

مدل سازی میزان تغذیه آب زیرزمینی آبخوان کارستی دالاهو با استفاده از مدل KARSTLOP

علی دسترنج^۱

مریم جعفری اقدام^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۷/۲۰

چکیده

تغذیه سفره‌های کارستی از نظر مقدار و توزیع مکانی بستگی به عوامل مختلف طبیعی مانند آب‌وهوا، توپوگرافی، پوشش گیاهی، خاک و زمین‌شناسی دارد. انتخاب یک روش مناسب برای ارزیابی میزان آب نفوذ یافته در مناطق کارستی اغلب موضوع مورد اختلاف محققان است. روش‌های چند پارامتری با استفاده از ابزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌تازگی با موفقیت در حال توسعه است. هدف این تحقیق، مدل‌سازی مناطق تغذیه آبخوان دالاهو در زاگرس چین‌خورده با استفاده از مدل KARSTLOP است. به‌منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی، از مدل منطق فازی و عملگر گاما استفاده شد. و در نهایت با استفاده از مدل KARSTLOP نقشه مناطق تغذیه آبخوان کارستی دالاهو به دست آمد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی منطقه مورد مطالعه شامل چهار کلاس فاقد کارست، کارست با توسعه کم، کارست با توسعه متوسط و کارست توسعه‌یافته است. نتایج پهنه‌بندی تغذیه نشان می‌دهد که میزان شارژ سالانه به‌دست‌آمده برای آبخوان کارستی دالاهو بین ۳۷ تا ۸۱ درصد است. نتایج به‌دست‌آمده تأیید می‌کنند که روش KARSTLOP می‌تواند یک ابزار مفید برای تحقیقات سفره‌های آب کارستیک در اراضی کارستی باشد. همچنین نتایج بیانگر نقش اصلی ژئومورفولوژی کارست کوه دالاهو در توزیع مکانی مقادیر شارژ در آبخوان است. و نتایج پهنه‌بندی تغذیه با نتایج حاصل از پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی، کاملاً منطبق است.

واژه‌های کلیدی: روش‌های چند پارامتری، مدل‌سازی، منطق فازی، کارست سطحی، دالاهو.

۱- استادیار بخش تحقیقات حفاظت - خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، مشهد (نویسنده مسئول) Dastranj66@gmail.co

۲- دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان

مقدمه

تا ۸۸ درصد در مناطق مختلف متغیر است. آواوده^۴ و همکاران (۲۰۰۹) برای پتانسیل یابی آب زیرزمینی در منطقه شمال شرق اردن از لایه‌های ارتفاع، خاک، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و تراکم گسل و با روش AHP استفاده و این منطقه را به ۵ کلاس (خیلی خوب، خوب، متوسط، بد و خیلی بد) تقسیم‌بندی کردند.

نگاراجان و سینگ^۵ (۲۰۰۹) برای پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی منطقه Tamil Nadu هند از عکس‌های هوایی، نقشه‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و نقشه شبکه زهکشی استفاده کردند و منطقه را به سه ناحیه خوب، متوسط و فقیر از نظر پتانسیل آب زیرزمینی تقسیم کردند. چینی^۶ و همکاران (۲۰۱۰) در یک مطالعه به منظور شناسایی مناطق مناسب تغذیه آب زیرزمینی منطقه‌ای در کشور تونس، از روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) و GIS استفاده کرد.

در این مطالعه پارامترهای زمین‌شناسی، تراکم زهکشی، تراکم خطواره، نفوذپذیری و سنگ‌شناسی برای ورود به مدل انتخاب گردید.

نتایج نشان داد که به‌کارگیری هم‌زمان GIS و آنالیز تصمیم چندمعیاره برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی بسیار مفید است. فارفان^۷ و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از آنالیز حساسیت روش APLIS برای تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تغذیه آبخوان‌های کارستی در کوبا، به این نتیجه رسیدند که مهم‌ترین پارامترهای مؤثر به ترتیب لیتولوژی (L)، لند فرم‌های نفوذپذیری (I)، خاک (S)، شیب (P) و ارتفاع (A) هستند. پریجا^۸ و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مناطق دارای پتانسیل آب

تغذیه سفره‌های کارستی از نظر مقدار و توزیع مکانی بستگی به عوامل مختلف طبیعی مانند آب‌وهوا، توپوگرافی، پوشش گیاهی، خاک و زمین‌شناسی دارد. انتخاب یک روش مناسب برای ارزیابی میزان آب نفوذ یافته در مناطق کارستی اغلب موضوع مورد اختلاف محققان است. روش‌های چند پارامتری با استفاده از ابزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌تازگی با موفقیت در حال توسعه است.

شرایط خاص محلی نیز می‌تواند در اراضی به‌شدت کارستی شده بر پیچیده شدن ارزیابی بیفزاید (رادولویچ و همکاران، ۲۰۱۲). منابع آب زیرزمینی کارستی از بزرگ‌ترین منابع آب شیرین جهان هستند به‌طوری‌که فورد و ویلامز (۲۰۱۳: ۱) تخمین زده‌اند که آب شرب حدود ۲۵٪ از جمعیت جهان از منابع آب موجود در سنگ‌های کارستی تأمین می‌شود. ایران نیز بعد از کشورهای آمریکا، چین و ترکیه، بالاترین درصد کارست را دارد و بیش از ۱۱ درصد سطح کشورمان را سازندهای کارستی می‌پوشاند (حمیدی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۱).

حجم آب ذخیره‌شده در این مناطق می‌تواند نیاز آبی بسیاری از شهرها و روستاها را تأمین کند. شهرهای بزرگی همچون شیراز، کرمانشاه و مناطق وسیعی از استان ایلام، لرستان، کردستان و کهگیلویه و بویراحمد از منابع آب کارست تغذیه می‌کنند (افراسیابان و همکاران، ۲۰۰۷: ۶۱۳، رئیس و همکاران، ۲۰۰۸: ۶۲).

تغذیه آب‌های زیرزمینی، مسئله‌ای است که به‌صورت سیستماتیک در نشریات متعدد، به‌خصوص از اواسط دهه ۱۹۸۰ مطرح شده است (میلی^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). اندرو^۲ و همکاران (۲۰۰۸) پژوهشی تحت عنوان ارزیابی تغذیه آبخوان‌های کارستی با استفاده از روش APLIS^۳ در جنوب اسپانیا انجام دادند. نتایج نشان داد که میزان شارژ بین ۸

4- Awawdeh

5- Nagarajan & Singh

6- Chenini

7- Farfan

8- Preeja

1- Healy

2- Andreo

۳- A: ارتفاع، L: سنگ‌شناسی، P: شیب، I: لند فرم‌های نفوذپذیری، S: خاک

آب زیرزمینی کرد. نتایج تحقیق نشان‌دهنده کلاس‌های پتانسیل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بود. اوی‌کانومیدیس^۸ و همکاران (۲۰۱۵) با (RS) و (GIS) به ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی در منطقه Tirnavos در یونان پرداختند. نتایج نشان داد که منطقه از نظر پتانسیل آب زیرزمینی دارای پنج کلاس خیلی خوب تا خیلی کم است. ونکاتس واران و آیان‌دورای^۹ (۲۰۱۵) در تحقیقی به پهنه‌بندی پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در Upper Gadilam River Basin هند با (GIS) و (RS) پرداختند. نتایج نشان داد که منطقه از نظر پتانسیل آب زیرزمینی دارای کلاس‌های خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم است. مرادی و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی پتانسیل کارست‌زایی در شمال استان خوزستان در ایران با به‌کارگیری منطق فازی و روش (AHP) پرداختند. از (GIS) و (RS) برای تهیه نقشه پتانسیل کارست‌زایی استفاده شد. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه مدل منطق فازی عملکرد بهتری نسبت به AHP دارد. سنانایاک^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به بررسی پتانسیل تغذیه آب‌های زیرزمینی در سریلانکا به کمک تکنیک GIS پرداختند. نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل تغذیه متوسط تا زیاد (تقریباً ۴۹٪) است. رحمتی و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل‌های جنگل تصادفی^{۱۱} (RF) و حداکثر آنتروپی^{۱۲} (ME) در منطقه مهران ایران اقدام به تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی کردند. کومار^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی در سنگ‌های سخت در ایالت Jharkhand هندوستان با استفاده از MCDM-AHP پرداختند.

فورد و ویلیامز (۲۰۱۳: ۱) معتقدند که تفاوت در نوع تغذیه منجر به تفاوت در ویژگی‌های هیدرودینامیکی و هیدرو

زیرزمینی را در حوضه آبریز Kerala در هند شناسایی کردند. رادولویچ^۱ و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی به منظور ارزیابی میزان تغذیه آب زیرزمینی در کارست‌ها در یوگسلاوی از روش جدیدی به نام KARSTLOP^۲ استفاده کردند. نتایج بیان می‌دارد استفاده از این روش می‌تواند در شناسایی آینده مناطق برای تحقیقات آبخوان‌ها مفید باشد و تکنیک‌های GIS ما را قادر می‌سازد ارزیابی نسبتاً سریعی از وضعیت منابع آب کارستی داشته باشیم. آدیت^۳ و همکاران (۲۰۱۲) و روسو^۴ و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که مدل‌های مبتنی بر (GIS) برای تولید نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به‌خصوص در مناطقی که کمبود داده داریم بسیار مفید باشند.

آگراوال^۵ و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از تکنیک‌های AHP و ANP در منطقه Unnao district در کشور هند اقدام به پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی نموده و منطقه را به پنج کلاس (خیلی خوب، خوب، متوسط، بد و خیلی بد) تقسیم‌بندی کردند. کان‌کول^۶ و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از پارامترهای بارش، شیب، تراکم زهکشی و عمق آب زیرزمینی با استفاده از (GIS) و (RS) در منطقه Huay Sai در تایلند نقشه پتانسیل آب زیرزمینی را به دست آوردند. یوسفی سنگانی و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای به ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی با روش تلفیق فازی و (AHP) در شمال خاوری کوه‌های هزار مسجد، استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج نشان داد که روش تلفیقی فازی گاما نسبت به سایر روش‌ها برای پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر هست. البه سلوا فاروک^۷ (۲۰۱۵) در پژوهشی در مصر اقدام به تهیه نقشه پتانسیل‌یابی منابع

1 - Radulovic

۲- K: میزان کارستی شدن، A: شرایط جوی، R: رواناب، S: شیب، T: تکتونیک،

L: سنگ شناسی، O: لایه پوشاننده و P: پوشش گیاهی

3- Adait

4- Russo

5- Agarwal

6- Konkul

7- Salwa Farauk

8- Oikanomidis

9- Venkateswaran & Ayyandurai

10- Senanayake

11- Random Forest

12- Maximum Entropy

13 -Kumar

روش انجام تحقیق

این پژوهش یک تحقیق توسعه‌ای- کاربردی مبتنی بر روش‌های کتابخانه‌ای، میدانی و ارزیابی و تهیه نقشه تغذیه منابع آب کارستی در آبخوان کارستی دالاهو است. به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی، از مدل منطق فازی و عملگر گاما استفاده شد. و در نهایت با استفاده از مدل KARSTLOP نقشه مناطق تغذیه آبخوان کارستی دالاهو به دست آمد.

پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی^۱ در توده آهکی مورد مطالعه:

از آنجایی که ژئومورفولوژی کارست بر ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان‌های کارستی و بررسی میزان آسیب‌پذیری آن‌ها، تأثیر بسزایی دارد، تهیه نقشه توسعه‌یافتگی سطحی کارست، لازم و ضروری است. به منظور توسعه کارست سطحی، متغیرهای لیتولوژی، فاصله از گسل، ارتفاع، شیب، جهت‌شیب، بارش، دما، کاربری اراضی و خاک به عنوان پارامترهای مؤثر انتخاب شدند. به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی، از مدل منطق فازی و عملگر گاما استفاده شد مدل‌های فازی عموماً در مدل‌سازی مسائلی که با عدم قطعیت ذاتی همراه هستند، مناسب می‌باشند. تأثیر عوامل مؤثر در توسعه کارست، قطعی و صد درصدی نیست. برای مطالعه چنین شرایط پیچیده و مبهمی، مدل فازی مناسب است، زیرا با استفاده از نظریه فازی، می‌توان متغیرهای نادقیق و مبهم را، به شکل ریاضی درآورد (مؤمنی: ۱۳۹۹). در مدل فازی، هر فرد هم‌زمان در مجموعه‌های مختلف اما به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و یک و یا خود این دو حد را می‌پذیرد (ون آلفن^۲ و همکاران، ۲۰۰۰). روش فازی با پنج عملگر که هر یک دارای نحوه عمل خاصی هستند، در محیط نرم‌افزار ArcGIS قابل اجرا هست (کارتز^۳، ۱۹۹۶: ۲۷۰).

شیمیایی آب چشمه‌ها می‌گردد. به عبارت دیگر، ویژگی‌های منطقه تغذیه در آبخوان‌های کارستی، نوع تغذیه، جریان و میزان آسیب‌پذیری آبخوان از آلودگی را، کنترل می‌کند؛ بنابراین، شناخت مناطق تغذیه در آبخوان‌های کارستی نقش کلیدی در شناخت ویژگی‌های هیدرودینامیکی و هیدرو شیمیایی آبخوان‌ها و همچنین مدیریت و بهره‌برداری علمی و بهینه از آن‌ها را دارد. از سوی دیگر آبخوان‌های کارستی در منطقه مورد مطالعه، نقش اصلی در تأمین آب مورد نیاز جوامع انسانی را دارند. بنابراین، با توجه به تأثیر حیاتی منابع آب کارست در زندگی انسان و پژوهش‌های محدودی که در زمینه کارست صورت گرفته است، انجام هر نوع پژوهشی از دیدگاه بنیادی، کاربردی و توسعه‌ای در زمینه مدل‌سازی لندفرم‌های کارستی و بررسی پتانسیل منابع آب کارست این مناطق، لازم و ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق، به منظور بررسی و ارزیابی پتانسیل منابع آب کارست به لحاظ کمی و کیفی، شناخت آلودگی، آسیب‌پذیری و ارزیابی ریسک آبخوان، به مدل‌سازی مناطق تغذیه در آبخوان کارستی دالاهو با استفاده از مدل KARSTLOP پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

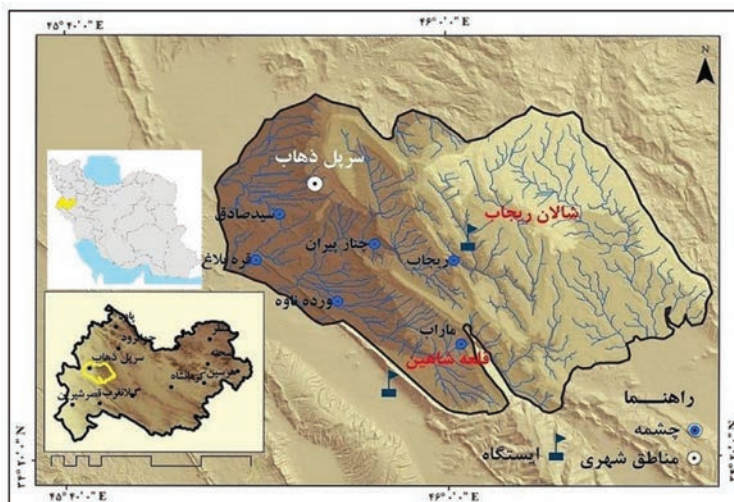
منطقه مورد مطالعه

کوهستان دالاهو با مساحت ۶۸۰ کیلومتر مربع، به فاصله بسیار کم در شرق و جنوب شرق شهرستان سرپل ذهاب در استان کرمانشاه گسترده شده است. این کوهستان با روند شمال غرب- جنوب شرق، بین عرض‌های جغرافیایی ۲۳° ۳۴ تا ۳۷° ۳۴ شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۸° ۴۵ تا ۱۵° ۴۶ شرقی، واقع شده است. چشمه‌های ریجاب، ماراب، چنارپیران، سیدصادق، قره بلاغ و ورده ناوه از این آبخوان، تغذیه می‌شوند (نگاره ۱). توده آهکی دالاهو در واحد ساختمانی زاگرس چین‌خورده واقع گردیده و رخنمون‌های از سنگ‌های کرتاسه فوقانی تا کواترنری در این توده شکل گرفته است (نگاره ۲).

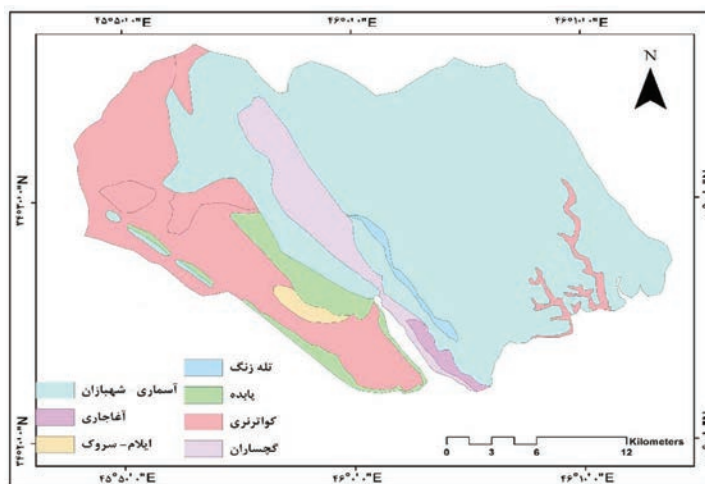
1- Surface karst

2- Van Alphen and Stoorvogel

3- Carter



نگاره ۱: نقشه موقعیت توده‌های آهکی دالاهو



نگاره ۲: نقشه زمین‌شناسی توده‌های آهکی دالاهو

R: رواناب، S: شیب، T: تکتونیک، L: سنگ‌شناسی، O: لایه پوشاننده، P: پوشش گیاهی است. لایه توسعه کارست (K) به‌عنوان مهم‌ترین لایه در مدل KARSTLOP مطرح بوده و تهیه آن نیازمند ترسیم نقشه ژئومورفولوژی کارست سطحی، محاسبات هیدرولوژیکی و محاسبه نمایه اشباع SI است. لایه‌های شیب (S)، شرایط جوی (A) و رواناب (R) بر اساس مدل ارتفاع رقومی ده متر مناطق و بر اساس جداول مدل KARSTLOP تهیه شد و لایه‌های تکتونیک (T)، لیتولوژی (L) و بخشی از لایه پوشش سطحی (O) با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ مناطق مورد بررسی تهیه گردید. بخش دیگری از لایه پوشش سطحی از نقشه خاک ۱/۲۵۰۰۰۰ و لایه (P) از نقشه کاربری اراضی به دست آمد. این مدل در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.2 قابل اجرا

اجتماع فازی، اشتراک فازی، ضرب فازی، جمع فازی و گاما. به دلیل نقش تعدیلی عملگر گاما و نزدیک به واقعیت بودن آن، از این عملگر استفاده شد.

پهنه‌بندی مناطق مستعد تغذیه آبخوان‌های کارستی

در این تحقیق به منظور مدل‌سازی مناطق تغذیه آبخوان از مدل KARSTLOP استفاده شد.

مدل KARSTLOP:

مدل KARSTLOP توسط رادیولوویچ و همکاران (۲۰۱۲) ارائه و در مناطق کارستی مونته‌نگرو مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل KARSTLOP مخفف حروف اول ۸ لایه K: فرایند کارست زایی (توسعه کارست)، A: شرایط جوی،

شدن سطح، معیارهای مربوط به شدت تراکم از ویژگی‌هایی هستند که اعمال شده‌اند.

با همپوشانی این دو نقشه، یک نقشه جدید به دست می‌آید که نشان‌دهنده درجه کارستی شدن سطحی (K_{sf}) است، جدول (۲).

رابطه ۳:

$$K_{sf} = K_{sf1} + K_{sf2} / 2$$

نقشه میزان کارستی شدن زیرسطحی (K_{ss})

دو سطح بر روی نقشه کارستی شدن زیرسطحی (K_{ss}) مشخص شده است. منطقه‌ای با بالاترین درجه از کارستی شدن زیرسطحی، مناطقی با فواصل ۲۰۰ متر در هر طرف از مواردی شامل غارها، چاله‌ها و حفره مکند مشخص می‌شوند.

کارستی شدن زیرسطحی برای بقیه حوضه آبخیز بر اساس سه شاخص غیرمستقیم زیر به دست می‌آید: به منظور برآورد (K_{ss1}) دامنه نوسان تخلیه یک چشمه و یا گروهی از چشمه‌های کارستی که در حوضه آبخیز منطقه است مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند ($K_{ss1} \rightarrow Q_{max}/Q_{min}$). K_{ss2} توسط سرعت متوسط جریان بر مبنای سانتیمتر بر ثانیه است.

در این پژوهش سرعت متوسط آب با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه، ۷ سانتیمتر در ثانیه در نظر گرفته شده است ($K_{ss2} \rightarrow v$).

شاخص اشباع کلسیت (یا دولومیت) آب چشمه (S_p) که یک شاخص هیدروشیمی است با استفاده از اطلاعاتی از قبیل $Ca (mg/L)$ ، $TDS (mg/L)$ ، درجه حرارت آب، PH ، میزان کربنات کلسیم (mg/L) به دست می‌آید که بستگی به طول متوسط (d) مسیر طی شده آب‌های زیرزمینی در یک حوضه آبخیز دارد مبنای محاسبه (k_{ss3}) قرار گرفت ($SI \rightarrow K_{ss3}$)، جدول (۲).

در این قسمت با استفاده از داده‌های سازمان آب و با استفاده از نرم‌افزار PHREEQC، اندیس‌های اشباع کلسیت (SI_c) و دولومیت (SI_d) برای چشمه‌های توده دالاهو در

2-Saturation Index of Calcite

3 - Saturation Index of dolomite

بوده و قضاوت شخصی پژوهشگر، در انتخاب پارامترهای تحلیلی و تعریف معیارهای ارزیابی و الگوریتم، دخیل است (رادیلوویچ: ۲۰۰۹). در نهایت نیز، با بررسی پارامترهای این مدل و محاسبه میزان آن‌ها، نقشه نهایی تغذیه آبخوان با استفاده از رابطه ۱ تهیه می‌گردد. نقشه نهایی تغذیه، نشانگر توزیع مکانی تغذیه متوسط سالانه (Rch) بوده و میزان تغذیه به (%) بیان می‌گردد.

رابطه ۱:

$$Rch = 4 * K + A + 4 * R + 2 * S + T + 4 * L + 3 * O + P$$

در ادامه، به توضیح پارامترهای KARSTLOP پرداخته شده است:

نقشه میزان کارستی شدن (K):

نقشه میزان کارستی شدن از تجزیه و تحلیل میزان کارستی شدن سطحی و زیرسطحی به دست می‌آید. نقشه نهایی درجه کارستی شدن با همپوشانی نقشه کارستی شدن سطحی (K_{sf}) و نقشه کارستی شدن زیرسطحی (K_{ss}) به دست می‌آید.

رابطه ۲:

$$K = (ksf+kss) / 2$$

نقشه میزان کارستی شدن سطحی (K_{sf})

میزان کارستی شدن سطحی (K_{sf}) بر اساس ارزیابی منطقه از ویژگی‌های کارست ولندفرم‌ها در واحد سطح، به دو زیر فاکتور طبقه‌بندی می‌گردد (زیر فاکتور k_{sf1} و k_{sf2}). اراضی کارن، به‌عنوان مناطق تخریب‌شده سطحی کارست هستند، جزو غالب‌ترین ویژگی‌های کارستی است که بر روی شیب‌ها در مناطق کارستی ظاهر می‌شود (k_{sf1}). درحالی‌که دولین‌ها و دیگر فرورفتگی‌های کارستی (اوولا، دره‌های خشک، پلژه‌ها و غیره) و دیگر اشکال مورفولوژیکی مرتبط عمدتاً در حوضه‌هایی افقی یا با شیب اندک صورت می‌گیرد (k_{sf2}). برای نقشه‌برداری از میزان درجه کارستی

1- Karstification(K)

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)
 مدل‌سازی میزان تغذیه آب زیرزمینی آبخوان کارستی ... / ۲۳۷

و در نهایت با بهره‌گیری از رابطه (۳) پارامتر A محاسبه می‌شود. دامنه‌های رو به شمال و رو به جنوب بیشترین و کمترین امتیاز را در این عامل به خود اختصاص می‌دهند. با همپوشانی نتایج نقشه A_1 و A_2 در یک نقشه جدید، شرایط جوی (A) به دست می‌آید.
 رابطه ۵:

$$A = A_1 + A_2 / 2$$

نقشه رواناب سطحی^۲(R): رواناب (R) در کارست بستگی به نفوذپذیری سنگ‌های کربناته، شیب، و میزان بارندگی دارد. ممکن است جریان دائمی نشان دهد که مناطق گسترده‌ای در امتداد بستر رودخانه‌ها شامل قسمت‌های غیر قابل نفوذی از سنگ‌آهک و دولومیت باشند که به‌عنوان پوشش‌های زمین‌شناسی، رسانایی هیدرولیک پایین بستر را نشان می‌دهد. باین حال شرایطی که رودخانه‌ها در داخل حوضه آبخیز ایجاد می‌کنند را باید در نظر داشت. با توجه به فقدان جریان دائمی در منطقه مورد مطالعه تمامی سطح منطقه دارای امتیاز ۵ است. جدول (۲).

نقشه شیب^۳(S): شیب زمین (S) یکی از عوامل اصلی است که باعث ایجاد رواناب می‌گردد و همچنین بر درصدی از آب بارندگی که در سطح جریان پیدا می‌کند تأثیر دارد. نقشه شیب (S) بر اساس DEM به دست آمده است. جدول (۲).

لایه عناصر تکتونیکی^۴(T): فاکتور T شامل دو زیر عامل است؛ Tf: تراکم گسل‌ها (density of faults) و Td: شیب لایه‌ها (dip of strata). مقدار تغذیه آبخوان به میزان قابل توجهی تحت تأثیر درجه درز و شکافدار شدن توده سنگ است. در مناطق گسل اصلی و مناطق با تخریب زمین‌ساختی، این میزان به‌وضوح بیشتر است و به‌عنوان یک اصل به رسمیت شناخته شده است. عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی، با اطلاعات به‌دست آمده از طریق اندازه‌گیری‌های میدانی، به‌عنوان مبنایی برای تولید نقشه Tf، Td مورد استفاده قرار می‌گیرند.

2- Runoff (R)
 3- Slope (S)
 4- Tectonics (T)

دو دوره تر و خشک سال محاسبه شد. جدول (۱) مقادیر نسبت‌های اشباع SIc و Sid در چشمه‌های توده دالاهو را نشان می‌دهد.
 رابطه ۴:

$$K_{ss} = (k_{ss1} + k_{ss2} + k_{ss3}) / 3$$

جدول ۱: مقادیر نسبت‌های اشباع SIc و Sid در چشمه‌های

توده دالاهو

چشمه	دوره خشک SIc	دوره تر SIc	دوره خشک Sid	دوره تر Sid
چنار پیران	۰/۶۹	-۱/۰۵	۱/۱۶	-۲/۱۷
ریجاب	۱/۵۷	-۱/۲۱	۲/۹۴	-۲/۵۳
قره بلاغ	۱/۰۸	۰/۳۸	۱/۹۹	۰/۸۷
ماراب	۱/۳۶	-۱/۳۳	۲/۶۲	-۲/۷۱
سید صادق	۰/۵۲	۰/۱۷	۱/۰۷	۰/۴۲
ورده ناوه	۱/۶۵	۰/۴۵	۳/۱۱	۰/۸۸

نقشه عوامل جوی^۱(A_1 و A_2): شرایط جوی (A) میزان تغذیه را در درجه اول از طریق تبخیر و تعرق تحت تأثیر قرار می‌دهد. شرایط دما و بارش را می‌توان به‌طور غیرمستقیم به‌عنوان یک تابع از ارتفاع (A_1) در نظر گرفت. در ارتفاعات بالاتر کاهش دمای هوا به‌نوبه خود باعث کاهش تبخیر و تعرق می‌گردد. همچنین افزایش میزان ارتفاع منجر به افزایش بارندگی و شدیدتر شدن تغذیه آبخوان‌ها، به‌وسیله افزایش نفوذ مؤثر و تراوش مقدار آب به سیستم آبخوان می‌شود. شدت تابش خورشیدی (A_2) و جهات دامنه نیز مقدار تبخیر و تعرق و تغذیه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. دامنه‌های جنوبی تابش بیشتری از خورشید را دریافت نموده و بیشترین امتیاز از پارامتر (A_2) را به خود اختصاص می‌دهند، درحالی‌که منطقه پشت به آفتاب (دامنه‌های شمالی) مقدار کمتری از تابش خورشید را بخصوص در فصل تابستان دریافت می‌کند. با بهره‌گیری از Dem ده متر منطقه مورد بررسی، میزان دریافت تابش امتیازبندی گردیده

1 - Atmospheric conditions(A)

K - KARSTIFICATION

Area of degraded zone (karren fields, ruin-like relief etc.) per unit square ($10^3 m^2/km^2$)	Ksf ₁	Area of karst depressions per unit square ($10^3 m^2/km^2$)	Ksf ₂	Ksf = (Ksf ₁ + Ksf ₂)/2
<60	1	<25	1	1
60-120	2	25-50	2	>1-2
120-180	3	50-75	3	>2-3
180-240	4	75-100	4	>3-4
>240	5	>100	5	>4-5

$$K = \frac{Ksf + Kss}{2}$$

Qmax/Qmin	Kss ₁	v (cm/s)	Kss ₂	d > 4 km	d > 1-4 km	d < 1 km	Kss ₃	Kss = (Kss ₁ + Kss ₂ + Kss ₃)/3
				SI	SI	SI		
<5	1	<0.1	1	>0.3	> 0	> -0.3	1	1
5-50	2	0.1-1	2	0-0.3	-0.3-0	-0.6- -0.3	2	>1-2
5-100	3	1-10	3	-0.3-0	-0.6- -0.3	-0.9- -0.6	3	>2-3
>100	4	>10	4	<-0.3	<-0.6	<-0.9	4	>3-4
200 m buffer on each side of speleologically explored objects (caves, pits and swallow holes)								5

A - ATMOSPHERIC CONDITIONS

Altitude (m)	A ₁
<300	1
300-800	2
800-1300	3
1300-1800	4
>1800	5

Reflectance value	A ₂
>0.5	1
<0.5	5

$$A = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

R - RUNOFF

Surface within the catchment area of referred spring	R
200 m buffer on both sides of perennial streams formed by discharge at contact of karstified limestone or dolomite with more compact carbonate sections	1
200 m buffer on both sides of perennial streams formed at the edge of karst depressions (polje, uvala etc.), as well as around perennial streams which run from non-karstic terrain etc.	3
Remaining of catchment area	5

S - SLOPE

Slope (°)	S
0-5	5
5-15	4
15-25	3
25-35	2
>35	1

T - TECTONICS

Lengths of faults (km/km ²)	Tf	Dip angle of strata (°)	Td
0-1	1	<30	1
1-2	2	30-60	3
2-3	3	>60	5
3-4	4		
>4	5		

$$T = \frac{Tf + Td}{2}$$

L - LITHOLOGY

Carbonate rocks	a
Limestone	1
Dolomite	0.7

Bedding	b
Massive, Thickly bedded	2.4
Bedded	1.8
Laminated, Thinly laminated	1.2

Mineralogical-petrographic ingredients	c
Calcified	2
Dolomitic	1.6
Sandy, Silicified	1.2
Marly, Clayish, Bituminous	0.8

$$L = a \times b \times c$$

O - OVERLYING LAYERS

O ₁ Soil	Thickness				
	<15 cm	15-30 cm	30-60 cm	60-100 cm	>100 cm
Calcomelanosols, Euthric cambisols, Rendzina	5	4	3	2	1
Calocambisols, Terra Rossa	4	3	2	1	1

O ₂ Geological cover	Thickness		
	< 3 m	3-6 m	> 6 m
Alluvial, Glacial-fluvial, Moraine sediments, Scree	5	3	1
Colluvial sediments	3	2	1
Glacial-limnic sediments	2	1	1

$$O = \frac{O_1 + O_2}{2}$$

P - PLANTS

Plants	P
Bare rocks	5
Sparsely vegetated areas	4
Pastures	3
Transitional woodland-scrub	2
Forests	1

$$\text{Recharge} = 4xK + A + 4xR + 2xS + T + 4xL + 3xO + P$$

جدول ۲: وزندهی به فاکتورهای KARSTLOP

(مأخذ: رادولویچ و همکاران، ۲۰۱۲)

(۷) توسط ضرب عواملی که قبلاً توضیح داده شد محاسبه می‌شود: جدول (۲).

رابطه ۷:

$$L = a * b * c$$

نقشه لایه پوشاننده^۲(O): لایه پوشاننده (O) می‌تواند نقش مهمی را در کاهش پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی برخی از اراضی بازی کند، عمدتاً به‌عنوان یک مانع اضافی که از نفوذ آب جلوگیری می‌کند. نقشه‌های خاک‌شناسی به‌عنوان پایه‌ای برای به دست آوردن نقشه رتبه‌بندی خاک (O₁) استفاده شد. در این مورد، پوشش‌های زمین‌شناسی (O₂) شامل رسوبات رانشی نفوذپذیر بر روی سنگ‌های کربناته است که بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی به‌دست‌آمده است. نقشه نهایی از همپوشانی نقشه‌های O₁ و O₂ به دست می‌آید. جدول (۲).

رابطه ۸:

$$O = (O_1 + O_2) / 2$$

تهیه نقشه پوشش گیاهی^۳(P): گیاهان (P) همچنین بر میزان تغذیه تأثیر دارند. پوشش گیاهی بیشتر به‌طور مستقیم متوسط تبخیر و تعرق سالانه را افزایش می‌دهد و در نتیجه کاهش مقدار نفوذ آب را در بردارد. در مورد پوشش گیاهی و ویژگی‌های اصلی آن، در درجه اول توسعه سیستم ریشه و انشعاب شاخه، برای این لایه در نظر گرفته می‌شود (رادلوویچ و همکاران، ۲۰۱۲). کاربری اراضی، نوع پوشش گیاهی و نوع استفاده از زمین را مشخص می‌کند. پوشش گیاهی با افزایش میزان دی‌اکسید کربن در خاک که در نهایت منجر به افزایش دی‌اکسید کربن محلول در آب نفوذی می‌شود، باعث تسریع فرایند کارست‌زایی می‌گردد. در واقع، پوشش گیاهی، عامل کمک‌کننده به دیگر عوامل به وجود آورنده کارست است، به‌طوری‌که، با ایجاد هوموس در خاک و اسیدی کردن آن، باعث افزایش اسیدیته آب‌های نفوذی و انحلال سریع‌تر آهک‌ها، می‌گردد. علیرغم اینکه سطوح سنگی برهنه، مستقیم در برابر بارش قرار دارند، اما به علت

جهت ایجاد این لایه که گسل‌ها، محور ناودیس‌ها و محور طاق‌دیس‌ها را شامل می‌شود از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور و نقشه خطواره‌های تکتونیک ۱:۵۰۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات استفاده و عناصر نام‌برده در نرم‌افزار Arc GIS استخراج و رقومی سازی شدند. جدول (۲).

رابطه ۶:

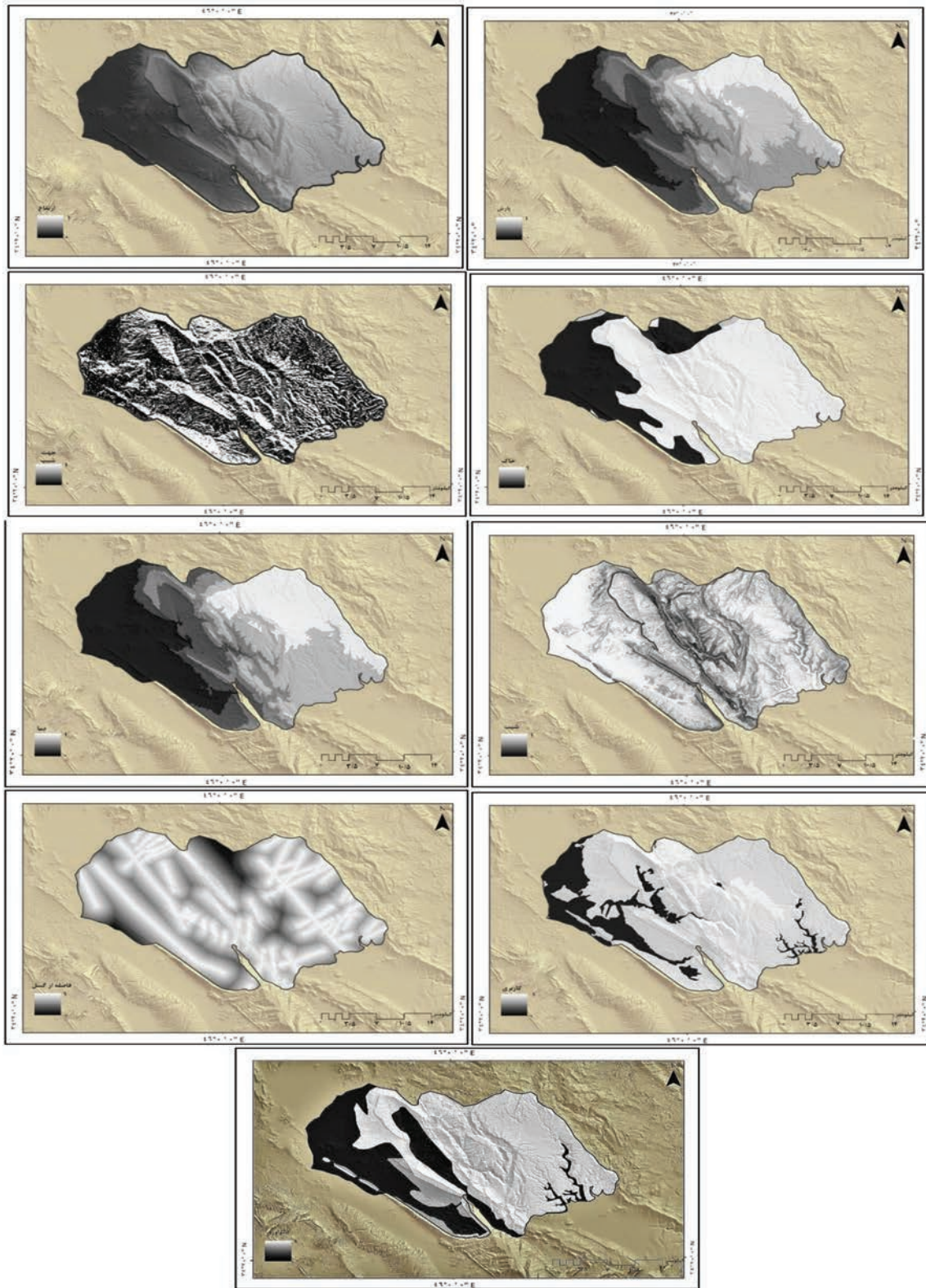
$$T = (Tf + Td) / 2$$

نقشه سنگ‌شناسی^۱(L): ترکیب سنگ‌شناسی به‌طور مستقیم نفوذپذیری و در نتیجه میزان تغذیه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای تهیه نقشه سنگ‌شناسی، لایه‌های نوع سنگ کربناته (فاکتور فرعی a)، لایه زیرین (فاکتور فرعی b) و مواد تشکیل‌دهنده سنگ و کانی‌شناسی سنگ‌های کربناته (فاکتور فرعی c) تهیه گردید جدول (۲). دولومیت معمولاً تراوایی کمتری از سنگ‌آهک دارد، همچنین دولومیت محلولیت کمتری نسبت به سنگ‌آهک دارد و شکستگی‌های آن نیز نسبت به سنگ‌آهک گسترش کمتری یافته است. چینه‌ها با ضخامت‌های مختلف، دارای فشارهای مقاومتی متفاوتی است. یعنی آن‌ها با درجات مختلف، به‌وسیله میزان درز و شکافدار شدنشان مشخص می‌شوند. چندلایه‌ای بودن و لامینه‌های نازک سنگ‌آهک نسبت به توده‌های ضخیم و عظیم سنگ‌آهک دارای شکنندگی کمتری هستند، بنابراین دارای درز و شکاف کمتری خواهند بود. سنگ‌آهک و دولومیت به‌ندرت در حالت خالص در طبیعت وجود دارند. آن‌ها اغلب حاوی کانی‌های مختلف در مواد تشکیل‌دهنده خود هستند، به‌طوری‌که اغلب به‌عنوان سنگ‌آهک و دولومیت با توده چرت، به‌عنوان سنگ‌آهک شنی، مارن و سنگ‌آهک، سنگ بتمنس و دولومیت به نظر می‌رسد. نفوذپذیری سنگ‌های کربناتی ناخالص معمولاً پایین‌تر از سنگ‌های کربناته خالص‌تر است. نقشه زمین‌شناسی و نقشه سنگ‌های کربناته باید به‌عنوان پایه‌ای برای به دست آوردن فاکتورهای فرعی استفاده شود. فاکتور L مطابق رابطه

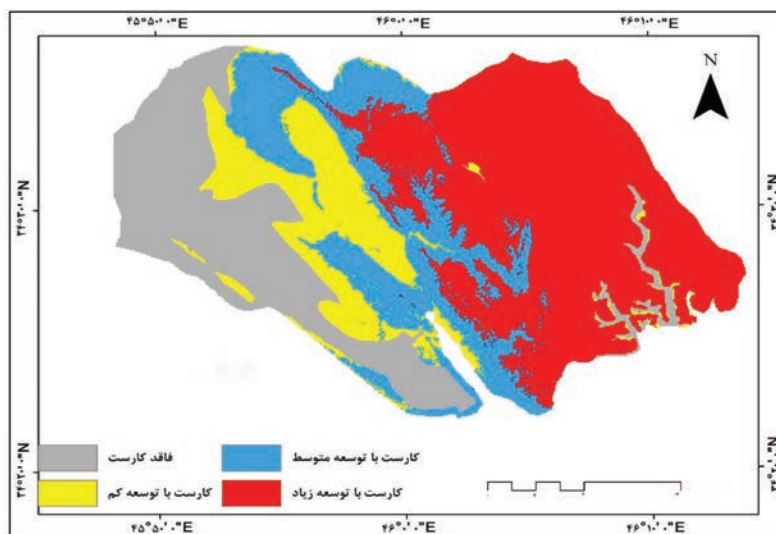
2- Overlying layers (O)

3- Plants (P)

1- Lithology (L)



نگاره ۳: فازی سازی پارامترهای مؤثر در توسعه سطحی کارست در توده دالاهو



نگاره ۴: نقشه پهنه بندی توسعه کارست
سطحی مدل سازی توده دالاهو

به عبارت دیگر، با توجه به پارامترهای ۸ گانه، بین ۳۷ تا ۸۱٪ بارش ورودی سالانه نفوذ و تبدیل به تغذیه شده و مابقی آن، از دسترس خارج می گردد. مساحت و درصد مساحت پهنه های توزیع شارژ سالیانه توسط مدل KARSTLOP در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳: مساحت و درصد مساحت پهنه های توزیع شارژ

سالیانه توسط مدل KARSTLOP

ردیف	شارژ (%)	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
۱	۳۷-۴۵	۶۱/۲۷	۸/۹۷
۲	۴۵-۵۰	۱۴۱/۳۱	۲۰/۸۰
۳	۵۰-۵۵	۲۷/۸۵	۴
۴	۵۵-۶۰	۲۰/۵۶	۳
۵	۶۰-۶۵	۱۸/۲۷	۲/۶۹
۶	۶۵-۷۰	۱۴۹/۹۶	۲۲
۷	۷۰-۷۵	۲۰/۵	۳۰/۲
۸	۷۵-۸۱	۵۵/۰۵	۸/۱
جمع		۶۸۰	۱۰۰

بحث و نتیجه گیری

پراکنش فضایی پولیه ها و فرو چاله ها با استفاده از مدل منحنی بسته نشان می دهد که تمامی ۱۴۰ فروچاله، در آهک آسماری- شهبازان شکل گرفته اند. در سطح

کم بودن میزان دی اکسید کربن آن، فرایند کارست زایی به شدت مناطق دارای پوشش گیاهی نیست. این نقشه با استفاده از نقشه کاربری گرفته شده از مؤسسه خاک و آب به دست آمد. جدول (۲).

یافته ها

پهنه بندی توسعه کارست سطحی در توده دالاهو

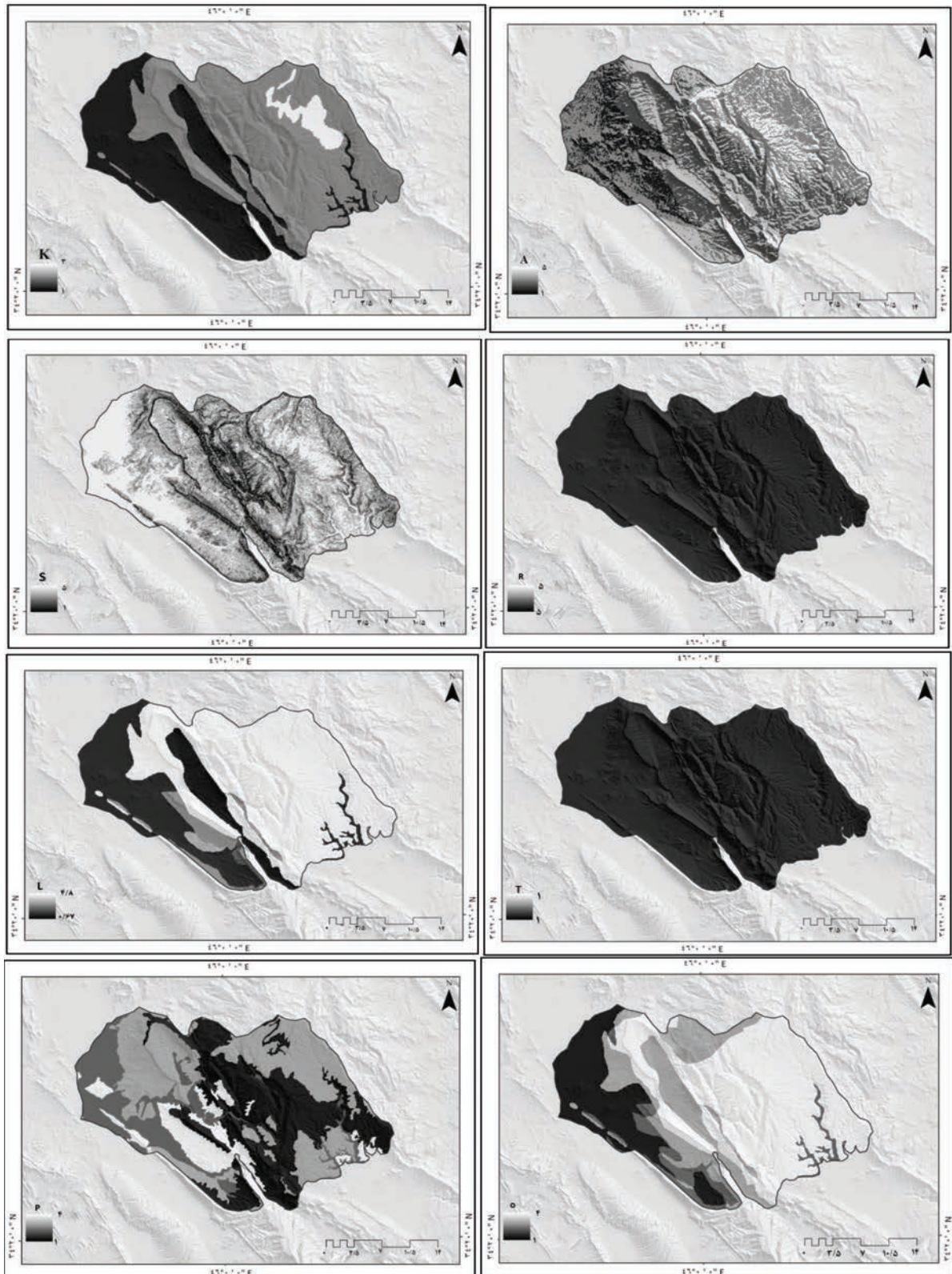
نگاره (۳) نقشه فازی شده عوامل مؤثر در پهنه بندی کارست سطحی در توده آژوان-بیستون را نشان می دهد. نقشه پهنه بندی توسعه کارست سطحی دالاهو (نگاره ۴) با استفاده از روش شکستگی های طبیعی (جین چن^۲، ۲۰۱۳) به چهار کلاس کارست (۰-۲۴۲)، کارست با توسعه کم (۰/۲۴۲-۰/۵۸۸)، کارست با توسعه متوسط (۰/۷۷۷-۰/۹۸۲) و کارست توسعه یافته (۰/۹۸۲-۰/۷۷۷) طبقه بندی شده است.

پهنه بندی مناطق مستعد تغذیه توده دالاهو

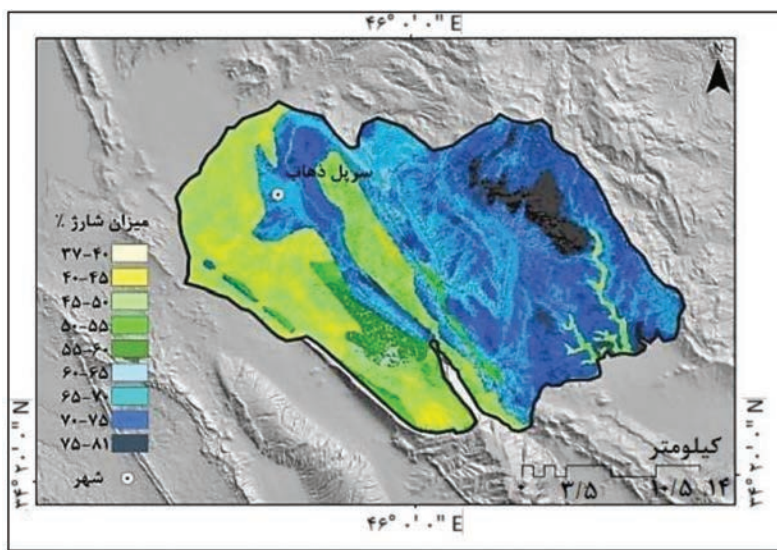
نگاره (۵) نقشه های حاصل از ماتریس کارستیفیکاسیون را نشان می دهد. بررسی نقشه نهایی تغذیه توده دالاهو (نگاره ۶) نشان می دهد که میزان شارژ سالانه به دست آمده برای آبخوان کارستی دالاهو بین ۳۷ تا ۸۱ درصد است.

1- Natural Breaks (Jenks)

2 - Jain Chen



نگاره ۵: نقشه‌های حاصل از ماتریس کارستیفیکاسیون



نگاره ۶: نقشه نهایی توزیع فضایی شارژ با استفاده از مدل KARSTLOP در دالاهو

سرپل ذهاب و کوهپایه‌های آن منطبق است. بخش‌هایی از آهک آسماری-شهبازان و همچنین سازند گچساران در این طبقه واقع شده‌اند. این طبقه نیز شیب زیاد، مراتع کم و نیمه متراکم را در برمی‌گیرد. طبقه با توسعه متوسط کارست با در برگیری ۱۹/۵ درصد از مساحت توده دالاهو، در آهک آسماری-شهبازان و بخشی کمی نیز در سازند پابده و تله زنگ و بر دامنه‌های تاقدیس دالاهو، مناطق با تراکم گسل‌ها و درزه و شکاف‌ها، دامنه‌های رو به آفتاب کوهستان، ارتفاع و بارش زیاد، دمای کم، مراتع نیمه متراکم تا متراکم منطبق است. مرتفع‌ترین قسمت‌های تاقدیس دالاهو واقع در آهک آسماری-شهبازان، با تراکم بالای درزه و شکاف و گسل‌ها، قرارگیری در هسته بیشینه بارش، قرارگیری در جهت شیب‌های شمال، شمال شرقی و شرقی، پوشش گیاهی به صورت مرتع نیمه متراکم و متراکم و جنگل، ارتفاع بالا و بارش به صورت برف و دمای بسیار کم در طبقه کارست با توسعه زیاد واقع شده است که بیشترین مساحت منطقه مورد بررسی را نیز در بر گرفته است. بر اساس نقشه نهایی تغذیه، میزان شارژ سالانه به دست آمده برای آبخوان کارستی دالاهو بین ۳۷ تا ۸۱٪ است. به عبارت دیگر، با توجه به پارامترهای ۸ گانه، بین ۳۷ تا ۸۱٪ بارش ورودی سالانه تبدیل به تغذیه شده و مابقی آن از دسترس خارج می‌گردد. کمترین میزان تغذیه ۳۷ تا ۴۵٪ و ۴۵ تا ۵۰٪ با ۲۹/۸٪

دشت‌های منطقه و دیگر سازندها نیز، به علت عدم رخنمون سازندهای کربناته یا ناکافی بودن شرایط کارست زایی، فروچاله کارستی شکل نگرفته است. با توجه به پراکنش فروچاله‌ها، شاهد شرایط مساعد کارست‌زایی در آهک آسماری-شهبازان به دیگر سازندهای آهکی منطقه هستیم. در این توده نیز در کنار وجود سازند آهکی ضخیم لایه، وجود دیگر پارامترها، همچون شرایط اقلیمی مساعد (بارش زیاد)، ارتفاع و اختلاف ارتفاع زیاد در منطقه و تکتونیزه بودن آن و وجود درزه و شکاف‌های بسیار زیاد این توده، نقش بسیار مهمی در تسریع نفوذ و افزایش سطح تماس آب با سازند کربناته و شکل‌گیری و گسترش فروچاله‌ها و پولیه‌های منطقه داشته است. بر اساس نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی، طبقه فاقد کارست، منطبق بر سطح دشت‌های غربی و جنوب غربی شهرستان سرپل ذهاب، نهشته‌های کواترنری و پادگانه‌های آبرفتی جوان است. همچنین، جهت شیب‌های جنوب غربی و غرب، تأثیر کم عامل زمین‌ساخت و ارتفاع، حداقل بارش و ماندگاری کم آن نسبت به ارتفاعات و پوشش گیاهی کم تراکم و مبتنی بر زراعت و کشاورزی، اصلی‌ترین عوامل در توسعه نیافتگی کارست در این طبقه می‌باشند. این طبقه، در حدود ۲۴ درصد از مساحت توده دالاهو را به خود اختصاص داده است. طبقه با توسعه کارست کم، بر حواشی شهرستان

تغذیه آبخوان، نشان می‌دهد که این آبخوان دارای پتانسیل بالایی در ذخیره منابع آب زیرزمینی است که باید تدابیر لازم به منظور برداشت صحیح و محافظت از آن صورت پذیرد. انتظاری و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی به مدل‌سازی مکانی منطق تغذیه آبخوان‌های کارستی با استفاده از مدل KARSTLOP در آبخوان کارستی خورین در استان کرمانشاه پرداختند. نتایج حاصله، حکایت از میزان بالای نفوذپذیری کوه خورین و نقش اصلی ژئومورفولوژی کارست کوه خورین در توزیع مکانی مقادیر تغذیه در آبخوان دارد، که با نتایج به دست آمده در مطالعه پیش‌رو مطابقت دارد. رادلوویچ و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی به منظور ارزیابی میزان تغذیه آب زیرزمینی در کارست‌ها در یوگسلاوی از روش جدیدی به نام KARSTLOP استفاده کرد. نتایج بیان می‌دارد استفاده از این روش می‌تواند در شناسایی آینده مناطق برای تحقیقات آبخوان‌ها مفید باشد و تکنیک‌های GIS ما را قادر می‌سازد ارزیابی نسبتاً سریعی از وضعیت منابع آب کارستی داشته باشیم. همچنین نتایج بیانگر میزان شارژ ۶۰ تا ۸۰ درصدی بود. که حاکی از میزان تغذیه بالای منطقه مورد مطالعه می‌باشد و با نتایج این مطالعه همخوانی دارد. اندروا و همکاران (۲۰۰۸) پژوهشی تحت عنوان ارزیابی تغذیه آبخوان‌های کارستی با استفاده از روش APLIS در جنوب اسپانیا انجام دادند. نتایج نشان داد که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار شامل لیتولوژی، نفوذپذیری و خاک است و میزان شارژ بین ۸ تا ۸۸ درصد در مناطق مختلف متغیر می‌باشد.

مقدار کلی میزان تغذیه برای کل حوضه آبخیز را می‌توان توسط برخی از روش‌های استاندارد از قبیل برآورد تبخیر و تعرق به وسیله معادلات تجربی، تعادل جرم کلر، و بودجه آب (نسبت رواناب/بارش) به دست آورد. البته همه آن‌ها باید تعادل عناصر آب را دقیق و بلندمدت اندازه‌گیری کنند. در مقابل، نقشه تغذیه دیجیتال به دست آمده با استفاده از روش KARSTLOP توزیع مکانی تغذیه اراضی را نمایش

مساحت، بر دشت‌های آبرفتی و بر نهشته‌های کواترنری و مناطق لغزشی منطبق است. مناطق با تغذیه بین ۵۰ تا ۵۵٪ و ۵۵ تا ۶۰٪ و ۶۰ تا ۶۵٪ با درصد مساحت در حدود ۱۰٪، به صورت مناطق پراکنده در حواشی کوه دالاهو و منطبق بر سازندهای پابده، ایلام و سروک و تله زنگ می‌باشند. مناطقی با تغذیه بین ۶۵ تا ۷۰٪ دامنه‌های خرده شده با درزه و شکاف‌های زیاد و قسمت اعظم کوهستان دالاهو را به خود اختصاص داده‌اند. این دامنه‌ها علیرغم شیب نسبتاً زیاد، به شدت خرده شده و اغلب به صورت رخنمون‌های سنگی درزه و شکاف دار است. همچنین خاک این دامنه‌ها کم ضخامت و پوشش گیاهی آن تنک و به این علت، میزان نفوذ در این مناطق، زیاد می‌باشد. این منطقه، منطبق بر سازند آهک آسماری- شهبازان بوده و ۲۲٪ مساحت دالاهو را به خود اختصاص داده است.

نواحی با تغذیه بین ۷۰ تا ۷۵٪ منطبق بر مناطق مرتفع کوهستان بوده و ۳۰٪ مساحت منطقه مورد مطالعه را در برمی‌گیرند. شیب این نواحی کم، خاک آن‌ها کم ضخامت و درشت‌دانه، پوشش گیاهی تنک و ژئومورفولوژی کارست توسعه یافته و منطبق بر آهک آسماری- شهبازان و به شدت تکتونیزه است. مناطق با تغذیه ۷۵ تا ۸۱ درصد نیز منطبق بر بزرگ‌ترین پولیه منطقه واقع در شمال شرقی کوهستان و همچنین به صورت پراکنده در بقیه نواحی موجود می‌باشند. این میزان تغذیه منطبق بر مرتفع‌ترین قیمت‌های توده نیز است. وجود دولین (فروچاله) و پونورها و امکان تغذیه متمرکز از طریق آن‌ها، نقش بسیار مهمی در بالا بودن میزان تغذیه در این قسمت، دارا می‌باشد.

این موارد بیانگر نقش اصلی ژئومورفولوژی کارست کوه دالاهو در توزیع مکانی مقادیر شارژ در آبخوان است. موارد گفته شده، بیانگر نقش اصلی ژئومورفولوژی کارست کوه دالاهو در توزیع مکانی مقادیر شارژ در آبخوان است. و نتایج پهنه‌بندی تغذیه با نتایج حاصل از پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی، کاملاً منطبق است.

بالا بودن میزان تغذیه و همچنین توزیع مکانی مناطق

مدل انتخاب گردید. نتایج نشان داد که به‌کارگیری هم‌زمان GIS و آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی بسیار مفید است. آدیت^۱ و همکاران (۲۰۱۲) و روسو^۲ و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که مدل‌های مبتنی بر GIS) برای تولید نقشه پتانسیل آب زیرزمینی بخصوص در مناطقی که با کمبود داده مواجه هستیم، بسیار مفید می‌باشند. مطالعه سیستماتیک از سفره‌های آب کارستی اهمیت زیادی دارد، به‌خصوص برای مقاصد شرب و کشاورزی و غیره. نقشه نهایی تغذیه، و همچنین لایه‌های به‌دست‌آمده توسط روش KARSTLOP، می‌تواند به‌عنوان ورودی‌هایی برای مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی استفاده شود و برای پرداختن به مسائل عملی کارستی در رابطه با مدیریت آب مانند عرضه آب، توزیع مکانی حوضه‌های آبخیز، مدیریت فرامرزی آب و ارزیابی اولیه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

منابع و مأخذ

- انتظاری، یمانی، جعفری‌اقدم؛ مژگان، مجتبی، مریم (۱۳۹۴). مدل‌سازی مکانی مناطق تغذیه آبخوان‌های کارستی با استفاده از مدل KARSTLOP (مطالعه موردی: آبخوان کارستی خورین). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال چهارم، شماره دو، ص ۱۳۷-۱۲۱.
- حمیدی‌زاده، کلانتری، کشاورزی، چرچی؛ فروغ، نصرالله، محمدرضا، عباس (۱۳۹۱). بررسی هیدروژئولوژیکی و زمین‌ساختاری چشمه دره‌اناری در منطقه کارستی شیرین بهار استان خوزستان. مجله تحقیقات منابع آب ایران. سال هشتم، شماره یک.
- مؤمنی، منصور (۱۳۸۹)، مباحث نوین تحقیق در عملیات، انتشارات دانشگاه تهران.
- Adiat, K. A. N., Nawawi, M. N. M., & Abdullah, K. (2012). Assessing the accuracy of GIS-based elementary

می‌دهد و همچنین قادر به گرفتن ارزش آماری میانگین تغذیه نه‌تنها برای کل حوضه آبخیز، بلکه برای یک منطقه کوچک‌تر که موردعلاقه خاص است، می‌باشد. علاوه بر این، بسیاری از روش‌های استاندارد مانند اندازه‌گیری‌های مستقیم (لایسی مترها و نشت‌مترها) و دیگر روش‌های توازن جرمی، مقادیر به‌دست‌آمده به دلیل عدم پوشش خاک نمی‌توانند نماینده کل منطقه باشند و یا به دلیل در دسترس نبودن مکان‌هایی در کارست‌ها امکان‌پذیر نیستند.

به‌طورکلی بسیاری از روش‌ها، خصوصیات هیدروژئولوژی را در آبخوان‌های کارستی در نظر نمی‌گیرند درحالی‌که روش KARSTLOP به‌خصوص متغیرهایی را که ارزش زیادی در تغذیه اراضی کارستی شده دارند، تجزیه و تحلیل می‌کند. برای این نوع از برنامه‌های کاربردی در سیستم اطلاعات جغرافیایی، رایج است که ارزش نشان داده‌شده از روش KARSTLOP توسط تخمین به‌دست‌آمده است. به‌منظور بهبود دقت، مقدار زیادی از داده‌های موردنیاز جمع‌آوری و ارزیابی می‌شوند، که این کار، می‌تواند در کوه‌ها و در اراضی کارستی غیرقابل‌دسترس دشوار باشد. روش KARSTLOP، ما را قادر می‌سازد با ترکیبی از داده‌های موجود، مطالعاتمان در مورد آبخوان‌های کارستی تکمیل شود.

داده‌های زمانی موجود و سنجش‌ازدور همراه با تحقیقات میدانی و اندازه‌گیری نقشه‌های توپوگرافی، DEM، نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های خاکشناسی، نقشه‌های پوشش گیاهی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های غارشناسی، رژیم تخلیه، نتایج آزمون ردیاب و داده‌های هیدرو شیمی برای استفاده از این روش کافی است. چنینی و همکاران (۲۰۱۰) در یک مطالعه به‌منظور شناسایی مناطق مناسب تغذیه آب زیرزمینی منطقه‌ای در کشور تونس، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کرد.

در این مطالعه پارامترهای زمین‌شناسی، تراکم زهکشی، تراکم خطواره، نفوذپذیری و سنگ‌شناسی برای ورود به

1- Adait

2- Russo

14. Elbeih, S. F. (2015). An overview of integrated remote sensing and GIS for groundwater mapping in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, 6(1), 1-15.
15. Farfán, H., Corvea, J. L., & De Bustamante, I. (2010). Sensitivity analysis of APLIS method to compute spatial variability of karst aquifers recharge at the National Park of Viñales (Cuba). In *Advances in Research in Karst Media* (pp. 19-24). Springer Berlin Heidelberg.
16. Ford, D., & Williams, P. D., (2013). *Karst hydrogeology and geomorphology*. John Wiley & Sons.
17. Geyer T, Birk S, Liedl R, Sauter M (2008) Quantification of temporal distribution of recharge in karst systems from spring hydrographs. *J Hydrol* 348:452–463.
18. Healy RW (2010) *Estimating groundwater recharge*. Cambridge University Press, Cambridge.
19. Konkul, J., Rojborwornwittaya, W., & Chotpantarat, S. (2014). Hydrogeologic characteristics and groundwater potentiality mapping using potential surface analysis in the Huay Sai area, Phetchaburi province, Thailand. *Geosciences Journal*, 18(1), 89-103.
20. Kumar, A., & Pandey, A. C. (2016). Geoinformatics based groundwater potential assessment in hard rock terrain of Ranchi urban environment, Jharkhand state (India) using MCDM–AHP techniques. *Groundwater for Sustainable Development*, 2, 27-41.
21. Martinez-Santos P, Andreu JM (2010) Lumped and distributed approaches to model natural recharge in semiarid karst aquifers. *J Hydrol* 388:389–398.
22. Moghaddam, D. D., Rezaei, M., Pourghasemi, H. R., Pourtaghie, Z. S., & Pradhan, B. (2015). Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan Watershed, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(2), 913-929.
23. Moradi, S., Kalantari, N., & Charchi, A. (2016). Karstification Potential Mapping in Northeast of Khuzestan Province, Iran, using Fuzzy Logic and Analytical Hierarchy Process (AHP) techniques. *Geopersia*, 6(2), 265-282.
24. Nagarajan, M., & Singh, S. (2009). Assessment of groundwater potential zones using GIS technique. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37(1), 69-77.
- multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool—A case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. *Journal of Hydrology*, 440, 75-89.
5. Afrasiabian, A. (2007). The importance of protection and management of Karst water as drinking water resources in Iran. *Environmental geology*, 52(4), 673-677.
6. Agarwal, E., Agarwal, R., Garg, R. D., & Garg, P. K. (2013). Delineation of groundwater potential zone: An AHP/ANP approach. *Journal of Earth System Science*, 122(3), 887-898.
7. Amin, M. M., Veith, T. L., Collick, A. S., Karsten, H. D., & Buda, A. R. (2017). Simulating hydrological and nonpoint source pollution processes in a karst watershed: A variable source area hydrology model evaluation. *Agricultural Water Management*, 180, 212-223.
8. Andreo, B., Vías, J., Durán, J. J., Jiménez, P., López-Geta, J. A., & Carrasco, F. (2008). Methodology for groundwater recharge assessment in carbonate aquifers: application to pilot sites in southern Spain. *Hydrogeology Journal*, 16(5), 911-925.
9. Awawdeh, M., Obeidat, M., Al-Mohammad, M., Al-Qudah, K., & Jaradat, R. (2014). Integrated GIS and remote sensing for mapping groundwater potentiality in the Tulul al Ashaqif, Northeast Jordan. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(6), 2377-2392.
10. BAGHERI, S., DAVOODI, M., YARAHMADI, D., JAFARI-AGHDAM, M., & Soltani, M. (2013). Assessing and mapping the vulnerability of karstic aquifer using gis and cop model.
11. Bakalowicz, M. (2005). Karst groundwater: a challenge for new resources. *Hydrogeology journal*, 13(1), 148-160.
12. Carter B, G., (1996). *Geomorphic information system for geoscientists (modeling for GIS) peradmen publication USA*. Chapter 9.
13. Chenini, I., Mammou, A. B., & El May, M. (2010). Groundwater recharge zone mapping using GIS-based multi-criteria analysis: a case study in Central Tunisia (Maknassy Basin). *Water Resources Management*, 24(5), 921-939.

Mountain, Khorasan Razavi Province.

35. Senanayake, I. P., Dissanayake, D. M. D. O. K., Mayadunna, B. B., & Weerasekera, W. L. (2016). An approach to delineate groundwater recharge potential sites in Ambalantota, Sri Lanka using GIS techniques. *Geoscience Frontiers*, 7(1), 115-124.

36. Stokes, T. R. (1999). Reconnaissance karst potential mapping for British Columbia. BC Min. For. Res. Br., Victoria, BC. www.for.gov.bc.ca/hfp/values/features/karst/index.htm (Accessed May 2010).

37. Van Alphen, B. J., & Stoorvogel, J. J., (2000). A functional approach to soil characterization in support of precision agriculture. *Soil Science Society of America Journal*, 64(5), 1706-1713.

38. Venkateswaran, S., & Ayyandurai, R. (2015). Groundwater potential zoning in upper Gadilam river basin Tamil Nadu. *Aquatic Procedia*, 4, 1275-1282.

39.

25. Oh, H. J., Kim, Y. S., Choi, J. K., Park, E., & Lee, S. (2011). GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *Journal of Hydrology*, 399(3), 158-172.

26. Oikonomidis, D., Dimogianni, S., Kazakis, N., & Voudouris, K. (2015). A GIS/Remote Sensing-based methodology for groundwater potentiality assessment in Timavos area, Greece. *Journal of Hydrology*, 525, 197-208.

27. Preeja, K. R., Joseph, S., Thomas, J., & Vijith, H. (2011). Identification of groundwater potential zones of a tropical river basin (Kerala, India) using remote sensing and GIS techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 39(1), 83-94.

28. Radulovic, M. M. (2009). KARSTLOP method—Multiparameter analysis of karstic terrains potential for effective infiltration. *Fac. Min. Geol., University of Belgrade, Belgrade*.

29. Radulovic, M., Stevanovic, Z., & Radulovic, M. (2012). A new approach in assessing recharge of highly karstified terrains—Montenegro case studies. *Environmental Earth Sciences*, 65(8), 2221-2230.

30. Raeisi, E. (2008). Ground-water storage calculation in karst aquifers with alluvium or no-flow boundaries. *Journal of cave and Karst studies*, 70(1), 62-70.

31. Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Melesse, A. M. (2016). Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: a case study at Mehran Region, Iran. *Catena*, 137, 360-372.

32. Rahmati, O., Samani, A. N., Mahmoodi, N., & Mahdavi, M. (2015). Assessment of the contribution of N-fertilizers to nitrate pollution of groundwater in western Iran (Case Study: Ghorveh–Dehgela Aquifer). *Water Quality, Exposure and Health*, 7(2), 143-151.

33. Russo, T. A., Fisher, A. T., & Lockwood, B. S. (2015). Assessment of managed aquifer recharge site suitability using a GIS and modeling. *Groundwater*, 53(3), 389-400.

34. Sangani, K. Y., Mohammadzadeh, H., & Akbari, M. An Evaluation of Groundwater Potential Zones Using Combined Fuzzy-AHP Method and GIS/RS Technologies: A Case Study of NE Hezarmasjed

