جغرافیا (فصلنامه علمی ـ پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیای ایران)
دوره جدید، سال پانزدهم، شماره ۵۳، تابستان ۱۳۹۶

برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره منحنی و ابزار Arc CN-Runoff
مطالعه موردی: حوضه آبخیز کشار، تهران

محمدمهدی حسین‌زاده[۱] و رعنا نوروزی طیولا[۲*]
تاریخ وصول:۱۳۹۶/۱/۱۷، تاریخ تایید: ۱۳۹۶/۴/۵

چکیده

با توجه به بحران جهانی آب، داشتن اطلاعات درست از آن در نقاط مختلف برای مدیریت برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی ضروری است. روش‌های مرسوم اندازه‌گیری بسیار پرهزینه، وقت‌گیر و دشوار است که سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌منظور تخمین رواناب حوضه آبریز در سال‌های اخیر جهت کاهش این مشکل مورداستفاده قرارگرفته است. در این تحقیق، با استفاده از بارندگی روزانه در نرم‌افزار SMADA دوره بازگشت ۲ و ۵۰ ساله حاصل شد. ابزار ArcCN-Runoff با توجه به صحت و دقت بالایی که در پژوهش‌های متعدد از آن حاصل‌شده جهت ایجاد نقشه‌های شماره منحنی و ارتفاع و حجم رواناب در حوضه کشار مورداستفاده قرار گرفت. منطقه کشار به سه گروه هیدرولوژیکیB,C,D و هفت کاربری تقسیم شد. نتایج تحقیق نشان داد CN ۷۹ در گروه هیدرولوژیکی C بیشترین مساحت (۵۶/۰۸ درصد)از اراضی سطح حوضه را شامل می‌شود، خاک‌هایی با نفوذپذیری کم که‌توانایی تولید رواناب آن‌ها نسبتاً زیاد است و ۱۵ درصد از منطقه CN بالای۸۰ را دربر می‌گیرند، این درحالیست که به‌دلیل وقوع رگبارهای شدید و کوتاه‌مدت، ریزش باران‌های طولانی‌مدت همزمان با بالارفتن درجه حرارت و ذوب شدید برف، این حوضه در معرض خطر سیلاب قرار می‌گیرد.

کلیدواژگان: تخمین رواناب، حوضه کشار، شماره منحنی، روشSCS ، ArcCN-Runoff

---

۱. دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

مقدمه

زمین مهم‌ترین منبع طبیعی برای فعالیت‌های انسان است. افزایش جمعیت و فعالیت‌های انسانی باعث افزایش تقاضا استفاده از منابع آب و خاک برای کشاورزی، جنگل، مراتع، شهر و صنعت شده است. با افزایش جمعیت مناطق سطح کشت نمی‌توانند نیازهای این جمعیت را فراهم کنند، در نتیجه باید سطح بیشتری برای تهیه نیازهای جمعیت مازاد زیرکشت برود. تداوم این روند باعث کاهش کمی و کیفی منابع آب و خاک می‌شود (رزاق‌نیا و همکاران،۲۰۱۳؛ ۲۰۱۵). این افزایش تقاضا برای آب، استفاده از این منبع را به یک بحران تبدیل می‌کند و مسئله ارزیابی و برنامه‌ریزی آب قابل استفاده را پیچیده می‌نماید (USDA،۱۹۸۶). در طول بحران جهانی آب برنامه‌ریزی برای نگهداری حفظ و حیات آب و استفاده مناسب و کافی این منابع از مهم‌ترین طرح‌های توسعه برای هر کشور است. بدون اطلاعات صحیح و دقیق از منابع آب برنامه‌ریزی معنایی ندارد (حسنی و همکاران،۲۰۱۲). برنامه‌ریزی به‌موقع و اصولی رواناب می‌تواند برای حل مشکل کمبود آب آشامیدنی و کشاورزی و صنعت مخصوصاً خشکسالی بسیار مفید باشد (جوادی و همکاران،۲۰۱۱). از آنجایی که مساله پیش‌بینی و برآورد رواناب حاصل از بارش‌های جوی و درک فرایندهای مختلف تولید آن به‌عنوان یکی از مباحث مهم، اساسی و بنیادی در دانش هیدرولوژی به‌شمار می‌رود، لذا دستیابی به‌میزان کمی و کیفی آن با نگرش سیستمی از این نظر حائز اهمیت است که پایه و مبنای مطالعاتی طرح‌های عمرانی را در زمینه‌های مختلف توسعه و بهره‌برداری در منابع آب و سازه‌های آبی و یا سایر عرصه‌های محیطی در حوضه‌های آبخیز تشکیل می‌دهد (سینگ،۱۹۹۸). روش‌های مرسوم اندازه‌گیری رواناب در ایران به‌خاطر دسترس نبودن اکثر حوضه‌های آبخیز، یک امر پر هزینه، وقت‌گیر و مشکل است، علاوه بر این در بیشتر حوضه‌های آبخیز ایران، ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش یا رواناب وجود ندارد و یا داده‌های موجود ناقص می‌باشند. داده‌های دقیق و قابل اطمینان نیز یکی دیگر از مسائل جدی در طراحی و تحقیقات مربوط به هیدرولوژی است. بنابراین، استفاده از ابزارهایی برای تهیه داده‌های پایه منابع آب و حفاظت خاک در طرح‌های آبخیزداری، یک نیاز ضروری و اساسی می‌باشد (احمدی و همکاران،۲۰۱۱؛ جوادی و همکاران،۲۰۱۱).

جهت برآورد رواناب سطحی روش‌های مختلفی وجود دارد از جمله این روش‌ها، برآورد رواناب سطحی با استفاده از نفوذپذیری خاک، برآورد رواناب به‌روش استدلالی، برآورد رواناب سطحی به‌وسیله روش‌های تجربی همچون روش مبتنی بر سطح حوضه به‌روش کریگر، رابطه تجربی فولر و روش رکوکو همچنین برآورد رواناب به‌وسیله شماره منحنی(CN) می‌باشد، که در بین این روش‌ها، روش شماره منحنی به‌صورت دقیق‌تر و مطمئن‌تر کاربرد فراوانی در اقلیم‌های مختلف دنیا دارد (چاوه و همکاران،۲۰۱۱). در هیدرولوژی، شماره منحنی (CN) برای تعیین مقدار نفوذ بارش در زمین یا آبخوان و مقدار بارشی که تبدیل به رواناب می‌شود استفاده می‌گردد. زمانی که مقدارCN بالا باشد به معنای رواناب بالا و نفوذکم (مناطق شهری) است. اگر مقدار CN پایین باشد به معنای رواناب پایین و نفوذ بالا (مناطق خشک) است. شماره منحنی تابعی از کاربری و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک است (یانگ،۱۹۷۸). علاوه بر این در مطالعات متعددی به سهولت و انعطاف تصمیم‌گیری یکپارچه بوسیله GIS اشاره شده است که زمینه کاهش هزینه، زمان و بهبود کیفیت برنامه‌ریزی را فراهم می‌کند (احمدی و همکاران،۲۰۱۱). محققان زیادی در مناطق مختلف جهان جهت تهیه ارتفاع رواناب به روش شماره منحنی (SCS) از ابزار GIS استفاده کرده‌اند که در این راستا مطالعات خارجی توسط تجرام نجک و همکاران (۲۰۱۲) به استفاده از روش شماره منحنی در حوضه آبخیز Narmada در هند

پرداختند. در این مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌ها در محیط GIS، پارامترها و نتایج ورودی مطابق با روش SCS تعیین و محاسبه شد و حجم رواناب مشخص گردید. ساندرکوما و ریشی (۲۰۱۳) در حوضه آبخیز Mandel Kapaly به شبیه‌سازی رواناب با استفاده از SCS و RRL پرداخته و بوسیله دو روش REAL و شبیه‌سازی با کمک GIS رواناب را به‌دست آوردند و در نهایت، نتایج حاصل در طول پنج سال مقایسه شد. طاهر و مزاحم (۲۰۱۳) در Sana Yemen به محاسبه حجم رواناب با استفاده از GIS به روش SCS پرداختند. ویجی و همکاران (۲۰۱۵) به انتخاب روش SCS-CN با استفاده از محیط GIS به پیش‌بینیCN برای وضعیت رطوبت قبلی (AMC[1]) و میانگین سالانه عمق رواناب برای بارندگی سالانه در حوضه آبخیز Nilgries District Tamilnadu پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده قابل مقایسه برای اندازه‌گیری رواناب در حوضه آبخیز بود. آنوبها توپ نو و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش-SCS CN و به کمک سنجش از دور و GIS به تخمین عمق رواناب سطحی در منطقه Nayak Vindhyachal پرداختند. در ایران هم محققین بسیاری از این روش و ابزار SCS برای برآورد رواناب در مناطق مختلف بهره گرفتند، ثروتی و همکاران (۱۳۹۰) در حوضه آبخیز لیلان چای به برآورد ضریب رواناب و حداکثر دبی سیل، شناخت عوامل و عناصر موثر در سیل‌خیزی، پهنه‌بندی مناطق براساس شدت پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از روش منحنی CN با استفاده از GIS پرداختند.

همدمی و همکاران (۱۳۹۱) در حوضه آبخیز مراوه تپه به تهیه و ترسیم نقشه شماره منحنی حوضه پرداختند در این راستا با استفاده ازGIS مقدار متوسط وزنی شماره منحنی حوضه حدود ۷۷ در شرایط رطوبتی II برآورد گردید و بیشترین سطح حوضه دارای شماره منحنی ۷۹ و کمترین مقدار۶۰ تعیین شد.، حسین‌زاده (۱۳۹۱) در حوضه فیروزکلا به برآورد ضریب رواناب و دبی اوج سیل با استفاده از روش شماره منحنی در واحدهای مختلف تشکیل‌دهنده حوضه و همچنین پهنه‌بندی توان تولید رواناب و وقوع فرسایش آبراهه‌ای در حوضه پرداخت. نشاط و صدقی (۱۳۸۵) در حوضه آبخیز باغ ملک، اکبرپور و شریفی (۱۳۸۵) در حوضه آبخیز کامه، قهرودی (۱۳۸۵) در تخمین رواناب سد امیرکبیر، یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) یمانی و مهرجونژاد (۱۳۹۱) در حوضه آبخیز کردان، نصرتی و همکاران (۱۳۹۳) در حوضه آبخیز دره‌شهر هم در این راستا مطالعاتی مشابه فوق انجام دادند که نقطه مشترک تحقیقات فوق استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور برای استخراج اطلاعات بوده است. بر طبق مطالعات مذکورکاربرد GIS و سنجش از دور برای تخمین رواناب در سال‌های اخیر به‌شدت افزایش یافته که یکی از ابزارهای موثر و قوی در ایجاد بیشتر داده‌های ورودی روش شماره منحنی جهت تخمین رواناب است. (ابراهیمی و همکاران (۲۰۰۹) و ژان و هانگ(۲۰۰۴)). از این رو در این مقاله از روش شماره منحنی SCS البته با تکیه بر ابزار ArcCN-Runoff در محیط GIS جهت تهیه نقشه CN و رواناب استفاده شده است. مطالعات خارجی و داخلی متعددی در زمینه تخمین رواناب با استفاده از ArcCN-Runoff وجود دارد که صحت و دقت و کاربرد آن را تایید می‌کند. جوادی و همکاران (۲۰۱۱) برای تهیه نقشه ارتفاع رواناب حوضه آزادرود، از روش شماره منحنی(SCS) در محیط GIS با ابزار ArcCN-Runoff پرداختند، زانگ و هوانگ (۲۰۰۴) با استفاده از ابزار ArcCN-Runoff نقشه شماره منحنی و رواناب در حوضه کنز تهیه

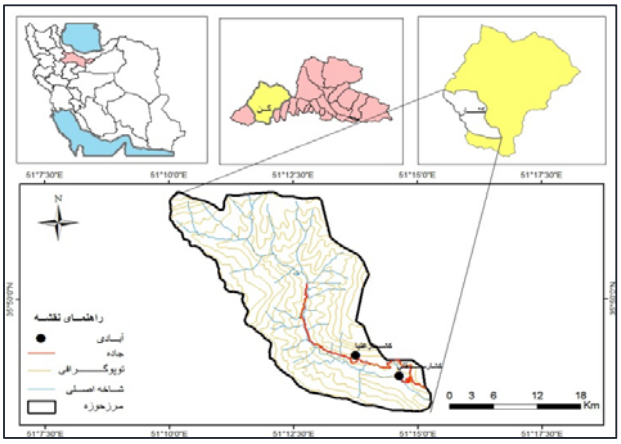
1. Antecedent Moisture Condition

کردند. ملنتیو همکاران (۲۰۱۱)، ملکانی و همکاران (۲۰۱۴)، با استفاده از ابزار ArcCN-Runoff به تخمین و تهیه نقشه رواناب پرداختند. رزاق‌نیا و همکاران (۲۰۱۵) به پیش‌بینی و تهیه نقشه رواناب با استفاده از ابزار ArcCN-Runoff پرداختند. آنها اظهار داشتند که این روش دقیق‌تر از روش سنتی و قدیم است. نتایج این تحقیقات نشان داد که GIS و ابزار ArcCN-Runoff صحت و دقت بالایی جهت پیش‌بینی رواناب حوضه‌ها دارد و ابزار ذکر شده برای تحقیقات حفاظت منابع آب در حوضه‌ها مفید است و می‌تواند پارامترهای بسیاری که در تعیین رواناب و شماره منحنی وجود دارد را بهبود ببخشد.

باتوجه به اینکه حوضه آبخیز کشار به‌دلیل ویژگی‌های خاص کوهستانی و تشکیلات زمین‌شناسی، همچنین عوامل فیزیوگرافی حاکم بر آن نسبت به سیل حساس می‌باشد و مستعد انواع فرسایش و رسوب‌زایی حاصل از آن هست، بدین‌منظور سعی شده است با توجه به اهمیت رواناب خروجی و حجم سیل در حوضه‌های آبخیز جهت برنامه‌ریزی منابع آب و مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز کشار، در این مطالعه از GIS و ابزار ArcCN-Runoff در تعیین سریع‌تر و دقیق‌تر شماره منحنی و تخمین و تهیه نقشه رواناب استفاده شود.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز کن از زیرحوضه‌های آبخیز شمال تهران است، این حوضه آبخیز از شمال به سلسله جبال البرز، از جنوب به شهر تهران، از غرب به کوههای پهن حصار و کدکو، از شرق به بندعیش محدود شده است و یکی از زیر حوضه‌های آن حوضه آبخیز کشار است (شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی، ۱۳۸۸). که در شهرستان تهران، بخش کن، دهستان سولقان با دو آبادی کشار سفلی و کشار علیا، مجموع جمعیت ۹۳۸ نفر واقع شده است که مساحت آن ۲۰۵۷۱ هکتاراست (شکل۱). سرشاخه کشار حدود ۲۸۴۰ هکتار دارد. زیرحوضه کشار دارای یک ایستگاه باران‌سنجی در نزدیکی روستای کشار و دارای یک ایستگاه هیدرومتری در محل خروجی زیرحوضه می‌باشد (جدول۱) (صادقی و همکاران،۱۳۸۳).



شکل۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور، استان تهران، حوضه کن

جدول۱: خلاصه مشخصات زیرحوضه آبخیز کشار

مساحت (هکتار)	ارتفاع متوسط (متر)	شیب متوسط حوضه(درصد)	شیب متوسط وزنی آبراهه‌ها(درصد)	رسوب سالانه (تن در هکتار)	فرسایش ویژه (تن در هکتار)	سطح فرسایش (هکتار)
۲۰۵۷۱	۲۲۸۲	۳۵	۱۶/۷۱	۴.۸۶	۱۰.۹۶	۷۴۸۸

از نظر زمین شناسی گستره حوضه در بخش جنوبی البرز مرکزی واقع شده است و از سازندهای کرج، و نهشته‌های کواترنری تشکیل گردیده است. دو رده خاک انسپتی‌سول و اینتی‌سل، این منطقه را دربرگرفته و از لحاظ ژئومورفولوژی به دو واحد دشت و کوهستان تقسیم می‌شود و به دلیل وقوع رگبارهای شدید و کوتاه‌مدت در فاصله ماه‌های خرداد تا مهر (به‌دلیل شدت زیاد و نیز زمان وقوع رگبار و با توجه به دخالت بی‌رویه انسان در حریم رودخانه خسارت جانی و مالی بسیاری به‌بار می‌آورد) و ریزش باران‌های طولانی‌مدت همزمان با بالا رفتن درجه حرارت و ذوب شدید برف در معرض خطر سیلاب قرار دارد (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان تهران)، و انواع فرسایش‌های آبراهه‌ای، شیاری، خندقی، کناره‌ای و حرکات توده‌ای با توان رسوب‌زایی بالا را به دنبال دارد.

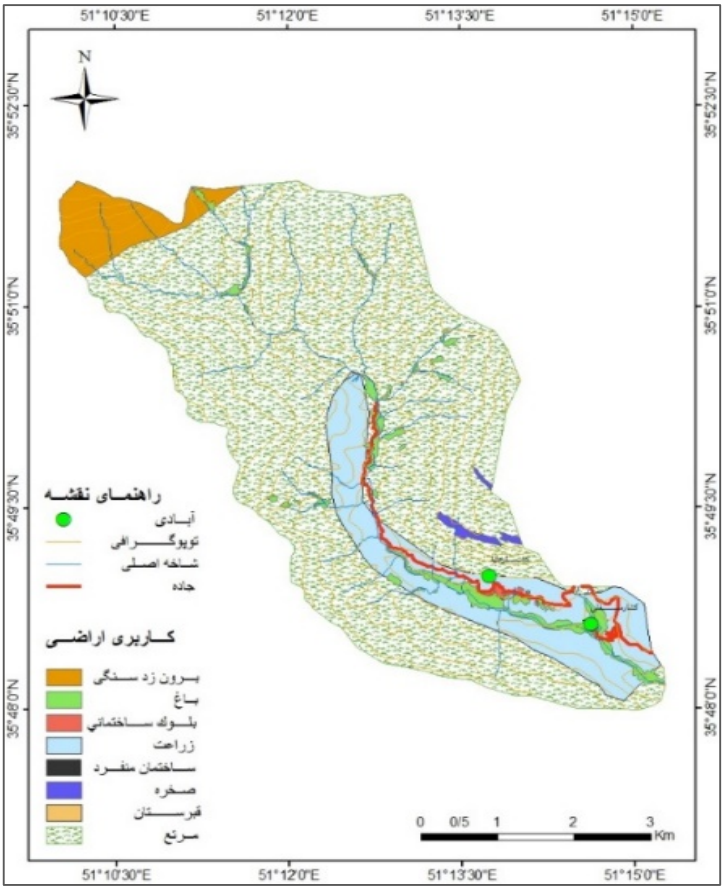
مواد و روش‌ها

در این مطالعه از لایه‌های واحد هیدروگرافی خاک (شکل۳، جدول۳) و کاربری اراضی (شکل۲، جدول ۲) استفاده گردید (شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی). استفاده از نرم‌افزار ArcGIS که یک نرم‌افزار پر قدرت سیستم اطلاعات جغرافیایی است و نرم‌افزار Arc CN-Runoff که توسط ژانگ و همکارانش (۲۰۰۴) ارائه شده است، جهت تولید لایه‌ها و نقشه‌های CN و ارتفاع و حجم رواناب بر اساس روش SCS استفاده شد که از ویژگی‌های این ابزار محاسبه شماره منحنی و رواناب برای هر پلیگون به‌صورت جداگانه است. نرم‌افزار Excle جهت محاسبات ریاضی و ابزار xtools جهت انتقال داده‌ها از محیط GIS به محیط Excel و تهیه داده‌های مربوط به بارش (دوره بازگشت ۵۰ و۲ ساله) از نرم‌افزار SMADA استفاده شده است.

خصوصیات خاک روی تحول و پیدایش رواناب اثر داشته و باید در محاسبات مربوط به آن درنظر گرفته شوند. این خصوصیات می‌تواند با عامل هیدرولوژیک حداقل سرعت نفوذپذیری در حالت مرطوب بودن طولانی مدت خاک بیان گردد. در این مورد، نوع سطح و افق‌های خاک در نظر گرفته می‌شود. تمام خاک‌ها بر اساس توان ایجاد رواناب در چهار گروه A، B، C و D تقسیم‌شده که هر گروه می‌تواند در صورت نیاز به‌دقت بیشتر، به زیر گروه‌هایی تقسیم شود (حسین‌زاده۱۳۹۲؛ مهدوی،۱۳۸۴).

- **ابزار ArcCN Runoff**

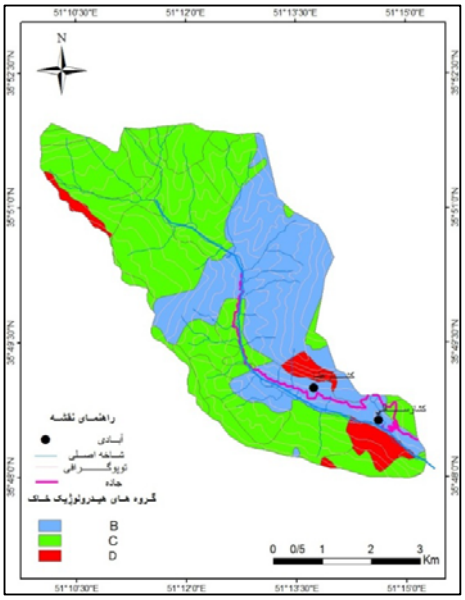
ابزار ArcCN-Runoff برای پیش‌بینی رواناب استفاده شده است که به محاسبه شماره منحنی برای هر واحد مکانی می‌پردازد. مراحل تهیه CN به کمک این نرم‌افزار در فلوچارت زیر نمایش داده شده است (شکل ۴).



شکل۲: نقشه کاربری اراضی حوضه کشار

جدول۲:کاربری اراضی حوضه کشار

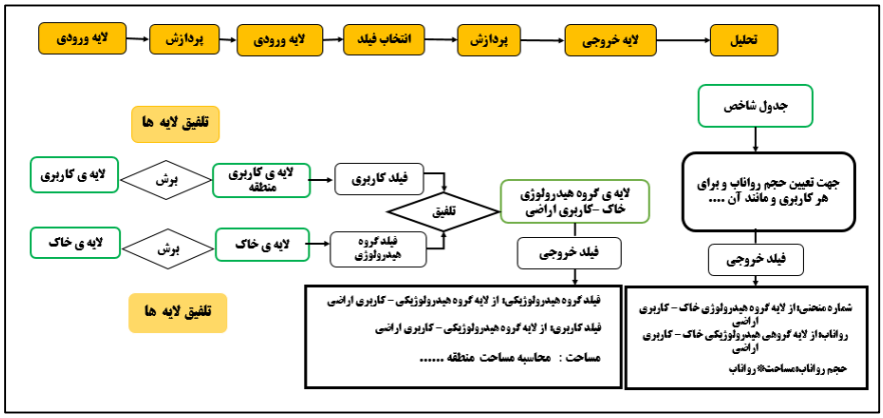
نوع کاربری	مساحت (به کیلومترمربع)	مساحت (به درصد)
مرتع	۲۱/۳۰	۷۷/۴۲
زراعت	۳/۸۰	۱۳/۸۲
برون زدهای سنگی	۱/۳۲	۴/۸۱
باغ	۰/۸۹	۳/۲۵
قبرستان	۰/۰۰	۰/۰۰
ساختمان مفرد	۰/۰۰	۰/۰۰
بلوک ساختمانی	۰/۰	۰/۱۷
صخره	۰/۱۳	۰/۴۹



شکل۳ : نقشه گروه هیدرولوژی خاک حوضه کشار

جدول۳: حداقل شدت نفوذ در گروههای هیدرولوژیکی خاک حوضه کشار(مهدوی،۱۳۸۶)

گروه‌های هیدرولوژیکی خاک	توانایی تولید رواناب	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)	شدت نفوذ به اینچ بر ساعت	نوع خاک
B	متوسط	۳۵۲۷/۳۶	۲/۸۸	۳–۱/۵	شن لومی-شنی رسی
C	زیاد	۶۸۶۹۵/۱۱	۵۶/۰۸	۱/۵–۰/۵	لومی، لومی رسی دارای لایه سخت در عمق خاک
D	خیلی زیاد	۲۷۱۷/۳۹	۵/۸۹	کمتراز۰/۵	رسی، خاک های شور، سنگ، جاده آسفالت، بتون خاک های کم عمق

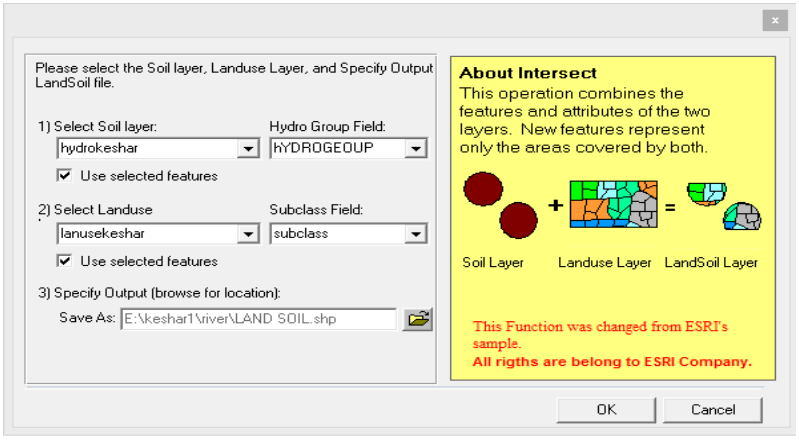


شکل۴: مراحل اجرای کار در نرم‌افزار ArcCN-Runof (Zhan, X., Huang, M.-L. 2004))

در مرحله اول داده‌های کاربری و گروه هیدرولوژیکی خاک به‌عنوان داده‌های ورودی نرم‌افزار ArcCN-Runoff برای تهیه لایه هیدرولوژیکی و کاربری (Land) ضروری است.

- **لایه هیدرولوژیکی و کاربری (Land soil)**

ابتدا عملیات تلفیق(*Intersect*) را بر لایه کاربری و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک در محیط نرم‌افزاری GIS اعمال کرده و سپس این لایه تلفیق شده را همانطور که در شکل(۵) مشاهده گردید، وارد محیط ابزار ArcCN-Runoff کرده و لایه کاربری اراضی – هیدرولوژیکی (Land soil) تهیه می‌گردد، که این لایه جدید فقط نمایش‌دهنده سطح پوشیده شده توسط دو لایه است که تهیه CN و حجم و ارتفاع رواناب بر اساس این لایه تهیه می‌شود.



شکل۵: تهیه لایه هیدرولوژیکی و کاربری (Land soil)

- **جدول شاخص Index**

در این جدول (که در فایل نرم‌افزار موجود است) مقدار شماره منحنی (CN) برای هریک از گروه‌های هیدرولوژیکی خاک با توجه به نوع کاربری اراضی براساس جداول مربوطه از منابع ابزار مورد استفاده استخراج می‌گردد. این جدول در محیط Excel قابل ویرایش و تغییر است. سپس این جدول در محیط GIS اضافه می‌شود (شکل ۶).

- **تهیه نقشه CN، ارتفاع، حجم و رواناب**

نقشه CN به روش SCS از طریق ابزار ArcCN-Runoff تهیه شد که به‌طورکلی مقادیر شماره منحنی از ۰ تا ۱۰۰ متغیر است که بیشترین شماره منحنی نشان‌دهنده بالاترین سطح رواناب است که براساس رابطه ۱ در نرم‌افزار فوق محاسبه می‌گردد (ملتی و همکاران ۲۰۱۱):

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S}\ (\mathrm{m}^3) \text{ for } P \geq 0.2S \qquad Q = 0\ (\mathrm{m}^3) \text{ for } P \leq 0.2S$$ رابطه (۱)

در حالی‌که Q = رواناب، P = بارش و S = ضریب نگهداشت حوضه است و برای به‌دست آوردن میزان S از طریق نقشه CN و بر اساس و مقادیر شماره منحنی از طریق رابطه ۳ محاسبه می‌گردد

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4$$ رابطه (۲)

$$CN = \frac{1000}{10 + S}$$ رابطه (۳)

و مقدار بارش که براساس داده‌های هیدرومتری بارش روزانه ایستگاه کشار (سازمان مدیریت منابع آب) با دوره بازگشت ۲ ساله و ۵۰ ساله بوسیله نرم‌افزار SMADA تهیه شده را با واحد inch و مساحت براساس m_2 در نرم‌افزار وارد کرده و مقدار cn، ارتفاع و حجم رواناب با استفاده از نرم‌افزار ArcCN-Runoff به‌دست آمد.

یافته‌های پژوهش

▪ کاربری اراضی

کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه به هفت کاربری تفکیک شده‌است (شکل۲) که بیشترین سطح کاری مربوط به کاربری مرتعی است که مساحت آن ۲۱/۳۰ کیلومترمربع و ۷۷/۴۲ درصد از سطح منطقه را دربرگرفته است و کاربری زراعت ۱۳/۸۲درصد، کاربری برون‌زد سنگی۴/۸۱ درصد، باغ ۳/۲۵ درصد از منطقه را شامل می‌شود در حالی که کاربری‌های قبرستان، ساختمان منفرد، بلوک ساختمانی، و صخره به‌ترتیب کمترین مساحت را دربرگرفته‌اند (جدول۴).

جدول۴: کاربری مطابق با منطقه از جدول index (منبع:نویسندگان،۱۳۹۵)

معادل فارسی	کاربری (براساس جدول index)	مساحت (به کیلومترمربع)	مساحت (به درصد)
مرتع	Rangeland (Desert Shrub Good)	۲۱/۳۰	۷۷/۴۲
زراعت	Farmstead	۳/۸۰	۱۳/۸۲
برون زد سنگی	Row Crop (SR – Poor)	۱/۳۲	۴/۸۱
صخره	Row Crop (SR + CR - Poor)	۰/۱۳	۰/۴۹
باغ	Orchards Groves Vineyards ۲۲ Nurseries and Ornament	۰/۸۹	۳/۲۵
قبرستان	imp) ٪۲۰Residential (	۰/۰۰	۰/۰۰
ساختمان منفرد	Residential (65% imp)	۰/۰۰	۰/۰۰
بلوک ساختمانی	imp) ٪۷۲Urban (	۰/۰۴	۰/۱۷

▪ گروه هیدرولوژی خاک

همانطور که جدول شماره (۳) نشان می‌دهد گروه هیدرولوژیکی خاک منطقه B-C-D است (شکل۳) که بیشترین مساحت را گروه C با ۵۶/۰۸ درصد از منطقه را دربرگرفته است. خاک‌هایی با نفوذپذیری کم، هنگامی که مرطوب

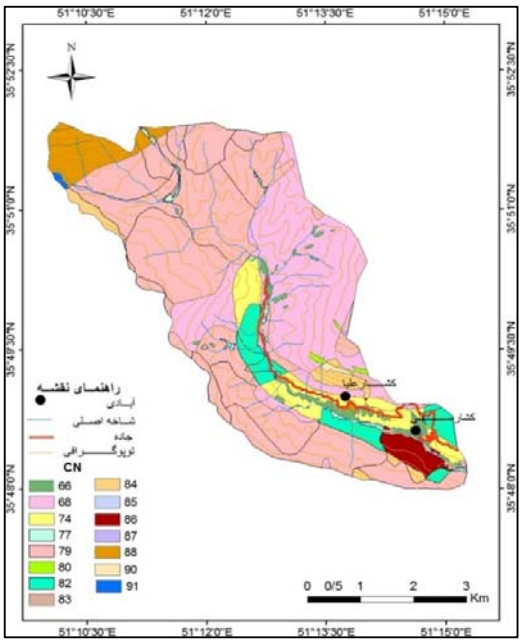
هستند اغلب دارای لایه‌ای هستند که مانع نفوذ آب به قسمت‌های پایین‌تر می‌گردد و یا دارای بافت ریز تا نسبتاً ریز بوده و ضریب آبگذری کمی دارند. توانایی تولید رواناب آن‌ها نسبتاً زیاد است.

گروه D، ۵/۸۹ درصد از منطقه را شامل می‌شود که خاک‌های با نفوذپذیری کم، هنگامی که خیس هستند و عمدتًا شامل خاک‌های رسی، خاک‌های با یک سفره آب بالا دائمی و خاک‌های با لایه‌های سخت رسی در سطح و یا نزدیک آن و خاک‌های کم عمق روی تشکیلات تقریباً غیرقابل نفوذ هستند. این خاک‌ها دارای قابلیت انتقال خیلی کم بوده و قسمت‌های سنگی حوضه و سطح جاده نیز شامل این گروه می‌گردند. در این گروه تقسیم‌بندی توانایی تولید رواناب زیادی وجود دارد

گروه B، که کمترین مساحت یعنی ۲/۸۸ درصد حوضه را دربرگرفته است با خاک‌های با شدت نفوذپذیری متوسط، هنگامی که مرطوب هستند. خاک‌هایی که عمیق بوده و زهکشی متوسط تا خوب داشته و دارای بافت ریز تا متوسط هستند. آبگذری آن‌ها متوسط بوده، توانایی متوسطی از نظر تولید رواناب دارند.

- **نقشه CN**

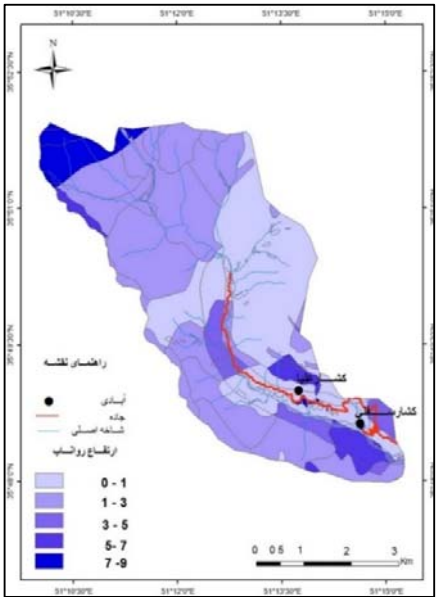
براساس نقشه شماره منحنی به‌دست آمده بیشترین مقدار CN به‌دست آمده در منطقه ۹۱ که مربوط به کاربری برون‌زدگی سنگی است و در گروه هیدرولوژیکی C با وجود نوع خاک لومی و شدت نفوذ ۱/۵–۵/ بیشترین تولید رواناب را دارد که ۱/۴۷ درصد از منطقه را در برگرفته است و ۱۵ درصد از منطقه CN بالای ۸۰ دارند. کمترین مقدار CN (۶۶) که مربوط به کاربری باغ است، و در گروه هیدرولوژیکی B با وجود خاک شنی ـ رسی و شدت نفوذ ۳–۱/۵ اینچ بر ساعت است. CN ۷۹ در گروه هیدرولوژیکی C با کاربری مراتع، بیشترین مساحت از اراضی سطح حوضه را شامل می‌شود، خاک‌هایی با نفوذپذیری کم و یا دارای بافت ریز تا نسبتاً ریز بوده و ضریب آبگذری کمی دارند را دربرگرفته است. توانایی تولید رواناب آن‌ها نسبتاً زیاد است (شکل ۵).



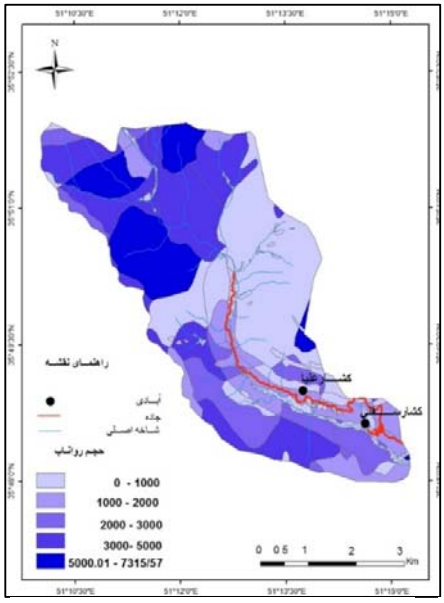
شکل۵: نقشه CN به‌دست آمده با ابزارArcCN-Runof

با توجه به نقشه پتانسیل تولید رواناب حوضه (شکل‌های ۶ تا ۹) در دوره‌های بازگشت ۲ و۵۰ ساله، اراضی مرتع و باغ، دارای کمترین پتانسیل تولید رواناب است، در حالی که بیشترین پتانسیل تولید رواناب و حجم آن (برون‌زدگی سنگی و صخره‌ها) و از نظر نفوذ پایین‌ترین مقدار را دارند، به‌عبارتی در دوره بازگشت ۲ساله کمترین ارتفاع رواناب

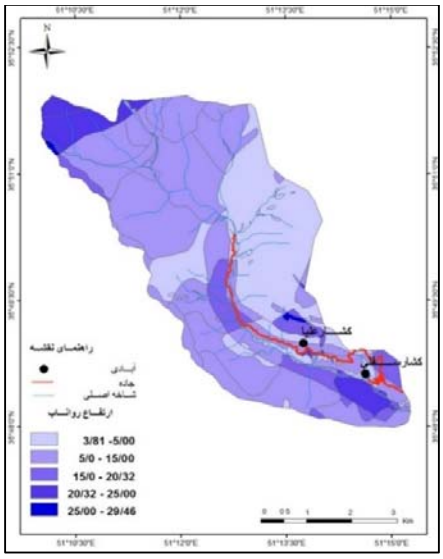
۱-۰ میلی‌متر و حجم۱۰۰۰-۰ مراتع و باغ را دربر می‌گیرد که ارتفاع رواناب ۳-۱ میلی‌متر و حجم۲۰۰۰-۱۰۰۰ بیشترین مساحت حوضه را که شامل مراتع است را دربرگرفته است. در دوره بازگشت ۵۰ ساله هم کمترین ارتفاع رواناب ۵-۳ میلی‌متر و حجم ۱۰۰۰۰-۱/۷۶ که کاربری مرتع و باغ و زراعت را شامل می‌شود و ارتفاع رواناب ۱۵-۵ و حجم ۴۰۰۰۰-۳۰۰۰ بیشترین مساحت را در حوضه دربرمی‌گیرد که شامل اراضی مرتع و باغ و زراعت است.



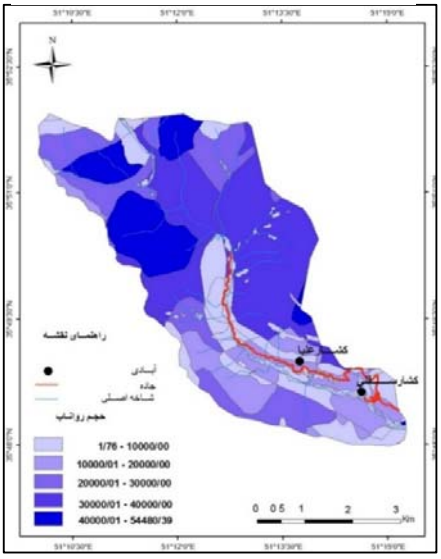
شکل۶: ارتفاع رواناب با دوره بازگشت۲ ساله



شکل۷: حجم رواناب با دوره بازگشت۲ ساله



شکل۸: ارتفاع رواناب با دوره بازگشت۵۰ ساله



شکل۹: حجم رواناب با دوره بازگشت ۵۰ ساله

بحث و نتیجه‌گیری

ارتباط بین بارندگی و رواناب یک فرایند پیچیده است که درک آن نیازمند شناخت اجزای محیط و پدیده‌های موثر بر ایجاد رواناب است (ملکیان و همکار ان،۱۳۸۹). با توجه به اینکه عوامل زیادی در مقدار CN و R تاثیر گذارند و در روش‌های سنتی در گذشته برای هر زیرحوضه یک CN فرض می‌شد، در نتیجه ارتفاع رواناب با استفاده از معادلات بیان شده به‌دست می‌آمد، در این تحقیق با استفاده از GIS و ابزار ArcCN-Runoff و خاصیت سلولی شماره منحنی رواناب برای هر پیکسل محاسبه گشته که به واقعیت نزدیک‌تر است. با توجه به اینکه شماره‌های احتمال سیل‌خیزی در این زیرحوضه زیاد است، و در قسمت‌هایی که شماره منحنی بزرگتری نسبت به سایر قسمت‌ها دارند، مستعد رواناب‌های سیل‌آسا بوده و همچنین، به‌سبب قدرت تلفیق لایه‌های خاک و کاربری اراضی در محیط GIS که از ورودی های روش شماره منحنی می‌باشند، باعث بالارفتن دقت مدل در برآورد رواناب می‌شود، این دقت به‌سبب آن است که در محیط GIS، گروه‌های هیدرولوژیکی، رطوبت پیشین، کاربری اراضی، و وضعیت هیدرولوژیکی موردنیاز برای روش شماره منحنی را برای هر پیکسل محاسبه می‌نماید و منحنی در مقدار رواناب و بارندگی موثر حائز اهمیت هستند. بنابراین تعیین دقیق مقدار آنها لازم است. از طرفی، نتایج تحقیق نشان داد که نوع کاربری و خاک در سطح حوضه مهم‌ترین پارامتر تعیین‌کننده هدررفت و نفوذ بارندگی بوده و بر روی رواناب حوضه تاثیر دارد.

شماره منحنی حوضه آبخیز کشار نشان می‌دهد، CN ۷۹ در گروه هیدرولوژیکی C بیشترین مساحت (۵۶/۰۸ درصد) از اراضی سطح حوضه را شامل می‌شود، خاک‌هایی با نفوذپذیری کم و یا دارای بافت ریز تا نسبتاً ریز بوده و ضریب آبگذری کمی دارند را دربرگرفته است که توانایی تولید رواناب آن‌ها نسبتاً زیاد است و ۱۵درصد از منطقه CN بالای ۸۰ را دربر می‌گیرند، به‌دلیل وقوع رگبارهای شدید و کوتاه‌مدت در فاصله ماه‌های خرداد تا مهر (به‌دلیل شدت زیاد و نیز زمان وقوع رگبار و با توجه به دخالت بی‌رویه انسان در حریم رودخانه) خسارت جانی و مالی بسیاری به بار آورده و ریزش باران‌های طولانی‌مدت همزمان با بالارفتن درجه حرارت و ذوب شدید برف در معرض خطر سیلاب قرار دارد.

کتابشناسی

۱. آرش، ملکیان؛ محسن محسنی ساروی و محمد مهدوی (۱۳۸۳)، بررسی کارایی شماره منحنی در برآورد عمق رواناب. منابع طبیعی ایران، شماره۵۷(۴) : ص۶۳۳-۶۲۱؛

۲. ثروتی، محمدرضا؛ اکبر رستمی و فاطمه خدادی (۱۳۹۰)، امکان‌سنجی وقوع سیل در حوضه آبخیز لیلان‌چای (مراغه) به روشCN. فصلنامه جغرافیایی سرزمین، علمی ـ پژوهش، سال هشتم، شماره۳۲: ۶۷-۸۱؛

۳. جوادی، محمدرضا؛ فرشاد میردار هریجانی و زهرا چترسیماب (۱۳۹۰)؛ برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره منحنی در محیط نرم‌افزاری Arc GIS با ابزار Arc CN-Runoff. مجله کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی، فصلنامه، سال دوم، شماره ۳: ص ۵۵-۶۲؛

۴. حسین‌زاده، محمدمهدی (۱۳۹۱)، برآورد ارتفاع و دبی اوج رواناب در وقوع فرسایش آبراهه‌ای در منطقه کجور نوشهر-البرزشمالی. فصلنامه علمی ـ پژوهشی، پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال دوم، شماره۷:، ص۱-۱۵؛

۵. سازمان جهاد سازندگی استان تهران، مدیریت آبخیزداری(۱۳۷۶)، الف.طرح آبخیزداری حوضه آبخیز کن (مرحله تفضیلی، اجرایی)، گزارش فیزیوگرافی، ص۲۸۴؛

۶. سازمان مدیریت منابع آب کشور.۱۳۹۴. داده های هیدرولوژی؛
۷. شریفی، محمدباقر (۱۳۸۵)، تخمین شماره منحنی رواناب با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبریز کامه)، مجموعه مقالات سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، صص۳۵۷-۳۵۵؛
۸. صادقی، حمیدرضا؛ فرود شریقی؛ الهام فروتن و منوچهر رضایی (۱۳۸۳)، ارزیابی کمی عملکرد اقدامات آبخیزداری (مطالعه موردی: زیرحوضه آبخیز کشار)؛ پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۶۵ : ۱۰۲-۹۶؛
۹. قهرودی تالی، منیژه (۱۳۸۵)، ارزیابی مدل SCS-CN در تخمین رواناب. مطالعه موردی حوضه سد امیرکبیر. مجله جغرافیا و توسعه، شماره۷: ص۴۸-۶۳؛
۱۰. مهدوی، محمد (۱۳۸۴)، هیدرولوژی کاربردی(جلد اول، دوم)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم؛
۱۱. مهدوی، محمد (۱۳۸۴)، هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، چاپ چهارم، ۴۴۱ص؛
۱۲. نشاط، علی؛ حسین صدقی (۱۳۸۵)، برآورد میزان رواناب با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک (SCS) و مدلHEC-HMS در حوضه آبخیز باغ ملک- استان خوزستان. مجله علوم کشاورزی، شماره ۱۲(۴): ص۷۹۸-.۷۸۷؛
۱۳. نصرتی، کاظم؛ محمود احمدی؛ محمدرضا ثروتی و مهدی مزبانی (۱۳۹۳)، تعیین عوامل موثر در پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز دره شهر براساس مناطق همگن هیدرولوژیک. مجله آمایش جغرافیا فضا، فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان، سال سوم، شماره ۱۳۶:۸-۱۱۹؛
۱۴. همدمی، قاسم؛ اسماعیل شیدای کرکج و حسین اکبری مجدور (۱۳۹۱)، تهیه نقشه شماره منحنی(CN) حوضه آبخیز مراوه تپه با استفاده از GIS. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی جلد اول، شماره۳، ۸-۱؛
۱۵. یعقوب‌زاده، مصطفی؛ شیرین صاحبدل و مسعود جعفری رودسری (۱۳۸۹)، تعیین شماره منحنی رواناب حوضه آبریز با استفاده از GIS و RS، همایش ملی ژئوماتیک،ص۸-۱؛

16. Ahmadi-Sani,N. ;Babaie-Kafaky, S and Mataji, A. (2011), Application of GIS and remote sensing in ecological capability assessment studies.2012Geomatic Conference, National Cartographic Center,Tehran,Iran,pp,103-113;
17. Anubha,T.; Singh,A.K,. And Vaishya, R.C.(2015), SCS CN Runoff Estimation for Vindhyachal Region using Remote Sensing and GIS. Cloud Publications. International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS, Volume 4, pp,1214-1223;
18. Chow Vent, e.; Maidment, D and Mays Larry, W. (1988), Applied Hydrology. McGraw-Hill international editions civil Engineering series , pp:572;
19. Ebrahimian, M.; and Abdul Malek, I. (2009), Application of Natural Resources Conservation Service Curve Number Method for Runoff Estimation with GIS in the Kardeh Watershed. Iran, European Journal of Scientific Research, 34 (4): pp. 575-590;
20. Hasani, M.; Malekian, A, Rahimi, M., Samiei, M and Khamushi, M.R. (2012), Study of efficiency of various bases fllows separation methods in arid and semi-arid rivers. Journal of dry region. 2: 10-22;
21. Mallikarjuna, V.; Prasad, K.R.K, Udaya-Bhaskar, P and Sailakshmi, M. (2012), Watershed modeling of Krishna Delta, Andhra Pradesh, using GIS and remote sensing techniques, International journal of engineering science and technology. 4: 4539-4545. 16;
22. MELENTI, L.; Agnes, A.K and Tiberiu,R. (2011), Soil Conservation Service Curve Number Method for Surface Runoff Estimation Using GIS Techniques, in Roşia Poieni Mining Area (Romania),. ProEnvironment 4 : 240 – 246;
23. Razaghnia, L.; (2013), Msc. thesis, Haraz University (Amol, Iran;
24. Razaghnia,L.; Solaimani2,N, Ahmadi-Sani,N and Zandi,J.(2015), Runoff Estimation and Mapping within GIS Based Arc-CN-Runoff. Society of Education, India, Journal's URL:http://www.soeagra.com/abr.html, Adv. Biores, Vol 6 (3): 16-20;
25. Singh, V.; P. (1998), Hydrologic System, Rainfall Runoff Modeling, Vol. 1, John Wiley &Sons.UK;
26. Soil Conservation Service (1985), Hydrology, National Engineering Handbook, Washington,

USDA;

27. **Sundar kumar, P and Rishi, K.H. (2013), Simulation of Rainfall Runoff Using SCS &RRL (Case Study Tadepalli Mandal), International Journal of Engineering Research and General Science Volume 1, Issue1;**
28. **Taher,T., and Mozahem,M. (2013), Using SCS Curve Number and GIS to Estimated Runoff Volume: Case Study wadis Zahr, Harad and AL GHayl in Yemen, Seventeenth International Water Technology Conference, IWTC17;**
29. **TejramNayak, Verma M.K., and Hema Bindu.S. (2012), SCS curve number method in Narmada basin, International Journal of Geomatics and Geosciences, Volume 3, No 1:219-228;**
30. **Viji,R,. Rajesh Prasanna, R,. And Ilangovan,R. (2015), Gis Based SCS - CN Method For Estimating Runoff In Kundahpalam Watershed. Nilgries District, Tamilnadu, EARTH SCIENCES RESEARCH JOURNAL, Earth Sci. Res. J. Vol. 19, No. 1: 59- 64;**
31. **Yamani, M and Mehrjounezhad, A. (2012), Land use changes effect on hydrological balance of Kurdan basin using HEC-HMS model. Journal of geography and sustainability. 4: 1-16. 12.**
32. **Young,R. A, Onstad,C-A, Bosch,D.D and Anderson, W.P. (1987), AGNPS,Agricultural Non-Point Pollution Model:A Watershed Analysis USDA Conservation Report 35. USDA-ARS,Washington,dc;**
33. **Zhan, X and Huang, M. (2004), Arc CN- runoff: ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. Environ. Model Softward, v. 19, p. 875-879.**