

کمی‌سازی خدمت اکوسیستمی کنترل فرسایش تحت تاثیر تغییر اقلیم در حوضه آبخیز گرگان‌رود

زهرا اسدالهی^{۱*}، محمدصادق نوروزی‌نظر^۲

۱ استادیار گروه محیط‌زیست و شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۲ کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۴/۰۹)

چکیده

با تشدید تخریب محیط‌زیست در نتیجه تقاضای روزافزون خدمات اکوسیستمی، اکوسیستم‌ها در آینده‌ای نزدیک قادر به تامین خدمات ضروری جوامع انسانی نخواهند بود. بنابراین، پیش‌بینی اثرات تغییر اکوسیستم بر عرضه خدمات با فرایند مدل‌سازی امری اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. در این میان مدل‌های هیدرولوژیک از جمله SWAT به عنوان ابزاری برای کمک به تخمین خدمات اکوسیستم در حوضه‌های آبخیز پیشنهاد شده‌اند. در سال‌های اخیر تغییر اقلیم، خشکسالی و فعالیت‌های انسانی از جمله تغییر کاربری اراضی، اثرات قابل توجهی بر توان اکوسیستم‌ها در حفظ و نگهداشت خاک در حوضه آبخیز گرگان‌رود گذاشته است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف به کارگیری مدل هیدرولوژیک SWAT در کمی‌سازی خدمت اکوسیستمی کنترل فرسایش تحت تاثیر تغییر اقلیم در این حوضه انجام شد. به این منظور بعد از شبیه‌سازی جریان رودخانه و بار رسوب درگام زمانی ماهانه، از الگوریتم SUFI-2 برای واسنجی و آنالیز عدم قطعیت از ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ استفاده شد. سپس مدل برای دوره زمانی ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۴ اعتبارسنجی شد. حصول مقادیر $NS=0/7$ و $NS=0/64$ برای واسنجی جریان و رسوب ماهانه در ایستگاه قزاقلی، نشان‌دهنده عملکرد رضایت‌بخش مدل SWAT در برآورد جریان و عملکرد خوب در شبیه‌سازی رسوب ماهانه است. در ادامه شاخص خدمت اکوسیستمی کنترل فرسایش (ECI) به شکل مکانی کمی‌سازی شد. نتایج نشان داد که سطح عرضه خدمت مورد نظر به شدت تحت تاثیر شرایط اقلیمی قرار دارد و با تغییر شرایط بارشی به مقدار قابل توجه تغییر می‌کند. همچنین نتایج مطالعه نشان داد که می‌توان مدل SWAT را به عنوان ابزاری ارزشمند در کمی‌سازی خدمات هیدرولوژیک اکوسیستم به کار گرفت، اگرچه نیازمند پردازش‌های پسین است.

کلید واژه‌ها: گرگان‌رود، خدمات تنظیمی، واسنجی، عدم قطعیت، SUFI-2

سرآغاز

(2005). افراد به اکوسیستم‌ها در جهت تامین بسیاری از خدمات مرتبط با آب وابسته هستند که در این میان می‌توان به تولید آب شیرین برای مصارف خانگی و آبیاری، کاهش خسارت سیلاب، کنترل فرسایش، تصفیه آب و حفظ مواد مغذی اشاره نمود (جدول ۱).

خدمات اکوسیستم^(۱) منافع ملموس و ناملموس هستند که افراد از اکوسیستم به دست می‌آورند و به منظور ایجاد ارتباط میان خدمات اکوسیستم و رفاه انسانی در چهار طبقه فراهم‌سازی^(۲)، تنظیمی^(۳)، فرهنگی^(۴) و حمایتی^(۵) طبقه‌بندی می‌شوند (MEA, 2005).

جدول (۱): طبقه‌بندی خدمات هیدرولوژیک اکوسیستم (MEA, 2005)

خدمات اکوسیستمی	تعریف	مثال
فراهم‌سازی	کالا و محصولات هستند که مستقیماً از اکوسیستم به دست می‌آیند.	تولید آب شیرین
تنظیمی	منافع حاصل از تنظیم فرایندهای طبیعی که از اکوسیستم حاصل می‌شود.	کاهش خسارت سیلاب، کنترل فرسایش، تنظیم اقلیم
فرهنگی	منافع غیرمادی و معنوی حاصل از اکوسیستم	تفرج و اکوتوریسم، ارزش‌های زیباشناختی
حمایتی	آندسته از فرایندهای طبیعی که برای حفظ سایر خدمات ضروری هستند.	حفظ مواد مغذی

مدیریت منابع طبیعی مهم هستند، بلکه کمبود و کاهش دسترسی به آنها می‌تواند تعارضات اجتماعی آبی را ایجاد کند که از مرزهای سیاسی فراتر رفته و به نزاع جهانی تبدیل شود (Zeitoun & Warner, 2006; Gleick, 1993). بنابراین، مدل‌سازی خدمات مرتبط با آب، از موضوع‌های اصلی مدیریت خدمات اکوسیستم بوده است (Glavan et al., 2013; Liersch et al., 2013; Welderufael et al., 2013; Jayakrishnan et al., 2005). مدل هیدرولوژیکی SWAT به عنوان مکانیسمی برای کمک به تخمین خدمات اکوسیستم در حوضه‌های آبخیز پیشنهاد شده است (Vigrestol & Aukema, 2011). با توجه به ویژگی رایگان و متن‌باز بودن نرم‌افزار و دستورالعمل دقیق آن، کاربرد این مدل موفق و گسترده بوده است (Krysanova & White, 2015). پارامترهای ورودی چندگانه و زیرمدل‌های SWAT، قابلیت استفاده از آن را نه تنها در شبیه‌سازی جریان آب، بلکه در برآورد کیفیت آب و متغیرهای رشد گیاهی امکان‌پذیر کرده است. علاوه بر این در مقایسه با سایر ابزارهای مدل‌سازی محیط‌زیستی، کالیبراسیون صحیح مدل SWAT رویکردی موثر در بررسی خدمات اکوسیستم است. همچنین نرم‌افزار SWAT به طور مداوم در جهت افزایش کاربرد جهانی آن بهبود می‌یابد (Gassman et al., 2014). تعداد مطالعه‌های انجام شده با موضوع خدمات اکوسیستم و کاربرد SWAT در دو دهه اخیر به سرعت در حال افزایش بوده است (Fisher et al., 2009). تعدادی از آنها در جدول (۲) خلاصه شده است. از مدل SWAT

با تشدید تخریب محیط‌زیست در نتیجه تقاضای روز افزون خدمات اکوسیستمی، اکوسیستم‌ها در آینده‌ای نزدیک قادر به تامین خدمات ضروری جوامع انسانی نخواهند بود (Foley et al., 2005). یافته‌های محققان نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از خدمات اکوسیستم (۶۰٪) در حال تخریب هستند و اکوسیستم‌های خشکی، آسیب‌پذیرترین محیط در حفظ خدمات اکوسیستم هستند. پیش‌بینی اثرات تغییر اکوسیستم‌ها بر خدمات اکوسیستم با مدل‌سازی امکان‌پذیر است (Vigrestol & Aukema, 2011) و با این هدف ابزارهای مدل‌سازی توسعه یافته‌اند که از آن جمله می‌توان به ARIES, InVEST, MIMES و SWAT اشاره نمود (Arnold et al., 1993; Gomez-Baggethun et al., 2014; Boumans et al., 2015; Mulligan, 2015). مدل‌های هیدرولوژیک با توجه به نوع اطلاعات مورد نیاز، ابزاری کاربردی در کمی‌سازی خدمات اکوسیستم محسوب می‌شوند (Egoh et al., 2012). مدل‌های هیدرولوژیک با رویکردی یکپارچه اجزای اکوسیستم شامل پوشش گیاهی، خاک، آب، اقلیم و نوع مدیریت را ادغام می‌کنند و در نهایت متغیرهای خروجی تخمین زده می‌شود که به عنوان شاخص خدمات اکوسیستم قابل تفسیر هستند. به طور کلی خدمات هیدرولوژیک نسبت به سایر خدمات اکوسیستم مانند خدمات زیباشناختی راحت‌تر قابل مدل‌سازی هستند. بنابراین، به کارگیری ابزارهای مدل‌سازی هیدرولوژیک در مطالعات خدمات اکوسیستم مرسوم است (Vigrestol & Aukema, 2011). علاوه بر این، خدمات اکوسیستم مانند تامین آب نه تنها برای

غرب آسیا در سال‌های اخیر، اثرات قابل توجهی توان اکوسیستم‌ها در حفظ و نگهداشت خاک در این حوضه گذاشته است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف کمی‌سازی خدمت اکوسیستمی کنترل فرسایش تحت تاثیر تغییر اقلیم در حوضه آبخیز گرگان‌رود انجام شد.

در مطالعه‌های داخلی در بررسی اثرات نگران‌کننده تغییرات کاربری اراضی و اقلیم بر حوضه آبخیز استفاده شده است (Ghaffari et al., 2010; Salmani et al., 2012; Azari et al., 2013). حوضه آبخیز گرگان‌رود یکی از مهم‌ترین حوضه‌های آبخیز تحت تاثیر فعالیت‌های کشاورزی در شمال کشور است. فعالیت‌های انسانی، تغییر اقلیم و خشکسالی‌های

مواد و روش‌ها

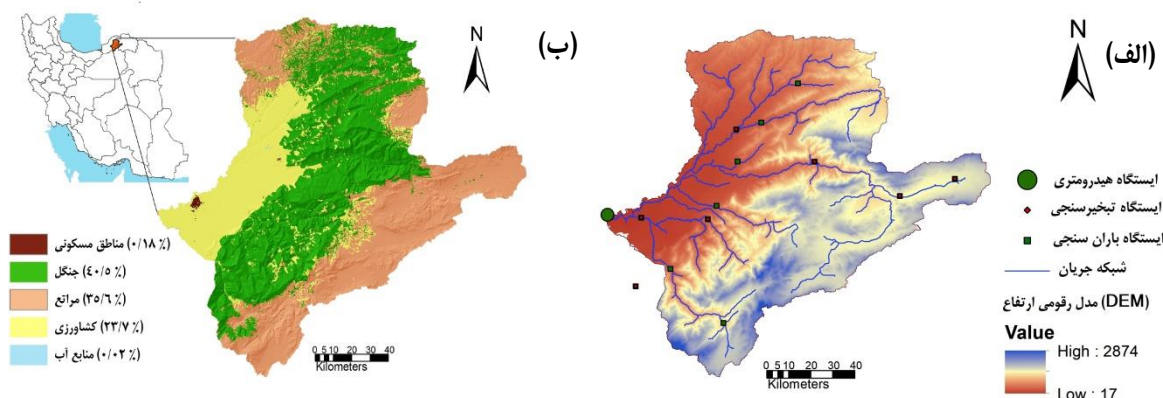
معرفی منطقه مورد مطالعه

جدول (۲): مطالعات انجام شده با ابزار SWAT به منظور تخمین خدمات اکوسیستم

نوع خدمت اکوسیستمی	متغیرهای خروجی SWAT	مکان انجام تحقیق	رویکرد کلی تحقیق	خدمت اکوسیستمی	محققان
خدمت فراهم‌سازی	جریان آب، جریان آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق واقعی	آفریقای جنوبی	مقایسه سناریوهای کاربری اراضی برای برداشت آب	کمیت آب	(Welderufael et al., 2013)
-	-	-	مرور منابع از مدل‌سازی خدمات اکوسیستم	کمیت آب کیفیت آب کنترل فرسایش	(Vigrestol & Aukema, 2011)
تنظیمی	تولید رسوب، بار مواد مغذی و بار فسفر	آمریکا	ترسیب کربن	کیفیت آب	(Secchi et al., 2007)
تنظیمی	تولید رسوب	شرق آفریقا	پایش خدمات اکوسیستم	کنترل فرسایش	(Swallow, et al., 2009)
فراهم‌سازی	جریان آب	اسپانیا	تغییر کاربری/ پوشش اراضی	کمیت آب	(Salmoral, 2015)
فراهم‌سازی	جریان آب	برزیل	مدیریت آبخیز	کمیت آب	(Rodrigues, 2014)
فراهم‌سازی و حمایتی	تبخیر و تعرق بلقوه، تبخیر و تعرق واقعی، رواناب سطحی و آب خاک	آمریکا	تغییر اقلیم	کمیت آب و زیستگاه	(Qiao, 2015)
تنظیمی	تولید رسوب، جریان آب	اسپانیا	فرایندهای فرسایش	کنترل فرسایش	(Palazón, 2014)
تنظیمی و فراهم‌سازی	فسفر کل، غلظت نیترات، کل جامدات معلق	آمریکا	پایش سناریوهای مدیریت	کمیت آب، کنترل فرسایش، غذا، سوخت	Logsdon, 2013) & (Chaubey

۲۳۱ میلی‌متر تا ۸۴۸ میلی‌متر تغییر و میانگین کمینه و بیشینه دمایی حوضه به ترتیب ۱۱ و ۱۸/۱ درجه سانتی‌گراد است (Azari et al., 2013). تقریباً ۵۰٪ از حوضه در محدوده ارتفاعی ۱۰۰۰ متر، ۴۸٪ بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر و ۲٪ از آن بالاتر از ۲۰۰۰ متر قرار گرفته است و ارتفاع متوسط کل حوضه ۹۳۷ متر است. در منطقه مورد مطالعه عمده‌ترین رودخانه‌های فرعی، رودخانه‌های دوغ، اوغان و قره‌سو و اصلی‌ترین سدهای مورد بهره‌برداری، سدهای گلستان و بوستان هستند که از آنها برای مصارف کشاورزی و صنعت استفاده می‌شود.

حوضه آبخیز گرگان‌رود تا ایستگاه هیدرومتری قزاقلی با مساحت ۶۹۵۴ کیلومتر مربع در شمال ایران حد فاصل طول‌های جغرافیایی شرقی ۵۳' ۰" و ۵۵' ۲۶" ۲۷' ۵۶" و عرض‌های جغرافیایی شمالی ۲۱' ۴۵" ۳۶' و ۱۵' ۴۷" ۳۷' واقع شده است (شکل ۱). کاربری اراضی بیشتر در منطقه، جنگل، کشاورزی و مرتع است. از نظر ویژگی‌های اقلیمی، اقلیم منطقه مورد مطالعه جزو اقلیم مدیترانه‌ای با تابستان‌های گرم و زمستان‌های معتدل و بارانی محسوب می‌شود. فصل بارش از آبان تا اردیبهشت و فصل خشک از خرداد تا مهر است که بیشتر از ۸۰ درصد بارش در فصل مرطوب رخ می‌دهد. میانگین بارش سالانه حوضه از



شکل (۱): (الف) مدل رقومی ارتفاع و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری،
(ب) نقشه کاربری اراضی و موقعیت حوزه آبخیز در ایران

معرفی مدل SWAT

مدل SWAT یک مدل مفهومی نیمه توزیعی در مقیاس حوزه است که دارای بازده محاسباتی بالا می‌باشد (Arnold et al., 1993). در این مدل هر حوزه به چند زیرحوضه و هر یک از زیرحوضه‌ها به چند واحد پاسخ هیدرولوژیک^(۴) (HRU) تقسیم می‌شود که از ترکیب نقشه‌های طبقات شیب، خاک و کاربری

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^n (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در روز i ام است.

در مدل SWAT شبیه‌سازی فرسایش در گام زمانی روزانه قابل انجام است. برآورد فرسایش در این مدل با استفاده از روش معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده^(۵) (MUSLE) طبق رابطه (۲) انجام می‌شود.

$$SED = 11.8 (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{HRU})^{0.56} \cdot K \cdot C \cdot P \cdot LS \cdot CERG \quad \text{رابطه (۲)}$$

داده‌های مورد نیاز از منابع مختلف (جدول ۳)، هیدرولوژی حوزه توسط مدل شبیه‌سازی شد. در ابتدا حوزه مورد مطالعه بر اساس مدل رقومی ارتفاع^(۸) (شکل ۱) و تعریف مساحت آستانه ۴۰۰۰ هکتاری به ۹۹ زیر حوزه تفکیک شد. سپس با رویهم‌گذاری لایه‌های شیب، کاربری اراضی و خاک هر کدام از زیر حوزه‌ها به تعدادی HRU تقسیم شدند. برای تخمین پتانسیل تبخیر و تعرق بر مبنای داده‌های اقلیمی، از مدل هارگریوز^(۹) (Hargreaves & Samani, 1985) استفاده شد. دوره آماری این پژوهش بین سال‌های ۱۹۷۲ تا ۱۹۹۴ بوده است که تعداد

در رابطه فوق: SW_t مقدار نهایی آب در خاک (میلی‌متر)، SW_0 مقدار اولیه آب در خاک (میلی‌متر)، R_{day} مقدار بارندگی در روز i ام (میلی‌متر)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز i ام (میلی‌متر)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز i ام (میلی‌متر)، W_{seep} مقدار آبی که در روز i ام از پروفیل خاک به ناحیه غیراشباع وارد می‌شود و Q_{gw} مقدار جریان برگشتی (میلی‌متر)

پارامتر Q ارتفاع رواناب سطحی به میلی‌متر، q_{peak} دبی اوج رواناب به متر مکعب در ثانیه، $area$ مساحت هر HRU به هکتار، K فرسایش‌پذیری خاک، C پوشش و مدیریت، LS توپوگرافی، P اقدامات حفاظتی و $CERG$ فاکتور قطعات درشت در خاک است (Neitsch et al., 2011).

داده‌های ورودی و اجرای مدل SWAT

SWAT به اطلاعات بسیاری از قبیل داده‌های مکانی، اقلیمی و هیدرولوژیکی برای اجرا و واسنجی نیاز دارد. پس از جمع‌آوری

ممکن است در واسنجی مدل SWAT ایجاد شود عدم قرارگیری سدها و ایستگاه های مشاهداتی در موقعیت صحیح خود بر روی شبکه رودخانه است. به دلیل عدم دقت مناسب مختصات ایستگاه های مشاهداتی، مدل SWAT ممکن است این نقاط را بر روی رودخانه های مجاور قرار دهد.

چهار سال اول برای گرم کردن مدل^(۱۰) جهت کاهش اثرات نامطلوب عدم قطعیت ناشی از شرایط مرزی و مقادیر اولیه در نظر گرفته شد. قبل از انجام فرایند واسنجی، موقعیت مکانی شبکه زهکشی جریان، سدها و ایستگاه های هیدرومتری معرفی شده به مدل، با استفاده از نرم افزار Google Earth بررسی و خطاهای احتمالی رفع شد (شکل ۲). یکی از مشکلاتی که



شکل (۲): بررسی موقعیت سدها، شبکه جریان و ایستگاه هیدرومتری در Google Earth

جدول (۳): منابع داده های مورد استفاده در مدل سازی

نوع داده	متغیر	منبع	توضیحات
مکانی	DEM	سازمان زمین شناسی آمریکا	حد تفکیک ۳۰ متر
	لایه کاربری اراضی	سازمان زمین شناسی آمریکا	کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره ای سال ۱۹۸۶
	لایه خاک شناسی	سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد	نقشه جهانی خاک فائو با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰۰ (۱۹۷۴)
	خصوصیات خاک	(Schuol et al., 2008)	-
	لایه شبکه جریان	سازمان جهاد کشاورزی گلستان	لایه شبکه جریان اصلاح شده به کمک نرم افزار Google Earth
اقلیمی	داده های مشاهداتی	سازمان هواشناسی استان گلستان	بارش و دمای هوای روزانه در ۲۳ ایستگاه در دوره زمانی ۱۹۷۲ تا ۱۹۹۴
هیدرولوژیکی	جریان رودخانه	شرکت سهامی آب منطقه ای گلستان	جریان روزانه در ایستگاه قزاقلی از ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۴
	رسوب	شرکت سهامی آب منطقه ای گلستان	رسوب روزانه در ایستگاه قزاقلی از ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۴

قطعیت شامل عدم قطعیت متغیرهای ورودی، داده های اندازه گیری شده، ساختار مدل و پارامترهای مدل با در نظر گرفتن عدم قطعیت برای پارامترها لحاظ می شوند. عدم قطعیت در پارامترها با تعریف بازه هایی با توزیع یکنواخت برای آنها

آنالیز عدم قطعیت و واسنجی مدل SWAT

برای واسنجی، اعتبارسنجی و آنالیز عدم قطعیت مدل SWAT در شبیه سازی جریان و رسوب، از الگوریتم SUFI-2 در نرم افزار SWAT_CUP^(۱۱) استفاده شد. در SUFI-2، تمام منابع عدم

جدول (۴): ارزیابی ضریب NSE برای جریان و رسوب ماهانه (Moriassi et al., 2007)

NSE	عملکرد شاخص NSE
خیلی خوب	$0.75 < NSE \leq 1$
خوب	$0.65 < NSE \leq 0.75$
رضایت‌بخش	$0.5 < NSE \leq 0.65$
نارضایت‌بخش	$NSE \leq 0.5$

سیگنال‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است. همچنین مقدار ضریب NSE بین $-\infty$ و یک تغییر می‌کند که در آنجا نیز مقادیر بزرگتر نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل است. در این مطالعه فرایند هم زمان واسنجی و آنالیز عدم قطعیت مدل با مقایسه جریان و رسوب ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی برای دوره زمانی ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ انجام شد. پس از واسنجی، عملکرد مدل در دوره ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۴ اعتبارسنجی شد. در این پژوهش از معیار (Moriassi et al., 2007)، برای ارزیابی عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریان و رسوب ماهانه استفاده شده است (جدول ۴).

شاخص خدمت اکوسیستمی کنترل فرسایش (ECI)

کنترل فرسایش به عنوان یک خدمت اکوسیستمی به توان اکوسیستم‌ها در حفظ و نگهداشت خاک اشاره دارد. فرسایش و رسوب‌زایی حوضه‌های آبخیز منجر به کاهش نیروی برقایی تولیدی، خسارت‌های ساختاری به سدها، ایجاد سیلاب و کاهش کیفیت آب می‌شود (Sharp et al., 2014). در این تحقیق خدمت اکوسیستمی کنترل فرسایش به توان اکوسیستم در کنترل میزان رسوب فرسایش یافته‌ای که به شبکه جریان وارد می‌شود، اشاره دارد (Bogdan et al., 2016). پس از اجرا و کالیبراسیون مدل SWAT، کمی‌سازی خدمت کنترل فرسایش از طریق رابطه زیر انجام شد (Logsdon & Chaubey, 2013).

$$ECI = \exp(1 - (E_{ann}/E_{max})) \quad (۳)$$

در رابطه (۳) شاخص کنترل فرسایش، E_{ann} نرخ فرسایش سالانه بر حسب (t/ha) و E_{max} حداکثر میزان مجاز (یا طبیعی) فرسایش (t/ha) است. با انجام مرور منابع، میزان E_{max} ۱۲ تن در هکتار در نظر گرفته شد (Ghafari et al., 2018; Sokouti & Arabkhedri, 2018). با توجه به جدول (۵) رابطه میان میزان شاخص ECI و خدمت اکوسیستمی کنترل فرسایش تعریف شد.

جدول (۵): رابطه میان میزان شاخص ECI و خدمت اکوسیستمی کنترل فرسایش

میزان فرسایش	میزان شاخص ECI	سطح خدمت‌رسانی اکوسیستم
فرسایش سالانه کمتر از فرسایش حداکثر مجاز	$ERI > 1$	زیاد
فرسایش سالانه برابر با فرسایش حداکثر مجاز	$ERI = 1$	متوسط
فرسایش سالانه بیشتر از فرسایش حداکثر مجاز	$ERI < 1$	کم

توصیف می‌شود. انتشار عدم قطعیت در پارامترها منجر به ایجاد عدم قطعیت در متغیرهای خروجی در مدل می‌شود. در SUFI-2، عدم قطعیت در خروجی مدل، با باند عدم قطعیت ۹۵٪ پیش‌بینی (95PPU)، توصیف می‌شود. باند عدم قطعیت، در سطوح ۲/۵٪ و ۹۷/۵٪ توزیع تجمعی یک متغیر خروجی و با نمونه‌برداری به روش لاتین هاپیرکیوب^(۱۲) محاسبه می‌شود (Abbaspour et al., 2004). در SUFI-2 برای ارزیابی آنالیز عدم قطعیت و قدرت واسنجی، دو معیار P-factor و R-factor محاسبه شود. P-factor درصد داده‌های مشاهده‌ای در محدوده عدم قطعیت ۹۵ درصد است. همچنین R-factor متوسط ضخامت باند عدم قطعیت تقسیم بر انحراف معیار داده‌های مشاهده‌ای می‌باشد. به لحاظ تئوری، مقادیر P-factor در بازه صفر تا یک و مقادیر R-factor در بازه صفر تا بی‌نهایت تغییر می‌کنند. P-factor برابر با یک و R-Factor برابر با صفر نشان‌دهنده تطابق کامل مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهداتی است. هر چقدر P-factor و R-factor به دست آمده، از این اعداد فاصله داشته باشند دقت شبیه‌سازی کمتر می‌شود. برای جریان روخانه مقدار P-factor بالای ۰/۷ و R-factor نزدیک به یک و برای رسوب P-factor کوچک‌تر و R-factor بزرگ‌تر می‌تواند قابل قبول باشد (Abbaspour et al., 2007). علاوه بر این دو معیار، شاخص‌های ضریب تبیین^(۱۳) (R^2) و ضریب نش-ساتکلیف^(۱۴) (NSE) نیز برای ارزیابی نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. مقدار ضریب R^2 بین صفر و یک است که مقادیر بزرگ‌تر نشان‌دهنده تطابق بیشتر

نتایج و بحث

آنالیز حساسیت پارامترها، واسنجی و اعتبارسنجی

مدل SWAT

به‌منظور شناسایی پارامترهای حساس برای واسنجی، آنالیز حساسیت انجام شد. به این منظور ۳۰ پارامتر هیدرولوژیکی مرتبط با جریان و رسوب با مرور منابع شناسایی (Abbaspour et al., 2007; Zuo et al., 2016) و با انجام آنالیز حساسیت در نهایت ۱۳ پارامتر حساس به جریان و رسوب و پنج پارامتر حساس به رسوب انتخاب شدند. در مرحله بعد، ابتدا نتایج شبیه‌سازی جریان از ژانویه ۱۹۷۶ تا دسامبر ۱۹۹۰ با تنظیم

پارامترها واسنجی شد. سپس، پارامترهای رسوب در فرایند واسنجی قرار گرفتند. پارامترهای حساس و مقادیر نهایی بهینه شده آنها در جدول (۶) آورده شده است. عملکرد مدل در شبیه‌سازی دبی و رسوب ماهانه در طول دوره واسنجی به‌ترتیب خوب ($0.75 < NSE \leq 0.65$) و رضایت‌بخش ($0.65 < NSE \leq 0.5$) ارزیابی شد (Moriasi et al., 2007). این مدل همچنین عملکرد رضایت‌بخش برای اعتبارسنجی جریان و رسوب در دوره زمانی ژانویه ۱۹۹۱ تا دسامبر ۱۹۹۴ نشان داد. به‌طورکلی، عملکرد مدل برای واسنجی بالاتر از اعتبارسنجی بود (شکل ۳ و شکل ۴).

جدول (۶): پارامترهای SWAT و مقدار نهایی واسنجی شده آنها در ایستگاه قزاقلی

مقدار نهایی	تعریف	پارامتر	شماره
پارامترهای حساس به جریان و رسوب	شماره منحنی	R_CN2.mgt	۱
	ظرفیت آب قابل دسترس خاک	R_SOL_AWC.sol	۲
	جرم مخصوص ظاهری لایه های خاک	R_SOL_BD.sol	۳
	هدایت هیدرولیکی اشباع لایه های خاک (mm/hr)	R_SOL_K.sol	۴
	ضریب برگشت آب زیرزمینی از لایه آبدار کم عمق	v_GW_REVAP.gw	۵
	درصد تغذیه لایه آبدار عمیق از لایه آبدار کم عمق	v_RCHRG_DP.gw	۶
	ضریب آلفای جریان پایه	v_ALPHA_BF.gw	۷
	ضریب آلفای جریان پایه برای ذخیره مخزن	v_ALPHA_BNK.rte	۸
	هدایت هیدرولیکی موثر بستر رودخانه اصلی (mm/hr)	v_CH_K2.rte	۹
	ضریب مانینگ رودخانه اصلی	v_CH_N2.rte	۱۰
	ضریب جبران جذب آب توسط گیاه	v_EPCO.hru	۱۱
	حداکثر برگاب پوشش گیاهی جنگل (mm H2O)	v_CANMX.hru_FRST	۱۲
	حداکثر برگاب پوشش گیاهی مرتع (mm H2O)	v_CANMX.hru_RNGE	۱۳
پارامترهای حساس به رسوب	ضریبی در معادله انتقال رسوب	v_SPCON.bsn	۱
	توان در معادله انتقال رسوب	v_SPEXP.bsn	۲
	فاکتور تطبیق سرعت بیشینه	v_PRF.bsn	۳
	فاکتور پوشش کانال	v_CH_COV1.rte	۴
	فاکتور پوشش کانال	v_CH_COV2.rte	۵

توزیع مکانی فرسایش سالانه و شاخص ECI در

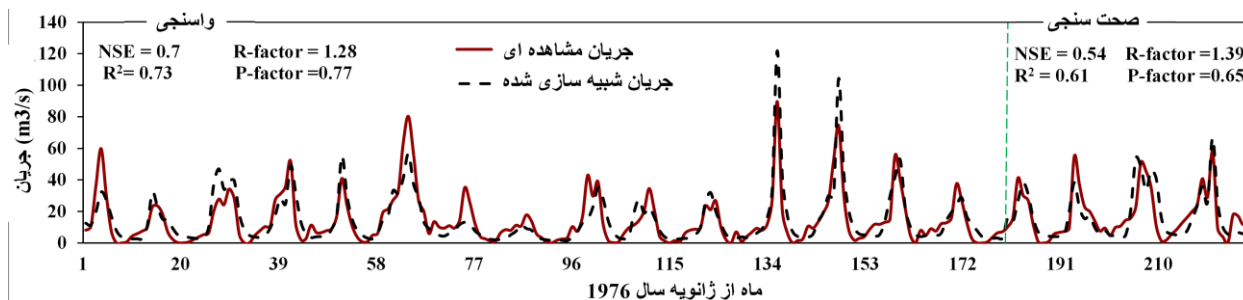
دوره زمانی (۱۹۷۶-۱۹۹۰)

توزیع مکانی متوسط فرسایش سالانه و شاخص ECI در حوضه آبخیز گرگان‌رود طی دوره زمانی ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ در شکل‌های (۷ و ۸) نشان داده شده است. بخش‌هایی از مناطق مرکزی و شمالی حوضه آبخیز گرگان‌رود با میزان فرسایش سالانه ۱۲ تن بر هکتار تا بیش از ۷۲ تن بر هکتار به عنوان نواحی بحرانی فرسایش شناسایی شدند. میزان قابل توجه فرسایش در این

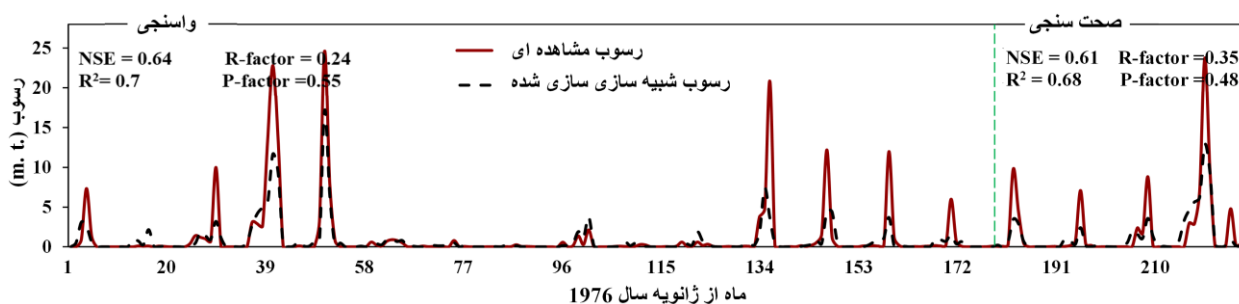
نتایج ارایه شده در مورد کارایی مدل با نتایج مطالعه‌های (Azari et al., 2013; Salmani et al., 2012) مطابقت دارد. پراکنش مقادیر جریان و رسوب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده ایستگاه قزاقلی در شکل‌های (۵ و ۶) قابل مشاهده است. با توجه به نتایج حاصل از آنالیز عدم قطعیت، مقادیر مطلوب پیشنهادی برای P-factor و R-factor (Abbaspour et al., 2007)، در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی برای جریان و رسوب به دست آمد (شکل‌های ۴ و ۵).

فرسایش را به دنبال داشت. براساس رابطه MSULE میزان فرسایش تابعی از فاکتورهای پوشش گیاهی، ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، شرایط بارش و میزان تولید رواناب می‌باشد.

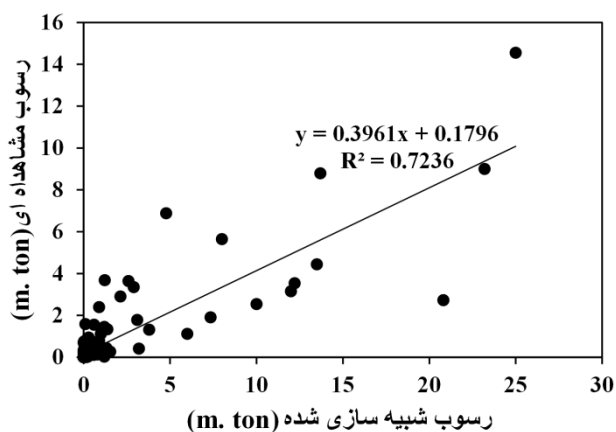
مناطق که تقریباً ۳۰٪ از منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود، با وجود پوشش غالب جنگلی و مراتع، مقادیر بسیار کم شاخص ECI (کمتر از ۱ و نزدیک به صفر) و خدمت‌رسانی پایین کنترل



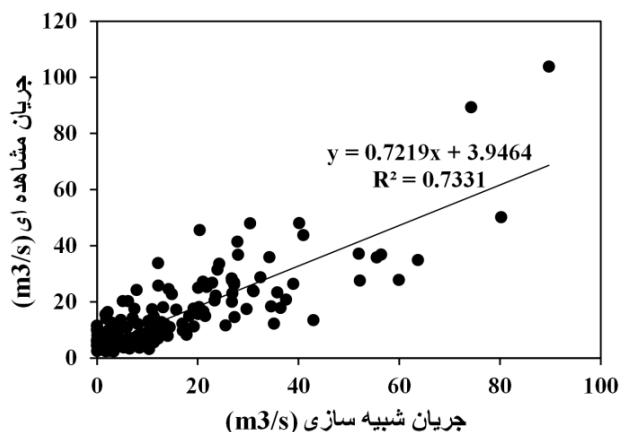
شکل (۳): باند عدم قطعیت ۹۵٪ پیش‌بینی، برای جریان ماهانه ایستگاه قزاقلی دوره‌های زمانی واسنجی و اعتبارسنجی



شکل (۴): باند عدم قطعیت ۹۵٪ پیش‌بینی، برای رسوب ماهانه ایستگاه قزاقلی دوره‌های زمانی واسنجی و اعتبارسنجی



شکل (۵): پراکنش مقادیر رسوب مشاهده‌ای و رسوب شبیه‌سازی شده گام ماهانه ایستگاه قزاقلی



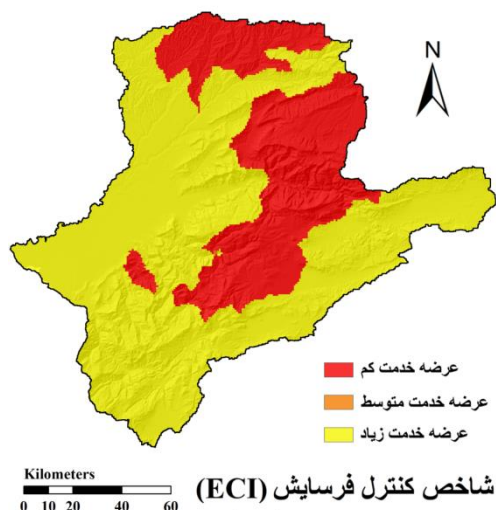
شکل (۶): پراکنش مقادیر جریان مشاهده‌ای و جریان شبیه‌سازی شده گام ماهانه ایستگاه قزاقلی

در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شوند. همچنین خروجی‌های مدل SWAT نشان داد که شاخص طول و تندى شیب^(۱۵) (SL-factor) در حوضه آبخیز گرگان‌رود دارای مقادیر بین ۱ تا ۷/۳ می‌باشد. فاکتور SL به‌میزان ۳ تا ۷/۳ در زیرحوضه‌های

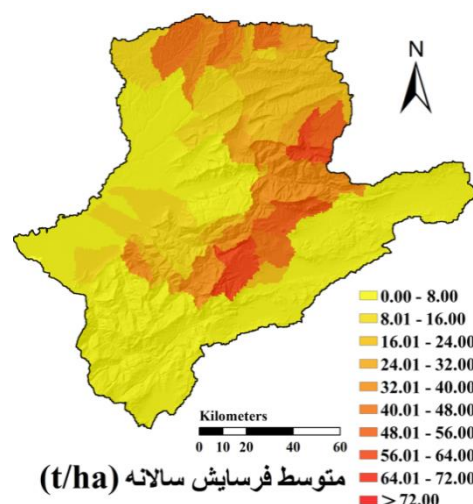
بارش سالانه در حوضه آبخیز گرگان‌رود از ۱۸۰ تا ۸۵۰ میلی‌متر در سال متغیر است. این مقدار در زیرحوضه‌های بحرانی مرکزی و شمالی به ترتیب ۷۰۰ تا ۸۵۰ میلی‌متر و ۶۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر متغیر است که به‌طور نسبی این مناطق زیرحوضه‌های پربارش

می‌دهد.

بحرانی، شرایط بحرانی فرسایشی این مناطق را نسبت به اراضی کشاورزی (فاکتور SL بین ۰ تا ۲) پایین‌دست حوضه نشان



شکل (۸): توزیع مکانی متوسط شاخص ECI طی دوره زمانی ۱۹۷۶-۱۹۹۰

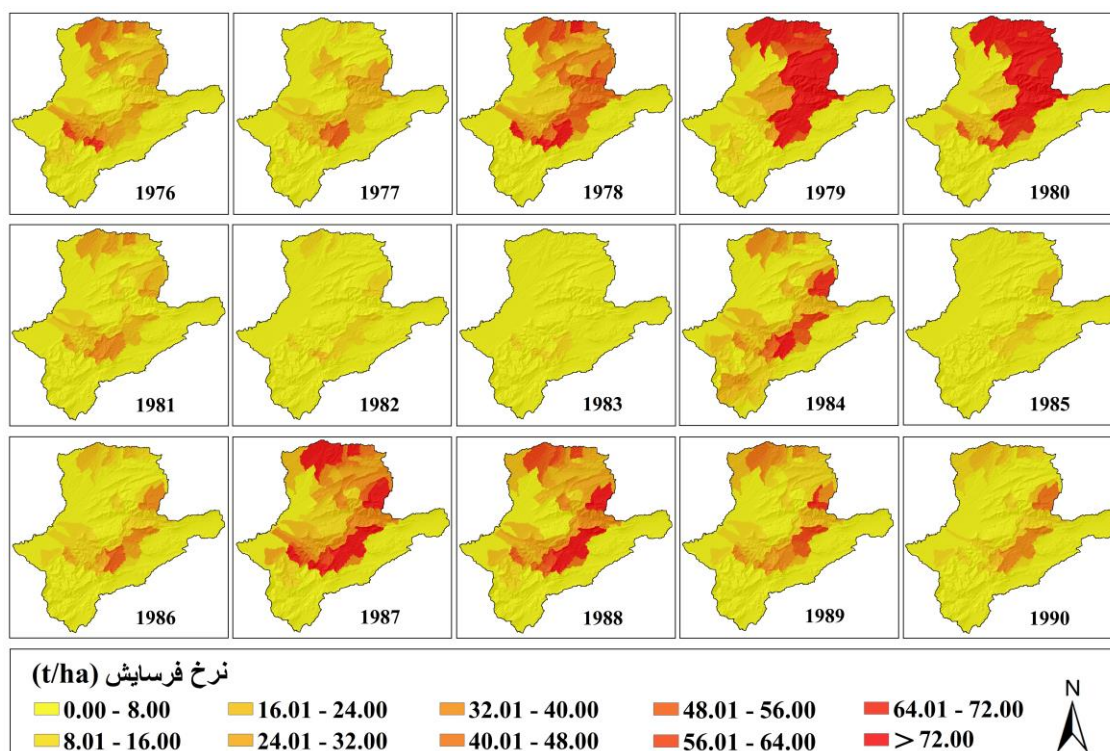


شکل (۷): توزیع مکانی متوسط فرسایش سالانه طی دوره زمانی ۱۹۷۶-۱۹۹۰

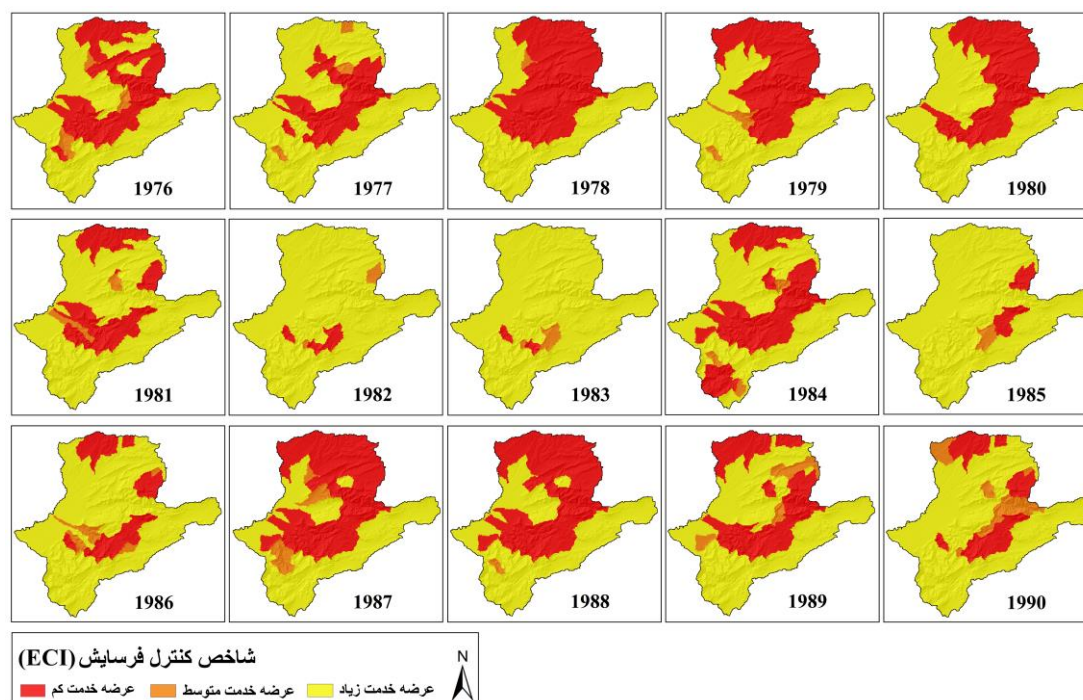
توزیع مکانی تغییرات سالانه فرسایش و شاخص ECI در دوره زمانی (۱۹۷۶-۱۹۹۰)

روند تغییرات سالانه فرسایش و شاخص ECI طی دوره زمانی ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ (شکل‌های ۹ و ۱۰) نشان می‌دهد که شدت فرسایش و سطح عرضه خدمت کنترل فرسایش به شدت تابع متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی مانند بارش و رواناب سطحی است. همان‌طور که در شکل‌های (۹ و ۱۰) مشاهده می‌شود در برخی از سال‌ها شدت فرسایش به نسبت بیشتر بوده و به تبع آن عرضه خدمت کنترل فرسایش در سطح پایین‌تری قرار دارد. از آنجایی که تمامی داده‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی در سال‌های مختلف یکسان بوده و فقط متغیرهای اقلیمی تغییر کرده است، بنابراین تغییرات مشاهده شده ناشی از تغییرات اقلیم است. شکل‌های (۱۱ و ۱۲) میزان بارش، رواناب سطحی و ECI

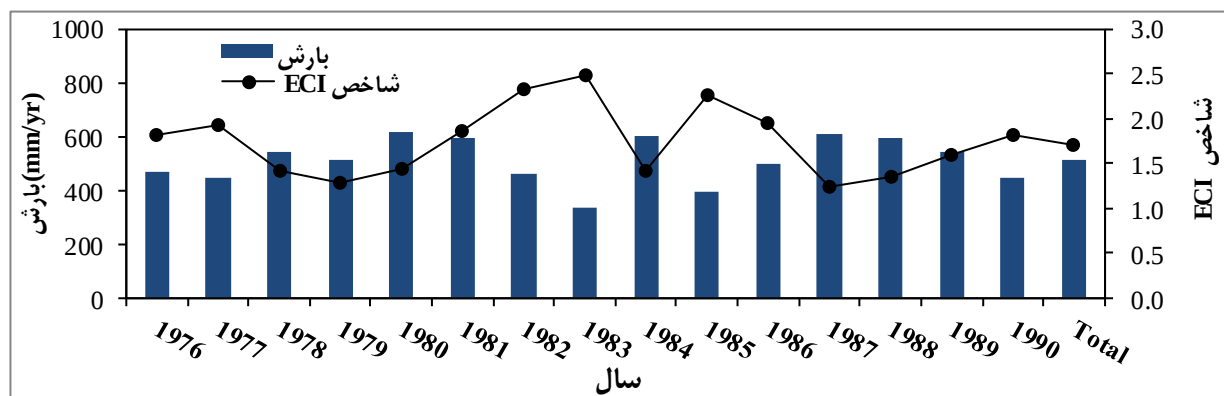
و رابطه آنها با یکدیگر را در سطح حوضه آبخیز و برای سال‌های مختلف نشان می‌دهد. برای مثال در سال پربارش ۱۹۸۷، با میانگین بارش سالانه ۶۱۰ میلی‌متر و رواناب سطحی ۷۵ میلی‌متر، شاخص ECI برابر با ۱/۲ است در حالی که در سال متوسط بارش ۱۹۷۶ با میانگین بارش و رواناب سطحی سالانه به ترتیب ۴۷۰ و ۲۵ میلی‌متر، شاخص ECI برابر با ۱/۸ برآورد شد. همچنین در سال کم‌بارش ۱۹۸۳ با میانگین بارش و رواناب سطحی سالانه به ترتیب ۳۳۰ و ۸ میلی‌متر، شاخص ECI برابر با ۲/۵ بوده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که عرضه خدمت کنترل فرسایش با میزان بارش در سال‌های مختلف ۶۸٪ و با رواناب سطحی ۷۸٪ همبستگی دارد (شکل‌های ۱۳ و ۱۴).



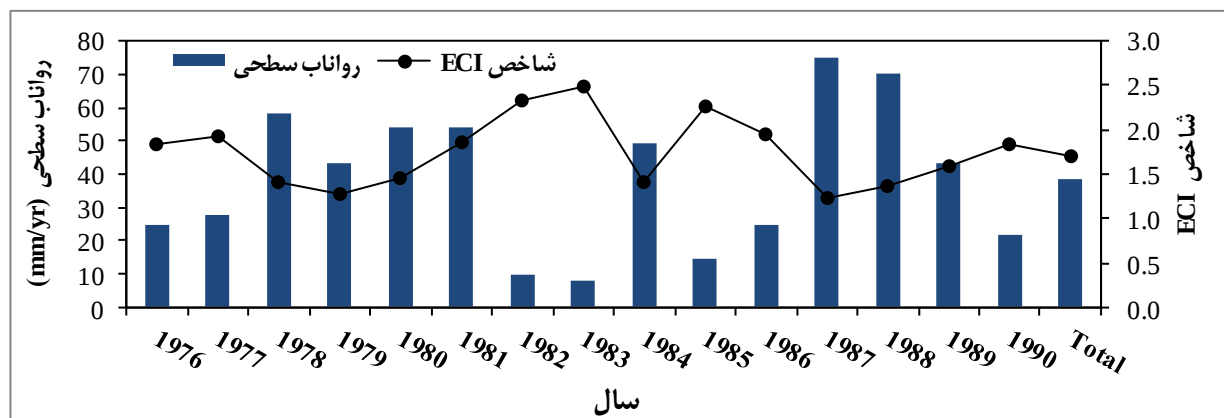
شکل (۹): توزیع مکانی فرسایش طی دوره زمانی ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰



شکل (۱۰): توزیع مکانی شاخص ECI طی دوره زمانی ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰



شکل (۱۱): تغییرات میزان شاخص ECI و بارش سالانه در حوضه آبخیز گرگان رود طی دوره زمانی ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰



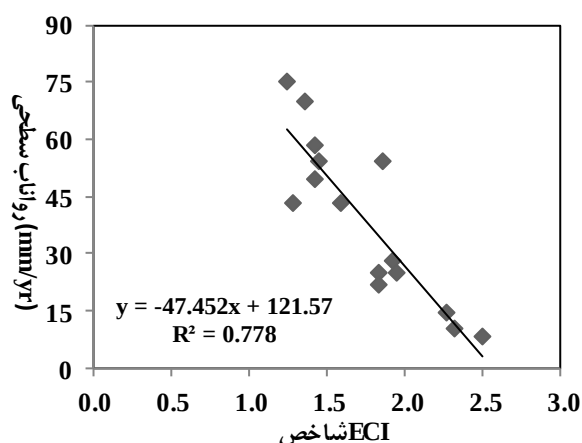
شکل (۱۲): تغییرات میزان شاخص ECI و رواناب سالانه در حوضه آبخیز گرگان رود طی دوره زمانی ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰

چرخه آب، تغییر بارش و تغییر در مقدار و زمان بروز رواناب می گردد. به طوری که در شرایط اقلیمی آینده برای دوره زمانی ۲۰۷۰-۲۰۹۹، کاهش میزان بارندگی سالانه حوضه به میزان ۳/۲ تا ۶/۷٪، منجر به کاهش مقدار رواناب سطحی به میزان ۰/۴ تا ۷/۷٪ خواهد شد. نتایج به دست آمده صرف نظر از جهت تغییرات هر یک از مولفه های هیدرولوژیکی، دلالت بر اهمیت الگوی زمانی تغییرات در طول سال داشت. همچنین (Salmani et al., 2012) در نتایج بررسی آثار تغییر اقلیم حوضه آبخیز گرگان رود بر متغیرهای هواشناسی (دما و بارش) و رواناب خروجی بر انطباق زیاد بین تغییر بارش و تغییر در مقدار آب حوضه و رواناب اشاره نموده اند.

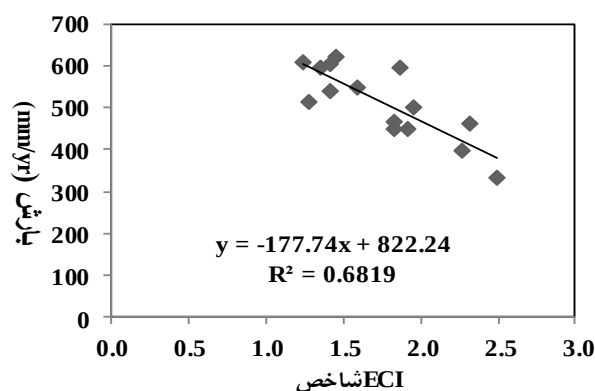
نتایج بررسی مساحت نواحی با سطوح خدمت رسانی کم، متوسط و زیاد در سال های مختلف در جدول (۷) ارائه شده است. این نتایج نشان می دهد که مساحت نواحی فوق در سال های مختلف متفاوت است. برای مثال مساحت نواحی با سطوح خدمت رسانی کم، متوسط و زیاد در سال پربارش ۱۹۸۷ با بارش سالانه ۶۱۰ میلی متر به ترتیب ۴۸/۳٪، ۵/۵٪ و ۴۶/۲٪، در سال متوسط بارش ۱۹۷۶ با بارش سالانه ۴۷۰ میلی متر، ۳۲/۹٪، ۷/۳٪ و ۵۹/۸٪ و در سال کم بارش ۱۹۸۳ با بارش ۳۳۰ میلی متری، ۱/۵٪، ۲/۲٪ و ۹۶/۳٪ است. این نتایج بیانگر این است که سطح عرضه خدمت کنترل فرسایش به شدت تحت تاثیر شرایط اقلیمی حاکم قرار دارد. در این راستا (Azari et al., 2013) با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت هیدرولوژی حوضه آبخیز گرگان رود بر این نکته اشاره دارند که تغییر اقلیم سبب تشدید

جدول (۷): تغییرات مساحت نواحی با سطوح عرضه کم، متوسط و زیاد خدمت کنترل فرسایش تحت تاثیر تغییر اقلیم

سال	مساحت نواحی با سطوح خدمت‌رسانی مختلف کنترل فرسایش					
	بر حسب % از کل حوضه			بر حسب هکتار		
	زیاد	متوسط	کم	زیاد	متوسط	کم
۱۹۷۶	۵۹/۸	۷/۳	۳۲/۹	۴۱۵۷/۸	۵۰۷/۵	۲۲۸۹/۱
۱۹۷۷	۷۲/۸	۳/۲	۲۴/۰	۵۰۶۰/۵	۲۲۲/۲	۱۶۷۱/۸
۱۹۷۸	۴۸/۸	۳/۲	۴۸/۰	۳۳۹۴/۸	۲۲۰/۴	۳۳۳۹/۲
۱۹۷۹	۵۴/۶	۲/۶	۳۲/۷	۳۷۹۵/۸	۱۸۴/۰	۲۳۷۴/۶
۱۹۸۰	۶۲/۰	۰	۳۸/۰	۴۳۱۳/۷	۰	۲۶۴۰/۷
۱۹۸۱	۷۳/۴	۶/۵	۱۹/۹	۵۱۰۲/۱	۴۶۵/۵	۱۳۸۶/۹
۱۹۸۲	۹۵/۱	۱/۵	۳/۴	۶۶۱۴/۵	۱۰۲/۳	۲۳۷/۶
۱۹۸۳	۹۶/۳	۲/۲	۱/۵	۶۶۹۹/۱	۱۵۳/۹	۱۰۱/۵
۱۹۸۴	۵۸/۵	۵/۱	۳۶/۳	۴۰۷۰/۲	۳۵۶/۶	۲۵۲۷/۶
۱۹۸۵	۹۲/۶	۳/۲	۴/۲	۶۴۴۳/۲	۲۲۱/۶	۲۸۹/۱
۱۹۸۶	۷۹/۶	۶/۲	۱۴/۲	۵۵۳۳/۳	۴۳۳/۵	۹۸۷/۶
۱۹۸۷	۴۶/۲	۵/۵	۴۸/۳	۳۳۱۳	۳۸۴/۸	۳۳۵۶/۶
۱۹۸۸	۵۱/۰	۰/۷	۴۸/۳	۳۵۴۷/۸	۵۵۰/۰	۳۳۵۶/۶
۱۹۸۹	۶۳/۸	۹/۷	۲۶/۵	۴۴۴۰/۱	۶۷۲/۶	۱۸۴۱/۷
۱۹۹۰	۷۴/۲	۹/۶	۱۶/۲	۵۱۶۰/۳	۶۶۶/۱	۱۱۲۸/۰
کل	۶۶/۱	۲۹/۱	۳/۳	۴۵۹۹/۱	۲۳۱/۰	۲۰۲۴/۳



شکل (۱۴): همبستگی ECI با میزان رواناب سالانه



شکل (۱۳): همبستگی ECI با میزان بارش سالانه

نتیجه‌گیری

است. براساس این نتایج می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل SWAT می‌تواند برآورد قابل اعتمادی از اجزای چرخه هیدرولوژیکی در حوضه گرگان‌رود داشته باشد. همچنین این مطالعه نشان داد که مدل SWAT را می‌توان به عنوان یک ابزار ارزشمند مدیریتی در کمی‌سازی خدمات هیدرولوژیک اکوسیستم به کار گرفت. مدل SWAT بر اجزا و فرایندهای اکولوژیک سازنده خدمات اکوسیستم تاکید دارد، اگرچه نیازمند پردازش‌های

حصول مقادیر $NS=0.7$ و $NS=0.64$ برای واسنجی جریان و رسوب ماهانه در ایستگاه قزاقلی، نشان‌دهنده عملکرد رضایت‌بخش مدل SWAT در برآورد جریان و عملکرد خوب در شبیه‌سازی رسوب ماهانه می‌باشد. همچنین حصول ضرایب قابل قبول برای ضرایب P-factor و R-factor در مرحله واسنجی، حاکی از آن است که نتایج منطقی برای عدم قطعیت ایجاد شده

عرضه خدمت کنترل فرسایش به شدت تحت تاثیر شرایط اقلیمی قرار دارد و با تغییر شرایط بارشی به میزان قابل توجه تغییر می‌کند.

یادداشت‌ها

1. Ecosystem Services
2. Providing
3. Regulating
4. Cultural
5. Supporting
6. Hydrologic Response Unit
7. Modified Universal Soil Loss Equation
8. Digital Elevation Model
9. Hargreaves
10. Warm-up period
11. SWAT Calibration and Uncertainty Program
12. Latin hypercube
13. Coefficient of Determination
14. Nash-Sutcliffe(1970)
15. Topographic factor - L is for slope length & S is for slope

پسین برای ارزیابی خدمات اکوسیستم است. در این تحقیق شاخص ECI با توجه به رابطه میان میزان فرسایش در حال وقوع در مقایسه با میزان حداکثر مجاز (طبیعی) فرسایش محاسبه شد در سطح حوضه آبخیز، فرسایش خاک و مقدار رسوب وارد شده به شبکه جریان رودخانه، تحت تاثیر هم‌کنشی پیچیده میان اجزای اکوسیستم از قبیل ویژگی‌های خاک، بارندگی، توپوگرافی و نوع کاربری اراضی قرار دارد که در نهایت شاخص ECI را برای هر زیرحوضه تعیین می‌کند. میزان شاخص ECI در زیرحوضه‌های برخی مناطق مرکزی و شمالی منطقه مورد مطالعه با وجود پوشش غالب جنگلی و مرتع، کمتر از یک برآورد شد. پتانسیل فرسایش‌پذیری این زیرحوضه‌ها با توجه به میزان بارش و فاکتور SL بالاتر منجر به تولید رسوب بیشتری در مقایسه با نواحی دیگر حوضه شده است. بنابراین، با توجه به ویژگی‌های اکوسیستمی، مستعد فرسایش هستند و هرگونه تغییر کاربری اراضی می‌تواند وضعیت بحرانی فعلی را از نظر فرسایش تشدید کند. همچنین نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سطح

فهرست منابع

- Abbaspour, K. C.; Johnson, A. & van Genuchten, M. Th. 2004. Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. *Vadose Zone Journal*, 3(4): 1340–1352.
- Abbaspour, K.C.; Yang, J.; Maximov, I.; Siber, R.; Bogner, K.; Mieleitner, J.; Zobrist, J. & Srinivasan, R. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of hydrology*, 333(2-4): 413-430.
- Arnold, J.G.; Allen, P.M. & Bernhardt, G. 1993. A comprehensive surface-groundwater flow model. *Journal of hydrology*, 142(1-4): 47-69.
- Azari, M.; Moradi, H.R.; Saghaian, B. & Faramarzi, M. 2013. Assessment of hydrological effects of climate change in Gorganroud river basin. *Journal of Water and Soil*, 27: 537-547 (In Persian).
- Bogdan, S.M.; Pătru-Stupariu, I. & Zaharia, L. 2016. The assessment of regulatory ecosystem services: the case of the sediment retention service in a mountain landscape in the southern Romanian Carpathians. *Procedia Environmental Sciences*, 32:12-27.
- Boumans, R.; Roman, J.; Altman, I. & Kaufman, L. 2015. The Multiscale Integrated Model of Ecosystem Services (MIMES): Simulating the interactions of coupled human and natural systems. *Ecosystem services*, 12: 30-41.
- Egoh, B.; Drakou, E.G.; Dunbar, M.B.; Maes, J. & Willemen, L. 2012. Indicators for mapping ecosystem services: a review (p. 111). European Commission, Joint Research Centre (JRC).
- Fisher, B.; Turner, R.K. & Morling, P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological economics*, 68(3): 643-653.
- Foley, J.A.; DeFries, R.; Asner, G.P.; Barford, C.; Bonan, G.; Carpenter, S.R.; Chapin, F.S.; Coe, M.T.; Daily, G.C.; Gibbs, H.K. & Helkowski, J.H. 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309(5734): 570-574.
- Gassman, P.W.; Sadeghi, A.M. & Srinivasan, R. 2014. Applications of the SWAT model special section: overview and insights. *Journal of Environmental Quality*, 43(1): 1-8.
- Ghafari, H.; Gorji, M.; Arabkhedri, M.; Rooshani, Gh & Heidari, A. 2018. Evaluation of soil loss tolerance via soil productivity and quality at a watershed scale: Haji-Ghushan watershed, Golestan province. *Iranian journal of soil and water research*, 48(5): 985-994 (In Persian).
- Ghaffari, G.; Keesstra, S.; Ghodousi, J. & Ahmadi, H. 2010. SWAT- simulated hydrological impact of land- use change in the Zanjanrood basin, Northwest Iran. *Hydrological Processes: An International Journal*, 24(7): 892-903.
- Glavan, M.; Pintar, M. & Volk, M. 2013. Land use change in a 200- year period and its effect on blue and green water flow in two Slovenian Mediterranean catchments—lessons for the future. *Hydrological Processes*, 27(26): 3964-3980.
- Gleick, P.H. 1993. Water and conflict: Fresh water resources and international security. *International security*, 18(1): 79-112.

- Gómez-Baggethun, E.; Martín-López, B.; Barton, D.; Braat, L.; Saarikoski, H.; Kelemen, E.; García-Llorente, M.; van den Bergh, J.; Arias, P.; Berry, P. & Potschin, M. 2014. State-of-the-art report on integrated valuation of ecosystem services. EU FP7 Open NESS Project Deliverable, 4: 1-33.
- Hargreaves, G. & Samani, Z.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1: 96-99.
- Jayakrishnan, R.S.R.S.; Srinivasan, R.; Santhi, C. & Arnold, J.G. 2005. Advances in the application of the SWAT model for water resources management. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(3): 749-762.
- Krysanova, V. & White, M. 2015. Advances in water resources assessment with SWAT—an overview. *Hydrological Sciences Journal*, 60(5): 771-783.
- Liersch, S.; Cools, J.; Kone, B.; Koch, H.; Diallo, M.; Reinhardt, J.; Fournet, S.; Aich, V. & Hattermann, F.F. 2013. Vulnerability of rice production in the Inner Niger Delta to water resources management under climate variability and change. *Environmental Science & Policy*, 34: 18-33.
- Logsdon, R.A. & Chaubey, I. 2013. A quantitative approach to evaluating ecosystem services. *Ecological Modelling*, 257: 57-65.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being: scenarios: findings of the Scenarios Working Group (Vol. 2). Island Press.
- Moriasi D.N.; Arnold J.G.; Van Liew M.W.; Bingner R.L.; Harmel R.D & Veith T.L. 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3):885-900.
- Mulligan, M. 2015. Trading off agriculture with nature's other benefits, spatially. Impact of climate change on water resources in agriculture. CRC Press, Boca Raton, 184-204.
- Nash, J.E. & Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models Part I—A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10: 282-290.
- Neitsch S.L.; Arnold J.G.; Kiniry J.R. & Williams J.R. 2011. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Agricultural Research Service Blackland Research Center.
- Palazón, L.; Gaspar, L.; Latorre, B.; Blake, W.H. & Navas, A. 2014. Evaluating the importance of surface soil contributions to reservoir sediment in alpine environments: a combined modelling and fingerprinting approach in the Posets-Maladeta Natural Park. *Solid Earth*, 5(2): 963-978
- Qiao, L.; Zou, C.B.; Will, R.E. & Stebler, E. 2015. Calibration of SWAT model for woody plant encroachment using paired experimental watershed data. *Journal of Hydrology*, 523: 231-239.
- Rodrigues, D.B.; Gupta, H.V. & Mendiondo, E.M. 2014. A blue/green water- based accounting framework for assessment of water security. *Water Resources Research*, 50(9): 7187-7205.
- Salmani, H.; Mohseni Saravi, M.; Rouhani, H & Salajeghe, A. 2012. Evaluation of land use change and its impact on the hydrological process in the Ghazaghli watershed, Golestan province. *Journal of watershed management research*, 3(6): 43-60 (In Persian).
- Salmoral, G.; Willaarts, B.A.; Troch, P.A. & Garrido, A. 2015. Drivers influencing streamflow changes in the Upper Turia basin, Spain. *Science of the total environment*, 503: 258-268.
- Secchi, S.; Jha, M.K.; Kurkalova, L.A.; Feng, H.; Gassman, P.W. & Kling, C.L. 2007. Privatizing ecosystem services: water quality effects from a carbon market. *Choices*, 22(316-2016-7009): 97-102.
- Sharp, R.; Chaplin-Kramer, R.; Wood, S.; Guerry, A.; Tallis, H. & Taylor, R. 2014. InVEST User's Guide: Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs. The Natural Capital Project, Stanford.
- Schuol, J.; Abbaspour, K.C.; Sarinivasan, R. & Yang, H. 2008. Estimation of freshwater availability in the West African Sub-continent using the SWAT hydrologic model. *Journal of Hydrology*, 352(1-2):30-49.
- Sokouti Oskoe, R & Arabkhedri, M. 2018. Developing a suitable method for determining soil loss tolerance in Iran. *Journal of land Management (Soil and Water sci.)*, 6(1): 1-19 (In Persian).
- Swallow, B.M.; Sang, J.K.; Nyabenge, M.; Bundotich, D.K.; Duraiappah, A.K. & Yatich, T.B. 2009. Tradeoffs, synergies and traps among ecosystem services in the Lake Victoria basin of East Africa. *Environmental science & policy*, 12(4): 504-519.
- Vigerstol, K.L. & Aukema, J.E. 2011. A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. *Journal of environmental management*, 92(10): 2403-2409.
- Welderufael, W.A.; Woyessa, Y.E. & Edossa, D.C. 2013. Impact of rainwater harvesting on water resources of the modder river basin, central region of South Africa. *Agricultural water management*, 116: 218-227.
- Zeitoun, M. & Warner, J. 2006. Hydro-hegemony—a framework for analysis of trans-boundary water conflicts. *Water policy*, 8(5): 435-460.
- Zuo, D.; Xu, Z.; Yao, W.; Jin, S.; Xiao, P. & Ran, D. 2016. Assessing the effects of changes in land use and climate on runoff and sediment yields from a watershed in the Loess Plateau of China. *Science of the Total Environment*, 544: 238-250.