ارزیابی آماری تأثیرتغییراقلیم بر رودخانه های پایین دست یخچال ها
مطالعه موردی : رودخانه سردآبرود چالوس

همایون مطیعی[1*] و محمدجواد تفکری[2]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار دانشکده آب و محیط زیست – دانشگاه شهید بهشتی، تهران
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران -آب، دانشکده آب و محیط زیست ،دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۱۲

چکیده

گرمایش جهانی و تغییر اقلیم باعث تغییر بر منابع آب و از جمله یخچال ها شده و باعث کاهش سطح و حجم این یخچال ها در سراسر زمین شده است. کاهش در سطح وحجم یخچال ها می تواند روی جریان در رودخانه های پایین دست یخچال ها و نیز فرسایش خاک حوضه تأثیر جدی داشته باشد. میزان این افزایش به شرایط محلی و منطقه‌ای بستگی دارد. تغییرات در الگوی بارش، نوع استفاده زمین، پوشش گیاهی و قابلیت فرسایش‌پذیری خاک، بر میزان جریان وفرسایش اثر می‌گذارد. در این مقاله با استفاده از روش های آماری تأثیر احتمالی تغییر اقلیم بر رودخانه سردآبرود در غرب چالوس در شمال ایران با استفاده از داده های بارش، جریان رودخانه و رسوب در یک دوره پنجاه ساله (۸۷-۱۳۳۷) مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور با استفاده از روش هودریک- پرسکات به منظور روند تصادفی و غیرتصادفی تغییرات دبی و رسوب، و نیز روش رگرسیون برای روند خطی استفاده شده است. نو آوری این مقاله استفاده از روش هودریک- پرسکات بوده و روند غیرتصادفی نشان دهنده تغییرات واقعی در سال‌های مورد بررسی می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان داد که روند دبی در ایستگاه های هیدرومتری واقع در حوضه یخچالی تا حدی افزایشی می‌باشد . روند رسوب نیز در این ایستگاه‌ها همانند روند دبی، تا حدی افزایشی است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت با افزایش دبی، مقدار رسوب نیز افزایش یافته است که می تواند نشان دهنده فرسایش بیشتر در حوضه آبریز باشد.

کلید واژه ها: تغییر اقلیم، رسوب، دبی، رودخانه سردآبرود، هودریک پرسکات، یخچال علم چال.

Statistical Assessment of Climate Change Impact on Downstream Glaciers Rivers (Case Study: Sardabrood River)

H. Motiee[1*] and M. J. Tafakory[2]

1*- Assistant Professor, Water and Environment Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2- Graduate M.Sc., Water and Environment Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Received:21 May 2014 Accepted:4 October 2015

Abstract

Global warming and climate change has caused serious impacts on water resources of the world, including the glaciers with reducing their surfaces and volumes. Surface and volume decreasing of the glaciers, could have the serious impacts on the discharge of the glaciers rivers downstream as well the soil erosion of watersheds. The increasing amount depends on the local and regional conditions. Changing in the rainfall amount, land using, vegetation covers and erosionable potential could influence the rate of river discharge and watershed erosion. In this paper, the impact of climate change on the Sardabrood river in the west part of the Challoos city in the North of Iran has been studied with statistical methods for a fifty years period (1958-2008). In this regard, the Hodric-Prescott filter as well as regression method, for investigation the randomized and non-randomized trends of the discharge and sediment. The results showed that the discharge and sediment trends increase in this glacier watershed. The general conclusion is that sediment increase by increasing the discharge, and indicates further erosion in the basin.

Keywords: Climate change, Sediment, Discharge, Sardabrood River, Hodric-Prescott, Alam-Chaal Glacier

مقدمه

سیستم اقلیمی ارتباط نزدیکی با چرخه آب[1] دارد و هر گونه اغتشاش سیستم به طور موقت یا دائم چرخه هیدرولوژیکی را تغییر داده و بر منابع آب اثر می‌گذارد. یخچال ها[2] یکی از منابع آبی واقع درچرخه هیدرولوژیکی به شمار می آیند. سیستم‌های منابع آب کوهستانی مرتفع به طور خاص نسبت به تغییر اقلیم[3] حساس هستند. رژیم هیدرولوژیکی چنین مناطقی به شدت تحت تأثیر تجمع آب به صورت برف و یخ و فرآیندهای ذوب مربوط به آن است. پس تغییر اقلیم و به خصوص افزایش درجه حرارت می‌تواند به طور قابل توجهی بر رژیم هیدرولوژیکی و بر منابع آب تأثیر داشته باشد. پاول و همکاران[4] (۲۰۰۵) با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر سیستم‌های هیدرولوژیکی به این نتیجه رسیدند که این اثر ها بستگی به افزایش درجه حرارت متوسط منطقه دارد. مطیعی و مک بین[5] (۲۰۰۹) با مطالعه اثر تغییر اقلیم بر دریاچه های پنجگانه "گریت لیکز"[6] در مرز بین آمریکا و کانادا نشان دادند که کاهش حجم این دریاچه ها ارتباط مستقیم با کاهش بارندگی ها و افزایش تبخیر ناشی از افزایش دمای متوسط بالای این دریاچه ها دارد. رزم آرا و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی آمار بارندگی و درجه حرارت حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان دادند که علاوه بر تغییرات سازه ای در حوضه آبریز این دریاچه، به احتمال قوی سهم بیشتر خشک شدن این دریاچه به تغییر اقلیم ناشی از افزایش درجه حرارت متوسط منطقه و کاهش بارندگی ها بستگی داشته است.

لال[7](۲۰۰۶) به این نتیجه رسید که تغییر اقلیم خطر فرسایش خاک را افزایش می‌دهد و می‌تواند فروسایی خاک و بیابان زائی را تشدید کند. اونیل و همکاران[8] (۲۰۰۵) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر فرسایش خاک به این نتیجه رسیدند که میزان این افزایش مورد انتظار در خطر فرسایش آبی و بادی به شرایط محلی و منطقه‌ای بستگی دارد. تغییرات در الگوی بارش، نوع کاربری اراضی، پوشش گیاهی و قابلیت فرسایش پذیری خاک بر نرخ فرسایش اثر می‌گذارد (شکل ۱). بر اساس گزارش انجمن حفاظت آب و خاک[9]، تغییر اقلیم در اراضی کشاورزی فرسایش خاک را از ۵ تا ۹۵ درصد و اتلافات ناشی از رواناب را از ۵ تا ۱۰۰ درصد افزایش می‌دهد(بی نام، ۲۰۰۳).

تشدید توفان‌ها که می‌تواند فرسایش آبی را به علت تغییرات در شدت افزایش دهد، تأثیر بیشتری بر فرسایش خاک نسبت به تناوب و میزان بارندگی دارد. با توجه به آمارهای موجود، افزایش سهم فرسایش آبی حتی در برخی از مناطق بیشتر از افزایش نسبی در بارش می‌باشد (پروسکی و نیرینگ[10]، ۲۰۰۲). بر طبق گزارش هیئت بین الدول تغییر اقلیم[11] (بی نام، ۲۰۰۷) با توجه به آمارهای ثبت شده و نتایج به دست آمده از تحقیقات، انتظار می‌رود که میانگین نرخ رواناب سالانه ۳۰ تا ۴۰ درصد در عرض‌های جغرافیایی بالا افزایش و ۱۰ تا ۳۰ درصد در مناطق خشک و نیمه خشک، که در معرض تنش خشکی هستند، کاهش یابد. شبیه سازی عوامل گوناگون فرسایش در غرب مرکزی ایالات متحده آمریکا پیش بینی می‌کند که نرخ فرسایش خاک تا ۵۰ سال آینده در حدود ۸۵ درصد افزایش می‌یابد.

در مناطق استوایی مرطوب، بارندگی سنگین رواناب را افزایش می‌دهد و باعث جاری شدن سیل در زمین‌های پست می‌شود. در حالی که میزان بارندگی ممکن است در نواحی خشک و نیمه خشک مانند خاورمیانه کاهش یابد ولی به علت تغییر در شدت باران و زمان آن فرسایش افزایش یابد.

یخچال های جهان از جمله منابعی هستند که به شدت تحت تأثیر افزایش گرمایش جهانی و تغییر اقلیم می باشند. کاهش سطح یخچال‌های طبیعی به دلیل گرمایش جهانی به طور بالقوه تأثیر عمده‌ای، در دبی رودخانه های پایین دست آنان دارد. تحقیق بر روی یخچال های کوهستان هیمالیا توسط هابرلی و بنیستون[12] (۱۹۹۸) و ایمرزیل و همکاران[13](۲۰۱۳) نشان می دهد که افزایش قابل توجه ای در دبی رودخانه های حوضه آبریز پایین دست این کوهستان به وجود آمده است. در کوه‌های آلپ سوئیس، در حال حاضر تحقیقات عمده بر تغییرات اقلیمی متمرکز است که موجب کاهش سطح یخچال‌های طبیعی آن خواهد شد (ژاسپر و همکاران[14]، ۲۰۰۴).

مطالعات انجام شده بر روی یخچال های ایران نیز نشان دهنده کاهش سطح و حجم آنان بر اثر افزایش دمای متوسط ایران می باشد. مرید و حسینی صفا (۱۳۹۲) با تحقیقی در مورد نقش یخچال ها بر جریان رودخانه های ایران تلاش نمودند تا برآوردی از حجم آنان به دست آورند و در این تحقیق به این نتیجه رسیدند که به جز در مواردی اندک، زوال تدریجی یخچال ها تغییرات معنی دار در جریان رودخانه ها ایجاد ننموده است.

مقاله حاضر بخشی از یک تحقیق با هدف بررسی اثر احتمالی تغییر اقلیم بر رودخانه سردآبرود در پایین دست یخچال علم چال می باشد. تحقیق انجام شده به طور عمده به دو روش صورت گرفت :

روش اول: بررسی اثر تغییر اقلیم در آینده بر این حوضه با مدل های گردش آب و هوای جهانی[15] و مدل هیدرولوژیکی

1-Water cycle
2 - Glaciers
3 - Climate change
4 - Paul *et al.*
5 - Motiee and Mcbean
6 - Great Lakes
7 -Lal *et al.*
8 - O'neal *et al*.
9- Soil and Water Conservation Society
10 - Pruski and Nearing
11- Intergovernmental Panel on Climate Change
12- Haeberli and Beniston
13 - Immerzeel *et al.*
14 - Jasper *et al.*
15- Global Circulation Models(GCMs)

یخچال هاکه نتایج این روش جزء اهداف این مقاله نیست و در مقاله مستقل دیگری ارائه خواهد شد.

روش دوم : بررسی آماری داده های هیدرولوژیکی نظیر بارندگی، جریان رودخانه و رسوب رودخانه با تحقیق در مورد چگونگی روند این پارامتر ها و نتیجه گیری در مورد روند ها از نظر افزایشی یا کاهشی، که این مقاله به بطور خاص بر روی این این قسمت از تحقیق تمرکز کرده است.

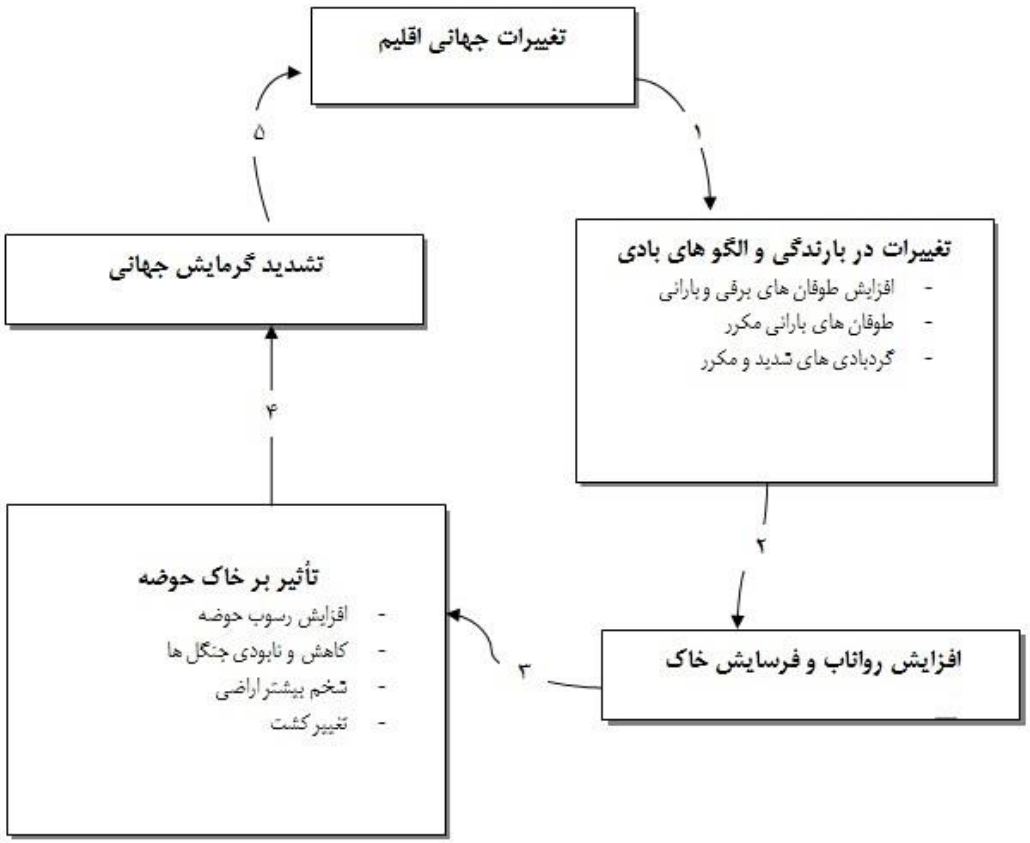
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه : رودخانه سردآبرود

این تحقیق، با مطالعه موردی رودخانه سردآبرود به بررسی اثر احتمالی تغییر اقلیم بر رواناب و تغییر بار رسوب ناشی از فرسایش خاک در این حوضه می پردازد. سردآبرود رودخانه‌ای است با حوضه آبریز کم عرض که از ارتفاعات بلند تخت سلیمان سرچشمه می‌گیرد. به همین علت دارای رژیم یخچالی برفی و بارانی بوده و آبدهی پایه آن نسبتاً زیاد و دوره پر آبی آن در فصل بهار می‌باشدرودخانه سردآبرود که نام دیگر آن روار می‌باشد، در قسمت غرب چالوس واقع بوده و به موازات تقریبی رودخانه چالوس جریان دارد و از رودخانه‌های مستقل حوضه آبریز دریای خزر به حساب می‌آید که از دامنه‌های شمال خاوری کوه‌های تخت سلیمان (۴۸۵۰) واقع در ۵۱ کیلومتری جنوب غربی چالوس سرچشمه می‌گیرد. یخچال‌های شمالی و حصارچال با وسعت تقریبی هشت کیلومتر مربع سرشاخه‌های رودخانه سردآبرود را تغذیه می‌کنند. طول این رودخانه ۶۷ کیلومتر بوده و وسعت حوضه آبریز آن حدود ۴۳۰ کیلومتر مربع می‌باشد(ولدان زوج و همکاران، ۱۳۸۷). عمق آب رودخانه به طور متوسط ۸۰ سانتیمتر بوده و در زمستان و در مواقع بارندگی بین یک تا دو متر در نوسان است . شکل (۲) حوضه آبریز رودخانه و موقعیت شهر کلاردشت را در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان می دهد.

. رودخانه سردآبرود دارای جریان دائمی است و جریان (دبی) متوسط سالیانه آن در یک دوره بیست ساله آمارگیری ۴۳/۵ میلیون متر مکعب و در سال آبی ۶۵-۱۳۶۴ حدود ۱۶۹ میلیون متر مکعب و حداکثر جریان (دبی) لحظه‌ای آن در سال مزبور ۳۰ متر مکعب در ثانیه بوده است (ولدان زوج و همکاران، ۱۳۸۷).

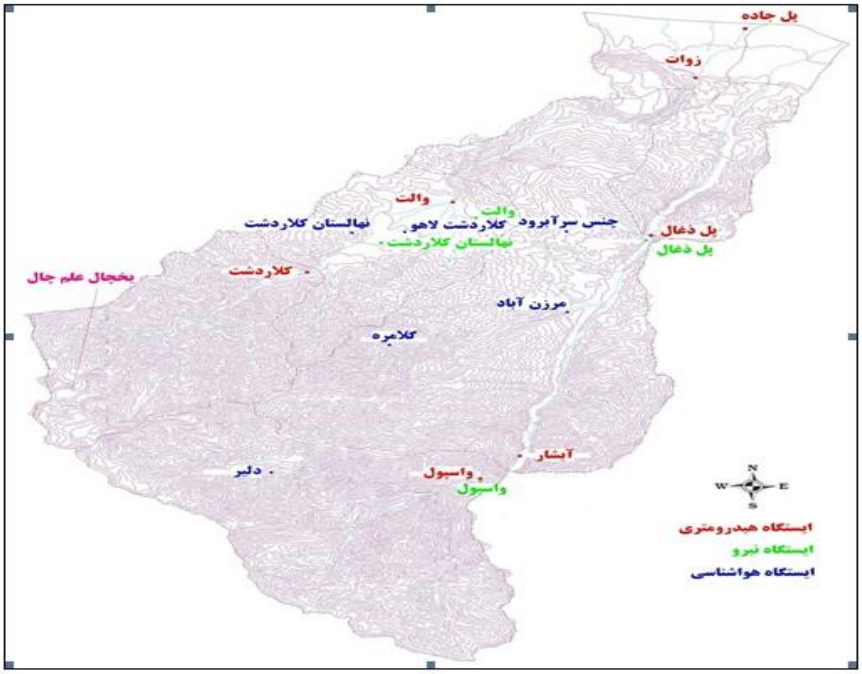
در شکل (۳) ایستگاه های هواشناسی، هیدرومتری و وزارت نیرو واقع در این حوضه مشخص شده اند.



شکل ۱- اثر تغییر اقلیم بر حوضه آبریز



شکل ۲- حوضه آبریز رودخانه و موقعیت شهر کلاردشت(راست) و رودخانه سردآبرود در زمان پر آبی (چپ)



شکل ۳- حوضه آبریز رودخانه سردآبرود و حوضه مجاور آن و ایستگاه‌های هیدرومتری، هواشناسی و نیرو (موسسه تحقیقات آب)

تشریح روش آماری داده های هیدرولوژیکی

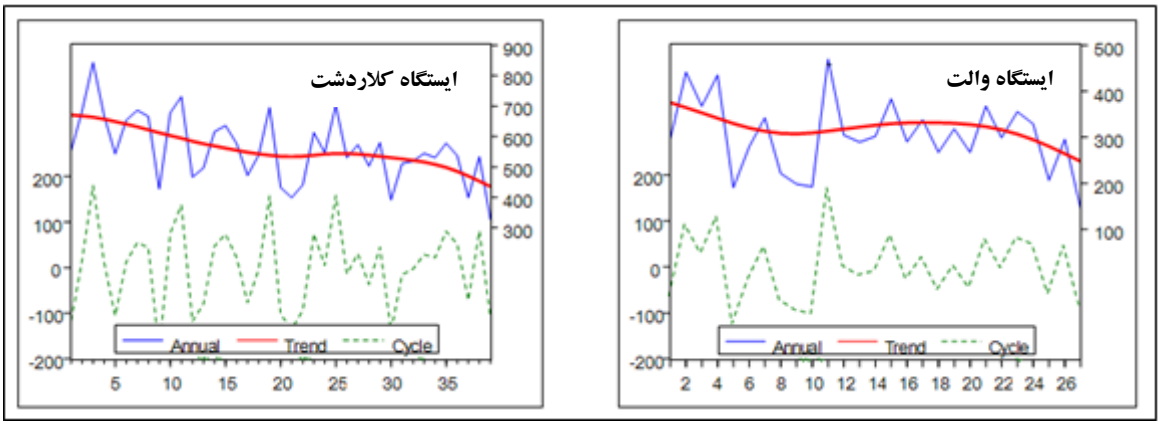
در این مقاله برای تحلیل روند تغییرات بلند مدت (دائمی) و کوتاه مدت (غیر دائمی) دبی و رسوب از یک روش متفاوت از مدل های آماری معمول (مانند روش من-کندال[1])استفاده گردید که بنام مدل هودریک- پرسکات[2] (۱۹۸۱) مشهور است و سپس برای اطمینان بیشتر نتایج با روش رگرسیون[3] مقایسه شد ند.

مدل هودریک-پرسکات برای به دست آوردن برآوردی از روند بلند مدت اجزای یک سری مورد استفاده قرار می گیرد(جلایی و همکاران، ۱۳۹۳). منطق مدل هودریک – پرسکات این است که این روش می تواند به مشاهده شوک مثبت یا منفی در سری داده ها کمک نماید. در حقیقت این مدل می تواند یک برآورد انحراف از مسیر بلند مدت تعادلی یک متغیر را بیان کند.

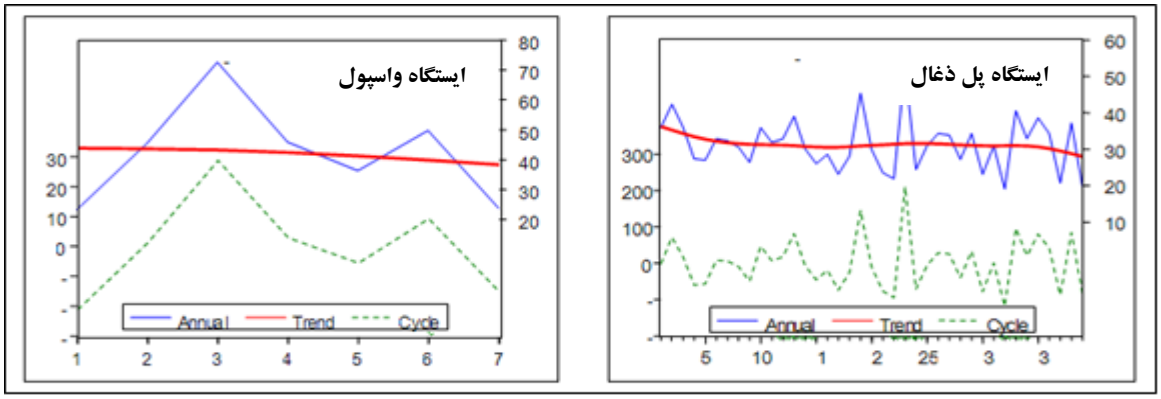
مدل هودریک – پرسکات با حداقل کردن مجموع مجذور انحراف متغیر Y از روند آن به دست می آید. در واقع مقادیر روند مدل هودریک – پرسکات مقادیری هستند که رابطه (۱)را حداقل کرده و چنین فرض می‌شود که دنباله مقادیر y_1 تا y_T یا $\{y_t\}$ به یک جزء روند $\{\mu_t\}$ و یک جزء تصادفی که در حقیقت $\{y_t - \mu_t\}$ است، قابل تجزیه هستند(اندرز[4]، ۲۰۱۰) .

1-Mann-Kendall
2- Hodrick-Prescott Model
3- Regression

4 - Enders



شکل ٤ - روند بارش با مدل هودریک- پریسکات در ایستگاه‌های والت و کلاردشت در حوضه یخچالی سردآبرود



شکل ٥ - روند بارش با مدل هودریک- پریسکات در ایستگاه‌های واسپول و پل‌ذغال در حوضه‌های مجاور حوضه یخچالی سردآبرود

$$\sum_{t=1}^{T}(y_t-\mu_t)^2+\lambda\sum_{t=2}^{T-1}[(\mu_{t+1}-\mu_t)-(\mu_t-\mu_{t-1})]^2 \quad (۱)$$

به طوری که λ : یک مقدار ثابت و عامل موزون کننده روند بوده و میزان هموار بودن روند را نشان می دهد. در واقع λ یک مقدار ثابت است که نشان‌دهنده نوسانات در خط روند می‌باشد. افزایش λ به مثابه افزایش یکنواخت‌پذیری روند خواهد بود. همچنین مقدار T نشان دهنده کل مشاهدات قابل استفاده سری می باشد. در رابطه (۱)، $\{\mu_t\}$ به گونه‌ای انتخاب می‌شود که مجموع مربعات را حداقل کند. مزیت روش هودریک– پرسکات آن است که از روش یکسانی در استخراج روند متغیرهای مختلف استفاده می‌شود و این باعث می‌شود امکان مقایسه روند متغیرهای مختلف امکان پذیر باشد.

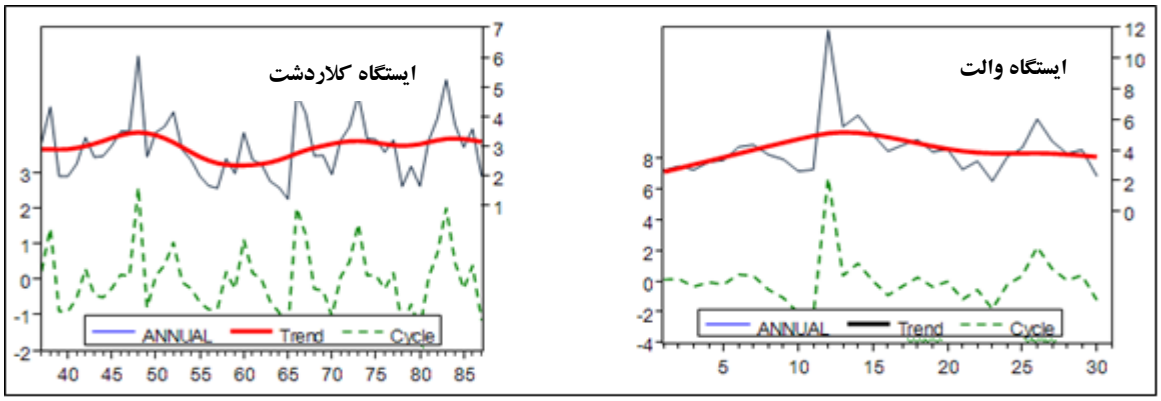
نتایج و بحث

در این بررسی با استفاده از مدل هودریک – پرسکات روند تصادفی و غیر تصادفی تغییرات بارش، دبی و رسوب به دست آمد و سپس نتایج با مدل رگرسیون مقایسه شده اند. برای این تحقیق از داده های بارش، جریان رودخانه و رسوب در طی یک دوره پنجاه ساله (۸۷-۱۳۷۷) استفاده شد. نتایج استفاده از روند یابی رگرسیون نشان دهنده کاهش در بارش و افزایش کم هم در مقادیر دبی و هم در رسوبات می باشد و فیلتر هودریک – پرسکات نیز این نتایج را تأیید می کنند. معادله های خط روند ها و همچنین ضریب تعیین[1] روند در رگرسیون آماری در جدول های (۱) و (۲) و (۳) نشان داده شده اند. درروش هودریک – پرسکات روند غیر تصادفی نشان دهنده تغییرات واقعی در دبی و رسوب در سال‌های مورد بررسی می‌باشد. بخشی از این تغییرات می‌تواند ناشی از تغییر اقلیم باشد. تغییر اقلیم می‌تواند باعث ایجاد روند صعودی و یا نزولی در پارامترهای مختلف و یا اثر متفاوت بر یک پارامتر در مکان‌های مختلف گردد. با توجه به شکل (۳) ایستگاه های کلاردشت و والت و در حوضه مجاور ایستگاه های آبشار و پل ذغال برای مقایسه انتخاب شدند. شکل(۴) روند تغییرات بارش در ایستگاه‌های هیدرومتری کلاردشت و والت در حوضه یخچالی سردآبرود، و شکل(۵) روند تغییرات بارش در ایستگاه‌های هیدرومتری واسپل و پل ذغال در حوضه مجاور حوضه سردآبرود را نشان می‌دهد که با استفاده از روش هودریک– پریسکات رسم شده اند.

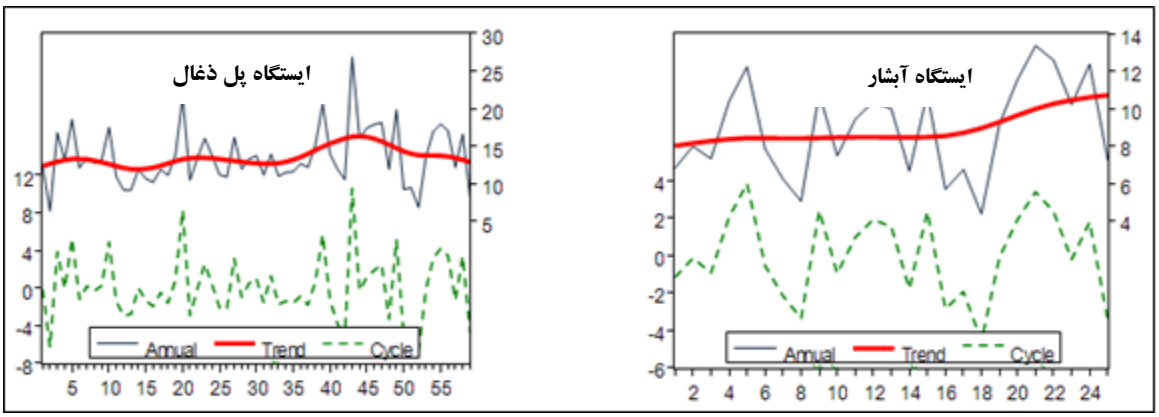
1- R square (R2)

شکل(۶) روند تغییرات دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری کلاردشت و والت در حوضه سردآبرود و شکل(۸) روند تغییرات دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری آبشار و پل ذغال در حوضه مجاور سردآبرود را نشان می‌دهد که با استفاده از مدل هودریک- پریسکات رسم شده اند.

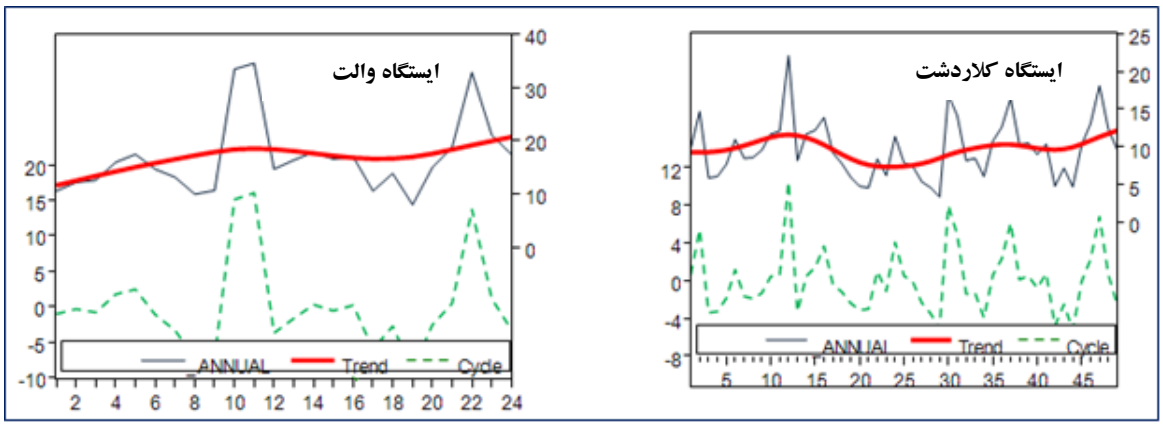
روند تغییرات رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری کلاردشت و والت در حوضه یخچالی سردآبرود در شکل (۸) و روند تغییرات رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری آبشار و پل‌ذغال در حوضه مجاور سردآبرود در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل ٦ - روند تغییرات دبی با مدل هودریک- پریسکات در ایستگاه‌های هیدرومتری کلاردشت و والت در حوضه یخچالی سردآبرود



شکل ۷ - روند تغییرات دبی با مدل هودریک- پریسکات در ایستگاه‌های هیدرومتری آبشار و پل‌ذغال در حوضه مجاور سردآبرود

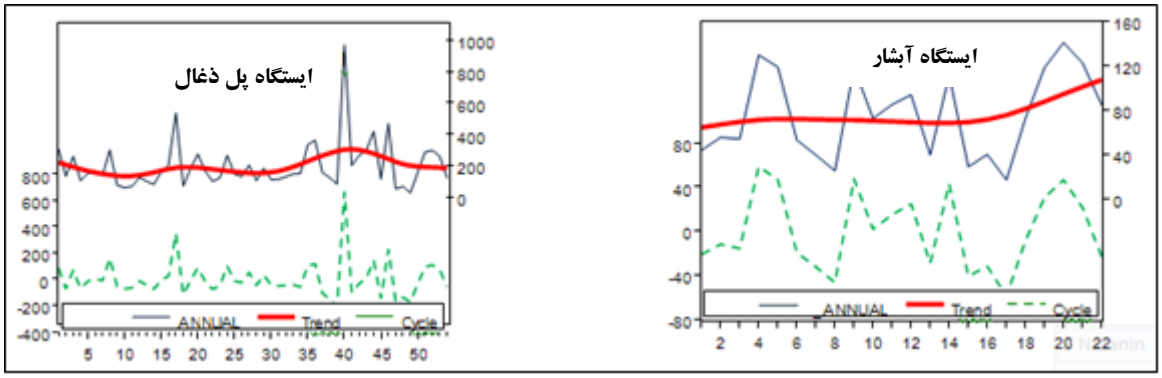


شکل ۸- روند تغییرات رسوب با مدل هودریک- پریسکات در ایستگاه‌های هیدرومتری کلاردشت و والت در حوضه یخچالی سردآبرود

خلاصه نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات پارامترهای بارش حوضه رودخانه یخچالی سردآبرود و حوضه مجاور آن با استفاده از معادله رگرسیون در جدول (۱) داده شده اند. شکل (۱۰) به عنوان یک نمونه از روند منفی بارش طی سال های مورد مطالعه با روش رگرسیون در ایستگاه کلاردشت می باشد که معادله آن در جدول (۱) ارائه گردیده است.

متشابهاً جریان رودخانه و رسوب حوضه رودخانه یخچالی سردآبرود و حوضه مجاور آن با استفاده از معادله رگرسیون در در جدول های (۲)و (۳) خلاصه شده است.

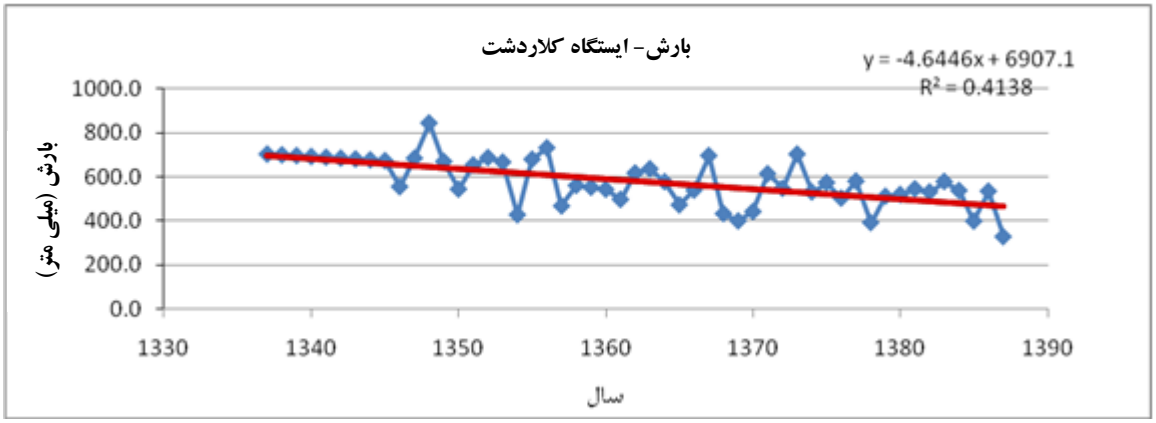
شکل های (۱۱) و(۱۲) نشان دهنده روند افزایشی کم جریان و رسوب رودخانه سردآبرود با روش رگرسیون می باشد که معادله های آنها در جدول (۲) ارائه گردیده اند.



شکل ۹ - روند تغییرات رسوب با مدل هودریک- پریسکات در ایستگاه‌های هیدرومتری آبشار و پل‌ذغال در حوضه مجاور سردآبرود

جدول ۱- روند تغییرات بارش درحوضه رودخانه یخچالی سردآبرود و حوضه مجاور

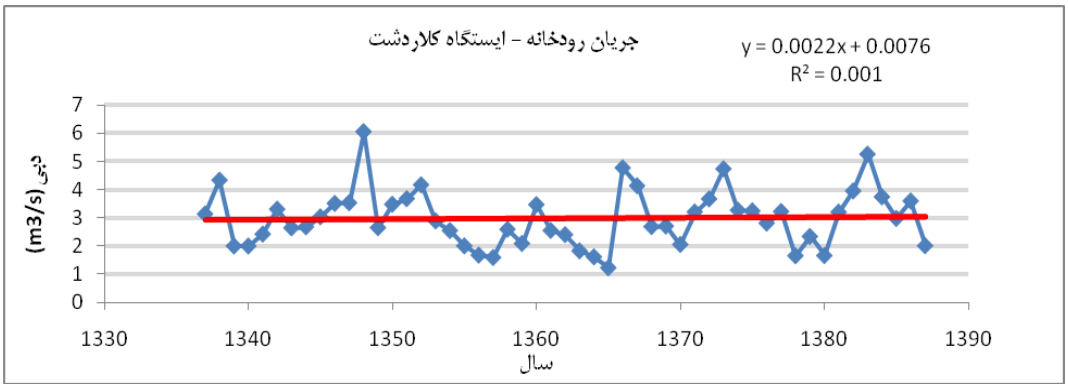
ایستگاه	پارامتر	معادله روند در رگرسیون	ضریب تعیین (R^2)	جهت روند
والت (حوضه یخچالی)	بارش	y = -2.386x + 3600.7	۰/۱۱	منفی با کاهش
کلاردشت(حوضه یخچالی)	بارش	y = -4.6446x + 6907.1	۰/۴۱	منفی با کاهش
پل ذغال(حوضه مجاور)	بارش	y = -0.8198x + 1433.8	۰/۰۲۱	منفی با کاهش
واسپول(حوضه مجاور)	بارش	y = -7.4687x + 10728	۰/۱۱	منفی با کاهش



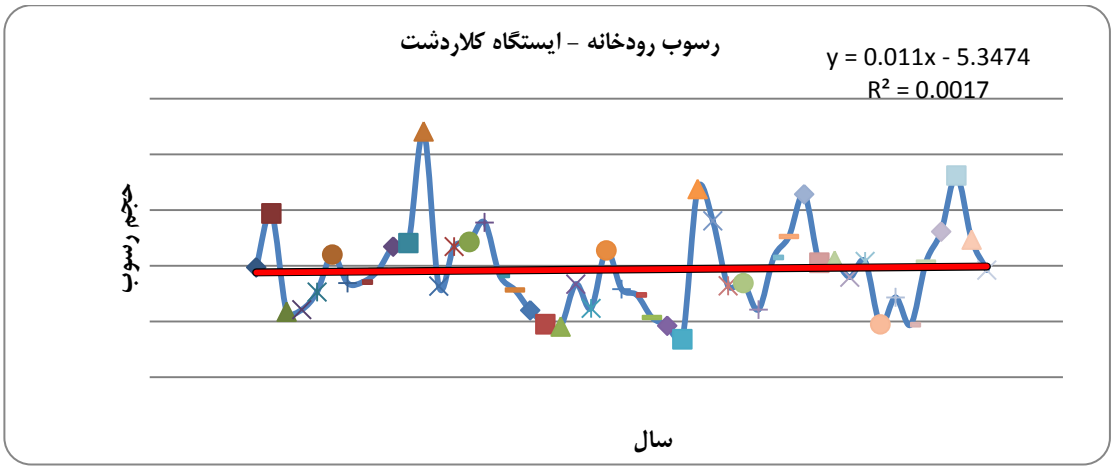
شکل ۱۰ - روند کاهشی بارش در ایستگاه کلاردشت

جدول ۲- روند تغییرات دبی جریان و رسوب درحوضه رودخانه یخچالی سردآبرود

ایستگاه واقع در حوضه یخچالی	پارامتر	معادله روند در رگرسیون	ضریب تعیین (R^2)	جهت روند
والت	دبی	y = 0.0018x + .6422	۰/۰۰۰۱	مثبت با افزایش کم
والت	رسوب	y = 0.1354x - 168.37	۰/۰۲۴	مثبت با افزایش کم
کلاردشت	دبی	y = 0.0022x + .0076	۰/۰۰۱	مثبت با افزایش کم
کلاردشت	رسوب	y = 0.011x - 5.3474	۰/۰۰۱۷	مثبت با افزایش کم



شکل ۱۱ - روند افزایشی کم جریان رودخانه سردآبرود در ایستگاه کلاردشت



شکل ۱۲ - روند افزایشی کم رسوب رودخانه سردآبرود در ایستگاه کلاردشت

جدول ۳- روند تغییرات دبی جریان و رسوب در حوضه آبریز مجاور

ایستگاه واقع در حوضه مجاور	پارامتر	معادله روند در رگرسیون	ضریب تعیین (R^2)	جهت روند
آبشار	دبی	y = 0.0964x - 127.07	۰/۰۴۸	مثبت با کمی افزایشی
آبشار	رسوب	y = 1.2316x - 1663.3	۰/۰۸۳	مثبت با افزایش کم
پل ذغال	دبی	y = 0.0229x - 17.22	۰/۰۰۵	مثبت با افزایش کم
پل ذغال	رسوب	y = 1.0436x - 209.6	۰/۰۰۵	مثبت با افزایش کم

نتایج به دست آمده نشان می دهند:

- روند واقعی بارش در ایستگاه هیدرومتری والت و کلاردشت واقع در حوضه یخچالی و در ایستگاه هیدرومتری واسپول و پل ذغال در حوضه مجاور آن کاهشی می‌باشد.
- روند واقعی دبی در ایستگاه هیدرومتری والت و کلاردشت واقع در حوضه یخچالی و در ایستگاه هیدرومتری آبشار و پل ذغال در حوضه مجاور با افزایش کم می‌باشد.
- روند واقعی رسوب نیز در این ایستگاه‌ها همانند روند دبی آن با افزایش کم است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از مدل هودریک- پرسکات روند تصادفی و غیرتصادفی تغییرات بارش ، دبی و رسوب مورد بررسی قرار گرفته است به طوری که روند غیرتصادفی نشان دهنده تغییرات واقعی در سال‌های مورد بررسی می‌باشد. نتایج نشان دادند که روند تغییرات واقعی بارش در منطقه کاهشی می‌باشد.

روند واقعی دبی در ایستگاه های هیدرومتری والت و کلاردشت واقع در حوضه یخچالی و در ایستگاه هیدرومتری آبشار و پل ذغال در حوضه مجاور آن با افزایش کم می‌باشد. همچنین روند واقعی تغییرات رسوب نیز در این ایستگاه‌ها همانند روند دبی آن افزایشی است. در نتیجه به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت با افزایش دبی مقدار رسوب نیز افزایش یافته است که این افزایش رسوب می تواند حاکی از فرسایش بیشتر در حوضه باشد. در نتیجه به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت علیرغم کاهش معنی دار بارش در منطقه جریان رودخانه یا ثابت مانده و یا حتی کمی بیشتر شده است که این افزایش دبی می تواند مرتبط با گرمایش منطقه وتغییر اقلیم و ذوب شدن یخ های یخچال علم چال باشد. نتایج نشان می دهند که افزایش دبی و رسوب اندک بوده و می توان تفسیر کرد که نقطه شروع این تغییرات در پایین دست یخچال علم چال و در رودخانه سردآبرود می باشد که اگر در طی سال های آینده افزایش ذوب یخ و برف این یخچال تشدید شود می تواند باعث افزایش بیشتر دبی و رسوب در حوضه گردد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از موسسه تحقیقات آب و شرکت مدیریت منابع آب ایران که همکاری لازم در انجام این تحقیق داشته اند تشکر و قدردانی می شود.

منابع

۱- جلایی، س.، عزیزی، آ. ،زارعی، ن. و ح. مهرابی . ۱۳۹۳. بررسی جایگاه و نقش بخش کشاورزی در ادوار تجاری ایران، فصلنامه علمی - پژوهشی مدلسازی اقتصادی، ۸ (۲۵): ۶۵-۵۳ .

۲- رزم آرا، پ.، مطیعی، ه.، مساح بوآنی، ع. و ص. ترابی. ۱۳۹۲. تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب ورودی به دریاچه ارومیه در دوره آتی. مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران.

۳- مرید، س. و ح. حسینی صفا. ۱۳۹۲ . نقش یخچال های ایران بر جریان رودخانه ها و برآوردی از حجم آنها. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۱۰ (۳): ۳۰-۱۷

۴- ولدان زوج، م.، رضائی، ی.، وزیری، ف.، و م. مباشری. ۱۳۸۷. بررسی یخچال طبیعی علم‌چال با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مجله علمی- پژوهشی علوم زمین، ۱۸ (۷۰): ۱۳-۲

5- Anonymous, 2007. The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Paris.

6- Anonymous, 2003. Conservation implications of climate change: Soil erosion and runoff from cropland. A report from the Swiss Federal Office for Energy, Soil and Water Conservation Society (SWCS). Ankeny, Iowa.

7- Enders, W. 2010. Applied econometric time series, Third ed., New York: Wiley Press.

8- Haeberli, W. and M. Beniston. 1998. Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. Journal of the Human Environment, 27(4): 258-265.

9- Hodrick, R. J. and E. C. Prescott. 1981. Postwar U.S. Business Cycles: An empirical Investigation. Carnegie Mellon University discussion, paper 451.

10- Immerzeel, W., Pelliciotti, F. and M. Bierkens. 2013. Rising river flows throughout the twenty-first century in two Himalayan glaciered watersheds, Nature Geoscience, 6: 742–745.

11- Jasper, K., Calanca, P., Gyalistras, D. and J., Fuhrer. 2004. Differential impacts of climate change on the hydrology of two alpine river basins. Climate Research. 26(2): 113-129.

12- Lal, R. 2006. Influence of soil erosion on carbon dynamics in the world. 23–35. In: Roose, E. J., Lal, R., and C. Feller. (eds). Soil erosion and carbon dynamics. Taylor & Francis, Boca Raton, Florida.

13- Motiee H., and E. Mcbean. 2009, An assessment of long-term trends in hydrologic components and implications for water levels in Lake Superior, Hydrology Research, 40(6): 564–579.

14- O'Neal, M.R., Nearing, M.A., Vining, R.C., Southworth, J., and R.A. Pfeifer. 2005. Climate change impacts on soil erosion in Midwest United States with changes in crop management. Catena, 61:165–184.

15- Paul, F., H. Machguth, and A. Kääb. 2005. On the impact of glacier albedo under conditions of extreme glacier melt, EARSeL Workshop on Remote Sensing of Land Ice and Snow, 4 (2):139–149.

16- Pruski, F. F., and M.A., Nearing. 2002 , Climate-induced changes in erosion during the 21st century for eight U.S. locations, Water Resources Research, 38(12): 34-341-11.