climate change and human activities especially in the arid and semi-arid regions. In this study, the effect of climate change and human activities on the runoff responses was examined using hydrologic model simulation in the Lighvan basin located in the northwest of Iran. For determination of hydrologic model MLR methods (Forward and Ridge) were used. The Mann–Kendall test was applied to identify the trends in hydro-climatic data series. Also, the Pettitt's test was adapted to detect change-points in the annual discharge values and climatic variables. The results showed that there was negative trend in discharge data series, so that in Hervy station it significant at 10%. Examination of the climatic factors indicated that there was an increase in the temperature values and a decrease in the relative humidity values at the basin. Also all variables related to precipitation in spring have decrease trends. The rapid changes in runoff values and most of the climatic variables occurred in mid-1990s. Comparison of the average discharge in the Hervy Station in the two periods indicates 36% decrease in the recent period compared to the natural period. The effect percentages of the human factors and climatic factors on runoff reduction in all the models used were 65%-84% and 16%-35%, respectively. Therefore, the impact of human activities on the river flow changes was significant.

Keywords: Climate change, Change point, Human activities, Lighvan River, Pettitt