

بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر دبی رودخانه با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز لکشا نکارود)

محمد رضا ریاحی^{۱*}، کریم سلیمانی^۲، سید رمضان موسوی^۳ و معصومه بنی‌هاشمی^۴

چکیده

برآورد دقیق دبی جریان، نکته مهمی در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع آب است. یکی از عوامل تأثیرگذار در تغییر روند رژیم جریان رودخانه‌ها، تغییر کاربری اراضی در سطح حوضه است. در این مطالعه برای بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه، از تصاویر سنجنده‌های TM لندست و LISS III ماهواره IRS-1D مربوط به سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۱۲ در محیط نرم‌افزارهای پیشرفته سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) استفاده شده است؛ به گونه‌ای که پس از اعمال تصحیح‌ها و آنالیزهای مختلف بازسازی و نمونه‌برداری تصادفی از واحدهای کاربری اراضی، طبقه‌بندی برای هر دو تصویر با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال انجام شد. با پردازش‌های مختلف، بهترین ترکیب باندی، باندهای ۱، ۴ و ۷ تصویر TM با ضریب کاپای ۰/۸۶، ضریب کلی ۹۲/۷۵ و باندهای ۲، ۳ و ۴ تصویر LISSIII با ضریب کاپای ۰/۸۷، ضریب کلی ۹۱/۴۷ انتخاب شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در این دوره ۲۸ ساله، سطح جنگل‌های زیرحوضه لکشا به مقدار ۱۰۴۲ هکتار (۴/۷۹٪) کاهش، ۲۹۷ هکتار (۳۴/۳۳٪) از اراضی بدون پوشش گیاهی و ۷۴۵ هکتار (۲۸/۶۳٪) از اراضی کشاورزی نیز افزایش یافته است. به این منظور پس از تهیه نقشه کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۱۲ و تلفیق با نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک در محیط GIS و تهیه CN حوضه و زیرحوضه‌ها، مدل هیدرولوژیک HEC-HMS با استفاده از روش نفوذ شماره منحنی و آبنمود واحد SCS در سطح حوضه در مقابل داده‌های بارش- رواناب مشاهده‌ای، واسنجی و اعتباریابی شد. نتایج حاصل از واسنجی مدل پس از بهینه‌سازی پارمترهای شماره منحنی و زمان تأخیر حوضه نشان داد که تغییر کاربری اراضی در این فاصله زمانی، میزان دبی اوج و رواناب را در محل خروجی حوضه به ترتیب از ۳۶/۵ مترمکعب بر ثانیه و ۷۸/۴ میلیون مترمکعب در سال ۱۹۸۴ به ۶۹/۹ مترمکعب بر ثانیه و ۱۱۹/۵۵ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۱۱ افزایش داده است.

واژه‌های کلیدی: دبی، کاربری اراضی، واسنجی مدل، GIS، HEC-HMS.

ارجاع: ریاحی م. ر. سلیمانی ک. موسوی س. ر. و بنی‌هاشمی م. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر دبی رودخانه با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز لکشا نکارود). مجله پژوهش آب ایران. ۲۴: ۳۳-۴۳.

۱- کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۲- استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۳- مربی گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۴- کارشناس ارشد GIS و سنجش از دور، دانشکده حقوق و علوم اجتماعی، دانشگاه تبریز.

* نویسنده مسئول: Reiahi1389@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۲۱

مقدمه

آلودگی مناطق ساحلی و کاهش جریان پایه رودخانه شد. امروزه روش سنجش از دور امکاناتی را فراهم می‌آورد که از طریق آن می‌توان در مقیاس‌های زمانی مورد نیاز، تغییرات کاربری اراضی را با دقت و سرعت و وسعت آن‌ها را نیز مشخص کرد؛ بنابراین با توجه به اهمیت موضوع و در دسترس بودن منابع اطلاعاتی، داده‌های اقلیمی، هیدروگراف خروجی حوضه، لایه‌های رقمی شده، داده‌های ماهواره‌ای و با در نظر گرفتن سیلاب‌های وقوع یافته در حوضه نکارود، تأثیر تغییر کاربری اراضی بر رژیم هیدرولوژیکی رودخانه در حوضه مذکور بسیار جدی و قابل ملاحظه است. نتایج این مطالعه نشان داد که از این مدل می‌توان برای پایش و بررسی وضعیت تغییرات حوضه‌های آبخیز مشابه در طراحی پروژه‌های عمرانی استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

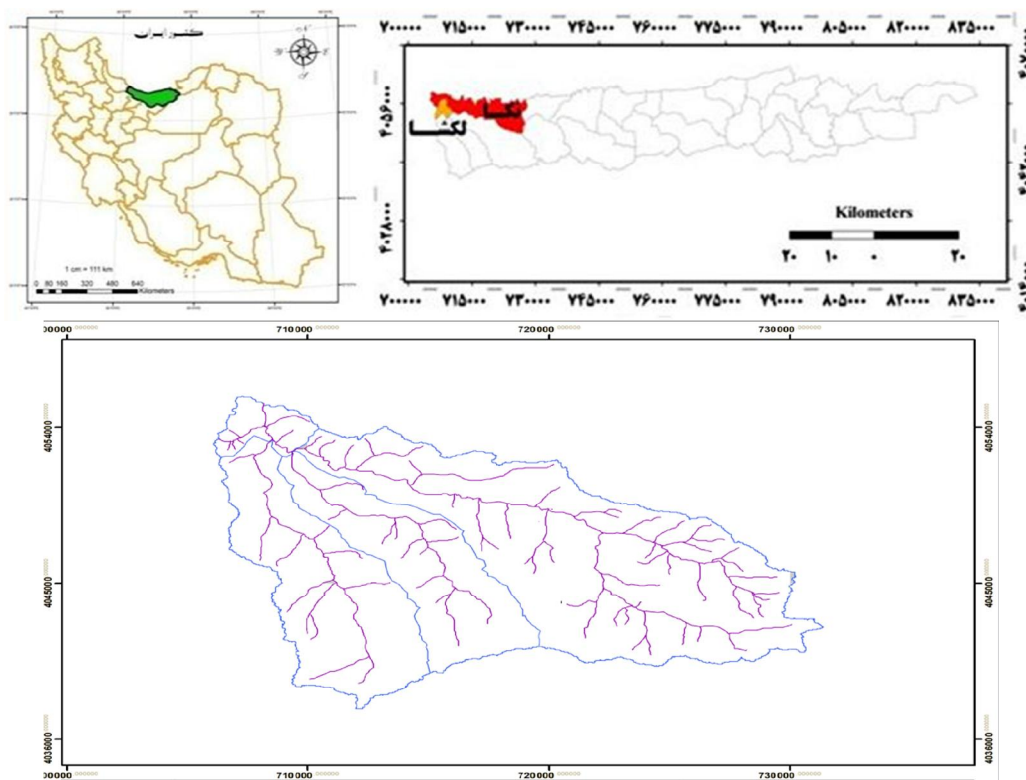
حوضه آبخیز لکشا، یکی از زیرحوضه‌های نکارود در استان مازندران با مساحت ۲۵۲۰۴ هکتار است که در ۸ کیلومتری جنوب شهرستان نکا بین ۴۱° ۴۶' الی ۳۶° ۴۵' ۵۳' ۵۸' عرض شمالی و ۳° ۳۰' الی ۵۳° ۱۸' طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). بارندگی سالانه در این منطقه حدود ۶۴۰ میلی‌متر است. درصد میانگین رطوبت نسبی سالانه بیش از ۸۷٪ است. از نظر زمین‌شناسی، تشکیلات سنگی آن، دوران دوم تا کواترنر را شامل می‌شود. از جمله سازندهای این منطقه سازند لار، کرتاسه بالایی، پالئوسن، میوسن بالایی، کنگلومرای پلیوسن، رسوبات کواترنری است. رژیم حرارتی خاک منطقه مزیک که متوسط درجه حرارت سالانه خاک در عمق ۵۰ سانتی‌متری بین ۱۵-۸ درجه سلسیوس می‌باشد. رژیم رطوبتی یودیک است که در آن بارندگی به میزان کافی رخ می‌دهد و قدرت شست‌وشوی زیاد سلوم خاک را دارد و خاک در این رژیم هرگز برای نود روز متوالی خشک نمی‌شود. از نظر پوشش گیاهی، نباتات زراعی شامل گندم و جو که به صورت عمده دیده می‌شود. گونه‌های جنگلی شامل ممرز، لور، راش، بلوط، انجیلی، ازگیل، ولیک، نمدار، ملج، شیردار، توسکای قشلاقی، شمشاد، آزاد، سیاه تلو، افراپلت، انجیر، گردو، داغداغان و بید هستند (سازمان آبخیزداری استان مازندران، ۱۳۸۱).

امروزه تحقیقات نشان می‌دهد که عوامل متعددی همانند افزایش جمعیت و شدت بهره‌برداری و کاربری نادرست از اراضی و منابع طبیعی و نابودی پوشش گیاهی، پیامدهایی مانند فرسایش خاک، کاهش حاصل‌خیزی آن، نابودی اراضی، بروز سیلاب‌های مخرب را در پی دارد. تأثیرات هیدرولوژیک مدیریت پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی در قالب تغییر در دبی حداقل، عمق رواناب، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک و دبی حداکثر آشکار می‌شود (سیکا و همکاران، ۲۰۰۳)؛ بنابراین بررسی آثار تغییر کاربری اراضی بر فرآیندهای هیدرولوژیکی آبخیز برای پیش‌بینی پتانسیل سیل‌خیزی و کاهش خطرهای آن، بسیار با اهمیت و یک موضوع بحرانی برای برنامه‌ریزی، مدیریت و توسعه پایدار در حوضه آبخیز است (علی و همکاران، ۲۰۱۱). اسپچینگ و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات پوشش گیاهی کاربری اراضی را در افزایش دبی بالادست رودخانه می‌سی‌سی‌پی ارزیابی نموده و در نتایج خود بیان کردند که تغییر کاربری اراضی در افزایش جریان رودخانه مهم‌تر از تغییرات اقلیم است. الفرت و برمن (۲۰۱۰) با شبیه‌سازی آثار گذشته و آینده تغییرات کاربری اراضی بر واکنش هیدرولوژیکی در شمال آلمان، پیش‌بینی کردند که تغییرات کاربری اراضی بر رژیم هیدرولوژیکی، با روندی که در حال حاضر موجود است، در آینده تأثیر آن بیشتر از گذشته خواهد بود. هاشمیان و همکاران (۲۰۱۵) برای شبیه‌سازی سیل در حوضه خشکه‌رود استان فارس از ترکیب دو مدل HEC-HMS، HEC-RAS و GIS استفاده و مدل‌ها را با داده‌های بارش با دوره بازگشت ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله ایستگاه‌ها و باران‌سنج کالیبره کردند. نتایج نشان داد که استفاده از این مدل‌ها به همراه نرم‌افزار GIS از کارایی بالایی برخوردار است. آن‌ها استفاده از این مدل‌ها را برای برنامه‌ریزی مناطق مسکونی و کشاورزی مناسب می‌دانند. پاکباز و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژیکی حوضه چهل‌چای‌رود استان گلستان پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود از مدل HEC-HMS استفاده کردند. نتایج نشان داد که در طول سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۸۸، ۲۵۳۷ هکتار (۳۰٪) از اراضی جنگلی تخریب و به اراضی کشاورزی تبدیل شده است. این تغییرات کاربری اراضی موجب افزایش بیش از ۶٪ دبی اوج سیلاب، تشدید جاری شدن سیل، افزایش

مشخصات فیزیوگرافی حوزه در جدول ۱ به شرح زیر ارائه می‌گردد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیوگرافیک زیرحوضه آبخیز لکشا

مقدار	ویژگی ژئومتری	مقدار	ویژگی ژئومتری
۰/۰۶۴	شیب متوسط وزنی آبراهه اصلی (m/m)	۲۵۲/۰۲	مساحت (km ²)
۳/۳۵	شیب متوسط وزنی حوضه (%)	۱۳۲/۱۹	مساحت زیرحوضه ۱ (km ²)
۲۷/۸۳	طول مستطیل معادل (Km)	۴۸/۱۷	مساحت زیرحوضه ۲ (km ²)
۱۷	عرض مستطیل معادل (Km)	۶۲/۷	مساحت زیرحوضه ۳ (km ²)
۱۷۷	TC کرپیچ (min)	۸/۹۸	مساحت زیرحوضه ۴ (km ²)
۱۰۶	Tlag زمان تأخیر کرپیچ (min)	۱۱۳	محیط Km
۰/۹	تراکم زهکشی (Km ⁻¹)	۲	ضریب گراولیوس (C.C)
۲۲۵/۹۴۶	طول آبراهه‌ها (Km)	۱۲۸۸	بالترین ارتفاع زیرحوضه (m)
۳۴/۹۰۷	طول آبراهه اصلی (Km)	۷۳	پایین‌ترین ارتفاع (m)
		۵۲۴/۳۵	ارتفاع متوسط وزنی (m)

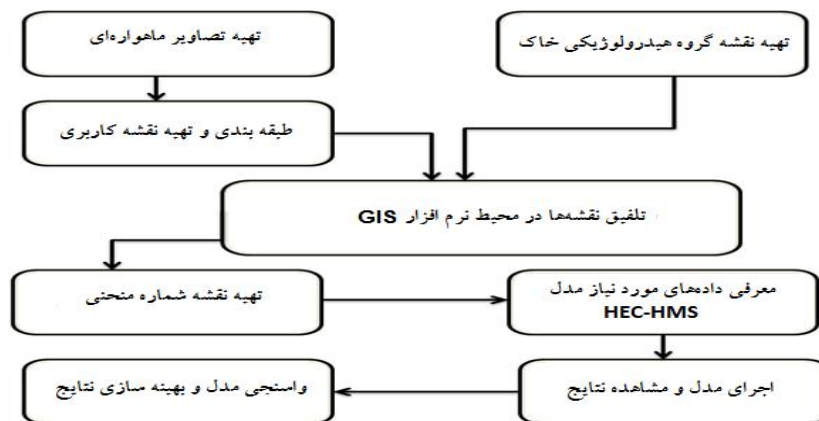


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه، آمار بارش و دبی روزانه حوضه جمع‌آوری و مورد ارزیابی قرار گرفت. نقشه‌ها و داده‌های مورد نیاز مدل تهیه و وارد مدل گردید. در نهایت مدل اجرا، واسنجی و بهینه‌سازی شد (شکل ۲).

روش تحقیق

ابتدا نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰، خاک‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰، گروه هیدرولوژیکی خاک، داده‌های ماهواره‌ای لندست و IRS گردآوری شد، سپس با توجه به ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری



شکل ۲- فلوجارت روش تحقیق

(جاهدی و فرخی، ۱۳۷۵؛ سرانو و همکاران، ۲۰۰۸). عمل نمونه‌گیری مجدد با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه^۲ به منظور جلوگیری از تغییر ارزش‌های طیفی تصاویر به کار گرفته شد. به منظور از بین بردن خطای ناشی از اتمسفر و به اصطلاح تصحیح اتمسفری از نرم‌افزار ENVI4.7 و روش کاهش تیرگی پدیده^۳ استفاده شد (سینگ، ۲۰۰۱). برای طبقه‌بندی تصاویر ابتدا اقدام به برداشت نمونه‌های تعلیمی از منطقه مورد مطالعه شد؛ بنابراین حدود ۱۱۳ نقطه از منطقه مورد مطالعه با پراکنش مناسب، پنج نقطه به صورت تصادفی تا شعاع حداقل ۳۰ متری که یک تیپ همگن از پوشش گیاهی را نشان می‌دهد، برداشت شد. در مرحله بعد، با انتخاب بهترین ترکیب باندی (باند ۷، ۴ و تصویر TM با ضریب کاپای ۰/۸۶، ضریب کلی ۹۲/۷۵ و باند ۲، ۳ و ۴ تصویر LISSIII با ضریب کاپای ۰/۸۷)، ضریب کلی ۹۱/۴۷ تفکیک‌پذیری کلاس‌ها با استفاده از شاخص جفریس ماتوسی^۴ که یک شاخص آماری می‌باشد محاسبه شد (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۹). مقدار این شاخص بین ۰ تا ۲ متغیر بوده که عدد ۲ بیانگر تفکیک‌پذیری بالا و عدد ۰ نشان دهنده تفکیک‌پذیری ضعیف بین نمونه‌های تعلیمی می‌باشد (جعفرنیا و اولادی، ۱۳۹۰؛ ریچارد، ۱۹۸۶). پس از مشخص شدن میزان تفکیک‌پذیری کلاس‌ها نسبت به طبقه‌بندی به صورت نظارت شده و با روش حداکثر احتمال اقدام شد. کلاس‌های کاربری اراضی در سه گروه تحت عنوان اراضی کشاورزی، اراضی بدون پوشش گیاهی

نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM)

مدل رقومی ارتفاع هر منطقه، نشان‌دهنده تغییرات پیوسته توپوگرافی به صورت رقومی است. این نقشه، مبنای تهیه نقشه‌هایی از قبیل نقشه شیب، طبقات ارتفاعی و سایر نقشه‌هاست. در این تحقیق از DEM با اندازه پیکسل ۱۵×۱۵ متر استفاده شده است.

نقشه‌های کاربری اراضی

گزینش و انتخاب نوع سنجنده، بستگی به هدف مطالعه، مشخصات منطقه و مقیاس زمانی و مکانی مورد نظر دارد. در این پژوهش از میان تصاویر قابل دسترس، تصاویری انتخاب شد که از نظر ماه برداشت به هم نزدیک هستند. به همین جهت از تصاویر TM لندست ۵ مربوط به ۴ می ۱۹۸۴ (۱۳۶۳/۲/۱۴) با وضوح ۲۸×۲۸ متر و LISSIII ماهواره IRS۱ هندوستان مربوط به ۱۲ آوریل ۲۰۱۲ (۱۳۹۱/۱/۲۴) با وضوح ۲۳/۵×۲۳/۵ متر استفاده شد. برای آماده‌سازی تصاویر جهت طبقه‌بندی، تصحیحاتی روی تصاویر صورت گرفت. بر اساس تصویر TM سال ۱۹۸۴ در فرمت GeoTiff روی تصویر IRS سال ۲۰۱۲ تصحیحات هندسی به روش تصویر به تصویر صورت گرفت. برای این منظور حدود ۲۱ نقطه کنترل، بر اساس عملیات میدانی انتخاب و با توجه به پراکندگی مکانی مناسب این نقاط، سیستم UTM اعمال و بر مبنای مسطحاتی WGS84 تصویر مربوطه آماده پردازش شد. مقدار خطای به دست آمده برابر ۰/۰۶۲ پیکسل برآورد شد که نشان‌دهنده تصحیح هندسی بسیار مناسبی است

2- Nearest Neighbor
3- Dark Object Subtraction
4- Jefferies Matusita

1- Indian Remote Sensing

مدل‌سازی و کالیبراسیون مدل HEC-HMS 3.5

برای انجام مدل‌سازی قبل از هر اقدامی در ابتدا باید وقایع بارش و رواناب متناظر حوضه انتخاب و سپس اقدام به مدل‌سازی کرد. در HEC-HMS فرآیند مدل‌سازی با ایجاد مدل حوضه، مدل هواشناسی و تعیین شاخص‌های کنترل شروع می‌شود. این مدل، حوضه آبخیز را به عنوان یک سیستم به هم پیوسته با مؤلفه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نمایش می‌دهد. هدف تمام الگوهای موجود در واسنجی مدل HEC-HMS، یافتن پارامترهای قابل قبولی است که مقدار تابع هدف را به حداقل برسانند (وهاب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳). توزیع مکانی بارش با استفاده از روش وزن‌دهی ایستگاه با فاصله معکوس تعیین شد و در نهایت مدل بر مبنای روش نفوذ شماره منحنی CN و آبنمود واحد SCS با دو واقعه ثبت شده بارش- رواناب، واسنجی و صحت‌سنجی شد. برای واسنجی مدل از دو پارامتر شماره منحنی و زمان تأخیر حوضه استفاده گردید. برای مقایسه مقدار دبی اوج و حجم رواناب در هیدروگراف مشاهده‌ای با هیدروگراف محاسبه شده از تابع هدف انحراف معیار وزنی دبی اوج استفاده شد. در روش جست‌وجو برای کمینه کردن مقدار تابع هدف از نلدر و مید^۱ کمک گرفته شد. نتایج آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی پس از استخراج نقشه‌های کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای، روند تغییرات سه کاربری جنگل، اراضی کشاورزی و اراضی بدون پوشش گیاهی طی این دوره ۲۸ ساله بررسی گردید.

ارزیابی کارایی مدل

مدل مفهومی بارش- رواناب HEC-HMS به عنوان ابزار ارزیابی پاسخ حوضه‌های آبریز در برابر بار هیدرولوژیکی بستگی به تنظیم مقدار پارامترهای این مدل دارد. برای بررسی و ارزیابی نتایج حاصل از شبیه‌سازی هیدروگراف جریان بعد از بهینه‌سازی از سه معیار^۲ MAE،^۳ NSE و ضریب همبستگی^۴ R استفاده شد. فرمول‌های مربوط به این معیارها در زیر ارائه شده است:

$$NSE = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \right] \quad (1)$$

(اراضی صخره‌ای، مسکونی و ...) و جنگل تعیین شد و بدین ترتیب نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۱۲ بدست آمد.

نقشه‌های شماره منحنی

پارامتر شماره منحنی، یکی از ورودی‌های اصلی مدل HEC-HMS است. این پارامتر بیانگر پتانسیل تولید رواناب حوضه آبخیز است. برای تعیین CN حوضه، عمل هم‌پوشانی لایه‌های پوشش زمین، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و محدوده حوضه انجام شد. در این مرحله با استفاده از قابلیت تحلیل مکانی GIS عمل هم‌پوشانی لایه‌ها و تلفیق اطلاعات صورت گرفت. در مرحله بعد با استفاده از جدول‌های تعریف شده برای تعیین CN، مقدار آن برای حوضه محاسبه شد. در این تحقیق ابتدا مقدار CN برای هر واحد هیدرولوژیکی در حوضه در شرایط رطوبتی II تعیین و پس از محاسبه میانگین وزنی، مقدار CN در شرایط I و III تعیین شد.

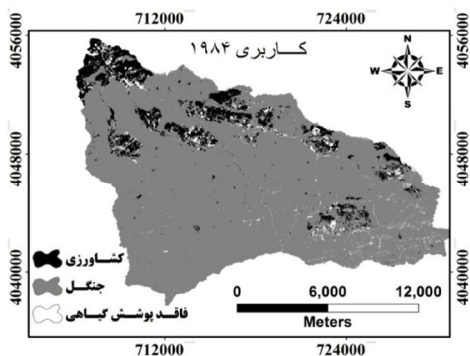
انتخاب پایه زمانی مشترک و رفع نواقص آماری

انتخاب پایه زمانی مشترک و رفع نواقص آماری پس از ترسیم بارگراف شش ایستگاه (باران‌سنجی و هیدرومتری) منطقه، سال آبی (۱۳۶۰-۱۳۵۹) تا (۱۳۹۰-۱۳۸۹) به عنوان دوره آماری مشترک انتخاب شد. با استفاده از روش جرم مضاعف و همبستگی بین ایستگاه‌ها همگنی و بازسازی آماری انجام شد. بارگراف باران‌سنجی مربوط به ایستگاه‌های گلورد، آبلو، افراچال، دارابکلا، پایین‌زرن‌دین و نودرآباد است. در این پژوهش، ایستگاه آبلو که دارای آمار طولانی‌تری است به عنوان ایستگاه شاهد انتخاب شد. با توجه به آمار و اطلاعات ایستگاه‌های موجود در منطقه، چهار ایستگاه باران‌سنجی افراچال، گلورد، دارابکلا و آبلو که از دوره آماری مناسب و کامل برخوردار بودند، برای محاسبه بارش متوسط روزانه حوضه انتخاب شدند. ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در حوضه نکارود شامل ایستگاه‌های سفیدچاه، برما، گلورد، آبلو، نهرآبلو و پایین‌زرن‌دین هستند. تنها ایستگاه پایین‌زرن‌دین در خروجی حوضه لکشا قرار گرفته و برای تجزیه تحلیل آماری مورد استفاده قرار گرفته است.

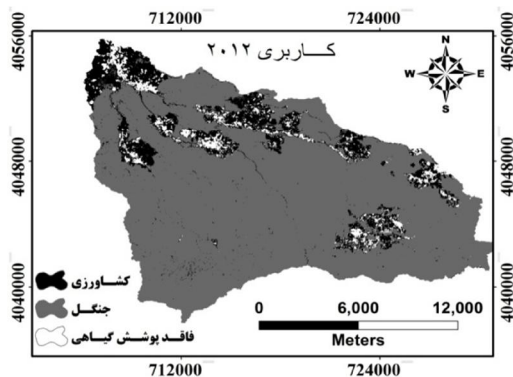
1- Nelder and mead
2- Mean Absolute Error
3- Nash-Sutcliffe Efficiency
4- Correlation Coefficient

نتایج مربوط به شماره منحنی

شماره منحنی نیز به روش بیان شده برای سال ۱۹۸۴ و ۲۰۱۲ به دست آمد که میانگین آن برای منطقه مورد مطالعه در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.



شکل ۳- وضعیت کاربری اراضی حوضه در سال ۱۹۸۴



شکل ۴- وضعیت کاربری اراضی حوضه در سال ۲۰۱۲

جدول ۲- میزان تفکیک‌پذیری طبقات کاربری اراضی سنجنده LISSIII و TM با استفاده از معیار واگرایی

	LISSIII	TM		
وضعیت تفکیک‌پذیری			کاربری اراضی	کاربری اراضی
میزان تفکیک‌پذیری	۱/۹۹	۱/۸۶	جنگل	فاقد پوشش
وضعیت تفکیک‌پذیری	خوب	خوب	کشاورزی	فاقد پوشش
میزان تفکیک‌پذیری	۱/۹۱	۱/۹۹	جنگل	کشاورزی
وضعیت تفکیک‌پذیری	خوب	خوب		
میزان تفکیک‌پذیری	۱/۹۸	۱/۹۹		
وضعیت تفکیک‌پذیری	خوب	خوب		

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_i - P_i|}{n} \quad (2)$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)}} \quad (3)$$

Pi و Qi به ترتیب مقدار مربوط به داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده، \bar{Q}_i میانگین داده‌های مشاهده‌ای و n تعداد داده‌ها است. مقدار ضریب کارایی (ضریب ناش) بین یک و صفر می‌باشد. مقدار یک نشان دهنده تناسب کامل بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی است. هرچه ضریب به صفر نزدیک شود کارایی مدل کمتر خواهد شد. اگر ضریب کارایی از ۰/۷۵ بیشتر باشد، نتایج شبیه‌سازی شده خوب توصیف می‌شوند؛ اما زمانی که مقدار ضریب کارایی بین ۰/۳۶-۰/۷۵ است، نتایج مدل رضایت‌بخش محسوب می‌شود (موتویلو و همکاران، ۱۹۹۹). مقدار متوسط خطای مطلق (MAE) هرچه به صفر نزدیک باشد، کارکرد مدل از اطمینان بالاتری برخوردار خواهد بود (محمدی و همکاران، ۱۳۸۷).

نتایج

نتایج مربوط به تفکیک‌پذیری طبقات کاربری اراضی در حوضه مورد مطالعه که در جدول ۲ ارائه شد.

نتایج آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی

پس از استخراج نقشه‌های کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای، روند تغییرات سه کاربری جنگل، اراضی کشاورزی و اراضی بدون پوشش گیاهی، طی این دوره ۲۸ ساله بررسی شد. جدول‌های ۳، ۴ و ۵ و اشکال ۳ و ۴ این تغییرات را در حوضه نشان می‌دهد.

با مقایسه کاربری سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۱۲ در جدول ۵ مشاهده می‌شود که سطح جنگل‌های زیرحوضه لکشا کاهش، اراضی بدون پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی افزایش یافته است. عمده‌ترین تغییرات در کاربری اراضی جنگلی صورت گرفته که بیشترین مقدار تغییرات اراضی جنگلی مربوط به زیرحوضه شماره ۱ که معادل ۶۳۲ هکتار است.

جدول ۳- سطح کاربری اراضی در حوضه آبخیز لکشای نکارود در سال ۱۹۸۴

۱۹۸۴	اراضی فاقد پوشش گیاهی		اراضی کشاورزی		جنگل	
	مساحت (ha)	درصد	مساحت (ha)	درصد	مساحت (ha)	درصد
زیرحوضه ۱	۵۷۸	۲/۲۹	۱۳۱۸	۵/۲۳	۱۱۳۲۳	۴۴/۹۲
زیرحوضه ۲	۹۷	۰/۳۹	۳۳۵	۱/۳۳	۴۳۸۵	۱۷/۴۰
زیرحوضه ۳	۸۸	۰/۳۵	۳۳۳	۱/۳۲	۵۸۴۹	۲۳/۲۱
زیرحوضه ۴	۱۰۲	۰/۴۱	۶۱۶	۲/۴۴	۱۸۰	۰/۷۱
کل حوضه	۸۶۵	۳/۴۴	۲۶۰۲	۱۰/۳۲	۲۱۷۳۷	۸۶/۲۴

جدول ۴- سطح کاربری اراضی در حوضه آبخیز لکشای نکارود در سال ۲۰۱۲

۲۰۱۲	اراضی فاقد پوشش گیاهی		اراضی کشاورزی		جنگل	
	مساحت (ha)	درصد	مساحت (ha)	درصد	مساحت (ha)	درصد
زیرحوضه ۱	۶۶۹	۲/۶۶	۱۸۵۹	۷/۳۸	۱۰۶۹۱	۴۲/۴۲
زیرحوضه ۲	۱۹۷	۰/۷۸	۳۴۴	۱/۳۷	۴۲۷۵	۱۶/۹۶
زیرحوضه ۳	۱۰۴	۰/۴۱	۴۸۶	۱/۹۳	۵۶۸۱	۲۲/۵۴
زیرحوضه ۴	۱۹۲	۰/۷۶	۶۵۸	۲/۶۰	۴۷	۰/۱۹
کل حوضه	۱۱۶۲	۴/۶۱	۳۳۴۷	۱۳/۲۸	۲۰۶۹۵	۸۲/۱۱

جدول ۵- تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز لکشای نکارود طی سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۱۲

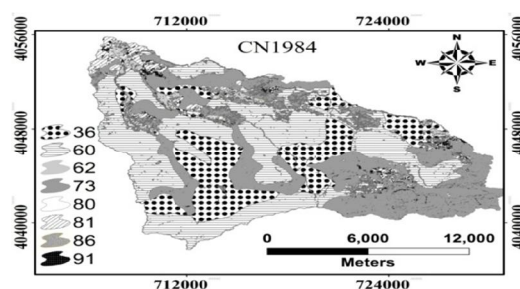
۱۹۸۴ الی ۲۰۱۲	اراضی بدون پوشش گیاهی		اراضی کشاورزی		جنگل	
	سطح تغییرات (ha)	درصد تغییرات	سطح تغییرات (ha)	درصد تغییرات	سطح تغییرات (ha)	درصد تغییرات
زیرحوضه ۱	+۹۱	+۱۵/۷۴	+۵۴۱	+۴۰/۳۶	-۶۳۲	-۵/۵۸
زیرحوضه ۲	+۱۰۰	+۱۰/۳۰۹	+۹	+۲/۶۹	-۱۱۰	-۲/۵۰
زیرحوضه ۳	+۱۶	+۱۸/۱۸	+۱۵۳	+۴۵/۹۵	-۱۶۸	-۲/۸۷
زیرحوضه ۴	+۹۰	+۸۸/۲۳	+۴۲	+۶/۸۲	-۱۳۳	-۷۳/۸۹
کل حوضه	+۲۹۷	+۳۴/۳۳	+۷۴۵	+۲۸/۶۳	-۱۰۴۲	-۴/۷۹

نتایج واسنجی مدل

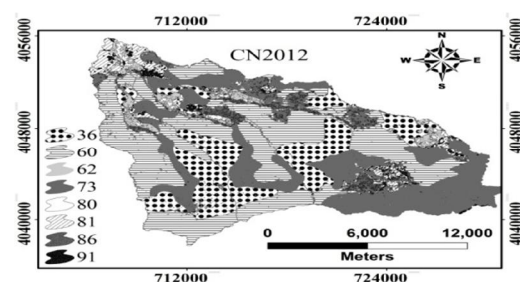
با تکمیل اطلاعات لازم، مدل برای دوره ۱۹۸۵-۱۹۸۴ اجرا گردید. در فرآیند واسنجی، دبی اوج و حجم رواناب به عنوان شاخص‌های کالیبراسیون انتخاب و برای بهینه‌سازی مدل از پارامترهای زمان تأخیر و شماره منحنی استفاده شد که در جدول ۸ ارائه گردیده است. بهترین برازش بین هیدروگراف مشاهده شده و محاسباتی (تابع هدف) مدل در جدول ۶ ارائه گردید.

جدول ۶- مقدار و نوع تابع هدف استفاده شده در دوره زمانی

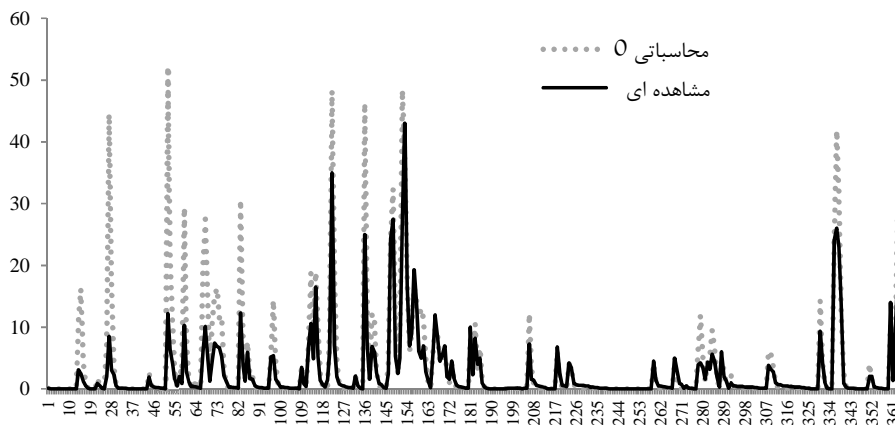
۱۹۸۴-۱۹۸۵		
تابع هدف	مقدار	روش جستجو
تابع انحراف معیار وزنی دبی اوج	۳/۸	نلدر و مید



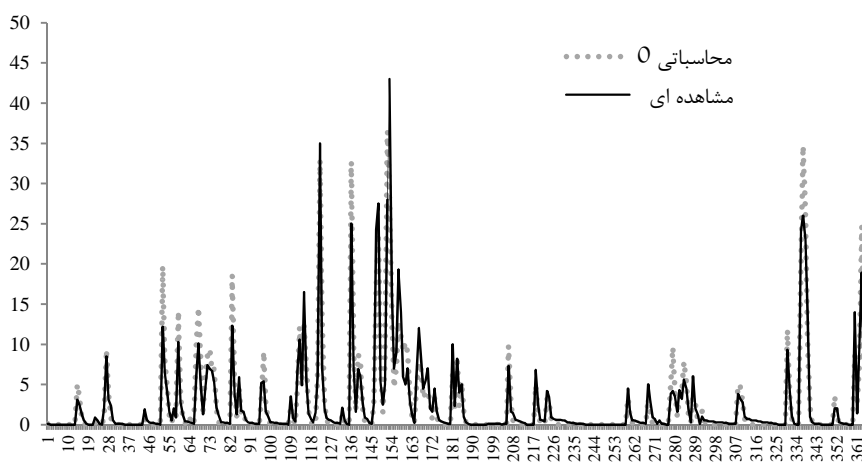
شکل ۵- وضعیت شماره منحنی حوضه در سال ۱۹۸۴



شکل ۶- وضعیت شماره منحنی حوضه در سال ۲۰۱۲



شکل ۷- وضعیت هیدروگرافها قبل از بهینه‌سازی



شکل ۸- وضعیت هیدروگرافها بعد از بهینه‌سازی

جدول ۷- ارزیابی حجم رواناب و دبی اوج محاسباتی و مشاهداتی برای دوره ۱۹۸۴-۱۹۸۵

میانگین (m^3/s)	اختلاف %	اختلاف (m^3/s)	دبی اوج محاسباتی (m^3/s)	دبی اوج مشاهداتی (m^3/s)	اختلاف %	اختلاف ($1000 m^3$)	حجم رواناب محاسباتی ($1000 m^3$)	حجم رواناب مشاهداتی ($1000 m^3$)	
۱/۲۸	-	-	۱۸/۷	-	-	-	۳۹۴۷۲/۳	-	زیرحوضه ۱
۲/۰۵	-	-	۷/۱	-	-	-	۱۵۲۲۰/۸	-	زیرحوضه ۲
۱/۹۴	-	-	۸/۷	-	-	-	۱۸۴۵۴/۹	-	زیرحوضه ۳
۲/۳۷	-	-	۲/۸	-	-	-	۵۲۴۸/۴	-	زیرحوضه ۴
۰/۸۶	-	-	۲۵/۸	-	-	-	۵۴۶۹۳/۱	-	تقاطع ۱
۰/۸	-	-	۳۴/۶	-	-	-	۷۳۱۴۸	-	تقاطع ۲
۰/۸۴	-۱۵/۲	-۶/۵	۳۶/۵	۴۳	-۱/۲۵	-۹۹۲/۲	۷۸۳۹۶/۴	۷۹۳۸۸/۶	خروجی

جدول ۸- مقدار زمان تأخیر و شماره منحنی اولیه و بهینه شده و حساسیت مدل نسبت به تابع هدف

مقدار حساسیت نسبت به تابع هدف (شماره منحنی) (%)	مقدار حساسیت نسبت به تابع هدف (زمان تأخیر) (%)	شماره منحنی بهینه شده	شماره منحنی اولیه	مقدار بهینه شده زمان تأخیر (min)	مقدار اولیه زمان تأخیر (min)	زیرحوضه
۰/۲۱	۰	۳۵/۸۹۱	۶۳/۴	۱۱۶/۲۵	۱۲۰	زیرحوضه ۱
۰/۰۸	۰	۳۷/۷۴۹	۵۸/۹	۶۰/۰۱۲	۵۹	زیرحوضه ۲
۰/۰۹	۰	۳۵/۰۱۰	۵۵/۷۶	۵۷/۰۱۶	۵۰	زیرحوضه ۳
۰/۰۲	۰	۸۶/۲۱۰	۷۴/۷۱	۳۷/۳۳۳	۲۱	زیرحوضه ۴

نتایج صحت‌سنجی مدل

مترمکعب بر ثانیه و ۷۸/۴ میلیون مترمکعب در سال ۱۹۸۴ به ۶۹/۹ مترمکعب بر ثانیه و ۱۱۹/۵۵ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۱۱ افزایش یافته است؛ بنابراین در این دوره با وجود ثابت بودن میزان بارندگی در سطح حوضه، ۳۳/۴ مترمکعب بر ثانیه معادل ۹۱/۵ درصد به دبی اوج و ۴۱/۱۵ میلیون مترمکعب معادل ۵۲/۴۹ درصد به حجم رواناب افزوده شد (جدول ۷ و ۹، شکل ۷ و ۸).

برای صحت‌سنجی مدل از دوره ۲۰۱۱-۲۰۱۰ استفاده شد؛ به این صورت که زیرمدل‌ها پس از بهینه‌سازی و با بکار بردن پارامترهای کالیبره شده اجرا گردید. برای اعتباریابی مدل HEC-HMS از آزمون ساده تقسیم نمونه‌ها به کارگیری شد. طبق نتایج حاصله میزان دبی اوج و رواناب در محل خروجی حوضه به ترتیب از ۳۶/۵

جدول ۹- ارزیابی حجم رواناب و دبی اوج محاسباتی و مشاهداتی برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۱۰

میانگین (m ³ /s)	اختلاف %	اختلاف (m ³ /s)	دبی اوج محاسباتی (m ³ /s)	دبی اوج مشاهداتی (m ³ /s)	اختلاف %	اختلاف (۱۰۰۰ m ³)	حجم رواناب محاسباتی (۱۰۰۰۰ m ³)	حجم رواناب مشاهداتی (۱۰۰۰۰ m ³)	حوضه
۱/۷۸	-	-	۳۷/۲	-	-	-	۶۴۹۷۱/۸	-	زیرحوضه ۱
۳/۰۴	-	-	۱۳/۲	-	-	-	۲۲۰۸۷	-	زیرحوضه ۲
۲/۸۷	-	-	۱۶/۸	-	-	-	۲۷۵۲۰/۲	-	زیرحوضه ۳
۳/۵۸	-	-	۲/۶	-	-	-	۴۹۷۴/۱	-	زیرحوضه ۴
۱/۱۸	-	-	۵۰/۴	-	-	-	۸۷۰۵۸/۹	-	تقاطع ۱
۰/۸۹	-	-	۶۷/۲	-	-	-	۱۱۴۵۷۹/۱	-	تقاطع ۲
۰/۸۹	۰/۵	۰/۴	۶۹/۹	۶۹/۵	۱/۲۱	۱۴۲۷/۱	۱۱۹۵۵۳/۲	۱۱۸۱۲۶/۰۸	خروجی

نتایج ارزیابی کارایی مدل

جدول ۱۰- نتایج ارزیابی کارایی مدل HEC-HMS

مراحل مدل	R	Nash	MAE
واسنجی	۰/۸۹	۰/۹۳	۰/۸۴
اعتبارسنجی	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۸۸

نتایج ارائه شده در جدول ۱۰ نشان می‌دهد، ضریب کارایی، متوسط خطای مطلق و ضریب همبستگی دبی مشاهداتی و محاسباتی برای حوضه مورد مطالعه خوب است (موتوپلوف و همکاران، ۱۹۹۹؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸۷).

نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات کاربری اراضی: بر اساس نتایج تحقیق، عمده‌ترین تغییرات کاربری صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه مربوط به کاربری جنگلی است. این تغییر کاربری ناشی از افزایش جمعیت روستائینان، فعالیت‌های شدید کشاورزی، (شخم و شیار به صورت گسترده و غیراصولی)، پرورش گاو، بز و گوسفند است. پوشش جنگلی عنصر غالب سیمای سرزمین را تشکیل می‌دهد. وجود اراضی کشاورزی، به خصوص زراعت دیم و نواحی مسکونی به صورت پراکنده در میان اراضی جنگلی، علامت ایجاد گسیختگی در چشم‌انداز و حضور عنصر انسانی در حوضه است. از طرفی، سیمای حوضه را به شدت تحت تأثیر قرار داده و اراضی طبیعی را به اراضی زراعی و چراگاهی تبدیل کرده است. بیشتر سوخت حرارتی در گذشته از هیزم حاصل از درختان جنگلی تأمین می‌شد. به دلیل اتکای اقتصادی منطقه به فعالیت‌های وابسته به آب و زمین و اثرپذیری منطقه از این فعالیت‌های اقتصادی و معیشتی و وجود چالش بر سر استفاده از اراضی جنگلی در تولید، در نهایت تبدیل اراضی و از بین رفتن جنگل در این منطقه را در پی خواهد داشت. این عوامل در مجموع دلایل روند تخریب در سیمای سرزمین حوضه لکشا را توضیح می‌دهد.

مدل‌سازی هیدرولوژیکی: نتایج نشان داد که تغییر کاربری اراضی باعث افزایش حجم رواناب و دبی اوج سیلاب شد. در زیرحوضه شماره ۱ که کمترین شیب آبراهه (۳/۶٪) و بیشترین زمان تمرکز (۲۰۱ دقیقه) را به خود اختصاص داده، انتظار می‌رفت که کمترین دبی اوج و رواناب را داشته باشد، ولی بیشترین میزان دبی اوج و رواناب مربوط به آن بوده است که خود ناشی از ماکزیم تغییرات کاربری اراضی در این زیرحوضه می‌باشد. این نتایج با نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده توسط فرج‌زاده و فلاح (۱۳۸۷)، ثقفیان و همکاران (۱۳۸۵)؛ سعادت‌ی و همکاران (۱۳۸۵)، غفاری و همکاران (۱۳۸۸)، چن و همکاران (۲۰۰۹) و لیو و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد. بنابراین با توجه به تغییر نکردن توپوگرافی منطقه طی دوره زمانی مورد نظر، می‌توان افزایش رواناب را بیشتر ناشی از کاهش پوشش جنگلی و تبدیل آن به اراضی کشاورزی و بدون پوشش گیاهی دانست. به دلیل متغیر بودن شرایط رطوبتی خاک و پوشش گیاهی حوضه در بازه

زمانی مورد مطالعه، حساسیت مدل نسبت به پارامتر شماره منحنی زیاد بوده؛ به طوری که به ازای یک درصد افزایش در شماره منحنی، مقدار تابع هدف ۰/۱۵ درصد افزایش می‌یابد که با نظر کتول و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. از آنجایی که بیشتر مساحت حوضه لکشا را اراضی جنگلی تشکیل می‌دهد، با کاهش مساحت این اراضی از نقش حفاظتی آن‌ها که شامل برگاب، مصرف آب توسط گیاه، ایجاد مقاومت مکانیکی در مقابل جریان رواناب، تشدید نفوذپذیری ناشی از افزایش هوموس و ریشه گیاهان کاسته می‌شود؛ بنابراین مشخص می‌شود که اراضی جنگلی نسبت به اراضی کشاورزی و بدون پوشش گیاهی، دبی اوج و حجم رواناب کمتری ایجاد می‌کنند، که با کاهش اراضی جنگلی حجم رواناب و دبی اوج افزایش می‌یابد. با استفاده از بارش‌های یکسان، تغییرات دبی اوج و حجم رواناب تنها به تغییر پوشش گیاهی وابسته است نه به اختلاف در بارش‌های ورودی، که با نظر میلر و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت دارد.

منابع

۱. ثقفیان ب. فرازجو ح. سپهری ع. و نجفی‌نژاد ع. ۱۳۸۵. بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر سیل‌خیزی حوضه آبریز سد گلستان. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱۱(۱): ۱۸-۲۸.
۲. جاهدی م. و فرخی ش. ۱۳۷۵. مبانی سنجش از دور (ترجمه). مرکز سنجش از دور ایران. ۳۲۹ ص.
۳. جعفرنیا ش. و اولادی ج. ۱۳۹۰. بررسی وضعیت و آشکارسازی تغییرات در جنگل‌های مانگرو جزیره قشم با استفاده از تصاویر ماهواره ایدر بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۸. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۱۱(۱): ۱۷۷-۱۹۱.
۴. سازمان آبخیزداری استان. ۱۳۸۱. طرح آبخیزداری حوضه آبخیز لکشا. ۱۲۰ ص.
۵. سعادت‌ی ح. غلامی ش. شریفی ف. و ایوب‌زاده س. ع. ۱۳۸۵. بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی در رواناب سطحی مدل شبیه‌سازی. مجله منابع طبیعی ایران. ۵۹(۲): ۳۰۱-۳۱۳.
۶. غفاری گ. قدوسی ج. و احمدی ح. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرولوژی حوضه آبخیز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز

- on flood processes in complex terrain by using GIS and modeling approach. *Environmental Modeling and Assessment*. 9(4): 227-235.
17. Miller S. N. Kepner W. G. Mehaffe M. H. Hernandez M. and Miller W. P. 2002. Integrating landscape assessment and hydrologic modeling for land cover change analysis. *Journal of the American Water Resources Association*. 38(4): 915-929.
 18. Motovilov Y. G. Gottschalk L. Engeland K. and Rohde. A. 1999. Validation of a distributed hydrological model against spatial. *Journal of Applied Ecology*. 98(1): 257-277.
 19. Pakbaz H. Shafiei Y. Shahbazi H. and Pilvieh S. 2015. Survey the effect of Land use change on Catchment Hydraulic response (case study Chelchai Basin). *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*. 5(3): 606-611.
 20. Richards J.A. 1986. Remote sensing digital image analysis: an Hntroduction. New York: Springer- Verlag. 383p.
 21. Schilling K. Chan K. S. Liu Y. and Zhang K. 2010. Quantifying the effect of land use land cover change on increasing discharge in the upper Mississippi River. *Journal of Hydrology*. 387(13): 735-747.
 22. Serrano S. M. V. Cabello F. P. and Lasanta T. 2008. Assessment of radiometric correction techniques in analyzing vegetation variability and change using time series of land sat images. *Remote Sensing of Environment*. 112(10): 3916-3934.
 23. Sikka A. K. Sarma J. S. Sharda V. N. Samraj P. and Lakshmanam V. 2003. Low flow and high flow responses to converting natural grassland into Bluegum (*Eucalyptus globules*) in Nilgiris Watersheds of South India. *Journal of Hydrology*. 270(2):12-26.
 24. Singh A. 2001. Digital change detection techniques using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*. 10(6): 989-1003.
- زنجان رود). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۱(۱): ۱۶۳-۱۸۰.
۷. فاطمی ب. و رضایی ی. ۱۳۸۹. مبانی سنجش از دور. چاپ دوم. ویرایش اول. انتشارات آزاده. ۲۵۷ ص.
 ۸. فرج‌زاده م. و فلاح م. ۱۳۸۷. ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر رژیم سیلابی رودخانه تجن با استفاده از تکنیک سنجش از دور. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی. ۴۰(۶۴): ۸۹-۱۰۴.
 ۹. محمدی ک. رازدار ب. و محمدولی سامانی ج. ۱۳۸۷. بررسی کیفیت آب رود رودخانه پسیخیان با استفاده از مدل CE-QUAL-W2 در مورد پارامترهای نیترات و فسفات و مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نرم‌افزار WASP. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه تهران. ۲۴(۴): ۸-۱.
 ۱۰. وهاب‌زاده ق. نویدی فر ی. حبیب‌نژاد م. و عبقری ه. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر دبی روزانه رودخانه با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آجرلو استان آذربایجان غربی). نشریه دانش آب و خاک. ۲۴(۴): ۲۲۷-۲۳۶.
 11. Ali M. Jamal Khan S. Aslam I. and Khan Z. 2011. Simulation if the impacts of land use change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan. *Landscape and Urban Planning*. 102(4): 271-279.
 12. Chen Y. Xu Y. and Yin Y. 2009. Impacts of land use change scenarios on storm-runoff generation in Xitiayi basin, China. *Quaternary International*. 208(1):121-128.
 13. Elfert S. and Bormann H. 2010. Simulated impact of past and possible future land use changes on the hydrological response of the Northern German lowland Hunte catchment. *Journal of Hydrology*. 383(3): 245-255.
 14. Hashemyan F. Khaleghi M. R. and Kamyar M. 2015. Combination of HEC-HMS and HEC-RAS models in GIS in order to simulate flood (case study: Khoshke Rudan river in Fars province, Iran). *International Science Congress Association*. 4(8): 122-127.
 15. Kathol J. P. Werner H. D. and Troioen T. P. 2003. Predicting runoff for frequency based storm using a prediction- runoff model, In North-Central Intersectional Meeting of the American Society of Agricultural Engineers and Canadian Society of Agricultural Engineers. 3-4.
 16. Liu Y. B. Smedt F. D. Hoffmann L. and Pfister L. 2004. Assessing land use impacts

