

برآورد پتانسیل رواناب بر اساس کاربرد سنجش از دور و GIS در حوضه آبریز خسروآباد

صفر معروفی^{۱*}، مجتبی شادمانی^۲، حسین طبری^۳

*۱- نویسنده مسئول، دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا Smarofi@Yahoo.com

۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

۳- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۱۴

چکیده

رواناب یکی از پارامترهای مهم چرخه آبی طبیعت و مدیریت منابع آب حوضه‌های آبریز می‌باشد. در این تحقیق از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS برای برآورد پتانسیل رواناب حوضه خسروآباد، واقع در استان همدان استفاده گردید. بدین منظور ابتدا لایه‌های موضوعی مختلفی از قبیل نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی، مدل رقومی ارتفاع، شیب، نقشه‌گروه هیدرولوژیکی خاک و موقعیت زیرحوضه‌های منطقه تهیه شدند. سپس با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده، یک روش وزن‌دهی جهت تعیین پتانسیل رواناب منطقه بکار گرفته شد. همچنین به منظور بررسی تغییرات مکانی رواناب، پتانسیل برآورد شده در مناطق مختلف حوضه به چهار رده کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی گردید و با روش SCS که برای سه وضعیت شرایط رطوبتی پیشین خاک (خشک، نرمال و مرطوب) تعیین شده بود، مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که روش وزنی قادر به برآوردی قابل قبول از توزیع مکانی رواناب می‌باشد و از این روش می‌توان جهت برآورد پتانسیل سیل‌خیزی به خصوص در هنگامی که کمبود داده‌ها وجود دارد، استفاده نمود. همچنین این نتایج نشان می‌دهند که با افزایش رطوبت از وضعیت خشک به مرطوب، میزان شماره منحنی در حدود ۳۰ درصد افزایش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: بارندگی، رواناب، شرایط رطوبتی پیشین، GIS

مقدمه

در سال‌های اخیر سامانه اطلاعات جغرافیایی^۳ (GIS) و سنجش از دور^۴ برای سهولت برآورد رواناب حوضه‌های آبریز و زمین‌های کشاورزی، بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. سامانه اطلاعات جغرافیایی ابزاری است که به دلیل ویژگی‌ها و توانایی‌های خاص خود می‌تواند در این زمینه مفید باشد. توانایی GIS در ذخیره اطلاعاتی که وابستگی مکانی دارند، تجزیه و تحلیل آنها، انجام محاسبات مورد نیاز و نمایش آنها به صورت نقشه‌های دقیق، جداول و نمودارها در مدت زمان کوتاه، این تکنیک را در جایگاه ویژه‌ای قرار داده است (۸). در اواخر دهه قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در راستای مدل‌سازی بارش- رواناب مورد توجه هیدرولوژیست‌ها قرار گرفت (۱۹). پیشرفت‌های اخیر در تکنیک‌های GIS، قابلیت‌ها را برای به کار بردن پایگاه داده‌های بزرگ که غیر همگنی خصوصیات سطح زمین را شرح می‌دهد، افزایش داده است (۱۴).

برخی از محققان، داده‌های لندست^۵ را برای ارائه یک شاخص رواناب در یک حوضه وسیع بکار بردند و با موفقیت این موضوع را

هرگاه شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک بیشتر باشد، بخشی از آب حاصله از بارندگی در سطح حوضه باقی‌می‌ماند و پس از پر کردن چالاب‌ها، در امتداد شیب زمین جریان می‌یابد و از طریق شبکه آبراهه‌ها و سپس رودخانه اصلی، از حوضه خارج می‌شود. به این بخش از بارندگی رواناب سطحی گویند (۳). برآورد رواناب حاصل از بارش‌های جوی از اهمیت خاصی در هیدرولوژی و مدیریت حوضه‌های آبخیز و حفاظت از آب و خاک برخوردار است. رابطه بارندگی-رواناب، به خاک، گیاه و خصوصیات توپوگرافی حوضه بسیار وابسته است که این خصوصیات در یک حوضه خاص دارای تغییرات مکانی می‌باشد (۱۲). یکی از روش‌های مهم برآورد رواناب حاصل از بارش‌های رگباری در حوضه‌های فاقد آمار، روش سازمان حفاظت خاک آمریکا^۱ (SCS) می‌باشد. در این روش ابتدا با استفاده از پوشش سطح زمین و گروه هیدرولوژیکی خاک، شماره منحنی^۲ (CN) تعیین می‌گردد که مقدار آن از صفر تا ۱۰۰ تغییر می‌کند. شماره منحنی بزرگتر نشان‌دهنده رواناب سطحی بیشتر است.

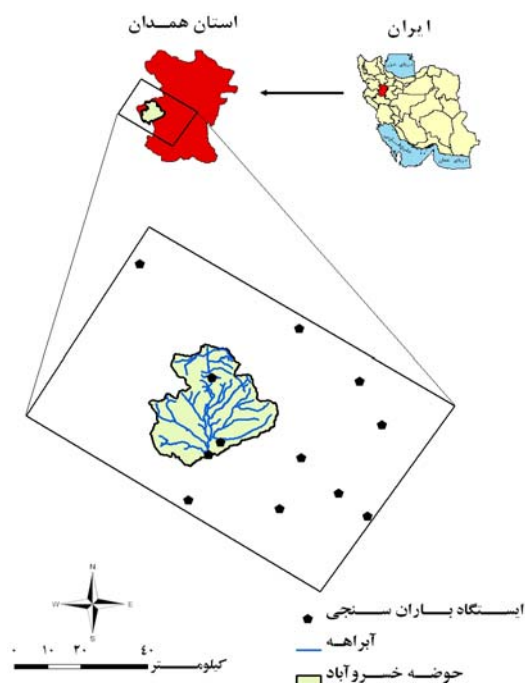
3. Geographic Information System (GIS)

4. Remote Sensing (RS)

5. Landsat

1. Soil Conservation Service (SCS)

2. Curve Number (CN)



شکل ۱- موقعیت مکانی حوضه آبریز خسروآباد

جغرافیایی و روش SCS برای شناسایی محل‌های مناسب استحصال رواناب در مناطق نیمه خشک و مدل‌سازی فرسایش خاک استفاده شده‌است (۱۰ و ۱۳). ضمناً شادمانی کارایی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی^۱ و GIS را در برآورد سیلاب در استان همدان را بررسی نمود. نتایج حاکی از دقت بالای این دو روش در شناسایی مناطق سیل‌خیز می‌باشد (۲). در تحقیق دیگر معروفی و همکاران با استفاده از قابلیت‌های GIS و بکارگیری روش‌های مختلف زمین‌آماری، تغییرات مکانی ضریب رواناب سالانه این استان را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش زمین‌آماري مناسب، برای تحلیل‌های مکانی بارندگی سالانه، روش کریجینگ ساده^۲ و با مدل نمایی^۳ می‌باشد (۷).

در این تحقیق سعی شده است که با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، کارایی روش وزنی در برآورد پتانسیل رواناب در حوضه آبریز خسروآباد مورد بررسی قرار گیرد تا به عنوان روشی قابل قبول در مناطق فاقد آمار به کار برده شود.

که چگونه داده‌های سنجش از دور را می‌توان برای بررسی تغییرات رواناب به دلیل تغییر کاربری اراضی در حوضه بکار برد، اثبات کردند (۱۶، ۱۷ و ۱۸). همچنین از تصاویر لندست و تکنیک GIS برای تعیین توزیع مکانی رواناب و برآورد عمق رواناب استفاده شده است (۱۵). در محاسبه رواناب، هر چه روش تبدیل بارندگی که ایستگاه‌ها ثبت می‌کنند، به پهنه‌های بارندگی دقیق‌تر باشد، محاسبه رواناب نتایج واقعی‌تری می‌دهد (۵). از تکنیک GIS و آنالیز تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین محل‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی نیز استفاده شده است که نتایج قابل قبولی را ارائه داده است (۹ و ۱۱). مریانجی و معروفی از GIS و روش SCS برای برآورد رواناب حوضه آبریز قره‌چای استفاده نمودند. آنها عمق رواناب را به هفت کلاس تقسیم نمودند و احتمال وقوع هر یک از کلاس‌ها را برای دوره‌های بازگشت ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله محاسبه نمودند. آنها نشان دادند که انطباق بسیار زیادی بین نقشه مدل رقومی و عمق جریان وجود دارد، به طوری که با حرکت از مناطق مرتفع به طرف مناطق پست حوضه، سطوح با عمق رواناب کمتر افزایش می‌یابند (۶). سوری‌نژاد از GIS برای برآورد حجم رواناب حوضه آبریز رودخانه کشکان استفاده نمود و به این نتیجه رسید که مؤلفه‌های حاصل از ادغام مدل‌های تجربی با الگوریتم‌های GIS جهت تهیه داده‌های مورد نیاز در شبیه‌سازی مدل‌های بارش-رواناب دارای ضریب اطمینان زیادی هستند (۱). همچنین از سامانه اطلاعات

1. Artificial Neural Network
2. Simple Kriging
3. Exponential

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز خسروآباد یکی از زیرحوضه‌های گاماسیاب می‌باشد که در استان همدان و در مختصات جغرافیایی "۳۴°۳۵'۴۶" تا "۳۴°۳۴'۳۴" عرض شمالی و "۴۷°۵۰'۳۴" تا "۴۸°۱۵'۵۴" طول شرقی واقع شده است (شکل ۱) و رودخانه اصلی آن به سوی جنوب خارج می‌شود. وسعت این حوضه در حدود ۸۷۷/۶۵ کیلومتر مربع و تغییرات ارتفاع آن (نسبت به سطح دریا) بین ۱۴۹۶ الی ۲۹۸۵ متر می‌باشد.

روش انجام تحقیق

در تحقیق حاضر از داده‌های سنجش از دور و تکنیک‌های GIS برای بررسی پتانسیل رواناب حوضه آبریز خسروآباد استفاده گردید. بدین منظور ابتدا لایه‌های موضوعی مختلف مانند مدل رقومی ارتفاع^۱، نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی، شیب، گروه هیدرولوژیکی خاک و موقعیت زیرحوضه‌های منطقه (با استفاده از نرم افزارهای ArcGIS 9.2 و ArcHydro) تهیه شدند. سپس جهت بررسی پتانسیل رواناب حوضه مذکور، از روش وزن‌دهی به پارامترهای مؤثر بر رواناب و همچنین روش سازمان حفاظت خاک آمریکا استفاده گردید.

ایستگاه‌های باران‌سنجی و طول دوره آماری آنها

بدین منظور از آمار ۱۲ ایستگاه مختلف باران‌سنجی (۳ ایستگاه در داخل و ۹ ایستگاه در حوالی حوضه مورد مطالعه) استفاده شد (شکل ۱). در این رابطه ابتدا طول دوره آماری متفاوت ایستگاه‌ها که عمدتاً مربوط به تأسیس آنها در سال‌های مختلف می‌باشد، به یک پایه زمانی مشترک تبدیل شد و سپس اقدام به تکمیل آمارهای ناقص دوره آماری گردید. طول دوره آماری این تحقیق ۲۰ سال می‌باشد (۸۵-۱۳۶۵). انتخاب این دوره، با توجه به اینکه ایستگاه‌های مورد نظر (در طی دوره مذکور) دارای بیشترین مقدار آمار بودند، صورت گرفت.

ضمناً جهت تکمیل و بازسازی داده‌های ناقص از روش همبستگی خطی بین ایستگاه‌ها (به دلیل کارایی و دقت زیاد) استفاده گردید. در جدول (۱) مشخصات مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب ارائه شده است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

قبل از هر گونه پردازش داده‌ها، ابتدا آزمون‌های کفایت و همگنی بر روی اطلاعات مورد نظر صورت گرفت. آزمون کفایت

داده‌ها با توجه به روش ماکوس^۲ برای حداقل دوره آماری (با توجه به سطح آماری ۹۰ درصد) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای انجام آزمون همگنی داده‌ها، از روش‌های جرم مضاعف^۳ و آزمون توالی^۴ استفاده گردید.

تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، شیب، گروه هیدرولوژیکی خاک، محدوده زیرحوضه‌ها و پتانسیل رواناب وزنی

در این تحقیق بر اساس تصاویر ماهواره‌ای (تصاویر لندست TM^۵) و بازدیدهای صحرایی، نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی به سطوح باغات، کشت آبی، کشت دیم، مراتع علفی، مراتع ضعیف و مناطق مسکونی تفکیک شد. نقشه‌شیب نیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) ایجاد شد. نقشه DEM، نیز با استفاده از نقشه‌های پایه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تهیه گردید. نقشه‌های گروه هیدرولوژیکی و نفوذپذیری خاک منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های استوانه-های مضاعف^۶ تعیین شد. بر اساس مقدار نفوذ، خاک‌های منطقه در گروه‌های هیدرولوژیکی مختلف A، B، C و D رده‌بندی شدند. ضمناً به منظور تأثیر شکل زیرحوضه‌ها در مقدار رواناب از ضریب گراویلیوس استفاده شده است.

جهت تهیه نقشه پتانسیل رواناب از روش وزنی که مبتنی بر اهمیت نسبی پارامترها می‌باشد، استفاده گردید. پارامترهای مؤثر که شامل شیب، کاربری اراضی و پوشش گیاهی، نفوذپذیری و ضریب گراویلیوس زیرحوضه‌ها می‌باشند، بر اساس سلسله مراتب اهمیتی، مرتب شدند و یک عدد وزنی (بین ۸ تا ۵) به هر لایه نقشه داده شد. به طور مشابه به هر رده که در درون یک لایه قرار داشته است، امتیاز ترتیبی (از مقدار بیشتر به کمتر) از ۱۰ تا ۴ اختصاص داده شد. در جدول (۲)، وزن‌ها و امتیازات اختصاص داده شده، به هر لایه اطلاعاتی و رده‌بندی‌های آنها (بر اساس روش وزنی) ارائه شده است. نقشه توزیع مکانی پتانسیل رواناب با استفاده از نقشه‌های تهیه شده با پیکسل‌های^۷ ۵۰×۵۰ متر تهیه گردید و با توجه به شرایط کمترین و بیشترین مقدار امتیاز هر پیکسل، در چهار کلاس کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد.

2. Mackus
3. Double mass
4. Run test
5. Thematic Mapper (TM)
6. Double Rings
7. Pixels

1. Digital Elevation Model (DEM)

جدول ۱- مشخصات مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب

ردیف	ایستگاه	ارتفاع (متر)	مشخصات جغرافیایی	
			عرض	طول
۱	خسروآباد	۱۴۹۶	۳۴°۳۸'	۴۸°۳۳'
۲	آغاچانیلاغی	۱۷۷۵	۳۴°۴۹'	۴۸°۳۳'
۳	وندراآباد	۱۵۱۴	۳۴°۴۰'	۴۸°۵۵'
۴	باباپیرعلی	۱۹۲۰	۳۴°۳۸'	۴۸°۲۰'
۵	آق کهریز	۱۸۴۷	۳۴°۶۰'	۴۸°۲۰'
۶	سرابی	۱۹۵۵	۳۴°۳۳'	۴۸°۲۸'
۷	فرسفیج	۱۶۰۸	۳۴°۲۹'	۴۸°۱۷'
۸	قروه	۱۹۰۶	۳۵°۱۰'	۴۷°۴۸'
۹	کنگاور	۱۴۶۸	۳۴°۳۰'	۴۷°۵۹'
۱۰	همدان	۱۷۴۱/۵	۳۴°۵۲'	۴۸°۳۳'
۱۱	خیرآباد	۱۷۴۰	۳۴°۲۸'	۴۸°۳۴'
۱۲	سد اکباتان	۱۹۶۲	۳۴°۴۵'	۴۸°۳۶'

در روش‌های مختلف میان‌یابی، مقادیر برآوردی از طریق مجموع حاصلضرب یک فاکتور وزنی در مقادیر نقاط مشاهده‌ای به دست می‌آید. معادله کلی در روش‌های مختلف میان‌یابی بصورت زیر است. تفاوت روش‌های میان‌یابی، در برآورد فاکتور وزنی یادشده می‌باشد که از طریق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad (1)$$

در این رابطه $Z^*(x_i)$ مقدار متغیر مکانی برآورد شده، $Z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه x_i و λ_i وزن آماری که به نمونه x_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه i ام در برآورد است (۷).

برآورد پتانسیل رواناب بر اساس روش SCS

به منظور مقایسه و ارزیابی پتانسیل رواناب محاسبه شده بر اساس روش وزنی، از روش SCS استفاده گردید. در این روش، اگرچه از بارش‌های شش ساعته استفاده می‌شود، ولی در صورت نبود داده‌های بارش شش ساعته، می‌توان از داده‌های بارش ۲۴ ساعته نیز استفاده نمود (۳). در این تحقیق، به دلیل عدم وجود باران‌نگار در منطقه، از آمار بارش ۲۴ ساعته ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل محدوده مورد مطالعه و حوالی آن، استفاده قرار گرفت.

برآورد و توزیع مکانی بیشینه بارش ۲۴ ساعته

پس از تکمیل و بازسازی داده‌های ناقص، مقادیر بیشینه بارش‌های ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های منتخب برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با بکارگیری نرم افزار HYFA (در سطح احتمال ۹۹ درصد) برآورد گردید. با استفاده از آمار بیشینه بارش‌های ۲۴ ساعته، پهنه‌بندی در سطح حوضه مورد مطالعه صورت گرفت. بدین منظور از روش‌های زمین‌آماری کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی^۱ (OK) و توابع پایه شعاعی^۲ (RBF) و وزن‌دهی فاصله معکوس^۳ برای برآورد متغیر اندازه‌گیری نشده، مورد استفاده قرار گرفت. در خصوص روش کریجینگ مدل‌های دایره‌ای^۴، کروی^۵، نمایی و گوسین^۶ به کار برده شد. همچنین برای روش توابع پایه شعاعی، مدل‌های توابع اسپلاین کاملاً منظم^۷، مولتی کوادریک معکوس^۸، مولتی کوادریک، اسپیلاین با کشش^۹ و اسپیلاین صفحه نازک استفاده گردید.

1. Ordinary Kriging
2. Radial Basis Function
3. Inverse Distance Weighted
4. Circular
5. Spherical
6. Gaussian
7. Completely Regularized Spline
8. Inverse Multiquadric
9. Spline With Tension

جدول ۲- روش‌های وزن‌دهی و امتیازدهی مورد استفاده

امتیازدهی	وزن‌دهی	رده‌بندی	داده‌ها
۱۰		خیلی تند	
۹		تند	
۸		متوسط تا تند	
۷	۸	متوسط	شیب
۶		ملایم	
۵		بسیار ملایم	
۴		نزدیک به سطح تراز	

۸		مناطق شهری	
۷	۷	مرتع	کاربری اراضی و پوشش گیاهی
۶		اراضی کشاورزی	

۹		D	
۸		C	
۷	۶	B	گروه هیدرولوژیکی خاک
۶		A	

۹		بسیار نزدیک به دایره (۱-۱/۲)	
۸		نزدیک به دایره (۱/۳-۱/۵)	
۷	۵	نزدیک به مستطیل (۱/۵-۱/۷)	ضریب گراویلیوس
۶		بسیار نزدیک به مستطیل (۱/۷-۲)	

معیارهای ارزیابی

به منظور ارزیابی روش‌های مورد استفاده در برآورد بیشینه بارش ۲۴ ساعته، از معیارهای متداول که شامل جذر میانگین مربع خطا^۱ (RMSE)، میانگین خطای مطلق^۲ (MAE) و میانگین خطای اریب^۳ (MBE) می‌باشند، استفاده گردید. معیار آماری ضریب تعیین برای تعیین همبستگی بین مقادیر واقعی و برآورد شده و همچنین جذر میانگین مربع خطا و میانگین خطای مطلق برای تعیین مقادیر خطا برآورد شده، به کار برده شدند. روابط مربوطه به صورت زیر می‌باشند:

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right)^2}{\left(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \right)} \quad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (۵)$$

برآورد شماره منحنی نفوذ (CN) در شرایط رطوبتی پیشین خاک

شماره منحنی در شرایط رطوبتی مختلف تغییر می‌نماید و شرایط رطوبتی پیشین خاک بر میزان رواناب ناشی از بارش مؤثر می‌باشد (۴). برای برآورد شرایط رطوبتی پیشین خاک برای هر پدیده بارندگی، مقادیر داده‌های بارندگی روزانه پنج روز قبل از آن با هم جمع می‌شوند. به منظور تعیین مقدار CN در شرایط رطوبتی پیشین خاک در حالت‌های I (خشک) و یا III (مرطوب)، به ترتیب از روابط (۲) و (۳) جهت اصلاح آن استفاده گردید (۲۰). ضمناً در حالت رطوبت پیشین نرمال، میزان CN با استفاده از لایه کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک تعیین شد.

$$CN_d = 0.39CN_n \exp(0.009CN_n) \quad (۲)$$

$$CN_w = 1.95CN_n \exp(-0.00663CN_n) \quad (۳)$$

که در این روابط، CN_n ، CN_d ، CN_w شماره منحنی نفوذ به ترتیب در شرایط رطوبتی پیشین خاک نرمال، خشک و مرطوب می‌باشند. بنابراین با استفاده از روابط فوق، لایه‌های CN برای حالت‌های رطوبتی سه‌گانه یاد شده (نرمال، خشک و مرطوب خاک) منطقه مورد مطالعه به دست آمد. پس از تهیه نقشه CN، با تلفیق نقشه توزیع مکانی بیشینه بارش ۲۴ ساعته، نقشه‌های پتانسیل رواناب برای سه حالت رطوبتی مذکور (خشک، مرطوب و نرمال) تهیه گردید.

- 1- Root Mean Square Error (RMSE)
- 2- Mean Absolute Error (MAE)
- 3- Mean Bios Error (MBE)

با بیش از ۵۰ درصد دارای بیشترین کاربری و مناطق مسکونی با مساحتی در حدود ۰/۷۵ درصد دارای کمترین کاربری می‌باشند.

در شکل‌های (۳) و (۴)، به ترتیب نقشه‌های شیب و گروه هیدرولوژیکی خاک آورده شده است. با توجه به شکل (۳)، حوضه آبریز خسروآباد دارای وضعیتی نظیر کاسه بوده که مناطق مرتفع آنرا در بر گرفته‌اند. میزان تغییرات شیب آن، اندکی بیش از صفر تا بیش از ۳۰ درصد تغییر می‌نماید. به منظور تحلیل بهتر شیب، مقادیر آن به هفت رده تقسیم شده که در شکل مذکور نشان داده شده است.

جدول (۴)، مساحت تحت گروه‌های مختلف هیدرولوژیکی خاک در حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانطور که در این جدول مشاهده می‌گردد، گروه هیدرولوژیکی D، بیشتر از ۵۰ درصد مساحت کل حوضه را در بر می‌گیرد که نشان‌دهنده پتانسیل رواناب بالای حوضه مورد مطالعه می‌باشد. در شکل (۵) نیز، موقعیت هشت زیرحوضه تفکیک شده منطقه (زیرحوضه‌های هیدرولوژیکی و غیر هیدرولوژیکی) ارائه شده است.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (۶)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n} \quad (۷)$$

که در این روابط، X_i و Y_i i امین داده واقعی و برآورد شده، \bar{Y} و \bar{X} میانگین داده‌های X_i و Y_i و n تعداد نمونه‌های ارزیابی می‌باشند.

نتایج و بحث

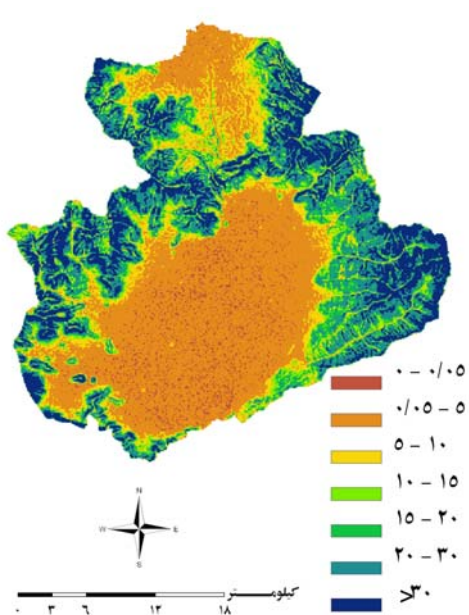
۱- تهیه نقشه و لایه‌های اطلاعاتی پایه: در شکل (۲)، نقشه کاربری اراضی منطقه نشان داده شده است. ضمناً مساحت مربوط به هر یک از کاربری‌های مختلف منطقه، در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به این جدول و شکل (۲)، مراتع (علفی و ضعیف)

جدول ۳- مساحت انواع کاربری اراضی و پوشش گیاهی حوضه خسروآباد

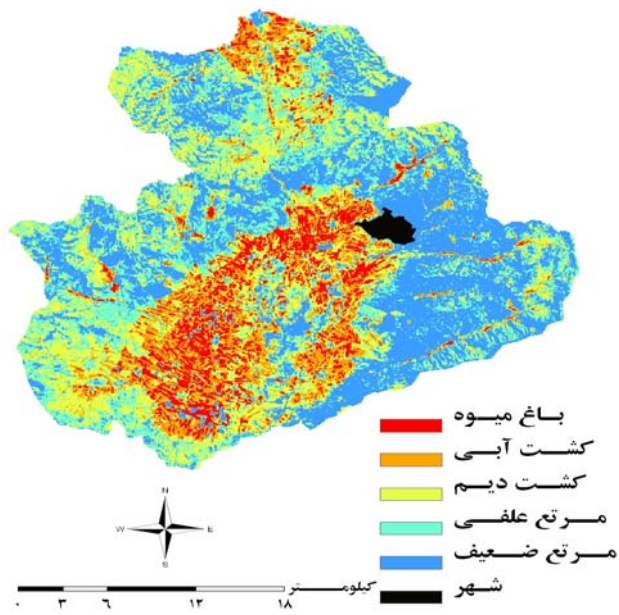
کاربری اراضی و پوشش گیاهی	مساحت	
	(Km ²)	(درصد)
باغات میوه	۷۳/۸۲	۸/۴۱
کشت آبی	۱۰۸/۴۲	۱۲/۳۵
کشت دیم	۲۱۳/۶۲	۲۴/۳۴
مرتع علفی	۱۷۹/۶۸	۲۰/۴۸
مرتع ضعیف	۲۹۵/۵۰	۳۳/۶۷
مناطق مسکونی	۶/۶۱	۰/۷۵

جدول ۴- مساحت گروه‌های مختلف هیدرولوژیکی خاک حوضه آبریز خسروآباد

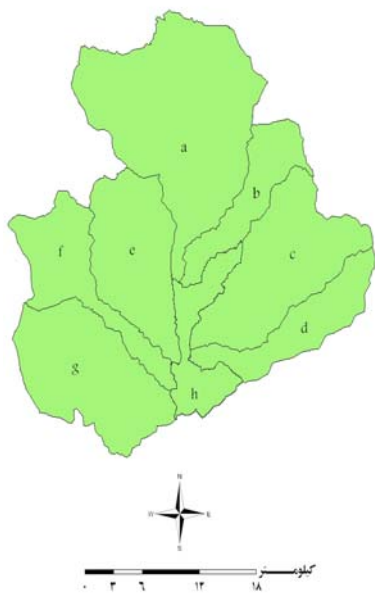
گروه هیدرولوژیکی خاک	مساحت	
	(Km ²)	(درصد)
A	۶۳/۹۱	۷/۲۸
B	۲۳۰/۵۰	۲۶/۲۶
C	۱۱۵/۷۶	۱۳/۱۹
D	۴۶۷/۴۸	۵۳/۲۷



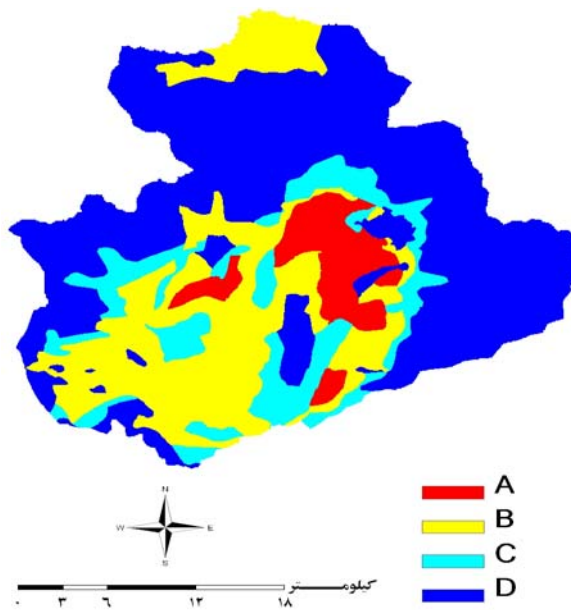
شکل ۳- نقشه شیب (درصد)



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی



شکل ۵- نقشه زیر حوضه‌ها



شکل ۴- نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک

مدل‌نمایی دارای کمترین خطا و بهترین روش درون‌یابی می‌باشد. این نتایج، مشابه نتایج به دست آمده از تحقیق معروفی و همکاران (۷) می‌باشد که در آن روش کریجینگ ساده مدل‌نمایی به‌عنوان روش مطلوب معرفی گردیده است. شکل (۶)، توزیع مکانی بیشینه

۲- پهنه‌بندی بیشینه بارش ۲۴ ساعته در حوضه مورد مطالعه: نتایج مربوط به برآورد بیشینه بارش ۲۴ ساعته برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در جدول (۵) ارائه شده‌اند. این نتایج بیانگر آن است که برای پهنه‌بندی بیشینه بارش ۲۴ ساعته، روش کریجینگ ساده با

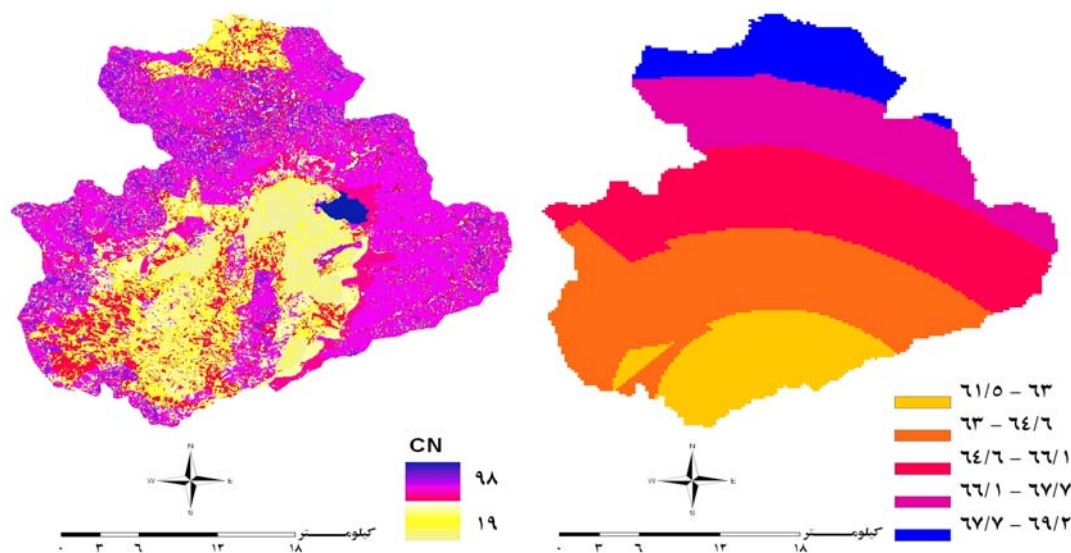
بارش ۲۴ ساعته را نشان می‌دهد که با استفاده از روش منتخب (کریجینگ ساده و مدل نمای) به دست آمده است.

۳- کاربرد روش SCS: با توجه به شرایط رطوبتی پیشین، مقادیر CN محاسبه گردید که در شکل‌های (۷)، (۸) و (۹) ارائه شده‌اند. همانطور که در این شکل‌ها ملاحظه می‌گردد، کمینه میزان CN در وضعیت رطوبتی پیشین خاک خشک، ۱۹ می‌باشد. در صورتی که مقدار کمینه آن در شرایط رطوبتی پیشین خاک در حالت‌های نرمال و مرطوب به ترتیب ۳۹ و ۵۵ است. بنابراین در شرایط رطوبتی پیشین خاک مرطوب، خطر سیلاب به شدت افزایش می‌یابد (جدول ۶). به کمک لایه‌های CN تهیه شده در شرایط مختلف رطوبتی پیشین خاک، مقادیر میانگین CN حوضه به صورت وزنی برای شرایط خشک، نرمال و مرطوب تعیین گردید که به ترتیب برابر با ۶۵/۴، ۸۰ و ۹۱ می‌باشند که حاکی از وجود خطر سیلاب در شرایط رطوبتی مرطوب می‌باشد.

با توجه به مقادیر CN محاسبه شده، پتانسیل رواناب مناطق در سه وضعیت رطوبتی پیشین خاک خشک، نرمال و مرطوب محاسبه گردید که به ترتیب در شکل‌های (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) ارائه شده‌اند. با مقایسه نقشه‌های CN و پتانسیل رواناب حاصله از شرایط رطوبتی پیشین خاک (در حالات مختلف)، می‌توان دریافت که با تغییر شرایط رطوبتی پیشین میزان CN تغییر نموده، به گونه‌ای که با تغییر شرایط رطوبتی از خشک به مرطوب حدوداً ۳۰ درصد افزایش می‌یابد.

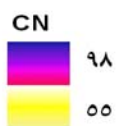
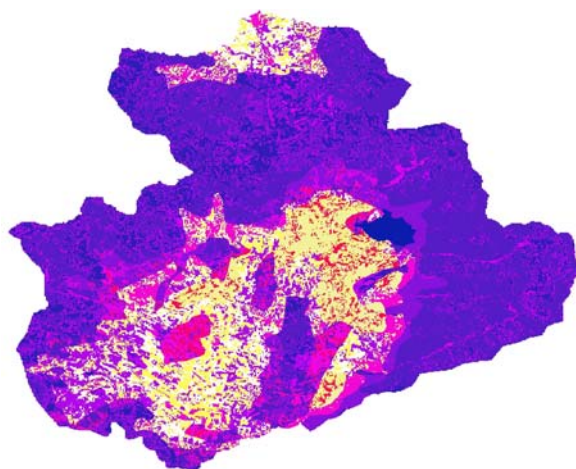
۴- کاربرد روش وزن‌دهی (وزنی): به منظور کاربرد روش وزنی (پیشنهادی در این تحقیق)، پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز (بر اساس جدول ۱)، نقشه توزیع مکانی پتانسیل رواناب در حوضه مورد مطالعه، تهیه گردید (شکل ۱۳). ضمناً تفکیک مناطق مختلف حوضه در کلاس‌های چهارگانه کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد که بیانگر خطر سیل خیزی می‌باشند، با توجه به شرایط منطقه و مقادیر کمترین و بیشترین امتیاز پیکسل‌های نقشه مربوطه که به ترتیب ۱۳۱ و ۲۲۳ می‌باشند، با در نظر گرفتن ۲۳ امتیاز صورت گرفت. بر این اساس کلاس‌های کم (۱۵۴-۱۳۱)، متوسط (۱۷۷-۱۵۴)، زیاد (۲۰۰-۱۷۷) و خیلی زیاد (۲۲۳-۲۰۰) طبقه‌بندی شدند (جدول ۷).

۵- مقایسه نتایج SCS با روش وزن‌دهی: با توجه به مقایسه شکل (۱۳) با شکل‌های (۷) الی (۹) می‌توان دریافت که پتانسیل رواناب حاصل از روش وزن‌دهی مطابقت خوبی با نقشه‌های CN (در حالت‌های مختلف) دارد. همچنین شکل (۱۳) همگنی قابل توجهی با نتایج بدست آمده از روش SCS (شکل‌های (۱۰) الی (۱۲)) دارد. با توجه به شکل‌های (۱۰) و (۱۱) و (۱۲) می‌توان دریافت که مناطق مسکونی دارای پتانسیل رواناب بیشتری نسبت به دیگر انواع کاربری اراضی می‌باشند و با افزایش رطوبت خاک، سطوح با عمق جریان بیشتر به طور قابل توجهی، افزایش می‌یابد.

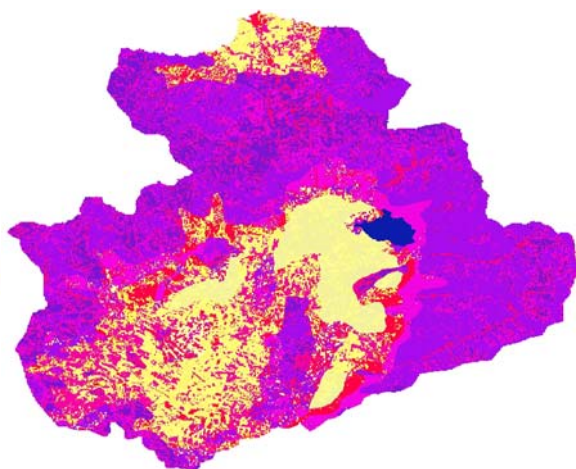


شکل ۶- نقشه توزیع مکانی بیشینه بارش ۲۴ ساعته برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله (میلی‌متر)

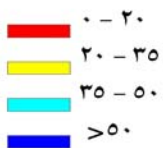
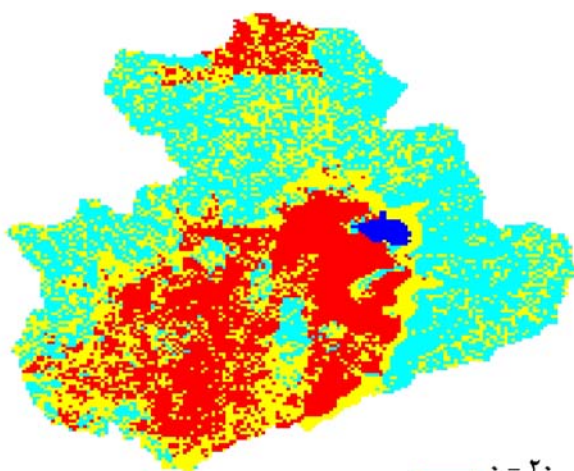
شکل ۷- نقشه CN در شرایط رطوبتی پیشین خاک خشک



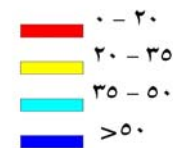
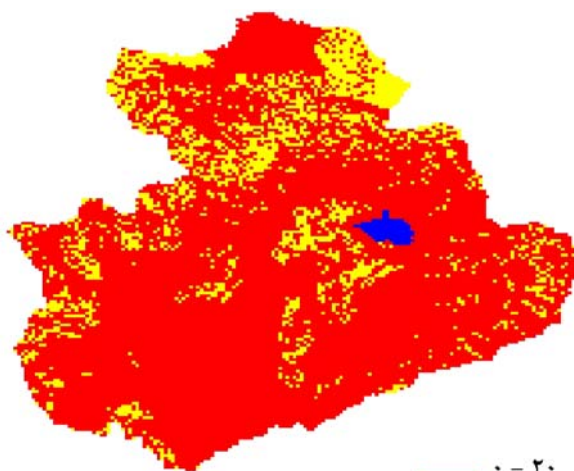
شکل ۹- نقشه CN در شرایط رطوبتی پیشین خاک مرطوب



شکل ۸- نقشه CN در شرایط رطوبتی پیشین خاک نرمال



شکل ۱۱- نقشه پتانسیل رواناب در شرایط رطوبتی پیشین خاک نرمال (میلی‌متر)



شکل ۱۰- نقشه پتانسیل رواناب در شرایط رطوبتی پیشین خاک خشک (میلی‌متر)

جدول ۵- ارزیابی روش‌های درون‌یابی برآورد بیشینه بارش ۲۴ ساعته (میلی‌متر) برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در حوضه مورد مطالعه

روش	مدل	RMSE	MAE	MBE
گریجینگ ساده	دایره‌ای	۷/۰۲	۵/۴۴	۰/۶۸
	کروی	۷/۰۲	۵/۴۱	۰/۶۸
	نمایی	۶/۹۵	۵/۳۲	۰/۷۰
	گوسین	۷/۰۲	۵/۴۱	۰/۵۶
گریجینگ معمولی	دایره‌ای	۶/۹۳	۵/۸۶	۰/۶۳
	کروی	۶/۹۸	۵/۹۱	۰/۶۳
	نمایی	۷/۰۰	۶/۰۲	۰/۶۴
	گوسین	۷/۲۴	۶/۴۲	۰/۷۷
توانع پایه شغالی	اسپلاین کاملاً منظم	۷/۰۵	۶/۱۹	۰/۸۶
	مولتی کوادریک معکوس	۷/۱۷	۵/۸۲	۰/۸۷
	مولتی کوادریک	۷/۸۷	۷/۲۷	۱/۰۵
	اسپلاین با کشش	۷/۰۳	۶/۰۴	۰/۸۲
وزن‌دهی فاصله معکوس	اسپلاین صفحه نازک	۱۱/۰۲	۹/۳۶	۱/۶۲
	توان ۲	۷/۵۵	۶/۵۳	۲/۰۵
	توان ۳	۷/۹۲	۶/۹۵	۲/۳۶
	توان ۴	۸/۱۶	۷/۲۸	۲/۵۲

جدول ۶- درصد مساحت کلاس‌های مختلف رواناب در سه وضعیت رطوبتی پیشین خاک

وضعیت	۰-۲۰	۲۰-۳۵	۳۵-۵۰	>۵۰
خشک	۸۳/۶۹	۱۵/۵۹	۰	۰/۷۲
نرمال	۲۸/۰۹	۳۲/۰۵	۳۹/۱۴	۰/۷۲
مرطوب	۵/۸۶	۱۵/۷۲	۳۳/۹۳	۴۴/۴۹

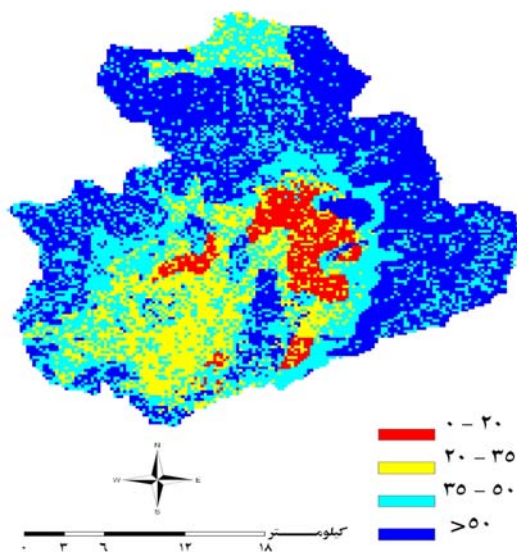
جدول ۷- مساحت کلاس‌های مختلف پتانسیل رواناب در روش وزن‌دهی

وضعیت	مساحت	
	(Km ²)	(درصد)
کم	۱۲۰/۲۱	۱۳/۶۹
متوسط	۲۵۶/۳۴	۲۹/۲۰
زیاد	۲۱۰/۵۶	۲۳/۹۹
خیلی زیاد	۲۹۰/۶۴	۳۳/۱۲

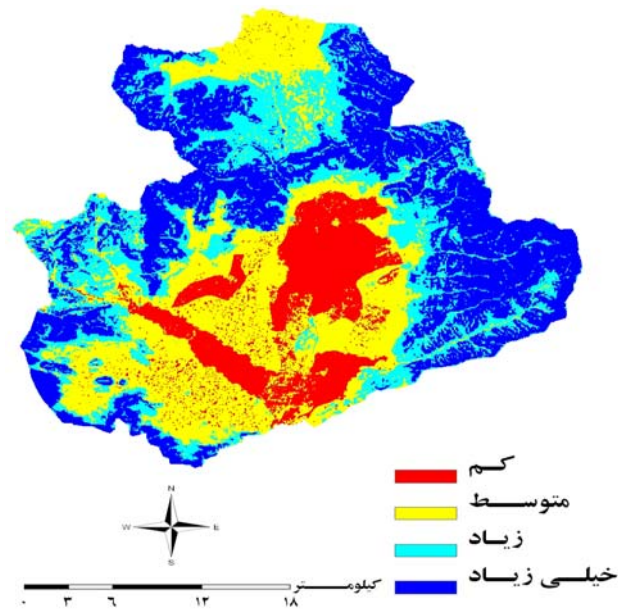
نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از تکنیک‌های GIS و RS، کارایی روش وزنی در برآورد پتانسیل رواناب در یکی از حوضه‌های نیمه کوهستانی کشور مورد بررسی قرار گرفت. حوضه‌آبریز خسروآباد به دلیل شیب تند، نفوذپذیری کم و پوشش گیاهی نامناسب، دارای پتانسیل رواناب بالایی است. نتایج این تحقیق نشان داد که روش وزن‌دهی قادر به تخمین مناسب توزیع مکانی رواناب می‌باشد. از این روش می‌توان جهت برآورد پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز در هنگام کمبود داده‌ها استفاده نمود. همچنین با مقایسه نقشه‌های CN و پتانسیل رواناب حاصله از شرایط رطوبتی پیشین خاک (در حالات مختلف)، می‌توان دریافت که با تغییر شرایط رطوبتی پیشین میزان CN تغییر نموده، به گونه‌ای که با تغییر شرایط رطوبتی از خشک به مرطوب پتانسیل رواناب حدوداً ۳۰ درصد افزایش می‌یابد.

به طور کلی روش وزن‌دهی قادر به برآورد قابل قبول توزیع مکانی رواناب می‌باشد. از این روش می‌توان جهت برآورد پتانسیل سیل‌خیزی در هنگام کمبود داده‌ها استفاده نمود. بر اساس این روش، حدوداً نیمی از مساحت کل حوضه در رده با پتانسیل رواناب زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده پتانسیل سیل‌خیزی بالای این حوضه و وجود زمینه‌های طبیعی بسیار مساعد برای وقوع سیلاب می‌باشد. همچنین مناطق جنوب و مرکزی حوضه در رده پتانسیل کم قرار گرفته است. نتایج حاصل از تلفیق لایه‌های مختلف از قبیل کاربری اراضی، مدل رقومی ارتفاعی و نفوذپذیری نشان می‌دهند که مناطق دارای پتانسیل رواناب زیاد و خیلی زیاد غالباً در مناطق شهری، اراضی مرتعی و مناطق با نفوذپذیری خیلی کم می‌باشند. همچنین در ارتفاعات نیز، به دلیل وجود شیب‌های بسیار تند و ساختار کوهستانی و تپه‌ای، دارای پتانسیل بالا در ایجاد رواناب می‌باشند.



شکل ۱۲- نقشه پتانسیل رواناب در شرایط رطوبتی پیشین خاک مرطوب (میلی‌متر)



شکل ۱۳- نقشه پتانسیل رواناب وزنی در حوضه

منابع

۱. سوری نژاد، ع. ۱۳۸۱. برآورد حجم رواناب حوضه آبریز رودخانه کشکان با استفاده از GIS. مجله پژوهش‌های جغرافیایی، جلد ۳۴، شماره، صفحات: ۵۷-۸۰.
۲. شادمانی، م. ۱۳۸۷. شناسایی مناطق سیل خیز در حوضه‌های آبخیز استان همدان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و GIS. دانشگاه بوعلی سینا.
۳. علیزاده، ا. ۱۳۸۳. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، چاپ بیستم، ۸۰۸ صفحه.
۴. فضل اولی، ر.، آخوندعلی، ع. م. و ع. بهنیا، ع. ۱۳۸۵. تعیین روابط پیش‌بینی رواناب در حوضه‌های آبریز کوهستانی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌های آبریز معرف امامه و کسلیان). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۳، شماره ۶، صفحات: ۱-۱۳.
۵. قهرودی تالی، م. ۱۳۸۵. ارزیابی مدل SCS-CN در تخمین رواناب، مطالعه موردی: حوضه آبریز سد امیرکبیر (کرج). مجله جغرافیا و توسعه، جلد ۴، شماره ۷، صفحات: ۱۸۵-۱۹۸.
۶. مریانجی، ز. و ص. معرفتی. ۱۳۸۴. بررسی رواناب ناشی از بارش حداکثر ۲۴ ساعته در حوضه آبریز قره‌چای با استفاده از روش SCS و کاربرد GIS. مجله پژوهش کشاورزی، جلد ۵، شماره ۳، صفحات: ۷۱-۸۳.
۷. معرفتی، ص.، گلمحمدی، گ.، محمدی، ک. و ح. زارع ابیانه. ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی بارش در استان همدان در محیط GIS. مجله دانش آب و خاک، جلد ۱، شماره ۲، صفحات: ۱-۱۸.
۸. مهدوی، ر.، عابدی کوپایی، ج.، رضایی، م. و م. عبدالحسینی. ۱۳۸۳. مکان‌یابی محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی از طریق RS و GIS. دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک، دانشکده کشاورزی شیراز.
9. Anbazhagan, S. Ramasamy, S. M. AND S. Das Gupta. 2005. Remote sensing and GIS for artificial recharge study, runoff estimation and planning in Ayyar basin, Tamil Nadu, India. Journal of Environ Geology, 48: 158-170.

10. De Winnaar, G., Jewitt, G. P. W. and M. Horan. 2007. A GIS-based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Thukela River basin, South Africa. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*, 32: 1058-1067.
11. Ghayoumian, J., Mohseni Saravi, M., Feiznia, S., Nouri, B. and A. Malekian. 2006. Application of GIS techniques to determine areas most suitable for artificial groundwater recharge in a coastal aquifer in southern Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30: 364-374.
12. Jain, M. K., Kothiyari, U. C. And K. G. Ranga Raju. 2004. A GIS based distributed rainfall-runoff model. *Journal of Hydrology*, 299:107-135.
13. Jasrotia, A. S., and R. Singh. 2006. Modeling runoff and soil erosion in a catchment area, using the GIS, in the Himalayan region, India. *Journal of Environ Geology*, 51:29-37.
14. Julien, P. Y., Saghafian, B. and F. L. Ogden. 1995. Raster based hydrological modelling of spatially-varied surface runoff. *Journal of Water Resource Bulletin*, 31: 523-536.
15. Melesse, A. M. and S. F. Shih. 2002. Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS. *Journal of Computers and Electronics in Agriculture*, 37: 173-183.
16. Still, D. A. and S. F. Shih. 1991. Satellite data and geographic information system in runoff curve number prediction. In: *Proceeding of the International Conference on Computer Application in Water Resources*, Taipei, Taiwan, R.O.C., pp: 1014-1021.
17. Still, D. A. and S. F. Shih. 1985. Using Landsat to classify land use for assessing the basin-wide runoff index. *Journal of Water Resources Bulletin*, 21: 931-939.
18. Still, D. A. and S. F. Shih. 1984. Using Landsat data to estimate runoff. *ASAE Summer Meeting*, pp: 80-2018, St. Joseph, MI.
19. Stuebe Miki, M. and M. J. Douglas. 1990. Runoff volume Estimation GIS Techniques. *Journal of Water Resources Bulletin*, 26: 611-620.
20. USDA-SCS National Engineering Handbook. 1985. Section 4-Hydrology (Washington, D. C.:USDA-SCS)