

## تخمین حجم آب‌های زیرزمینی در حوضه‌های آبریز محورهای سدهای زیرزمینی با استفاده از GIS و RS (مطالعه موردی استان قزوین)

میر مسعود خیرخواه زرکش<sup>۱</sup>، غزاله محبی تفرشی<sup>۲\*</sup>، علیرضا مجیدی<sup>۳</sup>، فریده اسدیان<sup>۴</sup>، امین محبی تفرشی<sup>۵</sup>

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه محیط زیست، تهران، ایران

۲و۵- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه زمین شناسی، تهران، ایران

۳- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور

۴- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، گروه جغرافیا، تهران، ایران

(\* عهده دار مکاتبات- gh.mohebbi61@gmail.com)

### چکیده

کمیت آب‌های زیرزمینی از جمله فاکتورهای مهم و تاثیر گذار در اولویت‌بندی محورهای سد زیرزمینی در فرآیند مکان‌یابی نقاط مستعد احداث سدهای زیرزمینی است. در واقع از مهمترین اهداف احداث سدهای زیرزمینی، ذخیره سازی آب‌های زیرزمینی در مناطقی است که فاقد حجم مناسب آب‌های سطحی هستند. بدین منظور هرچه حجم آب‌های زیرزمینی بیشتر باشد احداث سد، مقرون به صرفه‌تر و منطقی‌تر خواهد بود. در این تحقیق به منظور برآورد و تخمین حجم آب‌های زیرزمینی در حوضه‌های آبریز سدهای زیرزمینی به منظور استفاده در اولویت‌بندی محورهای مشخص شده در طی پروژه مکان‌یابی نقاط مستعد احداث سدهای زیرزمینی در استان قزوین، حجم رواناب حاصل از بارندگی در بالادست محور این سدها، مشخص و با فرض این که باران بر تمام سطح حوضه آبریز به صورت یکسان باریده است، از حجم بارندگی حوضه آبریز بالادست محور، کسر گردید. جهت برآورد رواناب سطحی در حوضه بالادست محورها، از روش SCS استفاده شد. در این راستا از تصاویر ماهواره‌ای جهت تهیه نقشه کیفی نفوذپذیری خاک و جهت تعیین نوع اراضی از نقشه کاربری اراضی استان استفاده گردید. همچنین جهت برآورد میزان بارندگی، نرم افزار Arc Gis9.3 جهت تبدیل آمارهای بلند مدت استان به داده‌های رقومی و تولید نقشه هم باران استان، مورد استفاده قرار گرفت.

**واژگان کلیدی:** بارندگی، رواناب سطحی، سد زیرزمینی، GIS، RS.

### ۱- مقدمه

هرگاه شدت بارندگی از میزان نفوذپذیری<sup>۱</sup> خاک بیشتر باشد، بخشی از بارندگی در سطح حوضه‌ها در امتداد شیب جاری می‌شوند و توسط رودها از حوضه خارج می‌شود که این بخش از بارندگی که مقدار آن در رودخانه قابل اندازه‌گیری است، رواناب سطحی نامیده می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۴). روش‌های متعدد و مختلفی جهت برآورد رواناب<sup>۲</sup> بر اساس بارندگی وجود دارد که روش<sup>۳</sup> SCS، به علت این که با استفاده از شماره منحنی و در نظر گرفتن پارامترهای مختلف مثل نفوذپذیری و نوع پوشش گیاهی، تخمین واقعی‌تری از میزان رواناب سطحی نسبت به سایر روش‌ها به دست می‌دهد، همچنین به این علت که این روش در حوضه‌های فاقد داده‌های اندازه‌گیری دبی رواناب کاربرد ویژه‌ای

<sup>1</sup> Permeability

<sup>2</sup> Surface Run off

<sup>3</sup> Soil Conservation Organization United States of America

دارد، مورد استفاده و مقبولیت گسترده در جهان می‌باشد. به علت این که حوضه‌های آبریز دارای شرایط متفاوتی از نظر توپوگرافی، ساختار زمین شناسی، پوشش گیاهی و ... می‌باشند، دارای واحدهای متعددی با ترکیبی از فاکتورهای مختلف هستند که میزان رواناب را تحت تاثیر قرار داده و برآورد آنرا پیچیده می‌سازد (طاهری، و لندی، ۱۳۸۵). با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان به آسانی چنین ترکیب پیچیده‌ای را دسته‌بندی و تجزیه و تحلیل نمود (مولایی، ۱۳۸۱). همچنین می‌توان جهت کاهش صرف وقت و هزینه برای مطالعات صحرایی به منظور تعیین میزان نفوذپذیری و پوشش گیاهی، از تکنیک‌های سنجش از دور بهره گرفت. در زمینه کاملاً مشابه با موضوع این تحقیق، یعنی تخمین حجم آب‌های زیرزمینی با استفاده از رواناب سطحی و بارندگی با استفاده از  $RS^1$  و  $GIS^1$  تحقیقات کمی صورت گرفته اما در زمینه بهره‌گیری از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در تهیه نقشه شماره منحنی و برآورد حجم رواناب، در تحقیقی که در سال ۱۳۸۵ در حوضه آبریز معرف امامه در شمال تهران انجام شد، به موضوع بهره‌گیری استفاده تماماً از  $RS$  و  $GIS$  در برآورد رواناب سطحی جهت پهنه‌بندی مناطق سیل خیز پرداخته شد. در این تحقیق ابتدا گروه‌های هیدرولوژیک خاک که با انجام مطالعات صحرایی جهت تعیین نفوذپذیری خاک مشخص گردید، استخراج شد. سپس به تعیین نوع پوشش گیاهی با استفاده از پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای  $TM 1999$  و استخراج شاخص تراکم پوشش گیاهی  $NDVI$  پرداخته شد و در مرحله بعد با انجام عمل همپوشانی نقشه‌های پوشش سطح زمین و گروه هیدرولوژیک خاک با استفاده از نرم‌افزار  $ILWIS$ ،  $CN^3$  حوضه‌های آبریز استخراج گردید. در پایان با استفاده از تحلیل رگرها، حجم رواناب ناشی از این رگرها برآورد گردید (رضوی، و همکاران، ۱۳۸۵). در تحقیق دیگری که در سال ۱۳۸۵ در حوضه آبریز زرد کاید رفیع خوزستان انجام شد، با استفاده از توابع تحلیلی در نرم افزار  $GIS$  و نرم افزار  $HecGeo-HMS$ ، ابتدا حوضه‌های آبریز استخراج و سپس با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از ترکیب رنگی مجازی، و اعمال آن جهت شاخص پوشش گیاهی، نقشه پوشش گیاهی ایجاد شد و در پایان با استفاده از اطلاعات گروه هیدرولوژیک خاک، شماره منحنی رواناب جهت برآورد رواناب، استخراج گردید. در پژوهش دیگری نیز که در سال ۱۳۸۵ در حوضه آبریز سد امیرکبیر کرج توسط فنون سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام گردید، این نتیجه حاصل شد که استفاده از مدل وزنی در محاسبه شماره منحنی، این امکان را فراهم می‌سازد که تمام عوامل موثر در رواناب در نظر گرفته شود و در نتیجه تخمین درست‌تری از رواناب ناشی از بارندگی بدست می‌آید (قهرودی تالی، ۱۳۸۵).

## ۲- مشخصات منطقه مورد مطالعه

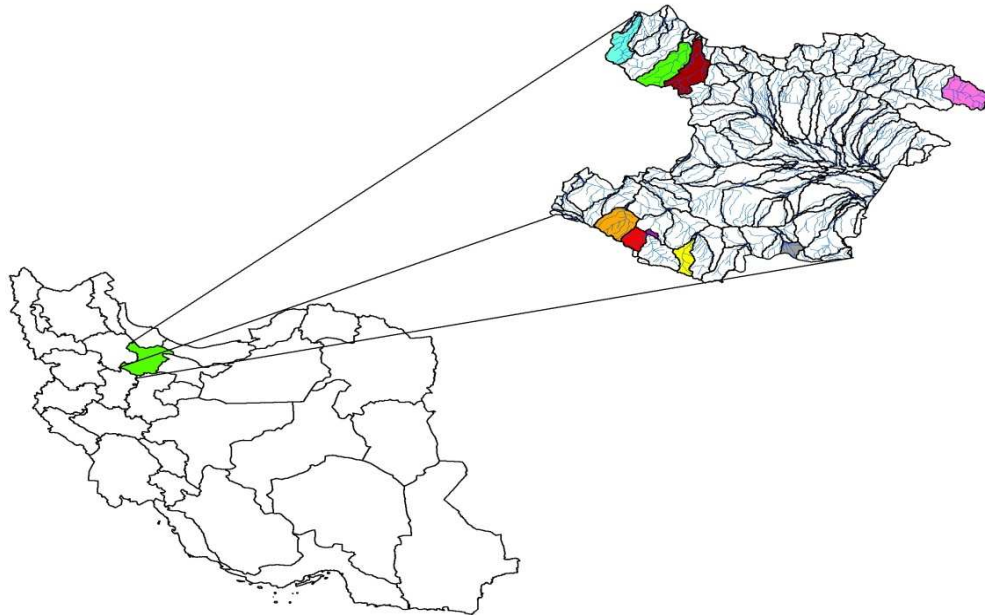
استان قزوین با مساحت ۱۵۵۴۹ کیلومتر مربع در حوزه مرکزی ایران با موقعیت جغرافیایی  $24^{\circ}$  و  $35^{\circ}$  الی  $49^{\circ}$  و  $36^{\circ}$  عرض شمالی و  $44^{\circ}$  و  $48^{\circ}$  الی  $53^{\circ}$  و  $50^{\circ}$  طول شرقی قرار گرفته است. از نظر زمین شناسی سازندهای مربوط به دوران پرکامبرین تا سنوزوئیک در ناحیه رخنمون دارد که البته بیشتر سطح استان بخصوص ارتفاعات شمالی را سنگ‌های ولکانیک و پلوتونیک دوران سنوزوئیک تشکیل می‌دهد. استان قزوین به دو ناحیه کوهستانی و دشتی تقسیم می‌شود. منطقه کوهستانی آن در شمال استان قرار دارد که در همین ناحیه، بخشی از رشته‌کوه البرز از بخش شمال غربی و از استان گیلان به طرف جنوب غربی در داخل استان قزوین کشیده شده است. دره‌های البرز در دامنه‌های خشک جنوبی، به‌ویژه در ناحیه قزوین، باریک و کم‌عرض هستند و با دیواره‌های پرشیب کشیده شده‌اند. دره و رودخانه شاهرود کوه‌های میان دره چالوس و سفیدرود را از شرق به غرب شکافته و آن را به دو قسمت شمالی و جنوبی تقسیم

<sup>1</sup>Geographic Information System

<sup>2</sup> Remote Sensing Techniques

<sup>3</sup> Curve Number

کرده است. محدوده مرکزی و شرق استان را دشت تشکیل می‌دهد که شیب آن از شمال غرب به جنوب شرق امتداد دارد و ارتفاع آن در پائین‌ترین نقطه ۱۱۳۰ متر است. ۳۲/۸ درصد از سطح استان قزوین در محدوده حوضه آبریز سفیدرود و ۶۷/۲ درصد آن در محدوده حوضه آبریز دریاچه نمک قرار گرفته است (گزارش زمین شناسی و هیدروژئولوژی استان قزوین، ۱۳۸۷).



شکل ۱: موقعیت حوضه‌های آبریز سدهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

### ۳- مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ چهارگوش قزوین، نقشه‌های نفوذپذیری ۱:۲۵۰۰۰ حوضه آبریز سفیدرود و حوضه دریاچه نمک، نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، تصویر ماهواره‌ای ETM سال ۲۰۰۰ میلادی، آمار میانگین سالانه بارندگی دراز مدت ایستگاه‌های باران سنجی استان قزوین (۱۳۸۲-۱۳۴۵)، نرم افزار ILWIS3.3 که قادر به پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد، از نرم افزار Arc Gis9.3 به منظور ایجاد پایگاه داده‌های رستری و همچنین استفاده از زیربرنامه Arc Hydro1.4 در این نرم افزار، به منظور استخراج اتوماتیک حوضه‌های آبریز استفاده گردید.

در این مقاله به منظور برآورد و تخمین حجم آب‌های زیرزمینی در حوضه‌های آبریز سدهای زیرزمینی، ابتدا حجم رواناب سطحی ناشی از بارندگی در هر حوضه با استفاده از روش SCS، محاسبه و سپس با فرض این که باران بر تمام سطح حوضه به صورت یکنواخت باریده باشد، از میزان بارندگی در همان حوضه کسر گردید (محبی تفرشی، ۱۳۸۹).

به منظور محاسبه مقدار رواناب در روش SCS، از رابطه زیر استفاده می‌گردد:

$$R = \frac{(p - 0.2s)^2}{(p + 0.8s)} \quad (1)$$

که در این رابطه:

R: ارتفاع رواناب بر حسب اینچ

P: ارتفاع بارندگی بر حسب اینچ

S: عامل مربوط به نگهداشت ویژه آب در سطح زمین می باشد و طبق رابطه (۲) بدست می آید:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (2)$$

در رابطه (۲)، CN شماره منحنی مربوط به مقدار نفوذ آب می باشد که مقدار آن به عواملی مانند نفوذپذیری خاک و پوشش سطح حوضه وابسته است و جهت بدست آوردن آن سه مرحله طی گردید. در مرحله اول باید گروه هیدرولوژیکی خاکهای حوضه با توجه به میزان نفوذپذیری خاکها مشخص شوند. بدین منظور سازمان حفاظت خاک آمریکا در سال ۱۹۷۲ تمام خاکها را از نظر توان ایجاد رواناب و میزان نفوذپذیری به چهار رده A, B, C, D تقسیم بندی نمود.

جهت مشخص نمودن گروه هیدرولوژیکی خاکهای منطقه مورد مطالعه در این مرحله، با استفاده از نقشه رقومی نفوذپذیری دو حوضه آبریز سفید رود و دریاچه نمک، بازدیدهای صحرایی و محاسبات لازم، نقشه رقومی گروههای هیدرولوژیکی منطقه تهیه گردید (شکل ۲).

در مرحله دوم با استفاده از نرم افزار ILWIS3.3 و با ترکیب باندی تصویر ماهواره ای استان و ایجاد رنگ کاذب (شکل ۳) جهت استخراج شاخصهای پوشش گیاهی و همچنین رقومی سازی نقشه کاربری اراضی استان، نوع پوشش سطح حوضه آبریز یا همان کاربری، مشخص و نقشه کاربری اراضی حوضه های آبریز محورهای سد، تهیه گردید (شکل ۴) و مساحت سطح اختصاص یافته به هر یک از کاربریها توسط نرم افزار Arc Gis9.3 استخراج و محاسبه گردید. در مرحله سوم با استفاده از نرم افزار Excel درصد هر گروه هیدرولوژیک خاک در سطح هر یک از مساحت کاربریها در هر حوضه مشخص گردید. البته به این علت که شرایط حوضه های محدوده مورد مطالعه از نظر عوامل تاثیر گذار بر مقدار CN یکنواخت نبود، از CN وزنی جهت بدست آوردن شماره منحنی در هر حوضه آبریز استفاده می گردد که برای محاسبه CN وزنی از رابطه (۳) استفاده گردید (جدول ۱).

$$CN = \left[ \sum (A_i / 100) (CN_i) \right] \quad (3)$$

در این رابطه

CN: میانگین وزنی<sup>۱</sup> CN در سطح حوضه

A<sub>i</sub>: درصد مساحتی از حوضه آبریز که شماره منحنی آن CN<sub>i</sub> است.

در پایان این سه مرحله و با بدست آمدن مقدار CN، ارتفاع رواناب در هر حوضه با استفاده از رابطه (۱) بدست آمد و در پایان حجم رواناب بر حسب متر مکعب با استفاده از رابطه (۴) محاسبه گردید.

$$Q = R * A \quad (4)$$

که در این رابطه:

Q: حجم رواناب بر حسب متر مکعب R: ارتفاع رواناب بر حسب متر A: سطح حوضه آبریز بالادست سد

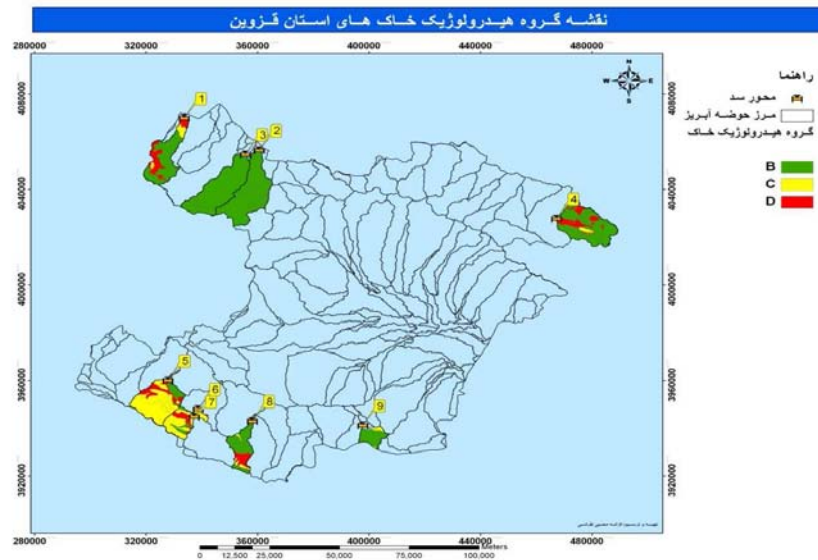
در فاز دیگر این تحقیق، جهت بدست آوردن میزان بارندگی در هر حوضه، آمار میانگین سالانه بارندگی درازمدت (۱۳۴۵-۱۳۸۲) ایستگاههای باران سنجی استان، به صورت یک لایه در محیط نرم افزار Arc Gis9.3 با استفاده از روش درون یابی<sup>۲</sup> IDW تهیه گردید (شکل ۵) و در هر حوضه با استفاده از روش میانگین گیری تصادفی<sup>۳</sup> در ۱۲ نقطه از سطح حوضه، یک عدد به عنوان میزان بارندگی آن حوضه در نظر گرفته شد. در پایان جهت بدست آوردن حجم

<sup>1</sup> Weighted averages

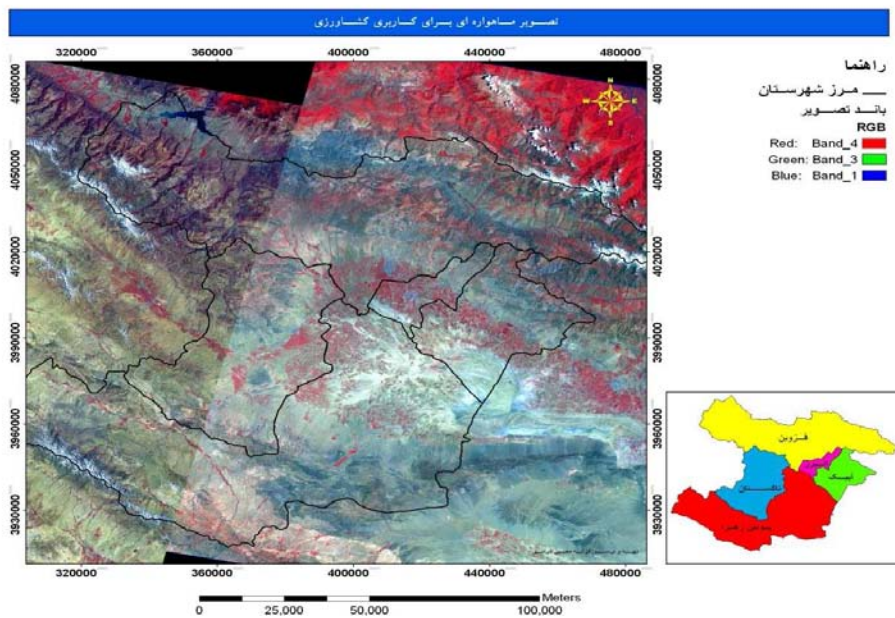
<sup>2</sup> Inverse Distance Weighted

<sup>3</sup> Random Averages

بارش در هر حوضه میزان بارندگی در مساحت سطح حوضه ضرب و حجم بارش بر حسب متر مکعب بدست آمد و نهایتاً، حجم رواناب بدست آمده برای هر حوضه از حجم بارندگی همان حوضه کسر گردید و حجم آب زیرزمینی هر حوضه آبریز بر حسب میلیون متر مکعب بدست آمد (جدول ۲).



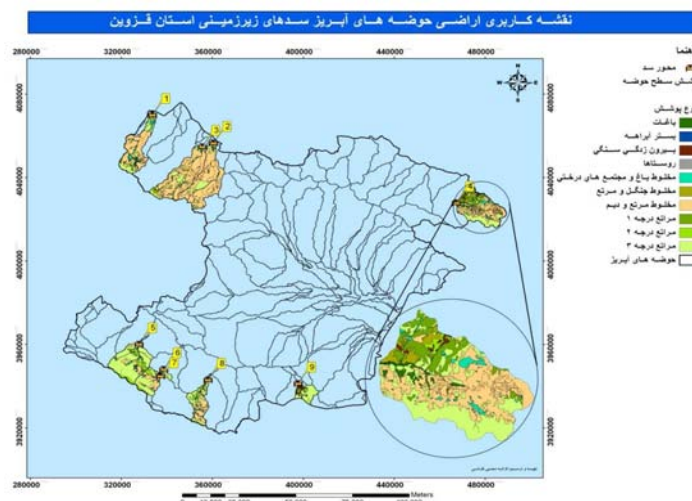
شکل ۲: نقشه گروه هیدرولوژیک خاک حوضه های آبریز محورهای سد زیرزمینی استان قزوین



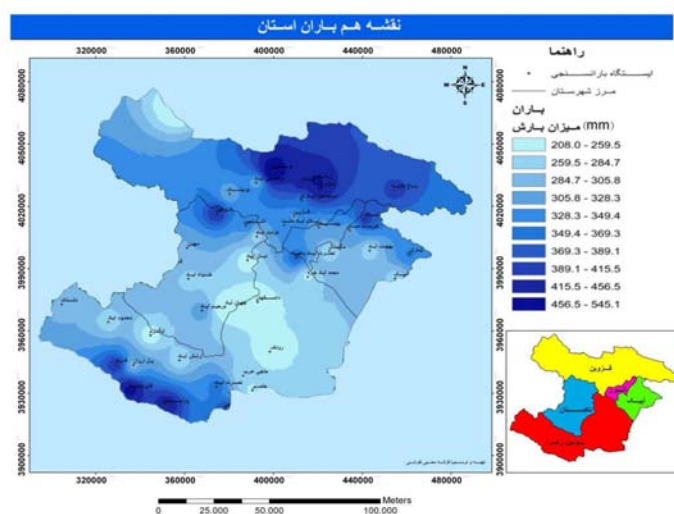
شکل ۳: ترکیب باندهای ۱-۳-۴ در تصویر ماهواره ای ETM

جدول ۱: شماره منحنی حوضه های آبریز محورهای سد زیرزمینی

شماره محور	مساحت حوضه آبریز سد (km <sup>2</sup> )	CN وزنی
1	195.32	76.73
2	272.67	73.12
3	271.39	76.8
4	249.38	74.3
5	223.46	82.47
6	13.7	76.4
7	98.34	82.14
8	113.7	63.64
9	62.63	68.59



شکل ۴: نقشه پوشش سطح و کاربری اراضی حوضه های آبریز محورهای سد زیرزمینی استان قزوین



شکل ۵: نقشه هم باران استان قزوین

جدول ۲: تخمین حجم آبهای زیرزمینی در حوضه‌های آبریز سدهای زیرزمینی محدوده مورد مطالعه

شماره	مساحت حوضه آبریز سد (km <sup>2</sup> )	بارش (Inch)	نگهداشت ویژه	ارتفاع رواناب (Inch)	حجم رواناب (m <sup>3</sup> )	حجم بارندگی (m <sup>3</sup> )	حجم آبهای زیرزمینی (Mm <sup>3</sup> )
1	195.32	12.8	3.032712107	9.764793824	48444392.06	63457514.8	15.01312274
2	272.67	12.82	3.676148796	9.266063034	64175066.15	91535319	27.36025285
3	271.39	12.68	3.020833333	9.659467093	66585662.47	87409291.2	20.82362873
4	249.38	14.16	3.458950202	10.7160729	67878306.22	89734405.4	21.85609918
5	223.46	13.24	2.125621438	10.9916721	62387455.78	75147363.4	12.75990762
6	13.7	12.22	3.089005236	9.162695014	3188434.611	4252069	1.063634389
7	98.34	14.41	2.174336499	12.09354556	30207693.48	35995390.2	5.787696721
8	113.7	14.69	5.713387806	9.528726861	27518772.6	42428292	14.9095194
9	62.63	10.31	4.57938475	6.315489778	10046693.77	16401168.62	6.35447485

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق جهت برآورد حجم آبهای زیرزمینی در حوضه‌های آبریز سدهای زیرزمینی، پس از برآورد ارتفاع رواناب سطحی با استفاده از روش SCS، با ضرب این مقدار در مساحت سطح حوضه، حجم رواناب حاصل شد و سپس با استفاده از نقشه هم باران تهیه شده، حجم بارندگی نیز از ضرب میزان متوسط بارندگی در مساحت حوضه بدست آمد و سرانجام این دو حجم از یکدیگر کسر گردیدند تا حجم آبهای زیرزمینی حاصل شود. در پایان حجم آبهای زیرزمینی بر حسب میلیون متر مکعب بدست آمد. همچنین سودمندی روش‌های نوین در برآورد حجم رواناب و تهیه نقشه‌های گروه هیدرولوژیکی خاک و نقشه هم باران با استفاده از GIS و تکنیک‌های RS در جهت صرفه جویی قابل توجه در وقت و هزینه‌های بازدیدها و عملیات صحرایی به اثبات رسید. البته ذکر این نکته ضروری است که تخمین حجم آبهای زیرزمینی بدین روش مربوط به مرحله مطالعات مقدماتی مکان‌یابی احداث سد زیرزمینی در مناطق مستعد بوده و جهت استفاده در مرحله تعیین اولویت محورهای مشخص شده بر اساس کمیت آب در طی فرآیند سلسله مراتبی مورد استفاده قرار می‌گیرد و جهت اتخاذ تصمیمات درست و با تطابق بالا شایسته است تا در مرحله تکمیلی مطالعات و در واقع در مرحله احداث سازه سد، جهت برآورد حجم دقیق‌تر آبهای زیرزمینی در حوضه‌های آبریز سدهای زیرزمینی، از روش‌های ژئوفیزیکی و استفاده از مدل‌های هیدروژئولوژیکی استفاده نمود.

#### ۵- سپاسگزاری

این پژوهش مستخرج از بخش مطالعات کمیت آبهای زیرزمینی طرح پژوهشی "پروژه ملی مکان‌یابی سدهای زیرزمینی، مطالعات مکان‌یابی در استان قزوین" می‌باشد که با حمایت پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی انجام شده است. لذا بدینوسیله از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور و همچنین مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری استان قزوین، تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

#### منابع

۱. رضوی، ا؛ مجدزاده طباطبائی، م. و موسوی ندوشنی، س.، ۱۳۸۵. تعیین مقادیر CN با استفاده از RS و GIS و برآورد سیلاب ناشی از رواناب در حوضه‌های فاقد داده‌های اندازه‌گیری، مطالعه موردی حوضه آبریز معرف امامه، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اردیبهشت ۸۵.

۲. طاهری، م. و لندی، ا.، ۱۳۸۵. کاربرد تکنیک های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در تهیه نقشه شماره منحنی جهت برآورد حجم رواناب، همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، اردیبهشت ۸۵.
۳. علیزاده، ا.، ۱۳۸۴. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ هجدهم.
۴. قهرودی تالی، م.، ۱۳۸۵. ارزیابی مدل SCS-CN در تخمین رواناب-مطالعه موردی: حوضه آبریز سد امیرکبیر (کرج)، مجله جغرافیا و توسعه، بهار و تابستان ۸۵، ص ۱۸۵.
۵. گزارش زمین شناسی و هیدروژئولوژی استان قزوین، ۱۳۸۷. سازمان آب منطقه ای استان قزوین
۶. محبی تفرشی، غ.، ۱۳۸۹. مکان یابی احداث سدهای زیرزمینی در منطقه قزوین، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
۷. مولایی، ع.، ۱۳۸۱. تعیین شماره منحنی با استفاده از GIS، ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه.