

## مقدمه

شبیه‌سازی بارش-رواناب یکی از مهم‌ترین فرآیندهایی است که در مدیریت منابع آب برای اهداف مختلف از جمله مدیریت و کنترل سیلاب، برنامه‌ریزی منابع آب و تعیین بیلان منابع آب یک منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی بارش-رواناب با روش‌های مختلف از جمله استفاده از روش‌های آماری و داده‌محور، استفاده از روش‌های مبتنی بر مدل‌سازی مفهومی حوزه آبخیز و استفاده از روش‌های تجربی به صورت مستقل یا ترکیبی انجام می‌شود. یکی از روش‌های تجربی که به طور گسترده توسط محققین و طراحان در جهان برای تخمین رواناب به کار می‌رود، استفاده از روش شماره منحنی<sup>۴</sup> (CN) است که توسط گروه خدمات کشاورزی و منابع طبیعی ایالات متحده آمریکا پیشنهاد شده است [۳]. استفاده از شماره منحنی در مدل‌سازی بارش-رواناب<sup>۵</sup> SCS کاربرد دارد. تاکنون برای تخمین و محاسبه CN در سطح حوزه آبخیز تحقیقاتی زیادی انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است. ملکیان و همکاران از یک جدول استاندارد وابسته به عواملی چون پوشش گیاهی، کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک استفاده کردند تا CN را در حوزه ليقوان پهنه‌بندی کنند [۱۰]. خسروشاهی و ثقفیان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۶</sup> (GIS) و نرم‌افزار ILWIS، منحنی یکپارچه از CN را برای کل حوزه دماوند ارائه دادند [۹]. فان و همکاران به کمک سنجش از دور، CN را برای یکی از حوزه‌های چین تخمین زدند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از روش سنجش از دور در محاسبه CN، آسان بوده و دقت قابل قبولی دارد [۵]. در پژوهش دیگری، نصیری و علیپور، شماره منحنی رواناب را با استفاده از روش سنجش از دور و GIS در حوزه‌های واقع در شیب‌های جنوبی کوه‌های البرز، تخمین زدند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از این روش، دقت بالایی در تخمین CN را دارد [۱۱]. یعقوب زاده و همکاران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و GIS، شماره منحنی شهر بیرجند را تخمین زدند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با دقت ۸۵ درصد می‌توان به نتایج شماره منحنی محاسبه‌شده در تخمین رواناب حوزه اعتماد کرد [۱۳]. پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که با ظهور

## ارزیابی منطق فازی در تدقیق تخمین شماره منحنی رواناب بر مبنای سنجش از دور حوزه آبخیز گرگان‌رود

حسین دهبان<sup>۱</sup>، فرشته مدرس<sup>۲</sup> و کیومرث ابراهیمی<sup>۳</sup>  
تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش ۱۳۹۹/۸/۱۶

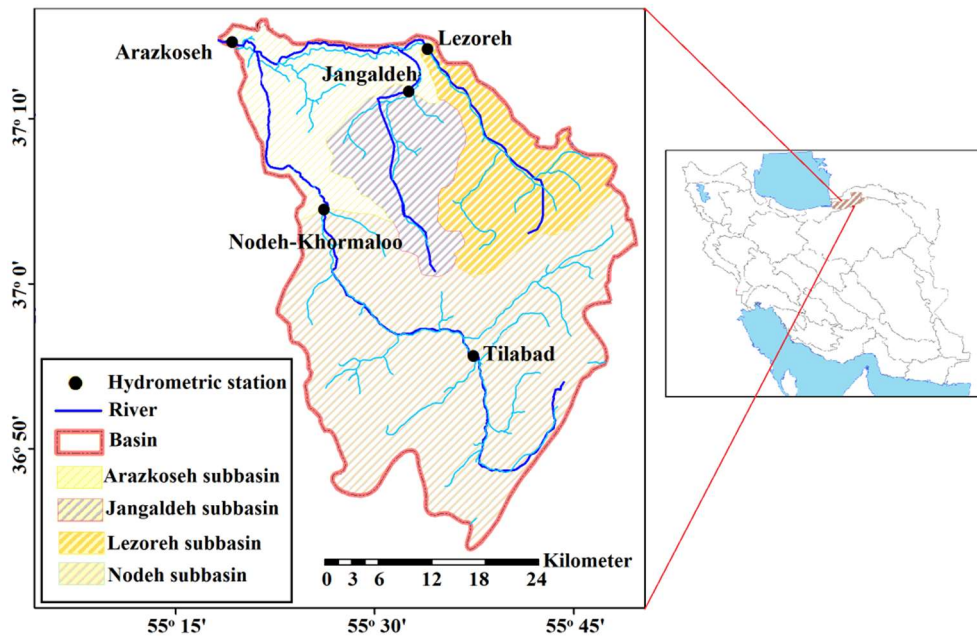
## چکیده

هدف پژوهش حاضر تخمین شماره منحنی با استفاده از سنجش از دور و روش‌های فازی جهت استفاده در مدل‌سازی بارش-رواناب است. برای این منظور از تصاویر ماهواره لندست هفت برای حوزه درجه دو گرگان‌رود استفاده شد. با انجام تصحیحات و پردازش تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار ENVI، شاخص NDVI پوشش گیاهی منطقه استخراج و نوع پوشش گیاهی به دست آمد. با استفاده از نقشه خاک طرح جامع منابع کشور و نقشه شیب زمین و نوع پوشش گیاهی شماره منحنی برای زیرحوزه‌های انتخابی با رویکرد فازی و غیرفازی محاسبه شد. جهت ارزیابی دقت CN محاسبه‌شده یک واقعه بارش-رواناب انتخاب و با شبیه‌سازی بارش-رواناب در مدل HEC-HMS شبیه‌سازی رواناب منتخب انجام شد. نتایج نشان داد که CN حاصل از تصاویر لندست هفت با رویکرد فازی، شبیه‌سازی رواناب را با دقت بیشتری انجام داده است. به طوری که ضرایب تبیین به ترتیب بین هیدروگراف جریان مشاهداتی و هیدروگراف شبیه‌سازی شده از روش‌های غیر فازی، فازی با تابع گوسی و فازی با تابع دوزنقه‌ای به ترتیب برابر ۰/۷۶، ۰/۹۴ و ۰/۸۴ است. همچنین مقدار جریان بیشینه هیدروگراف شبیه‌سازی شده در مقایسه با جریان بیشینه هیدروگراف مشاهداتی در حالت فازی و غیر فازی به ترتیب دارای اختلافی کمتر از دو و پنج مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

**کلیدواژه‌ها:** شماره منحنی، سنجش از دور، GIS، منطق فازی

- ۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.
- ۲- استادیار مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۳- نویسنده مسؤل و استاد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران. پست الکترونیک EbrahimiK@ut.ac.ir

4. Curve Number
5. Soil Conservation Service
6. Geographic Information System



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه  
Fig 1. The position of case study

به‌کارگیری روش‌های طبقه‌بندی فازی برای متغیرهای تعیین‌کننده CN و لحاظ نمودن اطلاعات ماهواره‌ای به‌عنوان داده‌های ورودی استاندارد، بتواند دقت مدل‌سازی بارش-رواناب را افزایش داد.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه واقع در حوزه آبخیز درجه دوم گرگان‌رود در شمال کشور می‌باشد که به‌صورت سه زیر حوزه در بالادست ایستگاه آب‌سنجی نوده -خرمالو، جنگلده، لزوره و ارازکوسه واقع شده است. این حوزه دارای مساحت ۱۶۰۵ کیلومترمربع، حداکثر ارتفاع ۲۸۶۸ متر از سطح دریا و حداقل ارتفاع ۲۸ متر می‌باشد. میانگین بارندگی در این منطقه ۵۶۶ میلی‌متر و متوسط نوسانات دما بین هشت تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط شیب منطقه ۱۴ درصد است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

### تصاویر ماهواره‌ای

در پژوهش حاضر از تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست هفت جهت برآورد شماره منحنی CN استفاده شد. در این سنجنده، قدرت تفکیک باندهای چند کیفی ۷-۱ معادل ۳۰ متر و برای باند پانکروماتیک، ۱۵ متر می‌باشد. ماهواره لندست هر ۱۶ روز یک‌بار از سطح زمین در هر موقعیت جغرافیایی عبور می‌کند و می‌تواند اطلاعات خوبی را با عکس‌برداری از سطح زمین در اختیار پژوهشگران و تحلیل‌گران قرار دهد [۱۲]. در مقاله حاضر، تصاویر سنجنده ETM+ مربوط به فوریه و مارس ۲۰۰۷ برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد و بهترین تصویر از بین تصاویر مربوط به ماه فوریه و مارس ۲۰۰۷ جهت تعیین کاربری اراضی منطقه انتخاب شد. این تصاویر برای دوره‌ای که داده‌های مربوط به مدل‌سازی بارش-

علم سنجش از دور و در دسترس بودن تصاویر ماهواره‌ای، بسیاری از محاسبات و برآورد پارامترهای حوزه آبخیز جهت مدل‌سازی هیدرولوژیکی نسبت به گذشته، آسان‌تر شده است. در مقاله حاضر نیز هدف محاسبه CN با استفاده از روش‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای در کنار دو رویکرد فازی و غیر فازی می‌باشد و سرانجام CN محاسبه‌شده از دو روش فازی و غیر فازی با هم مقایسه می‌شوند. تاکنون تحقیقاتی متعددی نیز در تعیین کاربری اراضی، شماره منحنی و مدل‌سازی بارش و رواناب به کمک علم سنجش از دور و استفاده از روش فازی انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. اکبرپور و شریفی، کارایی دو روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و فازی را جهت تهیه نقشه کاربری اراضی حوزه آبریز کامه بررسی کردند. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر لندست ETM+ نشان داد که روش فازی با استفاده از سه لایه در طبقه‌بندی، روش فازی با دو لایه و روش حداکثر احتمال به ترتیب بهترین نتیجه را به همراه داشته‌اند [۱]. بارنو-نتو و همکاران شبیه‌سازی رواناب مبتنی بر روش SCS و شماره منحنی رواناب حاصل از روش فازی و بولین را ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که رواناب شبیه‌سازی‌شده مطابقت زیادی با رواناب مشاهداتی در حوزه دارد به‌طوری‌که روش منطق فازی نقش زیادی در بهبود نتایج مربوط به مدل‌سازی بارش-رواناب داشته است [۴]. بر اساس مطالعات گذشته و پتانسیل خوبی که در زمینه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در کشور شکل گرفته است، در پژوهش حاضر انتظار می‌رود با به‌کارگیری منطق فازی در محاسبه CN مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای، دقت CN محاسباتی و به همراه آن شبیه‌سازی بارش-رواناب نسبت به روش‌های قبلی، افزایش یابد. به‌عبارت‌دیگر با

رواناب حوزه (شامل رگبار بارش ساعتی و هیدرو گراف سیل ناشی از آن) موجود می‌باشد، تهیه گردید.

### شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده<sup>۱</sup> (NDVI)

این شاخص از ساده‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌هایی است که در زمینه مطالعات مربوط به تعیین پوشش گیاهی از آن استفاده می‌شود [۷]. شاخص NDVI برای نمایش توده حیاتی (بیوماس) پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ، تولیدات گیاهی و تفکیک پوشش گیاهی بسیار مناسب است. اخیراً از این شاخص به‌طور گسترده در علم سنجش از دور استفاده شده است و در تعیین نوع پوشش سطح زمین نیز مؤثر بوده است. شاخص NDVI از رابطه زیر به دست محاسبه می‌شود [۶].

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

در این رابطه، NIR (نزدیک به مادون قرمز<sup>۲</sup>): میزان بازتاب نور در باند فرسرخ نزدیک و RED: انعکاس در باند سرخ است. مقادیر این شاخص بین منفی یک تا مثبت یک قرار دارد به طوری که برای پوشش گیاهی متراکم، مقدار آن به عدد یک نزدیک می‌شود و برای توده‌های برف، آب و ابر، به عدد منفی یک نزدیک است. سنگ‌ها و خاک‌های بایر که واکنش‌های طیفی مشابه در دو باند مورد استفاده را دارند با مقادیر نزدیک به صفر ظاهر می‌شوند. برای خاک معمولی نیز مقدار این شاخص برابر با یک در نظر گرفته می‌شود [۸].

### شماره منحنی رواناب (CN)

روش‌های مختلفی در برآورد ارتفاع رواناب ناشی از بارش در سطح حوزه آبخیز وجود دارد. یکی از این روش‌ها، استفاده از شماره منحنی رواناب در روش SCS است. ارتفاع ناشی از بارندگی در روش شماره منحنی SCS از رابطه (۱) و رابطه (۲) قابل محاسبه است [۲].

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (1)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

که در رابطه (۲) و (۳)، پارامتر Q: ارتفاع رواناب بر حسب میلی‌متر، S: ضریب نگهداشت سطحی، P: ارتفاع بارندگی بر حسب میلی‌متر و CN: شماره منحنی رواناب است. به‌طور کلی CN از ترکیب دو عامل گروه هیدرولوژیکی و کاربری اراضی در هر نقطه از حوزه آبخیز برآورد می‌شود. بنابراین یکی از عواملی که روی فرایند بارش- رواناب اثر می‌گذارد خصوصیات هیدرولوژیکی خاک است. تمام خاک‌ها بر اساس پتانسیل ایجاد رواناب در یک گروه چهارتایی تقسیم‌بندی می‌شوند که هر گروه می‌تواند در صورت نیاز به دقت بیشتر، به زیرگروه‌هایی بیشتری تقسیم شود. در جدول (۱)، گروه‌های هیدرولوژیکی اصلی خاک تعیین شده توسط SCS، بر

اساس نفوذپذیری خاک، ارائه شده است [۲].

### جدول ۱- طبقه‌بندی خاک حوزه بر حسب نفوذپذیری

Table 1. Classification of basin soil based on infiltration

حد اقل نفوذپذیری (میلی‌متر در ساعت)	گروه خاک
Minimum infiltration (mm/h)	Soil group
7.5-11.5	A
3.8-7.5	B
1.3-3.8	C
0-1.3	D

متناسب با روابط بالا، CN محاسبه شده برای شرایطی است که در آن فرض شده است خاک به لحاظ رطوبتی قبل از بارندگی، در وضعیت متوسط قرار دارد. ولی اگر در زمان وقوع بارندگی، خاک حوزه آبخیز خشک یا مرطوب (به دلیل وقوع بارش‌های قبلی) باشد، در این صورت CN محاسبه شده برای هر یک از وضعیت خشک و مرطوب مطابق استانداردهای موجود، اصلاح شود [۱]. در نهایت CN کل حوزه از میانگین‌گیری وزنی برای بخش‌های مختلف از حوزه آبخیز با شماره منحنی مشخص، مطابق با رابطه (۳)، محاسبه می‌شود.

$$\overline{CN} = \frac{\sum A_i \times CN_i}{\sum A_i} \quad (3)$$

که در آن،  $\overline{CN}$ : میانگین وزنی شماره منحنی در سطح حوزه؛  $A_i$ : مساحتی از حوزه آبخیز که شماره منحنی آن  $CN_i$  است و A مساحت کل حوزه آبخیز می‌باشد.

### منطق فازی<sup>۳</sup>

منطق فازی توسط لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ معرفی شد. این روش، بیشتر از روش‌های عددی، قابلیت ارتباط برقرار کردن بین اجزای کیفی و اجزای کمی یک سیستم را دارا می‌باشد. در این پژوهش از منطق فازی برای محاسبه شماره منحنی رواناب استفاده شد. به عبارت دیگر برای کلاسه‌بندی شاخص NDVI و ترکیب آن با گروه هیدرولوژیکی خاک، از روش منطق فازی استفاده شده است تا روش کلاسه‌بندی با دقت بالاتری انجام شود. به عبارت دیگر برای طبقه‌بندی متغیرهای کاربری اراضی (NDVI)، شیب زمین و گروه هیدرولوژیکی خاک جهت رسیدن به شماره منحنی رواناب، از روش طبقه‌بندی فازی استفاده شده است. اولین قدم در طبقه‌بندی فازی، فازی‌سازی متغیر می‌باشد. برای این کار در پژوهش حاضر از تابع عضویت ذوزنقه‌ای و گوسی استفاده شده است. در مرحله بعدی، تعریف قواعد طبقه‌بندی به صورت گزاره‌های فازی (اگر-آنگاه) می‌باشد و در مرحله آخر که استنتاج فازی می‌باشد، از روی دو متغیر ورودی (NDVI یا کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیکی خاک و شیب زمین) و همچنین بر اساس قواعد طبقه‌بندی حاصل از توابع عضویت، متغیر خروجی (شماره منحنی رواناب) حاصل می‌شود. برای مرحله آخر طبقه‌بندی فازی (استنتاج)، از روش میانگین‌گیری وزنی به صورت رابطه (۴) بهره گرفته شده است:

3. Fuzzy logic

1. Normalized Difference Vegetation Index

2. Near-Infrared

به صورت نظارت شده جهت کلاسه بندی کاربری های مختلف بهره گرفته شده است. به عبارت دیگر کاربری اراضی به دست آمده از تصاویر ماهواره ای با نقشه های کاربری اراضی موجود از منطقه نیز صحت سنجی شده اند. لازم به ذکر است که بیشتر تحلیل های مربوط به پردازش تصاویر ماهواره ای در محیط نرم افزار ENVI انجام شده است. شکل (۴) نقشه کاربری های استخراج شده در سطح منطقه مورد مطالعه را با توجه به مقادیر جدول (۲) که به صورت منطقه ای استخراج شده اند، نشان می دهد.

جدول ۲- کران بالا و پایین شاخص NDVI برای تعیین کاربری اراضی منطقه

Table 2. Upper and lower of NDVI index for determine land use

شیب Slope	کران پایین Lower bound	کران بالا Upper bound	نام کاربری Land use name
-	-1	0	سطوح آبی Water Body
>10%	0	0.2	مرتع Range
<10%	0	0.3	کشاورزی آبی Irrigated agriculture
>10%	0.2	0.3	کشاورزی دیم Dry land Agriculture
-	0.3	0.5	جنگل تنک Low forest
-	0.5	0.83	جنگل انبوه Dense forest

$$R_x = \frac{\sum(\mu(x) \times R_i)}{\sum(\mu(x))} \quad (4)$$

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}$$

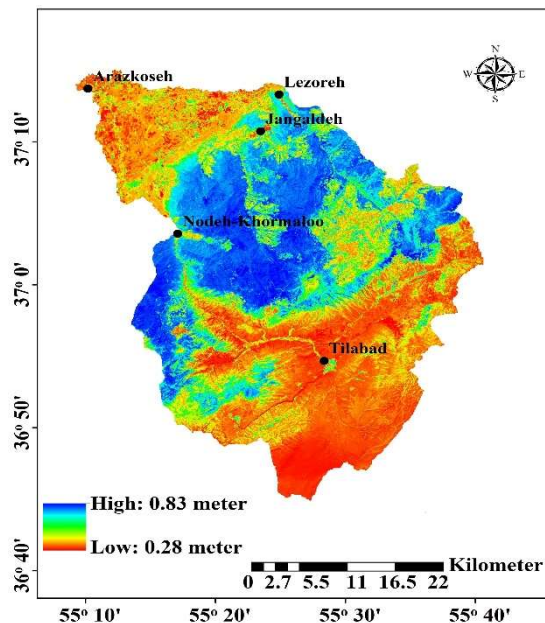
که در آن،  $R_x$ : رتبه خروجی متغیر مورد نظر،  $\mu(x)$ : درجه عضویت متغیر مورد نظر،  $R_i$ : رتبه ورودی متغیر مورد نظر،  $x$ : مقدار متغیر،  $c$ : میانگین تابع عضویت (گوسی یا ذوزنقه ای) متغیر و  $\sigma$ : انحراف معیار تابع عضویت برای متغیر مورد نظر می باشد.

### نتایج

جهت بررسی دقیق وضعیت کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه با دریافت تصاویر ماهواره ای از منطقه مورد مطالعه و انجام تصحیحات رادیومتریک با استفاده از نرم افزار ENVI، شاخص گیاهی NDVI برای منطقه مورد مطالعه مطابق شکل (۲) به دست آمد. همان طور که قبلاً نیز گفته شد مقدار این شاخص بین منفی یک تا مثبت یک متغیر است و با توجه به بازتابش نور حاصل از نوع گیاه و کاربری، مقدار این شاخص در نقاط مختلف از حوزه آبخیز متفاوت خواهد بود. بر اساس شکل (۲)، اعداد منفی این شاخص کاربری های دارای منابع آبی و مناطق با رطوبت بالا را نشان می دهد.

### بررسی کاربری اراضی منطقه

به منظور بررسی و تعیین کاربری اراضی در سطح منطقه مورد مطالعه، از نقشه های ۱:۲۵۰۰۰۰ موجود در طرح جامع منابع آب ایران و نقشه شیب منطقه (شکل (۳)) استفاده شد و تعداد شش نوع کاربری اراضی با توجه به مقادیر NDVI، نقشه شیب زمین و نقشه های کاربری اراضی موجود در طرح جامع برای منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. همچنین در پژوهش حاضر از روش طبقه بندی حداکثر شباهت



شکل ۲- شاخص NDVI در منطقه مورد مطالعه

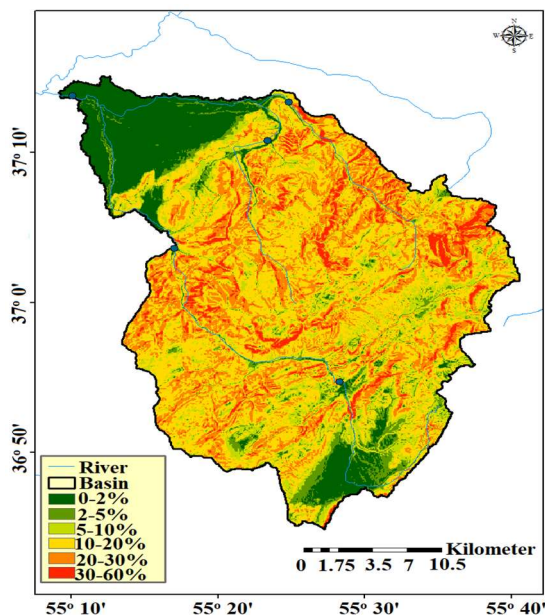
Fig 2. NDVI index in case study

در جدول (۱)، مشخصات چهار گروه هیدرولوژیکی خاک از منظر پتانسیل تولید رواناب که توسط SCS ارائه شده، نشان داده شده است. شکل (۵) تقسیم‌بندی وضعیت نفوذپذیری خاک (نوع خاک) را در منطقه مطالعه نشان می‌دهد. این تقسیم‌بندی بر اساس نوع خاک و سازندهای زمین‌شناسی ارائه‌شده در طرح جامع منابع آب کشور انجام شده است.

بر اساس کلاسه‌بندی ارائه‌شده برای نفوذپذیری خاک در شکل (۵) و میزان نفوذپذیری ارائه‌شده در جدول (۱) برای هر کلاس، مشخص است که بیشتر مناطق مرکزی و غرب حوزه آبخیز دارای نفوذپذیری بیم  $3/8$  تا  $7/5$  میلی‌متر در ساعت (کلاس B) می‌باشد و مناطق شرقی حوزه آبخیز دارای کمترین نفوذپذیری بین صفر تا  $1/3$  میلی‌متر در ساعت (کلاس D) می‌باشد. همچنین برخی از مناطق شمالی نیز با وجود اینکه دارای شیب کمتری است، دارای نفوذپذیری نسبتاً پایینی (کلاس C) می‌باشد.

#### محاسبه CN منطقه

با توجه به تعریف شاخص NDVI برای کاربری اراضی و فازی کردن این شاخص، با ترکیب آن با گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و شیب زمین بر اساس جدول استاندارد شماره منحنی رواناب، تلفیق انجام گرفت. بر این اساس قوانین فازی در نرم‌افزار Matlab2014.a، اعمال و تلفیق لایه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شیب زمین و شاخص پوشش گیاهی صورت گرفت و در نهایت نقشه مکانی شماره منحنی CN با کمک نرم‌افزار GIS، برای منطقه مورد مطالعه، استخراج گردید. شکل (A۶-) تا شکل (C۶-)، نقشه مکانی CN در منطقه را بر اساس محاسبه با دو رویکرد فازی و غیر فازی نشان می‌دهد.



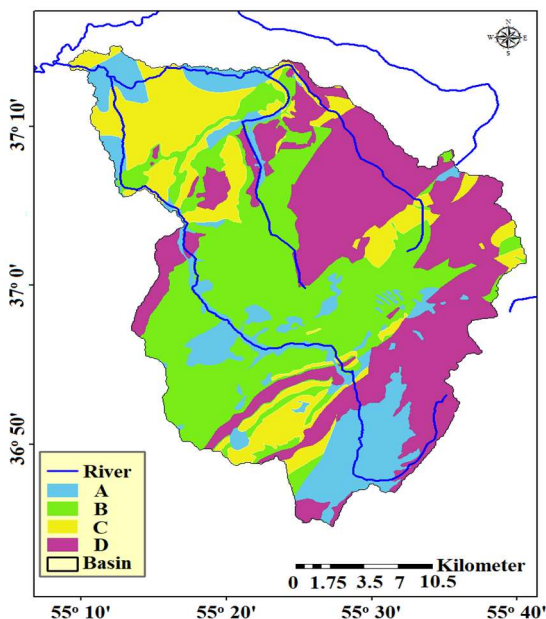
شکل ۳- کلاسه‌بندی شیب در منطقه طرح

Fig 3. Classification of soil slope

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود شیب منطبق از صفر تا ۶۰ درصد در ارتفاعات، متغیر است و کمترین شیب مربوط به مناطق شمالی (سواحل دریای خزر) می‌باشد.

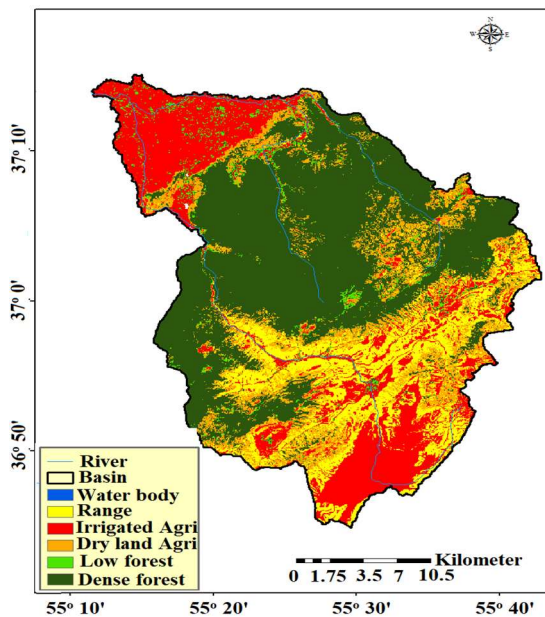
#### بررسی خاک منطقه

نوع و خصوصیات خاک در میزان رواناب حوزه آبخیز تأثیر می‌گذارد و نقش نسبتاً مهمی را در شبیه‌سازی بارش-رواناب دارد. همان‌طور که در بالا گفته شد، از لحاظ هیدرولوژیکی، خاک هر منطقه بر اساس پتانسیل تولید رواناب، به چهار گروه تقسیم می‌شوند.



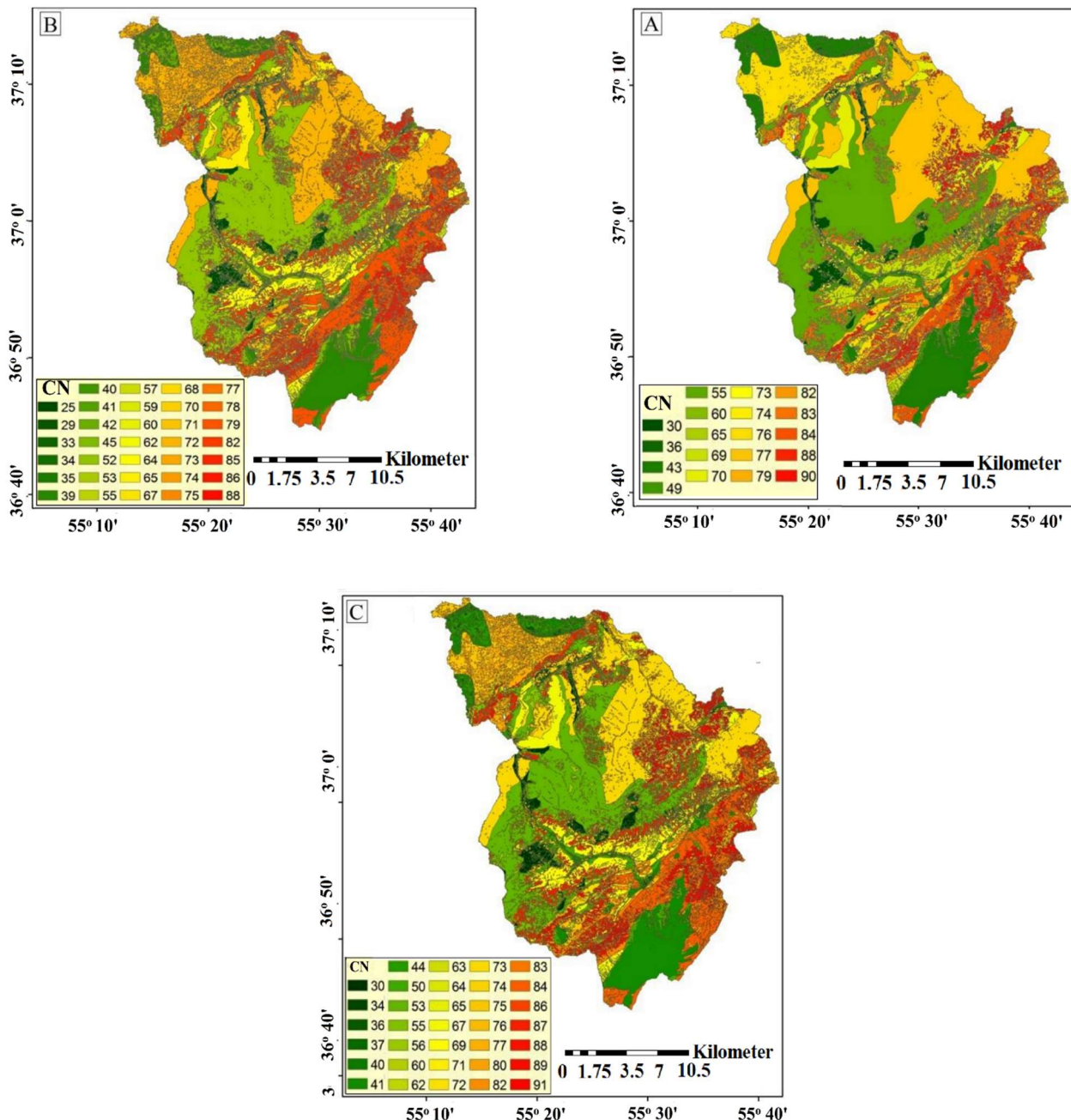
شکل ۵- تقسیم‌بندی خاک از نظر نفوذپذیری

Fig 5. Classification of land use



شکل ۴- کلاسه‌بندی کاربری در منطقه طرح

Fig 4. Classification of land use



شکل ۶- شماره منحنی رواناب در منطقه مورد مطالعه

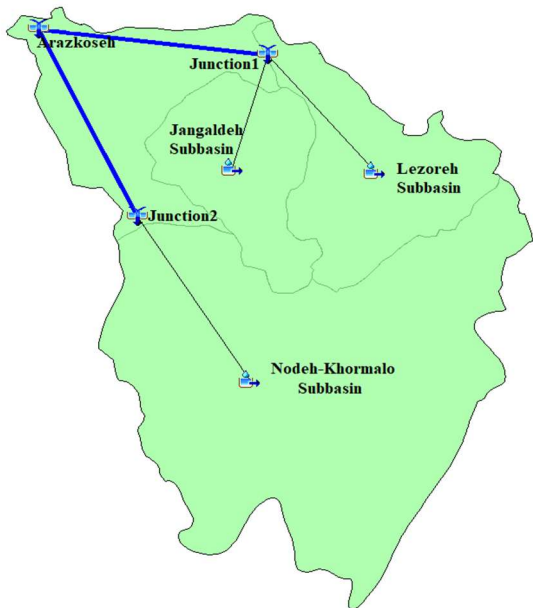
A: روش غیر فازی؛ B: روش فاز با تابع گوسی؛ C: روش فازی با تابع دوزنقه‌ای

Fig 6. Curve number map in case study

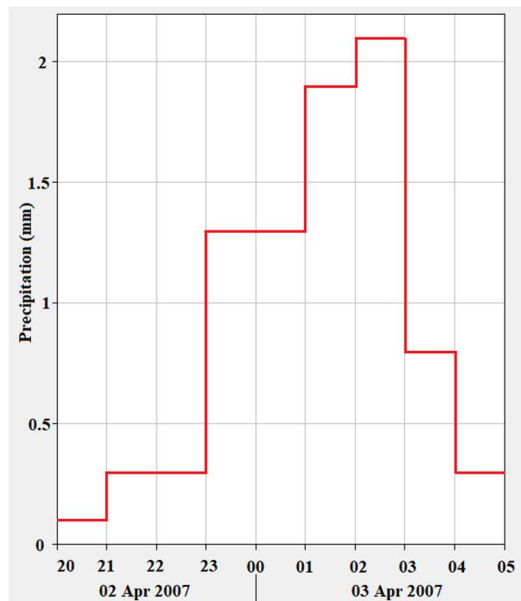
A: Non-Fuzzy method B: Fuzzy with Gaussian function C: Fuzzy with Trapezoidal function

مکانی بهتری (با جزئیات بیشتر) محاسبه کرده‌اند. ارزیابی CN محاسبه شده در شبیه‌سازی رواناب به منظور ارزیابی شماره منحنی‌های محاسبه شده از تصاویر ماهواره‌ای با دو رویکرد فازی و غیر فازی، از معادلات بارش-رواناب SCS موجود در مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS استفاده شد. به این ترتیب از یک واقعه بارش-رواناب اتفاق افتاده در محدوده مورد مطالعه در تاریخ ۱۳ و ۱۴ فروردین ۱۳۸۶ (یک و دو

در شکل (۶) مشاهده می‌شود که مقدار شماره منحنی رواناب در سه حالت غیر فازی و فازی با توابع گوسی و دوزنقه‌ای به ترتیب بین ۳۰ تا ۹۰، ۲۵ تا ۸۸ و ۳۰ تا ۹۱ در سطح منطقه برآورد شده است. میانگین وزنی شماره منحنی رواناب در هر یک از روش‌ها در سطح منطقه به ترتیب برابر با ۶۷/۶، ۶۹/۴ و ۷۴ می‌باشد. آنچه نتایج نشان می‌دهد هر سه روش محاسبه CN الگوی مکانی مشابه در محاسبه CN داشته‌اند ولی دو روش مبتنی بر منطق فازی، مقدار CN را با قدرت تفکیک



شکل ۸- نمایی از مدل‌سازی حوزه در محیط نرم‌افزار HEC-HMS  
 Fig 8. A view of the subbasin modeling in HEC-HMS



شکل ۷- هایتوگراف بارندگی در ایستگاه هواشناسی وطن  
 Fig 7. Hyetograph rainfall at Vatna weather station

خروجی هریک از آن‌ها، موقعیت و تعداد نقاط اتصال خروجی زیر حوزه (Junction) در مدل مشخص شده است و برای هر یک از Junctionها، یک ایستگاه هیدرومتری تعریف شد و داده‌های مربوط به آن نیز در قسمت تعریف ماژول سری زمانی داده‌ها، به مدل معرفی گردید. پس از بررسی و حذف خطاهای موجود در داده‌ها، مدل HEC-HMS اجرا و واسنجی شد. ارزیابی هیدروگراف شبیه‌سازی شده در منطقه نشان می‌دهد که میزان ضریب تبیین بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده رواناب بالا بوده و از دقت قابل قبولی برخوردار است. در شکل (۹)، هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای نمونه در محل خروجی حوزه (junction3) برای شماره منحنی‌های محاسبه شده از دو روش فازی و غیر فازی نشان داده شده است.

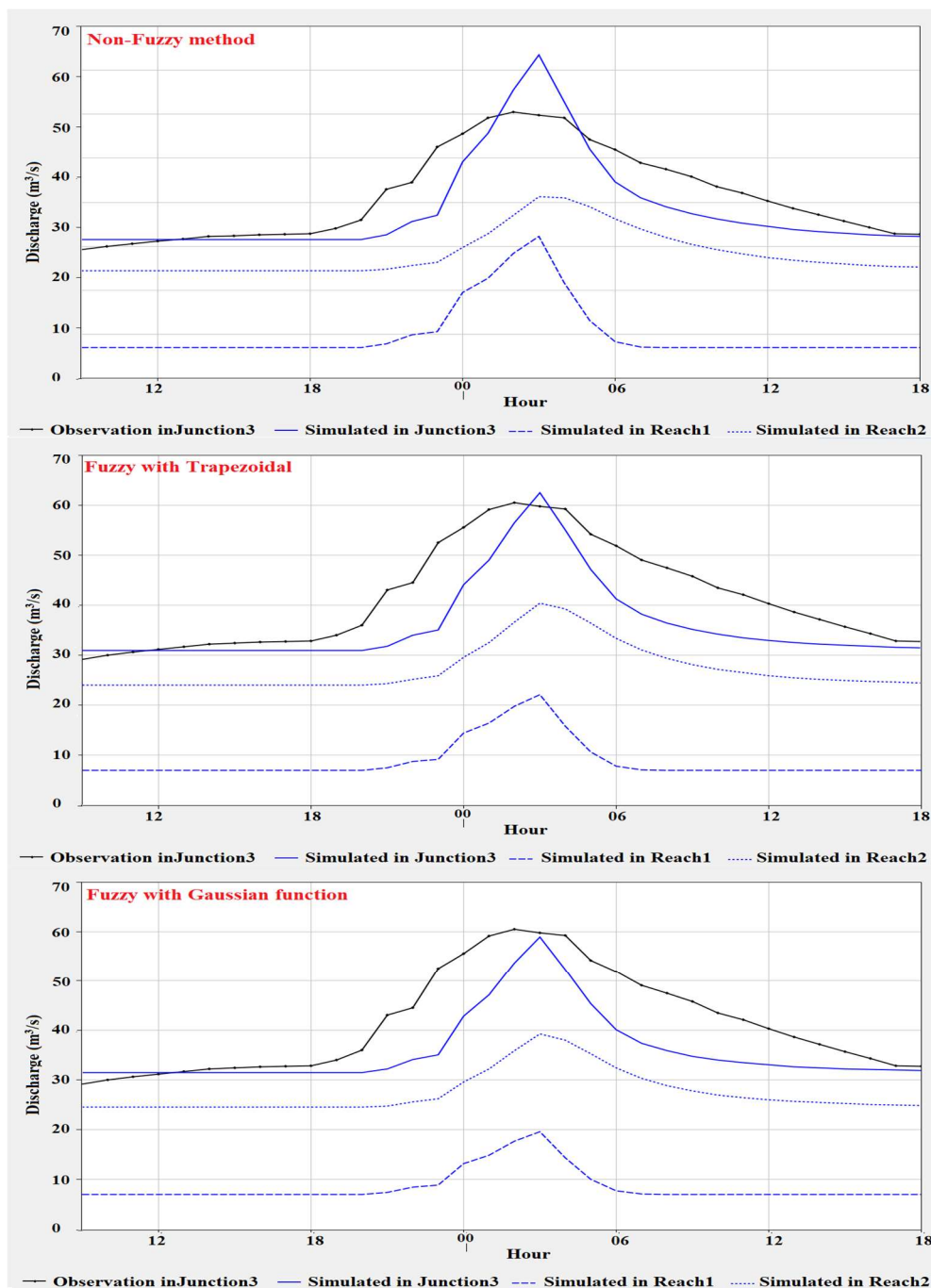
هیدروگراف رواناب شبیه‌سازی شده در مقایسه با مقادیر مشاهداتی در شکل (۹) نشان می‌دهد که نتایج برای CN محاسبه شده در هر دو روش فازی و غیر فازی از دقت قابل قبولی برخوردار بوده به طوری که توانسته است الگوی کلی هیدروگراف رواناب و نقطه بیشینه آن را به خوبی شبیه‌سازی کند. ولی روش فازی نسبتاً بیشتری را از خود نشان داده است و از بین دو روش فازی استفاده شده نیز، روش فازی با تابع گوسی، دقت نسبتاً بهتری را داشته است. به طور کلی، تفاوت اصلی CNهای محاسبه شده در روش‌های مختلف در شبیه‌سازی حداکثر جریان دیده می‌شود. در جدول (۳) میزان ضریب تبیین بین هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در هریک از خروجی زیر حوزه (Junction)، ارائه شده است.

آوریل ۲۰۰۷) و آبدهی (هیدروگراف) ثبت شده در ایستگاه‌های خروجی هریک از زیر حوزه‌های منطقه، استفاده شد. در شکل (AV-) تا (CV-) هایتوگراف رگبار بارش را در ایستگاه هواشناسی وطن واقع شده در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

برای واقعه بارشی انتخابی، مدل‌سازی بارش- رواناب بر اساس CN محاسبه شده به منظور ارزیابی آن انجام شد. در شکل (۸)، نمای مفهومی حوزه آبخیز مربوط به مدل‌سازی بارش- رواناب (مدل هیدرولوژیکی مفهومی) برای منطقه مورد مطالعه، در محیط نرم‌افزار HEC-HMS نشان داده شده است.

با توجه به اینکه برای منطقه مورد مطالعه سه زیر حوزه در نظر گرفته شده است، لذا در مفهومی تعداد زیر حوزه‌ها، سه عدد در قسمت ساخت مدل حوزه تعریف شده است و مساحت زیر حوزه‌ها و همچنین شماره منحنی‌های محاسبه شده به صورت جداگانه برای هر زیرحوزه معرفی شد. روش تبدیل بارش به رواناب نیز در این بخش، روش هیدروگراف واحد SCS در نظر گرفته شد و جریان پایه نیز مقدار ثابت بر اساس مقادیر متوسط ماهانه در بلندمدت تعریف شد. زمان تمرکز مربوط هر یک از زیرحوزه‌ها نیز از روش تجربی SCS محاسبه گردید. در بخش مربوط به بازه‌ها، روش روندیابی ماکسینگهام انتخاب شد. مدل هواشناسی نیز برای حالت هایتوگراف بارش تنظیم گردید و داده‌های مربوط به آن نیز به صورت تعریف ماژول مربوط به داده‌های سری زمانی (Time series data) به مدل معرفی گردید. متناسب با موقعیت

1. Sub basin
2. Reach



شکل ۹- هیدروگراف مشاهده شده و شبیه سازی شده در مدل HEC-HMS

Fig 9. Observed and simulated hydrograph in HEC\_HMS

جدول ۳- ضریب تبیین ( $R^2$ ) بین رواناب مشاهده ای و شبیه سازی شده

Table 3.  $R^2$  Coefficient between the observed and simulated runoff

فازی با تابع ذوزنقه ای	فازی با تابع گوسی	روش غیر فازی	Junctions
Fuzzy with Trapezoidal function	Fuzzy with Gaussian function	Non-Fuzzy method	
0.87	0.91	0.83	Junction1
0.79	0.85	0.71	Junction2
0.84	0.94	0.76	Junction3



## منابع

1. Akbarpour, A., Sharifi, M. and Memarian Khalilabad, H. 2007. Comparison of Fuzzy and maximum likelihood in preparation of land use by data + ETM (Case Study: Kameh Watershed). Iranian Journal of Range and Desert Research, Issue 13, 1385, 13-32. (In Persian)
2. Alizadeh, A. 2001. Principles of applied hydrology. Astan Quds Razavi. Mashhad. 20th issue, 808.
3. Akhondi, A. "The reviews model number of the curves in flood estimation using GIS," MS Thesis, Department of Natural Resources, Tarbiat Modarres Universi. (In Persian)
4. Barreto-Neto, A. A. and De Souza Filho, C. R. 2008. Application of fuzzy logic to the evaluation of runoff in a tropical watershed. Environmental Modelling & Software, 23(2): 244-253.
5. Fan, F. Deng, Y. Hu, X. and Weng, Q. 2013. Estimating composite curve number using an improved SCS-CN method with remotely sensed variables in Guangzhou, China. Remote Sensing 5(3): 1425-1438.
6. Govaerts, B. and Verhulst, N. 2010. The normalized difference vegetation index (NDVI) Greenseeker (TM) handheld sensor: toward the integrated evaluation of crop management. Part A-Concepts and case studies.
7. Kassa, A. 1999. Drought risk monitoring for the Sudan using NDVI (Doctoral dissertation, M. Sc. thesis, University College, London. (CSA) Central Statistical Agency 2007 Population and Housing Census of Ethiopia, Addis Ababa: Central Statistical Agency).
8. Lv, X. 2013. Remote sensing normalized difference vegetation index (NDVI) and crop yield forecasting (Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign).
9. Khosroshahi, M. and Saghafian, B.. 2002. Dynamics involved in the identification and resolution of flood prone areas in watershed," Proceedings of the Sixth International Conference on River Engineering, shahid Chamran University, pp. 1375-1383.
10. Malekian, A. Mohseni Saravi, M. and Mahdavi, M. 2004. Evaluation of the efficiency curve number method for estimating runoff depth in natural resources. Natural resource of Iran. 57(4):621-633.
11. Nasiri, A. and Alipur, H. 2014. Determination the Curve Number Catchment by Using GIS and Remote Sensing. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering, 8(5): 342-345.

بر اساس ضریب تبیین ارائه شده در جدول (۳)، بیشترین مقدار آن در Junction1، Junction2 و Junction3 به ترتیب برابر با ۰/۹۱، ۰/۸۵ و ۰/۹۴ می باشد که برای CN محاسبه شده با روش منطق فاز با تابع گوسی به دست آمده است و کمترین مقدار ضریب تبیین نیز برای سه Junction مذکور به ترتیب برابر با ۰/۸۳، ۰/۷۱ و ۰/۷۶ مربوط به روش محاسب CN به روش غیر فازی می باشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که استفاده از روش منطق فازی برای محاسبه ضریب CN می توان باعث افزایش دقت شبیه سازی بارش-رواناب در منطقه شود. همچنین بر اساس نمودارهای ارائه شده در شکل ۹، نتایج نشان می دهد که دبی بیشینه هیدروگراف در حالتی که شماره منحنی CN به روش فازی با تابع ذوزنقه ای محاسبه شده است از دو روش دیگر بیشتر به دست آمده است و حتی از دبی بیشینه مشاهداتی نیز بیشتر شده است در صورتی که در دو روش محاسبه CN (غیر فازی و فازی با تابع گوسی)، دبی محاسبه شده کمتر از دبی مشاهده شده می باشد ولی دبی بیشینه محاسبه بار CN حاصل از منطق فازی با تابع گوسی نسبت به روش غیر فازی، به دبی بیشینه مشاهداتی نزدیک تر است. از این رو در هنگام تحلیل نتایج و تصمیم گیری برای اهداف مختلف از جمله مدیریت و کنترل سیلاب، پیشنهاد می شود که هم زمان به نتایج شبیه سازی هیدروگراف سیل با هر سه روش توجه شود.

## بحث و نتیجه گیری

همان طور که گفته شده در مقاله حاضر، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و پردازش آن در محیط نرم افزار ENVI، شاخص گیاهی NDVI از آن استخراج شد. با استفاده از شاخص NDVI و نقشه شیب حوزه و با داشتن نقشه مربوط به گروه هیدرولوژیکی خاک از نظر نفوذپذیری، شماره منحنی رواناب CN با دو رویکرد فازی و غیر فازی محاسبه شد به طوری که از آن در مدل سازی بارش-رواناب مبتنی بر روش SCS در محیط نرم افزار HEC-HMS استفاده شد. از آن استفاده شد. نتایج نشان داد که CN محاسبه شده برای زیر حوزه های انتخابی در حوزه آبخیز درجه دو گرگان رود، از دقت خوبی برخوردار است به طوری که روش های فازی دقت بالاتری در برآورد CN و به همراه آن شبیه سازی بارش-رواناب نسبت به روش غیر فازی در تمام زیر حوزه ها داشته است. از نتایج این پژوهش می توان در برآورد CN برای سایر حوزه های آبخیز کشور استفاده کرد و در مدل سازی بارش-رواناب و انجام طرح های آبخیزداری و مدیریت و کنترل سیلاب، استفاده نمود.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از حمایت های دانشگاه تهران و شرکت مدیریت منابع آب ایران جهت انجام این پژوهش قدردانی می شود.

13. Yaghobzadeh, M. Akbarpoor, A. Barani, Gh. and Etebari. B. 2009. Assessment of runoff curve number using remote sensing and HEC\_HMS model (Case study: Birjand Mansourabad watershed). Iranian journal of forest and range protection research. 7 (2): 73-89. (In Persian)

12. Valentine, K. W. G. and Hawkins, J. F. 1976. A quantitative comparison of color photography and Landsat imagery for a small scale land resource map of northern British Columbia. In Canadian Symposium on Remote Sensing, 3 rd, Edmonton, Alberta, Canada (489-494).

## Evaluation of Fuzzy Logic in Verifying of Runoff Curve Number Estimation Based on Remote Sensing of Gorganrood Basin

H. Dehban<sup>1</sup>, F. Modaresi<sup>2</sup> and K. Ebrahimi<sup>3</sup>

Received: 07-03-2020 Accepted: 06-11-2020

### Abstract

The main aim of this study is to estimate the Curves Number based on remote sensing and fuzzy methods for use in precipitation-runoff modelling. For this purpose, Landsat-7 satellite images were used for the second degree basin of Gorgan River, northern Iran. By making the corrections and satellite images processing using ENVI, the NDVI index of vegetation and the type of vegetation were extracted. Then, using soil map, obtained from the National's Resources Comprehensive Plan, and land slope map the type of vegetation, the CN of the sub-basins with fuzzy logic and non-fuzzy approaches calculated. To evaluate the calculated CN, a rainfall-runoff event was selected and by simulating the rainfall-runoff using HEC-HMS model, the runoff simulation was performed. The results showed that the calculated CN involving Landsat-7, using fuzzy logic simulated the runoff more accurately than non-fuzzy. So that the coefficients of determination between the observed and simulated hydrographs, obtained from non-fuzzy, fuzzy Gaussian and fuzzy trapezoidal functions were obtained equal 0.76, 0.94 and 0.84, respectively. Also, the maximum flow rate of the simulated hydrograph compared to the observed hydrograph in the fuzzy state has a difference of less than 2 m<sup>3</sup>/s compared to the non-fuzzy with a difference of 5 m<sup>3</sup>/s.

**Keywords:** Curve number, Remote sensing, GIS, fuzzy logic

- 
1. Ph.D in Water Resources Engineering, Irrigation and Reclamation Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran.
  2. Assistant Professor of Water Resources Engineering, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.
  3. Corresponding Author, Professor of Water Resources Engineering, Irrigation and Reclamation Engineering Department, University of Tehran. EbrahimiK@ut.ac.ir