

ارائه یک روش ادغامی از داده‌های محیطی، زمین‌شناسی و سنجش‌ازدور در تحقیقات آب‌های زیرزمینی: مطالعه موردی دشت ساوه

حسن امامی^{۱*}، محراب صفری^۲

^۱ استادیار گروه نقشه برداری - دانشکده فنی و مهندسی مرند - دانشگاه تبریز
h_emami@tabrizu.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد

ممقان

mehrab_safari2011@yahoo.com

(تاریخ دریافت شهریور ۱۳۹۷، تاریخ تصویب تیر ۱۳۹۸)

چکیده

هدف از این تحقیق، ارائه روشی تلفیقی از داده‌های محیطی، زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای در پتانسیل‌یابی مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی در دشت ساوه می‌باشد. شناسایی چنین مناطقی، نیازمند شناخت دقیق عوامل و معیارهای مؤثر بر آن می‌باشد. برای این منظور، علاوه بر تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، نه لایه اطلاعاتی مرتبط با آب‌های زیرزمینی، استفاده گردیدند. سپس، این لایه‌ها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در سه حالت مختلف، جهت به حداقل رساندن خطاها، وزن‌دهی شده و با تلفیق لایه‌های وزن‌دار به روش‌های آمار مکانی، نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی در پنج طبقه با پتانسیل خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف شناسایی و تفکیک گردید. نتایج نشان داد که ۱۴/۵۰ درصد منطقه دارای پتانسیل خیلی کم، ۷/۵۰ کم، ۲۱ درصد متوسط، ۳۴/۵۰ درصد خوب و ۲۲/۵۰ درصد دارای پتانسیل خیلی خوب می‌باشند. نتایج همچنین نشان داد، پهنه‌بندی پتانسیل بالا بیشتر منطبق بر مناطقی با رسوبات آبرفتی درشت دانه و کنگلومرا و پهنه‌های بدون پتانسیل، منطبق بر مناطقی با سنگ‌های آتشفشانی و گرانیتی می‌باشند. برای اعتبارسنجی نتایج، از موقعیت چاه‌های پیژومتری در سال ۱۳۹۷ به تعداد ۶۲ چاه استفاده گردید که دقت ۷۴ درصدی موقعیت چاه‌ها را در مناطق با پتانسیل خیلی خوب نشان داد که بیانگر دقت خوب روش مورد استفاده می‌باشد. هر چند تعداد کمی از آنها نیز در سایر مناطق قرار داشت که این امر می‌تواند به علت زیاد بودن شیب این مناطق و رخنمون آب در آن مناطق شده باشند. بر اساس نتایج حاصل، گسترش آب‌های زیرزمینی بیشتر در قسمت‌های غرب، جنوب غربی، جنوب شرقی و مرکز منطقه مورد مطالعه حاصل گردید.

واژگان کلیدی: آب‌های زیرزمینی، سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش تلفیقی، دشت ساوه

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

رشد سریع جمعیت، توسعه کشاورزی و تغییرات اقلیمی در کشورهای مختلف از جمله ایران، موجب افزایش تقاضای آب های زیرزمینی برای مصارف خانگی، کشاورزی و صنعتی شده است. با افزایش تقاضای آب، بدست آوردن منابع آب های زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس بررسی های کمی، مدیریت صحیح و استفاده مناسب از آب های زیرزمینی، اهمیت می یابد. منشا اصلی آب های زیرزمینی بارش است، آب باران ممکن است مستقیماً به زمین نفوذ کند یا اینکه ابتدا به صورت رودخانه جریان یافته، یا بصورت آب ساکن و دریاچه درآمده و به تدریج وارد زمین شود. همچنین قسمتی از آب های زیرزمینی بر اثر ذوب برف و یخ موجود در سطح و نفوذ طبیعی آب حاصل از آن، به داخل زمین نیز تامین می شود. این آبها پس از ورود به زمین، فضاها و منافذ موجود در خاک را اشغال می کنند. همچنین، بخشی از آب های سطحی در اثر نیروی جاذبه وارد محیط مخلخل خاک شده و به سمت پایین حرکت می کنند. بنابراین، عامل اساسی شکل گیری آب های زیرزمینی، جاذبه زمین و خاصیت نفوذ آب به لایه های زیرین خاک است، تا جایی نفوذ می کند که دیگر امکان نفوذ وجود نداشته باشد و در آن محل متوقف می شود [۱]. عمق این لایه های غیر قابل نفوذ متفاوت بوده و همین موضوع دلیل اصلی تفاوت عمق منابع آب های زیرزمینی هستند. با اینکه آب های زیرزمینی مهم ترین منبع آب شیرین جهان هستند و تقریباً آب آشامیدنی دو میلیارد نفر مستقیماً از آب های زیرزمینی تامین می شود [۲]. با این حال، در بسیاری از مناطق جهان، منابع آب زیرزمینی تحلیل می روند، زیرا با سرعتی بیش از بارش باران و برف و فرو رفتن آنها در خاک، از زیرزمین برداشت می شوند. کاهش سطح آب های زیرزمینی منجر به کاهش ورود آب های زیرزمینی به رودخانه ها، تالابها و دریاچه ها می شود که باعث می گردد شاهد رودخانه هایی باشیم که خشک شده اند، تالاب هایی که دیگر پایدار نیستند و اکوسیستم های وابسته به آب زیرزمینی که آسیب دیده اند. بدیهی است، این ناپایداری و کاهش سطح آب های زیرزمینی به کاهش توسعه محلی منجر خواهد شد. بنابراین، به دلیل وابستگی شدید انسان به منابع آب های

زیرزمینی، شناسایی، مطالعه و مدیریت لایه های آبدار دارای اهمیت بسیاری است. از طرفی، با عنایت به نبود جریانات آب سطحی دائمی و یا حتی فصلی مهم در بسیاری از دشت های کشور، تنها منبع برداشت آب، استفاده از ذخایر آب های زیرزمینی است. بنابراین بررسی وضعیت این منابع و عوامل تأثیرگذار بر روی آنها از اهمیت شایانی برخوردار است. در طول چند دهه اخیر، جامعه علمی بین المللی علاقه زیادی به این موضوع نشان داده اند و در نتیجه، بسیاری از دانشمندان از روش های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای پتانسیل یابی منابع آب های زیرزمینی استفاده کرده اند. Sener و همکارانش [۳] در پژوهشی با استفاده از ترکیب سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به بررسی منابع آب های زیرزمینی منطقه بوردور ترکیه پرداختند. در این پژوهش با استفاده از باندهای انعکاسی تصاویر ماهواره لندست TM و نقشه های توپوگرافی و نقشه های بارش استفاده کردند. در نتیجه مناطقی مستعد آب های زیرزمینی را مشخص کردند. سعادت و خیام [۴] به بررسی تأثیر پخش سیلاب در آبخوان بر وضعیت کشاورزی و سطح سفره های آب زیرزمینی مناطق پایین دست حوضه آبخیز تسوج با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصاویر ماهواره ای لندست TM و ETM+ پرداختند. روش آنها بر اساس تفسیر تصاویر به روش تفسیر چشمی بر روی مانیتور انجام گرفت. نتایج حاصل از بررسی های تصاویر ماهواره ای نشان داد که میزان پوشش گیاهی در طول سال های بهره برداری از ۱۸٪ در قبل از بهره برداری از پروژه آبخوانداری به ۳۴/۴۳٪ افزایش یافته است. صابری و همکارانش [۵] به بررسی مناطق مناسب جهت تغذیه آب های زیرزمینی محدوده تاقدیس کمستان با استفاده از تلفیق سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. آنها از لایه های مؤثر نظیر زمین شناسی، ژئومورفولوژی، شکستگی ها، خاک شناسی، پوشش زمین، شیب و بارش استفاده کردند. آنها این لایه ها از تصاویر سنجنده ETM+، نقشه های توپوگرافی، زمین شناسی و گزارشات هواشناسی مربوط به منطقه مورد مطالعه استخراج کردند. وزن دهی به لایه های اطلاعاتی با استفاده از نظرات کارشناسی و تحلیل سلسله مراتبی انجام گرفت و پتانسیل آب های زیرزمینی نواحی مختلف تعیین گردید. در نهایت برای صحت سنجی نتایج بدست آمده نقشه

همکارانش [۱۰] در تحقیقی به بررسی گسترش آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل اسلوگر^۱ پرداختند. در این تحقیق ابتدا آنالیز حساسیت روی هر پارامتر مدل انجام گرفت. بر اساس تحلیل آنها، مشخص شد پارامتر شیب حساس‌ترین پارامتر مدل و پارامتر زمین‌شناسی کمترین حساسیت را داراست و سایر پارامترها نظیر میزان آب در تابستان، تراکم چاه، کیفیت آب و رواناب در مراحل بعدی قرار دارند. وزن موثر برای هر پارامتر با شاخص مدل اسلوگر^۲ تعیین گردید و در نهایت نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی تهیه شد. محمد نژاد و همکارانش [۱۱] در پژوهشی با ترکیب داده‌های سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم تصمیم‌گیری چند متغیره به تهیه نقشه مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی در محدوده شهرستان ارومیه پرداختند. نقشه‌های موضوعی هر یک از عوامل مؤثر بر آب‌های زیرزمینی، شامل: تراکم شبکه زهکشی، تراکم خطواره‌ها، توپوگرافی، سنگ‌شناسی، بارش و شیب مورد استفاده قرار گرفت و سپس نقشه مستعد آب‌های زیرزمینی در چهار طبقه بسیار خوب، خوب، ضعیف و بسیار ضعیف تهیه گردید. نتایج آنها نشان داد، مناطقی که دارای حداکثر تراکم شبکه زهکشی و رسوبات کواترنری هستند، از پتانسیل آب‌های زیرزمینی بسیار بالایی برخوردارند. در نهایت، مقایسه نقشه نهایی با پراکندگی چاه‌های پیژومتری و سطح ایستابی آن‌ها، مورد ارزیابی کیفی قرار گرفت. یمانی و علیزاده [۱۲] به پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبرده - اقلید یکی از زیرحوضه‌های کویر ابرقو - سیرجان پرداختند. در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی و نقشه‌های زمین‌شناسی و داده‌های اقلیمی استفاده شد. نتیجه پژوهش حاکی از آن بود که بیشترین مساحت حوضه از نظر پتانسیل آب‌های زیرزمینی با پتانسیل بالا در نواحی جنوب و جنوب شرق قرار دارند و نواحی بدون پتانسیل در مناطق کوهستانی جنوب‌غرب و شمال‌غرب حوضه قرار دارند. Oikonomidis و همکارانش [۱۳] در تحقیقی به بررسی پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی با استفاده از

پتانسیل آب‌های زیرزمینی بدست آمده با نقشه موقعیت و دبی چشمه‌های منطقه مقایسه گردید. نتایج آنها نشان داد که حدود ۵۰٪ منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل خیلی-خوب و خوب برای استخراج آب‌های زیرزمینی تشخیص دادند. رحیمی [۶] به پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی دشت شهرکرد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخت. در این پژوهش وزندهی لایه‌ها بر اساس روش دلفی صورت گرفت و با ترکیب لایه‌های اطلاعاتی متشکل از زمین‌شناسی، لیتولوژی، قابلیت تخلخل، توپوگرافی، شیب و شبکه آبراهه نقشه پتانسیل منابع آب‌های زیرزمینی تهیه شد. نتایج آنها نشان داد که ۵۹۰۰ هکتار دشت دارای پتانسیل بالا برای برداشت، تغذیه مصنوعی و مناسب برای حفر چاه، ۱۶۰۰ هکتار پتانسیل متوسط و ۴۸۰۲ هکتار دارای پتانسیل کم است. Elbeih [۷] به بررسی کلی عوامل تاثیرگذار آب‌های زیرزمینی کشور مصر با استفاده تصاویر ماهواره IRS و نقشه‌های موجود، لایه-های موضوعی زمین‌شناسی، خاک، شیب، تراکم خطواره، تراکم زهکشی و کاربری اراضی پرداختند. سپس با استفاده از همپوشانی وزنی نقشه مناطق دارای آب‌های زیرزمینی در سه طبقه بالا، متوسط و کم تهیه کردند. نتایج آنها بر مزیت ترکیب روش سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در پتانسیل‌یابی مناطق آب‌های زیرزمینی تاکید داشتند. خدایی و ناصری [۸] به بررسی گسترش آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور در منطقه ارومیه پرداختند. آنها با استفاده شاخص‌های تخلخل / نفوذ پذیری ثانویه مانند خطوط، پوشش گیاهی، سنگ‌شناسی، الگوی زهکشی، تراکم زهکشی و غیره و تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM+ و IRS نقشه‌های موضوعی تهیه کردند و از تکنیک‌های پردازش تصویر دیجیتالی مانند فیلتر کردن، ترکیب رنگی کاذب، تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی، طبقه بندی استفاده کردند. در نهایت با همپوشانی وزنی، نقشه مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی تهیه کردند. لشکری پور و همکارانش [۹] به بررسی کمی آب‌های زیرزمینی دشت قوچان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. لایه‌های مورد استفاده در تحقیق آنها عبارتند از: شیب، تراکم آبراهه، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و نوع خاک بوده است. نتایج آنها با استفاده از چاه‌های پیژومتری بدون ذکر مقدار کمی مورد ارزیابی قرار گرفت. Hammouri و

۱ SLUGGER-DQL

۲ SLUGGER-DQL index model

ترکیب سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه نوای یونان پرداختند. از داده های ورودی مانند بارش، سنگ شناسی، تراکم خطی، شیب، تراکم زهکشی و عمق آب های زیرزمینی استفاده کردند. سپس با وزن دهی به لایه های اطلاعاتی از طریق فرایند سلسله مراتبی معمول، نقشه مناطق مستعد آب های زیرزمینی را تهیه کردند. Selvam و همکارانش [۱۴] به بررسی آب های زیرزمینی هند با استفاده از ترکیب سنجش از دور و اطلاعات مکانی پرداختند با استفاده از تصاویر ماهواره ای و نقشه های موجود، لایه های موضوعی زمین شناسی، خاک، شیب، تراکم خطواره، تراکم زهکشی و کاربری اراضی تهیه شد. سپس با استفاده از همپوشانی وزنی، نقشه مناطق دارای آب زیرزمینی به صورت نقشه با سه طبقه بالا، متوسط و کم تهیه کردند. محمودی جم و همکارانش [۱۵] به پتانسیل سنجی منابع آب های زیرزمینی با رویکرد ترکیبی با الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات و سیستم اطلاعات مکانی در منطقه مهران پرداختند. سپس، با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات، هر یک از نقشه ها وزن دهی و با یکدیگر ترکیب شدند. نهایتاً آنها دو نقشه پتانسیل آب زیرزمینی، یک بار در حالتی که معادله بهینه سازی برابر با نقشه تراکم چاه قرار گرفت و بار دیگر برای حالتی که معادله بهینه سازی برابر نقشه آبدهی ویژه قرار گرفت، به دست آوردند. نتایج آنها نشان داد که ۲/۴۰ درصد از منطقه دارای پتانسیل بسیار زیاد از نظر منابع آب زیرزمینی می-باشد. Rahmati و Mellesse [۱۶] به کاربرد تئوری دمپستر-شفر، برای پتانسیل آب های زیرزمینی و تجزیه و تحلیل آلودگی نترات در منطقه سمیراد خوزستان پرداختند. آنها توسعه یک چارچوب روش شناختی مناسب برای تولید نقشه مناسب برای آب آشامیدنی از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و بررسی های میدانی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که نقشه کیفیت آب زیرزمینی دقت ۸۷،۷۶٪ را دارد و مناطق غیر قابل قبول بیشترین بخش مطالعه را با ۶۰ درصد پوشش تشکیل داده است. Nayak و همکارانش [۱۷] ویژگی های مختلف مانند ژئومورفولوژی، سنگ شناسی، توپوگرافی، نوع خاک و الگوی زهکشی بخشی از حوضه

ماهانادی هند را به منظور تعیین مناطق مناسب برای اکتشافات آب های زیرزمینی آینده، مورد مطالعه قرار دادند. آنها بر اساس وزن های مختلفی که به عوامل زمین شناسی، رواناب سطح، نفوذ و سایر عوامل اختصاص دادند و مشخص شد که حدود ۴۲ درصد از کل منطقه دارای پتانسیل خوبی از آب های زیرزمینی است، در حالی که حدود ۲۱ درصد از این منطقه چشم انداز نسبتاً ضعیفی داشتند. Gupta and Srivastava [۱۸] با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی مناطق دارای آب زیرزمینی کشور هند را با استفاده از داده های تراکم خطواره، تراکم زهکشی، مدل رقومی ارتفاعی، شیب و کاربری اراضی مشخص نمودند. پیری و بامری [۱۹] از سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت بررسی تغییرات زمانی و مکانی سطح آب های زیرزمینی دشت سیرجان با استفاده از روش های آماری در یک دوره ۱۰ ساله مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که سطح آب های زیرزمینی در بیشتر مناطق دشت افت داشته و در مناطق غربی سطح آب افزایش داشته است که باعث تغییر جهت آب زیرزمینی شده است. بهزادی کریمی و امیدوار [۲۰] مطالعه مهمترین پارامترهای شیمیایی موثر در کیفیت آب های زیرزمینی دشت بیضا-زرقان استان فارس را با استفاده از تکنیک تحلیل عاملی و برآورد توزیع مکانی پارامترهای کیفی به کمک تحلیل گر زمین آماری سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام دادند. با توجه به مطالعات انجام گرفته، به کارگیری توأم و مجزای تکنیک های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان تکنیکی قدرتمند برای نقشه برداری زیرزمینی و اکتشاف آب های زیرزمینی شناخته شده است [۲۱]. این تکنیک ها به علت توانایی در مدیریت اطلاعات، سرعت عمل و هزینه کمتر نسبت به روش های سنتی، ابزاری نیرومندی جهت این نوع مطالعات به شمار می روند. همچنین، تلفیق سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی علاوه بر کمک در زمینه کشف نواحی بالقوه برای اکتشاف آب های زیرزمینی، می تواند به برآورد کل منابع آب های زیرزمینی و انتخاب مکان های مناسب برای حفاری و تغذیه مصنوعی کمک کند [۲۲].

مقایسه تحقیقات قبلی نشان می دهد، سه تفاوت اساسی در آنها قابل مشاهده است. اولاً هر کدام از آنها در یک منطقه بخصوصی با شرایط خاص محیطی و زمین شناسی و اقلیمی بکار رفته است، لذا در آن مناطق لایه های اطلاعاتی متفاوتی

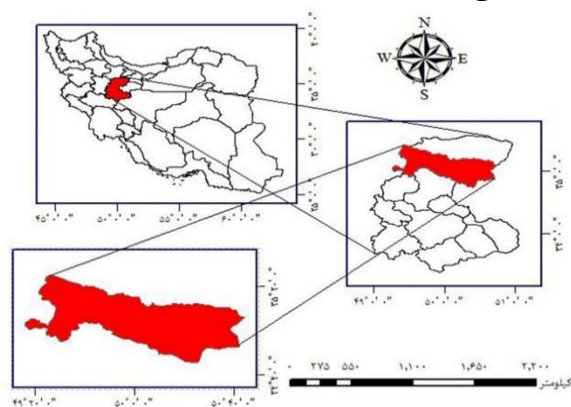
وجه تمایز آن با تحقیق‌های پیشین بیان شده است. در بخش دوم به منطقه مورد مطالعه، داده‌های تحقیق و پیش‌پردازش آنها پرداخته شده است. در بخش سوم، روش تحقیق و اجرای عملی آن تشریح شده است. در ادامه در بخش چهارم نتایج حاصل، آنالیز و بررسی گردیده است و در بخش نهایی به نتیجه‌گیری از پژوهش پرداخته شده است.

۲- منطقه مورد مطالعه، داده‌های تحقیق و

پیش‌پردازش آنها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به مساحت ۸۸۵۵ کیلومتر مربع در شمال استان مرکزی، بین عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۵ درجه ۳۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی واقع شده است. شکل ۱ محدوده جغرافیایی منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. این منطقه مطالعاتی به خاطر مجاورت با کویر و ارتفاعات کم، دارای آب و هوای گرم و خشک است و میزان بارندگی آن کم و حدود ۲۱۳ میلی متر در سال می‌باشد. بیشتر نقاط این منطقه، هموار و دشت می‌باشد. دشت ساوه با داشتن شبکه آبیاری و زهکشی از جمله حاصلخیزترین دشت‌های کشور می‌باشد. ۹۵ درصد آب سفره‌های زیرزمینی در این شهرستان برای مصارف کشاورزی و باغداری استفاده می‌شود. لذا، پتانسیل یابی و شناسایی منابع آب‌های زیرزمینی و یافتن مناطق با پتانسیل بالا در این منطقه از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. بدیهی است اطلاع از گسترش آب‌های زیرزمینی و یافتن مناطق دارای پتانسیل مناسب، جهت مدیریت، ارزیابی و جلوگیری از برداشت بی‌رویه این منابع حائز اهمیت می‌باشد.



شکل ۱- محدوده جغرافیایی مورد مطالعه

بکار گرفته شده است. ثانیاً، در اغلب آنها بصورت جامع‌تری از لایه‌های مؤثر در آب‌های زیرزمینی بصورت یک جا استفاده نشده است. همچنین در اغلب این تحقیقات علاوه بر نوع لایه‌های اطلاعاتی بکاررفته، از روشهای مختلف وزن دهی به لایه‌های اطلاعاتی از جمله روش دلفی، روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات، روش تحلیل سلسله مراتبی معمول، روش تفسیر چشمی و تجربی و غیره استفاده شده است. ثالثاً، در اغلب این مطالعات سیستم اطلاعات جغرافیایی یا سنجش از دور را در پتانسیل‌یابی مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی بصورت مجزا بکار برده‌اند. بر این اساس، در منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضر، دشت ساوه، تاکنون مطالعه‌ای جهت پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی صورت نگرفته است. لذا هدف از این تحقیق، پتانسیل‌یابی مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی در محدوده دشت ساوه می‌باشد. لذا این تحقیق از سه منظر مختلف متفاوت از تحقیقات قبلی می‌باشد. اولاً بمنظور بررسی جامع در این تحقیق، گروه‌های مختلف داده‌های زمین‌شناسی، محیطی، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی حاصل از مطالعات میدانی، ابتدا کمی‌سازی گردیده‌اند و سپس به روشهای تحلیل آمار مکانی و به کمک تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی با همدیگر در پتانسیل‌یابی مناطق آبهایی زیرزمینی، ادغام گردیده‌اند. همچنین برای اولین بار در این تحقیق، جهت به حداقل رساندن نظر کارشناسان خبره در اختصاص دانش‌پایه وزنه‌های لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده، وزن‌دهی لایه‌های مؤثر در مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی در سه حالت مختلف، به روش‌های تحلیل سلسله مراتبی نه-درجه‌ای، تحلیل سلسله مراتبی مثلثی یا فازی و تحلیل سلسله مراتبی ساختار یافته، بررسی گردیده است و نقشه نهایی از میانگین سه حالت مذکور با حداقل خطای احتمالی، حاصل گردیده است و اعتبار سنجی آن با چاه‌های پیژومتری موجود در منطقه انجام گرفته است. علاوه بر آن، در موضوع و منطقه مورد مطالعاتی، پتانسیل تصاویر انعکاسی^۱ و حرارتی^۲ لندست ۸ توأمان در مطالعات آب‌های زیرزمینی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. این تحقیق در ۵ بخش سازماندهی شده است. ابتدا کلیات موضوع پژوهش و خلاصه‌ای از پیشینه تحقیق بیان گردیده است. در ادامه، هدف از این تحقیق و

۱ The Operational Land Imager (OLI)

۲ Thermal Infrared Sensor (TIRS)

۲-۲- داده‌های تحقیق و پیش پردازش آنها

داده‌های تحقیق در سه گروه اصلی تقسیم بندی می‌گردند، این داده‌ها در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. بدیهی است قبل از محاسبه و استخراج پارامترهای فیزیکی سطح زمین، انجام تصحیح رادیومتریکی (اتمسفیری و توپوگرافی) تصاویر ماهواره‌ای الزامی است. در این تحقیق، برای انجام تصحیح توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاعی استفاده گردید و مشتقات لازم نظیر شیب، تغییرشیب و سایه استخراج گردید. در این تحقیق، این تصحیحات با استفاده از نرم‌افزار تصحیح اتمسفیری و توپوگرافی^۱ ATCOR3 که بصورت مستقل بر پایه محیط برنامه‌نویسی زبان تعاملی داده^۲ استوار بوده و از پایگاه داده مدلهای انتقال تابش^۳ MODTRAN5 استفاده می‌کند، انجام گرفت [۲۳]. این نرم افزار مبتنی بر فیزیک اتمسفر بوده و با در نظرگرفتن تمام شرایط و حالت‌های مختلف اتمسفر، سه میلیون حالت، توسط مرکز هوا - فضای آلمان^۴ در محیط برنامه نویسی نرم افزاری ENVI/IDL پیاده‌سازی شده است. تحقیقات مختلفی [۲۴، ۲۵] این نرم افزار را با نرم‌افزارهای معروف دیگر تصحیح اتمسفیری مقایسه کرده‌اند و آن را بهترین و بالاترین دقت در تصحیحات اتمسفیری معرفی کرده‌اند. همچنین در مطالعه دیگری [۲۶] دقت حاصل از این نرم افزار را با داده‌های زمینی اعتبارسنجی کرده‌اند و اعلام نمودند که خطای محاسبه انعکاس زمینی در این نرم افزار برای همه پدیده‌های سطح زمین تقریباً 0.004 می‌باشد. پایگاه داده MODTRAN مورد استفاده در ATCOR، شامل طیف گسترده‌ای از انتقال تابشی از قبل محاسبه شده برای شرایط مختلف آب و هوایی، زاویای مختلف خورشید و سنجنده تهیه شده است. در این نرم افزار تصحیح اتمسفیری و توپوگرافی اطلاعات مربوط به سنجنده و تصویر (نظیر زاویه زینت خورشید و سنجنده در زمان اخذ داده، زاویه سمت^۵ سنجنده و خورشید، تاریخ و زمان اخذ داده، اندازه پیکسل‌ها و غیره) از متافایل^۶ هر تصویر معرفی می‌گردد. علاوه بر آن، از الگوریتم پوشش گیاهی متراکم تیره (DDV)^۷ جهت برآورد ضخامت

اپتیکی اتمسفیری یا پارامتر قابلیت دید استفاده می‌کند [۲۳] و نوع مدل اتمسفیری و آیروسل نیز از روی طول جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و تاریخ اخذ تصاویر تعیین گردید [۲۷، ۲۸] و به نرم‌افزار معرفی شد و نهایتاً تصحیح توپوگرافی و اتمسفیری بر روی تصاویر انجام گرفت. بعد از تصحیح اتمسفیری و توپوگرافی تصاویر، مقادیر انعکاس در سطح زمین بدست می‌آید که در این تحقیق تمامی محاسبات لازم بر روی این انعکاس انجام گرفت.

جدول ۱- سه گروه اصلی داده‌های تحقیق		
ردیف	نوع داده	مشخصات داده ها
۱	داده های ماهواره ای	لندست ۸ با گذر ۱۶۵ و ردیف ۳۶ به تاریخ ۲۰۱۷ مدل رقومی ارتفاعی به تاریخ ۲۰۱۴
۲	داده های زمین شناسی	سنگ شناسی تراکم خطواره مدل رقومی ارتفاعی ومشتقات آن
۳	داده های محیطی	کاربری اراضی و تراکم زهکشی نقشه بارش نقشه دما
۴	سایر داده ها	نقشه پراکندگی چاه های محدوده مورد مطالعه جهت اعتبارسنجی

لازم به توضیح است که مدل رقومی ارتفاعی مورد استفاده در این تحقیق محصول توپوگرافی رادار شاتل^۸ حاصل از سازمان زمین شناسی ایالات متحده می‌باشد که در دو مورد ذیل بکار رفته است. اول در تصحیح توپوگرافی تصاویر با نرم افزار ATCOR که بطور کلی ناهمواری منطقه را از نظر دشت، تپه ماهور و کوهستانی بودن برای نرم افزار معرفی می‌کند. بدیهی است ناهمواری و ساختار توپوگرافی کلی منطقه با اختلاف زمانی ۳ ساله قابل تغییر نیست. دوم، در محاسبه نقشه توپوگرافی و نقشه شیب برای کل منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت که باز هم در اختلاف زمانی ۳ ساله تغییرات محسوس در ساختار توپوگرافی و شیب منطقه بوجود نمی‌آید، زیرا در تولید این نقشه‌ها همواره رنج اختلاف ارتفاعی تقریباً ۴۰۰ متری در یک کلاس (مطابق شکل ۸) بعنوان یک منطقه بررسی با شرایط همسان، در نظر گرفته شده و تغییر ساختار توپوگرافی و شیب منطقه نمی‌تواند از این رنج اختلاف ارتفاعی هر کلاس بیشتر باشد.

۱ Atmospheric/topographic correction

۲ Interactive Data Language

۳ MODerate resolution atmospheric TRANsmission

۴ DLR - German Aerospace Center

۵ Azimuth angle

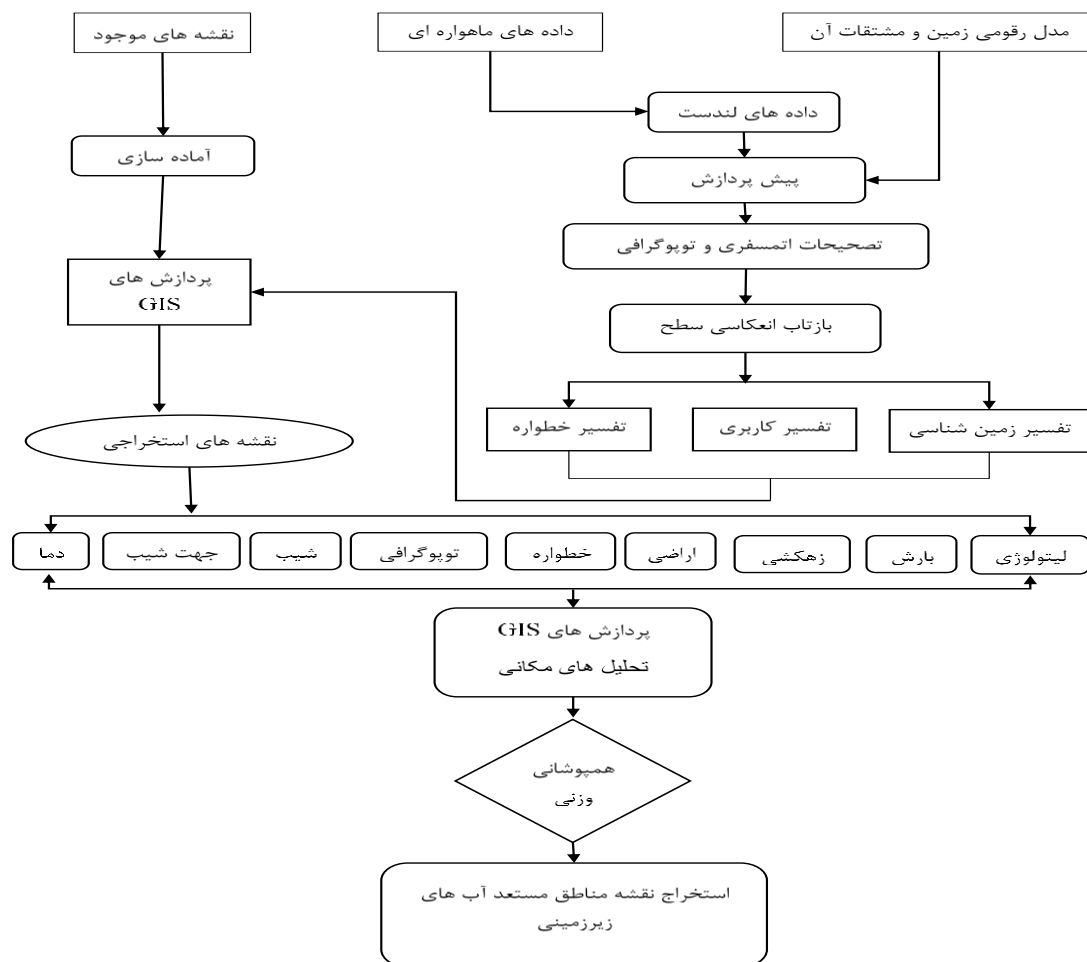
۶ Metafile of image

۷ Dense dark vegetation (DDV)

۸ Shuttle Radar Topography Mission

۳-۱- کلیات و مراحل روش تحقیق

مطابق فلوجارت پیشنهادی در شکل ۲، این تحقیق در ۴ مرحله انجام گرفت.



شکل ۲- روند انجام تحقیق

۳-۲- آماده سازی لایه های اطلاعاتی

در این بخش، ابتدا معیارها و عوامل و ارتباط آنها با آب-های زیرزمینی مشخص گردید. آب های زیرزمینی الگویی تقریباً مشابه آب های سطحی را دنبال می کند، بنابراین کم و بیش دامنه های صاف و کم شیب مکانهایی مناسب برای نفوذ آب می باشند. در این مطالعه برای تعیین پارامترهای اصلی و مؤثر در آب های زیرزمینی نظیر ۱. بارش: که نقش اصلی در تشکیل آب زیرزمینی دارند، ۲. سنگ شناسی: قابلیت نفوذپذیری را تشدید یا کم می کند، ۳. تراکم زهکشی: توزیع مکانی روانابها و تغذیه آب های زیرزمینی را تحت تاثیر قرار می دهد، ۴. کاربری اراضی: نقش مهمی در نفوذ آب به داخل زمین را دارد، ۵. تراکم خطواره: بر نفوذپذیری و خلل و فرج

در مرحله اول داده ها و تصاویر مورد نیاز پروژه جمع آوری و تهیه گردید، در مرحله بعد، آماده سازی داده ها و پیش-پردازش های لازم، تصحیح رادیومتریکی تصاویر ماهواره ای، انجام گرفت. در مرحله سوم، تحلیل های لازم و طبقه بندی روی هر یک از لایه ها انجام گرفت و میزان اهمیت هر یک از عوامل و معیارها بر اساس نظرات کارشناسی و روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ تعیین و وزن دهی به معیارها انجام پذیرفت. سپس، کلیه لایه های تولید شده با هم ادغام گردیده و با تلفیق وزن دار معیارها، پتانسیل مناطق مستعد آب های زیرزمینی مشخص و اعتبارسنجی گردیدند.

^۱ Analytical Hierarchy Process

ثانویه، تاثیر مثبت گذاشته و موجب نفوذ عمودی آب می-شود، ۶. توپوگرافی که بر حرکت کلی روانابها و آبهای زیرزمینی تاثیر دارد، ۷. شیب: بر روانابها میزان نفوذ به زیرزمین تاثیر دارد، ۸. جهت شیب: بر ذوب شدن برفها و حرکت جریانات آب تاثیر دارد و ۹: دمای سطح زمین: بر روی پوشش اراضی و تبخیر تاثیر دارد، مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۲ ارتباط آبهای زیرزمینی با فاکتورهای مورد استفاده در این تحقیق را نشان می دهد. همچنین از نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه برای استخراج سنگ شناسی و خطواره های محدوده، استفاده گردید. همچنین از باندهای حرارتی تصاویر لندست ۸ برای تهیه نقشه دمای سطح و از باندهای انعکاسی آن برای تهیه کاربری اراضی استفاده شد. علاوه بر آنها، مدل رقومی ارتفاعی برای تهیه نقشه توپوگرافی، شیب، جهت شیب و تراکم زهکشی در نظر گرفته شد. در نهایت جهت اعتبارسنجی نتایج، از داده های چاه های موجود منطقه استفاده گردید.

جدول ۲- ارتباط آب زیرزمینی با فاکتور های مورد استفاده در تحقیق

ردیف	لایه های اطلاعاتی مورد استفاده	ویژگی لایه ها	پیوند با آبهای زیرزمینی	مقدار	کیفی
۱	سنگ شناسی	نوع	رسوبات آبرفتی، ماسه سنگ، شن و ماسه گدازه های بازالتی، سنگ های آذرین	زیاد	کم
۲	بارش	همسایگی	بالا پایین	زیاد	کم
۳	تراکم زهکشی	چگالی	بالا پایین	پایین	بالا
۴	کاربری اراضی	پوشش اراضی	جنگل و چمن زمین بایر	زیاد	کم
۵	تراکم خطواره	مجاورت	نزدیکترین دورترین	زیاد	کم
۶	توپوگرافی	ارتفاع	زیاد	کم	زیاد
۷	شیب	درجه	خیلی کم خیلی زیاد	زیاد	کم
۸	جهت شیب	نوع	شمالی جنوبی	زیاد	کم
۹	دمای سطح	درجه	زیاد	کم	زیاد

روشهای وزندهی مختلفی جهت ارزیابی اهمیت معیارها وجود دارد که تفاوت این روشها در اصول تئوری، دقت، سهولت کاربرد و قابل فهم بودن آنها برای تصمیم گیران می باشد. ساده ترین روش برای ارزیابی وزن معیارها رتبه بندی آنها براساس اهمیت و اولویتهای تصمیم گیرنده است. در این روش از نظرات کارشناسان و افراد متخصص، برای رتبه بندی پارامترها استفاده می شود. بدین صورت که از چندین کارشناس خواسته می شود معیارهای مورد نظر را مطابق با دانش خود، رتبه بندی نمایند. در ادامه با جمع بندی نظر تمام کارشناسان، ماتریسی تشکیل می گردد که درایه های آن بیانگر درصدی از نظر کارشناسان است که به پارامتر i رتبه jام داده اند [۲۹]. در این تحقیق سه روش مختلف تحلیل سلسله مراتبی برای وزندهی استفاده شده است که خود این روش به شیوه های مختلفی، از جمله تحلیل سلسله مراتبی نه-درجه ای، روش تحلیل سلسله مراتبی مثلثی یا فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی ساختار یافته اجرا می شوند. روش تحلیل سلسله مراتبی، که مبتنی بر سه اصل تجزیه، قضاوت مقایسه ای و ترکیب اولویتها می باشد. اصل تجزیه نیاز به تجزیه مسائل تصمیم گیری به عناصر مختلف به صورت سلسله مراتبی و ایجاد ساختار درختی برای معیارها و زیرمعیارها دارد [۳۰]. اصل قضاوت مقایسه ای نیز به مقایسه دوتایی عناصر موجود در یک سطح ساختار سلسله مراتبی اشاره دارد، به این ترتیب که عناصر هر سطح نسبت به عناصر همان سطح به صورت دوتایی مقایسه شده و اهمیت نسبی آنها محاسبه می شود. بعد از انجام مقایسه دوتایی و استفاده از میانگین هندسی برای میانگین گیری از نظرات کارشناسان، اعداد مقایسه دوتایی حاصل در قالب ماتریسی با عنوان ماتریس مقایسه آورده می شود. در این ماتریس درایه ها، نتیجه مقایسه معیار نام با معیار jام می باشد که از رابطه (۱) مقادیر ویژه ماتریس مقایسه محاسبه می گردد.

$$\{(A - \lambda_{max} \times I) \times W = 0\} \quad (1)$$

در این معادله، I ماتریس همانی و W بردار وزن معیارها و A ماتریس مقایسه می باشد. امروزه این روش تحت عنوان تحلیل سلسله مراتب نه-درجه ای مورد استفاده قرار می گیرد. یکی از مشکلات اساسی در این روش، اعتماد کامل به نظر کارشناسان می باشد که به نظر

بردار وزن، اعداد موجود در هر سطر ماتریس را در یکدیگر ضرب کرده و حاصلضرب به توان $1/n$ می‌رسد که n تعداد پارامترهاست. جواب حاصل وزن پارامتر مربوط به آن سطر می‌شود. البته این وزنها را در پایان باید نرمالیزه کرد تا بردار وزن نهایی بدست آید، این روش به روش تحلیل سلسله مراتبی ساختار یافته معروف می‌باشد [۳۲]. در این تحقیق بعد از وزندهی به تمام لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده، این لایه‌ها با استفاده از روش همپوشانی با یکدیگر تلفیق کرده و به این ترتیب با توجه به سه روش وزندهی، سه نقشه پتانسیل‌یابی مناطق آب‌های زیرزمینی تولید گردید. نقشه نهایی از میانگین گیری سه نقشه حاصل ایجاد گردید.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- ارزش‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی

۴-۱-۱- لایه سنگ شناسی

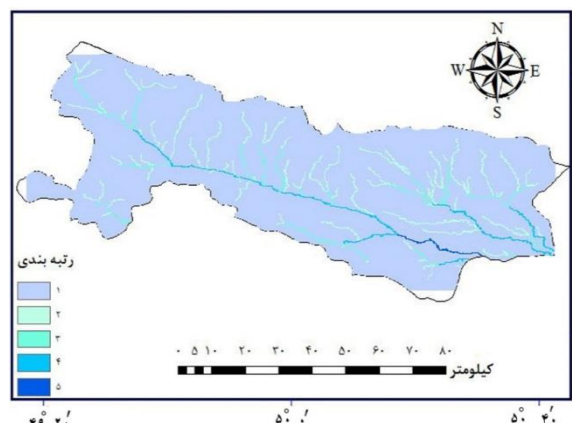
نوع سنگ‌شناسی و خصوصیات وابسته به آن نظیر بافت و درجه خلوص سنگها، نقش مهمی در تخلخل، نفوذپذیری اولیه و تمرکز جریان آب‌های زیرزمینی در داخل سنگها ایفا می‌کنند. سنگ‌هایی که تخلخل زیاد دارند، نفوذپذیری بالای دارند [۳۳]. لایه زمین شناسی به دلیل تاثیر سازندهای زمین شناسی، لیتولوژی، بافت و درجه خلوص سنگها در تخلخل، نفوذ پذیری و تمرکز جریان آب‌های زیرزمینی در داخل سنگها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در این تحقیق، نقشه سنگ‌شناسی منطقه با استفاده از نقشه های زمین شناسی کل کشور تهیه گردید (شکل ۳). لازم به توضیح است که نقشه زمین شناسی کل کشور مورد استفاده در این تحقیق، برای استخراج لایه سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، مورد استفاده قرار گرفته است و این نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و از طریق رقومی کردن در تاریخ ۱۳۹۰ توسط سازمان زمین شناسی کشور تهیه و تولید شده است. بدیهی است که در مدت زمان کوتاه امکان تغییر ساختار زمین شناسی در یک منطقه وجود ندارد و این اختلاف زمانی در استخراج لایه سنگ‌شناسی منطقه تاثیر ندارد. در این پژوهش، تقریباً چهل گونه سنگی در منطقه از نقشه سنگ‌شناسی استخراج شد که بر اساس تخلخل و نفوذپذیری سنگها طبقه‌بندی صورت گرفت. در نهایت، نقشه سنگ‌شناسی

کارشناسان همواره یک عدد ثابت اختصاص داده می‌شود. برای رفع مشکل مذکور در روشی دیگر، نظر کارشناسان به صورت بازه‌ای از اعداد، که نشانگر عدم اعتماد کامل به نظر کارشناسان می‌باشد، وارد فرآیند وزندهی می‌شود. از این روش تحت عنوان روش تحلیل سلسله مراتبی مثلثی یا فازی یاد می‌شود که شامل سه عدد وزن متوالی است و بردار وزن با استفاده از رابطه ۲ قابل محاسبه می‌باشد [۳۱].

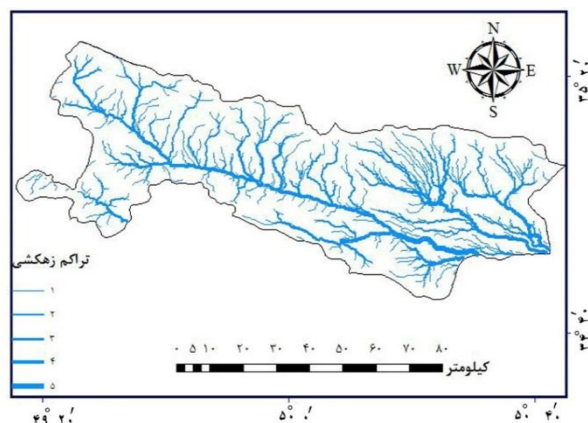
$$\left\{ \begin{array}{l} (m_{ij} - l_{ij}) \times \lambda \times w_j - w_i + l_{ij} \times w_j \leq 0, \\ \quad j > i, i = 1, \dots, n-1, j = 2, \dots, n \\ (u_{ij} - m_{ij}) \times \lambda \times w_j - w_i + u_{ij} \times w_j \leq 0, \\ \quad j > i, i = 1, \dots, n-1, j = 2, \dots, n \\ \sum w_i = 1, w_i > 0, i = 1, 2, \dots, n \end{array} \right. \quad (2)$$

در این معادله w_j و w_i وزنه‌های محاسبه شده برای دو پارامتر i و j هستند که از روش تحلیل سلسله مراتبی نه-درجه‌ای بدست می‌آیند. $l_{ij} > m_{ij} < u_{ij}$ سه عدد متوالی از نتیجه مقایسه دو پارامتر i و j توسط کارشناسان می‌باشند. از آنجاییکه در روش نه-درجه‌ای بین تمامی پارامترها دو مقایسه صورت می‌گیرد در نتیجه با افزایش پارامترها تعداد مقایسات به سرعت افزایش می‌یابد. بنابراین برای کاهش تعداد مقایسات روش ساختار یافته ارائه گردیده است. در این روش ابتدا با یکی از روشهای ساده نظیر رتبه‌بندی، اهمیت و رتبه پارامترها مشخص می‌شود یعنی پارامترها بعنوان مهمترین تا کم‌اهمیت‌ترین پارامتر رتبه‌بندی می‌شوند. مقایسه دوتایی در این روش بین همه پارامترها انجام نمی‌گیرد، بلکه فقط بین دو پارامتری که از لحاظ رتبه پشت سر هم هستند، مقایسه انجام می‌گیرد به همین دلیل در پرکردن ماتریس باید پارامترها به ترتیب از مهمترین تا کم اهمیت‌ترین پارامتر با یکدیگر مقایسه شوند و به همین ترتیب نیز در سطر و ستون ماتریس نوشته می‌شوند. به این صورت که در هر سطر ماتریس مقایسه اگر دو پارامتر هم اهمیت باشند، عدد سطر قبلی در این سطر نوشته می‌شود. مقایسه یک پارامتر با خودش نتیجه 1 را ارائه می‌دهد. اگر یکی از پارامترها کمی مهمتر از بعدی باشد عدد سطر قبل بعلاوه 1 می‌شود و در سطر مورد نظر نوشته می‌شود و اگر یکی از پارامترها خیلی مهمتر از بعدی باشد عدد سطر قبل بعلاوه ۲ می‌شود و در سطر مورد نظر نوشته می‌شود. عناصر نظیر در دو طرف قطر اصلی دارای وزنه‌های معکوس می‌باشند (برای محاسبه

توجه به داده‌های حاصل از مدل رقومی ارتفاعی، مشخص گردید که در بیشتر مناطق مورد مطالعه الگوی شبکه زهکشی از نوع شاخه درختی است. معمولاً این نوع شبکه زهکشی در مناطقی با سنگ‌های تقریباً یکسان ایجاد می‌شود. نقشه تراکم شبکه زهکشی محدوده مورد مطالعه، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی، مطابق شکل ۵ تولید گردید. رتبه‌بندی نقشه تراکم زهکشی بر اساس روش استرالر (STRAHLER) انجام شد [۳۷].



بارش، مشخصات شبکه زهکشی و تراکم آن به صورت غیر مستقیم نشان دهنده میزان نفوذ پذیری بوده به نحوی که بالا بودن تراکم آبراهه نشان دهنده کاهش نفوذ و کم بودن آن به شرط مهیا بودن شرایط زمین‌شناسی، خاک و پوشش گیاهی نشان‌دهنده بالا بودن آن است. در مورد نقش رده‌های آبراهه‌ها بر روی منابع آب‌های زیرزمینی مطالعات متعددی صورت گرفته و رده‌های ۲ به بالا را برای پتانسیل-یابی منابع آب مناسب دانسته‌اند [۳۶]. در این تحقیق، با



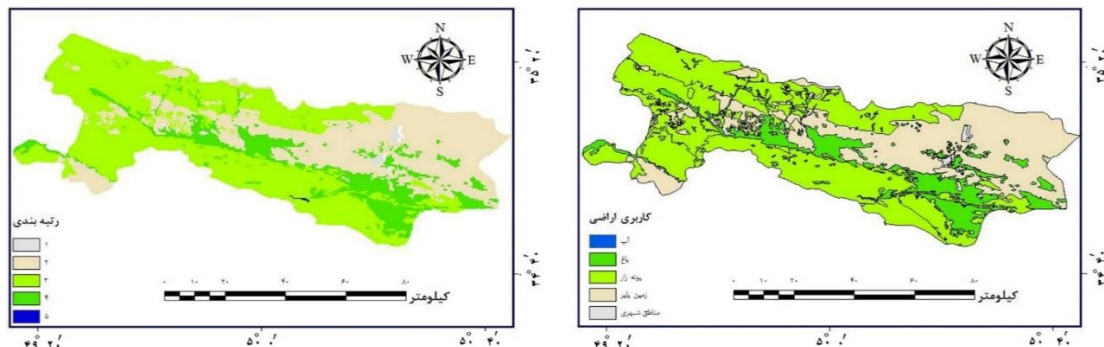
شکل ۵- نقشه تراکم زهکشی و رتبه بندی آن

زیرزمین جریان خواهند یافت [۳۸]. بنابراین، کاربری‌های مختلف می‌تواند در میزان نفوذ آب دخیل باشد برای مثال، در کاربری‌های شهری و مسکونی تقریباً هیچ نوع نفوذی وجود ندارد، در حالیکه، مراتع بسیار خوب می‌توانند موجب نفوذ مقادیر زیاد آب در زیرزمین شوند. نقشه کاربری اراضی مورد استفاده در این تحقیق، از روی تصاویر ماهواره‌ای تصحیح شده لندست ۸ با روش طبقه‌بندی نظارت شده بدست آمده است. برای طبقه‌بندی نیاز به داده‌های آموزشی ۵ کلاس (آب، زمین بایر، مناطق شهری، باغ و بوته‌زار) داشتیم که این داده‌های آموزشی از روی گوگل ارث در همان زمان تصاویر ماهواره‌ای اخذ و نقشه کاربری تهیه گردید. خروجی نقشه در پنج کلاس تقسیم-بندی شد که به صورت مناطق دارای آب، مناطق خاک، مناطق دارای ترکیب خاک و پوشش گیاهی، مناطق پوشش گیاهی و مناطق شهری، مطابق شکل ۶ استخراج گردید. بعد از تهیه نقشه کاربری اراضی، نقشه حاصل را در پنج طبقه رتبه‌بندی کرده که مناطق شهری که تقریباً نفوذپذیری بسیار کمی دارد کمترین وزن و مناطق دارای باغ و بوته‌زار بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند.

رتبه‌بندی در این روش به این ترتیب انجام می‌شود که سرشاخه هر آبراهه را که از ارتفاعات شروع می‌شود آبراهه رده ۱ گویند. از اتصال حداقل دو رودخانه رده ۱ رودخانه رده ۲ بوجود می‌آید. رودخانه رده ۲ زمانی به رودخانه رده ۳ تبدیل می‌شود که حداقل یک رودخانه رده ۲ دیگر به آن بپیوندد و به همین ترتیب تا انتهای حوضه آبریز رودخانه‌ها رتبه بندی می‌شوند. شماره رده رودخانه در نقطه‌تمرکز نشان‌دهنده درجه تکامل شبکه آبراهه‌ها در حوضه بالادست آن نقطه است به عبارتی، رابطه بین تراکم زهکشی و میزان نفوذ آب معکوس است. هر جا شبکه زهکشی زیاد باشد، نشان دهنده تمرکز آب به صورت رواناب بوده و این خود موجب کاهش نفوذ آب می‌شود.

۴-۱-۴- لایه کاربری اراضی

وجود پوشش گیاهی در هر منطقه سرعت جریان‌های سطحی آب را کاهش داده و سبب نفوذ بیشتر آب به داخل خاک می‌گردد. در نتیجه سبب افزایش میزان آب-های زیرزمینی و افزایش سطح آنها می‌شود. مثلاً مناطق جنگلی میزان نفوذپذیری زیادی دارند. بنابراین بارندگی به کاهش سطح رواناب منجر خواهد شد و بیشتر آب‌ها به

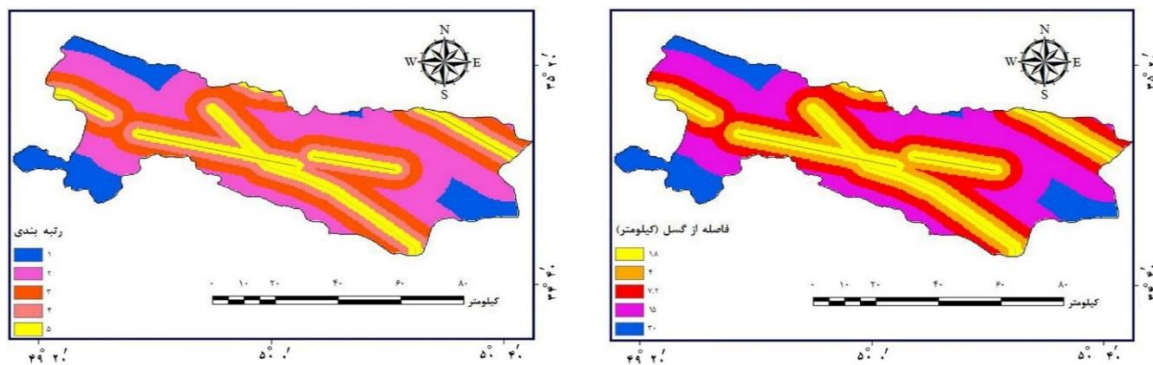


شکل ۶- نقشه کاربری اراضی و رتبه بندی آن

۴-۱-۵- لایه تراکم خطواره

کلی نقش موثری در نفوذ و انتقال آب های زیرزمینی دارند [۳۵، ۳۸]. در این مطالعه نقشه نهایی تراکم خطواره با استفاده از نقشه گسل کل کشور مطابق شکل ۷، تهیه گردید. همچنین جهت رتبه بندی نقشه تراکم خطواره ها کمترین فاصله از گسل، بیشترین وزن و دورترین فاصله، کمترین وزن را به خود اختصاص دادند.

عوامل ساختمانی و تکتونیکی نظیر درزها و گسل ها به عنوان نقاط ضعف واحدهای زمین شناسی به شمار می روند که اصطلاحاً به آن ها خطواره می گویند و راهی برای عبور آسان آب و محلی برای تجمع آب به صورت مخازن زیرزمینی می باشند. افزایش تراکم درزه و گسل ها به طور

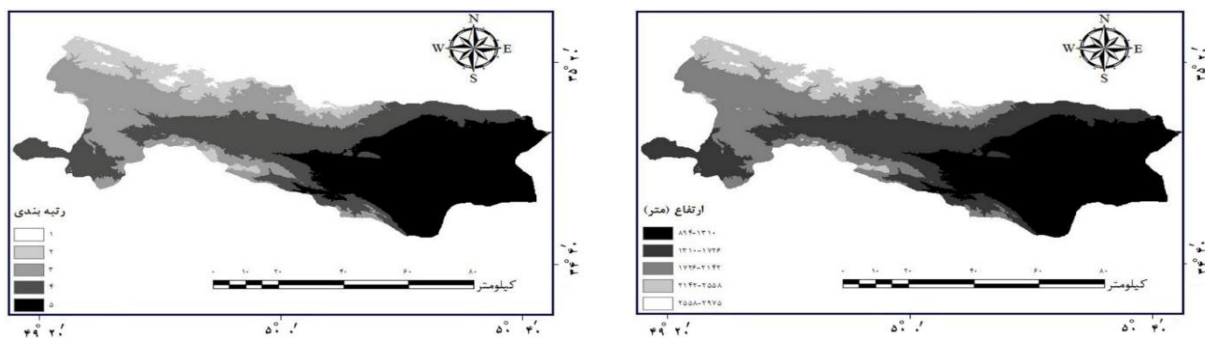


شکل ۷- نقشه فاصله از گسل و رتبه بندی آن

۴-۱-۶- لایه توپوگرافی

درون زمین کمتر و رواناب بیشتر است، بنابراین افزایش ارتفاع، تاثیر معکوس بر پتانسیل آب های زیرزمینی دارد [۳۵]. در این تحقیق، وضعیت توپوگرافی منطقه در پنج طبقه ارتفاعی، که ارتفاعات بالا کمترین وزن و ارتفاعات پایین بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند، مطابق شکل ۸ تهیه گردید.

لایه توپوگرافی از دیگر فاکتورهای موثر در پتانسیل-یابی منابع آب های زیرزمینی می باشد که نقش مهمی در ضریب رواناب و نفوذپذیری آن ها دارد. این لایه اطلاعاتی در جهت حرکت آب های زیرزمینی و محل تشکیل آبخوان نقش موثری دارد. به عبارتی، در ارتفاع زیاد نفوذ آب به

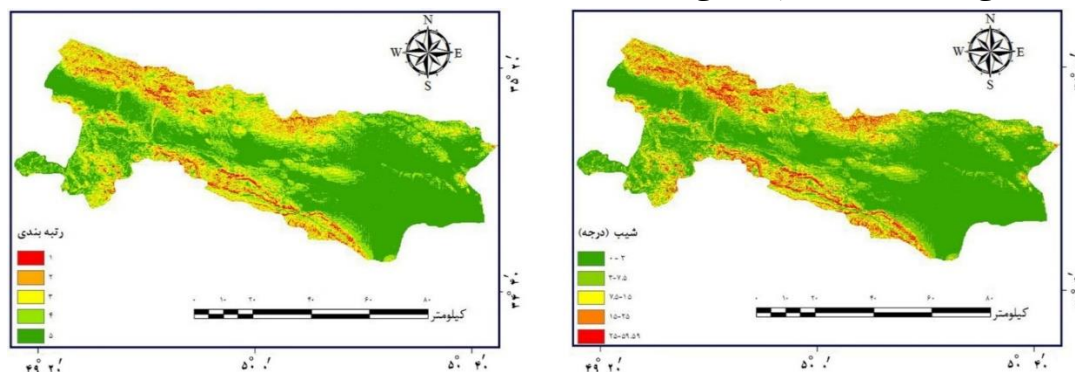


شکل ۸- نقشه توپوگرافی و رتبه بندی آن

۴-۱-۷- لایه شیب

زیرزمینی و نفوذ آب‌های سطحی تأثیر می‌گذارد. سرعت رواناب در مناطق کم شیب، ناچیز است. سرعت کم رواناب موجب نفوذ بیشتر آب در زمین می‌شود. برعکس در مناطق پرشیب، سرعت نفوذ آب بسیار کاهش می‌یابد و در نتیجه شیب بالا دارای مقادیر زیادی رواناب می‌باشند [۴۰]. وجود یا جابه‌جایی سفره‌های آب‌های زیرزمینی تا حد زیادی به شیب و توپوگرافی وابسته است. بنابراین می‌توان شیب را عاملی مهم در جریان رواناب یا نفوذ آن برشمرد. به همین دلیل لایه شیب در تهیه نقشه نهایی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به این مفاهیم، نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاعی مطابق شکل ۹ استخراج شد. بر این اساس، مناطقی با کمترین شیب، بیشترین وزن و مناطقی با بیشترین شیب، کمترین وزن را به خود اختصاص دادند.

مناطق که دارای شیب پایینی هستند آب را برای مدت طولانی حفظ می‌کنند، این امر باعث نفوذ یا تغذیه بیشتر آب می‌شود. ولی نواحی با شیب بالا دارای مقادیر زیادی رواناب می‌باشند و مقدار نفوذ در آنها کم است [۳۹]. عبارتی، که توپوگرافی و ارتفاع سطح زمین در میزان آب نفوذی به درون زمین اثرگذار است. به عبارت دیگر، در ارتفاعات زیاد نفوذ آب به درون زمین کمتر و رواناب بیشتر است. بنابراین افزایش ارتفاع اثر معکوسی بر روی پتانسیل یابی آب‌های زیرزمینی دارد. توپوگرافی سطح، جهت و سرعت حرکت رواناب‌های سطحی را تعیین می‌کند. بدین لحاظ می‌تواند نقش مهمی در پراکندگی آب‌های زیرزمینی ایفا کند. همچنین، اختلاف ارتفاع موجب ایجاد شیب سطحی زمین می‌گردد که خود در پراکندگی آب‌های

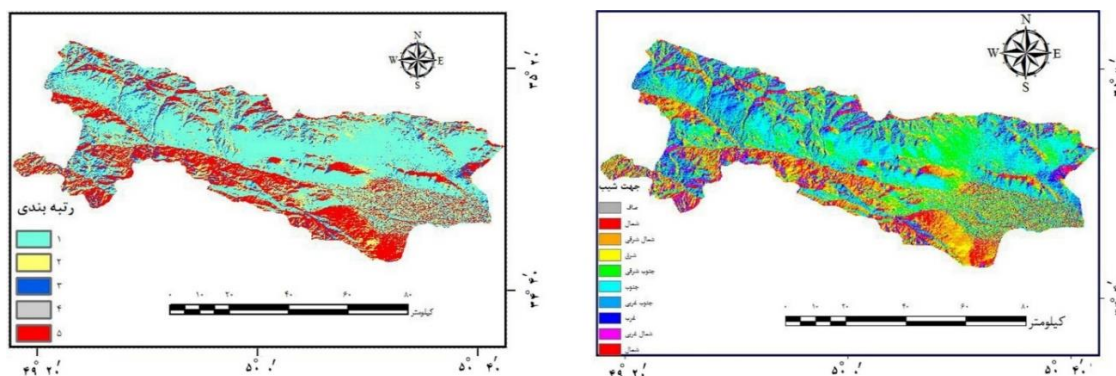


شکل ۹- نقشه شیب و رتبه‌بندی آن

و جهت شیب‌های جنوبی کمترین وزن را به خود اختصاص دادند. زیرا تمام زمین‌های که دارای شیب‌های رو به شمال هستند نور خورشید کمتری می‌گیرند در نتیجه تمایل بیشتری به ماندگاری برف و در نتیجه آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهند. مطابق شکل ۱۰ به مکان‌هایی که مسطح هستند و شیب ندارند عدد ۱- اختصاص داده شده است.

۴-۱-۸- لایه جهت شیب

ارزش هر یک پیکسل در خروجی لایه شیب که به صورت رستری از مدل رقومی ارتفاعی استخراج شده‌اند، نشان دهنده جهتی است که شیب پیکسل به آن جهت می‌باشد. در این پژوهش، نقشه نهایی جهت شیب در پنج طبقه قرار گرفت که جهت شیب‌های شمالی بیشترین وزن

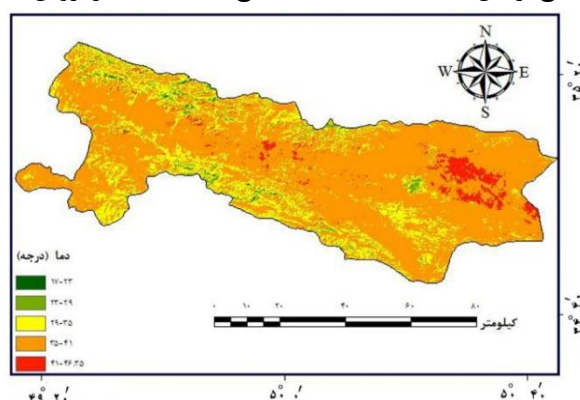
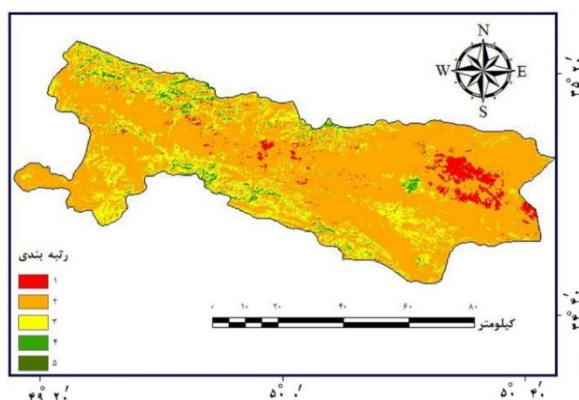


شکل ۱۰- نقشه جهت شیب و رتبه‌بندی آن

۴-۱-۹- لایه دمای سطح زمین

امروزه به دلیل تغییرات و تبدیل سطوح پوشش گیاهی به سطوح غیرقابل نفوذ، افزایشی در دمای سطح مشاهده می شود. این تغییرات جذب تابش خورشیدی، دمای سطح، میزان تبخیر، ذخیره سازی گرما و تلاطم باد را تحت تأثیر قرار داده و می تواند به طور چشمگیری شرایط جو در نزدیکی سطح را تغییر دهند. در نتیجه مناطقی که دمای سطحی بالایی دارند فاقد پوشش گیاهی یا مقدار کمی پوشش گیاهی دارند. بر این اساس بمنظور برآورد دمای سطح زمین، ابتدا گسیلمندی سطح، با استفاده از روش

مبتنی بر اختلاف شاخص گیاهی نرمال شده، محاسبه گردید. سپس، با معلوم بودن گسیلمندی سطح، دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم تک بانندی سوپرینو [۴۱] محاسبه شد. جهت رتبه بندی دمای منطقه مورد مطالعه، دمای حاصل در پنج گروه، مطابق شکل ۱۱، طبقه بندی شده است که کمترین دما مربوط به مناطق کوهستانی و ارتفاع زیاد و بیشترین دما مربوط به مناطق کویری و فاقد پوشش گیاهی می باشد. در نتیجه دمای زیاد کمترین رتبه و دمای کم بیشترین رتبه را به خود اختصاص داده اند.



شکل ۱۱- نقشه دمای سطح و رتبه بندی آن

تجربه و مهارتشان به هر کدام از معیارها وزن دهند. روش های مختلفی برای کسب نظرات کارشناسان و استخراج وزن از نظرات آنها وجود دارد. روش های رتبه بندی، درجه بندی و عددگذاری روش هایی آسان، کم هزینه و سریع هستند. روش تحلیل سلسله مراتبی که در این تحقیق نیز استفاده شده است، در مقایسه با دیگر روش های دانش مینا، دقت بیشتر و مبانی نظری محکمتری دارد [۴۳]. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از کارآمدترین تکنیک های تصمیم گیری چندمعیاره است. این روش بر اساس مقایسه زوجی عوامل بنا نهاده شده و امکان بررسی معیارهای مختلف کمی و کیفی تصمیم گیری را می دهد. در این تحقیق، همانطور که ذکر شد، سه روش مختلف تحلیل سلسله مراتبی برای وزندهی استفاده گردید که شامل روش تحلیل سلسله مراتبی نه-درجه ای، روش تحلیل سلسله مراتبی مثلثی یا فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی ساختار یافته می باشند. نتایج حاصل تعیین وزن معیارها، برای یک حالت، مطابق جدول ۴ مشخص گردید.

۴-۲- وزن دهی به معیارها و لایه های اطلاعاتی

پیش از تلفیق فاکتورها و نقشه های مربوط، تعیین اهمیت نسبی فاکتورهای موثر در آب های زیرزمینی و اختصاص وزن مناسب به هر یک از آنها، ضروری است. لازم به توضیح است که هنگام تلفیق اطلاعات به منظور نشان دادن میزان اهمیت نسبی این عوامل، از اعدادی به نام وزن استفاده می شود و این اعداد تاثیر مستقیم و بسزایی در نتایج هر مدل تلفیق اطلاعات دارند. روش های وزن دهی به دو دسته عمده دانش- مینا (مثل تحلیل سلسله مراتبی) و داده - مینا (مثل شبکه های عصبی مصنوعی) تقسیم می شوند [۴۲]. روش های داده-مینا نمونه ای از پاسخ مسئله وجود دارد و مدل، از داده ها برای تعیین وزن لایه ها استفاده می کند. این روش ها زمانی کاربرد دارند که حداقل اطلاعاتی از محدوده مورد مطالعه در دسترس باشد. در روش های دانش- مینا از نظرات کارشناسان برای تخصیص وزن به لایه ها استفاده می شود. در این روش ها معیارهای مورد نظر به کارشناسان ارائه شده و از آن ها خواسته می شود با توجه به دانش،

جدول ۴- ماتریس وزن معیارها

دما	جهت شیب	شیب	توپوگرافی	تراکم خطواره	کاربری اراضی	تراکم زهکش	بارش	سنگ شناسی	معیار
۰/۰۲۲	۰/۰۳۱	۰/۰۴۰	۰/۰۵۵	۰/۰۷۶	۰/۱۲۰	۰/۱۵۴	۰/۲۱۴	۰/۲۹۰	وزن

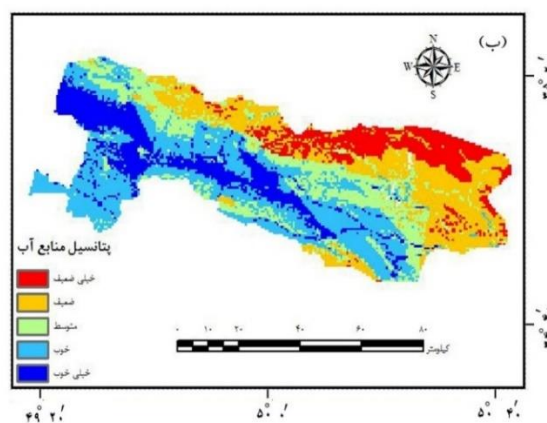
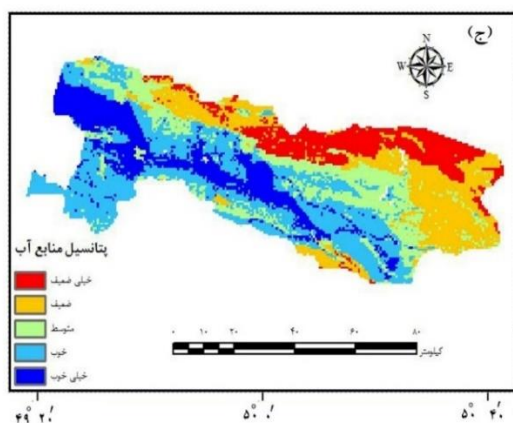
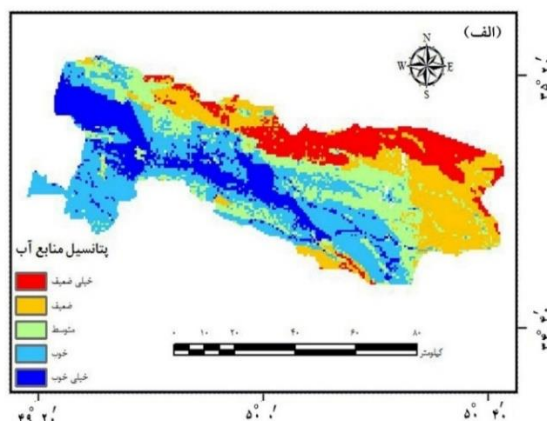
۴-۳- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی وزن‌دار

روش تلفیق و ادغام لایه‌های مرتبط با آبهای زیرزمینی بصورت روش همپوشانی مکانی وزن‌دار، با استفاده از رابطه ۳ استفاده گردید.

$$GWP = \sum_{i=1}^n (W_i \times X_i) \quad (3)$$

در این رابطه، GWP برابر است با ارزش هر پیکسل از پتانسیل آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، W_i برابر است با وزن هر یک از نقشه‌ها، X_i برابر است ارزش

هر پیکسل در نقشه مورد نظر با توجه به کلاس بندی آن. در نتیجه، نقشه مناطق مستعد در هر مورد به ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید و مناطق به کلاس‌های بسیار مناسب، مناسب، متوسط، ضعیف و نامناسب تقسیم‌بندی گردیدند. همچنین برای ارزیابی سازگاری ماتریس وزن و بررسی صحت وزن‌های اختصاصی، وزن و اهمیت لایه‌های مختلف با بکارگیری سه روش وزندهی مختلف، تغییر یافتند و در سه حالت مختلف نقشه پتانسیل منابع آب‌های زیرزمینی، مطابق شکل ۱۲ الف، ب و ج ایجاد گردیدند.



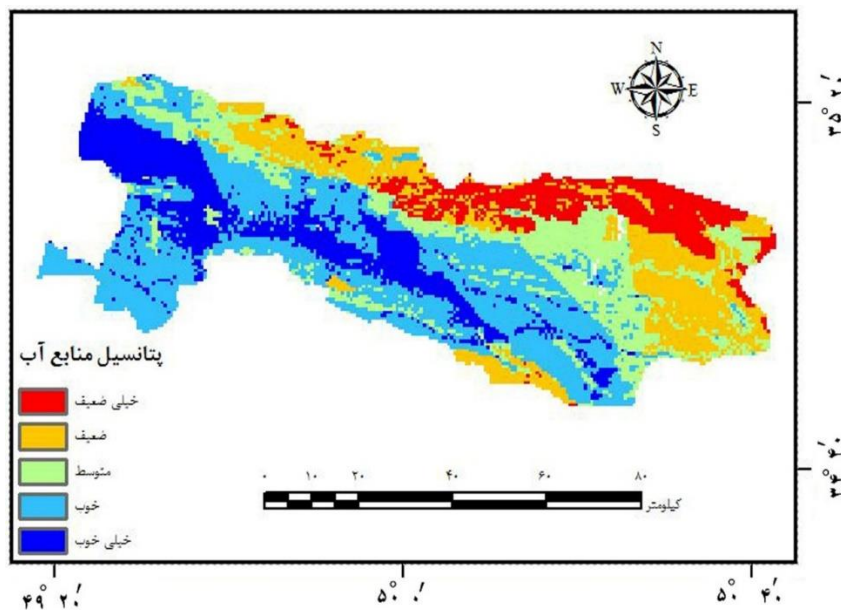
شکل ۱۲- الف-ب-ج. نقشه پتانسیل منابع آب در سه حالت مختلف وزندهی

محسوسی با همدیگر ندارند که این امر نشان دهنده این است که جامع و کامل بودن لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده، با وجود روشهای مختلف وزندهی دارای سازگاری خوبی می‌باشند. بر این اساس نقشه نهایی از میانگین سه نقشه فوق حاصل گردید. در نقشه نهایی، شکل ۱۳، بطور

همانطور که در شکل ۱۲ الف، ب و ج مشاهده می‌شود، مناطقی که به رنگ آبی نزدیکتر هستند از پتانسیل آب-های زیرزمینی بالاتری برخوردار هستند و از پتانسیل آن-ها در مناطق به رنگ قرمز کم می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که هر سه نقشه خروجی با وزن‌های مختلف، تفاوت

از ۲۲/۵۰ درصد منطقه دارای پتانسیل خیلی خوب از پتانسیل آب های زیرزمینی هستند.

متوسط ۱۴/۵۰ درصد منطقه دارای پتانسیل خیلی کم، ۷/۵۰ درصد دارای پتانسیل کم، ۲۱ درصد دارای پتانسیل متوسط، ۳۴/۵۰ درصد منطقه دارای پتانسیل خوب،

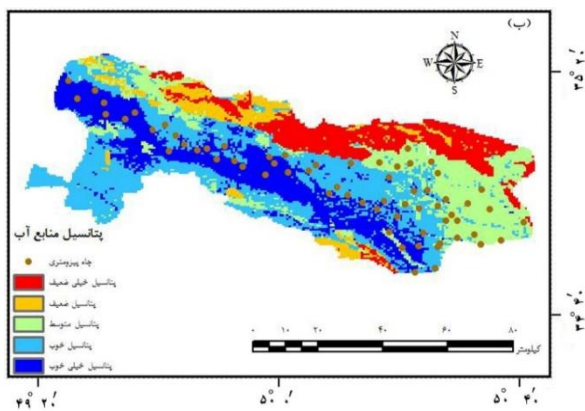


شکل ۱۳- نقشه نهایی پتانسیل منابع آب زیرزمینی میانگین سه نقشه حاصل

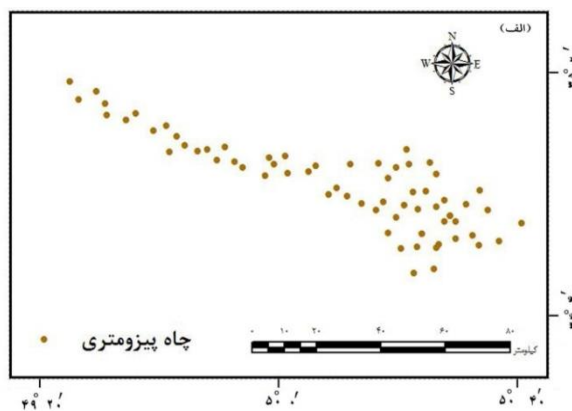
چاهها را در مناطق با پتانسیل خیلی خوب نشان داد که مؤید دقت خوب روش مورد استفاده در این تحقیق می باشد. هر چند برخی از آنها نیز در سایر مناطق قرار دارند. این امر می تواند به این علت باشد که در آن مناطق شیب زیاد بوده و ممکن است جهت لایه های خاک در زیرزمین و امتداد گسل ها و شکستگی به گونه ای بوده باشد که سبب رخنمون آب در آن مناطق شده باشند، در حالی که منبع تغذیه آنها در مناطق بالاتر با پتانسیل خیلی خوب باشد.

۴-۴- اعتبارسنجی نتایج

برای ارزیابی دقت و صحت نتایج حاصل، از موقعیت چاهها در منطقه مورد مطالعه، مطابق شکل ۱۴، استفاده گردید و موقعیت آنها با نقشه پتانسیل آب های زیرزمینی حاصل، مطابق شکل ۱۳، مقایسه شد. همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می شود، بیشتر چاهها در مناطق پتانسیل خیلی خوب و خوب قرار دارند. بعنوان مثال، با مقایسه نقشه نهایی و پراکندگی این چاهها، دقت ۷۴ درصدی موقعیت



شکل ۱۴- الف- نقشه چاهها برای اعتبارسنجی نتایج و شکل ۱۴ ب- ترکیب آن با نقشه پتانسیل آب های زیرزمینی حاصل



می باشد و بدلیل عدم وجود تحقیقات آب های زیرزمینی در دشت ساوه در تحقیقات گذشته، عملاً امکان مقایسه

لازم به توضیح است اولاً بدلیل اینکه این پژوهش اولین تحقیق در زمینه آب های زیرزمینی در دشت ساوه

قبلی سیستم اطلاعات جغرافیایی یا سنجش از دور را در پتانسیل‌یابی مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی بصورت مجزا بکار برده‌اند و در اغلب این تحقیقات علاوه بر نوع لایه‌های اطلاعاتی بکاررفته، از روشهای مختلف وزن دهی نظیر روش دلفی، روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات، روش تحلیل سلسله مراتبی معمول، روش تفسیر چشمی و تجربی و غیره استفاده شده است و خروجی آنها به ندرت بصورت کمی اعتبارسنجی شده است. در حالیکه در این پژوهش، برای اولین بار، گروه‌های مختلف داده‌های زمین‌شناسی، محیطی، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی حاصل از مطالعات میدانی ابتدا کمی‌سازی گردیده‌اند و سپس به روشهای تحلیل آمار مکانی و به کمک تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی با همدیگر در پتانسیل‌یابی مناطق آبهای زیرزمینی، ادغام گردیده‌اند.

بر این اساس، لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به سه روش مذکور و بر اساس اهمیت و تاثیر آن‌ها بر روی آب‌های زیرزمینی وزن دهی شدند و در نهایت نقشه پتانسیل مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی تهیه شد. با توجه به نتایج نهایی بطور متوسط $14/50$ درصد منطقه دارای پتانسیل خیلی کم، $7/50$ درصد دارای پتانسیل کم، 21 درصد دارای پتانسیل متوسط و $34/50$ درصد منطقه دارای پتانسیل خوب و $22/50$ درصد منطقه دارای پتانسیل خیلی خوب آب‌های زیرزمینی هستند. همچنین نتایج نشان داد که گسترش آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، بیشتر در قسمت غرب، جنوب‌غربی، جنوب-شرقی و مرکز واقع شده‌اند و مناطق کم پتانسیل در قسمت شمالی و شمال شرقی آن نمایان می‌باشد. علاوه بر آن، ارزیابی نتایج با توجه به نوع داده‌های زمین‌شناسی و محیطی نشان داد که مناطق دارای بارش خوب و جنس لایه زمین از نوع آبرفت‌های رودخانه‌ای، کلوئگومرا و ماسه‌سنگ و داری ارتفاع کم، جزء مناطقی دارای پتانسیل بالای آب‌های زیرزمینی هستند. در مقابل، مناطقی که دارای بارش کم، ارتفاع زیاد و جنس زمین آن سخت بوده جزء مناطق ضعیف پتانسیل آب‌های زیرزمینی هستند. با توجه به اعتبار سنجی نتایج حاصل، با موقعیت چاه‌های پی‌زومتر به تعداد ۶۲ عدد، پتانسیل آب‌های زیرزمینی در مناطق خوب و خیلی خوب قرار دارند، به جزء تعدادی محدودی از چاه‌ها که در منطقه با پتانسیل

مستقیم با نتایج کار گذشتگان وجود نداشت. ثانیاً با توجه به بکارگیری نوع روش، تعداد و نوع لایه‌های اطلاعاتی متفاوت محیطی، زمین‌شناسی و داده‌های ماهواره‌ای، این تحقیق هم دارای ورودی متفاوت با تحقیقات قبلی بوده و هم تقسیم‌بندی تعداد کلاسهای نقشه خروجی متفاوت با تحقیقات قبلی بوده است و لذا امکان مقایسه مستقیم وجود نداشت. ولی نتایج این تحقیق بصورت غیرمستقیم با چاه‌های زیرزمینی موجود در منطقه نظیر برخی تحقیقات گذشته [۸، ۱۱] مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج بهتری با توجه به ادغام داده‌های مختلف محیطی، زمین‌شناسی و ماهواره‌ای حاصل گردیده است.

۵- نتیجه‌گیری

با افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی و کشاورزی، توجه به مدیریت آب‌های سطحی و زیرسطحی افزایش یافته است. در منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضر، دشت ساوه، تاکنون مطالعه‌ای جهت پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی صورت نگرفته است. لذا در این پژوهش، شناسایی و تهیه نقشه مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی با ترکیب داده‌های زمینی، محیطی، زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای در محدوده دشت ساوه انجام گرفت. وجه تمایز این تحقیق با تحقیقات قبلی را میتوان از سه منظر مختلف بیان کرد. هر کدام از تحقیقات قبلی در یک منطقه بخصوصی و با لایه‌های اطلاعاتی متفاوتی بکار گرفته شده است و در هیچ کدام از آنها بصورت جامع‌تری از لایه‌های مؤثر در آب‌های زیرزمینی بصورت یک جا استفاده نشده است. همچنین، برای اولین بار در این تحقیق، جهت به حداقل رساندن نظر کارشناسان خبره در اختصاص دانش‌پایه وزن‌های لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در تحقیق، وزن‌دهی لایه‌های مؤثر در مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی در سه حالت مختلف، به روش‌های تحلیل سلسله مراتبی نه-درجه‌ای، تحلیل سلسله مراتبی مثلثی یا فازی و تحلیل سلسله مراتبی ساختار یافته، بررسی گردیده است و نقشه نهایی از میانگین سه حالت مذکور با حداقل خطای احتمالی، حاصل گردیده است. علاوه بر آنها در این پژوهش، در موضوع و منطقه مورد مطالعه، پتانسیل تصاویر انعکاسی و حرارتی لندست ۸ توأمان در مطالعات آب‌های زیرزمینی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. همچنین، در اغلب مطالعات

ضعیف آب های زیرزمینی قرار دارند. علت این امر می تواند، به این دلیل باشد که این مناطق دارای ارتفاع کمتری نسبت به مناطق بالا دست خود هستند و همچنین شیب منطقه از غرب به شرق و از شمال به جنوب می باشد و ممکن است جهت لایه خاک در زیرزمین به گونه ای بوده باشد که سبب رخنمون آب در آن مناطق شده باشند، در حالی که منبع تغذیه آن ها در مناطق بالاتر با پتانسیل

خوب باشد. در نتیجه می توان گفت تهیه نقشه پتانسیل منابع آب های زیرزمینی دشت ساوه، با تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و با ادغام انواع داده های زمین شناسی، محیطی، ماهواره ای و داده های زمینی علاوه بر صرفه جویی در وقت و کاهش هزینه ها، یکی از روش های باثبات می باشد.

مراجع

- [1] O. A. Dasho, E. A. Ariyibi, F. O. Akinluyi, M. O. Awoyemi, and A. S. Adebayo, "Application of satellite remote sensing to groundwater potential modeling in Ejigbo area, Southwestern Nigeria," *Modeling Earth Systems and Environment*, vol. 3, no. 2, pp. 615-633, 2017.
- [2] A. Gadgil, "Drinking water in developing countries," *Annual review of energy and the environment*, vol. 23, no. 1, pp. 253-286, 1998.
- [3] E. Sener, A. Davraz, and M. Ozcelik, "An integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: a case study in Burdur, Turkey," *Hydrogeology Journal*, vol. 13, no. 5-6, pp. 826-834, 2005.
- [4] H. Saatati and K. Maghsood, " Investigating the effect of flood spreading on aquifer on agricultural and aquifer levels in downstream areas of the so-called watershed using GIS and satellite imagery, " (in fa), *Geographical Land*, vol. 19, no. 5, pp. 1-10, 2008.
- [5] M. Saberi, D. Kazem, M. Reza, and M. R. Agriculture, "Groundwater potential potential by combining remote sensing and GIS with Analytic Hierarchy Process (AHP) in Khuzestan Province's High-Cost Anticline," *Advanced Journal of Advanced Geology*, vol. 2, no. 6, pp. 11-20, 2012.
- [6] D. Rahimi, "Potential ground water resources: (Case study: Shahrekord plain)," *Geography and Environmental Planning*, vol. 22, no. 4, pp. 127-142, 2012.
- [7] S. F. Elbeih, "An overview of integrated remote sensing and GIS for groundwater mapping in Egypt," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 1-15, 2015.
- [8] K. Khodaei and H. R. Nassery, "Groundwater exploration using remote sensing and geographic information systems in a semi-arid area (Southwest of Urmieh, Northwest of Iran)," *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 6, no. 4, pp. 1229-1240, 2013.
- [9] G. Lshkaripour, M. Nakhaee, and v. Behzadifar, "Quantitative assessment of groundwater resources in Quchan-Shirvan plain by using GIS, *Journal of irrigation and water engineering*, vol. 2, no. 3, pp. 83-96, 2012.
- [10] N. Hammouri, H. Al-Amoush, M. Al-Raggad, and S. Harahsheh, "Groundwater recharge zones mapping using GIS: a case study in Southern part of Jordan Valley, Jordan," *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 7, no. 7, pp. 2815-2829, 2014.
- [11] Mohammadnejad.V, Sarascanrood.S.A, Gul Muhammad Zadeh.B , (2014), "Preparation of Groundwater Susceptible Map Using GIS and MIF Case Study: Urmia", *Quantitative geomorphology studies*.3(7), P 1-16.
- [12] Yamani.M, Ali Zadeh.SH, (2015), "Potential of Groundwater Resources Using Analytical Hierarchy Process (AHP) (Case Study: Abadeh-Eqlid Fars Basin)", *Hydrogeomorphology journal*, (1), P 131-144.
- [13] D. Oikonomidis, S. Dimogianni, N. Kazakis, and K. Voudouris, "A GIS/remote sensing-based methodology for groundwater potentiality assessment in Tirnavos area, Greece," *Journal of Hydrology*, vol. 525, pp. 197-208, 2015.
- [14] S. Selvam, F. A. Dar, N. Magesh, C. Singaraja, S. Venkatramanan, and S. Chung, "Application of remote sensing and GIS for delineating groundwater recharge potential zones of Kovilpatti Municipality, Tamil Nadu using IF technique," *Earth Science Informatics*, vol. 9, no. 2, pp. 137-150, 2016.
- [15] M. Jam.S, G. N. Abadi.SH, Vafaieinejad.A, Moridi.A, and Khzaee.S", "Potential Evaluation of Underground Water Resource with the Hybrid Approach to Particle Swarm Optimization Algorithm and Geospatial Information Systems (Case Study: Mehran, Ilam)," *Iranian Journal of Applied Ecology*, vol. 4, no. 4, pp. 1199-1213, 2017.
- [16] O. Rahmati and A. M. Melesse, "Application of Dempster-Shafer theory, spatial analysis and remote sensing for groundwater potentiality and nitrate pollution analysis in the semi-arid region of Khuzestan, Iran," *Science of the Total Environment*, vol. 568, pp. 1110-1123, 2016.

- [17] P. Nayak, A. K. Rai, and S. Tripathy, "Evaluating groundwater prospects using GIS techniques," *Sustainable Water Resources Management*, vol. 3, no. 2, pp. 129-139, 2017.
- [18] M. Gupta and P. K. Srivastava, "Integrating GIS and remote sensing for identification of groundwater potential zones in the hilly terrain of Pavagarh, Gujarat, India," *Water International*, vol. 35, no. 2, pp. 233-245, 2010.
- [19] H. Piri and A. Bameri, "Investigating the quantity variation trend of ground water table using geostatistics and GIS (Case study: Sirjan Plain)," *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, vol. 5, no. 1, pp. 29-44, 2014.
- [20] H. Behzadi Karimi and K. Omidvar, "Spatial analysis of chemical parameters affecting groundwater quality using factor analysis and geostatistical methods (Case study: Bayza-Zarghan plain)," *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, vol. 8, no. 4, pp. 17-35, 2018.
- [21] D. Machiwal, M. K. Jha, and B. C. Mal, "Assessment of groundwater potential in a semi-arid region of India using remote sensing, GIS and MCDM techniques," *Water resources management*, vol. 25, no. 5, pp. 1359-1386, 2011.
- [22] R. Agarwal and P. Garg, "Remote sensing and GIS based groundwater potential & recharge zones mapping using multi-criteria decision making technique," *Water resources management*, vol. 30, no. 1, pp. 243-260, 2016.
- [23] R. Richter and D. Schläpfer, "Atmospheric/Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide, Version 8.3. 1, February 2014)," ed, 2013.
- [24] I. Manakos, K. Manevski, C. Kalaitzidis, and D. Edler, "Comparison between atmospheric correction modules on the basis of worldview-2 imagery and in situ spectroradiometric measurements," in *7th EARSeL SIG Imaging Spectroscopy Workshop*, 2011, pp. 11-13.
- [25] T. Fuyi, S. Mohammed, K. Abdullah, H. Lim, and K. Ishola, "A comparison of atmospheric correction techniques for environmental applications," in *2013 IEEE International Conference on Space Science and Communication (IconSpace)*, , 2013, pp. 233-237: IEEE.
- [26] B. Pflug and M. Main-Knorn, "Validation of atmospheric correction algorithm ATCOR," in *Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XIX; and Optics in Atmospheric Propagation and Adaptive Systems XVII*, 2014, vol. 9242, p. 92420W: International Society for Optics and Photonics.
- [27] T. Cooley et al., "FLAASH, a MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm, its application and validation," in *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS'02. 2002 IEEE International*, 2002, vol. 3, pp. 1414-1418: IEEE.
- [28] F. U. s. Guide, "ENVI FLAASH Version 4.1, September, 2004 Edition, Research Systems," ed: Inc, 2004.
- [29] M. R .McDevitt, R. J. Kligman, and T. E. Withee, "Application of GIS to a parking study in Newton," 2002.
- [30] G. H, "Analytic hierarchy process (AHP)," in *Analytic hierarchy process (AHP): Amir Kabir University Press*, 2000, p. 232.
- [31] C. Tam, T. K. Tong, and G. W. Chiu, "Comparing non-structural fuzzy decision support system and analytical hierarchy process in decision-making for construction problems," *European Journal of Operational Research*, vol. 174, no. 2, pp. 1317-1324, 2006.
- [32] Y. Manlun, "Suitability Analysis of Urban Green Space System Based on GIS," 2003: ITC.
- [33] S. Ganapuram, G. V. Kumar, I. M. Krishna, E. Kahya, and M. C. Demirel, "Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS," *Advances in Engineering Software*, vol. 40, no. 7, pp. 506-518, 2009.
- [34] N. Magesh, N. Chandrasekar, and J. P. Soundranayagam, "Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques," *Geoscience Frontiers*, vol. 3, no. 2, pp. 189-196, 2012.
- [35] D. Rahimi and S. H. Mousavi, "Potential Detection of Groundwater Resources Using AHP Model and GIS Technique (Case Study: Shahroud-Bastam Basin)," *Journal of Geography and Planning*, vol. 17, no. 44, pp. 139-159, 2013.
- [36] M. K. Jha, A. Chowdhury, V. Chowdary, and S. Peiffer, "Groundwater management and development by integrated remote sensing and geographic information systems: prospects and constraints," *Water Resources Management*, vol. 21, no. 2, pp. 427-467, 2007.
- [37] A. Carrara, "Drainage and divide networks derived from high-fidelity digital terrain models," in *Quantitative analysis of mineral and energy resources: Springer*, 1988, pp. 581-597.
- [38] Saberi.A, Rangraz.K, Mahjori.R, and Keshavarzi.MR, "Groundwater potential potential by combining remote sensing and GIS using Analytic Hierarchy Process (AHP) method in Tagdis Khuzestan province," *Advanced Applied Geology Journal*, vol. 1, no. 6, 2013.

- [39] S. Das, S. Behera, A. Kar, P. Narendra, and S. Guha, "Hydrogeomorphological mapping in ground water exploration using remotely sensed data—a case study in keonjhar district, orissa," *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, vol. 25, no. 4, pp. 247-259, 1997.
- [40] P. Sander, M. M. Chesley, and T. B. Minor, "Groundwater assessment using remote sensing and GIS in a rural groundwater project in Ghana: lessons learned," *Hydrogeology Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 40-49, 1996.
- [41] J. C. Jiménez-Muñoz and J. A. Sobrino, "A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data," *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), vol. 108, no. D22, 2003.
- [42] A. A. A. Hosseinali F. , Rajabi M.A. , "Evaluaiion of Various Methods for Weighting Spatial Information in GIS) Case Study: Mineral Potential Mapping)," *Iranian Journal of Remote Sencing & GIS*, , vol. 38(2), no. 1, pp. 1-16, 2010.
- [43] Babaei.M, Gari.H, and Golanezhad.J, "Investigation and Comparison of Exploration Layer Valuation Methods in GIS," *Geological Survey of Iran - 30th Earth Science Conference*, pp. 5-19, 2010.