

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

خدا یا با الہی قدر



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف معدن

استفاده از ژئوانفورماتیک برای ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی در رشته کوه جنوبی

صحرای جلالی شاهرود

نام دانشجو

فاطمه شهینما

اساتید راهنما

دکتر علیرضا عرب امیری

دکتر حمید آقاجانی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۶

شماره: ۲۴۹۹ ک. ۲۸
تاریخ: ۹۴/۱۵

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورت جلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم **فاطمه شهنا** با شماره دانشجویی ۹۳۱۰۶۱۴ رشته مهندسی معدن گرایش **اکتشاف** تحت عنوان **استفاده از ژئوانفورماتیک برای ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی در رشته کوه جنوبی صحرای جلالی شاهرود** که در تاریخ ۱۳۹۶/۰۶/۱۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می-گردد:

قبول (با امتیاز ۱۵ درجه بسیار خوب) مردود
نوع تحقیق: نظری عملی

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	علیرضا عرب امیری	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	حمید آقاجانی	دانشیار	
۳- استاد مشاور	-----	-----	-----
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	محمد رداد	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	منصور ضیایی	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	کیومرث سیف پناهی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: علیرضا عرب امیری
تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).



تقدیم به

حامیان، ہمیشگی زندگی ام

پدر، مادر و خواہر عزیزم

قدردانی

پس دانای بی آموزگار را که بار دیگر به من فرصت آموختن عطا کرد. قدردان محبت های جاودانه و نخطه نخطه همراهی پدر و مادر عزیزم در مسیر زندگی ام هستم. از خواهر مهربانم به خاطر دگرگونی های همیشگی اش کمال تشکر را دارم.

بر خود واجب می دانم از اساتید فرزانه جناب آقای دکتر علیرضا عرب امیری و جناب آقای دکتر حمید آقاجانی که به عنوان اساتید راهنما در مراحل مختلف این پیماننامه همواره با سعه صدر و گشاده رویی دکنار من بودند و در طول مدت تحصیل از راهنمایی های اخلاقی و علمی ایشان بهره جستم تشکر و قدردانی نمایم. برای ایشان طول عمر توام با سربلندی را آرزو مندم.

از همراهی و همکاری بی دریغ جناب آقای دکتر محمد رضایی و جناب آقای دکتر بشیرن روشن روان نیز کمال تشکر و قدردانی را دارم. در پایان از همراهی همیشگی دوستان عزیزم که به هر طریقی یاری گریزنده بوده اند، خاضعانه تشکر می نمایم.

تعهدنامه

اینجانب فاطمه شهنما دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته اکتشاف معدن دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع استفاده از ژئوانفورماتیک برای ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی در رشته کوه جنوبی صحرای جلالی شاهرود تحت راهنمایی دکتر علیرضا عرب امیری و دکتر حمید آقاجانی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود هست و مقالات مستخرج بانام **دانشگاه صنعتی شاهرود** و یا **Shahrood University of Technology** به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات، مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده:

با توجه به برداشت زیاد آب از آبخوان‌های صحرای جلالی در شهر شاهرود و کمبود آب برای مصارف مختلف، بررسی منابع آب کارستی منطقه، به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تامین آب، بسیار ضروری است. هدف از این تحقیق، شناسایی پتانسیل منابع آب زیرزمینی، به خصوص در سازندهای کربناته در رشته کوه جنوبی منطقه صحرای جلالی شاهرود است. به منظور انجام مطالعه مورد نظر ابتدا داده‌های مورد نیاز مانند نقشه‌ی زمین‌شناسی شاهرود، نقشه رقومی توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای ماهواره لندست ۸ تهیه شد. پس از انجام تصحیحات لازم، پردازش داده‌های ماهواره‌ای برای رسیدن به تصاویر مناسب انجام شد. با توجه به هدف نهایی، عوامل موثر در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی مانند واحد سنگی، خطواره‌ها، زهکشی، طبقات ارتفاعی، شیب توپوگرافی و جهت شیب منطقه مورد بررسی قرار گرفت. برای تلفیق اطلاعات و لایه‌های حاصل از نرم افزار Arc GIS استفاده شد. برای این کار ابتدا نقشه‌های رقومی عوامل موثر براساس وزن‌های مختلف امتیازدهی شد و لایه اطلاعاتی قابل تلفیق در محیط نرم افزار آماده شد. سپس برای تعیین مناسب‌ترین مناطق از روش‌های شاخص هم‌پوشانی، روش فازی با استفاده از عملگرهای حاصل ضرب جبری، حاصل جمع جبری، و، یا، گاما و روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. براساس نتایج حاصل از تلفیق، مناطق مناسب با استفاده از تقسیم‌بندی ساده و هندسه فرکتال مشخص شده، سپس نقشه نهایی پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه تهیه و با استفاده از منطق بولین و عملگر AND مناطق نهایی پتانسیل آب زیرزمینی مشخص شد. در نهایت برای اعتبارسنجی نتایج به‌دست آمده، از اطلاعات چاه‌های آب موجود در منطقه استفاده شد. بر این اساس بیش از ۹۰ درصد چاه‌های حفر شده در محل‌های پیشنهادی واقع شده است. بنابراین می‌توان گفت که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تعیین انتخاب درست لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز از آن و تلفیق اطلاعات در GIS روشی مناسب برای شناسایی مناطق امید بخش آب زیرزمینی است.

کلید واژه: آب زیرزمینی، سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شاخص هم‌پوشانی، فازی، تحلیل سلسله مراتبی

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۳
۲-۱- هدف و ضرورت تحقیق	۴
۳-۱- ژئوانفورماتیک و کاربرد آن در مطالعات آب زیرزمینی	۶
۱-۳-۱- سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS	۶
۲-۳-۱- سامانه موقعیت یاب جهانی GPS	۸
۳-۳-۱- سنجش از دور (RS)	۱۰
۴-۳-۱- ترکیب داده های GIS, RS و GPS برای اکتشاف منابع آب زیرزمینی	۱۲
۴-۱- تاریخچه مطالعات تحقیق	۱۳
۵-۱- روش تحقیق و مراحل کار	۱۵
۶-۱- ساختار پایان نامه	۱۵
فصل دوم: مبانی تحقیق	۱۷
۱-۲- مفاهیم و اصطلاحات هیدروژئولوژی	۱۹
۱-۱-۲- تعریف کارست	۱۹
۲-۱-۲- سفره های آب کارستی	۲۰
۲-۲- عوامل موثر در توسعه آبخوان های کارستی	۲۰
۱-۲-۲- سنگ شناسی	۲۰
۲-۲-۲- وضعیت چینه شناسی	۲۱
۳-۲-۲- شرایط تکتونیکی	۲۱
۴-۲-۲- اقلیم و آب و هوا	۲۳

۲۴	..... پوشش گیاهی ۵-۲-۲
۲۵	..... پوشش خاک ۶-۲-۲
۲۶	..... شیب ۷-۲-۲
۲۶	..... جهت شیب ۸-۲-۲
۲۶	..... توپوگرافی ۹-۲-۲
۲۷	..... آبراهه‌ها ۱۰-۲-۲
۲۷	..... سایر عوارض ۱۱-۲-۲
۲۷	..... منابع آب‌های کارستی در ایران ۳-۲-۲
۲۸	..... تهیه لایه‌های اطلاعاتی و تلفیق و مدل‌سازی آن‌ها ۴-۲-۲
۲۹	..... مدل‌سازی به روش شاخص هم‌پوشانی ۱-۴-۲
۳۰	..... مدل‌سازی به روش منطق فازی ۲-۴-۲
۴۰	..... مدل‌سازی به روش تحلیل سلسله مراتبی ۳-۴-۲
۴۳	..... مدل‌سازی به روش منطق بولین ۴-۴-۲
۴۵	..... تقسیم‌بندی جوامع مختلف پتانسیل مطلوب نقشه‌های حاصل از تلفیق به روش فرکتالی ۵-۲
۴۶	..... روش غیر ساختاری ۱-۵-۲
۴۶	..... روش‌های ساختاری ۲-۵-۲
۴۸	..... موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۶-۲
۵۱	..... فصل سوم: پردازش داده‌های ماهواره‌ای و تولید نقشه‌های رقومی اولیه
۵۳	..... ۱-۳ مقدمه
۵۵	..... ۲-۳ پردازش داده‌های ماهواره‌ای و تولید نقشه‌های رقومی
۵۶	..... ۱-۲-۳ پیش پردازش
۵۸	..... ۲-۲-۳ پردازش داده‌ها
۵۹	..... الف- کَشش تباین
۵۹	..... ب- ترکیبات رنگی

۶۱	۳-۳- تهیه نقشه‌های رقومی اولیه
۶۱	۳-۳-۱- تهیه نقشه رقومی خطواره
۶۶	۳-۳-۲- تهیه نقشه رقومی واحدهای سنگی
۶۹	۳-۳-۳- تهیه نقشه رقومی طبقات ارتفاعی
۷۰	۳-۳-۴- تولید نقشه رقومی مقدار شیب
۷۱	۳-۳-۵- تولید نقشه رقومی جهت شیب
۷۱	۳-۳-۶- تولید نقشه رقومی شبکه زهکشی
۷۵	فصل چهارم: تولید و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش‌های مختلف در محیط GIS
۷۷	۴-۱- مقدمه
۷۷	۴-۲- مدل‌سازی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش شاخص هم‌پوشانی در منطقه مورد مطالعه
۷۷	۴-۲-۱- تولید لایه اطلاعاتی تراکم خطواره‌ها
۷۹	۴-۲-۲- تولید لایه اطلاعاتی واحد سنگی
۸۲	۴-۲-۳- تولید لایه اطلاعاتی مدل رقومی ارتفاعی
۸۳	۴-۲-۴- تولید لایه اطلاعاتی مقدار شیب
۸۴	۴-۲-۵- تولید لایه اطلاعاتی جهت شیب
۸۵	۴-۲-۶- تولید لایه اطلاعاتی تراکم زهکشی
۹۲	۴-۳- مدل‌سازی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش منطق فازی در منطقه مورد مطالعه
۱۰۳	۴-۴- مدل‌سازی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از وزن‌دهی به روش تحلیل
۱۰۹	فصل پنجم: بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۱۱۱	۵-۱- بحث
۱۱۶	۵-۲- نتیجه‌گیری
۱۱۹	۵-۳- پیشنهادها
۱۲۱	منابع

فهرست اشکال

- شکل (۲-۱): تصویر شماتیک از عملکرد تبدیل غیرخطی با استفاده از تابع لجستیکی در ۳۴
- شکل (۲-۲): نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۴۹
- شکل (۳-۱): فلوجارت انجام کار ۵۴
- شکل (۳-۲): استفاده از فیلتر High pass جهت بارزسازی خطواره های منطقه مورد مطالعه ۶۳
- شکل (۳-۳): استفاده از فیلترهای جهت دار (A Directional 45 (B Directional 90 ۶۴
- شکل (۳-۴): نقشه خطواره‌های رقومی شده در منطقه مورد مطالعه ۶۵
- شکل (۳-۵): نقشه تراکم خطواره‌ها منطقه مورد مطالعه ۶۵
- شکل (۳-۶): استفاده از تصاویر رنگی کاذب ۳، ۵، ۷ ۶۷
- شکل (۳-۷): استفاده از ترکیب رنگی ۲، ۴، ۶ ۶۷
- شکل (۳-۸): نقشه تهیه شده واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه ۶۷
- شکل (۳-۹): نقشه رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه ۶۹
- شکل (۳-۱۰): نقشه رقومی مقدار شیب منطقه مورد مطالعه ۷۰
- شکل (۳-۱۱): نقشه رقومی جهت شیب منطقه مورد مطالعه ۷۱
- شکل (۳-۱۲): نقشه رقومی زهکشی منطقه مورد مطالعه ۷۲
- شکل (۳-۱۳): نقشه تراکم زهکشی منطقه مورد مطالعه ۷۳
- شکل (۴-۱): لایه اطلاعاتی امتیاز دهی شده تراکم خطواره‌ها در منطقه مورد مطالعه ۷۹
- شکل (۴-۲): لایه اطلاعاتی واحدهای سنگی طبقه‌بندی شده منطقه مورد مطالعه ۸۱
- شکل (۴-۳): لایه اطلاعاتی امتیازدهی شده واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه ۸۱
- شکل (۴-۴): لایه اطلاعاتی امتیازدهی شده طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه ۸۳
- شکل (۴-۵): لایه اطلاعاتی مقدار شیب امتیازدهی شده در منطقه مورد مطالعه ۸۴
- شکل (۴-۶): لایه اطلاعاتی امتیازدهی شده جهات مختلف شیب در منطقه مورد مطالعه ۸۵
- شکل (۴-۷): لایه اطلاعاتی امتیازدهی شده تراکم زهکشی در منطقه مورد مطالعه ۸۷
- شکل (۴-۸): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش شاخص هم‌پوشانی ساده ۸۸
- شکل (۴-۹): نمودار وزن - مساحت نقشه پتانسیل مطلوب به روش شاخص هم‌پوشانی ساده ۸۸
- شکل (۴-۱۰): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش شاخص هم‌پوشانی ساده و تقسیم‌بندی فرکتال ۸۹
- شکل (۴-۱۱): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش شاخص هم‌پوشانی وزن دار ۹۰
- شکل (۴-۱۲): نمودار وزن - مساحت نقشه پتانسیل مطلوب به روش شاخص هم‌پوشانی وزن دار ۹۱

- شکل (۴-۱۳): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش شاخص هم‌پوشانی وزن‌دار و تقسیم‌بندی فرکتال. ۹۱
- شکل (۴-۱۴): نقشه‌های فازی شده لایه‌های اطلاعاتی (A) تراکم خطواره‌ها (B) واحدسنگی ۹۳
- شکل (۴-۱۵): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر AND ۹۵
- شکل (۴-۱۶): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر OR ۹۶
- شکل (۴-۱۷): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر Productat ۹۷
- شکل (۴-۱۸): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر Sum ۹۸
- شکل (۴-۱۹): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر Gamma 0.05 ۱۰۰
- شکل (۴-۲۰): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر Gamma 0.5 ۱۰۱
- شکل (۴-۲۱): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر Gamma 0.75 ۱۰۲
- شکل (۴-۲۲): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر Gamma 0.9 ۱۰۳
- شکل (۴-۲۳): ساختار سلسله مراتبی پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه ۱۰۴
- شکل (۴-۲۴): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از وزن‌دهی به روش AHP ۱۰۸
- شکل (۵-۱): نقشه موقعیت چاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه ۱۱۲
- شکل (۵-۲): نقشه پتانسیل مطلوب حاصل از تلفیق به روش شاخص هم‌پوشانی وزن‌دار ۱۱۳
- شکل (۵-۳): نقشه پتانسیل مطلوب حاصل از تلفیق به روش فازی با استفاده از عملگر ۱۱۴
- شکل (۵-۴): نقشه پتانسیل مطلوب حاصل از تلفیق به روش فازی با استفاده از عملگر ۱۱۵
- شکل (۵-۵): نقشه پتانسیل مطلوب حاصل از تلفیق به روش AHP و تقسیم‌بندی فرکتال ۱۱۶
- شکل (۵-۶): نقشه نهایی پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی با استفاده از روش بولین و عملگر AND. ۱۱۹

فهرست جداول

- جدول (۲-۱): مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی عوامل ۴۱
- جدول (۲-۲): مقدار I.R.R ماتریس تصادفی ۴۳
- جدول (۳-۱): واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه ۶۸
- جدول (۴-۱): امتیازدهی به کلاس‌های لایه تراکم خطواره‌ها ۷۹
- جدول (۴-۲): امتیازدهی به واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه ۸۰
- جدول (۴-۳): امتیازدهی به طبقات مختلف ارتفاعی ۸۲
- جدول (۴-۴): امتیازدهی به کلاس‌های مقدار شیب زمین ۸۴
- جدول (۴-۵): امتیازدهی جهت مختلف شیب ۸۵
- جدول (۴-۶): امتیازدهی به کلاس‌های مختلف تراکم زهکشی ۸۶
- جدول (۴-۷): وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی به روش شاخص هم‌پوشانی وزن‌دار ۸۹
- جدول (۴-۸): عوامل موثر در تابع لجستیکی سیگموئید مربوط به پارامترهای موثر ۹۲
- جدول (۴-۹): ماتریس مقایسه زوجی معیارها و بردار وزن هر معیار ۱۰۵
- جدول (۴-۱۰): ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارها و بردار وزن هر زیرمعیار ۱۰۶
- جدول (۴-۱۱): مقادیر نرخ ناسازگاری پارامترهای موثر ۱۰۷
- جدول (۵-۱): ارزش‌گذاری نقشه‌های پتانسیل مطلوب به روش‌های مختلف تلفیق ۱۱۸

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

با توجه به توزیع منابع آب‌های سطحی و پتانسیل بالای آلودگی این منابع، امروزه تقاضا برای آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت افزایش یافته است. اما استفاده روزافزون از آب‌خوان‌های آبرفتی و افت سطح آب در این آب‌خوان‌ها^۱، باعث شده است که جستجو برای یافتن سایر منابع آب زیرزمینی در کارست و سازندهای سخت بیشتر مورد توجه قرار گیرد. دسترسی مکانی، طیفی و زمانی به داده‌های زیاد و مناطق خارج از دسترس با استفاده از روش‌های جدید سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، ارزیابی منابع آب را امکان‌پذیر نموده است (یوسفی سنگانی و همکاران، ۱۳۹۳). آب‌های زیرزمینی ۴ درصد از مجموعه آب‌هایی که فعالانه در چرخه آب شناسی دخالت دارند را شامل می‌شوند (طاهری تیزرو، ۱۳۸۴). این منابع بعد از یخچال‌ها و پهنه‌های یخی، بزرگترین ذخیره آب شیرین به حساب می‌آیند (صداقت، ۱۳۸۷) و با حجمی معادل ۳۷ میلیارد کیلومتر مکعب (۲۲ درصد از آب‌های شیرین جهان) حدود ۹۷ درصد از آب شیرین مصرفی جهان را تامین می‌کنند (Foster, 1998). آب‌های زیرزمینی در بسیاری از کشورهای واقع در نواحی خشک و نیمه‌خشک بیش از ۸۰ درصد منابع آبی مورد استفاده را تشکیل می‌دهند (صداقت، ۱۳۸۷). آب زیرزمینی از یک‌سو به دلیل شیرین بودن، ترکیبات ثابت شیمیایی، دمای ثابت، ضریب آلودگی کمتر و سطح اطمینان بیشتر یک منبع قابل اتکا به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب شده و از سوی دیگر با تاثیر بر توان اکولوژیک سرزمین یک پدیده مهم و موثر در توسعه اقتصادی، تنوع اکولوژیکی و سلامت جامعه به حساب می‌آید (Madank et al, 2008). کشور ایران با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و میانگین سالانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر یکی از کم‌آب‌ترین کشورهای جهان محسوب می‌شود (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۶). ایران با مشخصات هیدرولوژیکی مانند حجم نزولات جوی ۴۱۳، تبخیر و تعرق ۲۹۶ و حجم آب قابل دسترس ۱۱۷ میلیارد متر مکعب، سرانه آب تجدید شونده ۱۹۰۰ متر مکعب (متوسط آب

^۱ . Aquifers

تجدید شونده جهانی ۷۶۰۰ متر مکعب)، مصرف ۳/۴ میلیارد متر مکعب - که حدود ۶۵ درصد آن از آب‌های زیرزمینی تامین می‌گردد - با شرایط سخت در زمینه تامین آب روبرو است. به ویژه این که بیش از ده سال است که از ۶۳۰ دشت کشور ۲۲۰ دشت از نظر حفاظتی در رده دشت ممنوعه قرار دارند (سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۳). طبق این ارقام بازنگری در مدیریت و استراتژی منابع آب در برنامه‌ریزی‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور امری اجتناب ناپذیر و جدی است. علاوه بر مشخصات ذکر شده هیدرولوژیکی مذکور، قرار گرفتن ایران از نظر مقدار مصرف پس از کشورهای پرجمعیت چین و هند و برداشت ۷۵ درصدی از منابع تجدید شونده آب بر این نگرانی‌ها به صورت روز افزونی می‌افزاید (رحیمی، ۱۳۹۰؛ رحیمی و موسوی، ۱۳۹۲). ایران در مقایسه با متوسط جهانی میزان بارندگی آن کمتر از یک سوم و تبخیر آن در حدود سه برابر است و با این که ۱/۱ درصد از مساحت خشکی‌های جهان را به خود اختصاص داده است، فقط ۰/۳۴ درصد از آب‌های موجود در خشکی‌های جهان را در اختیار دارد. منابع آب‌های تجدید شونده ایران حدود ۱۳۰ میلیارد متر مکعب برآورد شده؛ که ۹۲ میلیارد متر مکعب منابع سطحی و ۳۸ میلیارد متر مکعب متعلق به تغذیه طبیعی است. محدودیت منابع آب و توزیع فصلی نامناسب بارندگی نشان می‌دهد که ابتدا باید ظرفیت منابع آب موجود سطحی و زیرزمینی کشور را به خوبی شناسایی و مطالعه کرد سپس برنامه‌ریزی جامعی برای بهره‌برداری صحیح از آن‌ها صورت پذیرد (نوروزی، ۱۳۹۳).

۱-۲- هدف و ضرورت تحقیق

آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی هستند. کاهش باران‌های موسمی، سطح نامناسب آب شهری و صنعتی شدن جوامع تهدید بزرگی برای این منابع ارزشمند به حساب می‌آید (Murugesan et al., 2012). دسترسی به منابع آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های دولت‌ها و ملت‌ها است. چرا که با افزایش جمعیت و فعالیت انسان‌ها مصرف آب نیز زیادتر می‌شود. این در حالی است که مقدار آب کره زمین ثابت است و در نتیجه نیاز و وابستگی انسان به آب بیشتر می‌شود. با توجه به افزایش جمعیت

نیاز مبرم به آب و این که تنها منبع مطمئن بهره‌برداری در مناطق خشک و نیمه‌خشک، سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد، لذا نقش مدیریت صحیح بهره‌برداری و حفاظت آب‌های زیرزمینی پررنگ می‌گردد. حفاظت و نگهداری کیفیت آب زیرزمینی در یک حوزه وسیع مستلزم داشتن یک دید کلی از وضعیت و امکانات بالقوه منابع آب زیرزمینی در آن حوزه می‌باشد (محمدنژاد آروق و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به چندین ویژگی ذاتی و طبیعی آب‌های زیرزمینی، این منابع به عنوان یک منبع مهم و قابل اعتماد در تمام مناطق آب و هوایی و مناطق شهری و روستایی، کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه می‌باشد (Kumar Ghosh et al; 2015). مطمئن‌ترین روش تامین آب مورد نیاز بهره‌گیری از آب‌های زیرزمینی است و این آب‌ها معمولاً در تماس با لایه‌های زمین‌شناسی در برگیرنده به طور طبیعی در مقابل آلودگی محافظت می‌شوند. امروزه با در نظر گرفتن رشد جمعیت و توسعه روز افزون شهرها، گرم شدن کره زمین، کم‌شدن آب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، آلودگی در مقیاس وسیع و افت شدید سطح ایستابی در دشت‌ها، توجه متخصصین به تامین آب از منابع کارستی و سنگ‌های سخت معطوف شده است (خدایی، ۱۳۸۰؛ شریفی، ۱۳۹۱؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳). آب‌خوان‌های کارستی که عمدتاً متشکل از سنگ‌های کربناته (آهک و دولومیت) هستند، بخش مهمی از سفره‌های آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهند، که به کمک آن آب مورد نیاز ۲۵ درصد از جمعیت جهان تامین می‌گردد (Ford and Williams, 2007). با توجه به این که رخساره‌های کارستی تقریباً ۱۲ درصد سطح پوسته قاره‌ای زمین و بیش از ۱۱ درصد سطح کشور ایران را تشکیل می‌دهند؛ لذا اکتشاف و بهره‌برداری از منابع آب موجود در این آب‌خوان‌ها به لحاظ نیاز مبرم تامین آب شرب شهرها و کیفیت مطلوب این منابع، در مقایسه با منابع آب آبرفت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و در کشور ما، به دلیل روند رو به افزایش نیاز به آب، امری اجتناب ناپذیر است (شریفی، ۱۳۹۱). مطالعات زمین‌شناسی و بخصوص بررسی چینه‌شناسی و تکتونیک در انجام مطالعات شناسایی منابع آب به خصوص منابع آب سازندهای سخت یک منطقه، ضروری و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از ابزارهای موثر در زمینه مطالعات علوم زمین، استفاده از فناوری سنجش از دور و بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای است (علوی پناه، ۱۳۸۲). تصاویر ماهواره‌ای

و مدل رقومی ارتفاع در کنار دانش زمین‌شناسی ابزار مناسبی جهت استخراج خطواره‌ها^۱ و گسل‌ها می‌باشد (رشیدی و همکاران، ۱۳۹۱؛ یحیایی حقیقی و همکاران، ۱۳۸۳).

۱-۳- ژئوانفورماتیک^۲ و کاربرد آن در مطالعات آب زیرزمینی

ژئوانفورماتیک به صورت « فناوری و دانشی که با ساختارها و ویژگی‌ها، طبقه‌بندی، ذخیره‌سازی و پردازش داده‌های مکانی و بهینه‌سازی استفاده از آن‌ها سر و کار دارد» تعریف می‌شود. جغرافیا و رشته‌های علوم زمین به‌طور فزاینده‌ای از داده‌های رقومی که توسط سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تحلیل می‌شود؛ بهره می‌برند. ژئوانفورماتیک از ترکیب فناوری‌های GPS, GIS و RS بهره برده است (حسنی، ۱۳۹۴).

۱-۳-۱- سیستم اطلاعات جغرافیایی^۳ GIS

جمع‌آوری اطلاعات و تشکیل پایگاه اطلاعاتی مهم‌ترین، وقت‌گیرترین و گران‌ترین بخش هر پروژه GIS است. چراکه اگر این مرحله از دقت کافی برخوردار نباشد، تمام مراحل بعدی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در پروژه‌های GIS معمولاً دو سری داده‌های خاص مورد نیاز است. نوع اول، اطلاعات مکانی می‌باشند، که برای ایجاد مدل‌های جغرافیایی ضروری بوده و شامل مشخصات مربوط به موقعیت پدیده-های جغرافیایی، ویژگی‌های هندسی و نحوه ارتباط بین آن‌ها می‌باشند. نوع دوم اطلاعات شامل ویژگی‌ها و خصوصیات توصیفی هستند؛ که در ارتباط با اطلاعات مکانی می‌باشند (نوروزی، ۱۳۹۳). با توجه به این که در GIS از حجم بزرگی از داده‌های جمع‌آوری شده برای هدفی خاص استفاده می‌شود، سازمان‌دهی و مدیریت این اطلاعات از اهمیت زیادی برخوردار است. در صورتی که طرح کلی سازمان‌دهی برای کاربرد عملی مناسب نباشد، نمی‌توان در نهایت نتایج مفید و ارزشمندی به دست آورد.

1 . Linements
2 . Geoinformatic
3 . Geographic Information System

بنابراین کارایی و نوع سامان‌دهی داده‌ها تمام فعالیت‌های بعدی را کنترل و مدیریت می‌نماید (Bonham-Carter, 1994).

ترکیب و تلفیق در محیط GIS، به معنی هماهنگ نمودن داده‌های متفاوت از منابع مختلف است. اغلب داده‌هایی که در محیط GIS مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند، از منابع مختلف تهیه و در قالب‌های متفاوت ذخیره می‌شوند. در GIS امکاناتی فراهم آمده تا بتوان داده‌های متفاوت جمع‌آوری شده را با یکدیگر مقایسه و ترکیب نمود. به علاوه هنگامی که داده‌های مکانی به صورت مجزا و جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند، روابط فضایی بین آن‌ها به آسانی آشکار نمی‌شود. با ترکیب و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی متنوع از منابع مختلف به کمک روابط ریاضی ساده و پیچیده در GIS، مقایسه، درک و تفسیر پدیده‌های مکانی بهتر و دقیق‌تر میسر می‌گردد. GIS به کمک اندازه‌گیری و محاسبات آماری بر روی داده‌های مکانی، مدل‌های متنوعی برای تجزیه و تحلیل پدیده‌های مکانی ارائه می‌نماید (نوروزی، ۱۳۹۳).

تلفیق نقشه‌های مختلف موضوعی با استفاده از داده‌های GIS در سه مرحله انجام می‌شود (Schot et al. 2009):

(۱) ایجاد پایگاه داده‌های فضایی

(۲) تجزیه و تحلیل داده‌های فضایی

(۳) تلفیق داده‌های فضایی

در واقع GIS یکی از بهترین سیستم‌هایی است که دسترسی به اطلاعات زیاد، متنوع و تجزیه و تحلیل را آسان‌تر می‌کند (احمدنژاد و همکاران، ۱۳۸۹؛ صمدی و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به افزایش حجم داده‌ها، ماهیت رقومی آن‌ها و توسعه کاربردها و تحلیل‌های مورد نیاز، روش‌های سنتی تحلیل داده‌های مکانی، مانند روش‌های آماری نمی‌توانند به تنهایی و با قابلیت اطمینان بالا مورد استفاده قرار گیرند. زیرا این روش‌ها، اصولاً برای کار با داده‌های کم حجم طراحی شده‌اند و در مواجهه با حجم عظیم داده‌ها

نه تنها سرعت و کارایی لازم را نخواهند داشت؛ بلکه قادر به پاسخگویی نیازهای جدید نیز نخواهند بود. در این میان استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی راه حل مناسبی برای تحلیل و استخراج اطلاعات مفید از داده‌های مکانی است (Ozcan, 2007). امروزه GIS در بیشتر علوم کاربرد دارد. جستجو برای انواع منابع زمین شناسی، ارزیابی خطرات، مسایل زیست محیطی و بررسی برای یافتن محل مناسب به منظوری خاص که همگی نیاز به جمع‌آوری داده‌های مکانی از چندین منبع دارند، از کاربردهای GIS می‌باشند. برخی دیگر از کاربردهای GIS در علوم زمین به شرح زیر است (نوروزی، ۱۳۹۳).

۱. تهیه نقشه‌های حوادث و بلایای طبیعی، پایداری شیب‌ها، زمین لرزه‌ها، منطقه‌بندی خسارت زمین-لرزه، فوران‌های آتشفشانی، خسارات ناشی از طغیان رودخانه‌ها و امواج غول‌پیکر، فرسایش ساحلی، خطرات آلودگی ناشی از فعالیت‌های معدنی یا صنعتی و گرم شدن کره زمین.

۲. انتخاب محل مناسب برای اجرای پروژه‌های مهندسی نظیر دفع مواد زاید، خط لوله، جاده و مسیر راه آهن، سدها، توسعه و گسترش ساختمان‌سازی.

۳. ارزیابی منابع زمینی و زیرزمینی مانند آب، شن و ماسه، سنگ ساختمانی، نفت، گاز، زغال سنگ، انرژی زمین گرمایی و سایر منابع معدنی.

۴. تحقیق و یافتن ارتباط میان داده‌های زیست محیطی و سایر داده‌ها.

۱-۳-۲- سامانه موقعیت‌یاب جهانی^۱ GPS

جی پی اس یکی از بهترین و کامل‌ترین دستاوردهای بشر برای شناسایی و مکان‌یابی روی کره زمین است که روز به روز در حال کامل‌تر شدن است. سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) در حال حاضر تنها سامانه ماهواره‌ای ناوبری جهانی کاملاً فعال در دنیا است که در آن ۲۴ ماهواره فعال (به علاوه ۶ ماهواره یدکی) در مدار میانی زمین و ارتفاع ۲۰۲۰۰ کیلومتری، به طور پیوسته سیگنال‌های میکروویو دقیق

^۱ Global Position System

را به زمین ارسال نموده و دستگاه‌های گیرنده، کاربران زمینی را قادر به تعیین موقعیت خود روی زمین می‌کنند (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۰).

سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) و نیز سیستم ناوبری خودکار (INS)^۱ توسط نقاط کنترل زمینی و فتوگرامتری، سنجنده‌های بکاربرده شده در سنجش از دور را تقویت می‌سازند. GPS یک سیستم چند منظوره است که از تلفیق آن با یک سیستم مختصات و مجموعه‌ای از اطلاعات جغرافیایی، یک نقشه ایجاد می‌شود و ترکیب آن با نقشه انجام عملیات ناوبری را آسان می‌کند. GPS توام با یک نقشه رقومی، یک سیستم اطلاعات جغرافیایی و یک ارتباط رادیویی، در مجموع یک سیستم دستور و کنترل را به وجود می‌آورد. GIS داده‌های متنوع دریافتی از GPS که از منابع مختلف دریافت کرده است را با هم ارتباط می‌دهد. GIS می‌تواند به عنوان یک واسطه و پایگاه که اجازه تبادل اطلاعات و مشارکت تصمیم‌گیری را می‌دهد، خدمت نماید. این نرم‌افزار اجازه می‌دهد که کاربر با یک محیط شبیه‌سازی شده عمل نموده و احساسی را که در رابطه با تعامل در جهان واقعی می‌تواند داشته باشد دوباره‌سازی کند. از کاربردهای رایج GIS که در فضای نرم‌افزاری می‌توان با استفاده از GPS انجام داد عبارتند از (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۰):

- نقشه‌برداری‌های مهندسی
- فتوگرامتری خودکار
- نقشه‌برداری بزرگ‌راه‌ها
- نقشه‌برداری از سفره‌های آب زیرزمینی
- نقشه برداری حوادث (زمین لرزه، آتش سوزی، تخریب ساختمانهای بزرگ و غیره)
- کارهای آماری و سرشماری
- کارهای آبخیزداری

^۱ - Inertial Navigation System

- برنامه‌ریزی و مدیریت کاربری اراضی

- مطالعات زیست محیطی

- تجارت الکترونیکی

- دولت الکترونیکی

- نقشه‌برداری سیار

- یکپارچه سازی GIS سه بعدی و چهار بعدی و غیره

۱-۳-۳- سنجش از دور^۱ (RS)

سنجش از دور یکی از منابع اصلی جمع‌آوری اطلاعات در مورد عوارض سطحی مربوط به آب‌های زیرزمینی مانند: سنگ‌شناسی، عوارض ساختاری (گسل‌ها و شکستگی‌ها) و ژئومورفولوژی می‌باشد. (Oh et al, 2011). سنجش از دور نه تنها دامنه بزرگ مقیاسی از مشاهدات گسترده زمانی- مکانی را فراهم می‌کند؛ بلکه باعث صرفه جویی در زمان و هزینه می‌شود (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸). این روش با استفاده از داده‌های فضایی، طیفی و زمانی موجود در مدت زمان کوتاه مناطق بزرگ و غیرقابل دسترسی را پوشش می‌دهد و به یک ابزار بسیار مفید در جمع‌آوری، ذخیره، تبدیل، بازیابی، نمایش و تجزیه و تحلیل داده‌های فضایی تبدیل شده است (Boobalan and Gurugnanam, 2016). تصاویر ماهواره‌ای اطلاعات پایه سریع و مفید را برای پارامترهایی مانند خطواره‌ها، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، زهکشی، کاربری اراضی و غیره فراهم می‌کند (Saraf and Choudhury, 1998). سنجش از دور و روش‌های GIS به طور موفقیت آمیزی برای جستجوی آب زیرزمینی و تغذیه آن مورد استفاده قرار گرفته است (Boobalan and Gurugnanam, 2016; Goyal et al. 2010). تلفیق سنجش از دور و روش‌های GIS برای شناسایی و پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی استفاده می‌شود (Anuradha et al. 2010)

¹ . Remote sensing

دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در زمینه هیدرولوژی و توسعه منابع آب به سرعت در حال پیشرفت هستند. در تجزیه و تحلیل دقیق هیدروژئومورفولوژیکی، نظارت، توانایی تولید اطلاعات در حوزه فضایی و زمانی و تعریف ویژگی‌های زمین برای تجزیه و تحلیل موفق و پیش‌بینی منابع آب زیرزمینی بسیار مهم است (Murugesan et al, 2012). استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از دور برای انجام مطالعات شناسایی منابع آب و شناخت پتانسیل منابع آبی امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸؛ دماوندی و همکاران، ۱۳۹۰). حجم عظیمی از داده‌ها، دستاورد افزایش توانمندی بشر در قرن اخیر می‌باشد که طبقه‌بندی، پردازش، تحلیل و نتیجه‌گیری پیرامون این داده‌ها را دشوار کرده است. از سوی دیگر با پیشرفت روش‌های اکتشاف مکانی، هزینه و زمان مورد نیاز جهت انجام آن‌ها افزایش زیادی یافته است (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸). روش‌های معمول مورد استفاده در پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی عمدتاً بر مطالعات و پیمایش‌های زمینی استوار است، اما پیمایش‌های صحرایی و استفاده از داده‌های زمینی، اغلب وقت‌گیر بوده و با هزینه‌ی زیادی همراه است (Ganapuram et al, 2008). هم‌چنین استخراج پارامترهای شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی در سطح و با چشم غیرمسلح ممکن نیست (خضرای و رضایی، ۱۳۹۰). با ظهور روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی در داخل هریک از واحدهای زمین‌شناسی راحت‌تر صورت می‌گیرد (Ganapuram et al, 2008). یکی از ابزارهای قدرتمند جهت طبقه‌بندی، تحلیل و بازیابی اطلاعات، سنجش از دور و تکنولوژی GIS است. چندسال است سنجش از دور به طور فزاینده‌ای به‌عنوان جایگزین اکتشافات و آزمایش‌های مکانی بکار گرفته شده است. سنجش از دور نه تنها دامنه بزرگ مقیاسی از مشاهدات گسترده زمانی مکانی را فراهم می‌کند بلکه باعث صرفه‌جویی در زمان و هزینه می‌شود. مهم‌ترین قابلیت GIS نیز امکان انجام تحلیل‌های پیچیده داده‌های مکانی و غیرمکانی است. علاوه بر این GIS دارای انعطاف‌پذیری زیادی نسبت به موضوعات و پارامترهای مختلف است. یکی از کاربردهای سنجش از دور و GIS مطالعه‌ی آب‌های زیرزمینی می‌باشد (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸).

۱-۳-۴- ترکیب داده‌های GIS, RS و GPS برای اکتشاف منابع آب زیرزمینی

ترکیب داده‌های سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، در پایش آب‌های زیرزمینی، برآورد، نظارت و حفاظت از منابع آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Chowdhury et al, 2010). ضمن این‌که این ابزارها در تهیه نقشه‌های نواحی مستعد آب‌های زیرزمینی بسیار مفید هستند. طی چندسال گذشته، استفاده از داده‌های سنجش از دور در کنار داده‌های مشاهده‌ای، موجب برآورد آسان و سیستمی مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی شده است (Tiwari, 1996; Thomas, 1999; Chawdhury, 2010). اگرچه تصاویر ماهواره‌ای قادر به تعیین مستقیم موقعیت آب‌های زیرزمینی نیستند، اما از طریق بررسی نقشه‌های تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به شاخص‌های وجود آب زیرزمینی در یک نقشه پی‌برد (محمد نژاد آروق و همکاران، ۱۳۹۲). مکان‌یابی از طریق تلفیق مجموعه عوامل و پارامترهای موثر در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی صورت می‌گیرد، به عبارت دیگر محدوده‌هایی که برای پتانسیل‌یابی معرفی می‌گردد، شامل مکان‌هایی است که شرایط و پارامترهای موثر برای ایجاد مخازن آب زیرزمینی را دارا می‌باشد. می‌توان محدوده‌های مذکور را برای انجام مطالعات دقیق‌تری همچون عملیات ژئوفیزیکی و حفاری‌های اکتشافی، جهت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در منطقه، مورد استفاده قرار داد. در واقع به علت هزینه زیاد و زمان‌بر بودن مطالعات ژئوفیزیکی و حفاری چاه‌های اکتشافی، لازم است ابتدا به روش‌های سریع‌تر و کم‌هزینه‌تر مانند پتانسیل‌یابی توسط ابزارهای RS و GIS، محدوده‌های مناسب‌تر برای انجام مطالعات تفصیلی مشخص شود (خدری، ۱۳۹۰). در واقع ژئوانفورماتیک (GPS, RS, GIS) یکی از بهترین و مهم‌ترین ابزارها در این زمینه است. زیرا سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان یک ابزار قدرتمند در ادغام و تجزیه و تحلیل لایه‌های چند موضوعی برای شناسایی مناطق دارای آب زیرزمینی شناخته می‌شود (Kumar Ghosh et al, 2015).

۱-۴- تاریخچه مطالعات تحقیق

دسترسی مکانی، طیفی و زمانی به داده‌های زیاد و مناطق خارج از دسترس با استفاده از تکنولوژی‌های جدید سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، ارزیابی سریع منابع آب را امکان‌پذیر نموده است. تحقیقات متعددی توسط فاروق^۱ و همکاران (۲۰۰۶ و ۲۰۰۰، ۱۹۹۲) در کشورهای مصر، عمان و امارات متحده عربی با استفاده از روش‌های سنجش از دور بر روی منابع آب زیرزمینی صورت گرفته است. ماتیکالی^۲ (۱۹۹۵)، نادون^۳ و همکاران (۲۰۱۰)، جینتامو^۴ (۲۰۱۰) نشان دادند که تلفیق نقشه‌های معیار متعدد با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت اکتشاف، توسعه و مدیریت منابع آب زیرزمینی مفید است. خان و شارما^۵ (۲۰۰۳) با ترکیب داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در حوضه آبخیز کشور هند را تهیه نموده‌اند. پراسد و همکاران سنجش از دور و GIS را ابزار مهم در زمینه علوم هیدروژئولوژی معرفی کردند و بیان داشتند که این تکنیک‌ها در تشخیص، تعیین و نگهداری منابع آب زیرزمینی کمک می‌کنند. آواده و همکاران (۲۰۰۹) برای پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در منطقه شمال شرق اردن از لایه‌های ارتفاع، خاک، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و تراکم گسل با روش AHP استفاده کردند. این منطقه به ۵ کلاس از خیلی فقیر تا خیلی خوب تقسیم شده است. شبان^۶ و همکاران (۲۰۰۶) نقشه پتانسیل منطقه آسیدنتال در لبنان را استخراج کردند و به این نتیجه رسیدند که مناطق سخت، دارای شکستگی و آهک‌های کارسیت شده، مناطق عالی برای تغذیه آب زیرزمینی هستند؛ در حالی که حداقل پتانسیل تغذیه در مناطق شلوع مسکونی و مناطق نسبتاً پوشیده شده بوسیله مواد نرم دیده می‌شود. راثو^۷ و همکاران (۲۰۰۹) از نقشه‌های هیدروژئومورفولوژی و هیدروژئولوژیکی برای محاسبه پتانسیل آب‌زیرزمینی منطقه‌ای در هند

1. Farouk

2. mattikalli

3. nadun

4. Gintamo

5. Khan & Sharma

6. Shaban

7. Rao

استفاده کردند و پتانسیل منطقه را به کلاس‌هایی از خیلی فقیر تا خوب تقسیم کردند. چینی و بن^۱ (۲۰۱۰) به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های عددی توان بازیابی منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک را مورد مطالعه قرار داده‌اند. دبی و همکاران (۲۰۱۰) روشی را برای ارزیابی مناطق دارای پتانسیل در سنگ‌های سخت با استفاده از GIS ارایه نموده‌اند. میشر^۲ و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، لایه‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی و مشخصات ژئومورفیک، پتانسیل منابع آب زیرزمینی در حوضه رودخانه باهاما را تعیین نموده‌اند. گوپتا و سریواستاوا^۳ (۲۰۱۰) با استفاده تلفیقی از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و کارهای صحرایی پتانسیل آب زیرزمینی در عوارض تپه ماهوری غرب هند را ارزیابی کردند. در این راستا نقشه‌های معیار خطواره، تراکم آبراهه، مدل رقومی ارتفاع، شیب^۴، کاربری و پوشش اراضی تهیه شد. آن‌ها جهت تخمین خطواره‌ها و کاربری و پوشش اراضی از ترکیب باندهای ۱، ۴ و ۵ تصویر TM ماهواره لندست به کمک نرم افزار اِرداس استفاده کردند. پریجا^۵ و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از تلفیق روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی را در حوضه آبریز کرالا در هند شناسایی کردند. برای این کار، لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، تراکم خطواره‌ها، شیب، کاربری و پوشش گیاهی^۶ اراضی با استفاده از داده‌های تصویر ETM+ ماهواره لندست با نقشه ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی تلفیق نمودند. براساس نقشه حاصل، پراکندگی پتانسیل آب زیرزمینی به ۴ گروه پتانسیل ضعیف، پتانسیل متوسط، پتانسیل خوب و خیلی خوب شناسایی و مشخص شد. مطالعات آب‌شیرینی (۱۳۸۰) در زمینه پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی در محدوده تاقدیس پابده در همین راستا صورت گرفته است. موسوی و همکاران (۱۳۸۸) با تلفیق سنجش از دور و GIS به پتانسیل‌یابی مناطق مستعد برای تغذیه آب زیرزمینی در تاقدیس

1. Chenini & Ben

2. Mishra

3. Gupta & Srivastava

4. Slope

5. Preeja

6. Land Cover

کمستان پرداختند. ملکین (۱۳۹۱) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تلفیق اطلاعات حاصل از آن‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی به تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در حوزه آبریز بسطام پرداخته است. داوود آبادی (۱۳۹۲) نقشه پتانسیل آب زیرزمینی را در محدوده غرب شاهرود با استفاده از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS تهیه نموده است. محمدنژاد آروق و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل عوامل چندگانه تاثیرگذار، نقشه‌ی مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی در شهرستان ارومیه را تهیه نمودند؛ که این نقشه‌ها بیانگر پتانسیل بالای آب‌های زیرزمینی در مناطقی با رسوبات کواترنری و تراکم بالای شبکه زهکشی بود.

۱-۵- روش تحقیق و مراحل کار

در انجام این تحقیق نخست داده‌های مورد نیاز، موجود و مرتبط در منطقه مانند نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و ... را از منابع موجود تهیه نموده؛ سپس به پردازش اولیه و نهایی تصاویر ماهواره‌ای و آماده‌سازی برای استخراج الگوهای مورد نیاز پرداخته می‌شود. در مرحله بعد نقشه‌های رقومی مورد نیاز آماده شده و پس از آن براساس روش‌های مختلف لایه‌های اطلاعاتی آماده شده‌اند. در نهایت پس از ارزیابی و وزن‌دهی عوامل کنترل‌کننده منابع آب زیرزمینی، نقشه نهایی پتانسیل آب-زیرزمینی با ادغام و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مختلف به روش‌های مختلف تلفیق آماده گردیده است و با نتایج داده‌های دیگر اعتبارسنجی شده است.

۱-۶- ساختار پایان‌نامه

در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و فناوری سنجش از دور، داده‌های هیدرولوژی، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی با استفاده از سامانه سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی و تلفیق این لایه‌ها قصد آن است که مناطق مستعد وجود سفره‌های آب زیرزمینی به نقشه درآورده شود. برای اعتبارسنجی نقشه به‌دست آمده از داده‌های قطعی وجود آب زیرزمینی نظیر چاه‌های فعال و غیرفعال در منطقه استفاده خواهد شد.

در فصل اول کلیاتی از موضوع، هدف و ضرورت انجام کار، تاریخچه و سابقه کار، تلفیق دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی آمده است. فصل دوم به مباحث مربوط به مبانی تحقیق نظیر اصطلاحات و مفاهیم هیدرولوژی سازندهای کارستی، ژئومورفوماتیک، سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل سازی در GIS با استفاده از روش های شاخص هم پوشانی، فازی و تحلیل سلسله مراتبی پرداخته است. در فصل سوم با استفاده از فناوری دورسنجی پیش پردازش و پردازش داده های ماهواره ای صورت گرفته است و نقشه های رقومی اولیه عوامل موثر در تشکیل آب زیرزمینی نظیر خطواره ها و ... تهیه شده است. در فصل چهارم با استفاده از لایه های رقومی اولیه در سیستم اطلاعات جغرافیایی، لایه های اطلاعاتی مورد نیاز تهیه شده و با روش های مختلف تلفیق، هم پوشانی شده اند. جوامع مختلف پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از هندسه فرکتال تقسیم بندی شده اند. در نهایت نقشه های نهایی پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی تهیه شده اند. در فصل آخر با استفاده از داده های چاه های موجود در منطقه، اعتبارسنجی روش های انجام شده صورت گرفته است و نتایج و پیشنهادهای لازم ارایه گردیده است.

فصل دوم

مبانی تحقیق

۱-۲- مفاهیم و اصطلاحات هیدروژئولوژی

۱-۱-۲- تعریف کارست

واژه کارست به مجموعه‌ای از فرآیندهای زمین‌شناسی و پدیده‌های حاصل از انحلال آن‌ها در پوسته و سطح زمین گفته می‌شود (Milanovic, 1981). براساس تعریف فورد و ویلیامز، کارست حوضه‌ای با هیدروژئولوژی و مورفولوژی خاص می‌باشد که در اثر انحلال زیاد سنگ و توسعه بالای تخلخل ثانویه بوجود آمده است (Ford and Williams, 2007). کارست از نقطه نظر زمین‌شناسی سیمای پیچیده‌ای دارد و دارای ویژگی‌های مخصوص به خود است. هرچند در اصطلاح فنی به پدیده خوردگی و انحلال توده سنگ‌های کربناته (آهک و دولومیت) کارست گفته می‌شود؛ ولی این پدیده در سایر سنگ‌های انحلال پذیر مانند سنگ‌های سولفات و کلروره نیز اتفاق می‌افتد. ضمن این‌که پدیده‌های فوق در سنگ‌های آواری هم دیده می‌شود؛ برای مثال ماسه سنگ‌ها و کنگلومراهای دارای سیمان کربناته و یا سولفات‌ها تحت تاثیر انحلال، کارستی خواهند شد (قبادی، ۱۳۹۲). کارست پدیده‌ای روی زمین است که آثار آن به صورت اشکال مختلف از قبیل حفرات و غارها در سطح و در زیر سطح وجود دارند. علت ایجاد چنین پدیده‌هایی به وجود شکستگی‌ها و قابلیت انحلال توده سنگ مربوط می‌شود؛ که در نتیجه آن یک سیستم آب زیرزمینی می‌تواند شکل گیرد. بنابراین، شکل‌گیری یک سیمای کارستی در گروهی وجود دو عامل است: توده سنگ قابلیت انحلال داشته باشد و زمینه تشکیل یک سیستم جریان آب زیرزمینی را داشته باشد. با این تعریف، ۲۷ درصد از پوسته زمین از کارست تشکیل شده است (قبادی، ۱۳۹۲). عوارض کارستی به دلیل اهمیتی که در ذخیره‌سازی منابع مورد نیاز بشر دارند و نیز بررسی مسایل ژئوتکنیکی و نظارت بر مسایل زیست محیطی مورد توجه علوم مختلف می‌باشد (White, 1988).

۲-۱-۲- سفره‌های آب کارستی

در حالت کلی، در زمین‌های آهکی، به علت وجود جریان‌های مستقل آب از یکدیگر در کلیه جهات، سفره آب زیرزمینی وجود ندارد. اما عموماً آب‌های سطحی در زمین‌های آهکی نفوذ کرده، درزه و ترک‌های آن‌ها را عریض‌تر می‌کند و اغلب شبکه‌های آب زیرزمینی را به وجود می‌آورد (کردوانی، ۱۳۷۰).

۲-۲- عوامل موثر در توسعه آب‌خوان‌های کارستی

یکی از موثرترین پارامترها در توسعه کارست فرآیندهای شیمیایی است و این مهم از طریق انحلال سنگ‌های کربناته صورت می‌گیرد. عوامل زیادی در امر توسعه کارست دخالت دارند که وجود یا عدم وجود یک عامل می‌تواند در تشدید یا تضعیف عوامل دیگر موثر باشد. به عبارت دیگر توسعه کارست، برآیند تاثیر همه عوامل در کنار یکدیگر می‌باشد. توسعه آب‌خوان‌های کارستی به عوامل زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، آب و هوا و بیولوژیک بستگی دارد. رابطه تنگاتنگی بین عوامل کنترل‌کننده با یکدیگر و با فرآیندهای شیمیایی و مکانیکی وجود دارد (کردوانی، ۱۳۷۰).

۲-۲-۱- سنگ‌شناسی^۱

توسعه کارست در هر سازندی و با هر توالی چینه‌شناسی ممکن نیست. سنگ‌شناسی مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده کارستی شدن تحت شرایط اقلیمی و تکتونیکی حاکم بر منطقه است. با توجه به تعریف کارست، انحلال پذیری از شروط اصلی تشکیل و توسعه این پدیده است؛ که وابسته به ترکیب سنگ می‌باشد. در سازندهای کارستی هرچه درجه خلوص سنگ کربناته بالاتر باشد، امکان پیشرفت پدیده کارست در آن بیشتر است و هرچه میزان ناخالصی سنگ کربناته (عمدتاً به صورت مواد رسی) بیشتر باشد، میزان انحلال کمتر و در نتیجه توسعه درزه و شکاف کمتر است. برعکس هرگاه میزان ناخالصی (مواد رسی) کم باشد، حلالیت و در نتیجه توسعه درز و شکاف وسیع‌تر خواهد بود. یکی از پارامترهای مهم در سازندهای کربناته نسبت میزان CaO به MgO در آنهاست. به این ترتیب که هرچه این نسبت

^۱. Lithology

بیشتر باشد، قابلیت انحلال سنگ زیادتر می‌شود. به همین دلیل تحت شرایط یکسان در سنگ آهک نسبت به دولومیت، کارستی شدن توسعه بیشتری دارد (White, 1988).

۲-۲-۲- وضعیت چینه‌شناسی

چینه‌شناسی بیانگر ضخامت، خواص سنگ‌شناسی لایه‌ها، موقعیت یک لایه نسبت به لایه‌های زیرین و بالایی و جایگاه آن در ستون چینه‌شناسی منطقه می‌باشد. ضخامت سنگ‌های کربناته در واقع محدوده گسترش سیستم کارست را مشخص می‌کند. در صورتی که سازندهای کربناته ضخامت و گسترش قابل توجهی داشته باشند، امکان افزایش آب‌خوان‌های کارستی افزایش می‌یابد و چنانچه لایه‌بندی افقی باشد، ممکن است عملکرد آن‌ها نسبت به نفوذ آب خنثی باشد؛ اما اگر سطوح لایه‌بندی شیب‌دار باشند، میزان خلل و فرج و شکاف‌های ایجاد شده بیشتر می‌شود و شرایط نفوذ^۱ بهتر می‌شود (خدری، ۱۳۹۰).

۲-۲-۳- شرایط تکتونیکی

تکتونیک با تعیین میزان بالا آمدگی، فرسایش و میزان پتانسیل هیدرولیکی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در مناطقی که از لحاظ تکتونیکی فعال می‌باشند، به دلیل تلاش عوامل طبیعی جهت رسیدن به حالت تعادل، توسعه کارست دارای تداوم بیشتری است. ساختارهای زمین‌شناسی از قبیل تاقدیس، ناودیس و الگوی درزه‌های موجود در این ساختارها، سطوح لایه‌بندی، شدت چین خوردگی، گسل‌ها و درزه‌های اصلی، ارتباط عمودی و افقی را در ناحیه اشباع فراهم می‌کنند (Raeisi & Kowsar, 1997).

شکستگی‌ها عامل اصلی گسترش تخلخل ثانویه، نفوذپذیری و توسعه کارست در سنگ‌های سخت محسوب می‌شوند. زیرا آن‌ها بافت اولیه و دست نخورده سنگ را برهم زده و مناطق خرد شده را ایجاد می‌کنند؛ که در مراحل بعدی امکان نفوذ آب و گسترش انحلالی^۲ مجاری زیرزمینی را فراهم می‌نماید. اغلب شکستگی‌ها در اثر نیروهای تکتونیکی ایجاد می‌شوند. گاهی هم هوازدگی و تخریب مکانیکی

^۱ . Infiltration Condition

^۲ . Solution Wideing

عامل ایجاد این شکستگی‌ها هستند (مینوی، ۱۳۸۸). در اینجا تاثیر گسل، چین‌خوردگی و درزه و شکاف در شکل‌گیری کارست بررسی می‌شود.

الف - گسل

نقش گسل در کنترل و انتقال آب زیرزمینی، بسته به شرایط گسل و وضعیت منطقه می‌تواند خنثی، مثبت و یا منفی باشد.

گسل‌ها با ایجاد درز و شکاف و فرآیند برشی نمودن، افزایش خردشوندگی، تخلخل ثانویه و یا معبر انتقال آب به زون کارستی، می‌توانند دارای نقش مثبت باشند. در حالی که می‌توانند با جابجایی یک لایه ناتراوا و سد نمودن لایه تراوا مانع حرکت و انتقال آب گردند و یا پرشدگی شکاف گسل‌ها با مواد ناتراوای متراکم مانند کلسیت، کوارتز یا رس در توسعه کارست نقش منفی دارد و ممکن است یک زون کارستی با وجود داشتن در شرایط لازم، به دلیل فرار آب از طریق گسل پتانسیل مناسبی نداشته باشد (کریمی وردجانی، ۱۳۸۹).

گسل‌هایی که ساز و کار کششی دارند قابلیت بیشتری برای هدایت آب دارند و برعکس گسل‌های دارای ساز و کار فشارشی مسیرهای مناسبی برای جریان و انتقال آب زیرزمینی نیستند (White, 1988).

ب - درزه و شکاف

وجود درزه و شکاف یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد تخلخل و فضای لازم برای جریان آب زیرزمینی در سنگ‌های سخت می‌باشد. درزه‌ها با ایجاد سطوح ضعیف در پیکره سنگ آهک امکان انحلالی را در امتداد این سطوح افزایش می‌دهند و به این ترتیب مجاری نفوذ آب‌های سطحی به داخل زمین فراهم می‌شود. شکستگی‌های دارای عمق نفوذ زیاد، ارتباط هیدرولیکی مناسبی با لایه‌های مستعد کارستی شدن که رخنمون ندارند را فراهم می‌کنند (White, 1988).

فراوانی درزه‌ها، محدوده و عرض بازشدگی آن‌ها در سنگ‌های کربناته به شدت متغیر بوده و عموماً وابسته به ضخامت لایه‌هاست. معمولاً در سنگ‌های نازک لایه چگالی درزه‌ها بیشتر است، لیکن محدوده‌های فضایی گسترش و عرض بازشدگی آن‌ها کمتر است در نتیجه در این‌گونه سنگ‌ها عمل کارستی شدن به ندرت اتفاق می‌افتد. در سنگ‌های آهکی ضخیم لایه یا توده‌ای، درزه‌ها در محدوده بیشتری گسترش یافته‌اند، طولانی‌تر می‌باشند و عرض بازشدگی زیادتری دارند، بنابراین نفوذ و گردش آب در آن‌ها بیشتر و در نتیجه توسعه کارست بیشتری خواهند داشت (کریمی وردجانی، ۱۳۹۰).

ج- چین خوردگی

چین خوردگی‌ها در اثر اعمال فشارهای تکتونیکی بر پوسته زمین حاصل می‌شوند؛ که با ایجاد تغییر در توالی چین‌شناسی، بالا آمدن و ارتفاع گرفتن سازندهای مختلف، ایجاد انواع شکستگی‌ها در دامنه‌ها، محور و یا محل پلانژها باعث پیدایش و یا عدم پیدایش پدیده کارست و آب‌خوان‌های کارستی می‌شوند. چین خوردگی و بالا آمدگی در سنگ‌ها نیز باعث ایجاد ارتفاع و افزایش شیب هیدرولیکی می‌شود (White, 1988).

۲-۲-۴- اقلیم و آب و هوا

پارامترهای اقلیمی به طور عمده شامل بارش، دما و فشار گاز CO₂ می‌باشند؛ که در ادامه تشریح می‌شوند.

الف- بارش

بارش یکی از مهم‌ترین عواملی است که به طور مستقیم و غیر مستقیم در پتانسیل آب‌های کارستی یک سازند مستعد برای ذخیره آب، تاثیرگذار است. مقدار و نوع بارش‌های جوی بسته به اقلیم و ارتفاع منطقه متفاوت است. هرچه حجم و مقدار بارش در ناحیه‌ای بیشتر باشد (در شرایط یکسان)، مقدار آب نفوذی به درون آب‌خوان کارستی بیشتر بوده و در نتیجه دبی خروجی از این آب‌خوان افزایش می‌یابد. نوع نزولات و شدت آن نیز در نرخ نفوذ موثر است. به این ترتیب که بارش‌های سیل‌آسا و ناگهانی، حجم

زیادی روان آب تولید می کنند و در مقایسه با بارش های تدریجی و یا بارش برف که فرصت بیشتری برای نفوذ دارند، دارای اهمیت کمتری هستند (طاهری تیزرو، ۱۳۸۴).

ب- دما

عامل درجه حرارت دارای نقش دوگانه در توسعه کارست است. با افزایش درجه حرارت میزان کربنیک محلول در آب کاهش یافته و میزان انحلال آهک نیز کم می شود. از طرف دیگر درجه حرارت فعالیت موجودات ذره بینی که مواد آلی موجود در درزه و شکاف سنگ های آهکی را تجزیه می کنند، افزایش می دهد. تاثیر دیگر دما بر روی تبخیر است. تبخیر به طور غیرمستقیم آب نفوذی به داخل زمین را کاهش می دهد (Bogli, 1980).

ج- فشار گاز دی اکسید کربن

با افزایش فشار CO_2 ، انحلال آهک بیشتر شده و در نتیجه توسعه کارست افزایش می یابد. افزایش میزان گازهایی با خاصیت اسیدی در جو مانند دی اکسید کربن، باران های اسیدی با خاصیت خوردگی بیشتر را تشکیل می دهد و نرخ انحلال سطحی درزه ها را افزایش می دهد. همچنین میزان گاز کربنیک موجود در خلل و فرج خاک ها در حین نفوذ آب که خود به عوامل پیچیده دیگری هم چون پوشش گیاهی، مواد آلی خاک و وجود باکتری های هوازی تجزیه کننده آن ها در پیکره خاک بستگی دارد، نقش زیادی در ادامه انحلال دیواره ها و افزایش پدیده نفوذ دارد (داوود آبادی، ۱۳۹۲).

۲-۲-۵- پوشش گیاهی

پوشش گیاهی نیز یکی از عواملی است که می تواند به طور مستقیم بر توسعه کارست موثر باشد. گیاهان چندین تاثیر مثبت و منفی در جذب آب و نفوذ دادن آن در زمین و نهایتاً در توسعه کارست دارند. عمدتاً تاثیرات مثبت آن ها ناشی از داشتن ریشه های نفوذ کننده در خاک و سنگ و ایجاد یک فضای نفوذپذیر در کنار آن ها، افزایش CO_2 در اطراف ریشه ها و بالابردن اسیدیته آب که لازمه انحلال سنگ های کربناته است، ایجاد مانع در مقابل تولید روان آب و جلوگیری از فشردن سطح خاک و در نتیجه

جلوگیری از کاهش نفوذ، ایجاد سایه و جلوگیری از تابش مستقیم خورشید بر خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک می‌باشد (شکری، ۱۳۹۲).

پوشش گیاهی و به ویژه درختان انبوه، یک اثر منفی در جذب آب توسط خاک نیز دارد، چون مانع از رسیدن قسمتی و یا در مواردی تمامی نزولات جوی به زمین می‌گردد. یعنی بدون آنکه بخشی از آب به زمین برسد و در زمین نفوذ کند یا از سطح زمین قابل جمع‌آوری باشد، از همان سطح برگ‌ها و شاخه‌ها و تنه درختان تبخیر شده و مجدداً به جو بر می‌گردد (خدری، ۱۳۹۰).

۲-۶- پوشش خاک

در مناطق کارستی در شرایطی که سطح آهک توسط خاک پوشیده شده باشد، نرخ نفوذ آب به درون آهک توسط این خاک کنترل می‌شود و در غیر این صورت قابلیت انتقال آهک در جهت عمودی نرخ نفوذ را کنترل می‌کند (Williams, 1983).

ضخامت خاک پوشاننده‌ی سنگ‌های کربناته از لحاظ نگهداشت رطوبت اهمیت بسزایی دارد. خاک دارای نفوذپذیری و انتقال بالا می‌تواند به عنوان منبع ذخیره آب حاصل از بارش‌های جوی عمل کرده و مانع از دست رفتن آن به صورت روان‌آب گردد. نفوذپذیری خاک به عوامل زیادی از قبیل بافت، ساختمان، فعالیت میکروارگانیسم‌ها، حفره‌های ایجاد شده به وسیله گیاهان و جانوران، الکترولیت‌ها و یون‌های خاک بستگی دارد و اندازه‌گیری آن مهم می‌باشد (کریمی وردجانی، ۱۳۸۹).

نوع خاک و ترکیب و اسیدیته آب نیز مهم‌تر است. چون ترکیب شیمیایی آب متناسب با نوع خاک، مدت زمان برخورد و ... تغییر کرده و می‌تواند باعث تسریع در انحلال و توسعه کارست گردد. در ضمن خاک‌های رسی با پرمودن درز و شکاف‌های بزرگ موجب کاهش نفوذپذیری و انتقال آب به اعماق می‌شوند. اهمیت خاک از جنبه فراهم نمودن امکان رویش گیاهان نیز قابل بررسی است (خدری، ۱۳۹۰).

۲-۲-۷- شیب

توپوگرافی سطح زمین با ایجاد تغییرات دما، میزان بارش، نوع پوشش گیاهی و نیز تبخیر نسبت به ارتفاع و همچنین با ایجاد شیب‌های مختلف و تاثیر آن بر میزان روان آب تولید شده در میزان نفوذپذیری و نهایتاً توسعه کارست حوضه موثر است. در مناطق دارای شیب زیاد، امکان باقی ماندن خاک با ضخامت زیاد و همچنین رویش گیاه فراهم نیست، بنابراین آب باران سریع جاری می‌شود و فرصت نفوذ به داخل زمین را نخواهد داشت. هر چه منطقه‌ای مرتفع‌تر باشد، آب و هوا سردتر و بارش‌های متعدد و با مقدار بیشتر رخ می‌دهد. ولی به علت سرد بودن، رشد گیاهان انبوه و دارای ریشه‌های عمیق محدود و حتی غیرممکن می‌شود، که این مساله موجب کم‌رنگ شدن نقش گیاهان و کاهش تبخیر و تعرق می‌گردد (شریفی، ۱۳۹۱).

۲-۲-۸- جهت شیب

جهت شیب نیز یکی دیگر از عواملی است که می‌تواند بر احتمال تشکیل یک سفره آب زیرزمینی تاثیرگذار باشد. جهت تابش نور خورشید در یک منطقه با نفوذپذیری آب در ارتباط می‌باشد. با توجه به تبخیر سریع‌تر آب‌های سطحی در جهاتی که مورد تابش بیشتر آفتاب قرار گرفته‌اند، موجب کاهش نفوذ آب زیرزمینی و احتمال تشکیل یک سفره آب زیرزمینی و در جهاتی که مورد تابش کمتر نور خورشید قرار گرفته‌اند، موجب افزایش احتمال تشکیل یک سفره آب زیرزمینی شود (رنگزن و سرافراز، ۱۳۹۰).

۲-۲-۹- توپوگرافی

توپوگرافی سطحی، جهت و سرعت حرکت روان آب‌های سطحی را تعیین می‌کند. بدین لحاظ می‌تواند نقش مهمی در پراکندگی آب‌های زیرزمینی ایفا کند. رفتار سنگ آهک در مقابل عوامل فرساینده و عوامل موثر در انحلال آن در ارتفاعات مختلف متفاوت است این عامل در میزان آب نفوذی به درون زمین اثر گذار است. به عبارت دیگر، در ارتفاعات زیاد نفوذ آب به درون زمین کمتر و روان آب بیشتر است (Abdalla, 2012).

۲-۲-۱۰- آبراهه‌ها

آبراهه‌ها در سطح زمین به عنوان معبر عبور آب از ارتفاعات به پایین دست به شمار می‌روند و می‌توانند در نفوذ آب به درون زمین موثر باشند، به خصوص اگر در مناطق کم‌شیب و در محل عبور گسل‌ها و یا درزه‌های بزرگ تشکیل شده باشند، چرا که آب هنگام عبور از آن‌ها برای مدتی فرصت نفوذ به درون زمین را پیدا می‌کند. این وضعیت در آبراهه‌های رده بالاتر که حجم بیشتری از آب را در مدت زمان طولانی‌تر دریافت می‌کنند نمایان‌تر و پر اهمیت‌تر است (کریمی وردجانی، ۱۳۸۹)

۲-۲-۱۱- سایر عوارض

تنوع اشکال انحلالی کارست سطحی در سازندهای کربناته حاکی از انحلال پذیری خوب این سازندها می‌باشد. بنابراین گسترش این پدیده‌ها در منطقه می‌توانند نشان‌دهنده توسعه پدیده کارست در عمق باشند. چنانچه در ناحیه‌ای به اشکال مختلف و فراوان کارست سطحی توجه شود به طور صریح می‌توان اظهار داشت که سنگ‌های در برگیرنده این پدیده‌ها از قابلیت انحلال بالایی برخوردارند و چنانچه ریزش‌های جوی منطقه قابل توجه باشند، می‌توان وجود محیط یا محیط‌های مناسب برای نفوذ و ذخیره آب‌های زیرزمینی را انتظار داشت.

حفره‌ها به طور چشم‌گیری در نفوذپذیری موثرند. زمانی که تعداد زیادی حفره با دهانه‌های وسیع وجود داشته باشند کمک قابل توجهی به نفوذ و تغذیه آب زیرزمینی می‌کنند، چون حجم بالای آب را قبل از تبخیر و یا جاری شدن و هدر رفتن دریافت نموده و به درون زمین انتقال می‌دهند (عبادیان، ۱۳۸۱).

۲-۳- منابع آب‌های کارستی در ایران

در ایران سازندهای آهکی و دولومیتی نواحی نسبتاً وسیعی را در سطح کشور پوشانده‌اند؛ بهترین منابع آب کارستی در منطقه زاگرس در آهک‌های آسماری چهارم (ائوسن) است. دیگر منابع با ارزش کارستی، در طبقات آهکی معروف به آهک بنگستان (کرتاسه) وجود دارد که لایه‌های آبدار یا سفره‌های آب

زیرزمینی مجزایی را تشکیل می‌دهد. در رشته کوه‌های البرز، منابع آب کارستی بیشتر در ارتفاعات آهکی پرمین و ژوراسیک لار، آهک‌های کرتاسه و نیز آهک‌های ائوسن وجود دارد (کردوانی، ۱۳۷۰). رخنمون تشکیلات کربناته کارستی در ایران حدود ۱۱ درصد مساحت کل کشور را در بر می‌گیرد. البته بخشی از سازندهای کربناته کارستی نیز در زیر آبرفت‌ها و یا سازندهای غیرکارستی قرار داشته و در سطح زمین رخنمون ندارند (کوثر، ۱۳۹۱). با توجه به موقعیت خاص آب و هوایی ایران و کمبود بارش و همچنین توزیع نامناسب مکانی و زمانی آن، منابع آب زیرزمینی از اهمیت خاص برخوردار است. از طرفی به علت محدودیت منابع آب آبرفتی از نظر کیفی و کمی و به علت گسترش وسیع سازندهای کارستی در سطح کشور، مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست به منظور بهره‌برداری آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (کاظمی و همکاران، ۱۳۸۵).

۲-۴- تهیه لایه‌های اطلاعاتی و تلفیق و مدل‌سازی آن‌ها

برای آنالیز مکانی در GIS مدل‌های مختلفی وجود دارد که این مدل‌ها براساس توابع و عملگرهای موجود در آن‌ها و نوع عملکردشان بر پایه دانش داده‌ای یا کارشناسی به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند. در مدل‌سازی متکی بر داده‌ها، نقشه‌های ورودی گوناگون با استفاده از مدل‌هایی نظیر رگرسیون لجستیکی، وزن‌های نشانگر و یا تجزیه و تحلیل شبکه‌های عصبی ترکیب می‌شوند. از مدل‌های متکی بر دانش نیز می‌توان به استفاده از روش‌های منطق فازی، روش تحلیل سلسله مراتبی و شاخص هم پوشانی اشاره نمود (Bonham-Carter, 1994; Carranza, 2002).

با توجه به اینکه نقشه‌های معیار از داده‌های مختلف تهیه شده‌اند و دارای فرمت‌های گوناگون و مقیاس‌های مختلفی مانند متر برای فاصله‌ها و اختلاف ارتفاع، درصد برای تراکم‌ها و درجه برای شیب هستند، هم مقیاس‌سازی آن‌ها قبل از تلفیق، امری ضروری و اجتناب ناپذیر است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳). در این تحقیق با توجه به عدم شناخت از وضعیت آب زیرزمینی به صورت اندیس شناخته و عدم در اختیار بودن اطلاعات کافی از کل محدوده برداشت (تعدادی چاه در شرق محدوده) از روش‌های دانش

محور برای تهیه نقشه‌های معیار استفاده می‌شود؛ در ادامه بخش به تشریح تفصیلی سه روش شاخص هم‌پوشانی، منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی پرداخته می‌شود. در روش‌های دانش محور به منظور وزن دار کردن معیارها و عوامل موثر در پتانسیل‌یابی از نظر و تجربه کارشناسی استفاده می‌شود.

۲-۴-۱- مدل سازی به روش شاخص هم‌پوشانی

روش برازش اندیس یا آنالیز قابلیت و یا روش هم‌پوشانی شاخص، یکی از ساده‌ترین روش‌های نقشه‌های نشانگر است. در این روش وزن‌های انتخابی (مساوی یا متفاوت) به نقشه‌ها داده می‌شود. همچنین به کلاس‌های هر نقشه نیز می‌توان وزن‌های مساوی یا متفاوت نسبت داد. این روش برای نقشه‌های دوتایی و هم چنین نقشه‌های چند کلاسه قابل اجرا است. در روش برازش اندیس، ترکیب نقشه‌های نشانگر با انعطاف بیشتری نسبت به روش بولین قابل اجرا است. جداول امتیازها و وزن‌های نقشه‌های می‌توانند به گونه‌ای تنظیم شوند که قضاوت کارشناس را در قلمرو کاربرد مورد نظر منعکس نمایند. امتیازهای نقشه‌ها می‌توانند به صورت اعداد صحیح مثبت یا اعداد حقیقی، بدون محدودیت در گستره عددی، انتخاب شوند. بزرگترین نقص این روش، ماهیت افزوده خطی آن است (Bonham-Carter, 1994).

الف) مدل سازی به روش شاخص هم‌پوشانی ساده و وزن دار

یک روش معمول در مدل‌سازی GIS، محاسبه مقادیر عددی برای هر ویژگی فضایی در یک موضوع و طبقه‌بندی مقادیر عددی در یک بازه شناخته شده به نام شاخص هم‌پوشانی است. این روش اهمیت نسبی پارامترها و طبقات مربوط به هر پارامتر را در نظر می‌گیرد. هیچ مقیاس استاندارد برای روش هم‌پوشانی وزن دار و ساده وجود ندارد. برای این منظور می‌بایست معیارهای تجزیه و تحلیل تعریف شوند و به هر پارامتر یک ارزش داده شود (Murugesan et al, 2012). در حالتی که نقشه‌های ورودی دوتایی باشند، هر نقشه در فاکتور وزن نسبت داده شده ضرب شده و با کلیه نقشه‌های در حال ترکیب جمع می‌شود. سپس برای نرمالایز کردن، بر مجموع وزن‌ها تقسیم می‌شود و نتیجه حاصل به صورت نقشه‌ای

جدید به دست می‌آید. به این ترتیب در هر مکان از ناحیه مورد مطالعه، امتیاز نهایی S به صورت (۲-۱) محاسبه می‌شود (تخم‌چی و همکاران، ۱۳۹۵):

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \text{class}(\text{map}_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1-2)$$

در این رابطه W_i وزن نقشه i ام است. به کلاس map_i عدد یک در صورت حضور شرایط دوتایی و عدد صفر برای عدم حضور آن اختصاص می‌یابد. برای نقشه‌های چندکلاسه که ممکن است امتیازات مختلفی به کلاس‌های هر نقشه نسبت داده شود، مقدار S از (۲-۲) محاسبه می‌گردد (تخم‌چی و همکاران، ۱۳۹۵).

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ij} W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2-2)$$

در این رابطه نیز S امتیاز به دست آمده بعد از ترکیب نقشه‌ها برای هر مکان از محدوده مورد مطالعه است. W_i وزن i امین نقشه ورودی و S_{ij} امتیاز i امین کلاس از i امین نقشه است. با توجه به این که در عمل زها متفاوت هستند، باید رابطه قبل به صورت (۲-۳) اصلاح گردد (تخم‌چی و همکاران، ۱۳۹۵):

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{ij} W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (3-2)$$

مرحله بعد تلفیق لایه‌های ایجاد شده است؛ که هر کدام منطقه مورد نظر را از جنبه خاصی از لحاظ پتانسیل آب زیرزمینی مورد بررسی قرار داده‌اند. برای رسیدن به این هدف از روش شاخص هم‌پوشانی به صورت ساده و وزن‌دار در محیط GIS استفاده گردیده است. وزن نهایی پیکسل‌ها در نقشه حاصل از تلفیق لایه‌های موجود با استفاده از فرمول محاسبه گردیده است.

۲-۴-۲- مدل‌سازی به روش منطق فازی

تئوری فازی، ایجاد روشی نوین در بیان عدم قطعیت‌ها و ابهامات روزمره و یا حل مسائلی است که وابسته به استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری هستند. برای پیش‌بینی سری‌های زمانی با استفاده

از منطق فازی هم مدل‌های بسیاری در بازه‌ی زمانی ۱۹۸۵-۲۰۰۵ مطرح شده که از آن‌ها برای پهنه-بندی و پیش‌بینی پدیده‌ها می‌توان استفاده کرد (Gooijer and Hyndman, 2006).

به طور کلی کاربرد منطق فازی در مدل‌سازی پتانسیل آب زیرزمینی شامل سه مرحله است:

مرحله اول شامل فازی‌سازی داده‌های مربوط به شواهد، مرحله دوم ترکیب منطقی نقشه‌های شاهد فازی با کمک شبکه‌ای از مجموعه عملگرهای مناسب فازی و مرحله سوم قطعی‌سازی و خروج از حالت فازی به منظور کمک به تفسیر بهتر است (Carranza, 2008).

الف) مجموعه‌های قطعی

مجموعه‌های کلاسیک در واقع همان مجموعه‌های عادی و معمولی هستند که تابع عضویت آن‌ها فقط دو مقدار صفر و یک در خروجی خود دارد. مجموعه‌های کلاسیک را می‌توان توسط روش قاعده و روش تعلق تعریف کرد. در روش قاعده، مجموعه کلاسیک A در فضای جهانی U را می‌توان با مشخص کردن ویژگی‌هایی که باید توسط اعضا مجموعه صدق نمایند به صورت (۴-۲) تعریف نمود:

$$A = \{x \in U \mid x \text{ شروطی را برآورده می‌کند}\} \quad (۴-۲)$$

در روش تعلق که یک تابع تعلق دو مقداری $[0, 1]$ را برای A معرفی می‌کند که با $\mu_A(x)$ نشان داده می‌شود به نحوی که:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (۵-۲)$$

در (۵-۲) مجموعه A از لحاظ ریاضی معادل تابع تعلق $\mu_A(x)$ بوده بنابراین با معلوم بودن $\mu_A(x)$ مجموعه A نیز معلوم خواهد بود (وانگ، ۱۳۷۸).

ب) مجموعه‌های فازی

مجموعه‌های کلاسیک دارای مرز معین می‌باشند بنابراین نمی‌توانند بعضی مجموعه‌هایی را که دارای مرزهای مشخص و روشنی نیستند به درستی تعریف کنند. برای حل این مشکل تئوری مجموعه‌های کلاسیک، مجموعه‌های فازی ارائه گردید. یک مجموعه فازی A در فضای جهانی U به وسیله یک تابع $\mu_A(x)$ که مقادیری در بازه $[0,1]$ را اختیار می‌کند. بنابراین یک مجموعه فازی تعمیم یک مجموعه کلاسیک است که امکان می‌دهد تا تابع تعلق هر مقداری را در بازه $[0,1]$ اختیار کند. به عبارت دیگر یک مجموعه کلاسیک فقط می‌توانست دو مقدار 0 و 1 داشته باشد در حالی که تابع تعلق یک مجموعه فازی، یک تابع پیوسته در محدوده $[0,1]$ است. پس هرچه مقدار $\mu_A(x)$ به عدد یک نزدیکتر باشد، نشان دهنده تعلق بیشتر x به مجموعه فازی است، و بالعکس نزدیکی آن به صفر نشان دهنده تعلق کمتر x به A است (وانگ، ۱۳۷۸).

ج) توابع عضویت

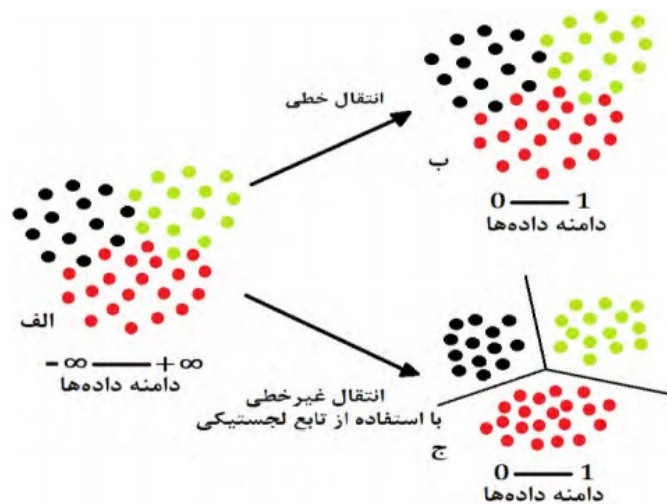
یکی از اساسی‌ترین مباحث در تئوری منطق فازی بحث تابع عضویت و چگونگی تعریف آن است. اساس اختلاف روش‌های فازی با روش‌های دیگر، در تعریف این تابع است. تابع عضویت را می‌توان درجه تعلق عناصر مجموعه مرجع به زیرمجموعه‌های آن دانست. تعلق هر عضو مجموعه مرجع به یک عضو زیرمجموعه خاص، به صورت قطعی نیست. یعنی با قاطعیت نمی‌توان گفت که عضو مورد نظر متعلق به این مجموعه است یا نه. این عدم قطعیت با نسبت دادن یک عدد بین 0 و 1 به این عضو انجام می‌گیرد. عضویت یک به یک مجموعه یعنی تعلق کامل و عضویت صفر یعنی عدم تعلق به مجموعه. هرچه درجه عضویت به یک نزدیک‌تر باشد نشانه تعلق بیشتر به مجموعه مورد نظر است و برعکس. به این ترتیب می‌توان زیرمجموعه‌های یک مجموعه فازی را با نسبت دادن عددهای 0 و 1 به هر عضو مجموعه، بازنمایی کرد (Champati et al, 2007).

مهم‌ترین مساله این است که در روش‌های دانش‌محور تخصیص وزن به معیارهای مختلف بر اساس قضاوت کارشناسی بوده و هیچ معیار کمی و قطعی برای آن وجود ندارد و چه بسا که در روش دانش-محور، استفاده از قضاوت کارشناسی باعث بروز خطای تصادفی گردد. به این منظور در مطالعه حاضر از روش وزن‌دهی پیوسته بدون کلاسه‌بندی (طبقه‌بندی) و در نتیجه تولید داده‌های شاهد وزن‌دار پیوسته استفاده شده است. بنابراین فازی سازی با کاربرد تابع عضویت F_{ev} برای یک مجموعه از نقشه‌ها و معیارهای شاهد مختلف انجام می‌گیرد به این منظور از تابع لجستیکی سیگموئید^۱ بیان شده در (۶-۲) استفاده می‌شود (Yousefi & Carranza, 2015).

$$F_{ev} = \frac{1}{1 + e^{-S(Ev-i)}} \quad (6-2)$$

که در آن F_{ev} وزن فازی در فضای لجستیک است (امتیازی در محدوده صفر و یک)، i و s به ترتیب نقطه عطف و شیب تابع هستند و Ev مقدار عددی هر یک از داده‌های ورودی است (ارزش معنی‌دار هر پیکسل در یک نقشه ورودی). پارامترهای i و s شکل تابع فازی و به تبع آن وزن فازی خروجی را مشخص می‌کنند. استفاده از تابع لجستیکی برای تبدیل امتیازات فاکتوری باعث می‌شود تا مرزهای بارزتر و تفکیک‌پذیرتری را برای تصمیم‌گیری در مسایل طبقه‌بندی به دست آید و متغیرهای تبدیل یافته با استفاده از یک تابع لجستیکی مرز جدایش بهینه‌تری را برای طبقه‌بندی در مقایسه با متغیرهای تبدیل نیافته ایجاد می‌کنند (Bishop, 2006). همچنین انتقال داده‌ها با استفاده از یک تبدیل غیرخطی در مقایسه با یک تبدیل خطی مرز جدایش بین کلاس‌ها را بهتر مشخص می‌کند. از این رو، همان طور که در شکل (۱-۲) نشان داده شده است تبدیل غیرخطی در مقایسه با یک تبدیل خطی برای تبدیل داده‌ها به دامنه $[1,0]$ مرز جدایش بین کلاس‌ها را بهتر از یکدیگر تفکیک می‌کند (Yousefi et al, 2013). در این راستا، F_{ev} به عنوان یک تابع لجستیکی غیرخطی برای تبدیل داده‌ها به دامنه $[1,0]$ می‌تواند بسیار مناسب باشد.

¹ . Logistic Sigmoid Function



شکل (۱-۲): تصویر شماتیک از عملکرد تبدیل غیرخطی با استفاده از تابع لجستیکی در مقایسه با تبدیل خطی در تمایز کلاس‌های مختلف (Yousefi et al, 2013).

مقادیر i و s دیتا محور

برای فازی‌سازی معمولاً بیشینه کلاس مقادیر شاهد به وسیله یک امتیاز نزدیک به یک مانند ۰/۹ یا ۰/۹۹ تعیین می‌شود و همچنین پایین‌ترین کلاس با امتیازی نزدیک به صفر مانند ۰/۱ یا ۰/۰۱ تعیین می‌شوند. این امتیازات به وسیله قضاوت کارشناس و یا به روش آزمون و خطا مشخص می‌شوند. یوسفی و نیکانن^۱ مقادیر مناسب i و s را برای تبدیل یک مجموعه داده پیوسته به فضای فازی در تابع لجستیکی را با استفاده از یک سیستم دو معادله و دو مجهول مطابق (۲-۷) محاسبه کرده اند (Yousefi & Nykanen, 2015).

$$\begin{cases} F_{Ev(\text{Min})} = \frac{1}{1 + e^{-s(EV_{\text{min}} - i)}} \\ F_{Ev(\text{Max})} = \frac{1}{1 + e^{-s(EV_{\text{max}} - i)}} \end{cases} \quad (۲-۷)$$

در این رابطه $F_{Ev(\text{min})}$ و $F_{Ev(\text{max})}$ به ترتیب پایین‌ترین و بالاترین امتیاز فازی مقادیر شاهد هستند و EV_{min} و EV_{max} مقادیر شاهد مینیمم و ماکزیمم نظیر آن‌ها در مجموعه داده‌های ورودی هستند. با حل

^۱. Yousefi & Nykanen

معادله بالا مناسب‌ترین مقدار برای i و s با توجه به مقادیر ماکزیمم و مینیمم مقادیر شاهد نظیر در مجموعه داده‌های ورودی بوسیله (۸-۲) و (۹-۲) بدست می‌آیند (Yousefi & Nykanen, 2015).

$$s = \frac{9.2}{EV_{\max} - EV_{\min}} \quad (8-2)$$

$$i = \frac{EV_{\max} + EV_{\min}}{2} \quad (9-2)$$

بنابراین نقشه‌ها با استفاده از تابع لجستیکی وزن‌دار می‌شوند و وزنی بین $[0, 1]$ می‌گیرند. با توجه به اینکه تابع (۶-۲) روند افزایشی دارد یعنی هرچه مقادیر ورودی معیار مورد نظر اهمیت بیشتری داشته باشد امتیازی نزدیک به یک و هرچه اهمیت کمتری داشته باشد امتیاز نزدیک به صفر می‌گیرد، با توجه به مدل مفهومی، معیارهایی مانند شیب، تغییرات توپوگرافی و .. که مقادیر عددی کمتر اهمیت بیشتری دارند باید با استفاده از (۱۰-۲) به نقشه شاهد وزن‌دار تبدیل گردند. در این رابطه Fw وزن نهایی با توجه به مدل مفهومی مورد نظر می‌باشد و F_{EV} عددی است که از (۶-۲) بدست می‌آید (فولادی منصور و همکاران، ۱۳۹۵).

$$Fw = 1 - (F_{EV}) \quad (10-2)$$

د- عملگرهای فازی

بعد از تخصیص وزن به تمام الگوهای (کلاس‌های مختلف) نقشه‌های شاهد، باید نقشه‌های موثر در تعیین موقعیت پدیده آنومال باهم تلفیق شوند. در این خصوص عملگرهای فازی زیادی پیشنهاد گردیده است (Kaymak, 1998). انتخاب نوع عملگر فازی، برای استفاده در تلفیق مجموعه‌های فازی از شواهد فضایی، با در نظر گرفتن اینکه کدام یک از آن‌ها یا کدام ترکیب از آن‌ها می‌تواند وابستگی بین مجموعه الگوهای شاهد را با آب‌دهی و کیفیت آب‌های زیرزمینی به تصویر کشد، صورت گیرد. همچنین این انتخاب باید با مدل مفهومی تعیین شده برای مدل‌سازی پتانسیل آب زیرزمینی سازگاری داشته باشد (Carranza, 2008).

۱- عملگرهای فازی انفصالی^۱ (S - نرم ها)

۱-۱- عملگر فازی OR

در این عملگر براساس (۱۱-۲)، بیشترین مقدار مرتبط به پدیده مورد بررسی لحاظ می‌گردد.

$$S(\mu_1, \dots, \mu_n) = \text{Max} (\mu_1, \dots, \mu_n) \quad (11-2)$$

که در آن S مقدار عملگر فازی OR، μ_i درجه عضویت فازی و n تعداد لایه‌های اطلاعاتی است.

۱-۲- عملگر جمع جبری فازی

نتیجه خروجی این عملگر همیشه بزرگتر یا مساوی بزرگترین مقدار تابع عضویت فازی می‌باشد و اثر افزایشی دارد. در واقع شواهد همدیگر را تقویت کرده و تاثیر مثبت بیشتری را نسبت به حالت انفرادی خود اعمال می‌کنند (Bonham Carter, 1995). بنابراین به طور گسترده‌ای در تلفیق نقشه‌های اکتشافی در مواقعی که حضور هر نشانگر مثبت می‌تواند برای اظهار مطلوبیت کافی باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد (بونهام کارتر، ۱۳۷۹).

$$S(\mu_1, \dots, \mu_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad (12-2)$$

که در آن S مقدار عملگر جمع جبری فازی، μ_i درجه عضویت فازی و n تعداد لایه‌های اطلاعاتی است.

۲- عملگرهای فازی ارتباطی^۲ (T - نرم ها)

۱-۲- عملگر فازی AND

در این عملگر براساس رابطه تعریف شده، کمترین مقدار مرتبط به پدیده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

$$T(\mu_1, \dots, \mu_n) = \text{Min} (\mu_1, \dots, \mu_n) \quad (13-2)$$

که در آن T مقدار عملگر فازی AND، μ_i درجه عضویت فازی و n تعداد لایه‌های اطلاعاتی است.

1. Disjunctive

2. Conjunctive

۲-۲- عملگر ضرب جبری فازی

مقدار عضویت بدست آمده از این عملگر همواره کوچکتر یا مساوی کوچکترین مقدار تابع عضویت فازی است چون در این عملگر چندین عدد کوچکتر از یک در هم ضرب می‌شوند. به عبارت دیگر اثر این عملگر کاهشنده است (Bonham Carter, 1995).

بنابراین این عملگر به طور گسترده‌ای در تلفیق نقشه‌های اکتشافی در مواقعی که دو یا چند قسمت از شواهد برای اثبات فرضیه‌ای توامان لازم باشند مورد استفاده قرار می‌گیرند (بونهام کارتر، ۱۳۷۹).

$$T(\mu_1, \dots, \mu_n) = \prod_{i=1}^n (\mu_i) \quad (۱۴-۲)$$

که در آن T مقدار عملگر ضرب جبری فازی، μ_i درجه عضویت فازی و n تعداد لایه‌های اطلاعاتی است.

۳- عملگرهای فازی جبرانی^۱ (میانگین)

برای هر مقدار $a = \mu_a(x)$ و $b = \mu_b(x)$ از مجموعه‌های فازی دلخواه A و B ، مقدار تعلق اجتماع $A \cup B$ که بوسیله عملگر انفصالی تعریف شده است) در محدوده $[Max(a,b), S_{ds}(a,b)]$ قرار دارد. به طور مشابه مقدار تعلق اشتراک $A \cap B$ (که بوسیله عملگر ارتباطی تعریف شده است) در محدوده $[T_{dp}(a,b), Min(a,b)]$ قرار دارد. بنابراین عملگرهای انفصالی و ارتباطی نمی‌توانند تمامی محدوده بین $Min(a,b)$ و $Max(a,b)$ را پوشش دهند (وانگ، ۱۳۷۸). به عبارت دیگر عملگرهای فازی ارتباطی (به سبب ماهیت کاهششی) و عملگرهای فازی انفصالی (به سبب ماهیت افزایشی) همواره مناسب برای تلفیق توابع عضویت نیستند. عملگرهایی که تمام محدوده $[Min(a,b), Max(a,b)]$ را پوشش می‌دهند، عملگرهای فازی جبرانی (عملگرهای میانگین) نامیده می‌شوند (بونهام کارتر، ۱۳۷۹).

^۱. Compensatory

۳-۱- عملگر فازی میانگین Min- Max

بسته به مقدار γ نتیجه اعمال این عملگر بر روی توابع عضویت همواره مقداری بین کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین مقدار تابع عضویت است. وقتی $\gamma = 0$ برابر با یک باشد ترکیب همان OR فازی است و وقتی $\gamma = 1$ برابر صفر باشد، ترکیب AND فازی خواهد بود. ضعف این عملگر آن است که تنها توابع عضویت ماکزیمم و مینیمم در نتیجه نهایی نقش دارند (به طور کلی این ضعف در عملگرهای فازی AND و OR یا بسط‌هایی از این دو عملگر، وجود دارد).

$$V_{\gamma}(\mu_1, \dots, \mu_n) = (1 - \gamma)\text{Min}(\mu_i) + \gamma\text{Max}(\mu_i) \quad (15-2)$$

که در آن؛ V_{γ} مقدار عملگر فازی میانگین، μ_i درجه عضویت فازی، γ مقدار ثابت در محدوده صفر تا یک و n تعداد لایه‌های اطلاعاتی است (Carranza, 2002).

۳-۲- عملگر فازی گاما

اپراتور فازی گاما ترکیبی از حاصل ضرب جبری و حاصل جمع جبری فازی است که در آن پارامتر γ در محدوده صفر تا یک انتخاب می‌گردد. به طوری که اگر $\gamma = 0$ یک باشد، ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و اگر $\gamma = 1$ صفر باشد ترکیب ضرب جبری فازی است (Zimmerman & Zysno, 1980).

انتخاب صحیح و آگاهانه γ ، مقدارهایی در خروجی به وجود می‌آورد که نقش فزاینده جمع جبری فازی و نقش کاهنده ضرب جبری فازی در آن عمل می‌کند و کل مجموعه را به حالت تعدیل می‌رساند (بونهام کارتر، ۱۳۷۹).

$$V_{\gamma}(\mu_1, \dots, \mu_n) = ((1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i))^{\gamma}) \times ((\prod_{i=1}^n \mu_i)^{1-\gamma}) \quad (16-2)$$

که در آن V_{γ} مقدار عملگر فازی گاما، μ_i درجه عضویت فازی، γ مقداری ثابت در محدوده صفر تا یک و n تعداد لایه‌های اطلاعاتی است.

۴- عملگر فازی وزنی

میزان تاثیر هر یک از توابع عضویت در نتیجه نهایی با به کارگیری عملگرهایی که تا اینجا مورد مطالعه قرار گرفتند یکسان در نظر گرفته می‌شوند، در حالی که در برخی از مسایل ممکن است برخی از ملاک‌ها تاثیر بیشتری در مدل نهایی داشته باشند. بنابراین می‌بایست میزان اهمیت هر یک از پارامترها با معرفی پارامتری تحت عنوان فاکتور وزنی لحاظ می‌گردد. فاکتور وزنی یک مقدار عددی بیشتر از صفر است؛ که میزان اهمیت هر یک از معیارها را نسبت به معیارهای دیگری مورد ارزیابی قرار می‌دهد. مقادیر بزرگ‌تر فاکتور وزنی بر اهمیت بیشتر فاکتور مورد نظر دلالت دارد. معمولاً مقادیر وزنی بین صفر و یک انتخاب گردیده و به واسطه (۲-۱۷) نرمالیزه می‌شوند (Kaymak, 1998).

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (17-2)$$

عملگر وزنی حاصل ضرب فازی:

$$D^w(\mu_1, \dots, \mu_n) = \prod_{i=1}^n (\mu_i)^{W_i} \quad (18-2)$$

هم چنین یک بسط وزنی از تابع t-نرم توسط Hamacher به صورت زیر ارائه گردیده است:

$$D^w(\mu_1, \dots, \mu_n) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n W_i \frac{1 - \mu_i}{\mu_i}} & \text{if } \forall i, \mu_i > 0 \\ 0 & \text{if } \exists i, \mu_i = 0 \end{cases} \quad (19-2)$$

و در نهایت بسط وزنی عملگر Yager به صورت زیر معرفی می‌گردد:

$$D^w(\mu_1, \dots, \mu_n) = \text{Max} \left[0, 1 - \sqrt[s]{\sum_{i=1}^n W_i (1 - \mu_i)^s} \right] \quad s > 0 \quad (20-2)$$

نتیجه اعمال عملگرهای وزنی بر روی توابع عضویت با توجه به (۲-۲۰)، همواره مقداری بین کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین توابع عضویت است و این نتایج تاثیر پذیرتر نسبت به پارامترهایی با وزن بیشتر خواهد بود.

تغییرات پارامتر S در (۲- ۲۰) سازگاری قابل انعطافی بین توابع عضویت مینیمم و ماکزیمم را به همراه خواهد داشت (مقدار بالای S گرایش به توابع عضویت مینیمم و مقادیر پایین S گرایش به توابع عضویت ماکزیمم خواهد داشت) (Kaymak & Sousa, 2003).

۲-۴-۳- مدل سازی به روش تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از کارآمدترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است، که اولین بار توسط تی. ال. ساتی^۱ (۱۹۸۰) مطرح شد. این فرآیند روشی ساده، قوی و منعطف و برای تصمیم‌گیری در شرایطی که انتخاب بین گزینه‌ها مشکل است، استفاده می‌شود (Bertoloni et al, 2006). این روش براساس مقایسه زوجی عوامل بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد. این روش یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است و امکان تدوین مساله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند. همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مساله را دارد (Saaty, 1986; 1994). برای نیل به اهداف مراحل زیر طی می‌شود:

الف- تدوین ساختار سلسله مراتبی

ساختار سلسله مراتبی یک نمایش گرافیکی از مساله پیچیده واقعی می‌باشد که در راس آن هدف کلی مساله و در سطوح بعدی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها قرار دارند در این قسمت با تجزیه مسایل پیچیده، می‌توان آن‌ها را به شکلی ساده که با ذهن و طبیعت انسان مطابقت داشته باشد، تبدیل نمود (Cimren et al, 2007). به طور کلی ساختار سلسله مراتبی ممکن است به صورت یکی از حالت‌های زیر طرح گردد (Bowen, 1990).

۱- هدف - معیار - زیر معیار - گزینه‌ها.

¹. Saaty T. L.

۲- هدف - معیارها - عوامل - زیرعوامل - گزینه ها.

ب- ارجحیت بندی پارامترها

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عوامل به صورت زوجی با یکدیگر مقایسه شده و بالاترین ارجحیت به لایه‌ای تعلق می‌گیرد که حداکثر تاثیر را در تعیین هدف دارد (Lopez & Zink, 1991). در ارجحیت بندی معیارها از قضاوت‌های شفاهی که به صورت مقایسه‌ای بین فاکتورها صورت می‌گیرد، استفاده می‌شود. این قضاوت‌ها توسط ساعتی (۱۹۸۰) به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل شده که در جدول (۲-۱) ارائه شده است.

جدول (۲-۱): مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی عوامل (قدوسی پور، ۱۳۸۷).

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)	
۹	Extremely Preferred	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم یا کاملاً مطلوب
۷	Very Strongly Preferred	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	Strongly Preferred	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	Moderately Preferred	کمی مرجح یا کمی مهم تر یا کمی مطلوب
۱	Equally Preferred	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲،۴،۶،۸	ترجیحات بین فواصل قوی	

ج- تهیه ماتریس نرمال شده و بردار وزن پارامترها

برای محاسبه وزن نسبی پارامترها ابتدا باید مقادیر هریک از ستون‌های ماتریس مقایسه زوجی را با هم جمع و هر عنصر در ماتریس مقایسه زوجی را به جمع ستون خودش تقسیم گردد؛ تا ماتریس مقایسه زوجی نرمال شود ((۲۱-۲)). سپس با توجه به (۲-۲۲) میانگین عناصر در هر سطر از ماتریس نرمال را محاسبه نموده که در نتیجه آن، بردار وزن ایجاد می‌شود. در این روابط m : تعداد ستون، n : تعداد سطر،

a_{ij} : درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی و r_{ij} : درایه‌های ماتریس نرمالیز به ازای گزینه i ام و شاخص j ام، و W_i : وزن گزینه i ام می‌باشد.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (21-2)$$

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^n r_{ij}}{n} \quad (22-2)$$

د- تعیین امتیاز نهایی پارامترها

برای این کار از اصل ترکیب سلسله مراتبی که منجر به بردار اولویت با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می‌شود، استفاده می‌گردد (Moreno – Jimenez et al, 2005; Bertolini et al, 2006). به عبارت دیگر امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها با توجه به (2-23) از حاصل جمع تلفیق ضرایب لایه‌های معیارها و زیر معیارها تعیین می‌شود. در این رابطه V_H : امتیاز نهایی گزینه j ، W_K : وزن هر معیار و g_{ij} : وزن گزینه‌ها در ارتباط با معیارها می‌باشد.

$$W_H = \sum_{k=1}^n W_k(g_{ij}) \quad (23-2)$$

ه- محاسبه نرخ سازگاری

برای محاسبه نرخ ناسازگاری، ابتدا باید ماتریس مقایسه زوجی (A) در بردار وزن (W) ضرب گردد تا تخمین مناسبی از $\max W$ به دست آید، به عبارتی $A \times W = \lambda \max W$ باشد. با تقسیم مقدار $\lambda \max W$ بر W مربوطه، مقدار $\lambda \max$ محاسبه می‌شود. سپس مقدار شاخص ناسازگاری (I.I.) از طریق (2-24) و نرخ ناسازگاری (I.R.) نیز با استفاده از (2-25) محاسبه می‌شود؛ که در آن مقدار I.I.R (شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی) بر اساس تعداد درایه‌های ماتریس (n) نیز از جدول (2-2) استخراج می‌شود (قدسی پور، ۱۳۸۸). اگر مقادیر نرخ ناسازگاری کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد سازگاری ماتریس تصمیم‌گیری قابل قبول است و اگر بیشتر از ۰/۱ باشد بهتر است تصمیم گیرنده در قضاوت‌های خود تجدیدنظر کند (Dey & Ramcharen, 2000).

$$I. I. = \frac{\lambda \max - n}{n - 1} \quad (24-2)$$

$$I. R. = \frac{I. I.}{I. I. R} \quad (25-2)$$

جدول (۲-۲): مقدار I.R.R ماتریس تصادفی (قدسی پور، ۱۳۸۸).

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

۲-۴-۴- مدل سازی به روش منطق بولین

منطق بولی یک روش ترکیب لایه‌های اطلاعاتی دانش محور است که اساس آن ترکیب منطقی لایه‌های اطلاعاتی دوتایی حاصل از کاربرد عملگرهای شرطی است. در این روش هر یک از لایه‌های اطلاعاتی به عنوان یک شرط استفاده شده و به منظور پشتیبانی از فرضیه، با هدف رسیدن به پاسخ مطلوب، با هم ترکیب می‌شوند. در این روش خصوصیات یا کلاس‌هایی از داده‌ها که با معیارهای تعریف شده هم‌خوانی دارند، با ارزش یک و در غیر اینصورت با ارزش صفر نشان داده می‌شوند. در نتیجه یک لایه اطلاعاتی یا نقشه شاهد بولی، دارای دو کلاس طبقه‌بندی شده با ارزش صفر به معنی عدم رابطه یا نادرستی و یک به معنی رابطه مستقیم یا درستی است (Belkin et al, 1982).

عملگرهای بولین شامل AND، OR، NOT، XOR هستند. این عملگرها از منطق بولین یعنی درست یا غلط در لایه‌های اطلاعاتی استفاده می‌کنند؛ در ادامه چهار عملگر بولین در لایه‌های اطلاعاتی معرفی شده و نحوه عملکردشان بیان می‌شود (Belnap and Steel, 1976).

الف) عملگر AND

این عملگر بر منطق تقاطع استوار است، در این عملگر اگر هر دو لایه اطلاعاتی دارای ماهیت درست باشند (مقدار یک در منطق بولی) باشند، آن مقدار خروجی سلول یک خواهد بود؛ اما اگر یکی از دو لایه یا هر دو ماهیت غلط (صفر در منطق بولی) باشند، مقدار خروجی سلول صفر خواهد بود.

ب) عملگر OR

این عملگر در منطق بولی شامل مفهوم اشتراک است، در این عملگر اگر حتی یک سلول از یک از لایه اطلاعاتی درست باشد، در خروجی مقدار یک و در شرایطی که هر دو سلول غلط باشد، مقدار صفر به سلول خروجی هم‌ارز آن تعلق می‌گیرد.

ج) عملگر NOT

در این عملگر سلول‌های درست در لایه اطلاعات ورودی که دارای مقدار غیر از صفر می‌باشند، در سلول هم‌ارز خود در لایه خروجی مقدار صفر را به خود اختصاص می‌دهند. سلول‌های نادرست یا غلط در لایه اطلاعات ورودی که با مقدار صفر نشان داده می‌شوند، در سلول هم‌ارز خود در لایه خروجی مقدار یک را به خود اختصاص می‌دهند.

د) عملگر XOR

در این عملگر اگر یک سلولی در یک لایه اطلاعاتی دارای ماهیت درست و در لایه دیگر دارای ماهیت غلط باشد، در سلول هم‌ارز در لایه خروجی ماهیت درست به آن اختصاص می‌یابد. سلول‌هایی که در دو لایه اطلاعاتی ماهیت درست یا غلط دارند، در سلول خروجی هم‌ارز ماهیت غلط را به خود اختصاص می‌دهند. به عبارت دیگر در دو لایه اطلاعات ورودی، دو سلول که ماهیتی غیر یکسان دارند، در سلول خروجی مقدار درست یا یک را به خود اختصاص می‌دهند.

۲-۵- تقسیم‌بندی جوامع مختلف پتانسیل مطلوب نقشه‌های حاصل از تلفیق به

روش فرکتالی

امروزه ریاضی به عنوان ابزاری قوی در اختیار طبیعی‌دانان به خصوص زمین‌شناسان برای توصیف فرآیندهای مربوط به طبیعت قرار گرفته است. با توجه به اینکه هندسه اقلیدسی توانایی بیان بیشتر پیچیدگی‌های موجود در طبیعت را ندارد، دانشمندان به دنبال هندسه‌ای بودند که بتواند توصیف‌گر کلیه فرآیندهای موجود در طبیعت باشد. پروفیسور ماندلبروت (۱۹۸۳) برای نخستین بار هندسه فرکتال را به عنوان ابزاری مناسب برای این کار معرفی کرد. به گفته ایشان "هندسه فرکتال توصیف‌گر طبیعت است آنگونه که طبیعت اعمال می‌کند نه آنگونه که بشر می‌خواهد و این امتیاز بسیار بزرگی محسوب می‌شود".

در هندسه فرکتال هر شکل و پیچیدگی‌های آن در قالب اعداد نشان داده می‌شوند، همان‌طور که در هندسه اقلیدسی مفهوم‌های زاویه، طول، مساحت و فضاهای یک بعدی تا سه بعدی به کار می‌روند. در هندسه فرکتال بعدها فرکتالی وجود دارند که به طور معمول اعداد صحیح نیستند و بعدها فرکتالی نامیده می‌شوند که برای بیان پیچیدگی یک شکل می‌توان از آن استفاده نمود. بر این اساس در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ میلادی روش‌های گوناگون آنالیز فرکتالی همچون عیار- مساحت، عیار- فاصله، عیار- محیط و طیف توان ارایه شدند که در میان آنها روش عیار- مساحت در علوم زمین کاربردی بسیار یافته است (Rafiee, 2005).

روش‌های مختلفی برای جداسازی و تشخیص محدوده‌های مختلف در یک منطقه وجود دارند. این روش‌ها از نظر انواع ساده (براساس پارامترهای آماری توزیع) تا روش‌های پیچیده (براساس ساختار فضایی توزیع عیار داده‌ها) تغییر می‌کنند. این روش‌ها به طور کلی به دو روش غیرساختاری و ساختاری تقسیم‌بندی می‌شوند:

۲-۵-۱- روش غیر ساختاری: در این روش فقط مقدار اندازه‌گیری شده برای هر نمونه مورد توجه قرار می‌گیرد و موقعیت فضایی نقاط نمونه‌برداری در نظر گرفته نمی‌شود. پایه و اساس این روش حساب احتمالات است. این روش بر مبنای پارامترهای آماری توزیع و یا بر اساس احتمال مقادیر آنومالی عمل می‌کند. روش غیر ساختاری که یکی از ابزار آن آمار کلاسیک است، تفکیک جوامع را براساس میانگین و انحراف معیار امکان‌پذیر می‌کند. این روش در عمل در مورد داده‌های اکتشافی معایب فراوانی دارد که این معایب در بعضی موارد باعث بوجود آمدن آنومالی‌های خلاف واقع با اغتشاش زیاد و ایجاد مزاحمت در مشخص کردن مقدار زمینه مقادیر داده‌ها و حد آستانه‌ای داده‌ها می‌باشد. با توجه به دلایل ذکر شده امروزه برای دستیابی به نتایج بهتر و دقیق‌تر بیشتر محققان به دنبال روش‌های جدیدی هستند که مدل‌های نزدیک به واقعیتی را ارائه دهند (Cheng et al, 1994; Cheng and Agterberg, 1996).

۲-۵-۲- روش‌های ساختاری: به روش‌هایی اطلاق می‌شود که ارتباط فضایی نمونه‌ها و یا به عبارت دیگر موقعیت آن‌ها نسبت به هم را در نظر می‌گیرد. در روش قبلی، موقعیت یک نمونه آنومال و تاثیرگذاری یا تاثیرپذیری آن به نقاط اطراف مورد توجه قرار نمی‌گرفت. بنابراین داده‌ها بدون در نظر گرفتن مختصاتشان تحلیل می‌شدند. اختلاف روش‌های ساختاری و غیر ساختاری در این است که روش ساختاری موقعیت جغرافیایی نقاط که تعیین کننده موقعیت آن‌ها نسبت به هم است را برای تعیین مناطق دارای پتانسیل مد نظر قرار می‌دهد بنابراین وجود چند نمونه دارای پتانسیل از جامعه داده‌ها در کنار یکدیگر می‌تواند موجب تقویت آن‌ها شود. همچنین برعکس این تفسیر وجود یک نمونه دارای پتانسیل در بین جامعه‌ای از نمونه‌های زمینه از اهمیت آن می‌کاهد. این همان اثری است که در تفسیر جوامع مختلف مورد توجه قرار می‌گیرد و در کارهای اکتشافی برای مشخص نمودن نقاط دارای پتانسیل مطلوب و امید بخش اهمیت به سزایی دارد (Cheng et al, 1994; Cheng and Agterberg, 1996).

یکی از ابزارهای قدرتمند و جدید روش‌های ساختاری استفاده از هندسه فرکتال و به کارگیری آن برای تمایز جوامع مختلف داده‌ها ساخته شود. برای استفاده از این ابزار جدید ابتدا باید یک الگوی فرکتالی

از داده‌ها بسازیم. در بین الگوهای توزیع وزن نقشه‌های پتانسیل مطلوب هم مانند الگوی توزیع عناصر و الگوهای دیگر خاصیت خود تشابهی و استقلال از مقیاس مشاهده می‌شود. بنابراین امکان پیدایش الگوهای فرکتالی در آن‌ها وجود دارد.

مدل هر چیزی تصور ذهنی براساس امکانات طبیعت است. مدل آن چنان سیمایی از طبیعت پیرامون ماست که براساس امکانات و ابزارآلات موجود بشر تعریف می‌شود. مدل‌ها براساس توانایی‌های فکری دائماً در تغییر بوده که یکی از آن‌ها توسط مندربرف بصورت هندسه فرکتال برای توجیه داده‌های طبیعی ارائه شده است. در یک روند اغتشاشی چندین جامعه فرکتالی در یکدیگر تداخل دارند، بنابراین وقتی چند جامعه فرکتالی همزمان بررسی می‌شوند برای تک تک جوامع باید یک معادله خط نوشت. در داده‌های موجود برای جدایش جوامع مختلف از یکدیگر سعی می‌شود امتیاز بحرانی که در محدوده آن بعد فرکتالی تغییر می‌کند (یعنی از بعد کمتر مربوط به جامع پایین‌تر به بعد بیشتر مربوط به جامعه مطلوب‌تر) به عنوان حد آستانه‌ای معرفی گردد. بنابراین در این روش از توزیع فراوانی و شکل هندسی مناطق به طور هم‌زمان برای تشخیص حد آستانه‌ای و جدایش جوامع از یکدیگر استفاده می‌گردد (Li et al, 2003).

برای تعیین بعد فرکتالی داده‌ها، روش عیار - مساحت می‌تواند برای هر خط هم عیار پارامتر مرتبط با بعد آن را یعنی مساحت آن را محاسبه کند. که این محاسبه برای داده‌های موجود در منطقه برای تفکیک جوامع پتانسیل مطلوب از پتانسیل خیلی ضعیف تا پتانسیل خیلی خوب و عالی با استفاده از روش فرکتال و به کمک نسخه ۱-۴-۳ نرم افزار آماری R انجام گرفته است.

از آنجا که مدل‌های فرکتالی نوعی روابط نمایی بین پارامترها برقرار می‌کنند، لذا نمودار آن‌ها در دستگاه مختصات تمام لگاریتمی به صورت خط راست در می‌آید (Li et al, 2003). در این صورت اگر نمودار عیار - مساحت (که برای آب زیرزمینی وزن-مساحت بیان می‌شود) از اهمیت خاصی برخوردار است

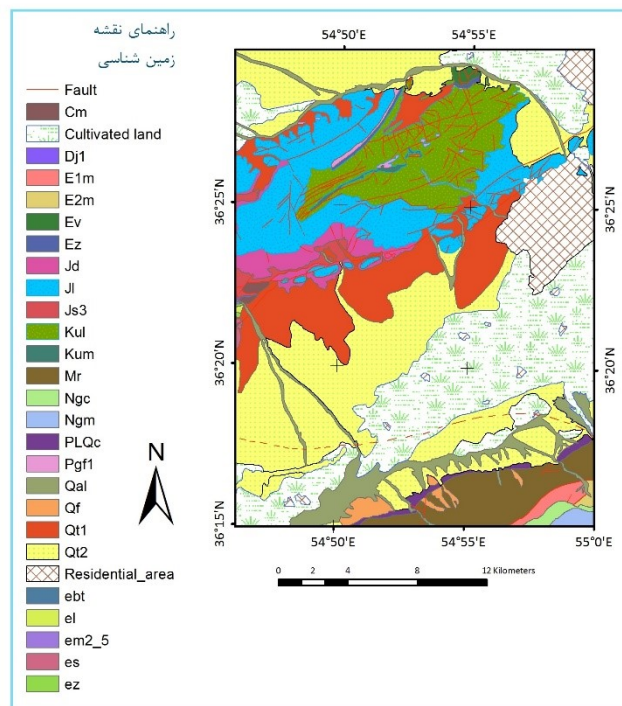
برای داده‌های اکتشافی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه رسم شود به صورت چند خط در می‌آید. مرز بین خطوط تقسیم‌بندی جوامع را مشخص می‌کند.

در واقع این خطوط نماینده مناطق مختلف با پتانسیل‌های متفاوت خواهند بود که شیب‌های مختلفی دارند و نشان دهنده آن است که بعد جوامع مختلف با یکدیگر متفاوت خواهد بود. برای رسم نمودارهای وزن- مساحت ابتدا لازم است ارزش هر پیکسل در نقشه‌های نهایی پتاسیل مطلوب محاسبه شود، برای اینکار نقشه رستری موجود را تبدیل به شیپ فایل کرده و در جدول توصیفی به دست آمده ارزش هر پیکسل بدست خواهد آمد، سپس برای هر نقطه موقعیت جغرافیایی آن باید بدست آید. تا بتوان مقادیر وزن و مساحت را برای هر نقطه بدست آورد. اگر بخواهیم به این روش بعد فرکتالی را محاسبه کنیم، کافی است که مقادیر مربوط به وزن هر پیکسل را به ترتیب صعودی مرتب شوند. برای وزن‌های تکراری فقط یکی از آن‌ها به همراه مجموع مساحت همه سلول‌هایی که آن وزن را دارند در جدول باقی می‌ماند. سپس لازم است برای هر وزن معین مساحت‌ها به صورت تجمعی محاسبه شوند. پس از انجام این محاسبات می‌توان نمودار لگاریتم وزن - مساحت را رسم کرد و از روی آن حد آستانه‌ای را به روشی که در بالا گفته شد تخمین زد.

۲-۶- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

این منطقه در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۵۵ درجه شرقی در اطراف شهر شاهرود به ویژه در شمال تا شمال غرب آن واقع شده است. شکل (۲-۲) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

محدوده مورد بررسی در برگه یک صدهزار شاهرود می‌باشد و این برگه نیز بخشی از چهارگوش گرگان با مقیاس یک دویست و پنجاه هزار می‌باشد. شهر شاهرود به عنوان مرکز بزرگترین شهرستان استان سمنان در قسمت جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه واقع شده است.



شکل (۲-۲): نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (وزیری، ۱۳۸۰).

راه‌های اصلی منطقه مورد مطالعه جاده درجه یک (آسفالت‌ه) دامغان به شاهرود، بسطام و مجن به شاهرود، جاده معدن طزره و جاده معدن آموزشی ده ملا می‌باشد. سایر جاده‌های منطقه از نوع جاده‌های درجه سه می‌باشد که مجموعاً دست‌یابی به برون‌زدهای منطقه را امکان‌پذیر نموده است (وزیری، ۱۳۸۰).

بخش بیشتر سنگ‌های رخنمون یافته منطقه در شمال آن قرار دارد و بخشی از ارتفاعات البرز شرقی می‌باشد که دارای روند شمال شرقی - جنوب غربی است. این سنگ‌ها که در بیشتر مناطق، ارتفاعات بلند را ساخته است، اساساً از واحدهای سنگی آهکی شکل گرفته است. ارتفاعات بلند با شیب توپوگرافی بسیار شدید را در سلسله کوه‌های شمالی محدوده مورد بررسی، در توالی‌های سازند لار و کرتاسه بالایی می‌توان مشاهده نمود. در قسمت‌های جنوبی منطقه عمدتاً توالی‌های مارنی، با ارتفاع ناچیز قابل مشاهده است این محدوده به طور کلی شامل آهک‌های کرتاسه می‌باشد. مجموعه سازندهای آهکی این محدوده شامل آهک‌های توده‌ای، آهک‌های مارنی و مارن‌ها بوده که در داخل آهک‌های توده‌ای، لایه‌های مارنی وجود دارد (وزیری، ۱۳۸۰).

فصل سوم

پردازش داده های ماهواره ای و تولید نقشه های رقومی اولیه

۳-۱ مقدمه

امروزه برای مطالعه پارامترهای آب‌های زیرزمینی، همواره از ابزارهایی نظیر فناوری سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و کار زمینی استفاده می‌گردد. در این راستا با ادغام این فنون و سایر داده‌های زمینی لایه‌های اطلاعاتی را می‌توان تهیه نمود که هر کدام تاثیری منحصر به فرد در تخمین وجود یا عدم وجود آب‌های زیرزمینی دارند. تولید لایه‌هایی نظیر سنگ‌شناسی، خطواره‌ها، زهکشی، زمین‌شناسی، شیب و ... و تلفیق آن‌ها با یک منطق خاص و استخراج یک خروجی مناسب همواره، یک چرخه پیوسته در امر پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی محسوب می‌گردد (Abdel-Khalek & Omran, 2008). سنگ‌شناسی، خطواره‌ها، شکل زمین^۱، شیب زمین، پوشش گیاهی، محل تغذیه^۲ و تخلیه آب‌های زیرزمینی^۳ و ... پارامترهای اصلی مورد استفاده بررسی منابع آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شوند (سپند و همکاران، ۱۳۸۸).

در این تحقیق، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز، مانند نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و داده‌های ماهواره-ای، از سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور و سازمان نقشه‌برداری تهیه شده است. همچنین تمامی لایه‌های اطلاعاتی تولید شده، در سیستم اطلاعات جغرافیایی ترکیب و تفسیر می‌شوند.

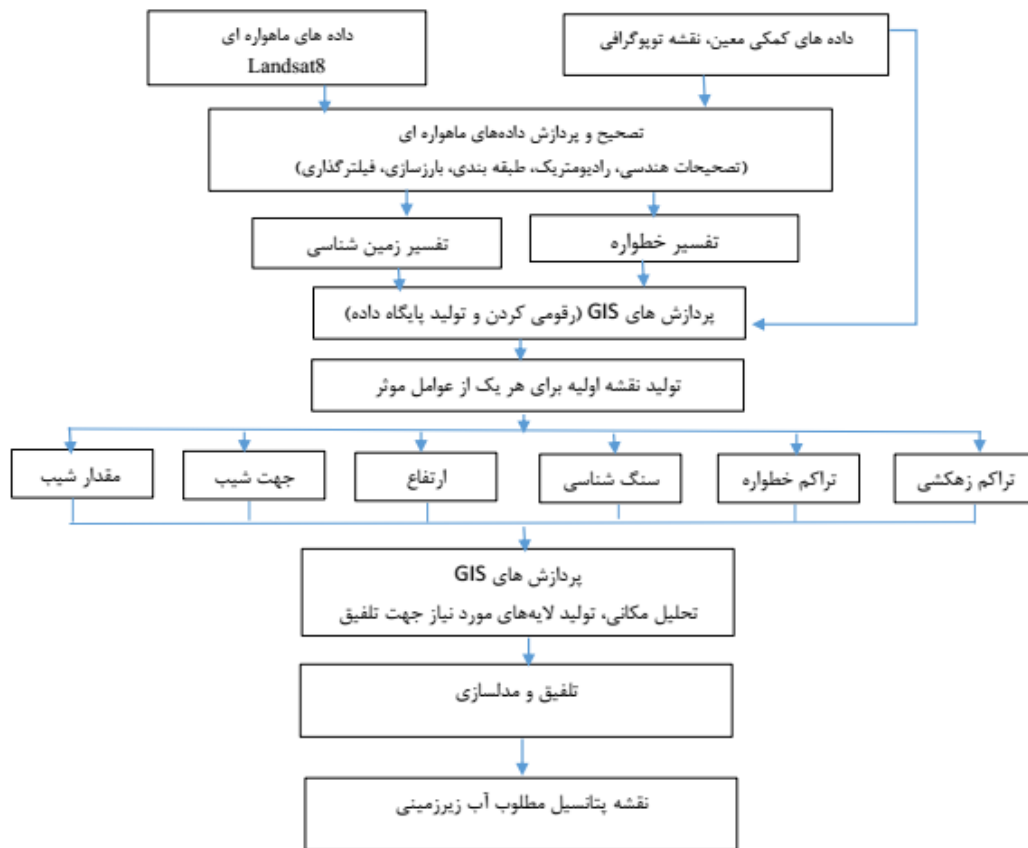
شکل (۳-۱) فلوجارت روش کار پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های سنجش از دور می‌باشد. مطابق این فلوجارت با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و سایر داده‌های کمکی نظیر توپوگرافی به عنوان داده‌های اولیه در این سیستم استفاده می‌شود. با این داده‌ها می‌توان لایه‌های اطلاعاتی نظیر خطواره‌ها، زهکشی، واحدهای سنگی، طبقات ارتفاعی، جهت شیب و شیب را بدست آورد. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مناسب باید این لایه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی

1. Land Use

2. Recharge

3. Discharge

تلفیق شوند. با تلفیق این لایه‌ها، بهینه‌ترین پاسخ با در نظر گرفتن کلیه پارامترهای به دست آمده برای تخمین بالاترین احتمال حضور آب زیرزمینی، برای هر پیکسل بدست خواهد آمد.



شکل (۳-۱): فلوچارت انجام کار.

برای شناسایی مناطق مستعد، پارامترهای موثر نظیر سنگ شناسی، خطواره‌ها، زهکشی، طبقات ارتفاعی، جهت شیب و شیب در مطالعات منابع آب‌های زیرزمینی همواره با یکدیگر مقایسه شده و براساس روش‌زربهای مختلف بهترین مکان برای این مهم تعیین می‌شوند. بدین ترتیب داده‌های سنجش از دور اطلاعات فضایی دقیق و موثری در مقایسه با روش‌های پیمایش‌های هیدرولوژیکی ارائه می‌دهد. بنابراین با استفاده از داده‌های رقومی ماهواره‌ای، مفیدترین لایه‌های مورد نیاز تهیه و در محیط GIS ادغام و تجزیه و تحلیل لایه‌های اطلاعاتی مرتبط با منابع آب‌های زیرزمینی را فراهم می‌آورد.

ادغام لایه‌های اطلاعاتی موثر در شناسایی منابع آب زیرزمینی در محیط GIS باعث فهم بهتر و دقیق‌تر از عوامل کنترل‌کننده این منابع در مقایسه با سایر روش‌ها می‌شود (Madan et al, 2007; Mohanty & Behera, 2012). برای رسیدن به این منظور مراحل کاری زیر باید انجام شود تا لایه‌های مورد نیاز آماده‌سازی شوند.

- ۱- تهیه نقشه‌های موضوعی منطقه نظیر نقشه زمین‌شناسی، خطواره‌ها، شیب با استفاده از داده‌های سنجش از دور و دیگر منابع داده‌ای نظیر مدل رقومی ارتفاعی DEM¹ (سپند و همکاران، ۱۳۸۸)
- ۲- ارزیابی مشخصه‌های کنترل‌کننده آب‌های زیرزمینی با ترکیب داده‌های دور سنجی، مدل رقومی ارتفاعی و بررسی‌های صحرایی زمین‌شناسی.
- ۳- تعیین مناطق مستعد برای آب‌های زیرزمینی با ادغام لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده در محیط GIS. پس به منظور استفاده از داده‌های سنجش از دور، ابتدا کلیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به متغیرهای موثر در این خصوص تهیه می‌شود؛ که در ادامه این موضوع به تفکیک با نگرشی بر منطقه مورد مطالعه تشریح می‌شود.

۲-۳- پردازش داده‌های ماهواره‌ای و تولید نقشه‌های رقومی

روش سنجش از دور نیز مانند سایر روش‌های تحقیق، هم‌گام با نیازهای جامعه شاید فراتر از آن رشد کرده است. به طور کلی امروزه حجم عظیمی از اطلاعات در زمینه‌های مختلف و با تفکیک‌های گوناگون وجود دارد. در چند دهه اخیر پیشرفت‌های زیادی در زمینه علوم مرتبط با سنجش از دور و ماهواره انجام گرفته و اطلاعات ارزشمندی از این طریق به ویژه توسط ماهواره‌های Landsat7, SPOT, Ikonos, و IRS و به دست آمده است (Abdel-Khalek & Omran, 2008).

¹ . Digital Elevation Model

۳-۲-۱- پیش پردازش

برای آماده‌سازی و تهیه تصاویر ماهواره‌ای مناسب به جهت مطالعات دورسنجی مراحل زیر باید به ترتیب اجرا گردد تا تصاویری قابل استفاده در انجام بررسی‌های معدنی و زمین شناسی فراهم گردد (آقاجانی و نعیمی، ۱۳۸۹).

الف- تصحیحات تصاویر ماهواره‌ای

تصاویر خام سنجش از دور همیشه دارای خطایی در هندسه و همچنین مقادیر ثبت شده برای پیکسل‌ها می‌باشند. به دسته اول این خطاها، خطاهای هندسی و به دسته دوم خطاهای رادیومتریکی می‌گویند. بعضی از خطاهای هندسی با رادیومتریکی در ایستگاه‌های گیرنده زمینی تصحیح می‌شوند؛ ولی در نهایت تصاویر باید توسط کاربران از لحاظ وجود این خطا بررسی شده و در صورت لزوم تصحیح گردند. به طور کلی تصحیحات تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان به دو دسته تصحیحات هندسی و رادیومتریکی تقسیم نمود (اکبری و شکاری بادی، ۱۳۹۳).

تصحیحات رادیومتریکی

بازتاب طیفی پدیده‌های زمینی پس از برخورد و عبور از جو زمین به سنجنده می‌رسند. نظر به اینکه محدوده‌های مختلف امواج الکترومغناطیس، رفتارهای گوناگونی در هنگام گذر از جو زمین دارند، لذا میزان بازتاب برگشتی پدیده‌ها در برخی از طول موج‌ها بیانگر بازتاب حقیقی آن‌ها نمی‌باشند (Floyd, 1999). تصحیحات رادیومتریکی بدون توجه به مکان و مشخصات هندسی اجزای تصویر فقط با مقادیر درجه خاکستری پیکسل‌ها کار کرده و سعی در تصحیح آن دارند. تصحیحات رادیومتریکی خود برای کاهش و یا حذف دو نوع خطای عمده به کار می‌روند که عبارتند از: خطای اتمسفری و خطای دستگاهی^۱ (Mather, 1999).

^۱ . Instrumentation Errors

۱- تصحیحات دستگاہی

خطاهای دستگاہی آن دسته از خطاها هستند که به علت طراحی و یا عملکرد سنجنده ایجاد می‌شوند. این نوع خطاها متنوع بوده و از سنجنده‌ای به سنجنده دیگر براساس نوع سیستم به کار برده شده متفاوت هستند. دو نوع عمده این خطاها عبارتند از: تصحیح خطوط جا افتاده^۱ و تصحیح خطای نوار نوار شدن^۲ (جاهدی و فرخی، ۱۳۷۵).

۲- تصحیح اتمسفری^۳

خطاهای اتمسفری آن دسته از خطاها هستند که به علت تاثیر اتمسفر بر روی انرژی الکترومغناطیس به وجود می‌آیند. اولین اثر اتمسفر کاهش کنتراست تصاویر و در نتیجه ضعیف شدن قدرت آشکار سازی تصویر و پنهان شدن جزئیات آن می‌باشد. بنابراین قدرت تمایز بین اشیا پایین آمده و استخراج نمودن اطلاعات مشکل خواهد بود. تصحیح اتمسفری به دو صورت کلی^۴ و جز به جز^۵ صورت می‌گیرد (Richards, 1995). در این تحقیق از روش کلی Dark Subtract برای تصحیح اتمسفری استفاده شده است. تصحیح در این روش با تعیین مقدار شیفت هیستوگرام و کم کردن آن از مقدار پیکسل‌ها در هر باند انجام می‌پذیرد.

تصحیحات هندسی^۶

این واژه در متون علمی با واژه‌های زمین مرجع نمودن^۷، کدگذاری^۸ و پالایش^۹ مترادف است. معمولاً به دلیل حرکت ماهواره و زمین در حین تصویربرداری، خطاهایی بر روی تصویر به وجود می‌آید که تصویر حاصل با نقشه‌های همسان، مطابقت کامل نخواهد داشت. از این رو در برخی مطالعات اندازه‌گیری سطح زمین و یا در زمانی که انطباق پدیده‌های تصویر با نظیر آن‌ها بر روی زمین مورد توجه است، مشکلاتی

1 . Dropped Lines

2 . Striping

3 . Atmospheric Correction

4 . Bulk Correction

5 . Detailed Correction

6 . Geometric Correction

7 . Georeferencing

8 . Geocoding

9 . Rectify

بروز می‌کند. منظور از تصحیح هندسی یک تصویر، تغییر مختصات اجزای سازنده تصویر و تطابق آن با نقشه‌های نظیر یا تصویری است که قبلاً روی آن تصحیح هندسی صورت گرفته است. بنابراین تصاویر خام ماهواره‌ای حاوی خطاهای هندسی نظیر جابجایی^۱، تغییر مقیاس^۲، اعوجاج^۳، تغییر چشم انداز^۴، چرخش^۵ و غیره می‌باشند. این خطاها به دلایلی چون دوران زمین حین تصویربرداری، دید مایل، انحنای زمین، زاویه دید بزرگ سنجنده و عدم کالیبراسیون دقیق، در سنجنده‌ها واقع می‌شوند (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۵). تصحیح هندسی به منظور ایجاد تصویری در قالب یک شبکه تعیین شده جغرافیایی انجام می‌گیرد. برای عمل تصحیح هندسی روش‌های متنوعی وجود دارد که در این تحقیق از روش انطباق نقشه به تصویر و نیز برای تطابق بیشتر از روش تصویر به تصویر استفاده شده است. میزان خطای مجاز (RMS) هرگز نباید از اندازه یک جز تصویری بزرگتر باشد (جاهدی و فرخی، ۱۳۷۵).

۳-۲-۲- پردازش داده‌ها

پردازش تصاویر ماهواره‌ای، یک سری فرآیندهایی است که برای دستیابی به تصاویری با کیفیت بهتر و قابلیت درک بالاتر و برای منظورهای مختلف، با مجموعه‌ای از باندهای طیفی صورت می‌گیرد. با توجه به شباهت‌های بافتی، طیفی و هندسی پس از طی این فرآیندها، پدیده‌های مختلف سطح زمین را می‌توان از هم تفکیک نمود (جاهدی و فرخی، ۱۳۷۵). تصاویر ایجاد شده از ترکیب باندها در R.G.B در شرایطی با رنگ طبیعی پدیده‌ها هماهنگی دارد که حاصل ترکیب باندهای ۳،۲،۱ به ترتیب با فیلترهای رنگی آبی، سبز و قرمز ($R.G.B=3.2.1$) باشد. در غیر این صورت تصاویر تهیه شده دارای رنگ‌های مجازی بوده و هیچ گونه انطباقی با مشاهدات صحرائی نخواهد داشت (ملکیان، ۱۳۹۱).

1 . Shift
2 . Scale
3 . Skew
4 . Perspective
5 . Rotation

الف- کشش تباین^۱

اغلب سامانه‌های پردازش تصویر از یک دامنه دینامیکی متشکل از هشت بیت در هر کانال سود می‌برند؛ که در آن‌ها تون‌های خاکستری از رنگ سیاه (برابر صفر) تا رنگ سفید (برابر ۲۵۵) تغییر می‌کند. تصاویر ماهواره‌ای بویژه آن دسته از تصاویر که در طول موج‌های مرئی برداشت شده‌اند اغلب دامنه دینامیکی کوچکی دارند خصوصاً زمانی که میزان تابش خورشید کم باشد. برای تفسیر بهتر تصاویر، خواه بر روی صفحه نمایشگر یا به صورت تصویر چاپ شده، اطلاعات رقومی اولیه باید به شکلی تبدیل شوند که تمام دامنه دینامیکی سامانه را به کار گیرند. این فرآیند کشش تباین نام دارد. در برخی از سامانه‌ها، کشش به صورت بخش‌های ترکیبی انجام می‌پذیرد. اغلب سامانه‌های پردازش تصویر از انواع کشش‌های خودکار مبتنی بر انواع توزیع‌های استاندارد نظیر توزیع‌های گوسی، همسان‌سازی^۲ و غیره بهره می‌گیرند (Legg, 1994).

ب- ترکیبات رنگی^۳

از آنجا که اغلب تصاویر ماهواره‌ای به شکل چند بانندی در دسترس قرار دارند، تجزیه و تحلیل یک باند به تنهایی نمی‌تواند حداکثر اطلاعات را در اختیار قرار دهد. فهم روابط بین طول موج‌های متفاوت در تشخیص پدیده‌ها و نوع پوشش منطقه بسیار مهم است. این بینش در به تصویر کشیدن بیش از یک باند بر روی سامانه‌های پردازش تصویر و تولید تصاویر چند بانندی سودمند خواهد بود. استفاده از این شیوه در تهیه تصاویر رنگی مرکب متداول است؛ که در آن سه باند متفاوت به سه رنگ آبی، سبز و قرمز نسبت داده می‌شوند تا بر روی صفحه نمایشگر رنگی قابل مشاهده باشند. براین اساس، ترکیبات رنگی متعددی که می‌توان از یک تصویر چند بانندی به دست آورد بسیار زیاد خواهد بود (رنجبر، ۱۳۹۲).

¹ . Contrast Sretching

² . Equalised

³ . Color composite

ج- تصاویر نسبتی^۱

تصاویر نسبتی یا نسبت‌های بانندی^۲ از شیوه‌های بی‌نهایت مفید برای بارزسازی پدیده‌ها در تصاویر چند بانندی محسوب می‌شوند. از این روش برای کاهش تاثیر روشنایی خورشید، توپوگرافی و بارزسازی اطلاعات طیفی در تصاویر استفاده می‌شود (رنجبر، ۱۳۹۲). مهم‌ترین مزیت کاربرد نسبت‌های بانندی، تهیه تصاویری است که کاملاً از شرایط روشنی مستقل است (Gupta, 2010).

د- تحلیل مولفه‌های اصلی^۳

تحلیل و آنالیز مولفه‌های اصلی، روشی برای خارج کردن یا کاهش دادن اطلاعات زاید و مشابه بین باندها است که با فشردن مجموعه داده‌های چند طیفی در یک دستگاه مختصات جدید صورت می‌گیرد. این روش که اولین بار توسط چاوز و کاورتینگ^۴ در سال ۱۹۸۹ مطرح شد، عملیاتی برای دستیابی به حداقل حجم داده‌ها و حداکثر تباین بین n باند طیفی است، که براساس اندازه‌گیری واریانس، کواریانس و انحراف از معیار باندهای مختلف انجام می‌شود (Chaves & Kwarteng, 1989). برای داده‌های چند طیفی (مانند لندست)، اولین مولفه اصلی (PC1) شامل بیشترین درصد واریانس کلی تصویر است و مولفه‌های بعدی (PC2, PC3, ..., PCn) هر یک دربرگیرنده درصد کمتری از واریانس تصویر می‌باشند (Sabins, 1987).

هر تصویر مولفه اصلی، دارای اطلاعاتی از همه باندهای طیفی است و مانند تصاویر نسبی، به عنوان تصاویر جداگانه سیاه و سفید می‌توانند تحلیل شوند، یا هر سه تصویر مولفه اصلی برای تشکیل یک ترکیب رنگی با یکدیگر ترکیب شوند. در این حالت، بیشترین واریانس n باند طیفی در یک تصویر ترکیب رنگی مشاهده می‌شوند. این واریانس بیشتر از واریانسی است که در ترکیب رنگی باندهای طیفی معمولی ایجاد می‌شود و جزییات بیشتری از اختلاف طیفی پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی مانند واحدهای

1 . Ratio Image

2 . Band Ratios

3 . Principal Component Analysis

4 . Chaves & Kwarteng

سنگی و دگرسانی نمایش می‌دهد. لذا به زمین‌شناسان کمک می‌کند تا مرز بین مناطقی که در تصویر ترکیب رنگی حاصل از باندهای خام قابل تشخیص نیست را مشخص کنند (Alsaud, 2007).

ه- فیلتر کردن تصاویر

یک فیلتر را می‌توان عملگری در نظر گرفت که با انجام محاسبات بر روی یک پیکسل و همسایگان آن در یک محدوده مشخص، یک مقدار برای پیکسل در تصویر خروجی تولید می‌کند. بنابراین یک فیلتر باید بر روی تک تک پیکسل‌های تصویر اعمال شده و برای هر کدام، محاسبات را تکرار نماید. موارد لازم برای اجرای فیلتر عبارتند از: ۱- ابعاد ماتریس (تعداد همسایگی‌های مورد استفاده در اعمال فیلتر و محاسبات آن) ۲- نوع فیلتر

فیلترها را از نظر نوع اطلاعاتی که از خود عبور می‌دهند، فیلترهای بالاگذر و فیلترهای پایین‌گذر می‌نامند. فیلترهای بالاگذر، پیکسل‌هایی که دارای تغییرات ناگهانی مقادیر نسبت به همسایگان خود هستند را اجازه عبور می‌دهند و برعکس (اکبری و شکاری بادی، ۱۳۹۳).

موارد مورد استفاده فیلتر: کاهش نوفه تصویر، بازیابی اطلاعات از دست رفته در تصویر، بارزسازی تصویر، تشخیص الگوها، قطعه‌بندی تصویر، پس پردازش نتایج طبقه‌بندی، آنالیز خصوصیات مکانی پدیده‌ها در تصویر نظیر لبه‌ها، عوارض خطی و نوفه.

۳-۳- تهیه نقشه‌های رقومی اولیه

۳-۳-۱- تهیه نقشه رقومی خطواره

بنا به تعریف Meijerink خطواره عبارت است از عناصر خطی ساختمانی که به نظر می‌رسد در زون‌های شکستگی توالعسه پیدا کرده‌اند و در تصاویر ماهواره‌ای یا سنجش از دور قابل مشاهده و ثبت می‌باشند (کاظمی و همکاران، ۱۳۸۵). خطواره‌ها به عنوان یک ویژگی خطی بزرگ مقیاس هستند که خود را از لحاظ توپوگرافی ویژگی‌های ساختاری پایه و قابل مشاهده در عکس‌های ماهواره‌ای بیان می‌کنند (Murugesan et al, 2012). خطواره‌های تفسیر شده می‌توانند به منشاهای تکتونیکی مختلف متعلق

باشند. عوارض خطی توپوگرافی که توسط زون‌های خرد شده ایجاد شده‌اند و تیغه‌های بیرون‌زدگی‌های سنگی نیز به عنوان خطواره شناخته می‌شوند (کاظمی و همکاران، ۱۳۸۵).

خطواره‌ها ویژگی‌های خطی یا انحصاری ساختاری هستند، که امتداد خطی آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مشخص می‌شود. این عوارض نشان‌دهنده مناطق گسل خورده و شکستگی است که نتیجه آن افزایش تخلخل ثانویه و نفوذپذیری است (Magesh et al, 2012).

این عوامل به لحاظ هیدروژئولوژیکی بسیار مهم هستند، زیرا مسیری برای حرکت آب زیرزمینی را فراهم می‌کنند که اهمیت آن‌ها در سازندهای سخت و آهکی به دلیل پایین بودن تخلخل بیشتر است (محمودی، ۱۳۸۵؛ ماه‌گلی و همکاران، ۱۳۹۰؛ زورش و همکاران، ۱۳۹۳). برای استخراج خطواره‌ها از روش‌های دستی، اتوماتیک و نیمه‌اتوماتیک استفاده می‌شود. در روش دستی، بعد از اجرای روش‌هایی بر روی تصاویر برای افزایش کیفیت با استفاده از تفصیر چشمی خطواره‌های موجود استخراج می‌گردد. از مزیت‌های این روش این است؛ که به راحتی می‌توان خطواره‌های غیرمرتبط با زمین‌شناسی همانند جاده، ریل راه آهن و غیره را از خطواره‌های طبیعی تمیز داد (بیک، ۱۳۸۸). در روش اتوماتیک، برای استخراج خطواره‌ها از روش‌های کمکی کامپیوتری استفاده می‌شود. مزایای استفاده از روش اتوماتیک این است که زمان کمتری برای استخراج خطواره‌ها صرف می‌شود و خطواره‌هایی که با چشم انسان قابل تشخیص نیستند را شناسایی می‌کند (محمودی و کاظمی، ۱۳۹۰).

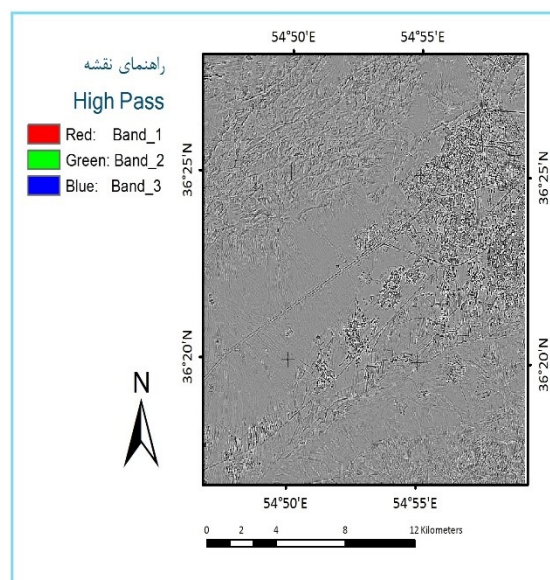
برای بارزسازی خطواره‌ها از فیلترهای بارزکننده خطواره‌ها استفاده می‌شود. فیلترها جز عملیات‌هایی به نام بارزسازی مکانی^۱ هستند که بر پایه ارزش سلول‌های مجاور صورت می‌پذیرند. بارزسازی مکانی وابستگی زیادی به بسامد مکانی^۲ دارد. بسامد مکانی میزان تغییرات در ارزش‌های روشنایی در فاصله واحد برای هر بخش از یک تصویر است (Jensen, 1996). برای این منظور از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۱۳ استفاده شده است. اولین فیلتر برای مشخص کردن خطواره‌ها فیلترهای نوع

1. Spatial Enhancement

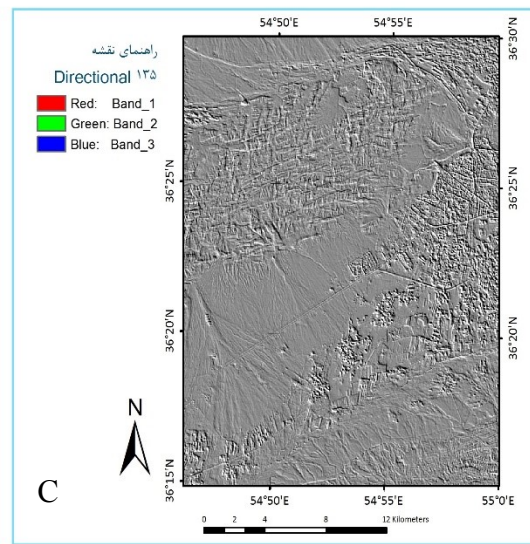
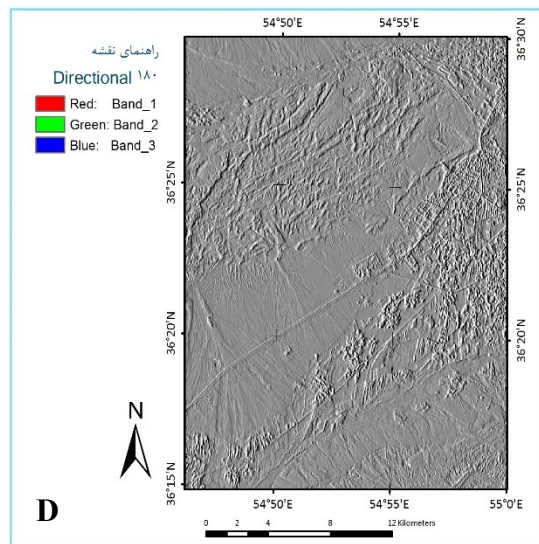
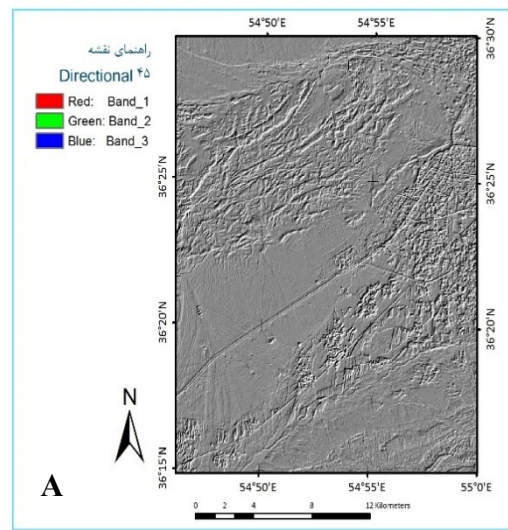
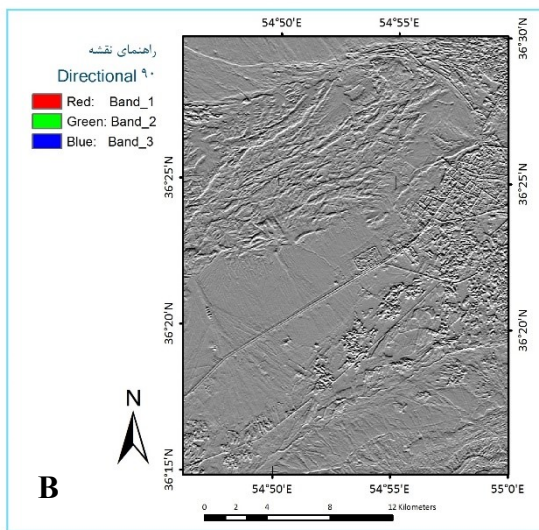
2. Spatial Frequency

High Pass هستند (شکل (۳-۲))، این فیلترها اجازه می دهند نواحی با بسامد بلند نسبت به مناطق پست تر بارز شده و در نتیجه تصویر حاصل دارای جزئیات بیشتر از ساخت‌های خطی باشد (ملکی و همکاران، ۱۳۹۲). بعد از آن با استفاده از فیلترهای جهت‌دار در چهار جهت ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ درجه بر روی تصاویر لندست ۸ که به ترتیب در شکل (۳-۳) از A تا D آمده است و با کمک گرفتن از ویژگی آشکارسازی لبه (Edge Detection) در تصاویر فیلتر شده خطواره‌ها از روی آن‌ها استخراج گردید هم چنین از ترکیب باندهای ۳، ۵، ۷ جهت استخراج تصویر رستری استفاده شد. در مرحله بعد با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه گسل‌های موجود در محیط نرم افزار ArcGIS 10.3 رقومی گردیدند.

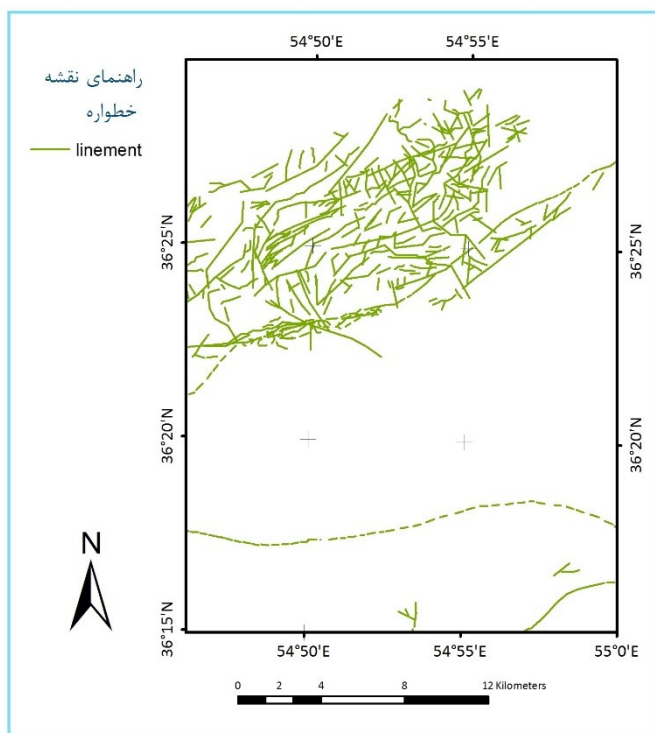
پس از رقومی کردن خطواره‌های بارزسازی شده در محیط GIS، خطواره‌های تکراری شده در هر نقشه حذف گردید و نقشه نهایی خطواره مطابق شکل (۳-۴) در محیط نرم افزار آماده شد. از آن جایی که در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی تراکم خطواره‌ها مهم است با استفاده از نقشه رقومی خطواره در محیط نرم افزار Arc GIS 10.3 اقدام به تولید نقشه رستری تراکم خطواره‌ها با استفاده از ابزار Spatial Analyst شد (شکل (۳-۵)).



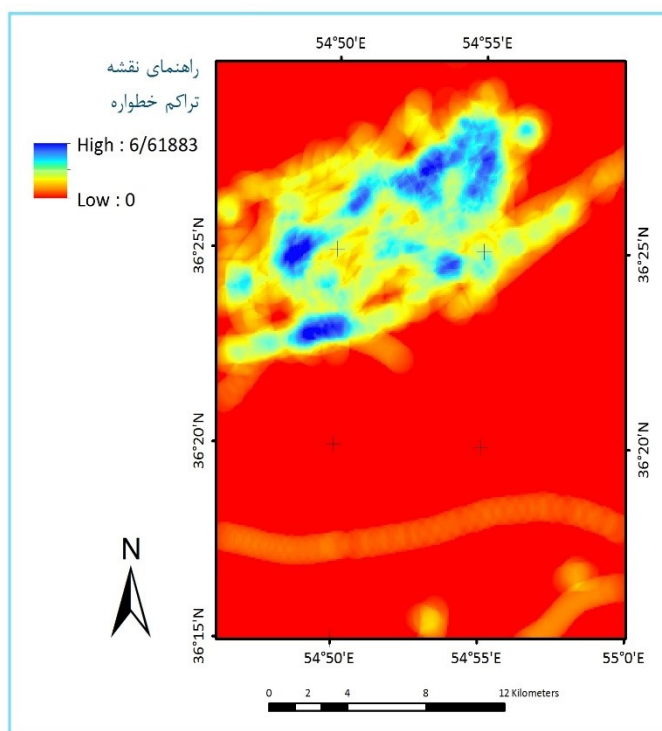
شکل (۳-۲): استفاده از فیلتر High pass جهت بارزسازی خطواره‌های منطقه مورد مطالعه.



شکل (۳-۳): استفاده از فیلترهای جهت دار (A) Directional 45 (B) Directional 90 (C) Directional 135 (D) Directional 180



شکل (۳-۴): نقشه خطواره‌های رقومی شده در منطقه مورد مطالعه.

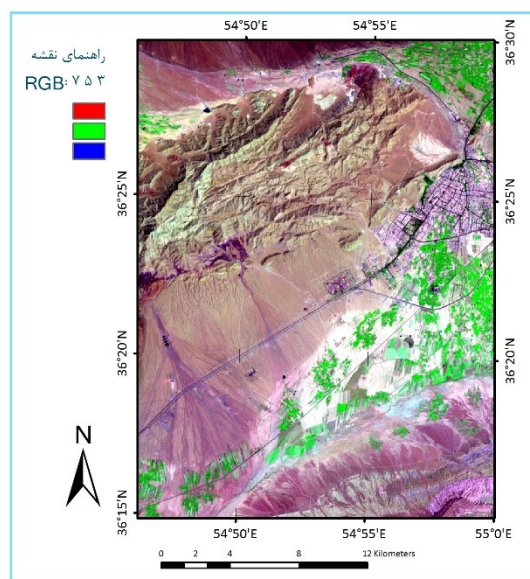
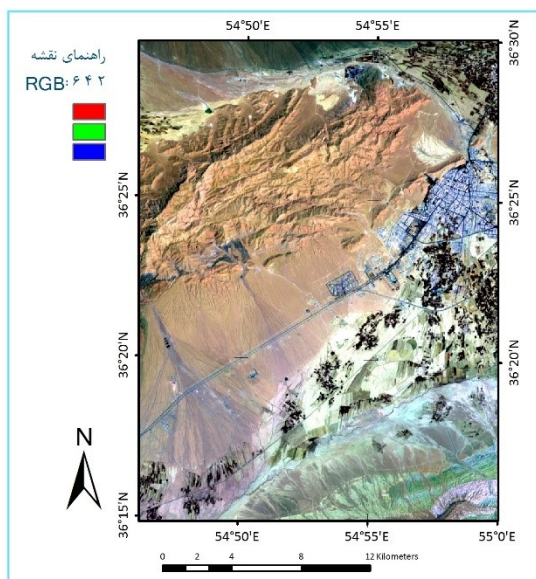


شکل (۳-۵): نقشه تراکم خطواره‌ها منطقه مورد مطالعه.

۳-۳-۲- تهیه نقشه رقومی واحدهای سنگی

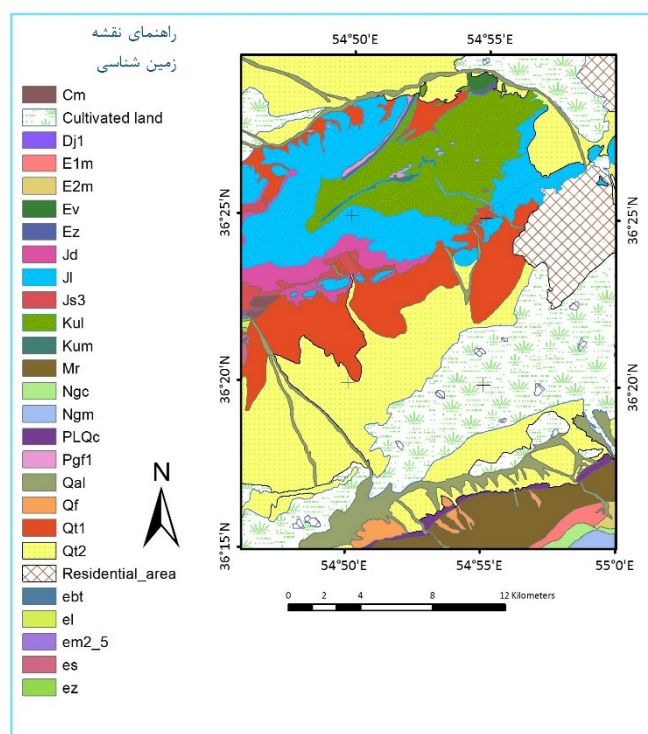
نوع سنگ‌شناسی و خصوصیات وابسته به آن نظیر بافت و درجه خلوص سنگ‌ها نقش مهمی در تخلخل، نفوذپذیری اولیه و تمرکز جریان آب زیرزمینی در داخل سنگ‌ها ایفا می‌کند (آب‌شیرینی، ۱۳۸۰؛ ماه گلی و همکاران، ۱۳۹۰). در واقع وجود و جریان آب‌های زیرزمینی به تخلخل و نفوذپذیری سنگ بستری نیز، وابسته است (Sreedhar et al, 2009). سنگ‌هایی با تخلخل زیاد، نفوذپذیری بالایی دارند. ظرفیت نفوذ آب در سنگ‌ها معمولا از فرآیندهای هوازدگی، سنگی سخت و میزان درز شکاف آن‌ها تعیین می‌شود (محمد نژاد اروق و همکاران، ۱۳۹۲). این لایه با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و تصاویر ماهواره لندست ۸ در نرم افزار Arc GIS 10.3 تهیه شد. بدین منظور ابتدا نقشه زمین‌شناسی موجود زمین مرجع شده؛ سپس سازندهای موجود شناسایی و رقومی شدند. سپس تصاویر رنگی کاذب^۱ منطقه با استفاده ترکیب باندهای ۷،۵،۳ - ۶،۴،۲ - ۳،۶،۲ ایجاد و بهترین ترکیب برای تفکیک واحدهای سنگی (۷،۵،۳ و ۶،۴،۲) مطابق با شکل (۳-۶) و شکل (۳-۷) انتخاب شد. در نهایت با استفاده از تطبیق نقشه سازندهای رقومی تهیه شده با تصاویر رنگی ایجاد شده در محیط نرم افزار لایه واحدهای سنگی مطابق شکل (۳-۸) تصحیح و تهیه گردید.

^۱ . False Color Composite (FCC)



شکل (۳-۷): استفاده از ترکیب رنگی ۶،۴،۲.

شکل (۳-۶): استفاده از تصاویر رنگی کاذب ۷،۵،۳.



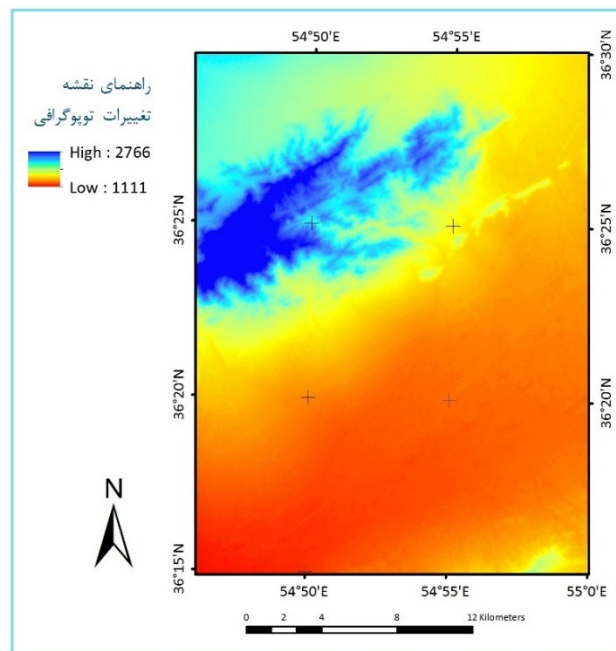
شکل (۳-۸): نقشه تهیه شده واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه.

جدول (۳-۱): واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه.

لیتولوژی	علامت اختصاری
سنگ آهک خاکستری متوسط و نازک لایه و شیل زرد نازک لایه	Cm
زمین های کشاورزی	Cultivated land
تناوب شیل و ماسه سنگ قرمز، کوارتیزیت سفید	Dj1
مارن ژئپس دار سبز، سنگ ماسه نومولیت دار ، شیل سبز، ماسه سنگ آهکی نومولیت دار	E1m
مارن ژئپس دار قرمز	E2m
کوارتز میکرودیوریت	Ev
سنگ ماسه کوارتیزی ضخیم لایه، شیل رسی نازک لایه	Ez
ماسه سنگ آهکی قهوه ای، مارن سبز با تداخل آهک خاکستری و تناوب های آهک خاکستری و مارن	Jd
سنگ آهک های خاکستری ضخیم لایه، سنگ آهک های توده ای دیوار ساز	Jl
تناوب های ماسه سنگ ارغوانی، شیل های نازک لایه زغال دار	Js3
توالی های اصلی با ضخامت زیاد سنگ آهک های کرتاسه، تناوب های سنگ آهک خاکستری با مارن سبز	Kul
مارن سبز	Kum
مارن ژئپس دار قرمز با ماسه سنگ، شیل و کنگلومرا	Mr
کنگلومرا و میکروکنگلومرا	Ngc
مارن ژئپس دار قرمز با ماسه سنگ، شیل و میکروکنگلومرا	Ngm
کنگلومرا و ماسه سنگ	PLQc
کنگلومرای خاکستری، ماسه سنگ و مارن ماسه ای	Pgfl
رسوبات پرکننده بستر رودخانه و آبراهه ها از آبرفت های عهد حاضر و رسوبات رودخانه ای	Qal
رسوبات بادبزی آبرفتی	Qf
پادگانه های آبرفتی قدیمی و مارن های گراولی	Qt1
پادگانه های آبرفتی جوان و رسوبات آبرفتی	Qt2
مناطق شهری	Residential-area
تناوب دولومیت قهوه ای حاوی چرت رگه ای و سنگ آهک خاکستری	ebt
تناوب های سنگ ماسه کوارتیزی و شیل های رسی	e1
دولومیت خاکستری، شیل زرد و مارن، سنگ آهک خاکستری و شیلی	Em2-5
دولومیت های خاکستری حاوی چرت	es
تناوب های بنفش ماسه سنگ کوارتزی و شیل رسی بنفش	ez

۳-۳-۳- تهیه نقشه رقومی طبقات ارتفاعی

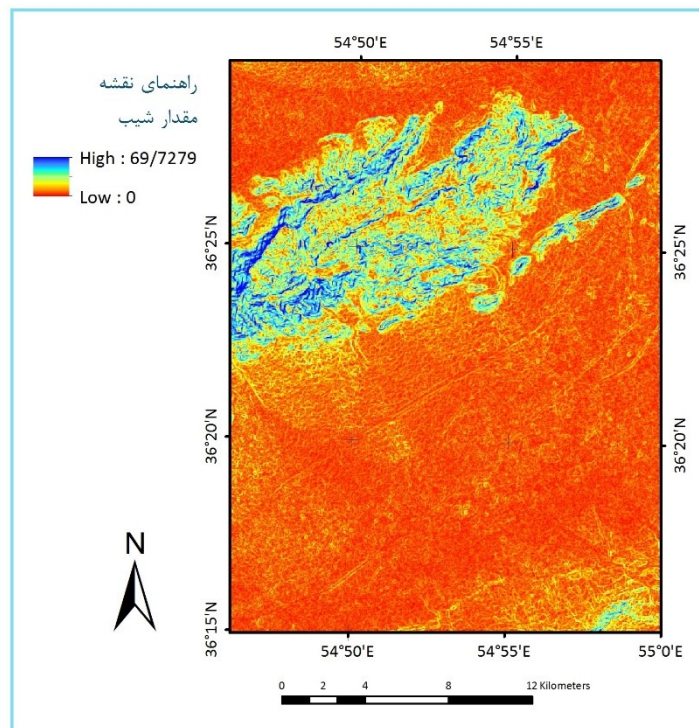
توپوگرافی سطحی، جهت و سرعت حرکت روان‌آب‌های سطحی را تعیین می‌کند. بدین لحاظ می‌تواند نقش مهمی در پراکندگی آب‌های زیرزمینی ایفا کند (Abdalla, 2012). رفتار سنگ آهک در مقابل عوامل فرساینده و عوامل موثر در انحلال آن در ارتفاعات مختلف متفاوت است. از این لایه اطلاعاتی برای بررسی روابط بین منابع آب موجود و طبقات ارتفاعی استفاده شده است. توپوگرافی و ارتفاع سطح زمین در میزان آب نفوذی به درون زمین اثر گذار است. نقشه‌های توپوگرافی نقشه‌هایی هستند که با استفاده از خطوط هم‌ارتفاع، نمایشی از وضعیت ناهمواری‌های یک مکان ارائه می‌دهند. از این جهت مشخص‌ترین ویژگی نقشه‌های توپوگرافی، وجود خطوط هم‌ارتفاع یا منحنی‌های میزان است. نقشه مدل رقومی ارتفاعی منطقه از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا تهیه گردید و در نرم افزار ENVI 4.8 تصحیحات هندسی و رادیومتری مورد نیاز بر روی آن انجام شد. نقشه رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه در شکل (۳-۹) مشاهده می‌شود. براساس این شکل دامنه ارتفاعات در محدوده مورد بررسی از ۱۱۱۱ متر تا ۲۷۶۶ متر است.



شکل (۳-۹): نقشه رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه.

۳-۳-۴- تولید نقشه رقومی مقدار شیب

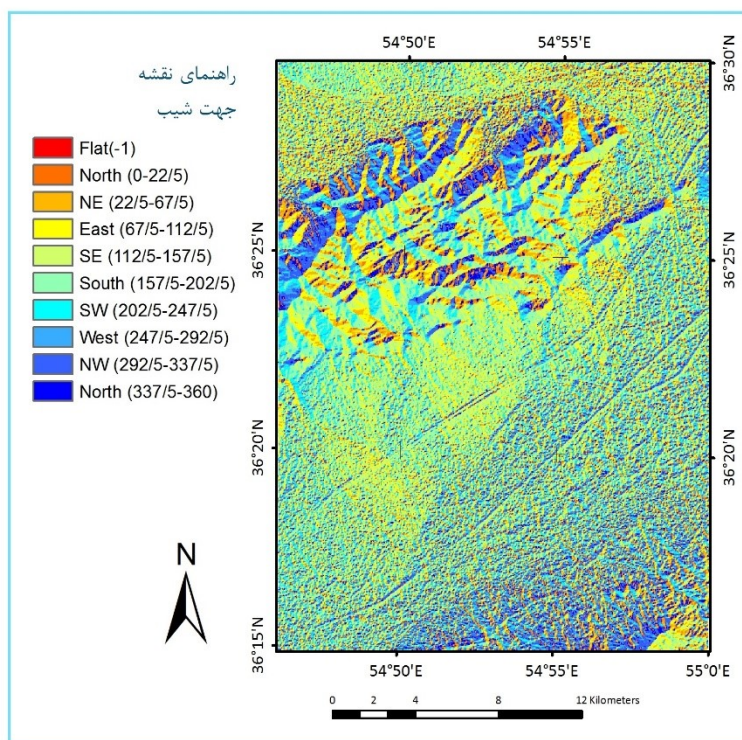
وجود یا جابجایی سفره‌های آب زیرزمینی تا حد زیادی به شیب توپوگرافی و ساختمانی وابسته است. شبکه شیب‌دار به عنوان "حداکثر سرعت تغییر در ارزش هر سلول نسبت به همسایگی خود" شناخته می‌شود (Burrough, 1986). شیب توپوگرافی یک عامل مهم کنترل‌کننده سیستم جریان آب زیرزمینی است. گسترش پدیده کارست در شیب‌های کم (به دلیل تماس بیشتر آب با آهک) بهتر بوده و پدیده انحلال در این شیب‌ها تشدید می‌شود (کاظمی و همکاران، ۱۳۸۵). بنابراین می‌توان شیب را عاملی مهم در جریان روان‌آب یا نفوذ آن بر شمرد. به همین دلیل لایه‌ی شیب در تهیه نقشه نهایی مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به این مفاهیم، نقشه شیب منطقه مورد مطالعه در محیط نرم افزار Arc GIS 10.3 با استفاده از ابزار Spatial analyst با استفاده از لایه رقومی ارتفاعی (DEM) برحسب درجه تهیه شد. شکل (۳-۱۰) نقشه رقومی شیب منطقه را نشان می‌دهد که در آن کمترین مقدار شیب با رنگ قرمز نشان داده شده است و بیشترین شیب منطقه ۷۰ درجه است؛ که با رنگ آبی مشخص شده است.



شکل (۳-۱۰): نقشه رقومی مقدار شیب منطقه مورد مطالعه.

۳-۳-۵- تولید نقشه رقومی جهت شیب

جهت شیب نیز یکی دیگر از عواملی است که می‌تواند بر احتمال تشکیل یک سفره آب زیرزمینی تاثیرگذار باشد. این عامل از آن جهت می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد که جهت تابش نور خورشید در یک منطقه با نفوذپذیری آب در ارتباط خواهد بود. با توجه به تبخیر سریعتر آب‌های سطحی در جهاتی که مورد تابش بیشتر آفتاب قرار گرفته‌اند، موجب کاهش نفوذ آب زیرزمینی و احتمال تشکیل یک سفره آب زیرزمینی و در جهاتی که مورد تابش کمتر نور خورشید قرار گرفته‌اند، موجب افزایش احتمال تشکیل یک سفره آب زیرزمینی شود (رنگزن و سرافراز، ۱۳۹۰؛ داودآبادی، ۱۳۹۲). نقشه رقومی جهت شیب در محیط نرم افزار Arc GIS 10.3 با استفاده از ابزار Spatial analyst و مدل رقومی ارتفاعی تهیه شده است (شکل (۳-۱۱)).

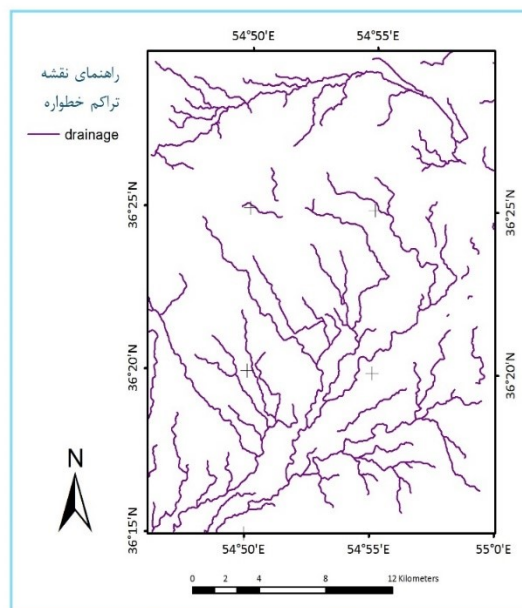


شکل (۳-۱۱): نقشه رقومی جهت شیب منطقه مورد مطالعه.

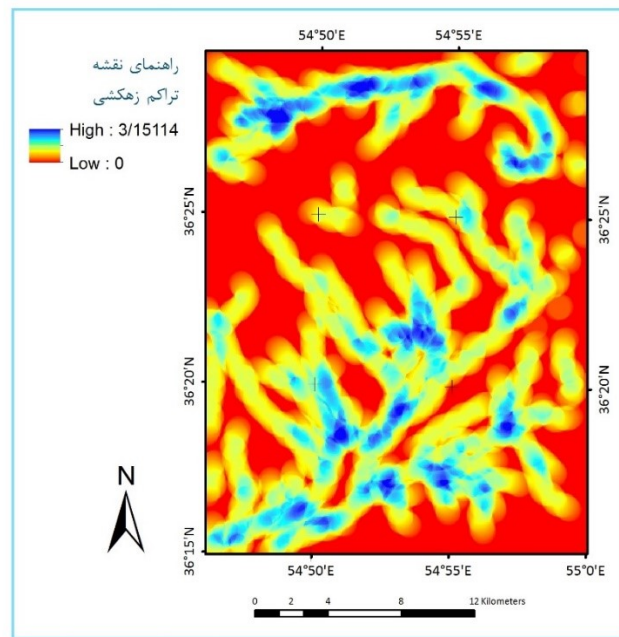
۳-۳-۶- تولید نقشه رقومی شبکه زهکشی

زهکشی در لغت به معنی خارج کردن آب اضافی از زمین می‌باشد. براساس شرایط توپوگرافی، همواره جهت جریان آب‌های سطحی از بالادست به سمت نقاط پایین دست می‌باشد. به مرور زمان مسیرهایی

ایجاد می‌شود که پدیده‌های آب‌های سطحی را کنترل می‌کند و از نقاط ارتفاعی به نقاط فرودست هدایت می‌نماید و چنانچه بتوان این مسیرها را شناسایی و بر روی آن مطالعه نمود می‌توان به این مهم دست یافت و نقشه شبکه زهکشی یک منطقه را تعیین و ترسیم نمود (Krishnamurthy et al, 1997). نقشه زهکشی، نقشه‌ای از تمام جریان‌ها یا سیستم‌های رودخانه‌ای در حوضه زهکشی است. تجزیه و تحلیل زهکشی شامل یک بررسی دقیق از الگوهای زهکشی، بافت زهکشی و الگوهای جریان است. تجزیه و تحلیل ساختاری یک شبکه زهکشی به ارزیابی ویژگی‌های منطقه تغذیه آب زیرزمینی کمک می‌کند (Murugesan et al, 2012). وضعیت هیدرولوژیکی زیرسطح هر منطقه، تحت تاثیر ویژگی‌های زهکشی حوضه، که منجر به شناسایی وضعیت آب‌های زیرزمینی می‌شود، کنترل می‌شود (Boobalan & Gurugnanam, 2016). شبکه زهکشی منطقه در محیط نرم افزار Global Mapper 18 با در دست داشتن مدل رقومی ارتفاعی منطقه مطابق شکل (۳-۱۲) تهیه گردید و با توجه به اینکه تراکم زهکشی یک عامل موثر جهت پتانسیل یابی آب زیرزمینی می‌باشد نقشه تراکم زهکشی منطقه با استفاده از نقشه رقومی زهکشی در محیط نرم افزار Arc GIS 10.3 تهیه گردید. شکل (۳-۱۳) نقشه تراکم زهکشی منطقه را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۱۲): نقشه رقومی زهکشی منطقه مورد مطالعه.



شکل (۳-۱۳): نقشه تراکم زهکشی منطقه مورد مطالعه.

در این فصل با استفاده از داده‌های جمع آوری شده لایه‌های اطلاعاتی مختلف موثر در پی جویی و پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی تهیه شد. به این صورت که نخست نقشه‌های رقمی هر یک از عوامل تهیه گردید. در ادامه برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، لایه‌های تهیه شده طبقه‌بندی و دسته‌بندی می‌شوند و با استفاده از روش‌های مختلف با یکدیگر تلفیق خواهند شد. در نهایت نقشه پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های مختلف هم پوشانی بدست خواهد آمد و با یکدیگر مقایسه خواهند شد.

فصل چهارم

تولید و تلفیق لایه های اطلاعاتی به روش های مختلف در محیط GIS

۴-۱- مقدمه

اکتشاف و ارزیابی آب زیرزمینی یک فعالیت چند مرحله‌ای است که در مقیاس کوچک آغاز شده و به مقیاس بزرگ تبدیل می‌شود و سرانجام به انتخاب محل‌هایی به عنوان هدف برای حفاری به منظور دستیابی به آب زیرزمینی منجر می‌گردد. برای انجام عملیات مکان‌یابی توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی باید اطلاعات و لایه‌ها از منابع مختلف با فرمت‌های قابل شناخت توسط نرم افزار جمع‌آوری کرد و سپس لایه‌های مناسب را تهیه، تفسیر، تجزیه و تحلیل کرد. با توجه به اینکه میزان تاثیر پارامترهای مختلف در تعیین رخداد هدف متغیر می‌باشند و هر کدام تاثیر متفاوتی نسبت به یکدیگر دارند، در نتیجه بایستی هر کدام از این پارامترها وزن‌دار شود. در این مرحله نقشه‌های رقومی در بازه‌های مختلف امتیازدهی می‌شوند و سپس لایه‌های تولید شده به روش‌های مختلف وزن‌دهی شده و با یکدیگر تلفیق می‌شوند.

۴-۲- مدل‌سازی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش شاخص هم‌پوشانی در منطقه مورد مطالعه

با توجه به اثرگذاری پارامترهای ذکر شده در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی و نقش متفاوت آن‌ها نسبت به نفوذ آب به درون زمین، ابتدا با نظر و قضاوت کارشناس برای کلاس‌های مختلف هر لایه وزنی اختصاص داده شده و لایه‌های کلاسه‌بندی شده به روش شاخص هم‌پوشانی ساده با یکدیگر تلفیق شده‌اند، در روش شاخص هم‌پوشانی وزن‌دار لایه‌های مختلف از نظر میزان تاثیرگذاری بر روی پیدایش منابع آب زیرزمینی با هم مقایسه و وزن هر کدام مشخص گردیده است؛ به طوری که افزایش عدد مربوط به وزن داده شده نشان‌گر موثرتر بودن آن کلاس یا لایه می‌باشد.

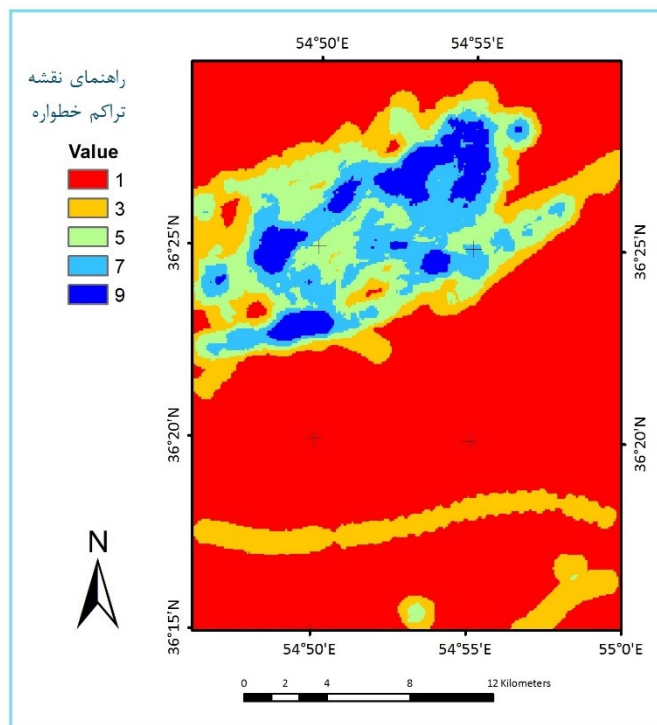
۴-۲-۱- تولید لایه اطلاعاتی تراکم خطواره‌ها

چگالی خطواره‌های یک منطقه می‌تواند به طور غیر مستقیم پتانسیل آب زیرزمینی را نشان دهد، از آنجا که حضور شکستگی‌ها معمولاً یک منطقه نفوذی را نشان می‌دهد. مناطقی با تراکم بالای خطواره

مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی مناسب هستند (Haridas et al, 1998). گسل‌ها و شکستگی‌ها می‌توانند به عنوان مسیرهای بسیار نفوذی عمل کنند یا به عنوان موانع برای جریان آب زیرزمینی بسته به سنگ‌شناسی آب‌خوان، شرایط هیدروژئولوژیکی آب‌خوان و ویژگی‌های گسل عمل کنند (Dailey et al, 2006; Dewandel et al., 2006; Celico et al., 2015). این عامل همچنین به طور قابل ملاحظه‌ای بر روی هیدروژئولوژی سنگ‌های کربناته و آهکی تاثیر می‌گذارد (صابری و همکاران، ۱۳۹۱). در مناطق با ساختار زمین‌شناسی سخت، خطواره‌ها در اثر شکستن و گسل خوردن، مناطق و نواحی را ایجاد می‌کنند که دارای توان نفوذی بالایی هستند و منابع آب‌های زیرزمینی خیلی خوبی را فراهم می‌کند (Kumar, 1999). تراکم شکستگی معیاری برای خردشدگی سازند می‌باشد، افزایش تراکم درزه و گسل‌ها به طور کلی نقش موثری در نفوذ و انتقال‌دهی آب زیرزمینی دارد (صابری و همکاران، ۱۳۹۱؛ زورش و همکاران، ۱۳۹۳). برای تعیین چگالی خطواره‌ها در منطقه مورد مطالعه، کل منطقه مورد مطالعه در تعدادی از شبکه‌ها با ابعاد یک کیلومتر در یک کیلومتر تقسیم می‌شود. تراکم خطواره‌های یک شبکه واحد از مقادیر طول کل خطواره‌ها در یک شبکه واحد به دست می‌آید (ΣL). محاسبه تراکم خطوط در منطقه شامل نسبت ΣL به A است. با محاسبه مقدار $\Sigma L / A$ برای هر شبکه و قرار دادن مقدار در مرکز آن شبکه، تراکم خطواره‌های منطقه مورد مطالعه محاسبه می‌شود (Murugesan et al, 2012). هدف از تهیه این نقشه، درک ارتباط بین نفوذ آب‌های سطحی و سیستم درز و شکاف سنگ‌هاست. میزان نفوذ آب‌های سطحی، به ویژه در سطح سنگ‌های سخت، تا حدود زیادی به وجود و گسترش سیستم درز و شکاف و شکستگی‌ها و همچنین میزان هوازدهی وابسته است (Singh & Prakash, 2003). با توجه به مطالب بیان شده کل محدوده مطالعاتی مطابق جدول (۴-۱) به پنج بازه امتیازی تقسیم‌بندی و به بیشترین تراکم خطواره‌ها با کمترین مساحت تحت پوشش امتیاز ۹ و به همین ترتیب به کم‌ترین تراکم خطواره‌ها با مساحت ۳۷۲،۳۹۲،۵۰۰ مترمربع امتیاز ۱ اختصاص داده شده است. شکل (۴-۱) لایه اطلاعاتی براساس امتیازات در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد.

جدول (۴-۱): امتیازدهی به کلاس‌های لایه تراکم خطواره‌ها.

امتیاز	مساحت (m ²)	تراکم خطواره (km/km ²)
۱	۲۱۶۲۷۵۰۰	۰-۰/۳۶
۳	۴۵۵۶۷۵۰۰	۰/۳۷-۱/۳۲
۵	۵۶۳۳۲۵۰۰	۱/۳۳-۲/۴۶
۵	۷۷۸۱۷۵۰۰	۲/۴۷-۳/۷۸
۹	۳۷۲۳۹۲۵۰۰	۳/۷۹-۶/۶۱



شکل (۴-۱): لایه اطلاعاتی امتیاز دهی شده تراکم خطواره‌ها در منطقه مورد مطالعه.

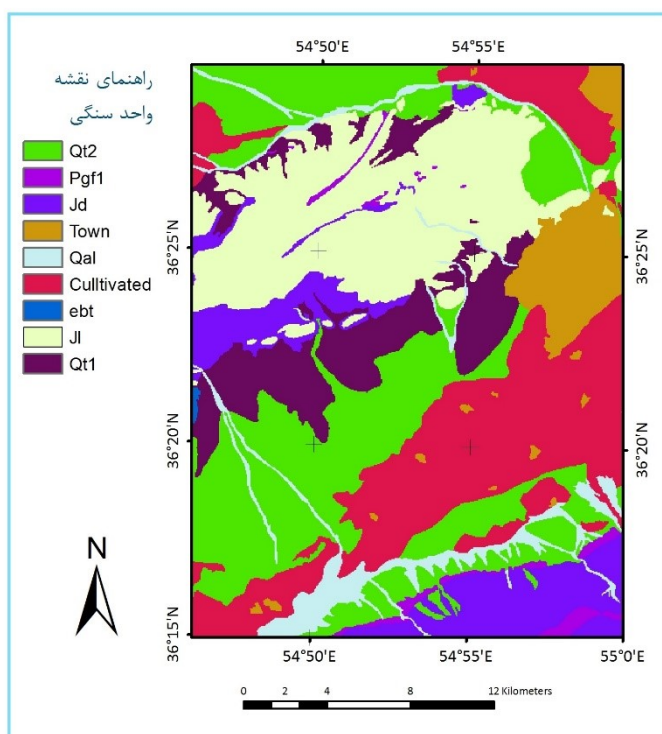
۴-۲-۲- تولید لایه اطلاعاتی واحد سنگی

پیدایش منابع آب زیرزمینی در آهک‌های کارستی و در دیگر سازندهای سخت غیرکربناته ناشی از عملکرد تخلخل ثانویه حاصل از زون‌های شکستگی می‌باشد با این تفاوت که در سنگ‌های کربناته به دلیل عملکرد پدیده انحلال در طی زمان، فرآیند تشکیل منابع آب سرعت و گسترش پیدا می‌کند. در دیگر سازندهای سخت به دلیل مقاومت در مقابل عمل انحلال و همچنین پر شدن درزه و شکاف‌ها توسط مواد ریزدانه منابع آب قابل توجهی تشکیل نمی‌شوند (کاظمی و همکاران، ۱۳۸۵).

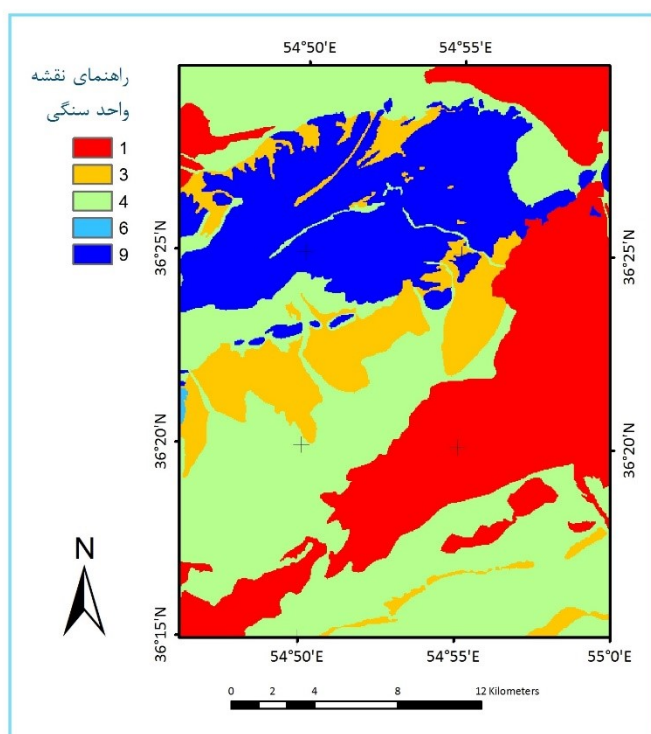
براساس بررسی‌ها و مطالعات انجام شده و بر مبنای واحدهای سنگی موجود در منطقه جدول (۴-۲) برای وزن‌دهی واحدهای سنگی تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. بر طبق این جدول، بالاترین امتیاز مربوط به سنگ آهک ضخیم ۹ می‌باشد که محدوده ۱۱۳،۷۹۷،۵۰۰ مترمربع را شامل می‌شود و کم‌ترین امتیاز نیز به مناطق شهری و کشاورزی با وسعت ۱۵،۴۰۰،۰۰۰ مترمربع تعلق می‌گیرد. شکل (۴-۲) لایه اطلاعاتی واحدهای سنگی طبقه‌بندی شده را نشان می‌دهد و شکل (۴-۳) مطابق با جدول (۴-۲) لایه اطلاعاتی واحدهای سنگی امتیازدهی شده را نمایش می‌دهد.

جدول (۴-۲): امتیازدهی به واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه.

امتیاز	مساحت (m ²)	واحدهای سنگی
۱	۱۵۵۴۰۰۰۰۰	محدوده شهری و کشاورزی
۳	۶۶۴۳۵۰۰۰	پادگانه‌های آبرفتی قدیمی کنگلومر - ماسه سنگ مارن همراه با سنگ آهک
۴	۲۳۴۳۰۵۰۰۰	پادگانه‌های آبرفتی جوان آبرفت‌های بستر رودخانه
۶	۵۷۷۵۰۰	سنگ آهک و دولومیت
۹	۱۱۳۷۹۷۵۰۰	سنگ آهک ضخیم



شکل (۴-۲): لایه اطلاعاتی واحدهای سنگی طبقه‌بندی شده منطقه مورد مطالعه.



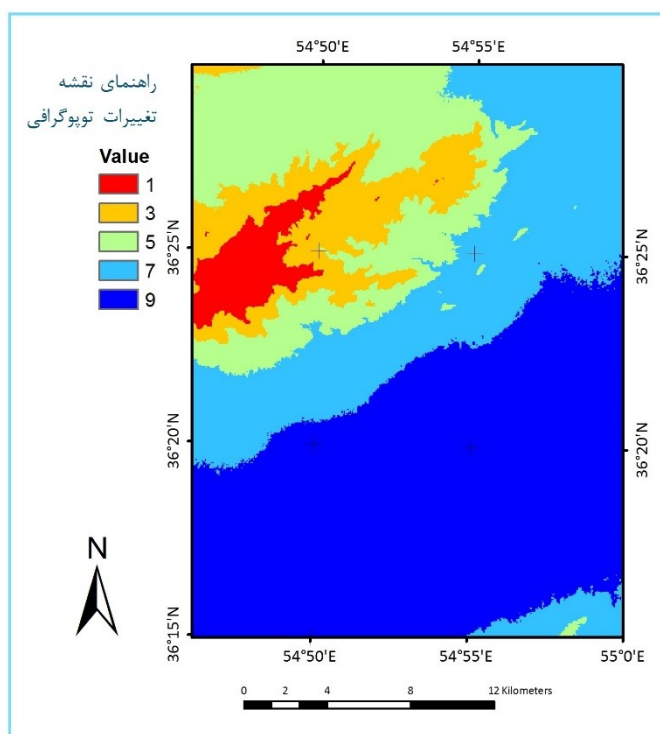
شکل (۴-۳): لایه اطلاعاتی امتیازدهی شده واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه.

۴-۲-۳- تولید لایه اطلاعاتی مدل رقومی ارتفاعی

توپوگرافی سطحی، جهت و سرعت حرکت روان آب‌های سطحی را تعیین می‌کند. بدین لحاظ می‌تواند نقش مهمی در پراکندگی آب‌های زیرزمینی ایفا کند (Abdalla, 2012). رفتار سنگ آهک در مقابل عوامل فرساینده و عوامل موثر در انحلال آن در ارتفاعات مختلف متفاوت است. از این لایه اطلاعاتی برای بررسی روابط بین منابع آب موجود و طبقات ارتفاعی استفاده شده است. توپوگرافی و ارتفاع سطح زمین در میزان آب نفوذی به درون زمین اثر گذار است. به عبارت دیگر، در ارتفاعات زیاد نفوذ آب به درون زمین کمتر و روان آب بیشتر است. بنابراین افزایش ارتفاع اثر معکوسی بر روی پتانسیل یابی آب زیرزمینی دارد (امام‌گلی و همکاران، ۱۳۹۰). مطابق شکل (۴-۴) و جدول (۴-۳) امتیاز ۹ به مناطق کم ارتفاع با تغییرات ارتفاعی ۱۱۱۳ متر الی ۱۳۳۳ متر، که دارای کم‌ترین ارتفاع نسبت به رشته کوه‌های شمالی - غربی و سایر مناطق می‌باشد اختصاص داده می‌شود و ارتفاعات منطقه در بازه ۲۱۵۳ الی ۲۷۶۲ متر کم‌ترین امتیاز یعنی ۱ را دریافت می‌کنند.

جدول (۴-۳): امتیازدهی به طبقات مختلف ارتفاعی.

امتیاز	مساحت (m ²)	تغییرات توپوگرافی
۹	۲۵۴۸۶۲۵۰۰	۱۱۱۳-۱۳۳۳
۷	۱۳۹۸۶۲۵۰۰	۱۳۳۳-۱۵۷۵
۵	۱۰۴۶۷۲۵۰۰	۱۵۷۵-۱۸۴۲
۳	۵۲۴۱۷۵۰۰	۱۸۴۲-۲۱۵۳
۱	۲۰۴۰۰۰۰۰	۲۱۵۳-۲۷۶۲



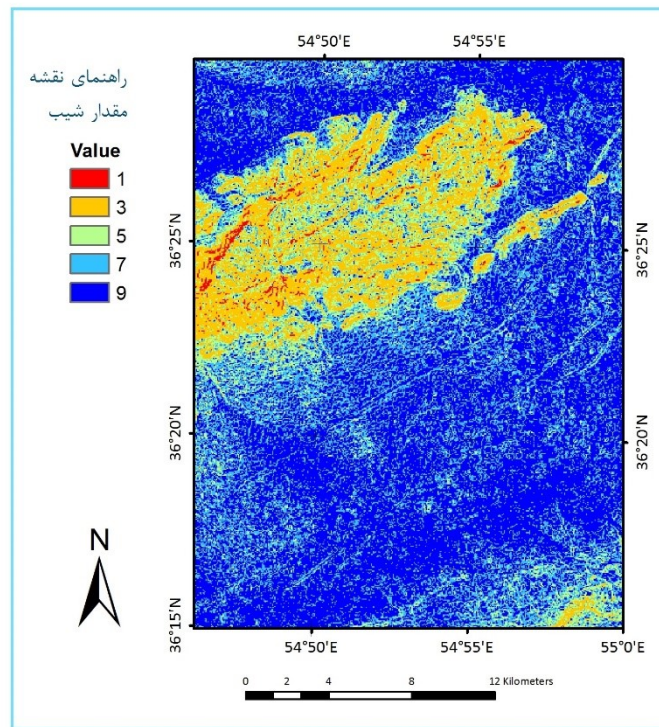
شکل (۴-۴): لایه اطلاعاتی امتیازدهی شده طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه.

۴-۲-۴- تولید لایه اطلاعاتی مقدار شیب

شیب یک عامل مهم برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی است. شیب‌های بیشتر سبب جریان سریع آب و افزایش میزان فرسایش می‌شوند که در ارتباط با مناطق با پتانسیل ضعیف هستند (Magesh et al, 2011). در بیشتر مواقع گرادیان هیدرولیکی آب زیرزمینی از شیب توپوگرافی زمین تبعیت می‌کند. علاوه بر این افزایش شیب باعث کاهش میزان آب نفوذی به زمین می‌گردد. بنابراین افزایش آن پارامتری منفی برای پتانسیل‌ابی آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود (ماه گلی و همکاران، ۱۳۹۰). باید توجه داشت که سرعت روان‌آب در مناطق کم‌شیب ناچیز است. سرعت کم روان‌آب موجب نفوذ بیشتر آب در زمین می‌شود. برعکس در مناطق پرشیب، سرعت نفوذ آب بسیار کاهش می‌یابد (Abdalla, 2012). بر همین اساس مطابق جدول مقدار شیب زمین در منطقه مورد مطالعه کلاسه بندی گردید و به هر کلاس با توجه به اهمیت آن یک امتیاز تعلق داده شد. شیب ۰ تا ۵ درجه از بالاترین درجه اهمیت برخوردار است و امتیازی معادل ۹ به آن تعلق می‌گیرد و شیب‌های بیشتر از ۴۵ درجه دارای کم‌ترین امتیاز هستند. شکل (۴-۵) براساس امتیازدهی بیان شده در بالا تهیه گردیده است.

جدول (۴-۴): امتیازدهی به کلاس‌های مقدار شیب زمین.

مقدار شیب (درجه)	مساحت (m ²)	امتیاز
۰-۵	۲۷۴۹۰۷۵۰۰	۹
۵-۱۰	۱۵۰۹۰۷۵۰۰	۷
۱۰-۲۰	۷۲۹۲۰۰۰۰	۵
۲۰-۴۵	۶۹۶۰۲۵۰۰	۳
۴۵<	۳۸۷۷۵۰۰	۱



شکل (۴-۵): لایه اطلاعاتی مقدار شیب امتیازدهی شده در منطقه مورد مطالعه.

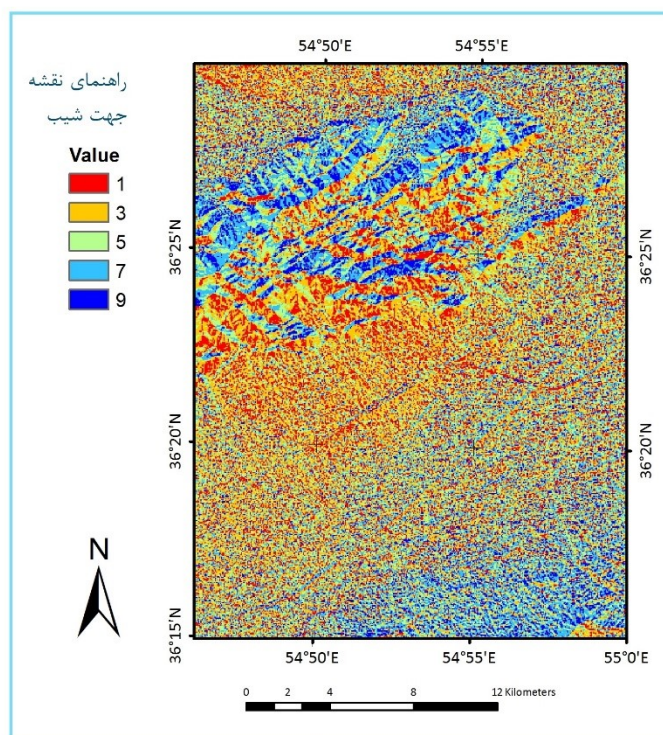
۴-۲-۵- تولید لایه اطلاعاتی جهت شیب

در کشور ایران بیشترین شدت تابش نور خورشید در جهت جنوبی می‌باشد و به تبع کمترین شدت تابش، در جهت شمالی است؛ لذا جهات شیبی که از جهت شیب جنوبی بیشترین فاصله را دارد مورد تابش کمتر و جهات شیبی که از جهت شیب شمالی بیشترین فاصله را دارد، مورد تابش بیشتر نور خورشید قرار می‌گیرند. مناطقی که در جهات تابش کمتر آفتاب قرار گرفته اند، تبخیر سطحی کمتری خواهند داشت، لذا جهت شیب می‌تواند در پتانسیل یابی آب زیرزمینی مورد توجه قرار گیرد (رنگزن و

سرفراز، ۱۳۹۰؛ داودآبادی، ۱۳۹۲). از این نکته در تولید لایه اطلاعاتی جهت شیب مطابق شکل (۴-۶) استفاده شده است. جدول (۴-۵) نحوه تخصیص امتیاز برای هر یک از جهات شیب را نشان می‌دهد.

جدول (۴-۵): امتیازدهی جهات مختلف شیب.

جهت شیب	مساحت (m ²)	امتیاز
جنوب، بدون شیب	۱۰۰۳۳۰۰۰۰	۱
جنوب شرقی، جنوب غربی	۱۶۱۹۸۰۰۰۰	۳
شرقی، غربی	۱۳۲۱۰۷۵۰۰	۵
شمال شرق، شمال شرق	۱۲۰۰۰۲۵۰۰	۷
شمال تا شمال غرب	۵۷۹۶۷۵۰۰	۹



شکل (۴-۶): لایه اطلاعاتی امتیازدهی شده جهات مختلف شیب در منطقه مورد مطالعه.

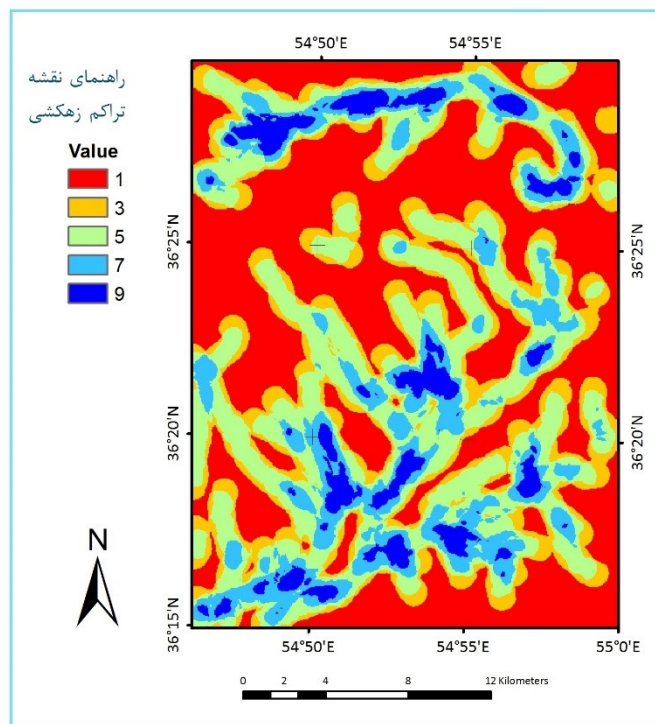
۴-۲-۶- تولید لایه اطلاعاتی تراکم زهکشی

تراکم زهکشی به عنوان نزدیک بودن فاصله کانال‌های جریان تعریف می‌شود. این اندازه‌گیری به صورت طول کل بخش آبراهه از تمام جهات در واحد سطح است (Magesh et al, 2012).

تراکم شبکه زهکشی یکی از شاخص‌های اصلی برای تعیین مناطق پتانسیل آب زیرزمینی در سنگ‌های سخت است. تراکم زهکشی تجزیه و تحلیل کمی از متوسط طول کانال‌های آبراهه کشیده شده به بخش داخلی حوضه را فراهم می‌کند (Murugesan et al, 2012). این عامل تحت تاثیر عواملی چون شیب اولیه، تفاوت مقاومت سنگ، کنترل ساختاری و ویژگی‌های مورفولوژیکی حوضه قرار دارد (Sharma et al, 2012; Boobalan & Gurugnanam, 2016). ارتباط بین نسبت آب نفوذی و روان‌آب به وسیله قابلیت نفوذ کنترل می‌شود و این قابلیت خود به نوع سنگ و شکستگی‌های موجود در سنگ‌های زیر سطحی بستگی دارد (Magesh et al, 2012; Boobalan & Gurugnanam, 2016). مطالعات نشان‌گر آن است که نوع شبکه زهکشی هر منطقه توسط لیتولوژی واحدهای زمین‌شناسی، توپوگرافی و ساختارهای تکتونیکی و زمین‌شناسی منطقه کنترل می‌شود (ماه گلی و همکاران، ۱۳۹۰؛ زورش و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به نکات ذکر شده تراکم زهکشی در منطقه با توجه به بالابودن تراکم شکستگی‌ها باعث نفوذ بیشتر آب به داخل زمین خواهد شد. براساس این نکته، امتیازدهی لایه‌های اطلاعاتی شبکه زهکشی تهیه شده مطابق با شکل (۴-۷) با توجه به جدول (۴-۶) ارایه شده است و هر جا که میزان تراکم زهکشی بالا باشد، امتیاز بیشتری تعلق گرفته است.

جدول (۴-۶): امتیازدهی به کلاس‌های مختلف تراکم زهکشی.

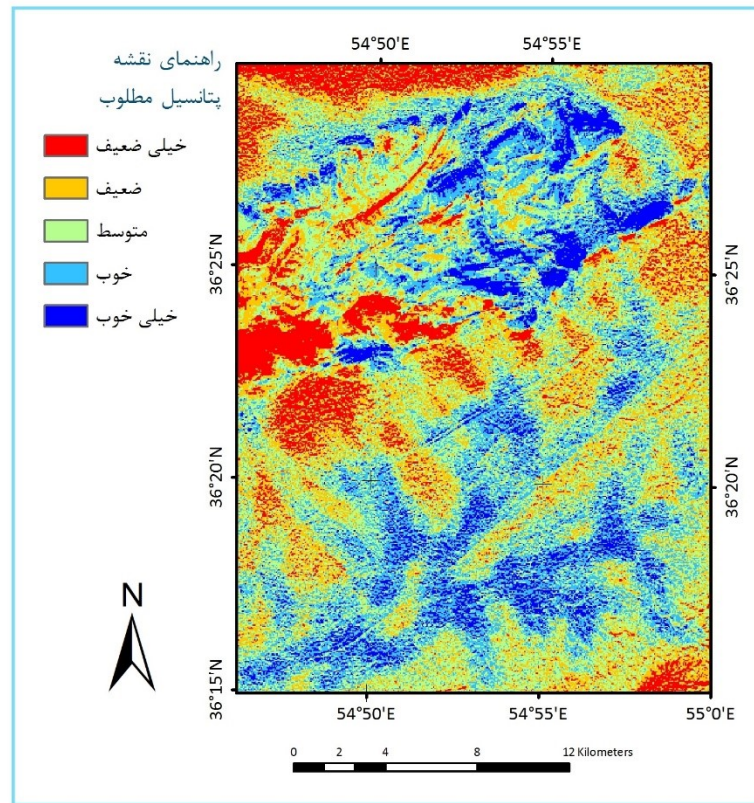
امتیاز	مساحت (m^2)	تراکم زهکشی (km/km^2)
۱	۳۱۷۸۲۵۰۰	۰-۰/۲۷
۳	۳۱۷۸۲۵۰۰	۰/۲۷-۰/۷۴
۵	۱۴۰۲۰۵۰۰۰	۰/۷۴-۱/۲۲
۷	۹۵۹۴۷۵۰۰	۱/۲۲-۱/۷۶
۹	۲۳۳۲۵۵۰۰۰	۱/۷۶-۳/۱۵



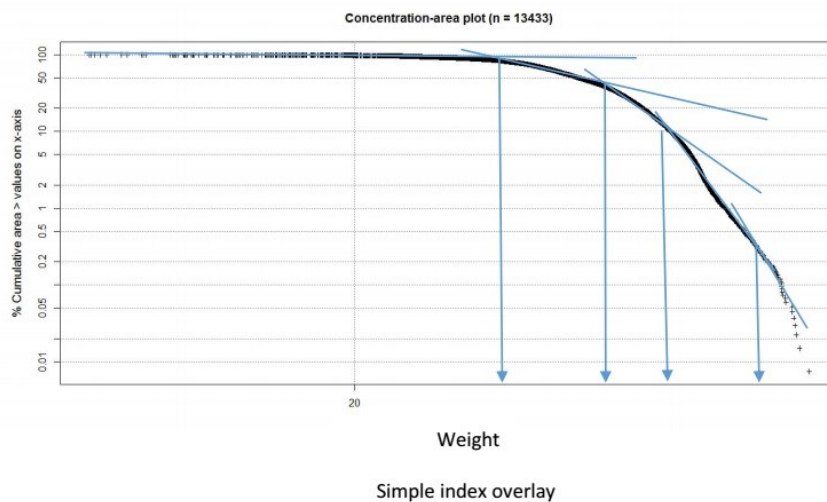
شکل (۴-۷): لایه اطلاعاتی امتیازدهی شده تراکم زهکشی در منطقه مورد مطالعه.

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل موثر در تشکیل منابع آب زیرزمینی، برای تلفیق لایه‌ها به روش شاخص هم‌پوشانی ساده، لایه‌های اطلاعاتی آماده شده در محیط Arc GIS 10.3 با استفاده از ابزار Raster Calculator با یکدیگر تلفیق شده‌اند. پس از تولید نقشه پتانسیل مطلوب مطابق شکل (۴-۸)، نقشه مذکور به پنج بازه شامل مناطق با پتانسیل خیلی بالا، بالا، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف تقسیم بندی گردید، تا بتوان احتمال وجود یا عدم وجود آب‌های زیرزمینی را در منطقه تجزیه و تحلیل نمود. بر همین اساس، بیشترین پتانسیل وجود آب زیرزمینی با رنگ آبی تیره نمایش داده شده است و کم‌ترین پتانسیل وجود این پدیده با رنگ قرمز نمایش داده شده است. به منظور دستیابی به نتایج بهتر برای شناسایی مناطق پتانسیل مطلوب در روش‌های مختلف تلفیق از تقسیم بندی جوامع مختلف با استفاده از هندسه فرکتال و روش عیار - مساحت (در اینجا وزن - مساحت)، بهره گرفته شده است. بر همین اساس با توجه به شکل (۴-۹) که نمودار وزن - مساحت مربوط به نقشه پتانسیل مطلوب به روش شاخص هم‌پوشانی ساده را نشان می‌دهد نقشه پتانسیل مطلوب منطقه به پنج جامعه مختلف تقسیم‌بندی می‌شود (شکل (۴-۱۰)) و مناطق دارای وزن ۳۹ و بیشتر را می‌توان

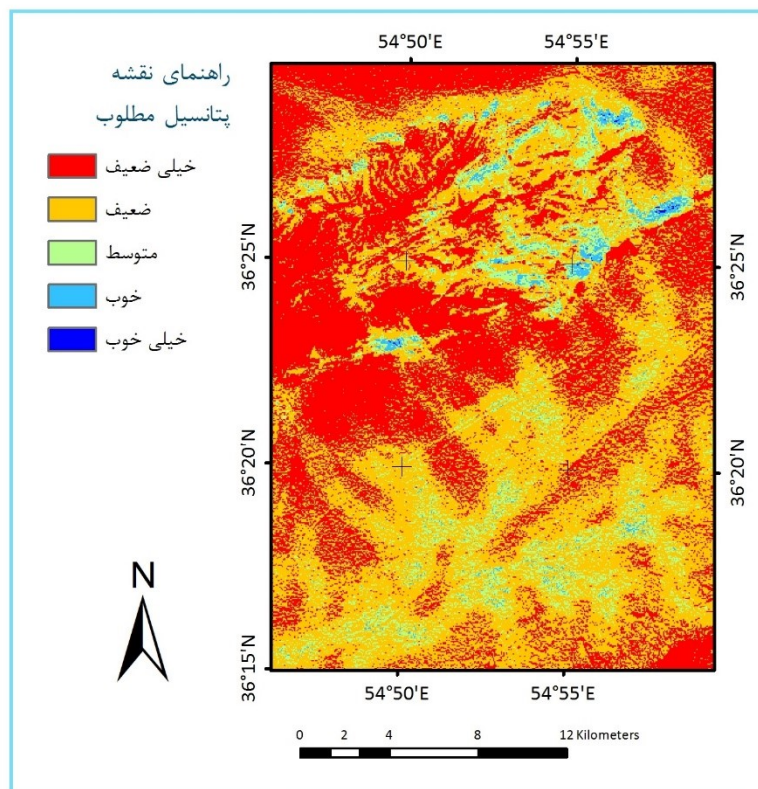
به عنوان مناطق پتانسیل مطلوب معرفی نمود که دارای مساحت بسیار کمی هستند. در نهایت با توجه به مباحث مطرح شده می توان گفت تلفیق لایه های اطلاعاتی به روش شاخص هم پوشانی ساده روش مناسبی برای پتانسیل یابی آب زیرزمینی نمی باشد.



شکل (۴-۸): تلفیق لایه های اطلاعاتی به روش شاخص هم پوشانی ساده.



شکل (۴-۹): نمودار وزن - مساحت نقشه پتانسیل مطلوب به روش شاخص هم پوشانی ساده.



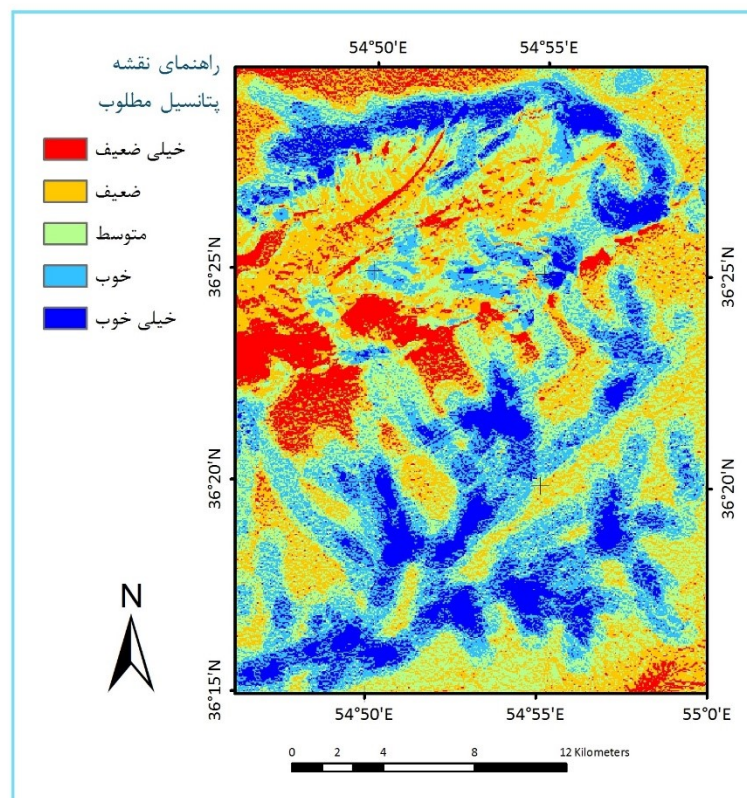
شکل (۴-۱۰): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش شاخص هم‌پوشانی ساده و تقسیم بندی فرکتال.

از آنجا که اهمیت هریک از لایه‌های اطلاعاتی با یکدیگر متفاوت می‌باشد، لذا این روش نمی‌تواند روش مناسبی برای تلفیق داده‌ها در نظر گرفته شود. برای اصلاح این مشکل روش شاخص هم‌پوشانی وزن‌دار برای تلفیق پیشنهاد شده است. در این روش برای هریک از لایه‌های اطلاعاتی نیز یک وزن اعمال می‌شود. اوزان در نظر گرفته شده برای هریک از لایه‌های اطلاعاتی در جدول (۴-۷) نشان داده شده است.

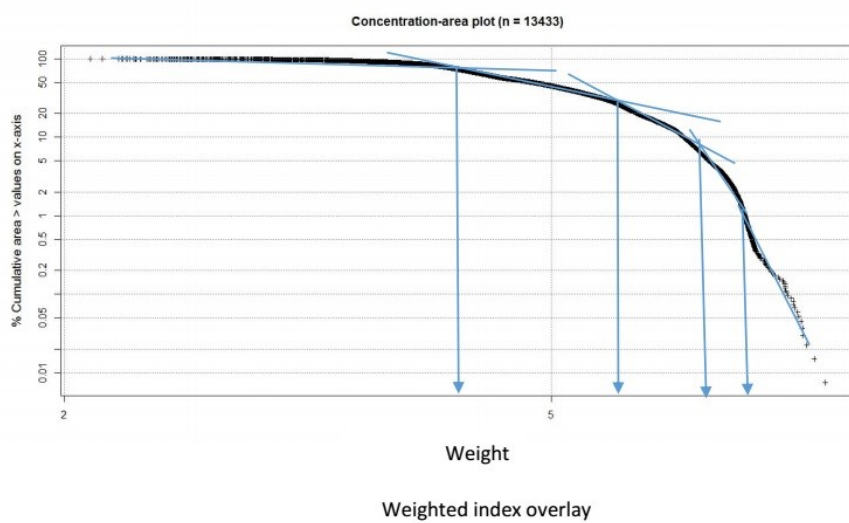
جدول (۴-۷): وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی به روش شاخص هم‌پوشانی وزن‌دار.

تغییرات توپوگرافی	جهت شیب	مقدار شیب	تراکم خطواره	تراکم زهکشی	واحد سنگی	پارامتر موثر
۱۲	۱۴	۱۶	۱۷	۱۸	۲۳	وزن پیشنهادی

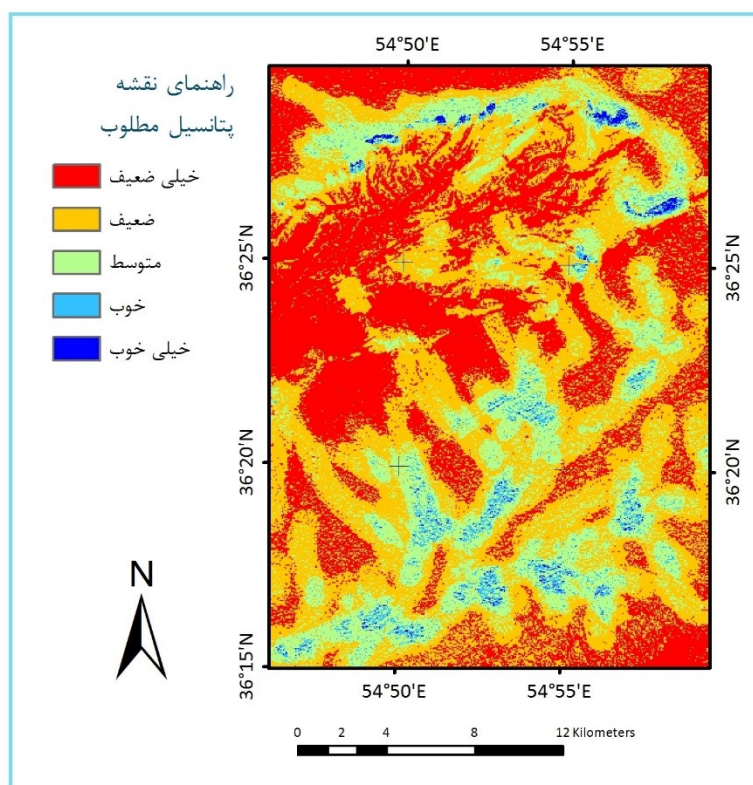
نقشه حاصل از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با روش شاخص هم‌پوشانی وزن‌دار در شکل (۴-۱۱) مشاهده می‌شود که با نتایج حاصل از روش شاخص هم‌پوشانی ساده متفاوت است. تقسیم‌بندی جوامع مختلف پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مطابق نمودار شکل (۴-۱۲) با استفاده از هندسه فرکتال و روش وزن - مساحت صورت گرفته است. مطابق با شکل (۴-۱۳) اوزان $7/14$ به بالا را می‌توان به عنوان مناطق پتانسیل مطلوب معرفی نمود.



شکل (۴-۱۱): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش شاخص هم‌پوشانی وزن‌دار.



شکل (۴-۱۲): نمودار وزن - مساحت نقشه پتانسیل مطلوب به روش شاخص هم‌پوشانی وزن‌دار.



شکل (۴-۱۳): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش شاخص هم‌پوشانی وزن‌دار و تقسیم بندی فرکتال.

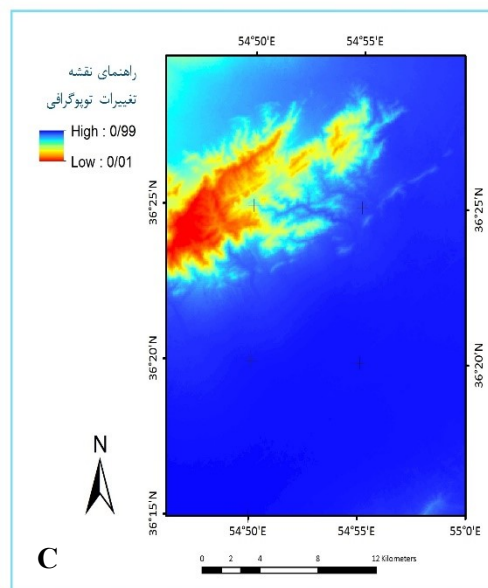
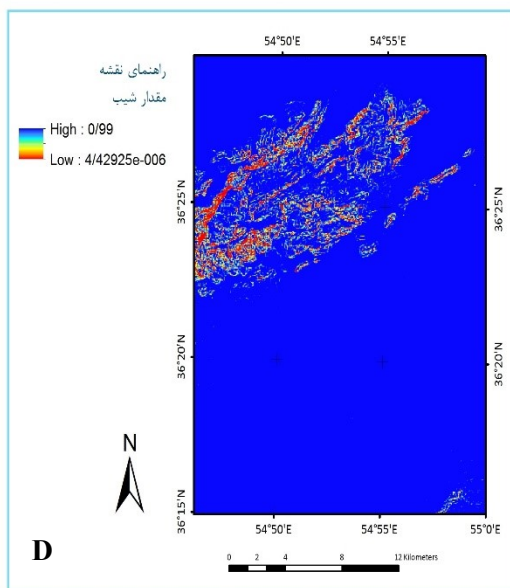
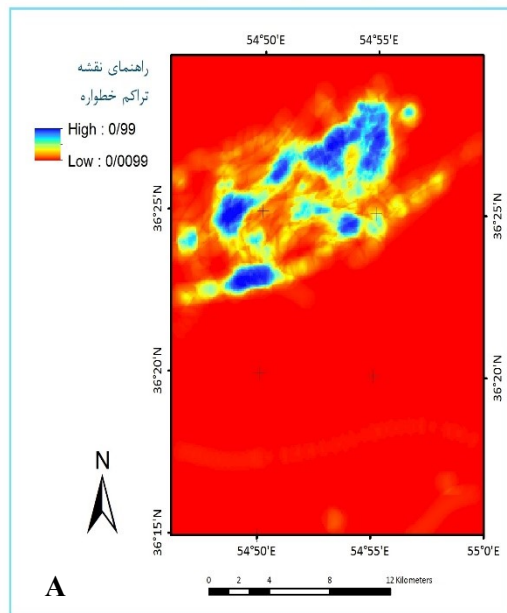
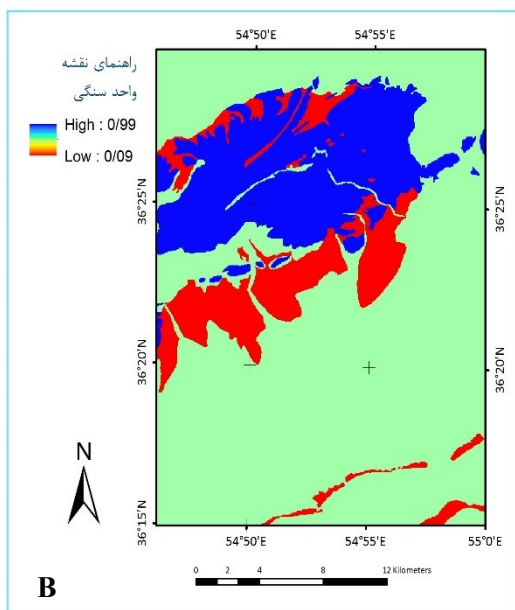
۴-۳- مدل سازی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش منطق فازی در منطقه

مورد مطالعه

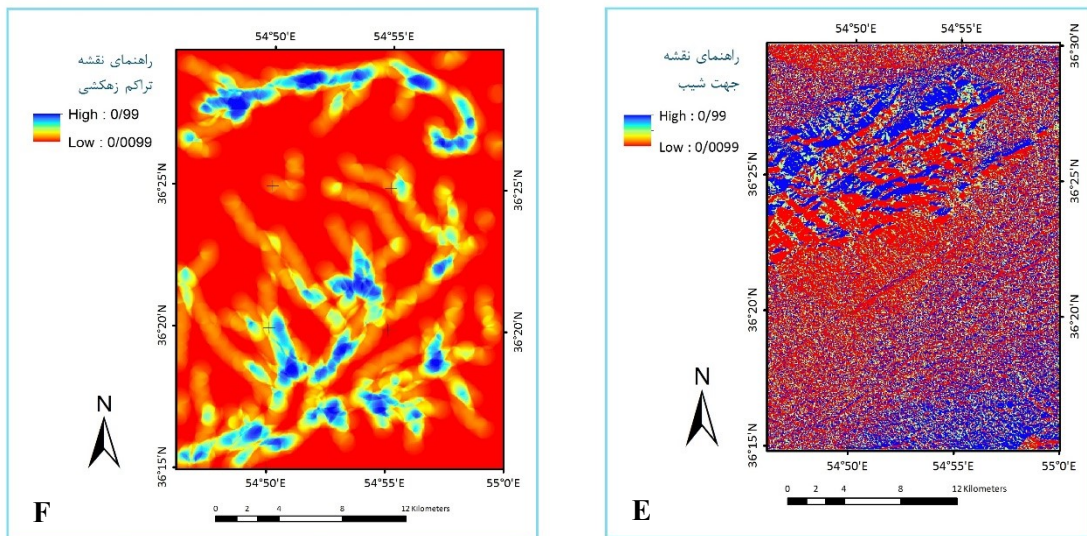
برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی باید ابتدا هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی نیز به صورت فازی تبدیل شوند. این کار باعث می‌شود بازه تعریف شده در هر لایه بین صفر تا یک قرار گیرد، که شرط اجرای روش فازی است. تولید لایه‌های اطلاعاتی فازی در محیط نرم افزار Arc GIS 10.3 صورت می‌گیرد. به این ترتیب که ابتدا هر کدام از نقشه‌های رقومی تولید شده نظیر خطواره‌ها و ... باید تبدیل به لایه اطلاعاتی فازی شود. این عمل باید برای هریک از نقشه‌های رقومی با توجه به تابع عضویت لجستیکی سیگموئید ((۲-۶)) به صورت مجزا صورت پذیرد. عوامل موثر در تابع لجستیکی سیگموئید مربوط به شش پارامتر مذکور در جدول (۴-۸) آمده است. توسط تابع عضویت لجستیکی سیگموئید مقدار تعلق در هر ناحیه برای هریک از پارامترهای مورد بررسی مشخص شده است. نقشه‌های فازی شده تراکم خطواره‌ها، واحد سنگی، تغییرات توپوگرافی، مقدار شیب، جهت شیب و تغییرات توپوگرافی در شکل (۴-۴) آمده است.

جدول (۴-۸): عوامل موثر در تابع لجستیکی سیگموئید مربوط به پارامترهای موثر.

i	S	E_{Vmin}	E_{Vmax}	پارامتر موثر
۳/۳۱	۱/۳۹	۰	۶/۶۱۸۸	تراکم خطواره
۵	۱,۱۵	۱	۹	واحد سنگی
۱۹۳۷/۵	۰/۰۰۵۵	۱۱۱۳	۲۷۶۲	تغییرات توپوگرافی
۳۳/۶۸۱	۰/۱۳۶۶	۰	۶۷/۳۶۲۱	شیب
۵	۱,۱۵	۱	۹	جهت شیب
۱/۵۷۵	۲/۹۲	.	۳/۱۵۱۱	تراکم خطواره

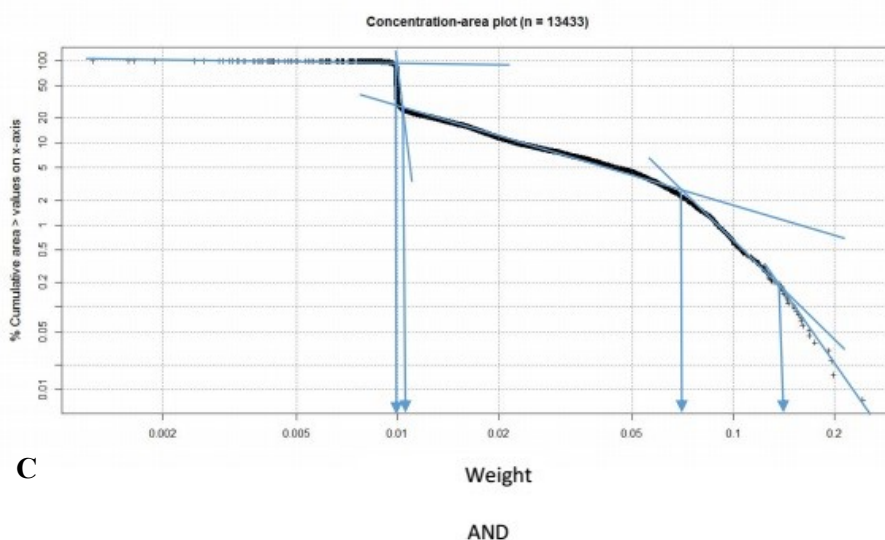
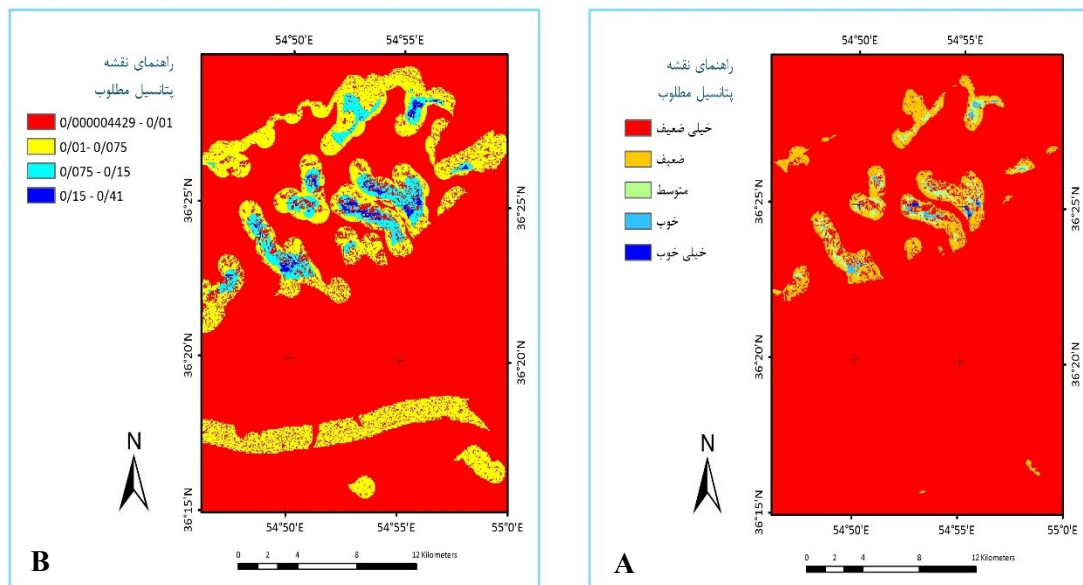


شکل (۴-۱۴): نقشه‌های فازی شده لایه‌های اطلاعاتی: (A) تراکم خطوطه‌ها (B) واحد سنگی (C) تغییرات توپوگرافی (D) مقدار شیب.



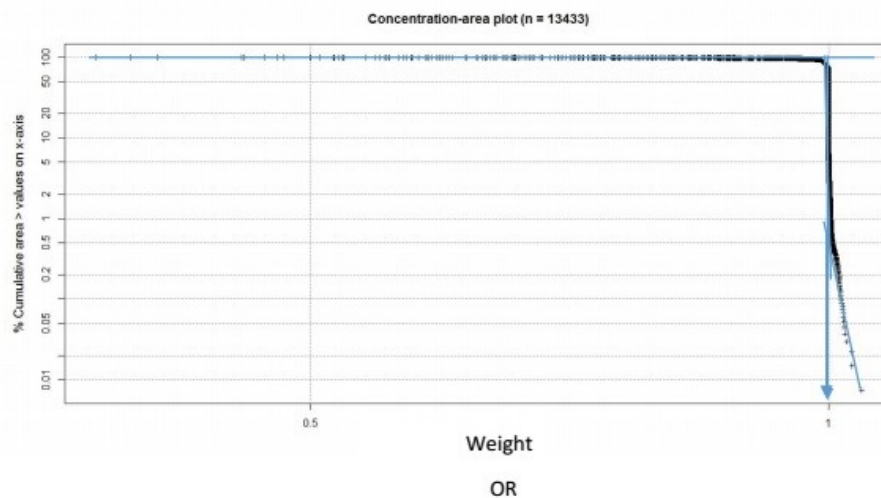
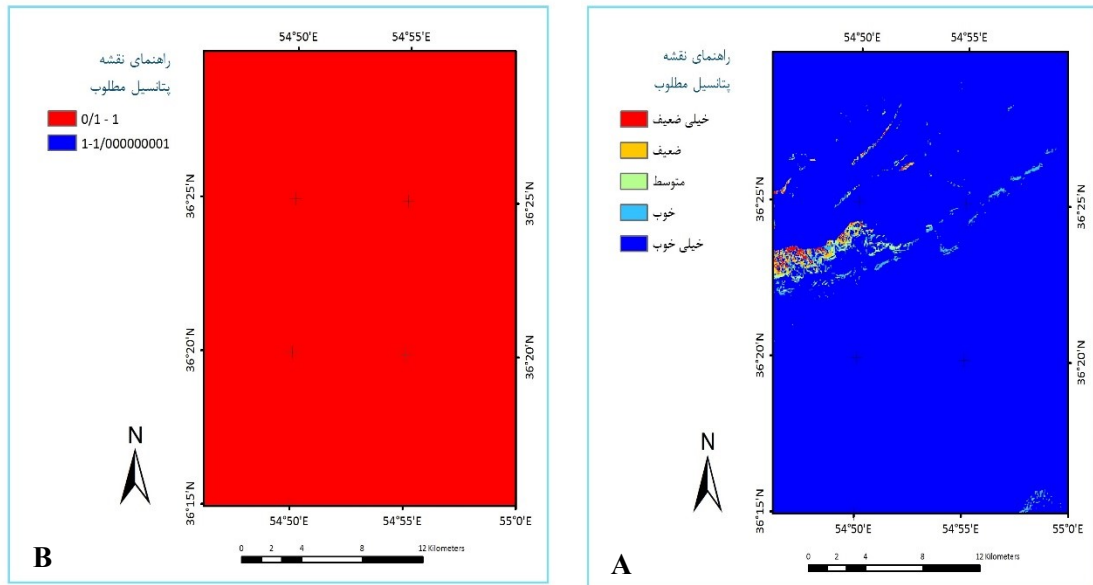
ادامه شکل (۴-۱۴) : نقشه‌های فازی شده لایه‌های اطلاعاتی (E : جهت شیب F) تراکم زهکشی.

در ادامه با استفاده از عملگرهای فازی AND، OR، حاصل ضرب جبری فازی، جمع جبری فازی و عملگر گامای فازی با مقادیر گامای (۰/۰۵ ، ۰/۵ ، ۰/۷۵ ، ۰/۹۰) به تولید نقشه‌های پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی پرداخته شده است. شکل (۴-۱۵ A) نقشه پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی می‌باشد که به روش تلفیق فازی با استفاده از عملگر AND صورت گرفته است. براساس شکل یاد شده و با توجه به نمودار شکل (۴-۱۵ C) مرتبط با این شکل و تقسیم‌بندی به روش فرکتال (شکل (۴-۱۵ B))، قسمت عمده منطقه در بازه خیلی ضعیف قرار گرفته است، لذا در تحلیل اجمالی شکل (۴-۱۵) می‌توان نتیجه گرفت که روش تلفیق فازی AND روش مناسبی برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی محسوب نمی‌شود.



شکل (۴-۱۵): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر AND (B) با استفاده از عملگر AND و تقسیم بندی فرکتال (C) نمودار وزن - مساحت نقشه پتانسیل مطلوب به روش فازی با استفاده از عملگر AND. شکل (۴-۱۶) نقشه پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی به روش تلفیق فازی با استفاده از عملگر OR می‌باشد، همان‌طور که از شکل پیداست قسمت عمده محدوده مورد مطالعه به عنوان منطقه با پتانسیل خیلی بالا تعیین شده است، که این امر کاملاً مغایر با واقعیت منطقه است. این مطلب با توجه به نمودار وزن - مساحت (شکل (۴-۱۶) C)) مربوط به نقشه مذکور نقشه به دست آمده از این نمودار (شکل

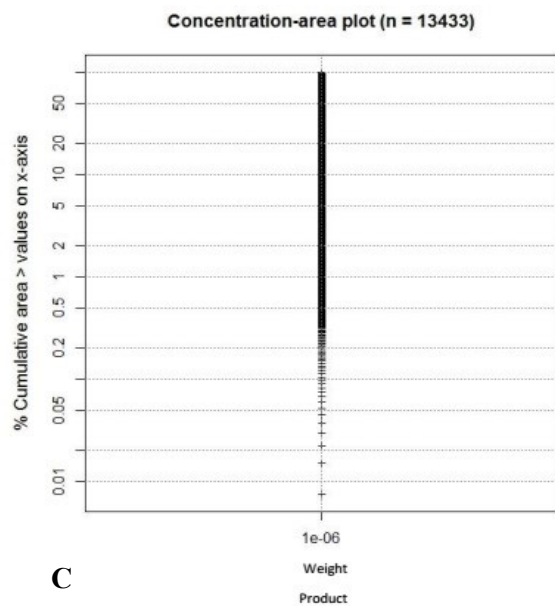
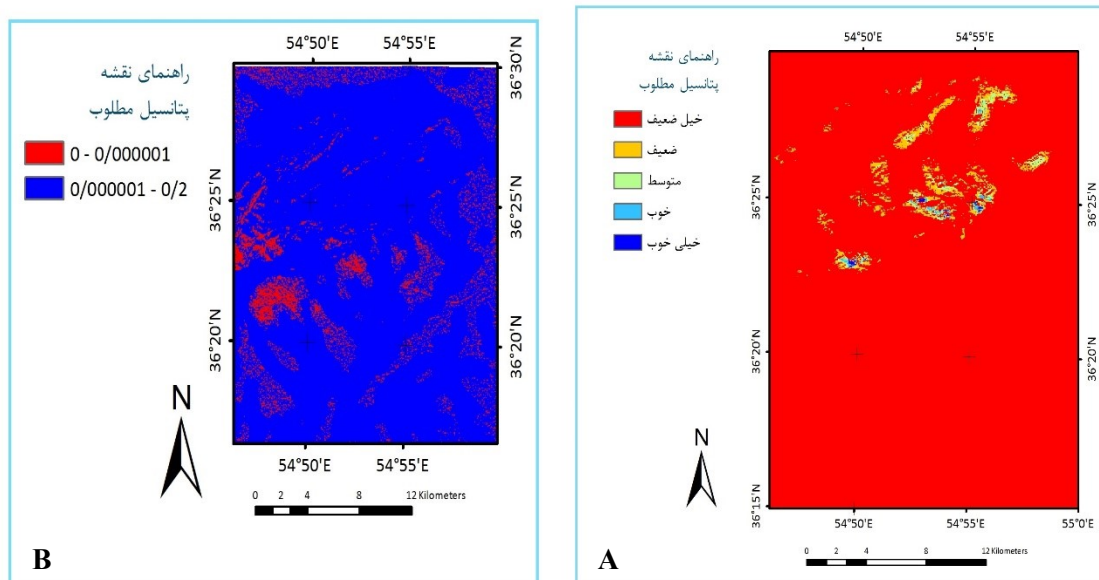
(۴-۱۶-B) نیز کاملا مشخص است. بنابراین می توان به راحتی روش تلفیق فازی OR را روشی نامناسب برای تلفیق لایه های اطلاعاتی آب های زیرزمینی دانست.



C

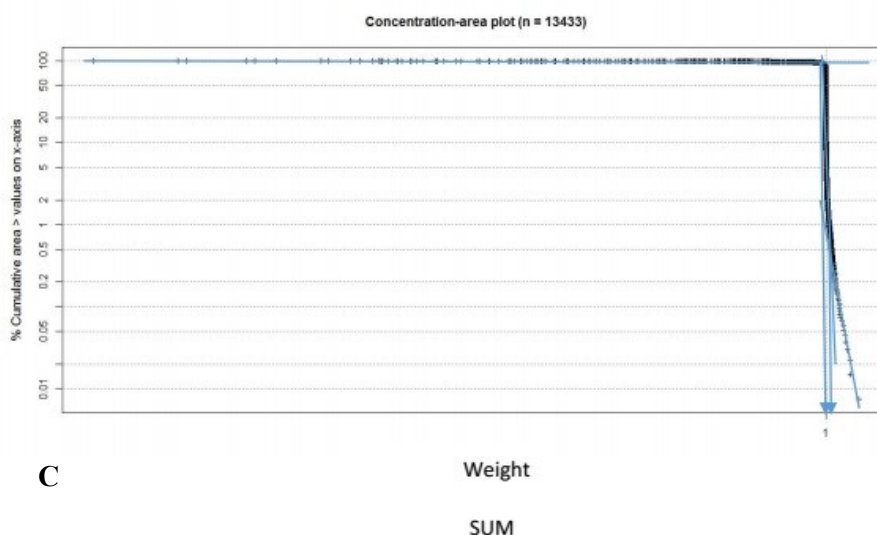
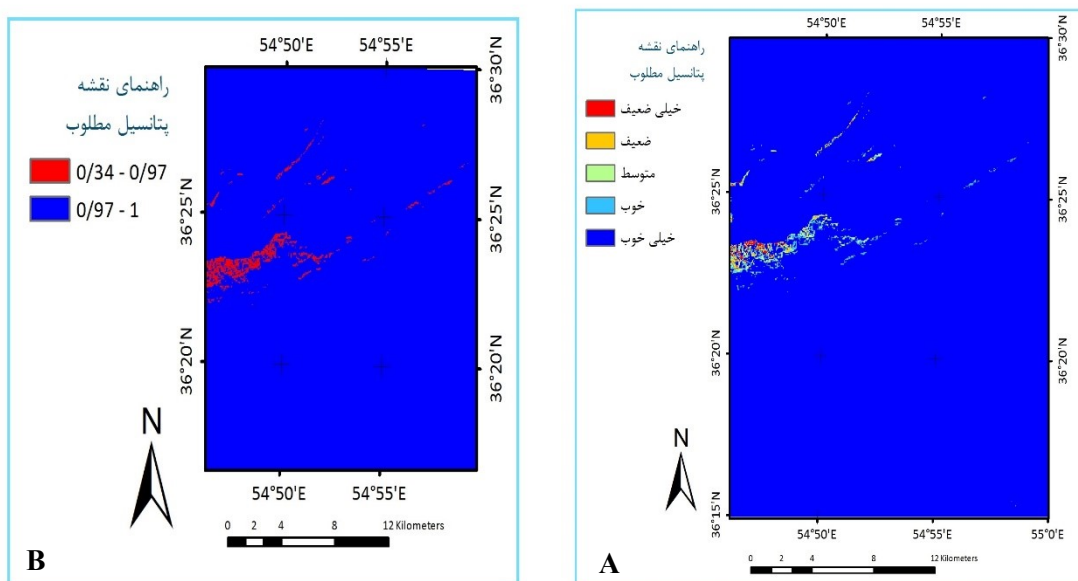
شکل (۴-۱۶): تلفیق لایه های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر OR (B) با استفاده از عملگر OR و تقسیم بندی فرکتال (C) نمودار وزن - مساحت نقشه پتانسیل مطلوب به روش فازی با استفاده از عملگر OR. شکل (۴-۱۷-A) که از تلفیق با روش عملگر حاصل ضرب جبری فازی بدست آمده است، نشان دهنده آن است که بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه منطقه ای با پتانسیل خیلی ضعیف است و نواحی با پتانسیل خیلی بالا و بالا مساحت خیلی کمی را در بر گرفته اند، که این مطلب نیز با واقعیت منطقه همخوانی ندارد. نمودار وزن - مساحت (شکل (۴-۱۷-C) نیز بیانگر این مساله است که توزیع اوزان

به صورت فرکتالی در منطقه صورت نگرفته است. براساس این تقسیم‌بندی نقشه پتانسیل مطلوب شکل (۴-۱۷) تهیه گردیده است که دلالت بر نامناسب بودن این روش دارد.



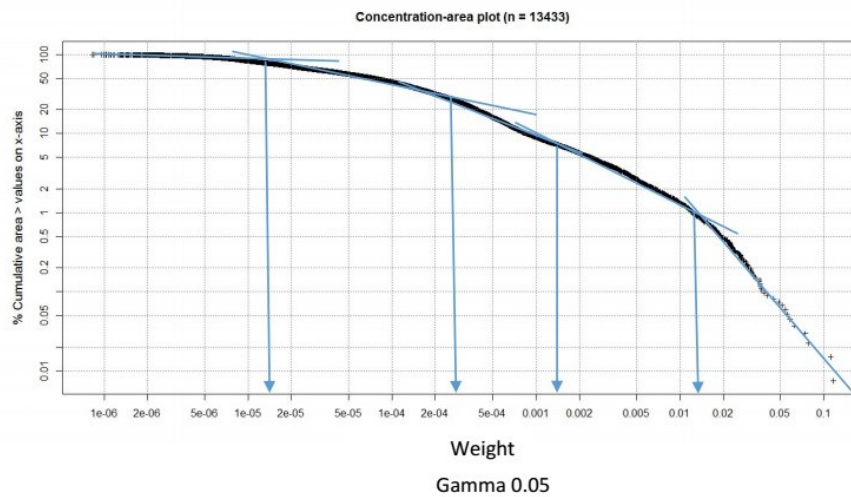
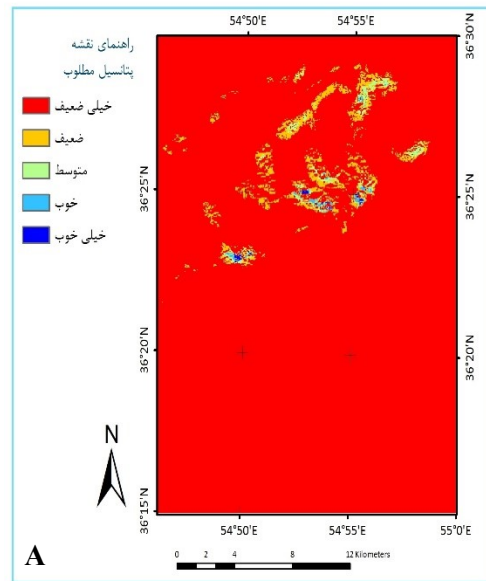
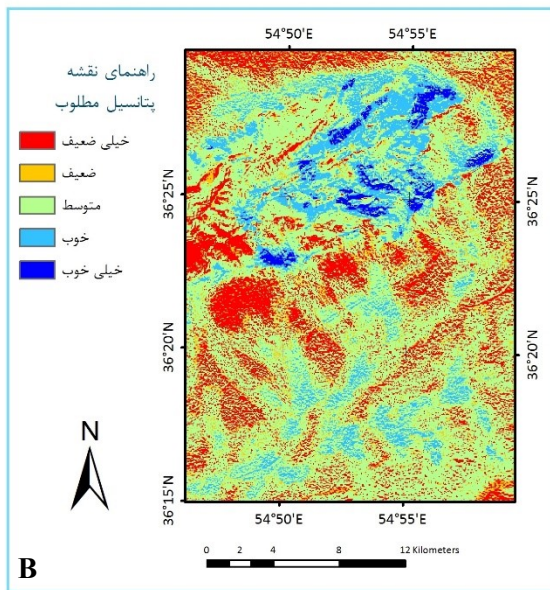
شکل (۴-۱۷): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر Productat (B) با استفاده از عملگر Productat و تقسیم بندی فرکتال (C) نمودار وزن - مساحت نقشه پتانسیل مطلوب به روش فازی با استفاده از عملگر Productat

شکل (۴- ۱۸ و B) حاصل از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش جمع جبری فازی است؛ که نشان دهنده آن است که بخش وسیعی از منطقه مورد نظر به عنوان پتانسیل خیلی بالا آب زیرزمینی در نظر گرفته شده است. در نتیجه این روش نیز بین روش‌های تلفیق فازی روشی نامناسب، برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی آب زیرزمینی می‌باشد.



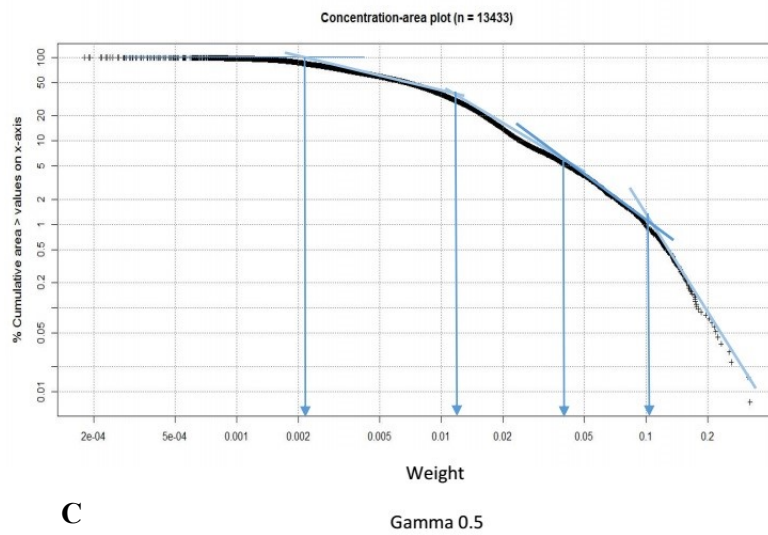
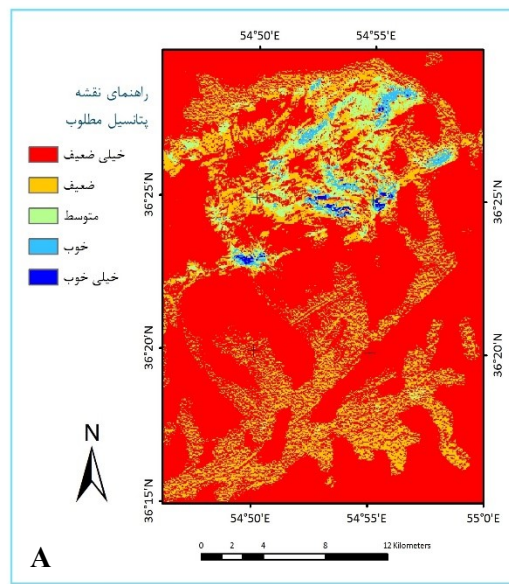
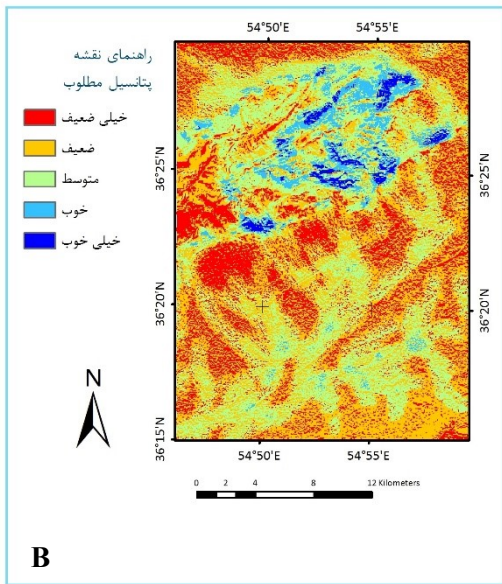
شکل (۴- ۱۸): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر Sum (B) با استفاده از عملگر Sum و تقسیم بندی فرکتال (C) نمودار وزن - مساحت نقشه پتانسیل مطلوب به روش فازی با استفاده از عملگر Sum.

نتایج به دست آمده از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی آب زیرزمینی با استفاده از عملگر گاما با مقادیر گامای ۰/۰۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۰/۹۰ به ترتیب در شکل (۴-۱۹)، شکل (۴-۲۰)، شکل (۴-۲۱) و شکل (۴-۲۲) آورده شده است که با توجه به این شکل‌ها مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار گاما نواحی امیدبخش پتانسیل آبی (با توجه به اطلاعات زمی شناسی و با توجه به نظر کارشناس مربوطه) به طور بارزتری خود را نشان می‌دهند. با توجه به نمودارهای وزن - مساحت برای هر یک از این مقادیر می‌توان به طور دقیق‌تری پتانسیل موجود در منطقه مورد مطالعه را تقسیم‌بندی کرد. در این بین با توجه به اینکه احتمال ۷۵ درصد در اکتشافات معدنی قابل قبول می‌باشد؛ در اینجا نیز گامای ۰/۷۵ نیز به عنوان مناسب‌ترین مقدار در نظر گرفته می‌شود. در مجموع می‌توان از روش تلفیق فازی با استفاده از عملگر گاما به عنوان روشی مناسب برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی آب‌های زیرزمینی استفاده کرد. البته لازم به ذکر است که بهترین روش برای انتخاب مناسب‌ترین روش تلفیق فازی، اعتبارسنجی خروجی عملگرهای فوق الذکر است؛ که در فصل بعد به آن پرداخته می‌شود.

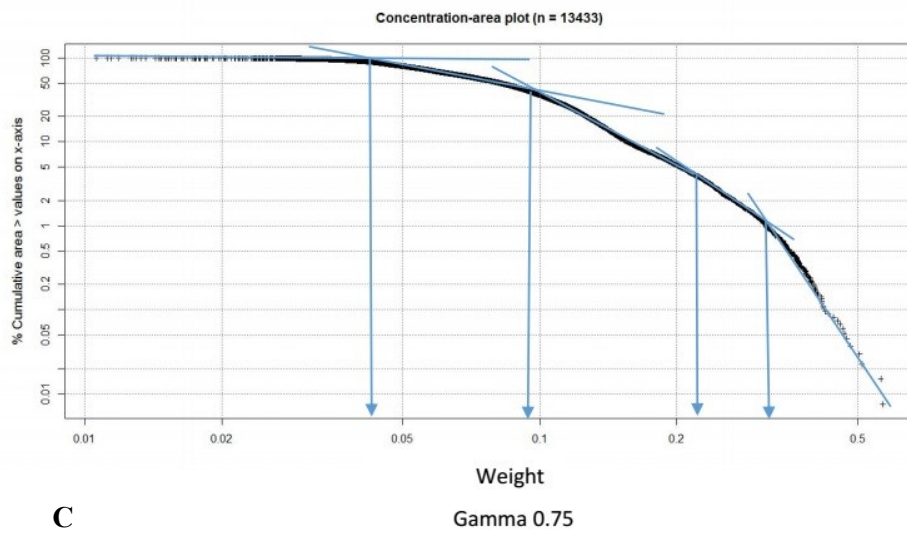
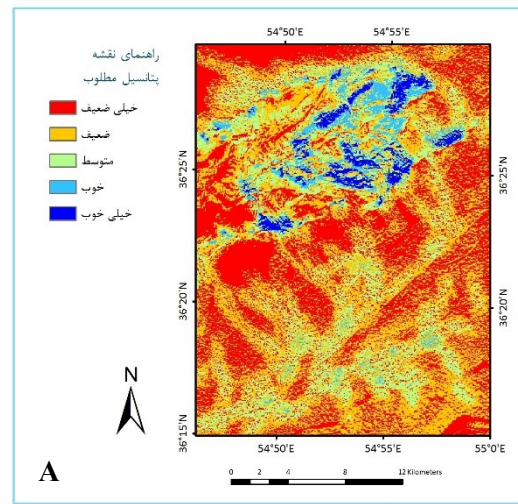
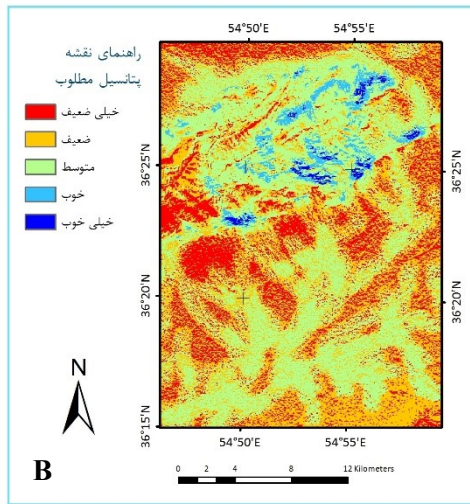


C

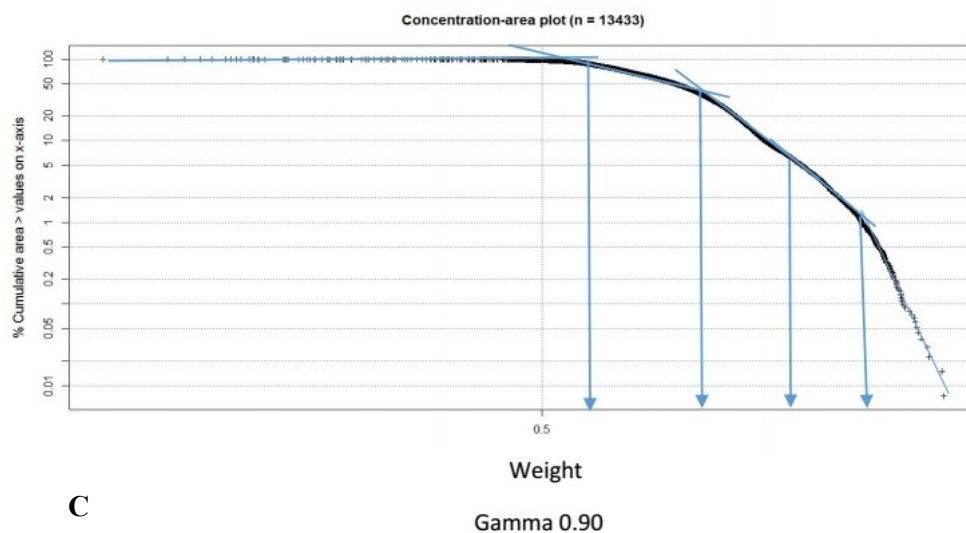
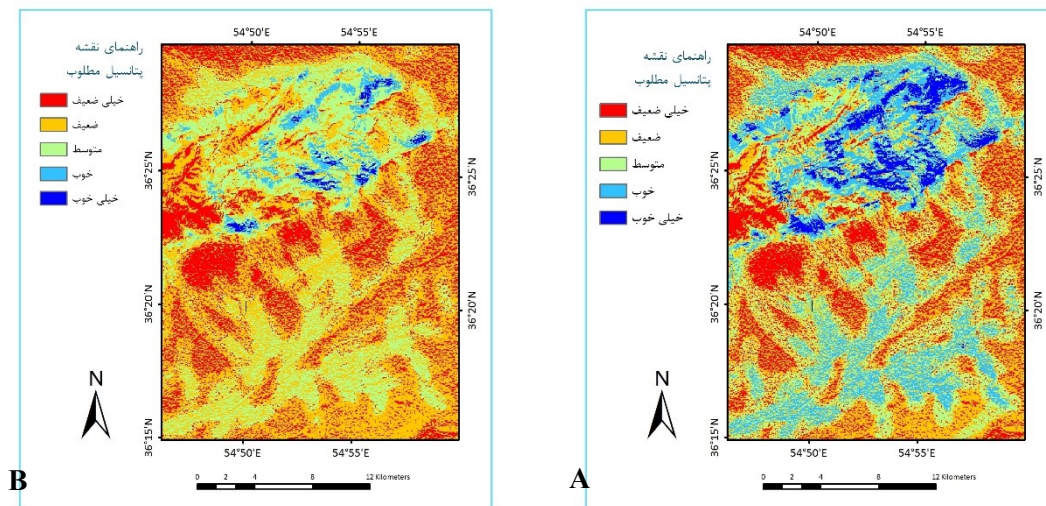
شکل (۴-۱۹): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر $\Gamma 0.05$ (B) با استفاده از عملگر $\Gamma 0.05$ و تقسیم بندی فرکتال (C) نمودار وزن - مساحت نقشه پتانسیل مطلوب به روش فازی با استفاده از عملگر $\Gamma 0.05$.



شکل (۴-۲۰): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر (B Gamma 0.5) با استفاده از عملگر (C) و تقسیم بندی فرکتال (Gamma 0.5) نمودار وزن - مساحت نقشه پتانسیل مطلوب به روش فازی با استفاده از عملگر Gamma 0.5.



شکل (۴-۲۱): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر $\Gamma 0.75$ (B) با استفاده از عملگر $\Gamma 0.75$ و تقسیم بندی فرکتال (C) نمودار وزن - مساحت نقشه پتانسیل مطلوب به روش فازی با استفاده از عملگر $\Gamma 0.75$.



شکل (۴-۲۲): تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی (A) با استفاده از عملگر $\Gamma 0.9$ (B) با استفاده از عملگر $\Gamma 0.9$ و تقسیم بندی فرکتال (C) نمودار وزن - مساحت نقشه پتانسیل مطلوب به روش فازی با استفاده از عملگر $\Gamma 0.9$.

۴-۴- مدل‌سازی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از وزن‌دهی به روش تحلیل سلسله

مراتبی در منطقه مورد مطالعه

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بیشترین وزن به لایه‌ای تعلق می‌گیرد؛ که بیشترین تاثیر را در تعیین هدف دارد. به عبارت دیگر معیار وزن‌دهی به هر واحد اطلاعاتی نیز براساس میزان نقشی است که در داخل آن لایه ایفا می‌کند (Lopez & Zink, 1991). چون هدف از این پژوهش پتانسیل‌یابی منابع

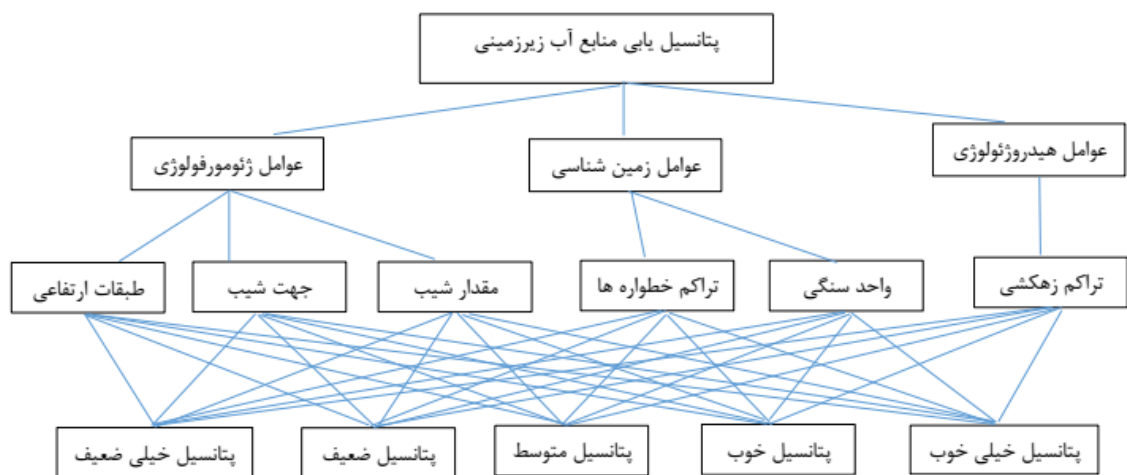
آب زیرزمینی در منطقه صحرای جلالی شاهرود است، پارامترهای تاثیرگذار در نفوذپذیری و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌تواند به عنوان مهم‌ترین عوامل برای رسیدن به این هدف در نظر گرفته شود. در این پژوهش برای تدوین ساختار سلسله مراتبی مطابق با شکل (۴-۲۳) از حالت اول استفاده شده؛ که شامل سطوح زیر است:

سطح ۱: که در راس سلسله مراتب قرار گرفته و هدف کلی یعنی پی‌جویی منابع آب زیرزمینی در منطقه صحرای جلالی شاهرود را شامل می‌شود.

سطح ۲: این سطح معیارها را در برگرفته و شامل عوامل موثر نظیر عوامل زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و هیدرولوژی است.

سطح ۳: این سطح زیرمعیارها را در برگرفته و شامل پارامترهای سنگ‌شناسی، تراکم خطواره‌ها، طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، تراکم زهکشی است.

سطح ۴: این سطح گزینه‌ها، یعنی مناطق آب زیرزمینی از لحاظ پتانسیل را شامل می‌شود.



شکل (۴-۲۳): ساختار سلسله مراتبی پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه.

بنابراین برای مولفه‌های سنگ‌شناسی، هیدرولوژی و ژئومورفولوژی با توجه به اهمیت آن‌ها در پتانسیل-یابی آب زیرزمینی، باید بالاترین ارجحیت و وزن‌دهی را در نظر گرفت. وزن‌دهی به سایر عوامل به نسبت

کاهش تاثیرشان در نفوذپذیری کم تر می شود. به عبارت دیگر موثرترین عامل در تغذیه منابع آب از بیشترین وزن برخوردار خواهد بود (Lopez & Zink, 1991). نظر به این که میزان تاثیر هر یک از معیارها و زیرمعیارها در امر پتانسیل یابی آب زیرزمینی یکسان نیست، یکی از مراحل مهم پیش از تلفیق نقشه های معیار، تعیین اهمیت نسبی هر یک از پارامترها و اختصاص وزن به هر کدام از آنها است. بدین منظور از روش وزن دهی بر اساس مقایسه زوجی معیارها و زیرمعیارها در قالب روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. جهت وزن دهی معیارها و زیرمعیارها بر اساس این روش ابتدا ماتریس مقایسه زوجی در نرم افزار Arc GIS 10.3 ایجاد گردید و همه عوامل براساس اهمیت مرتب شدند. سپس با اعمال قضاوت کارشناسی و تجزیه و تحلیل اطلاعات موجود، اعدادی بین ۱ تا ۹ مطابق جدول (۲-۱) مراتبی تعیین شد. ماتریس مقایسه زوجی و نرمالیزه برای معیارها و زیرمعیارها محاسبه شد. نتایج حاصل از ارجحیت بندی، ماتریس های مقایسه زوجی و محاسبه بردار وزن عوامل موثر به صورت جدول (۴-۹) و جدول (۴-۱۰) ارائه شده است. لایه زمین شناسی و لیتولوژی با توجه به اهمیت بالای آن در پتانسیل-یابی بیشترین وزن را به خود اختصاص می دهد و لایه ژئومورفولوژی و طبقات ارتفاعی دارای پایین ترین وزن است.

جدول (۴-۹): ماتریس مقایسه زوجی معیارها و بردار وزن هر معیار.

معیارها	زمین شناسی	هیدروژئولوژی	ژئومورفولوژی	بردار وزن
زمین شناسی	۱	۴	۸	۰/۶۹۸۶
هیدروژئولوژی	۰/۲۵	۱	۵	۰/۲۳۷
ژئومورفولوژی	۰/۱۲۵	۰/۲	۱	۰/۰۶۴۳
جمع	۱/۴۵	۵/۲	۱۴	۱

جدول (۴-۱۰): ماتریس مقایس زوجی زیرمعیارها و بردار وزن هر زیرمعیار.

زیرمعیارها	Li	DD	DL	S	A	T	بردار وزن
Li	۱	۵	۶	۷	۸	۹	۰/۵۴۰۳
DD	۰/۲	۱	۲	۳	۴	۶	۰/۱۸۲۲
DL	۰/۱۶۶۷	۰/۵	۱	۲	۳	۵	۰/۱۲۰۵
S	۰/۱۴۲۹	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۴	۰/۰۷۸۹
A	۰/۱۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۰/۰۴۸۱
T	۰/۱۱۱	۰/۱۶۶۷	۰/۲	۰/۲۵	۰/۵	۱	۰/۰۳۰۱
جمع	۱/۷۴۵۶	۷/۲۴۶۷	۱۰/۰۳	۱۳/۷۵	۱۸/۵	۲۷	۱

وزن نهایی پهنه‌های پتانسیلی در منطقه مطالعاتی از مجموع حاصلضرب لایه معیارها در وزنشان و همچنین وزن لایه معیارها از مجموع حاصل ضرب لایه زیرمعیارها در وزنشان بدست می‌آید. نتایج حاصل از محاسبه وزن نهایی مناطق پتانسیلی به صورت روابط (۴-۱ تا ۴-۴) می‌باشد.

در این روابط Ge: عامل زمین‌شناسی، Hy: عامل هیدروژئولوژی، Gml: عامل ژئومورفولوژی، Li: واحد سنگی، Dl: تراکم خطواره، Dd: تراکم زهکشی، S: مقدار شیب، A: جهت شیب، T: تغییرات توپوگرافی، Wp: لایه نهایی پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی.

$$Ge = 0.5403(Li) + 0.1205 (Dl) \quad (۱-۴)$$

$$Hy = 0.1822 (DD) \quad (۲-۴)$$

$$Gml = 0.0789 (S) + 0.0481 (A) + 0.0301 (T) \quad (۳-۴)$$

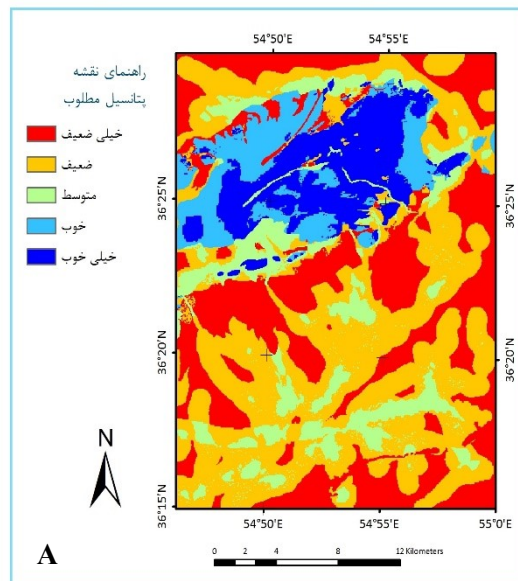
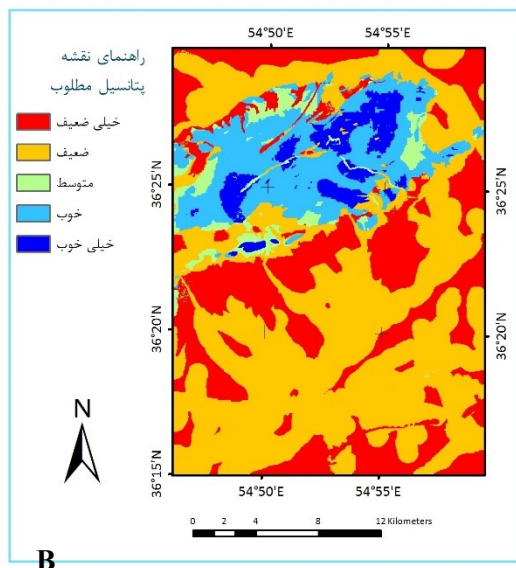
$$Wp = 0.6986 (Ge) + 0.237 (Hy) + 0.0643 (Gml) \quad (۴-۴)$$

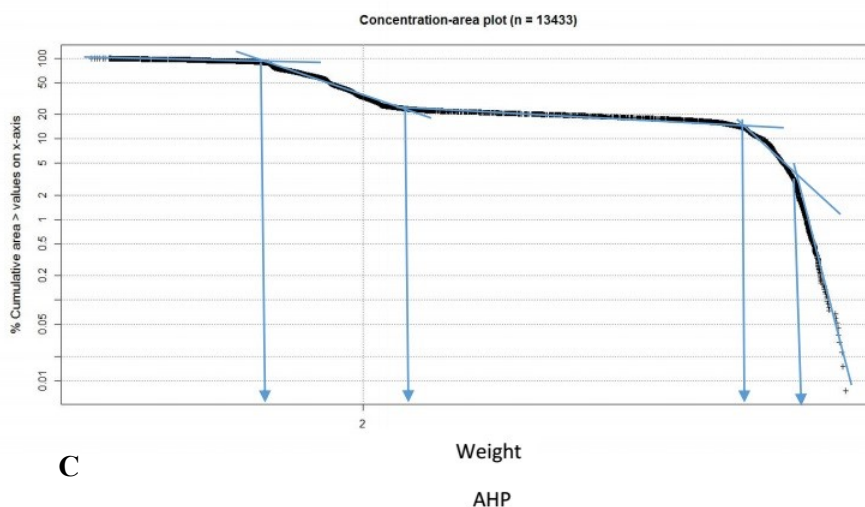
نرخ ناسازگاری برای ماتریس پارامترهای موثر با استفاده از روش تقریبی میانگین‌گیری حسابی محاسبه شد؛ که به صورت جدول (۴- ۱۱) می‌باشد. نتایج جدول مزبور سازگاری ماتریس‌های عوامل موثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در منطقه را تایید می‌کند.

جدول (۴- ۱۱): مقادیر نرخ ناسازگاری پارامترهای موثر.

وضعیت ماتریس	مقدار نرخ ناسازگاری	نوع ماتریس
سازگار	۰/۰۹۰۴	ماتریس معیارها
سازگار	۰/۰۴۱۸	ماتریس زیرمعیارها

وزن نهایی لایه‌های اطلاعاتی منابع آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی از طریق ضرب لایه‌های معیار و زیرمعیارها در وزنشان و حاصل جمع نهایی آن‌ها با استفاده از ابزار Weighted Sum در نرم افزار Arc GIS 10.3 صورت گرفته است. همان‌طور که در شکل (۴- ۲۴): (A) تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از وزن‌دهی به روش AHP (B) تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از وزن‌دهی به روش AHP و تقسیم بندی فرکتال (C) نمودار وزن - مساحت نقشه پتانسیل مطلوب به روش AHP.





شکل (۴-۲۴): (A) تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از وزن‌دهی به روش AHP (B) تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از وزن‌دهی به روش AHP و تقسیم بندی فرکتال (C) نمودار وزن - مساحت نقشه پتانسیل مطلوب به روش AHP.

در این فصل همه روش‌های تلفیق برای لایه‌های استخراجی از داده‌های دورسنجی مورد اشاره قرار گرفت و براساس سه روش شاخص هم‌پوشانی، فازی و تحلیل سلسله مراتبی، لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز و موثر، تولید و تلفیق گردید. برای هر کدام، نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی تهیه شد و مناطق مختلف پتانسیل مطلوب با استفاده از هندسه فرکتال و روش وزن - مساحت مشخص گردید. با مقایسه نقشه‌های پتانسیل مطلوب از تلفیق داده‌های دورسنجی می‌توان اظهار نمود که بخش اصلی مورد انتظار برای پتانسیل آب زیرزمینی در قسمت شمال و شمال غرب و بخشی از مرکز محدوده مورد مطالعه است و در راستای جنوب و جنوب شرقی میزان وجود آب زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین با توجه به نتایج حاصل از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در این مرحله روش شاخص هم‌پوشانی ساده و روش فازی با استفاده از عملگرهای AND, OR, Product, Sum به دلیل عدم پاسخ مناسب در این مرحله حذف خواهند شد و روش شاخص هم‌پوشانی وزن‌دار، روش فازی با عملگر گاما ۰/۷۵ و ۰/۹ و روش تحلیل سلسله مراتبی برای اعتبارسنجی در مرحله بعد استفاده خواهند شد. برای اعتبارسنجی نتایج حاصل، از داده‌های چاه‌های آب موجود در محدوده مورد مطالعه استفاده شد. در ادامه نتایج حاصل از روش‌های تلفیق اعتبارسنجی خواهند شد.

فصل پنجم

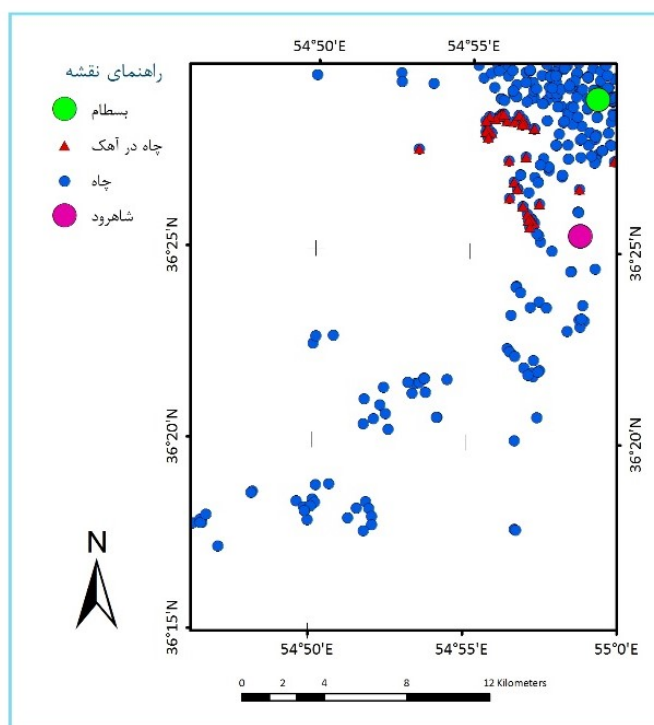
بحث، نیچہ گیری و پیشہ نادرہ

۵-۱- بحث

پس از تولید لایه‌های اطلاعاتی حاصل از دورسنجی و تلفیق و تحلیل آن‌ها با استفاده از روش‌های مختلف تلفیق، نتایج بدست آمده، باید با استفاده از داده‌های مستقل دیگر اعتبار سنجی شوند. یکی از ملاک‌های اعتبارسنجی نتایج پژوهش‌های انجام شده، تطابق فرآیند شکل گرفته برای تهیه نقشه پتانسیل مطلوب با چاه‌های حفاری شده و در حال حفاری منطقه می‌باشد. در این پژوهش، موقعیت چاه‌ها و مقادیر اطلاعاتی آن از سازمان آب منطقه‌ای شاهرود دریافت شد و در محیط نرم افزار Arc GIS رقومی گردید و لایه اطلاعاتی جدیدی ساخته شد؛ که در آن موقعیت چاه‌های فوق الذکر نمایش داده شده است. با تولید این لایه اطلاعاتی جدید، تحلیل‌های زیر امکان پذیر خواهند بود:

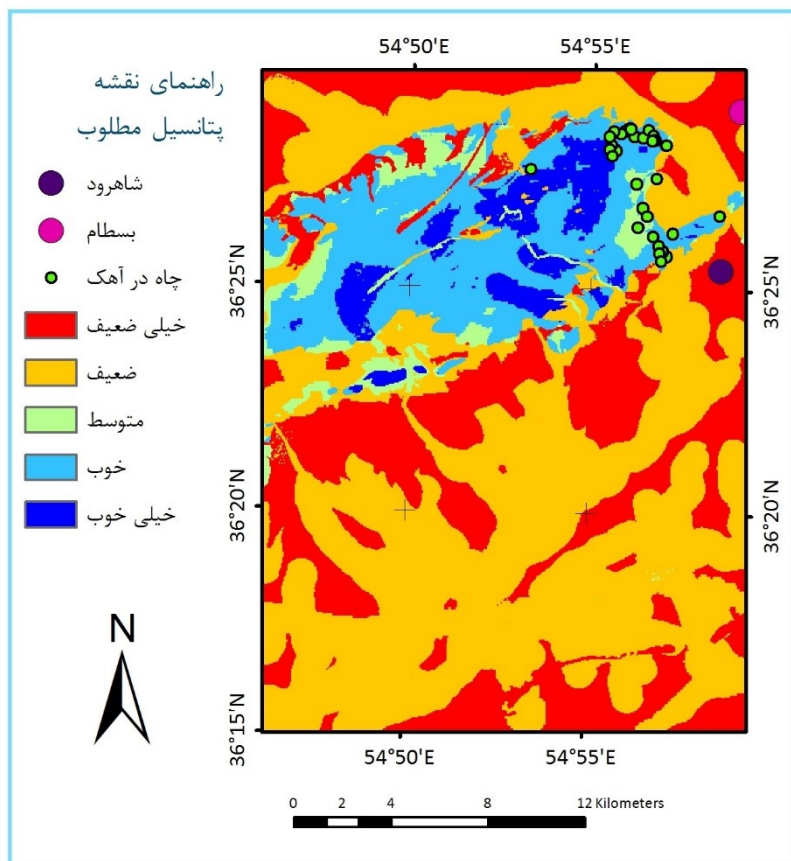
مقایسه نقشه‌های پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی تولید شده در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از روش‌های مختلف تلفیق و انتخاب بهترین روش تلفیق برای پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی. مقایسه نقشه‌های حاصل از روش‌های مختلف تلفیق و واقعیت موجود در منطقه و تجزیه و تحلیل آن‌ها. شکل (۵-۱) موقعیت چاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این شکل چاه‌های بهره‌برداری و مشاهده‌ای با دبی مناسب در محیط‌های آهکی به منظور اعتبارسنجی نقشه‌های پتانسیل تفکیک شده و همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، محدوده این چاه‌های آهکی به عنوان مناطق مناسب دارای آب زیرزمینی شناخته می‌شوند.

با تلفیق لایه اطلاعاتی چاه‌های موجود در منطقه با نقشه پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی در محیط نرم افزار Arc GIS 10.3، این امکان فراهم می‌شود که بتوان مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی با مناطق با تراکم بالای چاه‌ها را با یکدیگر مقایسه نمود و میزان هم‌پوشانی آن‌ها را با یکدیگر بررسی کرد.



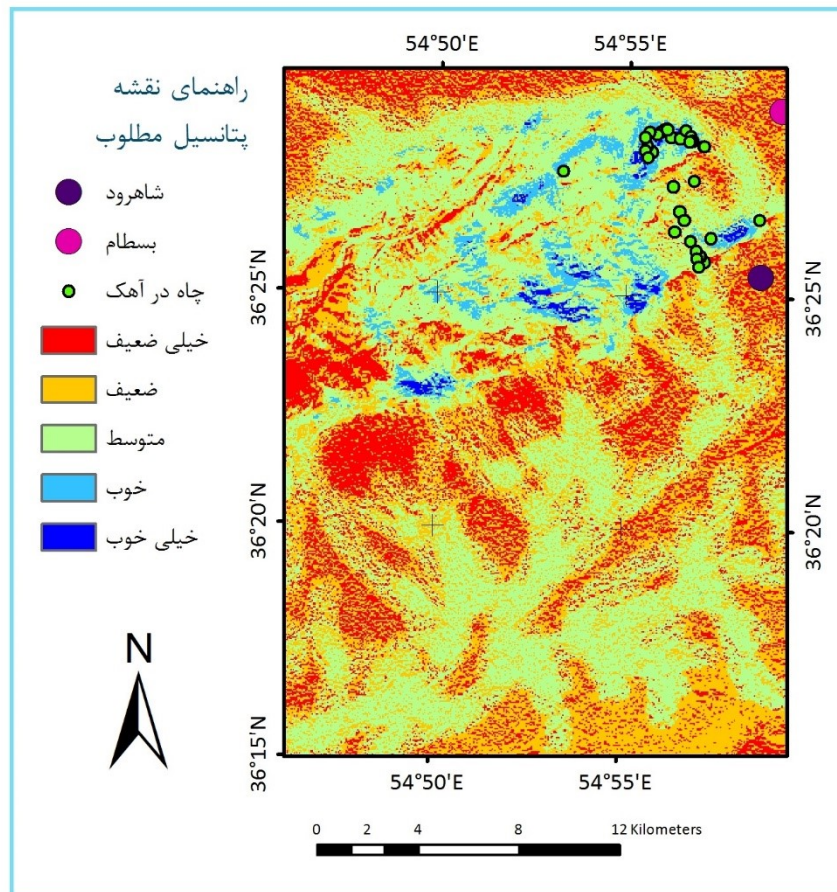
شکل (۵-۱): نقشه موقعیت چاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه.

در شکل نقشه پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی به روش شاخص هم‌پوشانی وزن دار به همراه موقعیت چاه‌های منطقه ارایه شده است. با توجه به این شکل چاه‌ها در مناطق پتانسیل خیلی خوب قرار گرفته است و با توجه به تقسیم‌بندی به روش فرکتال چاه‌ها در مناطق خوب و خیلی خوب واقع شده‌اند. بنابراین می‌توان روش شاخص هم‌پوشانی وزن دار را روشی نسبتاً مناسب برای تهیه نقشه پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی دانست.

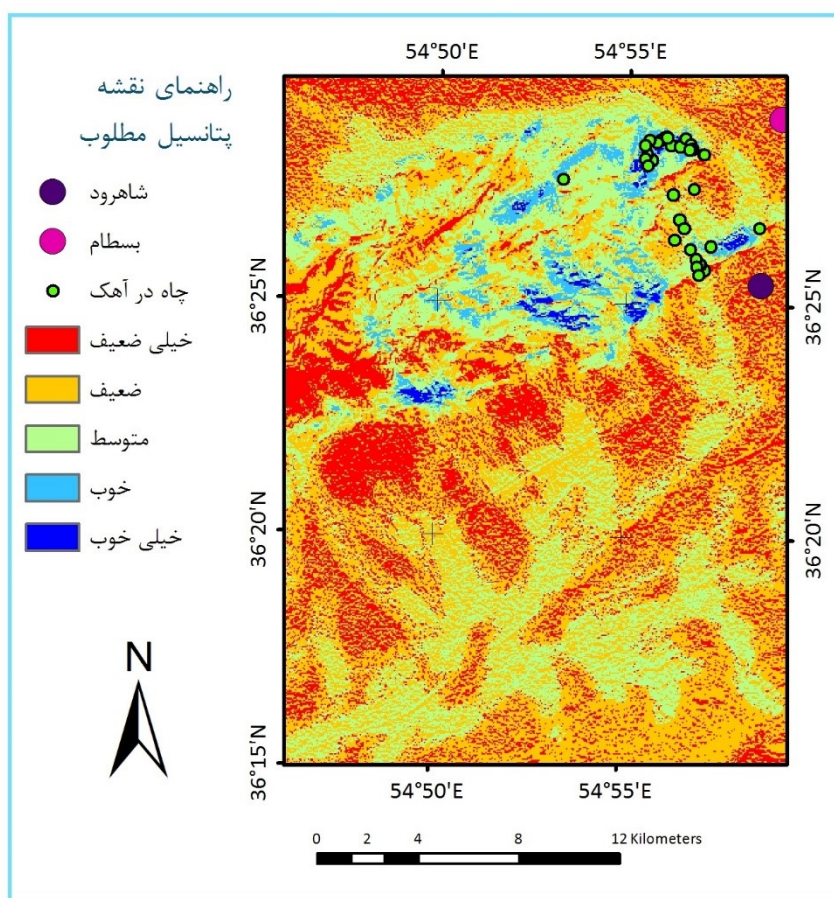


شکل (۵-۲): نقشه پتانسیل مطلوب حاصل از تلفیق به روش شاخص هم‌پوشانی وزن دار و تقسیم‌بندی فرکتال.

شکل‌های (۵-۳ و ۵-۴) نتایج حاصل از تلفیق به روش‌های فازی با استفاده از عملگر گاما با مقادیر ۰/۷۵ و ۰/۹۰ نشان می‌دهد، همان‌گونه که در شکل‌های مذکور مشاهده می‌شود، روش فازی گاما نتایج منظم و مشخص‌تری ارائه داده است که با داده‌های قطعی آب زیرزمینی هم‌خوانی دارد. با بررسی این نتایج می‌توان گفت که روش گاما نیز قابلیت به کارگیری برای تعیین منابع آب زیرزمینی را دارد. در انتخاب میزان عدد گاما برای به کارگیری این روش، مشاهده می‌شود که گامای ۰/۷۵ و ۰/۹۰ هم‌خوانی بالاتری، نسبت به سایر مقادیر گاما دارند. این موضوع با مقایسه نقشه‌های حاصل از تقسیم‌بندی به روش فرکتال نیز مشهود است.



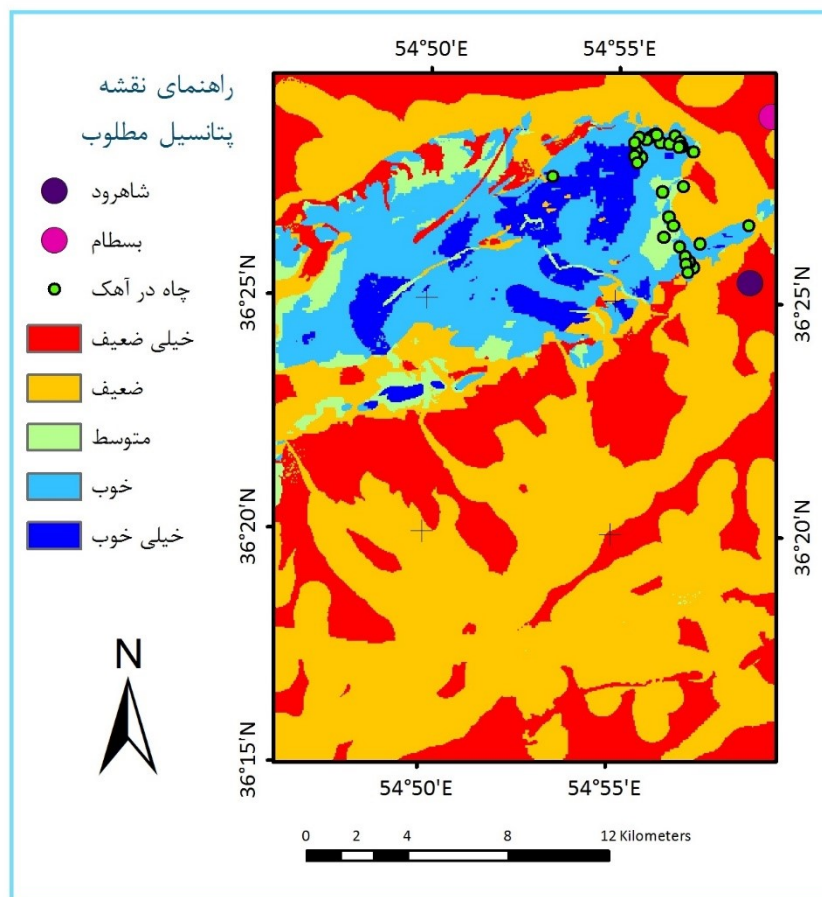
شکل (۵-۳): نقشه پتانسیل مطلوب حاصل از تلفیق به روش فازی با استفاده از عملگر $\Gamma 0.75$ و تقسیم‌بندی فرکتال.



شکل (۵-۴): نقشه پتانسیل مطلوب حاصل از تلفیق به روش فازی با استفاده از عملگر $\Gamma 0.90$ و تقسیم‌بندی فرکتال.

برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، علاوه بر روش‌های شاخص هم‌پوشانی وزن دار و فازی، روش تحلیل سلسله مراتبی نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت؛ تا بهترین روش تلفیق لایه‌های اطلاعاتی بر اساس مقایسه با واقعیت موجود تعیین گردد.

نتایج حاصل از تلفیق به روش تحلیل سلسله مراتبی نشان می‌دهد این روش نسبت به سایر روش‌ها کمی خوش بینانه‌تر بوده است. همان‌طور که در شکل (۵-۵) مشاهده می‌شود، روش تحلیل سلسله مراتبی مناطق وسیع‌تری را به عنوان مناطق پتانسیل خیلی خوب نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود با استفاده از تقسیم‌بندی فرکتال می‌توان محدوده پتانسیل مطلوب را محدود کرد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این روش نیز برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی محدوده مورد مطالعه قابل استفاده است.



شکل (۵-۵): نقشه پتانسیل مطلوب حاصل از تلفیق به روش AHP و تقسیم‌بندی فرکتال.

۵-۲- نتیجه‌گیری

به طور کلی هدف اصلی بررسی‌های دور سنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در آب‌های زیرزمینی، شناسایی مناطق پتانسیل مطلوب و تمیز دادن آن از مناطق فقیر آب زیرزمینی است. به منظور دستیابی به این هدف اقدام به جمع‌آوری داده‌های اولیه نظیر داده‌های ماهواره لندست ۸ و توپوگرافی و ... شد. با طی مراحل آماده‌سازی داده‌های مذکور، به وسیله نرم افزار Arc GIS، نقشه‌های پارامترهای موثر در آب‌های زیرزمینی استخراج شد. در مرحله بعد، نقشه‌های مذکور به لایه‌های اطلاعاتی وزن‌دار تبدیل و در نهایت به روش‌های شاخص هم‌پوشانی وزن‌دار، فازی و تحلیل سلسله مراتبی با یکدیگر تلفیق شدند و نقشه‌های بدست آمده با استفاده از هندسه فرکتال و روش وزن - مساحت تقسیم‌بندی گردید. نقشه‌های پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی در منطقه صحرای جلالی شاهرود می‌باشد. سپس این نقشه‌ها

توسط نقشه رقومی چاه‌های آب در محیط‌های آهکی اعتبارسنجی شد. براساس اعتبارسنجی فوق نتایج آتی حاصل گردید:

فناوری سنجش از دور یک روش نوین و کارآمد در تعیین منابع آب زیرزمینی است. با این فناوری می‌توان در مناطق مختلف به بررسی منابع آب پرداخت و مناطق مناسب برای حفاری چاه‌های آب را تعیین نمود.

کارایی سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان یک ابزار با در نظر گرفتن روش‌های مختلف می‌تواند در تلفیق لایه‌ها مفید و سودمند باشد.

از این روش می‌توان در شناسایی مناطق جدید آب زیرزمینی و آب‌های سطحی استفاده کرد و همچنین در مدیریت منابع آب بهره برد.

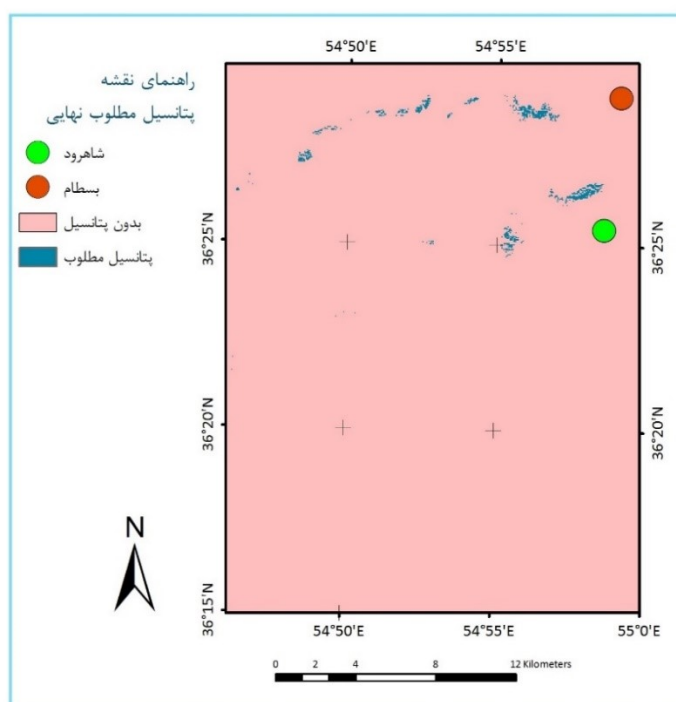
تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش‌های فازی با گامای ۰/۷۵ و ۰/۹۰ و روش تحلیل سلسله مراتبی و روش شاخص هم‌پوشانی وزن دار روش‌های مناسب برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی آب زیرزمینی تعیین گردیدند. روش‌های فازی با گامای ۰/۵۰ و ۰/۰۵ و روش شاخص هم‌پوشانی وزن دار روش‌های نسبتاً مناسب برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی شناخته شده‌اند. در نهایت روش‌های شاخص هم‌پوشانی ساده و روش‌های فازی با استفاده از عملگرهای AND, Or, Product, Sum روش‌های مطلوبی برای شناسایی منابع آب زیرزمینی نمی‌باشند.

استفاده از هندسه فرکتال و روش وزن - مساحت برای تقسیم‌بندی جوامع مختلف پتانسیل مطلوب بسیار سودمند ارزیابی گردید. با استفاده از این روش می‌توان به راحتی در مرحله نخست روش‌های تلفیق را با یکدیگر مقایسه نمود و روش نامناسب را با توجه به نوع توزیع داده‌ها شناسایی کرد. نتایج حاصل از تولید نقشه‌های رقومی پتانسیل آب زیرزمینی از لایه‌های اطلاعاتی مذکور، در محیط Arc GIS نشان می‌دهد که؛ ادغام سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، به عنوان یک راهکار موثر در شناسایی عوامل تاثیرگذار آب‌های زیرزمینی و تولید نقشه‌های رقومی این عوامل به شمار می‌رود.

ادغام این فنون راهکاری مناسب برای تولید لایه‌های اطلاعاتی از پارامترهای تاثیرگذار در آب‌های زیرزمینی و وزن‌دهی آن‌ها به شمار می‌آید. به کمک این روش‌ها، نقشه‌های رقومی مناسب و صحیح پتانسیل آب‌های زیرزمینی تهیه و تولید می‌شود. در نهایت با استفاده از منطق بولین و عملگر AND، مطابق با جدول (۵-۱) نقشه‌های پتانسیل مطلوب تهیه شده به روش‌های فازی با استفاده از عملگر گامای ۰/۹، شاخص هم‌پوشانی وزن‌دار و روش AHP را با یکدیگر تلفیق نموده و مناطق دارای پتانسیل مطلوب نهایی به دست می‌آید. با توجه به شکل (۵-۶) مناطق آبی رنگ در قسمت شمال و شمال‌غربی منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی است، مساحت این مناطق ۲،۴۹۰،۰۰۰ متر مربع می‌باشد.

جدول (۵-۱): ارزش‌گذاری نقشه‌های پتانسیل مطلوب به روش‌های مختلف تلفیق.

ارزش‌گذاری به روش بولین	تقسیم‌بندی مناطق دارای پتانسیل
۱	خیلی خوب
۱	خوب
۰	متوسط
۰	ضعیف
۰	خیلی ضعیف



شکل (۵-۶): نقشه نهایی پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی با استفاده از روش بولین و عملگر AND.

۵-۳- پیشنهادها

در این راستا پیشنهاد می‌شود: بررسی نقاط چاه‌های جدید، برای تایید یا رد نتایج حاصله از این تحقیق، انجام مطالعات گرانی‌سنجی و ژئوالکتریک در مناطق دارای پتانسیل مطلوب، بررسی روش با تلفیق دیگر داده‌ها مانند ژئوشیمی درون چاهی براساس تعیین کیفیت آب زیرزمینی و تعیین بهترین چاه‌های برای آب آشامیدنی و کشاورزی، انجام مطالعات مشابه در مناطق آبرفتی و استفاده از هندسه فرکتال برای تقسیم‌بندی لایه‌های اطلاعاتی.

منابع

آبشیرینی ا، (۱۳۸۰)، پایان نامه ارشد: "کاربرد تکنیک های سنجش از دور و GIS در شناخت و پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی کارست در تاقدیس پابده-لالی"، گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

آقاجانی ح و نعیمی ن، (۱۳۸۹) " بررسی های دور سنجی در محدوده برکه یکصد هزارم جبال بارز" سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

احمدنژاد ز، کلانتری ن، کشاورزی م، بوسلیک ز، سجادی ز، (۱۳۸۹)، " بررسی و ارزیابی کیفیت آب زیرزمین دشت زیرراه با استفاده از GIS"، چهاردهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه ارومیه.

اکبری ا و شکاری بادی ع، (۱۳۹۳) "پردازش و استخراج اطلاعات از داده های ماهواره ای با استفاده از نرم افزار ENVI" جلد اول، چاپ سوم، دانشگاه حکیم سبزواری.

بیک ف، (۱۳۸۸) "تهیه نقشه خطواره های ساختار زمین شناسی کوه بنگستان با استفاده از تصاویر ماهواره ای و تکنیک سنجش از دور"، نشریه اکتشاف و تولید، شماره ۶۵، ص ۴۶-۵۱.

بونهام کارتر گ، (۱۳۷۹) "سیستم های اطلاعات جغرافیایی برای دانش پژوهان علوم زمین (مدل سازی به کمک GIS)" جلد اول، ترجمه گروه اطلاعات زمین مرجع، چاپ اول، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ص ۵۶۴.

تخم چی ب، لطفی م، صیفی ح، حسینی م س، (۱۳۹۵) "ترکیب اطلاعات، رویکردی نوین جهت تصمیم گیری در زمین شناسی، مهندسی معدن و نفت"، چاپ اول، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

جاهدی ف و فرخی ش، (۱۳۷۵) " مبانی سنجش از دور" مرکز سنجش از دور ایران.

خدایی ک، (۱۳۸۰)، پایان نامه ارشد: "نقش نمایانگرهای آب های زیرزمینی در شناسایی منابع کارستی حوضه نمونه ارومیه با استفاده از GIS" دانشکده علوم، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

خداری ا، (۱۳۹۰)، پایان نامه ارشد: "تلفیق اطلاعات سنجش از دور و GIS برای پیشرفت توسعه کارست با تحلیل هیدروگراف چشمه ها در تاقدیس پیون"، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم تهران.

خضایی م و رضایی م، (۱۳۹۰)، " تعیین مناطق مستعد برای بهره برداری از منابع آب زیرزمینی شهرستان بوانات با استفاده از عکس های ماهواره ای و GIS"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ایران.

حسنى ف، (۱۳۹۴)، "کاربرد فناوری ژئوانفورماتیک در توسعه پایدار"، اولین همایش بین المللی و چهارمین همایش ملی گردشگری، جغرافیا و محیط زیست پایدار، همدان، ایران.

داوودآبادی م (۱۳۹۲)، پایان نامه ارشد: "تهیه نقشه پتانسیل مطلوب آب های زیرزمینی در محیط های آهکی در غرب شاهرود"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

دماوندی ع، رضایی ف، پناهی م، (۱۳۹۰)، "پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی: حوزه آبخیز سله بن" دومین همایش علوم زمین.

رحیمی د، (۱۳۹۰) "پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت شهرکرد)" مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره ۴، ص ۱۳۷-۱۴۲.

رحیمی د و موسوی س ح، (۱۳۹۲) "پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شاهرود- بسطام)" نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۷، شماره ۴۴، ص ۱۳۹-۱۵۹.

رنجبر ح، (۱۳۹۲) "کاربرد دورسنجی در اکتشافات معدن" دانشگاه شهید باهنر کرمان.

رنگزن ک، سرافراز ع، (۱۳۹۰) "بررسی عملکرد سیستم شکستگی سازند کنگلومرای بختیاری بر آبخوان دشت پلی - میانرودان با استفاده از تصاویر ماهواره ای و جی آی اس"، اهواز، سازمان آب و برق خوزستان.

زورش ن، واعظی ع، کریمی ح، (۱۳۹۳) "ارزیابی پتانسیل توسعه کارست در تاقدیس کبیرکوه استان ایلام با استفاده از تلفیق روش فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سنجش از دور و GIS"، نشریه پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، دوره ۳، ص ۱۴۴-۱۵۷.

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، (۱۳۸۳) "گزارش وضعیت منابع آب کشور"، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.

سپند س، چیت سازان م، رنگزن ک، میرزایی ی، (۱۳۸۶)، "تلفیق سنجش از دور و GIS در پتانسیل یابی آب زیرزمینی محدوده لالی"، همایش ژئوماتیک تهران.

شریفی ف، (۱۳۹۱)، پایان نامه ارشد: "اکتشاف آب های زیرزمینی کارستی در منطقه جنوب غربی تپال شاهرود با استفاده از مدل سازی با روش عددی اجزا محدود و معکوس سازی داده های ژئوالکتریک"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

شکری م، (۱۳۹۰)، پایان نامه ارشد: "بررسی توسعه کارست در حوضه آبرگیر چشمه علی دامغان با تلفیق مطالعات هیدروژئولوژیکی، GIS و RS"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

صابری ع، رنگزن ک، مهجوری ر، کشاورزی م ر، (۱۳۹۱) "پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با تلفیق سنجش از دور و GIS به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در تاقدیس کمستان استان خوزستان"، نشریه زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۶، ص ۱۱-۲۰.

صداقت م، (۱۳۸۷) "زمین و منابع آب"، جلد اول، چاپ پنجم، انتشارات پیام نور.

صمدی ر، بهمنش ج، رضایی ح، (۱۳۹۲) "ارزیابی پتانسیل کیفی آب زیرزمینی جهت مصارف آب شرب با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: دشت ارومیه)"، نشریه علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی و کشاورزی)، شماره ۳، دوره ۳۸، ص ۱۱۷-۱۲۷.

طاهری تیزرو ع، (۱۳۸۴) "آب های زیرزمینی"، چاپ اول، انتشارات فن آوران، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ص ۳.

عبادیان س، (۱۳۸۱)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی عوامل موثر در پتانسیل آب های کارستی کوه های گر و برم فیروز در استان فارس با استفاده از اطلاعات رقومی ماهواره ای و روش های سنجش از دور و GIS"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز.

فاطمی س ب و رضایی ی، (۱۳۸۵) "مبانی سنجش از دور" چاپ اول، تهران، انتشارات آزاده.

فولادی منصوری م، فرخ زاده ب، یوسفی م، (۱۳۹۵)، "ارایه شبکه استنتاج الگوهای پتانسیل یابی مکانی تغذیه مصنوعی آب های زیرزمینی با استفاده از روش فازی داده محور"، پنجمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار.

قبادی م ج، (۱۳۸۶) "زمین شناسی مهندسی کارست"، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان.

قدوسی پور ح، (۱۳۸۷) "فرآیند تحلیل سلسله مراتبی"، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

کاظمی ر، غیومیان ج، جلالی ن، (۱۳۸۵) "بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب در منطقه کارستی لار با استفاده از سنجش از دور و GIS"، نشریه پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۳، ص ۳۴-۴۱.

کردوانی پ، (۱۳۷۰) "ژئوهیدرولوژی در جغرافیا" انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

کریمی وردجانی ح، (۱۳۸۹) "هیدروژئولوژی کارست، مفاهیم و روش‌ها" چاپ اول، انتشارات ارم شیراز، شیراز.

کوثر ن، (۱۳۷۲)، پایان نامه ارشد: "بررسی هیدروژئولوژیکی و غارشناسی غار شاپور، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز.

ماه گلی ا، چیت سازان م، میرزایی ی، (۱۳۹۰)، "پتانسیل یابی آب زیرزمینی در سازندهای سخت با استفاده از GIS و سنجش از دور، مطالعه موردی: شمال حسینییه"، همایش ژئوماتیک ۱۳۹۰.

محمد نژاد آروق و، اصغری ص، گل محمدزاده، ب، (۱۳۹۲) "تهیه نقشه مناطق مستعد آب های زیرزمینی با استفاده از GIS و MIF مطالعه موردی: شهرستان ارومیه"، نشریه پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳، ص ۴۵-۵۸.

محمدی ا و کاظمی غ ع (۱۳۹۰)، "تاثیر سازندهای زمین شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت شوقان (خراسان شمالی)"، نشریه علوم زمین، سال ۲۳، شماره ۹۰، ص ۵۵-۶۲.

محمودی ف، (۱۳۸۵) "ژئومورفولوژی ساختمانی"، چاپ هشتم، انتشارات پیام نور.

مسعودیان، ا و کاویانی، م، (۱۳۸۶) "اقلیم شناسی ایران"، انتشارات دانشگاه اصفهان، ص ۸۲.

ملکیان ع ر، (۱۳۹۱)، پایان نامه ارشد: "تهیه نقشه پتانسیل مطلوب منابع آب زیرزمینی حوزه آبریز بسطام در محیط GIS"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

ملکی ر، مختارزاده م، آبکار ع، ولدان زوج م، غفوری ع، ملکی م، (۱۳۹۲) "تهیه نقشه زمین شناسی شکستگی ها و خطواره ها اط تصاویر چندطیفی و تصاویر رادار روزنه ترکیبی SAR (مطالعه موردی تصویر منطقه کلات نادری)" مجله اکتشاف و تولید نفت و گاز، ص ۹۲-۱۰۰.

موسوی س ف، چیت سازان م، میرزایی ی، شبان م، محمدی بهزاد ح ر، (۱۳۸۸)، "تلیف سنجش از دور و GIS به منظور پتانسیل یابی مناطق مناسب جهت تغذیه آب زیرزمینی، مورد مطالعه: محدوده تاقدیس کمستان"، همایش و نمایش ژئوماتیک ۱۳۸۸، تهران.

مینویی ا، (۱۳۸۸)، پایان نامه ارشد: "نقش شکستگی ها در جریان آب زیرزمینی در منطقه کارستی کوه های شاهرود کردستان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

نوروزی ح، (۱۳۹۳)، پایان نامه ارشد: اکتشاف آب زیرزمینی با استفاده از مدل سازی و تفسیر داده های مقاومت ویژه و تهیه نقشه پتانسیل آب با تلفیق اطلاعات موجود به روش منطق فازی در GIS (مطالعه موردی دشت دامغان)"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

وانگ ال ایکس، (۱۳۷۸) "سیستم های فازی و کنترل فازی" جلد اول، تشنه لب م، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ص ۲۳.

وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۸۰) "سامانه موقعیت یاب جهانی (GPS) و کاربردهای آن" معاونت برنامه ریزی اقتصادی، دفتر آمار و فناوری اطلاعات.

وزیری س ح، (۱۳۸۰) "گزارش نقشه زمین شناسی یک صد هزارم شاهرود" سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

یوسفی سنگانی ک، محمدزاده ح، اکبری م، (۱۳۹۳) "ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی با روش تلفیق فازی و مدل تحلیل سلسله مراتبی، مطالعه موردی: شمال خاوری رشته کوه های هزارمسجد، استان خراسان رضوی"، فصلنامه بین المللی پژوهش تحلیلی منابع آب و توسعه، سال دوم، شماره ۴، ص ۱۲۷-۱۴۱.

Abdalla F. (2012) "Mapping of Groundwater Prospective Zones Using Remote Sensing and GIS Techniques: A Case Study from the Central Eastern Desert, Egypt", **J. of African Earth Sciences.**, 70, 70, pp 8-17.

Abdel-Khalek A., and Omran A., (2008) "Integration of remote sensing, geophysics and GIS to evaluate groundwater potentiality, A case study in sohag region, Egypt", ICWR3.

Alsaud M. (2009) "Using satellite imageries to study drainage pattern anomalies in Saudi Arabia" **J. of. Enviroment Hydrology.**, 15,3, pp1-15.

Anuradha C. T. and Prabhavathy S. (2010) "Water resources management for Virudhunagar district using Remote Sensing and GIS" **International J. of. Earth Sciences and Engineering.**, 3,1, pp55-61.

Belkin N. J. Oddy R. N. Brooks H. M. (1982) "Ask; for information retrieval part I: Background and theory" **J. of. Documentation.**, 38, 2, pp61-71.

Belnap N. D. and Steel T. D. (1976) "**The Logic of question and answers**" Yale university Press.

Bertolini M. Braglia M. Carmignani G. (2006) "Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract" **International J. of. Project Management**, 24, pp 422-430.

Bishop C.M. (2006) "Pattern Recognition and Machine Learning". Springer Science+ Business Media. LLC, 233 Spring Street, New York, NY 10013, USA.

Bogli A. (1980), "**Karst hydrology and physical speleology**" New York: Springer, pp270.

Bonham-Carter G.F. (1994), "Geographic information systems for Geoscience: Modelling with GIS" Pergamon, Ontario.

- Bonham- Carter G. F. (1995), "Geological application of GIS mineral potential mapping", Cooperative Research Center for Australian Mineral Exploration Technologies, (CRCAMET), Department of exploration Geophysics, Curtin University of Technology, Western Australia.
- Boobalan C. and Gurugnanam B. (2016) "Mapping of groundwater potential zones in Sarabanga Sub-basin, Cauvery River, South India using remote sensing and GIS techniques" **Indian J. of Applied Research.**, 6, 2, pp 364-369.
- Bowen W. M. (1990) "Subjective Judgments and Data Environment Analysis in Site Selection, Computer" **J. of Environment and Urban Systems.**, 14, pp133-144.
- Burrough P.A. (1986), "**Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**", Oxford University Press, New York, pp50.
- Carranza E. J. M. (2002), "Geologically- Constrained mineral potential mapping", International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Philippines.
- Carranza E. J. M. (2008), "**Geochemical Anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS**", Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, Vol 11, Elsevier, Amsterdam.
- Celico F. Petrella E. Celico P. (2006) "Hydrogeological behaviour of some fault zones in a carbonate aquifer of Southern Italy: an experimentally based model" **J. of Terra Nova.**, 18, pp308–313.
- Champati-ray P .K. Dimri S. Lakhera R. C. Sati S. (2007) "Fuzzy- based Method for Landslide Hazard Assessment in Active Aeismic Zone of Himalaya" **J. of Landslides**, 4., pp 101-111.
- Chavez P.S. Jr. Kwarteng A. Y. (1989) "Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper data using selective Principal Component Analysis.Photogrammetric" **J. of Engineering & Remote Sensing.**, 55, pp339-348.
- Cheng Q. Agterberg F. P. Ballantyne S. B. (1994) "The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods" **J. of .Geochemical Exploration**, 51., pp 109–130.
- Cheng Q. and Agterberg F. P. (1996) "Multifractal modeling and spatial statistics" *J. of Mathematical Geology.*, 28,1, pp1-16.
- Chenini I. Ben M. A. (2010) "Groundwater Recharge Study in Arid Region: An Approach Using GIS Techniques and Numerical Modeling" **J. of. Computers & Geosciences.**, 36, pp801-817.
- Chowdhury A. Jha M. K. Chowdary V. M. (2010) "Delineation of Groundwater Recharge Zones and Identification of Artificial Recharge Sites in West Medinipur District, West Bengal, Using RS, GIS and MCDM Techniques" **J. of Environmental Earth Science** 59, 6, pp 1209-1222.

Cimren E. Catay B. Budak E. (2007) "Development of a Machine Tool Selection System Using AHP", **I. J. of. Advanced Manufacturing Technolxgy.**, **35**, pp**363-376**.

Dailey D. Sauck W. Sultan M. Milewski A. Ahmed M. (2015) "Geophysical, remote sensing, GIS, and isotopic applications for a better understanding of the structural controls on groundwater flow in the Mojave Desert, California" **J. of. Hydrology: Regional Studies.**, **3**, pp **211-232**.

Dewandel B. Lachassagne P. Wyns R. Maréchal J. C. Krishnamurthy N. S. (2006) "A generalized hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering" **J. of. Hydrology.**, **330**, pp**260–284**.

Dey P. K. and Ramcharan E. K. (2000) "Analytic Hierarchy Process Helps Select Site for limestone Quarry Expansion in Barbados" **J. of. Environmental Management.**, **88**, pp **1384-1395**.

Haridas V. R. Aravindan S. Girish G. (1998) "Remote Sensing and its Applications for Groundwater Favourable Area Identification" **Quarterly J. of. GARC**, **6**, **6**, pp **18-22**.

Farouk E. B., and Fielding L., (1992). "Groundwater Potential of the Sinai Peninsula Egypt", Boston University. Center for Remote Sensing Boston University.

Farouk E. B. Ledwith M. (2000), "Using Satellite Images for Groundwater Exploration in the Sultanate of Oman", Center for Remote Sensing Boston University.

Farouk E. B. Ozdogan M. (2006) "Use of Space Images for Groundwater Exploration in the Northern United Arab", Center for Remote Sensing Boston University.

Floyd F. (1999) "Remote sensing for mineral exploration" **Remote sensing Enterprises**, Ore geology reviews, pp**157-183**.

Ford D. and Williams p. (2007), "**karst Hydrogeology and geomorphology**", John Wiley & Son Ltd, England, pp**1-562**.

Foster S., (1998) "Groundwater: Assessing vulnerability and promoting protection of a threatened resource", SWS8 , P79-90, Stockholm, Sweden.

Ganapuram S. Kumar G. Krishna I. Kahya E. Demirel M. (2008) "Mapping of Groundwater Potential Zones in the Musi basin Using Remote Sensing and GIS" **J. of. Advances in Engineering Software.**, **40**, **7**, pp **506-518**.

Gintamo T T., (2010), M.Sc.Thesis, "Groundwater potential elevation based on integrated GIS and Remote Sensing techniques, in Bilate River catchment: South Rift Valley of Ethiopia", University of Addis Ababa.

Gooijer J. and Hyndman R. (2006) "25 Years of Time Series Forecasting", **International J. of. Forecasting.**, **2**, pp **443- 473**.

Goyal S. K. Chaudhary B. S. Singh O. Sethi G. K. Thakur P. K. (2010) "Variability analysis of groundwater level study, Kaithal District, Harayana" **J. of. Indian Society of Remote Sensing.**, **38**, pp **355 - 364**.

Gupta M. and Srivastava P. k. (2010) "Integrating GIS and remote sensing for identification of groundwater potential zones in the hilly terrain of Pavagarh, Gujarat, India" **J. of. Water International.**, **35,2**, pp233-245.

Jensen J. R. (1996) " Introductory Digital Image Processing: A remote sensing perspective" **NJ. Of. Prentice-Hall.**,**2**, pp60-61

Kaymak U., (1998), PhD. Thesis,"Fuzzy Decision making with control application", Delft University of Technology.

Kaymak U. Sousa J. M. (2003), "**Weighted constraint aggregation in fuzzy optimization**", Kluwer Academic Publishers.

Khan M. A. Sharma M. (2003) "Estimation of Groundwater Potential in Indian arid Environment Using Isopach Mapping Technique" **J. of. Geol. Soc. India.**, 61, pp **403-410**.

Krishnamurthy J. Mani A. Jayaraman V. Manive M. (2000) "Groundwater Resources Development in Hard Rock Terrain an Approach Using Remote Sensing and GIS Techniques" **International J. of. Applied Earth Observation and Geoinformation.**, **2, 3/4**, PP204–215.

Kumar A. (1999) "Sustainable utilization of water resources in watershed perspective—a case study in Alaunja watershed, Hazaribagh, Bihar Photonirvachak" **J. of. Indian Soc Remote Sens.**, **27**,pp13–22.

Kumar Ghosh P. Bandyopadhyay S. Chandra Jana N. (2015) " Mapping of groundwater potential zones in hard rock terrain using geoinformatics: a case of Kumari watershed in western part of West Bengal" **J. of. Model. Earth Syst.**, Environ, Springer International Publishing Switzerland.

Madank. J. Kamii. Y. Chikamori. K. (2008) "Cost-Effective Approaches for Sustainable Grounwater Management in Alluvial Aquifer System Ms" **J. of. Water Resources Management.**

Madan. K. Alivia. C. Chowdary. V. Peiffer. S. (2007) " Groundwater management and development by integrated remote sensing and GIS, Prospect and Constrains" **J. of. water resource management.**, **21**, pp427-467.

Mather P.M. (1999) "Computer processing of remotely sensed data", First Edition Taylor & Fronicis.

Magesh N. S. Chandrasekar N. Vetha Roy D. (2011) "Spatial analysis of trace element contamination in sediments of Tamiraparani estuary, southeast coast of India" **J. of. Estuarine, Coastal and Shelf Science.**, **92**, pp **618-628**.

Magesh N. S. Chandrasekar N. Soundranayagam J. P. (2012) "Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques" **J. of. Geocience Frontiers.**, **3,2**, pp189-196.

- Mattikalli N. M. Devereux B. J. Richards K. S. (1995) "Integration of remote sensed satellite images with a GIS" **J. of. Computers and Geosciences.**, **21,8**, pp 947–956.
- Milanovic P. T. (1981) "**Karst Hydrology**" WRP, Colorado, USA, P 434.
- Mishra R.C., Biju C., Naik R.nD., (2010) "Remote Sensing and GIS for Groundwater Mapping and Identification of Artificial Recharge Sites", GEG, P216-223 China.
- Mohanty. C. Behera. S. C. (2012) "Integrated remote sensing and GIS study for hydrogeomorphological mapping and delineation of groundwater potential zones in khallikote block, Ganjam district, Orissa" **J. of. The Indian Society of Remote sensing.**, **38, 2**, pp345-354.
- Moreno-Jiminez J. M. Joven J. A. Pirla A. R. Lanuza A. T. (2005) "A Spreadsheet Module for Consistent Consensus Building in AHP Decision Making" **J. of. Group Decision and Negotiation.**, **14**, pp89-108.
- Murugesan V. Krishnaraj S. Kannusamy V. Selvaraj G. Subramanya S. (2012) "Groundwater Potential Zoning in Thirumanimuttar Sub-Basin Tamilnadu, India—A GIS and Remote Sensing Approach" **J. of. Geo-spatial Information Science.**, **14, 1**, pp 17-26.
- Nadun S. N. E. M., Maarof I., Ghazali, R., Samad A. M., Adnan R., (2010), "Sustainable groundwater potential zone using remote sensing and GIS", CSPA, pp21-23.
- Legg C.A. (1994) "**Remote sensing and geographical information systems: Geoligcal mapping, Mineral exploration and mining**", Ellis Horwood, NewYork, pp166.
- Li C. Ma T. Shi J. (2003) "Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background" **J. of. Geochemical Exploration.**, **77**, pp167-175.
- Lopez H. J. and Zink. J. A. (1991) "GIS-Assisted Modeling of Mass Movements" **Ite Journal.**, pp 4.
- 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", **J. of. Hydrology.**, **399**, pp158-172.
- Ozcan R. (2007) "Assessment of the water quality of troia for the multipurpose usages" **J. of. Environmental Monitoring and Assessment.**, **130**, pp 389-400.
- Preeja K. R. Sabu J. Jobin T. Vijith. H. (2011) "Identification of a Tropical River Basin (Kerala, India) Using Remote Sensing and GIS Techniques" **J. of. Indian Society of Remote Sensing.**, **39,1**, pp83-94.
- Raeisi E. Kowsar N (1997) "Development of shahpour cave, southern iran" **J. of. Cave and Karst of Science.**, **24, 1**, pp27-34.
- Rafiee A., (2005) "Separating geochemical anomalies in stream sediment media by applying combination of fractal concentration-area model and multivariate analysis (Case

study: Jebal-e-Barez 1:100,000 Sheet, Iran)", 20th World Mining Congress Proceeding, pp. 461 -470, National Geosciences Database of Iran.

Rao P.J. Harikrishna P. Srivastav S.K. Satyanarayana P. V. V Rao B. V. D. (2009) "Selection of groundwater potential zones in and around Madhurawada Dome Visakhapatnam District A GIS approach" **J. of. Geophysic Union., 13, 4**, pp 191-200.

Richards J. A. (1995), "**Remote sensing digital image analysis: An introduction**", 2 Edition, Springer.

Saaty T. L. (1986) "Axiomatic Foundation of Analytical Hierarchy Process" **J.of. Management Science., 31, 7**, pp841-855.

Saaty T. L. (1994) "Highlights and Critical Points in the Theory and Application of the Analytical Hierarchy Process" **European J. of. Operational Research., 74**, pp426-447.

Sabins F. F. (1987) "**Remote Sensing Principles and Interpretation**" San Francisco, Calif.: W.H. Freeman, 449pp.

Saraf A. K. and Choudhury P. R. (1998) "Integrated remote sensing and GIS for ground water exploration and identification of artificial recharge sites" **International J. of. Remote Sensing., 19,10**, pp 1825-1841.

Schot P. P. and Van der Wal J. (1992) "Human impact on regional groundwater composition through intervention in natural flow Pattern and changes in land use" **J. of. Hydrology., 134**, pp 297-313.

Singh A. K., Prakash S. R., (2003) "An Integrated Approach of Remote Sensing, Geophysics and GIS to Evaluation of Groundwater Potentiality of Ojhala Subwatershed, Mirzapur District, UP, India", MIC, India.

Sharma M. P. Kujur A. Sharma U. (2012) "Identification of groundwater prospecting zones using remote sensing and GIS techniques in and around Gola block, Ramgargh district, Jharkhand, India" **International J. of. Scientific and Engineering Research., 3, 3**, pp1- 06.

Sreedhar G. Vijaya Kumar G. T. Murali Krishna I. V. Ercan K. Cüneyd D. M. (2009) "Mapping of Groundwater Potential Zones in the Musi Basin Using Remote Sensing Data and GIS" **J. of. Advances in Engineering Software., 40, 7**, pp 506 –518.

Thomas A. Sharma P. K. Sharma M. K. Sood Anil. (1999) "Hydrogeomorphological Mapping in Assessing Groundwater by Using Remote Sensing Data, Case Study in Lehra Gage Block, Sangrur District, Punjab" **J. of. Indian Society of Remote Sensing., 27, 1**, pp 31-42.

Tiwari A. Rai B. (1996) "Hydromorphological Mapping for Groundwater Prospecting Using Landsat - MSS Images, Case Study of Part of Dhanbad District, Bihar" **J. of. Indian Society of Remote Sensing., 24, 3**, pp 281-285.

White W. B. (1988), "**Geomorphology and hydrology of karst terrains**", New York: Oxford University Press, pp464.

Yousefi M. Kamkar-Rouhani A. Carranza E.J.M. (2013). "Application of staged factor analysis and logistic function to create a fuzzy stream sediment geochemical evidence layer for mineral prospectivity mapping" **Geochemistry: Exploration, Environmental, Analysis**. First published August 16, 2013; doi10.1144/geochem2012-144.

Yousefi M. and Carranza E. J. M. (2015) "Fuzzification of continuous-value spatial evidence for mineral prospectivity mapping" **J. of. Computers & Geosciences**, 74, pp97-109.

Yousefi M. and Nykanen V. (2015), "Data-driven logistic-based weighting of geochemical and geological evidence layers in mineral prospectivity mapping" **J. of. Geochemical Exploration**, pp1-13.

Zimmerman H. J. and Zysno P. (1980) "Latent connectives in human decision making" *Exploration in the Northern United Arab*", Center for Remote Sensing Boston University.
Whilliams P. W. (1983) "The role of the subcutaneous zone in karst hydrology" **J. of. Hydrology.**, 61, pp 45-67.

Abstract:

Considering the high water harvesting from the Jalali sahara aquifers in Shahrood and water shortages for various uses, Investigating the sources of Karstic water resources in the area as one of the most important sources of water supply is very necessary. The purpose of this research is to identify the potential of groundwater resources, especially in carbonate formations in the southern mountain range of Jalali sahara of Shahrood. In order to carry out the study, the required data such as geomorphology map of Shahrood, topographic digital map and satellite images of Landsat 8 were prepared.

After making the necessary corrections, satellite data processing was performed to get the right images. According to the final goal, the factors affecting the potential of groundwater such as rock units, linements, drainage, elevation, topography slope and direction of slope of the region were investigated. To Integrate the information and the resulting layers, we used the Arc GIS. For this work, digital maps of the effective factors were scored on the basis of different weights, and a compilation of information layer was made in the software environment. Then, to determine the most suitable areas, we used Index overlay methods, fuzzy method using Sum, Product, and, or, gamma and Analytic Hierarchy Process.

Based on the results of the integration, suitable areas were identified using simple Classification and fractal Geometry, then a final map of the groundwater potential in the study area was produced, after that Using the Boolean logic and AND operator, the final groundwater potential was identified. Finally, the data of wells in the area were used to validate the results. Accordingly, more than 90% of wells are located in proposed locations. So, it can be said that the use of satellite data and determining the correct selection of required information layers and the integration of information in GIS is a suitable method for identifying groundwater promising areas.

Keywords: Groundwater, Remote Sensing, Geographic Information System, Index Overlay, Fuzzy, Analytic Hierarchy Process.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics

Exploration Mining

**Geoinformatics Application for Assessing Groundwater Potential in the Southern
Mountain Range of Jalali Sahara of Shahrood**

Fateme Shahnama

Supervisor:

Dr. Alireza Arabamiri

Dr. Hamid Aghajani

September 2017