

بررسی ارتباط شکل و ساختار لکه‌های پوشش گیاهی با منابع آلودگی

غیرنقطه‌ای جهت ارائه راهکارهای مدیریتی بهبود کیفیت آب

فاطمه رجائی*، دانشجوی دکتری محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
عباس اسماعیلی ساری، استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
عبدالرسول سلمان ماهینی، دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، گرگان، ایران.
مجید دلاور، استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
علی‌رضا مساح بوانی، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران، ایران.

E-mail*: Fateme.rajaei@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۰۹ - پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۰۷

چکیده

ویژگی‌های سیمای سرزمین با استفاده از سنج‌های آماری نشان‌دهنده شکل و مکان انواع کاربری‌ها نسبت به یکدیگر هستند و می‌توانند بر فرآیندهای هیدرولوژیکی و چرخه مواد مغذی مؤثر باشند؛ بنابراین درک ارتباط این متغیرها بر پارامترهای کیفیت آب یک اولویت برای ارزیابی بار آلودگی و پیش‌بینی اثرات بر کیفیت آب‌های سطحی است. با توجه به اهمیت این موضوع در این مطالعه از ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) برای شبیه‌سازی تغییرات نیترات در حوزه آبخیز تجن بین سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۰۱ استفاده شد. نتایج مدل نشان داد بار سالانه نیترات از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ از ۳۱۰۷۰ کیلوگرم تا ۸۹۳۵۰ کیلوگرم در خروجی حوزه متغیر است. بررسی نتایج نشان داد که تغییرات نیترات با تراکم حاشیه (ED)، تعداد لکه (NP)، حاشیه کل (TE)، اندازه مؤثر لکه (MESH) و شاخص شکل چشم‌انداز (LSI) در سه کاربری مرتع و جنگل و کشاورزی دارای همبستگی مثبت بالا ($p\text{-value} \leq 0/01$) است. نتایج رگرسیونی بین میزان آلودگی نیترات و سیمای سرزمین در خروجی حوزه نشان می‌دهد که معیارهای سیمای سرزمین می‌تواند بیش از ۹۵ درصد از واریانس تغییرات نیترات در کل حوزه آبخیز را نشان دهد. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند یک راهنمای مفید در جهت مدیریت شکل کاربری‌ها جهت بهبود کیفیت آب حوضه باشد.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز تجن، شکل و ساختار لکه‌های پوشش گیاهی، مدل SWAT، نیترات.

۱- مقدمه

جریان‌های سطحی و زیرزمینی به راحتی قابل اجرا نیست. آلودگی آب از طریق منابع غیرمتمرکز حاصل کارکرد طیف وسیعی از فعالیت‌های انسانی است، به طوری که در بسیاری از کشورها تمامی انواع فعالیت‌های کشاورزی و دامداری به‌عنوان کانون‌های غیر نقطه‌ای آلودگی در نظر

منابع آلوده‌کننده آب را به‌طور کلی می‌توان به دو دسته نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای تقسیم کرد. آلودگی حاصل از منابع نقطه‌ای با روش‌های مختلف عملاً قابل کنترل است، اما این موضوع در مورد منابع غیرنقطه‌ای به دلیل نامشخص بودن نوع، مقدار، محل و چگونگی ورود آلاینده‌ها به

اکسیژن خواهی شیمیایی^۲ (COD) با همه کاربری‌ها بودند و ارتباط قوی بین تراکم لکه‌ها و COD یافت شد. همچنین سنج‌های سیمای سرزمین مرتبط با اندازه پیکسل‌ها، مقیاس توپوگرافی، طبقات کاربری اراضی بودند. در مطالعه دیگری (Nakane and Amiri, 2009) از داده‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و آنالیز چند متغیره برای توسعه مدل‌های رگرسیون چندگانه خطی در راستای پیش‌گویی کیفیت آب با استفاده از ویژگی‌های مکانی و درصد پوشش اراضی در ۲۱ حوضه در شرق ژاپن استفاده نمودند. نتایج مدل با استفاده از ویژگی‌های مکانی پوشش زمین در سطح کلاس نشان داد ۹۲٪، ۷۲٪ و ۶۲ درصد از کل تغییرات در غلظت اکسیژن آب، pH و فسفات به‌وسیله تغییر در میزان ویژگی‌های مکانی پوشش زمین در سطح کلاس می‌تواند توضیح داده شود. در مطالعه‌ای دیگر (Wu et al., 2012) از مدل‌های آلومتریک^۳ و مدل‌های رگرسیونی چندگانه خطی برای پیش‌بینی تأثیر سنج‌های سیمای سرزمین بر کیفیت آب استفاده کردند و نتایج این دو مدل را مورد مقایسه قرار دادند.

نتایج آن‌ها نشان داد که در مقایسه با مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه، مدل‌های آلومتری عملکرد مناسب‌تری برای نترات، فسفات، میزان اکسیژن محلول در آب، ذرات معلق جامد در آب و آمونیاک داشته‌اند و سنج‌های سیمای سرزمین توانستند به ترتیب ۸۰٪، ۷۷٪، ۵۸٪، ۴۳٪، ۶۷٪ از تغییرات این عوامل را پیش‌بینی نمایند. در همین راستا (Hao et al., 2012) از روش‌های آماری رج‌بندی مستقیم^۴ برای ارزیابی ارتباط بین الگوی سیمای سرزمین و آلودگی‌های غیرنقطه‌ای با اهداف شناسایی روش‌های بهبود کیفیت آب حوزه آبخیز در زمان حاضر استفاده کردند. نتایج تحقیق ارتباط بین کاربری اراضی و سیمای سرزمین با آلودگی‌های غیرنقطه‌ای را نشان داد. آرایش کاربری اراضی فاکتور مهمی در آلودگی‌های

گرفته‌شده‌اند. آلودگی‌های غیرنقطه‌ای فاکتور مهمی در تعیین کیفیت آب می‌باشند و سهم مهمی در تغذیه گرایی^۱ آب‌های شیرین دارند (Zaiger and Hubbard, 2016). از دلایل اساسی این موضوع وجود مواد مغذی به‌ویژه نیتروژن و فسفر در غلظت‌های بالا در آب است (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۱).

عوامل مختلفی بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارند، به‌طوری‌که کیفیت آب در هر نقطه از رودخانه متأثر از پوشش سرزمین و کاربری موجود، سیمای سرزمین، ویژگی‌های خاک، زمین‌شناسی، اقلیم، تراکم جمعیت و الگوی شهرنشینی و غیره است (Liu et al., 2016). تغییرات کاربری اراضی و سیمای سرزمین به‌طور ویژه‌ای باعث تغییر در کمیت و کیفیت آب می‌شوند (Castillo et al., 2014). ویژگی‌های سیمای سرزمین با استفاده از سنج‌های آماری نشان‌دهنده ترکیب انواع کاربری‌ها، شکل کاربری‌ها (توزیع فیزیکی و آرایش مکانی) و مکان انواع کاربری‌ها نسبت به یکدیگر می‌باشند و می‌توانند بر فرآیندهای هیدرولوژیکی و در نتیجه بر تولید و مسیر رواناب، جریان انرژی و چرخه مواد غذایی در کل حوزه آبخیز مؤثر باشند.

بنابراین اگر نقش سیمای سرزمین در کیفیت و کمیت آب شناخته شود، پتانسیل‌هایی برای بهبود کیفیت آب با استفاده از شیوه‌های مدیریتی سنج‌های سیمای سرزمین وجود دارد (Hao et al., 2012).

علاوه بر این مطالعات زیادی بر روی ارتباط سنج‌های سیمای سرزمین و کیفیت آب در جهان صورت گرفته است به‌طوری‌که در مطالعات بین سنج‌های سیمای سرزمین و آلودگی‌های غیرنقطه‌ای، (Uemaa et al., 2005) ارتباط سنج‌های سیمای سرزمین بر روی پارامترهای کیفیت آب‌های سطحی در ۲۴ حوضه با الگوی کاربری اراضی متفاوت را بررسی کردند. نتایج تحقیق این پژوهشگران بیان‌گر ارتباط معنی‌دار میزان

استفاده فراوان کودهای شیمیایی و ورود مواد مغذی به اکوسیستم‌های آبی جهت ارائه راهکار برای برنامه‌ریزی‌های آبی منطقه مورد مطالعه ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف پژوهش حاضر بررسی و شبیه‌سازی جامع تغییرات پیوسته مواد مغذی (نیترات) در حوزه آبخیز تجن با استفاده از مدل SWAT و هم‌چنین بررسی ارتباط میان بار آلودگی نیترات و سنجه‌های سیمای سرزمین به‌منظور شناسایی الگوهای ساختاری تأثیرگذار سیمای سرزمین بر جریان و بار آلودگی حوزه آبخیز است.

به‌منظور ارزیابی روش‌شناسی، حوزه آبخیز تجن به‌عنوان منطقه مطالعاتی به علت دارا بودن تغییرات نسبتاً شدید در سیمای سرزمین در طی دهه‌های اخیر و نیز استفاده وسیع از کودهای نیتراته و فسفات‌ها در زمین‌های کشاورزی و به‌ویژه شالیزارها (احمدی ممقانی و همکاران، ۲۰۱۱؛ طالبی امیری و همکاران، ۱۳۸۸) انتخاب شد.

۲- روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز تجن با وسعت تقریبی ۴۰۰۰ کیلومترمربع است که توسط کوه‌های البرز در جنوب و دریای خزر در شمال احاطه شده و در استان مازندران واقع شده است (شکل ۱).

منطقه شامل جنگل‌های هیرکانی است که شامل ۸۰ گونه از درختان و درختچه‌ها با تنوع زیستی بالا را شامل می‌شود. از لحاظ جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بین طول جغرافیای $53^{\circ} 04' 57''$ - $53^{\circ} 18' 26''$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 09' 17''$ - $36^{\circ} 29' 49''$ واقع شده است. میانگین سالانه دما حدود ۱۵ درجه سلسیوس (Masudiyani et al., 2010) با آب و هوای گرم و مرطوب، بارش ۸۳۲ میلی‌متر در سال است. توپوگرافی محلی از ارتفاع ۲۶- متر تا ۳۶۷۰ متر متغیر است.

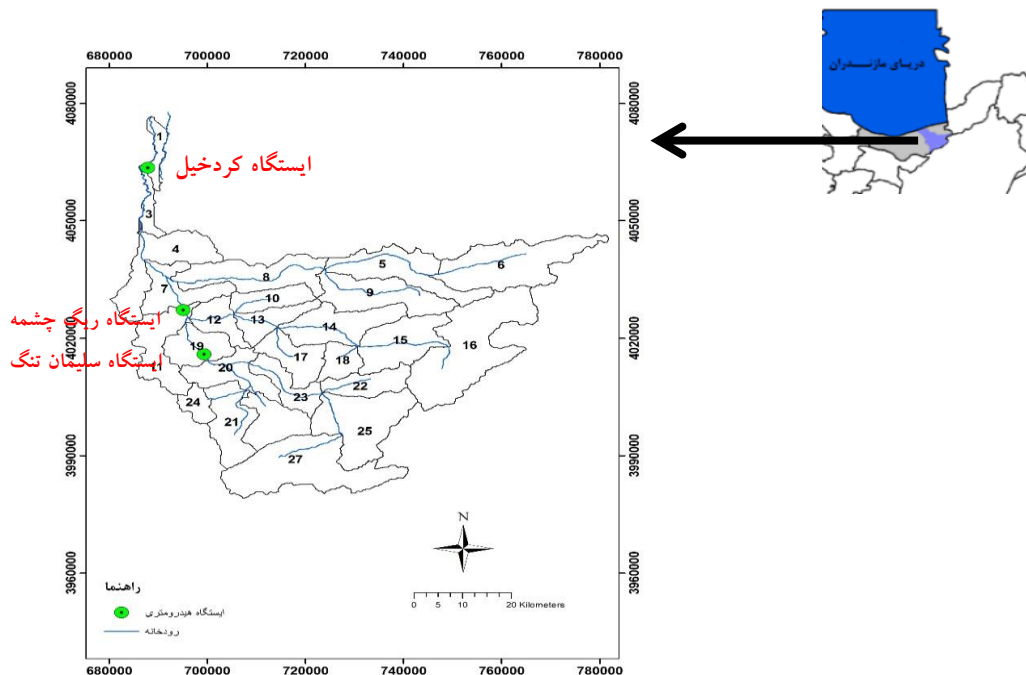
غیرنقطه‌ای شناخته شد و الگوی سیمای سرزمین قطعه‌قطعه شده و پیچیده، آلودگی‌های غیرنقطه‌ای را تشدید نمودند. به‌علاوه سیمای سرزمین تکه‌تکه شده که به دلیل فعالیت‌های کشاورزی شدید ایجاد شده‌اند، یک عامل کلیدی در آلودگی‌های غیرنقطه‌ای معرفی شدند. در مطالعه دیگر (Shen et al., 2015) برای تعیین تأثیر الگوی سیمای سرزمین بر روی کیفیت آب در بافر زون‌هایی با مقیاس متعدد از روش آماری آنالیز کاهشی^۵ استفاده نمودند.

سنجه تراکم لکه کاربری شهری و بزرگ‌ترین لکه کاربری آب به‌عنوان مهم‌ترین سنجه‌های مؤثر بر کیفیت آب در مقیاس بافر زون صد متری شناخته شد. در ایران نیز مطالعه‌ای در زمینه شبیه‌سازی اثرات تأثیر سنجه‌های سیمای سرزمین بر کیفیت آب توسط سلمان ماهینی و همکاران (۱۳۸۸) صورت گرفته است.

از طرف دیگر تغییرات نامطلوب کیفیت آب در رودخانه‌ها بیشتر تحت تأثیر ویژگی‌های حوزه آبخیز و میزان بار مواد مغذی ورودی از حوزه آبخیز بوده و پایش‌های سنتی نمی‌تواند اطلاعات لازم برای مدیریت محیط زیستی یک حوزه آبخیز رودخانه را در اختیار مدیران قرار دهد.

هم‌چنین استفاده از مدل‌هایی برای توصیف و تعیین کمیت انتقال مواد مغذی از کاربری کشاورزی به محیط‌های آبی ضروری است. در میان مدل‌ها، مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) می‌تواند پارامترهای مختلف خاک، اقلیم، توپوگرافی، گیاهان و سناریوهای مدیریتی را ادغام نماید (Shrestha et al., 2016).

بنابراین، این مطالعه تلاش دارد با رویکردی مبتنی بر شبیه‌سازی جامع اثرات سنجه‌های سیمای سرزمین در حوزه آبخیز، امکانات بالقوه استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در مدیریت کیفیت آب حوزه آبخیز را مورد توجه قرار دهد. این مساله به‌ویژه در مناطق شمالی ایران به دلیل



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز تجن در کشور و زیرحوضه‌ها

۲-۲- معرفی مدل SWAT

طبیعی و روش گرین و امپت و تبخیر و تعرق با استفاده از سه روش پریستلی تیلور و پنمن مانیتث و هارگریوز محاسبه می‌شود. روندیابی جریان نیز در رودخانه با استفاده از روش ضریب ذخیره متغیر و روش ماسکینگام انجام می‌شود. به منظور شبیه‌سازی انتقال مواد مغذی، مدل SWAT عوامل مختلفی چون معدنی شدن، تجزیه و عدم تحرک نیتروژن و فسفر، میزان فرسایش و رسوب در هر واحد هیدرولوژیکی، نحوه انتقال آب، رسوبات، مواد مغذی از طریق شبکه رودخانه‌ای و مکانیسم‌های پراکندگی و فرا رفت را در نظر می‌گیرد (Gassman et al., 2007).

۲-۳- پیکربندی و واسنجی مدل SWAT

به منظور پیکربندی حوزه آبخیز تجن در مدل SWAT از نقشه‌های کاربری اراضی، خاک و مدل رقومی ارتفاعی استفاده شد. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۰ با استفاده از

در این مطالعه به منظور شبیه‌سازی جامع حوزه آبخیز و بررسی تأثیر سنجه‌های سیمای سرزمین از مدل SWAT استفاده شد. SWAT یک مدل فیزیکی و مفهومی با بازده محاسباتی بالا هست که توسط سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا طرح‌ریزی شده است. برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مدیریت اراضی بر کیفیت شیمیایی آب، رسوب و عملیات کشاورزی در حوضه‌های بزرگ و پیچیده با خاک‌های مختلف، کاربری اراضی متفاوت و متغیر در بازه زمانی طولانی مدت طراحی شده است. در این مدل حوضه بر اساس نوع خاک، کاربری اراضی و کلاس‌های شیب به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRUs)^۱ تقسیم می‌گردد. مدل، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی را با استفاده از رابطه بیلان آبی که شامل بارش روزانه، رواناب، تبخیر و تعرق، نفوذ و جریان برگشتی بوده پیش‌بینی می‌کند. رواناب سطحی در این مدل با دو روش عدد منحنی سرویس حفاظت منابع

به منظور مقایسه نیترات ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای از آماره‌های آماری ضریب کارایی نش ساتکلیف (NS) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد (Abbaspour and Chen, 2015). در الگوریتم SUFI-2 تمام پارامترهای عدم قطعیت‌ها در دامنه تعریف شده برای هر پارامتر لحاظ می‌گردد. فرآیند کار به گونه‌ای است که تلاش می‌شود بیشتر داده‌های مشاهده‌ای در دامنه ۹۵ درصد عدم قطعیت قرار گیرد. برای بررسی عدم قطعیت مدل، معیارهای R-factor و P-factor استفاده شد. مقدار R-factor بین ۰ و ۱ تغییر می‌نماید و مقادیر بزرگ‌تر مطلوب‌تر است و برای P-factor اگر مقادیر کمتر از ۱/۵ باشد مناسب است.

۲-۴- تجزیه و تحلیل سیمای سرزمین

در این تحقیق بعد از تهیه نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۰ سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس با استفاده از نرم‌افزار ۴/۲ FRAGSTATS برای سه کاربری عمده جنگل، مرتع و کشاورزی محاسبه شد (Mark McGarigal, 1995). سنجه سیمای سرزمین که بیشترین کاربرد در مطالعات مختلف (کامیاب و سلمان ماهینی، ۱۳۹۱؛ Uuemaa et al., 2005؛ Amiri and Nakane, 2009؛ Wu et al., 2010) و هم‌چنین بیشترین ارتباط را با بار نیترات جریان داشتند مورد بررسی قرار گرفتند که شامل سنجه‌های تراکم حاشیه (ED)، تعداد لکه (NP)، حاشیه کل (TE)، اندازه مؤثر لکه (MESH) و شاخص شکل چشم‌انداز (LSI) است. از رگرسیون خطی چندگانه نیز به‌عنوان یکی از روش‌های مدل‌سازی برای انتخاب بهترین سنجه‌های سیمای سرزمین مؤثر بار نیترات حوضه استفاده شد. هم‌چنین، سنجه‌های سیمای سرزمین با یکدیگر همبستگی بالایی دارند، بنابراین میزان ارتباط بین آن‌ها بررسی و در صورت مشاهده مقادیر بالای همبستگی، در مدل

تفسیر تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و استفاده از اطلاعات میدانی در هشت کلاس مختلف تهیه شد. نقشه خاک تهیه شده توسط سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO) استفاده شد. منطقه تحقیق و زیر حوضه‌ها با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی با دقت مکانی ۳۰ متر تفکیک شد. داده‌های اقلیمی شامل آمار بارندگی و دمای روزانه برای ۱۵ ایستگاه باران‌سنجی، ۱۰ ایستگاه تبخیر سنجی از سازمان هواشناسی کشور و شرکت منابع آب ایران تهیه شد. هم‌چنین آمار دبی و نیترات ماهانه ۳ ایستگاه هیدرومتری منتخب از شرکت منابع آب ایران اخذ شد. اطلاعات مربوط به دو سد شهید رجایی و سد فریم (حجم مخزن، مساحت دریاچه، نوع سد، دبی خروجی از سد و غیره) از شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران به دست آمد.

پس از جمع‌آوری اطلاعات و مشخصات حوضه و تهیه فایل‌های ورودی، کار اولیه برای اجرای مدل شروع شد. بر اساس نقشه رقومی ارتفاعی و شبکه آبراهه‌ها مرز حوضه و زیر حوضه‌ها تعریف شد. برای تعریف زیر حوضه، آستانه ۳۰۰۰ هکتار بر اساس ترسیم مناسب آبراهه‌ها توسط مدل انتخاب شد و حوضه به ۲۶ زیرحوضه تقسیم شد. برای شبیه‌سازی فرآیندهای فیزیکی رخ داده در سطح حوضه، مدل SWAT حوضه را به قسمت‌های کوچکی به نام واحدهای هیدرولوژیکی تقسیم می‌کند. بر این اساس یک مجموعه‌ای متشکل از ۴۳۲ واحد هیدرولوژیکی در داخل حوضه ایجاد شد.

به منظور واسنجی، اعتبارسنجی از الگوریتم SUFI-2^v در نرم‌افزار SWAT-CUP^a استفاده شد. واسنجی مدل در سه ایستگاه هیدرومتری سلیمان تنگه، ریگ چشمه و کردخیل صورت پذیرفت (شکل ۱). به منظور واسنجی مدل، در این مطالعه از ۱۴ پارامتر اصلی مؤثر بر رواناب و نیترات بعد از حساسیت‌سنجی استفاده شد که لیست این پارامترها و توضیحات مربوطه در جدول ۱ آمده است.

رگرسیون وارد نشدند. اجرای این مدل در نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ صورت پذیرفت.

۳- نتیجه

نتایج آنالیز حساست پارامترهای مدل در برنامه SWAT-CUP نشان داد که از بین پارامترهای موجود، ۱۴ پارامتر از حساسیت بالایی برخوردار هستند. معرفی پارامترهای مورد نظر به همراه مقادیر آنها در جدول ۱ آمده است و همچنین نتایج آماری حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT با استفاده از آماره‌های ارزیابی ضریب تبیین و نش ساتکلیف در جدول ۲ و ۳ خلاصه شده است. نتایج مدل واسنجی شده نشان داد بار سالانه نیترات از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ از حدود ۳۱۰۷۰ کیلوگرم تا ۸۹۳۵۰ کیلوگرم در خروجی حوزه متفاوت است. به منظور تأیید

آماری تأثیرگذاری سنجه‌های سیمای سرزمین بر میزان نیترات جریان، همبستگی بین سنجه‌های مربوط به سه کاربری عمده منطقه و بار نیترات مورد بررسی قرار گرفته و نتایج در جدول ۴ نشان داده شده است. بررسی نتایج نشان داد تغییرات نیترات با تراکم حاشیه (ED)، تعداد لکه (NP)، حاشیه کل (TE)، اندازه مؤثر لکه (MESH) و شاخص شکل چشم‌انداز (LSI) در سه کاربری مرتع، جنگل و کشاورزی دارای همبستگی مثبت ($p \leq 0/01$) با ضریب تبیین بالا است. از طرف دیگر، سنجه‌های نسبت محیط به مساحت (PARA)، شاخص بعد فراکتال (FRAC)، بعد فراکتال محیط به مساحت (PAFRAC)، شاخص مجاورت (CONTIG)، شاخص شکل (SHAP) و غیره همبستگی معنی‌داری با نیترات در سه کاربری مورد بررسی در خروجی حوزه نشان ندادند.

جدول ۱. پارامترهای منتخب برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل به همراه حدود اولیه

شماره	پارامتر	تعریف پارامتر	محدوده اولیه	مقدار بهترین شبیه‌سازی
۱	SOL_CBN	میزان کربن آلی	۰/۰۵-۱۰	۰/۴۴
۲	HLIFE_NGW	نیمه‌عمر نیتروژن در آب‌های زیرزمینی	۵۰۰-۰	۱۵/۸
۳	SOL_AWC	ظرفیت آب قابل دسترس خاک (میلی‌متر آب/میلی‌متر خاک)	۰-۱	۰/۲۶
۴	USLE_P	عامل اقدامات حفاظتی در مدل فرسایشی USLE	۰-۱	۰/۲۴
۵	CN2	عدد منحنی رواناب	۳۵-۹۸	۷۵
۶	CANMX	حداکثر ذخیره تاج پوشش	۰-۱۰۰	۷
۷	BIOMIX	کارایی اختلاط بیولوژیکی	۰-۱	۰/۲۹
۸	EPCO	فاکتور جبران جذب گیاه	۰-۱	۰/۶۳
۹	ESCO	ضریب جبران تبخیر از خاک	۰-۱	۰/۷
۱۰	GW_REVAP	ضریب برگشت آب‌های زیرزمینی	۰/۰۲-۰/۲	۰/۰۵
۱۱	GW_DELAY	زمان تأخیر آب زیرزمینی (روز)	۰-۵۰۰	۱۷۰
۱۲	GWQMN	عمق آستانه آب در آبخوان عمیق (میلی‌متر)	۰-۵۰۰۰	۲۹۰
۱۳	SMTMP	دمای پایه ذوب برف (سلسیوس)	-۲۰-۲۰	۰
۱۴	ANION_EXCL	درصد تخلخل خاک	۱-۰/۰۱	۰/۵۵

بررسی ارتباط شکل و ساختار لکه‌های پوشش گیاهی با منابع آلودگی غیرنقطه‌ای ...

حاشیه کل کاربری کشاورزی، اندازه مؤثر لکه کاربری جنگل، تعداد لکه‌های کاربری مرتع و کشاورزی، شاخص بزرگ‌ترین لکه کاربری جنگل و تراکم حاشیه کاربری جنگل در پیش‌بینی کیفیت آب مفید است.

همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است، نتایج رگرسیونی بین میزان آلودگی نیترات و سنجه‌های سیمای سرزمین در خروجی حوضه نشان می‌دهد که معیارهای سیمای سرزمین شامل شاخص شکل سیما در کاربری کشاورزی، سنجه حاشیه کل کاربری جنگل و سنجه

جدول ۲. نتایج آماره‌های واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای مقادیر رواناب ماهانه در

ایستگاه		ایستگاه سلیمان تنگه		ایستگاه ریگ چشمه		ایستگاه کردخیل	
آمار		دوره واسنجی (۲۰۰۳-۲۰۱۰)	دوره صحت سنجی (۲۰۱۱-۲۰۱۴)	دوره واسنجی (۲۰۰۴-۲۰۱۲)	دوره صحت سنجی (۲۰۱۳-۲۰۱۴)	دوره واسنجی (۲۰۰۵-۲۰۱۰)	دوره صحت سنجی (۲۰۱۱-۲۰۱۴)
ضریب تبیین (R^2)		۰/۶۷	۰/۷۸	۰/۵۳	۰/۵۸	۰/۵۰	۰/۷۷
ضریب نش ساتکلیف (NS)		۰/۵۸	۰/۷۵	۰/۵۲	۰/۵	۰/۵۳	۰/۵۱

جدول ۳. نتایج آماره‌های واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای مقادیر نیترات ماهانه در

ایستگاه		ایستگاه سلیمان تنگه		ایستگاه ریگ چشمه		ایستگاه کردخیل	
آمار		دوره واسنجی (۲۰۰۴-۲۰۱۳)	دوره صحت سنجی (۲۰۱۳-۲۰۱۴)	دوره واسنجی (۲۰۰۴-۲۰۱۲)	دوره صحت سنجی (۲۰۱۳-۲۰۱۴)	دوره واسنجی (۲۰۰۴-۲۰۱۳)	دوره صحت سنجی (۲۰۱۳-۲۰۱۴)
ضریب تبیین (R^2)		۰/۵۱	۰/۶۷	۰/۸۲	۰/۵۸	۰/۶۵	۰/۷۷
ضریب نش ساتکلیف (NS)		۰/۵۵	۰/۶۶	۰/۶۱	۰/۵۴	۰/۵۰	۰/۴۹

جدول ۵. نتایج رگرسیون خطی تغییرات نیترات با سنجه‌های سیمای سرزمین

موقعیت مکانی	مدل رگرسیونی	ضریب تبیین
خروجی حوضه	$0/001 (\text{سنجه تراکم حاشیه کاربری جنگل}) + 1523/3 = \text{نیترات}$ $14/7 (\text{سنجه اندازه مؤثر لکه کاربری کشاورزی}) -$	۰/۹۵

در راستای پایش آلودگی‌های غیرنقطه‌ای باشد. در مطالعه حاضر اطلاعات نیترات حاصل از مدل SWAT و ارتباط آن با سنج‌های سیمای سرزمین مورد بررسی و نقش تأثیرگذاری الگوی پوشش‌های گیاهی بر روند آلودگی نیترات در مقیاس حوضه نشان داده شده است. طبق گزارش Moriasi و همکاران (۲۰۰۷) نتایج آماره‌های ارزیابی ضریب تبیین و نش ساتکلیف حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای هر سه ایستگاه مورد بررسی مورد تأیید است. این شرایط نشان‌دهنده توانایی بالای مدل در شبیه‌سازی جریان و نیترات در حوزه آبخیز رودخانه تجن است. توانایی مدل در شبیه‌سازی رواناب و نیترات در حوضه‌های با ابعاد مختلف در مطالعات Xu و Saraswat and Singh (2016). et al., (2016) و Hubbard and Zeiger (2016) نیز اثبات گردیده است. هم‌چنین معادلات همبستگی از سنج‌های سیمای سرزمین با نیترات نشان داد که سنج‌های سیمای سرزمین اثر مستقیم بر آلودگی نیترات حوضه دارند، بنابراین، تعدادی از معیارهای سیمای سرزمین می‌تواند برای توصیف ویژگی‌های کیفیت آب مورد استفاده قرار گیرد. مطابق نتایج ارتباط معنی‌داری بین سنج تعداد لکه و نیز تراکم حاشیه با بار نیترات آب به‌دست آمد ($p \leq 0.05$). سنج تراکم حاشیه منعکس‌کننده درجه تکه‌تکه شدن کاربری اراضی است به‌طوری‌که با افزایش در تعداد لکه‌های انسان‌ساخت (مانند کشاورزی) سنج تراکم حاشیه افزایش و در نتیجه مرز مشترک با لکه طبیعی باقی‌مانده افزایش می‌یابد (Abdullah, 2006 Nakagoshi and) و این منجر به افزایش بیشتر تخریب در پوشش طبیعی می‌شود، به‌طوری‌که بسیاری از تخریب‌ها در حاشیه زمین‌های کشاورزی با توجه به در دسترس بودن آن رخ داده است و در نتیجه پتانسیل و فرصت بیشتری برای اثرگذاری بر کیفیت آب‌های

جدول ۴: همبستگی بین سنج‌های سیمای سرزمین انواع کاربری‌ها با نیترات (Y: میزان بار نیترات)

سنج‌ها	TE	ED	MESH	LSI	NP
کاربری جنگل	$y = 0.0005x + 153.39$	$y = 580.12x + 153.39$	$y = 0.1682x + 93.81$	$y = 10.633x - 158.37$	$y = 10.471x + 1178.64$
R ²	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۸۰	۰/۸۷
کاربری مرتع	$y = 0.0008x - 129.26$	$y = 899.24x - 129.26$	$y = 1.4462x + 225.74$	$y = 11.175x - 1.633$	$y = 0.9826x - 21.7$
R ²	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۸۰	۰/۸۸
کاربری کشاورزی	$y = 0.0007x + 332.36$	$y = 750.06x + 332.35$	$y = 14.95x + 881.99$	$y = 79.11x - 1251.5$	$y = 1.3555x + 48.151$
R ²	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۶	۰/۸۴	۰/۸۶

۴- بحث

استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین برای بررسی تغییرات کیفیت آب، می‌تواند به عنوان رویکردی مناسب

یا در بطن خود دارد و این مناطق نیز عمدتاً در معرض دستکاری انسانی هستند اما نسبت محیط به مساحت این ویژگی‌ها را به شکل صریح ندارد.

بررسی ارتباط رگرسیونی متریک‌های سیمای سرزمین با بار آلودگی نیترا نشان داد تعدادی از سنجه‌ها می‌توانند در تغییرات بار آلودگی حوزه تجن مفید باشند. نتایج ضرایب رگرسیون توان پیش‌بینی بالای معیارهای سیمای سرزمین برای ارزیابی بار نیترا در حوزه را نشان می‌دهد، به طوری که معیارهای سیمای سرزمین می‌توانند بیش از ۹۵ درصد از واریانس تغییرات نیترا در کل حوزه آبخیز را پیش‌گویی کنند. از دلایل اهمیت سنجه‌های کشاورزی در بار نیترا حوضه می‌توان به وجود سطح وسیع کشت محصولات به خصوص برنج و مرکبات در استان، روند افزایشی مساحت پوشش زراعی منطقه مورد مطالعه، استفاده روزافزون از کود و سموم کشاورزی و بالطبع ورود زه‌آب‌های کشاورزی حاوی این مواد به منابع آبی اشاره کرد (نجات خواه و همکاران، ۱۳۸۸). به طوری که حدوداً ۱۷۰ هزار تن در سال کود شیمیایی در اراضی کشاورزی استان مازندران مورد استفاده قرار می‌گیرد که اکثراً شامل کودهای نیترا است. کودهای نیترا به علت حلالیت بالا در آب، سریعاً آبشویی شده و وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود (Machiwa and Ngoye, 2004) بنابراین مدیریت کافی آب و کود، و همچنین تنظیم زمان استفاده از کود با توجه به تغییرات فصلی در شرایط هیدرولوژیکی می‌تواند کیفیت آب را بهبود بخشد. در تأیید نتایج مطالعه حاضر (Huang and Ai (2015), Lamba et al., (2017) و Clement et al., (2017) نیز سنجه‌های پوشش کشاورزی را به عنوان عامل تأثیرگذار برافزایش نیترا در آب‌های سطحی معرفی کرده‌اند.

خروجی زیر حوضه‌ها وجود خواهد داشت. همچنین، جنگل‌های به شدت تکه‌تکه شده ممکن است دیگر نتوانند به طور مؤثری نقش خود را در نفوذ بیشتر رواناب‌ها و در نتیجه کاهش میزان رواناب و آلودگی نیترا مناطق کشاورزی ایفا کنند. بنابراین، یکپارچه‌سازی لکه‌های کوچک به مناطق بزرگ‌تر ممکن است میزان نیترا در حوضه مورد مطالعه را کاهش دهد. از طرف دیگر، شاخص شکل سیما یکی از سنجه‌های پیشرفته در کمی‌سازی شکل لکه‌های یک سیماست. افزایش این شاخص را می‌توان به علت اشکال نامنظم لکه‌های کاربری‌ها دانست. بنابراین از ارتباط یافت شده بین شاخص شکل سیمای سرزمین و بار نیترا می‌توان دریافت که تنها مساحت کاربری‌ها عامل توصیف‌کننده نیترا آب حوضه نبوده و در صورتی که دو زیرحوضه دارای ویژگی‌های یکسان و ترکیب کاربری مشابه باشند، شکل کاربری کنترل‌کننده نیترا در دسترس آب‌های سطحی است که در برنامه‌ریزی منطقه‌ای بسیار حائز اهمیت است. این یافته با مطالعات (Tafangenyasha and Dube (2008) مطابقت دارد، به طوری که آن‌ها نیز تأیید کردند که ارتباط معناداری بین سنجه‌های مربوط به کاربری پوشش کشاورزی و مواد مغذی در آب رودخانه‌ها وجود دارد. همچنین مطالعه Sullivan et al., (2004) نشان داد که تجزیه سرزمین به قطعات کوچک‌تر منجر به افزایش ارتباطات بین زهکش‌ها و در نتیجه افزایش شدت جریان و حمل بیشتر آلودگی‌ها می‌گردد. چنان که نتایج نشان داد تراکم حاشیه ارتباط معنی‌داری با نیترا نشان می‌دهد، ولی سنجه نسبت محیط به مساحت این ارتباط را نشان نمی‌دهد. در صورتی که هر دو سنجه می‌تواند معرف تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین باشد، ولی مساله این است که تراکم حاشیه عرض منطقه بینابینی و طول آن را نشان می‌دهد و

۵- نتیجه گیری

"بررسی منابع آلاینده و کیفیت آب رودخانه تجن"، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۳۱۷، ص ۶۳-۳۲۷.

- کامیاب، ح. ر.، سلمان ماهینی، ع. (۱۳۹۱) "الگوهای مکانی زمانی تغییرات سیمای سرزمین و توسعه شهری، مطالعه موردی: گرگان"، مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، شماره ۲، ص ۶۰-۶۸.

- سلمان ماهینی، ع.، نجفی نژاد، ع.، آذرمدل، ح. (۱۳۸۸) "بررسی رابطه کاربری، پوشش و معیارهای سیمای سرزمین با کیفیت آب‌های سطحی حوزه‌های قره‌سو و گرگان رود"، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران. گرگان، اردیبهشت ۱۳۸۸: ۱۲ ص.

- طالبی امیری، ش.، آذری دهکردی، ف.، صادقی، ح. ر.، صوفباف، سیدرضا. (۱۳۸۸) "تحلیل تخریب سیمای سرزمین حوزه آبخیز نکا با استفاده از متریک‌های اکولوژی سیمای سرزمین"، علوم محیطی، شماره ۶، ص ۱۳۳-۱۴۴.

- نجات خواه، پ.، پسندی ع.، سقلی، م.، بهشتی نیا، ن.، میرشکاری، د. (۱۳۸۸) "بررسی میزان نیترات و فسفات در حوضه جنوب شرقی دریای مازندران"، پژوهش‌های علوم و فنون دریایی، شماره ۴، ص ۱۱-۱۹.

- Abbaspour K C., Yang J., (2015) "Calibration and uncertainty analysis for SWAT using SUFI2 with SWAT-SAI interface", A user manual, Swiss Federal Institute for Aquatic Science and Technology.

- Abdullah, S.A., Nakagoshi, N., (2006) "Changes in landscape spatial pattern in the highly developing state of Selangor, peninsular Malaysia", Land sc, Urban Plan, No 12, pp. 263-275.

- Ai, L, Shia Z.H, Yin, W, .Huang, X., (2015) "Spatial and seasonal patterns in stream water contamination across mountainous watersheds:

نتایج مطالعه حاضر قادر است نقش ساختار و ترکیب کاربری اراضی بر روی بار نیترات را به صورت کمی نشان دهد و کیفیت آب را با توجه به شکل کاربری‌ها تعیین نماید. بنابراین با در نظر داشتن توانایی بالای تأثیر سنجش‌های سیمای سرزمین بر کیفیت آب پیشنهاد می‌شود از نتایج حاصل از این‌گونه مطالعات در برنامه‌ریزی و مدیریت کیفیت آب استفاده شود. همچنین از آنجایی که درک الگوی سیمای سرزمین برای پیش‌بینی پروژه‌هایی با اهداف مختلف مانند ارزیابی و آمایش سرزمین، مدیریت منابع و حفاظت تنوع زیستی مفید است طراحی منظر می‌تواند به راه‌حل‌های اقتصادی و کارآمد و نیز ایده‌های مفید برای برنامه‌ریزان و مدیران در سطوح محلی، منطقه‌ای و ملی فراهم کند.

۶- سپاسگزاری

بدین وسیله مراتب سپاس و قدردانی از خانم دکتر محبوبه معتمدنیا و دکتر محبوبه کیانی هرچگانی به دلیل کمک در ویرایش مقاله ابراز می‌شود.

۷- پی‌نوشت‌ها

1. Eutrophication
2. Chemical Oxygen Demand (COD)
3. Allometric
4. Constrained Ordination
5. Redundancy analysis
6. Hydrologic Response Units
7. Sequential Uncertainty Domain Parametere Fitting
9. SWAT Calibration Uncertainty Programs

۸- منابع

- اسماعیلی ساری، س.، (۱۳۸۱) "آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط‌زیست"، انتشارات نقش مهر، ۷۶۷ ص.

- احمدی ممقانی، ی.، خراسانی، ن.، رفیعی، غ. (۱۳۸۹)

- McGarigal, K., Marks, B.J., (1995) FRAGSTATS: "Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Land scape Structure" , U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, ORGen, Tech., Rep.,PNW-GTR-351,122pp
- Mohammadi, J., Shataee, S., (2010) "Possibility investigation of tree diversity mapping using Landsat ETM data in the Hyrcanian forests of Iran" , Remote Sens, Environ, No 114, pp. 1504–1512.
- Moriasi, D. N., J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, and T. L. Veith. (2007) " Model evaluation guideline for systematic quantification of accuracy in watershed simulation" , T. ASABE, No 50(3), pp. 885- 900.
- Ngoye, E., Machiwa, J. F. (2004) "The influence of land-use patterns in the Ruvu river watershed on water quality in the river system", Physics and Chemistry of the Earth, No 29 (15), pp. 1161-1166.
- Ouyang, W., Skidmore, A.K., Toxopeus, A.G., Hao, F., (2010) "Long-term vegetation landscape pattern with non-point source nutrient pollution in upper stream of Yellow River basin", Journal of Hydrology, No 389 (3–4), pp. 373-380.
- Shrestha, M K, Recknagel, F, Frizenscha, J, Wayne, M (2016) "Assessing SWAT models based on single and multi-site calibration for the simulation of flow and nutrient loads in the semi-arid Onkaparinga catchment in South Australia", Agricultural Water Management, No 175 pp.61–71.
- Shen, Z, Hou, X, Li W, Ainia, G, Chen, L, Gong Y., (2015) "Impact of landscape pattern at multiple spatial scales on water quality: A case study in a typical urbanised watershed in China", Ecological Indicators, No 48, pp. 417–427.
- Singh, G, Saraswat, D (2016) "Development and evaluation of targeted marginal land mapping approach in SWAT model for simulating water quality impacts of selected second generation biofeedstock", Environmental Modelling & Software, No 81, pp. 26-39.
- Sullivan, A., Ternan, J.L., Williams, A.G., (2004) "Land Use Change and Hydrological Response in the Camel Catchment", Cornwall, Journal of Applied Geograpy, No 24(2), pp 119-137.
- Tafangenyasha, C., Dube, L. T. (2008) "An investigation of the impacts of agricultural Run off Linkage with land scape characteristics", Journal of Hydrology, No 523, pp. 398–408.
- Amiri, B.J., Nakane, K. A., (2009) "Modeling the linkage between river water quality and landscape metrics in the chugoku district of Japan", Water Resource Management, No 23 (5), pp. 931-956.
- Castillo, C.R., Güneralp, I., Güneralp, B., (2014) "Influence of changes in developed land and precipitation on hydrology of a coastal Texas watershed", Applied Geography, No 47, pp. 154-167.
- Clément, F, Ruiz J, Rodríguez, M., Blaisb, D, Campeau, S (2017) "Landscape diversity and forest edge density regulate stream waterquality in agricultural catchments", Ecological Indicators, No 72, pp. 627–639.
- Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H., Arnold, J.G., (2007) "The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions", Transaction of the ASABE, No 50 (4), pp. 1211-1250.
- Hao, F., Zhang, X., Wang, X., Ouyang, W., (2012) "Assessment the Relationship between Landscape Patterns and Nonpoint Source Pollution in the Danjankou Reservoir Basin in China", Journal of the American Water Resources Association, No 46 (11), pp. 1-16.
- Lamba, J., Karthikeyan, T., Panusk, J, Good, L (2016) "Effect of best management practice implementation on sediment and phosphorus load reductions at subwatershed and watershed scale using SWAT model" . International Journal of Sediment Research, No X, pp. xxx- xxx.
- Lee, S. W., Hwang, S. J., Lee, S., Hwang, H. S., Sung, H. C., (2009) "Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics", Landscape, Urban Plan, No 92, pp. 80–89.
- Liu, R, Xu F, Zhang, P, Yu, W, Men, C (2016) "Identifying non-point source critical source areas based on multi factors at a basin scale with SWAT", Journal of Hydrology, No 53, 3379–388.
- Masoudiyan, M., Falahiyan, F., Nejdattari, T., Metaji, A., Khavarinejad, R., (2010) "Epilitic diatoms in Tajan River, Mazandaran province", Biological Knowledge Iran, No 4, pp. 57-66.

Province, China: An allometric model”, *Procedia Environmental Sciences*, No13(2), pp. 2131 - 2145.

- Xu, F, Dong, G, Wang Q, Liu, L (2016) “Impacts of DEM uncertainties on critical source areas identification for non-point source pollution control based on SWAT model”, *Journal of Hydrology*, No 540, pp. 355–367.

- Zeigera, S.,Hubbart, J (2016) “A SWAT model validation of nested-scale contemporaneous stream flow, suspended sedimentand nutrients from a multiple land use watershed of the central USA”, *Science of the Total Environment*, No 572, pp. 232–243.

on the water quality and aquatic organisms in a Lowveld Sand river system in Southeast Zimbabwe”, *Water resources management*, No 22 (1), pp. 119-130.

- Uuemaa, E., Roosaare, J., Mander, U., (2005) “Scale dependence of landscape metrics and their indicatory value for nutrient and organic matter losses from catchments”, *Ecological Indicators*, No 5 (4), pp. 350-369.

- Wu, M.Y., Xue, L., Jina, W.B., Xionga, Q.X., Aia, T.C., Li, B. L., (2012) ”Modelling the linkage between landscape metrics and water quality indices of hydrological units in Sihu Basin, Hubei