

مقدمه

کنترل فرسایش خاک و تولید رسوب یکی از مسائل اساسی در حفاظت از منابع طبیعی، منابع آب، محیط زیست و غیره می‌باشد. شیوه‌های بهره‌برداری از اراضی، بهره‌برداری از جنگل و مرتع، ایجاد مناطق مسکونی و شهری، وضعیت زمین‌شناسی، بارش، عوامل آب‌وهوایی و غیره از عواملی هستند که بر شدت فرسایش و تولید رسوب منطقه اثر می‌گذارند. لذا، آگاهی از مقادیر کمی فرسایش خاک ناشی از تغییر کاربری اراضی در برآورد دقیق آثار نامطلوب، پنهان و غیرملموس فرسایش مؤثر است. این امر به برنامه‌ریزی‌های راهبردی جهت مدیریت پایدار اراضی کمک می‌کند.

تعیین اثرات خشکسالی یا ترسالی در یک منطقه، یکی از نیازهای اساسی برنامه‌ریزی‌های محیطی و اقتصادی، به ویژه برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب می‌باشد. یکی از مهم‌ترین تأثیرات دوره‌های خشکسالی یا ترسالی، تأثیر بر میزان بار معلق رودخانه‌ها و میزان دبی رسوب است که در مباحث مهندسی رودخانه و منابع آب دارای اهمیت خاصی است [۷]. از آنجا که خسارت وارده توسط رسوبات به طبیعت، کشاورزی و سازه‌های آبی بسیار گسترده و زیان‌آور است، شناخت دقیق میزان آن مخصوصاً در دوره‌های خشکسالی و ترسالی بسیار حائز اهمیت است [۱۷]. دلگادو و همکاران [۴] در بررسی تأثیرات بارش و کاربری اراضی در تولید رسوب در حوزه‌ی آبخیز رودخانه بلیساریو^۵ در آرژانتین نشان دادند که مناطق مختلف حوضه پاسخ‌های متفاوتی در تولید رسوب دارند و یک رویداد بارش در شرایط مشابه در سال ۲۰۱۱ در مقایسه با سال ۱۹۶۶، ۴۰٪ افزایش تولید رسوب در بالادست حوزه‌ی آبخیز و ۱۰۰٪ افزایش تولید رسوب در پایین دست را نشان می‌دهد. هوانگ و لو [۱۲] در بررسی نقش تغییر کاربری اراضی در تولید رسوب در پارک ملی یانگ‌مینگ‌شان^۶ تایوان به این نتیجه رسیدند که تولید رسوب زمین‌های جنگلی و کشاورزی به ترتیب ۶/۹٪ کاهش و حدود ۹/۵٪ افزایش داشته است که این امر باعث افزایش تولید رسوب به میزان ۰/۲۵ تن در هکتار شده است. لی و گائو [۱۴] تغییرات تولید رسوب و رواناب در پاسخ به تغییرات بارش را در حوزه‌ی آبخیز خیچوان^۷ در چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد با افزایش بارش، مقدار رواناب و رسوب زیاد شده و

 اثر تغییرات بارش و کاربری اراضی بر تولید رسوب
 (مطالعه موردی: حوزه آبخیز صنوبر - تربت حیدریه)

مریم آذرخشی^۱، ابوالفضل مساعدی^۲، مهدی بشیری^۳ و رعنا اوجاقلو شهابی^۴
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۱

چکیده

فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز تابعی از اقلیم، توپوگرافی، نوع خاک و کاربری اراضی می‌باشد. در این بین، اهمیت بارش به دلیل نوسانات زیاد و کاربری اراضی به دلیل نقش آبخیز‌نشینان در توسعه جوامع بسیار مشهود است. در این تحقیق از داده‌های بارش، دبی و رسوب در دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۴۶ استفاده شد. وضعیت خشکسالی با شاخص SPI سه‌ماهه مشخص شد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه کاربری اراضی در سه مقطع زمانی تهیه شده و تغییرات کاربری اراضی در آنها با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان داد سطح مراتع و اراضی زراعی به ترتیب از ۱۴٪ و ۲۱٪ در ابتدای دوره مطالعاتی به ۴۱٪ و ۱۱٪ در انتهای دوره تغییر یافته است. اختلاف معنی‌داری در میزان رسوبدهی از ابتدای دوره تا انتهای آن قابل مشاهده است. درصد فراوانی وقوع خشکسالی از دوره اول به سوم تا سه برابر افزایش یافته است. نتایج آزمون من-کنندال نشان داد که میزان رواناب در این مدت دارای روند منفی معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵٪ می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد افزایش وقوع خشکسالی‌ها و در نتیجه کاهش آبدهی رودخانه و تبدیل اراضی زراعی به مرتع منجر به کاهش میزان رسوب معلق حوزه آبخیز صنوبر شده است.

کلید واژه‌ها: تصاویر ماهواره‌ای، تحلیل روند، خشکسالی اقلیمی، دبی، منحنی سنجه

- ۱- نویسنده مسئول و استادیار دانشگاه تربت‌حیدریه، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مرتع و آبخیزداری، پست الکترونیک: m.azarakhshi@torbath.ac.ir
- ۲- استادیار دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، گروه مرتع و آبخیزداری، پست الکترونیک: mosaedi@um.ac.ir
- ۳- استادیار دانشگاه تربت‌حیدریه، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مرتع و آبخیزداری، پست الکترونیک: m.bashiri@torbath.ac.ir
- ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربت‌حیدریه، پست الکترونیک: r.ojaghlo@gmail.com

5- Belisario
 6- Yang Ming Shan
 7- Xichuan

رواناب حساسیت بیشتری از رسوب نسبت به تغییرات بارش دارد. دو و همکاران [۵] اثرات بارش و پوشش گیاهی روی رواناب و تولید رسوب را در حوضه رودخانه جین‌شا^۱ مورد بررسی قرار دادند. تحلیل همبستگی‌ها نشان داد که تولید رواناب و رسوب ارتباط مثبتی با شاخص بارش دارند در حالی که با شاخص پوشش گیاهی رابطه منفی دارند. نتایج به دست آمده از پژوهش رومپایی و همکاران [۲۰] از طریق مدل‌سازی پویا در جمهوری چک طی دهه نود دلالت بر کاهش حدود ۷۵ درصد رسوب ناشی از افزایش ۱۵۰ درصد وسعت اراضی مرتعی داشته است. چاکراپانی و سابرامانیا [۳] در بررسی فاکتورهای کنترل‌کننده‌ی دبی رسوب در رودخانه ماهانادی^۲ هندوستان دریافتند که دبی، بارندگی و زمین‌شناسی منطقه مهمترین عوامل کنترل‌کننده‌ی دبی رسوب می‌باشند. علاوه بر آن بیش از ۹۵٪ حمل رسوبات مربوط به فصول بارانی سال می‌باشند. غفاری و مهدوی [۷] اثر دوره‌های خشکسالی و ترسالی بر میزان رسوب ویژه را در حوزه آبخیز کرخه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه میزان بار رسوب در دوره‌های خشک کاهش و در دوره‌های تر افزایش قابل توجهی داشته است. به این صورت که در سال‌های مرطوب، به طور متوسط میزان رسوب ویژه ۱/۵۷ برابر سال‌های خشک است. انصاری و همکاران [۱] اثر بارش بر میزان رسوب تولیدی در فصول مختلف را در زیر حوزه رود زرد مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بارش در فصول مرطوب زمستان و بهار نسبت به فصول خشک تابستان و پاییز باعث تولید بیشتر رسوب به نسبت ۴ برابر می‌گردد و همچنین مساحت حوزه‌های آبخیز مورد بررسی با تولید رسوب نسبت عکس دارد. نظری سامانی و همکاران [۱۷] تاثیر تغییر کاربری اراضی و تغییرات بارش بر تولید رسوب در حوزه‌ی آبخیز طالقان را مورد بررسی قرار دادند و با در نظر گرفتن دوره‌های ترسالی و خشکسالی، به این نتیجه رسیدند که علت کاهش رسوب افزایش اراضی رهاشده کشاورزی می‌باشد. صادقی و همکاران [۲۱] در بررسی ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی با تولید رسوب حوضه آبخیز مندریجان به این نتیجه رسیدند که علی‌رغم وجود تغییرات معنی‌دار در مقادیر بارش سالیانه در سطح اعتماد ۹۹ درصد، نقش کنترلی آن بر تولید رسوب به دلیل عدم هماهنگی روند و غیر هم‌زمانی تغییرات ایجاد شده در آن‌ها کم بوده، حال آن‌که نتایج ارتباط رگرسیونی حاکی از نقش کنترل‌کنندگی بیشتر کاربری کشاورزی آبی بر تولید رسوب با ضریب تبیین ۰/۹۹ و خطای تخمین ۱۲ درصد بوده است. قدوسی و همکاران [۹] در بررسی نقش و تاثیر تغییر کاربری اراضی در تغییرات فرسایش و تولید رسوب حوزه آبخیز طالقان به این نتیجه رسیدند که عوامل موثر در رسوب‌دهی زیر حوضه‌ها مربوط به تغییرات دبی و وسعت اراضی دیم، تغییرات وسعت اراضی تحت

پوشش مرتع و تغییرات مقدار بارش بوده است. پیری [۱۹] در بهینه‌سازی رابطه‌ی دبی آب و دبی رسوب در حوضه معرف امامه دریافت که منحنی‌های سنجه‌ای که در آن تفکیک داده‌ها براساس ماه‌های خشک و مرطوب و کلاسه‌بندی مقادیر دبی جریان صورت گرفته است، دارای کمترین مجموع مربعات خطا بوده و مدل مناسبتری می‌باشد. میرابوالقاسمی و مرید [۱۶] در مطالعه رسوب‌خیزی حوزه آبخیز کرخه و برخی عوامل موثر بر آن اظهار داشته‌اند که طبق روند تغییرات زمانی بار معلق، تقریباً کل فرسایش حوزه در طول ماه‌ها یا فصل‌های مرطوب سال صورت می‌گیرد. بیشترین میزان فرسایش در ماه‌هایی اتفاق افتاده است که مصادف با پوشش گیاهی کم حوزه و بارندگی‌های شدید فصلی و یا بارندگی توام با ذوب برف بوده است.

حوزه آبخیز صنوبر در بالادست شهر تربت حیدریه واقع شده است و یکی از سرشاخه‌های رودخانه کال سالار می‌باشد که به کویر مرکزی منتهی می‌گردد. در دهه‌های اخیر تغییرات کاربری زیادی در اراضی این حوضه اتفاق افتاده است. از طرف دیگر در طی دهه‌های اخیر چندین خشکسالی و یا ترسالی در منطقه بوقوع پیوسته است. این عوامل ممکن است میزان فرسایش در سطح حوضه و در نتیجه میزان رسوب خروجی از حوضه را تحت تاثیر قرار دهند. بنابراین، به منظور بررسی تاثیر تغییر کاربری اراضی و نوسانات بارندگی بر مقدار و شدت فرسایش و تولید رسوب اقدام به بررسی و ارزیابی رابطه آنها در حوزه آبخیز صنوبر شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز صنوبر با مساحتی در حدود ۹۶۶۷ هکتار در بخش شمال غربی شهر تربت حیدریه و در شمال غرب دهستان بالاویلیت واقع شده است. موقعیت جغرافیایی این حوزه بین طول‌های جغرافیایی ۵۷ ۵۸ تا ۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵ ۲۵ تا ۲۹ شمالی قرار دارد. متوسط بارندگی سالانه حوضه صنوبر ۳۵۹ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه آن ۹/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم منطقه بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه از نوع نیمه خشک سرد می‌باشد. حوزه آبخیز صنوبر، در زون ایران مرکزی و در شمال امتداد گسل درونه واقع شده است. این حوزه آبخیز از دو واحد ژئومورفولوژی کوهستان و تپه ماهور تشکیل شده است. واحد کوهستان از نظر زمین‌شناسی شامل شیل، مارن، ماسه‌سنگ، آهک، پریدوتیت، دیوریت، کنگلومرا و واحد تپه‌ماهور شامل آهک، توف، افیولیت، مارن، ماسه سنگ، دیوریت و رسوبات کواترنر می‌باشد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1- Jinsha
2-Mahandi

دستیابی راحت‌تر به مقادیر Z یا SPI از تقریب آبراموویتز و استگان استفاده می‌شود (رابطه ۴).

$$Z = SPI = \pm \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad [4]$$

برای $0.5 < H(x) \leq 1.0$ از رابطه ۵ و برای $0 < H(x) \leq 0.5$ از رابطه ۶ استفاده می‌شود.

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad (5)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{1.0 - H(x)} \right]} \quad (6)$$

ثابت‌های معادله عبارتند از:

$$\begin{aligned} C_0 &= 2.515517 & C_1 &= 0.802853 & C_2 &= 0.010328 \\ d_1 &= 1.432788 & d_2 &= 0.189269 & d_3 &= 0.001308 \end{aligned}$$

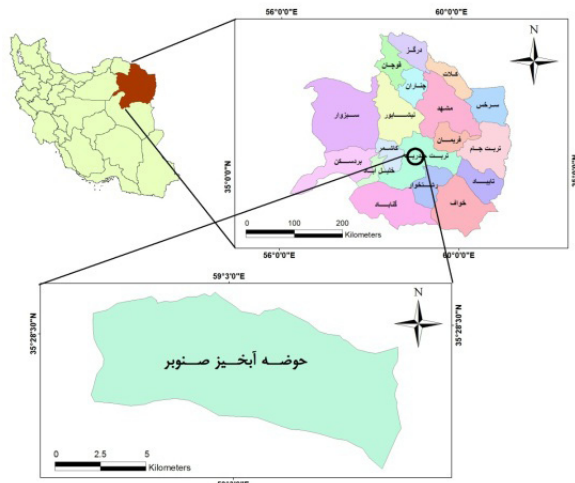
در شاخص SPI هرچه پایه زمانی کوتاه‌تر باشد به تغییرات بارندگی ماهانه سریع‌تر واکنش داده و نوسانات خشکسالی را بهتر نشان می‌دهد [۱۳، ۱۸]. لذا برای تعیین بهترین منحنی منحنی سنج رسوب در شرایط نرمال، ترسالی و خشکسالی از SPI سه‌ماهه استفاده شد. کلاس‌های رطوبتی شاخص SPI در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد شده SPI (مکی کی و همکاران، [۱۵])

Table 1. Classification of drought situation based on SPI (McKee et al. 1993)

SPI	Situation	وضعیت
≥ 2	very severe wet	مرطوب بسیار شدید
1.5 - 1.99	severe wet	مرطوب شدید
1 - 1.49	weak wet	مرطوب ضعیف
-0.99 - 0.99	normal	نرمال
-1 - -1.49	weak drought	خشکسالی ضعیف
-1.5 - -1.99	severe drought	خشکسالی شدید
≤ -2	very severe drought	خشکسالی بسیار شدید

طبق این روش دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار -1 یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد. در این تحقیق از سه کلاس رطوبتی خشک، نرمال و مرطوب برای تعیین خشکسالی و ترسالی استفاده شده است. لازم به ذکر است تعداد سال‌هایی که در آنها خشکسالی‌ها و یا ترسالی‌های با شدت‌های متفاوت اتفاق افتاده بود کم بوده و تعداد داده کافی اندازه‌گیری شده رسوب برای تعیین منحنی سنج رسوب وجود نداشت، لذا فقط وجود ترسالی یا خشکسالی در نظر گرفته شده و از در نظر گرفتن شدت آن صرف‌نظر شده است. در این تحقیق برای محاسبه شاخص SPI از نرم‌افزار DIP¹ استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Geographical location of the study area.

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از داده‌های روزانه بارش، دبی و رسوب ایستگاه هیدرومتری صنوبر در طول دوره آماری ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۸ استفاده شده است. این دوره ۴۲ ساله به سه دوره ۱۴ ساله (۶۰-۱۳۴۶، ۷۴-۱۳۶۱ و ۸۸-۱۳۷۵) تقسیم شد. برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی در سه مقطع زمانی یاد شده از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد.

تعیین وضعیت خشکسالی و ترسالی

در این تحقیق برای تعیین وضعیت ترسالی و خشکسالی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در پایه زمانی سه ماهه استفاده شد. شاخص SPI یکی از کارآمدترین شاخص‌ها برای تعیین شدت و مدت خشکسالی است [۸، ۲]. این شاخص توسط مک کی و همکاران [۱۵] در سال ۱۹۹۳ تدوین شد و اساس آن احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمانی است. شرط استفاده از شاخص SPI برآزش داده‌های بارش با توزیع گاما می‌باشد [۱۱]. تابع چگالی احتمال توزیع گاما به صورت زیر تعریف شده است.

$$g(x) = \frac{1}{B^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \cdot X^{\alpha-1} \cdot e^{-x/B} \quad (1)$$

که در آن α پارامتر شکل، β پارامتر مقیاس، X مقدار بارندگی و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما بوده که از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

چون تابع گاما برای $X=0$ (بارندگی صفر میلی‌متر) تعریف نشده است و توزیع بارندگی ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، تابع احتمال تجمعی که در برگیرنده مقادیر صفر هم باشد از رابطه ۳ به دست می‌آید:

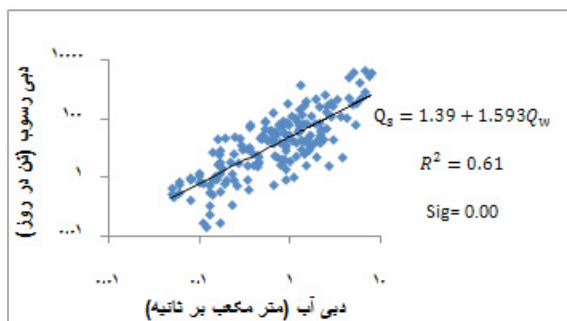
$$H(X) = q + (1 - q)G(X) \quad (3)$$

که در آن q احتمال صفر بودن مقدار بارندگی می‌باشد. تغییر شکل احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z (یا SPI) با میانگین صفر و واریانس یک صورت می‌گیرد. برای

در ایستگاه صنوبر

Table 2. Percentage frequency of each moisture status based on SPI₃ in considered periods in Senobar Station.

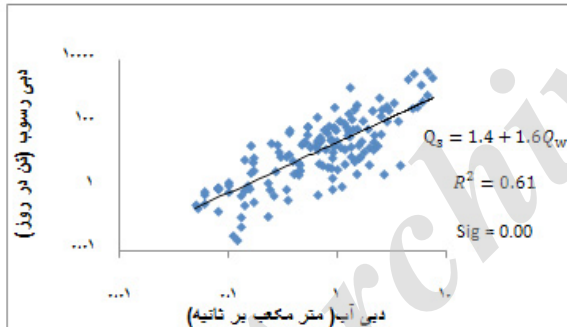
وضعیت رطوبتی	moisture status			کل دوره
	خشکسالی	نرمال	ترسالی	
	Drought	Normal	Wet	
	11.9	73.81	14.19	کل دوره (۱۳۸۸-۱۳۴۶)
	7.14	78.57	14.28	۱۳۶۰-۱۳۴۶
	7.14	71.42	21.42	۱۳۶۱-۱۳۷۴
	21.42	71.42	7.14	۱۳۷۵-۱۳۸۸



شکل ۲- منحنی سنج رسوب در کل دوره آماری در

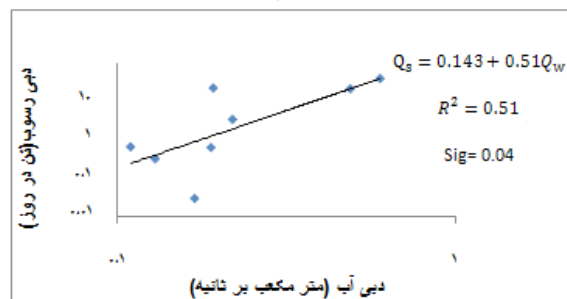
حوضه صنوبر

Figure2. Sediment rating curve of total period in Senobar watershed.



شکل ۳- منحنی سنج رسوب دوره نرمال در حوضه صنوبر

Figure3. Sediment rating curve of normal period in Senobar watershed.



شکل ۴- منحنی سنج رسوب دوره خشکسالی در حوضه صنوبر

Figure4. Sediment rating curve of drought period in Senobar watershed.

برای برآورد رسوب سالانه از منحنی سنج رسوب استفاده شد. به منظور تعیین بهترین مدل برآورد رسوب، منحنی‌های سنج رسوب در چهار وضعیت کل دوره، سال‌های مرطوب، خشک و نرمال محاسبه شد. از آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین (R^2) و ضریب نش- ساتکلیف (C_{NS}) جهت ارزیابی مناسب‌ترین روش برآورد رسوب استفاده گردید. پس از تعیین مناسبترین معادله سنج رسوب، مقادیر دبی برای روزهایی که نمونه‌برداری رسوب انجام نشده است، تعیین گردید. جهت بررسی تغییر وضعیت رسوب در بارندگی‌های مشابه در دوره‌های مختلف، رسوب متناظر با بارندگی‌های با زمان وقوع و مقدار مشابه در هر یک از سه دوره‌ی مطالعاتی محاسبه شده و نتایج با یکدیگر مقایسه شد. برای تعیین وجود روند تغییرات در داده‌های دبی و رسوب از آزمون ناپارامتری من- کندال و شیب خط سن^۱ در سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده شد.

تهیه نقشه‌های کاربری اراضی

برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سه مقطع زمانی از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۸ استفاده گردید. تصویر دوره‌ی ۱۳۴۶ تا ۱۳۶۰ مربوط به ماهواره MSS سال ۱۳۵۱، تصویر دوره‌ی ۱۳۶۱ تا ۱۳۷۴ مربوط به سنجنده‌ی TM ماهواره Landsat در سال ۱۳۷۰ و تصویر دوره‌ی ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۸ مربوط به سنجنده‌ی ETM ماهواره Landsat در سال ۱۳۸۸ می‌باشند. تصاویری که استفاده شده مربوط به سال‌های نرمال از نظر بارندگی می‌باشد. نقشه کاربری اراضی در طی سه دوره ذکر شده تهیه شد و مساحت هر یک از کاربری‌ها و تغییرات آنها در دوره‌های مختلف محاسبه شد. داده‌های مربوط به تبدیل کاربری‌ها در طول دوره مطالعاتی به علت غیرنرمال بودن توسط آزمون ویلکاکسون^۲ در نرم‌افزار SPSS مورد مقایسه آماری قرار گرفت. در مورد تغییرات کاربری‌ها، داده‌ها به صورت دو به دو بین دو دوره‌ی اول و دوم، اول و سوم همچنین بین دوره دوم و سوم بررسی شده و به علت تعداد کم داده‌ها از آزمون آماری فریدمن^۳ برای مقایسه کلی تغییرات بین دوره‌ها استفاده شد.

نتایج

جدول ۲ درصد وقوع هر یک از شرایط رطوبتی را در کل دوره آماری و طی دوره‌های ۶۰-۱۳۴۶، ۷۴-۱۳۶۱ و ۸۸-۱۳۷۵ نشان می‌دهد.

شکل‌های ۲ تا ۵ به ترتیب منحنی‌های سنج رسوب را برای کل دوره آماری، در طی سال‌های نرمال، خشک و مرطوب در حوضه آبخیز صنوبر نشان می‌دهند.

نتایج مربوط به شاخص‌های ارزیابی منحنی‌های سنج در جدول

- 1- Sen's slope
- 2- Wilcoxon test
- 3- friedman

جدول ۴- متوسط رسوب معلق روزانه (تن در روز) در طول دوره‌های مختلف و بر اساس وضعیت خشکسالی

Table 4. Mean of daily suspended load (ton/day) in different period and based on drought situation.

۱۳۸۸-	۱۳۷۴-	۱۳۶۰-	statue	وضعیت
۱۳۷۵	۱۳۶۱	۱۳۴۶		
1996-	1982-	1967-		
2009	1995	1981		
25.3	20.34	47.86	Total years	کل سال‌ها
0.55	9.38	1.68	Dry years	سال‌های خشک
31.47	20	59.8	Normal years	سال‌های نرمال
23	30.25	19.78	Wet years	سال‌های مرطوب

جدول ۵- متوسط دبی روزانه در دوره‌های مختلف ایستگاه سنوبر

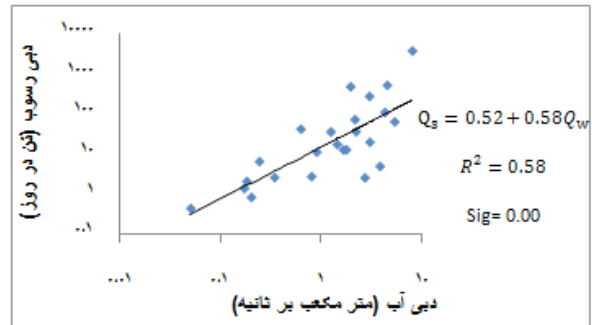
Table5. Daily mean discharge in different periods in Senobar station

دبی متوسط روزانه Mean daily discharge(m ³ /s)	Period	دوره
0.6	1967-1981	۱۳۴۶-۱۳۶۰
0.5	1982-1995	۱۳۶۱-۱۳۷۴
0.36	1996-2009	۱۳۷۵-۱۳۸۸

جدول ۶- نتایج آزمون من-ویتنی برای مقایسه رسوب‌دهی در دوره‌های مختلف

Table6. Results of Man-Whitney test to comparison of sedimentation in different periods.

سطح معنی‌داری Significant level	periods	دوره‌ها	شرایط رطوبتی Moisture situation
0.000	First- Second	اول و دوم	کل total
0.000	First -Third	اول و سوم	
0.000	Second- Third	دوم و سوم	
0.000	First- Second	اول و دوم	خشک‌سالی drought
0.261	First -Third	اول و سوم	
0.000	Second- Third	دوم و سوم	
0.000	First- Second	اول و دوم	نرمال normal
0.000	First -Third	اول و سوم	
0.702	Second- Third	دوم و سوم	
0.000	First- Second	اول و دوم	مرطوب wet
0.324	First -Third	اول و سوم	
0.000	Second- Third	دوم و سوم	



شکل ۵- منحنی سنج رسوب دوره مرطوب در حوضه سنوبر
Figure5. Sediment rating curve of wet period in Senobar watershed.

۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد متوسط ضریب تبیین (R^2)، ضریب نش-ساتکلیف (CNS) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به تفکیک سالهای مرطوب، نرمال و خشک، به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۵۶ و ۰/۳۵ می‌باشد که نسبت به کل دوره آماری شاخص‌های ضریب نش-ساتکلیف (CNS) و ریشه میانگین مربعات خطا بهبود یافته است، لذا با تفکیک سالهای خشک، نرمال و مرطوب منحنی سنج رسوب با دقت بیشتری مقدار رسوب را برآورد می‌کند.

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل‌های مختلف برآورد رسوب معلق در ایستگاه سنوبر

Table3. Evaluation indices values of different models of suspended sediment load estimation in Senobar station.

مدل	Model	R^2	CNS	RMSE
کل دوره آماری	Total Period	0.61	0.251	539.6
سالهای مرطوب	Wet years	0.58	0.097	716.9
سالهای نرمال	Normal years	0.61	0.249	527.6
سالهای خشک	Dry years	0.51	0.720	7.434

متوسط تولید رسوب روزانه براساس منحنی‌های سنج رسوب در حالت‌های مختلف رطوبتی در طول دوره‌های مورد نظر برآورد شده که نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است.

متوسط دبی روزانه در طی سه دوره مورد نظر نیز در جدول ۵ ارائه شده است.

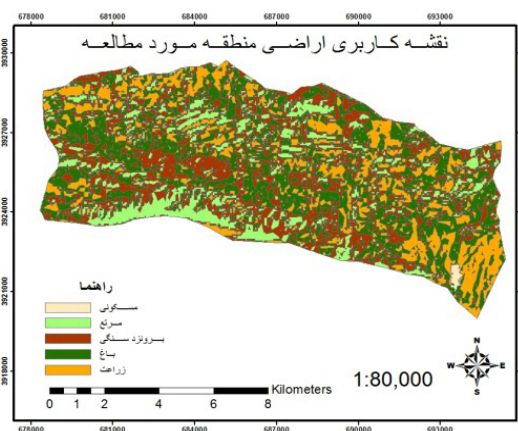
به طور کلی در طول دوره مورد مطالعه رسوب‌دهی حوزه کاهش داشته است، همانگونه که آبدهی آن نیز کم شده است. رسوب‌دهی حوزه در سال‌های خشک به مراتب کمتر از سال‌های مرطوب و نرمال می‌باشد. جدول ۶ نتایج آزمون من ویتنی^۱ برای مقایسه رسوب‌دهی در شرایط رطوبتی متفاوت، در دوره‌های مختلف را نشان می‌دهد.

همانطور که در جدول ۶ قابل مشاهده است، اختلاف بین

1- Mann-Whitney

عوامل موثر بر کاهش تولید رسوب می‌باشد. نتایج همبستگی بین شاخص خشکسالی هواشناسی با مقدار رسوب گویای این موضوع می‌باشد که ارتباط معنی‌داری بین وضعیت خشکسالی هواشناسی و مقدار تولید رسوب همان سال در طول دوره آماری وجود ندارد، اما اگر وضعیت تولید رسوب را با یک سال تاخیر در نظر بگیریم شرایط فرق می‌کند و ارتباط معنی‌دار می‌شود (سطح اطمینان ۰/۰۹۵). شکل‌های ۶ تا ۸ نقشه‌های کاربری اراضی حوزه آبخیز صنوبر را در طول دوره آماری مورد بررسی نشان می‌دهند.

جدول ۹ مساحت انواع کاربری‌ها و جدول ۱۰ درصد تغییرات هریک از کاربری‌ها را در حوزه آبخیز صنوبر در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۶- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز صنوبر دوره ۱۳۴۶-۱۳۶۰

Figure 6. Land use map of Senobar watershed in 1967-1981



شکل ۷- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز صنوبر دوره ۱۳۷۴-۱۳۶۱

Figure 7. Land use map of Senobar watershed in 1982-1995

دوره‌های اول و دوم و سوم معنی‌دار می‌باشد. به عبارت دیگر داده‌های رسوب در دوره‌های مختلف با هم تفاوت دارند. با تعیین بارندگی‌های مشابه در هر دوره‌ی آماری و با داشتن رابطه دبی رسوب و تعیین ترسالی و خشکسالی، میزان رسوب تولیدی در هر واقعه‌ی بارندگی، برآورد شد. میزان رسوب متناظر با وقایع بارندگی مشابه در سه دوره‌ی ۱۳۶۰-۱۳۴۶، ۱۳۷۴-۱۳۶۱ و ۱۳۸۷-۱۳۷۵ مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۷ نتایج آزمون‌های ویلکاکسون برای مقایسه رسوب‌دهی دوره‌های مربوطه در وقایع بارندگی متناظر را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که تولید رسوب در وقایع بارش مشابه در دوره اول با دو دوره دوم و سوم اختلاف معنی‌دار دارد ولی دوره‌های دوم و سوم با هم اختلاف معنی‌دار ندارند، ضمن آن که رسوب از دوره اول تا سوم کم شده است.

جدول ۷- نتایج آزمون ویلکاکسون برای مقایسه رسوب‌دهی دوره‌های مختلف در وقایع بارندگی متناظر

Table 7. The results of Wilcoxon test to comparison of sedimentation in different period in match rainfall events.

سطح معنی‌داری Significant level	Comparison period	دوره‌های مورد مقایسه
0.011	First- Second	دوره اول با دوم
0.001	First -Third	دوره اول با سوم
0.79	Second- Third	دوره دوم با سوم

جدول ۸ نتایج آزمون من-کندال در مورد روند تغییرات بارش، دبی و رسوب سالانه حوزه صنوبر را نشان می‌دهد.

جدول ۸- نتایج آزمون روند تغییرات بارش، دبی و رسوب سالانه درحوزه صنوبر

Table 8. Results of trend test for the annual precipitation, discharge and sediment in Senobar watershed

پارامتر	parameter	Test Z	Sen's slope
بارش	precipitation	-0.43	-0.648
دبی	discharge	-2.33*	-0.011
رسوب	sediment	-1.52	-53.466

معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪*

*Significant at 95% confidence level

نتایج بدست آمده از آزمون روند داده‌های بارش، دبی و میزان رسوب سالانه نشان داد که دبی جریان با سطح اعتماد ۹۵٪ دارای روند منفی می‌باشند اما در داده‌های بارش و رسوب روند معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. لذا روند منفی دبی در طول دوره زمانی یکی از

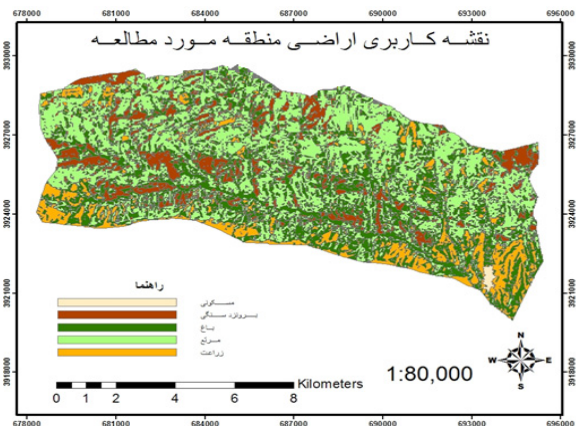
جدول ۱۰- نوع و درصد تغییرات کاربری اراضی صورت گرفته در حوزه آبخیز صنوبر در دوره‌های مختلف

Table 10. Type and percentage of land use changes in different periods in Senobar watershed

دوره دوم به سوم Second period to third period	دوره اول به دوم First period to second period	Change type	نوع تغییر
درصد تغییرات Changes (%)	درصد تغییرات Changes (%)		
2.79	2.97	farming to Gardening	زراعت به باغ
0.508	13.30	Farming to rangeland	زراعت به مراتع
0.007	0.26	Farming to out crop	زراعت به برونزد سنگی
1.465	2.51	Gardening to farming	باغ به زراعت
19.585	1.16	Gardening to rangeland	باغ به مراتع
1.465	3.84	Gardening to out crop	باغ به برونزد سنگی
11.46	3.88	Rangeland to gardening	مرتع به باغ
5.47	1.24	Rangeland to farming	مرتع به زراعت
0.11	10.06	Rangeland to out crop	مرتع به برونزد
0.35	2.87	out crop to rangeland	برونزد به مرتع
56.46	57.58	Without change	بدون تغییر

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام شده در زمینه تغییرات کاربری اراضی مربوط به سه دوره بیانگر تغییرات محسوس در مساحت انواع استفاده از اراضی نسبت به دوره زمانی پیشین است. اراضی مرتعی از ۱۴ درصد به ۲۹/۴ درصد و سپس به ۴۱/۲ درصد افزایش یافته است. اراضی زراعی از ۲۱ درصد به ۶ درصد در دوره دوم و سپس به ۱۱ درصد در دوره سوم تغییر کرده است. سطح کاربری مسکونی تغییر محسوسی را نشان نمی‌دهد. با توجه به یافته‌های تحقیق، بخش اعظم تغییرات کاربری اراضی رخ داده در زمینه‌ی تبدیل باغات به مرتع و زراعت به مرتع است (به ترتیب ۱۹/۶ و ۱۳/۳٪). بنابراین کاهش تولید رسوب در این دوره‌ی زمانی را می‌توان به تغییرات کاربری اراضی و در



شکل ۸- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز صنوبر دوره ۱۳۷۵-۱۳۸۸

Figure 8. Land use map of Senobar watershed in 1996-2009

جدول ۹- مساحت انواع کاربری اراضی در حوزه آبخیز صنوبر در دوره‌های مختلف

Table 9. The area of land use types in different periods in Senobar watershed

دوره اول First period	دوره دوم Second period	دوره سوم Third period	مساحت (هکتار)	مساحت (هکتار)	مساحت (هکتار)	کاربری	Land use
Area(ha)	Area(ha)	Area(ha)					
28	28.2	28.5	28	28.2	28.5	مسکونی	Residential
3510	3540	3452.5	3510	3540	3452.5	باغ	Gardening
2057	570	1062	2057	570	1062	زراعت	Farming
1362	2848.8	3988	1362	2848.8	3988	مرتع	Rangeland
2710	2680	1136	2710	2680	1136	برونزد سنگی	Out crop

۵۷/۵۸ درصد سطح کاربری‌های قبلی در سال ۱۳۴۶ بی هیچ تغییری در دوره دوم نیز یافت شد و در مورد دوره دوم و سوم نیز ۵۶/۴۵ درصد سطح کاربری‌های دوره دوم بی هیچ تغییری در دوره سوم نیز یافت شد. در فاصله سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۷۴ بیشترین مقدار تغییر کاربری مربوط به تبدیل اراضی زراعت آبی به مرتع می‌باشد که حدود ۱۳۳۰ هکتار از اراضی آبی به مرتع تبدیل شده‌اند. در فاصله سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۸ بیشترین تغییر کاربری مربوط به تغییر کاربری باغ به مرتع می‌باشد که در طول این مدت حدود ۱۹۵۸ هکتار از باغات به مرتع و دیم زارهای رها شده و زمین‌های آیش و بایر تبدیل شده‌اند. نتایج آزمون فریدمن نشان داد، تغییرات و تبدیل کاربری‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبوده است.

منحنی سنج رسوب محاسبه گردد، مقدار رسوب با دقت بیشتری برآورد می‌گردد، نتایج مشابهی توسط پیری [۱۹] بدست آمده است. با توجه به نقش پوشش گیاهی در کاهش رسوب پیشنهاد می‌گردد با استفاده از تعداد بیشتری از تصاویر ماهواره‌ای نقشه پوشش گیاهی منطقه در دوره‌های مختلف تهیه شده و ارتباط بین پوشش گیاهی و میزان رسوب مطالعه گردد. همچنین پیشنهاد می‌شود که در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی برای دست‌یابی به دقت بیشتر از تصاویری با تفکیک مکانی بالا استفاده شود.

منابع

1. Ansari, P, Jamali, A. and Behnia, A. 2014. Investigation of rainfall effect on sediment rate in different seasons, case study: Zard Sub Cachment of Karoun Watershed. 2th Electronical conference of sustainable agriculture and natural resources, Abadan (In Persian).
2. Bazrafshan , O. Mohseni Saravi , M. Malekian, A. and Moeini, A. 2011. A study on drought characteristics of Golestan Province using Standardized Precipitation Index (SPI). Iranian journal of Range and Desert Research. 18(3):395-407. (In Persian).
3. Chakrapani, G. J. and Subramania, V. 1990. Factors controlling sediment transport in the Mahandi river basin, India. Journal of Hydrology. 117: 169-185.
4. Delgado, M. I. Gaspari, F. J. and Kruse, E. E. 2015. Land Use Changes and Sediment Yield on a Hilly Watershed in Central-East Argentina. Soil & Water Res. 10 (3): 189–197.
5. Du, J. Shi, CH. X. and Zhang, CH. D. 2013. Modeling and analysis of effects of precipitation and vegetation coverage on runoff and sediment yield in Jinsha River Basin. Water Science and Engineering. 6(1): 44-58.
6. Garbrecht, J. 2008. Effects of Multiyear Precipitation Variations on Watershed Runoff and Sediment Yield CEAP benchmark watershed. Journal of Soil and Water Conservation. 63(2):70-76.
7. Ghaffari, G. and Mahdavi, M. 2014. Effect of wet and dry periods on the amount of specific sediment (Case Study: Kharkheh Watershed). Iran-Watershed Management Science and Engineering, 9(30): 49-54. (In Persian).
8. Ghabaei Sough, M. and Mosaedi, A. 2012. Design process of selecting appropriate drought index based on monitoring multivariate meteors in some stations of arid and semi-arid regions, Iran. Journal of Water and Soil. 26(2):

نتیجه افزایش اراضی مرتعی مرتبط دانست. تحقیق انجام شده در حوزه‌ی آبخیز طالقان توسط نظری سامانی و همکاران [۱۷] نیز نشان داد علت کاهش رسوب در طول زمان در بارندگی مشابه مربوط به آثار افزایش اراضی رهاشده در منطقه است. دبی جریان در طول دوره آماری مورد بررسی دارای روند منفی می‌باشد، اما بارش بدون روند می‌باشد. بین مقادیر دبی رودخانه در سه دوره مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار وجود دارد که نشان‌دهنده وجود تغییرات آبدی رودخانه در دوره‌های مورد نظر می‌باشد. تغییرات دبی در طول زمان یکی از عوامل موثر بر روی تولید رسوب می‌باشد و با کاهش دبی میزان رسوب کاهش می‌یابد که با نتایج قدوسی و همکاران [۹] در حوزه طالقان مطابقت دارد. در بررسی وضعیت خشکسالی منطقه مشخص شد فراوانی وقوع وضعیت نرمال بیش از سایر وضعیت‌های رطوبتی می‌باشد. بعد از وضعیت نرمال، درصد فراوانی وقوع ترسالی نسبت به خشکسالی در هر دو بازه زمانی سالانه و فصلی بیشتر می‌باشد. درصد وقوع خشکسالی در دوره سوم بیشتر از دو دوره قبل می‌باشد. که نشان دهنده افزایش خشکسالی‌ها در دوره اخیر می‌باشد که برعکس نتایج یان جان و همکاران [۲۲] می‌باشد. نتایج بررسی‌های آماری مقایسه وضعیت خشکسالی با مقدار رسوب نشان داد ارتباط مستقیمی بین میزان شاخص خشکسالی و تولید رسوب با یکسال تاخیر وجود دارد. در حالیکه ارتباط تولید رسوب و میزان پوشش گیاهی معکوس است که با نتایج دو و همکاران [۵] مطابقت دارد. در طی دوره سوم با تبدیل بخشی از اراضی زراعی به مرتع، تولید رسوب کاهش داشته که می‌تواند نشان دهنده نقش پوشش گیاهی در کاهش رسوبات باشد که با نتایج نظری سامانی و همکاران [۱۷]، صادقی و همکاران [۲۱] و قدوسی و همکاران [۹] مطابقت دارد. در سالهای مرطوب میزان تولید رسوب چند برابر سالهای خشک می‌باشد و بیشترین میزان تولید رسوب نیز در فصول مرطوب سال مشاهده شد که با نتایج غفاری و مهدوی [۷] و انصاری و همکاران [۱] مطابقت دارد. میزان رسوب در وقایع بارش مشابه در طی دوره‌های مختلف متفاوت است و به نظر می‌رسد عوامل دیگری نظیر وضعیت پوشش گیاهی و شدت بارش در این تغییرات دخیل می‌باشد که با نتایج دلگادو و همکاران [۴] مطابقت دارد. مقدار تولید رسوب در سالهای خشک کمتر از سالهای نرمال و مرطوب می‌باشد. در دوره‌های مرطوب با افزایش میزان بارش و رواناب حاصل از آن قدرت تخریب و حمل رواناب افزایش یافته و حجم بار رسوبی حمل شده توسط رودخانه بیشتر از دوره‌های خشکسالی است، که با نتایج نظری سامانی و همکاران [۱۷]، گاربرجت [۶]، گیاکوماکیس و تساکیریس [۱۰] و قدوسی و همکاران [۹] مطابقت دارد. میزان رسوب در طی دوره‌های مرطوب کمتر از سالهای نرمال می‌باشد، به نظر می‌رسد در طی ترسالی‌ها با افزایش استقرار پوشش گیاهی و نقش آن در کاهش رسوب، میزان فرسایش در سالهای مرطوب علیرغم افزایش دبی کاهش می‌یابد. چنانچه دوره‌های رطوبتی تفکیک شده و برای شرایط ترسالی و خشکسالی و نرمال

16. Mirabolghasemi, H. and Morid, S. 1991, Study of sedimentation and some effective factors in Karkheh river. National Conference of erosion and sediment, Tehran, Iran. (In Persian).
17. Nazari samani, A. Heravi, H. Panahi, M. and JafariShalamzari, M. 2013. The effect of change on land use and precipitation on the sediment in Taleghan basin. Journal of range and watershed management. 66, 157-165. (In Persian).
18. Negaresh, H. Khosravi, M. Shah Hosseini, M. and Mahmoudi, P.2010. A Study on Short-Term Droughts of Zahedan Township. Geography and Development. 18:109-134. (In Persian).
19. Piri A.A. 2003. Optimization of the relationship between water and sediment discharge in amame representative basin, M.Sc. thesis of watershed management, Natural resources faculty, University of Mazandaran. (In Persian).
20. Rompaey, A. V. Krasa, J. Dostal, T. 2007. Modeling the impact of land cover changes in the Czech Republic on sediment delivery. Land Use Policy. 24(3): 576-583.
21. Sadeghi, H. R., Shojai, Gh. And Moradi, H. R. 2007. Impact of land use change and sediment yield in Mandarijan watershed. Agricultural Research. 4:239-251. (In Persian).
21. Yan-jun, L. Xiao-ding, Z. Fan, L. and Jing, M. 2012. Analysis of drought evolvment characteristics based on standardized precipitation index in the Huaihe river basin. Procedia Engineering. 28:434-437.
9. Ghoddousi, J. Feiznia, S. Ahmadi, H. Shabani, M. and Sarreshtedari, A. 2006. Relationship between land use change and amount of erosion and sediment production in Taleghan watershed. Pajouhesh va Sazandegi. 19(3):123-130. (In Persian).
10. Giakoumakis, S.G. and Tsakiris, G. P. 1997. Meteorological Drought Effect on Sediment Yield, Water Resources Management, 11: 365-376.
11. Hayes, M. J. Svoboda, M. D. Wilhite, D.A. and Vanyarkho, O. V. 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. Bulletin of the American Meteorological society. 80:429-438.
12. Huang, T. and Lo, K. 2015. Effects of Land Use Change on Sediment and Water Yields Yang Ming Shan National Park, Taiwan. Environments. 2: 32-42.
13. Katsiabani, K. Mavrakis, A. Cartalis, C. and Theocharatos, G. 2006. Estimation of the temporal evolution of drought episodes in Greece with the use of the SPI meteorological drought index. Proceedings of the International Conference of Information Systems in Sustainable Agriculture, Agro environmental and Food Technology, Volos, Greece, 1-11.
14. Li, T and Gao, Y. 2015. Runoff and Sediment Yield Variations in Response to Precipitation Changes: A Case Study of Xichuan Watershed in the Loess Plateau, China. Advance Water Science. 7: 5638-5656.
15. Mckee, T. B. Doesken, N. J. and Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple timescales. 9th conference on Applied Climatology, USA, Dallas. 233-236.

Abstract

Effects of Precipitation and Land Use Changes on Sediment Yield (Case Study: Senobar Watershed- Torbat Heydarieh)

M. Azarakhshi¹, A. Mosaedi², M. Bashiri³, and R. Ojaghloo Shahabi⁴

Received: 2015/11/29 Accepted: 2016/11/21

Soil erosion in the watersheds is a function of some factors such as climatology, topography, soil type and land use. Within these factors, the importance of precipitation because of its high variation and land use because of the role of humans on community development is very clear. In this research, the precipitation, discharge and sediment data in a statistical period from 1967 to 2009 were used. Drought situation was calculated by standard precipitation index with 3 months' time scale. Land use maps were prepared in three periods based on satellite images, and the changes of land use between these periods were compared. Results showed that the area of rangelands and farms from initial to final section of study period varied from 14% and 21% to 41% and 11%, respectively. Significant difference in sedimentation rate is visible between initial and final sections of study period. Percentage of drought occurrence increased to triple from initial to final period. The result of Mann-Kendall test showed a negative trend for watershed discharge at 95% significant confidence level. Therefore, it seems that increasing drought occurrences and therefore decreasing runoff and change of farms to rangeland, caused to the decreasing suspended sediment load in Senobar watershed.

Keywords: *Satellite images, Trend analysis, Climatological drought, Discharge, rating curve*

1- Assistant Professor, University of Torbat Heydarieh, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Department of Range and Watershed Management. Corresponding author, Email: m.azarakhshi@torbath.ac.ir

2- Professor, Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Natural Resources and Environment, Department of Watershed and Range Management, Email: mosaedi@um.ac.ir

3- Assistant Professor, University of Torbat Heydarieh, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Department of Range and Watershed Management, Email: m.bashiri@torbath.ac.ir

4- M.Sc. student, University of Torbat Heydarieh, Email: r.ojaghlo@gmail.com