محور مقاله: فرسایش آبی، سیلاب و حفاظت خاک و آب

برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره منحنی در محیط سامانه های اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی حوضه آبخیز دریاچه زریبار)

حمید محمودزاده [۱]، حمیدرضا متین فر [۲*]، شلیر اسکندری [۳]

[۱] دانشجوی دکترای تخصصی گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

[۲] دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

[۳] دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

چکیده

روش‌های مرسوم اندازه گیری رواناب در ایران به خاطر دسترس نبودن اطلاعات هیدرولوژی اکثر حوزه های آبخیز، یک امر پرهزینه، وقت گیر و مشکل است. استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور به منظور تخمین رواناب حوضه آبریز در سالهای اخیر افزایش یافته است. نقشه شماره منحنی رواناب با استفاده از ابزار Arc-CN Runoff در محیط GIS تهیه می‌شود. شماره منحنی رواناب بر اساس فاکتورهایی مانند گروه هیدرولوژی خاک، کاربری اراضی، پوشش زمین و شرایط هیدرولوژیکی تعیین می شود. . بیشترین کاربرد روش شماره منحنی تبدیل بارش به رواناب است، زیرا که شماره‌های منحنی هر حوزه نمایانگر شرایط فیزیکی و بیولوژیکی حوزه می‌باشد. نتایج نشان دادروش استفاده شده در این تحقیق هیچ کاستی نسبت به روش‌های دستی و سنتی نداشته بلکه سرعت عمل و دقت محاسبات در این روش به مراتب بهتر می‌شود و فقط لازم است اطلاعات نقشه‌ها از حالت گرافیکی به حالت رقومی قابل استفاده در محیط GIS در آید. با افزایش مقدار بارندگی فصل زمستان به ۴۷/۷۰۱ میلیون متر مکعب، حجم جریان خروجی نیز به ۲۱/۰۱۶ میلیون مترمکعب افزایش یافته به نحوی که این حجم رواناب بالغ بر ۴۳ درصد حجم کل رواناب را شامل می گردد. بیشترین مقدار CN در کاربری زراعت و محیط مسکونی بدست آمده است و متوسط مقدار CN منطقه مورد مطالعه ۷۲/۰۹ بوده است. در قسمت‌هایی که شماره منحنی بزرگتری نسبت به سایر بخش‌ها دارند، مستعد رواناب‌های سیل آسا می‌باشد بیشترین مقدار CN و رواناب در کاربری-هایی مشاهده شده است که عملیات تغییر کاربری اراضی و ساخت و ساز صورت گرفته است.

واژگان کلیدی: شماره منحنی، گروه‌های هیدرولوژی، رواناب Arc GIS، Arc CN-Runoff

مقدمه

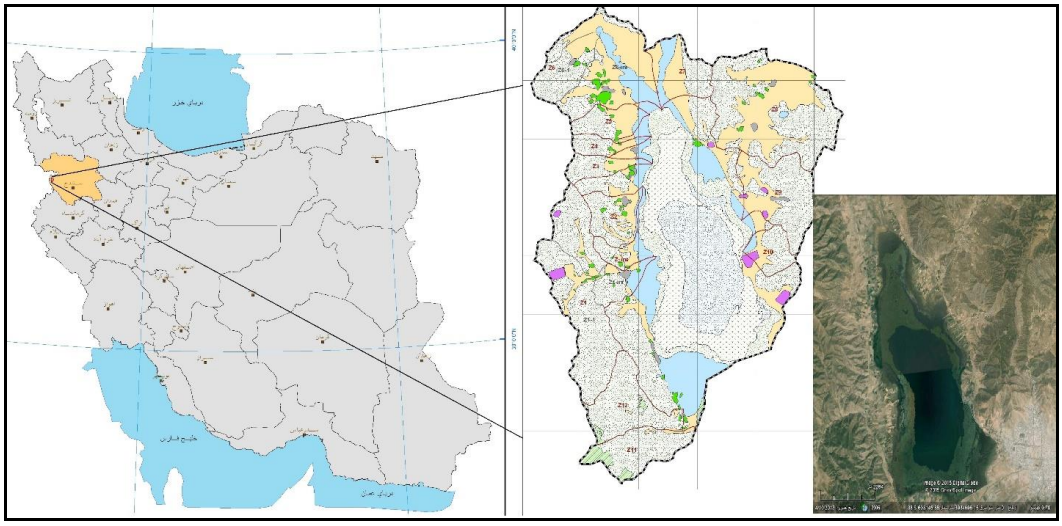
برآورد رواناب از طریق تلفیق اطلاعات خاک و پوشش گیاهی و تحصیل مقادیر شماره منحنی (CN) هر منطقه که بیانگر توان تولید رواناب در آنها می‌باشد، میسر خواهد بود. رواناب حاصل از بارش می‌تواند در جهت رفع مشکل کمبود آب مصارف شرب، کشاورزی وصنعتی بخصوص در شرایط خشکسالی فعلی، بسیار کارآمد باشد (یعقوب زاده و همکاران، ۱۳۸۹). وجود ایستگاه‌های هیدرومتری و استفاده از داده‌های مشاهداتی آنها نقش مهمی در تحلیل مناسب رفتار حوزه‌های آبخیز ایفا خواهد نمود، در مناطق فاقد ایستگاه هیدرومتری، از روابط تجربی میزان رواناب محاسبه می‌گردد. یکی از روش‌های تجربی که به صورت گسترده و جهانی مورد استفاده هیدرولوژیست‌ها و طراحان پروژه‌های منابع آب و آبخیزداری قرار گرفته است روش شماره منحنی (CN) می‌باشد که توسط سرویس حفاظت منابع طبیعی دپارتمان کشاورزی ایالات متحده آمریکا پیشنهاد شده است (کادام و همکاران، ۲۰۱۲)، در هیدرولوژی، شماره منحنی (CN) روشی برای تعیین مقدار نفوذ بارش به خاک و یا سفره آب زیر زمینی و مقدار جاری شده باران بصورت رواناب است. تکنیک‌های بروز و پیشرفته مانند سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بصورت یکپارچه، ذخیره سازی و تجزیه و تحلیل داده‌ها را با توجه به توزیع مکانی و زمانی انجام می‌دهند (ویجی و همکاران، ۲۰۱۵). ابزار نرم افزار ArcGIS، به نام ArcCN- Runoff، برای تسهیل کار مدل سازی حوضه توسعه یافته که برای هر شکل چند ضلعی به منظور حفظ مرزهای نامنظم طراحی شده است (ژان و هوانگ، ۲۰۰۴). این ابزار می‌تواند برای طراحی و مدیریت سازه‌های هیدرولیکی و پروژه‌ها، به منظور برآورد تخلیه آینده و برای پیش بینی پاسخ حوضه در ارتباط با تغییرات توپوگرافی، خاک، کاربری اراضی، پوشش زمین (به عنوان مثال شهرنشینی) بکار رود (ژان و هوانگ، ۲۰۰۴). در ایران هم محققان زیادی از روش و ابزار SCS برای برآورد رواناب استفاده کرده اند. ثروتی و همکاران (۱۳۹۰)، همدمی و همکاران (۱۳۹۱)، حسین زاده و همکاران (۱۳۹۱)، حسین زاده و

* ایمیل نویسنده مسئول: matinfar.h@lu.ac.ir

طیولا (۱۳۹۶) و شجاعی و مزبانی (۱۳۹۴) در حوزه آبخیز جداگانه به برآورد ضریب رواناب و حداکثر دبی سیل و کلیه عوامل دخیل در سیل خیزی و طبقه بندی مناطق با پتانسیل سیل خیزی با استفاده از روش منحنی CN توسط GIS پرداختند.در بیشتر حوزه‌های آبخیز ایران، ایستگاههای اندازه-گیری بارش یا رواناب وجود ندارد و یا داده‌های موجود ناقص می‌باشند. سرعت و دقت برآورد حجم رواناب در محاسبات با به کارگیری تکنیک‌های جدید، به منظور طراحی صحیح سازه آبی و کاهش هزینه های اجرائی بسیار ضروری است (یعقوب زاده و همکاران، ۱۳۸۹). در این مطالعه سعی شده است تا از تکنیک GIS، جهت تهیه اطلاعات لازم و اساسی در بدست آوردن رواناب مستقیم با استفاده از روش شماره منحنی (NRCS-CN) استفاده گردد. هدف از این مطالعه ارزیابی روش شماره منحنی برای برآورد رواناب با استفاده از GIS برای حوزه های فاقد ایستگاه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه به مساحت ۱۰۷۱۸/۸ هکتار در مجاورت شهرستان مریوان در استان کردستان واقع گردیده است (شکل ۱). مرز حوزه در بخش جنوب غرب، غرب و شمال غرب منطبق برخط الراس توپوگرافی ارتفاعات جنگلی است که در بخش¬های شمالی گاهی بر مناطق دشتی و مسطح شامل اراضی زراعی منطبق گشته و مجدداً بر روی ارتفاعات جنگلی قرار می گیرد.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

نقشه کاربری اراضی حوزه با استفاده از اطلاعات مطالعات تفصیلی و اجرایی آبخیزداری حوزه آبخیز زریوار مریوان تهیه شد. کاربری‌های منطقه شامل جنگل، مرتع، باغ، زراعت دیم و آبی، باتلاق، نیزار، مناطق مسکونی و تأسیسات و دریاچه تالاب بین المللی زریبار می باشد(جدول۳). خصوصیات خاک عامل موثری در جاری شدن رواناب است. برای بیان این عامل هیدرولوژیکی، نوع سطح و افق‌های خاک نیز در نظر گرفته می‌شوند (مهدوی، ۱۳۸۴)؛ با تکیه بر بافت و عمق خاک، نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک حوزه تهیه شد (مهدوی، ۲۰۰۲).

یکی از ابزارهای مهم در سامانه اطلاعات جغرافیایی ArcCN-Runoff است که توسط ژان و هوانگ (۲۰۰۴) جهت تعیین ارتفاع و حجم رواناب بر اساس روش SCS ارائه شده است. از ویژگی‌های این ابزار محاسبه شماره منحنی و رواناب برای هر پلیگون بصورت جداگانه است. برای تهیه نقشه شماره منحنی حوزه، در محیط نرم افزار Arc-GIS انجام گرفت.

شماره منحنی برای هر پلیگون با استفاده از اطلاعات خاک و کاربری اراضی تعیین شد. همه ورودی و خروجی در لایه جدیدی بعد از تلفیق (intersection)ذخیره می شود. یک گام مهم مطابقت نام پوشش کاربری اراضی به کاربری اراضی جدول شاخص در پایگاه داده شماره منحنی است. برای استفاده درست و واقعی، پایگاه داده شماره منحنی باید در صورت امکان بر اساس داده های محلی توسعه یابد (ژان و هوانگ، ۲۰۰۴).

جدول شماره ۱: جدول شاخص برای گروه‌های هیدرولوژیک حوزه مورد مطالعه

کاربری اراضی	گروه‌های هیدرولوژیک			
	A	B	C	D
مسکونی و تأسیسات	۴۶	۶۵	۷۷	۸۲
تأسیسات	۵۹	۷۴	۸۲	۸۶
مرتع	۳۹	۶۱	۷۴	۸۰
زراعت دیم	۷۷	۸۶	۹۱	۹۴
زراعت آبی	۷۷	۸۶	۹۱	۹۴
باغ	۴۵	۶۶	۷۷	۸۳
جنگل	۳۶	۶۰	۷۳	۷۹
دریاچه	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
نیزار	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
اراضی مرطوب (باتلاق)	۳۰	۵۵	۷۰	۷۷

رواناب بر اساس روش شماره منحنی رواناب SCS محاسبه می شود. در این روش فرض می شود که برای یک رویداد بارش، نسبت نگهداشت واقعی خاک پس از شروع رواناب به حداکثر پتانسیل نگهداشت خاک برابر است با نسبت رواناب مستقیم به بارش (ژان و هوانگ، ۲۰۰۴). نتایج این فرض ساده شده (پونس و هاوکین، ۱۹۹۶) در معادله رواناب زیر که در آن شماره منحنی ($0<CN<100$) نشان دهنده یک نماینده مناسب از پتانسیل حداکثر نگهداشت خاک است.

$$Runoff = \frac{(Rainfall-0.2S)^2}{(Rainfall+0.8S)}$$

اگر بارندگی بیش از $0.2S$ باشد مقدار رواناب از رابطه زیر بدست می‌آید.

اگر بارندگی کوچکتر و مساوی $0.2S$ باشد مقدار رواناب برابر صفر است.

که $S=(1000/CN)-10$ بر حسب اینچ و $S=(25400/CN)-254$ بر حسب میلی‌متر

مقدار بارش بر اساس داده‌های هیدرومتری بارش روزانه ۲ ایستگاه مجاور با دوره بازگشت ۲ ساله و ۳۰ساله را با واحد اینچ و مساحت بر اساس متر مربع در نرم افزار وارید کرده و مقدار CN، ارتفاع و حجم رواناب با استفاده از نرم افزار ArcCN-Runoff بدست آمد. متوسط بارندگی سالانه برای مریوان ۳۵/۴ اینچ (۹۰۰ میلی متر) بوده است. بارش استفاده شده برای این مطالعه ۲/۹۵ اینچ (برابر با ۳۵/۴ تقسیم بر ۱۲ ماه) است. می توان آن را به عنوان مقدار متوسط ماهانه و یا یک واقعه بارندگی، تنها با فرض وجود حدود ۱۲ بارش بزرگ نسبی سالانه، تفسیر کرد. به طور خلاصه، آن را یک رویداد بارش فرضی برای این مطالعه در نظر می‌گیریم. ظاهراً، رواناب روزانه و یا بر اساس رویداد می تواند مشابه این روش محاسبه شود (ژان و هوانگ، ۲۰۰۴).

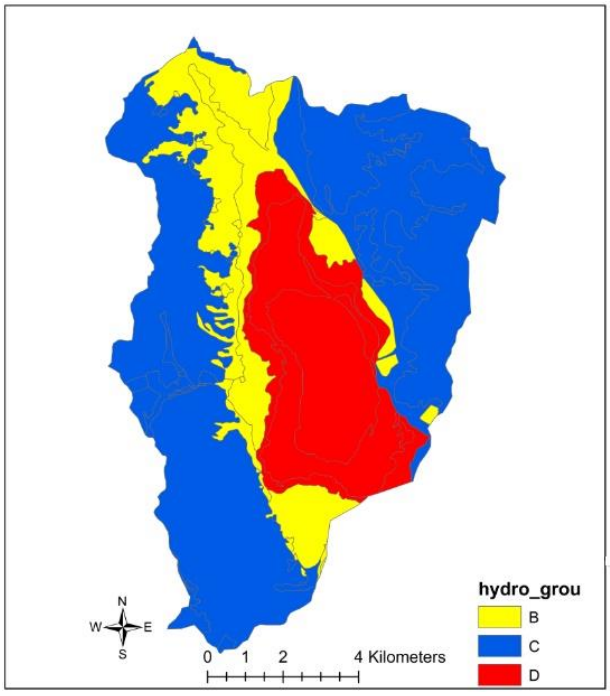
نتایج و بحث

جدول شماره ۳ پراکنش کاربری ها را در حوزه آبخیز مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج نشان داده است که بیشترین سطح مربوط به کاربری جنگل و زراعت دیم است (اداره کل منابع طبیعی کردستان، ۱۳۸۵).

جدول شماره ۳: پراکنش کاربری های اراضی در حوزه مورد مطالعه

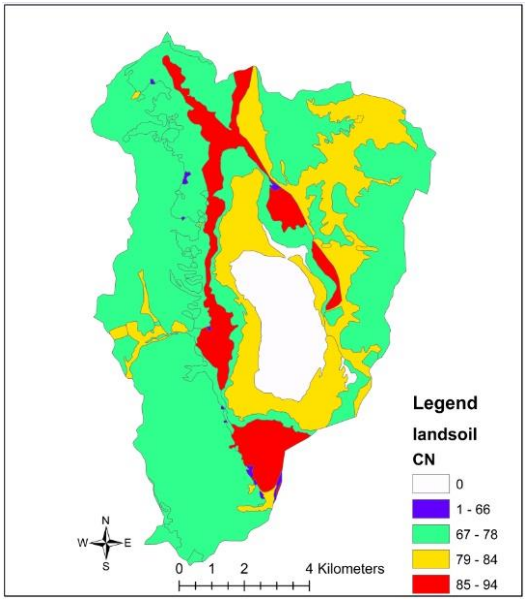
کاربری	سطح (هکتار)	درصد
جنگل	۴۷۹۳/۷	۴۴/۷
باغ	۱۱۸/۹	۱/۱
زراعت دیم	۲۱۰۶/۱	۱۹/۶
زراعت آبی	۱۰۳۹/۵	۹/۷
دریاچه	۹۱۰/۰	۸/۵
نیزار	۹۴۱/۹	۸/۸
مرتع	۹۳/۳	۰/۹
تأسیسات	۷۰/۹	۰/۷
مناطق مسکونی	۵۸/۹	۰/۵
مناطق مرطوب حاشیه دریاچه (باتلاق)	۵۸۴/۵	۵/۵
جمع کل	۱۰۷۱۸/۸	۱۰۰

گروه هیدرولوژیکی A (پتانسیل تولید رواناب ضعیف) ،گروه هیدرولوژیکی B (پتانسیل تولید رواناب متوسط) ،این گروه هیدرولوژیک در منطقه مورد مطالعه بیشتر در بخش‌های با کاربری زراعت و مسکونی مشاهده می‌شود ودارای مساحت ۲۱۳۰/۹ هکتار (۱۹/۸۸ درصد کل سطح حوزه آبخیز) می-باشد.گروه هیدرولوژیکی C (پتانسیل تولید رواناب نسبتاً زیاد) ، ۶۱۵۴/۳۱ هکتار (۵۷/۴۱ درصد) از سطح حوضه آبخیز دارای این گروه هیدرولوژیکی است که رواناب نسبتاً بالای تولید شده در این منطقه بیشتر مربوط به اراضی با این نوع گروه هیدرولوژیکی می‌باشد.گروه هیدرولوژیکی D (پتانسیل تولید رواناب زیاد) دارای ۲۴۳۳/۶ هکتار (۲۷/۷ درصد) از سطح اراضی منطقه مورد مطالعه است که با توجه به پتانسیل زیاد این خاکها، تأثیر بسزایی در تولید رواناب خواهد داشت(شکل۲). مناطق دارای پتانسیل تولید رواناب بالا تا متوسط برای انتخاب سازه جمع آوری رواناب مناسب است (کادام و همکاران، ۲۰۱۲).



شکل ۲: نقشه گروه‌های هیدرولوژیک اراضی منطقه مورد مطالعه

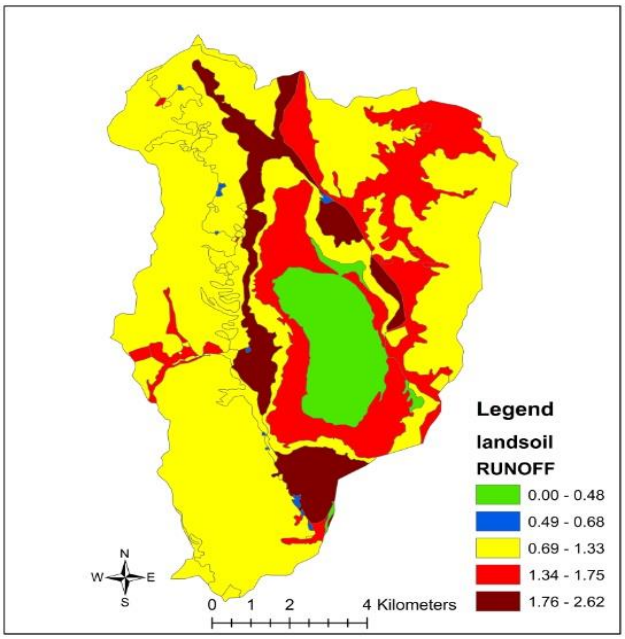
نتایج نشان داده است در قسمت‌هایی که شماره منحنی بزرگتری نسبت به سایر بخش‌ها دارند(شکل۳)، مستعد رواناب‌های سیل آسا بوده و همچنین به سبب قدرت تلفیق لایه‌های خاک و کاربری اراضی در محیط GIS، که از ورودی‌های روش شماره منحنی می‌باشند، باعث بالا رفتن دقت مدل در برآورد رواناب می‌شود (جوادی و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل ۳: نقشه شماره منحنی منطقه مورد مطالعه

براساس نتایج بدست آمده از مطالعه ملائی (۲۰۰۲)، حداکثر شماره منحنی مربوط به مناطق مسکونی و حداقل آن مربوط به اراضی با پوشش خوب درختچه می‌باشد. با توجه به این که در نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی بیشترین درصد حوزه به گروه‌های با خصوصیات نفوذپذیری کم (گروه هیدرولوژی C) تعلق داشت، و در نقشه کاربری، اراضی با نفوذ کم و یا غیرقابل نفوذ بیشترین مساحت را در حوزه به خود اختصاص می‌داد.. متوسط مقدار CN منطقه مورد مطالعه ۷۲/۰۹ می‌باشد. کمترین مقدار CN بدست آمده (۴۰) در جنگل های انبوه و بالاترین مقدار CN (۸۵) در زمین‌هایی که ساخت و ساز در آنها شده است، بدست آمده است (ویجی و همکاران، ۲۰۱۵).

شکل شماره ۴ نقشه رواناب منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بیشترین ارتفاع رواناب (۲/۶-۱/۸ سانتیمتر) در کاربری‌هایی اتفاق افتاده است که دارای کاربری زراعی و مسکونی بوده و دارای شماره منحنی بالا می‌باشند؛ این نتیجه مشابه یافته‌های حجازی و مزبانی (۱۳۹۴) می‌باشد. با وجود اینکه بیشترین مساحت منطقه بصورت جنگلی است، اما این نوع کاربری بعلت دارا بودن پوشش مناسب سطحی رواناب زیادی تولید نمی‌کند. همانطور که از شکل ۳و۴ نمایان است بیشترین مقدار رواناب در گروه هیدرولوژی D مشاهده شده است و در کاربری باغ و جنگل بعلت پوشش گیاهی مناسب، کمترین مقدار رواناب ایجاد شده است که مربوط به گروه هیدرولوژی C می باشد، کادام و همکاران (۲۰۱۲) و حجازی و مزبانی (۱۳۹۴) و حسین زاده و نوروزی طیولا (۱۳۹۶) هم نتایج مشابهی گرفتند، در مطالعه آنها مشخص گردید که کاربری جنگل کمترین مقدار رواناب را دارد و مربوط به گروه هیدرولوژی B بوده است..



شکل ۴: نقشه رواناب منطقه مورد مطالعه

مقایسه نقشه رواناب برآورد شده با ابزار ARC-CN Runoff با جدول ارتفاع رواناب بدست آمده از روابط تجربی ایستگاه‌های مجاور حوضه آبخیز، نشان از ارتباط نزدیک آن با روانابهای با دور بازگشت۲ تا ۵ ساله دارد (جدول شماره ۳).

جدول شماره ۳: مقادیر ارتفاع رواناب با دور بازگشت های گوناگون (cm)

دور بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
ارتفاع رواناب (سانتیمتر)	۱/۳۸	۲/۴۲	۲/۹۹	۳/۶	۴/۰۶	۴/۴۴

بررسی مقادیر رواناب خروجی از حوزه آبخیز نشان می دهد که متناسب با افزایش میزان بارندگی در فصل زمستان، حجم جریان خروجی نیز افزایش می یابد، بطوری که بالغ بر ۴۳ درصد حجم رواناب را شامل می گردد (جدول شماره ۴). مقایسه مقادیر بارش و رواناب طی فصول مختلف حاکی از این است که نفوذ و تبخیر و تعرق بخش مهمی از کل بارش سالیانه را شامل می گردد. بررسی داده‌های موجود نشان می دهد، ذوب ناگهانی برفها در ماه های گرم سال سبب اشباع شدن خاک ها و افزایش ضریب رواناب متوسط در فصل یاد شده گردیده است (اداره کل منابع طبیعی کردستان، ۱۳۸۵).
بررسی بیلان آبی حوزه آبخیز زریوار نشان می‌دهد که از ۱۰۹/۶۳ میلیون متر مکعب حجم بارش ورودی به سیستم حوزه آبخیز، رقمی در حدود ۴۴ درصد (معادل ۴۸/۳۰ میلیون متر مکعب) در قالب متوسط سالانه از حوزه آبخیز یاد شده تخلیه می‌گردد. خروج کلیه رواناب ناشی از بارش به صورت رواناب سطحی از حوزه پتانسیل قابل توجه حوزه آبخیز را در ضرورت بکارگیری روشهای مدیریتی و استفاده مطلوب از رواناب ها بیش از پیش آشکار می سازد. با مقایسه حجم ورودی به سیستم و حجم جریان خروجی از آن، مجموع مقادیر تبخیر از سطح خاک، تبخیر و تعرق، مقدار نفوذ و همچنین آب مصرفی در منطقه (شرب، کشاورزی و صنعت) که از مقدار قابل توجهی برخوردار است، به عنوان کل تلفات محسوب می‌گردد (جدول شماره ۵).

جدول شماره ۴: حجم رواناب و بارندگی سالانه حوضه آبخیز مورد مطالعه در فصول مختلف سال

حجم (میلیون متر مکعب در سال)	پاییز	زمستان	بهار	تابستان
رواناب	۱۴/۰۲۷	۲۱/۰۱۶	۱۳/۱۷۷	۰/۰۷۹
بارندگی	۱۳/۸۳۷	۴۷/۷۰۱	۲۹/۹۰۹	۰/۱۷۹

جدول شماره ۵: مقادیر بارش، رواناب و تلفات حوضه مورد مطالعه

متوسط بارش سالانه (cm)	حجم بارش سالانه (میلیون متر مکعب)	حجم رواناب سالانه (میلیون متر مکعب)	تلفات (میلیون متر مکعب)
۱۰۲/۲۸	۱۰۹/۶۳	۴۸/۳۰	۶۱/۳۳

نتیجه گیری

بررسی داده های بارندگی در طول دورهٔ آماری نشان می‌دهد که در بیشتر سال‌ها (در طول دورهٔ آماری) ماههای فصل تابستان و پس از آن بهار از کمترین مقدار برخوردار است. در مقابل فصل زمستان و پائیز دارای بیشترین مقدار بارندگی می‌باشد. بررسی های انجام شده نشان می دهد که بارش های با شدت بالا عمدتاً در ماههای بهمن و اسفند واقع می شود که این موضوع منطبق با سیلابهای ثبت شده در حوزه آبخیز یاد شده بوده و اطلاعات مفیدی را در برنامه ریزی ها به منظور استفاده مطلوب از روانابها در اختیار مدیران و تصمیم گیران حوزه آبخیز قرار می دهد. بیشترین کاربرد روش شماره منحنی تبدیل بارش به رواناب است، زیرا که شماره‌های منحنی هر حوزه نمایانگر شرایط فیزیکی و بیولوژیکی حوزه می‌باشد. می-توان گفت، روش استفاده شده در این تحقیق هیچ کاستی نسبت به روش‌های دستی و سنتی نداشته بلکه سرعت عمل و دقت محاسبات در این روش به مراتب بهتر می‌شود و فقط لازم است اطلاعات نقشه‌ها از حالت گرافیکی به حالت رقومی قابل استفاده در محیط GIS در آید. بیشترین مقدار CN و رواناب در کاربری‌هایی مشاهده شده است عملیات تغییر کاربری اراضی و ساخت و ساز صورت گرفته است.

منابع:

اداره کل منابع طبیعی کردستان (۱۳۸۵) "مطالعات تفصیلی- اجرای آبخیزداری حوزه آبخیز زریوار مریوان".

جوادی، م.ج.، میردار هریجانی، ف.، چترسیماب، ز. ۱۳۹۰. برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره منحنی در محیط نرم افزاری ARC GIS با ابزار Arc CN-Runoff (مطالعه موردی: حوزه آبخیز آزاد رود). مجله کاربرد سنجش ازدور وسیستم اطلاعات جغرافیایی دربرنامه ریزی، سال دوم، شماره ۳.

حجازی، اسدالله؛ مزبانی، مهدی، ۱۳۹۴. براورد مقادیر ارتفاع و دبی حداکثر رواناب با استفاده از روش شماره‌های منحنی (CN) (مطالعه موردی: حوزه آبریز سراب دره شهر). هیدروژئومورفولوژی، شماره ۵، صص ۸۱-۶۳.

حسین زاده، محمد مهدی؛ نوروزی طیولا، رعنا، ۱۳۹۶. براورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره‌های منحنی و ابزار Arc CN-Runoff (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کشار، تهران). جغرافیا، سال پانزدهم، شماره ۵۳.

Abdulla, F.A., Al-Shareef, A.W, 2009. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. Desalination 243:195–207.

Aladenola, O.O., Adeboye, O.B, 2010. Assessing the potential of rainwater harvesting. Water Resour Manage 24:2129–2137.

Dodds, W.K., 1997. Distribution of runoff and rivers related to vegetative characteristics, latitude, and slope: a global perspective. J. North Am. Benthol. Soc. 16, 162–168.

El-Hassanin, A.S., Labib, T.M., Gaber, E.I., 1993. Effect of vegetation cover and land slope on runoff and soil losses from the watersheds of Burundi. Agric. Ecosyst. Environ. 43, 301–308.

Harbor, M.J, 1994. A practical method for estimating the impact of land-use change on surface runoff, Ground water recharge and Wetland Hydrology. J Am Plan Assoc 60(1):95–108.

Ibrahim, M.B, 2009. Rainwater harvesting for urban areas: a success story from Gadarif city in central Sudan. Water Res Manage 23:2727–2736.

Kadam, A.K., Kale, S.S., Pande, N.N., Pawar, N.J., Sankhua, R.N, 2012. Identifying Potential Rainwater Harvesting Sites of a Semi-arid, Basaltic Region of Western India, Using SCS-CN Method. Water Resour Manage, 26:2537–2554.

Lal, M., Mishra, S.K., Pandey, A. 2015. Physical verification of the effect of land features and antecedent moisture on runoff curve number. Catena, 133: 318–327.

Mahdavi, M. 2002. Applied hydrology. Vol. 2. 5th publication. Tehran University. 441 p.

Mollayi, A. 2001. Assessment of curve number for estimation of runoff volume using GIS. Proceeding of 6th international conference on river engineering. Second volume. Shahid Chamran University. p. 1144-1139.

Mondal, M.S., Pandey, A.C., Garg, R.D, 2009. Groundwater prospects evaluation based on hydrogeomorphological mapping using high resolution satellite images: a case study in Uttarakhand. J Indian Soc Remote Sens 36:69–76.

Moon, S.H., Lee, J.Y., Lee, B.J., Park, K.H., Jo, Y.J, 2012. Quality of harvested rainwater in artificial recharge site on Jeju volcanic island, Korea. J Hydrol 414–415:268–277.

Nayak. R. T. AND Jaiswal. R. K. 2003, Rainfall-Runoff modeling using satellite data and GIS for Bebas River in Madhta Pradesh. Journal-CV, pp: 47-50.

Ponce, V.M., Hawkins, R.H., 1996. Runoff curve number: has it reached maturity? Journal of Hydrologic Engineering 1 (1), 11–19.

Ramakrishnan, D., Bandyopadhyay, A., Kusuma, K.N, 2009. SCS-CN and GIS-based approach for identifying potential water harvesting sites in the Kali Watershed, Mahi River Basin. India J Earth Syst Sci 118 (4):355–368.

Todd, D.K., Mays, L.W, 2005. Groundwater hydrology, 3rd edn. Wiley, New York.

USDA, 1972. National engineering handbook, Section 4, Hydrology. USDA, Soil conservation service, US government printing office, Washington, DC.

Viji, R; Rajesh Prasanna, P; Ilangovan, R. 2015. Modified SCS-CN and Green-Ampt Methods in Surface Runoff Modelling for the Kundahpallam Watershed, Nilgiris, Western Ghats, India. Aquatic Procedia 4: 677 – 684.

Vohland, K., Barry, B, 2009. A review of in situ rainwater harvesting (RWH) practices modifying landscape functions in African drylands. Agric Ecosyst Environ 131:119–127.

Zhan, X. and Huang, M. 2004. Arc CN-runoff: An ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps, Environ, Modell, Softw, 19: 875–879.