

ارتباط شماره منحنی حوضه آبخیز با شاخص سطح برگ (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کره‌بس)

خدایار عبدالهی^{۱*} - سمیرا بیاتی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۳۰

چکیده

شماره منحنی (CN) یک پارامتر هیدرولوژیکی با مبنای تجربی است که جهت پیش‌بینی مقدار رواناب مستقیم و یا مقدار بارش مازاد نفوذ یافته در خاک استفاده می‌شود. از بین ویژگی‌های سطح زمین، پوشش گیاهی یکی از عوامل مؤثر بر مقدار دبی اوج و حجم سیلاب می‌باشد. یکی از شاخص‌های معرف وضعیت پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ است که از طریق اطلاعات سنجش از دور در دسترس است. در این مطالعه با هدف بررسی رابطه شاخص سطح برگ و شماره منحنی در مقیاس حوضه آبخیز، هیدروگراف سیلاب حوضه آبخیز کره‌بس با استفاده از مدل HEC-HMS شبیه‌سازی و مقادیر شماره منحنی سالانه حوضه برآورد شد. فایل‌های رستری شاخص سطح برگ نیز از پایگاه اینترنتی مودیس تهیه و برای برقراری رابطه‌ای بین شماره منحنی حوضه و شاخص سطح برگ استفاده شد. دقت شبیه‌سازی هیدروگراف با استفاده از ضریب کارایی نش-ساتکلیف ۰/۷۲ نشان داد که رابطه به‌دست آمده با تابع انتقال، شماره منحنی حوضه مورد مطالعه را به خوبی برآورد می‌کند. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش شاخص سطح برگ، مقدار شماره منحنی کاهش می‌یابد. این نشان می‌دهد که افزایش پوشش گیاهی در منطقه موجب کاهش دبی اوج و حجم سیلاب می‌شود. مقایسه کلاس‌های شیب نیز مبین آن است که این عامل توپوگرافی نیز بر دبی اوج و حجم سیلاب اثر مستقیم دارد.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، سیلاب، شبیه‌سازی، HEC-HMS

مقدمه

آمریکا، این روش با استقبال گسترده‌ای روبرو شده است (۱۲). مدل شماره منحنی (CN)، روشی با سهولت زیاد محسوب می‌شود که توسط هیدرولوژیست‌های سرویس حفاظت از خاک ایالات متحده (SCS) برای شناسایی رواناب سطحی مستقیم در حوضه‌های کشاورزی و غیرکشاورزی فاقد ایستگاه اندازه‌گیری ارائه شده است (۲۱ و ۲۶). در روش SCS شماره منحنی یک پارامتر بدون بعد تحت تأثیر نوع کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیکی و رطوبت پیشین خاک است که به منظور تعیین تلفات استفاده می‌شود (۳۴). به‌طور کلی CN شاخصی از پتانسیل نگهداری آب خاک (S) است. در مدل شماره منحنی عواملی مانند کاربری اراضی، نوع خاک، مدیریت زمین، رفتار، شرایط رطوبت پیشین خاک و شرایط سطحی را در نظر می‌گیرد (۱۱ و ۲۰). بنابراین، علاوه بر آن که در این روش مستندسازی ویژگی‌های زیست‌محیطی به خوبی درک و شناخته شده است (۱۳، ۴ و ۲۸) تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین نیز می‌تواند توسط این پارامتر نشان داده شود (۳۳). از جمله مهم‌ترین مشخصات پوشش زمین پوشش گیاهی است لذا ویژگی‌های ساختاری پوشش گیاهی مانند

در هیدرولوژی، شماره منحنی یکی از روش‌های متداول تجربی برآورد عمق رواناب و سیل است. رواناب زمانی رخ می‌دهد که سیستم حوضه، شدت بارش بالا و غیر عادی دریافت کند و یا مدت زمان بارش طولانی باشد، به طوری که نرخ جریان بیش از ظرفیت نفوذ باشد (۲۳). بافت خاک، شیب زمین، پوشش گیاهی و کاربری‌های مختلف اراضی از جمله عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب‌ها می‌باشند که به طور مستقیم بر میزان نفوذ آب به زمین اثر می‌گذارند (۱۰). تخریب زمین منعکس‌کننده خوبی از تأثیرپذیری خاک از رواناب سطحی است (۱۴ و ۳۱). از بین بردن پوشش گیاهی با افزایش شهرنشینی، منجر به افزایش جریان روی زمینی و رواناب سطحی می‌شود. به دلیل پاسخ‌های مثبت تحقیقات مرتبط با روش تجربی تخمین رواناب سطحی با استفاده از مدل شماره منحنی سرویس حفاظت خاک

۱ و ۲- استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*) نویسنده مسئول:
Email: kabdolla@sku.ac.ir

شاخص سطح برگ (LAI) به طور گسترده‌ای به منظور استخراج مدل‌های رواناب، نفوذ، تبخیر و تعرق، فرسایش، برگاب و فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شاخص سطح برگ طبق تعریف جهانی FAO حاصل تقسیم سطح برگ‌های سبز به سطح سایه‌انداز است (۳۰). این شاخص، یک ویژگی مهم برای اندازه‌گیری تراکم برگ و پایش تغییرات پوشش گیاهی است (۵ و ۱۶). اتصال اطلاعات مکانی و زمانی به قسمت‌های مختلف مدیریت آبخیزداری، یک رویکرد اساسی برای بررسی داده‌های جریان رودخانه‌ها و شکل‌گیری مدل اساسی سیلاب در حوضه‌های آبخیز است (۶). رابطه بین شاخص سطح برگ و سایر شاخص‌های پوشش گیاهی در شرایط مختلف زمانی و مکانی متفاوت است (۷). در حوضه‌های آبخیز بزرگ، گستردگی سطح از یک طرف و تغییرات زمانی از طرف دیگر اندازه‌گیری این شاخص در مقیاس حوضه‌ای را دشوار می‌کند لذا روش‌های سنجش از دور به دلیل امکان فراهم‌سازی دید وسیع از مناطق مورد مطالعه، دقت بالای داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای و صرفه‌جویی در زمان بر سایر روش‌های مطالعاتی ارجحیت داده می‌شود (۷). همچنین با توجه به تغییرات مکانی ویژگی‌های هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی، استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در دوره‌های اخیر مورد توجه بسیاری قرار گرفته است، در نتیجه تجزیه و تحلیل‌ها در مقیاس‌های مختلف باید امکان‌پذیر باشد و همه تغییرات در نظر گرفته شود (۱۹). این اطلاعات می‌تواند در تهیه نقشه شماره منحنی حوضه آبخیز با استفاده از تجزیه و تحلیل اطلاعات رقومی پوشش گیاهی، کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک استفاده شود. در ارتباط با لحاظ نمودن نقش پوشش در رفتار هیدرولوژیکی، مطالعات کمی متعددی صورت گرفته است. پاندى و همکاران (۲۵) ابتدا نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز رمی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS-1B تهیه نمودند سپس گروه‌های هیدرولوژیک خاک را با تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی، پوشش زمین و نقشه خاک نقشه شماره منحنی برای هند، شماره منحنی وزنی حوضه‌های مورد مطالعه را با توجه به مساحت آن تعیین نمودند. ثقفیان و همکاران (۲۹) با کاربرد تلفیقی GIS و مدل HEC-HMS و با استفاده از روش شماره منحنی اثر پوشش گیاهی را بر دبی اوج و حجم سیل حوضه آبریز سد گلستان بررسی نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که تغییرات کاربری اراضی و تخریب جنگل‌ها و مراتع حوضه، منجر به افزایش اوج سیل در دوره بازگشت ۵ و ۱۰۰۰ ساله به ترتیب به میزان ۳۱/۷ و ۱۷/۸ درصد شد. غلامی و همکاران (۸) به بررسی کمی اثر تغییرات کاربری اراضی در ایجاد رواناب و خطر سیلاب در حوضه آبخیز کسلیان با استفاده از عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های کاربری اراضی و تصاویر ماهواره‌ای

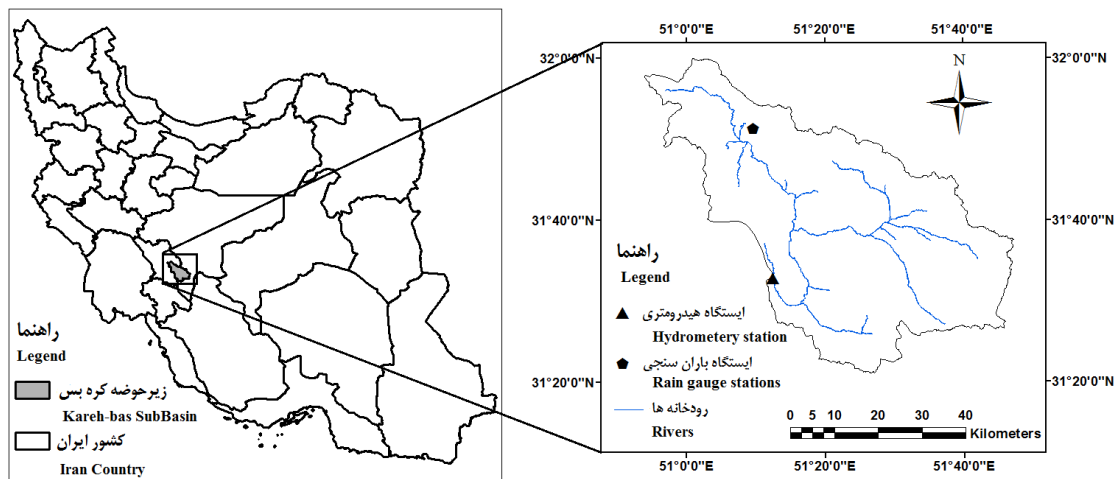
پرداختند. در این مطالعه با استفاده از مدل HEC-HMS و روش SCS و شماره منحنی هیدروگراف سیلاب حوضه شبیه‌سازی و مدل بهینه‌سازی شده با چهار واقعه دیگر سیلاب اعتبارسنجی شد. آن‌ها با وارد نمودن تغییرات کاربری اراضی در مدل اعتبارسنجی شده، اثر آن‌ها در تشدید ایجاد رواناب و خطر سیلاب به صورت کمی بررسی کردند که نتایج نشان‌دهنده افزایش پتانسیل ایجاد رواناب و خطر سیلاب تحت تأثیر کاربری اراضی بود. سومارو و اوگوشی (۳۳) به بررسی نحوه برآورد CN با توجه به تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از ابزارهای HEC-GeoHMS برای تخمین CN و مدل MIKE 11-RR برای شبیه‌سازی بارش-رواناب پرداختند. نتایج این مطالعه امکان بررسی تغییرات زمانی رواناب را فراهم کرد، به نحوی که از سال ۱۹۴۸ تا ۲۰۰۵، CN حوضه رودخانه جوبارو و زیرحوضه کوهستانی کاهش ولی CN زیرحوضه‌های مسطح افزایش یافته است. ابوحشیم و همکاران (۱) براساس مدل شماره منحنی سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا (NRCS-CN)، از روش CN برای بررسی اثر تغییرات مکانی و زمانی کاربری‌های اراضی مختلف در نگهداری آب خاک استفاده نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که پتانسیل نگهداری آب خاک طی دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ با کاهش زمین‌های زراعی، ۱۱۸/۱ مترمکعب در هکتار کاهش یافت.

با وجود این که شماره منحنی عوامل زیادی مانند کاربری اراضی، نوع خاک و شرایط پیشین رطوبت خاک را در نظر می‌گیرد ولی ایراد اصلی روش شماره منحنی در این است که تغییرات زمانی پوشش گیاهی را در نظر نمی‌گیرد. امروزه ماهواره‌هایی نظیر مودیس (MODIS) تولیدات مهمی را به‌طور گسترده با فواصل زمانی مشخص عرضه می‌کنند که می‌توانند تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی باشند. بنابراین، در این مطالعه پیشنهاد شده است که از شاخص سطح برگ به‌عنوان یک عامل کمکی استفاده شود. به‌این ترتیب این ایده تغییرات دوره‌ای پوشش را در محاسبات هیدرولوژیکی دخیل خواهد کرد.

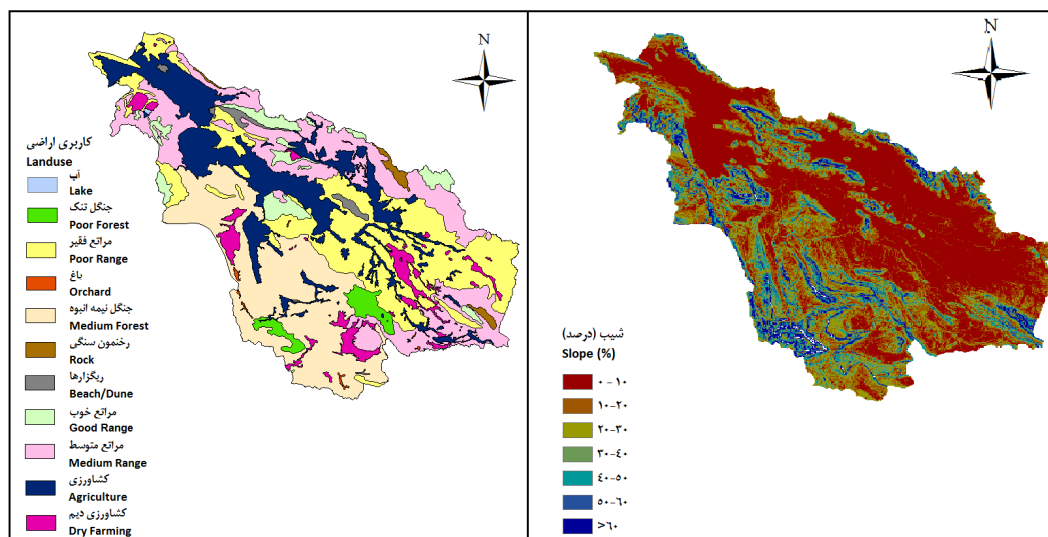
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز کره‌بس بخشی از حوضه آبخیز کارون بزرگ است که در محدوده بین $50^{\circ} 50'$ تا $51^{\circ} 47'$ طول شرقی و $31^{\circ} 21'$ تا $32^{\circ} 01'$ عرض شمالی قرار دارد. این حوضه با مساحت ۲۸۲۵ کیلومترمربع در استان‌های چهارمحال و بختیاری و اصفهان واقع شده است. منطقه مورد مطالعه بالادست ایستگاه هیدرومتری پل کره‌بس می‌باشد (شکل ۱). محدوده ارتفاعی این منطقه بین ۱۷۶۰ تا ۳۷۹۴ متر به ترتیب در خروجی حوضه و ارتفاعات حوضه می‌باشد. نقشه شیب و کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه نیز در شکل ۲ مشاهده می‌شود.



شکل ۱- نقشه موقعیت زیر حوضه آبخیز کره بس
Figure 1- The location map of Kareh-bas sub Basin



شکل ۲- نقشه‌های شیب و کاربری اراضی حوضه آبخیز کره بس
Figure 2- Slope and Landuse maps of Kareh-bas basin

سپس مساحت حوضه و زیرحوضه‌ها محاسبه شد (جدول ۱). داده‌های مورد استفاده برای مدل HEC-HMS در حوضه مورد مطالعه شامل داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری پل کره بس و داده‌های تبخیر و تعرق، دما و بارش ایستگاه گندمان در مقیاس زمانی روزانه بود که از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری تهیه شد. از دیگر اطلاعات مورد نیاز این تحقیق تصاویر شاخص سطح برگ بود که با فرمت hdf از پایگاه اینترنتی مودیس^۱ دانلود شد.

اکثر قسمت شرقی حوضه را شیب‌های کمتر از ۱۰ درصد پوشش داده است و تغییرات شیب در قسمت غربی حوضه به دلیل کوهستانی بودن، بیشتر است. عمده‌ترین کاربری اراضی حوضه نیز جنگل نیمه انبوه است که بیشتر در همین قسمت غربی حوضه مشاهده می‌شود.

آمار و اطلاعات مورد استفاده

برای پردازش و استخراج داده‌های مکانی از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جامع آب و زمین ILWIS استفاده شد و محدوده حوضه مورد مطالعه، زیرحوضه‌ها، شبکه آبراه‌های، موقعیت ایستگاه‌ها تعیین و

1- www.modis.gsfc.nasa.gov

جدول ۱- مساحت حوضه مورد مطالعه و زیرحوضه‌ها

Table 1- Area of basin and sub-basins

زیرحوضه Sub-basin	1	2	3	4	کل حوضه Total basin
مساحت (کیلومتر مربع) Area (Km ²)	1395	820	330	280	2825

بهترین عملکرد مدل است (۱۸).

مدل برای هر سال به صورت مستقل بدون تغییر پارامترهای بهینه‌یابی شده اجرا شد سپس از بین پارامترهای بهینه‌یابی شده تنها با تغییر مقدار CN مدل برای هر سال واسنجی گردید. آنگاه درصد بهبود ضریب نش- ساتکلیف مرحله سوم نسبت به مرحله دوم برای هر سال محاسبه شد. برای حصول مقدار CN متوسط حوضه در هر سال با استفاده از روش میانگین وزنی به صورت رابطه زیر به دست آمد (۱۷).

$$CN = \frac{\sum CN_i A_i}{A} \quad (2)$$

که در آن CN میانگین وزنی شماره منحنی حوضه، CN_i شماره منحنی هر زیرحوضه، A_i مساحت هر زیرحوضه و A مساحت کل حوضه می‌باشند.

به طور جداگانه شاخص برگ سالانه حوضه نیز محاسبه شد. به این منظور پس از دانلود تصاویر LAI از پایگاه اینترنتی مودیس با فرمت hdf، در نرم افزار Arc Gis برای هر ماه، از تصاویر موجود در آن ماه میانگین گیری وزنی- مکانی شد. نقشه‌های شاخص سطح برگ با فرمت ASCII تهیه و با استفاده از ابزار MeanCalc در مدل Wetspass میانگین وزنی مکانی رسترهای ماهانه LAI به صورت عدد محاسبه شد. سپس مقدار میانگین سالانه این اعداد در نرم افزار اکسل محاسبه شد. در مرحله بعد همبستگی بین مقادیر شماره منحنی و شاخص سطح برگ مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر شماره منحنی بر اساس رابطه جدید که تابعی از پوشش گیاهی بود برای هر سال محاسبه شد. در نهایت دقت رابطه جدید بر حسب مقادیر شماره منحنی حاصل از مدل HEC-HMS و مقادیر به دست آمده از رابطه جدید با استفاده از ضریب کارایی نش- ساتکلیف بررسی شد. در نهایت رابطه‌ای بین شماره منحنی و مقادیر شاخص برگ حوضه برآزش داده شد که امکان بررسی تغییرات ماهانه این شاخص را در قالب تغییرات شماره منحنی فراهم می‌آورد.

نتایج و بحث

در مرحله اول کار، مدل توسعه داده شده واسنجی شد. در این مرحله هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده باهم مقایسه شدند تا از این طریق پارامترهایی که در حوضه به صورت مستقیم

مدل HEC-HMS

HEC-HMS یکی از مدل‌های کامپیوتری برای شبیه‌سازی بارش- رواناب بر پایه فرآیندهای هیدرولوژیکی سلسله‌ای (Dendritic) است (۲). سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی برای شبیه‌سازی فرآیندهای بارش- رواناب حوضه آبخیز توسعه داده شده است (۲۷). اجرای این مدل، با ترکیب مدل‌های حوضه، هواشناسی، مشخصات کنترلی و گزینه‌های اجرای مدل برای رسیدن به نتایج، صورت می‌گیرد (۳). در HEC-HMS، مدل حوضه شامل سه فرآیند اساسی تلفات، تبدیل بارش به رواناب و جریان پایه است. مؤلفه‌ها و پارامترهای هیدرولوژیکی مدل حوضه شامل زیرحوضه‌ها، بازه‌های روندیابی، محل اتصال آبراهه‌ها، مخازن، چشمه، منبع و بخش تلفات می‌باشد (۳۲). در این مدل، هر مؤلفه نقش متفاوتی از فرآیندهای بارش- رواناب را در بخشی از حوضه آبخیز و یا زیرحوضه ایفا می‌کند. یک مؤلفه ممکن است، رواناب سطحی، کانال جریان و یا یک مخزن را نشان دهد (۲۴). در این مطالعه مدل، با استفاده از روش‌های شماره منحنی SCS، هیدروگراف واحد SCS و مخزن خطی به ترتیب برای محاسبه میزان تلفات، تبدیل بارش به رواناب و جریان پایه اجرا شد. همچنین با توجه به کوهستانی بودن منطقه و اثر ذوب برف، از روش شاخص دما برای مدل‌سازی ذوب برف استفاده شد.

روش تحقیق

در مرحله نخست مطالعه، مدل HEC-HMS برای کل دوره آماری ۱۱ ساله (۲۰۱۰-۲۰۰۰) اجرا و واسنجی شد و به منظور بررسی عملکرد مدل، ضریب کارایی نش- ساتکلیف به عنوان تابع هدف انتخاب شد. این ضریب به صورت زیر محاسبه می‌شود (۲۲).

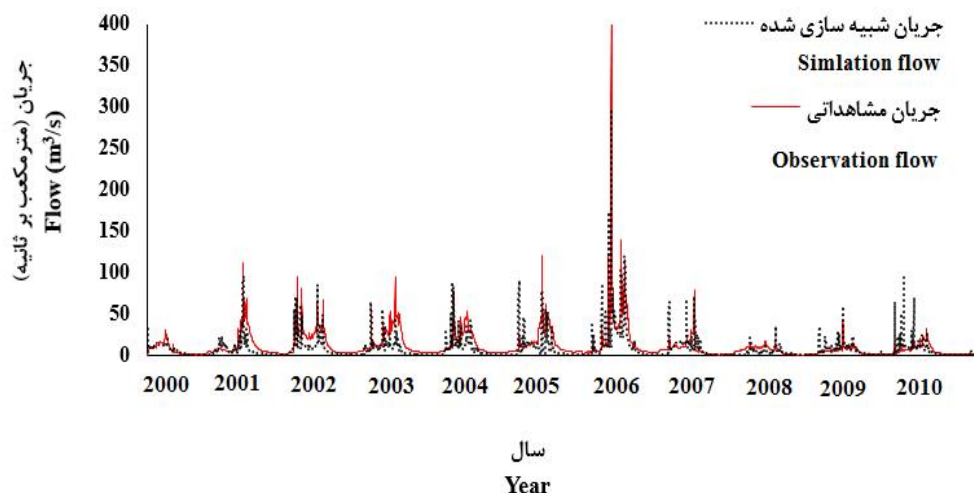
$$E = 1 - \frac{\sum (O_i - P_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2} \times 100 \quad (1)$$

که E ضریب کارایی نش- ساتکلیف، O_i دبی مشاهداتی، P_i دبی شبیه‌سازی شده و \bar{O} میانگین دبی مشاهداتی می‌باشند. ضریب نش- ساتکلیف بین منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است. مقدار زیر یک نشان می‌دهد که مقدار میانگین سری زمانی پیش‌بینی کننده چقدر به مقادیر مشاهداتی نزدیک بوده است (۱۵) و مقدار یک نشان‌دهنده

زیرحوضه‌های ۱ و ۲ است این نشان می‌دهد که نگهداشت سطحی آب در این زیرحوضه‌ها نسبت به دو زیرحوضه دیگر کمتر است که امکان وقوع جریان‌های سیلابی در این مناطق را فراهم می‌آورد. با توجه به این که اکثر سطح این زیرحوضه‌ها کم شیب می‌باشد رفتار هیدرولوژیکی تحت تاثیر عوامل دیگر مانند بافت خاک و کاربری اراضی باشد. در زیرحوضه‌های ۳ و ۴ که تراکم پوشش گیاهی بیشتر است و کاربری اراضی غالب در این زیرحوضه‌ها جنگل نیمه انبوه است شماره منحنی مربوط به این زیرحوضه‌ها کمتر است. کمترین تغییرات زمانی شماره منحنی طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ نیز مربوط به زیرحوضه‌های بزرگتر ۱ و ۲ می‌باشد و بیشترین تغییرات مربوط به زیرحوضه‌های ۳ و ۴ است که مساحت کمتری دارند. ستون ۶ جدول میانگین وزنی شماره منحنی حوضه و ستون ۷ میانگین وزنی مکانی نقشه‌های شاخص سطح برگ را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۱۰ که مقدار شاخص سطح برگ با مقدار ۱/۴ افزایش محسوسی داشته است، با افزایش پوشش گیاهی مقدار شماره منحنی کاهش یافته و به مقدار ۴۷ رسیده است. در سال ۲۰۰۶ که مقدار جریان در حوضه افزایش یافته است (شکل ۳)، به‌طور کلی ملاحظه می‌شود که عدد مربوط به شماره منحنی نیز در همه زیرحوضه‌ها مقدار زیادی دارد و متوسط شماره منحنی در این سال برابر ۷۴ می‌باشد. بررسی سری زمانی نشان می‌دهد که شاخص سطح برگ نیز در این سال حداقل مقدار را در کل دوره آماری ۱۱ ساله دارد. به نظر می‌رسد با کاهش پوشش گیاهی و افزایش مقدار شماره منحنی در حوضه، دبی اوج و حجم سیل روند افزایشی داشته است. همچنین از سال ۲۰۰۸ به بعد که مقدار جریان حوضه کاهش چشمگیری داشته و مطابق با اعداد مربوط به شاخص سطح برگ، پوشش گیاهی در منطقه افزایش یافته است،

قابل اندازه‌گیری نبودند، با استفاده از سعی و خطا، تخمین زده شوند. در این روش ابتدا برای هر پارامتر یک مقدار اولیه بین محدوده قابل قبول برای هر پارامتر در نظر گرفته و مدل با این مقادیر اجرا شد. در صورت مناسب نبودن نتایج، تغییر مقادیر این پارامترها تا جایی ادامه می‌یابد که به مقادیر بهینه خود نزدیک‌تر شوند و نتایج شبیه‌سازی جریان توسط مدل بهبود یابد. شکل ۳ هیدروگراف جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل برای دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ را نشان می‌دهد. اگر چه مقدار جریان اوج توسط مدل کمتر از مقدار مشاهداتی تخمین زده شده ولی زمان رسیدن به اوج در تاریخ ۱۰ فوریه ۲۰۰۶ به خوبی شبیه‌سازی شده است. به نظر می‌رسد بیشترین مقدار اختلاف بین جریان مشاهداتی و جریان شبیه‌سازی شده در قسمت بازوی پایین رونده هیدروگراف‌های مربوط به هر رویداد است. این امر نشان می‌دهد که مدل در شبیه‌سازی تخلیه آب ذخیره شده در حوضه انحراف داشته است. تا حدی حجم سیل فروکش کرده نیز توسط مدل کمتر از مقدار مشاهداتی آن برآورد شده است. همچنین با وجود این که در برآورد دبی‌های اوج هر رویداد توسط مدل اختلافاتی دیده می‌شود ولی در برخی قسمت‌های هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده هر رویداد تطبیق خوبی مشاهده می‌گردد. ضریب نش-ساتکلیف ۰/۵۸ نیز نشان داد که مدل هیدروگراف سیلاب را بر اساس ضریب کارایی مدل (۹) با دقت نسبتاً قابل پذیرشی شبیه‌سازی کرده است. همچنین نتایج مدل با ضریب همبستگی ۰/۶۳ در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است.

مقادیر متوسط وزنی CN و شماره منحنی مربوط به هر ۴ زیرحوضه و مقادیر متوسط LAI برای هر سال در جدول ۲ مشاهده می‌شود. طبق این جدول بیشترین مقدار شماره منحنی مربوط به



شکل ۳- هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

Figure 3- The observation and simulation of flow hydrograph

زیرحوضه‌ها متفاوت بوده است. باید در نظر داشت که رطوبت پیشین نیز اثر محسوسی بر شماره منحنی دارد، ولی در میانگین‌گیری سالانه این اثر کم‌رنگ می‌شود.

مقدار شماره منحنی، دبی اوج و حجم سیل در حوضه کاهش یافته است. البته به دلیل تغییرات مکانی پوشش گیاهی، کاربری اراضی، بافت خاک و شیب منطقه، تغییرات شماره منحنی در

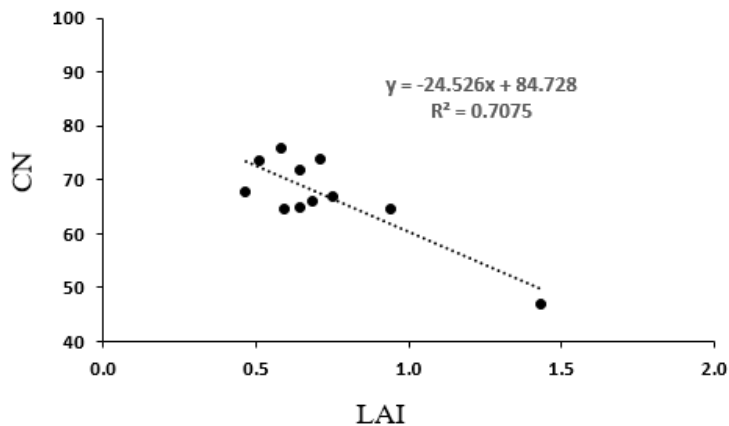
جدول ۲- مقدار شماره منحنی و شاخص سطح برگ سالانه حوضه مورد مطالعه و زیرحوضه‌ها

Table 2 - Value of annual curve number and leaf area index of studied basin and sub-basins

سال Year	CN				CN	LAI
	زیرحوضه ۱ Sub-basin 1	زیرحوضه ۲ Sub-basin 2	زیرحوضه ۳ Sub-basin 3	زیرحوضه ۴ Sub-basin 4		
2000	68	68	57	50	65	0.6
2001	80	80	75	45	76	0.6
2002	80	60	60	99	74	0.7
2003	80	50	80	45	68	0.5
2004	80	60	35	35	64	0.6
2005	80	60	40	45	66	0.7
2006	80	60	80	75	74	0.5
2007	80	60	55	85	72	0.6
2008	80	60	35	60	67	0.8
2009	80	60	35	35	64	0.9
2010	35	60	55	60	47	1.4
کل Total	80	60	50	60	69	0.7

مقدار t محاسبه شده ۴/۶۷ و مقدار t جدول ۳/۲۵ در سطح احتمالاتی ۹۹ درصد، فرض H0 رد شد. به این ترتیب نتایج به دست آمده در سطح احتمالاتی ۹۹ درصد معنی‌دار بوده‌اند. طبق نمودار با افزایش شاخص سطح برگ، مقدار شماره منحنی کاهش می‌یابد. زمانی که پوشش گیاهی در منطقه افزایش یابد، جریان روی زمینی، رواناب سطحی و مقدار شماره منحنی کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند مقدار دبی اوج سیل را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد.

شکل ۴ نمودار همبستگی بین مقادیر شماره منحنی و شاخص سطح برگ را نشان می‌دهد. شاخص سطح برگ و شماره منحنی با ضریب همبستگی ۰/۷ رابطه خطی معکوس دارند و این نشان می‌دهد که تغییرات شماره منحنی تابعی از شاخص سطح برگ است. به منظور بررسی اعتبار آماری نتایج به دست آمده، آزمون آماری t دو طرفه انجام شد. فرض آماری H0 مبنی بر عدم وجود همبستگی بین مقادیر شماره منحنی و شاخص سطح برگ و فرض مقابل آن H1 مبنی بر وجود همبستگی در متغیرهای مذکور تعریف شد. با مقایسه



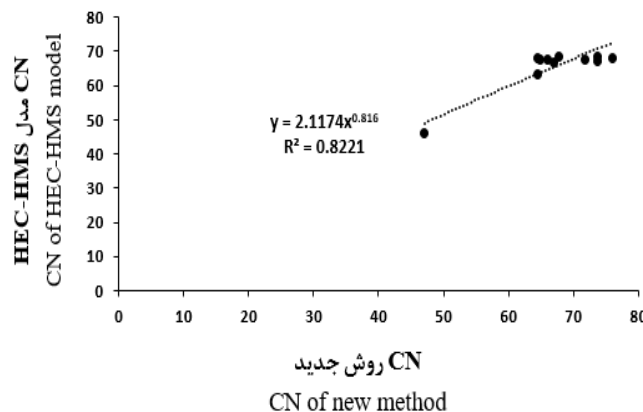
شکل ۴- نمودار همبستگی بین شماره منحنی و شاخص سطح برگ سالانه
Figure 4- Correlation chart between annual curve number and leaf area index

نش- ساتکلیف ۰/۷۲ نشان داد که این رابطه جهت محاسبه شماره منحنی با استفاده از عامل کمکی شاخص سطح برگ از دقت خوبی برخوردار است. این نتایج با ضریب همبستگی ۰/۷۶ در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است. از طرفی این موضوع از نزدیکی نقاط مربوط به مقدار شماره منحنی به خط برازش در شکل ۵ نیز قابل تشخیص است. از طرفی طبق این نمودار رابطه به‌دست آمده مقدار شماره منحنی را در محدوده بین ۶۰ تا ۷۰ بیشتر و مقادیر بالای ۷۰ را کمتر از مقدار شماره منحنی مدل برآورد نموده است. به طور کلی ضریب همبستگی ۰/۸۲ نشان می‌دهد که رابطه به‌دست آمده در این مطالعه مقدار شماره منحنی حوضه مورد مطالعه را با استفاده از عامل کمکی شاخص سطح برگ با دقت خیلی خوبی برآورد می‌کند.

از آنجا که روش شماره منحنی، تغییرات فصلی و ماهانه پوشش گیاهی را در نظر نمی‌گیرد، پس از بررسی رابطه همبستگی بین مقادیر شماره منحنی و شاخص سطح برگ، رابطه زیر جهت محاسبه شماره منحنی در حوضه مورد مطالعه پیشنهاد شد. این رابطه از شاخص سطح برگ به عنوان یک عامل کمکی به منظور اعمال تغییرات زمانی پوشش گیاهی استفاده می‌کند.

$$\frac{\overline{CN}}{CN_i} = 1 + \left(\frac{LAI_i}{1.6}\right)^{4.1} \quad (3)$$

که در رابطه فوق، \overline{CN} میانگین وزنی شماره منحنی حوضه برای کل دوره آماری، CN_i شماره منحنی در زمان i و LAI_i شاخص سطح برگ در زمان i می‌باشد. دقت رابطه به‌دست آمده بر حسب مقادیر شماره منحنی حاصل از مدل و مقادیر حاصل از رابطه به‌دست آمده با استفاده از ضریب کارایی نش- ساتکلیف بررسی شد. مقدار ضریب



شکل ۵- نمودار همبستگی بین مقادیر شماره منحنی مدل HEC-HMS و شماره منحنی محاسباتی با استفاده از شاخص سطح برگ
Figure 5- Correlation chart between the values of curve number of HEC-HMS model and computational curve number using the leaf area index

نتیجه‌گیری

در این مطالعه رابطه بین شماره منحنی حوضه آبخیز با شاخص سطح برگ بررسی شد. به‌این منظور ابتدا هیدروگراف جریان ایستگاه هیدرومتری پل کره‌بس، با استفاده از مدل HEC-HMS و تابع انتقال به روش شماره منحنی شبیه‌سازی شد. ضعف مدل در قسمت شبیه‌سازی بازوی پایین رونده هیدروگراف‌های هر رویداد است که نشان می‌دهد زهکشی آب نگهداشته شده در سطح حوضه توسط مدل به خوبی شبیه‌سازی نشده است که بیشتر به آب پایه هیدروگراف مرتبط می‌شود، درحالی‌که در بخش رواناب سطحی عملکرد بهتر بوده، اما در حالت کلی می‌توان گفت دبی اوج و حجم سیلاب کمتر از مقدار واقعی آن برآورد شده است. با این حال مدل برخی قسمت‌های مربوط

از این ارتباط می‌توان برای تبدیل محصولات سنجش از دور شاخص برگ به شماره منحنی استفاده کرد، لذا با فرض یک شماره منحنی حداقل (عموماً عدد ۴۰ به‌این منظور انتخاب می‌شود)، می‌توان معادله زیر را برای برقراری رابطه بین شماره منحنی و شاخص سطح برگ در این حوضه توسعه داد:

$$CN_i = CN_{min} + (100 - CN_{min}) \times \text{EXP}(a \times LAI_i) \quad (4)$$

که در رابطه فوق، CN_i ، CN_{min} و LAI_i به ترتیب شماره منحنی در زمان i ، حداقل شماره منحنی و شاخص سطح برگ در زمان i می‌باشند. ضریب a نیز عددی تجربی است که در این حوضه معادل ۱/۲- می‌باشد و برای سایر حوضه‌ها مقدار آن باید از خصوصیات محلی ارتباط بارش-رواناب با شاخص سطح برگ تعیین شود.

بافت خاک، شیب، رطوبت اولیه خاک و عوامل دیگر بر مقدار رواناب تأثیر می‌گذارند. تغییرات زمانی و مکانی عواملی مانند شماره منحنی و شاخص سطح برگ در حوضه به شناخت بهتری از رابطه بارش و رواناب می‌انجامد. زیرحوضه‌هایی که مقدار شماره منحنی در آن‌ها نسبتاً بالاتر است، بیش از سایر زیرحوضه‌ها مستعد جریان‌های سیل‌آسا و دبی‌های اوج تند هستند. نوع کاربری اراضی و بافت خاک در مقدار شماره منحنی تأثیر محسوسی دارند. این در حالی است که در بازه‌های زمانی مورد نظر در هیدرولوژی، نقشه خاک حالت نسبتاً ایستایی دارد، ولی نقشه کاربری پویایی زیادی نشان می‌دهد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که این مطالعه بر استفاده از محصولات سنجش از دور در درک این پویایی تکیه دارد و بدین منظور دو رابطه برای ارتباط بین شاخص برگ مستخرج از داده‌های سنجش از دور و شماره منحنی توسعه داده شده که امکان ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر شماره منحنی در بازه‌های زمانی مختلف را فراهم می‌آورند. با توجه اهمیت شرایط منطقه‌ای در مطالعات هیدرولوژی این معادلات به صورت اولیه می‌باشند و پیشنهاد می‌شود در مورد حوضه‌های دیگر مورد بررسی و واسنجی و اعتبارسنجی قرار گیرند.

به هیدروگراف هر رویداد را به خوبی شبیه‌سازی نموده است. شماره منحنی حوضه از عوامل مؤثر بر دبی اوج حوضه است به طوری که با افزایش مقدار شماره منحنی متوسط‌گیری شده سالانه، افزایش دبی اوج در هیدروگراف شبیه‌سازی شده، مشاهده می‌شود. این اثر در سال ۲۰۰۶ که مقدار جریان افزایش چشمگیری داشته، بیشتر نمایان شده است. همچنین بررسی مقدار متوسط شماره منحنی و شاخص سطح برگ سالانه طی دوره آماری مورد مطالعه نشان داد که با افزایش شاخص سطح برگ، مقدار شماره منحنی و در نتیجه دبی اوج و حجم سیلاب در حوضه کاهش یافته است. مقدار شماره منحنی زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد که امکان وقوع سیلاب در زیرحوضه‌های ۱ و ۲ که دارای مقدار شماره منحنی بیشتری هستند به دلیل داشتن شیب کم، بیشتر است. لذا از این ارتباط فرآیندی می‌توان جهت کنترل سیل و پیشگیری از خسارات، اقدامات لازم کنترلی را از طریق افزایش پوشش گیاهی در این مناطق انجام داد. زیرحوضه‌های ۳ و ۴ دارای تنوع شیب بیشتری هستند و به دلیل پوشش گیاهی جنگل نیمه انبوه، شماره منحنی این زیرحوضه‌ها کمتر می‌باشد. رابطه بین بارش و رواناب در حوضه به صورت غیر خطی و پیچیده است و عوامل بسیاری از جمله شماره منحنی، پوشش گیاهی،

منابع

1. Abu-hashim M., Mohamed E., and Belal A.E. 2015. Identification of potential soil water retention using hydric numerical model at arid regions by land-use changes. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(4):305-315.
2. Arekhi S. 2012. Runoff modeling using HEC-HMS model (Case study: Khan Watershed, Iran). *International Journal of Agriculture and Crop Science*, 4(23):1807-1811.
3. Choudhari K., Panigrahi B., and Chandra P. 2014. Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 5(2):253-265.
4. Chow V.T., Maidment D.R., and Mays L.W. 1988. *Applied hydrology*, New York: McGraw-Hill.
5. Coyea M.R., and Margolis H.A. 1994. The historical reconstruction of growth efficiency and its relationship to tree mortality in balsam fir ecosystems affected by spruce bud worm. *Canadian Journal of Forest Research*, 24:2208-2221.
6. Dai X., and Khorram S. 1999. A feature-based image registration algorithm using improved chain-code representation combined with invariant moments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(5): 2351-2362.
7. Faridhosseini A., Astarai A.R., Sanaeinejad S.H., and Mirhoseini Moosavi P. 2012. Estimation of Leaf Area Index Using IRS Satellite Images. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(3):577-582. (In Persian)
8. Gholami V., Bashirgonbad M., Azodi M., and Jokar Sarhangi E. 2010. The influence of land use changes on intensifying runoff generation and flood hazard in Kasilian Watershed. *Iran-Watershed Management Science and Engineering*, 3(9):55-58. (In Persian with English abstract)
9. Gitau M.W., and Chaubey I. 2010. Regionalization of SWAT Model Parameters for Use in Ungauged Watersheds. *Water*, 2: 849-871.
10. Hamdami Gh., Sheidai Karkaj E., and Akbari Majdar H. 2012. Constructing curve number map (CN) for Maraveh-Tappeh Watershed using GIS. *Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources*, 1(3):1-8. (In Persian with English abstract)
11. Hawkins R.H. 1993. A symptotic determination of runoff curve numbers from data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 119(2):334-345.

12. Hawkins R.H., Ward T. J., Woodward D. E., and Van Mullem J. A. 2008. Curve number hydrology: State of the practice. American Society of Civil Engineering, Washington.
13. King K.W., and Balogh J.C. 2008. Curve numbers for golf course watersheds. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers, 51(3):987-996.
14. Kosmas C., Danalatos N.G., and Gerontidis St. 2000. The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Mediterranean conditions. Catena, 40(1):3-17.
15. Krause P, Boyle D.P., and Base F. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Advances in Geosciences, 5:89-97.
16. Liu R., Chen J.M., Liua F., Deng R., and Sunk D. 2007. Application of a new leaf area index algorithm to China's land mass using MODIS data for carbon cycle research. Journal of Environmental Management, 85:649-658.
17. Mahdavi M. 2002. Applied hydrology, Tehran University press. (In Persian)
18. Mathevet T., Michel C., Andreassian V., and Perrin C. 2006. A bounded version of the Nash-Sutcliffe criterion for better model assessment on large sets of basins. International Association of Hydrological Sciences Publication, 307:211-219.
19. Melesse A.M., and Shih S.F. 2002. Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS. Computers Electronics in Agriculture, 37(1):173-183.
20. Michel C., Andreassian V., and Perrin C. 2005. Soil conservation service curve number method: How to mend a wrong soil moisture accounting procedure?. Water Resource Research, 41(2):1-6.
21. Mishra S.K., and Singh V.P. 2006. A relook at NEH-4 curve number data and antecedent moisture condition criteria. Hydrological Processes, 20(13):2755-2768.
22. Nash J.E., and Sutcliffe J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models 1: a discussion of principles. Journal of Hydrology, 10:282-290.
23. Nastiti K.D., Kim Y., Jung K., and An H. 2015. The application of Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) model for inundation case in upper Citarum Watershed, West Java-Indonesia. Procedia Engineering, 125:166-172.
24. Oleyiblo J.O., and Li Z.J. 2010. Application of HEC-HMS for flood forecasting in Misai and Wan'an catchments in China. Water Science and Engineering, 3(1):14-22.
25. Pandey A., and Sahu A.K. 1999. Generation of curve number using remote sensing and Geographic Information system, north eastern regional institute of science and technology, Department of agricultural engineering, India. Letter 2. 15p.
26. Ponce V.M., and Hawkins R.H. 1996. Runoff curve number: has it reached maturity? Journal of Hydrologic Engineering, 1(1):11-18.
27. Reshma T., Venkata Reddy K., and Deva P. 2013. Simulation of Event Based Runoff Using HEC-HMS model for an Experimental Watershed. International Journal of Hydraulic Engineering, 2(2):28-33.
28. Romero P., Castro G., Gomez J.A., and Fereres J.A. 2007. Curve number values for olive orchards under different soil moisture management. Soil Science Society of America Journal, 71(6):1758-1769.
29. Saghafian B., Farazjoo H., Sepehr A., and Najafinejad A. 2006. Evaluation of landuse effect on watershed flooding of Golestan Dam. Water Resource Researches of Iran, 3(1):18-28. (In Persian with English abstract)
30. Sellers P.J., Randall D.A., Collatz G.J., Berry J.A., Field C.B., Dazlich D.A., Zhang C., Collelo G.D, and Bounoua L. 1996. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs, Part I: Model Formulation. Journal of Climate, 9:676-705.
31. Sharma K.D. 1998. The hydrological indicators of desertification. Journal of Arid Environments, 39:121-132.
32. Shokri S., Behnia A.A., Radmanesh F., and Akhond Ali A.M. 2012. Watershed flood hydrograph estimation using HEC-HMS and Geographic Information System (case Study: Idanak watershed). Journal of Watershed Management Research, 3(5):63-80. (In Persian with English abstract)
33. Sumarauw J.S.F., and Ohgushi K. 2012. Analysis on curve number, land use and land cover changes and the impact to the peak flow in the Jobaru River Basin, Japan. International Journal of Civil and Environmental Engineering, 12(02):17-23.
34. Wanielista M.P. 1990. Hydrology and Water Quantity Control. Wiley, New York.

Curve Number Estimation Based on the Leaf Area Index (A Case Study: Kareh-BasBasin)

K. Abdollahi^{1*} - S. Bayati²

Received: 06-09-2018

Accepted: 22-10-2018

Introduction: Curve number (CN) is a hydrologic parameter used to predict the direct runoff depth or the excessive rainfall that infiltrates into the soil. This parameter, which indicates surface water retention, is very important in the processes relating to flooding. Vegetation of the region is a major factor affecting peak flow and flood volume. The peak flow is highly influenced by the land surface characteristics, for example at the time that vegetation coverage is naturally low or while vegetated areas are decreasing, the peak discharges increase as well. In this study, the flood hydrograph of Kareh-Bas Basin was simulated using the HEC-HMS model. The simulation was used to estimate the values of the annual curve number in the basin of interest.

Materials and Methods: Model data requirements for this study were temperature, precipitation, and evapotranspiration and discharge time series. The model was calibrated for the period 2000-2010. Then, the model was implemented independently for simulating of rainfall-runoff for each year without any change in the optimized parameters. The model was calibrated only by changing curve number. The average curve number of the basin for each year was computed using the weighted mean method. The MODIS leaf area index raster maps were downloaded from the Modis site. The maps were converted into ASCII format for spatial statistics and calculating the monthly spatial average. The correlation between the curve number and leaf area index was investigated by a nonlinear curve fitting. This lead to the development of a curve number as a function of the vegetation cover for each year. Finally, the accuracy of the developed relationship was investigated using the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient by comparing the curve number obtained from the HEC-HMS model and the simulated values from the new relationship.

Results and Discussion: The obtained Nash-Sutcliffe coefficient of 0.58 showed that the HEC-HMS model was capable to simulate the flood hydrograph with relatively good accuracy. The sub-basin spatial mean showed that the sub-basins 1 and 2 take the highest curve number values. This indicates that surface water retention in these sub-basins is less than the other sub-basins, which may lead to a sharper hydrological response or flood. In sub-basins 3 and 4, where vegetation density is higher thus land use acts as a predominant factor in hydrological behavior of these sub-basins, the curve number was lower. The study shows the hydrological response depends on the temporal variation of the land cover, for instance in 2010, when the leaf area index increased by a factor of 1.4, the curve number has decreased to 47. As it is predictable with decreasing vegetation the peak discharge and flood volume was increasing. We found a direct nonlinear relationship between basin scale Leaf Area Index and Curve Number with a correlation coefficient of 0.7, indicating that the variation of the curve number is a function of the leaf area index. The developed model allows calculating curve number values based on the remotely sensed leaf area index. This relationship can be used as an auxiliary function for capturing the vegetation changes and dynamics. The accuracy of the derived equation was evaluated in terms of Nash-Sutcliffe's efficiency coefficient. A value of Nash-Sutcliffe coefficient of 0.72 showed that this relationship is good enough for calculating basin or sub-basin curve number values capturing the dynamics of leaf area index.

Conclusions: The obtained Nash-Sutcliffe efficiency coefficient from HEC-HMS showed that the model was able to simulate the flood hydrograph of Kareh-bas basin with relatively good accuracy. However, the visual interpretation shows there is a weakness in the simulation of the falling limb of the simulated hydrographs. This may be an indication that the drainage of stored water at the basin was not well-simulated by the model. In general, it can be said that peak discharge and flood volume were under-estimated. By increasing the curve number, the peak discharge values also were increasing. The pair data for spatially weighted values for curve number and averaged annual leaf area index showed that an increase in leaf area index leads to a lower value in obtained curve number. This may result in lower peak discharge and volume of the flood. Such relationships may be taken as a measure for flood control. Meanwhile remotely sensed leaf area index products may be considered as an opportunity to capture the dynamics of the land cover.

Keywords: Flood, HEC-HMS, Simulation, Vegetation cover

1 and 2- Assistant Professor of Natural Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Geosciences, and Former Graduate Student of Water Resources, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord

(* - Corresponding Author Email: kabdolla@sku.ac.ir)