

## ارزیابی توان استعداد تغذیه ی آب زیرزمینی با استفاده از روش های سنجش از دور و GIS

روح اله آدینه وند<sup>۱\*</sup>

### چکیده

استفاده از قابلیت های سنجش از دور و سامانه اطلاعات مکانی در تهیه ی نقشه های موضوعی و تلفیق آنها در قالب نقشه های پهنه بندی، یکی از ابزارهای مهم در ارزیابی توان استعداد تغذیه ی آب زیرزمینی است. در این بررسی نقشه های موضوعی با استفاده از عوامل موثر در توان استعداد تغذیه از قبیل عوامل آب شناختی مانند تخلیه ی چشمه ها، زمین ساختاری مانند درزه و شکستگی ها، سنگ شناسی مانند جنس سازندها، پستی و بلندی مانند شیب سطح زمین و نمایه رطوبت پستی و بلندی، اقلیمی مانند بارش، دما و پوشش گیاهی در تهیه ی نقشه ی توان استعداد تغذیه ی آب زیرزمینی استفاده شد. بدین منظور نقشه های موضوعی با استفاده از اطلاعات رقومی سنجش از دور تهیه شد. سپس با استفاده از روش ارجاع دادن، مقایسه ی زوجی و با اعمال نظر کارشناسی که با بازدیدهای صحرایی در برخی نقاط منطقه صورت گرفت، سلول های هر نقشه و متعاقب آن کل نقشه با توجه به تاثیری که در توان استعداد تغذیه دارد، ارزش گذاری شد. پس ارزش گذاری هر کدام از نقشه های موضوعی تهیه شده، با بکارگیری روش هم پوشانی، نقشه ی نهایی توان استعداد تغذیه ی آب زیرزمینی تهیه گردید. برای بررسی صحت نسبی نقشه ی توان استعداد تغذیه از موقعیت چشمه های منطقه استفاده شد. اکثر حوضه ی آبگیر چشمه های بزرگ در مناطق با توان استعداد تغذیه ی بالا قرار گرفته اند که حاکی از صحت نسبی بالای نقشه ی موضوعی توان استعداد تغذیه برای منطقه ی مطالعه شده است.

**کلمات کلیدی:** توان استعداد تغذیه ی آب زیرزمینی، نقشه های موضوعی، سنجش از دور، سامانه اطلاعات مکانی

<sup>۱</sup> دانش آموخته دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم - بخش علوم زمین دانشگاه شیراز

تلفن: ۰۹۱۹۶۳۹۸۵۲۱ Email: radinehvand66@yahoo.com

## مقدمه

جغرافیایی ۳۰ ۵۴۹' تا ۱۰ ۵۵۱' و عرض‌های جغرافیایی ۳۰ ۵۳۰' تا ۴۰ ۵۳۲' قرار دارد (شکل ۱). شرایط آب و هوایی در محدوده‌ی مطالعه شده به علت گستردگی آن متغیر است، به طوری که بارش در ارتفاعات به صورت برف و در مناطق پست به صورت باران است. در محدوده‌ی مطالعه شده ارتفاع از ۲۸۰ متر تا ۳۵۹۴ متر در تغییر است. بارندگی در منطقه از حداقل ۲۰۰ تا حداکثر ۱۰۰۰ میلی‌متر و متوسط درازمدت آن حدود ۶۰۰ میلی‌متر در سال است. بر اساس تقسیم‌بندی اشتوکلین (۱۹۶۸) محدوده‌ی مطالعه شده از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در منطقه‌ی زاگرس قرار می‌گیرد. از نظر زمین‌شناسی، بخشی از محدوده‌ی مطالعه شده در منطقه‌ی زاگرس چین‌خورده و بخشی از آن در منطقه‌ی زاگرس مرتفع واقع شده است. سکناس‌های رسوبی محدوده‌ی مطالعه شده از تریاس (سازند آهکی خانه‌کت) تا دوران چهارم (آبرفت‌های عهد حاضر) هستند (شکل ۱).

## تهیه‌ی پایگاه داده و لایه‌های اطلاعاتی

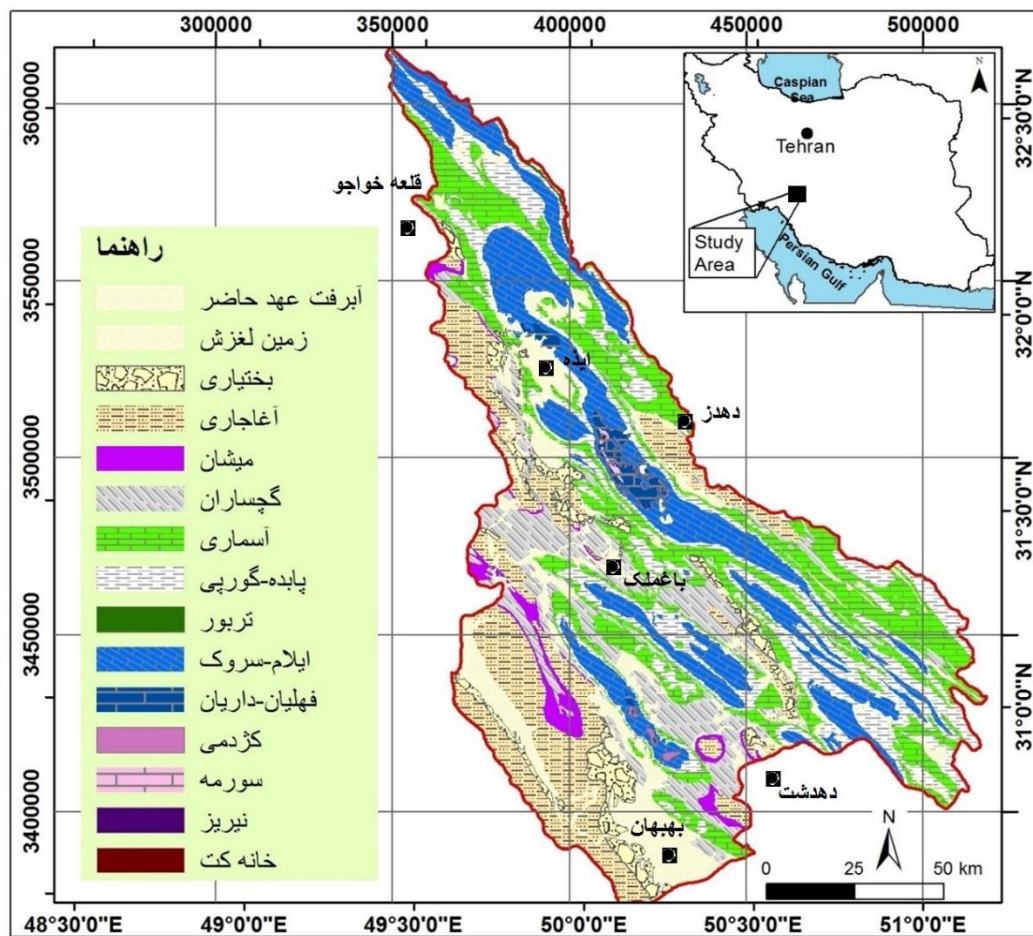
بر اساس مطالعات متعدد صورت گرفته در زمینه تعیین توان استعداد تغذیه‌ی منابع آب زیرزمینی، عامل‌های مهار کننده تغذیه در منطقه‌ی مورد مطالعه در سه گروه اصلی: (۱) عوامل زمینی (سنگ‌شناسی، چگالی خطواره و کاربری اراضی)، (۲) آب‌شناختی (شبکه زهکشی، بارش و دما) و (۳) زمین ریخت‌شناختی (شیب، جهت شیب و نمایه رطوبت پستی و بلندی) ارزیابی گردیده است. اطلاعات مذکور از نقشه‌های زمین‌شناسی شرکت ملی نفت ایران و سازمان زمین‌شناسی کشور با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰، مدل ارتفاعی رقومی منطقه با دقت مکانی ۳۰ متر (ASTER DEM) سازمان نقشه برداری، اطلاعات میانگین بارش و دمای میانگین سی ساله وزارت نیرو، نقشه‌ی کاربری اراضی سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سنجنده ETM+ از چهار تصویر با گذر و ردیف‌های ۳۹-۱۶۵، ۳۸-۱۶۵، ۳۹-۱۶۴ و ۳۸-۱۶۴ مربوط به سال ۲۰۰۲ استخراج و در بسته‌های نرم‌افزاری ArcGIS 10.4، ERDAS IMAGINE و PCI GEOMATICA 10.9.1 و EXPERT CHOICE 11.0 تجزیه و تحلیل شده و نقشه‌های موضوعی تهیه گردیدند.

با توجه به اقلیم خشک ایران، کمبود بارش و توزیع نامناسب مکانی و زمانی آن، منابع آب زیرزمینی و تغذیه‌ی آب زیرزمینی از اهمیت خاصی برخوردار است. یکی از مهمترین روش‌های مطالعه تغذیه‌ی آب زیرزمینی، بررسی عوامل مؤثر بر این فرایند مانند سنگ‌شناسی، درزه و شکستگی‌ها، شیب، دما، مقدار بارش و پوشش گیاهی با استفاده از ابزارهای سنجش از دور با پردازش اطلاعات ماهواره‌ای، بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و پستی و بلندی است. استفاده از سنجش از دور در تعیین مناطق دارای توان استعداد تغذیه می‌تواند زمان و هزینه این گونه بررسی‌ها را به گونه‌ای قابل توجه کاهش دهد. تخمین تغذیه‌ی آب زیرزمینی یک مولفه کلیدی در مطالعات در مناطق خشک و نیمه خشک است (کندی و همکاران، ۲۰۰۴). مطالعات بسیاری در نقاط مختلف جهان برای توان استعداد تغذیه‌ی آب زیرزمینی صورت گرفته است که از جمله می‌توان به جاسمین و همکاران (۲۰۱۱)، گونیتا و پاتیل (۲۰۱۲)، گیتهو و همکاران، (۲۰۱۲)، کروسی و همکاران (۲۰۱۵)، بویان و همکاران (۲۰۰۹)، آندرو و همکاران (۲۰۰۸)، شبان و همکاران (۲۰۰۶) و میلوسکی (۲۰۰۸) اشاره نمود. از مطالعاتی که در ایران در این زمینه صورت گرفته است نیز می‌توان به ناصری و خدایی (۲۰۰۱)، غیثی (۲۰۰۸)، تاج آبادی و زارع (۲۰۱۳)، دشتی برمکی و همکاران (۲۰۱۵)، صابری و همکاران (۲۰۱۲)، خدری و همکاران (۲۰۱۳) و زروش و همکاران (۲۰۱۴) اشاره نمود. بررسی کارهای انجام شده در تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی توان استعداد آب زیرزمینی-کارستی یا توان استعداد تغذیه با روش‌های دورسنجی و GIS، نشان می‌دهد که عوامل مؤثر از مطالعه‌ی به مطالعه دیگر تا حدودی متفاوت است. در این مطالعه از دیدگاه‌های مختلف ارائه شده در مطالعات فوق الذکر برای تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی توان استعداد تغذیه‌ی آب زیرزمینی بهره گرفته شده است.

## مواد و روش‌ها

### مشخصات منطقه‌ی مطالعه شده

محدوده‌ی مطالعه شده شامل منطقه‌ی گسترده‌ای از استان فارس، خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال و بختیاری به وسعت ۱۶۶۷۰ کیلومتر مربع است (شکل ۱). این منطقه در حد فاصل طول‌های



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مطالعه شده.

وزنی خطی که در آن وزن هر طبقه مجزا در وزن لایه‌های اطلاعاتی ضرب می‌شود، تهیه گردید (رابطه‌ی ۱):

$$RP = \sum_{i=1}^n W_i \times X_i \quad (1)$$

که در آن  $RP$  نمایه توان استعداد تغذیه،  $W$  وزن لایه‌ی اطلاعاتی معین،  $X$  لایه‌ی اطلاعاتی معین و  $n$  تعداد لایه‌های مطلوب در تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی توان استعداد تغذیه‌ی آب زیرزمینی است.

با توجه به عوامل فوق‌الذکر، روش تهیه‌ی نقشه‌های موضوعی به اختصار بررسی می‌شوند:

**زمین‌شناسی منطقه:** سنگ‌شناسی منطقه عمدتاً از آهک‌ها تا آهک‌های مارنی تریاس (خانه‌کت)، کرتاسه (گروه خامی و گروه بنگستان) تا دوران سوم (آسماری)، مارن و مارن‌های آهکی کرتاسه- دوران سوم (پابده-گورپی)، مارن و ماسه‌سنگ دوران سوم (آغاجاری)، کنگلومرای دوران سوم (بختیاری)، گچ و گچ‌های مارنی

نقشه‌های موضوعی تهیه‌ی شده طبقه‌بندی شده و به هر طبقه یک وزن متناسب با اهمیت آن اختصاص داده شد. در وزن دهی معیار نسبت سازگاری (consistency ratio) کمتر از ۰/۱ برای صحت کار در تمامی وزن‌های اختصاص یافته برای لایه‌های مختلف لحاظ گردید. پس از تولید تمامی لایه‌های اطلاعاتی در قالب نقشه‌های موضوعی، از روش‌های هم پوشانی برای تلفیق آنها و تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی توان استعداد تغذیه‌ی آب زیرزمینی استفاده گردید. در مرحله هم پوشانی، لایه‌های اطلاعاتی مختلف با توجه به درجه اهمیت آنها و اثر متقابل آنها بر یکدیگر به دو صورت نقش اساسی و نقش فرعی به وسیله روش ارجاع دادن (referring approach) (شبان و همکاران، ۲۰۰۶) و با لحاظ نسبت سازگاری قابل قبول در مقایسه‌ی زوجی برای تهیه‌ی نقشه‌ی توان استعداد تغذیه‌ی آب زیرزمینی منطقه بررسی گردیدند. نقشه‌ی نهایی به وسیله تلفیق

**شیب منطقه:** شیب نرخ تغییر در ارتفاع را نشان می‌دهد (کروسبی، ۲۰۰۶) و معمولاً به صورت درصد یا بر حسب درجه بیان می‌شود. نقشه‌ی شیب از روی DEM منطقه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر تهیه شد (شکل ۳). با توجه به این که در شیب‌های کم فرصت نفوذ بیشتر است به شیب‌های کم ارزش بیشتری داده شد. مقدار شیب منطقه از صفر تا ۸۲ درجه در نوسان است.

**جهت شیب منطقه:** جهت شیب یکی از مولفه‌های مهم در میزان نفوذ است که معمولاً در ارزیابی تغذیه به آن توجه نشده است. به طور فیزیکی جهت شیب به مولفه‌هایی از قبیل اثر باد و جهت تابش خورشید در ارتباط است (ارکانگلو و همکاران، ۲۰۰۴). در برخی جهت‌های شیب مانند جهت شمال که در بیشتر مواقع سایه‌گیر است، تابش مستقیم خورشید کمتر بوده و بنابراین میزان ماندگاری رطوبت و در نتیجه میزان تغذیه بیشتر است. جهت شیب یا جهت حداکثر شیب منطقه در نه طبقه دسته‌بندی شد (شکل ۴).

#### نمایه رطوبت پستی و بلندی topographic wetness index

**[TWI]index:** این مولفه برای کمی کردن اثر پستی و بلندی بر روی فرایندهای آب‌شناختی مورد استفاده قرار می‌گیرد (مر و همکاران، ۱۹۹۱؛ دوکتا و همکاران، ۲۰۱۳). مقدار این مولفه از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود (کروسبی، ۲۰۰۶):

$$TWI = \ln(A_s / tg\beta) \quad (2)$$

که در آن  $A_s$ : مساحت بالادست شیب [specific catchment area] که به یک نقطه زهکش می‌شود (بر حسب متر مربع)،  $\beta$ : زاویه‌ی شیب در آن نقطه (بر حسب رادیان) می‌باشد. این مولفه منطقه‌های اشباع را برآورد می‌نماید و مقادیر بالای آن بیانگر تمرکز آب است (کروسبی، ۲۰۰۶). مقادیر بالا و مثبت آن بیانگر تمرکز بیشتر آب بوده و مقادیر منفی بیانگر عدم تمرکز آب در یک نقطه است. در منطقه مقدار این مولفه از 1.4+ تا 16.3+ در تغییر است (شکل ۵).

#### کاربری اراضی (land use):

نوع کاربری زمین نقش مهمی در میزان تغذیه دارد. مثلاً در مناطقی با کاربری شهری نسبت به جنگل، آب بارش به نسبت بسیار کمتری نفوذ می‌کند. در محدوده مطالعه شده کاربری زمین با توجه به نقشه‌ی کاربری اراضی تهیه شده به وسیله سازمان

دوران سوم (گچساران) و آبرفت‌های عهد حاضر تشکیل شده است (شکل ۱). مشخصات سازندهای فوق‌الذکر از قدیم به جدید به شرح زیر اند. سازند خانه‌کت شامل دولومیت‌های خاکستری با ضخامت حدود ۳۵۰ متر است؛ سازندهای گروه خامی شامل سازند نیریز با جنس آهک دولومیتی و آهک نازک لایه به ضخامت حدود ۲۰۰ متر؛ سازند نیریز با ضخامت حدود ۷۵۰ متر از دولومیت و آهک‌های دولومیتی؛ سازندهای فهلیان و داریان به صورت تفکیک نشده با ضخامت تقریبی ۶۵۰ متر از آهک‌های توده‌ای هستند. سازندهای گروه بنگستان شامل شیل‌های سازند کژدمی به ضخامت حدود ۲۰۰ متر؛ سازندهای تفکیک نشده ایلام و سروک به ضخامت حدود ۵۰۰ متر، که به ترتیب از آهک‌های رسی با میان لایه‌های شیل و آهک توده‌ای تشکیل شده‌اند. سازندهای تفکیک نشده پایده و گورپی به ضخامت تقریبی ۱۱۰۰ متر، که از مارن و شیل‌های خاکستری تا آبی رنگ همراه با میان لایه‌هایی از آهک مارنی تشکیل شده‌اند. سازند آسماری به ضخامت حدود ۴۰۰ متر در منطقه، که از آهک توده‌ای تشکیل شده است. سازند میشان با ضخامت حدود ۷۰۰ متر شامل مارن‌های خاکستری است. سازند گچساران شامل مارن‌های قرمز رنگ، انیدریت و گچ به ضخامت حدود ۱۶۰۰ متر بر روی آهک آسماری قرار گرفته است. سازند آغاچاری با ضخامت تقریبی ۳۰۰۰ متر از ماسه سنگ‌های آهکی و مارن‌های قرمز رنگ با میان لایه‌های ژپس بر روی سازند میشان قرار گرفته است. سازند بختیاری، که از کنگلومرای خوب گردشده به ضخامت تقریبی ۱۰۰۰ متر در منطقه تشکیل شده است. نوع سنگ رخنمون یافته در سطح زمین به طور بسیار موثری تغذیه‌ی آب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (شبان و همکاران، ۲۰۰۶). این لایه‌ی اطلاعاتی با استفاده از نقشه‌ی‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران (برگه‌های دهدز، هفتکل، صیدون و آسماری) و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (برگه‌های اردل و چنگ) تهیه‌ی گردید. ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه مطالعه شده و سپس زمین مرجع شدند. سپس با رقومی کردن سازندها به هر سازند با توجه به اهمیتی که در پدیده تغذیه‌ی آب زیرزمینی می‌تواند داشته باشد، وزن مناسبی داده شد (شکل ۲).

(یه و همکاران، ۲۰۱۶). چگالی طول شبکه‌ی آبراهه ( $D_d$ ) بر حسب واحد طول بر واحد سطح به وسیله رابطه‌ی (۳) محاسبه شد:

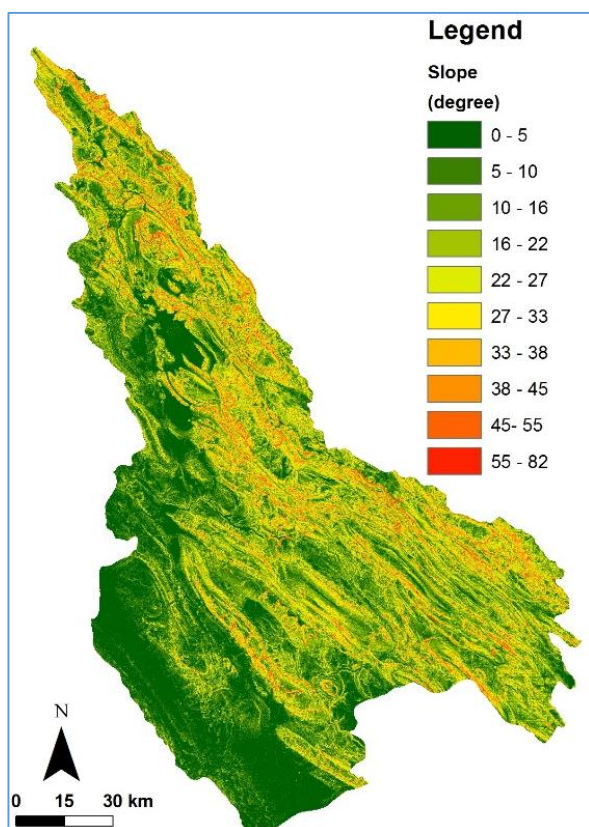
$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{A} \quad (3)$$

که در آن  $S_i$  طول هر آبراهه (برحسب کیلومتر)،  $A$  مساحت کل منطقه و  $n$  تعداد آبراهه‌هاست.

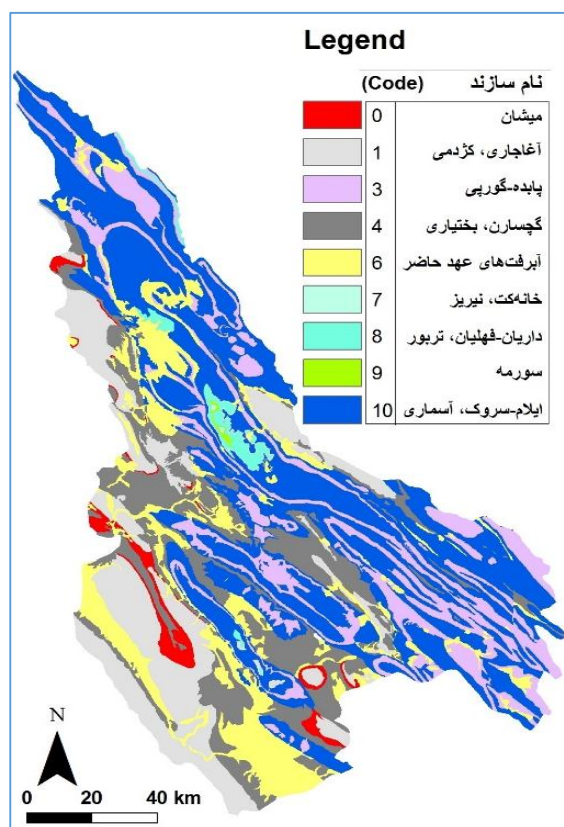
در محدوده مطالعه شده این لایه با استفاده از شبکه‌ی آبراهه‌ی نقشه‌های پستی و بلندی استخراج و با به کارگیری رابطه‌ی بالا تهیه و در ۱۰ دسته طبقه‌بندی گردید (شکل ۷).

جنگل‌ها و مراتع کشور به مرتع با پوشش کم تا زیاد، اراضی کشاورزی آبی و دیم، جنگل با پوشش کم تا زیاد، توده‌های آبی، مناطق شهری و مناطق سنگی در قالب ده نوع کاربری بخش‌بندی گردید (شکل ۶). بیشترین ارزش به مناطق جنگلی با پوشش انبوه و کمترین ارزش به مناطق شهری اختصاص داده شد.

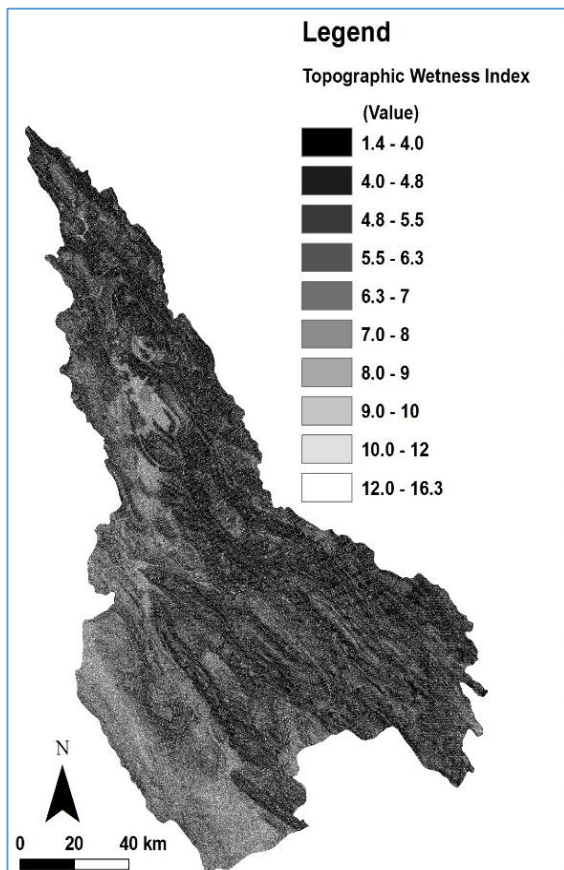
**تراکم شبکه‌ی آبراهه:** شبکه‌ی آبراهه نقشه معکوس در نفوذ آب به داخل زمین دارند، چه، آبراهه‌ها نقش انتقال رواناب را داشته و مانع از ماندگاری زیاد آب در سطح زمین می‌شوند. تراکم یا چگالی شبکه‌ی آبراهه برابر با کل طول تمامی شبکه‌ی آبراهه تقسیم بر کل مساحت منطقه است. کیفیت شبکه‌ی آبراهه بستگی به سنگ‌شناسی دارد که یک نمایه مهم را در ارتباط با نرخ نفوذ به دست می‌دهد



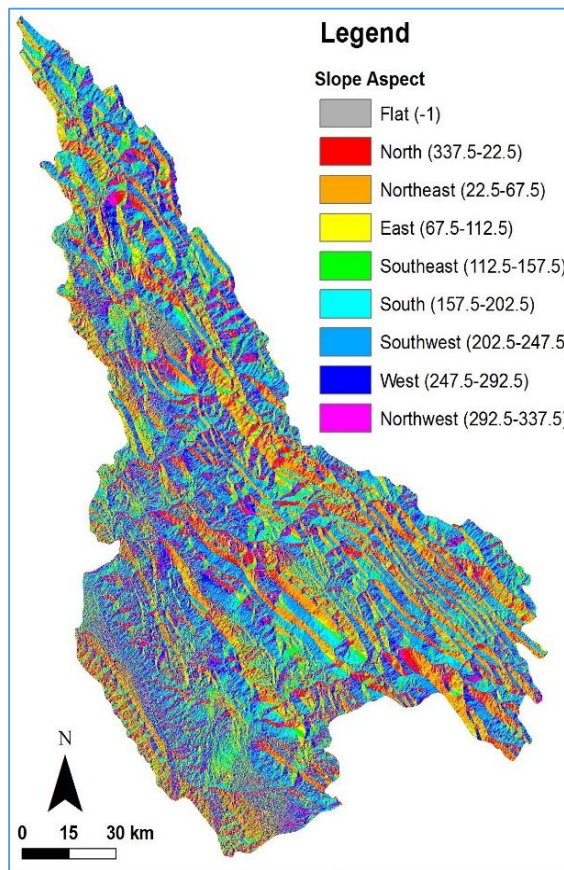
شکل ۳- نقشه‌ی طبقات شیب منطقه.



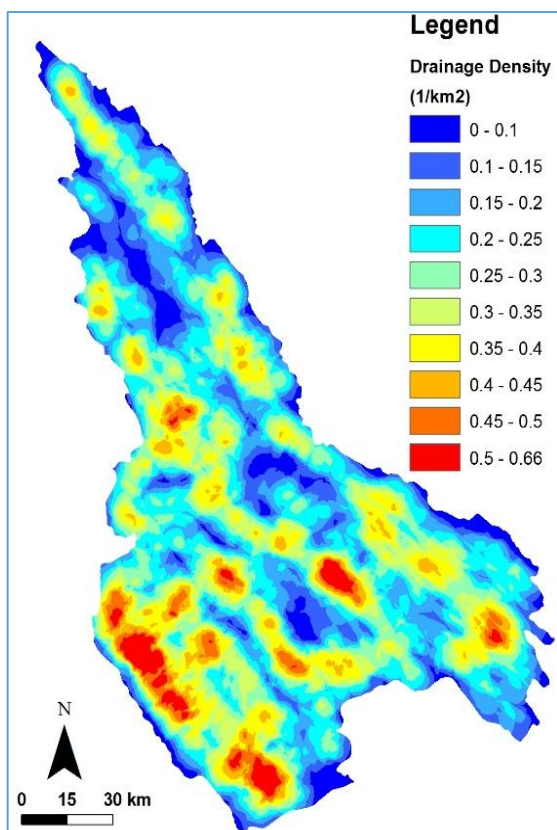
شکل ۲- نقشه‌ی طبقات زمین‌شناسی منطقه.



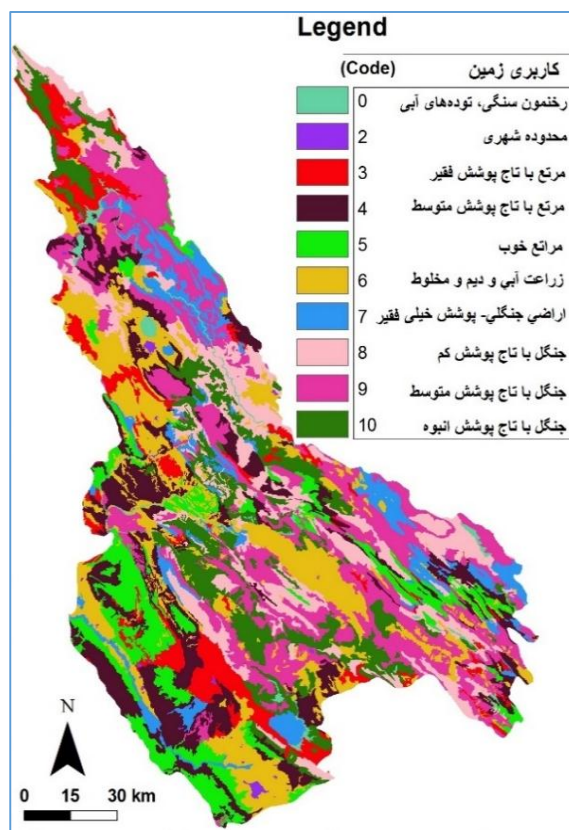
شکل ۵- نقشه‌ی طبقات نمایه رطوبت پستی و بلندی منطقه.



شکل ۴- نقشه‌ی طبقات جهت شیب منطقه.



شکل ۷- نقشه‌ی طبقات تراکم شبکه‌ی آبراهه‌ی منطقه.



شکل ۶- نقشه‌ی طبقات کاربری اراضی منطقه.

و با توجه به اینکه زمان ماندگاری آن بیشتر از باران است، نفوذ آب به داخل زمین نیز بیشتر می شود. برای تهیهی این لایه‌ی اطلاعاتی، آمار ۱۴ ایستگاه قبلی استفاده شده برای تهیهی رابطه‌ی بارش-ارتفاع، استفاده شد. با استفاده از میزان دما میانگین ماهانه و میانگین دمای مطلق سالانه این ایستگاه‌ها، رابطه‌ی میانگین دمای سالانه (T) و میانگین دمای مطلق سالانه (T<sub>0</sub>) محاسبه گردید (شکل ۹). در دماهای سالانه کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد (به عنوان دمایی که آب در آن یخ می زند و بارش به صورت برف است)، میانگین دمای مطلق سالانه برابر ۱۴ درجه سانتی‌گراد می‌شود. بنابراین میانگین دمای مطلق سالانه کمتر از ۱۴ درجه سانتی‌گراد به عنوان مرز باران و برف مشخص شده و سلول‌های با ارزش کمتر از آن وزن بیشتری داده شد (شکل ۱۰).

**چکالی خطواره‌ها:** درزه و شکستگی‌ها با ایجاد فضاهای مناسب برای حرکت عمقی آب، نقش مهمی را تغذیه‌ی آب زیرزمینی، به ویژه در سازندهای سخت، ایفا می‌نمایند.

**بارش:** برای تهیهی نقشه‌ی بارش منطقه آمار بارندگی ۳۰ ساله گردآوری شد، سپس ارتباط بین متوسط سالانه‌ی بارندگی و ارتفاع منطقه مشخص گردید. رابطه‌ی بارش-ارتفاع (رابطه‌ی ۴) با استفاده از آمار بارش در ۱۴ ایستگاه هواشناسی منطقه‌ی مطالعه شده به دست آمد (جدول ۱). متوسط سالانه بارش  $\bar{P}$  در یک مساحت معین (بر حسب متر):

$$\bar{P} = 10^{-3} \sum_{i=1}^n (293.08 \ln H_i - 1356.7), \quad R^2=0.94 \quad (4)$$

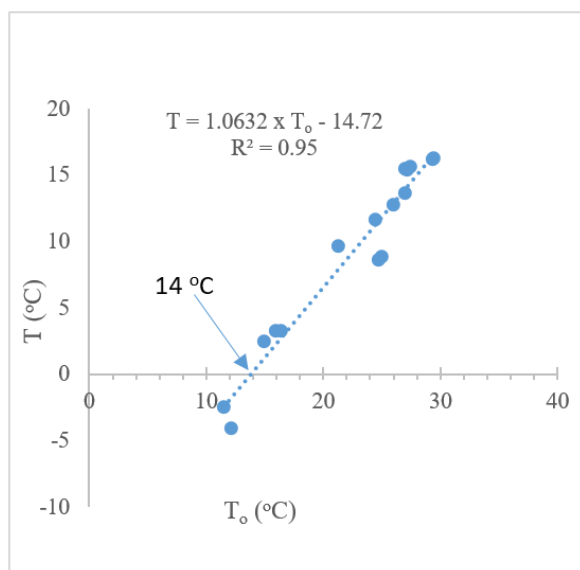
که در آن H ارتفاع از سطح دریا برای هر سلول از مدل ارتفاعی رقومی (بر حسب متر) و n شماره‌ی سلول مطلوب است.

با استفاده از رابطه‌ی (۴) نقشه‌ی بارش منطقه تهیه‌ی گردید (شکل ۸). با توجه به شکل حداکثر میزان بارش ۱۰۵۳ میلی‌متر و حداقل آن ۱۱۲ میلی‌متر است.

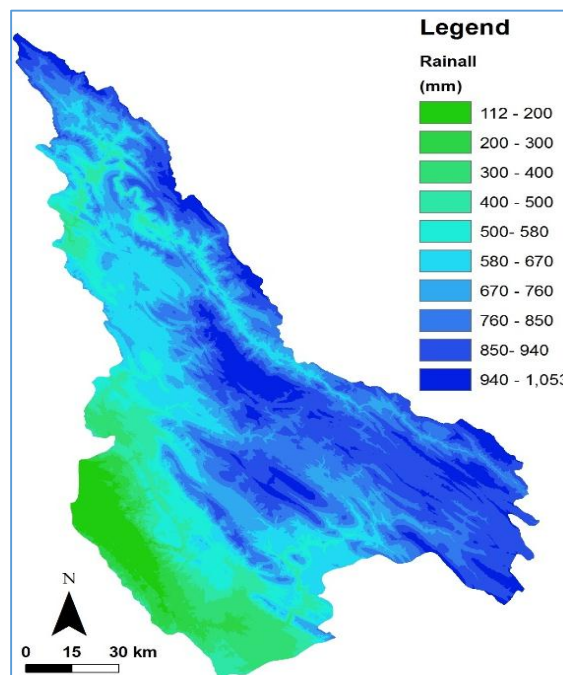
**دما:** دما در مقدار نفوذ آب به داخل زمین، به ویژه در ارتفاعات بالا، نقش مهمی را ایفا می‌کند. به این صورت که در ارتفاعات بسیار بالا بارش عمدتاً به صورت برف بوده

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شده برای محاسبه‌ی رابطه‌ی بارش-ارتفاع در سطح منطقه.

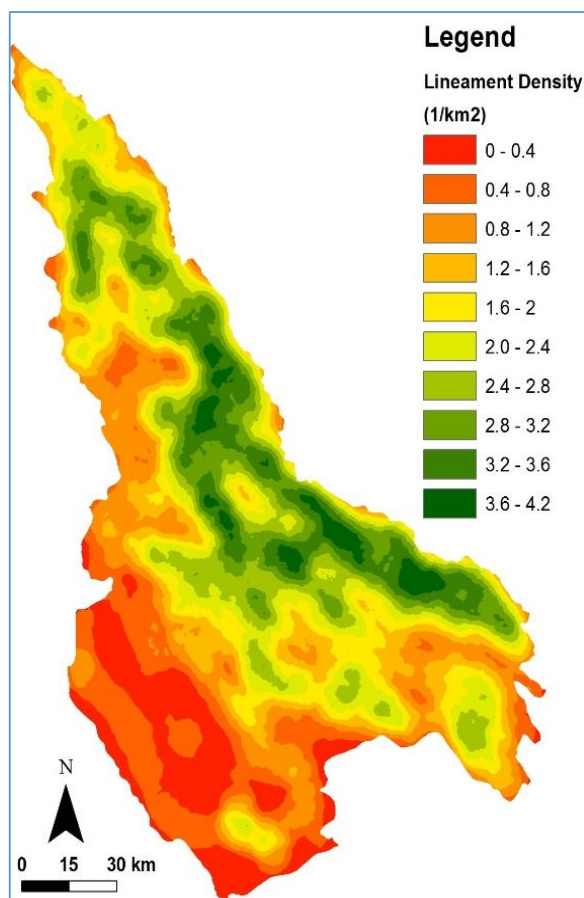
شماره	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	شهرکرد	۳۲° ۱۷'	۵۰° ۵۱'	۲۰۴۸/۹
۲	کوه‌رنگ	۳۲° ۲۶'	۵۰° ۰۷'	۲۲۸۵
۳	لردگان	۳۱° ۳۱'	۵۰° ۴۹'	۱۵۸۰
۴	بندر دیلم	۳۰° ۰۳'	۵۰° ۱۰'	۳/۹
۵	اهواز	۳۱° ۲۰'	۴۸° ۴۰'	۲۲/۵
۶	بهبهان	۳۰° ۳۶'	۵۰° ۱۴'	۳۱۳
۷	ایذه	۳۱° ۵۱'	۴۹° ۵۲'	۷۶۷
۸	مسجد سلیمان	۳۱° ۵۶'	۴۹° ۱۷'	۳۲۰/۵
۹	امیدیه (پایگاه)	۳۰° ۴۶'	۴۹° ۳۹'	۳۴/۹
۱۰	رامهرمز	۳۱° ۱۶'	۴۹° ۳۹'	۱۵۰/۵
۱۱	شوشتر	۳۲° ۰۳'	۴۸° ۵۰'	۶۷
۱۲	هندیجان	۳۰° ۱۷'	۴۹° ۴۴'	۳
۱۳	یاسوج	۳۰° ۴۱'	۵۱° ۳۳'	۱۸۱۶/۳
۱۴	دوگنبدان	۳۰° ۲۰'	۵۰° ۴۹'	۷۲۶



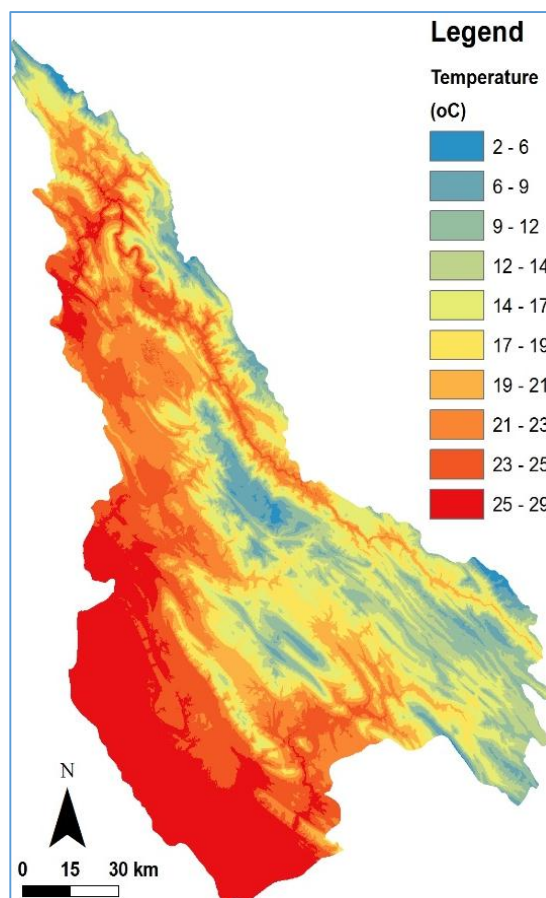
شکل ۹- نمودار دمای میانگین سالانه (T) و میانگین دمای مطلق سالانه (To) برای منطقه‌ی مطالعه شده.



شکل ۸- نقشه‌ی طبقات بارش منطقه.



شکل ۱۱- نقشه‌ی طبقات چگالی خطواره‌ها در منطقه.



شکل ۱۰- نقشه‌ی طبقات دمای منطقه.



عوامل تاثیرگذار بر یکدیگر به دو صورت تاثیر اساسی (وزن ۱) یا تاثیر فرعی (وزن ۰/۵) تعیین شدند. در مرحله ی بعد، برای اعمال محدودیت لازم و سازگاری وزن های اختصاص یافته برای لایه های اطلاعاتی مختلف، از مقایسه ی زوجی استفاده گردید. در این روش یک ماتریس از عامل ها ساخته شده که در آن عامل ها به صورت زوجی با هم مقایسه شده و اهمیت آنها نسبت به یکدیگر تعیین می گردد (مالزوسکی، ۱۹۹۹). خروجی کار نیز وزن نسبی عامل ها نسبت به یکدیگر بوده که در آن معیار ناسازگاری (inconsistency ratio) در وزن نسبی عامل ها باید کمتر از ۰/۱ لحاظ شده باشد (دی و رامچران، ۲۰۰۸). برای تعیین سازگاری مقایسه های زوجی انجام شده از نسبت سازگاری (CR) که با محاسبه ی نمایه ی سازگاری (CI) به دست می آید، استفاده شد. ابتدا نمایه ی سازگاری (CI) با توجه به رابطه ی زیر محاسبه شد:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (۶)$$

که در آن  $\lambda$  میانگین بردار سازگاری و  $n$  تعداد معیارهای تحت بررسی است. سپس با استفاده از نمایه سازگاری مقدار نسبت سازگاری (CR) محاسبه شد:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۷)$$

که در آن RI نمایه تصادفی بوده که به تعداد معیارهای بررسی شده وابسته است و برابر با میانگین نمایه سازگاری از ماتریس های تصادفی زوجی است. در اینجا از مقادیر RI محاسبه شده به وسیله آلانسو و لاماتا (۲۰۰۶) برای ۹ مولفه در ماتریس مقایسه ی زوجی استفاده شد، که در این مطالعه برای ۹ مولفه موجود برابر با ۱/۴۹۹۹ است (جدول ۲). چنانچه نسبت سازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد بیانگر قضاوت های نادرست بوده و مقادیر کمتر از ۰/۱ سطح قابل قبول برای مقایسه های زوجی را نشان می دهد (صابری و همکاران، ۲۰۱۲). در این مطالعه نسبت سازگاری عامل ها ۰/۰۵ بوده که کمتر از مقدار ۰/۱ است. پس از تهیه ی و سازماندهی لایه ها، به منظور تلفیق و تحلیل داده ها از روش هم پوشانی وزنی استفاده گردید. به منظور مقایسه ی نتایج نهایی، گروه وزن های مختلف به

در این مطالعه برای استخراج خطواره ها، از تصویر ماهواره ای لندست سنجنده ETM+ و باند ۷، به علت اینکه کمتر تحت تاثیر پراکنش های جوی قرار می گیرد، استفاده شده است. قبل از اعمال پردازش های لازم برای استخراج خطواره ها، برای رفع نوفه ها و بالابردن کیفیت تصاویر، ابتدا تبدیل فوریه (Fourier Transform) بر روی باند پانکروماتیک ۸ هر کدام از تصویرهای چهار گانه اعمال شد. در ادامه فیلتر جهتی Sobel در چهار جهت اصلی اعمال، و همچنین از فیلتر آشکار ساز لبه برای استخراج خطواره های منطقه ی مطالعه شده استفاده گردید. از روش خودکار و به کمک ماژول line در نرم افزار PCI GEOMATICA برای استخراج خطواره ها بهره وری شد. سپس خطواره های کاذب و مشکوک ناشی از فعالیت های انسانی، مانند جاده ها، نهرهای آب و غیره حذف شده، و نقشه ی چگالی خطواره های منطقه با استفاده از تراکم طولی خطواره ها به وسیله رابطه ی (۵) ترسیم گردید (شکل ۱۱):

$$L_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A} \quad (۵)$$

که در آن  $L_i$  طول هر خطواره (برحسب کیلومتر)،  $A$  مساحت کل منطقه ی و  $n$  تعداد کل خطواره ها است. مقادیر بالای چگالی خطواره ها نشانگر تخلخل ثانویه بالاتر بوده و مناطق با تغذیه ی بالای آب زیرزمینی را نشان می دهد (به و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به اینکه چگالی خطواره بیشتر معرف نفوذ بیشتر است، به چگالی های بیشتر ارزش بیشتری داده شد.

### تلفیق لایه های اطلاعاتی

پس از تهیه ی نقشه های موضوعی از لایه های اطلاعاتی مختلف، لازم است برای تهیه ی نقشه ی نهایی آنها را با هم تلفیق نماییم. یک موضوع مهم در تلفیق این لایه ها، تعیین اهمیت نسبی هر یک از لایه های اطلاعاتی است. یکی از روش های مرسوم برای این کار روش وزن دهی است که برای تصمیم گیری های چند متغیره و با پیش فرض دانش قبلی در باره ی لایه های اطلاعاتی صورت می گیرد. روش های معمول وزن دهی شامل رده بندی، رتبه بندی و مقایسه ی زوجی هستند. در این مطالعه از روش ارجاع دادن (شبان و همکاران، ۲۰۰۶) استفاده گردید، به این صورت که با توجه به تاثیر متقابل هر یک از

رابطه‌ی (۱) تهیه شد (شکل ۱۲). بدین صورت که ابتدا وزن اختصاص داده شده به وسیله مقایسه‌های زوجی به هر طبقه توصیفی از هر لایه در وزن آن لایه ضرب شده، سپس برای هر لایه این وزن‌ها با هم جمع شدند. نسبت وزن هر لایه به جمع کل وزن‌های تمامی لایه‌ها به عنوان عامل موثر آن لایه در نقشه‌ی نهایی لحاظ شد (جدول ۳).

کار برده شد و بهترین گروه وزن لایه‌ها به شرح ارائه گردیده در ادامه‌ی مقاله انتخاب شد. در مرحله‌ی آخر، با ترکیب همه‌ی لایه‌های مؤثر در نفوذ آب به داخل زمین با وزن‌های به دست آمده از روش ارجاع دادن (شبان و همکاران، ۲۰۰۶)، و تعدیل آنها به وسیله مقایسه‌ی زوجی (جدول ۲) تا حصول نسبت سازگاری کمتر از ۰/۱، نقشه‌ی نهایی توان استعداد نفوذ آب به داخل زمین به وسیله

جدول ۲- نمایه‌ی تصادفی ماتریس‌های تصادفی (آلانسو و لاماتا، ۲۰۰۶).

تعداد عامل‌ها	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
RI	۰/۵۲۴۵	۰/۸۸۱۵	۱/۱۰۸۶	۱/۲۴۷۹	۱/۳۴۱۷	۱/۴۰۵۶	۱/۴۴۹۹	۱/۴۸۵۴	۱/۵۱۴۱	۱/۵۳۶۵	۱/۵۵۵۱	۱/۵۷۱۳	۱/۵۸۳۸

جدول ۳- وزن لایه‌های اطلاعاتی محاسبه شده به روش ارجاع دادن و با لحاظ نسبت سازگاری ۰/۰۵.

نام لایه	سنگ‌شناسی	شیب	جهت شیب	رطوبت پستی و بلندی	بارش	چگالی خطواره‌ها	دما	کاربری اراضی	تراکم شبکه آبراهه	وزن
	۰/۳۱۳	۰/۰۵۰	۰/۰۸۵	۰/۰۹۵	۰/۱۹۱	۰/۱۱۶	۰/۰۲۷	۰/۱۰۲	۰/۰۲۲	

زیرزمینی بالا قرار گیرند. با پلات کردن موقعیت چشمه‌های بزرگ محدودی مطالعه شده بر روی نقشه‌ی توان استعداد تغذیه‌ی آب زیرزمینی (شکل ۱۲)، مشاهده شد که تمامی این چشمه‌ها، یا در مناطق با توان استعداد تغذیه‌ی آب زیرزمینی بالا قرار می‌گیرند یا حوضه‌ی آبرگیر آنها (که تعدادی از آنها به وسیله مطالعات بیلان کارستی انجام شد) در این مناطق واقع شده‌اند که بیانگر صحت نسبی بالای نقشه‌ی تهیه شده است.

نقشه‌ی نهایی توان استعداد تغذیه‌ی آب زیرزمینی به طور کیفی به پنج رده از توان استعداد خیلی کم تا توان استعداد خیلی زیاد تقسیم شده است (شکل ۱۲). اهمیت سنگ‌شناسی در این نقشه‌ی به خوبی پیداست، به گونه‌ای که در سازندهای کربناته کارستی مانند آسماری سروک در رده‌های با توان استعداد خیلی بالا و سازندهای میشان و آغاچاری در رده‌های با توان استعداد تغذیه‌ی آب زیرزمینی خیلی کم قرار گرفته‌اند (شکل ۱۲).

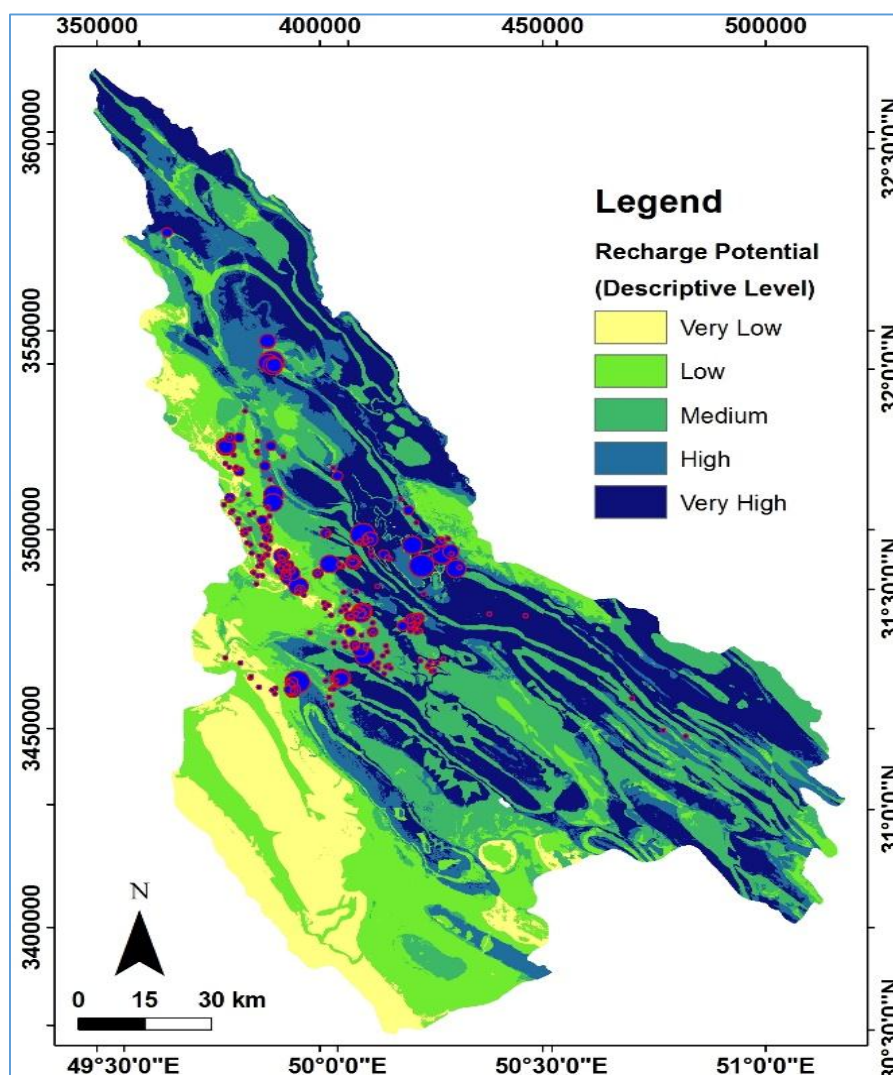
### نتیجه گیری

تلفیق ابزارهای سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی یک راهکار مفید و نسبتاً قابل قبول برای تهیه‌ی نقشه‌های بزرگ-مقیاس موضوعی، از قبیل تعیین توان استعداد تغذیه‌ی آب زیرزمینی است که بدین وسیله می‌توان مطالعات تفصیلی بعدی را برای مناطق مشخص شده خاص با هزینه و زمان کمتری ادامه داد. قابل توجه است که پهنه‌بندی نقشه‌ی توان استعداد تغذیه صرفاً تعیین مناطق بالقوه، به لحاظ تغذیه‌ی آب زیرزمینی را در مقیاس‌های بزرگ نشان می‌دهد و به معنای قطعیت صد در صدی نیست. با استفاده از مطالعات دورسنجی، داده‌های

### صحت سنجی نسبی نقشه‌ی توان استعداد تغذیه‌ی

#### آب زیرزمینی

جهت بررسی صحت نسبی نقشه‌ی ارائه شده برای توان استعداد تغذیه‌ی آب زیرزمینی در منطقه‌ی مطالعه شده، از موقعیت چشمه‌ها و حوضه آبرگیر آنها استفاده شد. از آنجا که چشمه‌های بزرگ با آبدهی زیاد معمولاً دارای یک حوضه‌ی آبرگیر بزرگ، به ویژه در مناطق کارستی توسعه یافته هستند، که در آنجا میزان تغذیه‌ی آب زیرزمینی بسیار بالاست (رهنمایی، ۱۹۹۶)، بنابراین این چشمه‌ها باید در مناطق با توان استعداد تغذیه‌ی آب



شکل ۱۲- نقشه ی پهنه بندی توان استعداد تغذیه ی آب زیرزمینی.

به منظور مطالعات دقیق تر درباره ی توان استعداد نفوذ در سازندهای کارستی، پیشنهاد می گردد که روش مذکور برای سازندهای آهکی نیز به طور جداگانه ای به کار گرفته شود.

#### منابع

- 1) Alonso, J. A., & Lamata, M. T. 2006. Consistency in the analytic hierarchy process: A new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems* 14(04): 445-459.
- 2) Andreo, B., Vías, J., Durán, J. J., Jiménez, P., López-Geta, J. A., & Carrasco, F. 2008. Methodology for groundwater recharge assessment in carbonate aquifers:

صحرائی و سامانه اطلاعات جغرافیایی عوامل موثر در تغذیه ی آب زیرزمینی از قبیل شیب، جهت شیب، نمایه رطوبت پستی و بلندی، پوشش گیاهی، فراوانی شکستگی ها و تراکم شبکه زهکشی، بارش و دما در قالب نقشه های موضوعی تهیه و با تلفیق آنها با یکدیگر نقشه ی توان استعداد تغذیه ی آب زیرزمینی ارائه شد. نقشه ی توان استعداد تغذیه ی آب زیر زمینی در پنج رده از توان استعداد خیلی کم تا توان استعداد خیلی بالای تغذیه تهیه، و سپس با استفاده از موقعیت و حوضه ی آبرگیر چشمه های منطقه، بررسی و صحت سنجی شدند. نتایج نشان می دهند که نقشه ی تهیه ی شده برای توان استعداد تغذیه از صحت نسبی بالایی برخوردار بوده و حوضه ی آبرگیر چشمه های بزرگ با مناطق با تغذیه ی بسیار بالا همخوانی خوبی دارد.

- 12) Geological Survey & Mineral Explorations of Iran. 1996. Geological map of Ardal, 1:100000 scale.
- 13) Geological Survey & Mineral Explorations of Iran. 1999. Geological map of Dehdez, 1:100000 scale.
- 14) Geological Survey & Mineral Explorations of Iran. 1995. Geological map of Chang, 1:100000 scale.
- 15) Gheisi, H. 2008. Investigating the effective factors in karst development in Zagros karst terrains using remote sensing and GIS data, M.Sc. thesis, Department of Earth Sciences, Shiraz university (In Persian).
- 16) Githui, F., Selle, B., & Thayalakumaran, T. 2012. Recharge estimation using remotely sensed evapotranspiration in an irrigated catchment in southeast Australia. *Hydrological Processes* 26(9): 1379-1389.
- 17) Gontia, N. K., & Patil, P. Y. 2012. Assessment of groundwater recharge through rainfall and water harvesting structures in Jamka microwatershed using remote sensing and GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 40(4): 639-648.
- 18) Jasmin, I., & Mallikarjuna, P. 2011. Satellite-based remote sensing and geographic information systems and their application in the assessment of groundwater potential, with particular reference to India. *Hydrogeology Journal* 19(4): 729-740.
- 19) Kendy, E., Zhang, Y., Liu, C., Wang, J., & Steenhuis, T. 2004. Groundwater recharge from irrigated cropland in the North China Plain: Case study of Luancheng County, Hebei Province, 1949–2000. *Hydrological Processes* 18(12): 2289-2302.
- 20) Khedri, A. Rezaei, M. & Ashjari, J. 2013. Assessing Karst Development Potential in Poyon Anticline using GIS, RS and Analytical Hierarchy Process (AHP), *Iran Water Resources Research Journal* 9(3): 37-46 (In Persian).
- Application to pilot sites in southern Spain. *Hydrogeology Journal* 16(5): 911-925.
- 3) Bhuiyan, C., Singh, R. P., & Flügel, W. A. 2009. Modelling of ground water recharge-potential in the hard-rock Aravalli terrain, India: A GIS approach. *Environmental Earth Sciences* 59(4): 929.
- 4) Chaharmahal and bakhtiari Regional Water Authority. 2015. climatologic and rainfall station data.
- 5) Crosby, D. A. 2006. The effect of DEM resolution on the computation of hydrologically significant topographic attributes, M.S. Thesis Arts, Department of Geography, College of Arts and Sciences, University of South Florida.
- 6) Crosbie, R. S., Davies, P., Harrington, N., & Lamontagne, S. 2015. Ground trothing groundwater-recharge estimates derived from remotely sensed evapotranspiration: a case in South Australia. *Hydrogeology Journal* 23(2): 335-350.
- 7) Dashti-barmaki, M. Rezaei, M. & Ashjari, J. 2015. Potential for water resources in Karst of Devon and Shapur mountains based on multi-criteria decision making, *Iranian Journal of Water Research* 9(1): 89-100 (In Persian).
- 8) Devkota, K. C., Regmi, A. D., Pourghasemi, H. R., Yoshida, K., Pradhan, B., Ryu, I. C., ... & Althuwaynee, O. F. 2013. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling–Narayanghat road section in Nepal Himalaya. *Natural Hazards* 65(1): 135-165
- 9) Dey, P. K., & Ramcharan, E. K. 2008: Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados. *Journal of Environmental management* 88(4): 1384-1395.
- 10) Ercanoglu, M., Gokceoglu, C., & Van Asch, T. W. 2004. Landslide susceptibility zoning north of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques. *Natural Hazards* 32(1): 1-23.
- 11) Fars Regional Water Authority. 2015. climatologic and rainfall station data.

- 33) Stocklin, J. 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. AAPG Bulletin, 52(7): 1229-1258.
- 34) Tajabadi, M. & Zare, M. 2013. Evaluation of groundwater recharge potential using GIS and comparison with the result of hydroclimatological balance method (case study: Kor river basin), 32<sup>nd</sup> National and 1<sup>st</sup> International Geosciences Congress by Approach Gemstones, Shiraz (In Persian).
- 35) Yeh, H. F., Cheng, Y. S., Lin, H. I., & Lee, C. H. 2016. Mapping groundwater recharge potential zone using a GIS approach in Hualian River, Taiwan. Sustainable Environment Research 26(1): 33-43.
- 36) Zarvash, N. Vaezi, A. & Karimi, H. 2014. Evaluation of the Karst development potential in the Kabir-Kouh Anticline of Ilam province using fuzzy integration and hierarchical analysis method (AHP) and remote sensing and GIS, Journal of Quantitative Geomorphology Research 3(3): 144-157 (In Persian).
- 21) Khuzestan Water and Power Organization. 2015. climatologic and rainfall station data.
- 22) Kohkiluyeh and Boyer-Ahmad Regional Water Authority. 2015. climatologic and rainfall station data.
- 23) Malczewski, J. 1999. GIS and Multicriteria Decision analysis: Evaluation criteria and criterion weighting (book). John Wiley and Sons. Inc.
- 24) Milewski, A. 2008. A remote sensing solution for estimating runoff and recharge in arid environments, PhD thesis, Western Michigan University.
- 25) Moore, I. D., Grayson, R. B., & Ladson, A. R. 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydrological Processes 5(1): 3-30.
- 26) Nassery, H. & Khodaei, K. 2001. The use of satellite digital data and GIS in groundwater exploration (Southwest of Urmieh Lake), 5<sup>th</sup> Symposium of Geological Society of Iran (In Persian).
- 27) National Iranian Oil Company. 1966. Geological map of Asmari, 1:100000 scale.
- 28) National Iranian Oil Company. 1970. Geological map of Kuhe-Sefid, 1:100000 scale.
- 29) National Iranian Oil Company. 1966. Geological map of Haft-Kel, 1:100000 scale.
- 30) Rahnamaei, M. 1996. Investigation of Runoff and Permeability in Karst Carbonate Formations, M.Sc. thesis, Department of Earth Sciences, Shiraz university (In Persian).
- 31) Saberi, A. Mahjouri K. & Keshavarzi, M. 2012. Groundwater potential by combining remote sensing and GIS with Analytic Hierarchy Process (AHP) method in Kamestan anticline, Khuzestan province, Advanced Geology Journal 6: 11-20 (In Persian).
- 32) Shaban, A., Khawlie, M., & Abdallah, C. 2006. Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon. Hydrogeology Journal 14(4): 433-443.

