

## شناسایی مکان‌های دارای پتانسیل استحصال آب باران حوضه آبخیز سراب صیدعلی الشتر با استفاده از دو روش NRCS- CN و سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS) مبتنی بر GIS

پروین نورمحمدی<sup>۱</sup>، علی حقی‌زاده<sup>۲\*</sup>، ناصر طهماسبی‌پور<sup>۳</sup>، حسین زینی‌وند<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان

۲، ۳ و ۴. استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۴/۲۲؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۰۷/۲۲)

### چکیده

جمع‌آوری رواناب برای به حداقل رساندن تلفات و تقویت ذخایر آبی در حوضه‌های آبخیز استفاده می‌شود. کشورهایی که مانند برخی مناطق ایران کمبود آب دارند، با توزیع نامناسب بارندگی مواجه‌اند. با گسترش مصرف منابع آبی، استفاده اصولی از رواناب به دست آمده از بارش می‌تواند در جهت رفع مشکل کمبود آب مؤثر واقع شود. به منظور برآورد رواناب در حوضه‌های آبخیز روش‌های تجربی و مدل‌های ریاضی مختلفی وجود دارد. یکی از این مدل‌ها، مدل شماره منحنی (NRCS - CN) است که در تحقیق حاضر اساس تولید نقشه ارتفاع رواناب است. هدف از این تحقیق شناسایی مناطق دارای پتانسیل جمع‌آوری آب باران (برای تغذیه مصنوعی آبخوان به روش حوضچه تغذیه و ذخیره سطحی به روش بانکت‌بندی و تراس‌بندی) در حوضه آبخیز سراب صیدعلی به روش (NRCS - CN) و DSS است. به این صورت که در محیط نرم‌افزار GIS بعد از تهیه نقشه رواناب، از ۶ لایه اطلاعاتی دیگر شامل زمین‌شناسی، گسل، تراکم آبراهه‌ها، کاربری اراضی، بافت خاک و شیب و از ۲ روش If و WOA به منظور وزن‌دهی، رتبه‌دهی و تلفیق ۷ لایه موجود استفاده شد و از بین نقشه‌های نهایی به دست آمده از دو روش یادشده، نقشه‌های با صحت بیشتر انتخاب و با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی - اجتماعی با ۳ نقشه فاصله از اراضی آبی، اراضی دیم و مناطق مسکونی در قالب سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS) تلفیق شدند و نقشه‌های نهایی با عنوان نقشه مناطق مستعد تغذیه مصنوعی و نقشه مناطق مستعد ذخیره سطحی آب باران به دست آمد.

**کلیدواژگان:** استحصال آب باران، حوضه آبخیز سراب صیدعلی، (NRCS- CN)، (DSS)، GIS.

## مقدمه

استفاده و بهره‌برداری از رواناب ناشی از باران در بسیاری از نقاط جهان به صورت سنتی، به‌ویژه در مناطقی که ریزش‌های جوی به‌تنهایی برای زراعت کافی نیست، متداول بوده است. در روش‌های سنتی، هدف اصلی بهره‌برداری از رواناب‌ها و سیلاب‌ها، افزایش رطوبت خاک برای تأمین آب مورد نیاز بوده است. در مناطق خشک مانند سطح عظیمی از کشور ما، انسان همیشه با کمبود آب مواجه بوده و است. در این مناطق امکان افزایش آب قابل استفاده بسیار محدود است. از این رو، برای مبارزه با کمبود آب، باید با مدیریتی صحیح، به حفاظت و بهره‌برداری بهینه از آن بیشتر توجه داشت. جمع‌آوری آب باران و رواناب از جمله اقداماتی است که به‌ویژه در بهره‌برداری صحیح از آب‌های موجود در مناطق خشک می‌تواند مؤثر واقع شود. درون یک حوضه آبخیز رواناب به‌دست‌آمده از رگبارها، یک منبع پتانسیل آب است که در صورت مدیریت درست، می‌تواند به‌عنوان مکملی برای رفع نیازهای آبی استفاده شود. به این ترتیب جمع‌آوری رواناب انتخابی مناسب برای جمع‌آوری و ذخیره آب‌های سطحی برای مصارف است [۱۵]. جمع‌آوری رواناب بسته به نوع تشکیل آن، سدهای زراعی کوچک، مخازن ذخیره آب و یا سیستم‌های تغذیه آب‌های زیرزمینی، انواع بندهای اصلاحی و نوارهای مرزبندی‌شده (موانعی که آب را در مزرعه متوقف می‌کنند) را شامل می‌شوند [۱۶]. یکی از مراحل مهم و ضروری به‌کارگیری سیستم‌های جمع‌آوری آب باران، مکان‌یابی و شناسایی محل‌های مناسب برای اجرای این تکنولوژی است. با شناسایی محل‌های مناسب برای این منظور، صرفه‌جویی فراوانی در زمان و هزینه صورت می‌گیرد. از جمله روش‌هایی که با فراهم‌شدن امکان دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای و کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌تواند در محاسبه رواناب ناشی از یک بارش معین به کار رود، مدل‌های هیدرولوژیک است. این مدل‌ها می‌توانند با لحاظ توزیع مکانی خصوصیات بارش و حوضه آبخیز، برآوردهای قابل قبولی فراهم کنند [۱۷]. یکی از روش‌های موجود در این زمینه روش  $^1(SCS - CN)$  است که توسط سرویس حفاظت خاک آمریکا ارائه شده است و امروزه به سرویس حفاظت منابع طبیعی  $^2(NRCS - CN)$

تغییر نام داده است. با استفاده از نرم‌افزار GIS می‌توان از روی نقشه‌های کاربری اراضی، پوشش گیاهی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک مقادیر CN را برای حوضه آبخیز تعیین کرد. ضرورت آگاهی از وضعیت منابع و نزولات جوی در حوضه‌های آبخیز مختلف برای ایجاد طرح‌های آبی از یک سو و وجودنداشتن شبکه قابل قبولی از ایستگاه‌های اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی و آب‌شناسی، اهمیت استفاده از روش‌های غیرمستقیم و تجربی برای محاسبه حجم رواناب در حوضه‌های آبخیز را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

## پیشینه پژوهش

مطالعات مختلفی در زمینه جمع‌آوری آب باران صورت گرفته است از جمله: سلوام و همکارانش [۱۸] از کاربرد GIS و سنجش‌ازدور و با استفاده از تکنیک  $IF^3$  به‌منظور شناسایی مکان‌های دارای پتانسیل تغذیه مصنوعی در هند استفاده کردند. سنایاک و همکارانش [۱۹] برای مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در سریلانکا از GIS و سنجش‌ازدور استفاده کردند. کالیراج و همکارانش [۲۰] با استفاده از شاخص همپوشانی وزنی (WOA)<sup>۴</sup> به ارزیابی پارامترهای محیطی مانند خاک، شیب، کاربری اراضی، تراکم زهکشی، زمین‌شناسی و بارندگی به‌منظور شناسایی مکان‌های مناسب و پیشنهاد سازه‌های مناسب به‌منظور تغذیه مصنوعی در هند پرداختند. پاتیل و همکارانش [۲۱] برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل تغذیه مصنوعی در یک حوضه آبخیز در هند از GIS و سنجش‌ازدور استفاده کردند. والیامای و همکارانش [۲۲] به‌منظور انتخاب مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی در هند از سنجش‌ازدور و GIS استفاده کردند. اکبرپور و همکارانش [۱] روش‌های مکان‌یابی مناطق مستعد جمع‌آوری باران به کمک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS) مبتنی بر GIS را مقایسه کردند. نظریان و همکارانش [۲] با کاربرد مدل شماره منحنی (CN) به ارزیابی مکانی پتانسیل جمع‌آوری آب‌های سطحی در سیستم آبخیز آق‌امام استان گلستان پرداختند. حسین‌زاده [۳] برای برآورد ارتفاع و دبی اوج رواناب در وقوع فرسایش آبراه‌های از روش شماره منحنی (CN) استفاده کردند. پناهی و همکارانش [۴] مدل شماره منحنی (CN) را در تخمین رواناب حوضه آبخیز مادرسو در

3. Influencing Factor  
4. weighted overlay analysis

1. Conservation Service-Curve NumberSoil  
2. Natural Resources Conservation Service-Curve Number

به روش حوضچه‌های تغذیه و تکنیک GIS در حوضه آبخیز گاو‌بندی پرداخته‌اند و بهترین مکان برای تغذیه مصنوعی را مخروط‌افکنه‌ها و دشت‌سرها معرفی کرده‌اند؛ بنابراین هدف این تحقیق شناسایی مناطق دارای پتانسیل جمع‌آوری آب باران (به دو صورت تغذیه مصنوعی با حوضچه تغذیه و ذخیره سطحی با استفاده از بانکت و تراس‌بندی) در حوضه آبخیز سراب صیدعلی با در نظر گرفتن شرایط مکانی، هیدرولوژیکی و اقتصادی - اجتماعی بر پایه روش‌های (NRCS - CN) سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS) است.

### مواد و روش‌ها

حوضه آبخیز سراب صیدعلی در شهر الشتر واقع در شمال استان لرستان قرار دارد. مختصات جغرافیایی این حوضه ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی است؛ و ایستگاه سراب صیدعلی خروجی این حوضه محسوب می‌شود. در شکل ۱ موقعیت حوضه سراب صیدعلی در ایران، استان و شهرستان نشان داده شده است.

داده‌های مورد نیاز برای مکان‌یابی مناطق دارای پتانسیل تولید رواناب و مناسب برای جمع‌آوری رواناب در نرم‌افزار GIS پردازش شد. این داده‌ها شامل لایه رواناب، زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، تراکم آبراهه، تراکم گسل و خاک است. برای تهیه نقشه پتانسیل رواناب ابتدا با استفاده از نقشه کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک که شامل بافت ماسه، ماسه لومی، رسی سیلتی و لومی رسی سیلتی است و در ۳ گروه A، B و C جای می‌گیرد نقشه شماره منحنی (CN) ساخته شد (شکل ۲)؛ سپس با استفاده از رابطه ۱ نقشه نگاه‌داشت سطحی (S) برحسب میلی‌متر تهیه شد (شکل ۳) و در ادامه با استفاده از رابطه ۲ نقشه ارتفاع رواناب با استفاده از نقشه‌های بارندگی و نگاه‌داشت (S) برحسب میلی‌متر ساخته شد (شکل ۴). برای تهیه نقشه بارندگی از میانگین بارندگی ۲۰ ساله ایستگاه‌های منطقه (ایستگاه کهمان، سراب صیدعلی، ونایی، کاکارضا) استفاده و به روش IDW<sup>۱</sup> در محیط GIS پهنه‌بندی شد؛ سپس نقشه رواناب به همراه سایر نقشه‌ها به روش IF و WOA وارد مرحله رتبه‌دهی و وزن‌دهی شدند و از هریک از روش‌های یادشده به صورت

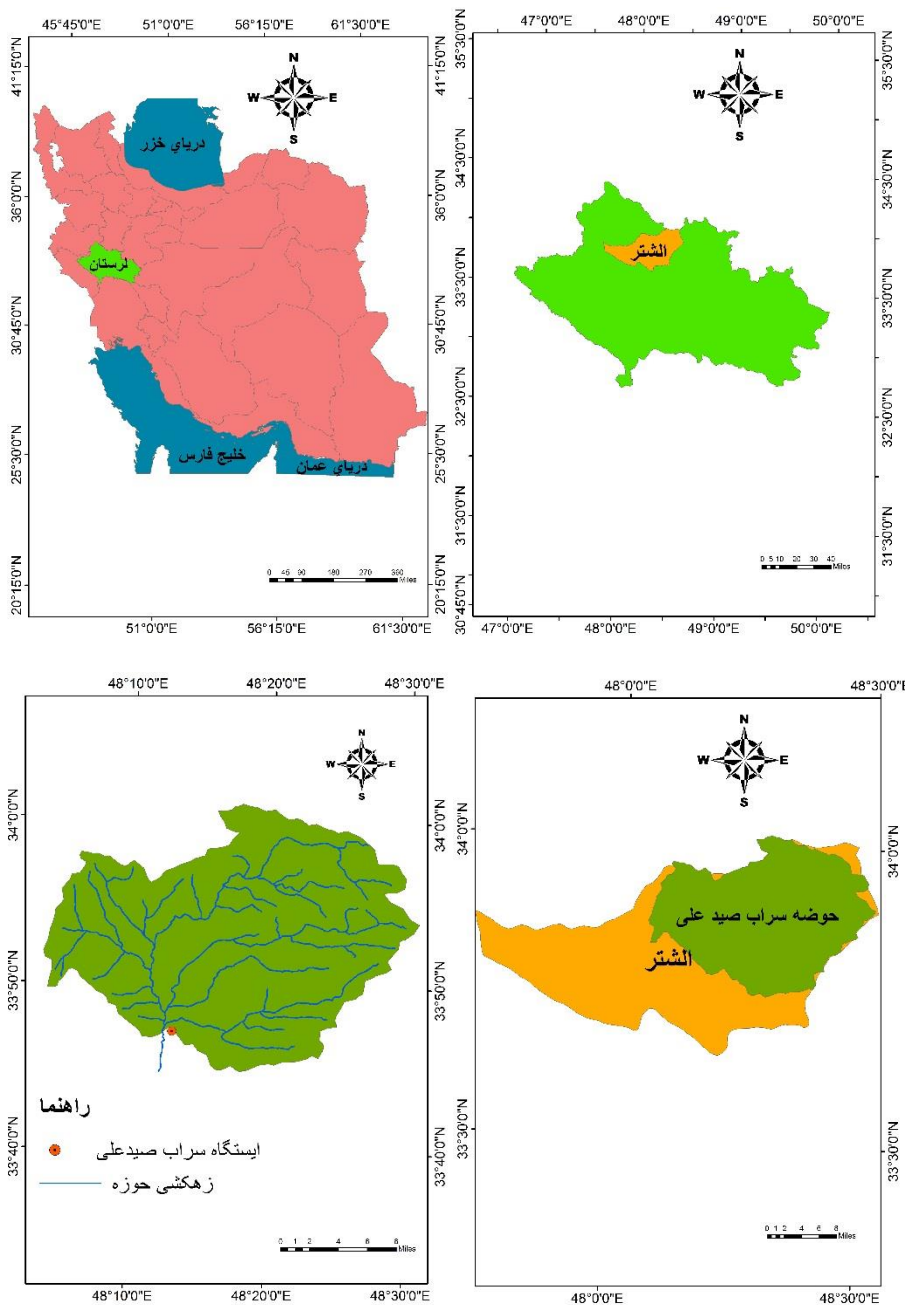
استان گلستان با استفاده از GIS به‌کار بردند. ثروتی و همکارانش [۵] روش CN را در امکان‌سنجی وقوع سیل در حوضه آبخیز لیلان‌چای (مراغه) استفاده کردند. ویراشینگ و همکارانش [۲۳] از مدل (SCS - CN) برای تشخیص محل جمع‌آوری و ذخیره آب برای حوضه‌ای در آلمان استفاده کردند. ابراهیمیان و همکارانش [۲۴] از روش (NRCS - CN) برای تخمین رواناب در حوضه آبخیز کوهستانی استفاده کردند. عشقی‌زاده و همکارانش [۶] به ارزیابی مکانی مناطق مناسب جمع‌آوری رواناب پتانسیل در سیستم حوضه آبخیز گناباد با کاربرد نقشه رواناب و نقشه فاصله از اراضی کشاورزی و فاصله از قنات پرداختند. رامشت عامری [۷] برای پهنه‌بندی حوضه آبخیز بیاضیه به‌منظور تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی از روش AHP و تکنیک GIS استفاده کرد. موسوی و همکارانش [۸] پتانسیل‌یابی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در محدوده تاقدیس کمستان را با تلفیق سنجش‌از‌دور و GIS مطالعه کردند و سازندهای شکسته‌شده، آبرفت‌ها و کانال‌های رودخانه‌ای را مناسب‌ترین مکان برای تغذیه مصنوعی معرفی کردند. موسوی و همکارانش [۹] با استفاده از روش‌های سنجش‌از‌دور و GIS به مطالعه مناطق مناسب برای تغذیه آب زیرزمینی در جنوب دشت ایذه واقع در جنوب غرب ایران پرداختند و نتایج کار آنها نشان داد مناطق دارای شکستگی در آهک‌ها بیشترین پتانسیل را دارند و سازندها متشکل از مواد دانه‌ریز هستند و نفوذپذیری کم دارند و نیز مناطق فاقد شکستگی دارای کمترین پتانسیل تغذیه هستند. راما کریشنان و همکارانش [۲۵] از روش (SCS - CN) - برای پتانسیل‌یابی مناطق مستعد استحصال آب استفاده کردند. شبان و همکارانش [۲۹] نقشه پتانسیل منطقه Occidental در لبنان را استخراج کردند و فهمیدند که مناطق سخت، دارای شکستگی و آهک‌های کارستی‌شده، مناطق عالی برای تغذیه آب زیرزمینی هستند درحالی‌که کمترین پتانسیل تغذیه در مناطق شلوغ مسکونی و مناطق نسبتاً مسطح پوشیده‌شده به‌وسیله مواد نرم دیده می‌شود. مهدوی و همکارانش [۱۰] مکان‌یابی محل مناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی را برای تغذیه مصنوعی را از طریق GIS و RS را در حوضه آبخیز شهرضا بررسی کردند و ابزار یادشده را برای این مهم کارآمد معرفی کرده‌اند. نوری و همکارانش [۱۱] به بررسی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی

1. Inverse Distance Method

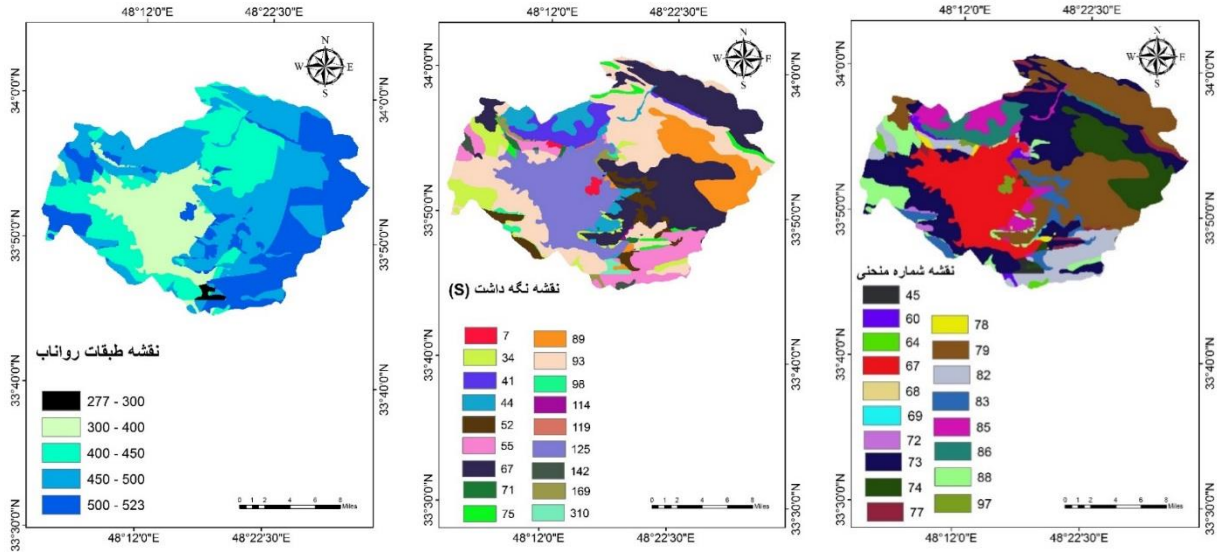
$$S_i = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (1)$$

$$Q = \frac{(P_i - 0 / 2S_i)^2}{(P_i + 0 / 8S_i)} \quad (2)$$

مجزا نقشه مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آبخوان و مکان‌یابی ذخیره سطحی آب باران تهیه شد. شرایط کلی مکانی برای احداث حوضچه نفوذ و بانکت و تراس‌بندی در جدول‌های ۱ و ۲ یاد شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده



شکل ۴. نقشه ارتفاع رواناب (میلی‌متر)

شکل ۳. نقشه (S) (میلی‌متر)

شکل ۲. نقشه (CN) (میلی‌متر)

جدول ۱. شرایط مناسب برای احداث حوضچه نفوذ برای تغذیه مصنوعی آبخوان [۱۹]

منافع	تراکم زهکشی و غسل	کاربری (به ترتیب)	توپوگرافی	زمین‌شناسی	نوع خاک	نفوذ	شیب (%)
تغذیه آبخوان، آبیاری محدود، حیوانات اهلی، زیستگاه‌های طبیعی	بالا	مراعت، بوته‌زار، اراضی دیم، اراضی آبی، جنگل	دشت هموار با شیب ملایم	سازندهای آهکی، آبرفتی و نفوذپذیر	آبرفتی، شنی، ماسه‌ای، ماسه لومی	بالا	۱۰ >

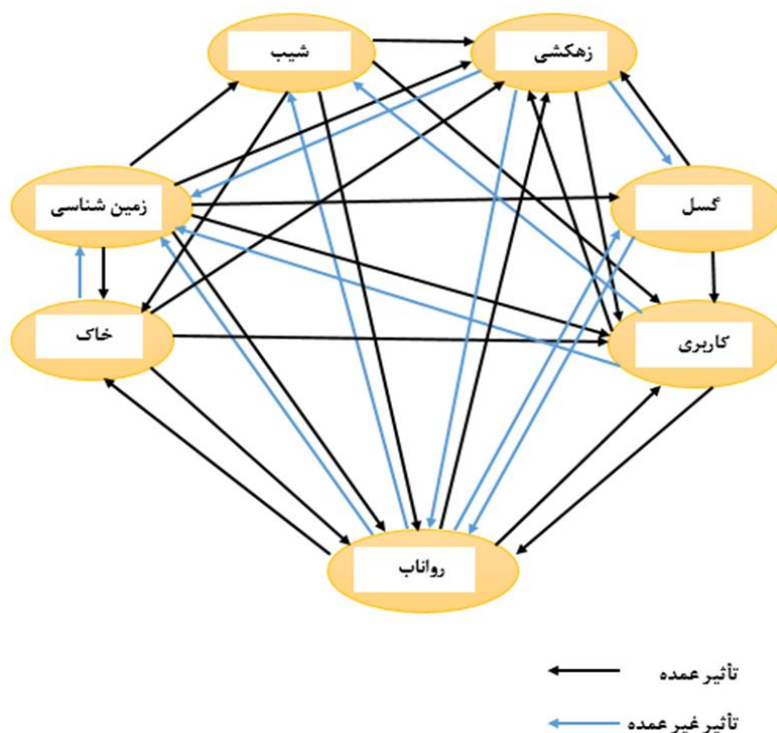
جدول ۲. شرایط مناسب برای احداث بانکت و تراس‌بندی برای ذخیره سطحی آب [۱۲]

منافع	تراکم زهکشی و غسل	کاربری (به ترتیب)	توپوگرافی	زمین‌شناسی	نوع خاک	نفوذ	شیب (%)
حفظ آب در خاک و حفاظت آب‌وخاک، کنترل فرسایش و سیل، احداث درختان یا کاشت علوفه	کم	مراعت ضعیف، جنگل ضعیف، بیشه‌زار و بوته‌زار، مراعت متوسط و جنگل متوسط	دامنه‌های شیب‌دار	سازندهای آهکی، نفوذپذیر و مستعد فرسایش سطحی	رسی و مارنی خالص نباشد	کم	۱۰ < < ۷۰

هر تأثیر عمده بر لایه دیگر امتیاز ۲ و به‌ازای هر تأثیر غیرعمده امتیاز ۱ می‌گیرد و درنهایت امتیازها با هم جمع و رتبه لایه مشخص می‌شود (جدول ۳).

**روش IF**

در روش IF رتبه اختصاص داده‌شده به هر لایه با توجه به تأثیرات عمده و غیرعمده هر لایه بر لایه‌های دیگر رقمی از ۱ تا ۱۰ است (شکل ۵). به این صورت که یک‌لایه به‌ازای



شکل ۵. تأثیرات متقابل پارامترها بر هم در خصوص استحصال آب باران [۱۷]

جدول ۳. محاسبه رتبه برای پارامترها در روش IF [۱۷]

پارامتر تأثیر عمده (A) تأثیر غیر عمده (B) حاصل جمع رتبه اختصاصی
رواناب ۶۹+۱۳+۱+۲۱+۲+۲
تراکم گسل ۴۵+۲۱۱+۲
کاربری اراضی ۴۷+۱۳+۱+۲۱+۲
زمین شناسی ۱۲۱۲+۲۰۰+۲+۲+۲+۲
زهکشی ۲۵+۱۳+۱+۲۱
شیب ۸۸+۲۰۰+۲+۲+۲
خاک ۶۷+۱۱۲+۲+۲

همپوشانی شدند و نقشه نهایی پتانسیل تغذیه مصنوعی تهیه شد. سپس همین مراحل برای تهیه نقشه نهایی ذخیره سطحی نیز تکرار شد.

پس از تعیین رتبه، نقشه‌ها در محیط GIS طبقه‌بندی شدند و به هر طبقه متناسب با میزان تأثیر در تغذیه آبخوان وزنی بین ۱ تا ۱۰ اختصاص داده شد؛ و در پنجره Raster calculator در محیط GIS طبق رابطه ۳ نقشه‌ها

$$\text{Final map} = (R_w * R_c) + (D_w * D_c) + (L_w * L_c) + (G_w * G_c) + (Li_w * Li_c) + (SO_w * SO_c) + (S_w * S_c) \quad (3)$$

وزن‌دهی شده تراکم گسل و  $Li_c$  رتبه نقشه تراکم گسل،  $SO_w$  نقشه وزن‌دهی شده خاک و  $SO_c$  رتبه نقشه خاک،  $S_w$  نقشه وزن‌دهی شده شیب و  $S_c$  رتبه نقشه شیب است. در نهایت نتیجه روش IF تولید دو نقشه تغذیه مصنوعی آبخوان و نقشه ذخیره سطحی آب باران بود.

که در آن  $R_w$  نقشه وزن‌دهی شده رواناب و  $R_c$  رتبه نقشه تراکم زهکشی،  $D_w$  نقشه وزن‌دهی شده تراکم زهکشی و  $D_c$  رتبه نقشه تراکم زهکشی،  $L_w$  نقشه وزن‌دهی شده کاربری اراضی و  $L_c$  رتبه نقشه کاربری اراضی،  $G_w$  نقشه وزن‌دهی شده زمین شناسی و  $G_c$  رتبه نقشه زمین شناسی،  $Li_w$  نقشه

## روش WOA

در روش WOA رتبه اختصاص داده شده به هر لایه با توجه به میزان تأثیر هر لایه در استحصال رواناب رقمی بین ۱۰ تا ۱۵ است (جدول ۴). پس از تعیین رتبه، نقشه‌ها در محیط GIS طبقه‌بندی شدند و به هر طبقه متناسب با میزان تأثیر در تغذیه آبخوان وزنی بین ۱ تا ۱۰ اختصاص داده شد؛ و در پنجره Raster calculator در محیط GIS طبق رابطه ۴ نقشه‌ها همپوشانی شدند و نقشه نهایی پتانسیل تغذیه مصنوعی تهیه شد. سپس طبقه‌بندی، وزن دهی و همپوشانی نقشه‌ها دوباره طبق رابطه ۴ به منظور تهیه نقشه ذخیره سطحی آب باران تکرار شد.

## روش DSS

این الگو برای مدیریت منابع آب به خصوص در حوضه آبریز و مدیریت مخازن ذخیره آب بسیار کارآمد است. ترکیب آن با GIS در ۳ مرحله توانایی تشخیص مکان‌های مناسب برای

جمع‌آوری آب باران را دارد. الف) ورود داده‌ها و پیش‌پردازی آنها؛ ب) پردازش اصلی داده‌ها؛ ج) نمایش نقاط مستعد جمع‌آوری آب باران [۲۶]. به منظور دخیل کردن شرایط اقتصادی و اجتماعی در تصمیم‌گیری فاکتور فاصله از مناطق مسکونی و کشاورزی نیز در نظر گرفته می‌شود که در قالب نقشه‌های فاصله و به کمک قابلیت‌های GIS تهیه می‌شوند. پس از طی مراحل یادشده، مرحله پردازش اصلی آغاز می‌شود که مهم‌ترین مؤلفه DSS است [۱]. نقشه تغذیه مصنوعی و ذخیره سطحی آب باران نهایی (پس از صحت‌سنجی و انتخاب روش مناسب‌تر از بین دو روش) همراه با نقشه‌های فاصله از مناطق مسکونی، اراضی دیم و اراضی آبی پس از کلاس‌بندی و دریافت وزن با یکدیگر ترکیب می‌شود و نقشه‌های نهایی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران (نفوذ و ذخیره سطحی) به دست می‌آید. رتبه هر نقشه و وزن طبقات در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است.

$$WOA = (R_w * R_c) + (D_w * D_c) + (L_w * L_c) + (G_w * G_c) + (Li_w * Li_c) + (SO_w * SO_c) + (S_w * S_c) \quad (4)$$

جدول ۴. رتبه اختصاص داده شده به لایه‌ها در روش WOA [۱۸]

رتبه اختصاص داده شده	لایه‌های استفاده شده
۱۵	رواناب
۱۵	زمین‌شناسی
۱۴	یافت خاک
۱۳	تراکم گسل
۱۱	شیب
۱۰	کاربری اراضی
۱۰	تراکم آبراهه

جدول ۵. رتبه نقشه‌ها در سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری [۱]

فاکتورها	تغذیه مصنوعی، ذخیره سطحی	فاصله از مناطق مسکونی	فاصله از کشت دیم	فاصله از کشت آبی
رتبه	۴	۲	۲	۲

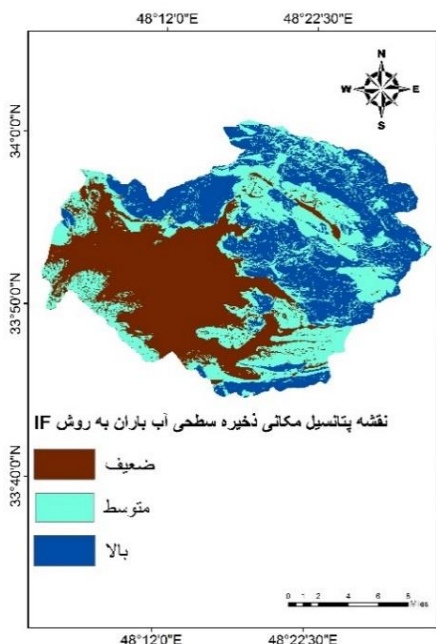
جدول ۶. وزن دهی طبقات مختلف در سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری [۱]

نقشه وزن	۱	۲	۳	۴
تغذیه مصنوعی، ذخیره سطحی	پتانسیل ضعیف	-	پتانسیل متوسط	پتانسیل بالا
فاصله از مناطق مسکونی (متر)	۰ - ۵۰۰	۵۰۰ - ۱۰۰۰	۱۰۰۰ - ۲۰۰۰	۲۰۰۰ - ۵۰۰۰
فاصله از کشت دیم (متر)	۵۰۰۰ <	۲۰۰۰ - ۵۰۰۰	۱۰۰۰ - ۲۰۰۰	۰ - ۵۰۰
فاصله از کشت آبی (متر)	۵۰۰۰ <	۲۰۰۰ - ۵۰۰۰	۵۰۰ - ۱۰۰۰	۰ - ۵۰۰

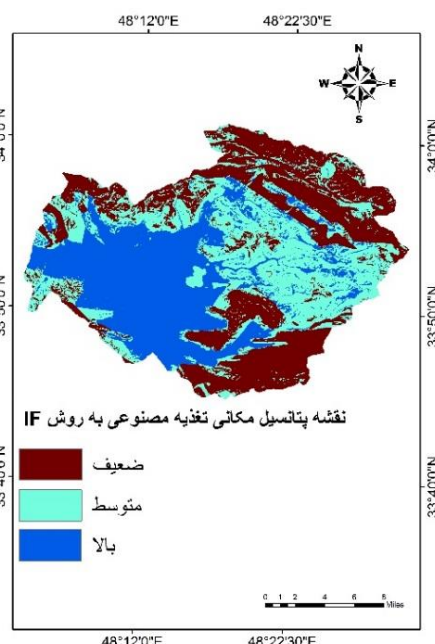
**یافته‌ها و نتایج**

پس از اختصاص رتبه به ۷ لایه یادشده و وزن به طبقات مختلف هر نقشه در روش‌های IF و WOA، طبق فرمول‌های یادشده نقشه‌ها با هم تلفیق شدند و نقشه‌های نهایی تغذیه

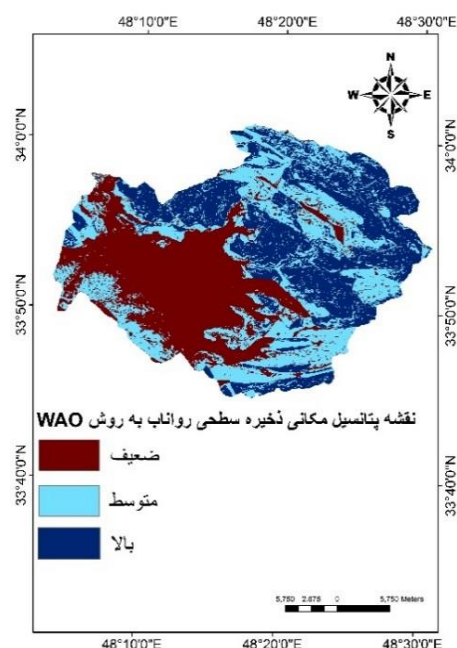
مصنوعی و ذخیره سطحی برای هر یک از روش‌ها به‌طور مجزا تهیه شد که در شکل‌های ۶-۹ قابل مشاهده است. سپس به‌منظور انتخاب روش با صحت بیشتر از بین ۲ روش یادشده، نقشه‌ها وارد مرحله صحت‌سنجی شدند.



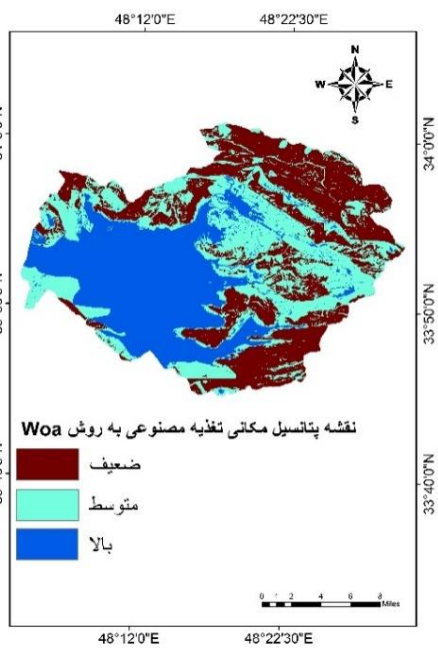
شکل ۷. نقشه مکان‌یابی ذخیره سطحی به روش IF



شکل ۶. نقشه مکان‌یابی تغذیه مصنوعی به روش IF



شکل ۹. نقشه مکان‌یابی ذخیره سطحی به روش WAO



شکل ۸. نقشه مکان‌یابی تغذیه مصنوعی به روش WOA



## صحت‌سنجی

بررسی صحت نتایج و انتخاب روش مناسب‌تر از بین دو روش یادشده از چند راه به شرح زیر صورت گرفت:

۱. اضافه کردن موقعیت چشمه‌های موجود در منطقه به نقشه‌های نهایی (شکل ۱۰).

۲. استفاده از نقشه منطقه ورودی آب زیرزمینی حوضه سراب صیدعلی که با استفاده از اندازه‌گیری رقوم سطح آب در فواصل زمانی معین در تعداد ۲۲ حلقه چاه مشاهده‌ای در دوره‌های ماکزیمم و مینیمم (سال ۱۳۸۱-۱۳۸۲) توسط مهندسان اداره آب منطقه‌ای تهیه شده است (در شکل ۱۰ نقشه منطقه ورودی آب زیرزمینی به‌طور نمونه به نقشه تغذیه مصنوعی روش IF اضافه شده است که با طبقه با پتانسیل بالای تغذیه مصنوعی و پتانسیل ضعیف ذخیره سطحی تطابق دارد).

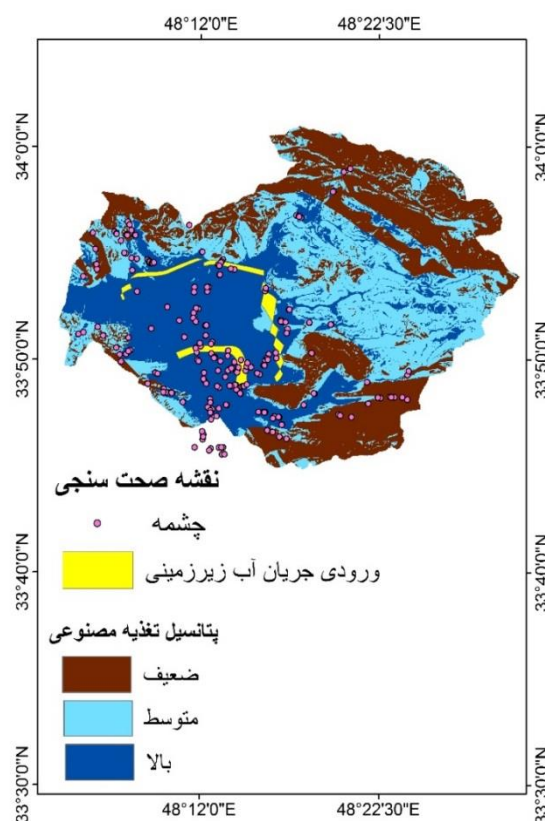
سطحی رواناب در نقشه‌ها منطبق هستند و صحت نقشه‌های به‌دست‌آمده از ۲ روش را تأیید می‌کنند.

۳. استفاده از گزارش‌های هیدروژئولوژیکی اداره آب منطقه‌ای و تطبیق آن با نقشه‌های موجود که به شرح زیر است و صحت هر ۲ روش را تأیید می‌کند.

«با استفاده از اندازه‌گیری سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای در دوره‌های ماکزیمم و مینیمم و همچنین با استفاده از ارتفاع نقطه نشانه چاه‌های مشاهده‌ای نسبت به محاسبه ارتفاع مطلق سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای دشت و با پیاده‌کردن این ارقام روی نقشه نسبت به ترسیم منحنی‌های تراز آب زیرزمینی دشت، از طریق درون‌یابی نقاط و مثلث‌بندی اقدام شده است.

همان‌طور که می‌دانیم نقشه‌های تراز آب زیرزمینی حاوی اطلاعات هیدروژئولوژیکی فراوانی بوده است که از آن جمله خطوط جریان آب‌های زیرزمینی از طریق عمود بر منحنی‌های ایزوپیز ترسیمی به‌دست می‌آیند.

بدیهی است از نقشه‌های یادشده علاوه بر کلیه اطلاعات هیدروژئولوژیکی و هیدرودینامیکی نظیر تعیین جهت‌های جریان، مشخص شدن مناطق مختلف تغذیه و تخلیه زیرزمینی، تعیین شیب یا گرادیان هیدرولیک آب‌های زیرزمینی استفاده کرد. مثلاً (در قسمت شمال و شمال شرقی دشت نزدیک‌تر شدن فاصله منحنی‌ها نسبت به یکدیگر بیانگر زیادبودن شیب سطح آب و یا گرادیان هیدرولیک است و این امر بیانگر آن است که سازندهای حاشیه در این نقاط آبخوان زیرزمینی را تغذیه می‌کند و به‌عکس در قسمت غربی و جنوب غربی دشت منحنی‌ها نسبت به یکدیگر فاصله بیشتری می‌گیرند که دلیل بر کمتربودن مقدار شیب یا گرادیان هیدرولیک در این قسمت‌های دشت است). همان‌طور که اشاره شده سازندهای آهکی در شمال و شمال شرقی دشت به‌علت کارستی‌بودن در تغذیه آبرفت دشت‌الشرر سهم به‌سزایی دارند و به‌عکس حاشیه‌هایی که از جنس کنگلومرایی هستند نقش کمتری در تغذیه دشت خواهند داشت. شایان یادآوری است که با توجه به منحنی‌های تراز و جهت‌های جریان ملاحظه می‌شود که سازندهای سخت مشرف به دشت به‌خصوص در شمال و شمال شرقی و شرق دشت در تغذیه آبرفت مشارکت دارند و بدین ترتیب رابطه هیدرولیکی بین دو آبخوان آبرفتی و آبخوان کارستی (آهکی) برقرار و آهک‌های اطراف دشت آبرفت را تغذیه می‌کنند.»



شکل ۱۰. نقشه صحت‌سنجی با موقعیت چشمه‌ها و منطقه ورودی آب زیرزمینی

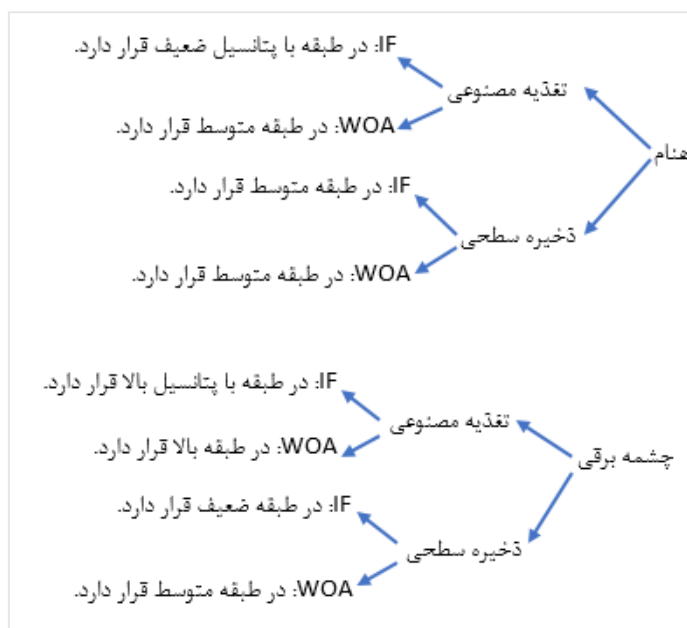
موارد ۱ و ۲ مناطق با نفوذ بیشتر و مستعد تغذیه مصنوعی را نشان می‌دهند که با طبقات دارای پتانسیل بالای تغذیه مصنوعی و طبقات با پتانسیل ضعیف ذخیره

با کاهش EC همراه است که این نشان‌دهنده پاسخ سریع هیدرودینامیکی چشمه یادشده به تغذیه است، زیرا اختلاط آب سطحی با آب زیرزمینی، در فاصله زمانی کوتاه، سبب می‌شود میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی کاهش یابد؛ اما تغییرات دبی در برابر چشمه هنگام تدریجی است و هیچ افت‌وخیز خاصی ندارد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). تحلیل این نتایج و مشاهده موقعیت چشمه‌ها در شکل ۱۱ بیانگر صحت بیشتر روش IF نسبت به WOA است.

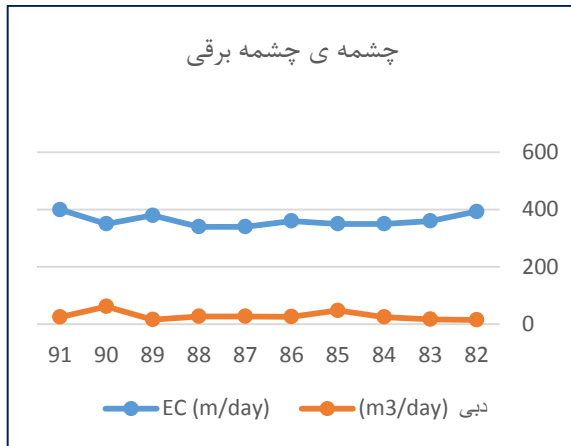
علاوه بر موارد یادشده برای بررسی صحت نتایج نقشه تغذیه مصنوعی به‌دست‌آمده از روش IF منطقه شهری را در طبقه با پتانسیل متوسط از نظر تغذیه مصنوعی قرار داده ولی در روش WOA منطقه شهری در طبقه با پتانسیل بالا از نظر تغذیه مصنوعی قرار دارد درحالی‌که شهر از نظر نفوذ و تغذیه نمی‌تواند پتانسیل بالا داشته باشد.

پس از انتخاب روش IF به‌منزله روش مناسب‌تر، دو نقشه نهایی تغذیه مصنوعی و ذخیره سطحی این روش وارد سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS) شدند و با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی - اجتماعی، با نقشه‌های فاصله از مناطق مسکونی، اراضی دیم و آبی ترکیب شدند و نقشه‌های نهایی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران (نفوذ و ذخیره سطحی) تهیه شد (شکل‌های ۱۴ و ۱۵).

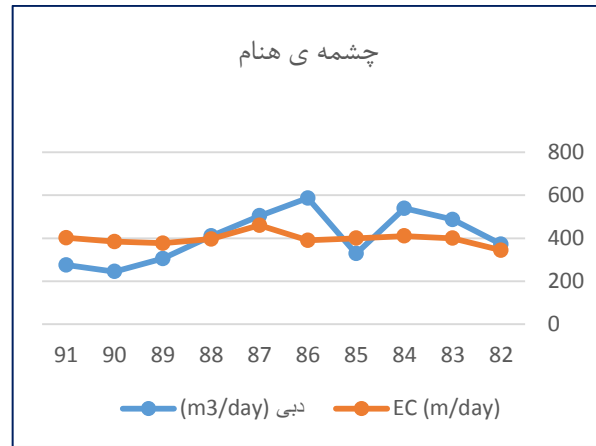
۴. استفاده از نسبت بین EC (هدایت الکتریکی) و دبی: از بین چشمه‌های موجود در منطقه موقعیت تعدادی از آنها که EC و دبی ثبت‌شده دارند به نقشه‌های حاصل افزوده و مشاهده شد که همه آنها به‌جز چشمه‌های هنام و چشمه برقی (موقعیت چشمه‌های یادشده در نقشه‌های دو روش در شکل ۱۱ نشان داده شده است) در طبقات یکسانی هستند. به بیان دیگر، همه چشمه‌ها در نقشه‌های تغذیه مصنوعی حاصل از دو روش در طبقه با پتانسیل بالا و در نقشه‌های ذخیره سطحی به‌دست‌آمده از روش ۲ در طبقه با پتانسیل ضعیف قرار دارند ولی چشمه‌های یادشده در نقشه‌های ۲ روش در طبقات متفاوتی قرار دارند؛ بنابراین برای صحت‌سنجی نتایج از داده‌های هدایت الکتریکی (EC) در برابر دبی، چشمه‌های هنام و چشمه برقی در سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۱ استفاده شد. از آنجاکه هدایت الکتریکی در هر سال یک یا دو بار اندازه‌گیری و ثبت شده بود، در مقابل EC ثبت‌شده در هر ماه از هر سالی دبی ثبت‌شده در همان زمان را نیز استخراج و مقایسه کردیم. چشمه چشمه برقی در محدوده‌ای از آبخوان دشت الشتر قرار دارد که طبق نتایج دارای نفوذپذیری و تغذیه بالا است و چشمه هنام در منطقه با پتانسیل تغذیه کم قرار دارد. همان‌طور که در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ مشاهده می‌شود افزایش دبی در چشمه چشمه برقی



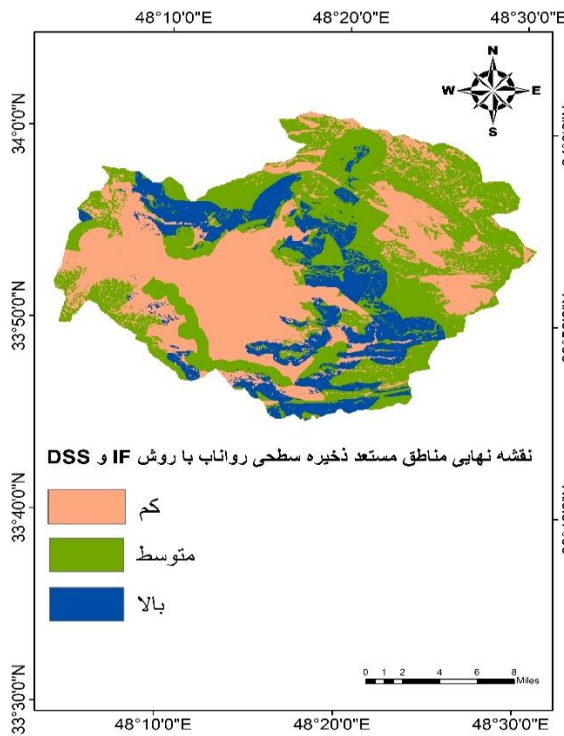
شکل ۱۱. موقعیت چشمه‌های هنام و چشمه برقی در نقشه‌های روش IF و WOA



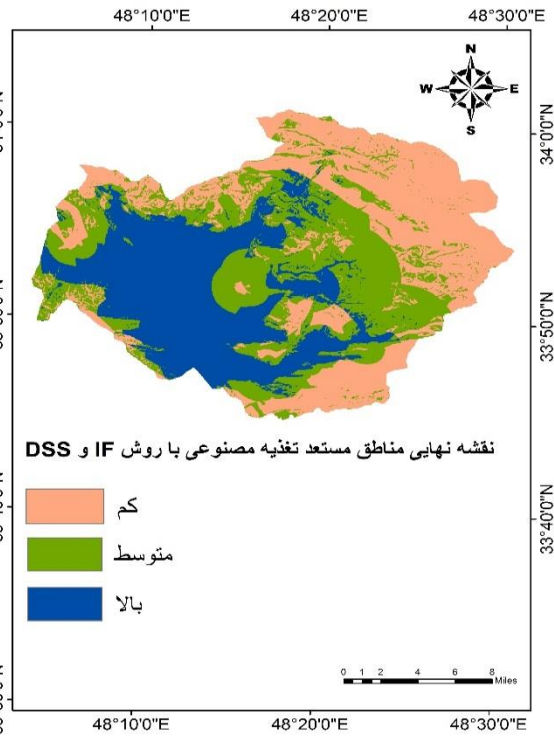
شکل ۱۳. نمودار نسبت EC به DSS در چشمه هنام



شکل ۱۲. نمودار نسبت EC به DSS در چشمه چشمه برقی



شکل ۱۵. نقشه پتانسیل ذخیره سطحی به روش DSS و IF



شکل ۱۴. نقشه پتانسیل تغذیه مصنوعی به روش DSS و IF

مدیریت داده‌های مکانی معرفی می‌کند که می‌تواند در هر مقیاس از سطح حوضه آبخیز استفاده شود و به‌عنوان روشی منطقی برای کمک به تصمیم‌گیری‌ها از طریق شناسایی سطح حوضه، نقشه‌برداری و ارزیابی مکانی، در مطالعات مکان‌یابی استفاده شود. در این پژوهش نقشه‌های مکان‌یابی تغذیه مصنوعی و ذخیره سطحی رواناب با مقایسه روش‌های IF و WOA و با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی اجتماعی در قالب نقشه‌های فاصله از مناطق مسکونی، اراضی آبی و اراضی

### بحث و نتیجه‌گیری

ارائه اطلاعات مکانی از مناطق تولیدکننده رواناب، گامی مهم در به‌کارگیری سیستم‌های جمع‌آوری رواناب درون یک حوضه آبخیز است. از سوی دیگر برای ارزیابی مکانی رواناب به بررسی‌های دقیق محلی با قدرت تفکیک بالا نیاز است که این امر برای مناطق وسیع کاری دشوار و پرهزینه خواهد بود. روش ارائه‌شده در این مطالعه، سیستم اطلاعات جغرافیایی را به‌عنوان ابزاری قدرتمند و مفید برای ترکیب، ذخیره، آنالیز و

تحقیقات انجام شده در خصوص تأثیر مکانی سطوح مؤثر در دبی اوج سیلاب و شاخص مکانی آن توسط روغنی [۱۳] این امکان وجود دارد تا با انتخاب مکان‌های مناسب، میزان اثربخشی سازه‌های کنترلی را تا حد اکثر ممکن ارتقا بخشید. بنابراین، توصیه می‌شود موضوعات منطبق با نتایج این تحقیق به مجموعه مطالعات آبخیزداری اضافه شود و تکمیل مطالعات در زمینه موضوعاتی نظیر مکان‌یابی مناطق مؤثر در اوج سیلاب و به‌بیانی تعیین شاخص مکانی سیل حوضه در تلفیق با مطالعات بهینه‌سازی عملیات سازه‌ای به‌منظور دسترسی به اهداف توسعه در حوضه‌های آبخیز و همچنین کاهش هزینه‌های بخش اجرا بسیار ضروری است.

#### منابع

- [1]. Akbarpoor A, Sadeghi Sh, Foroghifar H, Shahidi A. Comparison of Methods for collecting rain to help locate suitable areas for decision support system(DSS) on GIS. Geography and Development.1394; No(39): 147-164. [Persian].
  - [2]. Nazarian S, Najafinejad A, Tora N. Evaluate the potential spatial collect surface water drainage system of Agh Emam Golestan State. Journal of Soil and Water. agricultural sciences and technology.1392 ; volume 29 ; No 1 ; pages 1-11. [Persian].
  - [3]. Hosseinzadeh M M. Estimated height and peak runoff rate of erosion is occurring in kajor area of north alborz. Journal of Scientific Research. Environmental Erosion Research. second year 1391; No 7 ; pages 1-15. [Persian].
  - [4]. Panahi A, Alijani B, Mohammadi H. Evaluation of Curve Number Model (CN) In estimating runoff in the catchment of Maderso Golestan State with GIS. Quarterly Journal of the Geological Environment. Fifth year 1390 ; No 14. [Persian].
  - [5]. Thervati M, Rostami A, Kh F. Feasibility flooding in watershed of Leilan chai (maragheh) by CN method. Journal of land Scientific - geographical survey. eighth year 1390 ; No 32. [Persian].
  - [6]. Eshghizadeh M, Tora N, Sepehri A. Evaluate the location of suitable sites collect runoff water basin rich in potential (Case study : Gonabad Watershed). Journal of soil and water protection. 1389; seventeenth volume; No 2. [Persian].
  - [7]. Ramesht M H, Arab ameri M R. Biazieh Zoning catchment to ground water Artificial recharge with AHP method and GIS technique. Journal of Geography and Planning. 17 years No 45; pages 69-96. [Persian].
- دیم تهیه شد. مساحت طبقات در نقشه نهایی تغذیه مصنوعی به ترتیب شامل طبقه با پتانسیل کم ۲۷۹/۲، طبقه با پتانسیل متوسط ۲۵۲/۸ و طبقه با پتانسیل بالا ۲۴۲/۴ کیلومتر مربع است و مساحت طبقات در نقشه نهایی ذخیره سطحی آب به ترتیب شامل طبقه با پتانسیل کم ۳۰۰، طبقه با پتانسیل متوسط ۳۳۳/۹ و طبقه با پتانسیل بالا ۱۴۰/۵ کیلومتر مربع است. با توجه به نتایج تحقیق بیشترین پتانسیل برای تغذیه مصنوعی حوضه آبخیز سراب صیدعلی در مرکز دشت با خاک ماسه‌ای، شیب ملایم، سازند آبرفتی و کاربری کشاورزی آبی است و ضعیف‌ترین نقاط در مناطق با ارتفاع زیاد، خاک رسی سیلتی، سازند آهک مارنی و کاربری جنگل با تاج پوشش کم است. احداث حوضچه نفوذ علاوه بر تغذیه مصنوعی آبخوان در بهبود میکروکلیم، آبیاری محدود، بهبود زیستگاه‌های طبیعی، مناظر طبیعی و منافع دیگر نیز مؤثر است. در احداث حوضچه‌های نفوذ مسائل فنی از جمله حجم ذخیره، ارتفاع، سرریز، پی‌ریزی و سایر مسائل فنی لازم است که به‌درستی رعایت شود. شناسایی نقاط با پتانسیل بالای تغذیه از دو جهت قابل بررسی است: نخست، این نقاط می‌توانند مبنایی برای مطالعات مختص به تغذیه مصنوعی باشند. دوم، با توجه به اینکه نقاط تغذیه از نظر آلودگی، آسیب‌پذیرترین مناطق یک آبخوان هستند و پخش آلاینده‌ها در زون‌های تغذیه به‌طور مؤثری سریع‌تر صورت می‌گیرد می‌توان در بحث آسیب‌پذیری آبخوان از آنها کمک گرفت. همچنین بیشترین پتانسیل برای ذخیره سطحی رواناب در حوضه آبخیز سراب صیدعلی در اطراف دشت، به سمت ارتفاعات (شیب بین ۱۰ تا ۷۰ درصد)، خاک رسی سیلتی، سازند آهکی ژوراسیکی و کرتاسه و کاربری مرتع متوسط و فقیر و جنگل متوسط و فقیر است. احداث بانکت و تراس‌بندی سبب حفاظت آب و خاک از طریق حفظ آب در خاک، کنترل سیل و فرسایش و ایجاد محیطی مناسب برای کاشت درخت یا علوفه می‌شود. پیشنهاد می‌شود که با در دست داشتن نتایج گزارش مطالعات صورت‌گرفته در حوضه آبخیز و مقایسه حجم و دبی سیلاب‌ها امکان برآورد حجم مورد نیاز سازه‌های استحصال آب به‌دست آید. به‌کارگیری عملیات مکانیکی و بیولوژیکی در حوضه آبخیز باید حول محور مسائل اقتصادی و اجتماعی حوضه و با در نظر داشتن کلیه روابط موجود در حوضه انجام گیرد. بر این اساس توصیه می‌شود حجم عملیات و گستره آن متناسب با شرایط کلی حوضه صورت گیرد. با توجه به نتایج

- [8]. Mousavi F, Chitsazan M, Mirzaee E, Shaban M, Mohammadi Behzad H. Geomatics Conference and Exhibition 1388. [Persian].
- [9]. Mousavi F, Chitsazan M, Mirzaee E. Determine appropriate zones for groundwater recharge in south of izeh plain by use of GIS Remote sensing technology. Twelfth Congress of Geology of Iran. Ahvaz 1387. [Persian].
- [10]. Mahdavi R, Abedi Kopae J, Rezaee M, Abdolhosseini M. Locate suitable sites for artificial feeding through GIS and RS; National Student Conference of soil and water; Shiraz University 1383. [Persian].
- [11]. Noori B, Ghayomian J, Mohseni Saravi M, Darvish Sefat A A, Feiznia S. Determining appropriate areas for artificial recharge of groundwater by fed ponds method with use of GIS. Iranian Journal of Natural Resources 1383 ; No 3 ; pages 635-647. [Persian].
- [12]. Esmaele A, Abdollahi K H. Watershed management and soil conservation, second edition, 1390. Mohaghegh Ardebili. [Persian].
- [13]. Roghani M. Check the mechanical operation of watershed management in controlling runoff of zayandeh rood; Case study on heidari watershed. Journal of Irrigation & Water Engineering. 1391; No 7. [Persian].
- [14]. Winnaar G. De, Jewitt G P W, Horan M. A GIS-based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Thukela River basin, South Africa. Physics and Chemistry of the Earth. 2007; 32: 1058-1067.
- [15]. Durga Rao K H V, Hari Prasad V, Roy P S. A suitable site, In: Khurana, I. (ed.), Making water everybody's business. Centre for Science and Environment, New Delhi. 2001; Pp: 243-245.
- [16]. Dovonce E. A physically based distributed hydrologic model. Master of Science thesis, the Pennsylvania state university. 2000.
- [17]. Selvam D, Farooq A Dar, Magesh N S, Singaraja C, Venkatramanan S, Chung S Y. Application of remote sensing and GIS for delineating groundwater recharge potential zones of Kovilpatti Municipality, Tamil Nadu using IF technique. Earth Sci Inform. 2015; DOI 10.1007/s12145-015-0242-2.
- [18]. Senanayake I. P., Dissanayake D M D O K, Mayadunna B B, Weerasekera W L. An approach to delineate groundwater recharge potential sites in Ambalantota, Sri Lanka using GIS techniques. Geoscience Frontiers xxx (2015); 1-10.
- [19]. Kaliraj S, Chandrasekar N, Magesh N S. Evaluation of multiple environmental factors for site-specific groundwater recharge structures in the Vaigai River upper basin, Tamil Nadu, India, using GIS-based weighted overlay analysis. Environ Earth Sci (2015); 74:4355-4380.
- [20]. Govind P Sh, Mohite N M. Identification of groundwater recharge potential zones for a watershed using remote sensing and GIS. International journal of geomatics and geosciences. 2014; Volume 4, No 3.
- [21]. Valliammai A, Balathanduytham K, Tamilmani D, Mayilswami, C. Identification of potential recharge zone of the selected watershed using Remote Sensing and GIS. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 8, August-2013; ISSN 2229-5518.
- [22]. Weerasinghe H, Schneider U A, L'ow A. Water harvest- and storage- location assessment model using GIS and remote sensing. 2011; Hydrology and Earth System Sciences Discussions.
- [23]. Ebrahimian M, Ainuddin Nuruddin A, Mohd Soom M A B, Sood A M. Application of NRCS-curve number method for runoff estimation in a mountainous watershed. 2010; Caspian Journal of Environmental Sciences.
- [24]. Ramakrishnan D, Bandyopadhyay A, Kusuma K N. SCS-CN and GIS-based approach for identifying potential water harvesting sites in the Kali Watershed, Mahi River Basin, India. Department of Earth Sciences, Indian Institute of Technology (IIT). 2009; Powai, Mumbai 400 076, India.
- [25]. Shaban A, Khawlie M, Abdallah C. Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zone: the case of Occidental, Lebanon. 2006; J. Hydrogeology 14:433-443.
- [26]. Mbilinyi, B. P., Tumbo, S. D., Mahoo, H. F., Mkiramwinyi, F. O (2007). GIS- based decision support system for identifying potential sites for rainwater harvesting, Physics and Chemistry of the Earth 32. 1074-1081.