علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره پنج ، مردادماه ۹۸

تحلیل نقاط تغییر در سری زمانی دبی برخی ایستگاه‌های هیدرومتری استان گلستان

ابراهیم عسگری[۱]

رئوف مصطفی‌زاده[۲] *

raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

خدیجه حاجی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۱۹ **تاریخ پذیرش:۹۵/۱۰/۸**

چکیده

زمینه و هدف: تحلیل نقاط تغییر (Change Point Analysis) تکنیکی برای تعیین محل بالقوه تغییر در یک سری زمانی از داده‌ها است. بنابراین، این پژوهش با هدف تعیین و تحلیل نقاط تغییر در داده‌های مربوط به دبی سالانه ۲۰ ایستگاه هیدرومتری حوزه آبخیز گرگانرود در طول دوره آماری ۳۴ ساله صورت گرفت.

روش بررسی: سپس تعداد و زمان نقاط تغییر در داده‌های میانگین دبی تعیین، و میزان و نوع تغییر نیز از آن استخراج گردید، و نتایج این تحلیل‌ها با داده‌های میانگین دما و بارش کل ایستگاه‌ها مقایسه شد. براساس نتایج بدست آمده، مشخص گردید که بین تغییرات دبی (نقاط تغییر در دبی) با بارندگی ارتباط مستقیم معنی‌داری ($p<0.001$) وجود دارد، در حالی‌که ارتباط میان دما و دبی جریان از نوع معکوس بوده ولی از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از تحلیل نقاط تغییر در دبی نشان داد که نقاط تغییر در داده‌های مورد استفاده در این مطالعه بیش‌تر از نوع کاهشی و در مواردی نیز افزایشی و در برخی از ایستگاه‌ها اصلاً نقاط تغییری شناسایی نشده است. بنابراین تعداد تغییرات کاهشی در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه، به‌طور معنی‌دار بیش‌تر از تغییرات افزایشی بوده، و بیش‌تر در بازه زمانی سال‌های ۱۳۷۳، ۱۳۷۴ و ۱۳۷۷ به‌ترتیب در ۴، ۵ و ۳ ایستگاه نیزقابل مشاهده است. در صورتی که بیش‌ترین تغییرات افزایشی در بین ایستگاه‌ها مربوط به ایستگاه لزوره در سال‌های ۱۳۵۹ و ۱۳۹۰ به‌ترتیب برابر با مقادیر دبی ۳/۰۱ و۰/۹۰ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: بنابراین، می‌توان گفت که روش تحلیل نقاط تغییر امکان تعیین تغییرات دبی جریان و نیز مقدار تغییرات را فراهم نموده است، و اطلاع از روند تغییرات کاهشی یا افزایشی بارندگی و دبی در حوزه‌های آبخیز نقش مهمی در مدیریت منابع آب و امور مرتبط با مهندسی آب ایفا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل نقاط تغییر، دبی جریان، گرگانرود، سری زمانی، بوت استرپ.

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- استادیارگروه آموزشی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی،دانشگاه محقق اردبیلی *(مسوول مکاتبات)

۳- دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری،دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.5, July, 2019

Change point analysis of discharge time series in some hydrometric stations in Golestan Province

Ebrahim Asgari[1]
Raoof Mostafazadeh [2*]
raoofmostafazadeh@uma.ac.ir
Khadijeh Haji[3]

Admission Date: December 28, 2016 Date Received: October 10, 2016

Abstract

Background and Objective: Change point analysis technique is an important method to detect potential change in time series. Therefore, the main objective of this research is to determine and analysis of change points in the annual discharge of Golestan Province over 20 hydrometric stations in a 34-years period.

Methodology: Time and magnitude of change points have been defined and the results have been analysed along with variations of temperature and precipitation through the study area. According to the results, a significant positive correlation is exist between discharge and precipitation ($p<0.001$). While, the correlation between discharge and temperature had a negative non-significant correlation.

Findings: The results showed that the dominance of change points are decreasing over the study area along with some increasing and no change cases. The number of significant decreasing points were significantly higher than increasing changes and the major changes had occurred in the 1994, 1995, and 1998 years in 4, 5, and 3 stations, respectively (the decreasing points happened over 1994-1998-time span). The highest observed changes was related to Lazoureh station in 1980 and 2011 years which the values of changes in discharge were 3.01 and 0.9 cubic meter per seconds, respectively.

Discussion and Conclusion: It can be concluded that, the number and amount of changes in water discharge can be determined by the change point analysis technique. Understanding the trends decrease or increase in watershed rainfall and discharge have an important role in water resources management and water-related issues.

Keywords: Change point analysis, Water discharge, Gorganroud, Time series, Bootstrap

1- M.Sc. Student of Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

2- Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili. *(Corresponding author)

3- M.Sc. Student of Watershed Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

مقدمه

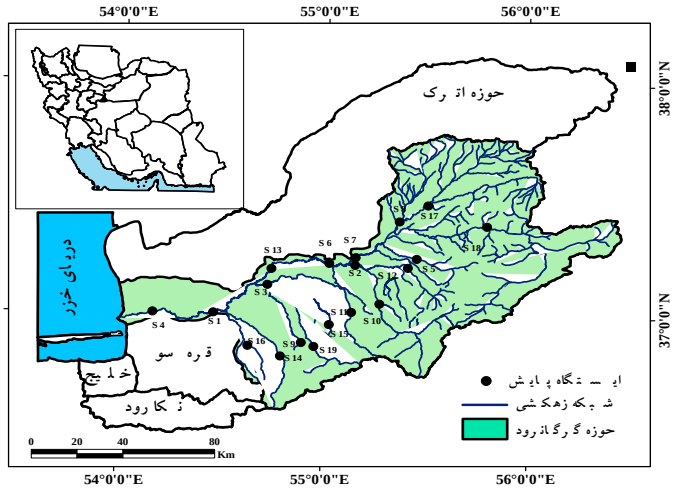
تحلیل روند تغییرات جریان رودخانه‌ها و بارش حوزه‌های آبخیز از مسایل مهم در مدیریت منابع آب حوضه‌ها می‌باشد (۱). بنابراین، تحلیل نقاط تغییر (Change Point Analysis) با هدف تشخیص تغییر در میانگین یک متغیر در داده‌های ثبت شده طولانی‌مدت، تغییر در خصوصیات آماری و تفاوت آن‌ها قبل و بعد از وقوع نقاط تغییر در سری‌های زمانی هیدرواقلیمی از نظر امکان برنامه‌ریزی استفاده از منابع آب و نیز پیش‌بینی وقوع خشک‌سالی دارای اهمیت است. فرآیندهای هیدرولوژیکی به‌شدت تحت‌تأثیر فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری اراضی، بهره‌برداری از منابع آب و نیز تغییرات آب و هوایی هستند(۲، ۳). سری‌های زمانی در تحلیل نقاط تغییر از همدیگر مستقل فرض می‌شوند (۴). با وجود تغییرات بالقوه در داده‌ها، بسیاری از روش‌های آماری معمولاً با فرض بدون تغییر اجرا می‌شوند.اولین تحقیقات در مورد تحلیل نقاط تغییر برای آزمون وجود تغییر در کنترل کیفی کارخانجات انجام گرفت، و پس از آن در مورد نقاط تغییر چندگانه، انواع مختلف داده‌ها به‌کار رفت. این روش تحت عناوین مرتبط قطعه‌بندی، شکست ساختار، نقاط شکست، تغییر ساختار و شناسایی بی‌نظمی مطرح و مورد ارزیابی قرار گرفته است (۵). بنابراین، روش تحلیل نقاط تغییر، ارزیابی روند سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و اقلیمی با استفاده از آزمون‌های آماری پارامتریک و ناپارامتریک می‌باشد. کاربرد روش تحلیل نقاط تغییر در داده‌های رتبه‌ای، تحت‌تأثیر داده‌های پرت قرار نمی‌گیرد و بهترین روش جهت شناسایی و مشخص کننده تغییرات با ارایه سطح و فاصله اطمینان است (۴،۶). روش مذکور برای ارزیابی داده‌های ثبت شده استفاده می‌شود، در روش تحلیل نقاط تغییر، در صورتی که همبستگی بیش از حد در داده‌ها وجود داشته باشد، برخی از تغییرات با اثر کاهشی خود اشتباه گرفته می‌شوند، که با به‌کارگیری روش بوت استرپ(Bootstrap) این مشکل برطرف شده است (۷). هم‌چنین تعیین محل نقاط تغییر در سری‌های زمانی می‌تواند از نوع افزایشی یا کاهشی باشد که پارامتر مورد نظر بیش‌تر یا کم‌تر از میانگین برآورد می‌شود (۸). الگوریتم‌های شناسایی تغییرات چندگانه شامل الگوریتم باینری (۹، ۱۰)، الگوریتم همسایگی (۱۱، ۱۲) و اخیراً روش یا الگوریتم PELT (Pruned Exact Linear Time) (۶)، هستند. تشخیص نقاط تغییر در مواردی هم‌چون تغییر اقلیم (۱۳)، برآورد تغییر خصوصیات آماری سری مشاهدات (۸)، برنامه‌های بیوانفورماتیکی (۱۴)، اقتصادی (۱۵)، اقیانوس‌شناسی (۱۶)، تغییرات شیمیایی خاک (۱۷)، جریان انرژی در نیروگاه‌های برق‌آبی(۱۸)، جریان رودخانه (۱۹) و تحلیل داده‌های اقلیمی (۲۰)، مورد استفاده قرار گرفته است. نمونه‌هایی از مطالعات مرتبط در خصوص تحلیل تغییرات در زیر ارایه شده است. مریانجی و همکاران (۱۳۸۷) روند تغییرات دبی رودخانه و روابط آن با پارامترهای هواشناسی طبیک دوره آماری ۳۰ ساله در حوزه یالفان در همدان را با کاربرد روش غیرپارامتریک مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که داده‌های سالانه دما دارای روند افزایشی معنی‌داری بوده در حالی که روند معنی‌داری در داده‌های بارش و دبی مشاهده نشده است (۲۱). روند تغییرات سالانه و فصلی مقادیر بارش، دما و دبی در حوزه رودخانه جاجرود در استان تهران در یک دوره ۴۰ ساله توسط دستورانی و همکاران (۱۳۹۱) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که دما دارای روند افزایشی، دبی دارای روند کاهشی و بارش روند معنی‌داری نداشته است (۲۲). براساس مطالعه Xiang و Guo (۲۰۰۴) در رودخانه یانگ‌تسه و استفاده از داده‌های حداکثر، حداقل و متوسط دبی سالانه در یک دوره زمانی (۱۸۸۲-۲۰۰۱) مشخص شد که برای سری داده‌های حداقل دبی سالانه، یک نقطه تغییر (۱۹۳۴) به‌صورت کاهشی (۳۰۰ مترمکعب برثانیه)، برای سری داده‌های متوسط دبی سالانه، یک نقطه تغییر (۱۹۶۸) به‌صورت کاهشی (۹۰۰ مترمکعب بر ثانیه)، و برای سری داده‌های حداکثر دبی سالانه، هیچ تغییری مشاهده نشد (۲). Birsanو همکاران (۲۰۰۵) روند دبی حداقل و حداکثر را در ۴۸ حوزه آبخیز کشور سوییس طی دوره آماری ۱۹۳۱ تا ۲۰۰۰ بر پایه سری‌های فصلی و سالانه مورد بررسی قرار دادند. ضمن مشاهده

روند افزایشی در دبی حداکثر سالانه، فصل‌های زمستان، بهار و پاییز به این نتیجه رسیدند که بارندگی به‌تنهایی برای توضیح روند در جریان‌های سطحی کافی نیست، بلکه دما عامل تعیین کننده در ایجاد روند دبی می‌باشد (۲۳). Thodsen (۲۰۰۷) اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌های دانمارک طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ را مورد بررسی قرار داد و نشان داد که مقادیر دبی رودخانه‌ها از ماه دسامبر تا اگوست کاهش و در ماه‌های سپتامبر و اکتبر افزایش یافته است (۲۴). در روش تحلیل نقاط تغییر از یک الگوریتم بازگشتیبرای تشخیص تغییرات متعدد با تقسیم سری زمانی به دو زیر مجموعه و اعمال مکرر الگوریتمتحلیل نقاط تغییر برای پیدا کردن یک نقطه تغییر براساس فراوانی تجمعی در هر زیر مجموعه انجام می‌شود (۱۳).به‌طور کلی الگوریتم‌های تشخیص انحراف در تشخیص بی‌نظمی‌های گروهی بهتر عمل می‌کنند در حالی که روش تحلیل نقاط در تعیین تغییرات کوچک بهتر عمل می‌کند.هدف پژوهش حاضر، استفاده از روش تحلیل نقاط تغییر در داده‌های دبی سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبخیز گرگانرود در استان گلستان و تحلیل نتایج براساس سایر متغیرهای هیدرواقلیمی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه:

حوزه آبخیز گرگانرود حدود ۴۸ درصدسطح استان گلستان را با مساحتی برابر ۱۰۱۲۹ کیلومترمربع تشکیل می‌دهد. رودخانه گرگانرود دارای ۱۷ سرشاخه اصلی است و ۶۷ درصد منابع آب سطحی استان (حدود ۸۲۸ میلیون مترمکعب) در این حوضه جریان دارد. حوزه آبخیز گرگانرود در محدوده جغرافیایی ′۲۸ °۵۶ تا ′۰۰ °۵۴ طول شرقی و ′۴۸ °۳۷ تا ′۳۵ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است (۲۵). موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان و ایران و هم‌چنین پراکنش ایستگاه‌های هیدرومتری در شکل (۱)، نشان داده شده است. کاربری عمده حوضه به‌ویژه در جنوب و شرق جنگلی بوده و در شمال و غرب منطقه، دشت‌های آبرفتی به‌صورت زراعت و مرتع در حال بهره‌برداری هستند. میزان بارندگی متوسط سالانه از ۲۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر متغیر است. هم‌چنین مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه که در تجزیه و تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند، در جدول (۱) ارایه شده است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری موردمطالعه در ایران و استان گلستان

Figure 1. Location of the study area and locations of hydrometric stations in Iran and Golestan Province

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب دراستان گلستان

Table 1. Characteristics of theselected hydrometric stations in the Golestan Province

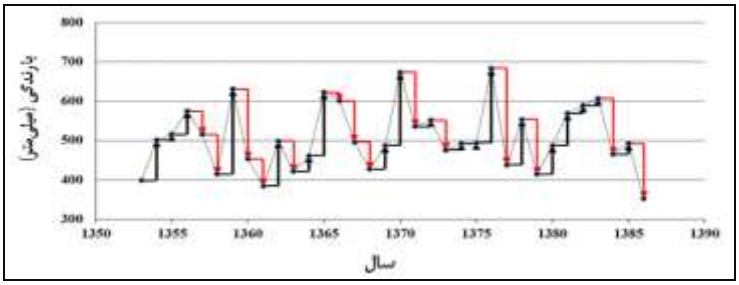
رودخانه	ایستگاه	کد	مختصات جغرافیایی			رودخانه	ایستگاه	کد	مختصات جغرافیایی		
			x	y	z				x	y	z
دوغ(مادرسو)	تنگراه	۱۲-۰۰۱	۳۹۳۵٤۱	٤۱۳۹۵۵۷	۳۳۰	گرگانرود	قزاقلی	۱۲-۰۲۳	۳۲٤۳۷۲	٤۱۲۱۹۹۳	۳۰
گرگانرود	تمر	۱۲-۰۰۵	۳٦۷۹۱۱	٤۱٤۹٦۸۳	۱۳۲	گرگانرود	سدگرگان	۱۲-۰۲۵	۲۹۹۵۱۰	٤۱۱۹۹۵۸	۱۲
اوغان	گالیکش	۱۲-۰۰۷	۳٦۲۸۷۳	٤۱۲٤۲۱۰	۲۵۰	سیاه‌جوی	شیرآباد	۱۲-۰۲۷	۳۲٤۹۲۸	٤۰۹۲۹۸۲	۱٦۰
قلی‌تپه	قلی‌تپه	۱۲-۰۰۹	۳۵۹۵٤۸	٤۱۲۱۹۳۲	۲۵۰	گرگانرود	باغه‌سالیان	۱۲-۰۳۱	۲۹۸۱۳۷	٤۱۱۲۱۳۷	۲۰
گرگانرود	گنبد	۱۲-۰۱۱	۳۳٦۲۳٦	٤۱۲٤۹۹٦	۳٦	جعفرآباد	تقی‌آباد	۱۲-۰۳۳	۲۸۸۹۸٦	٤۰۸۳۲۳۹	۱۰۰
چهل‌چای	لزوره	۱۲-۰۱۳	۳۵۸۲۵۸	٤۱۲۰۹٦۵	۱۹۰	گرگانرود	آق‌قلا	۱۲-۰۳۷	۲۷٤۰۹٦	٤۰۹۹۱۹٤	-۱۲
نرماب	پس‌پشته	۰۱۵-۱۲	۳۵۳۵۰۵	٤۱۱٤٦۳٦	۱۸۰	گرگانرود	بصیرآباد	۱۲-۰۳۹	۲٤۷٦٤۵	٤۰۹۹٦٤٤	-۲۱
خرمالو	نوده	۱۲-۰۱۷	۳٤٦٦۱۷	٤۱۰۲۹۵۳	۲۸۰	گرگانرود	حاجی‌قوشان	۱۲-۰٦۳	۳۵٦۱٦۹	٤۱٤۲۷۸۹	٤۵
گرگانرود	ارازکوسه	۱۲-۰۱۹	۳۳٦۱۳۲	٤۱۲۱٤۱٤	۳۵	زرین‌گل	زرین‌گل	۱۲-۰۷۱	۳۱۷۷۸۳	٤۰۸۲٦۷۲	۲۸۰
قره‌چای	رامیان	۱۲-۰۲۱	۳۳٤۲۳٤	٤۰۹۸۸۹۹	۲۰۰	محمدآباد	سرمو	۱۲-۰۸۳	۳۰۳۲۱۰	٤۰۷۸۱۵۹	۵۰۰

روش تحقیق

در پژوهش حاضرتعیین تغییر در متوسط داده‌های دبی سالانه در تعدادی از ایستگاه‌های منتخب استان گلستانو تحلیل داده‌های بارندگی، دما و دبی سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه حوزه آبخیز گرگانرود استان گلستان در یک دوره آماری ۳۴ ساله (۱۳۵۳-۱۳۸۶) انجام گرفت. ابتدا مقادیر ماهانه دبی مورد ارزیابی قرار گرفت ولی چون داده‌های ماهانه دارای تغییرات بیش‌تری بودند، در نتیجه استخراج الگوی تغییرات براساس داده‌های ماهانه مقدور نبود. لذا داده‌های سالانه آب‌دهی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا، ابتدا تغییر در داده‌های بارش، دما و دبی با نمودارهای پیکانی مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل نقاط تغییر تکنیکی برای تعیین محل بالقوه تغییر در یک سری زمانی از داده‌ها است(۲۶). به‌کارگیری روش فراوانی تجمعی (CUSUM) تکرار شونده، همراه باروش بوت استرپ که توسط Efron (۲۷) نام‌گذاری شده بود، برای تجزیه و تحلیل نقاط تغییر در سری‌های زمانی دبی مورد استفاده قرار گرفت (۴). در روش مذکور، وجود حداکثر انحراف از صفر در نمودار فراوانی تجمعی اندازه‌گیری می‌شود،وجود انحراف معیار از طریق مقایسه نمودار فراوانی تجمعی داده‌های اصلی با نمودار فراوانی تجمعی داده‌های مرتب شده تصادفی (روش بوت استرپ) نشان‌دهنده یک تغییر در سری داده‌ها می‌باشد، بنابراین در روش بوت استرپ مجموعه‌ای از داده‌ها می‌توانند از نظرآماری متمایز شناخته شوند (۲۸). در این پژوهش از نرم‌افزارChange Point Analysis که توسطPettitt(۵) ارایه شد، برای آزمون تغییرات ناگهانی مورد استفاده قرار گرفت. سپس داده‌های مربوط به دبی سالانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته، و تعداد و زمان نقاط تغییر در آن‌ها تعیین، و هم‌چنین میزان و نوع تغییر که به‌صورت افزایشی (بیش‌تر از میانگین دبی) یا کاهشی (کم‌تر از میانگین دبی) می‌باشد، نیز از آن استخراج شده است. سپس این نتایج با داده‌های میانگین دما و بارش ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه از طریق رسم نمودار پراکندگی ابرنقاط، و معنی‌داری آزمون همبستگی پیرسون در نرم‌افزار R، مورد مقایسه قرار گرفت (۲۹).

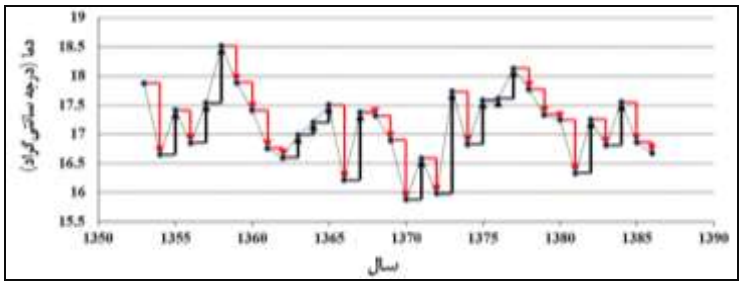
یافته‌ها

تغییرات افزایشی و کاهشی مقادیر میانگین مؤلفه‌های مورد مطالعه به شکل نمودارهای پیکانی در شکل‌های تا ۴ ارایه شده است.



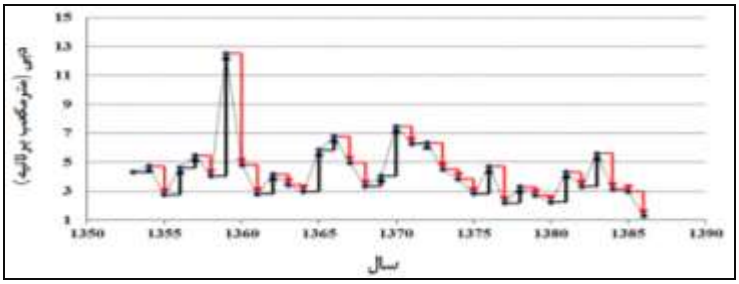
شکل ۲- تغییرات افزایشی و کاهشی در میانگین بارش سالانه در سال‌های مختلف در حوزه آبخیز گرگانرود

Figure 2. Changes in the average annual rainfall (increase and decrease) in different years in the Gorganroud Watershed



شکل ۳- تغییرات افزایشی و کاهشی در میانگین دما سالانه در سال‌های مختلف در حوزه آبخیز گرگانرود

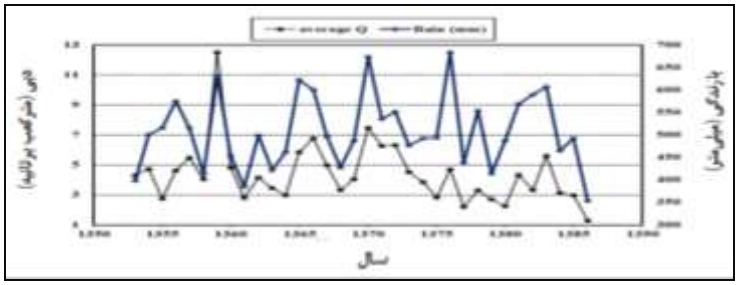
Figure 3. Changes in the average annual temperature (increase and decrease) in different years in the Gorganroud Watershed



شکل ۴- تغییرات افزایشی و کاهشی در میانگین دبی سالانه در سال‌های مختلف در حوزه آبخیز گرگانرود

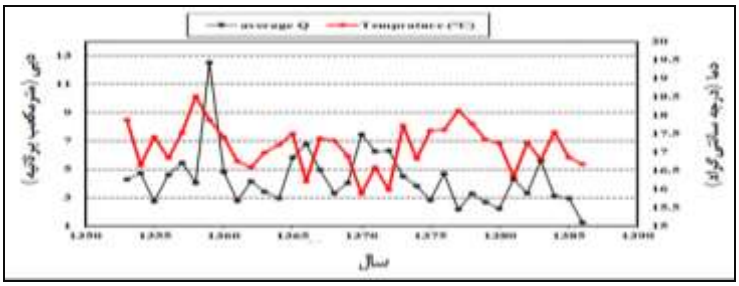
Figure 4. Changes in the average annual discharge (increase and decrease) in different years in the Gorganroud Watershed

بر اساس نتایج، میانگین بارش سالانه دارای ۱۴ تغییر کاهشی و ۱۹ تغییر افزایشی بوده، در حالی که میانگین دما و دبی سالانه هر دو به‌ترتیب دارای ۱۹ تغییر کاهشی و ۱۴ تغییر افزایشی در سری زمانی مورد مطالعه می‌باشند. با این‌که تعداد تغییرات کاهشی و افزایشی در میانگین دبی و دما به‌ترتیب بیش‌تر و کم‌تر از میانگین بارش به دست آمده است، ولی شدت تغییرات در بارش بیش‌تر از دما و هم‌چنین در دما هم بیش‌تر از دبی می‌باشد. ارتباط بین مقادیر میانگین دبی، بارندگی و دما در شکل‌های (۵ و ۶) ارایه شده است.



شکل ۵- مقادیر تغییرات بارندگی و دبی در سال‌های مختلف در حوزه آبخیز گرگانرود

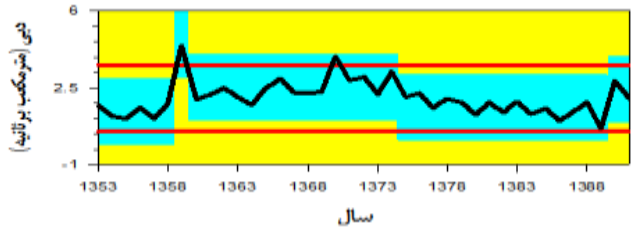
Figure 5. Changes in amounts of rainfall and discharge in different years in the Gorganroud Watershed



شکل ۶- مقادیر تغییرات دما و دبی در سال‌های مختلف در حوزه آبخیز گرگانرود

Figure 6. Changes in amounts of discharge and temperature in different years in the Gorganroud Watershed

براساس اطلاعات شکل‌های (۵) و (۶) مشاهده می‌شود که تغییرات بارندگی و دبی دارای شرایط یکنواخت بوده، به‌عبارتی متناسب با بارش، دبی هم همزمان در حال نوسان می‌باشد، در حالی‌که تغییراتدماودبی به این معنی است که سری زمانی را باید از زمانی که در آن نقطه تغییر روی می‌دهد به دو جزء سری تقسیم کرد، یعنی سری در سال ۱۳۶۰ دارای نقطه تغییر معنی‌دار آماری است و کل دوره به دو سری ۱۳۶۰-۱۳۵۳ و ۱۳۶۱-۱۳۸۶ تبدیل شد. بنابراین باید روند در این جزء سری‌ها مورد بررسی قرار گیرد. زیرا نقطه تغییر بدان معنی است که تغییر ساختاری در داده‌ها به وجود آمده است. نتایج انجام روش تحلیل نقاط تغییر و جدول معنی‌داری نتایج برای نمونه در چهار ایستگاه در شکل‌های (۷ تا ۱۰) و جداول (۲ تا ۴) ارایه شده است.



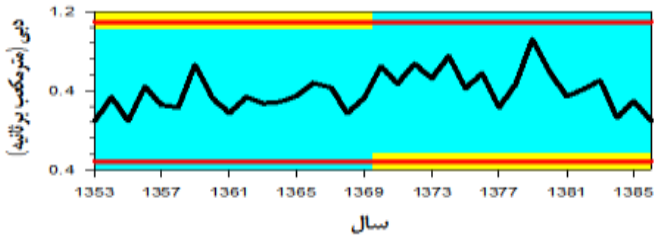
شکل ۷- نمودار تحلیل نقاط تغییر دبی در ایستگاه لزوره

Figure 7. Chart of change point analysis in discharge of Lazoureh station

جدول ۲- نتایج جدول معنی‌داری دبی در ایستگاه لزوره

Table 2. Results of attributes of significant changes in discharge of Lazoureh station

Year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1359	(1359, 1359)	96%	1.4272	4.4469	3
1360	(1360, 1363)	94%	4.4469	2.5471	7
1375	(1371, 1377)	94%	2.5471	1.6095	4
1390	(1379, 1391)	95%	1.6095	2.4251	1



شکل ۸- نمودار تحلیل نقاط تغییر دبی در ایستگاه تقی‌آباد

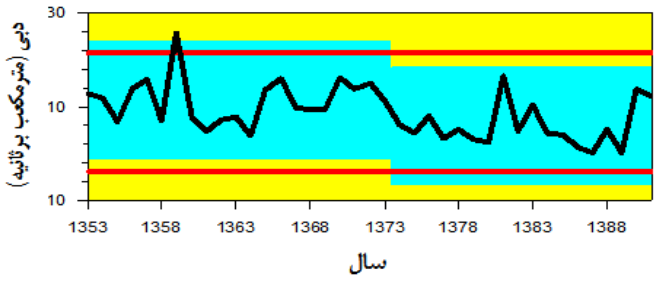
Figure 8. Chart of change point analysis in discharge of Taghiabad station

جدول ۳- نتایج جدول معنی‌داری دبی در ایستگاه تقی‌آباد

Table 3. Results of attributes of significant changes in discharge of Taghiabad station

Year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1370	(1364, 1385)	100%	0.31408	0.47739	1

براساس نتایج شکل (۷) و جدول (۲) مشاهده می‌شود، که چهار تغییر معنی‌دار در مقادیر دبی ایستگاه لزوره رخ داده است. بنابراین تغییرات افزایشی مقادیر دبی جریان به‌ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۵۹ (تغییر اول) و ۱۳۹۰ (تغییر چهارم) می‌باشند، که بیش‌ترین تغییر نیز با سطح اطمینان ۹۶٪ در سال ۱۳۵۹ بوده است. هم‌چنین تغییرات دوم و سوم مقادیر دبی نیز به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۶۰ و ۱۳۷۵ با سطح اطمینان ۹۴٪ به‌صورت کاهشی بوده است، به‌عبارتی نوسانات مقادیر دبی می‌تواند بیان‌گر تغییرات دما در منطقه که سبب تغییرات بارندگی شده و این امر نیز در تغییرات آب‌دهی منطقه مؤثر می‌باشد. در حالی‌که ایستگاه تقی‌آباد در شکل (۸) و جدول (۳) تنها دارای یک تغییر افزایشی در مقدار دبی، با سطح اطمینان ۱۰۰٪ در سال ۱۳۷۰ می‌باشد. می‌توان گفت که مقادیر دبی در بقیه سال‌ها در طول دوره آماری موجود دارای عدم تغییرات بوده، ولی در سال‌های مذکور این تغییرات می‌تواند ناشی از مقادیر بارش باشد.



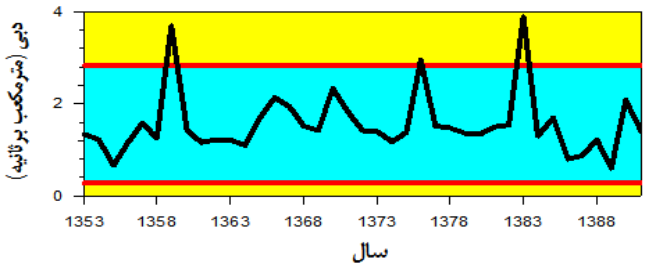
شکل ۹- نمودار تحلیل نقاط تغییر دبی در ایستگاه سدگرگان

Figure 9. Results of change point analysis in discharge of Sadgorgan station

جدول ۴- نتایج جدول معنی‌داری دبی در ایستگاه سدگرگان

Table 4. Results of attributes of significant changes in discharge of Sadgorgan station

Year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1374	(1363, 1381)	100%	11.471	5.9685	1



شکل ۱۰- نتایج تحلیل نقاط تغییر دبی در ایستگاه تمر

Figure 10. Results of change point analysis in discharge of Tamar station

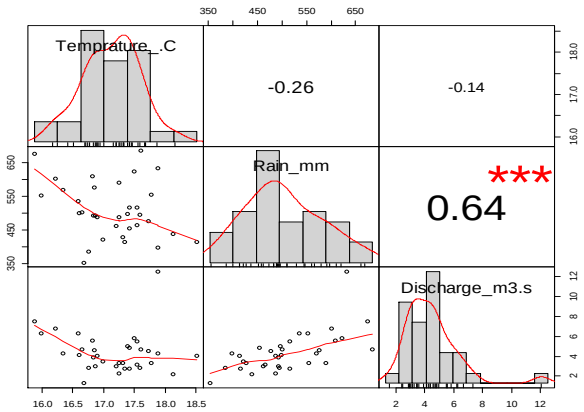
در ایستگاه سدگرگان درشکل (۹) و جدول (۴) فقط یک تغییر کاهشی با سطح اطمینان ۱۰۰٪ در سال (۱۳۷۴) مشاهده شده است. در حالی‌که در ایستگاه تمر هیچ‌گونه تغییر نقطه‌ای در طول دوره آماری مورد نظر وجود ندارد. به‌عبارتی مقادیر دبی در طول دوره یکنواخت بوده و هم‌چنین فاقد تغییرات افزایش و کاهشی بوده است. نتایج تجزیه و تحلیل نقاط تغییر در مقادیر آب‌دهی سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در حوزه آبخیز گرگانرود در جدول (۵) ارایه شده است.

جدول ۵-نتایج تحلیل نقاط تغییر دبی سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در حوزه آبخیز گرگانرود

Table 5. Results of change point analysis in annual discharge of the selected hydrometric stations in the Gorganroud Watershed

نام ایستگاه	سال تغییر	فاصله اطمینان	سطح اطمینان	نوع تغییرات دبی (مترمکعب بر ثانیه)		نام ایستگاه	سال تغییر	فاصله اطمینان	سطح اطمینان	نوع تغییرات دبی (مترمکعب بر ثانیه)	
				افزایشی	کاهشی					افزایشی	کاهشی
گنبد	۱۳۷٤	۱۳۸۰ ، ۱۳۵٤	۹٦٪		۰۸/۳	سدگرگان	۱۳۷٤	۱۳۸۱ ، ۱۳٦۰	۱۰۰٪		۹٦/٥
لزوره	۱۳۵۹	۱۳۵۹ ، ۱۳۵۹	۹۸٪	۰۱۹۷/۳		شیرآباد	۱۳۷۳	۱۳۷٥ ، ۱۳٥٤	۱۰۰٪		۲٥/۰
	۱۳٦۰	۱۳٦۲ ، ۱۳٦۰	۹٤٪		۹٤/۱	باغه‌سالیان	۱۳۷۳	۱۳۸٥ ، ۱۳٥٥	۹۸٪		٥۹/۱
	۱۳۷٥	۱۳۷۸ ، ۱۳۷٥	۱۰۰٪		۹۸/۰	تقی‌آباد	۱۳۷۰	۱۳۸٥ ، ۱۳٦۳	۱۰۰٪	۱٦۳٤/۰	
	۱۳۹۰	۱۳۹۱ ، ۱۳۸٤	۹٤٪	۹۰٤۹/۰		آق‌قلا	۱۳۷٤	۱۳۸۰ ، ۱۳٥٤	۱۰۰٪		۰۷/۷
نوده	۱۳۷۳	۱۳۸۰ ، ۱۳٦۷	۱۰۰٪		٦۷/۰	بصیرآباد	۱۳۷٤	۱۳۷۹ ، ۱۳٥٤	۹۹٪		٦۸/۷
رامیان	۱۳۷۳	۱۳۷۷ ، ۱۳٦۰	۱۰۰٪		٥۸/۰	زرین‌گل	۱۳٦٤	۱۳۷٥ ، ۱۳٦۱	۹٦٪	۷۹۰۷/۰	
	۱۳۹۰	۱۳۹۱ ، ۱۳۸۸	۹۰٪	۷۱۸۷/۰			۱۳۷۷	۱۳۷۸ ، ۱۳۷۰	۱۰۰٪		۱٥/۱
قزاقلی	۱۳۷٤	۱۳۸۳ ، ۱۳٥٤	۹٦٪		۰۱/٤	سرمو	۱۳۷۷	۱۳۸۱ ، ۱۳٥٥	۹۸٪		۱٦/۰

باتوجه به اطلاعات جدول (۵)، بیش‌ترین تعداد تغییرات در ایستگاه‌های گنبد، لزوره، نوده، رامیان، قزاقلی، سدگرگان، شیرآباد، باغه‌سالیان، آق‌قلا، بصیرآباد، زرین‌گل وسرمو بوده است. تغییرات به صورت کاهشی و اغلب دربازه‌ی زمانی پنج ساله (۱۳۷۳تا۱۳۷۷) رخ داده است. به‌عبارتی در سال‌های ۱۳۷۳، ۱۳۷۴ و ۱۳۷۷ تغییرات کاهشی به‌ترتیب در چهار، پنج و سه ایستگاه نیز قابل مشاهده می‌باشد. اما در ایستگاه‌های لزوره، رامیان، تقی‌آباد و زرین‌گل تغییرات به‌صورت افزایشی بوده، در صورتی که بیش‌ترین تغییرات افزایشی در بین ایستگاه‌ها مربوط به ایستگاه لزوره در سال‌های ۱۳۵۹ و ۱۳۹۰ به‌ترتیب برابر با مقادیر دبی ۳/۰۱ و۰/۹۰ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. در نتیجه در بین تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه تنها سه ایستگاه شامل لزوره، رامیان و زرین‌گل دارای هر دو نوع تغییرات افزایشی و کاهشی در طول دوره آماری می‌باشد. مقایسه این تغییرات با میانگین کل دما و بارش ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که میانگین دمای کل در سال‌های مذکور تقریباً برابر با میانگین کل مقادیر می‌باشد و تغییرات زیادی از لحاظ دما در این ایستگاه‌ها در سال‌های مذکور مشاهده نمی‌شود. اما این توضیح درباره میانگین کل بارش ایستگاه‌ها صدق نمی‌کند، به‌طوری‌که در بیش‌تر سال‌های ذکر شده بارندگی در ایستگاه‌ها از میانگین کل بارش کم‌تر می‌باشند و این مقدار کاهش، قابل توجه می‌باشد. بنابراین میزان تغییرات دبی در ایستگاه‌های مورد مطالعه بیش‌تر از دما، به بارش بستگی دارند. مقادیر میانگین دما، بارش و دبی، و میزان ارتباط میان مؤلفه‌های مورد مطالعه و سطح معنی‌داری در سال‌های مختلف، در شکل (۱۱) ارایه شده است.



شکل ۱۱- همبستگی بین دما، بارش و دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در حوزه آبخیز گرگانرود

Figure 11. correlation of temperature, rainfall and discharge in the study hydrometric stations in the Gorganroud Watershed

ماتریس پراکندگی ابرنقاط به‌همراه هیستوگرام، تابع کرنل، همبستگی مطلق و سطوح مختلف معنی‌داری ($p<0.001$)، نیز در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در شکل (۱۱)، نشان‌دهنده همبستگی میان متغیرهای هیدرواقلیمی است. براساس نتایج ارئه شده در شکل مذکور مشاهده می‌گردد که بین متغیرهای بارش و دبی همبستگی معنی‌دار ($p<0.001$)، وجود دارد، به‌عبارتی مقدار دبی متناسب با بارش تغییر کرده و تغییرات آن به‌صورت یکنواخت افزایش یافته است. در حالی‌که ضریب همبستگی بین بارش و دما و هم‌چنین دبی و دما از نظر آماری معنی‌دار نیست، یعنی با افزایش دما مقادیر بارش و دبی به‌صورت غیریکنواخت کاهش پیدا کرده است. به این معنی که با افزایش دما، تبخیر و تعرق میزان تلفات و مصرف در بخش‌های مختلف، مخصوصاً کشاورزی را افزایش داده و موجب کاهش دبی جریان می‌گردد و به تبع آن میزان آب در دسترس کاهش می‌یابد. در نتیجه غیریکنواختی در سری‌های اقلیمی ممکن است ناشی از یک تغییر ناگهانی (جهش) یا یک روند تدریجی و یا یک جهش مازاد بر یک روند تغییرات باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تعیین تحلیل نقاط تغییر در مقادیر دبی سالانه ۲۰ ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه در استان گلستان در یک دوره آماری ۳۴ ساله (۱۳۵۳-۱۳۸۶) انجام شد. بر اساس نتایج مشخص شد که تعداد تغییرات کاهشی و افزایشی میانگین دما و دبی به‌ترتیب بیش‌تر و کم‌تر از میانگین بارش می‌باشند در حالی‌که بیش‌ترین شدت تغییرات نیز در بارش برآورد شده است، که می‌تواند ناشی از تغییرات زمانی و مکانی رطوبت یا ارتفاعات در عرض‌های جغرافیایی مختلف باشد. در صورتی که در شکل‌های (۵) و (۶) مشاهده می‌شود که تغییرات بارندگی و دبی دارای شرایط یکنواخت بوده، به عبارتی متناسب با بارش، دبی هم هم زمان در حال نوسان می‌باشد، در حالی که تغییرات دما و دبی در طول دوره آماری موجود، تنها در سال ۱۳۶۰ دارای نقطه تغییر معنی‌دار آماری است و از تأثیر معنی‌داری دما بر دبی رودخانه درسال ۱۳۶۰ می‌توان گفت که افزایش دما، توزیع سالانه رواناب را به شدت تغییر خواهد داد. در حوضه‌هایی با رژیم برفی، افزایش دما باعث ذوب برف‌ها می‌شود در نتیجه بر میزان رواناب برفی افزوده شده و افزایش دبی رودخانه‌ها را به دنبال خواهد داشت، ولی روند کاهش دبی در بعضی از سال‌ها را می‌توان به افزایش دما نسبت داد که با افزایش دما، تبخیر و تعرق میزان تلفات و مصرف در بخش‌های مختلف را افزایش داده و موجب کاهش دبی جریان می‌گردد. نتایج تحلیل نقاط تغییر مقادیر دبی در جدول (۵)، نشان داد که نقاط تغییر در داده‌های مورد استفاده در این مطالعه بیش‌تر از نوع کاهشی و در مواردی نیز افزایشی و در برخی از ایستگاه‌ها اصلاً نقاط تغییری مشاهده نشده است. بیش‌ترین تغییرات افزایشی در بین ایستگاه‌ها مربوط به ایستگاه لزوره در سال‌های ۱۳۵۹ و ۱۳۹۰ به‌ترتیب برابر با مقادیر دبی ۳/۰۱ و۰/۹۰ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. در نتیجه در بین تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه تنها سه ایستگاه شامل، لزوره، رامیان و زرین‌گل دارای هر دو نوع تغییرات افزایشی و کاهشی در طول دوره آماری می‌باشد. سپس همبستگی بین دما، بارش و دبی در شکل (۱۱) نشان‌دهنده این است که بین تغییرات دبی (نقاط تغییر در دبی) با بارندگی ارتباط مستقیم معنی‌داری وجود دارد، درحالی‌که ارتباط میان دما و دبی جریان از نوع معکوس بوده ولی از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. نتایج پژوهش با یافته‌های Xiang و Guo (۲)، Reeves و همکاران (۱۳) و Mix و همکاران (۲۰)، در یک راستاست. در نتیجه تعداد تغییرات کاهشی، به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تغییرات افزایشی بوده و بیش‌تر در فاصله سال‌های (۱۳۷۳-۱۳۷۷) اتفاق افتاده است. بیش‌ترین تغییرات در سری زمانی داده‌های دبی مورد مطالعه از نوع تغییرات کاهشی بوده است. در اکثر موارد، تغییرات کاهشی در ایستگاه‌هایی با مقدار دبی زیاد اتفاق افتاده است،که در این خصوص می‌توان اثر فعالیت‌های انسانی مانند برداشت از آب‌های سطحی و نیز اثر تنظیمی سدهای واقع بر رودخانه اصلی گرگانرود در منطقه مورد مطالعه را دخیل دانست. قابل ذکر است که در اکثر موارد، تغییرات افزایشی مربوط به ایستگاه‌های واقع در مناطق بالادست حوزه آبخیز گرگانرود است، ولی تغییرات کاهشی در ایستگاه‌های واقع در مناطق پایین دست مشاهده شده است. شایان ذکر است که ثبت آمار دقیق مقادیر برداشت و بهره‌برداری از آب‌های سطحی در اطراف رودخانه اصلی می‌تواند اطلاعات بیش‌تری در خصوص تعیین علت اصلی کاهش‌ها را ارایه دهد.

Reference

1. Chapman, D., 1996. Water quality assessments - a guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Second Edition, Great Britain at the University Press, Cambridge, 609p.
2. Xiong, L., and Guo, Sh., 2004. Trend test and change-point detection for the annual discharge series of the Yangtze River at the Yichang hydrological station. Hydrological Sciences Journal, Vol. 49, No. 1, pp. 99-112.
3. Dingman, S.L., 2002. Physical hydrology. Second Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, 646p.

4. Taylor, W.A., 2000. Change point analysis: a powerful new tool for detecting changes.
5. Pettitt, A.N., 1979. A non-parametric approach to change point problem. Applied Statistics, Vol. 28, No. 2, pp. 126-135.
6. Killick, R., Fearnhead, P., and Eckley, I.A., 2012. Optimal detection of change points with a linear computational cost. Journal of the American Statistical Association, Vol. 107, No. 500, pp. 1590-1598.
7. Kim, Ch., Suh, M.S., and Hong, K.O., 2009. Bayesian changepoint analysis of the annual maximum of daily and subdaily precipitation over South Korea. Journal of Climate, Vol. 22, No. 24, pp. 6741-6757.
8. Killick, R., and Eckley, I.A., 2014. Change point: An R package for change point analysis. Journal of Statistical Software, Vol.58, No. 3, pp. 1-19.
9. Scott, A.J., and Knott, M., 1974. A cluster analysis method for grouping means in the analysisof variance. Biometrics, Vol. 30, No. 3, pp. 507-512.
10. Sen, A., and Srivastava, M.S., 1975. On tests for detecting change in mean. The Annals ofStatistics, Vol. 3, No. 1, pp. 98-108.
11. Auger, I.E., and Lawrence, C.E., 1989. Algorithms for the optimal identification of segment Neighborhoods. Bulletin of Mathematical Biology, Vol.51, No. 1, pp. 39-54.
12. Bai, J., and Perron, P., 1998. Estimating and testing linear models with multiple structuralchanges. Econometrica, Vol. 66, No. 1, pp. 47-78.
13. Reeves, J., Chen, J., Wang, X.L., Lund, R., and Lu, Q., 2007. A review and comparison of changepoint detection techniques for climate data. Journal of Applied Meteorology and Climatology, Vol. 46, No. 6, pp. 900-915.
14. Erdman, C., and Emerson, J.W., 2008. A fast bayesian change point analysis for the segmentation of microarray data. Bioinformatics, Vol. 24, No. 19, pp. 2143-2148.
15. Zeileis, A., Shah, A., and Patnaik, I., 2010. Testing, monitoring, and dating structural changes inexchange rate regimes. Computational Statistics & Data Analysis, Vol. 54, No. 6, pp. 1696-1706.
16. Killick, R., Eckley, I.A., Jonathan, P., and Ewans, K., 2010. Detection of changes in the characteristics of oceanographic timeseries using statistical change point analysis. OceanEngineering, Vol. 37, No. 13, pp. 1120-1126.
17. Cavanagh, W.G., Hirst, S., and Litton, C.D., 1988. Soil phosphate, site boundaries, and change pointanalysis. Journal of FieldArchaeology, Vol. 15, pp. 67-83.
18. Perreault, L., Bernier, J., Bobee, B., and Parent, E., 2000. Bayesian change point analysis in hydrometeorological timeseries. The Normal Model Revisited, Journal of Hygiene, Vol.235, pp. 221-241.
19. Zanchettin, D., Traverso, P., and Tomasino, M., 2008. Po River discharges: a preliminary analysis of a 200-year timeseries. Climatic Change, No. 89, pp. 411-433.

20. Mix, K., Lopes, V.L., and Rast, W., 2011. Annual and growing season temperature changes in the San Luis Valley, Colorado. Water, Air Soil Pollution, Vol. 220, No. 1, pp. 189-203.
21. Marianji, Z., Maroufi, Z., and Abbasi, H., 2008. Detecting the trend of discharge changes and its relationship with meteorological parameters in Yalfan Hamadan basin using non-parametric Mann-Kendall method. 3rd Water Resources Management Conference, Tabriz, pp. 1-7. (In Persian)
22. Dastorani, M.T., Bahri, M., and Panahi, M., 2013. Investigation of climate change trend and its impact on Jajrood River discharge. 8th National Conference on Watershed Management Science and Engineering, pp. 1-8. (In Persian)
23. Birsan, M.V., Molnar, P., Burlando, P., and Pfaundler, M., 2005. Streamflow trends in Switzerland. Journal of Hydrology, Vol.314, pp. 312-329.
24. Thodsen, H., 2007. The influence of climate change on stream flowin Danish Rivers. Journal of Hydrology, Vol. 333, pp. 226-238.
25. Mostafazadeh, R., and Sheikh, V.B., 2012. Rain-gauge density assessment in Golestan province using spatial correlation technique. Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi), No. 93, pp. 79-87. (In Persian)
26. Mix, K., Lopes, V.L., and Rast, W., 2012. Environmental drivers of streamflow change in the Upper Rio Grande. Water Resources Management, Vol. 26, pp. 253-272.
27. Efron, B., 1979. Bootstrap methods: another look at the jackknife». Annals of Statistics, No. 7, pp. 1-26.
28. Wu, C.F.J., 1986. Jackknife, Bootstrap and other resampling methods in regression analysis. The Annals of Statistics, Vol. 14, No. 4, pp. 1261-1295.
29. Erdman, C., and Emerson, J.W., 2007. bcp: An R package for performing a Bayesian analysis of change point problems. Journal of Statistical Software, Vol. 23, No. 3, pp. 1-13.