ارزیابی مدل SCS-CN در تخمین رواناب
مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز سد امیرکبیر(کرج)

دکتر منیژه قهرودی تالی
استادیار جغرافیا دانشگاه تربیت معلم

چکیده

حجم رواناب ایجاد شده توسط باران در حوضه‌های رود مورد توجه پژوهشگران در بخش‌های مختلف مدیریت منابع آب می باشد. تاکنون روش‌های مختلفی برای تخمین حجم رواناب ناشی از بارندگی ابداع و مورد استفاده قرار گرفته است که بیشتر آنها بر روش‌های آمار کلاسیک یا نتایج به دست آمده از سایر حوضه‌ها، استوار است. امروزه تکنیک‌های سنجش از دور و GIS استفاده‌ی بهتری از این مدل‌ها را فراهم نموده است. سرویس حفاظت خاک (SCS) روشی را برای محاسبه‌ی رواناب ابداع نموده است که بر اساس تعیین شماره‌ی منحنی قرار دارد. این پژوهش مدل فوق را در حوضه‌ی آبریز سد کرج توسط فنون سیستم اطلاعات جغرافیایی اجرا نمود و به این نتیجه رسید که استفاده از مدل وزنی در محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی این امکان را فراهم می‌سازد که تمام عوامل مؤثر در تولید رواناب در نظر گرفته شود و در نتیجه تخمین درست‌تری از رواناب ناشی از بارندگی به دست آید.

کلیدواژه‌ها: تخمین رواناب ، شماره‌ی منحنی ،حوضه‌های آبریز، سد امیرکبیر(کرج).

مقدمه

هرگاه شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ خاک بیشتر باشد ، بخشی از بارندگی در سطح حوضه‌ها در امتداد شیب جاری می‌شود و توسط رودها از حوضه‌ها خارج می‌شود، به این بخش از بارندگی که مقدار آن در رودخانه‌ها قابل اندازه‌گیری است، رواناب سطحی[1] گویند *(علیزاده، ۱۳۶۸: ۲۸۹)*. روش‌های متعددی برای محاسبه‌ی رواناب بر اساس بارندگی توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار می‌گیرد که بیشتر این روش‌ها به روابط آماری بین رواناب و بارندگی استوار است *(خیام، احد مولوی، ۱۳۸۳: ۷۸-۷۶)، (ولایتی، غیور، شفیعا، ۱۳۸۳: ۶۵-۶۴)، (Gomez,B.Sy,V.W.K.Coleman,S.E. Peacock.D.H.Kent.M. 2005:88)*.

1- Surface Run off

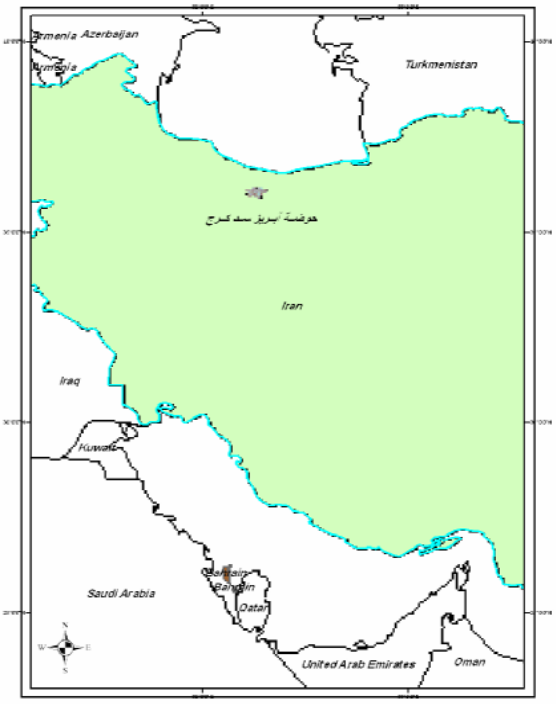
Archive of SID

www.SID.ir

سرویس حفاظت خاک(SCS)[1]روشی را پیشنهاد نموده است که درآن با استفاده از شماره‌ی منحنی[2] (CN) امکان تخمین واقعی‌تری را از رواناب به دست می‌دهد.این مدل کاربردهای متفاوتی پیدا نموده و توسط پژوهشگران مختلف برای تخمین رواناب به کار رفته است *(Anbazhagan,Ramasamy,Gupta,2005)*.این پژوهش مدل وزنی را در روش SCS-CN برای حوضه‌ی آبریز سد امیرکبیر (کرج) اجرا نموده و نتایج آن را با ایستگاه‌های هیدرومتری مقایسه و مورد ارزیابی قرار داده است.

ویژگی‌های حوضه‌ی آبریز سد کرج

حوضه‌ی آبریز سد کرج با وسعت ۸۸۲,۵ کیلومتر مربع در محدوده‌ی طول جغرافیایی ۵۱-۰۳ ، ۵۱-۳۵ و عرض جغرافیایی ۵۳-۳۵،۱۰-۳۶ قرار گرفته است. از شمال به حوضه‌ی چالوس، از شرق به حوضه‌ی لتیان، از غرب به حوضه‌ی کردان و از جنوب به کوههای شمال تهران منتهی می‌شود. حداقل ارتفاع در این حوضه ۱۶۶۰ متر و حداکثر ارتفاع ۴۳۱۴ متر می‌باشد. شکل شماره‌ی ۱ موقعیت این حوضه را در ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت حوضه‌ی آبریز سد امیرکبیر(کرج)

1- Soil Conservation Service
2- Curve Number

Archive of SID

www.SID.ir

مواد و روش‌ها

برای تعیین محدوده‌ی حوضه‌ی آبریز سد کرج(امیرکبیر) نقشه های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی این محدوده بر اساس سیستم تصویر UTM، زون ۳۹ زمین مرجع شد. و مرز حوضه‌ی آبریز، لایه‌های شبکه‌ی زهکشی و خطوط منحنی میزان استخراج گردید.

بر اساس مختصات ایستگاههای باران سنجی و سینوپتیک لایه ای ساخته شد و آمار ماهانه‌ی باران در سال‌های ۸۳-۱۳۵۵ تهیه شد. شکل شماره‌ی ۲- الف ایستگاههای کلیماتولوژی در حوضه را نشان می‌دهد.

برای محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی از تصاویر IRS-LISSIII و ترکیب آن با باند PAN آن سنجنده استفاده شد و مختصات و سیستم تصویر آن بر اساس نقشه‌های توپوگرافی اصلاح گردید. برای تأثیر نقش سنگ‌های آهکی و زمین‌های آبرفتی در محاسبه‌ی CN نقشه‌ی زمین‌شناسی، زمین مرجع شد و طبقات سنگ بر اساس پتانسیل نفوذ استخراج گردید (شکل شماره‌ی۲- ب).

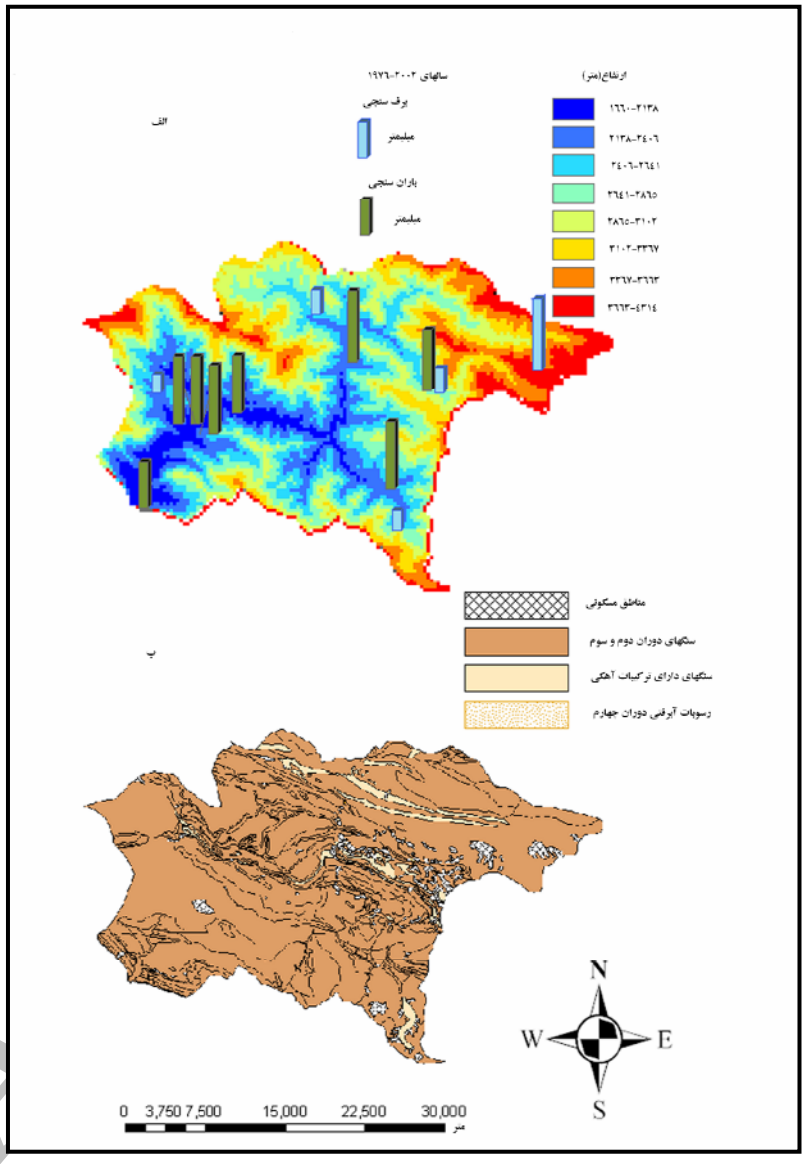
ارتفاع رواناب در مدل SCS بر اساس رابطه‌ی شماره‌ی ۱ محاسبه می‌شود، که در آن Q ارتفاع رواناب، P ارتفاع بارندگی و S مقدار ذخیره‌ی سطحی خاک است که بر اساس فرمول شماره‌ی ۱، ۲۰٪ آن قبل از شروع جریان رواناب و ۸۰٪ بقیه در طی جریان رواناب جذب خاک می‌شود و میزان آن بستگی به نوع پوشش گیاهی، نحوه‌ی بهره‌برداری از زمین و وضعیت خاک از نظر نفوذپذیری و شرایط رطوبت پیشین دارد. میزان S از رابطه‌ی شماره‌ی ۲ محاسبه می‌شود. در این رابطه CN یک عدد بدون بعد می‌باشد که بین صفر تا صد متغیر است که در CN برابر ۱۰۰، خاک توان جذب بارندگی را ندارد و در نتیجه ارتفاع رواناب با بارندگی مساوی است. فرمول‌های زیر در سیستم متریک و میزان S به سانتی متر است.

رابطه‌ی شماره‌ی ۱ $Q=(P-0.2S)^2 / P+0.8S$

رابطه‌ی شماره‌ی ۲ $S=(2540/CN)-25.4$

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲: الف- ایستگاههای کلیماتولوژی. ب- نقشه‌ی سنگ شناسی

www.SID.ir

محاسبه‌ی CN بر اساس گروههای هیدرلوژیکی خاک[1]، بهره‌وری از زمین[2]، وضعیت هیدرولوژیکی[3] و وضعیت رطوبت پیشین خاک[4] صورت می‌پذیرد *(مهدوی،۱۳۷۱: ۱۴۰-۱۲۴)*، اما در این پژوهش با توجه به عوامل فوق از مدل وزنی برای محاسبه‌ی CN استفاده شده است. به این ترتیب که ویژگی‌های حوضه‌ی سد امیرکبیر مورد مطالعه قرار گرفت و چون بیشتر مساحت حوضه را اراضی عریان تشکیل می‌داد و پوشش گیاهی در این حوضه بر اساس مطالعات میدانی به باغاتی محدود می‌شد که بیشتر آن در کنار بستر رودخانه است.لذا از تصاویر IRS حوضه شاخص پوشش گیاهی[5] (NDVI) استخراج گردید و این شاخص به چهار کلاس بر اساس تراکم پوشش گیاهی قرار گرفت (شکل شماره‌ی۳-الف) به دلیل اینکه مناطق مسکونی در این حوضه بسیار کم است، لذا بر اساس مطالعات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای مناطق دارای کاربری تعیین گردید و برای محاسبه‌ی CN در چند کلاس قرار گرفت(شکل شماره‌ی۳- ب) در این لایه، اراضی ناشناخته جزو زمین‌های لخت می‌باشند و بالاترین وزن را برای محاسبه‌ی CN به خود اختصاص داده‌اند.

بخشی از سنگ‌های حوضه‌ی زمین‌های آهکی دارای درز و ترک زیاد است و باعث افزایش تلفات آب می‌شود و همچنین قسمت‌هایی بویژه در مسیر رودها را زمین‌های آبرفتی تشکیل می‌داد که امکان ذخیره‌ی بیشتری از رواناب را دارا است، لذا نقشه‌ی زمین‌شناسی بر اساس پتانسیل نگهداری رواناب طبقه‌بندی گردید و در محاسبه‌ی CN مورد استفاده قرار گرفت (شکل شماره‌ی ۲- ب). به دلیل ارتباط معکوس تراکم شبکه‌ی زهکشی با پتانسیل تولید رواناب، لایه‌ی تراکم زهکشی در چهار کلاس از کم تا زیاد قرار گرفت و کمترین تراکم بالاترین وزن در مدل CN را به خود اختصاص داد (شکل شماره‌ی ۴-الف) لایه‌ی گروههای هیدرولوژیکی خاک بر اساس شاخص‌های مطرح شده در جدول شماره‌ی۱ تهیه شد. شرایط رطوبت پیشین در این حوضه نرمال و طبیعی (II) فرض شد سپس مدل زیر در محاسبه‌ی CN مورد استفاده قرار گرفت.

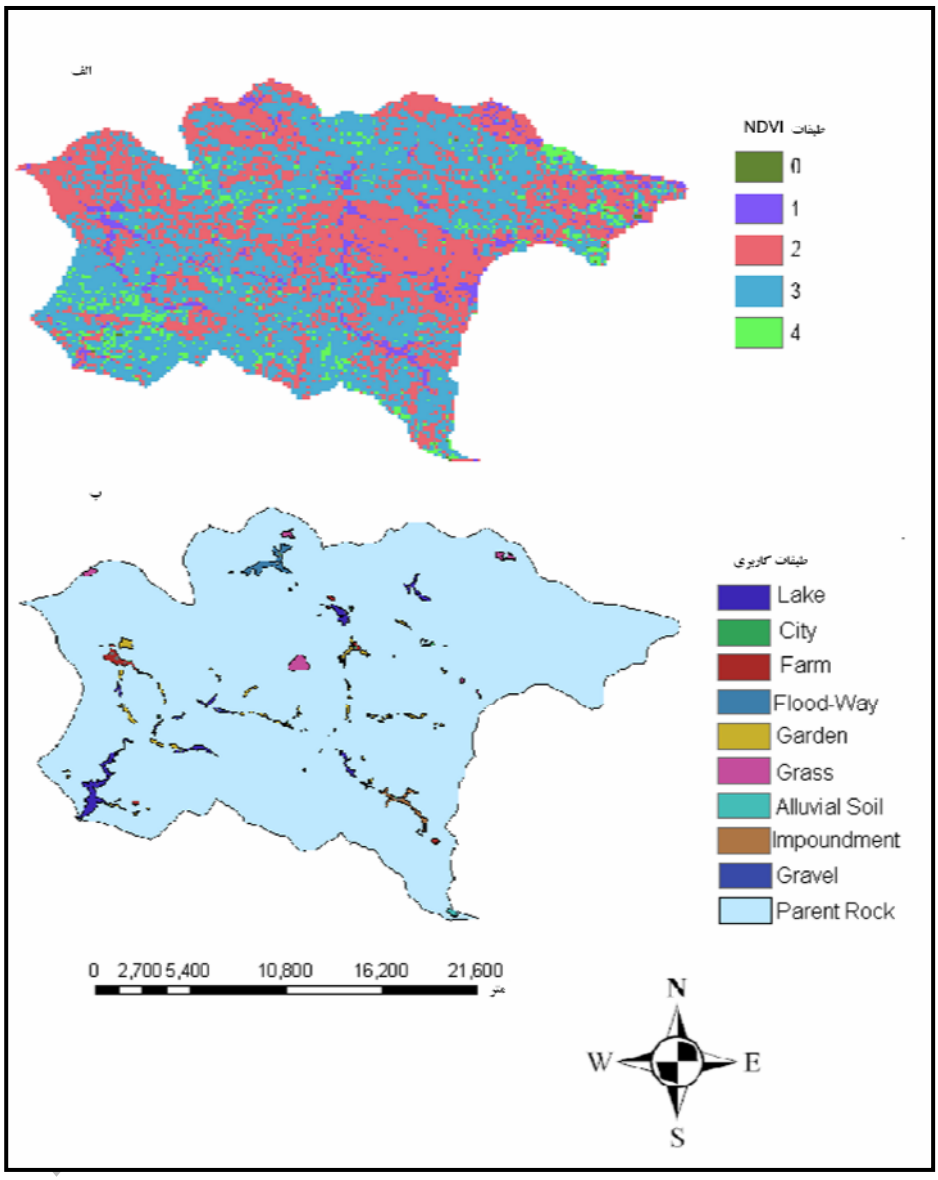
$$CN=\sum(cn1.a1+cn2.a2+cn3.a3+cnn.an)/\sum a$$ **رابطه‌ی شماره‌ی ۳**

که در آن CN شماره‌ی منحنی در واحد سلول (سلول‌های به ابعاد ۵۰ متر) می‌باشد، cn1-n متغیّرهای مورد استفاده که بر اساس میزان شماره‌ی منحنی طبقه‌بندی شده‌اند. a1-n تعداد سلول‌های هر طبقه‌ی وزن داده شده است و $\sum\alpha$ مجموع کل سلول‌ها یا کل مساحت حوضه می‌باشد.

1- Hydrologic soil groups
2- Land use
3- Hydrilogic condition
4- Antecedent moisture condition
5- Normalized difference vegetion index

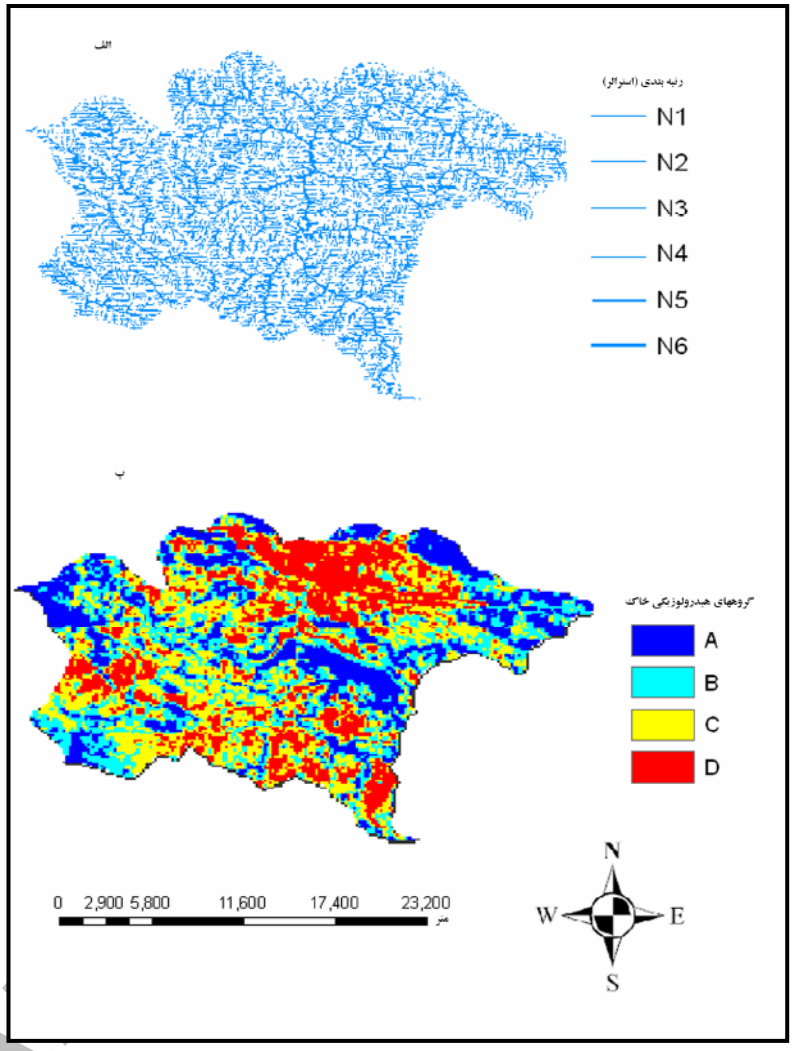
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳: الف- شاخص NDVI طبقه بندی شده ب- نقشهٔ کاربری اراضی

www.SID.ir



شکل۴: الف- تراکم زهکشی بر اساس مدل استرالر ب- گروههای هیدرولوژیکی خاک

www.SID.ir

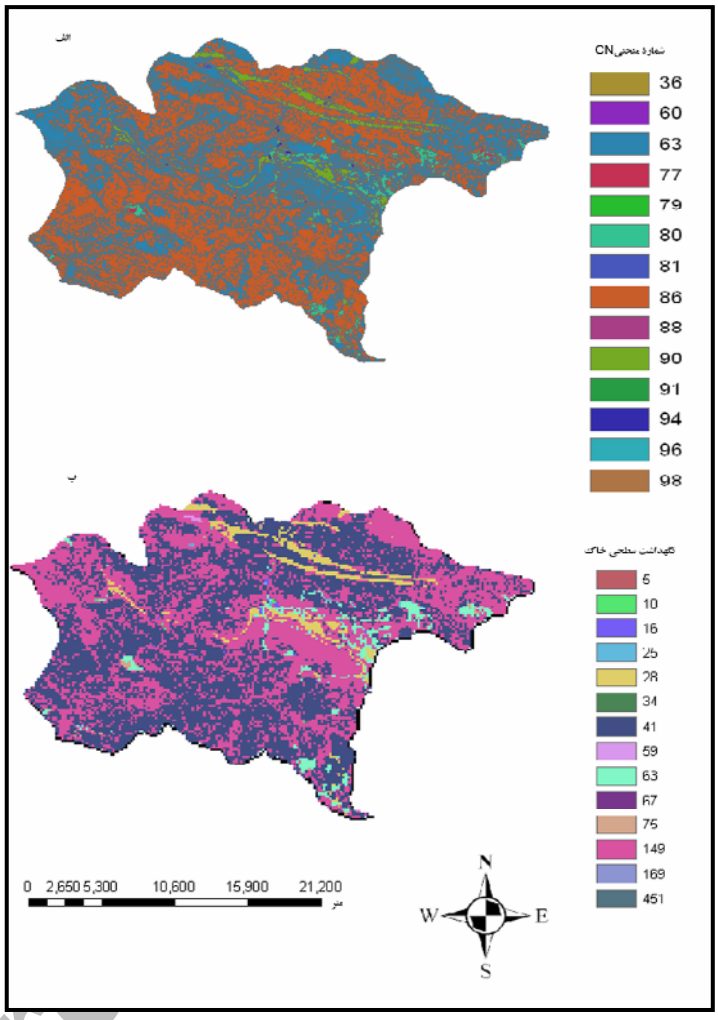
جدول ۱: معیار طبقه‌بندی گروههای هیدرولوژیکی در حوضهٔ سد امیرکبیر(کرج)

ویژگی	گروههای هیدرولوژیکی خاک			
	A	B	C	D
نرخ نفوذ	بالا	متوسط	کم	خیلی کم
بافت	شن/ماسه	بطور متوسط درشت تا به طور متوسط ریز	بطور متوسط ریز	رس
عمق	عمیق	متوسط	بطور متوسط عمیق	کم عمق
زهکشی	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم
انتقال آب	بالا	متوسط	کم	خیلی کم
طبقه	پتانسیل رواناب پایین	پتانسیل رواناب متوسط	پتانسیل رواناب زیاد	پتانسیل رواناب خیلی زیاد

پس از محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی وزن داده شده (بر اساس رابطه‌ی شماره‌ی ۳)، حداکثر پتانسیل نگهداشت سطحی خاک S بر اساس رابطه‌ی شماره‌ی ۲ محاسبه شد (شکل شماره‌ی ۵- ب). و رابش اولیه‌ی خاک (Ia) نیز تعیین گردید. رابش اولیه آبی است که گیاهان و خاک قبل از شروع رواناب جذب می‌کنند و از مجموع رواناب کاسته می‌شود که بطور استاندارد Ia=0.2S اگر بارندگی بیشتر از 0.2S باشد رواناب تولید می‌شود در غیر این‌صورت روانابی رخ نمی‌دهد *(Kershaw,J.A.Clague,J.J.Evans,S.G. 2005:6)*.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵ : الف- لایهٔ CN ب- لایهٔ نگهداشت سطحی خاک S

برای تخمین رواناب آمار بارندگی میانگین دراز مدت بارندگی برای سال‌های ۸۱-۱۳۵۵ و بارندگی سالیانه‌ی سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۸۱ و ۱۳۸۳-۱۳۸۲ تهیه شد و بر اساس روش IDW [1] با توان دوم درون‌یابی [2] انجام شد. زیرا حداقل خطای پیش‌بینی (RMSPE[3]) در داده‌های باران با توان دوم بود *(قهرودی، ۱۳۸۴ : ۲۲-۱۶)* و ۳ لایه‌ی باران برای دوره‌های فوق تهیه شد و بر اساس رابطه‌ی شماره‌ی ۱ رواناب مربوط به آنها محاسبه گردید (شکل شماره‌ی ۶).

1- Inverse distance weighte
2- Intepolate
3- Root mean square predition error

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

تخمین ارتفاع رواناب از روی شماره‌ی منحنی برای بارش‌هایی که به‌صورت باران نازل می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. تخمین ارتفاع رواناب ناشی از بارندگی توسط این مدل در هر مقطع زمانی قابل محاسبه است. زیرا شرایط زمینی از قبیل نوع کاربری و گروههای هیدرولوژیکی خاک در حوضه‌ی سد امیرکبیر را می‌توان برای دوره‌های ۱۰، ۵، ۱، و حتی ۲۰ ساله ثابت فرض نمود و با تغییر دادن ارتفاع بارندگی، میزان رواناب را محاسبه نمود.

استفاده از مدل شماره‌ی منحنی وزنی می‌تواند امکان محاسبه‌ی گروههای هیدرلوژیکی خاک، بهره‌وری از زمین، وضعیت هیدرولوژیکی و وضعیت رطوبت پیشین خاک را در واحد سلول فراهم می‌سازد و حداکثر دقت در به کارگیری متغیرها داشته باشد. در نتیجه محاسبه‌ی دقیق میزان تلفات باران (میزان بارانی که تبدیل به رواناب نشده است) امکان‌پذیر می‌شود. این شیوه‌ی محاسبه در محیط نرم‌افزار GIS عملی می‌باشد. نقش میزان بارش در محاسبه‌ی رواناب اهمیت زیادی دارد.بارندگی مانند رواناب متغیّری پیوسته می‌باشد، اما به‌صورت گسسته توسط ایستگاههای کلیماتولوژی و سینوپتیک برداشت می‌شود.

در محاسبه‌ی رواناب، هرچه روش تبدیل بارندگی که ایستگاهها ثبت می‌کنند، (متغیّر گسسته) به پهنه‌های بارندگی (متغیّر پیوسته) دقیق‌تر باشد،محاسبه‌ی رواناب نتایج واقعی‌تری می‌دهد. لذا انتخاب روش‌های درون‌یابی که در این زمینه به کار می‌رود باید با دقت بیشتری انجام شود. روش‌های درون‌یابی و محاسبه‌ی میزان خطای ناشی از آن در اکثر نرم‌افزارهای GIS فراهم است که با توجه به پراکندگی ایستگاهها و مقیاس مورد نظر تفاوت می‌کند. در این پژوهش توان دوم مدل IDW مورد استفاده قرار گرفت زیرا مجذور مربع میانگین خطای RMSE کمتری داشت.

تغییرات شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در این حوضه بین ۰,۳۷- و ۱ می‌باشد و بیشتر حوضه دارای شاخص پوشش گیاهی کمتر از ۰,۵ می‌باشد، که مشاهدات میدانی و تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری (شکل شماره‌ی ۳- ب) نیز این موضوع را تأیید می‌کند. بنابراین باید پتانسیل تولید رواناب در حوضه‌ی بالا باشد. در حالی‌که مطالعات نشان می‌دهد با توجه به حجم بارش (برف و باران) که حوضه‌ی سد امیرکبیر دریافت می‌کند پتانسیل تولید رواناب پایین است زیرا مساحت زیادی از حوضه را سنگ‌های آهکی پوشانده است که این سنگ‌ها هم قابلیت انحلال بالایی دارند و هم دارای درز و ترک هستند که هدر رفت رواناب ناشی از باران را بیشتر می‌کنند *(قهرودی،۱۳۸۴: ۷۴)* لذا استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی در محاسبه‌ی CN باعث شد که تعدیلی در حجم رواناب در سلول‌هایی که بر نوع سنگ‌های آهکی انطباق داشته‌اند، نیز رخ دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

تراکم نسبی زهکشی یا اندازه‌ی طول یک آبراهه در یک سلول نیز می‌تواند در محاسبه‌ی رواناب ناشی از بارندگی اثر بگذارد. زیرا افزایش تراکم زهکشی، سطح انتقال آب را بیشتر می‌کند و در نتیجه نفوذ آب افزایش می‌یابد و پتانسیل تولید رواناب کاهش می‌یابد. لایه‌ی تراکم زهکشی در این حوضه توسط مدل هیدرولوژیکی استرالر[1] موجود در نرم‌افزار ArcGIS استخراج گردید*(Esri,2003)* (شکل شماره‌ی۴-الف)این‌لایه باعث تعدیل‌رواناب در سلول‌هایی گشت که دارای تراکم زهکشی بیشتری بودند.

لایه‌ی نگهداشت سطحی خاک (شکل شماره‌ی ۵- ب) و لایه‌ی میانگین دراز مدت بارندگی در محاسبه‌ی میانگین رواناب درازمدت (سال‌های ۸۱-۱۳۵۵) استفاده شد و همچنین برای لایه‌های باران سال‌های آبی ۸۲-۱۳۸۱ و ۸۳-۱۳۸۲ رواناب محاسبه گردید (شکل شماره‌ی ۶). برای مقایسه‌ی نتایج محاسبات با ایستگاههای دبی سنجی، میانگین رواناب ناشی از برف نیز که برای سال‌های ۸۱-۱۳۵۵ محاسبه شده بود نیز در نظر گرفته شد *(قهرودی، ۱۳۸۴: ۷۲)*.

این حوضه دارای سه ایستگاه دبی سنجی می‌باشد که ایستگاه سیرا مهمترین ایستگاه این حوضه می‌باشد که بر روی رودخانه‌ی کرج در محل وارد شدن به سد قرار دارد و سایر ایستگاهها مربوط به شاخه‌های فرعی این رودخانه است.

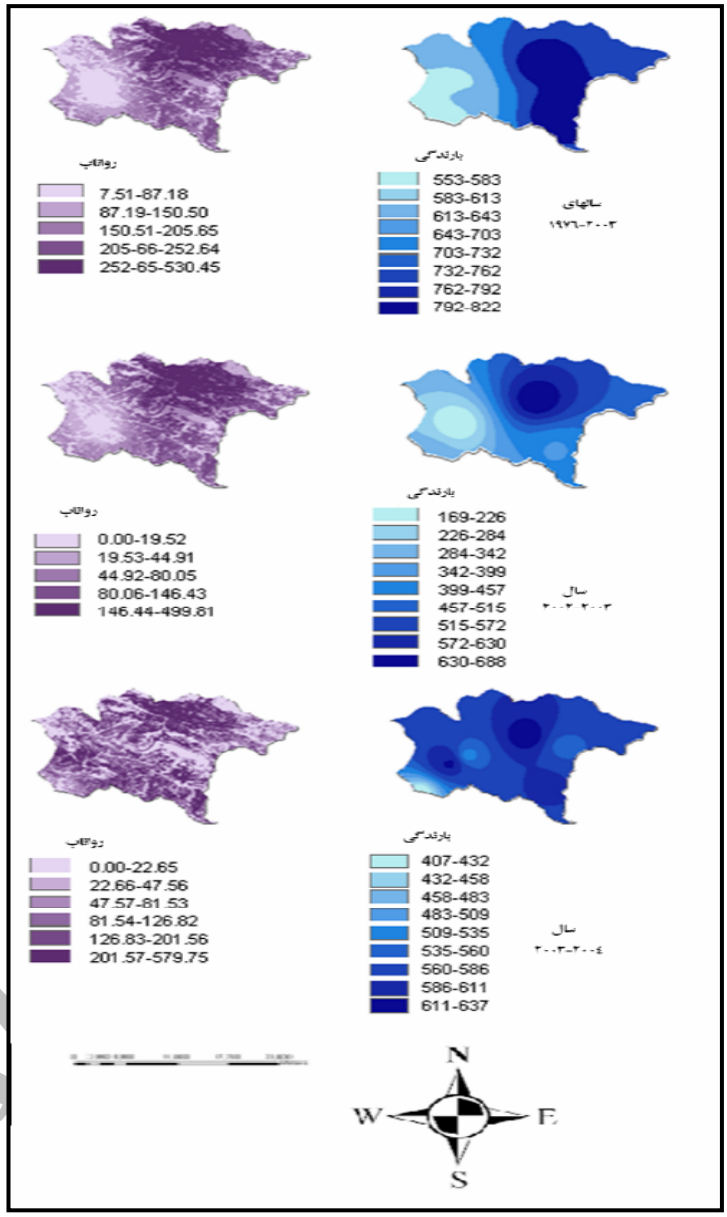
شکل شماره‌ی ۷ حجم آب مربوط به بارندگی، رواناب و دبی را نشان می‌دهد. همچنانکه این نمودار نشان می‌دهد ۳۰,۱۲ درصد از میانگین دراز مدت بارندگی، تبدیل به رواناب گشته است و این میزان برای سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ برابر ۲۰,۰۸ درصد و برای سال ۸۳-۱۳۸۲ معادل ۲۴,۶۵ درصد است.

میانگین دراز مدت حجم آب اندازه‌گیری شده در ایستگاه سیرا در محل سد کرج معادل ۳۸۷۶۴۱۰۰۰ متر مکعب بوده است که میزان رواناب محاسبه شده در همان سال‌های آماری برابر ۱۴۶۱۰۲۵۷۵,۶ متر مکعب بوده است . به عبارت دیگر ۳۷/۶۹ درصد از آب وارده به سد امیرکبیر را رواناب ناشی از باران می باشد و این در حالی است که ۵۹/۳۸ درصد آن را رواناب ناشی از برف تشکیل می‌دهد و ۲/۹۳ درصد باقی مانده از طریق چشمه‌های موجود در حوضه‌ی تأمین می‌شود.

1-Sterahler

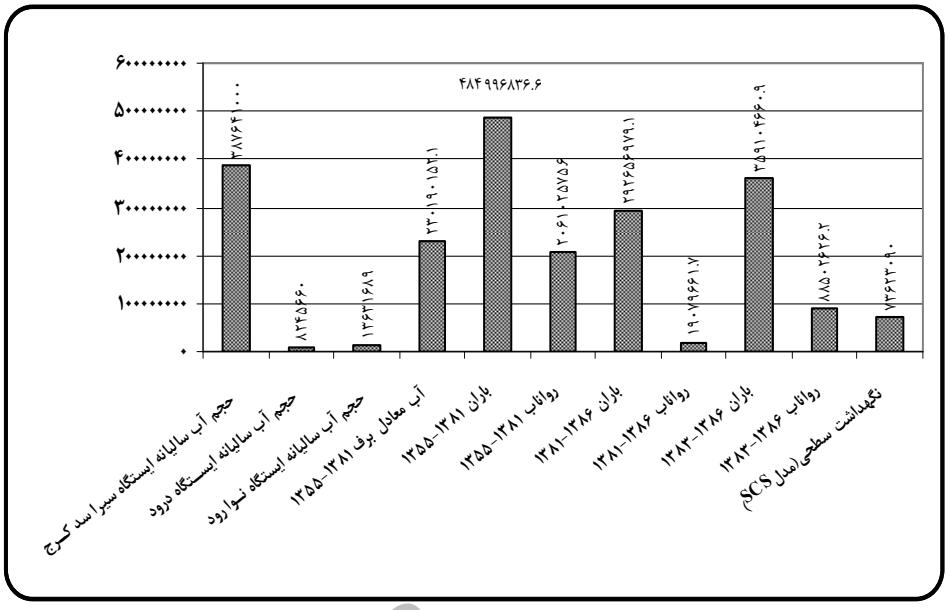
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶ : بارندگی و رواناب در حوضه‌ی آبریز سد امیرکبیر(کرج)

www.SID.ir



شکل ۷ : نمودار باران، دبی و رواناب در حوضه‌ی سد امیرکبیر(مترمکعب)

Archive

www.SID.ir

منابع و مآخذ

۱- خیام، مقصود و احد مولوی(۱۳۸۳): *تحلیل‌های کمی رواناب حوضه‌ی آبریز سعیدآباد چای*. مجله‌ی جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۳. زاهدان. پژوهشکده‌ی علوم زمین و جغرافیا. ۷۸-۷۶.

۲- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تصاویرIRS,LISSIII & PAN تاریخ اگوست ۲۰۰۳.

۳- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ گاجره(I ۶۲۶۱)، تجریش(II ۶۲۶۲) ، آسارا(II ۶۲۶۲)، کرج۱ (IV ۶۲۶۱)، کرج۲(I ۶۱۶۱).

۴- علوی‌پناه،سیدکاظم(۱۳۸۲):*کاربرد سنجش از دور درعلم زمین*.تهران.انتشارات دانشگاه تهران.

۵- علیزاده، امین (۱۳۶۸): *اصول هیدرولوژی کاربردی*. مشهد. آستان قدس بنیاد فرهنگی رضوی.

۶- قهرودی‌تالی، منیژه (۱۳۸۴): *سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در محیط سه بعدی*. تهران. انتشارات جهاد دا نشگاهی واحد تربیت معلم.

۷- قهرودی تالی، منیژه (۱۳۸۴): *مدل‌سازی پیش‌بینی آورد رودهای منتهی به سد امیرکبیر(کرج) با تأکید بر بودجه‌ی برفی با به کارگیری تصاویر MODIS و IRS*. تهران. شرکت سهامی آب منطقه‌ای تهران. معاونت مطالعات و پژوهش منابع آب. ۷۳-۷۲.

۸- گودرزی‌نژاد، شاپور.کوک، آر.یو. دورکمپ، جی. سی (۱۳۷۷): *ژئومورفولوژی و مدیریت محیط*. جلد اول. تهران. انتشارات سمت. ۳۳۹-۳۳۸

۹- مهدوی، محمد(۱۳۷۱): *هیدرولوژی کاربردی*.جلد دوم.تهران.انتشارات دانشگاه تهران.۱۴-۱۲۱.

۱۰- ولایتی، سعداله (۱۳۸۳): *جغرافیای آبها*. مشهد. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.۱۸۲-۱۸۱.

۱۱- ولایتی، سعداله. غیور، حسنعلی و صفورا شفیعا (۱۳۸۳): *بررسی رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ی فریزی (زیرحوضه‌ی کشف‌رود) و نقش آن در تغذیه‌ی آبخوان دشت مشهد*. مجله‌ی جغرافیا و توسعه. شماره‌ی ۳. زاهدان. پژوهشکده‌ی علوم زمین و جغرافیا. ۶۵-۶۴ .

۱۲- موحددانش،علی‌اصغر (۱۳۷۳): *هیدرولوژی آب‌های سطحی*. تهران.انتشارات سمت.۳۱۲-۳۱۰.

Archive of SID

www.SID.ir