

بررسی عوامل مؤثر در فرآیند کارستی‌شدن و لغزش در حوزه آبریز سد مخزنی جره استان خوزستان

سعید پهلوانی‌زاده

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

نصراله کلانتری

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

هادی محمدی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

بابک سامانی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۴

nkalantari@hotmail.com

چکیده

حوضه آبریز سد مخزنی جره عمدتاً از سازند انحلال‌پذیر تبخیری گچساران تشکیل شده است و گسل‌های معکوس موجود در منطقه نقش به‌سزایی در فرآیند انحلال، توسعه کارست و لغزش در این سازند ایفا می‌کنند. هدف از این مطالعه شناسایی مناطق توسعه یافته کارستی، مناطق دارای پتانسیل لغزش و ریزش، فرار آب و همچنین شناسایی عوامل مؤثر بر این پدیده‌ها می‌باشد. عوامل ساختاری مؤثر بر توسعه کارست با برداشت‌های صحرائی و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار Envi استخراج و مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین بررسی شدت کارستی‌شدن با استفاده از اشکال کارستی نیز انجام شده است. به منظور بررسی پتانسیل توسعه کارست و لغزش، عوارض ساختاری و مورفولوژیکی شناسایی و لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر در کارستی‌شدن، به کمک نرم افزار ArcGIS تهیه و سپس پهنه‌بندی پتانسیل توسعه کارست و لغزش صورت گرفت. بر مبنای مطالعات انجام شده در منطقه مطالعاتی ۲ پهنه کارستی با پتانسیل کارستی متوسط و زیاد، یک افق کارست زیرسطحی و یک گسل امتدادلغز درون مخزن مشاهده شد که منعکس کننده نقش فعالیت‌های تکتونیکی در ایجاد مناطق کارستی و لغزشی درون مخزن است. نتایج این مطالعات در شناسایی زون‌های آسیب‌پذیر و بهره برداری بهینه از مخزن سد جره می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: پهنه‌بندی کارست، گسل، لغزش، سد جره، حوزه آبریز

مقدمه

سدها برای استفاده بهینه از منابع آب سطحی طراحی و ساخته می‌شوند. این ابنیه‌های آبی ساختمان‌های مهمی برای مدیریت آب هستند و می‌توان آب را در فصلی تر (که کوتاه می‌باشد) ذخیره و زمانی که به حجم زیادی آب نیاز است از آن استفاده کرد. در این ساختمان‌ها فرار و نشت آب از زیر سد، دیواره‌های سد و مخزن مسائل جدی هستند. افزایش فرار آب در مواردی ممکن است منجر به شکسته شدن سد شود (Johnson, 2003).

اگر سدها و یا مخزن آن‌ها بر روی سنگ آهک یا گچ احداث شده باشند در معرض خطر کارستی‌شدن قرار می‌گیرند. کارستی‌شدن فرآیند پیشرفت تپه‌سازی سنگ بوسیله انحلال است. این انحلال موجب تکامل سیستم‌های لوله مانند در زیر سطح زمین به نام کارست می‌شود. کارست نوعی چشم‌انداز می‌باشد که در سنگ‌های کربناتی (سنگ آهک، دولومیت و مرمر) و یا در سنگ‌های تبخیری (ژیپس، انیدریت و سنگ نمک) مشاهده می‌شود و مبین محدوده وسیعی از گودی‌های نزدیک به هم، آبراهه‌های زیرزمینی و جریان سطحی منقطع است که الزاماً تمامی آن‌ها در معرض دید نمی‌باشند (Andrejchuk, 2005). مواد کارستی در

مخازن و سازه‌های آبی عناصر مهمی هستند که منجر به افزایش نشت و فرار آب از این سازه‌ها می‌شوند (Johnson, 2003).

به دلیل فعالیت گسل‌ها غالباً درزه و شکستگی‌هایی در مجاورت آن‌ها بوجود می‌آید (عباس‌نژاد و عباس‌نژاد، ۱۳۹۶). این درزه‌ها و شکستگی‌های کوچک باعث توسعه اشکال انحلالی خطی و نفوذ رو به پایین آب‌های سطحی می‌شوند (Elfigih and Elgheriani, 2013). این نفوذ رو به پایین باعث انحلال در سازندهای انحلال‌پذیر و توسعه کارستی‌شدن می‌شود و در مواردی سبب ایجاد زمین‌لغزش در دیواره مخازن می‌شود. زمین‌لغزش‌ها در زمره پر خسارت‌ترین حرکات دامنه‌ای است که همگام با فعالیت بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه‌های اخیر شتاب فزاینده‌ای داشته است (امامی و غیومیان، ۱۳۸۲). وقوع پدیده زمین‌لغزش که در بسیاری از نقاط دنیا اتفاق می‌افتد، باعث تخریب پوشش گیاهی، باغات، اراضی کشاورزی و تلفات انسانی می‌شود (قنبرزاده و بهنیاfer، ۱۳۸۸). این پدیده باعث تشدید فرسایش خاک و انتقال رسوبات به پشت سدها می‌شود (علی‌محمدی و همکاران، ۱۳۸۸). تراکم خطواره، تراکم آبراهه و فاصله از گسل از جمله عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش می‌باشند (حاتمی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۱).

در منطقه مورد مطالعه سه گسل وجود دارد که نزدیک‌ترین گسل به محل سد، گسل معکوس جره است (شکل ۱) و سازند گچساران را بر روی سازند جوانتر بختیاری رانده است. طول این گسل ۵۷ کیلومتر با امتداد شمال غرب - جنوب شرق و با شیب ۱۵ تا ۲۰ درجه شمال شرقی از حدود ۳۰۰ متری بالادست محور سد عبور می‌کند، ولی هیچگونه جابجایی در اطراف محور در دو تکیه‌گاه به چشم نمی‌خورد (مه‌اب قدس، ۱۳۸۵). با توجه به ماهیت معکوس بودن گسل جره، برای ایجاد آن نیاز به نیروی زیادی است و این نیروی زیاد در سازند گچساران شکستگی‌های فراوانی بوجود آورده است که غالب این شکستگی‌ها در امتداد گسل جره هستند. در امتداد این شکستگی‌ها دولین و کارستی‌شدن توسعه یافته است.

دو گسل تراستی نیز در دشت شیر و دشت انار (شکل ۱) و در ۵ کیلومتری بالای محور سد وجود دارد که در سازند گچساران رخ داده و باعث افزایش ضخامت سازند گچساران در این منطقه شده است. شیب این دو گسل به سمت شمال شرق است و موجب خردشدگی شدید در منطقه شده و شدت کارستی‌شدن را افزایش داده‌اند. در اثر فعالیت این گسل‌ها دره‌های نسبتاً عمیق کارستی بوجود آمده و همچنین منطقه بین این دو گسل از نظر مورفولوژی تبدیل به یک پلزه ساختمانی باز شده است (مه‌اب قدس، ۱۳۸۵).

در نتیجه توسعه کارست اشکال مورفولوژیکی متعددی مثل کارن، دولین، کانال‌های انحلالی زیر سطحی، غارچه و پلزه در منطقه مورد مطالعه توسعه یافته است و درک کامل مورفولوژی منطقه کارستی پیش-نیازی برای حل مسائل هیدروژئولوژی است (Milanovic, 1981).

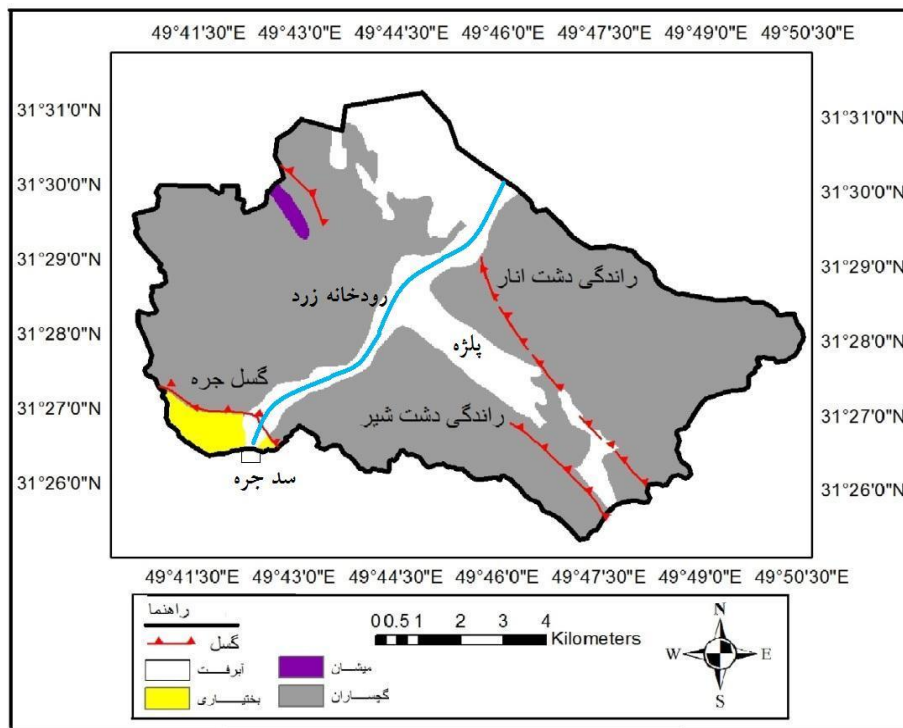
در این میان نقش گسل تاثیر فزاینده‌ای در ایجاد درزه‌ها و شکستگی‌ها دارد که این شکستگی‌ها به نوبه خود سبب نفوذ آب و در نتیجه باعث سست‌شدگی سازند و در نهایت ایجاد کارست و یا لغزش می‌کند.

در این تحقیق، علاوه بر اینکه عوارض ساختاری و اشکال مورفولوژیکی برای شناسایی فرآیند کارستی‌شدن منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است، از لایه‌های دما، بارندگی، لیتولوژی، تراکم شکستگی، فاصله از شکستگی، شیب و پوشش گیاهی نیز برای پهنه بندی توسعه کارست استفاده شده است. اثر گسلش در توسعه کارست و زمین لغزش نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است.

وضعیت عمومی منطقه مورد مطالعه

سد جره بر روی رودخانه زرد، در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی شهرستان رامهرمز در استان خوزستان قرار دارد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه در مختصات ۳۹° ۴۹' تا ۳۱° ۲۵' طول شرقی و ۳۱° ۳۱' تا ۳۱° ۳۱' عرض شمالی قرار دارد. از نظر تقسیم بندی دما در این منطقه مطالعاتی دارای اقلیمی نیمه خشک است و مطابق داده‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه رود زرد میانگین دما، بارندگی و تبخیر در یک دوره سی ساله (۱۳۶۲-۱۳۹۲) به ترتیب ۲۴ درجه سانتیگراد، ۴۹۴ میلیمتر و ۱۱۱ میلیمتر است.

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی در زون زمین‌ساختی زاگرس چین‌خورده قرار دارد (آق‌بائی، ۱۳۸۳). هر چند که عمدتاً از سازندهای گچساران به سن میوسن پیشین تشکیل شده است، ولی کنگلومرای بختیاری با سن پلیوسن و رسوبات عهد حاضر نیز در منطقه مشاهده می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت سازندها و گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه

بررسی تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار ENVI وجود این گسل به اثبات رسید و تاثیر آن بر دیواره مخزن بررسی شد، سپس با کمک نرم‌افزار ArcGIS لایه‌های مورد نیاز برای ایجاد نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست و پهنه‌بندی لغزش لایه‌ای تهیه شد. برای بررسی نقش گسل و دیگر عوامل موثر در توسعه کارست سطحی، کارست زیرسطحی و لغزش لایه‌ای دیواره مخزن، ابتدا به کمک نقشه‌های DGN، حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه ترسیم و سپس لایه‌های مورد نیاز به کمک روش AHP ترسیم شد. لایه مدل ارتفاع رقومی منطقه از نقشه مدل ارتفاع رقومی ایران جدا شد و سپس به کمک آن، لایه‌های شیب، دما و بارش نیز تهیه گردید. لایه‌های لیتولوژی، پوشش گیاهی، فاصله از گسل، تراکم خطواره و آبراهه نیز ترسیم شدند و به کمک روش AHP توسط نرم‌افزار Expert Choice وزن-دهی صورت گرفت.

بحث و نتایج

با بررسی نقشه زمین‌شناسی، عملیات میدانی و مطالعه تصاویر ماهواره-ای وجود گسل امتدادلغز در مخزن سد و تاثیر آن مورد ارزیابی قرار گرفته است. این گسل دارای طول تقریبی ۶۰ کیلومتر و تعیین کننده مسیر رودخانه زرد است. در ذیل شواهد رخداد آن ملاحظه می‌شود.

۱-۴- خمش متمایل به راست در تاقدیس هفتگل (شکل ۲).

۲-۴- خمش متمایل به راست در تاقدیس بالا دست سد جره (شکل ۲).

۳-۴- بریدگی تاقدیس‌ها و عبور بستر رودخانه از هسته تاقدیس‌ها (شکل ۲).

همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، تاقدیس هفتگل در قسمت جنوبی دارای یک خمش راست‌گرد و در همان منطقه دارای یک شکستگی است که تعیین کننده مسیر رودخانه می‌باشد. معمولاً رودخانه‌ها تمایل به دور زدن تاقدیس‌ها برای عبور از آن‌ها را دارند، اما با توجه به شکل ۲ می‌توان مشاهده کرد که مسیر رودخانه عمود بر تاقدیس و در امتداد شکستگی است، که نشان‌دهنده گسل امتدادلغز در منطقه است.

۴-۴- ناپدید شدن دو راندگی دشت شیر و دشت انار پس از رسیدن به مخزن سد جره (شکل ۳).

در شکل ۳ به خوبی می‌توان دید که دو گسل تراستی دشت شیر و دشت انار که از شمال غرب میداود شروع می‌شوند پس از رسیدن به مخزن سد به یکباره اثر آن‌ها ناپدید می‌شود و در طرف دیگر مخزن آثاری از این دو گسل دیده نمی‌شود و مورفولوژی طرف دیگر مخزن کاملاً با مورفولوژی که در بین دو گسل تراستی وجود دارد متفاوت است. در اثر عملکرد دو گسل تراستی فوق، پلزه تکتونیکي بوجود آمده است اما پلزه مورد نظر فقط در قسمت شرق مخزن وجود دارد و در قسمت غرب مخزن نشانی از آن وجود ندارد که این فقدان می‌تواند در اثر عملکرد گسل امتدادلغز باشد.

۵-۴- وجود انحنا در آبراهه‌های بین تراست‌های دشت شیر و دشت انار (شکل ۴).

با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که در آبراهه‌های طرفین مخزن سد، انحنایی ایجاد شده است که در دایره سیاه رنگ مشخص شده است. آبراهه سمت چپ تصویر به سمت راست و آبراهه سمت راست تصویر به سمت چپ منحرف شده است که می‌تواند تاییدی بر وجود گسل امتدادلغز باشد.

کارن: کارن‌ها در نتیجه عمل شیمیایی آب بر سنگ‌های انحلال‌پذیر بوجود می‌آیند (Milanovic, 1981). کارن‌ها در سنگ‌های ژیبسی نسبت به سنگ‌های کربناته سریع‌تر توسعه می‌یابند؛ اما به دلیل نرمی گچ به سرعت نیز از بین می‌روند (Kacaroglu et al, 1997, Dogan and Yesilyurt, 2004). توسط بررسی‌های میدانی مشخص شد که در منطقه مطالعاتی کارن‌ها بیشتر از نوع تریت کارن می‌باشند و در غرب منطقه دیده می‌شوند، جایی که از نظر تکتونیکي فعالیت کمتری دارد (شکل ۱). نبود و یا تراکم کمتر کارن‌ها در شرق منطقه به دلیل فعالیت تکتونیکي بیشتر و وجود گسل‌ها است که بطور غیر مستقیم باعث از بین رفتن کارن‌ها شده و اشکال بزرگ مقیاس کارستی را بوجود آورده است.

دولین: دولین‌ها بعد از کارن‌ها عموماً شاخص‌ترین اشکال مورفولوژیکي کارست هستند. دولین‌ها در اکثر موارد نتیجه تاثیر شیمیایی آب بر سنگ‌های انحلال‌پذیر می‌باشند. مکان‌هایی که دو یا چند گسل یکدیگر را قطع نموده‌اند، مناسب‌ترین نقطه شروع را برای فرآیندهای کارست و ایجاد دولین فراهم می‌نماید (Milanovic, 1981). دولین‌های انحلالی عمده-ترین چشم‌اندازهای مناطق کارستی هستند (Dogan and Ozel, 2005). در منطقه مورد بررسی دولین‌هایی به ابعاد ۱ تا ۳ متر مشاهده می‌شود، که اکثراً در یک ردیف پشت سر هم قرار گرفته‌اند و نشان‌دهنده تاثیر گسل‌ها و ایجاد خطواره‌ها می‌باشد. در قسمت غرب و شمال غرب منطقه در فاصله دورتر از گسل جره مقدار کارستی شدن کمتر می‌شود، بطوری که اندازه و تعداد دولین‌ها کوچک‌تر و کمتر می‌شود. قسمت جنوب شرقی و شرق منطقه که بین گسل جره و راندگی دشت شیر قرار گرفته از نظر ساختمانی دارای خردشدگی زیاد و تعداد درزه‌های فراوان است، در نتیجه مقدار کارستی شدن بیشتر است، به صورتی که اندازه دولین‌ها بزرگ و در بعضی موارد به یکدیگر متصل و تبدیل به اوولا شده‌اند. این اوولاها به طول ۱۰ تا ۱۵ متر و دارای عرض و عمقی به ترتیب بین ۱ تا ۲ و ۱ تا ۳ متر هستند. همچنین این اوولاها به موازات روند چین‌خوردگی زاگرس می‌باشند که نشان دهنده تاثیر درزه‌ها و حرکات تکتونیکي منطقه است. دولین‌ها نیز اکثراً دارای کشیدگی به موازات چین‌خوردگی اصلی زاگرس هستند.

پلزه: پلزه عبارت است از هر فرورفتگی بزرگ بسته با بستر نسبتاً هموار می‌باشد (Ford and Williams, 1989). در منطقه مطالعاتی در اثر عملکرد دو گسل تراستی دشت شیر و دشت انار، پلزه ساختمانی بین دو گسل فوق بوجود آمده است که دارای وسعتی در حدود ۱۰ کیلومترمربع با طول و عرضی به ترتیب ۶ و ۱/۵ کیلومتر است. امتداد این پلزه شمال غرب- جنوب شرق و از طرفین توسط ارتفاعات سازند گچساران احاطه شده است.

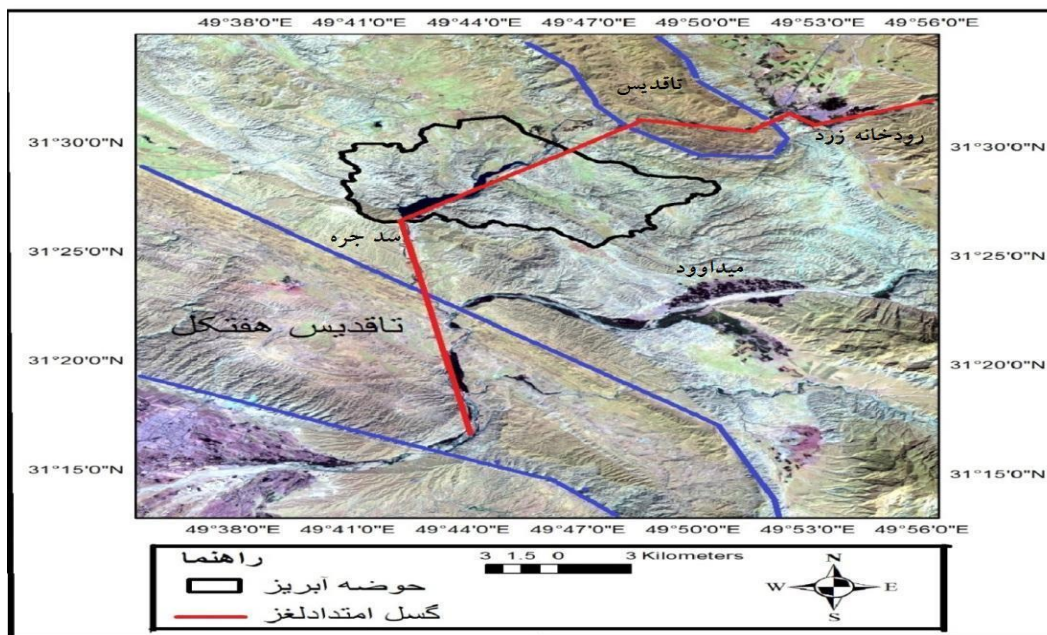
مواد و روش‌ها

در محدوده مورد مطالعه برابر با نقشه‌های زمین‌شناسی شرکت نفت سه گسل جره، دشت شیر و دشت انار وجود دارد (شکل ۱) که هر یک به طریقی نقش اثرگذاری در توسعه کارست منطقه مورد مطالعه دارد. اما طبق بررسی‌های انجام شده و با استناد به شواهدی که در ذیل ارائه شده است درون مخزن مشکوک به وجود یک گسل امتدادلغز است که هم در توسعه کارست زیرسطحی و هم در لغزش و ریزش دیواره مخزن نقش زیادی ایفا می‌کند. در این تحقیق ابتدا با استفاده از مطالعات میدانی و

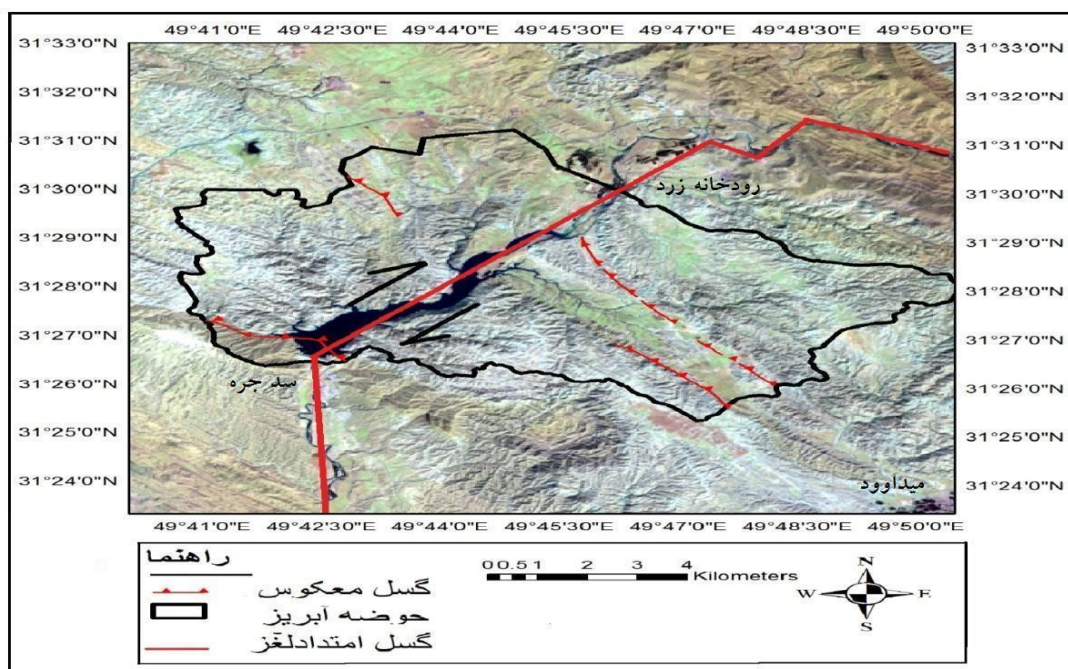
تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

منطق سلسله مراتبی، تحلیلی است که اولین بار توسط Saaty، 1980 ارائه گردید و یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در موضوع دارد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را دارد، علاوه بر این بر مبنای

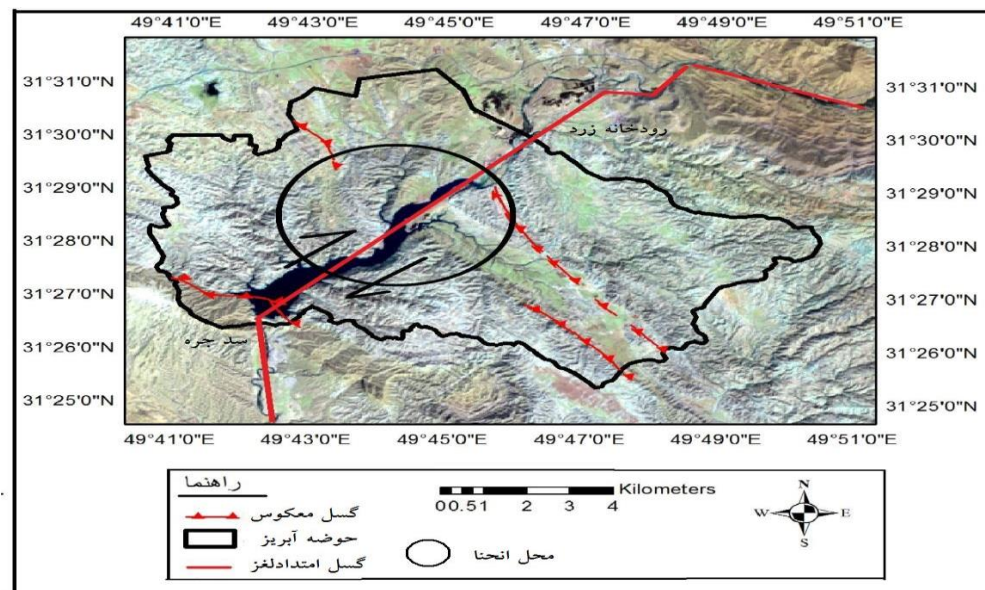
مقایسه‌ی زوجی بنا نهاده شده، که قضاوت را تسهیل می‌نماید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. تعیین مناطق توسعه یافته کارستی نیز یک تصمیم‌گیری چند معیاره است و در آن معیارهایی چون شیب توپوگرافی، لیتولوژی، تراکم شکستگی‌ها، میزان بارش، پوشش گیاهی و ارتفاع باید مورد توجه قرار گیرد، تا براساس آن‌ها بتوان مناطق توسعه یافته کارستی را تعیین کرد.



شکل ۲. خمش متمایل به راست تاقدیس هفتکل و تاقدیس بالای حوضه ابریز در اثر حرکت گسل امتدادلغز احتمالی



شکل ۳. ناپدید شدن گسل‌های تراستی در محل تقاطع با مخزن سد



شکل ۴. وجود انحنای در آبراه‌های طرفین مخزن سد

محاسبه وزن عوامل مؤثر در پتانسیل کارستی‌شدن

در فرآیند سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آن‌ها محاسبه گردیده است، و این وزن‌ها را وزن نسبی می‌گویند. با تلفیق این وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌شود که آن را وزن معیار می‌گویند. کلیه مقایسه‌ها در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به صورت زوجی انجام می‌گیرد. در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی با توجه به شواهد موجود و قضاوت کارشناسان برای وزن‌دهی به متغیرها استفاده می‌کنند، به‌گونه‌ای که اگر عنصر A_i با عنصر B_j مقایسه شود تصمیم‌گیرنده خواهد گفت که اهمیت A_i بر B_j یکی از حالات جدول ۱ می‌باشد.

از آنجایی که هدف از این پژوهش بررسی پتانسیل کارستی‌شدن است، پارامترهای مؤثر بر کارستی‌شدن به‌عنوان مهم‌ترین عوامل برای رسیدن به هدف نهایی در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه نقش بارندگی در توسعه کارست بسیار با اهمیت می‌باشد؛ بنابراین، بیشترین ارجحیت و وزن‌دهی، برای آن در نظر گرفته شده است. پارامترهای مختلف و مؤثر در توسعه کارست وارد نرم افزار Expert Choice شده که با توجه به اهمیت و تأثیر آن‌ها وزن مشخصی (جدول ۲) به آن‌ها داده شده؛ و مورد مقایسه زوجی قرار گرفتند. شکل ۵، وزن‌های حاصل از این مقایسه زوجی را نشان می‌دهد.

در شرایطی که معیارهای گوناگون هم‌سو نیستند، تصمیم‌گیری باید در یک فضای چند بعدی صورت پذیرد. به همین منظور در این تحقیق از روش ارزیابی چند معیاری AHP استفاده شده است.

برای نیل به هدف، از اطلاعات موجود که در غالب معیارها در روش AHP تعریف شده و با توجه به شناختی که از وضعیت توپوگرافی و لیتولوژی منطقه بدست آمده وزن‌دهی صورت گرفته است. روش AHP در نرم‌افزار Expert Choice قابل اجراست. در این نرم‌افزار هدف به عنوان اصلی‌ترین شاخه سلسله مراتبی و معیارها به عنوان زیرشاخه‌های هدف تعریف شدند. معیارهای اصلی مؤثر بر هدف به صورت زیرشاخه هدف در نمودار درختی (که توسط خود نرم‌افزار تعیین می‌شود) در نرم‌افزار وارد شده است.

در صورت نیاز می‌توان برای هر زیر معیار چند زیر معیار دیگر تعریف کرد. پس از تعریف معیارها و زیرمعیارها، وزن‌دهی به روش مقایسه زوجی انجام شد. در حین مقایسه زوجی برای هر مجموعه، شاخص ناسازگاری تصمیم توسط نرم‌افزار محاسبه شده است.

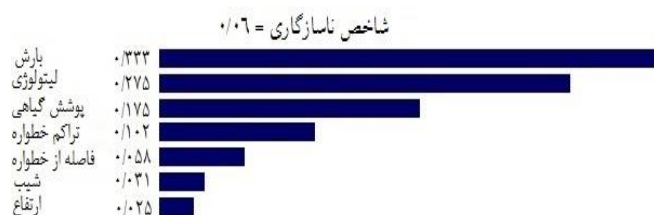
در حالت کلی Saaty, 1980 پیشنهاد می‌کند که اگر این شاخص بیشتر از $0/1$ باشد بهتر است کاربر در قضاوت‌های خود تجدید نظر کند. صابری و همکاران (۱۳۹۱) برای پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی تاقدیس کمستان با تلفیق سنجش از دور و GIS از روش AHP استفاده کردند.

جدول ۱. مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)	
۹	(Extremely preferred)	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر
۷	(Very strongly preferred)	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	(Strongly preferred)	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	(Moderately preferred)	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
۱	(Equally preferred)	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲,۴,۶,۸		ترجیحات بین فواصل فوق

جدول ۲. وزن‌دهی به معیارها با استفاده از روش مقایسه زوجی

معیار	بارش	لیتولوژی	پوشش گیاهی	تراکم خطواره	فاصله از شکستگی	شیب	ارتفاع	وزن معیار
بارش	۱	۲	۳	۴	۴	۸	۸	۰/۳۳۳
لیتولوژی		۱	۳	۴	۵	۷	۷	۰/۲۷۵
پوشش گیاهی			۱	۳	۵	۶	۶	۰/۱۷۵
تراکم خطواره				۱	۳	۵	۵	۰/۱۰۲
فاصله از شکستگی					۱	۳	۳	۰/۰۵۸
شیب						۱	۲	۰/۰۳۱
ارتفاع							۱	۰/۰۲۵



شکل ۵. ضرایب حاصل از مقایسه زوجی معیارهای اصلی مؤثر در توسعه یافتگی کارست

پتانسیل کارستی‌شدن

برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل کارستی‌شدن آمار بارندگی و دمای ایستگاه‌های موجود در منطقه مطالعاتی تهیه شد و نقشه‌های زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، خطواره‌ها و آبراهه‌های منطقه نیز استخراج شد. به منظور تبدیل نقشه‌های واقعی به نقشه‌های معیار، ابتدا لایه‌های وکتوری با استفاده از تابع تحلیلی به لایه‌های رستری تبدیل شدند. سپس با اعمال وزن‌های محاسبه شده به لایه‌های حاصل در نرم افزار GIS و تلفیق آنها به روش همپوشانی شاخص نقشه پتانسیل کارستی‌شدن منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. با استفاده از این داده‌ها در محیط GIS لایه‌های مورد نیاز برای تهیه نقشه پتانسیل کارستی‌شدن و در نهایت نقشه پهنه-بندی توسعه کارست تهیه شده است. لایه‌های آماده شده جهت بررسی توسعه کارست در محدوده سد مخزنی جره به ترتیب بدین شرح می‌باشد:

لایه باران

از آنجایی که وجود آب فاکتور اصلی اقلیمی در توسعه کارست و اصلی‌ترین متغیر در کنترل انحلال و فرسایش است، جهت بررسی توسعه کارست این محدوده بیشترین ارجحیت برای آن قائل گردید (شکل ۶).

لایه دما

انحلال سازند گچساران عمدتاً متأثر از دمای محیط می‌باشد. آزمایشات نشان داده که در فشار یک اتمسفر، ماکزیمم قابلیت انحلال ژیبس بین دمای ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد است (Hardie, 1967; Blount and Dickson, 1973; Sonnenfeld, 1984; White, 1988). با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی ارتفاع نسبتاً زیادی ندارد، دما در این منطقه در

حد متوسط است و نسبتاً به توسعه کارست کمک بیشتری می‌کند. در شکل ۷، لایه مربوط به عامل دما قابل ملاحظه است.

لایه تراکم شکستگی

با توجه به عملکرد تکتونیک، حوضه آبریز سد جره در منطقه مطالعاتی از توسعه و تراکم زیاد شکستگی برخوردار است. البته با توجه به اینکه شکستگی در گچ مانند شکستگی در آهک واضح و مشخص نیست و همچنین در مناطق کارستی آبراهه‌ها درون شکستگی‌ها بوجود می‌آیند، بنابراین، آبراهه‌ها به عنوان شکستگی در نظر گرفته شده‌اند. به همین دلیل نقشه تراکم خطواره با استفاده از آبراهه‌ها در محیط GIS تهیه شده است (شکل ۸). هرچه تراکم خطواره بیشتر باشد احتمال کارستی‌شدن بیشتر است.

لایه فاصله از شکستگی

با دور شدن از شکستگی‌ها توسعه کارست کاهش می‌یابد. بدین منظور لایه فاصله از شکستگی با استفاده از آبراهه‌های منطقه در محیط GIS ترسیم شد (شکل ۹).

لایه شیب

شیب نقش مهمی در سرعت جریان آب ایفا می‌کند. این عامل، نفوذ آب به درون زمین و تغذیه آبخوان را کنترل می‌کند. در مناطقی که شیب ملایم است، رواناب سطحی فرصت بیشتری جهت نفوذ آب باران دارد، در حالیکه در مناطق با شیب زیاد، جریان رواناب راحت‌تر صورت می‌گیرد و این امر باعث کاهش نفوذ آب باران می‌شود (Adiat et al, 2012). لایه شیب منطقه مورد مطالعه از مدل رقمی ارتفاعی و با استفاده از نرم-افزار GIS تهیه شده است (شکل ۱۰).

لایه لیتولوژی

به علت تاثیرگذاری شدید نوع سازند (سنگ) بر نفوذ آب و قابلیت متفاوت حفظ آب در سازندهای مختلف این نمایه مد نظر قرار گرفته شده است.

سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه از نظر کارستی شدن به دو دسته تقسیم شده‌اند:

(الف) سازند گچساران با قابلیت زیاد کارستی شدن.

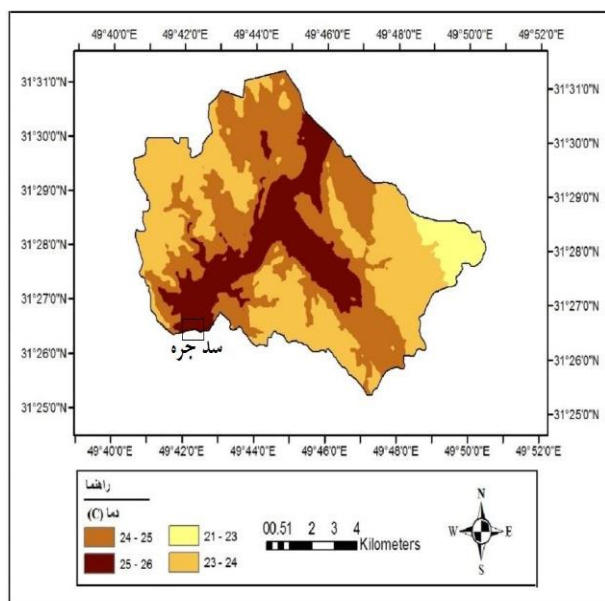
(ب) سازندهای میشان و بختیاری که دارای قابلیت بسیار کم انحلال و کارستی هستند.

با استفاده از این اطلاعات لایه لیتولوژی منطقه مطالعاتی در محیط GIS ترسیم شد (شکل ۱۱).

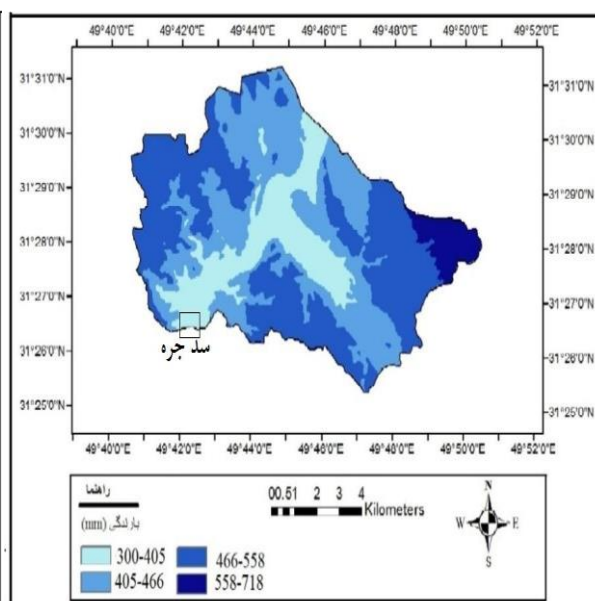
لایه پوشش گیاهی

پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه به صورت ترکیبی از مراتع متراکم، مراتع نیمه متراکم، زراعت دیم، اراضی بدون پوشش و بیشه‌زار و درختچه می‌باشد. پوشش گیاهی نقش قابل توجهی را در توسعه کارست ایفا می‌کند (Shaban et al., 2006). مواد سطحی و الگوی پوشش-گیاهی میزان نفوذ و رواناب سطحی را کنترل می‌کند (Dinesh Kumar et al., 2007). هر چه تراکم پوشش گیاهی بیش تر باشد، از میزان رواناب ناشی از بارندگی‌های شدید جلوگیری شده و زمان لازم جهت نفوذ ریزش‌های جوی فراهم می‌گردد.

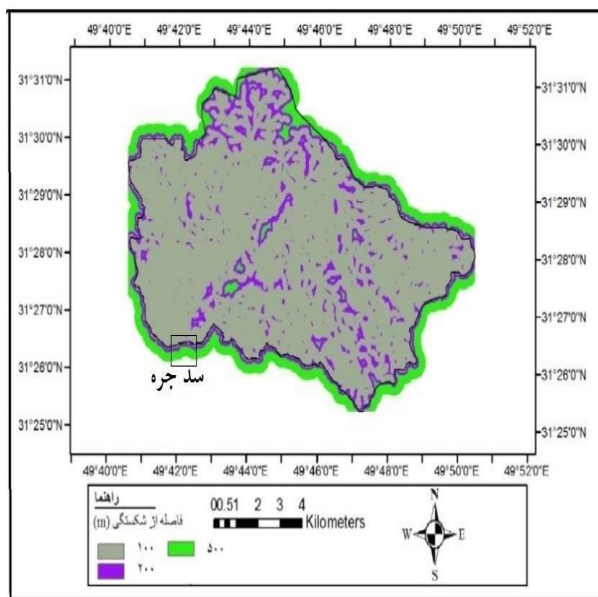
برای تهیه وضعیت پوشش گیاهی در منطقه، از نقشه پوشش گیاهی استان خوزستان استفاده شده است (شکل ۱۲).



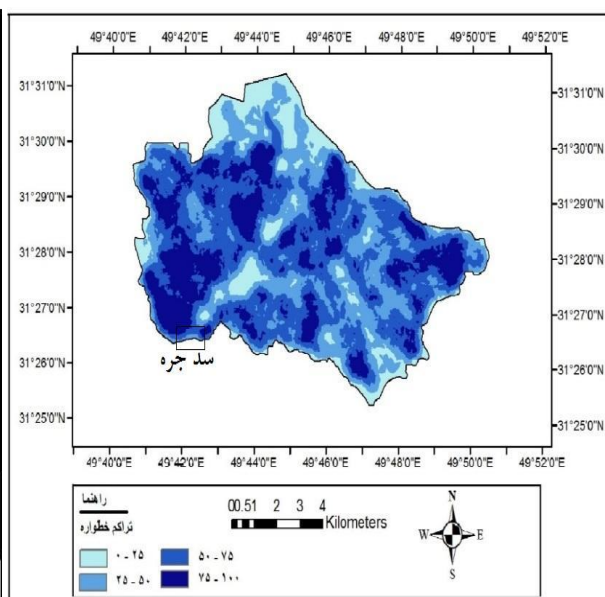
شکل ۷. نقشه لایه دما در منطقه مورد مطالعه



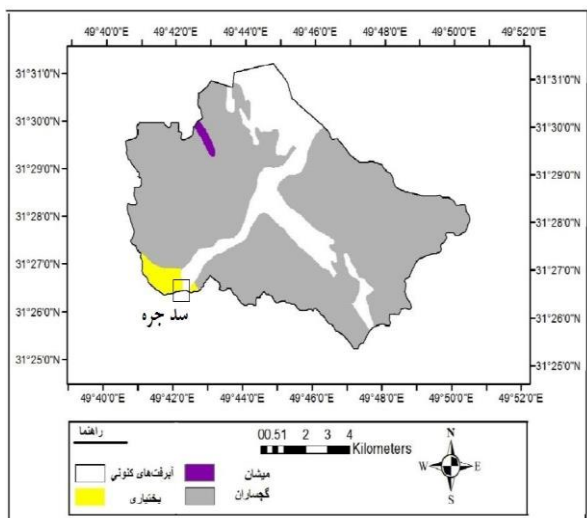
شکل ۶. نقشه لایه بارش در منطقه مورد مطالعه



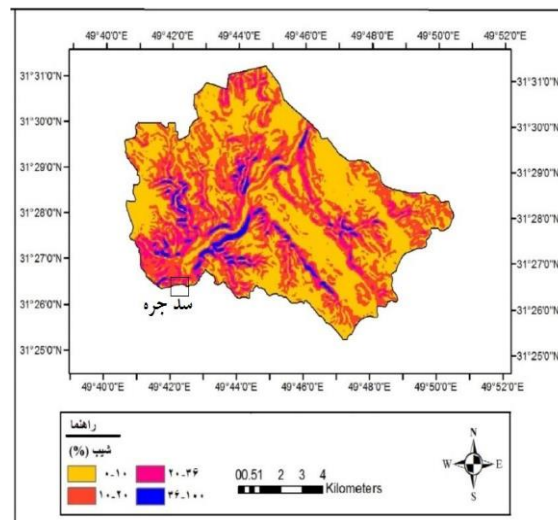
شکل ۹. لایه فاصله از شکستگی در منطقه مورد مطالعه



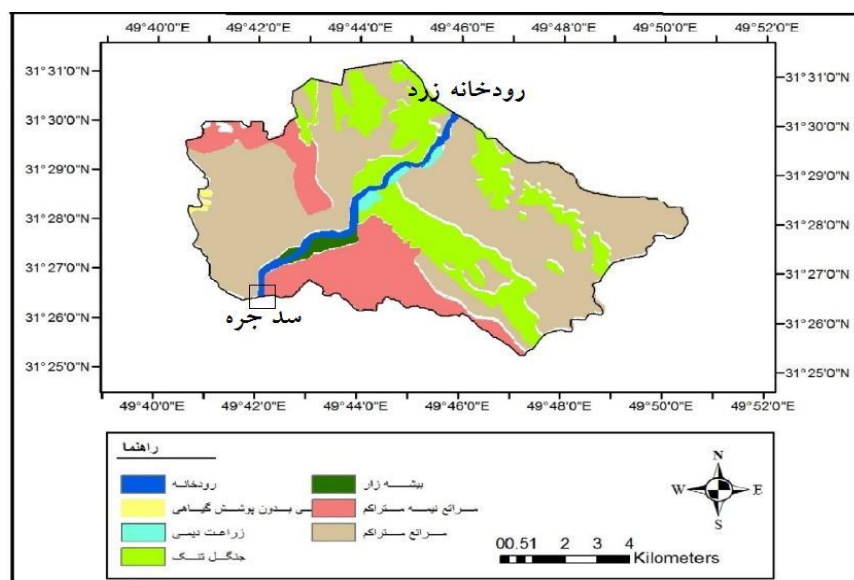
شکل ۸. لایه تراکم شکستگی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۱. لایه لیتولوژی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۰. لایه شیب در منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۲. لایه پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه

پهنه‌بندی توسعه کارست

نقشه نهایی منطقه مورد مطالعه شامل دو محدوده با پتانسیل کارستی شدن متوسط و زیاد می‌باشد. بخش‌های فاقد عارضه کارستی مربوط به سازندهای بختیاری، آبرفتی و میشان می‌باشد. قسمت‌های با توسعه متوسط و زیاد مربوط به سازند گچساران است (شکل ۱۳). لذا با توجه به شکل ۱۳، بیشترین پتانسیل توسعه کارست، مربوط به قسمت‌هایی از منطقه است که توسط گسل‌ها محدود شده‌اند. در قسمت جنوب شرقی منطقه که محدوده بین دو گسل معکوس جره و گسل تراستی دشت شیر است به دلیل فعالیت این دو گسل و ایجاد شکستگی در منطقه، تکتونیک نقش متعادلی داشته و باعث ایجاد دولین‌هایی به موازات روند این گسل‌ها شده است. در محدوده بین دو گسل تراستی دشت شیر و دشت انار به دلیل قرابت این دو گسل با هم و شکستگی بسیار زیاد، کارستی‌شدن شدت بیشتری داشته و محدوده بین این دو گسل تبدیل به

پلژه تکتونیک‌یک شده است. همچنین در قسمت شرق منطقه که راندگی دشت انار به تنهایی اثر داشته، اشکال کوچک مقیاس کارستی مثل دولین توسعه بیشتری دارد. در قسمت غرب منطقه توسعه کارست بیشتر در مناطق نزدیک به شکستگی‌های ناشی از گسل معکوس جره و گسل امتداد لغز احتمالی درون مخزن است و با دور شدن از این شکستگی‌ها، اشکال مورفولوژیکی کارست هم از نظر اندازه و هم از نظر تعداد کاهش یافته و کارن‌ها رفته رفته جایگزین دولین‌ها می‌شوند. تکتونیک در کارست‌های تبخیری دارای نقش دوگانه است به این معنی که کارست تبخیری نسبت به کارست آهکی در مدت زمان کمتری ایجاد و در مدت کمتری نیز از بین می‌رود. در مناطقی که شدت تکتونیک زیاد است عمل انحلال تمام سنگ گچی را حل کرده و از بین می‌برد و در مناطقی که تکتونیک متعادل است دوام کارست گچی بیشتر است. بنابراین از این منظر تکتونیک در توسعه کارست تبخیری نقش دوگانه دارد.

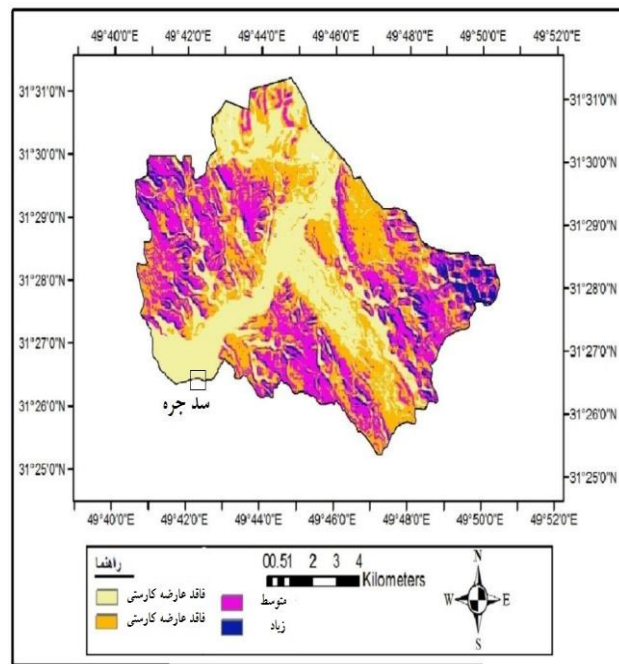
هیدرولوژیکی است که در ریزش تاثیر دارد. گسل‌ها نیز خطر ریزش و لغزش دامنه‌ها را افزایش می‌دهند، پس با کاهش فاصله از گسل؛ تراکم سیستم درزه‌ها، شکستگی‌ها و خردشدگی سنگ‌ها که در وقوع ریزش نقش دارند افزایش می‌یابد. لغزش انواع مختلفی داشته و در هر نوع سنگی می‌تواند ایجاد شود. ویژگی‌های توده متحرک و شکل سطح گسیختگی معمولاً به عنوان عوامل طبقه‌بندی لغزش‌ها به کار گرفته می‌شوند.

به دلیل فعالیت گسل درون مخزن (گسل امتداد لغز)، شکستگی‌هایی در مخزن بوجود آمده است که از طریق این شکستگی‌ها، آب به سازند گچساران نفوذ و منجر به انحلال و توسعه کارست در مخزن گچی زیر سطح آب می‌شود. در اثر به وجود آمدن فضای خالی (کارست) در دیواره مخزن زیر سطح آب و نیز وجود شکستگی‌ها در دیواره بالای سطح آب، مقاومت دیواره مخزن کاهش یافته و در اثر نیروی ثقل به صورت لغزش، درون مخزن سقوط می‌کند (شکل ۱۴).

این لغزش بسته به نوع و جهت شکستگی‌ها به صورت لایه‌ای، گوه‌ای و ریزش است. به دلیل بوجود آمدن این فضاهای خالی، ریزش‌ها و امکان نفوذ بیشتر آب، احتمال فرار آب در دیواره مخزن افزایش می‌یابد و با نفوذ آب دارای قدرت انحلال، توسعه کارست زیرسطحی افزایش می‌یابد. لذا، این کنش و واکنش چون به سطح آزاد آب راه دارد (اصل وجود خروجی برای توسعه کارست) به صورت مداوم و بی‌وقفه تکرار می‌شود و از این طریق احتمال فرار آب وجود دارد. از طرف دیگر چون رودخانه‌ها معمولاً دارای ذرات معلق و ریزی می‌باشند که با کاهش انرژی آب شروع به ته‌نشست می‌کنند. با گذشت زمان مقدار رسوبات ته‌نشست شده افزایش می‌یابد و فرار آب در امتداد گسل را کاهش می‌دهند. چون ساختمان سد بر روی سازند کنگلومرای بختیاری قرار گرفته و شیب این سازند به سمت شمال شرق (خلاف جهت جریان آب) است، بنابراین با توجه به اینکه انحلال در سازند بختیاری کم و شیب لایه در خلاف جهت جریان است از این طریق فرار آب محدود است.

برای تهیه نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست زیرسطحی که منجر به ریزش و لغزش دیواره مخزن سد و همچنین فرار احتمالی آب از مخزن می‌شود، از چند لایه که با استفاده از نرم‌افزار GIS تهیه شده‌اند، استفاده شده است. این لایه‌ها شامل لایه بارندگی، دما، فاصله از گسل‌ها (شکل ۱۵) و خطواره‌ها، تراکم آبراهه‌ها، شیب و لیتولوژی است که در مطالب قبلی به آنها اشاره شده است و در نرم‌افزار Expert Choice توسط روش AHP وزن‌دهی شده‌اند (جدول ۳). در این مورد عواملی که بیش‌ترین تاثیر را در ریزش و لغزش دارند شامل گسل درون مخزن و درزه‌های دیواره مخزن، شیب دیواره و عامل زیربری رودخانه (که در این تحقیق از آن به عنوان کارست زیرسطحی نام برده شده است) می‌باشند. نهایتاً با استفاده از این لایه‌ها، نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست زیر سطحی و ریزش و لغزش دیواره‌های مخزن تهیه شد (شکل ۱۶).

با توجه به شکل ۱۶ مناطق دارای پتانسیل لغزش و ریزش و فرار احتمالی آب در محل‌های توسعه یافته کارست زیرسطحی را می‌توان مشاهده کرد که به رنگ سیاه نشان داده شده است. لذا، بیشترین پتانسیل فرار آب در امتداد گسل‌های تراستی دشت شیر و دشت انار (محل برخورد گسل درون مخزن و این گسل‌ها که خردشدگی را در این ناحیه شدت بخشیده) و همچنین در امتداد شکستگی‌های فرعی ناشی از گسل امتداد لغز درون مخزن می‌باشد.



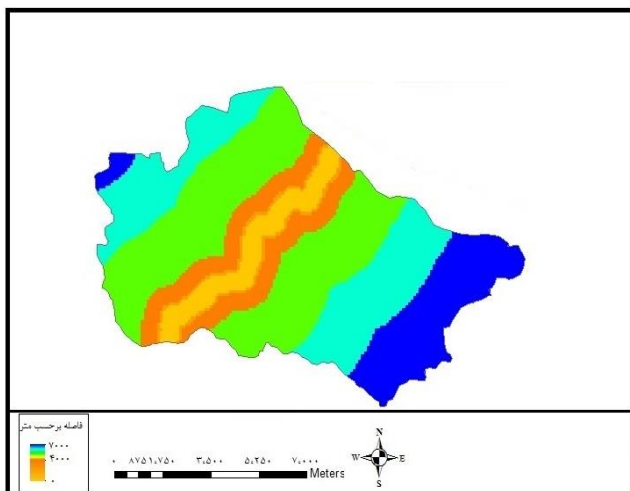
شکل ۱۳. نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه

اثر گسل در توسعه کارست زیرسطحی، زمین لغزش و فرار آب

حرکت و جابجایی بخشی از مواد در امتداد یک سطح گسیختگی را زمین لغزش یا رانش زمین گویند (خانلری، ۱۳۸۶). ریزش سنگ شامل حرکت ناگهانی یا تند بلوک‌های سست شده یا مجموعه‌ای از سنگ‌های سخت جدا شده از دیواره‌های سنگی پر شیب است که به طور معمول در راستای سطوح لایه‌بندی درزه‌ها و مناطق گسلی رخ می‌دهد (Chau, 2004). قبادی و دهیان، ۱۳۹۴ با بررسی تاثیر لیتولوژی و تکتونیک در شکل‌گیری عوارض کارستی منطقه درفک، نتیجه گرفتند که قرارگیری محدوده مطالعاتی در زون برشی گسل لاهیجان و شکل‌گیری ساختار گوه مانند قله درفک همگی بر تحت فشار بودن منطقه تاکید داشته و توسعه سیستم شکستگی عامل مهمی در شکل‌گیری عوارض کارستی منطقه است.

به طوری که با افزایش نفوذپذیری توده سنگ‌های کرناته، سطح تماس آب با سنگ افزایش یافته و با درنظر گرفتن شرایط اقلیمی سرعت انحلال افزایش می‌یابد. Duarte and Marquinez توزیع فضایی ریزش در مقیاس منطقه‌ای را با استفاده از داده‌های توپوگرافی در سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه کردند و از ترکیب ریزش‌های منطقه با نقشه زمین‌شناسی و مدل رقومی زمین، نتیجه گرفتند که رابطه قوی بین ریزش و سنگ‌شناسی، ارتفاع، شیب، دیواره‌های سنگی و تراکم آبراهه‌ها وجود دارد. کلانتری و همکاران، ۱۳۹۱ با بررسی هیدروژئولوژیکی و زمین ساختاری چشمه دره‌اناری دریافتند که شکستگی‌های عرضی نقش مهمی در نفوذ رو به پایین آب و همچنین گسل تراستی چاله منار نقش مهمی در انتقال آب دارد.

آبراهه‌ها با زهکشی آب‌های جاری در سطح منطقه، نقش موثری در افزایش حساسیت دامنه‌های مجاور خود برای ناپایداری خواهند داشت. نفوذ آب در درزه‌ها و شکاف‌های سنگ‌های مختلف سطح ناحیه و واریزه‌های روی دامنه‌ها، همچنین تاثیر رطوبت آبراهه‌ها در کاهش دما، از اثرات



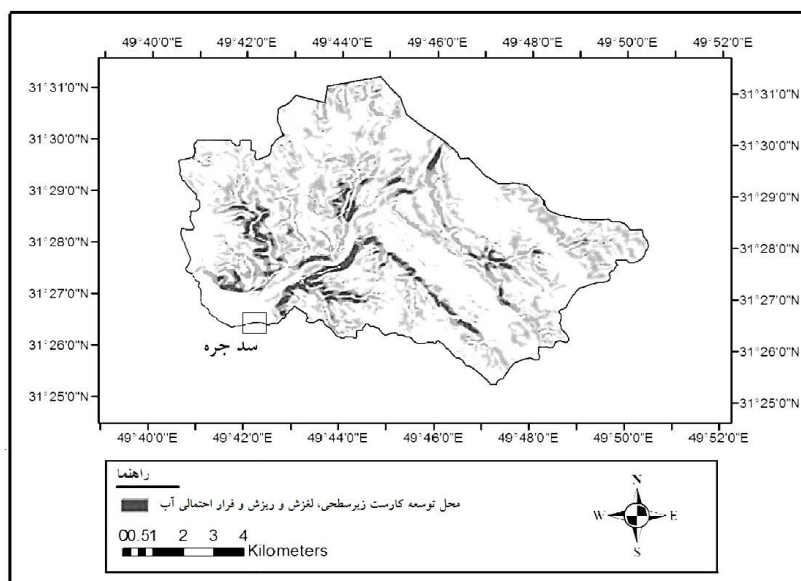
شکل ۱۵. نقشه فاصله از گسل



شکل ۱۴. لغزش دیواره مخزن

جدول ۳. وزن دهی به معیارها با استفاده از روش مقایسه زوجی

معیار	فاصله از گسل	تراکم آبراهه	لیتولوژی	بارش	دما	شیب	وزن معیار	شاخص ناسازگاری
فاصله از گسل	۱	۲	۴	۵	۶	۷	۰/۴۰۹	۰/۰۴
تراکم آبراهه		۱	۲	۴	۵	۶	۰/۲۵۸	
لیتولوژی			۱	۲	۴	۵	۰/۱۵۲	
بارش				۱	۲	۴	۰/۰۸۹	
دما					۱	۳	۰/۰۵۷	
شیب						۱	۰/۰۳۳	



شکل ۱۶. نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست زیر سطح آب در دیواره مخزن، محل‌های ریزش و لغزش و فرار آب

نتیجه‌گیری

دو گسل تراستی دشت شیر و دشت انار و همچنین پلژه ایجاد شده توسط این دو گسل فقط در قسمت شرق مخزن دیده می‌شود و احتمالاً نبود آن‌ها در قسمت غرب به دلیل عملکرد گسل امتدادلغز درون مخزن است. گسل‌های موجود در منطقه مطالعاتی نقش مختلفی در کارستی‌شدن داشته‌اند. بطوریکه گسل معکوس جره کارستی‌شدن را شدت بخشیده و موجب توسعه کارست در قسمت‌های جنوبی، جنوب شرقی شده است. در صورتی که دو گسل تراستی دشت شیر و دشت انار به دلیل شدت خردشدگی، موجب تسریع فرآیند کارستی‌شدن شده و پلژه ساختمانی را بوجود آورده‌اند و گاه‌ها شدت خردشدگی انحلال را شدت بخشیده و سنگ گچی به طور کامل از بین رفته است.

منطقه مورد مطالعه به لحاظ قرارگیری در زون زمین‌ساختی زاگرس، دارای گسل و شکستگی فراوان می‌باشد. این شکستگی‌ها امکان نفوذ آب به درون زمین را فراهم کرده و موجب انحلال و توسعه کارست می‌شوند.

منابع

- امامی. س. ن.، غیومیان. ج.، ۱۳۸۳، پژوهشی بر سازوکار زمین‌لغزش‌ها بر روی واریزه‌های دامنه‌ای (مطالعه موردی: لغزش افسرآباد استان چهارمحال بختیاری)، مجموعه مقالات سومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ص ۱۱۳ - ۱۲۶.
- آقانباتی. س. ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ص ۵۸۶.
- حاتمی‌فرد. ر.، موسوی. س. ح.، علیمردی. م.، ۱۳۹۱، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS در شهرستان خرم‌آباد، مجله علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۷، ش ۳.
- خانلری. غ. ر.، مومنی. ع. ا.، عبدی‌لر. ی.، ۱۳۸۶، زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک. چاپ اول، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، ص ۳۳۵.
- صابری. ع.، رنگزن. ک.، مهجوری. ر.، کشاورزی. م.، ۱۳۹۱، پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با تلفیق سنجش از دور و GIS به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در ناقدیس کمستان استان خوزستان، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، زمستان ۹۱، شماره ۶، ص ۱۱-۲۰.
- عباس‌نژاد. ب.، عباس‌نژاد. ا.، ۱۳۹۶، نشست زمین در دشت منوجان (جنوب استان کرمان): عوامل، اثرات و پهنه‌بندی، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، بهار ۹۶، شماره ۲۳، ص ۶۵-۷۷.
- علی‌محمدی. ص.، پاشایی‌اول. ع.، شتایی جویباری. ش.، پارسایی. ل.، ۱۳۸۸، ارزیابی کارایی مدل‌های خطر زمی‌لغزش در حوضه‌آبخیز سید کلاته رامیان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، ش اول، ص ۵۹-۷۸.
- قبادی. م. ح.، دهبان ایوان استخری. م.، ۱۳۹۴، بررسی تاثیر لیتولوژی و تکتونیک در شکل‌گیری عوارض کارستی در منطقه درفک، سی و چهارمین گردهمایی ملی علوم زمین، تهران، ایران.
- قنبرزاده. ه.، بهنیافر. ا.، ۱۳۸۸، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها در ارتفاعات حوضه‌آبریز کال شور (شهرستان نیشابور)، مجله علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال نهم، ش ۲۸، ص ۱۰۳-۱۲۳.
- کلاتری. ن.، حمیدی‌زاده. ف.، کشاورزی. م.، ر.، چرچی. ع.، ۱۳۹۱، بررسی هیدروژئولوژیکی و زمین‌ساختاری چشمه دره‌اناری در منطقه کارستی شیرین‌بهار استان خوزستان، تحقیقات منابع آب ایران، سال هشتم، ش ۱، ص ۳۰-۴۲.
- مهندسان مشاور مه‌آب قدس.، ۱۳۸۵. فاز دوم مطالعات زمین‌شناسی سد جره.
- Adiat. K. A. N., Nawawi. M. N. M., Abdullah. K., 2012, Assessing the accuracy of GIS-based elementary multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool – A case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. *Journal of Hydrology*, Vol: 440: p: 75–89.
- Andrejchuk. V., Klimchouk. A., 2005, Mechanisms of breakdown formation in the gypsum karst of the fore Ural region. *Russia. www. speleogenesis. info.*
- Blount. C.W., Dickson. F. W., 1973, Gypsum–Anhydrite Equilibria in Systems CaSO₄–H₂O and CaCO₄–NaCl–H₂O. *American Mineralogist*, Vol: 58, p: 323–331.
- Chau. K. T., Tang. Y. F., Wong. R. H. C., 2004, GIS-Based Rock Fall Hazard Map for Hong Kong. *The Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, Vol: 41, p 846–851.
- Dinesh Kumar. P. K., Gopinath. G., Seralathan. P., 2007, Application of remote sensing and GIS for the demarcation of groundwater potential zones of a river basin in Kerala, southwest cost of India. *Int J Remote Sens*, 28(24): p 5583–5601
- Dogan. U., Ozel. S., 2005, Gypsum karst and its evolution east of Hafik (Sivas, Turkey), *Geomorphology*, Vol: 71, p 373–388.

- Dogan. U., Yesilyurt. S., 2004, Gypsum karst south of ImranIV. Cave and Karst Science, Vol: 31, No 1, p 7 –14.
- Duarte. R. M., Marquinez. J., 2002, The influence of Environmental and Lithologic Factors on Rockfall at a Regional Scale: an Evaluation Using GIS, Geomorphology, Vol. 43, No. 1-2, P 117-136.
- Elfigih. O. B., Elgheriani. M. Y., 2013, Dissolution Cavities of Karren type in the Algal Limestone Member of Al Bayda Formation, Sector (3), Wadi Az Zad, Al Jabal Al Akhdar, NE Libya. Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences, p 45- 52.
- Ford. D. C., Williams. P. W., 1989, Karst Geomorphology and Hydrology. Unwin Hyman, London, p: 601.
- Hardie. L. A., 1967, The gypsum–anhydrite equilibrium at one atmosphere pressure. The American Mineralogist, Vol: 52, p: 171–199.
- Jhonson. K. S., 2003, Evaporite karst and engineering/environmental problems in the United States: Oklahoma Geological Survey Circular, Vol: 109, p: 1-20.
- Johnson. K. S., 2003, Gypsum karst and abundance of the Upper Mangum Damsite in Southwestern Oklahoma. Evaporite Karst and Engineering/environmental problems in the United States. Oklahoma Geol. Surv. Circular, Vol: 109, p: 85-94
- Kacaroglu. F., Degirmenci. M., Cerit, O., 1997. Karstification in Miocene gypsum: an example from Sivas (Turkey). Environmental Geology, Vol: 30, p: 88– 97.
- Milanovic. P. T., 1981, Karst Hydrogeology. Water Resources Publications, p: 434.
- Milanovic. P. T., 1981, Karst Hydrogeology. Water Resources Publications, p: 60
- Milanovic. P. T., 1981, Karst Hydrogeology. Water Resources Publications, p: 61
- Saaty. T. L., 1980, The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill. New York, p: 287.
- Shaban. A., Khawlie. M., Abdallah. C., 2006, Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon. Hydrogeol J., Vol: 14, p: 433–443.
- Sonnenfeld. P., 1984, Brines and Evaporites. Academic Press, Orlando.
- White. W. B., 1988, Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains. Oxford Univ. Press, Oxford.