ارزیابی اثربخشی هیدرولوژیکی تغییرات کاربری اراضی برمبنای سیستم مدلسازی آبخیز (WMS)

نفیسه مقدسی[1*]، واحدبردی شیخ [2]و ایمان کریمی‌راد[3].

*۱ و *- نویسنده مسوول: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، (nafisehmogadasi@yahoo.com)*

۲- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، (v.sheikh@yahoo.com)

۳- دانشجوی دکتری منابع آب گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، (ikarimirad@yahoo.com)

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تاثیرات تغییر کاربری اراضی بر وقوع سیلاب در حوزه آبخیز سد بوستان صورت گرفت. بدین منظور از سیستم مدل‌سازی حوزه آبخیز (WMS) برای مقایسه دو مقطع زمانی سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ استفاده گردید. پس از واسنجی و اعتباریابی مدل، اثر تغییرات کاربری اراضی در تولید رواناب و خطر سیلاب در این دوره ۱۰ ساله مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحقیق حاکی از تغییر ناچیز مقدار شماره منحنی کلی حوضه می‌باشد. تغییرات مقادیر شماره منحنی در هر یک از زیرحوضه‌ها به گونه‌ای بوده است که زیرحوضه‌های تاثیرگذار در تولید سیلاب با کاهش شماره منحنی همراه بوده و در نتیجه اقدامات بیولوژیک صورت گرفته در این بازه زمانی در کاهش حجم و دبی پیک سیلاب اثربخش بوده است. همچنین با حساسیت‌سنجی مدل مشخص گردید درصورت ۵ درصد کاهش در شماره منحنی، می‌توان تا ۴۰ درصد در دبی اوج سیلاب حوضه کاهش ایجاد نمود. از سوی دیگر در صورت افزایش ۵ درصدی شماره منحنی ، ۶۰ درصد دبی اوج سیلاب حوضه افزایش خواهد یافت.

واژگان کلیدی: کاربری اراضی، سیلاب، ارزیابی، سیستم مدلسازی آبخیز، سدبوستان.

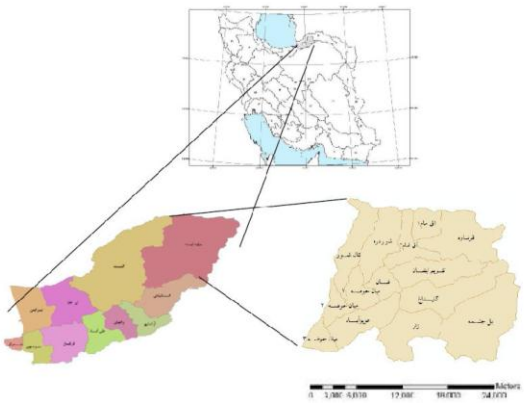
۱- مقدمه

به سبب خسارت‌های فراوان سیل به منابع به ویژه آب و خاک، مهار و بهره‌برداری از آن یکی از سیاست‌های اصلی آبخیزداری کشور می‌باشد (مفتاح هلقی و همکاران، ۱۳۸۹). واکنش هیدرولوژیک یک آبخیز، نماینده جامعی از شرایط و خصوصیات آن می‌باشد و تغییرات کاربری اراضی ممکن است سلامتی کل آبخیز و عملکرد آن را تحت تاثیر قرار دهد (میلر و همکاران، ۲۰۰۲). تاثیرات هیدرولوژیک کاربری اراضی و مدیریت پوشش گیاهی از راه‌های مختلفی مانند رواناب، دبی حداقل، دبی حداکثر، رطوبت خاک، تبخیر و تعرق و غیره آشکار می‌شود (سیکا و همکاران، ۲۰۰۳).

در این بخش به برخی از مطالعات صورت گرفته در داخل و خارج کشور پرداخته شده است. ثقفیان و همکاران (۱۳۸۵) با تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل تک واقعه HEC-HMS اثرات تغییر پوشش گیاهی بر دبی اوج و حجم سیل در حوزه آبخیز سدگلستان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که به علت تغییر کاربری اراضی و تخریب جنگل‌ها و مراتع، دبی اوج سیل در دوره بازگشت ۵ ساله به میزان ۳۱/۷٪ افزایش یافته است. غلامی و همکاران (۱۳۸۸)، اثر تغییرات کاربری اراضی در ایجاد رواناب و خطر سیلاب را در حوزه آبخیز کسیلیان بررسی نمودند. نتایج پژوهش آنان حاکی از افزایش پتانسیل تولید رواناب و خطر سیلاب در اثر تغییرات کاربری اراضی بوده است. حسینی (۱۳۹۱)، به ارزیابی مدل WMS در تعیین دبی حداکثر سیلاب در استان خوزستان پرداخت. نتایج نشان داد که مدل WMS تطابق مناسبی را با سیلاب محاسباتی با معادلات تجربی در استان خوزستان نشان می‌دهد. اگرچه وقوع سیل در نگرش اولیه تابع وقایع اقلیمی به ویژه مقدار، شدت، توزیع مکانی و زمانی بارندگی است اما ویژگی‌های مختلف آبخیز مانند پوشش گیاهی و کاربری اراضی و دخالت انسان نیز در وقوع سیل تاثیر عمده دارد. در این تحقیق سعی شده است تا تاثیر تغییرات کاربری اراضی بر رژیم سیلابی آبخیز سد بوستان مورد بررسی قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز سدبوستان یکی از زیرحوزه‌های گرگانرود واقع در شرق استان گلستان و شمال شرقی شهرستان کلاله می‌باشد. شکل۱، موقعیت حوزه آبخیز سدبوستان در ایران و استان گلستان را نشان می‌دهد. مساحت حوضه حدود ۱۵۶۲ کیلومترمربع است. این حوضه در محدوده عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۴ دقیقه شرقی واقع شده است.



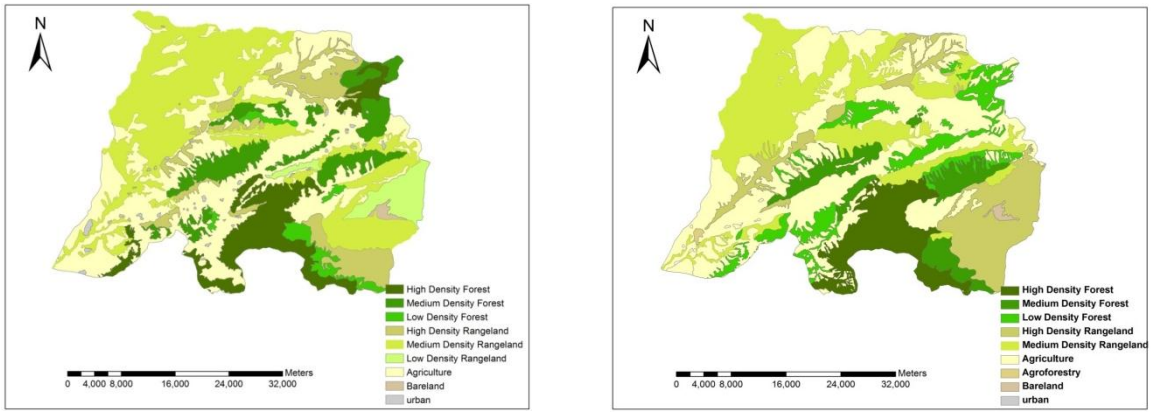
شکل (۱) موقعیت حوزه آبخیز سدبوستان در ایران و استان گلستان

حوزه آبخیز یک سیستم باز می‌باشد، با توجه به پیچیدگی‌های آن و برای دست‌یافتن به اهداف مورد نظر اقدام به مدلسازی می‌شود. از طریق مدلسازی هزینه مطالعه برای سامانه‌های پیچیده کاهش یافته، همچنین از طریق تحلیل نتایج می‌توان با پیش بینی آینده، حوزه آبخیز را مدیریت کرد (ندیمی و همکاران، ۱۳۹۱). یکی از نرم‌افزارهایی که قادر به مدل‌سازی هندسی و هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز می‌باشد، نرم افزار WMS است (جاجرمی‌زاده، حسونی‌زاده و عباسی‌چناری، ۱۳۹۱).

این نرم‌افزار به کمک محققان دانشگاه برینگهام در سال ۱۹۹۸ و با همکاری بخش مهندسین ارتش آمریکا تکمیل شده است. به علت این که مدل‌های مناسب و متنوع هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در نرم‌افزار WMS گنجانده شده است، امروزه کارشناسان در سرتاسر جهان برای مدیریت حوزه‌های آبخیز و پیگیری نتایج طرح‌های خود از این نرم افزار استفاده می‌کنند.

با بکارگیری سیستم مدلسازی حوزه آبخیز، میزان تاثیر تغییرات کاربری اراضی در ایجاد رواناب در سطح حوزه آبخیز سدبوستان مورد مطالعه قرار گرفت. مدل رقومی ارتفاع (DEM) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد سپس سطح حوضه در محیط WMS به ۱۴ زیرحوضه تفکیک گردید. برای ارائه مدل بارش-رواناب از روش SCS، برای برآورد ارتفاع رواناب از روش شماره منحنی و برای روندیابی در آبراهه‌ها از روش Lag استفاده شد. بهینه‌سازی مدل با تغییر شماره منحنی انجام گرفت و در مرحله بعد کارایی مدل هیدرولوژیک بهینه‌سازی شده با مقایسه نتایج بدست آمده از بکارگیری مدل برای شبیه-سازی هیدروگراف سه واقعه دیگر سیلاب، با هیدروگراف سیلاب‌های ثبت شده مورد تایید قرار گرفت. پس از اعتباریابی مدل هیدرولوژیک حوزه سدبوستان، تغییرات در کاربری اراضی با معیار شماره منحنی، برای چند واقعه بارش اعمال گردید.

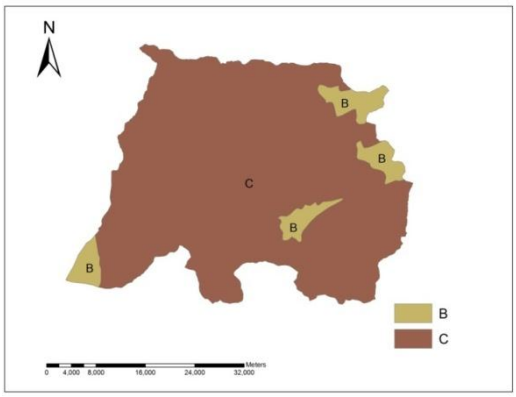
در این تحقیق روند تخریب جنگل‌ها و تغییرات کاربری اراضی با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه شد. برای بررسی تغییرات کاربری اراضی، از نقشه کاربری اراضی سطح حوضه در دو مقطع زمانی سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ که در شکل ۲ نشان داده شده است، استفاده گردید زیرا عمده اقدامات بیولوژیک انجام شده در این حوضه در این بازه زمانی صورت گرفته است.



ب)　　الف)

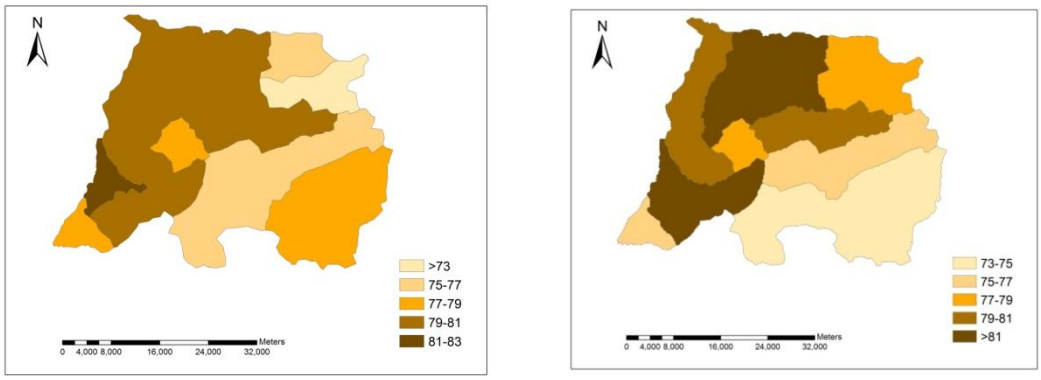
شکل (۲) نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز سدبوستان الف) سال ۱۳۷۵ ب) سال ۱۳۸۵

گروه‌های هیدرولوژیک خاک از جمله اطلاعات مهم و اساسی برای یک مدل بارش-رواناب می‌باشند که در میزان رواناب حاصل از یک بارش تعیین کننده می‌باشند. نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک حوضه در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل (۳) گروه‌های هیدرولوژیک خاک حوزه آبخیز سدبوستان

برای تهیه نقشه شماره منحنی، نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک با هر یک از نقشه‌های پوشش گیاهی مذکور (سال-های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵) در محیط WMS تلفیق شد و سپس با استفاده از جدول مربوط به تعیین CN، شماره منحنی در هر واحد تعیین شد. شکل۴، نقشه شماره منحنی آبخیز سدبوستان را در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ نشان می‌دهد.



ب الف

شکل (۴) نقشه شماره منحنی آبخیز سدبوستان الف) سال ۱۳۷۵ و ب) سال ۱۳۸۵

به منظور شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در مدل WMS، نیاز به هیدروگراف سیل‌های مشاهده شده و بارندگی مولد هر هیدروگراف سیل می‌باشد. بدین منظور اطلاعات سیلاب‌های ثبت شده از ایستگاه هیدرومتری تمر که در خروجی حوضه قرار دارد جمع‌آوری شد. برای تعیین بارش مولد سیل، آمار بارندگی روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل و اطراف آبخیز سدبوستان از شرکت آب منطقه‌ای گلستان تهیه شد که مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل و اطراف آبخیز سدبوستان

نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی		ارتفاع از سطح دریا به متر	تاریخ تاسیس
	طول	عرض		
تمر	۵۵ ۲۹	۳۷ ۲۸	۱۳۲	۱۳۴۴
پارک ملی گلستان	۵۵ ۴۹	۳۷ ۲۴	۴۶۰	۱۳۷۶

قرناق	۵۵ ۴۳	۳۷ ۴۳	۵۰۰	۱۳۷۵
گلیداغ	۵۶ ۰۰	۳۷ ۳۹	۱۰۰۰	۱۳۷۵
پیشکمر	۵۵ ۳۵	۳۷ ۳۶	۲۵۰	۱۳۴۹
زاو بالا	۵۵ ۴۵	۳۷ ۳۱	۷۰۰	۱۳۷۶

لازم به ذکر است در این مطالعه از روش خودکار به منظور واسنجی مدل استفاده گردیده است. همچنین شماره منحنی به عنوان پارامتر مورد نظر جهت واسنجی مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تحلیل کیفیت نتایج مدل از شاخص آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ، ضریب تبیین (r^2)، ضریب ناش ساتکلیف (E) و شاخص تطابق (d) استفاده گردید که روابط مربوطه در زیر آمده است:

$$Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i(t)-P_i(t))^2}{n}}$$

رابطه۱: (جذر میانگین مربع خطا)

که در آن Z تابع هدف، $O_i(t)$ مقدار دبی مشاهده شده در زمان t، $P_i(t)$ مقدار دبی محاسبه شده در زمان t و n تعداد مشاهدات می‌باشد. این شاخص نشان دهنده میزان خطا بوده و از این رو هرچه به صفر نزدیکتر باشد بهتر است.

$$r^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})(P-\bar{P})_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(P_i-\bar{P})^2}} \right)^2$$

رابطه۲: (ضریب تبیین)

میزان r^2 بین ۰ تا ۱ است که هرچه به یک نزدیکتر باشد، همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی بالاتر است.

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2}$$

رابطه۳: (روش ناش ساتکلیف)

میزان E بین منفی بی نهایت و یک متغیر است که هر چه به یک نزدیکتر باشد، تطابق بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی بالاتر خواهد بود.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i-\bar{O}|+|O_i-\bar{O}|)^2}$$

رابطه ۴: (روش شاخص تطابق)

میزان d بین ۰ تا ۱ متغیر است که هرچه به یک نزدیکتر باشد، تطابق بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی بالاتر است.

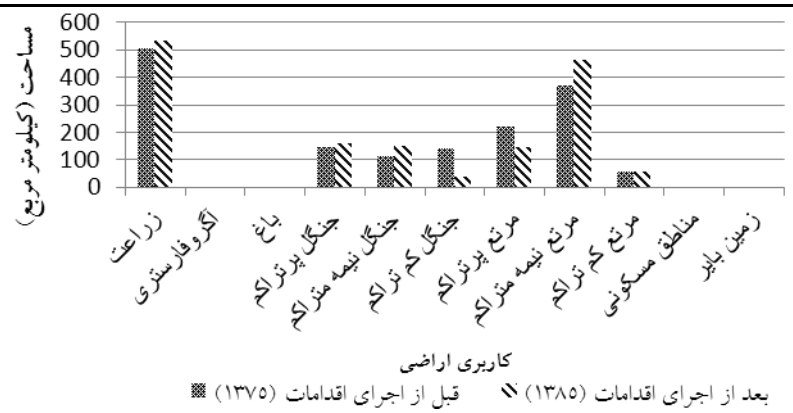
در پایان آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامتر شماره منحنی انجام گرفت. بدین منظور منحنی تغییرات نتایج مدل نسبت به تغییر این پارامتر ترسیم گردید. در این تحقیق حساسیت دبی اوج سیل در خروجی حوزه نسبت به شماره منحنی بررسی گردید. بدین منظور این پارامتر از ۱۰- درصد تا ۱۰+ درصد تغییر داده شده و اثر آن بر دبی سیل تعیین و منحنی تغییرات آن نیز ترسیم گردید.

۳- نتایج

با بکارگیری قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی، تغییرات کاربری اراضی بررسی گردید که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول (۲) توزیع فراوانی و مساحت کاربری‌های مختلف منطقه مورد مطالعه

کاربری	۱۳۷۵		۱۳۸۵		درصد تغییرات
	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد از کل حوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد از کل حوضه	
زراعت	۵۰۸/۳۱	۳۲/۲۰	۵۳۳/۰۲	۳۳/۷۶	۱/۵۶
آگروفارستری	۲/۱۴	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۰۱	-۰/۱۳
باغ	۰/۸۱	۰/۰۵	۰/۳۰	۰/۰۲	-۰/۰۳
جنگل پرتراکم	۱۴۵/۳۶	۹/۲۱	۱۶۱/۷۳	۱۰/۲۴	۱/۰۳
جنگل نیمه متراکم	۱۱۶/۵۸	۷/۳۹	۱۵۲/۴۶	۹/۶۶	۲/۲۷
جنگل کم تراکم	۱۴۳/۱۹	۹/۰۷	۴۱/۰۱	۲/۶۰	-۶/۴۷
مرتع پرتراکم	۲۲۴/۳۹	۱۴/۲۲	۱۴۵/۹۲	۹/۲۴	-۴/۹۸
مرتع نیمه متراکم	۳۷۰/۴۴	۲۳/۴۸	۴۶۶/۶۸	۲۹/۵۶	۶/۰۸
مرتع کم تراکم	۶۰/۴۰	۳/۸۳	۵۹/۸۷	۳/۷۹	-۰/۰۴
مناطق مسکونی	۱/۵۱	۰/۱۰	۱۱/۶۵	۰/۷۴	۰/۶۴
زمین بایر	۴/۸۳	۰/۳۱	۶/۰۱	۰/۳۸	۰/۰۷



شکل (۵) مقایسه کاربری پوشش گیاهی در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵

نتایج مربوط به تعیین شماره منحنی در در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ در حوزه آبخیز سد بوستان در جدول ۳ ارائه شده است. در کل حوضه مقدار شماره منحنی از ۷۸/۲۱ به ۷۸/۰۵ کاهش یافته است.

جدول (۳) مقادیر شماره منحنی قبل و بعد از اجرای اقدامات آبخیزداری در زیرحوضه‌ها

زیرحوضه	سال ۱۳۷۵	سال ۱۳۸۵	درصد تغییرات
کال‌شور	۸۰/۰۶	۷۹/۶۶	-۰/۵۰
شوردره	۸۱/۵۱	۸۰/۵۲	-۱/۲۱
آق امام	۸۱/۷	۷۹/۹۴	-۲/۱۵
چنارلی	۷۸/۸۳	۷۶/۹۹	-۲/۳۳

قرناوه	۷۸/۰۴	۷۰/۲۹	-۹/۹۳
کریم ایشان	۸۲/۱۳	۷۹/۵۸	-۳/۱۰
قپان	۷۸/۹۴	۷۸/۰۷	-۱/۱۰
عزیزآباد	۸۲/۴۷	۷۹/۶۸	-۳/۳۸
زاو	۷۳/۴۴	۷۵/۱۴	۲/۳۱
گلیداغ	۷۴/۴۸	۷۵/۷۳	۱/۶۸
یل چشمه	۷۴/۴۲	۷۸/۸۲	۵/۹۱
بین حوضه ۱	۸۰/۹۵	۸۰/۵۰	-۰/۵۶
بین حوضه ۲	۸۲/۱	۸۲/۳۱	۰/۲۶
بین حوضه ۳	۷۴/۸	۷۷/۱۵	۳/۱۴
کل حوضه	۷۸/۲۱	۷۸/۰۵	-۰/۲۰

واسنجی مدل WMS به روش خودکار انجام و سپس مدل اعتباریابی گردید. واسنجی مدل روی مقادیر CN حوضه متمرکز بوده است. واسنجی و اعتباریابی مدل در سال ۱۳۷۵ با استفاده از ۵ واقعه سیلاب و برای سال ۱۳۸۵ با ۳ واقعه سیلاب در ایستگاه هیدرومتری تمر صورت گرفت. نتایج حاصله از روش‌های آماری مبین آن است که همبستگی خوبی بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های حاصل از سیستم مدلسازی حوزه آبخیز WMS وجود دارد بطوری که بالاترین مقدار همبستگی در بین روش‌های آماری متعلق به روش شاخص تطابق به میزان ۰/۹۳ می‌باشند که حکایت از همبستگی بالای بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد و کمترین مقدار متعلق به روش ناش ساتکلیف می‌باشد. جدول ۴ مقدار همبستگی بین داده-های مشاهداتی و محاسباتی، روش‌های آماری مختلف را نشان می‌دهد. جدول ۵، اثر تغییر کاربری اراضی بر دبی اوج و حجم سیل در دوره بازگشت‌های مختلف نشان داده شده است.

جدول (۴) مقدار شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل

تاریخ واقعه	جذر میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین	ضریب ناش ساتکلیف	شاخص تطابق
۱۳۷۶/۸/۱۵	۰/۵۸	۰/۹۲	۰/۵۴	۰/۹۲
۱۳۷۷/۳/۹	۰/۶۶	۰/۸۷	۰/۷۴	۰/۹۳
۱۳۷۷/۵/۳	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۶۳	۰/۹۲
۱۳۷۷/۶/۲۰	۰/۶۴	۰/۸۷	۰/۷۵	۰/۹۳
۱۳۷۸/۱/۲۱	۰/۵۷	۰/۸۹	۰/۳۲	۰/۸۷

جدول (۵) تاثیر تغییر کاربری اراضی بر دبی اوج و حجم سیل در دوره بازگشت‌های مختلف

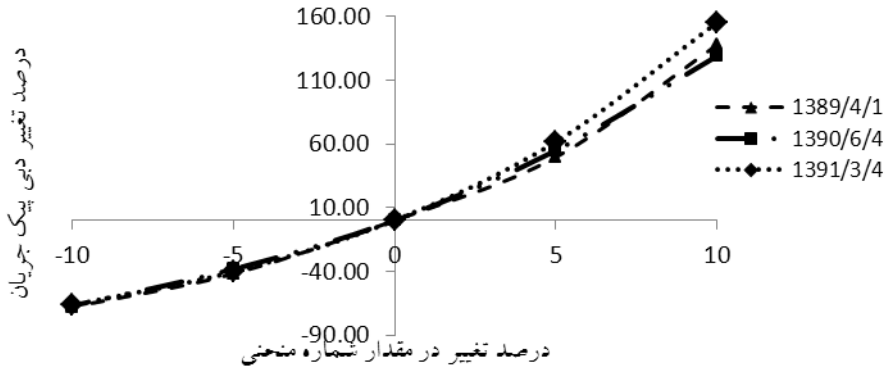
دوره بازگشت (سال)	سال(۱۳۷۵)		سال (۱۳۸۵)	
	حجم سیل (۱۰۰۰m۳)	دبی اوج (m۳/s)	حجم سیل (۱۰۰۰m۳)	دبی اوج (m۳/s)
۲	۱۱۲۱۳/۵۹	۳۲۴/۶۴	۱۱۲۰۳/۴۹	۲۸۳/۷۲
۵	۲۰۴۲۴/۰۶	۶۱۷/۴۲	۲۰۴۰۲/۲۶	۵۳۱/۵۲
۱۰	۲۶۵۷۹/۵۰	۸۱۹/۰۸	۲۶۵۱۴/۱۲	۷۰۱/۲۹
۲۵	۳۴۳۰۹/۶۴	۱۰۷۶/۰۵	۳۴۱۸۸/۸۳	۹۱۷/۶
۵۰	۳۹۸۲۰/۱۹	۱۲۶۲/۸۵	۳۹۶۶۸/۴۴	۱۰۷۴/۲۳

۱۰۰	۴۵۲۶۵/۴۳	۱۴۴۸/۱۱	۴۵۰۷۵/۴۸	۱۲۲۹/۶۴
۲۰۰	۵۰۶۹۷/۶۴	۱۶۳۳/۹۸	۵۰۴۷۳/۶	۱۳۸۵/۸۷

در بخش آنالیز حساسیت میزان حساسیت مدل با تغییر در شماره منحنی‌های زیرحوضه‌های آبخیز سدبوستان مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۶، تغییر شماره منحنی با افزایش و کاهش در میزان شماره منحنی سال ۱۳۸۵ نشان داده شده است. همچنین در این جدول تغییرات دبی اوج سیل کل حوضه متناظر با هر یک از تغییرات شماره منحنی در هر یک از وقایع ارائه شده است. شکل ۶، حساسیت دبی اوج سیل را نسبت به تغییرات شماره منحنی نشان می‌دهد.

جدول (۶) تغییر مقدار شماره منحنی و درصد تغییرات دبی اوج سیل در حوزه آبخیز سدبوستان

	۵٪ افزایش	۱۰٪ افزایش	۵٪ کاهش	۱۰٪ کاهش
مقدار شماره منحنی	۸۱/۹۵	۸۵/۸۶	۷۴/۱۵	۷۰/۲۵
۱۳۸۹/۴/۱	۴۹/۶۷	۱۳۷/۷۱	-۴۱/۹۲	-۶۸/۰۴
۱۳۹۰/۶/۴	۵۴/۸۹	۱۲۹/۰۹	-۳۸/۳۵	-۶۶/۹۹
۱۳۹۱/۳/۴	۶۱/۶۳	۱۵۵/۳۶	-۴۰/۳۲	-۶۶/۴۲



شکل (۶) آنالیز حساسیت دبی اوج سیل نسبت به تغییرات شماره منحنی

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق عکس‌العمل هیدرولوژیک حوزه آبخیز سدبوستان در دو بازه زمانی، با سیستم مدلسازی آبخیز شبیه‌سازی شد. شاخص‌های آماری مورد استفاده در این مطالعه مقادیر مناسبی را در مقایسه با داده‌های مشاهداتی و محاسباتی نشان دادند به طوری که شاخص تطابق بین ۰/۸۷ تا ۰/۹۳، ضریب تبیین بین۰/۸۷ تا ۰/۹۲ و جذر میانگین مربعات خطای استاندارد شده بین ۰/۶۶ تا ۰/۵۸ می‌باشد. همچنین شاخص ناش ساتکلیف بین ۰/۳۲ تا ۰/۷۵ محاسبه گردید. در نتیجه مدل از عملکرد مناسبی برخوردار بوده است که با نتایج حسینی (۱۳۹۱) مطابقت دارد. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت بر اهمیت پارامتر شماره منحنی دلالت داشته که جهت واسنجی مدل از آن استفاده شده است. خسروشاهی و ثقفیان (۱۳۸۴)، با توجه به آنالیز حساسیت پارامتر CN را به عنوان حساسترین پارامتر جهت واسنجی تعیین کردند.

بررسی تغییرات کاربری اراضی در کل حوزه آبخیز سدبوستان نشان می‌دهد که در دوره ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ در اثر تخریب جنگل‌ها، بیش از ۱/۵۶ درصد به وسعت اراضی زراعی افزوده شده است. پس از تهیه نقشه کاربری اراضی مشخص گردید که منطقه مورد مطالعه دارای ۱۱ نوع کاربری می‌باشد. براساس نتایج مجموع کاربری جنگل در طی ۱۰ سال از ۲۵/۷۷ به ۲۲/۵۰

درصد حوضه کاهش یافته است و در مقابل کاربری مرتع از ۳۷/۷۳ به ۴۲/۶۳ درصد سطح حوضه رسیده است. در مجموع سهم جنگل و مرتع از آبخیز ۱/۶۳ درصد رشد داشته است. نتایج تحقیق حاکی از تغییر ناچیز مقدار شماره منحنی کلی حوضه می-باشد. تغییرات مقادیر شماره منحنی در هر یک از زیرحوضه‌ها به گونه‌ای بوده است که زیرحوضه‌های تاثیرگذار در تولید سیلاب با کاهش شماره منحنی همراه بوده و در نتیجه اقدامات بیولوژیک صورت گرفته در این بازه زمانی در کاهش حجم و دبی پیک سیلاب اثربخش بوده است. به عنوان مثال در دوره بازگشت ۵ ساله، دبی اوج کل حوضه ۱۳/۹۱ درصد کاهش یافته است. همچنین با حساسیت‌سنجی مدل مشخص گردید درصورت ۵ درصد کاهش در شماره منحنی، می‌توان تا ۴۰ درصد در دبی اوج سیلاب حوضه کاهش ایجاد نمود. از سوی دیگر در صورت افزایش ۵ درصدی شماره منحنی ، ۶۰ درصد دبی اوج سیلاب حوضه افزایش خواهد یافت.

مراجع

مفتاح هلقی، مهدی، محمد ابراهیم زنگانه، ایمان کریمی راد، داوود اخضری، و محمد یاورزاده، (۱۳۸۹). **اثرات اقدامات سازه‌ای بر مدیریت منابع آب آبخیز کاشیدار**. ارائه شده در دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

خسروشاهی، محمد، و بهرام ثقفیان، (۱۳۸۴). **نقش روندیابی رودخانه در شناسایی و تفکیک مناطق سیلخیز در حوزه‌های آبریز**، ارائه شده در پنجمین کنفرانس هیدرولیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

ثقفیان، بهرام، فرازجو، حسن، سپهری، عادل، و علی نجفی نژاد، (۱۳۸۵). **بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر سیل خیزی حوزه آبخیز سدگلستان**، مجله تحقیقات منابع آب ایران، شماره۱.

غلامی، وحید، بشیرگنبد، محمد، عضدی،محمود و جوکار، عیسی، (۱۳۸۸)، **بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی در ایجاد رواناب و خطر سیلاب حوزه آبخیز کسیلیان**، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال سوم،شماره۹. ۵۵-۵۷

حسینی، یاسر، (۱۳۹۱). **ارزیابی مدل WMS در تعیین دبی حداکثر سیلاب در استان خوزستان**. ارائه شده در اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار در بخش کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست، تهران.

Miller,S.N., W.G.Kepner, M.H.Mehaffey., M.Hernandez., R.C.Miller., D.C.Goodrich.,K.Devonald., D.T.Heggem & W.P.Miller.(۲۰۰۲). *Integrating Landscape Assessment and Hydrologic Modeling for Land Cover Change Analysis*, Journal of the American Water Resources Association, Vol.۳۸, No.۴, ۹۱۵-۹۲۹.

Sikka,A.K., J.S.Sarma., V.N.Sharda., P.Samraj. & V.Lakshmanam.(۲۰۰۳).*Low Flow and High Flow Responses to Converting Natural Grassland into Bluegum (Eucalyptus globulus) in Nilgiris Watersheds of South India*, Journal of Hydrology, Vol.۲۷۰, ۱۲-۲۶.