

## محاسبه شماره منحنی رواناب حوضه آبریز با استفاده از شیوه‌های GIS و RS (مطالعه موردی: حوضه آبریز منصورآباد بیرجند)

مصطفی یعقوب‌زاده<sup>۱\*</sup>، ابوالفضل اکبرپور<sup>۲</sup>، غلامعباس بارانی<sup>۳</sup>، بهروز اعتباری<sup>۴</sup> و حمید کاردان‌مقدم<sup>۵</sup>

### چکیده

استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور به منظور تخمین رواناب حوضه آبریز در سال‌های اخیر افزایش یافته است. در این تحقیق، نقشه شماره منحنی رواناب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصاویر ماهواره لندست (ETM+) برای حوضه آبریز منصورآباد بیرجند و بر اساس فاکتورهایی مانند گروه هیدرولوژی خاک، کاربری اراضی و پوشش گیاهی تعیین شده است. نقشه وضعیت پوشش زمین با کمک شاخص‌های NDVI و VI تهیه شده و حوضه به سه کلاس مرتع خوب، نسبتاً فقیر و فقیر تقسیم‌بندی شد. نقشه کاربری اراضی حوضه با استفاده از داده‌های ماهواره لندست و نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک به کمک نقشه‌های خاک، شیب، کاربری اراضی، تشکیلات زمین‌شناسی و بازدیدهای صحرایی تهیه شد. از تلفیق نقشه‌های تهیه شده در GIS و با استفاده از جدول SCS، نقشه شماره منحنی رواناب و سپس نقشه ضریب نگهداشت سطحی حوضه تعیین شد. برای ارزیابی صحت نتایج به دست آمده از داده‌های اندازه‌گیری بارندگی و سیلاب در حوضه مورد مطالعه استفاده شد. نتایج نشان داد که دبی حداکثر سیلاب محاسبه شده به کمک شماره منحنی تخمین زده شده و مدل HEC-HMS با دبی مشاهده‌ای تا حدود زیادی تطابق دارد و این امر نشان‌دهنده صحت کافی محاسبه شماره منحنی تخمین زده شده است. از طرفی شماره منحنی به دست آمده از داده‌های سیلاب مشاهده‌ای با شماره منحنی تخمین زده شده مقایسه شد که میزان خطای  $RMSE=3/57$  و  $MRE=0/5$  بیانگر صحت تحقیقات است.

**واژه‌های کلیدی:** دبی حداکثر سیلاب، شماره منحنی رواناب، GIS، RS و HEC-HMS

**ارجاع:** یعقوب‌زاده م.، اکبرپور ا.، بارانی غ.، اعتباری ب. و کاردان‌مقدم ح. ۱۳۸۸. محاسبه شماره منحنی رواناب حوضه آبریز با استفاده از شیوه‌های GIS و RS (مطالعه موردی: حوضه آبریز منصورآباد بیرجند). مجله پژوهش آب ایران. ۳(۵):۳۱-۴۰.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۳- استاد گروه مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان

۴- کارشناس ارشد شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی

۵- دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب دانشگاه بیرجند

\* نویسنده مسئول: [mostafa.yaghoobzadeh@gmail.com](mailto:mostafa.yaghoobzadeh@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۲/۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۵/۰۶

## مقدمه

مسئله محاسبه رواناب سطحی در حوضه آبریز رودخانه موضوع پیچیده‌ای است که اطلاعات و فهم دانش بشری از قوانین فیزیکی حاکم بر آن از دیدگاه فرمول‌های ریاضی محدود است و دستیابی به میزان کمی و کیفی آن، پایه و مبنای مطالعات طرح‌های مختلف توسعه، بهره‌برداری از منابع آب و سازه‌های آبی را تشکیل می‌دهد. روش‌های مختلفی برای محاسبه رواناب وجود دارد که یکی از این روش‌ها، روش شماره منحنی رواناب<sup>۱</sup> SCS است. در روش SCS، تعیین شماره منحنی رواناب که تابعی از ویژگی‌های خاک، کاربری اراضی، پوشش گیاهی است، ضروری است. این روش بیشتر برای حوضه‌های آبریزی که در آنها داده‌های اندازه‌گیری دبی رواناب وجود ندارد، به کار می‌رود (اینسی تکی و همکاران ۲۰۰۶).

راگان و همکاران (۱۹۹۱) و همچنین تیواری و همکاران (۱۹۸۰) در مطالعات خود از داده‌های ماهواره‌ای و GIS استفاده کردند. آنها از روش حداکثر احتمال برای تهیه نقشه کاربری اراضی و شاخص NDVI را برای تهیه نقشه پوشش گیاهی منطقه به کار بردند. در نهایت به کمک این نقشه‌ها، شماره منحنی رواناب را برای منطقه مورد مطالعه‌شان مشخص کردند.

ملسی و شیخ (۲۰۰۲) برای تعیین عمق رواناب در زیر حوضه S-65A از حوضه Kissimmee در آمریکا، از روش شماره منحنی سازمان حفاظت خاک آمریکا استفاده کردند. آنها برای شناسایی بهتر، اثر تغییرات کاربری زمین را در سال‌های ۱۹۸۰، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ بر روی رواناب بررسی کردند. در تحقیق آنها از تصاویر ماهواره لندست TM, MSS و ETM+ برای تعیین نقشه کاربری زمین و پوشش گیاهی استفاده شد و نقشه پوشش گیاهی منطقه نیز با استفاده از تصاویر ماهواره و به کمک شاخص NDVI تهیه شد. در این تحقیق همچنین مشخص شد که تغییر کاربری اراضی در طی دوره زمانی ۲۰ ساله، سبب تغییر در توزیع مکانی CN و حجم رواناب خواهد شد. تغییر کاربری اراضی ممکن است بعضی تغییرات در ساخت و ساز شهری را نشان دهد که این عمل باعث عکس‌العمل رواناب، با افزایش حجم و یا افزایش دبی حداکثر رواناب شود.

سیموناهیس و همکاران (۲۰۰۵) برای تعیین اثر تغییرات کاربری اراضی و پوشش بر روی رواناب و فرسایش خاک از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و داده‌های به دست آمده از ماهواره‌های لندست TM, MSS, ETM+ استفاده کردند. از شاخص NDVI نیز برای پردازش داده‌های ماهواره و تهیه نقشه پوشش گیاهی منطقه استفاده کردند. نتایجی که آنها از این بررسی به دست آوردند، نشان داد که پتانسیل رواناب و فرسایش در مناطقی مانند جنگل‌های سوخته، مناطق شهری و مناطقی که کاملاً مورد چرا قرار گرفته نسبت به مناطق دیگر بسیار بیشتر است.

بارتو-نتو و دی‌سوزا فیلو (۲۰۰۷) برای پیش‌بینی رواناب حوضه‌های گرمسیری، روش منطق فازی را برای به دست آوردن شماره منحنی رواناب به کار گرفتند و برای اجرای این کار از مدل شماره منحنی سازمان حفاظت خاک آمریکا و زبان مدل‌سازی PCRaster استفاده کردند. شماره منحنی‌های به دست آمده از تصاویر ماهواره ASTER و شاخص LEF (شاخص پوشش گیاهی) را نیز با هم مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد که مدل بر اساس منطق فازی، مقادیر رواناب محاسبه شده را نزدیک به مقدار اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد.

اکبرپور و شریفی (۱۳۸۵) با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ETM+، نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز کامه را به روش‌های فازی دو و سه لایه و همچنین روش حداکثر احتمال تهیه کرده و نتایج آن را با هم مقایسه کردند. در نهایت از روش حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه کاربری اراضی و نقشه شماره منحنی رواناب حوضه آبریز استفاده کردند.

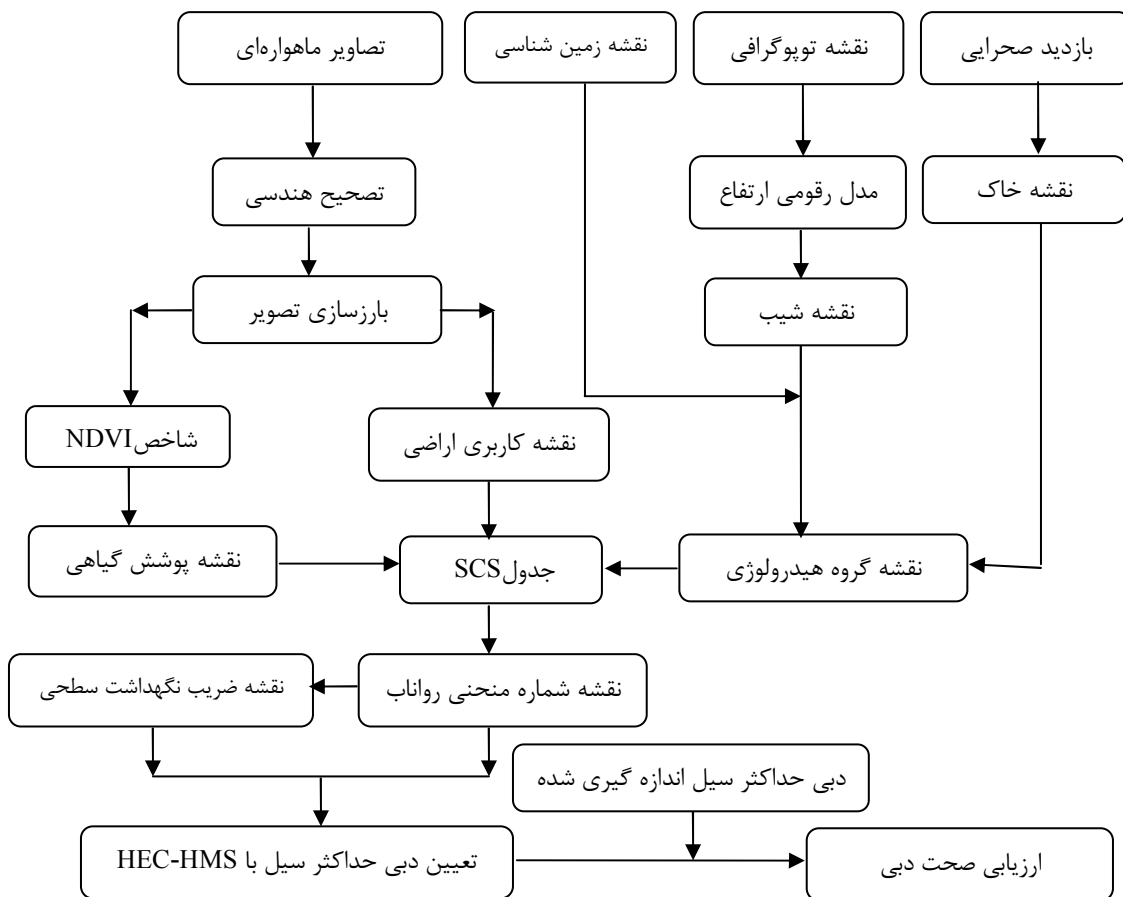
در این مطالعه ابتدا نقشه‌های شماره منحنی رواناب و ضریب نگهداشت سطحی حوضه آبریز منصورآباد بیرجند با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی، گروه هیدرولوژی خاک و پوشش گیاهی و به کمک جدول SCS تهیه شد و سپس به‌منظور ارزیابی نتایج، شماره منحنی به دست آمده از GIS و RS با مقادیر حاصل از دبی مشاهده‌ای حوضه و همچنین دبی حداکثر سیلاب حاصل از مدل بارش-رواناب HEC-HMS با مقدار مشاهده‌ای مقایسه شد.

1. Soil Conservation Services (SCS)

### مواد و روش‌ها

نرم‌افزارهای ERDAS، ILWIS، ARCVIEW، ARC GIS که سنجنده ETM+ ماهواره لندست دارای ۷ باند طیفی و یک باند PAN (باندها) که توان تفکیک باندهای ۱ تا ۷ به جز ۶، ۳۰ متر، باند ۶ که باند مادون قرمز حرارتی است ۶۰ متر و باند PAN، ۱۵ متر است. شکل ۱ نمودار گردش مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد.

به منظور اجرای این تحقیق از اطلاعات سنجنده ETM+ ماهواره لندست به تاریخ ۶ آگوست سال ۲۰۰۲ میلادی، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ رقومی و کاغذی سازمان نقشه‌برداری، نقشه‌های زمین‌شناسی، جداول استاندارد SCS و دیگر اطلاعات رقومی و چاپ شده موجود منطقه و همچنین برای تجزیه و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای از



شکل ۱- فلوچارت مراحل انجام تحقیق

حوضه نیز به ترتیب ۲۰۴ میلیمتر و ۴/۰۵ ساعت است. شکل ۲ موقعیت حوضه آبریز را بر روی نقشه ایران و استان نمایش می‌دهد.

روش‌های مختلفی برای محاسبه شدت رواناب وجود دارد، یکی از روش‌های تخمین رواناب، روش شماره منحنی رواناب SCS است. در این روش ارتفاع حاصل از یک بارندگی به صورت زیر محاسبه می‌شود (میشرا و همکاران، ۲۰۰۶).

حوضه آبریز معرف منصورآباد، در شرق استان خراسان جنوبی و ۵۰ کیلومتری شهرستان بیرجند واقع شده است. این حوضه آبریز در طول جغرافیایی ۱۰" و ۵۹'۱۴" تا ۱۷" و ۵۹'۳۶" شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳" و ۳۳' تا ۵۳" و ۳۳'۳۸" شمالی قرار گرفته است. مساحت حوضه ۲۵۲/۸۲۳ کیلومتر مربع و محیط آن ۹۶/۹۱۴ کیلومتر است. ارتفاع متوسط حوضه ۲۱۱۱ متر و شیب متوسط حوضه ۱۶/۲۵ درصد است. همچنین متوسط بارش و زمان تمرکز

مدل پیشنهاد کردند که نرخ‌های جریان ماکزیمم به‌وسیله درصدی از خطا در پیک ارزیابی شود (انجمن مهندسين عمران آمریکا، ۱۹۹۹).

$$PEP = \frac{Q_{PS} - Q_{PO}}{Q_{PO}} \cdot 100 \quad (۶)$$

که در آن  $Q_{PS}$  دبی ماکزیمم شبیه‌سازی شده،  $Q_{PO}$  دبی ماکزیمم مشاهده‌ای است.

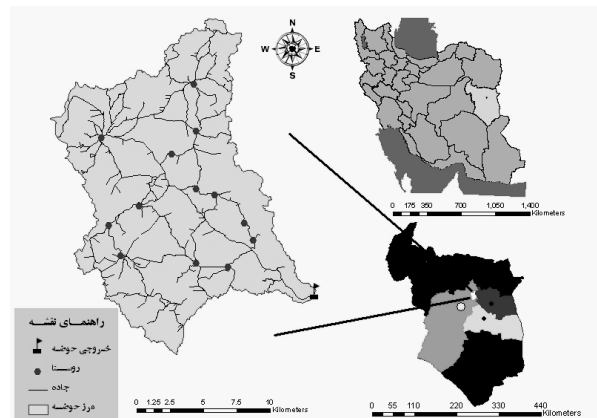
به این منظور برای تعیین شماره منحنی رواناب حوضه باید نقشه‌های کاربری اراضی، پوشش گیاهی و گروه هیدرولوژی خاک تهیه شوند که هر کدام از این نقشه‌ها نیز از نقشه‌های دیگر تشکیل شده‌اند.

به‌منظور صحت‌سنجی مقدار شماره منحنی به دست آمده، اندازه‌گیری مقادیر دبی سیلاب و میزان بارندگی حوضه مورد مطالعه ضروری است. ایستگاه ثبات حوضه آبریز منصورآباد در سال ۱۳۷۷ تأسیس شده است و طی این ۱۰ سال، تنها ۳ سیلاب با آمار دقیق اندازه‌گیری موجود است. در جدول ۱ نتایج اندازه‌گیری دبی سیلاب (هیدروگراف) در ایستگاه مذکور ارائه شده است. همچنین مقدار بارندگی ایجاد کننده سیلاب مذکور از ایستگاه هواشناسی نقج به دست آمد. بر این اساس مقدار بارش در سیلاب‌های بهمن ۷۷، اردیبهشت ۸۴ و فروردین ۸۶ به‌ترتیب برابر ۳۱/۳ و ۲۶/۱ و ۱۳/۲ میلی‌متر به دست آمد. شایان ذکر است در سه سیلاب مذکور، شرایط رطوبتی حوضه در وضعیت خشک بوده است. با توجه به این مقادیر می‌توان صحت شماره منحنی به دست آمده از حوضه را مورد ارزیابی قرار داد.

جدول ۱- مشخصات سیلاب‌های مورد مطالعه

پارامتر	بهمن ۱۳۷۷	اردیبهشت ۱۳۸۴	فروردین ۱۳۸۶
حداکثر دبی سیلاب ( $m^3/s$ )	۳/۹۳	۶/۳	۷/۲۹
زمان پایه هیدروگراف (hr)	۵۲	۲۲	۱۷
حجم سیلاب ( $m^3$ )	۶۵/۲۷	۲۵/۱۵	۲۷/۷۴
ارتفاع رواناب (mm)	۰/۹۳	۰/۳۶	۰/۳۹

برای تهیه نقشه شیب، ابتدا با استفاده از لایه‌های رقومی توپوگرافی و رودخانه ۱:۲۵۰۰۰، شبکه نامنظم مثلثی و



شکل ۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (۱)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (۲)$$

در این روابط،  $S$  ضریب نگهداشت سطحی،  $Q$  ارتفاع رواناب (میلی‌متر)،  $P$  ارتفاع بارندگی (میلی‌متر) و  $CN$  شماره منحنی رواناب است.  $CN$  حاصله، برای شرایطی است که خاک در وضعیت رطوبتی متوسط باشد یا بارندگی در زمانی صورت گیرد که قبل از آن باران دیگری باریده و خاک حوضه مرطوب باشد. در غیر این‌صورت باید  $CN$  با استفاده از معادله‌های ۴ و ۵ به‌ترتیب برای وضعیت رطوبت خشک و مرطوب تصحیح شود (ملسی و همکاران، ۲۰۰۳).

$$CN_{(I)} = \frac{4.2CN_{(II)}}{10 - 0.058CN_{(II)}} \quad (۳)$$

$$CN_{(III)} = \frac{23CN_{(II)}}{10 + 0.13CN_{(II)}} \quad (۴)$$

در این روابط،  $CN_{(I)}$ ،  $CN_{(II)}$  و  $CN_{(III)}$  به‌ترتیب، شماره منحنی برای شرایط رطوبت پیشین خشک، متوسط و مرطوب خاک است. در صورتی که شرایط حوضه از نظر عوامل مؤثر بر  $CN$  یکنواخت نباشد باید مقدار میانگین وزنی  $CN$  برای کل حوضه محاسبه شود. به این ترتیب که:

$$\overline{CN} = \left[ \sum \left( \frac{A_i}{100} \right) (CN_i) \right] \quad (۵)$$

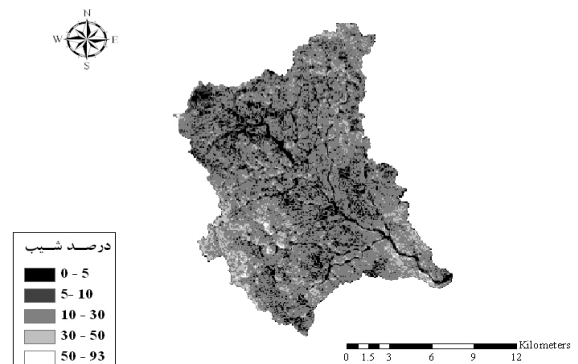
در این معادله  $\overline{CN}$  = میانگین وزنی  $CN$  در سطح حوضه و  $A_i$  = درصد مساحتی از حوضه است که شماره منحنی آن  $CN$  باشد.

برای ارزیابی مدل HEC-HMS از معیار آماری استفاده می‌شود. گرین و استیونسن (۱۹۸۶) معیاری برای ارزیابی

تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و ۶ نقطه کنترل زمینی با پراکندگی مناسب در سطح منطقه استفاده شد. تطبیق هندسی تصاویر با معادله چند جمله‌ای درجه دو انجام شد و RMS حاصل از تصحیح هندسی، کمتر از ۰/۱ به دست آمد. نقاط کنترل زمینی بیشتر در محل اتصال جاده‌ها و آبراه‌ها به هم انتخاب شده است. سپس باندهای ماهواره به جز باندهای ۶ و ۸ برای تهیه تصویر رنگی با هم ادغام شدند و عملیات بهبود کنتراست و بارزسازی بر روی تصویر رنگی انجام شد. تصویری که از ادغام باندهای ماهواره لندست حاصل شده است، قدرت تفکیک پایین ۳۰ متر دارند، به همین منظور با استفاده از باند PAN ماهواره (باند ۸)، قابلیت تفکیک تصویر به ۱۴ متر افزایش یافت. به دلیل دقت پایین کلاس‌های طبقه‌بندی شده مناطق مسکونی و جاده، این کلاس‌ها از فرآیند طبقه‌بندی حذف و برای وارد کردن این طبقات در نقشه نهایی شماره منحنی از دیگر لایه‌های اطلاعاتی سیستم جغرافیایی استفاده شد. طبقه‌بندی تصاویر، نظارت شده و با استفاده از روش حداکثر احتمال انجام شد که پس از آن برای بهبود نتایج حاصله و حذف پیکسل‌های منفرد، فیلتر نما به ابعاد ۵×۵ پیکسل آزمون شد.

برای محاسبه صحت نقشه‌های تهیه شده به کمک نرم‌افزار ERDAS، ۵۰ نمونه تصادفی بر روی نقشه طبقه‌بندی شده، انتخاب شده است. همچنین برای اینکه همه کاربری‌ها مورد ارزیابی قرارگیرند، ۱۴ نمونه دیگر طوری انتخاب می‌شوند که از هر یک از کاربری‌ها ۲ نمونه تصادفی انتخاب شده باشد تا صحت این نمونه‌ها که با واقعیت‌های زمینی مقایسه می‌شوند، تأیید شود. به این ترتیب به کمک نرم‌افزار ERDAS معیارهای صحت کاربر، صحت کلی و ضریب کاپا

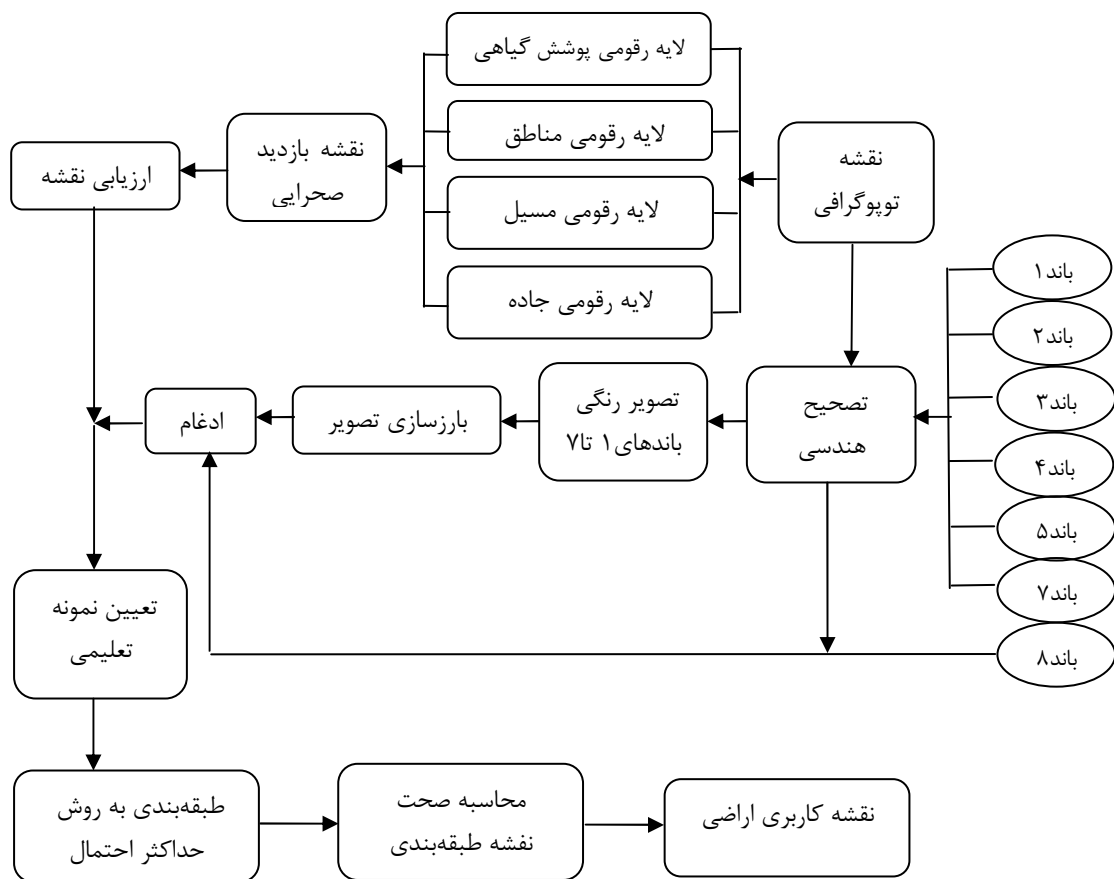
سپس مدل رقومی ارتفاع منطقه تهیه شد. مدل رقومی ارتفاع (DEM) بر اساس به کارگیری توابع درون‌یابی موجود در GIS بر روی نقشه‌های برداری تهیه می‌شود. با کمک مدل رقومی ارتفاع و با استفاده از نرم‌افزار Arcview نقشه رستری شیب تهیه شده و سپس برای تبدیل به ساختار بردار، نقشه شیب در ۵ کلاس دوباره کلاس‌بندی مجدد شده است. شکل ۳ نقشه شیب حوضه آبریز منصورآباد را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نقشه شیب حوضه آبریز منصورآباد

وجود اراضی زیاد با شیب بیشتر از ۵ درصد نشان می‌دهد که حوضه موردنظر دارای اراضی مسطح کم و مناطق مرتفع زیاد است که سبب بالارفتن پتانسیل رواناب حوضه آبریز می‌شود.

برای تهیه نقشه کاربری اراضی ابتدا به کمک نقشه توپوگرافی، نقشه اولیه کاربری اراضی یا نقشه راهنمای بازدید میدانی تهیه شد. این نقشه شامل لایه‌های رقومی مناطق مسکونی، پوشش گیاهی، مسیل و جاده است که باید در بازدید از منطقه صحت این نقشه تأیید شود. شکل ۴ نمودار گردشی مراحل تهیه نقشه کاربری اراضی را نشان می‌دهد برای تهیه نقشه نهایی کاربری اراضی از داده‌ها و اطلاعات تصاویر ماهواره لندست استفاده شده است. برای



شکل ۴- فلوچارت تهیه نقشه کاربری اراضی

فقیر و مرتع متوسط است. جدول ۲ نتایج طبقه‌بندی تصاویر لندست با استفاده از روش حداکثر احتمال را نشان می‌دهد.

جدول ۲- نتایج طبقه‌بندی تصاویر لندست برای تهیه نقشه

کاربری اراضی با کمک روش حداکثر احتمال

کاربری مرتع	زراعی و زراعی اراضی توده بستر باغی	مرتع فقیر	مرتع متوسط	صحت
۵۷	۸۳/۳۳	۱۰۰	۴۰	۷۵
کاربر (%)	۷۵	۱۰۰	۸۳/۳۳	۱۰۰
کلی (%)	۷۸/۱۳			
ضریب کاپا	۰/۷			

نتایج طبقه‌بندی نشان می‌دهد که صحت کلی و ضریب کاپا حاصل از محاسبه صحت در نقشه کاربری اراضی به ترتیب برابر ۷۸/۱۳٪ و ۰/۷ است. پایین بودن صحت کاربری‌های زراعی دیم و مرتع متوسط، سبب کاهش محاسبه صحت طبقه‌بندی و ضریب کاپای تصاویر شده است. همچنین صحت ۱۰۰٪ کاربری اراضی زراعی و باغی آبی مشخص می‌کند مناطقی که به‌عنوان اراضی زراعی و باغی آبی

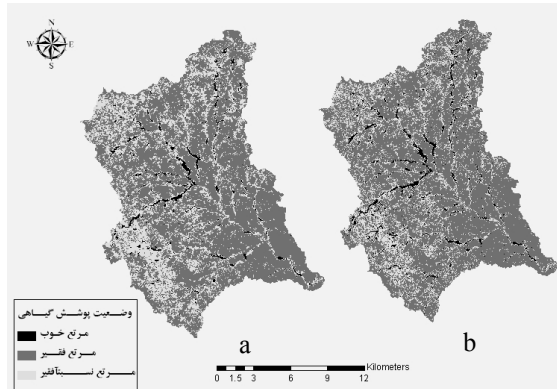
محاسبه شدند. ضریب کاپا (k) به‌منظور خلاصه کردن اطلاعات ایجاد شده به‌وسیله ماتریس خطا به‌کار برده می‌شود. این ضریب با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود (متر، ۱۹۹۹):

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} \cdot X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} \cdot X_{+i}} \quad (7)$$

که در این رابطه،  $X_{ij}$  = ورودی‌های قطری ماتریس خطا،  $X_{i+}$  = مجموع ردیف i ماتریس خطا،  $X_{+i}$  = مجموع ستون i ماتریس خطا،  $N$  = تعداد عناصر در ماتریس خطا هستند. ارزش یک معیار کاپا نشان دهنده مطابقت کامل بین اطلاعات حاصل از طبقه‌بندی و اطلاعات واقعیت زمینی است.

کاربری‌های منطقه شامل اراضی باغی دیم، اراضی بستر رودخانه، توده سنگی، زراعی دیم، زراعی و باغی آبی، مرتع

پوشش از جداول استاندارد SCS استفاده شد و با توجه به وضعیت مراتع، حوضه به سه طبقه خوب، نسبتاً فقیر و فقیر طبقه‌بندی شده است. طبقه‌بندی شده با الگوریتم حداکثر احتمال در نرم‌افزار ERDAS انجام گرفته است. شکل ۶ نقشه وضعیت پوشش گیاهی و جدول ۳ نتایج طبقه‌بندی تصاویر لندست با کمک روش حداکثر احتمال را نشان می‌دهد.



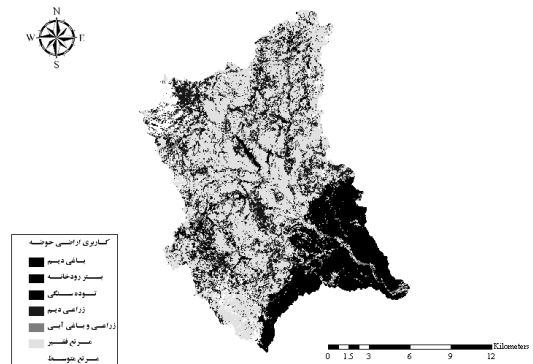
شکل ۶- نقشه پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI (a) و شاخص VI (b)

جدول ۳- مقایسه نتایج شاخص‌های پوشش گیاهی

شاخص پوشش گیاهی	ضریب کاپا	صحت کلی (%)	طبقات مراتع	صحت کاربر (%)
VI	۰/۷۷	۹۳	نسبتاً فقیر	۹۵/۱۸
NDVI	۰/۸۵	۹۳	خوب	۸۷/۵
			نسبتاً فقیر	۹۸/۴۸
			خوب	۸۵/۷۱

همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، در نقشه پوشش گیاهی به دست آمده از هر دو شاخص، صحت طبقه‌بندی مراتع نسبتاً فقیر نسبت به مراتع فقیر و خوب پایین‌تر است. زیاد بودن صحت کاربر مراتع فقیر نیز نشان دهنده افزایش دقت و سهولت طبقه‌بندی آنها نسبت به دیگر مراتع حوضه دارد. بیشتر بودن ضریب کاپای به دست آمده از شاخص NDVI نسبت به VI نیز نشان می‌دهد که نقشه حاصل از شاخص NDVI نسبت به VI واقعیت زمینی را با

شناخته شده‌اند، با احتمال زیادتری نسبت به سایر کاربری‌ها در واقعیت زمینی صدق می‌کنند (شکل ۵).



شکل ۵- نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز منصورآباد

به‌منظور محاسبه CN با توجه به جدول استاندارد SCS نیاز است که وضعیت مرتع به لحاظ تراکم پوشش مشخص شود. در این مطالعه، مقایسه‌ای بین نقشه‌های پوشش گیاهی تهیه شده به کمک دو شاخص متداول پوشش گیاهی یعنی شاخص پوشش گیاهی ساده<sup>۱</sup> (VI) و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده<sup>۲</sup> (NDVI) انجام شد و بهترین نقشه برای تهیه نقشه شماره منحنی رواناب انتخاب شد. در زیر معادلات این دو شاخص نشان داده شده است.

$$VI = \frac{NIR}{RED} \quad (8)$$

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (9)$$

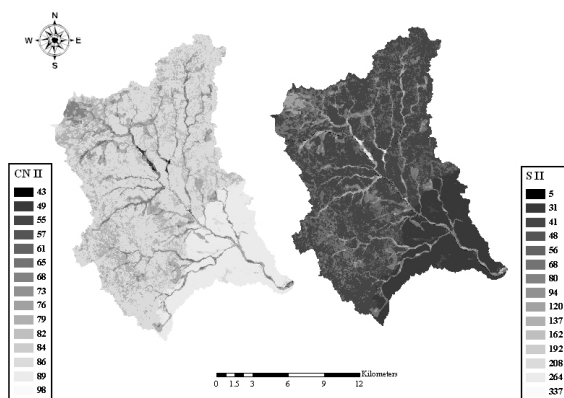
که NIR تشعشع ثبت شده در باند مادون قرمز و RED تشعشع ثبت شده در باند قرمز است. باندهای سوم و چهارم در ماهواره لندست به ترتیب منعکس‌کننده باندهای قرمز و مادون قرمز هستند. مقادیر حاصل از شاخص VI بین صفر و یک و شاخص NDVI بین ۱- و ۰ قرار می‌گیرند و هر چه پوشش گیاهی و درجه سرسبزی منطقه بیشتر باشد، مقادیر این دو شاخص نیز به یک نزدیک‌تر می‌شود.

نقشه پوشش گیاهی به دست آمده با نرم‌افزار ILWIS نشان داد که مقادیر شاخص NDVI بین ۰/۲۸- و ۰/۴۳+ تغییر می‌کند و این نشان دهنده تراکم پایین و پوشش گیاهی ضعیف منطقه مورد مطالعه است. به‌منظور تعیین طبقات

<sup>۱</sup> - Vegetation Index

<sup>۲</sup> - Normalized Different Vegetation Index (NDVI)

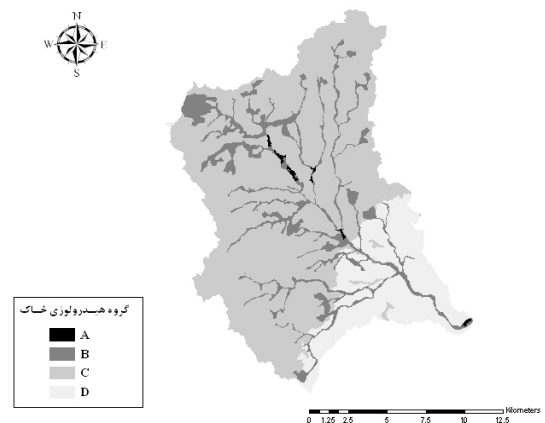
هستند. برعکس در مناطق جنگلی با گروه هیدرولوژی A و قابلیت نفوذ زیاد، شماره منحنی و حجم رواناب ایجاد شده توسط بارش به کمترین و ضریب نگهداشت سطحی به بیشترین مقدار خود می‌رسد. مقادیر ضریب نگهداشت سطحی خاک برخلاف شماره منحنی در حالت شرایط رطوبتی خشک نسبت به حالت رطوبت متوسط بیشتر است و این امر می‌تواند به دلیل نفوذپذیری زیاد خاک‌ها در وضعیت رطوبتی خشک باشد. نکته دیگری که در مقادیر ضریب نگهداشت سطحی قابل توجه است، دامنه تغییرات بسیار زیاد اعداد ضریب نگهداشت سطحی به‌خصوص در شرایط رطوبت خشک است. مقادیر ضریب نگهداشت در شرایط متوسط از ۵ تا ۳۳۷ و در شرایط خشک از ۱۳ تا ۸۰۴ تغییر می‌کنند. این تفاوت بسیار زیاد می‌تواند به دلیل وجود جاده‌های آسفالت که کمترین توان نگهداشت سطحی و اراضی زراعی و باغی آبی در شرایط هیدرولوژیکی خوب و نفوذ زیاد که بیشترین توان ذخیره را دارند، باشد. جدول ۴ میانگین و میانگین وزنی شماره منحنی رواناب و ضریب نگهداشت سطحی خاک و شکل ۸ نقشه شماره منحنی رواناب و ضریب نگهداشت سطحی خاک حوزه آبریز را به ترتیب در شرایط رطوبتی متوسط نشان می‌دهد.



شکل ۸- نقشه شماره منحنی (CN) و ضریب نگهداشت سطحی خاک (S) در شرایط رطوبتی متوسط

دقت و صحت بیشتری نشان می‌دهد. بنابراین برای تهیه نقشه شماره منحنی حوزه آبریز از نقشه پوشش گیاهی حاصل از شاخص NDVI استفاده خواهد شد.

گروه هیدرولوژی خاک اثر مهمی روی تخمین ارتفاع رواناب می‌گذارد و خاک‌های مختلف، توانایی ایجاد رواناب متفاوتی دارند. برای تهیه نقشه گروه هیدرولوژی خاک، ابتدا با استفاده از نقشه‌های شیب، توپوگرافی و تصاویر ماهواره IRS (توان تفکیک ۵/۸ متر)، نقشه اراضی با شیب بسیار پایین تهیه شد. سپس از تلفیق نقشه اراضی کم شیب با نقشه‌های زمین‌شناسی و کاربری اراضی و با توجه به توزیع بافت خاک و نقشه ژئومورفولوژی حوزه، نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوزه آبریز تعیین شد. شکل ۷ نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۷- نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی حوزه آبریز منصورآباد

## نتایج

پس از اینکه نقشه‌های کاربری اراضی، پوشش گیاهی و گروه هیدرولوژیکی خاک حوزه آبریز تهیه شد، به کمک جدول SCS که به صورت برنامه ویژوال بیسیک در نرم‌افزار اکسل نوشته شده است، می‌توان شماره منحنی را برای هر تعداد پیکسل حوزه تعیین کرد. به این ترتیب هر پیکسل حوزه دارای شماره منحنی مخصوص به خود می‌شود. ضریب نگهداشت سطحی حوزه به کمک معادله ۲ و از روی شماره منحنی رواناب به دست می‌آید.

با توجه به شکل ۸ مشخص است که مناطق با شماره منحنی زیاد به دلیل پایین بودن توان ذخیره آب، دارای ضریب نگهداشت سطحی کم و توان تولید رواناب زیاد



CN به دست آمده از نقشه‌ها با CN حاصل از دبی مشاهده‌ای را نشان می‌دهد.

جدول ۵- مقایسه نتایج CN به دست آمده از نقشه‌ها و CN

حاصل از دبی مشاهده‌ای			
فروردین	اردیبهشت	بهمن	تاریخ وقوع سیلاب
۱۳۸۶	۱۳۸۴	۱۳۷۷	
۶۸/۹۹	۶۸/۹۹	۶۸/۹۹	CN محاسبه شده
۷۳/۳۷	۷۲/۵۵	۷۱/۵	CN حاصل از دبی مشاهده‌ای
	۳/۵۷		RMSE
	۰/۰۵		MRE

برای مشخص کردن تأثیر شماره منحنی بر رواناب و تعیین دبی حداکثر سیلاب از مدل HEC-HMS استفاده شده است. به این منظور مقدار متوسط وزنی شماره منحنی رواناب به همراه بارش و سیلاب اندازه‌گیری شده به مدل HEC-HMS داده شد و دبی حداکثر سیلاب در خروجی حوضه تعیین شد. برای ارزیابی دبی‌های به دست آمده از سیلاب‌های مختلف و مقایسه آن با دبی‌های مشاهده‌ای با استفاده از معادله ۶ درصد خطا بین دبی اندازه‌گیری شده و مشاهده‌ای، محاسبه شده است. به دلیل محدود بودن آمار و اطلاعات بارندگی و سیلاب ثبت شده به ناچار فقط از سه رویداد به وقوع پیوسته در حوضه استفاده شده است. جدول ۶ نتایج به دست آمده از مقایسه دبی حداکثر سیلاب اندازه‌گیری شده در خروجی حوضه و محاسبه شده با HEC-HMS را نشان می‌دهد.

جدول ۶- مقایسه دبی حداکثر سیلاب محاسبه شده و اندازه‌گیری شده

اندازه‌گیری شده			
فروردین ۱۳۸۶	اردیبهشت ۱۳۸۴	بهمن ۱۳۷۷	سیلاب
۵/۷۲	۷/۵	۳/۶	دبی محاسبه شده
۷/۲۹	۶/۳	۳/۹۳	دبی اندازه‌گیری شده
۲۱/۵	۱۹	۸/۴	درصد خطا

### نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر نتایج حاصل از محاسبه صحت طبقه‌بندی تصاویر به روش نظارت شده و با الگوریتم حداکثر احتمال

جدول ۴- میانگین و میانگین وزنی شماره منحنی (CN) و ضریب

نگهداشت سطحی (S) در شرایط رطوبتی مختلف			
پارامتر	وضعیت رطوبتی	میانگین وزنی	میانگین
شماره منحنی رواناب (CN)	خشک	۶۸/۹۹	۶۵/۵۴
	متوسط	۸۲/۹۰	۸۱/۴۶
	مرطوب	۹۲/۰۴	۹۰/۷
ضریب نگهداشت سطحی (S)	خشک	۱۱۹/۶۸	۱۴۲/۸۴
	متوسط	۴۹/۹۴	۶۰
	مرطوب	۲۲/۰۸	۲۶/۴۲

مقادیر میانگین ضریب نگهداشت سطحی خاک، به دلیل اینکه ضرایب پایین نگهداشت سطحی، مساحت زیادتری از حوضه را به خود اختصاص داده‌اند از مقادیر میانگین وزنی بیشتر است که این امر در شرایط رطوبتی خشک چشمگیرتر است. میانگین وزنی ضریب نگهداشت سطحی خاک در شرایط رطوبت متوسط ۴۹/۹۴ و در شرایط خشک ۱۱۹/۶۸ می‌باشد. این مقادیر نشان می‌دهد که با کاهش مساحت تحت پوشش اراضی آبی و افزایش سطح مراتع فقیر، شماره منحنی افزایش می‌یابد و ضریب نگهداشت سطحی کم می‌شود که این کاهش ضریب نگهداشت در شرایط رطوبتی خشک بیشتر است. پایین بودن ضریب نگهداشت سطحی حوضه، توان کم حوضه برای ذخیره و نفوذ آب را نشان می‌دهد.

برای ارزیابی CN به دست آمده از نقشه‌ها از دو معیار RMSE و MRE استفاده شده است. پایین بودن مقادیر این دو معیار نشان دهنده نزدیکی مقادیر مشاهده‌ای و محاسبه شده است (معادله ۱۰ و ۱۱).

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (CN_i - \overline{CN_i})^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$$MRE = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \frac{\overline{CN} - CN_i}{\overline{CN}} \right|}{N} \quad (11)$$

که  $\overline{CN}$  مقدار مشاهده‌ای،  $CN_i$  مقدار محاسبه شده و  $N$  تعداد سال‌های آماری هستند. جدول زیر مقایسه نتایج

- 6- Inci Tekel Y. Akguül S. Dengiz O. and Aküzüm T. 2006. Estimation of flood discharge for small watershed using SCS curve number and geographic information system. *River Basin Flood Management Journal*. 527-538.
- 7- Mather P.M. 1999. *Computer Processing of Remotely-sensed Images*, John Wiley & Sons. New York, 332 p.
- 8- Melesse A.M. and Shih S.F. 2002. Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat image and GIS. *Computer and Electronic in Agriculture Journal*. 172-183.
- 9- Melesse A.M. Graham W.D. and Jordan J.D. 2003. Spatially distributed watershed mapping and modeling: GIS-based storm runoff response and hydrograph analysis: part 2. *Journal of Spatial Hydrology*. 3(2):325-338.
- 10- Mishra S. K. Tyagi J.V. Singh V.P. and Singh R. 2006. SCS-CN-based modeling of sediment yield. *Journal of Hydrology*. 301-322.
- 11- Nayak R.T. and Jaiswal R.K. 2003. Rainfall-Runoff modeling using satellite data and GIS for Bebas River in Madhta Pradesh. *Journal-CV*. 47-50.
- 12- Ragan R.M. and Jackson T.J. 1980. Runoff synthesis using Landsat and SCS model. *Journal of Hydrology*. 106:667-678.
- 13- Symeonahis E. Koukoulas S. Calvo-Case A. Aruau-Rosalen E. and Makris I. 2005. A land use change and land degradation study in Spain and Greece using remote sensing and GIS. *Commission V II/4*.
- 14- Tiwari K.N. Kumar P. Sibastian M. and Paul K. 1991. Hydrological modeling for runoff determination: Remote sensing Technique. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 7(3):178-184.

برای تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه، مشخص کرد که مناطقی که به‌عنوان مراتع فقیر و اراضی زراعی و باغی آبی در سطح حوضه نشان داده شده است، در طبقه‌بندی بیشترین صحت کاربری اراضی را داشته‌اند و با واقعیت زمینی نیز صدق می‌کنند. همچنین بررسی نقشه‌های پوشش تهیه شده با شاخص‌های NDVI و VI دلالت بر صحت بیشتر نتایج NDVI داشته، از این شاخص برای تهیه نقشه پوشش گیاهی استفاده شد. محاسبه صحت نقشه‌های پوشش تهیه شده، دقت پایین طبقه‌بندی مراتع نسبتاً فقیر نسبت به مراتع خوب و فقیر را نشان می‌دهد.

معیارهای  $MRE=0/05$  و  $RMSE=3/57$  نشان دهنده برازش خوب شماره منحنی به دست آمده از GIS و RS با شماره منحنی حاصل از دبی مشاهده‌ای است. همچنین وجود درصد خطای پایین بین دبی حداکثر سیلاب به دست آمده از شماره منحنی رواناب و مدل HEC-HMS با دبی اندازه‌گیری شده در خروجی حوضه، تطابق دبی و شماره منحنی به دست آمده را با نتایج واقعی نشان می‌دهد. دلیل عمده مشکلات موجود در بهره‌گیری از مدل HEC-HMS عدم کفایت اطلاعات بارندگی و سیلاب به‌صورت ثبت شده در ایستگاه‌های حوضه مورد مطالعه است.

#### منابع

- ۱- اکبرپور ا. و شریفی م.ب. ۱۳۸۵. تخمین شماره منحنی رواناب با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبریز کامه). مجموعه مقالات هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۲- مخدوم م. درویش‌صفت ع.ا. جعفرزاده ه. و مخدوم ع. ۱۳۸۳. ارزیابی و برنامه‌ریزی محیط زیست با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS). انتشارات دانشگاه تهران.
- 3- American Society of Civil Engineering 1993. Criteria for evaluation of watershed models. *J. Irrig. Drain. Eng.* 119(3):425-449.
- 4- Barreto-Neto A.A. and de Souza Fillo C.R. 2007. Application of fuzzy logic to the elevation of runoff tropical watershed. *Environmental Modeling & Software Journal*. 23(2):244-253.
- 5- Gandini M.L. and Usunoff E.J. 2004. SCS curve number estimation using remote sensing NDVI in a GIS environmental. *Journal of Environmental Hydrology*. 12:168-179.