

تعیین مقادیر CN با استفاده از RS و GIS و برآورد سیلاب ناشی از رواناب در حوضه های فاقد داده های اندازه گیری

احمد رضوی، عضو هیات علمی دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) *
محمد رضا مجدزاده طباطبایی، عضو هیات علمی دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)
سید سعید موسوی ندوشنی، عضو هیات علمی دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)
* تلفن: ۰۲۱-۷۳۹۳۲۱۵۳، نمابر: ۰۲۱-۷۷۳۱۰۴۲۵، پست الکترونیکی: razavi@pwit.ac.ir

چکیده

برای برآورد سیلاب ناشی از رواناب در حوضه های فاقد آمار اندازه گیری روش های مختلفی مورد استفاده قرار می گیرد. یکی از این روش ها مدل هیدرولوژیکی بارش - رواناب و تعیین مقادیر^۱ (CN) در مناطق مختلف حوضه می باشد. در این مدل از ورودی بارش مازاد و الگوریتم های تبدیل باران مازاد به دبی های سیلابی استفاده می شود. از طرفی در دهه های اخیر استفاده از^۲ (RS) و^۳ (GIS) در مهندسی منابع آب گسترش چشمگیری یافته است بطوریکه در حال حاضر اکثر نرم افزارهای مربوط به مدل بارش - رواناب مستقیماً دارای قابلیت ارتباط با یکی از نرم افزارهای GIS می باشند.

برآورد حجم رواناب در حوضه های فاقد آمار اندازه گیری با استفاده از RS و GIS موضوع پروژه تحقیقاتی است که در سال ۱۳۸۲ در حوضه آبریز معرف امامه در شمال تهران انجام گردید. در این تحقیق با بهره گیری از قابلیت نرم افزار^۴ (ILWIS) و بررسی خصوصیات فیزیوگرافی و پوشش گیاهی حوضه، مقادیر CN برای واحدهای مطالعاتی حوضه مورد محاسبه قرار گرفت. نقشه پوشش گیاهی منطقه نیز با بهره گیری از باندهای مختلف از تصاویر ماهواره ای و شاخص^۵ (NDVI) حوضه تهیه شد. در مرحله آخر با تلفیق اطلاعات بدست آمده و با استفاده از CN حوضه و روش تجربی^۶ (SCS) نسبت به برآورد حجم رواناب حوضه اقدام گردید. در نهایت نتایج حاصل از این روش با مقادیر واقعی رواناب که از طریق اندازه گیری بدست آمده است مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

کلید واژه‌ها: CN، مدل HEC-HMS، حوضه آبریز، رواناب، RS و GIS

¹ Curve number

² Remote sensing

³ Geographic Information System

⁴ Integrated Land and Water Information System

⁵ Normalized Difference Vegetation Index

⁶ Soil Conservation Service

۱- مقدمه

GIS ترکیبی از سخت افزار، نرم افزار و اعمال مدیریتی است که با رقومی کردن موقعیت های جغرافیایی و اعمال توابع مختلف جهت تسریع در تهیه نقشه های مورد نیاز مطالعات منابع آب، یکی از روش های عصر حاضر است که توانایی تحلیل، نتیجه گیری، تهیه گزارش و نقشه های دقیق تر در مقایسه با روش های دستی و سنتی را دارد. معمولاً پارامترهای مورد نیاز مدل های هیدرولوژیکی در GIS تهیه شده و بعد در ورودی مدل HEC-HMS وارد می شوند. با استفاده از GIS می توان از روی نقشه های کاربری اراضی، پوشش گیاهی و خصوصیات خاک مقادیر CN را برای المان های حوضه آبریز تعیین کرد و با ایجاد تقابل بین داده های مکانی و محاسبات در مدل های ریاضی، سرعت کالیبراسیون را علی رغم حجم زیاد داده ها افزایش داد [۱].

ضرورت آگاهی از وضعیت منابع آب و نزولات جوی در حوضه های آبریز مختلف برای اجرای طرح های آبی از یک سو، و عدم وجود شبکه قابل قبولی از ایستگاههای اندازه گیری پارامترهای هواشناسی و آبشناسی اهمیت استفاده از روش های غیرمستقیم برای محاسبه حجم رواناب در حوضه های آبریز را بیش از پیش آشکار می سازد. در این مقاله سعی بر آن است که با استفاده از اطلاعات ماهواره ای و سیستم نرم افزارهای GIS و عوامل موثر در تولید رواناب سطحی حوضه ها را مورد بررسی قرار داد و حجم رواناب حاصل از نزولات جوی را برآورد کرد و بدین ترتیب برخی از مشکلات ناشی از نبود اطلاعات کافی از اندازه گیری های مربوط به جریان های سطحی و بارندگی ها و یا کمبود داده ها در این زمینه را مرتفع کرد [۲].

بر همین اساس، حوضه آبریز امامه یکی از حوضه های معرف کشور با بیش از سی سال سابقه آماربرداری منظم و مستمر اندازه گیری عوامل هیدروکلیماتولوژی و هیدرولوژی برای انجام این تحقیق انتخاب گردید.

۲- موقعیت و مشخصات هیدرولوژیکی حوضه امامه

حوضه معرف امامه یکی از زیرحوضه های جاجرود به شمار می رود و با توجه به وضع طبیعی، کلیماتولوژی و زمین شناسی، معرف محدوده وسیعی از دامنه های جنوبی رشته کوه های البرز مرکزی می باشد. این حوضه بین عرض جغرافیایی ۵۷°؛ ۳۵° و ۲۰°؛ ۵۱°؛ ۳۵° شمالی و طول جغرافیایی ۳۰°؛ ۳۸°؛ ۵۱° و ۳۰°؛ ۳۲°؛ ۵۱° شرقی واقع شده است. خلاصه اطلاعات مربوط به مشخصات فیزیوگرافی حوضه امامه در جدول شماره ۱ ارائه شده است [۳].

جدول ۱: خلاصه اطلاعات فیزیوگرافی حوضه آبریز امامه [۳]

ضریب زهکشی	مجموع طول آبراهه ها (Km)	ارتفاع متوسط (m)	شیب متوسط رودخانه (درصد)	ضریب شکل	شیب متوسط (درصد)	طول آبراهه اصلی (Km)	محیط (Km)	مساحت (Km ²)
۲/۵۴	۹۴/۴	۲۶۵۰	۹/۲	۱/۴۲	۱۳	۱۳	۳۱	۳۷/۲

برای انجام مطالعات هیدروکلیماتولوژی حوضه آبریز امامه، سیزده ایستگاه باران سنجی در نقاط مختلف آن تأسیس شده است. ایستگاه هواشناسی امامه که کاملترین ایستگاه در حوضه می باشد در روستای امامه و تقریباً در مرکز ثقل حوضه قرار دارد. خلاصه آمار هواشناسی در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

دو ایستگاه هیدرومتری در مسیر جریان رودخانه وجود دارد. ایستگاه کمرخانی در محل تلاقی رودخانه امامه با رودخانه جاجرود و ایستگاه باغ تنگه در حدود یک کیلومتری بالا دست روستای امامه واقع شده است. در جدول ۳، خلاصه آمار اندازه گیری دبی آب در محل ایستگاه کمرخانی نشان داده شده است.

جدول ۲: خلاصه آمار هواشناسی حوضه آبریز امامه [۳]

بارندگی متوسط سالانه mm	رطوبت نسبی %	دمای متوسط °C	حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته		حداقل دما		حداکثر دما	
			مقدار mm	تاریخ وقوع	مقدار °C	تاریخ وقوع	مقدار °C	تاریخ وقوع
۷۳۵	۴۸	۹/۳	۹۵	۵۱/۱/۷	-۲۴	بهمن ۵۰	۳۶	تیر ۶۱

جدول ۳: خلاصه آمار هیدرومتری حوضه آبریز امامه در محل ایستگاه کمرخانی [۳]

حجم M.C.M	دبی متوسط سالانه m ³ /sec	حداکثر دبی لحظه‌ای		رواناب (mm)	دبی ویژه Lit/s/Km ²	ضریب جریان %	پر آب ترین ماههای سال	کم آب ترین ماه سال
		مقدار m ³ /s	تاریخ وقوع					
۱۸/۷۳۲	۰/۵۹۴	۲۱/۲	۵۱/۵/۱۵	۵۰۳	۱۵/۹۷	۶۶	فروردین اردیبهشت	شهریور

۳- پیشینه تحقیق:

تا اوایل دهه ۱۹۹۰ توابع تحلیلی GIS هنوز در مطالعات منابع آب مورد استفاده قرار نمی گرفت و مدل‌های هیدرولوژیکی نیز قابلیت مدیریت داده ها و نمایش اطلاعات را در حد انتظار نداشتند. از دهه ۱۹۹۰ به بعد مؤسسات تولیدکننده نرم افزارهای GIS سعی نمودند نیازهای موردعلاقه هیدرولوژیست ها و توابع مورد نیاز در تحلیل های هیدرولوژی را در نرم افزارهای خود ملحوظ نمایند [۴].

هم اینک برخی توابع شبیه سازی هیدرولوژیکی در تعدادی نرم افزارهای GIS وجود دارد. به موازات این پیشرفتها در مدل سازی نیز سعی گردید که نحوه اتصال به سیستمهای اطلاعات جغرافیائی استاندارد مورد توجه قرار گیرد اما هنوز اکثر شبیه سازی های حرفه ای بصورت مجزا از سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت می پذیرد [۵].

براین اساس میتوان در ارتباط با GIS مدل‌های هیدرولوژیکی را به دو دسته کلی تقسیم نمود:

۱- مدل‌های تلفیقی: مدل‌هایی هستند که در کنار یک نرم افزار به تحلیل هیدرولیکی - هیدرولوژیکی پرداخته و از نرم افزار یاد شده جهت مدیریت داده های ورودی و خروجی و همچنین نمایش نتایج حاصل از اجرای مدل استفاده مینمایند.

۲- مدل‌های یکپارچه: مدل‌هایی هستند که برای تحلیل از توابع استاندارد و زبان معمولی سیستمهای اطلاعات جغرافیائی نظیر AML و SQL برای نوشتن کدهای رایانه ای استفاده نموده اند [۶].

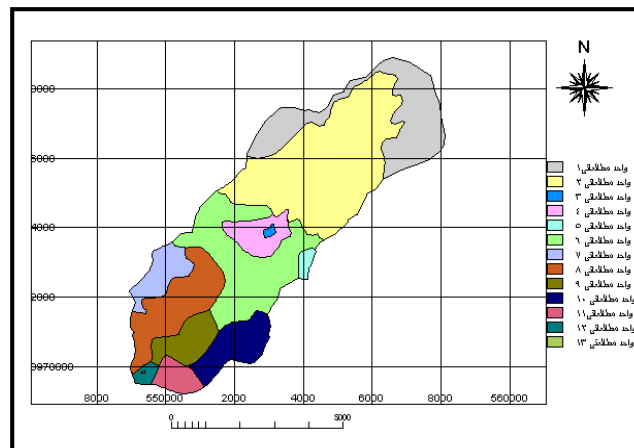
روشهای کاملاً متفاوتی بوسیله Palacios-Velez و Guevas-Renaud در سال ۱۹۸۶ براساس خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز پایه ریزی شد. مدل‌های تحلیل و برآورد حجم رواناب در حوضه های آبریز بعدها توسط Chorovicz (1992) و La Barbera et al (1992) توسعه یافت [۷].

پیشرفتهای اخیر در تکنولوژی تهیه تصاویر ماهواره ای و رایانه ها میزان قابلیت دسترسی به داده های هیدرولوژیکی را افزایش داده است. اگرچه برخی از داده های اطلاعات ماهواره ای بطور مستقیم میتوانند درمدلهای هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرند ولی تعداد زیادی از داده های مکانی هیدرولوژی از طریق اطلاعات ماهواره ای قابل حصول میباشد. این موضوع در گسترش مدلهای هیدرولوژیکی توزیعی که در آن اطلاعات مکانی در کنار داده های هیدرولوژی قرار میگیرند، سهم بسزایی دارد. برخی از مدلهای هیدرولوژیکی توزیعی عبارتند از: (EHS) سیستم هیدرولوژیکی اروپایی، (IHDM) انستیتیوی مدل هیدرولوژی توزیعی (Beven et al., 1987)، و مدلهای ژاپنی (Takasao et al., 1989) [۸].

۴- تعیین CN حوضه با استفاده از RS و GIS

با استفاده از عوامل و پارامترهای نسبتاً ثابت حوضه‌های آبریز مانند: خصوصیات فیزیوگرافی، شرایط توپوگرافی، تراکم و تنوع پوشش گیاهی، نوع کاربری اراضی و نفوذپذیری خاک‌ها می توان نسبت به تعیین CN حوضه اقدام کرد. در این روش با بهره گیری از تصاویر ماهواره‌ای، وضعیت سطحی، کاربری و پوشش گیاهی حوضه مورد بررسی قرار می گیرد و ضمن تهیه نقشه‌های لازم در محیط GIS برآورد حجم رواناب ناشی از بارندگی‌ها براساس مقادیر CN حوضه صورت می پذیرد [۹].

انجام مراحل لازم جهت تعیین CN در روش SCS با تعیین میزان نفوذپذیری در واحدهای مطالعاتی مقدور می‌باشد. لذا دقت و صحت برآورد میزان نفوذپذیری تأثیر مستقیم بر میزان رواناب سطحی و هیدروگراف سیل ناشی از وقوع بارش دارد. از اینرو واحدهای مطالعاتی انتخابی باید از شرایط همگنی از نظر عوامل موثر بر نفوذپذیری در سطوح حوضه‌های آبریز برخوردار باشند (شکل ۱).



شکل ۱: واحدهای مطالعاتی حوضه آبریز امامه

جهت تعیین مقدار CN در یک حوضه آبریز نیاز به بررسی و مطالعه دقیق گروه های هیدرولوژیکی خاک، پوشش گیاهی، چگونگی وضعیت سطحی و استفاده از زمین و رطوبت اولیه خاک می‌باشد که در این ارتباط اقدامات زیر در واحدهای مطالعاتی حوضه امامه صورت گرفت.

۴-۱- تعیین گروههای هیدرولوژیک خاک

خصوصیات خاک روی تحول و پیدایش رواناب اثر داشته و باید در محاسبات مربوط به آن در نظر گرفته شوند. خصوصیات خاک می تواند بایک عامل هیدرولوژیکی بیان گردد که آن حداقل سرعت نفوذپذیری درحالت مرطوب بودن

طولانی مدت خاک می‌باشد. در این مورد، نوع سطح و افق‌های خاک نیز در نظر گرفته می‌شود. سازمان حفاظت خاک آمریکا (۱۹۷۲)، تمام خاک‌ها را از نظر توان ایجاد رواناب به چهار گروه اصلی A, B, C و D تقسیم نموده است. این تقسیم‌بندی مبتنی بر حداقل شدت نفوذپذیری خاک لخت (بدون پوشش گیاهی) می‌باشد. گروه‌های هیدرولوژیک خاک در حوضه امامه براساس نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های نفوذپذیری در محل‌های تعیین شده و با استفاده از جدول استاندارد ارائه شده توسط SCS و همچنین نقشه رقومی خاک حوضه با انجام مراحل زیر تعیین گردید [۲].

۴-۱-۱- طبقه‌بندی خاکهای منطقه

تشخیص و تفکیک خاکهای حوضه آبریز امامه براساس طرز تشکیل و ماده اولیه تشکیل دهنده صورت پذیرفت و عواملی چون رنگ، بافت، ساختمان فیزیکی، مقدار و حالات تجمع آهک در طبقات خاک، عمق مؤثر خاک، مقدار درصد کربنات کلسیم، مقدار سولفات کلسیم، اسیدیته و قابلیت هدایت الکتریکی در تفکیک خاک مورد توجه قرار گرفت [۲].

۴-۱-۲- تعیین حداقل سرعت نفوذپذیری در واحدهای مطالعاتی

یکی از خصوصیات فیزیکی مهم خاک، نفوذپذیری آن می‌باشد. نفوذ آب در خاک اهمیت زیادی دارد، زیرا آبی که نتواند در خاک نفوذ نماید، موجب ایجاد رواناب و فرسایش می‌گردد. اندازه‌گیری نفوذپذیری و حداقل شدت نفوذ پذیری در واحدهای مطالعاتی حوضه امامه با ۲۲ آزمایش به روش استوانه مضاعف در پنج تیپ اراضی شامل کوهها، تپه‌ها، فلات‌ها، دشت‌های دامنه‌ای و واریزه‌های بادبزی شکل انجام گرفت [۲].

۴-۱-۳- تهیه نقشه کلاسه‌های شیب حوضه

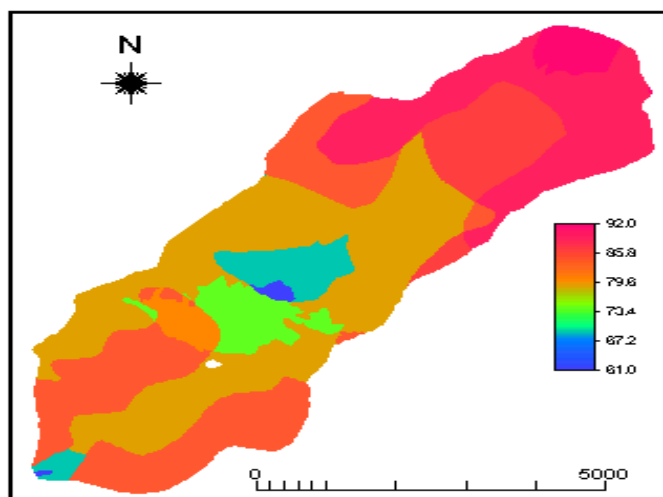
چون اندازه‌گیری نفوذپذیری در تعدادی از نقاط واحدهای مطالعاتی صورت می‌گیرد، تعمیم آن به سطح واحد مطالعاتی بدون توجه به شرایط توپوگرافی واحد مطالعاتی مورد نظر خالی از خطا نخواهد بود. لذا جهت لحاظ تأثیر میزان شیب در میزان نفوذپذیری واحدها نقشه شیب حوضه و واحدهای مطالعاتی تهیه گردید [۲].

۴-۲- چگونگی وضعیت سطحی و استفاده از زمین

عامل مهم دیگر در تعیین CN مشخص کردن انواع پوشش و کاربری اراضی در سطح حوضه آبریز است. برای تهیه نقشه وضعیت سطحی منطقه تصویر ماهواره ای TM سال ۱۹۹۹ میلادی پس از انجام تصحیحات تابشسنجی و هندسی و عملیات پردازش رقومی مورد استفاده قرار گرفت. جهت تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی، نسبت به تعیین شاخص تراکم پوشش گیاهی (NDVI) با بهره‌گیری از باندهای TM₃ و TM₄ پردازش شده تصاویر ماهواره ای منطقه اقدام گردید [۲].

۴-۳- تهیه نقشه CN منطقه

با بدست آوردن نقشه‌های پوشش سطحی زمین، وضعیت هیدرولوژیکی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روشهای همپوشی لایه‌ها در نرم‌افزار ILWIS و ایجاد و اعمال جدول طبقه‌بندی، CN تهیه گردید (شکل ۲).



شکل ۲: شماره منحنی CN حوضه امامه

مقدار CN حوضه در پایان مراحل عملیات در شرایط رطوبتی II، ۸۲/۲ برآورد گردید [۲]. خلاصه اطلاعات برآوردی مربوط به واحدهای مطالعاتی در حوضه در جدول ۴ ارائه گردیده است.

جدول ۴: خلاصه اطلاعات واحدهای مطالعاتی حوضه امامه

شماره منحنی (CN II)	نوع پوشش سطحی (Land Cover)	وضعیت هیدرولوژیکی	گروه هیدرولوژیکی خاک	شیب متوسط (درصد)	مساحت (هکتار)	کد واحد مطالعاتی	ردیف
۸۸/۶	صخره	---	D	۸۷	۵۳۸/۵۶	U ₁	۱
۸۴/۲	مرتع	فقیر	D و C	۶۵	۱۲۱۳/۰۲	U ₂	۲
۶۹	مسکونی	---	B	۳۰	۸/۹۱	U ₃	۳
۶۸/۵	زراعی	خوب	B	۳۸	۱۵۳/۰۹	U ₄	۴
۷۹	زراعی	فقیر	C	۵۶	۲۳/۱۳	U ₅	۵
۷۷/۷	مرتع	متوسط	C	۴۷	۶۵۷/۵۴	U ₆	۶
۷۸/۹	مرتع	فقیر	C	۶۱	۱۶۱/۹۱	U ₇	۷
۸۳/۱	مرتع	فقیر	D	۵۲	۳۹۲/۶۷	U ₈	۸
۷۹/۱	مرتع	فقیر	C	۵۵	۱۸۰/۹۰	U ₉	۹
۸۴	مرتع	فقیر	D	۷۹	۲۲۸/۴۲	U ₁₀	۱۰
۸۳/۹	مرتع	فقیر	D	۶۱	۱۰۱/۲۵	U ₁₁	۱۱
۶۹/۳	زراعی	خوب	B	۳۴	۳۱/۵۹	U ₁₂	۱۲
۶۹	مسکونی	---	D	۳۹	۰/۵۴	U ₁₃	۱۳
۸۲/۲۱	متوسط شماره منحنی در شرایط رطوبتی II						

۵- تحلیل رگبارها و برآورد حجم رواناب ناشی از آنها

برای برآورد حجم جریان سطحی و تحلیل سیل‌های ناشی از رگبارهای مختلف در حوضه آبریز امامه، ابتدا کلیه گزارش‌های آماری سال‌های ۱۳۴۹ تا ۱۳۷۵ این حوضه که توسط سازمان مدیریت منابع آب ایران تهیه و تدوین شده است مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت و از بین سیل‌هایی که در این دوره زمانی به وقوع پیوسته است تعداد ۳۰ سیل که مقادیر دبی آن در ایستگاه هیدرومتری کمرخانی به ثبت رسیده است، انتخاب گردید. انتخاب سیل‌های نمونه با توجه به روش شماره منحنی SCS که تنها جهت برآورد رواناب سطحی حاصل از بارندگی‌ها بکار می‌رود (ماه‌های فروردین لغایت مهر در دوره آماری ۱۳۴۹ تا ۱۳۷۵) و مطابق با فصل بررسی‌های صحرائی و انجام آزمایش‌های نفوذپذیری سطحی حوضه (فصل تابستان) صورت پذیرفته است. شماره منحنی متوسط در شرایط رطوبتی (CN_{II}) مربوط به ۳۰ سیل نمونه برابر ۹۲/۴۷ بدست آمده است [۲].

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱- شرط لازم برای ارزیابی اعتبار یک روش این است که نتایج بدست آمده از آن روش، با نتایج مشاهدات واقعی و اندازه‌گیری‌های انجام شده مقایسه گردد. در این تحقیق مقدار CN با استفاده از RS و GIS و بر مبنای شرایط و خصوصیات فیزیکی، پوشش سطحی و گیاهی و کاربری اراضی حوضه آبریز امامه برابر ۸۲/۲۱ برآورد گردید. مقایسه CN برآورد شده از این طریق با نتایج حاصل از تحلیل سیل‌های ناشی از رگبارها (یعنی $CN = ۹۲/۴۷$) حدود ۱۲/۷۴ درصد اختلاف نشان می‌دهد. به بیان دیگر می‌توان بیان داشت که میزان دقت در برآورد CN از طریق RS و GIS، حدود ۸۸ درصد می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق می‌توان بیان داشت که نه تنها برآورد CN و به تبع آن حجم رواناب در حوضه‌های فاقد آمار اندازه‌گیری با تکیه بر فن‌آوری‌های جدید و نوین مانند استفاده از RS و GIS امکان‌پذیر است بلکه به دقت و صحت نتایج حاصل از این روش نیز می‌توان اعتماد کرد.

۲- با توجه به عدم تجهیز برخی از حوضه‌های آبریز کشور به تجهیزات اندازه‌گیری باران و دبی جریان، کاربرد روش‌های غیرمستقیم و متکی به فن‌آوری روز در برآورد حجم رواناب این قبیل حوضه‌ها اجتناب‌ناپذیر است. از طرف دیگر بخش عمده‌ای از اطلاعات مورد نیاز برای تعیین حجم رواناب سطحی از طریق بهره‌گیری از اطلاعات ماهواره‌ای و به کارگیری GIS قابل تهیه می‌باشند. لذا توصیه می‌شود که با توجه به قابلیت و توانایی تکنیک‌ها و ابزار یادشده در تهیه اطلاعات و اعمال تغییرات مورد نظر در لایه‌های اطلاعاتی، دامنه استفاده از RS و GIS برای مطالعات حوضه‌های آبریز کشور بیش از پیش گسترش یابد.

۳- با توجه به اینکه در مناطق دوردست و کوهستانی جمع‌آوری اطلاعات بخصوص برای یک دوره طولانی کاری دشوار و در بسیاری از موارد غیرممکن است. این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از RS و GIS می‌تواند برای مطالعات مختلف در این مناطق بخصوص مطالعات هیدرولوژی حوضه‌ای بسیار راهگشا باشد. این موضوع در مورد کشور ما که مناطق کوهستانی آن زیاد بوده و دسترسی به آن مناطق هم‌دشوار است از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد.

۷- مراجع

- [۱] دینانی، ش. و محمدی، ک. (۱۳۸۱). برآورد آبدهی رودخانه در نقاط فاقد ایستگاه با استفاده از GIS، ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران.
- [۲] رضوی، ا.، وهابی، ج.، مجدزاده طباطبایی، م.ر. و موسوی ندوشنی، س.س. (۱۳۸۲). طرح تحقیقاتی برآورد حجم رواناب در حوضه‌های فاقد آمار اندازه‌گیری با استفاده از RS و GIS، سازمان مدیریت منابع آب ایران، وزارت نیرو.

- [۳] وزارت نیرو، مرکز تحقیقات منابع آب، گزارش های آماری سالهای ۱۳۴۹ تا ۱۳۷۵ حوضه معرف امامه.
- [4] Kopp, S.M. (1996). Linking GIS and Hydrological Models, Where we have been, where we are going, Hydro GIS 96, Proceedings of the Vienna Conference.
- [5] Stuart, N., Stocks, C. (1993). Hydrological modeling within GIS, An integrated approach, Hydro GIS 93, Proceedings of the Vienna Conference.
- [۶] ثقفیان، ب.، حسونند، ع.م. و خسرو شاهی، م. (۱۳۷۹). روشهای تصحیح مدل ارتفاعی رقومی (DEM) برای کاربرد در مدل‌های هیدرولوژیکی، همایش ژئوماتیک ۷۹، سازمان نقشه برداری کشور.
- [7] La Barbera, P., Lanza, L., Siccardi, F. (1993). Hydrological oriented GIS and application to rainfall-runoff distributed modeling, case study of the Arno basin, Hydro GIS 93, Proceedings of the Vienna Conference.
- [8] Minjiao, L., Tosio, K. (1996). Norio Hayakawa, A distributed hydrological modeling system linking GIS and hydrological models, Hydro GIS 96, Proceedings of the Vienna Conference.
- [9] Robert, R.E., Miller, N. (1981). Past present and future S.C.S Run-off procedure, Water Resource Engineering, W.R.P.