

## ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان کارستی مانشت با استفاده از مدل ریسک

محمد عباسی\* - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران  
ابوطالب محمدی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۱۰      تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۴/۱۲

### چکیده

ارزیابی آسیب‌پذیری و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر، راهکاری مهم در مدیریت منابع آب کارست به‌شمار می‌رود. با توجه به وجود ژئومورفولوژی کارست توسعه‌یافته در مناطق نیمه‌خشک غرب ایران و دیگر شرایط طبیعی منطقه، انتشار آلودگی در این منابع کارستی سریع و گسترده است. هدف از این پژوهش، ارزیابی آسیب‌پذیری و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان تاقدیس مانشت غرب ایران، در برابر انتشار آلودگی با استفاده از مدل ریسک و ارائه راهکارهای مدیریتی برای حفظ این منابع است. این مدل با استفاده از پنج پارامتر سنگ مادر آبخوان، میزان نفوذ، نوع خاک، تحول کارست و اپی‌کارست، به ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب کارست در برابر آلودگی می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد بخش‌هایی که آسیب‌پذیری متوسط، زیاد و خیلی زیاد دارند، ۹۶/۷۳ درصد مساحت منطقه را در بر گرفته‌اند که از آسیب‌پذیری بالای این آبخوان در برابر آلودگی محیطی حکایت دارد. مناطق با آسیب‌پذیری بالا، در رأس تاقدیس و در محدوده سینکول‌ها و چاله‌های بسته قرار دارند و این امر مؤید نقش ژئومورفولوژی کارست و توسعه کارست در میزان آسیب‌پذیری بالای آبخوان است. این مدل از کارایی مطلوبی برای انجام مطالعات آسیب‌پذیری منابع آب کارست برخوردار است. در این راستا عوامل مدیریتی، همچون تعیین حریم سینکول‌ها و چاله‌های بسته و جلوگیری از ورود عوامل آلاینده به این مناطق، جلوگیری از تخریب جنگل‌ها، انجام محاسبات هیدرولوژیکی و تعیین حریم آبخوان برای اقدامات مدیریتی پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: نقشه آسیب‌پذیری، مدیریت آبخوان، مدل ریسک، GIS، آبخوان کارستی مانشت.

## مقدمه

در چند دهه گذشته منابع آب کارست، به دلیل ویژگی‌های خاص خود، در پیشبرد اهداف عمرانی اهمیت بسیار یافته و توجه برنامه‌ریزان و مدیران را به خود جلب کرده است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب نقش بسیار مهم و تعیین‌کننده‌ای در توسعه آینده دارد (Dejong et al; 2008: 229). منابع آب زیرزمینی قابل شرب، اغلب تحت فشار شدید انسان قرار دارند (Andreo et al., 2006: 56). مدیریت آبهای زیرزمینی، مسئله‌ای حیاتی برای نسل‌های کنونی و آینده بوده و منابع آب زیرزمینی، به مدیریت کمی و کیفی این منابع نیازمند است (Gaur et al., 2011: 219). مخاطرات مربوط به منابع بالقوه آلودگی آبهای زیرزمینی، به‌طور عمده ناشی از فعالیت‌های انسان در سطح زمین است (De Ketelaere, et al., 2004: 89). حفاظت از منابع آب کارست، به دلیل آسیب‌پذیری و حساسیت زیاد به آلودگی، از مهم‌ترین اقدامات در مدیریت منابع آب کارست به‌شمار می‌رود (Afrasiabian, 2007: 673). آبخوان‌های کارستی نسبت به آلودگی حساسیت زیادی دارند؛ زیرا زمان جابه‌جایی سریع و ظرفیت ذخیره‌سازی در سیستم مجرای اندک بوده، در نتیجه دخالت فرایندهای طبیعی مانند جذب و تخریب و فیلتراسیون تأثیر کمتری دارند (Mudarra & Andreo, 2011: 263). یکی از مهم‌ترین اقدامات در زمینه مدیریت منابع آب کارست، تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان‌ها است. این رویکرد، به دلیل توسعه مدل‌های هیدرولوژیکی و سامانه اطلاعات جغرافیایی در طول دهه گذشته، پیشرفت چشمگیری داشته است (Kattaa et al., 2010). طی چند دهه گذشته منابع آب کارستی زاگرس از لحاظ کمی و کیفی، تحت فشار عوامل گوناگونی چون، افزایش بهره‌برداری، آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی، تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های پی‌درپی قرار داشته است (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲). لیتولوژی تاقدیس مانشت از سازند آهک آسماری تشکیل شده است. با توجه به شرایط اقلیمی گذشته<sup>۱</sup> و حال، ویژگی‌های تکتونیکی و ژئومورفولوژیکی کارست، منابع با ارزشی از آب کارست را در خود جای داده است. آبخوان این تاقدیس، تأمین‌کننده آب چندین چشمه مهم، از جمله چشمه ایوان و کارزان است و رودخانه گنگیر که یک رودخانه دائمی است، از سراب ایوان سرچشمه می‌گیرد. در واقع این چشمه‌ها، منبع اصلی تأمین آب آشامیدنی و کشاورزی جوامع محلی، به‌ویژه شهر ایوان غرب و روستاهای اطراف هستند. بنابراین، بررسی آسیب‌پذیری و تهیه نقشه آسیب‌پذیری این آبخوان کارستی، به‌منظور حفظ آن از آلودگی، امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

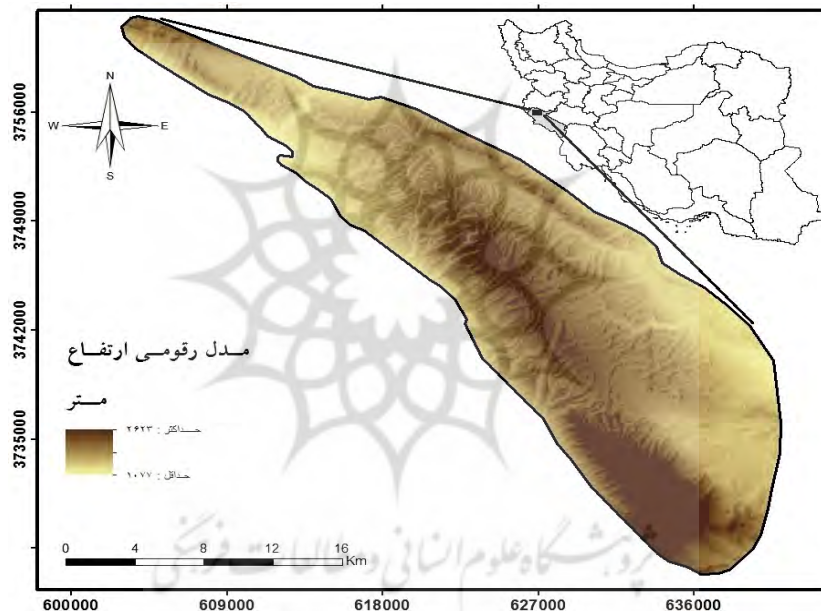
هدف از این نوشتار، به‌کارگیری مدل ریسک با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی است که روشی مؤثر در سنجش خطر آلودگی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان مانشت و ارزیابی کارایی آن در زمینه تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی است. مدل ریسک با استفاده از پنج شاخص محیطی مهم و تأثیرگذار لیتولوژی، شامل میزان نفوذ، خاک، توسعه‌یافتگی، کارست و اپی‌کارست، به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی می‌پردازد. روش ریسک، برپایه روش EPIK است (Kattaa et al., 2010). دوئر فلیگر (۱۹۹۶) روش EPIK را با هدف ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری منابع آب کارست و به‌کارگیری چهار شاخص اپی‌کارست (E)، پوشش حفاظتی (P)، شرایط نفوذ (I) و درجه

۱. وجود لندفرم‌هایی چون دولین‌ها، سینکول‌ها، برف چاله‌ها، رودسنگ‌ها و سولی فلوکسیون، حاکی از شرایط سردتر اقلیم گذشته بوده است.

توسعه شبکه کارست (K)، ارائه کرد. کاتنا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۰)، مدل ریسک را که مدل مؤثری در ارزیابی پتانسیل آلودگی منابع آب کارست به‌شمار می‌رود، برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان کارستی در غرب سوریه به‌کار گرفتند. نتایج آنها نشان داد که مدل ریسک کارایی مطلوبی در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی دارد.

### موقعیت منطقه مورد مطالعه

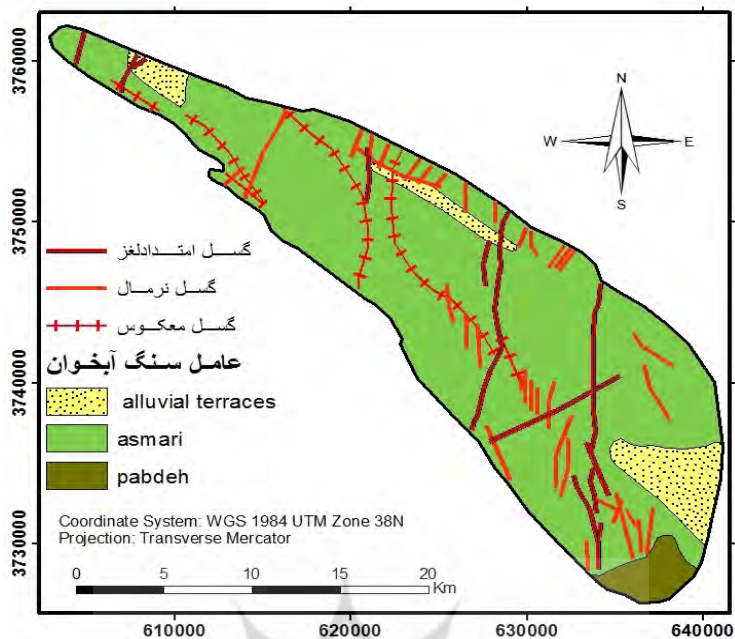
تاقدیس مانشت - بانکول در شمال استان ایلام، بخش زاگرس شمال غربی واقع شده است (شکل ۱). وسعت منطقه مورد پژوهش ۴۱۷ کیلومتر مربع و حداکثر ارتفاع این تاقدیس ۲۶۲۳ متر است که با روند شمال غربی - جنوب شرقی، بین عرض‌های جغرافیایی ۴۰° ۳۳' تا ۵۸° ۳۳' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۶° ۰۷' تا ۴۶° ۳۲' شرقی قرار دارد.



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

### زمین‌شناسی

در تاقدیس مورد مطالعه از نظر چینه‌شناسی، رخنمون‌هایی از سنگ‌های کرتاسه بالایی تاپلیو - کواترنر دیده می‌شود که از قدیم به جدید عبارتند از: پابده، آسماری و نهشته‌های کواترنری شامل پادگانه جدید و قدیم و مخروط‌افکنه‌های قدیمی (شکل ۲). سازند پابده (PeEpd) از تناوب شیل، سنگ آهک رسی و مارن و سازند آسماری (OMas) از آهک و آهک دولومیتی تشکیل شده و بیشتر سطح تاقدیس را این سازند مقاوم پوشانده است. مخروط‌افکنه‌ها (Qf) و پادگانه‌های آبرفتی (Qt) در کوهپایه‌های تاقدیس مانشت گسترش یافته‌اند. تاقدیس مانشت - بانکول، به‌شدت تکتونیزه بوده و گسل‌های بزرگ و معکوس، سطح تاقدیس را بریده و گسل‌های فرعی با جهات متفاوت نیز در تاقدیس وجود دارند. گسل‌های آن دارای مؤلفه‌های معکوس، امتدادلغز و عادی هستند (شکل ۲).



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه (منبع: نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ ایلام)

گسل‌های اصلی منطقه از نوع سیستم برشی بوده و امتداد شمال غربی - جنوب شرقی دارند که سطح تاقدیس را بریده‌اند. گسل معکوس بانکول و گسل امتداددلفز مانشت با جهت شمال غربی - جنوب شرقی، گسل‌های اصلی منطقه هستند. گسل‌های فرعی منطقه روندهای شمال غربی - جنوب شرقی و شمال شرقی - جنوب غربی دارند. اشکال کارستی منطقه از نوع هولوکارست است. مهم‌ترین اشکال کارستی منطقه عبارتند از: پلژه<sup>۱</sup> (شکل ۳)، سینکول، دولین، لایپه‌ها، غارها، دره‌های عمیق کارستی، رسوبات ثانویه، اشکال سطحی (شکل ۴).



شکل ۳. نمایی از پلژه



شکل ۴. نمایی از هل کارن‌ها

### مواد و روش‌ها

پژوهش پیش رو، کاربردی و متکی بر روش‌های میدانی، کتابخانه‌ای، نرم‌افزاری و مدل ریسک است. ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، محدوده تاقدیس مورد مطالعه مشخص شد و در ادامه، داده‌های نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و خاک به‌منزله داده‌های پایه، به نرم‌افزار ArcGIS انتقال یافت که پس از رقومی کردن، مدل ارتفاع رقومی برای تهیه لایه‌های مورد نیاز به‌دست آمد. به‌منظور شناخت ژئومورفولوژی کارست منطقه و تهیه لایه‌های توسعه کارست و اپی کارست، ابتدا با تفسیر بصری عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، لندفرم‌های توسعه‌یافته‌ای چون پلزه‌ها (واقع در رأس تاقدیس) شناسایی شدند و مسیر حرکت در بازدیدها مشخص شد. در بازدید اول، مناطق توسعه‌یافته رأس تاقدیس بررسی و با استفاده از GPS نشانه‌گذاری شدند. طی بازدید از دامنه‌های تاقدیس، میزان توسعه کارست سطحی، درزه و شکاف‌های موجود مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس آن، توسعه کارست این مناطق مشخص شد. در نهایت نقشه توسعه کارست برای امتیازدهی به عوامل K و E ترسیم شد. مدل ریسک، مدل شاخص ارائه شده برای مطالعه آسیب‌پذیری منابع آب کارست با ترکیب چندین لایه موضوعی برای همپوشانی صحیح لایه‌های اطلاعاتی است که در آن، شاخص آسیب‌پذیری به‌منزله یک ترکیب خطی از پارامترهای پنج‌گانه نشان داده می‌شود و محاسبات این مدل، در نرم‌افزار GIS انجام می‌گیرد. در این مدل بر اساس معیارهای پیشنهادی کاتتا و همکاران (۲۰۱۰) و ویژگی‌های پارامترهای تاقدیس مانشت، به هریک از پارامترهای پنج‌گانه رتبه یک تا چهار اختصاص داده می‌شود. آسیب‌پذیری نهایی در مدل ریسک با استفاده از شاخص  $Ig$  محاسبه می‌شود که در واقع مجموع وزن‌های حاصل از همپوشانی پنج لایه است.

$$Ig = \alpha Ri + \beta Ij + \delta Sk + \gamma Kl + \varepsilon Em \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه (I<sub>g</sub>) شاخص جامع آسیب‌پذیری و  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\delta$ ،  $\gamma$  و  $\varepsilon$  میزان وزن هر یک از معیارها است که مقادیر این معیارها، از نسبت اهمیت آنها به یکدیگر به دست می‌آید.  $KI$ ،  $Sk$ ،  $Ij$  و  $Rj$  معیارهای مورد نظر هستند. پس از محاسبه رتبه هر عامل، آنها را در  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\delta$ ،  $\gamma$  و  $\varepsilon$  ضرب کرده و مقدار وزن هر یک از ضرایب براساس مدل زوجی<sup>۱</sup> به دست می‌آید. از همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی به دست آمده از معیارهای پنج‌گانه، محاسبه شاخص جامع آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه با استفاده از رابطه ۱ امکان‌پذیر می‌شود. در رابطه ۱، اهمیت نسبی معیارها از رابطه شماره ۲ به دست می‌آید.

$$I > E = K > R = S \quad \text{(رابطه ۲)}$$

شاخص I با وزن ۰/۵، بیشترین اهمیت و بالاترین وزن را در بین شاخص‌ها دارد. پس از آن، شاخص E بیشترین اهمیت را به خود اختصاص داده و وزن آن کمابیش با شاخص K برابر است (۰/۱۸ در برابر ۰/۱۶). دو شاخص E و K اولویت بیشتری نسبت به شاخص‌های R و S (۰/۰۸ و ۰/۰۹) دارند، اهمیت شاخص‌های R و S نیز، کمابیش یکسان است. این وزن‌ها بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به دست می‌آیند. در نهایت شاخص F (شاخص میزان حفاظت) برای تمامی نقاط منطقه محاسبه و نقشه نهایی آسیب‌پذیری تهیه می‌شود. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه خاک ۱:۲۵۰۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای IRS سال ۲۰۰۲، داده‌های اصلی بودند که طی انجام پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند. نرم‌افزار GIS نیز ابزار اصلی پژوهش بوده که در پردازش نهایی و ترسیم نقشه آسیب‌پذیری از آن استفاده شده است.

## یافته‌های پژوهش

### عامل سنگ آبخوان<sup>۲</sup>

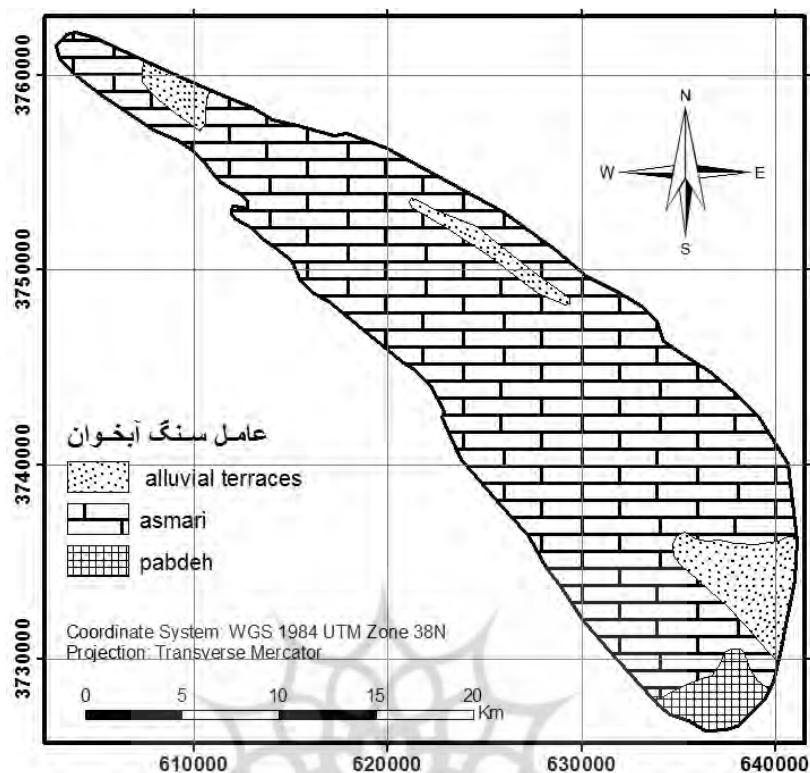
برای ارزیابی عامل سنگ آبخوان (R)، از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد (شکل ۵). سازندهای کربناته، به دلیل شکل‌گیری ژئومورفولوژی کارست، دارای منابع آب کارست بوده و بیشترین امتیاز را به خود اختصاص می‌دهند. براساس جنس سازندها، میزان نفوذ آب، گستردگی آنها و موقعیت سازندها در توپوگرافی تاق‌دیس، به هریک از سازندها امتیازی اختصاص داده شد (جدول ۱) که در این میان، سازند آسماری بیشترین امتیاز را کسب کرده است.

جدول ۱. سازندهای موجود در منطقه و میزان امتیاز

نام سازند	جنس	مکان گسترش	امتیاز
پابده	شیل، آهک و مارن	حاشیه جنوب شرقی تاق‌دیس	۱
آسماری	آهک، دولومیت با میان لایه‌های از شیل	رأس تاق‌دیس	۳
نهبشته‌های کواترنری	نهبشته‌های کواترنری	حاشیه شمالی و شرقی تاق‌دیس	۱

1. AHP

2. Aquifer rock



شکل ۵. نقشه لیتولوژی منطقه

### عامل نفوذ پذیری<sup>۱</sup>

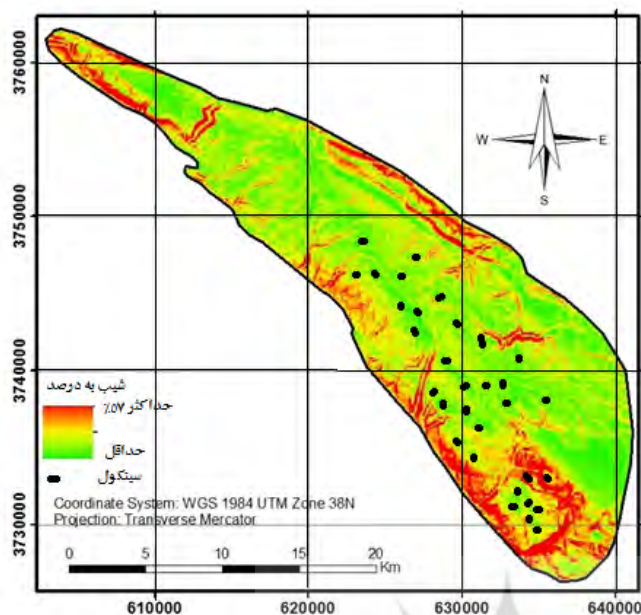
شیب توپوگرافی و توسعه یافتگی کارست، عوامل مؤثر در نفوذپذیری (I) هستند؛ زیرا هر چه شیب کمتر، کارست توسعه یافته تر و تعداد نقاط بلع زیادتر باشد، نفوذ بیشتری صورت می گیرد. برای امتیازدهی به عامل نفوذ، نقشه شیب منطقه تهیه (شکل ۶) و با نقشه توسعه کارست منطقه تطبیق داده شد، سپس براساس میزان شیب و وجود لندفرم های توسعه یافته کارستی، به هر کدام امتیازی داده شد (جدول ۲). در این میان بیشترین امتیاز مربوط پلژه های رأس تاقدیس، به دلیل شیب کمتر و وجود لندفرم هایی چون سینکول ها<sup>۲</sup> است و کمترین امتیاز، به نواحی پرشیب بدون مورفولوژی اختصاص دارد.

جدول ۲. نحوه امتیازدهی به عامل نفوذ

امتیاز	مورفولوژی کارست	میزان شیب
۳	فاصله ۰ تا ۱۰۰ متری سوراخ های بلع	شیب کم (بین ۰ تا ۵ درصد)
۲	چاله های بسته، سینکول ها	شیب متوسط (بین ۵ تا ۱۵ درصد)
۱	مناطق با مورفولوژی آشکار کارست	شیب زیاد (بین ۱۵ تا ۵۰ درصد)
۰	مناطق بدون مورفولوژی کارست	شیب خیلی تند یا خیلی زیاد (بیشتر از ۵۰ درصد)

1. Infiltration condition

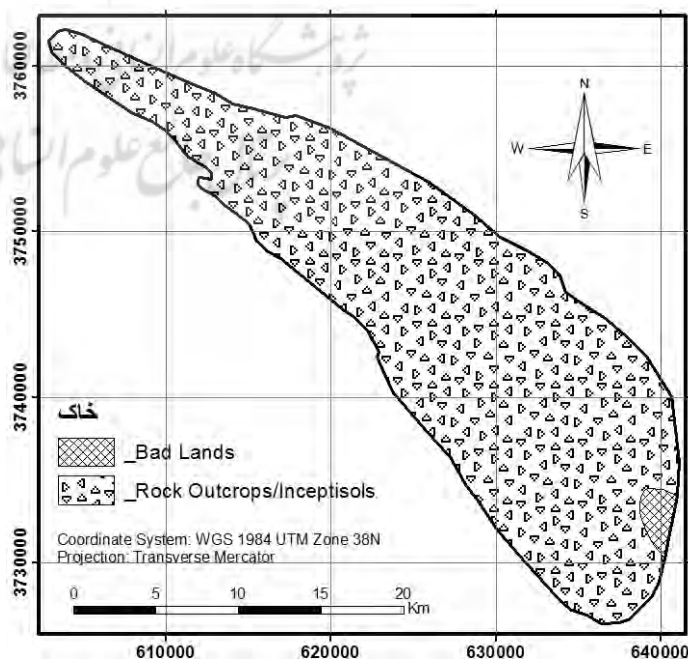
2. Sinkholes



شکل ۶. نقشه شیب و سینکول‌های برداشت‌شده از منطقه

### عامل خاک<sup>۱</sup>

برای وزن‌دهی به معیار خاک (S)، از نقشه خاک استان ایلام با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استفاده شده است. خاک‌های منطقه از نوع خاک‌های سنگلاخی هستند و از بافت‌های درشت با درصد نسبتاً زیادی از شن و سنگ‌های آهکی تشکیل شده‌اند که به دلیل شیب زیاد، به‌طور عمده ضخامت کمی دارند. این نوع خاک در بیشتر قسمت‌های تاقدیس گسترش یافته و در قسمت‌های جنوب شرقی تاقدیس، به دلیل رخنمون سازندهای رسی مازنی و شیب توپوگرافی زیاد بدلدن شکل گرفته است (شکل ۷). با توجه به نفوذپذیری بالای خاک‌های سنگلاخی، بیشترین امتیاز مربوط به این خاک است (جدول ۳).



شکل ۷. نقشه خاک منطقه

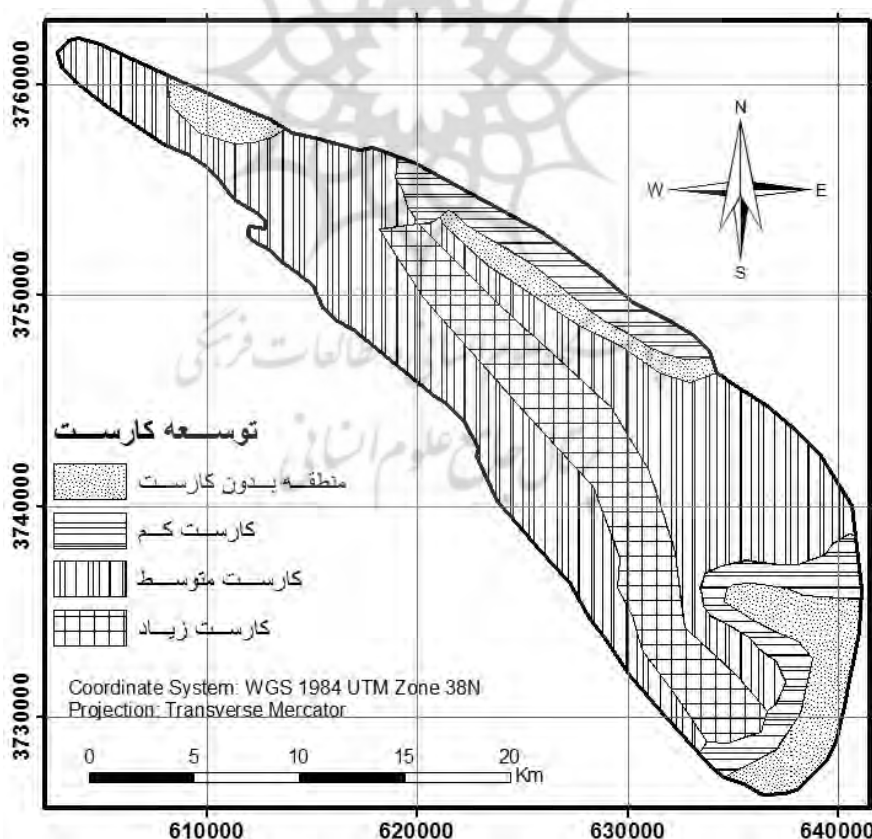


جدول ۳. امتیاز لایه خاک

امتیاز	واحد خاک
۴	سنگلاخی
۱	بدلند

### عامل توسعه کارست<sup>۱</sup>

هرچه کارست توسعه یافته‌تر باشد، میزان نفوذ آلودگی بیشتر است؛ زیرا شکاف‌ها و سوراخ‌های بلع گسترده‌تر، سبب می‌شود میزان تماس آب نفوذی با سطح سنگ کمتر و نفوذ سریع‌تر انجام گیرد، در این حالت آلودگی بیشتر و سریع‌تری به آبخوان کارستی منتقل می‌شود. برای امتیازدهی به عامل توسعه کارست (K)، از نقشه توسعه کارست منطقه استفاده شده است (شکل ۶) که بر این اساس، به قسمت‌های فوقانی تاقدیس بیشترین امتیاز و به قسمت‌های میانی تاقدیس با لیتولوژی آهکی، امتیاز ۳ داده شد. کمترین امتیاز به نواحی متشکل از سازندهای مارنی و نهشته‌های کواترنری که مورفولوژی کارست در آنها شکل نگرفته، اختصاص داده شده است (جدول ۴).



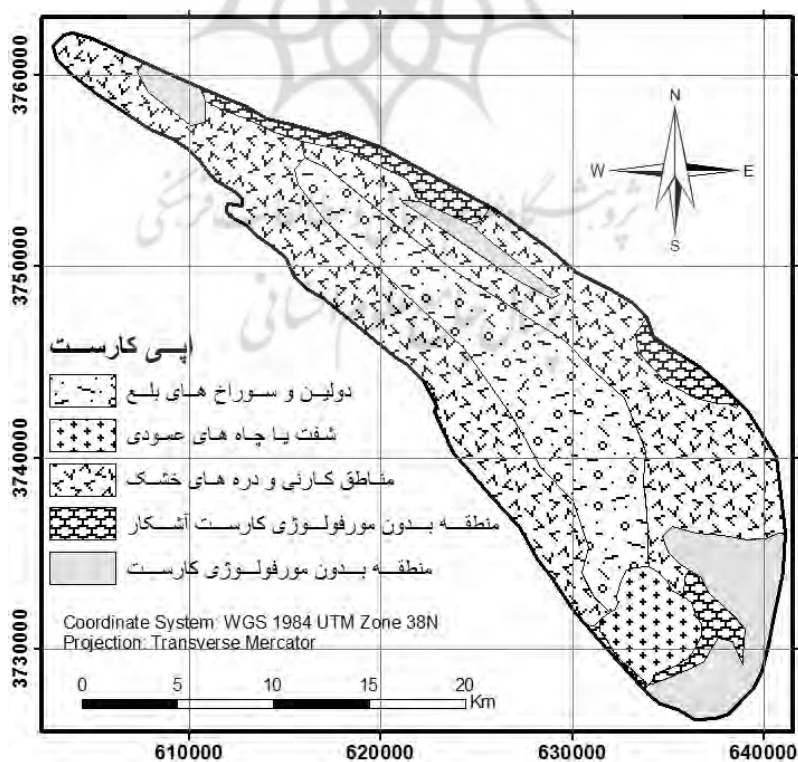
شکل ۸. نقشه توسعه کارست منطقه

جدول ۴. امتیاز لایه کارست

امتیاز	کارست
۰	منطقه بدون کارست
۱	کارست کم
۳	کارست متوسط
۴	کارست زیاد

### معیار اپی کارست<sup>۱</sup>

اپی کارست (E) فوقانی‌ترین لایه سنگ‌های کارستی‌فیسون است که فرسایش شیمیایی موجب گسترش درزه‌ها و شکاف‌های آن شده است. اپی کارست از ویژگی نفوذپذیری سریع و ذخیره‌سازی مقدار زیادی از آب بهره‌مند است (Zhang Cheng, et al., 2005: 616). ضخامت این لایه کارستی متغیر بوده و می‌تواند بین چندین سانتی‌متر تا چندین متر در نوسان باشد. مطالعه اپی کارست و تعیین میزان ضخامت و گسترش آن دشوار است و این کار تنها با بهره‌گیری از روش‌های ژئوفیزیکی به صورت نقطه‌ای انجام می‌گیرد. برای امتیازدهی به اپی کارست از نقشه توسعه کارست منطقه استفاده شده است (شکل ۹).



شکل ۹. نقشه اپی کارست منطقه

1. Epikarst presence or absence

بیشترین امتیاز به رأس تاقدیس که دارای اپی کارست توسعه یافته و لندفرم‌هایی چون شفت‌ها<sup>۱</sup> هستند، اختصاص داده شد. همچنین مناطقی که در سازندهای رسی و مارنی و نهشته‌های کواترنری هستند، امتیاز صفر کسب کردند (جدول ۵).

جدول ۵. امتیاز اپی کارست

امتیاز	ویژگی معیار	اپی کارست
۰	منطقه بدون مورفولوژی کارست	E0
۲	مناطق کارنی و دره‌های خشک	E2
۳	دولین و سوراخ‌های بلع	E3
۴	شفت یا چاه‌های عمودی	E4

### محاسبه شاخص جامع آسیب پذیری

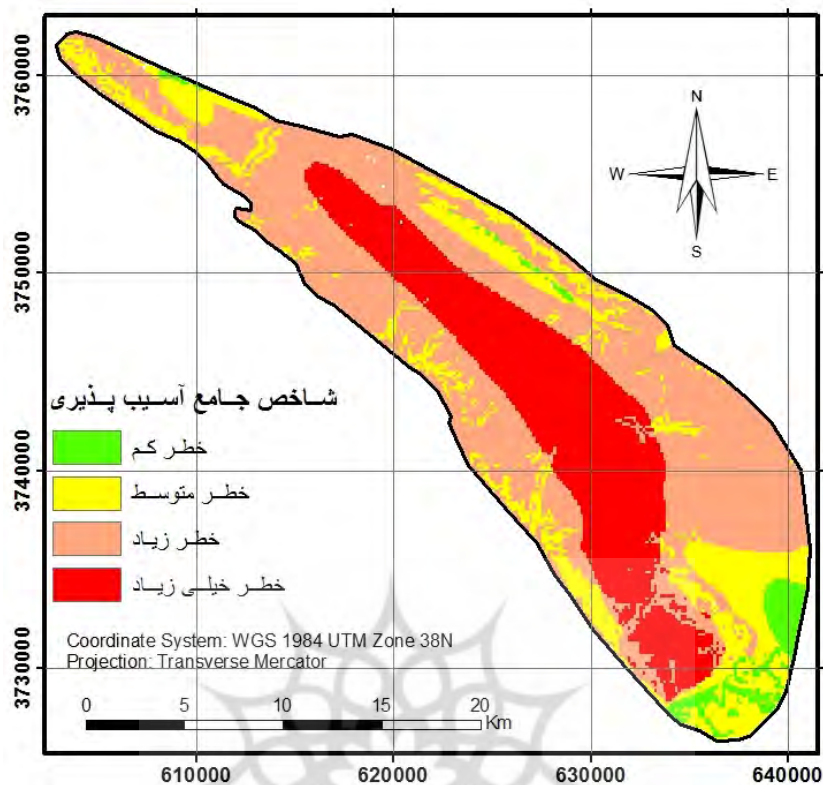
در این مرحله پس از اختصاص دادن امتیاز به پنج عامل مؤثر در آسیب پذیری و طبقه بندی آنها، لایه‌های اطلاعاتی شبکه بندی شدند. سپس ضریب‌های  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\delta$ ،  $\gamma$  و  $\varepsilon$ ، بر اساس مدل زوجی و با توجه به اهمیت نسبی معیارها بر اساس رابطه ۲ محاسبه شد و شاخص میزان حفاظت F به شرح زیر به دست آمد.

$$F = 0.09R + 0.5I + 0.08S + 0.16K + 0.18E \quad \text{رابطه ۳}$$

در ادامه با محاسبه این شاخص و همپوشانی لایه‌ها و جمع این لایه‌های اطلاعاتی نقشه نهایی آسیب پذیری منطقه ترسیم گردید (شکل ۱۰). میزان آسیب پذیری منطقه بین ۰.۳ تا ۳.۴۵ بدست آمد که در نهایت به چهار طبقه کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی گردیدند. جدول (۶) مساحت و درصد هر یک از طبقات چهارگانه را در مطلقه نشان می‌دهد.

جدول ۶. مساحت طبقه‌ها آسیب پذیری در آبخوان مانشت

شاخص ریسک	کلاس	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
۱/۸۸ - ۱/۴۱	کم	۱۳/۶۵	٪ ۳/۲۷
۲/۳۵ - ۱/۸۹	متوسط	۸۰/۹۱	٪ ۱۹/۳۹
۲/۸۵ - ۲/۳۶	زیاد	۲۰۹/۹۹	٪ ۵۰/۳۴
۳/۲۹ - ۲/۸۶	خیلی زیاد	۱۱۲/۶۱	٪ ۲۶/۹۹



شکل ۱۰. نقشه نهایی آسیب‌پذیری منطقه

### بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان کارستی مانشت، از مدل ریسک استفاده شد. بعد از امتیازدهی به عوامل پنج‌گانه و تبدیل آنها به رستر، با استفاده از شاخص میزان حفاظت (F)، میزان شاخص ریسک بین ۱/۴۱ تا ۳/۲۹ به دست آمد و آسیب‌پذیری به چهار گروه کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد (جدول ۶). توزیع فضایی کلاس‌های آسیب‌پذیری نقشه نهایی (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که ۷۷ درصد از مساحت منطقه، در طبقه آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. همچنین در کل ۹۶ درصد از مساحت منطقه در طبقه‌های متوسط، زیاد و خیلی زیاد واقع شده‌اند که حاکی از آسیب‌پذیری بالای این آبخوان کارستی و حساسیت زیاد آن نسبت به آلودگی است. طبقه آسیب‌پذیر خیلی زیاد، در رأس تاق‌دیس و منطق بر محدوده سینکول‌ها قرار دارد. این طبقه در ارتفاعات بالا و رأس تاق‌دیس با شیب کم توپوگرافی واقع شده که دارای کارست توسعه‌یافته است. طبقه زیاد در یال‌های تاق‌دیس با شیب توپوگرافی بیشتر از طبقه خیلی زیاد قرار دارد و منطق بر محدوده لندفرم‌های کمتر توسعه‌یافته‌ای چون دولین‌ها است. طبقه متوسط در حواشی تاق‌دیس با شیب زیاد و کارست کمتر توسعه‌یافته و منطق بر نهشته‌های کواترنری است. طبقه کم منطق بر سازند پابده در حاشیه جنوب شرقی تاق‌دیس قرار دارد. براین اساس می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات میزان آسیب‌پذیری با ژئومورفولوژی کارست منطقه و نیز با میزان توسعه کارست منطقه ارتباط مستقیمی دارد؛ زیرا نواحی با آسیب‌پذیری خیلی زیاد و زیاد، در منطقه منطق با نواحی کارستی توسعه‌یافته واقع شده‌اند. لندفرم‌های کارستی مانند سینکول‌ها، به دلیل انتقال سریع آلودگی، نقش انکارناپذیری در بالا بودن میزان آسیب‌پذیری منطقه دارند. نقش عامل

سنگ آبخوان و میزان نفوذ نیز در آسیب‌پذیری بالای منطقه چشمگیر است؛ به گونه‌ای که نواحی با آسیب‌پذیری خیلی زیاد و زیاد، در محدوده سازند آسماری واقع شده‌اند و میزان شیب این نواحی، به دلیل استقرار در رأس تاقدیس - که نسبتاً هموار است - کم بوده و این امر، کم‌رنگ بودن نقش شیب را در میزان بالای آسیب‌پذیری منطقه نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان چنین برداشت کرد که مدل ریسک، کارایی مناسبی در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی دارد و نتایج به دست آمده در این پژوهش، مؤید آن است. در این راستا اقدامات مدیریتی، مانند تعیین حریم سوراخ‌های بلع و جلوگیری از ورود عوامل آلاینده، به خصوص آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های دامپروری، جلوگیری از تخریب جنگل‌ها و فرسایش خاک منطقه، برای حفظ ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیکی منطقه و درنهایت، تعیین حریم آبخوان برای اجرای اقدامات مدیریتی و حفاظتی از آبخوان، پیشنهاد می‌شود.

## منابع

خوش اخلاق، ف.؛ باقری سیدشکری، س.؛ صفراد، ط. (۱۳۹۰). مطالعه اثرات خشکسالی‌ها بر تغییرات دوره‌ای و روند آبدی چشمه‌های کارستی در منطقه زاگرس (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). طرح پژوهشی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تصاویر ماهواره IRS سال ۲۰۰۲.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ ایوانغرب، ایلام و گوار.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، عکس هوایی ۱:۵۵۰۰۰ مربوط به سال ۱۳۳۵.

www.financial.frw.org.ir

سازمان جنگل مرتع، نقشه خاک ۱/۲۵۰۰۰۰.

سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی ایلام، سال ۱۳۹۳.

عباسی، م.؛ باقری، س. و جعفری اقدم، م. (۱۳۹۱). بررسی عوامل مؤثر در توسعه یافتگی و پهنه‌بندی تحول کارست با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: تاقدیس نوا)، طرح پژوهشی معاونت پژوهشی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

Afrasiabian, A., 2007, **The Importance of Protection and Management of Karst Water as Drinking Water Resources in Iran**. Environ Geology, Vol. 52, No. 4, PP. 673-677.

Andreo, B., Goldscheider, N., Vadillo, I., Mar Vias, J., Neukum, C., Sinreich, M., Jime´nez, P., Brechenmacher, J., Carrasco, F., Hotzl, H., Jesuperles, M. and Zwahlen, F., 2006, **Karst Groundwater Protection: First Application of a Pan-European Approach to Vulnerability, Hazard and Risk Mapping in Thesierra De Li´Bar (Southern Spain)**. Science of the Total Environment, No. 357, PP. 54- 73.

Cheng, Z., Daoxian, Y. and Jianhua, C., 2005, **Analysis of the Environmental Sensitivities of a Typical Dynamic Epikarst System at the Nongla Monitoring Site, Guangxi, China**. Environ Geology, Vol. 47, No. 5, PP. 615-619.

De Jong, C., Cappy, S. and Funk, D., 2008, **A Transdisciplinary Analysis of Water Problems in the Mountainous Karst Areas of Morocco**. Engineering Geology, Vol. 99, No. 3-4, PP. 228-238.

- De Ketelaere, D., Hotzl, H., Neukum, C., Civita, M. and Sappa, G., 2004, **Hazard Analysis and Mapping**. In: Zwahlen F, Editor, Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers, EUR 20912. Brussels 7 European Commission, Directorate-General XII Science, Research and Development, P. 86–105.
- Doerfliger, N., 1996, **Advances in Karst Groundwater Protection Strategy Using Artificial Tracer Tests Analysis and Multiattribute Vulnerability Mapping**. International Association of Hydrogeologists, Slovak Association of Hydrogeologists, Engineering Geology, Vol.67, No. 6-8, PP. 290-308.
- Gondwe, B., Alonso, G., Gottwein, G., 2011, **the Influence of Conceptual Model Uncertainty on Management Decisions for a Groundwater-Dependent Ecosystem in Karst**. Journal of Hydrology, Vol. 400, No. 1-2, PP. 24-40.
- Kattaa, B., Al-Fares, W., Al Charideh, A., 2010, **Groundwater Vulnerability Assessment For the Banyas Catchment of the Syrian Coastal Area Using GIS and the RISKE Method**. Journal of Environmental Management, Vol. 91, No. 5, PP. 1103-1110.
- Mudarra, M., Andreo, B., 2011, **Relative Importance of the Saturated and the Unsaturated Zones in the Hydrogeological Functioning of Karst Aquifers: the Case of Alta Cadena (Southern Spain)**. Journal of Hydrology, Vol. 397, No. 3, PP.263–280.

