

تأثیر تغییرات کاربری اراضی و دبی بر ضرایب منحنی سنجهرسوب معلق در حوزه‌های جنگلی زاگرس

مهدی پورهایمی: دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

یاسم خان‌محمدیان: کارشناسی ارشد جنگل‌داری، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان ایلام، ایلام

شیرین محمدخان*: استادیار، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، تهران

مهدی کاکاوند: دانشجوی دکتری جنگل‌داری، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۵

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت): ۱۳۹۹/۰۲/۲۰

چکیده

در پژوهش پیش‌رو تأثیر تغییر کاربری اراضی و دبی متوسط سالانه طی دوره ۳۰ ساله (۱۳۶۶-۱۳۹۵) بر ضرایب منحنی سنجهرسوب سه حوزه آبخیز جنگلی سیدآباد، شاه‌بهرام و شیوزهره در استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و فارس مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سری لندست و الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال (ML) در چهار مقطع ۱۳۶۶، ۱۳۷۵، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۵ تهیه شد. سپس با استفاده از داده‌های ایستگاه هیدرومتری موجود در خروجی حوزه‌ها، تغییرات دبی سالانه و منحنی سنجهرسوب در سه دوره ۱۰ساله استخراج و تأثیر تغییرات دبی و کاربری اراضی بر ضرایب α (شاخص فرسایش‌پذیری خاک) و b (شاخص فرسایش‌پذیری) منحنی سنجهرسوب ($Q_s = \alpha Q_w b$) بررسی شد. نتایج نشان داد که در حوزه سیدآباد طی دو دوره ده‌ساله اول، فرسایش‌پذیری خاک افزایش، اما در دوره ۱۳۹۵-۱۳۸۶ به دلیل افزایش قابل ملاحظه وسعت اراضی جنگلی عمدتاً خوب (F1)، کاهش یافته است. در حوزه آبخیز شاه‌بهرام و شیوزهره با کاهش اراضی جنگلی عمدتاً ضعیف (F3) و اراضی مرتعی عمدتاً خوب (R1)، طی سه دوره متوالی ده‌ساله، فرسایش‌پذیری خاک کاهش داشت. با کاهش دبی سالانه به‌ویژه در دوره ۱۳۹۵-۱۳۸۶ در حوزه‌های سیدآباد و شاه‌بهرام، شاخص فرسایش‌پذیری کاهش یافته، اما در حوزه شیوزهره به‌رغم کاهش دبی در سه دوره متوالی ۱۰ساله، به‌نظر می‌رسد که در اثر تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه در نتیجه فعالیت‌های انسانی و در دسترس قرار گرفتن منابع رسوب جدید، مقدار این شاخص با افزایش مواجه شده است.

واژگان کلیدی: حداکثر احتمال؛ رسوب معلق؛ سیدآباد؛ شاه‌بهرام؛ شیوزهره؛ کهگیلویه و بویراحمد.

۱- مقدمه

جنگل‌های ناحیه رویشی زاگرس حدود شش میلیون هکتار (۴۰ درصد) از مساحت جنگل‌های ایران را به خود اختصاص داده‌اند که غالب پوشش درختی آنها بلوط است (Sagheb Talebi *et al*, 2014). این جنگل‌ها در معرض تهدیدات متعددی قرار دارند که از جمله آنها می‌توان به تغییر کاربری اراضی، قطع درختان، چرای دام، آتش‌سوزی عمدی و غیرعمدی، تهاجم آفات و بیماری‌ها و تغییرات اقلیمی اشاره کرد (Mahdavi *et al*, 2015). گرچه مشخص کردن صحیح و به‌موقع تغییرات در پدیده‌هایی که در سطح زمین رخ می‌دهد، پایه و اساس درک رابطه بین کارکردهای انسانی و رخدادهای طبیعی و استفاده از منابع طبیعی است (Mirzaei Zadeh *et al*, 2016)، اما گردآوری اطلاعات درباره تغییرات پیوسته پوشش جنگلی از طریق عملیات میدانی مستلزم صرف زمان و هزینه‌های زیادی است. بر همین اساس، بررسی تغییرات پوشش جنگلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به یکی از زیرشاخه‌های مهم در علم جنگل‌داری تبدیل شده و ابزاری برای نظارت و کنترل انواع تغییرات در اکوسیستم‌های جنگلی است (Masek *et al*, 2015; Mirzaei Zadeh *et al*, 2016).

به‌رغم آگاهی وسیع از تأثیرات منفی تخریب جنگل و اثرات زیست محیطی آن به‌ویژه در جوامع روستائی فقیر وابسته به جنگل، پوشش جنگلی همچنان با سرعت زیاد در مقیاس جهانی در حال نابودی است (Desbureaux and Damania, 2018). کاهش اراضی جنگلی علاوه بر آسیب‌پذیرتر شدن جوامع انسانی محلی (Jahantigh and Hosseini *et al*, 2020; Jahantigh, 2020) بر منابع آبی نیز اثرات سوئی دارد، به‌طوری‌که جنگل‌زدائی سبب به‌هم‌خوردن تعادل آبی حوزه آبخیز شده و افزایش تولید رواناب ناشی از آن با رخداد سیلاب‌های ویرانگر (Behrahi *et al*, 2018; Tan-Soo *et al*, 2016; Reinhardt-Imjela *et al*, 2017)، امنیت جانی و مالی جوامع انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از سوی دیگر، فرسایش خاک در مناطق جنگلی نسبت به سایر کاربری‌ها (زمین‌های کشاورزی و مراتع) کمتر است (Karamage *et al*, 2016). اما تخریب گسترده پوشش جنگلی به‌منظور تولید چوب و محصولات زراعی در سال‌های اخیر، حجم رسوبات در رودخانه‌ها را به‌طور چشم‌گیری افزایش داده است. انتقال رسوب و رسوب‌گذاری، پی‌آمدهایی چون ایجاد جزایر رسوبی در مسیر رودخانه و در نتیجه کاهش ظرفیت انتقال جریان‌های سیلابی، کاهش عمر مفید سدها و ظرفیت ذخیره مخازن، خوردگی تأسیسات سازه‌های رودخانه‌ای و وارد شدن خسارت به ابنیه آبی و مزارع، رسوب‌گذاری در کف کانال و مسائل و مشکلات بسیار دیگر را به دنبال دارد (Zanganeh *et al*, 2011). به‌طور معمول، غلظت رسوبات معلق از طریق روش منحنی سنجهرسوب^۱ و دبی تخمین زده می‌شود. چنین منحنی‌هایی غالباً با کاربرد رگرسیون خطی لگاریتم داده‌های رسوب و دبی یا منحنی‌نمایی داده‌های معمولی تولید می‌شود (Harrington and Harrington, 2013). در منحنی سنجهرسوب ($Q_s = \alpha Q_w^b$)، ضرایب α و b به‌ترتیب نشان‌دهنده شاخص فرسایش‌پذیری خاک^۲ و شاخص فرساینده‌گی^۳ است. در واقع، مقادیر زیاد ضریب b وابسته به افزایش قدرت نقل و انتقال و فرسایش در یک رودخانه است (Higgins *et al*, 2015). گرچه ضریب α به‌طور قابل توجهی با اندازه مساحت حوزه آبخیز تغییر می‌کند، اما انتظار می‌رود که تغییرات این ضریب در طول زمان یا از یک زمان معلوم به بعد در یک حوزه آبخیز معین، نشان‌دهنده دخالت‌های انسانی در فرایند هیدرولوژیکی رودخانه باشد (Wang *et al*, 2008). آنالیزهای جهانی نیز نشان داده‌اند که مقادیر ضرایب α و b ، به ویژگی‌های حوزه آبخیز همچون ناهمواری‌های توپوگرافیکی و رواناب وابسته‌اند (Syvitski *et al*, 2000). علاوه بر این ضرایب α و b ، بر اثر سایر عوامل می‌توانند تغییرات قابل توجهی داشته باشند. از جمله این عوامل می‌توان به، در دسترس بودن رسوب در حوزه (Yang *et al*, 2007; Huang and Montgomery, 2013)، تغییر گسترده کاربری اراضی و توسعه سطوح اراضی کشاورزی (Lambin and Meyfroidt, 2011)، تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه در نتیجه فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی (Elsner *et al*, 2010) اشاره کرد. در این خصوص، Wang و همکاران (۲۰۰۸) طی پژوهشی بر روی بزرگ‌ترین رودخانه چین (رودخانه یانگتسه^۴) به این نتیجه رسیدند که دخالت‌های انسانی سبب تغییر پارامترهای منحنی سنجهرسوب شده‌است، به‌طوری‌که ساخت سدها به‌همراه عملیات حفاظت از

¹ Sediment Rating Curve

² Index of soil erodibility

³ Index of erosivity

⁴ Yangtze River

خاک به دلیل کاهش آورد رسوب، سبب کاهش در ضریب α منحنی سنجه شده است. مطالعات Zarris و همکاران (۲۰۱۱) به این مساله اشاره دارد که به طور معمول مقدار ضریب b بین ۰/۵ تا ۳ برآورد می‌شود و مقادیر زیاد این پارامتر به معنای حجم زیاد انتقال رسوب در جریان رودخانه است. Higgins و همکاران (۲۰۱۷) با انجام پژوهشی در رودخانه مگدالن^۱ در کلمبیا به بررسی انتقال رسوب تحت تأثیر تغییرات دبی پرداختند. یافته‌های این پژوهشگران حاکی از آن است که طی دهه ۲۰۱۰-۲۰۰۰ با کاهش دبی جریان نسبت به دوره ۱۹۹۹-۱۹۹۰، مقدار ضریب α افزایش و ضریب b کاهش یافته است که این امر منجر به کاهش ۱۴ درصدی مقدار بار رسوب معلق شده است. Oliveira و Quaresma (۲۰۱۷) با بررسی تغییرات زمانی رسوبات معلق در حوزه آبخیز رودخانه دوک^۲ در جنوب شرق سواحل برزیل به این نتیجه رسیدند که افزایش فعالیت‌های انسانی (جنگل‌زدایی، شهرنشینی و تخریب خاک) منجر به بیشتر شدن رخدادهای شدید هیدرولوژیکی و در نتیجه افزایش مقدار بار رسوبی معلق رودخانه شده است. Zhang و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی تغییرات ضرایب منحنی سنجه رسوب در قسمت‌های میانی حوزه آبخیز رودخانه زرد در چین نیز به این نتیجه رسیدند که مقدار ضرایب منحنی سنجه رسوب با تغییرات در تأمین رسوب و مقاومت در برابر فرسایش، وابستگی بیشتری دارد. Liu و همکاران (۲۰۲۰) با انجام مطالعه‌ای در حوزه رودخانه نابان^۳ در جنوب غرب چین به بررسی تأثیر پوشش جنگلی و کشاورزی حفاظت شده بر مقدار بار رسوبی خروجی از حوزه پرداخته و به این نتایج دست یافتند که گرچه کاهش پوشش جنگلی سبب افزایش بار رسوبی می‌شود، اما با افزایش سطح کشاورزی حفاظت شده، می‌توان افزایش بار رسوب معلق ناشی از جنگل‌زدایی را به یک آستانه مطلوب کاهش داد.

از این رو، در پژوهش حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات کاربری اراضی در سه حوزه آبخیز جنگلی در محدوده استان کهگیلویه و بویراحمد و فارس مورد بررسی قرار گرفت و تأثیر تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه اراضی جنگلی و مرتعی خوب بر مقادیر ضرایب معادله سنجه رسوب حوزه‌های مطالعاتی تحلیل شد.

۲- منطقه مورد مطالعه

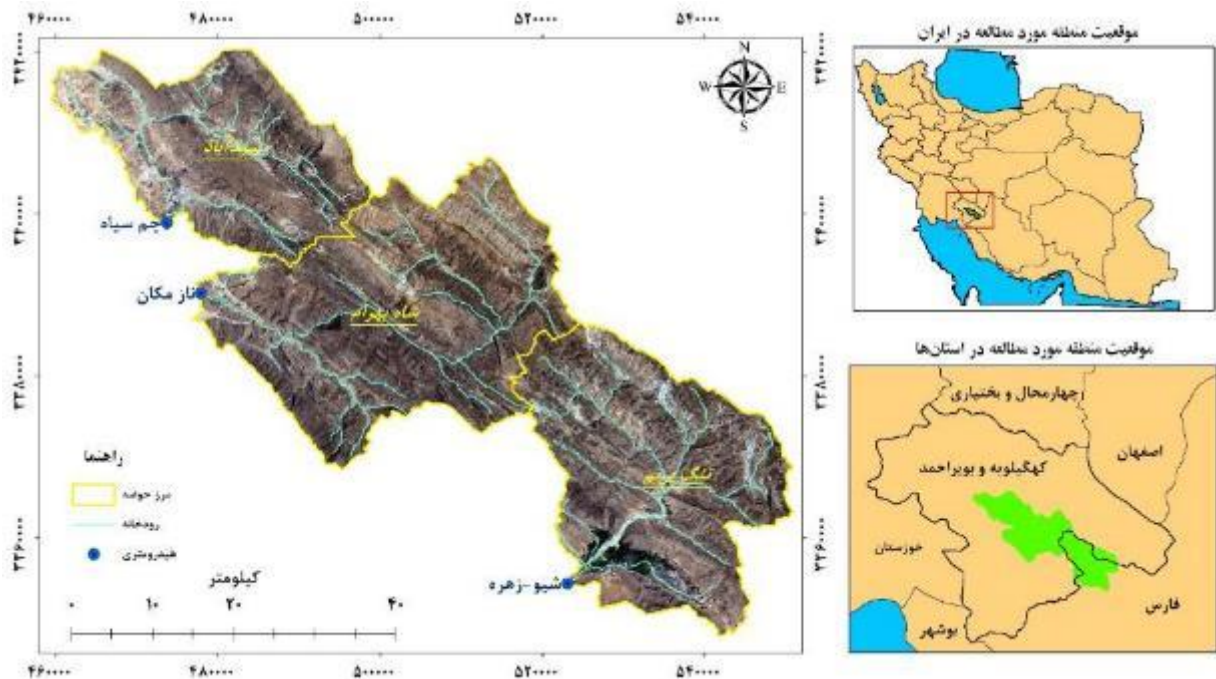
منطقه مورد مطالعه با مساحت ۲۴۰۰ کیلومتر مربع بخشی از جنگل‌های زاگرس است که سه حوزه آبخیز جنگلی سیدآباد و شاه‌بهرام در استان کهگیلویه و بویراحمد و تنگ‌بریم در استان فارس را دربر می‌گیرد. هر سه حوزه جنگلی مورد مطالعه، بخشی از حوزه بزرگ جراحی و زهره است. حداقل ارتفاع حوزه‌های سیدآباد، شاه‌بهرام و تنگ‌بریم به ترتیب ۶۵۳، ۶۴۷ و ۶۵۶ متر، ارتفاع حداکثر آنها به ترتیب ۳۴۸۳، ۳۱۸۲، ۲۹۱۳ متر و ارتفاع متوسط آنها به ترتیب ۱۵۰۸، ۱۹۹۵ و ۱۴۶۸ متر است. مورفولوژی حوزه‌های مورد مطالعه به صورت توپوگرافیک و کوهستانی است، به طوری که اختلاف ارتفاع بین حداقل و حداکثر ارتفاع حوزه‌های سیدآباد، نازمکان و تنگ‌بریم به ترتیب ۲۸۳۰، ۲۵۳۵ و ۲۲۵۷ متر و شیب متوسط آنها به ترتیب ۳۰، ۴۱ و ۳۳ درصد است. بیش از ۵۵ درصد از مساحت این محدوده دارای پوشش جنگلی است که غالب تیپ‌های گیاهی آن بلوط و بنه است. در خروجی هر سه حوزه مورد مطالعه، ایستگاه هیدرومتری- رسوب‌سنجی قرار گرفته که در آن کیفیت و کمیت آب رودخانه اندازه‌گیری می‌شود. در شکل ۱ موقعیت حوزه‌های جنگلی و ایستگاه‌های هیدرومتری- رسوب‌سنجی مورد مطالعه در ایران و استان‌ها در سیستم مختصات UTM^۴، زون ۳۹ شمالی نشان داده شده است.

¹ Magdalena

² Doce

³ Naban

⁴ Universal Transverse Mercator



شکل ۱: موقعیت حوزه‌های جنگلی و ایستگاه‌های هیدرومتری - رسوب‌سنجی مورد مطالعه در ایران و استان‌ها

۳- مواد و روش

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سری لندست، نقشه پوشش جنگلی در سه دهه اخیر (۲۰۱۷-۱۹۸۷) تهیه و سپس تأثیر تغییرات آن بر منحنی سنجهرسوب مورد بررسی قرار گرفت و برای این کار مراحل زیر دنبال شد.

دریافت تصاویر ماهواره‌ای و پیش‌پردازش‌های اولیه

در پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ و ۸ استفاده شد. سنجه TM^1 لندست ۵ دارای ۷ باند بوده که باندهای طیف مرئی آبی، سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی (باندهای ۱ تا ۵ و ۷) دارای تفکیک‌پذیری مکانی ۳۰ متر هستند. سنجنده OLI^2 لندست ۸ نیز دارای ۷ باند طیفی است که قدرت تفکیک آن ۳۰ متر است. در این پژوهش از اطلاعات باندهای طیفی تصاویر ماهواره‌های مذکور استفاده شد. در پردازش تصاویر ماهواره‌ای، انتخاب زمان مناسب تصاویر اخذ شده بسیار مهم است، به‌خصوص در تهیه نقشه کاربری اراضی و شاخص‌های گیاهی در مناطقی که پوشش‌های گیاهی نقش عمده‌ای دارند، بنابراین با مد نظر قرار دادن فصل رویش گیاهان مرتعی و زمان‌بندی کشت و برداشت محصولات زراعی، تمامی تصاویر مورد استفاده، به‌تقریب در نیمه دوم فصل تابستان (ماه آگوست) اخذ شد؛ چرا که زمان‌بندی کشت و برداشت محصولات زراعی و همچنین زمان خشک شدن پوشش مرتعی در منطقه مورد مطالعه، به گونه‌ای است که انتظار می‌رود انتخاب ماه آگوست در هر سال، اختلاط طیفی مربوط به گیاهان مرتعی و زمین‌های زراعی را با پوشش جنگلی به حداقل برساند. برای این منظور، تصاویر ماه آگوست در بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ (۱۳۶۶-۱۳۹۵) در چهار مقطع زمانی ۱۹۸۷، ۱۹۹۷، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۷ از طریق سایت نقشه‌برداری زمین‌شناسی آمریکا ($USGS^3$) دریافت شد. اتمسفر زمین از ذرات مایع، جامد و گاز تشکیل شده است که بسیاری از این ذرات سبب جذب^۴، انتشار^۵ و پراکندگی^۶ اپتیکی می‌شوند. سیگنال دریافتی در ماهواره، تابش نوری^۷ از سطح

¹ Thematic Mapper

² Operational Land Imager

³ The United States Geological Survey

⁴ Absorption

⁵ Diffusion

⁶ Scattering

⁷ Emergent Radiation

زمین و اتمسفر است که به صورت مستقیم از طریق سنسور ثبت شده است. تابش اندازه‌گیری شده در سنسور به تابش^۱ TOA معروف است. هدف از تصحیحات اتمسفری تبدیل تابش TOA اشیا به بازتاب از سطح زمین است (Kantakumar and Neelamsetti, 2015). برای تصحیح رادیومتریک و اتمسفری از ماژول فلش^۲ استفاده شد (Dube et al, 2014; Mushore et al, 2017).

تفکیک کاربری اراضی و ارزیابی دقت طبقه‌بندی

الگوریتم حداکثر احتمال (ML^۳) از مشهورترین الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده است که برای تهیه نقشه کاربری اراضی / پوشش زمین استفاده شده است (Madhura and Venkatachalam, 2015; Morgan et al, 2015). در این پژوهش، به منظور طبقه‌بندی کاربری اراضی از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال استفاده شد. و با به‌کارگیری نمونه‌های تعلیمی در قالب ۱۱ کاربری شامل اراضی آبی (IF)، اراضی دیم (DF)، جنگل خوب (F1)، جنگل متوسط (F2)، جنگل ضعیف (F3)، مرتع خوب (R1)، مرتع متوسط (R2)، مرتع ضعیف (R3)، اراضی مسکونی (UR)، سطوح آبی (W) و اراضی بایر (BL)، طبقات کاربری اراضی تفکیک شدند. علاوه بر این، برای تفکیک طبقه‌های جنگل خوب، متوسط، ضعیف و طبقه‌های مرتع خوب، متوسط و ضعیف، از شاخص NDVI استفاده شد. پس از محاسبه، برای تفکیک اراضی فاقد پوشش گیاهی، پوشش ضعیف، متوسط و خوب، این شاخص به سه طبقه تفکیک شد. طبقه NDVI کمتر از ۰/۲ به‌عنوان اراضی فاقد پوشش، بین ۰/۲ تا ۰/۵ ضعیف، بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ متوسط و بیش از ۰/۷۵ به‌عنوان پوشش خوب (Eisavi et al, 2015) در نظر گرفته شد. سپس، در مرحله برداشت نمونه‌های آموزشی و واقعیت زمینی، اطلاعات طبقه‌های شاخص NDVI با همپوشانی با مناطق مورد برداشت، برای تفکیک درصد پوشش مورد استفاده قرار گرفت. برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی مذکور ماتریس خطا^۴ طبقه‌بندی به‌کار گرفته شد. بر این اساس، با استفاده از ترکیبی از بازدید میدانی و برنامه Google Earth ۵۳۲ ماتریس خطا^۴ طبقه‌بندی به‌کار گرفته شد. از ۷۰ درصد نقاط به‌عنوان نقاط آموزش و از ۳۰ درصد باقی مانده برای ارزیابی نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی استفاده شد. مقایسه بین نتایج طبقه‌بندی و واقعیت زمینی با استفاده از معیارهای دقت تولیدکننده^۶، دقت کاربر^۷، صحت کلی^۸ و شاخص کاپای^۹ به‌دست آمده از ماتریس خطا مورد بررسی قرار گرفت (Kun et al, 2014). دقت تولیدکننده، اندازه‌گیری میزان طبقه‌بندی صحیح و احتمال قرار گرفتن یک پیکسل در تصور طبقه‌بندی شده در همان طبقه بر روی زمین است، در حالی که دقت کاربر، اندازه‌گیری قابلیت اطمینان نقشه برای هر کلاس و احتمال قرار گرفتن یک طبقه مشخص در روی زمین در همان طبقه بر روی تصویر طبقه‌بندی شده است (Namdar et al, 2014). دقت کلی، درصد صحیح پیکسل‌های طبقه‌بندی شده است و از ضریب کاپا برای اندازه‌گیری درجه توافق استفاده می‌شود که بر پایه توافق عملی طبقه‌بندی و توافق تصادفی محاسبه می‌شود و در واقع نشان‌دهنده توافق صحت کلی با حالت موجود در طبیعت است (Prasad et al, 2017). اندازه عددی ضریب کاپا بین -۱ تا +۱ است که هر چه به +۱ نزدیکتر باشد بیانگر وجود توافق متناسب و مستقیم است. اندازه‌های نزدیک به -۱ نشان‌دهنده وجود توافق وارون و عکس و اندازه‌های نزدیک به صفر عدم توافق را نشان می‌دهند.

$$K = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن: K ضریب کاپا، θ_1 دقت کلی و θ_2 توافق اتفاقی است.

^۱ Top of Atmosphere

^۲ FLAASH

^۳ Maximum Likelihood

^۴ Confusion matrix

^۵ Ground truth samples

^۶ Producer accuracy

^۷ User's accuracy

^۸ Overall accuracy

^۹ Kappa index

منحنی سنجه رسوب

رابطه دبی و رسوب معلق به صورت یک معادله خطی لگاریتمی طبق رابطه ۱ نشان داده می‌شود و شکل کلی رابطه لگاریتمی و نمایی آن به صورت رابطه‌های ۲ و ۳ است (Navratil *et al*, 2011 & Najafinejad *et al*, 2011).

$$\log(Q_s) = \log(\alpha) + b \log(Q_w) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$Q_s = \alpha Q_w^b \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این روابط : Q_s غلظت رسوب بر حسب میلی گرم بر لیتر (mg l^{-1}) یا تن در روز، Q_w دبی جریان بر حسب متر مکعب بر ثانیه ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) و α و b ضرایب ثابت معادله رگرسیونی هستند.

در مختصات لگاریتمی مقدار α فاصله قائم محل تقاطع خط بهترین برازش با محور قائم تا مبدأ مختصات و مقدار نمای b برابر شیب خط بهترین برازش است (Iadanza and Napolitano, 2006). برخی از پژوهشگران برای این ضرایب تفسیرهای فیزیکی ارائه کرده‌اند و مقدار این ضرایب را در ارتباط با شدت فرسایش و فرایندهای نقل و انتقال عنوان کرده‌اند (Higgins *et al*, 2015). مقادیر عددی زیاد ضریب α ، نشان دهنده‌ی در دسترس بودن مواد هوازده است، که می‌تواند به راحتی در اثر شیب حوزه شستشو و انتقال یابد. مقادیر زیاد ضریب b بر این مساله دلالت دارد که با افزایش جریان آب به مقدار کم، افزایش قدرت فرسایش رودخانه زیاد خواهد شد و یا زمانی که دبی افزایش می‌یابد، منابع رسوب جدید در دسترس قرار می‌گیرد (Asselman, 2000; Iadanza and Napolitano, 2006; Heng and Suetsugi, 2014).

تغییرات ضرایب منحنی سنجهرسوب در اثر تغییر کاربری اراضی

پس از تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی در سه دهه اخیر، به منظور بررسی تأثیر تغییرات پوشش جنگلی بر انتقال رسوب، از آمار و اطلاعات سه ایستگاه هیدرومتری- رسوب‌سنجی واقع در خروجی حوزه‌های مورد مطالعه استفاده شد. برای این منظور، ابتدا آمار دبی و رسوب معلق طی دوره ۳۰ ساله (سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۶۶) استخراج و سپس کیفیت داده‌های مذکور از نظر وجود داده‌های پرت و همچنین نواقص آماری مورد بررسی و اصلاح قرار گرفت. در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری- رسوب‌سنجی مورد مطالعه نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری- رسوب‌سنجی مورد مطالعه

حوزه آبخیز	هیدرومتری	سال تأسیس	مساحت (km^2)	دبی متوسط سالانه (m^3/s)	طول دوره آماری مورد استفاده (سال)
سیاه‌چم	سیدآباد	۱۳۶۱	۶۰۳	۷/۷	۳۰
شاه‌بهرام	نازمکان	۱۳۶۶	۹۹۸	۱۱/۲	۳۰
شیوزهره	تنگ‌بریم	۱۳۴۷	۷۹۹	۱۹/۱	۳۰

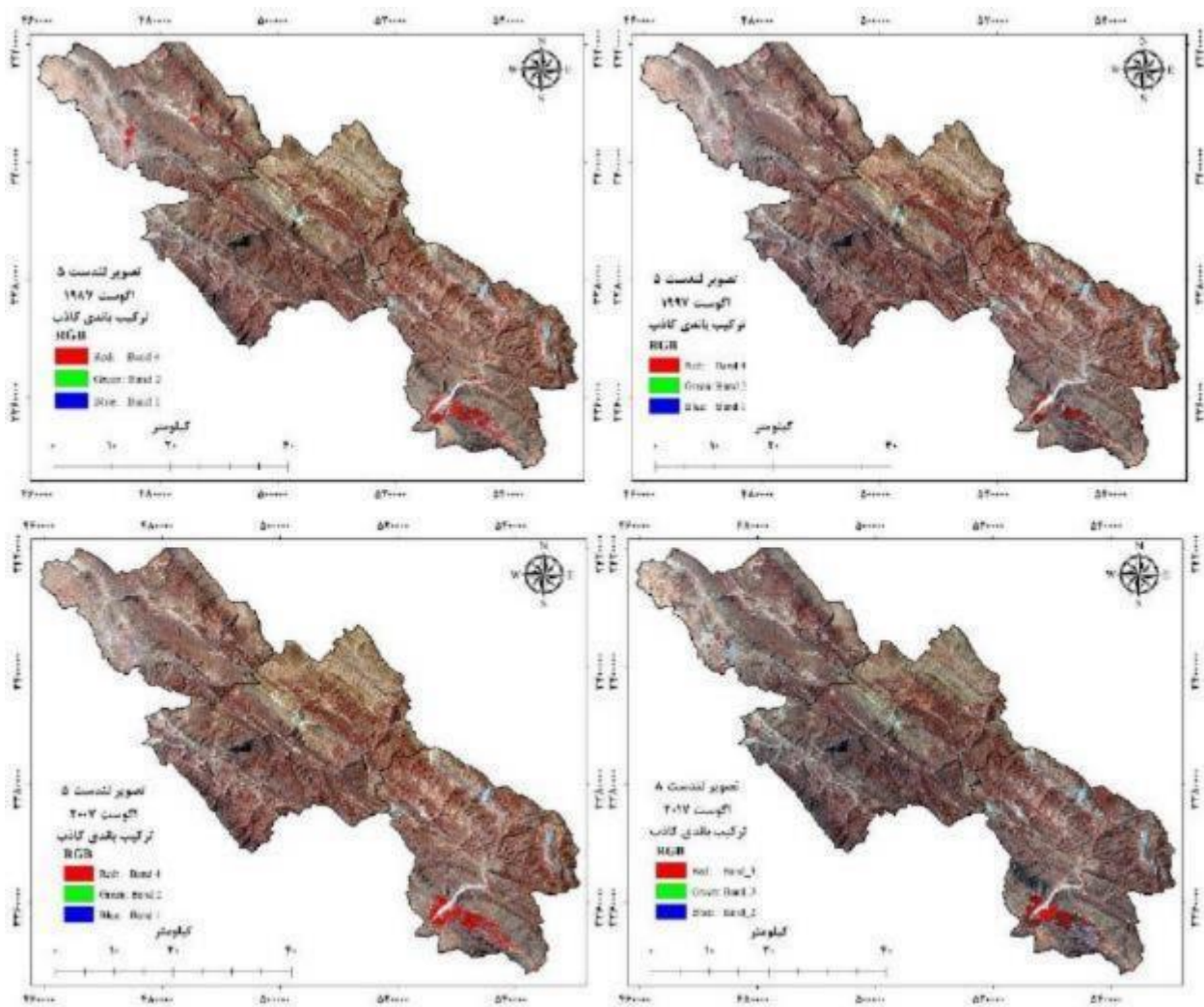
به منظور بررسی تغییرات رسوبات معلق طی دوره‌های ۱۳۷۵-۱۳۶۶، ۱۳۸۵-۱۳۷۶ و ۱۳۹۵-۱۳۸۶ در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه، آمار و اطلاعات مربوط به نمونه برداری رسوبات معلق ایستگاه‌های رسوب‌سنجی، مورد استفاده قرار گرفت. و کیفیت آمار از نظر همگنی و وجود داده‌های پرت مورد بررسی قرار گرفت تا از صحت داده‌ها برای ترسیم منحنی سنجه، اطمینان حاصل شود. سپس منحنی سنجه در سه دوره ۱۰ ساله مذکور ترسیم و مقادیر ضرایب معادله منحنی سنجه طی دوره‌های مذکور مورد مقایسه قرار گرفت.

۴- یافته‌ها (نتایج)

تغییرات کاربری اراضی حوزه‌های جنگلی

پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای سری لندست و انجام اصلاحات مربوط به پیش‌پردازش‌های اولیه، با استفاده از نقشه محدوده مورد مطالعه، تمام باندهای طیفی تصاویر برش داده شد. در شکل ۲، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ مربوط به سال‌های

میلادی ۱۹۸۷، ۱۹۹۷، ۲۰۰۷ و تصویر ماهواره ای لندست ۵، مربوط به سال میلادی ۲۰۱۷، با ترکیب رنگی کاذب نشان داده شده است. در این ترکیب باندی به دلیل بازتاب طیفی باند مادون قرمز، پوشش گیاهی به رنگ قرمز مشاهده می‌شود.



شکل ۲: تصاویر ماهواره‌ای در حوزه‌های مطالعاتی در مقاطع زمانی ۱۹۸۷، ۱۹۹۷، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۷

صحت کل و ضریب کاپا نقشه‌های تهیه شده (جدول ۲) و دقت تولیدکننده و دقت کاربر برای هر یک از طبقات کاربری در سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۷، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۷ برآورد شده است. براساس این نتایج، صحت کل نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۷، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۷ به ترتیب ۸۷/۳۴، ۸۷/۶۲، ۸۷/۰۷ و ۹۰/۴ درصد و ضریب کاپای آن‌ها به ترتیب ۰/۸۵، ۰/۸۶، ۰/۸۵ و ۰/۸۹ است. علاوه بر این، طبقه کاربری جنگل از دقت تولیدکننده و کاربر مطلوبی برخوردار است. از آن‌جا که در نقشه‌های طبقه‌بندی شده، در اثر تشابه بازتاب طیفی برخی کاربری‌ها، به‌ویژه کاربری اراضی مسکونی دارای اختلاط طیفی و در نتیجه خطای قابل ملاحظه‌ای هستند، با انتقال آن به محیط برنامه Google Earth، خطاهای موجود در کاربری‌ها به‌ویژه کاربری اراضی مسکونی اصلاح، و در محیط برنامه Arc GIS 10.4 به نقشه نهایی کاربری‌های اراضی اضافه شد. نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه در سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۹۷، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۷ در شکل ۳ ارائه شده است.

جدول ۲: صحت کل و ضریب کاپا طبقه‌بندی ML در سال‌های مورد مطالعه

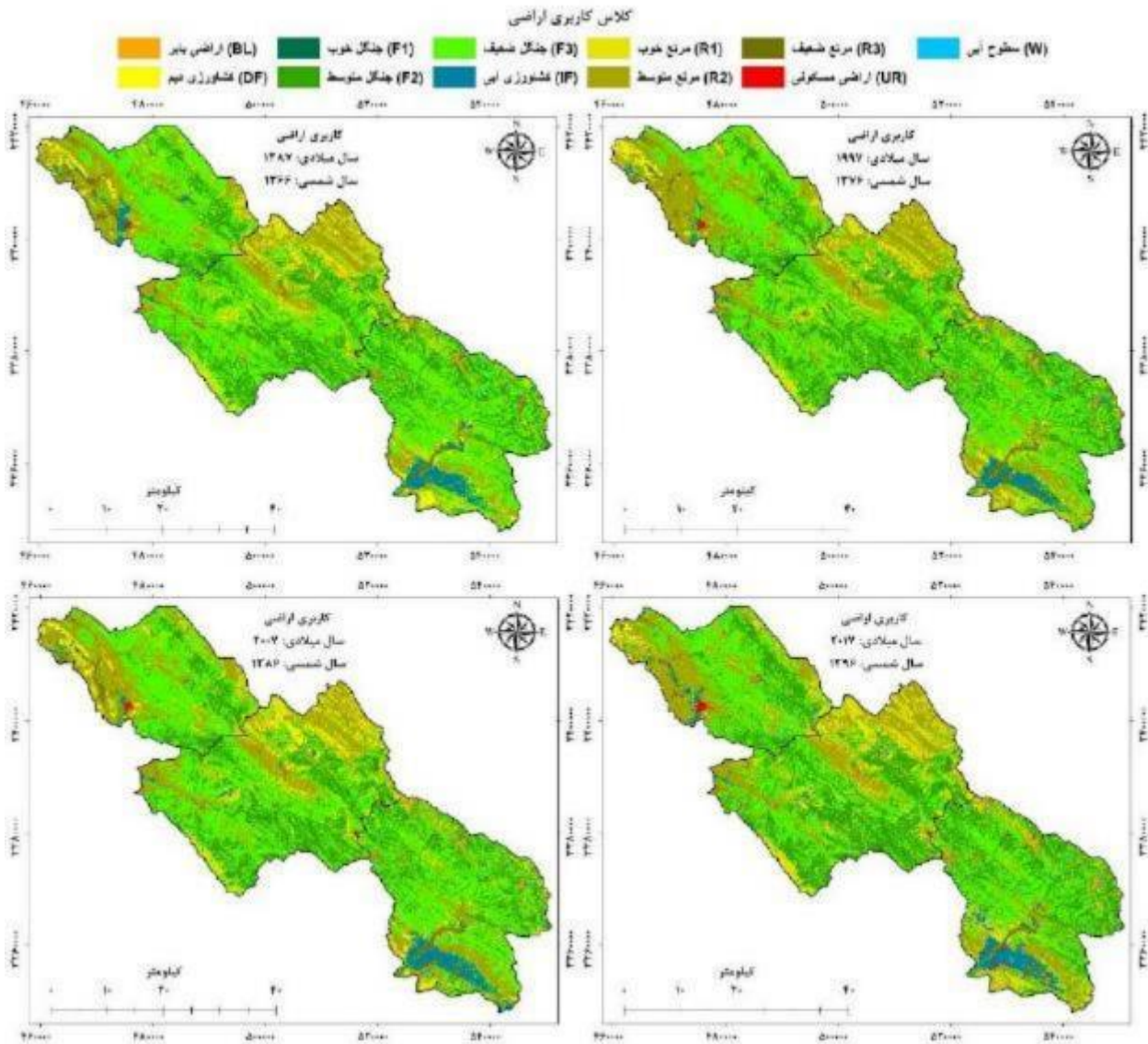
سال میلادی	۱۹۸۷	۱۹۹۷	۲۰۰۷	۲۰۱۷
صحت کل	۸۷/۳۴	۸۷/۶۲	۸۷/۰۷	۹۰/۴
ضریب کاپا	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۸۹

جدول ۳: دقت تولیدکننده و کاربر طبقات کاربری اراضی در سال‌های مورد مطالعه

سال میلادی	۱۹۸۷	۱۹۹۷	۲۰۰۷	۲۰۱۷	طبقه کاربری
دقت کاربر	۶۴/۵۸	۷۰/۸۳	۹۱/۸۹	۹۱/۸۹	کشاورزی آبی (IF)
دقت تولیدکننده	۶۶/۶۷	۷۷/۴۲	۸۰	۸۰	کشاورزی دیم (DF)
دقت کاربر	۱۰۰	۹۵/۶۵	۹۱/۶۷	۹۱/۶۷	جنگل خوب (F1)
دقت تولیدکننده	۹۶/۴	۹۷/۱۲	۹۷/۱۲	۹۷/۱۲	جنگل متوسط (F2)
دقت کاربر	۸۹/۷۴	۷۵/۲۷	۸۹/۷۴	۸۹/۷۴	جنگل ضعیف (F3)
دقت تولیدکننده	۷۶/۳۶	۷۷/۷۸	۷۲/۷۳	۷۲/۷۳	مرتع خوب (R1)
دقت کاربر	۹۳/۰۷	۸۴/۶۸	۸۶/۱۴	۸۶/۱۴	مرتع متوسط (R2)
دقت تولیدکننده	۸۸/۸۹	۸۸/۸۹	۸۳/۸۴	۸۳/۸۴	مرتع ضعیف (R3)
دقت کاربر	۵۰	۶۸/۹۷	۸۲/۵	۸۲/۵	اراضی مسکونی (UR)
دقت تولیدکننده	۱۰۰	۹۴/۷۴	۱۰۰	۱۰۰	سطوح آبی (W)
دقت کاربر	۹۸/۵۱	۹۴/۲۹	۹۸/۵۱	۹۸/۵۱	اراضی بایر (BL)

نتایج بررسی مساحت و درصد مساحت هر یک از کاربری‌های اراضی در حوزه آبخیز سیدآباد سیاه‌چم، بالادست ایستگاه هیدرومتری سیاه‌چم، حاکی از آن است که در طی دوره‌ی ۳۰ ساله (۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ میلادی) مساحت اراضی جنگلی در حدود ۷ کیلومتر مربع کاهش یافته است، در حالی که وسعت اراضی مرتعی حدود ۱۳ کیلومتر مربع افزایش یافته است. وسعت اراضی کشاورزی آبی ۷ کیلومتر مربع و اراضی کشاورزی دیم با ۹ کیلومتر مربع با کاهش مواجه شده است. وسعت اراضی مسکونی نیز در حدود ۲۸ کیلومتر مربع افزایش یافته است. (جدول ۴)

براساس نتایج مطالعه‌ی مساحت و درصد مساحت هر یک از کاربری‌های اراضی در حوزه آبخیز شاه‌بهرام، بالادست ایستگاه هیدرومتری نازمکان، طی ۳۰ سال اخیر، مساحت اراضی جنگلی در حدود ۴۳ کیلومتر مربع کاهش یافته است، در حالی که وسعت اراضی مرتعی در حدود ۳۹ کیلومتر مربع افزایش یافته است. وسعت اراضی کشاورزی آبی ۸ کیلومتر مربع افزایش و اراضی کشاورزی دیم ۱۰ کیلومتر مربع کاهش یافته است. (جدول ۵)



شکل ۳: نقشه کاربری اراضی در مقاطع زمانی ۱۹۸۷، ۱۹۹۷، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۷

نتایج بررسی مساحت و درصد مساحت هر یک از کاربری‌های اراضی در حوزه آبخیز شیوزهره، بالادست ایستگاه هیدرومتری تنگ‌بریم نشانگر کاهش مساحت اراضی جنگلی در حدود ۸ کیلومتر مربع، طی ۳۰ سال اخیر است، در حالی که وسعت اراضی مرتعی در حدود ۳۹ کیلومتر مربع افزایش یافته است. وسعت اراضی کشاورزی دیم در حدود ۷ کیلومتر مربع کاهش یافته است. مساحت اراضی بایر، سطوح آبی و اراضی مسکونی نیز به ترتیب ۱۱، ۷ و ۵ کیلومتر مربع افزایش یافته است (جدول ۶). به منظور تسهیل در بررسی تغییرات کاربری اراضی، نمودار تغییرات طبقه‌های کاربری اراضی، طی دوره ۳۰ ساله ارائه شده است. (شکل ۴)

جدول ۴: مساحت و درصد مساحت طبقه کاربری اراضی در حوزه آبخیز سیدآباد- سیاه‌چم

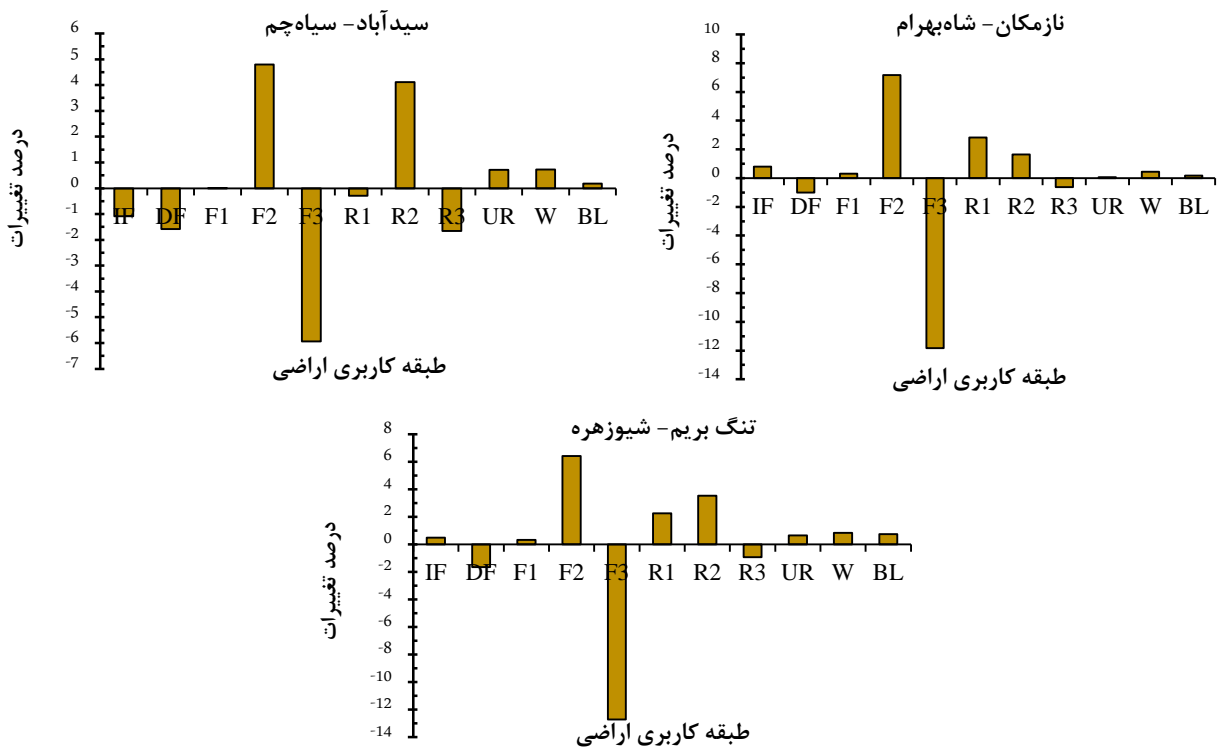
سال میلادی		۱۹۸۷		۱۹۹۷		۲۰۰۷		۲۰۱۷	
طبقه کاربری		مساحت (km ²)	درصد مساحت	مساحت (km ²)	درصد مساحت	مساحت (km ²)	درصد مساحت	مساحت (km ²)	درصد مساحت
کشاورزی آبی (IF)		۲۰/۲۱	۳/۳۵	۱۲/۰۸	۲/۰۰	۹/۴۴	۱/۵۶	۱۳/۶۷	۲/۲۷
کشاورزی دیم (DF)		۲۴/۹۲	۴/۱۳	۲۴/۳۴	۴/۰۴	۳۰/۶۱	۵/۰۸	۱۵/۴۱	۲/۵۶
جنگل خوب (F1)		۰/۵۷	۰/۱۰	۰/۴۴	۰/۰۷	۰/۳۶	۰/۰۶	۰/۶۴	۰/۱۱
جنگل متوسط (F2)		۷۴/۱۳	۱۲/۲۹	۷۱/۶۳	۱۱/۸۸	۷۶/۲۸	۱۲/۶۵	۱۰۳/۰۸	۱۷/۰۹
جنگل ضعیف (F3)		۲۶۱/۸۶	۴۳/۴۲	۲۵۰/۹۵	۴۱/۶۱	۲۴۵/۱۲	۴۰/۶۴	۲۲۶/۰۶	۳۷/۴۸
مرتع خوب (R1)		۳۱/۲۶	۵/۱۸	۱۸/۵۰	۳/۰۷	۲۷/۷۶	۴/۶۰	۲۹/۵۳	۴/۹۰
مرتع متوسط (R2)		۱۶۵/۶۰	۲۷/۴۶	۱۹۴/۴۶	۳۲/۲۴	۱۸۹/۹۷	۳۱/۵۰	۱۹۰/۳۹	۳۱/۵۷
مرتع ضعیف (R3)		۲۲/۴۱	۳/۷۲	۲۷/۱۴	۴/۵۰	۱۹/۸۸	۳/۳۰	۱۲/۳۹	۲/۰۵
اراضی مسکونی (UR)		۱/۵۴	۰/۲۶	۲/۱۳	۰/۳۵	۲/۶۷	۰/۴۴	۵/۸۸	۰/۹۷
سطوح آبی (W)		۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۶۰	۰/۱۰	۰/۴۷	۰/۰۸	۴/۵۳	۰/۷۵
اراضی بایر (BL)		۰/۴۴	۰/۰۷	۰/۸۳	۰/۱۴	۰/۵۳	۰/۰۹	۱/۵۲	۰/۲۵

جدول ۵: مساحت و درصد مساحت طبقه کاربری اراضی در حوزه آبخیز شاه‌بهرام- نازمکان

سال میلادی		۱۹۸۷		۱۹۹۷		۲۰۰۷		۲۰۱۷	
طبقه کاربری		مساحت (km ²)	درصد مساحت	مساحت (km ²)	درصد مساحت	مساحت (km ²)	درصد مساحت	مساحت (km ²)	درصد مساحت
کشاورزی آبی (IF)		۷/۴۲	۰/۷۴	۶/۶۱	۰/۶۶	۱۱/۵۱	۱/۱۵	۱۵/۴۷	۱/۵۵
کشاورزی دیم (DF)		۱۶/۷۵	۱/۶۸	۱۴/۲۳	۱/۴۳	۲۷/۵۲	۲/۷۶	۶/۷۷	۰/۶۸
جنگل خوب (F1)		۰/۶۲	۰/۰۶	۲/۴۹	۰/۲۵	۱/۵۰	۰/۱۵	۳/۶۹	۰/۳۷
جنگل متوسط (F2)		۲۴۳/۹۴	۲۴/۴۵	۲۵۷/۹۸	۲۵/۸۶	۲۴۷/۱۷	۲۴/۷۸	۳۱۵/۵۷	۳۱/۶۳
جنگل ضعیف (F3)		۳۶۵/۱۸	۳۶/۶۱	۳۴۷/۰۴	۳۴/۷۹	۳۵۴/۳۸	۳۵/۵۲	۲۴۷/۰۶	۲۴/۷۷
مرتع خوب (R1)		۱۵۲/۳۹	۱۵/۲۸	۱۲۴/۶۸	۱۲/۵۰	۱۳۲/۸۳	۱۳/۳۱	۱۸۰/۵۶	۱۸/۱۰
مرتع متوسط (R2)		۱۹۶/۴۱	۱۹/۶۹	۲۱۰/۱۵	۲۱/۰۷	۲۰۵/۱۴	۲۰/۵۶	۲۱۲/۸۲	۲۱/۳۳
مرتع ضعیف (R3)		۱۲/۸۱	۱/۲۸	۳۱/۲۴	۳/۱۳	۱۴/۸۱	۱/۴۸	۶/۶۳	۰/۶۶
اراضی مسکونی (UR)		-	-	-	-	-	-	۰/۶۴	۰/۰۶
سطوح آبی (W)		۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۶۳	۰/۰۶	۰/۵۷	۰/۰۶	۴/۶۱	۰/۴۶
اراضی بایر (BL)		۱/۹۲	۰/۱۹	۲/۵۴	۰/۲۵	۲/۱۶	۰/۲۲	۳/۷۹	۰/۳۸

جدول ۶: مساحت و درصد مساحت طبقه کاربری اراضی در حوزه آبخیز شیوزهره- تنگ‌بریم

سال میلادی		۱۹۸۷		۱۹۹۷		۲۰۰۷		۲۰۱۷	
طبقه کاربری		مساحت (km ²)	درصد مساحت	مساحت (km ²)	درصد مساحت	مساحت (km ²)	درصد مساحت	مساحت (km ²)	درصد مساحت
کشاورزی آبی (IF)		۷/۴۲	۰/۷۴	۶/۶۱	۰/۶۶	۱۱/۵۱	۱/۱۵	۱۵/۴۷	۱/۵۵
کشاورزی دیم (DF)		۱۶/۷۵	۱/۶۸	۱۴/۲۳	۱/۴۳	۲۷/۵۲	۲/۷۶	۶/۷۷	۰/۶۸
جنگل خوب (F1)		۰/۶۲	۰/۰۶	۲/۴۹	۰/۲۵	۱/۵۰	۰/۱۵	۳/۶۹	۰/۳۷
جنگل متوسط (F2)		۲۴۳/۹۴	۲۴/۴۵	۲۵۷/۹۸	۲۵/۸۶	۲۴۷/۱۷	۲۴/۷۸	۳۱۵/۵۷	۳۱/۶۳
جنگل ضعیف (F3)		۳۶۵/۱۸	۳۶/۶۱	۳۴۷/۰۴	۳۴/۷۹	۳۵۴/۳۸	۳۵/۵۲	۲۴۷/۰۶	۲۴/۷۷
مرتع خوب (R1)		۱۵۲/۳۹	۱۵/۲۸	۱۲۴/۶۸	۱۲/۵۰	۱۳۲/۸۳	۱۳/۳۱	۱۸۰/۵۶	۱۸/۱۰
مرتع متوسط (R2)		۱۹۶/۴۱	۱۹/۶۹	۲۱۰/۱۵	۲۱/۰۷	۲۰۵/۱۴	۲۰/۵۶	۲۱۲/۸۲	۲۱/۳۳
مرتع ضعیف (R3)		۱۲/۸۱	۱/۲۸	۳۱/۲۴	۳/۱۳	۱۴/۸۱	۱/۴۸	۶/۶۳	۰/۶۶
اراضی مسکونی (UR)		-	-	-	-	-	-	۰/۶۴	۰/۰۶
سطوح آبی (W)		۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۶۳	۰/۰۶	۰/۵۷	۰/۰۶	۴/۶۱	۰/۴۶
اراضی بایر (BL)		۱/۹۲	۰/۱۹	۲/۵۴	۰/۲۵	۲/۱۶	۰/۲۲	۳/۷۹	۰/۳۸



شکل ۴: درصد تغییرات طبقه‌های کاربری اراضی در هر حوزه طی دوره ۳۰ ساله

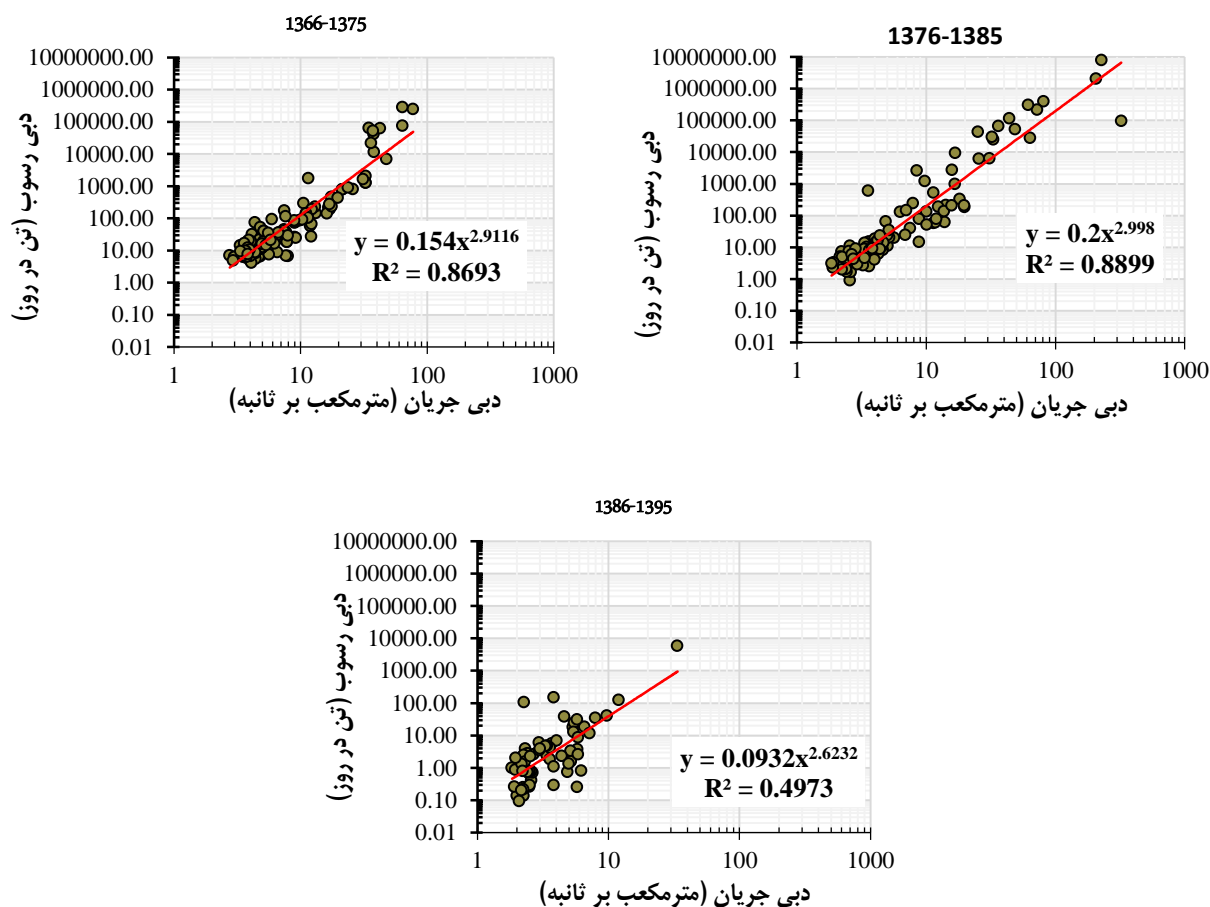
تغییرات منحنی سنج‌رسوب

براساس نتایج برآورد شده از مقادیر متوسط دبی روزانه طی دوره‌های ۱۰ ساله ۱۳۶۶-۱۳۷۵، ۱۳۷۶-۱۳۸۵ و ۱۳۸۶-۱۳۹۵، در تمام ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی، مقدار متوسط دبی روزانه به‌صورت ممتد، کاهش یافته است. (جدول ۷)

جدول ۷: دبی متوسط روزانه (m^3/s) در هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

سیاه‌چم	نازمکان	تنگ‌بریم	ایستگاه هیدرومتری	دوره
۱۰/۰۱	۱۴/۲۳	۲۵/۵۵		۱۳۶۶-۱۳۷۵
۸/۵۱	۱۲/۲۳	۲۱/۳۴		۱۳۷۶-۱۳۸۵
۴/۵۷	۷/۱۳	۱۰/۴۰		۱۳۸۶-۱۳۹۵

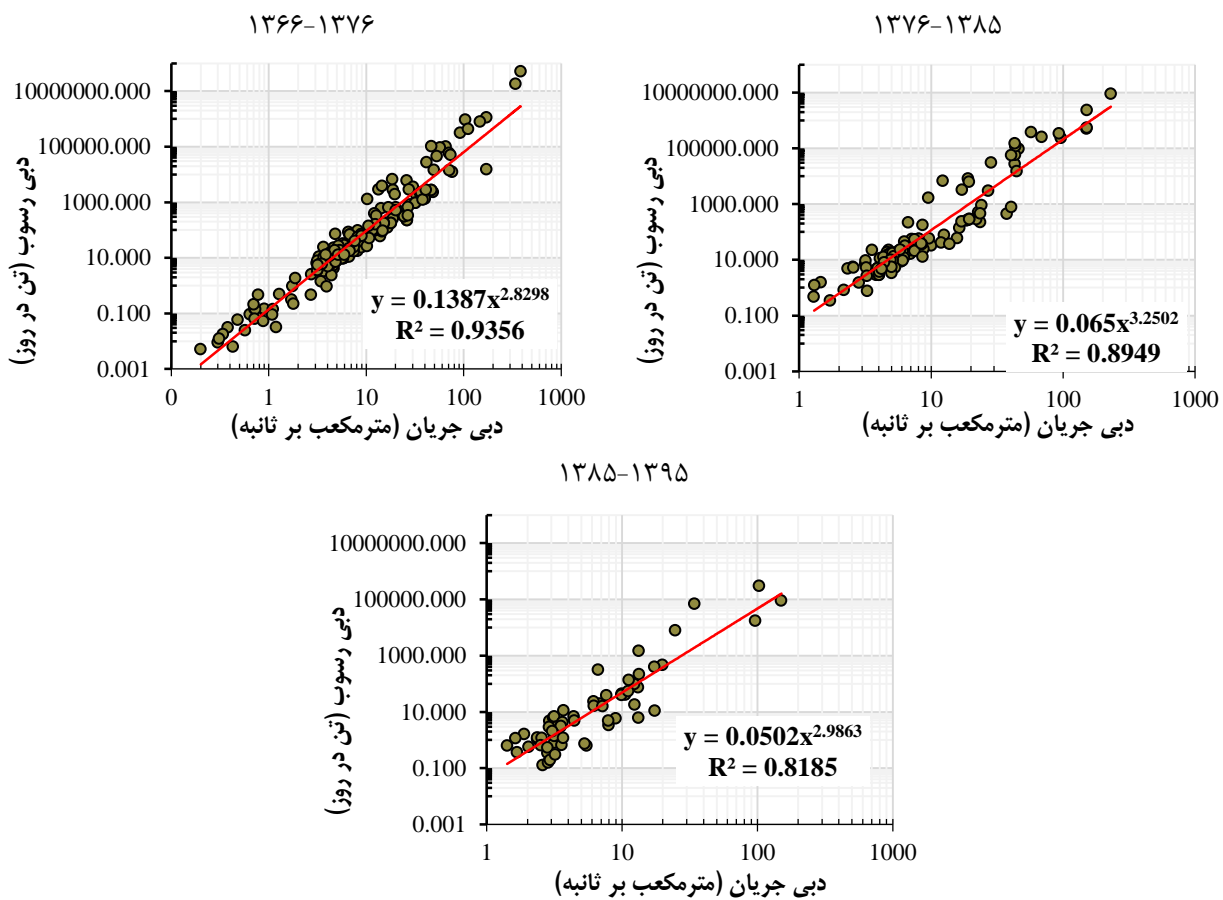
نتایج مطالعه‌ی منحنی سنجهرسوب ایستگاه سیاه‌چم- سیدآباد طی دوره‌های ۱۳۶۶-۱۳۷۵، ۱۳۷۶-۱۳۸۵ و ۱۳۸۶-۱۳۹۵ نشانگر این واقعیت است که، ضریب b منحنی سنجه دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۵ نسبت به دوره پیشین (۱۳۶۶-۱۳۷۵) با مقدار کمی افزایش، از ۲/۹۱ به ۲/۹۹ رسیده است، اما مقدار آن طی دوره ۱۳۸۶-۱۳۹۵ به ۲/۶۲ کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته‌است. ضریب α نیز طی دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۵ نسبت به دوره پیشین ۱۳۶۶-۱۳۷۵ با افزایش اندک از ۰/۱۵ به ۰/۲ رسیده است، اما در دوره ۱۳۸۶-۱۳۹۵ به مقدار ۰/۰۹ به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. (شکل ۵)



شکل ۵: منحنی‌های سنجه ایستگاه رسوب‌سنجی سیاه‌چم- سیدآباد طی دوره‌های ده‌ساله

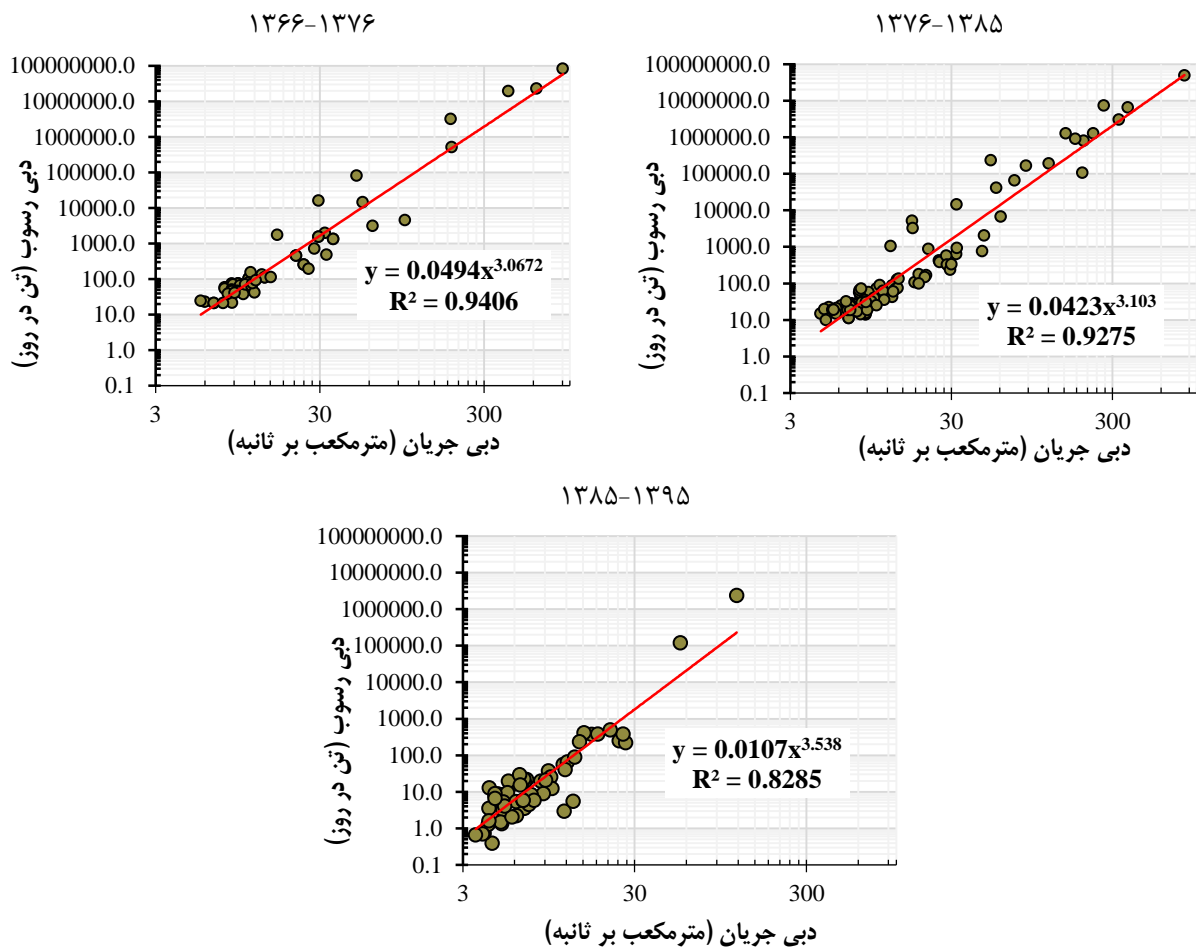
نتایج بررسی منحنی‌های سنجه رسوب ایستگاه نازمکان طی دوره‌های ۱۳۶۶-۱۳۷۵، ۱۳۷۶-۱۳۸۵ و ۱۳۸۶-۱۳۹۵ نشان داد که ضریب b منحنی‌های سنجه طی دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۵ نسبت به دوره پیشین ۱۳۶۶-۱۳۷۵ از مقدار ۲/۸۳ به ۳/۲۵ افزایش، اما در دوره ۱۳۸۶-۱۳۹۵ از مقدار ۲/۹۹ به ۳/۲۵ کاهش یافته است. ضریب α نیز طی دوره‌های مورد مطالعه به‌صورت

پیوسته با کاهش مواجه شده است، چنان‌که در دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۵ نسبت به دوره پیشین ۱۳۶۶-۱۳۷۵ از مقدار ۰/۱۳ به ۰/۰۶ و دوره ۱۳۸۶-۱۳۹۵ به ۰/۰۵ کاهش یافته است. (شکل ۶)



شکل ۶: منحنی‌های سنج‌ایستگاه رسوب‌سنجی نازمکان- شاه‌بهرام طی دوره‌های ده‌ساله

نتایج مطالعه‌ی منحنی‌های سنج‌ایستگاه شیوزهره طی دوره‌های ۱۳۶۶-۱۳۷۵، ۱۳۷۶-۱۳۸۵ و ۱۳۸۶-۱۳۹۵ حاکی از آن است که ضریب b منحنی‌های سنج‌به‌صورت پیوسته طی دوره‌های مذکور کاهش یافته است، چنان‌که مقدار آن از ۳/۰۷ در دوره ۱۳۶۶-۱۳۷۵ به ۳/۱۰ در دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۵ و در دوره ۱۳۸۶-۱۳۹۵ به ۳/۵۴ افزایش یافته است. ضریب α نیز طی دوره‌های مورد مطالعه با کاهش مواجه شده است، به طوری‌که مقدار آن از ۰/۴۹ در دوره ۱۳۶۶-۱۳۷۵ به ۰/۴۲ در دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۵ و در دوره ۱۳۸۶-۱۳۹۵ به ۰/۱۱ کاهش یافته است. (شکل ۷)



شکل ۷: منحنی‌های سنج ایستگاه رسوب‌سنجی شیوزهره- تنگ بریم طی دوره‌های ده‌ساله

۵- بحث و نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات کاربری اراضی مورد مطالعه نشان داد که در حوزه آبخیز سیدآباد، بالادست ایستگاه هیدرومتری سیاه‌چم، طی ۳۰ سال اخیر (۱۳۶۶ تا ۱۳۹۵ میلادی)، مساحت اراضی جنگلی طی دوره‌های ۱۳۶۶-۱۳۷۵، ۱۳۷۶-۱۳۸۵ و ۱۳۹۵-۱۳۸۶ به ترتیب با ۱۳/۵۴ و ۱/۲۶ کیلومتر مربع کاهش و ۸/۰۱ کیلومتر مربع افزایش یافته است، در حالی که وسعت اراضی مرتعی به ترتیب با ۲۰/۸۳ کیلومتر مربع افزایش و ۲/۴۸ و ۵/۳۰ کیلومتر مربع کاهش، مواجه شده است. از آنجایی که نرخ فرسایش در اراضی جنگلی کمتر از اراضی مرتعی و کشاورزی است (García-Ruiz et al, 2015; Karamage et al, 2016)، بنابراین در حوزه مذکور به رغم افزایش وسعت اراضی مرتعی متوسط (R2)، با کاهش وسعت اراضی مرتعی خوب (R1) به همراه کاهش اراضی جنگلی طی دو دوره ۱۰ ساله اول، فرسایش‌پذیری خاک (ضریب α) افزایش یافته و به همین مساله موجب افزایش مقدار ضریب α منحنی سنج رسوب، در حدود ۰/۰۵، طی دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۵ نسبت به دوره پیشین ۱۳۶۶-۱۳۷۵ شده است. اما در دوره ۱۳۸۶-۱۳۹۵ با وجود افزایش اندک مساحت اراضی مرتعی، به سبب افزایش قابل ملاحظه مساحت اراضی جنگلی عمدتاً خوب (F1)، فرسایش‌پذیری خاک کاهش یافته است بر همین اساس، مقدار ضریب α منحنی سنج رسوب نسبت به دوره پیشین با ۰/۱۱ کاهش شده است. از سوی دیگر، گرچه دبی متوسط روزانه در این حوزه در هر سه دهه‌ی مورد مطالعه به طور پیوسته با کاهش همراه بوده است، اما میزان کاهش آن از دوره ۱۳۶۶-۱۳۷۵ به ۱۳۷۶-۱۳۸۵ در حدود ۱/۵ متر مکعب بر ثانیه و از دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۵ به ۱۳۸۶-۱۳۹۵ در حدود ۴ متر مکعب بر ثانیه بوده است. بنابراین، مقدار ضریب b منحنی سنج رسوب به طور قابل ملاحظه‌ای در دوره ۱۳۸۶-۱۳۹۵ کاهش یافته است. در واقع، ضریب b نشان‌دهنده شاخص

فرساینده‌گی و حجم انتقال رودخانه است و کاهش آن را می‌توان به قدرت فرساینده‌گی کم رودخانه بر اثر کاهش جریان آب رود نسبت داد، علاوه بر این با کاهش دبی رود، منابع رسوب جدید در دسترس قرار نمی‌گیرد و همین مساله نیز در کاهش ضریب b موثر است.

مطالعات نشان می‌دهد در حوزه آبخیز شاه‌بهرام، بالادست ایستگاه هیدرومتری نازمکان، در طی ۳۰ سال اخیر (۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ میلادی) مساحت اراضی جنگلی در حدود ۴۳ کیلومتر مربع در هر سه دهه به صورت پیوسته کاهش یافته است، در حالی که وسعت اراضی مرتعی در حدود ۳۹ کیلومتر مربع افزایش یافته است. با این وجود، ضریب a منحنی سنج رسوب طی دوره‌های مورد مطالعه به صورت پیوسته با کاهش مواجه شده است، چرا که از یک طرف وسعت اراضی جنگلی عمدتاً ضعیف ($F3$) طی دوره‌های ۱۰ ساله کاهش یافته و از سوی دیگر وسعت اراضی مرتعی عمدتاً خوب ($R1$) با افزایش روبرو شده است، بنابراین فرسایش‌پذیری خاک (ضریب α) نیز با کاهش مواجه شده است. این نتایج با یافته‌های Liu و همکاران (۲۰۲۰) مشابهت دارد، یافته‌های این پژوهشگران نشان داد، گرچه کاهش پوشش جنگلی سبب افزایش میزان بار رسوبی می‌شود، اما با افزایش سطح کشاورزی حفاظت شده، می‌توان افزایش بار رسوب معلق ناشی از جنگل‌زدایی را به یک آستانه مطلوب کاهش داد. نتایج مطالعات در حوزه شاه‌بهرام با حوزه سیدآباد، مطابقت داشتند. در این حوزه، گرچه دبی متوسط روزانه در هر سه دهه به طور پیوسته با کاهش همراه بود، اما مقدار کاهش آن از دوره ۱۳۷۵-۱۳۶۶ به دوره ۱۳۸۵-۱۳۷۶ در حدود ۲ متر مکعب بر ثانیه و از دوره ۱۳۸۵-۱۳۷۶ به ۱۳۹۵-۱۳۸۶ در حدود ۵ متر مکعب بر ثانیه بوده است، بنابراین مقدار ضریب b منحنی سنج رسوب به طور قابل توجهی در دوره ۱۳۹۵-۱۳۸۶ کاهش یافته است. این نتیجه با یافته‌های Higgins و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد، یافته‌های این پژوهشگران نشان داد که در اثر کاهش جریان رودخانه مگدالن در کلمبیا طی دهه ۲۰۱۰-، مقدار ضریب a افزایش و ضریب b کاهش یافته است که این امر منجر به کاهش ۱۴ درصدی مقدار بار رسوب معلق شده است.

در حوزه آبخیز شیوزهره، بالادست ایستگاه هیدرومتری تنگ‌بریم، به‌رغم آنکه طی دوره‌ی ۳۰ ساله، مساحت اراضی جنگلی در حدود ۸ کیلومتر مربع کاهش یافته است، اما این اراضی جنگلی عمدتاً مربوط به اراضی جنگلی ضعیف ($F3$) است. از سوی دیگر، وسعت اراضی مرتعی در حدود ۳۹ کیلومتر مربع افزایش یافته که عمدتاً مربوط به اراضی مرتعی خوب ($R1$) بوده است، تغییر در شرایط پوشش گیاهی این حوزه، موجب کاهش فرسایش‌پذیری خاک شده و این مساله منجر به کاهش پیوسته مقدار ضریب a منحنی سنج، طی سه دوره ۱۰ ساله، شده است. علاوه بر این، در حوزه شیوزهره، مقدار دبی متوسط روزانه طی دوره‌های ۱۰ ساله با کاهش همراه بوده، با این وجود مقدار ضریب b از دوره ۱۳۷۵-۱۳۶۶ به دوره ۱۳۸۵-۱۳۷۶ با تغییرات قابل ملاحظه‌ای مواجه نشده است، در حالی که در دوره ۱۳۹۵-۱۳۸۶ با افزایش چشمگیر به مقدار ۳/۵۴ رسیده است. مطالعات Zarris و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که به‌طور معمول مقدار ضریب b بین ۰/۵ تا ۳ برآورد می‌شود و مقادیر زیاد این پارامتر به معنای حجم زیاد انتقال رسوب در جریان رودخانه است، بنابراین به نظر می‌رسد که در اثر تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه در نتیجه فعالیت‌های انسانی (Elsner *et al*, 2010) منابع رسوب جدیدی در دسترس رودخانه حوزه مذکور قرار گرفته و همین امر موجب افزایش مقدار ضریب b منحنی سنج با وجود کاهش دبی متوسط سالانه در دوره‌های ده‌ساله، بوده است (Yang *et al*, 2013; Huang and Montgomery, 2007). این نتایج با یافته‌های Zhang و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی ضرایب منحنی سنج رسوب در مناطق میانی رودخانه زرد چین همخوانی دارد، یافته‌های این پژوهشگران، حاکی از این است که ضرایب منحنی سنج رسوب، نسبت به تغییرات در تأمین رسوب و مقاومت در برابر فرسایش، بسیار حساس هستند.

مطالعات پژوهشگران پیشین از جمله Asselman (۲۰۰۰)، Iadanza و Napolitano (۲۰۰۶)، Wang و همکاران (۲۰۰۸)، Heng و Suetsugi (۲۰۱۴)، Higgins و همکاران (۲۰۱۵) حاکی از این است که تغییر در کاربری اراضی و اقلیم، دخالت‌های انسانی در فرایند هیدرولوژیکی و یا عملیات حفاظت از خاک، موجب تغییر در ضرایب منحنی سنج رسوب می‌شود. در پژوهش حاضر نتایج مشابهی مشاهده شد که نشان می‌دهد تغییرات کاربری اراضی و دبی متوسط سالانه در حوزه‌های جنگلی، سبب تغییر در ضرایب منحنی‌های سنج رسوب می‌شود.

فهرست منابع

- 1- Asselman, N.E.M. 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves. *Journal of Hydrology*. 234: 228-248.
- 2- Behrahi, K., Sayyad, G.A., Landi, A., Payrowan, H. 2018. Investigating the effects of land use, land slope and soil properties on sediment yield in the sub-catchment of Karkheh watershed basin in Lorestan using an artificial rainfall simulator. *Environmental Erosion Research Journal*. 8(2): 1-22 (in Persian).
- 3- Desbureaux, S., Damania, R. 2018. Rain, forests and farmers: Evidence of drought induced deforestation in Madagascar and its consequences for biodiversity conservation. *Biological Conservation*. 221: 357-364.
- 4- Dube, T., Mutanga, O. 2015. Evaluating the utility of the medium-spatial resolution Landsat 8 multispectral sensor in quantifying aboveground biomass in uMgeni catchment, South Africa. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 101: 36-46.
- 5- Eisavi, V., Homayouni, S., Maleknezhad Yazdi, A., Alimohammadi, A. 2015. Land cover mapping based on random forest classification of multitemporal spectral and thermal images. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(5): 291.
- 6- Elsner, M.M., Cuo, L., Voisin, N., Deems, J.S., Hamlet, A.F., Vano, J.A., Mickelson, K.E.B., Lee, S.Y., Lettenmaier, D.P. 2010. Implications of 21st century climate change for the hydrology of Washington State. *Climatic Change*. 102(1): 225-260.
- 7- García-Ruiz, J.M., Beguería, S., Nadal-Romero, E., González-Hidalgo, J.C., Lana-Renault, N., Sanjuán, Y. 2015. A meta-analysis of soil erosion rates across the world. *Geomorphology*. 239: 160-173.
- 8- Harrington, S.T., Harrington, J.R. 2013. An assessment of the suspended sediment rating curve approach for load estimation on the Rivers Bandon and Owenabue, Ireland. *Geomorphology*. 185: 27-38.
- 9- Heng, S., Suetsugi, T. 2014. Comparison of regionalization approaches in parameterizing sediment rating curve in ungauged catchments for subsequent instantaneous sediment yield prediction. *Journal of Hydrology*. 512: 240-253.
- 10- Higgins, A., Restrepo, J.C., Ortiz, J.C., Pierini, J., Otero, L. 2015. Suspended sediment transport in the Magdalena River (Colombia, South America): Hydrologic regime, rating parameters and effective discharge variability. *International Journal of Sediment Research*. 30(3): 1-40.
- 11- Higgins, A., Restrepo, J.C., Ortiz, J.C., Pierini, J., Otero, L. 2016. Suspended sediment transport in the Magdalena River (Colombia, South America): Hydrologic regime, rating parameters and effective discharge variability. *International Journal of Sediment Research*. 31(1): 25-35.
- 12- Hosseini, A., Gholami, H., Esmailpour, Y., Cerda, A. 2020. Assessing land degradation with predicting land cover and climatic parameters changes in coastal areas of southern Iran using Ca-Markov model. *Environmental Erosion Research Journal*. 9(4): 70-91 (in Persian).
- 13- Huang, M.Y.F., Montgomery, D.R. 2013. Altered regional sediment transport regime after a large typhoon, southern, Taiwan. *Geology*. 41: 1223-1226.
- 14- Iadanza, C., Napolitano, F. 2006. Sediment transport time series in the Tiber River. *Physics and Chemistry of the Earth*. 31(18): 1212-1227.
- 15- Jahantigh, M., Jahantigh, M. 2020. Investigating of land use change effect on some soil physical-chemistry characteristics and erosion in arid areas (case study: Hirmand of Sistan). *Environmental Erosion Research Journal*. 9(4): 92-118 (in Persian).
- 16- Kantakumar, L.N., Neelamsetti, P. 2015. Multi-temporal land use classification using hybrid approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 18(2): 289-295.
- 17- Karamage, F., Shao, H., Chen, X., Ndayisaba, F., Nahayo, L., Kayiranga, A., Omifolaji, J., Liu, T., Zhang, C. 2016. Deforestation Effects on Soil Erosion in the Lake Kivu Basin, D.R. Congo-Rwanda. *Forests*. 7(11): 281.
- 18- Kun, J., Xiangqin, W., Xingfa, G., Yunjun, Y., Xianhong, X., Bin, L. 2014. Land cover classification using Landsat 8 Operational Land Imager data in Beijing, China. *Geocarto International*. 29(8): 941-951.

- 19- Liu, H., Yi, Y., Blagodatsky, S., Cadisch, G. 2020. Impact of forest cover and conservation agriculture on sediment export: A case study in a montane reserve, south-western China. *Science of the Total Environment*. 702: 134802.
- 20- Madhura, M., Venkatachalam, S. 2015. Comparison of Supervised Classification Methods on Remote Sensed Satellite Data: An Application in Chennai. South India. *International Journal of Science and Research*. 4(2): 1407-1411.
- 21- Mahdavi, A., Mirzaei Zadeh, V., Niknezhad, M., Karami, O. 2015. Assessment and prediction of oak trees decline using logistic regression model (Case study: Bivareh forest, Malekshahi-Illam). *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*. 13(1): 20-32 (in Persian).
- 22- Masek, J.G., Hayes, D.J., Joseph Hughes, M., Healey, S.P., Turner, D.P. 2015. The role of remote sensing in process-scaling studies of managed forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*. 355: 109-123.
- 23- Mirzaei Zadeh, V., Mahdavi, A., Karmshahi, A., Jaefarzadeh, A.A. 2016. Investigation of the spatial pattern of forest cover changes using logistic regression in Malekshahi. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*. 23(3): 45-68. (in Persian).
- 24- Morgan, R.S., Rahim, L.S., Abd El-Hady, M. 2015. A Comparison of Classification Techniques for the Land Use/ Land Cover Classification. *Global Advanced Research. Journal of Agricultural Science*. 4(11): 810-818.
- 25- Mushore, T.D., Mutanga, O., Odindi, J., Dube, T. 2017. Assessing the potential of integrated Landsat 8 thermal bands, with the traditional reflective bands and derived vegetation indices in classifying urban landscapes. *Geocarto International*. 32(8): 886-899.
- 26- Najafinejad, A., Mardian, M., Varvani, J., Sheikh, V.B. 2011. Performance Evaluation of Correction Factors in Optimization of Sediment Rating Curve (Case study: Kamal Saleh Dam Watershed, Markazi Province, Iran). *Journal of Water and Soil Conservation*. 18(2): 105-122. (in Persian).
- 27- Namdar, M., Adamowski, J., Saadat, H., Sharifi, F., Khiri, A. 2014. Land-use and land-cover classification in semi-arid regions using independent component analysis (ICA) and expert classification. *International Journal of Remote Sensing*. 35(24): 8057-8073.
- 28- Navratil, O., Esteves, M., Legout, C., Gratiot, N., Némery, J., Willmore, S., Grangeon, T. 2011. Global uncertainty analysis of suspended sediment monitoring using turbidimeter in a small mountainous river catchment. *Journal of Hydrology*. 398(3-4): 246-259.
- 29- Oliveira, K.S.S., Quaresma, V.D.S. 2017. Temporal variability in the suspended sediment load and streamflow of the Doce River. *Journal of South American Earth Sciences*. 78: 101-115.
- 30- Prasad, S.V.S., Savithri, S., Krishna, I.M. 2017. Comparison of Accuracy Measures for RS Image Classification using SVM and ANN Classifiers. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 7(3): 1180-1187.
- 31- Reinhardt-Imjela, C., Imjela, R., Bölscher, J., Schulte, A. 2017. The impact of late medieval deforestation and 20th century forest decline on extreme flood magnitudes in the Ore Mountains (Southeastern Germany). *Quaternary International*. 475: 42-53.
- 32- Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T., Pourhashemi, M. 2014. *Forests of Iran: A Treasure from the Past, A Hope for the Future*. 1st edition. Springer, 152 p.
- 33- Syvitski, J.P.M., Morehead, M.D., Bahr, D.B., Mulder, T. 2000. Estimating fluvial sediment transport: the rating parameters. *Water Resources Research*. 36(9): 2747-2760.
- 34- Tan-Soo, J.S., Adnan, N., Ahmad, I., Pattanayak, S.K., Vincent, J.R. 2016. Econometric Evidence on Forest Ecosystem Services: Deforestation and Flooding in Malaysia. *Environmental and Resource Economics*. 63(1): 25-44.
- 35- Wang, H., Zhang, G., Hui, G., Li, Y., Hu, Y., Zhao, Zh. 2016. The influence of sampling unit size and spatial arrangement pattern on neighborhood-based spatial structure analyses of forest stands. *Forest Systems*. 25(1): 1-9.
- 36- Yang, G.F, Chen, Z., Yu, F., Wang, Z. 2007. Sediment rating parameters and their implications: Yangtze River, China. *Geomorphology*. 85(3-4): 166-175.
- 37- Zanganeh, M.A., Mosaedi, A., Meftah Halghi, M., Dehghani, A. 2011. Determination of Suitable Method for Estimating Suspended Sediments Discharge in Arazkoose Hydrometric Station (Gorganrood Basin). *Journal of Water and Soil Conservation*. 18(2): 85-104 (in Persian).

- 38- Zarris, D., Vlastara, M., Panagoulia, D. 2011. Sediment Delivery Assessment for a Transboundary Mediterranean Catchment: The Example of Nestos River Catchment. *Water Resources Management*. 25(14): 3785-380.
- 39- Zhang, S., Chen, D., L.i, F., H.e., L., Yan, M., Yan, Y. 2018 Evaluating spatial variation of suspended sediment rating curves in the middle Yellow River basin, China. *Hydrological Processes*. 32(11): 1616-1624.

The effect of land use and discharge changes on the coefficients of suspended sediment rating curve in Zagros forest areas

Mehdi Pourhashemi: Associate professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran

Yasem Khanmohammadian: M.Sc. of Forestry, Natural Resources and Watershed Management Office of Ilam Province, Ilam

Shirin Mohamadkhan¹: Assistant professor, Department of Geography, University of Tehran, Tehran

Mehdi Kakavand: Ph.D. Student in Forestry, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj

Article History (Received: 09/05/2020

Accepted: 26/07/2020)

Extended abstract

1- Introduction

The forests of the Zagros vegetation area cover about six million hectares (40%) of Iran's forest area, which is dominated by oak species. These forests are exposed to a number of threats, including land use change, deforestation, over grazing, deliberate and unintentional fires, pest and disease attacks, and climate change. Although accurate and timely identification of changes at the Earth's surface is the basis for understanding the relationship between human functions and natural events and the use of natural resources, it is important to gather information about continuous changes in forest cover. Field operations require a lot of time and money. Therefore, the study of forest cover changes using satellite imagery has become one of the most important sub-branches in forestry science and is a tool for monitoring and controlling various changes in forest ecosystems. On the other hand, soil erosion in forest areas is lower than the other areas such as agricultural and rangeland areas, but extensive deforestation to produce wood and crops in recent years has significantly reduced sediments. Typically, the concentration of suspended sediments is estimated by the method of measuring the scale of sediment and discharge. Such curves are often generated using linear logarithmic regression of sedimentation and discharge data or conventional data curve in which the relationship between discharge and suspended sedimentation is a logarithmic linear equation. In the present study, land use changes in three forest watersheds in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad and Fars provinces were investigated using satellite imagery. Then, the effect of land use changes, especially good forest and rangelands on the values of sediment measurement equations in the study areas were analyzed.

2- Methodology

The studied area with an area of 2400 square kilometers is part of the Zagros forests, which includes three forest watersheds of Seyedabad and Shah Bahram in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad provinces and Shivzohreh catchments in Fars province. At first, forest cover map of the last three decades (1987-2017) was prepared using Landsat satellite images. After initial pre-processing of Landsat images, the Maximum Likelihood (ML) supervised algorithm was used to prepare the land use map and 11 land use classes were separated. An error matrix was used to evaluate the classification accuracy of the land use classes, which includes criteria of producer accuracy, user accuracy, overall accuracy and Kappa index. Based on this, 532 field samples were prepared using a combination of field visits and Google Earth. After preparing

¹ Corresponding Author: mohamadkh@ut.ac.ir

the land use change maps in four time periods of 1987, 1997, 2007 and 2017, the annual discharge changes and the sediment rating curve were extracted in three ten-year periods using the data of the hydrometric station at the output of the catchments. For this purpose, rating curves were drawn in the three periods of the mentioned decade and the values of equation coefficients of the curve were compared during the mentioned periods.

3-Results

The results showed that the total accuracy of the land use map of 1987, 1997, 2007 and 2017 was 87.34, 87.62, 87.07 and 90.4%, respectively, and their Kappa coefficient was 0.85, 0.86, 0.85 and 0.89, respectively. The forest land use had a good producer and user accuracy. Also, in Seyedabad area during the first two decades, soil erodibility (coefficient α) increased, but in the period 2007-2017 due to a significant increase in the area of mostly good forest lands (F1), has decreased. In the catchments of Shah Bahram and Shivzohreh, with decreasing forest lands of mainly weak (F3) and pastures of mainly good (R1), during three consecutive decades, soil erodibility has decreased. On the other hand, with the decrease in annual discharge, especially in the period of 2007-2017 in Seyedabad and Shah Bahram catchments, the value of coefficient b has decreased, but in the Shivzohreh catchment, despite the decrease in discharge in three consecutive decades, it seems that due to the hydrological changes of the river as a result of human activities and the availability of new sedimentation resources, the value of the coefficient b of the sediment rating curve has increased.

4- Discussion & Conclusion

Since the rate of erosion in forest lands is lower than rangeland and agricultural lands, so in Seyedabad catchment, despite increasing the area of medium rangeland lands (R2), with decreasing area of good rangeland lands (R1) along with reducing forest lands during the first two decades of the year, soil erodibility (α coefficient) increased and therefore the value of α coefficient of sediment rating curve during the period 1997-2007 compared to the previous period 1987-1997 increased by about 0.05. However, in the period 2007-2017, despite a slight increase in the area of rangeland lands, due to a significant increase in the area of mostly good forest lands (F1), soil erodibility has decreased and therefore the value of the α coefficient of the sediment rating curve compared to the former period has decreased by 0.11. In the Shah Bahram catchment, over the last 30 years, the area of forest lands has steadily decreased by about 43 square kilometers every three decades, while the area of rangelands has increased by about 39 square kilometers. However, the α -coefficient of the sediment rating curve has been steadily decreasing during the studied periods, because on one hand the area of mostly weak forest lands (F3) has decreased over 10-year periods and on the other hand the area of mostly good rangelands (R1) has increased, so soil erodibility (α coefficient) has also decreased. In Shivzohreh catchment, although the area of forest lands has decreased by about 8 square kilometers in the last 30 years, these forest lands are mainly related to weak forest lands (F3). On the other hand, the area of rangeland lands has increased by about 39 square km, which is mainly related to good rangeland lands (R1), so such changes in the coverage of this area have reduced soil erodibility and therefore the value of the α -coefficient of the curve has been steadily declining over three decades.

Key Words: Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, Maximum likelihood, Suspended sediment, Seyedabad, Shah Bahram, Shivzohreh.