

## تهیه نقشه ضریب رواناب پتانسیل و ظرفیت ذخیره چالابی حوزه آبخیز اترک با استفاده از مدل 'WetSpa'

زهرا نامقی<sup>۱</sup>، عبدالرضا بهره‌مند<sup>۲</sup>، مجید اونق<sup>۳</sup>، علی گلکاریان<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، znameghi@yahoo.com

۲- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، bahremand@gau.ac.ir

۳- استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، onagh@gau.ac.ir

۴- استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه فردوسی مشهد، Golkarian@um.ac.i

### چکیده

با گسترش سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، امکان دسترسی گسترده و مدیریت بر پارامترها و متغیرهای هیدرولوژیکی مکانی میسرگشته است. در این مطالعه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی-توزیعی مکانی WetSpa و تکنیک‌های GIS نقشه‌های ضریب رواناب پتانسیل و ظرفیت ذخیره چالابی آبخیز اترک با پیکسل سایز ۱۰۰ متر تهیه گردید. بر اساس این نقشه‌ها، متوسط ضریب پتانسیل رواناب حوزه ۰/۳۷ درصد و متوسط ظرفیت ذخیره چالابی ۱/۷۳ میلی‌متر به دست آمد. از کاربردهای مفید این نقشه‌ها این است که در مناطق سیلخیز می‌توان با تهیه این نقشه‌ها، نقاط حادثه‌خیز را شناسایی کرده تا بتوان مدیریت ریسک را جایگزین مدیریت بحران نمود.

کلمات کلیدی: ضریب رواناب پتانسیل، ظرفیت ذخیره چالابی، مدل هیدرولوژیکی-توزیعی، GIS

### مقدمه

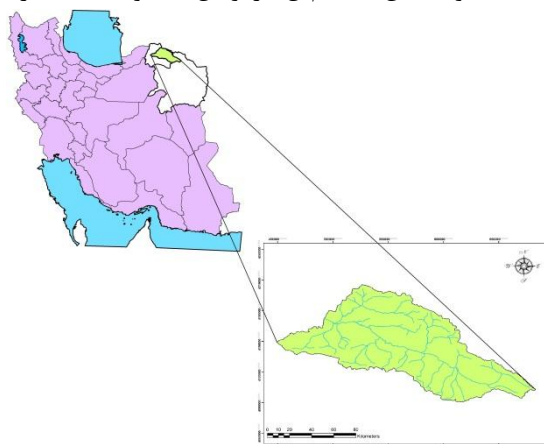
افزایش روز افزون جمعیت باعث افزایش استفاده از منابع آبی گردیده است. با داشتن برنامه‌ریزی اصولی و مناسب، با جمع‌آوری آب حاصل از بارش می‌توان در جهت رفع مشکل کمبود آب مصرف شرب، کشاورزی و صنعتی بخصوص در شرایط خشکسالی، اقدام نمود. در سال‌های اخیر استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور تخمین پارامترهای هیدرولوژیکی و مدل‌سازی آنها در حوزه آبخیز، افزایش فراوانی یافته است. امروزه این موضوع حتی در کشورهایی که دارای منابع آبی کافی می‌باشند نیز در دستور کار سازمان‌های مدیریت منابع آب قرار دارد چرا که آگاهی از وضعیت منابع آب و نزولات جوی در حوزه‌های آبخیز مختلف برای اجرای طرح‌های آبی از یکسو و عدم وجود شبکه قابل قبولی از ایستگاه‌های اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی و هیدرومتری از سوی دیگر، اهمیت استفاده از روش‌های غیرمستقیم نظیر استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی در قالب یک سیستم اطلاعات جغرافیایی برای شبیه‌سازی جریان و نقشه‌بندی مکانهای پتانسیل تولید رواناب و ذخیره آب در حوزه‌های آبخیز را بیش از پیش آشکار می‌سازد. به تبع مراحل شکل‌گیری رواناب، پتانسیل‌یابی مکان‌های مختلف یک حوزه جهت تولید رواناب و ذخیره چالابی نیز حائز اهمیت فراوان می‌باشد، زیرا اولاً با تعیین محل‌هایی با پتانسیل بالا می‌تواند رواناب و ذخیره چالابی، به نوعی می‌تواند یک ارزیابی کلی از وضعیت سرخیزی و منابع آبی منطقه بدست آورد. ثانیاً آگاهی از این محل‌ها، می‌تواند تهدیدها را به فرصت تبدیل کرده و برنامه‌ریزان و مدیران بخش منابع آب کشور را در اتخاذ تصمیم‌های صحیح به منظور استفاده به موقع از این منابع نامتعارف، در جهت جلوگیری از کمبود آب و خشکسالی ه یاری رساند (نجفی، ۱۳۸۱). هنگامی که مقدار بارش مازاد یا بارش مؤثر از ظرفیت ذخیره چالابی تجاوز کند، رواناب در

<sup>1</sup>. Water and Energy Transfer Between Soil and Atmosphere Plant

سطح زمین جاری می‌گردد. در صورتی که سطح حوزه به صورت یک شبکه‌ای از سلول‌ها فرض شود رواناب خروجی از هر سلول به عنوان رواناب ورودی به سلول مجاور در پائین دست آن قلمداد می‌گردد (متکان، ۱۳۸۹). با توجه به این توضیح می‌توان پی برد که پتانسیل تولید رواناب در مناطق مختلف بر اساس نوع کاربری، جنس زمین و عواملی نظیر شیب سطح و غیره متفاوت است و این تغییرات در حوزه‌های نواحی کوهستانی و نیمه‌کوهستانی چشمگیرتر خواهد بود (Kabir, 2011). رواناب تولیدی در مقیاس کوچک به حجم چاله‌ها یا پستی و بلندی‌های کوچک سطح زمین نیز بستگی دارد. چاله‌ها به یکدیگر متصل شده و چاله‌های بزرگتری ایجاد می‌کنند که حجم ذخایر آنها با استفاده از ذخیره چالابی حداکثر محاسبه می‌شود. در حقیقت برای ایجاد رواناب بر روی زمین ابتدا چاله‌ها بایستی از آب پر گردند. این مقدار، آسفته‌ی ذخیره چالابی منطقه مورد مطالعه است و مقدار آن ثابت می‌باشد و هر قطره آب اضافه بر این آستانه به خارج از چاله‌ها جریان می‌یابد (Jetten, 2002). لذا با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق نقشه پتانسیل تولید رواناب و ظرفیت ذخیره چالابی حوزه آبخیز اترک با مدل توزیعی مکاری WetSpa، و در محیط GIS تهیه گردید. مدل توزیعی WetSpa در حوزه آبخیز ترکلپ-مولنیک در بلژیک مورد اجرا درآمد و نتایج طنجر این بود که مدل به خوبی قابلیت پیش‌بینی رواناب سطحی را داراست. علاوه بر این نتایج نشان دادند ترکیب مدلسازی توزیعی و GIS بسط سودمند می‌باشد (Wang و همکاران، ۱۹۹۶). این مدل در بسیاری از حوزه‌های آبخیز در کشورهای مختلف برای شبیه‌سازی کلیه مولفه‌های هیدرولوژیکی در سطح پیکسل بکاربرده شده است و نتایج خوبی نیز ارائه داده است.

## مواد و روش

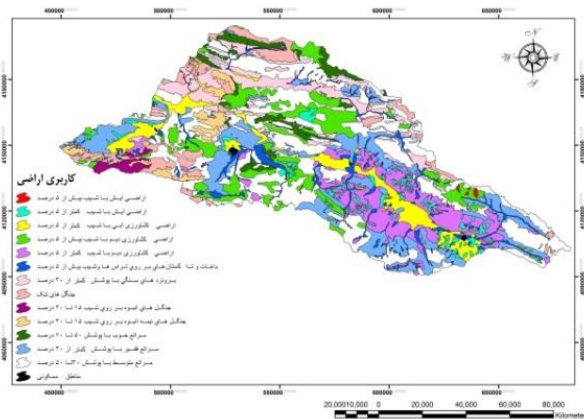
حوزه آبخیز اترک یکی از حوزه‌های بزرگ شمال ایران است که از استان خراسان رضوی (شهرستان قوچان) سرچشمه گرفته و پس از عبور از استان‌های خراسان رضوی و شمالی در قازان ای وارد استان گلستان شده و در نهایت به دریای خزر می‌ریزد. با عنایت به وسعت زیاد حوزه آبخیز و مسیر نسبتاً طولانی رودخانه، حوزه آبخیز اترک به چهار قسمت اترک علیا، اترک میانی، اترک سفلی و اترک مرزی تقسیم بندیشده است. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش بکن طول شرقی ۲۵' ۵۶° تا ۰۳' ۵۹° و عرض شمالی ۵۷' ۳۶° تا ۵۹' ۳۷° از بخش علی‌ای رودخانه آغاز شده و تا ایستگاه هیدرومتری آغمرز در قسطنطنیه معاون امتداد می‌یابد. مساحت حوزه ۱۱۶۳۹۰۰ هکتار، ارتفاع حداکثر آن ۲۹۰۰ متر و ارتفاع حداقل ۵۶۹ متر است. بارندگی متوسط آن ۲۸۳ میلی‌متر و شیب متوسط ۳/۲ درصد می‌باشد.



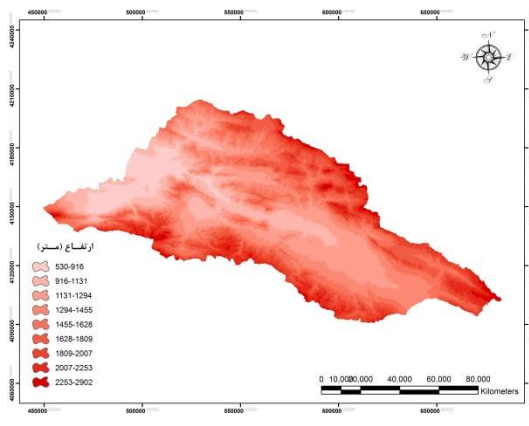
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه مورد مطالعه در ایران

<sup>1</sup>-Terklep\_Molenbik

مدل WetSpa اولین بار توسط Wang و همکاران (۱۹۹۶) ابداع و سپس توسط De Smedt و همکاران (۲۰۰۰) و Liu و همکاران (۲۰۰۳) توسعه پیدا کرده است. این مدل یک نوع مدل هیدرولوژیک ی توزیحی مکانی است که باران اصلی ترین ورودی قسمت هیدرولوژیکی مدل است. از آنجا که مدل براساس شبکه ی سلولی طراحی شده، برای هر شبکه سلولی، ۴ لایه در جهت عمودی در نظر گرفته می شود که عبارتند از: لایه تاج پوشش، زون ریشه، زون انتقال و زون اشباع (Liu و De smedth، ۲۰۰۴). مدل در هر شبکه سلولی با توجه به میزان بارش، دما و تبخیر و تعرق، مقدار ذخیره برگابی گیاهان، ذخیره چالابی، نفوذ و رواناب تولیدی را شبیه سازی می نماید (Bahremand و همکاران، ۲۰۰۶). در این تحقیق نقشه مدل رقومی ارتفاع از تصاویر ماهواره استر نسخه یک سال ۲۰۰۹ پردازش شده در محیط نرم افزار Global Mapper با ابعاد سلولی ۱۰۰ متر (شکل ۲) و نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره لندست ETM<sup>+</sup> باندهای ۲، ۳، ۴ سال ۱۳۸۸ پردازش شده در محیط نرم افزار ILWIS با ابعاد سلولی ۱۰۰ متر (شکل ۳) شامل اراضی آبی (۳/۱٪)، کشاورزی آبی (۶/۵٪)، کشاورزی دیم (۲۰/۸٪)، باغات و تاکستان ها (۴/۵٪)، برونزدهای سنگی (۸/۷٪)، پوشش جنگل (۹/۸٪)، مراتع (۴۶/۴٪) و مناطق مسکوری (۰/۲٪) تهی گردید. سپس از نقشه DEM در محیط GIS نقشه شیب تهی شد (شکل ۴). نقشه بافت خاک با توجه به گزارشات موجود در قالب ۷ کلاس تهیه گردید. بر اساس این نقشه ۳۳/۸ درصد از حوزه دارای بافت لومی رسی شری، ۲۲/۴ درصد شری، ۲۱/۳ درصد لومی شری، ۱۲/۸ درصد شن لومی و ۹/۷ درصد بافت های لومی، لومی رسی و لومی سلیتی می باشد (شکل ۵). کلاس بندی نقشه کاربری اراضی و بافت خاک با کلاس بندی جداول بکار رفته در مدل WetSpa تطبیق داده شد. سپس به کمک اسکرین پیچ های نوشته شده به زبان اوپن در نرم افزار ArcView نقشه های کاربری اراضی، شیب و بافت خاک تلفیق شد و نقشه پتانسیل تولید رواناب و ذخیره چالابی تهی گردید (Bahremand و همکاران، ۲۰۰۶).

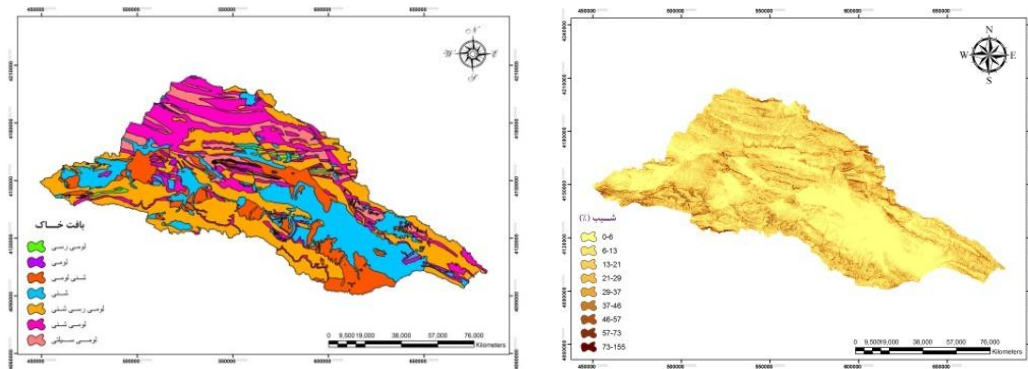


شکل ۳: نقشه کاربری اراضی حوزه آبخ



شکل ۲: نقشه مدل رقومی ارتفاع حوزه آبخیز اترک

<sup>1</sup>-Script  
<sup>2</sup>-Avenu



شکل ۴: نقشه شیب حوزه آبخیز اترک      شکل ۵: نقشه بافت خاک حوزه آبخیز اترک

### ضریب رواناب پتانسیلی

هر گاه شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک بیشتر باشد بخشی از آب حاصل از بارندگی در سطح حوزه باقی می ماند این آب پس از پر کردن گودی های سطح زمین در امتداد شیب جریان پیدا کرده و از طریق شبکه آبراهه ها و سپس رودخانه اصلی از حوزه خارج می شود. به این بخش از بارندگی که می توان مقدار آن را در یک نقطه از مس ی رودخانه اندازه گیری کرد، رواناب سطحی می گویند (علی زاده، ۱۳۸۴). از ضریب رواناب به عنوان پارامتری برای نشان دادن میزان رواناب تولیدی در حوزه های آبخیز استفاده می شود. مدل WetSpa از روش ضریب رواناب اصلاح شده (که تغییرات رطوبت خاک را در نظر می گیرد) بصورت زی جهت محاسبه رواناب در هر شبکه سلولی استفاده می کند:

$$R=C(P-I)(\theta/\theta_s)^\alpha \quad [1]$$

در رابطه بالا R ارتفاع رواناب و C ضریب رواناب است و بر اساس نوع کاربری اراضی، بافت خاک و شیب عرصه تعیین میشود و به عنوان ضریب پتانسیل رواناب معرفی شده که توسط ترم  $(\theta/\theta_s)^\alpha$  با تغییرات رطوبت خاک و به نوعی با شدت بارندگی مرتبط می شود که در آن  $\theta_s$  تخلخل خاک،  $\theta$  رطوبت خاک و  $\alpha$  ضریبی است که نماینده تاثیر شدت بارندگی بر میزان بارش می باشد. P بارش و I جذب اولیه شامل برگاب و ذخیره چالابی است (Liu و همکاران، ۲۰۰۵)

### محاسبه ظرفیت ذخیره چالابی در مدل

بارش رسیده به سطح زمین ممکن است نفوذ کرده و یا تبخیر شود، یا اینکه در چاله های روی سطح زمین ذخیره گردد. پس از اینکه شدت بارش از ظرفیت نفوذ بیشتر شود بارش مازاد شروع به پر کردن چاله های سطح زمین می کند. آب ذخیره شده در این چاله ها یا تبخیر می شود و یا به رطوبت خاک افزوده می شود و به جریان های زیرسطحی می پیوندد. ذخیره چالابی از اهمیت زیادی در چرخه هیدرولوژیک برخوردار می باشد. احداث تراس، کشت روی خطوط تراز و نظایر آن با افزایش ذخیره چالابی، خطر وقوع سیل را کاهش می دهد. عوامل موثر بر ذخیره چالابی عبارتند از:

شیب: هر چه درجه شیب بیشتر باشد مقدار ذخیره چالابی کمتر است.

نوع خاک سطحی: هر چه درصد شن خاک بیشتر باشد ذخیره چالابی بیشتر است.

کلوبری اراضی: پوشش درختی باعث افزایش ذخیره چالابی می شود.

بارش پیشین: اگر رطوبت پیشین خاک زیاد باشد ذخیره چالابی کاهش می یابد.

زمان: با گذشت زمان ذخیره چالابی کاهش می یابد.

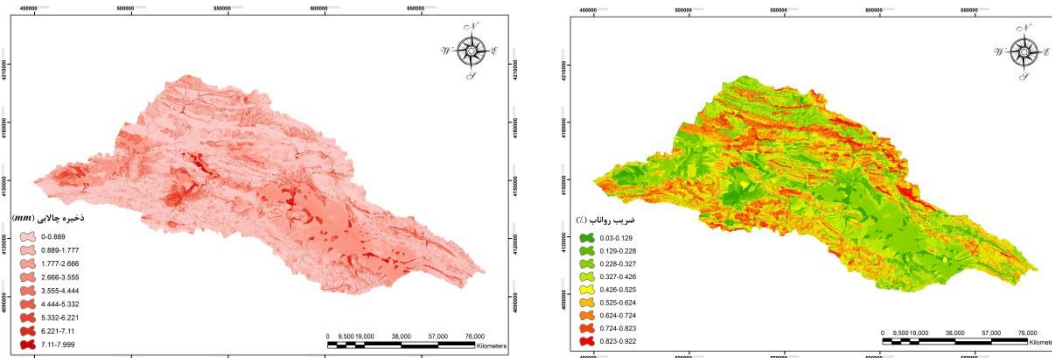
به دلیل تغییرات زیاد عوامل موثر بر میزان ذخیره چالابی، برقراری رابطه عمومی برای آن مشکل است. مدل WetSpa از یک رابطه تجربی ساده که توسط Linsley (۱۹۸۲) ارائه شده است، استفاده می کند.

$$SD_i(t) = SD_{i,0} \left[ 1 - \exp \left[ - \frac{PC_i}{SD_{i,0}} \right] \right] \quad [1]$$

که در آن  $SD_i(t)$  ذخیره چالابی سلول در زمان  $t$  بر حسب  $mm$  و  $SD_{i,0}$  ظرفیت ذخیره چالابی سلول بر حسب  $mm$  و  $PC_i$  بارش مازاد تجمعی روی سطح خاک بر حسب  $mm$  می باشد. مفهوم رابطه فوق این است که جریان سطحی و ذخیره چالابی به صورت همزمان اتفاق می افتند یعنی حتی در شرایطی که بارش کمتر از ظرفیت ذخیره چالابی باشد، مقداری از جریان سطحی جاری می شود. مقادیر ظرفیت ذخیره چالابی با توجه به کلاس های شیب، نوع کاربری اراضی و بافت خاک تعیین می گردد.

## نتایج و بحث

نقشه های ضریب رواناب پتانسیل و ظرفیت ذخیره چالابی حوزه آبخیز اترک در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است که بر اساس آنها، متوسط ضریب پتانسیل رواناب حوزه ۰/۳۷ درصد و متوسط ظرفیت ذخیره چالابی ۱/۷۳ میلی متر به دست آمد. همانطور که در نقشه ها مشاهده می شود، قسمت های میانی حوزه از ظرفیت ذخیره چالابی بالایی نسبت به دیگر مناطق حوزه برخوردارند و ضریب پتانسیل رواناب کمتری به خود اختصاص داده اند. این نکته با توجه به شیب این حوزه به راحتی قابل توجیه است. در این حوزه نواحی میانی شیب کمتری دارند بنابراین می توان چنین استنباط کرد که چون این مناطق شیب کمتری دارند طبیعی است که آب فرصت بیشتری برای ماندن در سطح دارد و در نتیجه ظرفیت ذخیره چالابی بیشتر و ضریب پتانسیل رواناب کمتری خواهند داشت. برداشت کلی این است که، نواحی دارای پتانسیل رواناب بیشتر، ذخیره چالابی کمتری دارند بنابراین رابطه معکوس بین دو نقشه ضریب پتانسیل رواناب و ظرفیت ذخیره چالابی برقرار است.



شکل ۶: نقشه ضریب رواناب حوزه آبخیز اترک شکل ۷: نقشه ظرفیت ذخیره چالابی حوزه آبخیز اترک

با مقایسه نقشه های ضریب پتانسیل رواناب و نقشه ظرفیت ذخیره چالابی بانقشه بافت خاک میتوان به این نتیجه رسید که ضریب پتانسیل رواناب در خاکهای شنی لومی کم و در خاکهای لومی سیلتی این ضریب بیشتر است. اما ظرفیت ذخیره چالابی در خاکهای شنی لومی بیشترین مقدار و در خاکهای لومی سیلتی و برونزدهای سنگی، مقدار کمی رابه خود اختصاص داده است. به بیانی دیگر هر چه خاک نفوذپذیرتر باشد از مقدار ذخیره چالابی بیشتری برخوردار است. اما در مورد رابطه این دونقشه با کاربری زمین نیز این مطلب روشن میشود که برونزدهای سنگی و اراضی کشاورزی دیم بیشترین مقدار ضریب پتانسیل رواناب و دو کاربری باغات و تاکستان ها و مراتع کمترین مقدار این ضریب را دارا هستند، که این امر باتوجه به عمق ریشه گیاهان و نفوذپذیری در این عرصه ها قابل توجیه است.

کشور ایران به علت قرارگرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک از نظر منابع آب در وضعیتی نامطلوبتر از متوسط دنیا قرار دارد. وقوع خشکسالی های متوالی و طولانی در بخش هایی از کشور و رخداد سیلاب های ناگهانی در بخش های دیگر آن موید این مطلب است که مدیریت منابع آب در کشور نیازمند جامع نگری و داشتن دید سینوپتیک در اتخاذ تصمیم های کلان مدیریتی برای این بخش است. سیستم اطلاعات جغرافیایی با قدرت تحلیل مکانی بالا از یکسو و امکان تلفیق و تفریق لایه های اطلاعاتی به منظور ایجاد لایه های جدید اطلاعاتی ازسوی دیگر، به عنوان ابزاری کارا و ضروری

در مدیریت منابع آب تبدیل شده است. نقشه‌های ظرفیت پتانسیل رواناب و ظرفیت ذخیره چالابی منتج شده از این تحقیق بسته به هدف و منطقه می‌تواند کاربردهای بسیار مفیدی داشته باشد. مثلاً در مناطق سیلخیز می‌توان با تهیه این نقشه‌ها، نقاط حادثه‌خیز را شناسایی کرده تا بتوان مدیریت ریسک را جایگزین مدیریت بحران نمود. و یا در مناطق دیگر که با کمبود آب آشامیدنی و کشاورزی روبرو هستند می‌توان با تهیه این نقشه‌ها مناطق مستعد جهت احداث سیستم‌های جمع‌آوری آب باران و مکان‌یابی بهینه آب‌انبارها را شناسایی نمود تا ضمن جلوگیری از هدر رفت منابع آب بتوان پاسخگوی نیازهای مردم این مناطق بود. بنابراین به نظر می‌رسد نقشه‌های ضریب پتانسیل رواناب و ظرفیت ذخیره چالابی، حلقه‌های گمشده مطالعات منابع آب هستند و پیشنهاد می‌گردد در مناطق دیگر کشور تهیه شده و در کنار نقشه‌های پایه در مدیریت منابع آب سطحی مورد استفاده قرار گیرند.

## منابع

علیزاده، ا.، ۱۳۸۴. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی

متکان، ع.، ۱۳۸۹. تهیه نقشه ضریب رواناب پتانسیل و ظرفیت چالابی حوزه آبخیز با استفاده از مدل WetSpa در محیط GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز مرک، استان کرمانشاه). اولین کنفرانس بین‌المللی مدلسازی گیاه، آب، خاک و هوا. مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۳ و ۲۴ آبان ۱۳۸۹. کرمان

نجفی، م.، ۱۳۸۱. سیستم‌های هیدرولوژیکی مدلسازی بارندگی - رواناب. انتشارات دانشگاه تهران. موسسه انتشارات و چاپ، ۱۳۸۱

- Bahreman, A., 2006. Simulating the effects of reforestation on floods using spatially distributed hydrologic modeling and GIS. PhD thesis of Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrijeuniversiteit Brussel, Brussels, Belgium. 150
- Dovonce, E., 2000. A physically based distributed hydrologic model, MSc Thesis, the Pennsylvania State University.
- Jetten. V. G., 2002. LISEM: Limburg Soil Erosion Model user manual. University of Utrecht. 64p.
- Kabir A, Bahreman A, Mahdavi M, Noora N (2011). Application of a geographical information system (GIS) based hydrological model for flow prediction in Gorganrood river basin, Iran. Afr. J. Agric Res., 6(1): 35-45.
- Liu, Y. B., De Smedt, F., 2004. WetSpa Extension, A GIS-based hydrologic model for flood prediction and watershed management, Documentation and User Manual, Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrijeuniversiteit Brussel, Brussels, Belgium.