

هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۶، پاییز ۱۳۹۷، صص ۱۵۸-۱۳۹

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۱۷ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۱۵

ارزیابی کارایی ابزار Arc-CN Runoff در برآورد میزان رواناب و مقایسه‌ی تغییرات آن در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ در آبخیز هراز استان مازندران

ناصر احمدی ثانی^۱

کریم سلیمانی^۲

لیدا رزاق‌نیا^۳

رئوف مصطفی‌زاده^{۴*}

جلال زندی^۵

چکیده

با افزایش جمعیت و فعالیت‌های بشری و در نتیجه افزایش تقاضای آب، دسترسی به آب بحرانی شده و ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب برای استفاده پایدار پیچیده می‌گردد. بررسی قوانین دینامیکی و طولانی مدت رواناب اهمیت و ارزش عملی برای توسعه پایدار و برنامه‌ریزی منابع آب دارد. از سوی دیگر در رابطه با رواناب، روش‌های مرسوم اندازه‌گیری آن بسیار پرهزینه، وقت‌گیر و مشکل هستند. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی صحت ابزار ArcCN-Runoff برای تهیه نقشه‌ی حجم و ارتفاع رواناب در حوضه‌ی آبخیز هراز می‌باشد. برای تهیه نقشه‌ی کاربری اراضی، تصاویر ماهواره‌لندست سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ مورد پردازش و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نقشه‌ی گروه‌های هیدرولوژیک خاک تهیه و محاسبات بارش سالانه با استفاده از داده‌های روزانه بارش ایستگاه‌های محدوده‌ی حوضه برای سال‌های مختلف انجام شد. جهت

۱- استادیار دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی مهاباد، مهاباد، ایران.

۲- استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۳- کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده‌ی علوم محیطی، مؤسسه آموزش عالی هراز، مازندران، ایران.

۴- استادیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول).

E-mail: raofmostafazadeh@uma.ac.ir

۵- مربی گروه آبخیزداری، مؤسسه آموزش عالی هراز، مازندران، ایران.

تهیه‌ی نقشه‌ی شماره‌ی منحنی (CN) و برآورد حجم و ارتفاع رواناب از روش SCS و ابزار ArcCN-Runoff در محیط GIS استفاده شد. سپس رواناب مشاهداتی با استفاده از داده‌های روزانه دبی ایستگاه کره‌سنگ محاسبه و جداسازی جریان پایه انجام گرفت. در نهایت صحت رواناب برآوردی با برآورد درصد خطای نسبی ارزیابی گردید. براساس نتایج خطای نسبی برآورد رواناب در هر دو دوره ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ به هم نزدیک و نسبتاً کم (۱۰ درصد) می‌باشد و ابزار به کار رفته، رواناب را با صحت حدود ۹۰ درصد در هر دو دوره برآورد کرده است و می‌تواند برای ارزیابی و برآورد رواناب به کار برده شود.

کلمات کلیدی: تخمین رواناب، روش SCS، کاربری اراضی، Arc-CN Runoff.

مقدمه

افزایش تقاضای استفاده از آب و تعدد کاربران، ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب و استفاده پایدار از آن را ضروری نموده است (مالیکارجوناً و همکاران، ۲۰۱۲). با توجه به بحران جهانی آب، لزوم برنامه‌ریزی در حفظ منابع آب و استفاده بهینه از این منابع از مهم‌ترین برنامه‌های توسعه به‌شمار می‌رود (حسینی و همکاران، ۱۳۹۱). مطالعه‌ی ارتباط بین تغییرات پوشش گیاهی و تغییرات مکانی رواناب، اساس برنامه‌ریزی هیدرولوژیک است (بابیکالپانا و تانوشکودی^۱، ۲۰۱۱). مدیریت آبخیز براساس کنترل فرآیندهای هیدرولوژیکی متعددی که در آن اتفاق می‌افتد و به طور عمده رواناب، دارای اهمیت ویژه‌ای است (یین و فن‌گین^۲، ۲۰۱۲؛ لگادک^۳ و همکاران، ۲۰۱۶). فرآیند تولید رواناب تحت تأثیر فاکتورهای متعددی است که کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد (ساجیکومار و ریما^۴، ۲۰۱۵). پژوهش‌های متعددی در ارتباط با تأثیر کاربری اراضی بر رفتار هیدرولوژیک صورت گرفته تأثیر آن بر فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه، به واسطه‌ی

-
- 1- Mallikarjuna
 - 2- Babykalpana and Thanushkodi
 - 3- Yin and Fenqin
 - 4- Legadec
 - 5- Sajikummar and Reyma

ارتباط آن با تبخیر و تعرق از یک سو و نوع پوشش زمین از طرف دیگر اثبات شده است (فیچرها^۱ و همکاران، ۲۰۱۲؛ ساجی کومار و ریما، ۲۰۱۵). از طرف دیگر اندازه‌گیری رواناب، پرهزینه و وقت‌گیر است و در بیش‌تر حوضه‌های آبخیز ایران کمبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش یا رواناب وجود دارد. داده‌های کامل و قابل اطمینان از مسائل جدی در پژوهش‌های مربوط به هیدرولوژی، منابع آب و طرح‌های آبخیزداری می‌باشد (حجازی و مزبانی، ۱۳۹۴). در این راستا، استفاده از RS و GIS نیز برای تهیه داده‌های پایه منابع آب ضرورت دارد (احمدی‌ثانی و همکاران، ۲۰۱۶؛ صالح و حمید^۲، ۲۰۱۷؛ کورس و اشنايدر^۳، ۲۰۱۸). امروزه کاربرد GIS و RS برای تخمین رواناب حوضه‌ها در سال‌های اخیر افزایش یافته است (جاین^۴، ۲۰۱۰؛ پاچری^۵ و همکاران، ۲۰۱۳؛ پانهالکار^۶، ۲۰۱۴؛ صالح و حمید، ۲۰۱۷). یکی از چالش‌های اساسی هیدرولوژیست‌ها، برآورد کمی رواناب می‌باشد که در طرح‌های عمرانی نقش کلیدی دارد. رایج‌ترین روش برآورد رواناب سطحی، روش SCS است (حجازی و مزبانی، ۱۳۹۴؛ غفاری‌گیلانده و همکاران، ۱۳۹۵) که در صورت استفاده از فن‌آوری‌هایی مانند RS و GIS، دقت و کارایی آن افزایش می‌یابد (کوستاچ^۷ و همکاران، ۲۰۱۴؛ صالح و حمید، ۲۰۱۷). در زمینه‌ی برآورد رواناب با کاربرد ابزار ArcCN-Runoff نیز مطالعات متعدد صورت گرفته که بر استفاده و ارزیابی کمی نتایج آن تأکید شده است (ژان و هوانگ^۸، ۲۰۰۴؛ غفاری‌گیلانده و همکاران، ۱۳۹۵). در این راستا جوادی و همکاران (۱۳۹۰) به برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره‌ی منحنی با ابزار ArcCN-Runoff در حوضه‌ی آزاد رود پرداختند. براساس نقشه‌ی ارتفاع رواناب، متوسط رواناب حوضه ۳/۱۸ میلی‌متر است که نسبت به روش معمول (۳/۹۸ میلی‌متر) از دقت بالاتری برخوردار است.

- 1- Fichera
- 2- Salih and Hamid
- 3- Korres and Scheneider
- 4- Jain
- 5- Pachri
- 6- Panhalkar
- 7- Costache
- 8- Zhan & Huang

محمدی و همکاران (۱۳۹۰) جهت محاسبه‌ی رواناب مستقیم از نرم‌افزار ArcGIS و روش NRCS-CN استفاده کردند. ابزار ArcCN-Runoff نیز جهت تعیین ارتفاع رواناب استفاده گردید و مشخص شد که GIS و ArcCN-Runoff جهت برآورد رواناب با شاخص تطابق ۰/۹۸ دارای دقت قابل قبولی است. افشاری‌آزاد و پورکی (۱۳۹۱)، رواناب سطحی شهر رشت را با استفاده از روش SCS اندازه‌گیری کردند و نشان دادند که زیرحوضه‌های با درصد مساحت غیرقابل نفوذ بیش‌تر، دارای حجم سیلاب و رواناب بیش‌تر می‌باشند. ژان و هوانگ در سال ۲۰۰۴ ابزار ArcCN-Runoff را جهت تهیه‌ی نقشه‌ی شماره‌ی منحنی و رواناب در حوضه‌ی ایالت کانزاس به‌کار بردند. نتایج آنها نشان داد که ابزار مذکور جهت حفاظت منابع آب بسیار مفید بوده و باید از طریق در نظر گرفتن فاکتورهای بیش‌تر در برآورد رواناب بهبود داده شود. دامز^۱ و همکاران (۲۰۱۳) در حوضه‌ی آبخیز کلین نت^۲ در بلژیک، به تهیه‌ی نقشه‌ی سطوح غیرقابل نفوذ پرداختند و نشان دادند که ه در جریان توسعه شهری با افزایش سطوح غیرقابل نفوذ به میزان ۲۵/۴ تا ۲۹/۲ درصد، طی ۱۷ سال، رواناب به میزان ۹/۵ درصد افزایش یافته است، در صورتی که تبخیر و تعرق ۱/۵ درصد کاهش یافته است. هم‌چنین از GIS جهت تهیه اطلاعات لازم در به‌دست آوردن رواناب مستقیم با استفاده از روش شماره‌ی منحنی استفاده شده است. استفاده از ابزارهای مبتنی بر تحلیل‌های مکانی، می‌تواند سرعت و دقت برآورد مقادیر رواناب سطحی را افزایش دهد. در این راستا، ابزارهای مذکور می‌تواند در پیش‌بینی اثرات ناشی از فعالیت‌های انسانی و تغییر در کاربری اراضی بر خصوصیات رواناب مورد استفاده قرار گیرد. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی ابزار ArcCN-Runoff در محیط GIS در برآورد میزان رواناب سطحی و مقایسه‌ی تغییرات آن در دو بازه‌ی زمانی تغییر کاربری اراضی در حوضه‌ی آبخیز هراز در استان مازندران می‌باشد.

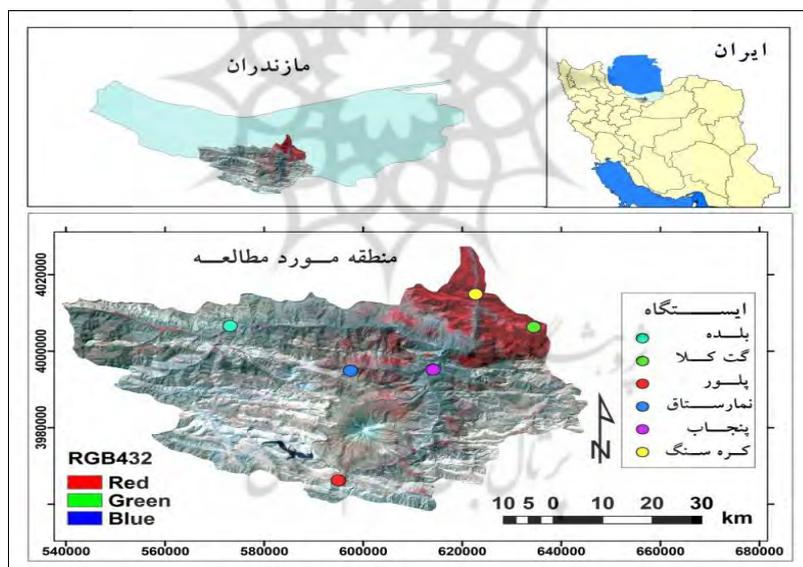
1- Dams

2- Kleine Nete

مواد و روش‌ها

– منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبخیز هراز با وسعت $4014/09$ کیلومترمربع در محدوده‌ی جغرافیایی 25° تا 51° طول شرقی و $35^{\circ} 26'$ تا $36^{\circ} 13'$ عرض شمالی در جنوب استان مازندران واقع شده است (شکل ۱). این حوضه با متوسط آبدهی $31/10$ مترمکعب بر ثانیه، پرآب‌ترین رودخانه در استان مازندران به حساب می‌آید. متوسط مقدار بارندگی سالانه از مقدار 302 میلی‌متر در بخش مرکزی حوضه تا بیش‌ترین مقدار 1069 میلی‌متر در قسمت شرقی حوضه در حال نوسان است. متوسط دمای سالانه و تبخیر سالانه نیز به ترتیب برابر 8 درجه سانتی‌گراد و 1300 میلی‌متر می‌باشد.



شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌ها و منطقه‌ی مورد مطالعه در استان مازندران و ایران

در این پژوهش، صحت برآورد رواناب توسط ابزار Arc-CN Runoff و با کمک سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در سال‌های 1375 و 1390 مورد

ارزیابی قرار گرفت. جهت تهیه نقشه‌ی کاربری دو دوره‌ی (سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰) از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۷ استفاده گردید. جهت رفع خطای هندسی تصاویر ماهواره‌ای از روش تطابق هندسی همراه با رفع اثر جابجایی ناشی از پستی و بلندی (Orthorectification)، استفاده شد. فرایند این روش با کاربرد نقشه‌ی آبراهه‌ها، جاده‌ها و DEM منطقه در محیط نرم‌افزار PCI Geomatica انجام و تصاویر با خطای RMS زیر یک پیکسل تصحیح شدند. برای تجزیه و تحلیل تصاویر، از روش طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال و بهترین ترکیب باندی (PCAB4-B7, B2-4, SAVI) استفاده گردید. بهترین ترکیب باندی با استفاده از معیارهای فاصله باتاچاریا و واگرایی تبدیل شده، انتخاب شد. نمونه‌های تعلیمی برای ۹ طبقه در تصویر سال ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ تعیین شدند. طبقات مذکور شامل: ۱- مسکونی ۲- زراعی ۳- آب ۴- باغ و جنگل کم‌تراکم ۵- جنگل متراکم ۶- مرتع درجه یک ۷- مرتع درجه دو ۸- مرتع و دیم ۹- اراضی سنگلاخی و خاک لخت بودند. صحت طبقه‌بندی‌ها نیز با استفاده از نقشه‌ی واقعیت زمینی نقطه‌ای (شامل ۵۳۰ نقطه از کاربری‌های مختلف) مورد ارزیابی قرار گرفت. در خصوص تفکیک کاربری‌های زراعت آبی و دیم، در این تحقیق منظور از کاربری زراعت آبی به صورت جدا ارائه شد. اما کاربری دیم به دلیل تشابه طیفی خیلی زیاد با برخی اراضی مرتعی، همراه با این اراضی مرتعی به صورت کاربری دیم-مرتع در نظر گرفته شدند. تشخیص و تفکیک کاربری‌های مختلف از جمله جنگل کم‌تراکم و متراکم نیز از طریق نمونه‌های تعلیمی با استفاده از نقاط کنترل زمینی، نقشه‌های موجود و تصاویر Google Earth صورت گرفته است. منظور از مرتع درجه یک و دو نیز همان مرتع با پوشش گیاهی خوب و متوسط می‌باشد که از طریق نمونه‌های تعلیمی مجزا توسط نقاط کنترل زمینی تفکیک شدند.

تهیه نقشه‌ی (CN) در ابزار ArcCN و ArcGIS انجام گرفت. روش‌های مختلفی برای محاسبه‌ی شدت رواناب وجود دارد. یکی از روش‌های تخمین رواناب، روش شماره‌ی

منحنی می‌باشد که این روش در سال ۱۹۵۴ توسط سازمان حفاظت خاک^۱ (SCS) پیشنهاد شد. در روش SCS، برای تعیین بارش مازاد یا رواناب نیاز به محاسبه تلفات بارش (S) می‌باشد. در دهه‌های اخیر توسعه مدل‌های هیدرولوژیکی مبتنی بر GIS مورد توجه محققان و دانشمندان قرار گرفته است، یکی از این ابزارها ArcCN-Runoff است که توسط ژان و هوانگ، (۲۰۰۴) جهت تعیین ارتفاع و حجم رواناب براساس روش SCS ارائه شده است. از ویژگی‌های این ابزار محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی و رواناب برای هر پلی‌گون به صورت جداگانه است. شماره‌ی منحنی کاربری‌های مختلف در گروه‌های هیدرولوژیکی متفاوت با استفاده از جداول استاندارد مربوطه (وانیلیستا^۲، ۱۹۹۷) تعیین شدند. سپس برای تهیه‌ی نقشه‌ی شماره‌ی منحنی، نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های مختلف و نقشه‌ی گروه‌های هیدرولوژیک حاصل از مطالعات تفصیلی اجرایی آبخیزداری حوضه، هم‌پوشانی شدند. جهت برآورد رواناب در سال‌های مختلف، محاسبات میزان بارندگی سالانه در نرم‌افزار اکسل و با استفاده از داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی پنجاب، نمارستاق، گت‌کلا، پلور، بلده و کره‌سنگ انجام شد (شکل ۱). سپس برآورد رواناب سال‌های مختلف با ورود متوسط بارش سالانه برای هر دو دوره آماری (۱۳۷۵ و ۱۳۹۰) با روش SCS در محیط ArcCN انجام گرفت و نقشه‌ی ارتفاع و حجم رواناب برای هر پلی‌گون محاسبه گردید. جهت مقایسه با رواناب برآوردی و ارزیابی صحت آن، با استفاده از داده‌های روزانه دبی ایستگاه پایین‌دست (ایستگاه کره‌سنگ)، مجموع رواناب سالانه به میلیون مترمکعب برای سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ در محیط اکسل محاسبه گردید. در حالی‌که رواناب مشاهداتی شامل جریان پایه و رواناب سطحی است و بنابراین جهت جداسازی جریان پایه از رواناب سطحی از روش فیلتر عددی برگشتی^۳ با ضرایب مختلف استفاده گردید. ضریب فیلتر در این روش با توجه به پژوهش‌های انجام شده (حسینی و همکاران، ۱۳۹۱؛ تمسکینی و همکاران، ۱۳۹۲)

1- Soil Conservation Service (SCS)

2- Wanielista

3- Recursive Digital Filter (RDF)

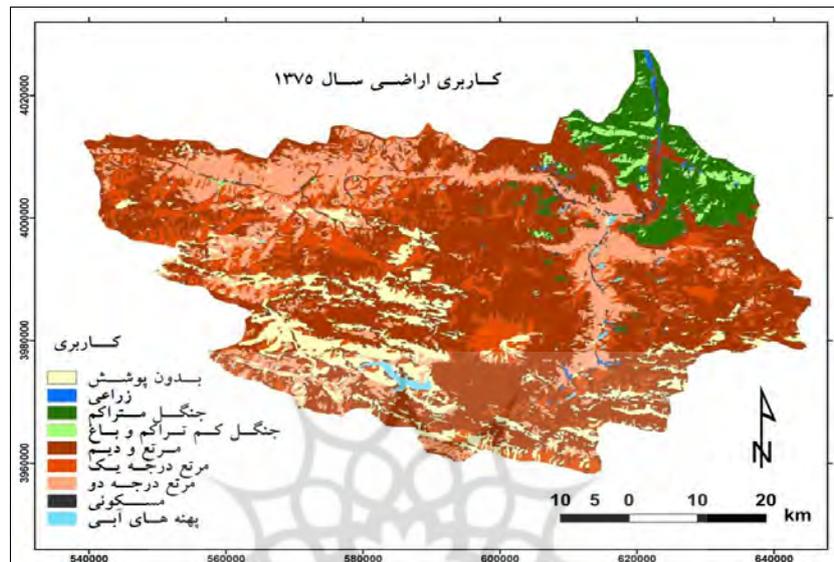
۰/۹۲۵، ۰/۹۵ و ۰/۹۷۵ در نظر گرفته شد و با هر یک از این ضرایب به طور جداگانه جریان پایه برآورد گردید. در نهایت به دلیل تطابق نتایج حاصل از ضریب ۰/۹۲۵، در تجزیه و تحلیل‌ها از این ضریب استفاده گردید. برای سنجش خطا معمولاً از کمیت خطای نسبی استفاده می‌شود. در این پژوهش نیز برای ارزیابی صحت رواناب برآوردی با توجه به مطالعات محققان (موریاسی و همکاران، ۲۰۰۷؛ مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸) از روش خطای نسبی و درصد آن طبق رابطه‌ی (۱) استفاده گردید.

$$\%RE = \left| \frac{Q_s - Q_o}{Q_o} \right| \times 100 \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

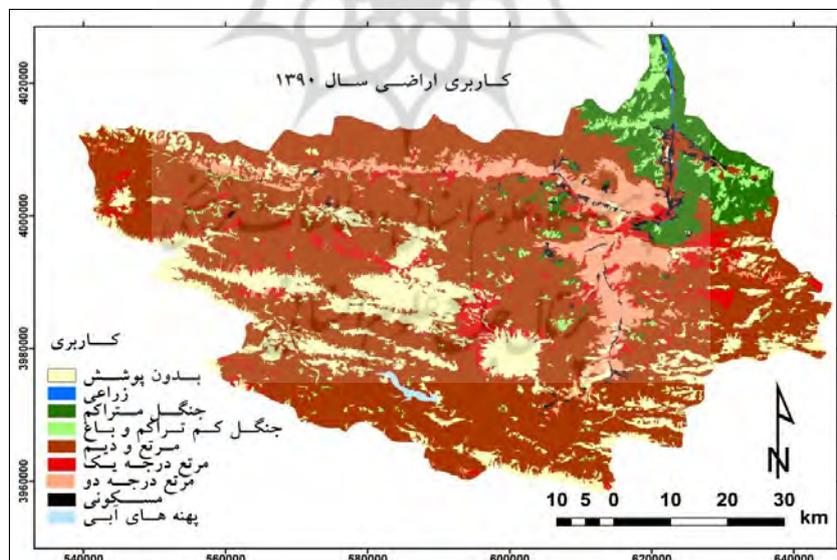
که در رابطه‌ی (۱) Q_s داده برآوردی رواناب و Q_o داده مشاهداتی رواناب می‌باشد.

- نقشه‌ی کاربری اراضی

نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی‌ها با استفاده از نقشه‌ی واقعیت زمینی نقطه‌ای (شامل ۵۳۰ نقطه از کاربری‌های مختلف و حاصل از برداشت‌های میدانی، تصاویر Google Earth و نقشه‌ی کاربری موجود بخشی از منطقه) نشان داد که صحت کلی و ضریب کاپا با الگوریتم حداکثر احتمال و ترکیب باندهای اصلی و شاخص‌ها برابر ۹۰ درصد و ۰/۸۸ بودند. در شکل (۲) و (۳) نقشه‌ی کاربری سال ۱۳۷۵ و سال ۱۳۹۰ و در جدول (۱) درصد مساحت هر کدام از کاربری‌ها در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ ارائه شده‌است.



شکل (۲) نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۱۳۷۵ در محدوده‌ی بالادست ایستگاه کره‌سنگ



شکل (۳) نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۱۳۹۰ در محدوده‌ی بالادست ایستگاه کره‌سنگ

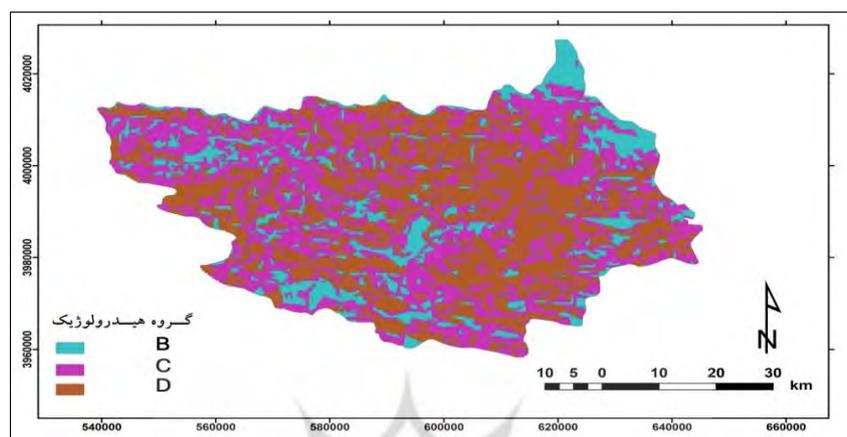
جدول (۱) درصد مساحت در کاربری‌های مختلف در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ در حوضه‌ی آبخیز هراز

کد کاربری	نام کاربری	درصد مساحت در سال ۱۳۷۵ (%)	درصد مساحت در سال ۱۳۹۰ (%)
۱	سنگلاخی و خاک لخت	۱۰/۴	۱۵/۴۳
۲	زراعی	۰/۳۸	۰/۱۵
۳	جنگل متراکم	۷/۰۱	۶/۰۴
۴	جنگل کم تراکم - باغ	۱/۵۲	۲/۴۶
۵	مرتع - دیم	۴۸/۷۸	۶۲/۷۴
۶	مرتع درجه یک	۱۴/۷۲	۴/۶۵
۷	مرتع درجه دو	۱۶/۱۶	۷/۳۱
۸	مسکونی	۰/۳۶	۱
۹	پهنه‌های آبی	۰/۶۷	۰/۲۲

براساس نتایج شکل (۲) و جدول (۱) مشاهده می‌شود که کاربری مرتع و دیم در هر دو دوره‌ی آماری نسبت به بقیه‌ی کاربری‌ها دارای بیش‌ترین درصد مساحت بوده ولی بیش‌ترین درصد آن (۶۲/۷۴) در سال ۱۳۹۰ می‌باشد. در حالی که کاربری زراعی، مرتع درجه یک و درجه دو، جنگل متراکم و پهنه‌های آبی در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال ۱۳۷۵ کاهش پیدا کرده‌اند (شکل ۳)، که دلیل آن می‌تواند ساخت و ساز و شخم اراضی دیم در منطقه‌ی مورد مطالعه باشد.

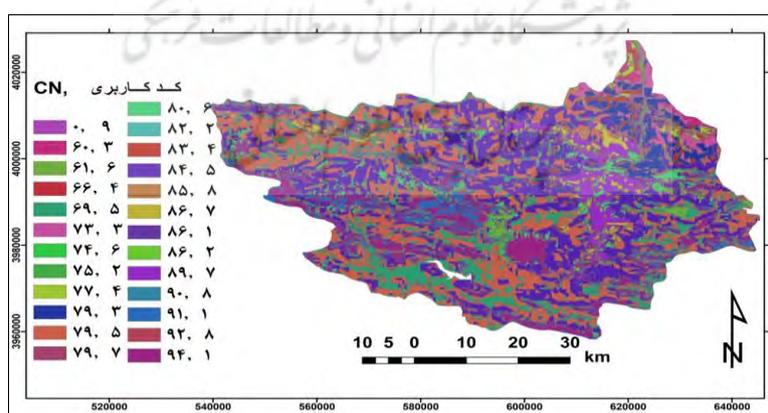
- نقشه‌ی گروه‌های هیدرولوژیک خاک

گروه‌های هیدرولوژیکی خاک براساس توان تولید رواناب به ۴ گروه A (پتانسیل تولید رواناب کم) تا D (پتانسیل تولید رواناب زیاد) تقسیم می‌شوند. اطلاعات نقشه‌ی گروه‌های هیدرولوژیکی خاک مورد استفاده نیز در قالب مطالعات تفصیلی اجرایی آبخیزداری حوضه در شکل (۴) ارائه شده است.



شکل (۴) نقشه‌ی گروه‌های هیدرولوژیک خاک در محدوده‌ی مورد مطالعه حوضه‌ی آبخیز هراز

نقشه‌ی گروه‌های هیدرولوژیک (شکل ۴) شامل سه گروه B، C و D به ترتیب برابر با ۱۵/۵، ۴۴/۵ و ۴۰ درصد منطقه می‌باشد. گروه هیدرولوژیک B در خاک‌هایی با توان تولید رواناب کم در منطقه‌ی مورد مطالعه وجود دارد، از طرفی در منطقه‌ی مورد مطالعه، بخش‌هایی با کاربری جنگل اکثراً در مناطق نسبتاً شیب‌دار قرار گرفته‌اند که تکامل مناسب و نیز عمق زیاد مشاهده نمی‌شود. نقشه‌ی شماره‌ی منحنی و کاربری‌های متناظر آن در سال ۱۳۹۰ در شکل (۵) نشان داده شده است.

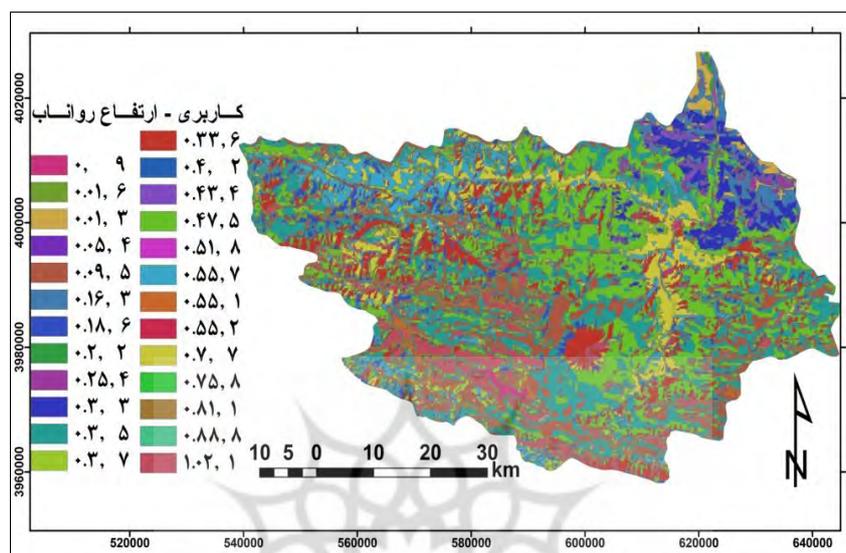


شکل (۵) نقشه‌ی شماره منحنی و پوشش‌های اراضی متناظر آن در سال ۱۳۹۰ در حوضه‌ی آبخیز هراز

میانگین شماره‌ی منحنی‌ها در سال ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰، به ترتیب برابر با مقدار ۷۹/۶ و ۸۱/۶ می‌باشد. در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰، به ترتیب ۵۱/۵ و ۴۷/۳ درصد منطقه دارای CN بین ۵۰ تا ۸۰ (شامل همه‌ی کاربری‌ها به جز پهناهای آبی، اراضی سنگلاخی و خاک لخت و اراضی مسکونی) و ۴۷/۸ و ۵۲/۴ درصد منطقه دارای CN بیش از ۸۰ (همه‌ی کاربری‌ها به جز پهناهای آبی، جنگل پرتراکم و مرتع درجه یک) می‌باشند. براساس نتایج، میزان بارش سالانه نزدیک‌ترین ایستگاه به مرکز حوضه (نمارستاق) در سال ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ به ترتیب برابر ۴۳۰ و ۳۹۵/۷ میلی‌متر بود. چون در این تحقیق برآورد بارش و استفاده از آن در ارزیابی تغییرات رواناب مد نظر بوده است، لذا سعی شد که از همه روش‌های برآورد بارش استفاده شود. در روش میانگین حسابی، تغییرات ارتفاع و توپوگرافی لحاظ نمی‌شود، هم‌چنین در روش وزنی عکس فاصله، فقط بر اساس فاصله بین ایستگاه‌ها برآورد بارش انجام می‌شود. از طرفی، در روش کریجینگ، تغییرات بارش بر اساس تغییرات ارتفاعی و وضعیت توپوگرافی برآورد می‌شود. میانگین بارش ایستگاه‌های محدوده‌ی حوضه با روش‌های میانگین حسابی و درونیابی وزنی معکوس فاصله و کریجینگ به ترتیب در سال ۱۳۷۵ برابر ۴۸۶/۲، ۴۲۴/۴ و ۴۸۶/۱ و در سال ۱۳۹۰ برابر با ۵۲۱/۵، ۵۱۴/۶ و ۵۲۱/۵ بودند.

– نقشه‌ی ارتفاع رواناب

نقشه‌ی ارتفاع رواناب و کاربری‌های متناظر آن در سال ۱۳۷۵ در شکل (۶) آورده شده‌است. براساس نتایج شکل (۶) و جدول (۲) مشاهده می‌شود که ارتفاع رواناب در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ در کاربری‌های سنگلاخی و خاک لخت و مسکونی بیش‌ترین و در کاربری جنگل و مرتع درجه یک دارای کم‌ترین مقادیر بوده است.



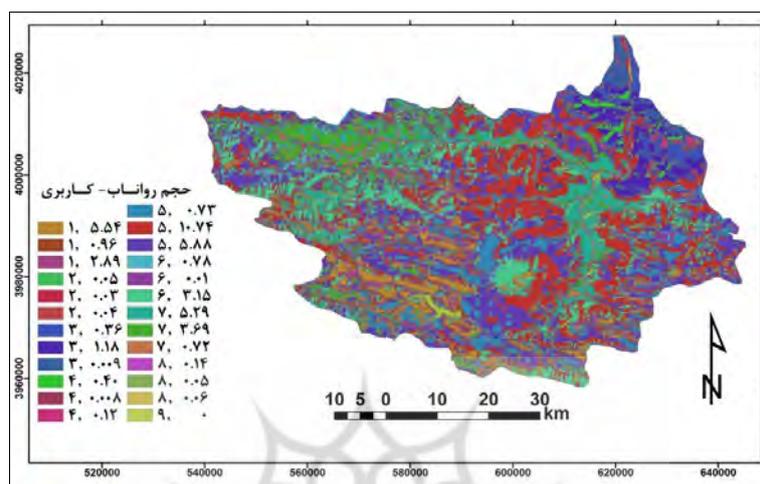
شکل (۶) نقشه‌ی ارتفاع رواناب براساس باران سال ۱۳۷۵ و کاربری‌های متناظر آن در حوضه‌ی هراز

– نقشه‌ی حجم رواناب

نقشه‌ی حجم رواناب در کاربری‌های مختلف براساس باران سال ۱۳۹۰ در شکل (۷) و جدول (۳) نشان داده شده‌است.

جدول (۲) ارتفاع رواناب در کاربری‌های مختلف در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ در حوضه هراز

کد کاربری	نام کاربری	ارتفاع رواناب سال ۱۳۷۵ (mm)	ارتفاع رواناب سال ۱۳۹۰ (mm)
۱	سنگلاخی و خاک لخت	۶۰/۴۵	۶۶/۸۰
۲	زراعی	۲۹/۲۱	۳۴/۵۴
۳	جنگل متراکم	۱۱/۹۴	۱۴/۷۳
۴	کم تراکم و باغ	۱۸/۵۴	۲۲/۳۶
۵	مرتع - دیم	۲۱/۸۴	۲۶/۲۰
۶	مرتع خوب	۱۳/۲۱	۱۶/۲۶
۷	مرتع ضعیف	۳۹/۳۷	۴۵/۴۷
۸	مسکونی	۵۴/۳۶	۶۱/۴۷



شکل (۷) نقشه حجم رواناب براساس باران سال ۱۳۹۰ و کاربری‌های متناظر آن در حوضه‌ی هراز

جدول (۳) حجم رواناب در کاربری‌های مختلف برای سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ در حوضه‌ی هراز

کد	کاربری اراضی	حجم رواناب ۱۳۷۵ (Mm ³)	حجم رواناب ۱۳۹۰ (Mm ³)
۱	اراضی سنگلاخی و خاک لخت	۹/۳۹	۱۵/۹۶
۲	زراعی	۰/۱۳	۰/۰۵
۳	جنگل متراکم	۱/۵۵	۱/۶۹
۴	جنگل کم تراکم و باغ	۰/۵۳	۰/۸۸
۵	مرتج-دیم	۱۷/۳۶	۲۶/۴
۶	مرتج درجه یک	۳/۹۵	۱/۳۶
۷	مرتج درجه دو	۹/۷۲	۵/۳۹
۸	مسکونی	۰/۲۷	۰/۸۹
	مجموع حجم رواناب	۴۲/۹	۵۲/۶۲

براساس حجم رواناب در کاربری‌های مختلف در سال ۱۳۹۰ (شکل ۷ و جدول ۳)، بیش‌ترین حجم رواناب به‌ترتیب مربوط به کاربری‌های مرتج-دیم، مرتج درجه دو و اراضی سنگلاخی و خاک لخت و کم‌ترین میزان مربوط به پهنه‌های آبی، زراعی، مسکونی، جنگل متراکم و کم تراکم و مرتج درجه یک بوده است. در سال ۱۳۹۰

بیشترین حجم رواناب به ترتیب مربوط به کاربری‌های مرتع-دیم، اراضی سنگلاخی و خاک لخت و مرتع درجه دو و کم‌ترین میزان مربوط به زراعت، جنگل کم‌تراکم، مسکونی، مرتع درجه یک و جنگل متراکم می‌باشد.

بحث و نتایج

– مقایسه‌ی تغییرات رواناب کل، جریان پایه و رواناب سطحی

با توجه به حجم رواناب کل و جریان پایه برای دو دوره (شکل ۸ و جدول ۴)، جریان پایه ۹۰ و رواناب سطحی ۱۰ درصد از حجم کل رواناب را شامل می‌شوند. می‌توان گفت که با توجه به اینکه پوشش منطقه غالباً از نوع جنگلی و مرتعی می‌باشد، لذا بخش زیادی از جریان به صورت آب پایه در منطقه جریان می‌یابد.



شکل (۸) هیدروگراف رواناب کل و جریان پایه در ایستگاه کره‌سنگ در سال ۱۳۹۰ در حوضه هراز

جدول (۴) رواناب کل، جریان پایه و رواناب سطحی در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ در ایستگاه کره‌سنگ

سال	رواناب سطحی (Mm^3)	جریان پایه (Mm^3)	رواناب کل (Mm^3)
۱۳۷۵	۴۸/۹۷	۵۷۹/۹۳	۶۲۸/۹
۱۳۹۰	۵۷/۸	۷۰۴/۱۳	۷۶۱/۹۳

براساس نتایج شکل (۸) و جدول (۴) مشاهده می‌شود که رواناب کل، جریان پایه و رواناب سطحی در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال ۱۳۷۵ افزایش پیدا کرده است و رواناب کل دارای بیشترین مقدار است که می‌تواند ناشی از مقادیر بارندگی زیاد، ذوب تدریجی

برف و سطوح غیرقابل نفوذ باشد و با نتایج افشاری آزاد و پورکی (۱۳۹۱) و دامز و همکاران، (۲۰۱۳) مبنی بر افزایش رواناب مطابقت دارد.

– صحت رواناب برآوردی

نتایج حاصل از محاسبات میزان خطا در رواناب برآوردی در جدول (۵) ارائه شده است. خطای نسبی برآورد رواناب در جدول (۵) نشان می‌دهد که مقادیر در هر دو دوره (۱۳۷۵ و ۱۳۹۰) به هم نزدیک و نسبتاً کم (حدود ۱۰ درصد) می‌باشد و یا به عبارتی ابزار به کار رفته رواناب را با صحت حدود ۹۰ درصد در هر دو دوره برآورد است. نتایج پژوهش حاضر مطابق یافته‌های ژان و هوانگ، (۲۰۰۴)؛ جوادی و همکاران (۱۳۹۰) و غفاری گیلانده و همکاران، (۱۳۹۵) است که نشان دادند که GIS و ابزار ArcCN-Runoff جهت برآورد رواناب خروجی از حوضه‌های آبخیز دارای دقت قابل قبولی است. در این راستا، پاندی^۱ و همکاران، (۲۰۰۳) بیش‌ترین خطای برآورد ارتفاع رواناب را برابر ۲۸/۳۳ درصد گزارش کردند. در همین راستا، محمدی و همکاران، (۱۳۹۰) نیز ضریب همبستگی بین ارتفاع رواناب مشاهداتی و محاسباتی با روش‌های معمول را برابر ۰/۵۶ محاسبه نمودند. هم‌چنین امکان استفاده از GIS در تلفیق لایه‌های گروه هیدرولوژیک خاک و کاربری اراضی امکان افزایش سرعت و جلوگیری از اشتباه را فراهم می‌آورد.

جدول (۵) درصد خطا و صحت رواناب برآوردی در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ در حوضه آبخیز هراز

سال	رواناب مشاهداتی	رواناب برآوردی	خطای نسبی	درصد خطا	صحت برآورد
۱۳۷۵	۴۸/۹۷	۴۲/۹۳	۰/۱۲۳	۱۲/۳	۸۷/۷
۱۳۹۰	۵۸/۸	۵۲/۶۷	۰/۰۸۸	۸/۸	۹۱/۲

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که گروه‌های هیدرولوژیک B و C حدود ۸۵ درصد منطقه را به خود

اختصاص داده‌اند. مناطق با شماره‌ی منحنی بالای ۸۰ به ترتیب کاربری‌های مرتع-دیم، اراضی سنگلاخی و خاک لخت، مرتع درجه دو، جنگل کم‌تراکم، مسکونی و زراعی را در بر گرفته است. بالاترین CNها در هر دو دوره شامل اراضی سنگلاخی و خاک لخت (۹۴) و مسکونی (۹۲) و کم‌ترین آن‌ها به جز آب شامل جنگل متراکم (۶۰) و مرتع درجه یک (۶۱) بودند. ارتفاع رواناب در کاربری‌های مختلف و مجموع ارتفاع رواناب در سال ۱۳۹۰ (۱۱/۳۸ میلی‌متر) نسبت به سال ۱۳۷۵ (۹/۸ میلی‌متر) افزایش یافته است که می‌تواند بخشی از آن ناشی از تخریب و تغییر کاربری اراضی باشد. استفاده از ابزار ArcCN-Runoff دقت برآوردها را در برآورد پتانسیل تولید رواناب بر حسب شماره‌ی منحنی افزایش می‌دهد. در این راستا جوادى و همکاران (۱۳۹۰) نیز نتیجه گرفتند که در برآورد ارتفاع رواناب استفاده از ابزار ArcCN-Runoff در حوضه‌ی آذاردود نسبت به روش معمول از دقت بالاتری برخوردار است. هم‌چنین محمدی و همکاران (۱۳۹۰) نیز در کاربرد ابزار ArcCN-Runoff جهت تهیه‌ی نقشه‌ی شماره‌ی منحنی و ارتفاع رواناب نتیجه گرفتند که برآورد رواناب با شاخص تطابق ۰/۹۸ دارای دقت قابل قبولی است. لذا ابزار مذکور ضمن افزایش دقت در تعیین CN آبخیز، با سرعت بخشیدن به مراحل کار، می‌تواند در مطالعات و مدل‌سازی هیدرولوژیک کاربرد داشته باشد. خطای نسبی برآورد رواناب در هر دو دوره به هم نزدیک و نسبتاً کم (حدود ۱۰ درصد) می‌باشد و به‌عبارتی روش و ابزار به کار رفته رواناب را با صحت حدود ۹۰ درصد در هر دو دوره ارزیابی کرده است و می‌تواند برای ارزیابی و برآورد رواناب حاصل از تغییرات کاربری به کار برده شود. پیشنهاد می‌شود که ابزار ArcCN-Runoff از طریق اجرای سری‌های زمانی بارش و دخالت دادن فاکتورهای بیش‌تر در تعیین شماره‌ی منحنی و رواناب توسعه داده شود و در سایر حوضه‌های آبخیز مورد استفاده و آزمون قرار گیرد. هم‌چنین، توابع و ابزارهایی مشابه برای سایر روش‌های برآورد رواناب (مشابه ArcCN برای روش SCS) طراحی و ارائه شود.

منابع

- افشاری آزاد، محمدرضا و هاله پورکی (۱۳۹۱)، برآورد رواناب سطحی شهر رشت، فضای جغرافیایی، شماره ۳۷، صص ۱۴۰-۱۲۱.
- تمسکنی، احمد؛ ذاکری نیا، مهدی؛ هزارجریبی، ابوطالب و امیراحمد دهقانی (۱۳۹۲)، مقایسه روش‌های جداسازی دبی پایه از هیدروگراف روزانه جریان در حوضه سد بوستان در استان گلستان، حفاظت آب و خاک، شماره ۶، صص ۱۴۵-۱۲۷.
- جوادی، محمدرضا؛ میردار هریجانی، فرشاد و زهرا چترسیماب (۱۳۹۰)، برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره‌ی منحنی در محیط ArcGIS با ابزار ArcCN-Runoff (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز آژادرود)، کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی، شماره ۳، صص ۶۲-۵۵.
- حجازی، اسدالله و مهدی مزبانی (۱۳۹۴)، برآورد مقادیر ارتفاع و دبی حداکثر رواناب با استفاده از روش شماره‌ی منحنی، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۵، صص ۸۱-۶۳.
- حسنی، مهدی؛ ملکیان، آرش؛ رحیمی، محمد؛ سمیعی، مسعود و محمدرضا خاموشی (۱۳۹۱)، بررسی کارایی برخی از روش‌های جداسازی جریان پایه در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، خشک‌بوم، شماره ۲، صص ۲۲-۱۰.
- غفاری گیلانده، عطا، سبجانی، بهروز و الناز استادی باباکندی (۱۳۹۵)، برآورد شماره‌ی منحنی و ارتفاع رواناب در محیط Arc-GIS (مطالعه‌ی موردی: شهرستان مشکین‌شهر)، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۹، صص ۱۷۵-۱۵۹.
- محمدی، مجتبی؛ خزایی، سولماز و واحد شیخ‌پردی (۱۳۹۰)، استفاده از GIS در برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره‌ی منحنی، همایش ژئوماتیک، تهران، صص ۸-۱.
- مصطفی‌زاده، رئوف؛ بهره‌مند، عبدالرضا و امیر سعدالدین (۱۳۸۸)، شبیه‌سازی هیدروگراف رواناب مستقیم با مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای کلارک، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۳، صص ۱۲۲-۱۰۵.

- Ahmadi-Sani, N., Babaie-Kafaky, S., Pukkala, T. & Mataji, A. (2016), **Integrated use of GIS, remote sensing and multi-criteria decision analysis to assess ecological land suitability in multi-functional forestry**, Journal of forestry research, No.27, PP.1127-1135.
- Babykalpana, Y. & Thanushkodi, K. (2011), **Classification of land use/land cover change detection using remotely sensed data**, International Journal on Computer Science and Engineering, No.3, PP. 1638-1644.
- Costache R., Fontanine, I. & Corodescu, E., (2014), **Assessment of surface run off depth changes in Saratel River basin, Romania using GIS techniques**, Central European Journal of Geosciences, No.6, PP.363-372.
- Dams, J., Dujardin, J., Reggers, R., Bashir, I., Canters, F. & Batelaan, O. (2013), **Mapping impervious surface change from remote sensing for hydrological modeling**, Journal of Hydrology, No. 485, PP.84-95.
- Fichera, C.R., Modica, G., and Pollino, M. (2012), **Land classification and change detection analysis using multi-temporal remote sensed imagery and landscape metrics**, European Journal of Remote Sensing, No.45, PP.1-18.
- Jain, S.K., Goswami, A. & Saraf, A. (2010), **Assessment of snowmelt runoff using remote sensing and effect of climate change on runoff**, Water Resource Management, No.4, PP.1763-1777.
- Lagadec, L.R., Patrice, P., Braud, I., Chazelle, B., Moulin, L., Dehotin, J. & Breil, P. (2016), **Description and evaluation of a surface runoff susceptibility mapping method**, Journal of Hydrology, No.541, PP. 495-509.
- Mallikarjuna, V., Prasad, R.K., Udaya, B. & Sai, L. (2012), **Watershed modeling of Krishna Delta, using GIS and remote sensing techniques**, International Journal of Engineering Research and Applications, No.2, PP.746-752.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D. & Veith, T.L. (2007), **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations**, Trans. ASABE. No. 50, PP.885-900.

- Pachri, H., Mitani, Y., Ikemi, H., Djamaluddin, I. & Morita, A. (2013), **Development of water management modeling by using GIS in Chirchik river basin**, Procedia Earth and Planetary Science, No.6, PP. 169-176.
- Panhalkar, S. (2014), **Hydrological modeling using SWAT model and geoinformatic techniques**, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, No.17, PP.197-207.
- Sajikumar, N. & Remya, R.S. (2015), **Impact of land cover /land use change on runoff characteristics**, Journal of Environmental Management, No.161, PP.460-468.
- Yin, J. & He, F. (2012), **Researching relationship between the change of vegetation cover and runoff based on RS and GIS**, Procedia Environmental Sciences, No.12, PP.1077-1081.
- Zhan, X. & Huang, M.L. (2004), **ArcCN-Runoff: A tool for generating curve number and runoff maps**, Environmental Modeling and Software, No. 9, PP.875-87.