

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : علوم زمین

گروه : آبشناسی و زمین شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی – آبشناسی

ارزیابی آسیب پذیری سفره آب زیرزمینی شاهرود با استفاده از مدل DRASTIC

دانشجو : شادی ابوالحسنی الماسی

استاد راهنما :

دکتر هادی جعفری

بهمن ۱۳۹۳



دانشگاه گیلان

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره:

تاریخ:

ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم شادی ابوالحسنی الماسی رشته زمین شناسی گرایش آبشناسی تحت عنوان ارزیابی آسیب پذیری سفره آب زیرزمینی شاهرود با استفاده از مدل DRASTIC که در تاریخ ۹۳/۱۱/۱۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

☐ مردود	☐ دفاع مجدد	☒ قبول (با درجه: ۱۹.۵ امتیاز عالی)
--------------------------------	------------------------------------	--

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر هادی جعفری	استادیار	
۲- استاد مشاور			
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر افشین قشلاقی	استادیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر غلامحسین کرمی	دانشیار	
۵- استاد ممتحن	دکتر رحیم باقری	استادیار	

رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیدی

امضاء

دانشگاه صنعتی شاهرود

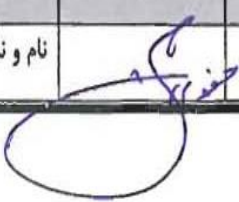
دانشکده : علوم زمین

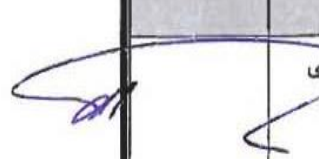
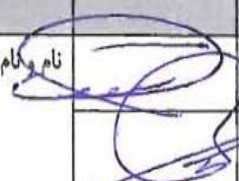
گروه : زمین شناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم شادی ابوالحسنی الماسی

تحت عنوان: ارزیابی آسیب پذیری سفره آب زیرزمینی شاهرود با استفاده از مدل DRASTIC

در تاریخ ۹۳/۱۱/۱۳ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	استاد راهنما
—	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر هادی جعفری

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر افشین فشارقی		نام و نام خانوادگی : دکتر غلامحسین کرمی
			نام و نام خانوادگی : دکتر رحیم باقری
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم بہ

پدرم

کہ عالمانہ بہ من آموخت تا چگونه در عرصہ زندگی، ایستادگی را تجربہ نمایم.

مادرم

دریای بی کران فداکاری و عشق کہ وجودم برایش ہمہ رنج بود و وجودش برایم ہمہ مہر

ہمسرم

کہ در سایہ ہمیاری و ہمدلی او بہ این منظور نائل شدم.

برادرم

امید بخش جانم کہ آسایش او آرامش من است.

تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درخشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید. سلام و درود بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است.

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار و همسری مهربان نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، و همسرم که قلبی آکنده از عشق و معرفت دارد و محیطی سرشار از سلامت، امنیت، آرامش و آسایش برای من فراهم آورده است.

آموزگارانی که برایم زندگی و انسان بودن را معنا کردند. از استاد با کمالات و شایسته، جناب آقای دکتر هادی جعفری که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند، از اساتید فرزانه و دلسوز، جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی و آقای دکتر رحیم باقری که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند و تمامی اساتید بزرگوار که در محضر پر فیضشان بهره برده‌ام کمال تشکر و قدردانی را دارم.

شادی ابوالحسنی‌الماسی

بهمن ۱۳۹۳

تعهد نامه

اینجانب شادی ابوالحسنی الماسی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی _ آبشناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ارزیابی آسیب پذیری سفره آب زیرزمینی شاهرود با استفاده از مدل DRASTIC تحت راهنمایی دکتر هادی جعفری متعهد می شوم.

- 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 مورد استفاده 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 می باشد و مقالات مستخرج با نام « 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 بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا 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 ۹۳، ۱۱، ۱۸
امضای دانشجو
ابراهیم کاظمی

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

دشت شاهرود با وسعتی حدود ۵۴۰ کیلومتر مربع در استان سمنان قرار دارد. با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در این دشت که برای مصارفی نظیر شرب، کشاورزی و صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد، مطالعه آسیب‌پذیری و شناسایی مناطق مستعد آلودگی آبخوان برای توسعه و مدیریت بهینه منابع ارزشمند آب ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت شاهرود با استفاده از روش دراستیک (DRASTIC) مورد بررسی قرار گرفته است. لایه‌های اطلاعاتی این روش، عمق آب‌زیرزمینی (D)، تغذیه (R)، محیط آبخوان (A)، بافت خاک سطحی (S)، توپوگرافی (T)، اثر منطقه غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) در محیط GIS تهیه، رتبه‌دهی و وزن‌دهی گردید. سپس با هم‌پوشانی و تلفیق آن‌ها نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت شاهرود و نیز شاخص دراستیک بدست آمد. شاخص دراستیک برای دشت شاهرود بین ۲۸ تا ۱۴۸ برآورد گردید. با توجه به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان، منطقه شهری و بخش‌های جنوبی منطقه آسیب‌پذیری بالا و سایر مناطق آسیب‌پذیری متوسط تا کم را نشان می‌دهد. به طور کلی می‌توان گفت که نزدیک بودن سطح آب زیرزمینی به سطح زمین در قسمت‌های جنوبی آبخوان و درشت دانه بودن بافت خاک سطحی در حاشیه شمالی آبخوان، سبب آسیب‌پذیری بسیار بالای این مناطق شده است. بافت ریزدانه خاک سطحی در مناطق کشاورزی سبب آسیب‌پذیری کم این مناطق شده است. مقادیر غلظت نترات در بخش‌های مختلف آبخوان شاهرود با نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مقایسه گردید. نتایج نشان داد غلظت نترات در مناطق آسیب‌پذیر بالا می‌باشد. به منظور انجام آنالیز حساسیت نقشه آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود به پارامترهای مختلف، ابتدا ارتباط پارامترها بررسی گردید. آنالیز حساسیت به دو روش حذف پارامتر و آنالیز تک پارامتر نشان داد شاخص آسیب‌پذیری نسبت به حذف لایه‌های محیط غیراشباع و محیط آبخوان حساسیت بالایی را نشان می‌دهد. این موضوع اهمیت بیشتر این دو لایه را در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان اثبات می‌نماید.

کلمات کلیدی : آسیب‌پذیری، دراستیک، آبخوان شاهرود، آنالیز حساسیت

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- ابوالحسنی ش و جعفری ه، (۱۳۹۳)، "ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت شاهرود با استفاده از مدل DRASTIC در محیط GIS"، هفتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران.

۲- ابوالحسنی ش، کشکویی م و جعفری ه، (۱۳۹۳)، "تهیه نقشه خاک دشت شاهرود با استفاده از پردازش تصاویر ASTER"، همایش کاربرد کامپیوتر در علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

- ۱-۱- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق ۱
- ۲-۱- اهداف تحقیق ۲
- ۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ۲
- ۴-۱- ویژگی‌های آبخوان شاهرود ۳
- ۵-۱- هواشناسی منطقه ۴
- ۶-۱- موقعیت منطقه در زمین‌شناسی ایران ۷
- ۱-۶-۱- چینه‌شناسی منطقه ۸
- ۲-۶-۱- زمین‌شناسی ساختمانی ۱۴
- الف) چین‌خوردگی‌ها ۱۴
- ب) گسل‌ها ۱۵
- ۷-۱- ژئومورفولوژی منطقه ۱۶

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین درباره آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی

- ۱-۲- مقدمه ۱۷
- ۲-۲- آسیب‌پذیری آبخوان ۱۸
- الف) مفهوم آسیب‌پذیری ۱۸
- ۳-۲- روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ۱۹

۲۰	(Overlay and Index Methods) روش‌های همپوشانی و شاخص
۲۰	 روش‌های پردازشی
۲۱	 روش‌های آماری
۲۱	 ۴-۲-۴-۲ عدم قطعیت در ارزیابی آسیب‌پذیری
۲۲	 ۵-۲-۵-۲ پیشینه پژوهش
۲۲	 ۱-۵-۲-۱ پیشینه پژوهش در جهان
۲۶	 ۲-۵-۲-۲ پیشینه پژوهش در ایران

فصل سوم: روش کار

۳۱	 ۱-۳-۱ منابع اطلاعاتی، تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزارهای موردنیاز
۳۲	 ۲-۳-۲ سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographical Information System)
۳۳	 ۳-۳-۳ مدل دراستیک (DRASTIC Model)
۳۵	 ۱-۳-۳-۱ وزن‌ها (Weights)، رتبه‌ها (Ratings) و بازه‌ها (Ranges)
۳۷	 ۲-۳-۳-۲ منابع داده‌ها (Data Source)
۳۷	 ۴-۳-۴-۲ بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از خاک دشت شاهرود

فصل چهارم: ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود

۳۹	 ۱-۴-۱ مقدمه
۳۹	 ۲-۴-۲ تهیه لایه‌های اطلاعاتی
۳۹	 ۱-۲-۴-۱ عمق سطح ایستابی (D)
۴۲	 ۲-۲-۴-۲ تغذیه آبخوان (R)

۴۴	 (A) محیط آبخوان ۳-۲-۴
۴۶	 (S) محیط خاک ۴-۲-۴
۵۱	 (T) توپوگرافی ۵-۲-۴
۵۲	 (I) محیط غیراشباع آبخوان ۶-۲-۴
۵۴	 (C) هدایت هیدرولیکی ۷-۲-۴
۵۶	 رتبه‌دهی و وزن‌دهی پارامترها ۳-۴
۵۷	 (D) رتبه‌بندی عمق سطح ایستابی ۱-۳-۴
۵۸	 (R) رتبه‌بندی تغذیه آبخوان ۲-۳-۴
۵۸	 (A) رتبه‌بندی محیط آبخوان ۳-۳-۴
۵۹	 (S) رتبه‌بندی محیط خاک ۴-۳-۴
۶۰	 (T) رتبه‌بندی توپوگرافی ۵-۳-۴
۶۱	 (I) رتبه‌بندی محیط غیراشباع آبخوان ۶-۳-۴
۶۲	 (C) رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی ۷-۳-۴
۶۳	 شاخص آسیب‌پذیری DRSATIC و نقشه آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود ۴-۴
۶۷	 آنالیز حساسیت مدل ۵-۴
۶۷	 همبستگی پارامترهای مدل DRASTIC ۱-۵-۴
۶۸	 آنالیز حساسیت حذف پارامتر ۲-۵-۴
۷۰	 آنالیز حساسیت تک پارامتری ۳-۵-۴

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۷۳..... ۵-۱- مقدمه

۷۳..... ۵-۲- نتایج

۷۶..... ۵-۳- پیشنهادها

۷۸..... پیوست‌ها

۹۵..... منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی و راههای ارتباطی محدوده مطالعاتی ۳
- شکل (۲-۱) تصویر ماهواره‌ای دشت شاهرود و موقعیت آبخوان شاهرود ۴
- شکل (۳-۱) منحنی آمبروترمیک دشت شاهرود در طی یک دوره ۱۵ ساله (۱۳۷۷ - ۱۳۹۱) ۶
- شکل (۴-۱) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۱۰
- شکل (۱-۳) تصاویری از بافت خاک سطحی دشت شاهرود ۳۸
- شکل (۲-۳) موقعیت نقاط نمونه‌برداری خاک برداشت شده از دشت شاهرود ۳۸
- شکل (۱-۴) موقعیت پیزومترهای حفر شده در دشت شاهرود ۴۰
- شکل (۲-۴) نقشه هم‌ارزش عمق سطح ایستابی (D) در آبخوان دشت شاهرود ۴۲
- شکل (۳-۴) نقشه هم‌ارزش تغذیه سطحی (R) آبخوان شاهرود ۴۳
- شکل (۴-۴) موقعیت پیزومترهای دارای لاگ حفاری در دشت شاهرود و بافت غالب رسوبات ۴۵
- شکل (۵-۴) نقشه هم‌ارزش محیط آبخوان (A) دشت شاهرود ۴۵
- شکل (۶-۴) پراکندگی بافت خاک در دشت شاهرود براساس پردازش تصاویر استر ۴۸
- شکل (۷-۴) مثلث بافت خاک براساس استاندارد دپارتمان کشاورزی آمریکا (USDA) ۵۰
- شکل (۸-۴) بافت خاک نمونه‌های برداشت شده از دشت شاهرود ۵۰
- شکل (۹-۴) نقشه بافت خاک دشت شاهرود ۵۱
- شکل (۱۰-۴) نقشه هم‌ارزش شیب (T) دشت شاهرود ۵۲
- شکل (۱۱-۴) موقعیت لاگ‌های پیزومترهای دشت شاهرود و بافت خاک در محیط غیراشباع ۵۳
- شکل (۱۲-۴) نقشه هم‌ارزش محیط غیراشباع (I) دشت شاهرود ۵۴
- شکل (۱۳-۴) نقشه هدایت هیدرولیکی براساس نتایج مدل‌سازی عددی در آبخوان شاهرود ۵۵
- شکل (۱۴-۴) نقشه هم‌ارزش هدایت هیدرولیکی (C) آبخوان دشت شاهرود ۵۵

- شکل (۴-۱۵) نقشه رتبه‌بندی شده عمق آب زیرزمینی آبخوان دشت شاهرود ۵۷
- شکل (۴-۱۶) نقشه رتبه‌بندی شده تغذیه آبخوان دشت شاهرود ۵۸
- شکل (۴-۱۷) نقشه رتبه‌بندی شده محیط آبخوان دشت شاهرود ۵۹
- شکل (۴-۱۸) نقشه رتبه‌بندی شده بافت خاک دشت شاهرود ۶۰
- شکل (۴-۱۹) نقشه رتبه‌بندی شده شیب سطح زمین در دشت شاهرود ۶۱
- شکل (۴-۲۰) نقشه رتبه‌بندی شده محیط غیراشباع آبخوان دشت شاهرود ۶۲
- شکل (۴-۲۱) نقشه رتبه‌بندی شده هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت شاهرود ۶۳
- شکل (۴-۲۲) نقشه شاخص آسیب‌پذیری آبخوان دشت شاهرود براساس مدل درستیک ۶۵
- شکل (۴-۲۳) نقشه نهایی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت شاهرود ۶۶
- شکل (۴-۲۴) غلظت نیترات در دشت شاهرود و ارتباط آن با نقشه آسیب‌پذیری ۶۶

فهرست جدول‌ها

- جدول (۱-۱) آمار ۱۵ ساله ایستگاه سینوپتیک شاهرود در طی دوره (۱۳۷۷-۱۳۹۱)..... ۵
- جدول (۲-۱) رده‌بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده، ۱۳۹۱)..... ۷
- جدول (۱-۳) وزن‌های اختصاص یافته به پارامترهای مدل دراستیک..... ۳۵
- جدول (۱-۴) مشخصات پی‌زومترهای حفر شده در دشت شاهرود..... ۴۱
- جدول (۲-۴) درصد ذرات تشکیل دهنده و بافت خاک نمونه‌های برداشت شده از دشت شاهرود.... ۴۹
- جدول (۳-۴) رتبه‌بندی و وزن دهی پارامترهای مدل DRASTIC در آبخوان دشت شاهرود..... ۵۶
- جدول (۴-۴) رتبه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری به روش دراستیک..... ۶۵
- جدول (۵-۴) ماتریس همبستگی پارامترهای مدل DRASTIC در دشت شاهرود..... ۶۸
- جدول (۶-۴) نتایج آماری تحلیل حساسیت حذف پارامتر در دشت شاهرود..... ۶۹
- جدول (۷-۴) نتایج آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری در دشت شاهرود..... ۷۱

فصل اول: کلیات

۱-۱- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق

به طور کلی آب زیرزمینی، بخشی از چرخه آب در طبیعت می‌باشد که توسط چاه‌ها، قنات‌ها، زهکش‌ها و یا چشمه‌های طبیعی قابل جمع‌آوری است و عمده‌ترین تامین کننده نیازهای کشاورزی و شرب می‌باشد. آب زیرزمینی به دلیل استعداد آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیره زیاد نسبت به آب‌های سطحی، به عنوان یک منبع مهم در منابع آب مورد توجه است (چیت سازان و اختری، ۱۳۸۵). لذا مدیریت صحیح بهره‌برداری و حفاظت از آب‌های زیرزمینی لازم و ضروری می‌باشد. سالانه حجم زیادی از پساب منابع خانگی، صنعتی و کشاورزی وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود که این آب‌ها به همراه خود انواع آلودگی‌ها را وارد سفره‌ی آب زیرزمینی کرده و موجب آلودگی آن می‌شود. وجود منابع مهم آلاینده‌های انتشاری و نقطه‌ای مرتبط با فعالیت‌های انسانی در سطح زمین و نفوذ این آلاینده‌ها به آبخوان باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی‌های آب زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان و مدیریت کاربری اراضی است.

با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در دشت شاهرود که برای اهدافی نظیر شرب، کشاورزی و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و نیز با عنایت به اینکه تاکنون هیچ مطالعه‌ای در زمینه بررسی آسیب‌پذیری این آبخوان صورت نگرفته است، مطالعه آسیب‌پذیری و شناسایی مناطق مستعد آلودگی آبخوان برای توسعه و مدیریت بهینه منابع ارزشمند آب ضروری به نظر می‌رسد. همچنین، به دلیل

استمرار آلودگی آبخوان‌ها توسط منابع آلوده‌کننده و افزایش مناطق آسیب‌پذیر، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و به کار بردن سیاست‌های مدیریتی امری ضروری می‌باشد.

۱-۲- اهداف تحقیق

الف) بررسی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان شاهرود با استفاده از مدل DRASTIC

ب) بررسی نقش و اهمیت پارامترهای مؤثر در آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود

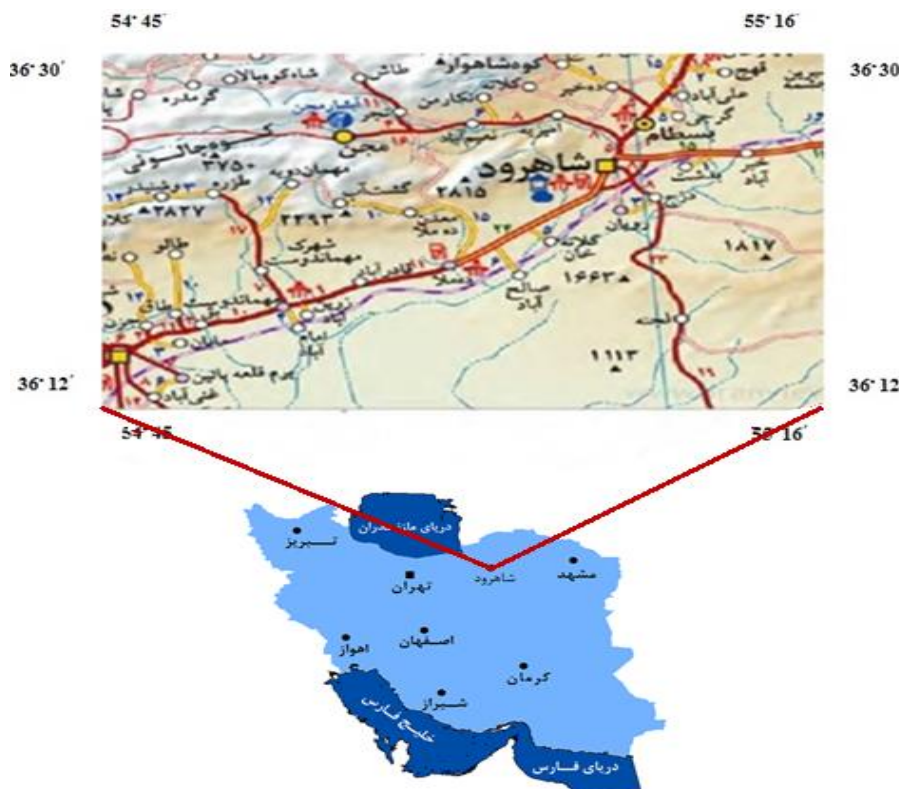
ج) پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود و برآورد شاخص آسیب‌پذیری

د) شناسایی مناطقی با استعداد بیشتر برای آلوده شدن نسبت به سایر مناطق

۱-۳- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

دشت شاهرود در مسیر جاده اصلی تهران- مشهد در استان سمنان قرار گرفته است. این دشت به صورت مستطیلی در جهت شمال شرق جنوب غرب بین ارتفاعات تپال در شمال، غرب و تپه ماهورهای مارنی - گچی میوسن در جنوب قرار دارد. دشت دامغان از طرف جنوب غرب و مرز حوضه آبریز میامی در شرق، دشت شاهرود را محدود نموده است (ولی‌زاده ۱۳۹۲).

از نظر جغرافیایی این دشت در جنوب ارتفاعات البرز با وسعتی حدود ۵۴۰ کیلومتر مربع در محدوده‌ی بین طول جغرافیای ۳۵°، ۵۴' تا ۵۵°، ۱۶' طول شرقی و ۳۶°، ۱۲' تا ۳۶°، ۳۰' درجه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱-۱). مهم‌ترین و تنها شهر موجود در منطقه مورد مطالعه شهر شاهرود با وسعت ۳۱ کیلومتر مربع می‌باشد که در شمال شرقی دشت قرار گرفته است. شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.



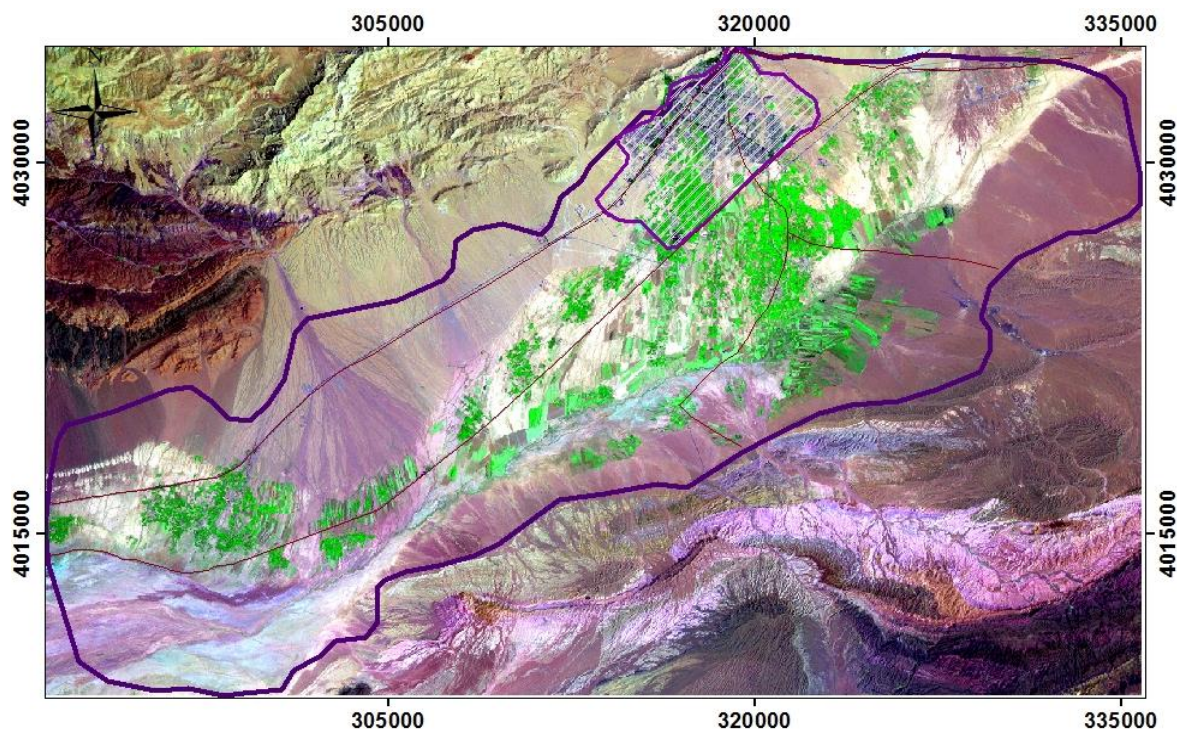
شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی محدوده مطالعاتی

۴-۱- ویژگی‌های آبخوان شاهرود

آبخوان آزاد شاهرود به وسیله‌ی نفوذ آب بارندگی، پساب شهری، آب برگشتی کشاورزی و جریان ورودی آب زیرزمینی از سازندهای مجاور تغذیه می‌گردد. همچنین این آبخوان به وسیله‌ی ۳۱۵ حلقه چاه و جریان خروجی زیرزمینی تخلیه می‌شود. این چاه‌ها به منظور مصارف‌های مختلفی نظیر آشامیدن، صنعتی و کشاورزی در آبخوان حفر شده‌اند. به دلیل عمق زیاد برخورد به آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق از سطح آبخوان صورت نمی‌گیرد. تعداد ۴۰ حلقه چاه پی‌زومتری در منطقه‌ی مورد مطالعه حفر شده است.

میانگین عمق سطح آب در دشت شاهرود ۱۰۰ متر می‌باشد. که بیشترین آن در بخش‌های شمالی و کمترین آن در بخش‌های جنوبی دشت می‌باشد. براساس نقشه هم پتانسیل، جهت جریان آب زیرزمینی به طور معمولی از سمت شمال شرق به سوی جنوب غربی می‌باشد (ولی‌زاده، ۱۳۹۲). تصویر ماهواره‌ای

دشت شاهرود و موقعیت آبخوان شاهرود در شکل (۲-۱) نشان داده شده است.



شکل (۲-۱) تصویر ماهواره‌ای دشت شاهرود و موقعیت آبخوان شاهرود

۱-۵- هواشناسی منطقه

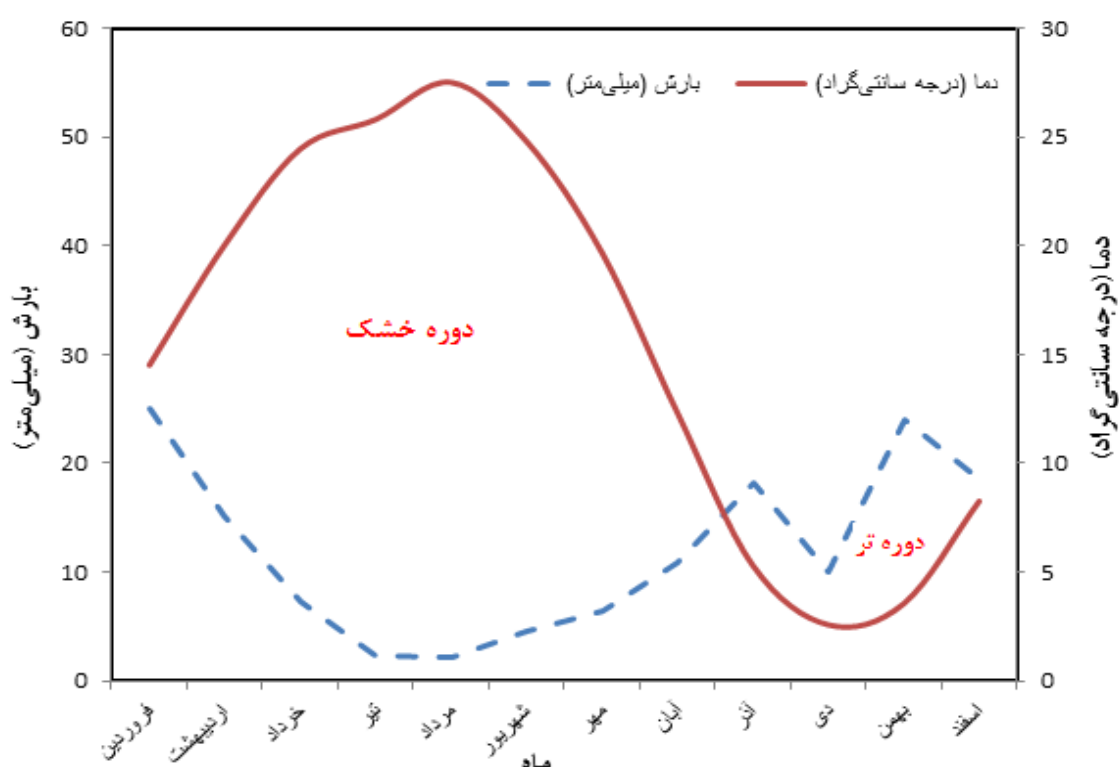
اطلاعات آماری مربوط به آب و هوای منطقه براساس اطلاعات ایستگاه سینوپتیک شاهرود بررسی شده است. جدول (۱-۱) آمار ۱۵ ساله ایستگاه سینوپتیک شاهرود در طی دوره (۱۳۷۷ - ۱۳۹۱) را نشان می‌دهد. حداکثر بارندگی منطقه را در سال ۱۳۷۱ برابر با ۳۱۲/۸ میلی‌متر و حداقل آن در سال ۱۳۴۰ برابر با ۶۷/۵ میلی‌متر و میانگین بارندگی سالانه منطقه ۱۴۴/۳۶ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. حداکثر بارندگی فصلی در ایستگاه شاهرود در فروردین ماه و حداقل بارندگی فصلی در مرداد ماه به ترتیب برابر با ۲۵/۰۱ و ۲/۱۰ میلی‌متر گزارش شده است (اداره‌ی هواشناسی شاهرود، ۱۳۹۱). همچنین میانگین سالانه‌ی دما در منطقه شاهرود ۱۵/۷۳ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداقل دمای

سالانه ۲/۵۷ و میانگین حداکثر دمای سالانه ۲۷/۵۲ درجه سانتی گراد می باشد (جدول ۱-۱).

جدول (۱-۱) آمار میانگین ماهانه ۱۵ ساله ایستگاه سینوپتیک شاهرود در طی دوره (۱۳۷۷-۱۳۹۱)

ماه	بارش (میلی متر)	دما (درجه سانتی گراد)
فروردین	۲۵/۰۱	۱۴/۵۱
اردیبهشت	۱۵/۲۰	۲۰/۰۶
خرداد	۷/۲۰	۲۴/۴۶
تیر	۲/۲۹	۲۵/۸۱
مرداد	۲/۱۰	۲۷/۵۲
شهریور	۴/۵۴	۲۴/۸۰
مهر	۶/۴۰	۱۹/۶۸
آبان	۱۰/۷۷	۱۲/۳۱
آذر	۱۸/۱۸	۵/۳۰
دی	۱۰/۰۷	۲/۵۷
بهمن	۲۴/۰۷	۳/۵۵
اسفند	۱۸/۴۹	۸/۲۶
میانگین سالانه	۱۴۴/۳۶	۱۵/۷۳

نمودار آمبروترمیک منطقه جهت شناسایی دوره‌های تر و خشک در دشت شاهرود در طی دوره ۱۵ ساله ترسیم شد (شکل ۳-۱). این نمودار نشان می‌دهد که دوره خشک در دشت شاهرود بسیار طولانی بوده و از فروردین ماه تا اواخر آبان ماه ادامه دارد. دوره تر از اوایل آذر ماه تا اواخر اسفند را شامل می‌شود.



شکل (۳-۱) منحنی آمبروترمیک دشت شاهرود در طی یک دوره ۱۵ ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۱)

ضریب خشکی دمارتن جهت ارزیابی اقلیم منطقه محاسبه گردید. این ضریب در دشت شاهرود ۵/۶۱ برآورد شد که براساس رده‌بندی اقلیمی دمارتن جدول (۲-۱)، دشت شاهرود با ضریب خشکی ۵/۶۱ در محدوده اقلیم خشک قرار می‌گیرد.

قرار گرفتن دشت شاهرود در جنوب ارتفاعات البرز و مجاور بودن آن با کویر ایران مرکزی باعث شده

است که این منطقه دارای آب و هوای نیمه بیابانی و دارای زمستان‌های سرد و خشک و تابستان‌های معتدل باشد.

از نظر طبقه‌بندی کوپن این دشت جزء اقلیم‌های بیابانی و خشک طبقه‌بندی می‌گردد (گزارش وضعیت منابع آبی شهرستان شاهرود به نقل از ملکی، ۱۳۹۰).

جدول (۲-۱) رده‌بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده، ۱۳۹۱)

نوع اقلیم	محدوده ضریب خشکی دمارتن
خشک	$10 <$
نیمه خشک	$10 - 19/9$
مدیترانه‌ای	$20 - 23/9$
نیمه مرطوب	$24 - 27/9$
مرطوب	$28 - 34/9$
بسیار مرطوب	$35 >$

۱-۶- موقعیت منطقه در زمین‌شناسی ایران

از نظر زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه در دو ایالت ساختاری البرز (قسمت‌های شمالی منطقه) و ایران مرکزی (قسمت‌های میانی و جنوبی) قرار دارد. به همین دلیل بسیاری از حوادث و پدیده‌های دو ایالت ساختاری ایران مرکزی و البرز را می‌توان مشاهده نمود و خود مجموعه عواملی هستند که باعث شده‌اند تا رخساره‌های منطقه‌ی مورد مطالعه تفاوت‌هایی با رخساره‌های هم‌زمان خود در سایر نقاط دو ایالت ساختاری مذکور داشته باشند (وزیری، ۱۳۸۰).

رشته‌کوه البرز جزئی از قسمت‌های شمالی کوه‌زائی آلپ - هیمالیا در آسیای شرقی می‌باشد. این رشته

کوه با روند شرقی - غربی نسبتاً پیچ و خم دار خود از شمال به بلوک فرورفته کاسپین و از جنوب به فلات ایران مرکزی محدود می شود. منطقه‌ی مورد مطالعه در بخش شرقی این رشته کوه قرار دارد.

عملکرد رویدادهای کوهزائی، خشکیزائی و حرکات زمین‌ساختی مختلف در بخش‌های شمالی منطقه باعث به وجود آمدن چین‌خوردگی‌ها و گسلش‌های متعدد و در نتیجه سبب ایجاد ساختمان‌های تاقدیسی، ناودیسی و راندگی‌های متعدد شده است. در قسمت‌های جنوبی منطقه نیز ساختمان‌های تاقدیسی، چین‌های جناغی و پدیده‌ی راندگی قابل مشاهده است (وزیری، ۱۳۸۰).

۱-۶-۱- چینه‌شناسی منطقه

از لحاظ چینه‌شناسی دامنه‌ی شمالی منطقه‌ی مورد مطالعه مشابه بخش البرز شرقی و دامنه‌ی جنوبی آن با ایران مرکزی شباهت دارد. سازندهای لالون، میلا، الیکا، شمشک، دلیچای، لار، فجن، زیارت، میوسن زیرین، سنگ‌های آتشفشانی میوسن میانی، رسوبات پلیوکواترنری و رسوبات کواترنری، به ترتیب سنی، مهم‌ترین سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه می‌باشد. مخروط‌افکنه‌ها، کوه‌پایه‌ها و آبرفت‌های عهد حاضر سطح دشت به وسیله‌ی واریزه‌های آهکی این سازندها پوشیده شده است (وزیری، ۱۳۸۰). نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه در شکل (۱-۴) نمایش داده شده است. در این بخش توضیحات مربوط به سازندهای مختلف موجود در منطقه با توجه به گزارش پشت نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود (وزیری، ۱۳۸۰) ارائه می‌گردد.

الف) سازند لالون

سن این سازند کامبرین زیرین می‌باشد و از تناوب‌های ارغوانی رنگ ماسه‌سنگ کوارتزیتی ضخیم‌لایه و شیل‌های رسی نازک‌لایه تشکیل شده است. ماسه‌سنگ‌ها از نوع ساب آרקوز آهکی، با رسیدگی از نوع ساب مچور و دارای ساخت رسوبی تیغه‌ای و موجواره می‌باشند. مرز زیرین سازند لالون با سازند زایگون به صورت تدریجی و مرز بالایی آن با سازند میلا در همه جا نشانگر یک ایست رسوبی

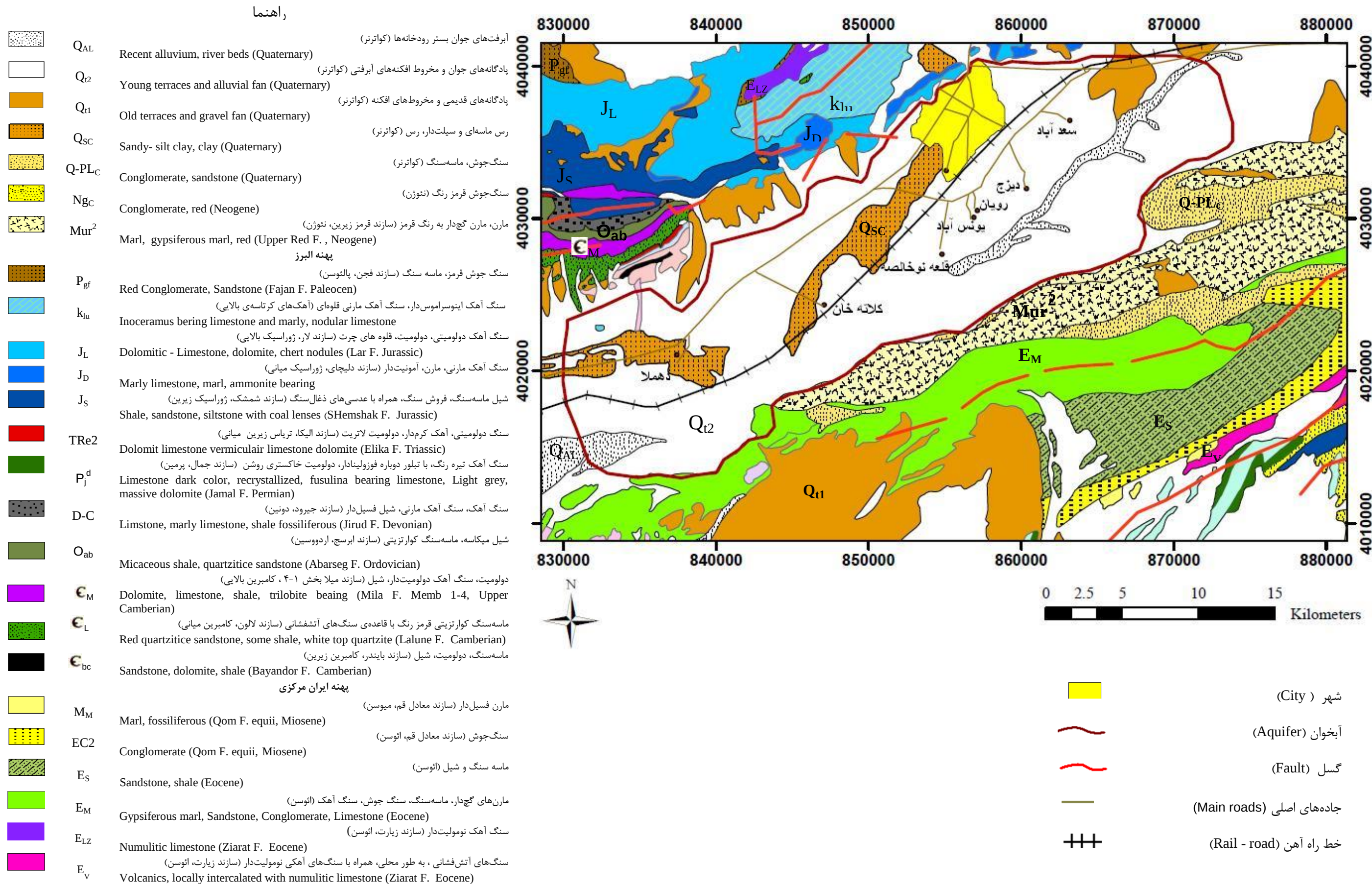
سراسری است.

ب) سازند میلا

توالی‌های این سازند در قالب پنج بخش قابل بررسی است. بخش یک این سازند که قاعده‌ی سازند را می‌سازد، با نام کوارتزیت رأسی اسم‌گذاری شده است که از ضخامتی از کوارتز سفید تشکیل شده است. بخش‌های ۲ تا ۵ از مقطع تیپ سازند میلا شامل دولومیت خاکستری تیره و ضخیم لایه، مارن زرد، سنگ آهک خاکستری، شیل و سنگ آهک شیلی چرت‌دار خاکستری حاوی براکیوپود و تریلوبیت، سنگ سیلتی و سنگ ماسه‌ی آرکوزی قهوه‌ای می‌باشد. این سازند را به کامبرین میانی - بالایی نسبت می‌دهند.

ت) سازند الیکا

سازند الیکا با روند گسترش شرقی - غربی و ضخامت‌های قابل توجه بزرگ و کوچک در قالب سه واحد تقسیم و توصیف شده است. واحد TRe شامل سنگ آهک‌های شیلی خاکستری نازک‌لایه حاوی دو کفه‌ای کلاریا، سنگ آهک‌های ورمیکوله خاکستری، سنگ آهک خاکستری شیل نخودی و دولومیت‌های توده‌ای زردرنگ می‌باشد. این واحد بهم ریخته و فاقد نظم چین‌شناسی می‌باشد و به آن لایه‌ی تفکیک نشده نیز می‌گویند. واحد TRe1 از تناوب‌های نازک‌لایه تا متوسط لایه خاکستری سنگ آهک ورمیکوله و سنگ آهک شیلی حاوی دو کفه‌ای کلاریا تشکیل شده است. همچنین این واحد معادل بخش آهکی سازند الیکا در برش الگو به سن تریاس می‌باشد. واحد TRe2 متشکل از تناوب‌های سنگ آهک‌های توده‌ای خاکستری گاه‌ا دارای رگه‌های کلسیت، دولومیت زرد تا آجری، سنگ آهک خاکستری چرت‌دار با بین لایه‌هایی از شیل‌های نازک‌لایه سبز می‌باشد. سازند الیکا را براساس روزن‌بران یافت شده در آن متعلق به تریاس زیرین - میانی می‌دانند.



ث) سازند شمشک

سن سازند شمشک را براساس فسیل‌های گیاهی یافت شده در آن به تریاس بالایی - ژوراسیک زیرین نسبت داده‌اند. واحدهای سنگی سازند شمشک به وسیله‌ی ۴ واحد تقسیم و توصیف شده است. این توالی‌ها اغلب از جنس سنگ ماسه‌های ارغوانی تیره و شیل‌های سبز و ارغوانی زغال‌دار می‌باشد. تناوب‌های شیلی، برجستگی‌های کم ارتفاع و پست در منطقه را به وجود می‌آورد. قاعده‌ی سازند شمشک واحد Jm نامگذاری شده است. این واحد شامل سنگ‌های قرمز ملافیر و لاتریت می‌باشد. واحد Js1 شامل تناوب‌های سنگ ماسه نازک و متوسط لایه سبز تیره، شیل نازک لایه سبز و همچنین تناوب‌های متوسط تا ضخیم لایه خاکستری سنگ آهک و سنگ آهک شیلی می‌باشد. Jm و Js1 صرفاً در این منطقه فقط در نزدیکی معدن طزره رخنمون دارند. واحد Js2 نیز از تناوب‌های شیل زغال‌دار سیاه نازک لایه و سنگ ماسه‌های سبز نازک تا متوسط لایه تشکیل شده است. این واحد چهره‌ای سیاه‌رنگ را در بین توالی‌های سازند شمشک دارد. واحد Js3 آخرین واحد را در سازند شمشک تشکیل می‌دهد و از تناوب‌های سنگ ماسه‌ی ارغوانی نازک تا ضخیم لایه و شیل‌های نازک لایه زغال‌دار سبز تشکیل شده است. در سطح زیرین سنگ ماسه‌ها موج‌واره و در توالی‌های آن آثار فسیل گیاهی به طور فراوان دیده می‌شود. همچنین این واحد بخش اعظم توالی‌های سازند شمشک را در منطقه‌ی مورد مطالعه تشکیل می‌دهد.

ج) سازند دلیچای

براساس آمونیت‌های مطالعه شده در این سازند سن آن ژوراسیک میانی (بازوسین بالایی - کالوین) تعیین شده است (سید امامی ۱۳۷۶ به نقل از وزیری، ۱۳۸۰). قاعده‌ی این سازند با سنگ ماسه آهکی به رنگ قهوه‌ای متعلق به محیط ساحلی به سن بازوسین شروع می‌شود. تناوب مارن‌های سبز با میان‌لایه‌هایی از سنگ آهک خاکستری دارای آمونیت فراوان به سن باتونین - کالوین و تناوب سنگ آهک‌ها متوسط لایه خاکستری روشن با مارن‌های سبز زیتونی آمونیت‌دار به سن کالوین بر روی

تناوب‌های ذکر شده قرار گرفته است. تناوب‌های زیرین سازند دلیچای با یک ناپیوستگی فرسایشی موازی بر روی تناوب‌های سازند شمشک قرار گرفته است و به طور هم‌شیب و تدریجی در زیر سنگ آهک‌های ضخیم لایه لار قرار دارد. همچنین تناوب‌های مارنی در این سازند باعث به وجود آمدن رخنمون‌های کم ارتفاع و پست در منطقه‌ی مورد مطالعه شده است.

ح) سازند لار

مطالعه‌ی آمونیت‌های موجود در این سازند سن آن را ژوراسیک میانی (کالوین بالایی) - ژوراسیک بالایی نشان می‌دهد. این سازند از توالی سنگ آهک‌های خاکستری روشن و حاوی تعداد کمی آمونیت تشکیل شده است. این لایه‌ها در ابتدا ضخیم‌لایه بوده و تدریجاً به سنگ آهک‌های توده‌ای و دیوارساز تبدیل می‌شوند. این سنگ‌ها در قسمت بالایی خود دارای ندول‌های چرت فراوان هستند. مطالعات نشان می‌دهد که این سازند در محیط سدی، لاگونی و پهنه‌ی جزر و مدی تشکیل شده است و متعلق به یک محیط کم عمق دریایی می‌باشد.

خ) سازند فجن

میکروفسیل‌های موجود در این سازند سن پالئوسن برای سازند فجن نشان می‌دهد. سازند فجن براساس تنوع رخساره‌ای به دو واحد تقسیم می‌شود. توالی‌های واحد Pg1 که معمولاً بخش‌های نرم‌فرسایش و کم‌ارتفاع سازند فجن را می‌سازد شامل کنگلومرای خاکستری روشن، سنگ ماسه‌ی متوسط‌لایه به رنگ سبز روشن و مارن ماسه‌ای قرمز می‌باشد. این واحد از سازند فجن دارای چین‌خوردگی‌هایی بوده که باعث افزایش گستره‌ی آن شده است. توالی‌های واحد Pg2 در سازند فجن ضخیم‌لایه و مرتفع‌ساز است و به طور هم‌شیب بر روی واحد Pg1 قرار گرفته است. تناوب‌های سنگ ماسه‌ی قرمز ضخیم لایه و کنگلومرای قرمز با بین لایه‌های از سنگ آهک ماسه‌ای متوسط و ضخیم لایه این واحد را تشکیل می‌دهند. سن این سازند را به پالئوسن نسبت می‌دهند.

(د) سازند زیارت

میکروفسیل‌های یافت شده در این سازند سن آن را به ائوسن زیرین نسبت می‌دهد. سازند زیارت، که بر روی سازند قرمز رنگ فجن قرار گرفته است، از تناوب‌های متوسط لایه و نخودی تا خاکستری‌رنگ سنگ آهک نومولیت‌دار و سنگ آهک ماسه‌ای نومولیت‌دار تشکیل شده است.

(ن) واحد میوسن زیرین

این واحد از طبقات مارن‌های قرمز رنگ همراه با رگه‌های ژئپس، ماسه‌سنگ نازک لایه و متوسط لایه ارغوانی رنگ، شیل‌های ارغوانی رنگ نازک لایه و لایه‌هایی از کنگلومرا و میکروکنگلومرای قرمز رنگ تشکیل شده است. در مارن‌های این واحد روزن‌بران آزاد متعلق به زمان میوسن زیرین شناسایی شده‌اند. توالی‌های این واحد را معادل سازند قرمز زیرین در ایالت ایران مرکزی می‌دانند.

(و) سنگ‌های آتشفشانی میوسن میانی

این سنگ‌ها در نیمه‌ی جنوبی منطقه و در ایالت ساختاری ایران مرکزی برون‌زد دارد و از تراکی آندزیت‌های سیاه رنگ تشکیل شده است. سن این سازند را می‌توان بعد از میوسن زیرین نسبت داد.

(ه) رسوبات پلیوکواترنری

این رسوبات شامل کنگلومرا ریز و متوسط دانه و سنگ ماسه می‌باشد. این رسوبات سیمان سستی داشته و در منطقه‌ی مورد مطالعه برون‌زدهای کم ارتفاع و نرم فرسایش تشکیل می‌دهد.

(ی) رسوبات کواترنری

از بین واحدهای مختلف رسوبات کواترنری، در این منطقه چهار واحد اصلی Q^{t1} ، Q^{t2} ، Q^{al} و Q_{sc} دیده می‌شود.

واحد Q^{t1} : پادگانه‌های آبرفتی و مارن‌های گراولی واحد Q^{t1} قسمت بالادست رودخانه‌ها و یا مخروط‌افکنه‌ها را تشکیل می‌دهند.

واحد Q^{t2} : پادگانه‌های آبرفتی جوان و رسوبات آبرفتی این واحد را تشکیل می‌دهد.

واحد Q^{al} : آبرفت‌های عهد حاضر و رسوبات رودخانه‌ها این واحد را تشکیل می‌دهد.

واحد Q_{sc} : این واحد در بخش‌های مرکزی دشت دیده می‌شود و از جنس رس ماسه‌ای و سیلت‌دار می‌باشد.

بخش قابل توجهی از منطقه مورد مطالعه از رسوبات واحد Q^{t1} پوشیده شده است. این واحد به دلیل قدیمی و متراکم بودن آبرفت بخش آبدار آبخوان را تشکیل نمی‌دهند. بخش اعظم آبخوان را واحدهای Q^{t2} و Q^{al} تشکیل می‌دهد.

۱-۶-۲- زمین‌شناسی ساختمانی

قرار گرفتن منطقه مورد بررسی در دو زون ساختمانی البرز شرقی و ایران مرکزی باعث تفاوت ویژگی‌های این دو بخش از لحاظ خصوصیات ساختمانی شده است. در این بخش نیز توضیحات زمین‌شناسی منطقه با توجه به گزارش پشت نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود (وزیری، ۱۳۸۰) ارائه شده است.

الف) چین‌خوردگی‌ها

چین‌خوردگی‌های متقارن قسمت شمالی و چین‌خوردگی‌های موجود در جنوب منطقه غالباً دارای امتداد شمال شرقی- جنوب غربی می‌باشند. ناودیس نامتقارن دهملا مهم‌ترین چین‌خوردگی منطقه می‌باشد و دارای روند شمال شرقی- جنوب غربی است. این چین‌خوردگی به موازات راستای

گسل خوردگی طزره و راندگی شاهرود قرار گرفته است. سازندهای لالون، زایگون و میلا یال‌های این ناودیس را تشکیل می‌دهد. راندگی بزرگ شاهرود یال شمالی این ناودیس را بریده و باعث شده است تا یال تناوب‌های سازند زایگون مشاهده نشود. تاقدیس تل یکی دیگر از چین‌خوردگی‌های مهم منطقه است. این تاقدیس نامتقارن در جنوب منطقه‌ی مورد مطالعه قرار گرفته است و ویال‌های جنوبی آن توسط راندگی میامی بریده شده است. همچنین در توالی‌های آن چین‌های جناغی قابل مشاهده است.

ب) گسل‌ها

گسل خوردگی‌های مهم در منطقه مورد بررسی اغلب از نوع راندگی و دارای روند تقریبی شرقی - غربی می‌باشد. مهم‌ترین گسل خوردگی در محدوده‌ی مطالعاتی گسل راندگی شاهرود هم‌راستا با رشته کوه البرز و دارای روند تقریباً شرقی - غربی است. این گسل از شمال منطقه‌ی مورد مطالعه و از شهر شاهرود می‌گذرد و در مسیر خود یال شمالی ناودیس دهملا را بریده و موجب حذف تناوب‌های سازند زایگون در این سازند شده است. گسل دهملا نیز دارای روند شرقی - غربی است و تقریباً منطقه‌ی مورد مطالعه را به دو زون نامساوی تقسیم می‌کند. این گسل کواترنری احتمالاً بر روی سطح آب زیرزمینی منطقه تاثیرگذار می‌باشد و از این لحاظ دارای اهمیت است.

گسل راندگی طزره شاخه‌ای جدا شده از گسل راندگی شاهرود در ناحیه‌ی دهملا است. این گسل حرکاتی را در جهت شمال شرقی - جنوب غربی انجام داده است. همچنین این گسل هم‌راستا با گسل خوردگی دهملا و در شمال آن قرار دارد و در ادامه روند خود به گسل عطاری متصل می‌شود. گسل میامی در ایالت ساختاری ایران مرکزی قرار گرفته است و دارای روند تقریبی شرقی - غربی می‌باشد. این گسل در مسیر خود تاقدیس تل را بریده است. این گسل در واقع در امتداد گسل میامی و دارای ساز و کار راندگی و مولفه‌ی راست‌گرد است و به همین دلیل نام گسل میامی برای آن انتخاب شده است.

۱-۷- ژئومورفولوژی منطقه

این دشت دارای روند شمال شرقی - جنوب غربی بوده و می‌توان آن را به سه قسمت اصلی دشت، تپه ماهور و کوهستانی تقسیم نمود. دشت شاهرود از رسوبات کواترنری که در بالادست درشت دانه و در پایین دست با کاهش شیب به رسوبات ریز دانه ختم می‌شود، پوشانده شده است. در قسمت شمالی دشت و در زون البرز شرقی مناطق کوهستانی (ارتفاعات تپال) و در منطقه‌ی جنوبی محدوده‌ی مورد بررسی تپه‌ماهورهای مارنی - گچی و همچنین مناطق نسبتاً مرتفع مشاهده می‌شود (شرکت مهندسی فن‌آوران آب سازه، ۱۳۸۲ به نقل از ملکی، ۱۳۹۰).

سازندهای آهکی مقاومت فرسایشی زیادتری نسبت به بقیه سازندهای منطقه دارند و معمولاً مناطق مرتفع منطقه را می‌سازند. به همین دلیل سازند آهکی لار و سنگ آهک‌های کرتاسه‌ی بالایی مرتفع‌ترین نقاط منطقه را تشکیل می‌دهند. در حالی که توالی‌های سازندهای شمشک و دلیچای و توالی‌های مارنی سبز و قرمز به دلیل مقاومت فرسایشی کم مناطق کم ارتفاع و پست منطقه را تشکیل می‌دهند (وزیری، ۱۳۸۰).

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین

درباره آسیب پذیری سفره های آب زیرزمینی

۲-۱- مقدمه

با توجه به کمبود منابع آب سطحی و تبخیر بالا از آب سطحی ذخیره سازی شده در مناطق خشک و نیمه خشک، آب زیرزمینی به عنوان یک منبع حیاتی محسوب می شود. از آنجایی که منابع آب زیرزمینی به عنوان یک منبع قابل اعتماد محسوب می شوند و نیز قادر به پاسخ گویی به تقاضای حال و آینده هستند، نه تنها از نظر مقدار بلکه از نظر کیفیت نیز باید مدیریت شود.

در دهه های اخیر پیشرفت قابل توجهی در توسعه روش هایی برای مبارزه با آلودگی آب های زیرزمینی دیده شده است (Rosen, 1994). اگر چه به دلیل پیچیدگی های مرتبط با حذف و یا تخریب آلاینده های زیرسطحی که اغلب هر دو پرهزینه و زمان بر است اما بنا بر اصل کلی که پیشگیری بهتر از درمان است، مدیریت آب های زیرزمینی حائز اهمیت است.

یکی از ابزارهای کلیدی، به دنبال حفظ مناسب کیفیت آب های زیرزمینی، سیاست حفاظت از آب های زیرزمینی است. در اکثر کشورهای توسعه یافته حفاظت از آب های زیرزمینی به طور رسمی به عنوان وسیله ای برای اطمینان از کیفیت آب های زیرزمینی به صورت پایدار به قانون گنجانیده شده است (Rosen, 1994).

۲-۲- آسیب‌پذیری آبخوان

فرآیند نفوذ و انتشار آلاینده‌ها از سطح زمین به داخل آبخوان تحت عنوان آسیب‌پذیری آبخوان بیان می‌شود. تعاریف بسیار زیادی برای آسیب‌پذیری آبخوان ارائه شده است، که به طور خلاصه در ادامه به چند مورد آن اشاره می‌شود:

استرانیکو و وربا (Sotornikova and Vrba, 1987) آسیب‌پذیری یک سیستم هیدروژئولوژیکی را توانایی همان سیستم جهت مقابله با عوامل خارجی، طبیعی و انسانی تعریف کردند که شرایط و خصوصیت‌های آبخوان را در زمان و مکان تحت تأثیر قرار دهد.

آسیب‌پذیری آبخوان براساس تعریف کمیته ملی آمریکا (۱۹۹۳)، احتمال رسیدن آلاینده‌ها به یک مکان مشخص در داخل آبخوان بعد از بوجود آمدن آن‌ها در بعضی محل‌ها در بالای سطح آبخوان بیان می‌شود.

تعریف دیگر در سال ۱۹۹۴ توسط جامعه بین‌المللی هیدروژئولوژیست‌ها بیان می‌شود که آسیب‌پذیری را به عنوان یک خصوصیت ذاتی آبخوان دانسته‌اند که به فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی حساس و وابسته می‌باشد (Almasri, 2008).

۲-۲-۱- مفهوم آسیب‌پذیری

براساس نظر مارگات (Margat) مفهوم آسیب‌پذیری برای اولین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ در فرانسه برای آگاهی درباره آلودگی آب زیرزمینی ارائه شده است (Vrba and Zaporozec, 1994). آسیب‌پذیری، به مفهوم نفوذ و پخش آلودگی‌ها از سطح زمین به سفره آب زیرزمینی در شرایط طبیعی می‌باشد. آسیب‌پذیری از نظر مفهومی به دو دسته ذاتی و ویژه تقسیم می‌شود (Almasri, 2008; Gogu and Dassargues, 2000).

الف) آسیب‌پذیری ذاتی (Intrinsic Vulnerability)

آسیب‌پذیری ذاتی همان حساسیت آبخوان به عوامل طبیعی بوده و فقط به خصوصیات زمین‌شناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژیکی آبخوان وابسته می‌باشد. به عبارتی دیگر به امکان آلودگی در یک منطقه بدون در نظر گرفتن آلاینده‌ی خاص اشاره دارد. در نتیجه هیچ گونه ارتباطی به منابع آلودگی طبیعی یا غیرطبیعی ناشی از فعالیت‌های انسانی ندارد (Gogu and Dassargues, 2000).

ب) آسیب‌پذیری ویژه (Specific Vulnerability)

آسیب‌پذیری ویژه نشان‌دهنده آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به آلاینده‌ای خاص یا گروهی از آلاینده‌های ناشی از فعالیت انسانی می‌باشد (Almasri, 2008). به بیان دیگر آسیب‌پذیری ویژه، آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان را همراه با در نظر گرفتن احتمال قرارگیری آب‌های زیرزمینی در معرض نفوذ آلاینده‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد (Vrba and Zaporozec, 1994).

۲-۳- روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری

روش‌های متعددی برای پیش‌بینی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی طراحی شده است. این روش‌ها به سه دسته اصلی روش‌های همپوشانی و شاخص، روش‌های پردازشی و روش‌های آماری تقسیم می‌شوند (Vrba and Zaporozec, 1994).

هر کدام از این روش‌ها به اطلاعات کافی در مورد فاکتورهای موثر بر آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، مانند خصوصیات خاک، خصوصیات هیدرولیکی، الگوهای بارش، عمق برخورد به آب زیرزمینی، کاربری، پوشش زمین و سایر خصوصیات نواحی مورد مطالعه نیاز دارند. نوع و مقدار متفاوت داده‌های مورد نیاز بستگی به نوع روش ارزیابی آسیب‌پذیری دارد.

۲-۳-۱- روش‌های همپوشانی و شاخص

در روش‌های شاخص همپوشانی و شاخص، اطلاعات حاصل از عوامل کلیدی موثر بر آسیب‌پذیری آبخوان جمع‌آوری و پس از دسته‌بندی، تلفیق، رتبه‌بندی و تفسیر داده‌ها، شاخص آسیب‌پذیری محاسبه می‌گردد. در این روش نظرات کارشناسی در دسته‌بندی، تلفیق و رتبه‌بندی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد.

این روش‌ها، اولین روش‌هایی بودند که مورد استفاده قرار گرفته و هنوز هم از آن‌ها در ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. کاربرد تکنولوژی GIS به‌طور بسیار مهمی تهیه نقشه‌های روش‌های همپوشانی و شاخص را آسان نموده است (Aller et al., 1987; Foster, 1987).

روش‌های همپوشانی و شاخص، فاکتورهای کنترل کننده حرکت آلوده کننده‌ها از سطح زمین تا داخل منطقه غیراشباع را در نظر گرفته و شاخص آسیب‌پذیری در نقاط مختلف آبخوان را با ترکیب نقشه‌های خصوصیات موثر بر آسیب‌پذیری آبخوان، و نسبت دادن وزن و رتبه به هر خصوصیت محاسبه می‌کند. در ساده‌ترین حالت این روش‌ها، کلیه خصوصیات بدون در نظر گرفتن اهمیت نسبی آن‌ها وزن‌دهی یکسان می‌شوند. از این رو، مناطقی که خصوصیتی نظیر خاک‌های ماسه‌ای و آب زیرزمینی کم عمق دارند، آسیب‌پذیر شناخته می‌شوند (Anonymous, 1993).

از مهم‌ترین عیوب این روش این است که نظرات کارشناسی به جای فرآیندها و واکنش‌های کنترل کننده آلودگی آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته می‌شوند.

۲-۳-۲- روش‌های پردازشی

در این روش‌ها، از مدل‌های شبیه‌سازی و بر مبنای تحلیل‌های معادلات ریاضی جهت تخمین حرکت آلاینده‌ها استفاده می‌کنند. همچنین فرآیندهای تلفیقی حاکم بر انتقال آلوده‌کننده‌ها نیز در نظر گرفته می‌شوند. این مدل‌ها، انتقال آلودگی نسبت به زمان و مکان را پیش‌بینی می‌کنند. در این

روش‌ها بسیاری از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و میکروبی که در تجزیه و انتقال آلاینده‌ها در زون اشباع و غیراشباع تأثیر دارند تلفیق می‌شوند.

محدوده روش‌های پردازشی از شاخص‌هایی بر مبنای مدل‌های ساده انتقال تا حل عددی انتقال آلوده‌کننده به صورت یک‌بعدی در منطقه غیراشباع و مدل تلفیقی و مدل‌های چند فازی دو یا سه‌بعدی در تغییر می‌باشند (Frind *et al.*, 2006; Carsel *et al.*, 1985; Leonard *et al.*, 1987).

۲-۳-۳- روش‌های آماری

در این روش، از آمار جهت تعیین ارتباط بین متغیرهای مکانی و رخداد واقعی آلاینده‌ها در آبخوان استفاده می‌شود. کاربرد این روش برای ارزیابی، تعیین و برقراری ارتباط بین میزان آسیب‌پذیری و پارامترهای مرتبط با آسیب‌پذیری می‌باشد. روش‌های آماری از روابط همبستگی بین متغیرهای مکانی و میزان آلاینده‌های موجود در آب زیرزمینی استفاده می‌کنند. اساس این روش‌ها بر مبنای در نظر گرفتن یک آلوده‌کننده یا احتمال آلودگی به عنوان متغیر وابسته می‌باشد. آنالیز رگرسیون ساده و چندگانه مثال‌هایی از این روش می‌باشد (Helsel & Hirsch, 1992). محدودیت این روش‌ها مشاهدات ناکافی کیفیت آب، دقت داده‌ها و انتخاب دقیق متغیرهای مکانی می‌باشد.

۲-۴- عدم قطعیت در ارزیابی آسیب‌پذیری

دستیابی به اطلاعات مورد نیاز جهت ارزیابی آسیب‌پذیری از پارامترهای زیرسطحی بسیار پرهزینه می‌باشد. در واقع روش‌های ارزیابی می‌توانند فقط تخمینی از فرآیندهای محیطی واقعی را ارائه کنند. بنابراین در تمام روش‌های ارزیابی‌های آسیب‌پذیری عدم قطعیت وجود دارد. تمام روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری بر مبنای ساده‌سازی محیط واقعی بنا شده‌اند و به دلیل کمبود اطلاعات و خطای پارامترهای ورودی، می‌تواند دارای عدم قطعیت باشند. همچنین به دلیل محدودیت آگاهی از رفتار

آلاینده‌ها در زیر سطح زمین، عدم قطعیت در ارزیابی آسیب‌پذیری وجود دارد و روش‌های مختلف ممکن است آسیب‌پذیری‌های متفاوت با یکدیگر و متفاوت با آلودگی‌های مشاهده شده نشان دهند (Rosen, 1994).

۲-۵- پیشینه پژوهش

مطالعات زیادی در زمینه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در داخل و خارج از کشور انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

۲-۵-۱- پیشینه پژوهش در جهان

ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل ترکیبی DRASTIC و نوع کاربری زمین‌های کشاورزی در یک آبخوان ساحلی در اسرائیل (Secunda et al., 1998) انجام شده است. در این تحقیق علاوه بر پارامترهای مدل دراستیک از پارامتر نوع کاربری زمین‌های کشاورزی نیز استفاده شد. هدف بررسی تأثیر کاربری زمین در دوره‌های طولانی بر روی آبخوان به عنوان یک پارامتر اضافی در مدل دراستیک و ارزیابی سطح پتانسیل آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بود. نتایج تطابق واضحی بین شاخص دراستیک، شاخص دراستیک ترکیبی و سطح بالای نیترات نشان دادند.

آسیب‌پذیری آبخوان پالوکسی (Paluxy) در شمال تگزاس با استفاده از مدل DRASTIC و سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است. در این بررسی دو نقشه آسیب‌پذیری و آسیب‌پذیری اصلاح شده تعیین شد. در روش اول نرخ‌ها و وزن‌های اولیه پارامترهای تغذیه خالص و محیط غیراشباع، و در روش دوم از مقادیر اصلاح شده‌ی نرخ تغذیه خالص و محیط غیراشباع استفاده شد. براساس نتایج روش اول ۴۷، ۲۶ و ۲۲ درصد از منطقه به ترتیب دارای آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد بوده و ۵ درصد از منطقه دارای پتانسیل آلودگی خیلی زیاد تشخیص داده شده است. در روش

دوم ۷۱، ۱۳ و ۱۱ درصد از منطقه به‌ترتیب دارای پتانسیل کم، متوسط و زیاد بوده و ۵ درصد از منطقه پتانسیل آلودگی خیلی زیاد را نشان داده است (Fritch et al., 2000).

جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به آلودگی‌های صنعتی، شهری و آفت‌کش‌ها، در بنگال غربی هند از مدل DRASTIC استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که ۵۰ درصد منطقه مورد مطالعه دارای آسیب‌پذیری بالایی نسبت به آلوده‌کننده‌های صنعتی و شهری بوده و بیش از ۸۰ درصد منطقه آسیب‌پذیری بالایی را نسبت به آفت‌کش‌ها دارد (Shamsuddin Shahid, 2000).

آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در آبخوان بازالتی ناحیه ازراق (Azraq) در اردن با استفاده از GIS، سنجش از دور و DRASTIC، بر مبنای شرایط هیدروژئولوژیکی و تأثیرات انسانی بررسی شده است. در این بررسی پارامتر کاربری زمین نیز به‌عنوان یک پارامتر اضافی در مدل دراستیک برای بررسی خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه استفاده گردید و مدل دراستیک نهایی با استفاده از داده‌های هیدروشیمیایی آبخوان تأیید شد. در نهایت حدود ۸۴ درصد از منطقه مورد مطالعه به‌عنوان ناحیه با خطر آلودگی متوسط و بقیه منطقه به‌عنوان ناحیه با خطر آلودگی کم طبقه‌بندی گردید (Al-Adamat et al., 2003).

جهت تعیین نقاط مستعد در برابر آلودگی ناشی از منابع انسانی در آبخوان کاکامیگاهارا (Kakamigahara) در مناطق مرکزی ژاپن، از مدل DRASTIC در محیط GIS استفاده شد. نتایج نشان داد که بخش غربی آبخوان کاکامیگاهارا در رده آسیب‌پذیری بالا و بخش شرقی در رده آسیب‌پذیری متوسط قرار می‌گیرد. نقشه آسیب‌پذیری نهایی آبخوان کاکامیگاهارا نشان می‌دهد که خطر بالای آلودگی در بخش شرقی آبخوان در نتیجه پتانسیل آلودگی بالای ناشی از کشاورزی و زراعت وجود دارد. همچنین مشخص شد مهم‌ترین عامل، پارامتر تغذیه خالص بوده که بیشترین تأثیر را بر روی آسیب‌پذیری آبخوان داشته و پس از آن محیط خاک، توپوگرافی، محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیکی در رده‌های بعدی آسیب‌پذیری قرار می‌گیرند (Babiker et al., 2005).

ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در دو منطقه در کشور پرتغال که تحت تأثیر کشاورزی بودند، انجام شد. نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری این دو منطقه با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج نشان داد سطوح آلودگی نترات و شوری در منطقه عمدتاً توسط دو عامل حجم نیتروژن ورودی از سطح زمین و فرآیند گردش آب زیرزمینی کنترل می‌گردد (Stiger et al., 2006).

ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان هائوز (Haouz) با استفاده از مدل DRASTIC براساس GIS در بخش مرکزی مراکش انجام شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد. شاخص آسیب‌پذیری بین ۷۱ تا ۲۰۴ می‌باشد. این شاخص در چهار گروه آسیب‌پذیری بالا، متوسط، ضعیف و آسیب‌پذیری بسیار ضعیف طبقه‌بندی شده است (Sinan and Razack, 2009).

آسیب‌پذیری آبخوان مغولستان در حوضه تامساک (Tamtsag) با استفاده از مدل DRASTIC مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد تنها ۲ درصد از منطقه دارای آسیب‌پذیری متوسط بوده و در سایر مناطق آسیب‌پذیری کم می‌باشد (Hasiniaina and Luo Guoyi, 2010).

در مطالعات انجام شده در شهر BARLAD، با استفاده از روش دراستیک نقشه حساسیت آبخوان به آلودگی ترسیم گردید. بخش زیادی از منطقه آسیب‌پذیری متوسط و دو طرف حوضه آبگیر BARLAD آسیب‌پذیری بالا نشان می‌دهد. این وضعیت بواسطه عمق کم آب در ماسه‌سنگ، مارن و سنگ‌های رسوبی که نفوذ بالایی دارند ایجاد شده است. همچنین گسترش فعالیت‌های کشاورزی و محل دفن فاضلاب در این منطقه سبب آلودگی آب‌های زیرزمینی شده است. غلظت نترات در آب‌های زیرزمینی این منطقه بیش از ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر است، درحالی که حداکثر غلظت نترات قابل قبول برای سلامتی انسان بر طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. اگر غلظت نترات آب‌های زیرزمینی بیش‌تر از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد نشان دهنده آلودگی انسانی است. افزایش غلظت نترات در این منطقه به محل‌های دفن فاضلاب و نیز ورود کودها نسبت داده شده است (Breaban & Paiu, 2012).

ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در حوضه دریاچه ایگیردیر (Egirdir) در ترکیه انجام شده است. این منطقه، یک منطقه آبرفتی است که دچار آلودگی کشاورزی شده است. در این مطالعه پارامترهای خطواره و کاربری اراضی به پارامترهای درستیک اضافه شده و یک روش تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) برای تعیین میزان ضرایب هر پارامتر استفاده شده است. اثر خطواره و پارامتر کاربری اراضی (Land Use) در خروجی نقشه‌های آسیب‌پذیری با تجزیه و تحلیل حساسیت تک پارامتر تعیین شد. همچنین تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی ساده و رابطه آماری بین غلظت نیترات آب‌های زیرزمینی و مناطق آسیب‌پذیر انجام شده است. نقشه آسیب‌پذیری درستیک نشان می‌دهد که تنها خط ساحلی دریاچه ایگیردیر و واحدهای آبرفتی پتانسیل آلودگی بالا دارند. کیفیت آب‌های زیرزمینی در حوضه تحت تأثیر منابع آلودگی نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای مانند فعالیت‌های کشاورزی، فاضلاب، محل‌های دفن زباله و... قرار گرفته است. مهم‌ترین عامل آلاینده، فعالیت‌های کشاورزی در کل حوضه آبریز معرفی شده است. با ارزیابی آسیب‌پذیری در این حوضه با استفاده از مدل درستیک براساس سیستم اطلاعات جغرافیایی مشخص شد که نتایج بدست آمده واقع بینانه و نماینده وضعیت واقعی در صحرا است (Sener and Davraz, 2012).

ارزیابی آسیب‌پذیری دشت اردوز با استفاده از مدل درستیک جهت مدیریت مؤثر آب‌های زیرزمینی به کار گرفته شده و برای اعتبارسنجی مدل درستیک از غلظت نیترات موجود در آب زیرزمینی استفاده شده است (Lihe Yin et al., 2012). نتایج نشان می‌دهد آلودگی‌های ناشی از استفاده از زمین و دیگر اثرات انسانی بخصوص مناطق کشاورزی با فعالیت شدید که شامل استفاده از کود و آفت‌کش‌ها و تصفیه کارخانه‌ها می‌باشند بر کیفیت آب زیرزمینی مؤثر بوده است.

۲-۵-۲- پیشینه پژوهش در ایران

ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت چمچمال با استفاده از روش DRASTIC انجام شده است. بر این اساس دشت چمچمال به چهار رده آسیب‌پذیری کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد

تقسیم‌بندی گردید. که ۲۶ درصد دارای آسیب‌پذیری کم، ۴۴ درصد آسیب‌پذیری متوسط، ۲۵ درصد آسیب‌پذیری زیاد و ۵ درصد دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد می‌باشد (رزاق‌منش و محمدی، ۱۳۸۳).

بررسی استعداد بالقوه آلودگی دشت شیراز با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS انجام شد. نتایج نشان داد که حداقل شاخص دراستیک در دشت شیراز برابر ۵۸ و حداکثر آن برابر ۱۷۵ بوده، و از نظر طبقه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان در محدوده نامناسب (آسیب‌پذیری زیاد) تا بد (آسیب‌پذیری خیلی زیاد) قرار می‌گیرد. ۸۵ درصد دشت دارای آسیب‌پذیری زیاد و ۱۵ درصد آن دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد می‌باشد، که محدوده دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد بیشتر در حاشیه‌های آهکی دشت واقع شده است (رنجبر، ۱۳۸۳).

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوبین به دو روش DRASTIC و GODS انجام شد. در این تحقیق میزان تأثیرگذاری پارامترهای دراستیک را با استفاده از روش‌های حساسیت تک پارامتری و حذف پارامتر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این دو روش نشان داد که در هر دو روش آسیب‌پذیری دشت جوبین در دو گروه آسیب‌پذیری کم (شمال دشت) و متوسط (جنوب دشت) با حدود گسترش متفاوت قرار می‌گیرد. در این تحقیق مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر آسیب‌پذیری آبخوان، محیط غیراشباع معرفی شده است (خدایی و همکاران، ۱۳۸۵).

پتانسیل‌یابی آلودگی آب‌های زیرزمینی در دشت‌های زویرچری و خران با استفاده از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی بررسی شده است. نتایج مدل نشان داد که بخش غرب و جنوب غربی آبخوان دارای آسیب‌پذیری متوسط بوده است. همچنین نواحی کوچکی در شمال غرب و شرق منطقه مورد مطالعه در محدوده‌ی بدون خطر آلودگی قرار می‌گیرند. سایر بخش‌های آبخوان نیز آسیب‌پذیری پایینی را نشان می‌دهند. نتایج آنالیز نیترات نمونه‌های آب زیرزمینی نشان می‌دهد که میزان نیترات در بخش غرب و جنوب غربی آبخوان بیش از میزان نیترات موجود در سایر بخش‌های آبخوان بوده که به این ترتیب نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری نیز تأیید می‌شود (چیت‌سازان و اختری، ۱۳۸۵).

آسیب‌پذیری آبخوان دشت خاش در برابر آلودگی با استفاده از مدل دراستیک (DRASTIC) مورد بررسی قرار گرفته، که آبخوان به دو منطقه با آسیب‌پذیری متوسط و کم پهنه‌بندی شده است. در نتایج این تحقیق مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر آسیب‌پذیری آبخوان، تغذیه خالص معرفی گردید (احمدی و آبرومند، ۱۳۸۸).

ارزیابی پتانسیل و آنالیز حساسیت آسیب‌پذیری آب‌زیرزمینی دشت هشتگرد به روش دراستیک انجام شده است. شاخص دراستیک محاسبه و دو روش آنالیز حساسیت مورد بررسی قرار گرفت. همچنین پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان این دشت با نقشه نیترا ت آب زیرزمینی مقایسه شده که تطابق نسبتاً خوبی را نشان می‌دهد. با انجام این تحقیق مشخص شد که بیشترین درصد پتانسیل آسیب‌پذیری مربوط به طبقه متوسط بوده و مناطق شمالی دشت از پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی برخوردار می‌باشد (فخرالدین آزاد شهرکی و همکاران، ۱۳۸۸).

ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب‌زیرزمینی دشتهای بازرگان و پلدشت با استفاده از مدل دراستیک انجام شد. شاخص دراستیک برای کل منطقه مورد مطالعه بین ۷۱ تا ۱۷۵ محاسبه شد. جهت صحت‌سنجی نقشه نهایی از یون فلوئورید استفاده شد. با انطباق این یون بر روی نقشه نهایی دراستیک مشخص شد که کلیه نقاطی که دارای فلوئورید بالا هستند، در محدوده‌ی آلودگی بالا قرار گرفته‌اند. از نظر وسعت می‌توان گفت که حدود ۳ درصد از منطقه مورد مطالعه در محدوده آسیب‌پذیری کم، ۳۷ درصد متوسط و ۶۰ درصد در محدوده آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرد که قسمت‌های وسیعی از شرق، غرب و بخش از مرکز را شامل می‌شود (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۸۸).

استفاده از GIS برای تحلیل حساسیت تک پارامتری روش‌های DRASTIC و SINTACS جهت ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب‌زیرزمینی دشت بهبهان انجام شده است. نتایج حاصله بیانگر آن است که پارامتر عمق سطح ایستابی عامل تأثیرگذار بر آسیب‌پذیری آبخوان منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت تک پارامتری نشان داد که وزن موثر و تثوریک پارامترهای به کار

رفته، کاملاً بر هم منطبق نبوده و در بعضی موارد تفاوت‌های قابل توجهی با هم دارند (سمیه باقرزاده و همکاران، ۱۳۸۹).

ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت داورزن به روش دراستیک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام شده است. نتایج نشان داد که کلیه نقاطی که دارای نیترا ت بالا هستند در محدوده آسیب‌پذیری زیاد قرار گرفته‌اند. با توجه به نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری، حدود ۲۳/۲ درصد از منطقه در محدوده آسیب‌پذیری خیلی کم، ۲۱/۴ درصد در محدوده آسیب‌پذیری کم، ۱۸/۳۸ درصد در محدوده آسیب‌پذیری متوسط، ۲۵/۴۳ درصد در محدوده آسیب‌پذیری زیاد و ۱۲/۵۹ درصد در محدوده آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار می‌گیرد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد پتانسیل آلودگی آبخوان بسیار بالا می‌باشد (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۰).

ارزیابی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت فارسان - جونقان نسبت به آلودگی با استفاده از شاخص DRASTIC در محیط GIS انجام شده است. شاخص آسیب‌پذیری دراستیک دشت بین ۱۰۰ تا ۱۷۸ متغیر بوده و به ترتیب حدود ۱۰، ۲۸، ۳۵ و ۱۸ درصد از سطح منطقه دارای آسیب‌پذیری کم، کم تا متوسط، متوسط تا زیاد و زیاد می‌باشد (افروزی، ۱۳۹۱).

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و ارزیابی تغییرات مکانی کیفیت آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران با استفاده از مدل DRASTIC و شاخص کیفی GWQI انجام شده است. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل نشان داد محیط غیراشباع آبخوان بیشترین تأثیر را بر شاخص آسیب‌پذیری دارد. براساس نتایج حاصل از مدل DRASTIC تنها آسیب‌پذیری ۲/۶ درصد از منطقه قابل اغماض می‌باشد. از آن جایی که منطقه‌ای با آسیب‌پذیری بالا در سراب جریان آب‌های زیرزمینی قرار دارد، در صورت ورود هر نوع آلودگی به این بخش از آبخوان، احتمال پخش آن در کل آبخوان وجود دارد. همچنین نتایج نقشه‌ی پهنه‌بندی کیفی آب براساس شاخص GWQI نشان داد که حدود ۱/۶، ۸۳/۴ و ۱۲/۱ درصد از آب‌های زیرزمینی دشت امامزاده جعفر به ترتیب دارای کیفیتی عالی، خوب و بد

می‌باشند. به طور کلی، آب‌های زیرزمینی در اکثر نقاط دشت دارای کیفیتی عالی و خوب، و فقط در بخش‌های شمال غربی آن، به دلیل عبور آب از لایه‌های تبخیری سازند گچساران، دارای کیفیت بد تا خیلی بد می‌باشد (عزیزی، ۱۳۹۱).

ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت دهگلان با استفاده از مدل دراستیک در GIS انجام شده و شاخص دراستیک برای کل منطقه بین ۴۱ تا ۱۵۹ برآورد گردید. جهت صحت‌سنجی نقشه نهایی آسیب‌پذیری از میزان نیتрат و هدایت الکتریکی (EC) استفاده شد. با انطباق غلظت این عناصر روی نقشه نهایی دراستیک مشخص شد که کلیه نقاطی که دارای غلظت بالا هستند در محدوده آلودگی زیاد قرار دارند (خسروی و همکاران، ۱۳۹۱).

در مجموع نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که روش دراستیک نسبت به سایر روش‌های تعیین پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان به آلودگی، از کاربردی‌ترین روش‌های رتبه‌دهی محسوب می‌گردد که از تعداد پارامترهای بیشتری در تهیه مدل استفاده می‌کند. همچنین برای جلوگیری از آلودگی آب زیرزمینی در مناطقی که مستعد آلودگی هستند، مراقبت و کنترل بیشتری توصیه شده است.

فصل سوم : روش کار

۳-۱- منابع اطلاعاتی، تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزارهای موردنیاز

جهت بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت شاهرود از منابع اطلاعاتی مختلفی از قبیل نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی گرگان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی بسطام با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و نقشه زمین‌شناسی شاهرود با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، آمار مربوط به بارش، تبخیر، دما، سطح آب زیرزمینی، لوگ‌های حفاری چاه‌های مشاهده‌ای، گزارشات مطالعات ژئوفیزیک دشت شاهرود، گزارش آب‌های زیرزمینی دشت شاهرود (اداره‌ی آب منطقه‌ای شاهرود) و گزارش وضعیت منابع آبی استان سمنان (فن‌آوران آب سازه، ۱۳۸۳) استفاده شده است. آمار و اطلاعات مذکور از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد پردازش قرار گرفته است. جهت ژئورفرنس کردن، رقومی‌سازی و تهیه نقشه‌های پایه، درونیابی، همپوشانی، طبقه‌بندی، رتبه‌بندی لایه‌ها و در نهایت تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار Arc GIS 10.2 استفاده شد. برای تهیه نقشه خاک دشت شاهرود به عنوان یکی از لایه‌های مورد نیاز مدل DRASTIC، تصاویر سنجنده استر (سال ۲۰۰۱)، از آرشیو داده‌های ماهواره‌ای سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شده و فرآیند پیش‌پردازش بر روی این داده‌ها انجام گرفت. داده‌های ماهواره‌ای در نرم‌افزار ENVI 5.0 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و با توجه به کاربرد گسترده سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعات سنجش از دور، در این پژوهش از نرم‌افزار Arc GIS 10.2 استفاده گردید.

به منظور صحت‌سنجی نتایج به دست آمده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، از محدوده مورد مطالعه بازدید صحرایی به عمل آمد و تعداد ۱۵ نمونه تصادفی از رسوبات سطحی دشت برداشت شد و اندازه اجزا سازنده خاک توسط روش دانه‌سنجی و هیدرومتری، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. طبقه‌بندی خاک براساس مثلث نام‌گذاری بافت خاک و بر طبق استاندارد دیپارتمان کشاورزی آمریکا صورت گرفته است.

۳-۲- سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographical Information System)

GIS یک سیستم کامپیوتری از سخت افزارها و نرم افزارهاست که برای ایجاد پایگاه‌های اطلاعاتی جغرافیایی طراحی شده است. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی معمولاً با توابعی توصیف می‌شوند که این توابع عمل جمع‌آوری، مدیریت، تحلیل و نمایش داده‌های مکانی را با صفات وابسته به آن‌ها انجام می‌دهند. با یک تعریف ساده GIS یک تکنولوژی اطلاعاتی کامپیوتری است که ذخیره (Store)، تحلیل (Analysis) و نمایش داده‌های فضایی (Spatial) و غیرفضایی (Non-Spatial) را انجام می‌دهد. به‌علاوه GIS توانایی انجام بسیاری از آنالیزهای عادی (Routine) مانند تحلیل تقریب (Proximate Analysis) یا بدست آوردن سطوح رستری (Raster Surface Derivation) را دارد. اولین مزیت GIS این است که لایه‌های اطلاعاتی متفاوت را از منابع و مقیاس‌های گوناگون در درون یک سیستم قرار می‌دهد. برای مثال، لایه‌های مختلف شامل شکل‌های نقطه‌ای (چاه‌ها)، خطی (رودخانه‌ها)، ناحیه‌ای (خاک‌ها) و سطوح رستری (بارندگی) و... را با هم ترکیب می‌کند. هرکدام از این لایه‌ها از یک منبع متفاوت مشتق شده و برای ایجاد نقشه نهایی با یکدیگر تلفیق می‌شوند. این مزایا GIS را به‌عنوان یک ابزار گرانبها برای مدیریت فرآیند مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی، تحلیل نتایج و به روز کردن (Updating) و بایگانی (Archive) مجموعه داده‌های مکانی مرجع مناسب می‌سازد (Rechard et al., 1993).

برای انجام ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی نیاز به ورود داده‌ها درون یک پایگاه اطلاعاتی ویژه می‌باشد که این داده‌ها برای انجام ارزیابی آسیب‌پذیری مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.

تکنولوژی GIS در ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با فراهم کردن ابزارهایی برای نمره‌دهی و تولید داده‌های جغرافیایی و توصیفی، با محاسبه ارتباطات فضایی و توصیفی و با نمایش گرافیکی این ارتباطات و خروجی‌های مدل استفاده می‌شود. این تکنولوژی همچنین به‌طور مخصوص برای روش‌های شاخص و همپوشانی با پذیرفتن لایه‌های اطلاعاتی متفاوت برای ترکیب و یا وزن‌دهی و رتبه‌دهی پارامترها مفید می‌باشد.

۳-۳- مدل دراستیک (DRASTIC Model)

برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. که می‌توان به مواردی نظیر روش‌های آماری، همپوشانی - شاخص و روش‌های مبتنی بر مدل‌های شبیه‌سازی اشاره کرد. معمولاً روش‌های آماری و نیز روش‌های همپوشانی - شاخص در مناطق بزرگ مطالعاتی و روش‌های مبتنی بر مدل‌های شبیه‌سازی در مناطق کوچک‌تر مطالعاتی استفاده می‌شوند. در تمامی روش‌ها آسیب‌پذیری آبخوان براساس انتقال آلودگی از سطح زمین به آبخوان برآورد شده است. همچنین در روش‌های آماری از روابط همبستگی بین متغیرهای مکانی و میزان آلاینده‌های موجود در آب زیرزمینی استفاده می‌کنند. یکی از بزرگترین مزایای روش‌های شاخص و همپوشانی ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از تعداد بیشتری از پارامتر است، که در نتیجه خطاها و یا عوامل نامعلوم را بر نتیجه نهایی محدود می‌کند. از میان روش‌های مختلف، رایج‌ترین روش برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان، روش DRASTIC بوده که به صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته است (US EPA, 1993). این مدل براساس روش شاخص همپوشانی استوار بوده که توسط Aller و همکارانش در سال ۱۹۸۷ از مجتمع ملی چاه‌های آب برای آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده طراحی شد.

لغت DRASTIC از هفت پارامتر به کار رفته در این مدل تشکیل شده است. این هفت پارامتر شامل: عمق برخورد به آب زیرزمینی (Depth)، تغذیه (Recharge)، جنس سفره (Aquifer media)، نوع خاک (Soil)، توپوگرافی (Topography)، اثر منطقه غیراشباع (Impact of vadose zone) و هدایت هیدرولیکی (Hydraulic Conductivity) مورد استفاده قرار گرفته و نام مدل DRASTIC از قرارگیری حروف اول این هفت پارامتر که در ارزیابی آلودگی سفره آب زیرزمینی دخیل هستند، اقتباس شده است. این هفت پارامتر در نرم افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی نظیر (Arc GIS) به صورت هفت لایه‌ی اطلاعاتی وارد شده و با رتبه‌دهی، وزن‌دهی و سپس تلفیق آن‌ها (Overlaying)، لایه‌ی جدیدی به نام شاخص درستیک (Drastic Index) به دست خواهد آمد.

در مدل DRASTIC به دلیل انتخاب تعداد زیادی از پارامترها و ارتباط متقابل آن‌ها با یکدیگر، احتمال این که پارامترهای مهم نادیده گرفته شوند کم است. برای استفاده از پارامترهای دراستیک یک سیستم طبقه‌بندی عددی (Ranking) طراحی شده است. این سیستم شامل سه بخش: وزن‌ها (Weights)، بازه‌ها (Ranges) و نمره‌ها (Ratings) می‌باشد. همچنین مدل DRASTIC بر ۴ فرض اصلی استوار است:

- ۱- آلودگی از سطح زمین به داخل زمین نفوذ می‌کند.
- ۲- عامل اصلی انتقال آلودگی به داخل زمین آب نفوذی ناشی از بارندگی می‌باشد.
- ۳- قابلیت تحرک آلودگی با آب یکسان است.
- ۴- منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل DRASTIC ۱۰۰ جریب (Acre) (هر جریب برابر با ۰/۴ هکتار می‌باشد) یا بیشتر وسعت دارد (Rosen, 1994).

۳-۱-۳- وزن‌ها (Weights)، رتبه‌ها (Ratings) و بازه‌ها (Ranges)

هر کدام از پارامترهای مدل دراستیک، یک وزن نسبی بین ۱ تا ۵ را می‌گیرد. به مهمترین پارامتر وزن ۵ و کم اهمیت‌ترین پارامتر وزن ۱ اختصاص داده می‌شود (جدول ۳-۱). همچنین هر کدام از پارامترهای مدل دراستیک به بازه‌ها یا انواع محیط‌های مختلف تقسیم می‌گردند.

بازه‌های پارامترهای مختلف دراستیک با توجه به سایر بازه‌ها ارزیابی شده است که اهمیت نسبی هر بازه را با توجه به پتانسیل آلودگی تعیین می‌کند. به بازه هر کدام از پارامترهای دراستیک بر طبق پیشنهاد آلر و همکاران (Aller et al., 1987) یک رتبه بین ۱۰-۱ اختصاص داده می‌شود.

با وزن‌دهی مناسب به هر یک از پارامترها، با توجه به درجه اهمیت آن‌ها در آسیب‌پذیری براساس روش استاندارد ارائه شده توسط آلر و همکارانش (۱۹۸۷)، پارامترها تلفیق و شاخص آسیب‌پذیری محاسبه می‌گردد. شاخص DRASTIC یک شاخص عددی است که از مجموع حاصل ضرب رتبه‌ها و وزن‌های اختصاص یافته به پارامترهای مدل به دست می‌آید (رابطه ۳-۱).

جدول (۳-۱) وزن‌های اختصاص یافته به پارامترهای مدل دراستیک

وزن	خصوصیت
۵	عمق آب زیرزمینی
۴	تغذیه خالص
۳	محیط آبخوان
۲	محیط خاک
۱	توپوگرافی
۵	محیط غیراشباع
۳	هدایت هیدرولیکی

$$\text{DRASTIC Index} = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W \quad \text{رابطه (۱-۳)}$$

که R رتبه مربوط به هر پارامتر و W وزن هر پارامتر می‌باشد.

بعد از محاسبه شاخص DRASTIC، نواحی آسیب‌پذیر آبخوان مشخص می‌شوند. این شاخص به صورت نقشه آسیب‌پذیری نمایش داده شده که آبخوان را از نظر پتانسیل آلودگی پهنه‌بندی و مورد ارزیابی قرار می‌دهد. هرچه این شاخص بزرگتر باشد، نشان‌دهنده این است که آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بیشتر است. سپس رتبه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC و درجات آسیب‌پذیری آبخوان بیان می‌شود. پارامترهای مدل DRASTIC و نقش آن‌ها در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان به تفصیل در فصل ۴ توضیح داده خواهد شد.

مدل DRASTIC، از رایج‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌های رتبه‌دهی می‌باشد چرا که هزینه انجام آن پایین بوده و نیز با اطلاعات نسبتاً کم و در دسترس می‌توان نقشه آسیب‌پذیری مناطق وسیعی را تهیه نمود. در این مدل، انتخاب پارامترهای زیاد و مرتبط به هم، احتمال نادیده گرفتن پارامترهای مهم را کاهش داده و نیز تأثیر خطاهای اتفاقی در محاسبه پارامترها را محدود و در نتیجه دقت آماری مدل را افزایش می‌دهد. مدل DRASTIC دارای نواقصی نیز می‌باشد. به عنوان مثال، برخی از عوامل مهم، نظیر ظرفیت جذب، رقیق‌سازی و زمان انتقال مستقیماً در شاخص نهایی نقش ندارد. همچنین این روش، آسیب‌پذیری سفره‌های متخلخل را در مقایسه با سفره‌های حاصل از شکستگی بیشتر برآورد می‌کند (Rosen, 1994).

۳-۲-۳- منابع داده‌ها (Data Source)

قبل از ارزیابی آسیب‌پذیری توسط مدل دراستیک بایستی اطلاعات مورد نیاز هر پارامتر جمع‌آوری

گردد. جهت تهیه هر پارامتر از منابع زیر استفاده شده است.

عمق برخورد به آب زیرزمینی: با استفاده از داده‌های پیزومتری و گزارش‌های هیدروژئولوژیکی تعیین شده است.

تغذیه خالص: از گزارش‌های منابع آب که حاوی داده‌های بارندگی و دما هستند، بدست آمده است.

محیط آبخوان: از گزارش‌ها، اطلاعات هیدروژئولوژیکی و لاگ چاه‌ها استفاده شده است.

محیط خاک: با استفاده از گزارش‌ها، نمونه برداری از خاک سطحی دشت، سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره‌ای تعیین شده است.

توپوگرافی: از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های متفاوت استفاده شده است.

محیط غیراشباع: با استفاده از گزارش‌های زمین‌شناسی منتشر شده و لاگ چاه‌ها این پارامتر تعیین شد.

هدایت هیدرولیکی: این پارامتر براساس نتایج مدل‌سازی عددی در آبخوان شاهرود (ولی‌زاده، ۱۳۹۲) تهیه گردید.

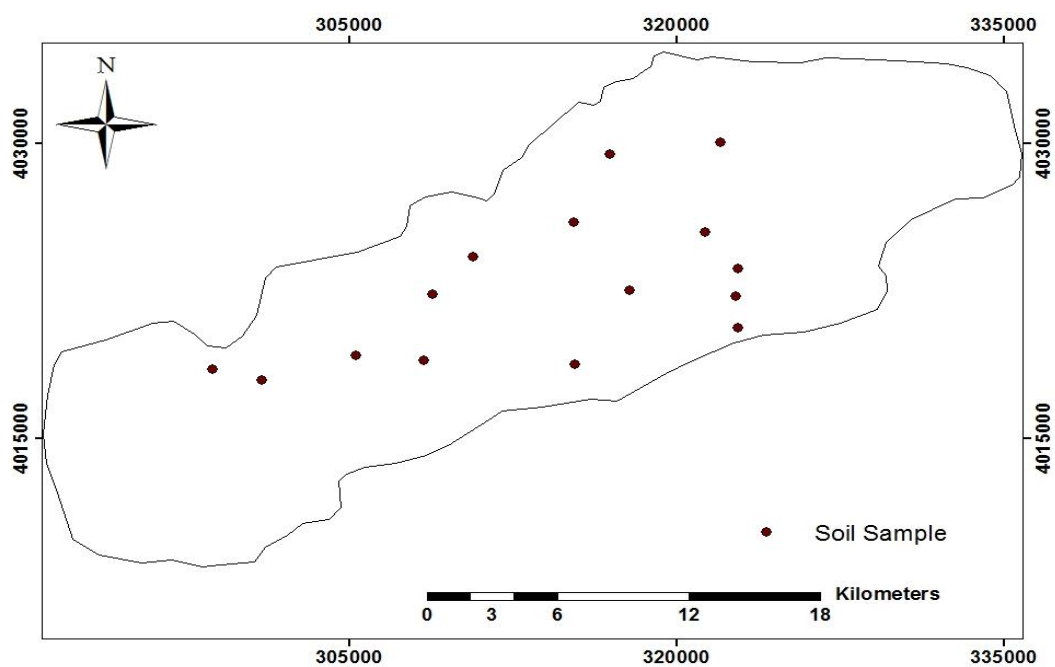
۳-۴- بازدید صحرایی و نمونه‌برداری از خاک دشت شاهرود

جهت تعیین بافت خاک دشت شاهرود از نقاط مختلف دشت ۱۵ محل برای نمونه‌برداری انتخاب گردید. پس از تعیین محل‌های نمونه برداری مقدار ۲ الی ۳ کیلوگرم از خاک محل نمونه از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر برداشت گردید و در محل قطعات قلوه سنگها از خاک جدا شده و خاک در کیسه‌های نایلونی با مقاومت بالا نگهداری و در محل نام گذاری گردید. نمونه‌ها توسط روش الک و هیدرومتری

مورد آنالیز دانه‌بندی قرار گرفته است. تصاویری از بافت خاک دشت شاهرود در شکل (۱-۳) و نیز موقعیت نمونه خاک برداشت شده از دشت شاهرود در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.



شکل (۱-۳) تصاویری از بافت خاک سطحی دشت شاهرود



شکل (۲-۳) موقعیت نقاط نمونه‌برداری خاک برداشت شده از دشت شاهرود

فصل چهارم: ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود

۴-۱- مقدمه

جهت ارزیابی آسیب‌پذیری بایستی مطالعات گسترده در راستای وضعیت زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی منطقه صورت گیرد. سپس با در نظر گرفتن وسعت و خصوصیات منطقه مورد مطالعه، هدف از مطالعه و داده‌های موجود، مناسب‌ترین روش جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان مناطق مستعد آلودگی شناسایی گردد. در این فصل تهیه لایه‌های اطلاعاتی، رتبه‌دهی و وزن‌دهی آن‌ها مورد بحث قرار گرفته و وضعیت آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود بررسی می‌شود. لازم به ذکر است که صحت‌سنجی و حساسیت‌سنجی مدل به دو روش حذف پارامتر و تک پارامتر نیز انجام شده که در انتهای فصل بحث شده است.

۴-۲- تهیه لایه‌های اطلاعاتی

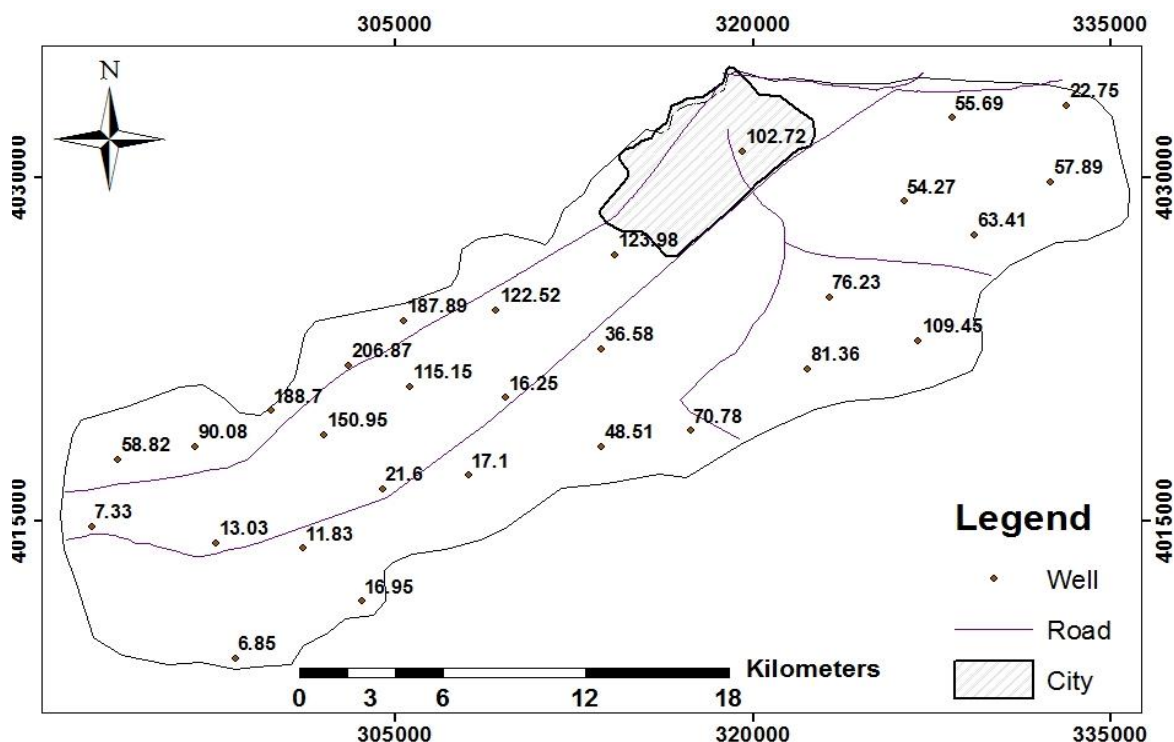
۴-۲-۱- عمق سطح ایستابی (D)

یکی از اصلی‌ترین پارامترهای مدل دراستیک عمق سطح ایستابی است. این پارامتر به فاصله‌ای که مواد آلاینده طی می‌کنند تا به سفره آب زیرزمینی برسند، وابسته می‌باشد. به عبارتی هر چه عمق سطح ایستابی بیشتر باشد، مدت زمان بیشتری طول می‌کشد تا مواد آلاینده به سفره آب زیرزمینی برسند و مواد آلاینده در خاک دچار پخش‌شدگی، رقیق‌شدگی و جذب می‌شوند.

در نتیجه در آبخوان‌هایی که سطح ایستابی در عمق بیش‌تری قرار دارد احتمال آلودگی کمتری وجود خواهد داشت.

جهت آگاهی از عمق برخورد به سطح ایستابی از داده‌های مربوط به شبکه چاه‌های پیزومتری حفر شده در آبخوان استفاده شده است. این داده‌ها شامل طول و عرض جغرافیایی پیزومترها، ارتفاع دهانه پیزومتر از سطح دریا و عمق سطح آب زیرزمینی می‌باشد. عمق سطح آب زیرزمینی در پیزومتر حفاری شده در دشت شاهرود به همراه موقعیت آن‌ها در شکل (۴-۱) نشان داده شده است. اطلاعات مربوط به شبکه چاه‌های پیزومتری در جدول (۴-۱) آورده شده است.

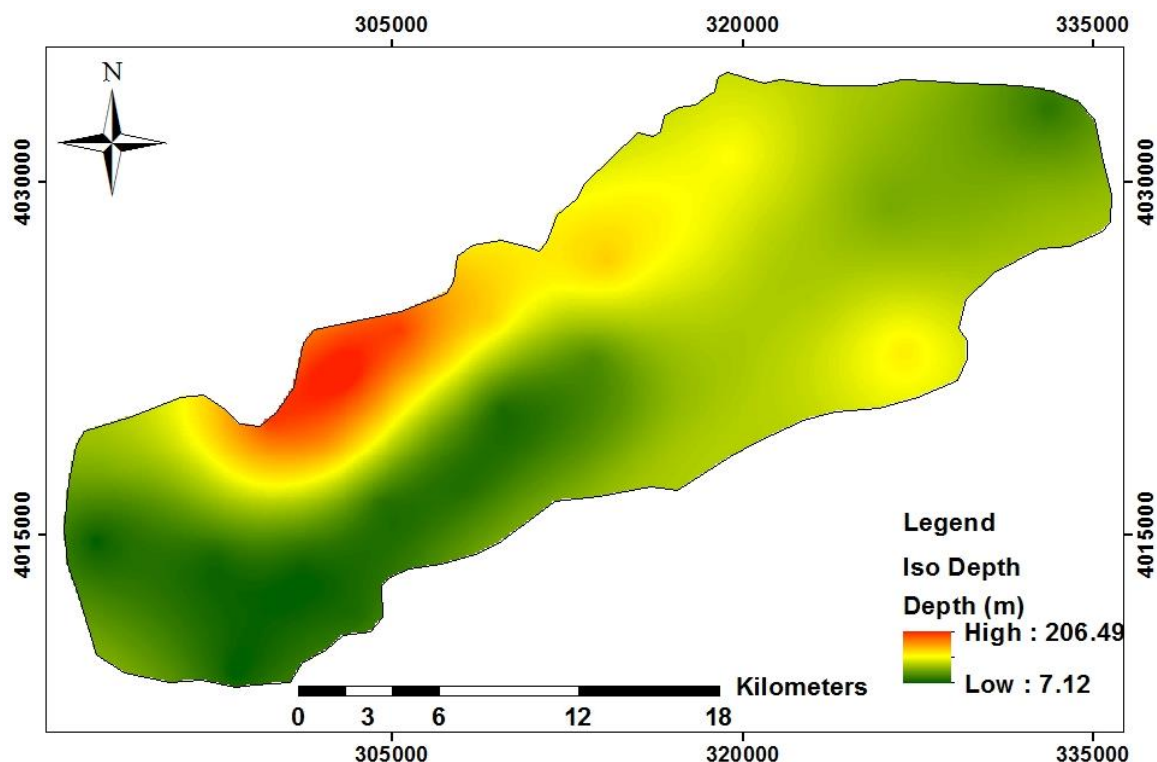
با استفاده از درون‌یابی داده‌های عمق سطح آب زیرزمینی نقشه هم‌ارزش عمق سطح ایستابی تهیه شد (شکل ۴-۲). عمق سطح ایستابی در آبخوان شاهرود از ۷/۱۲ تا ۲۰۶/۴۹ متر متغیر می‌باشد. مطابق شکل (۴-۲) بیشترین عمق سطح ایستابی در قسمت غربی منطقه (رنگ قرمز) و کمترین عمق سطح ایستابی در قسمت‌های خروجی آبخوان مشاهده می‌شود.



شکل (۴-۱) موقعیت پیزومترهای حفر شده در دشت شاهرود (عمق سطح آب زیرزمینی در دی ماه سال ۹۰ - ۹۱)

جدول (۱-۴) مشخصات پیزومترهای حفر شده در دشت شاهرود (اداره‌ی آب منطقه‌ای شاهرود، ۱۳۹۱)

ارتفاع نقطه نشانه از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام پیزومتر
۱۲۸۸	۴۰.۳۳۱۵۰	۳۳.۳۱۵۰	خیرآباد
۱۳۰۳	۴۰.۲۹۸۰۰	۳۳.۲۵۰۰	قلعه اصف
۱۲۸۳	۴۰.۳۲۶۰۰	۳۲.۸۳۵۰	فرودگاه
۱۲۶۹	۴۰.۲۸۹۵۰	۳۲.۶۳۵۰	حصار
۱۳۱۶	۴۰.۲۲۸۵۰	۳۲.۶۹۵۰	جعفرخان
۱۳۲۹	۴۰.۳۱۱۵۰	۳۱.۹۵۵۰	پارک انقلاب
۱۲۱۹	۴۰.۲۲۵۰۰	۳۱.۳۶۵۰	قلعه نو خالصه
۱۲۰۰	۴۰.۱۸۲۰۰	۳۱.۳۶۵۰	شکارآباد
۱۱۸۲	۴۰.۲۴۱۸۶	۳۰.۹۲۴۴	خوریان ۱
۱۱۸۲	۴۰.۲۰۳۵۰	۳۰.۹۶۵۰	شرق کلاتخان
۱۱۴۸	۴۰.۱۸۷۴۰	۳۰.۲۰۳۶	کارگاه شن و ماسه ۱
۱۱۴۸	۴۰.۱۶۳۵۰	۳۰.۴۵۰۰	علی‌آباد
۱۱۰۱	۴۰.۱۴۰۰۰	۲۹.۷۵۰۰	مرادآباد
۱۰۹۱	۴۰.۱۴۷۰۰	۲۹.۲۳۰۰	شرق مومن‌آباد
۱۱۲۶	۴۰.۱۱۴۵۰	۳۰.۳۶۰۰	دوکوهی
۱۱۰۳	۴۰.۰۸۹۵۰	۲۹.۸۳۰۰	پری‌آباد
۱۲۱۶	۴۰.۱۳۷۶۷	۳۰.۱۱۵۰	عباس‌آباد ۱
۱۲۶۶	۴۰.۲۰۸۳۴	۳۰.۵۶۴۴	جاده کلاتخان ۱
۱۲۳۰	۴۰.۲۶۵۹۶	۳۱.۴۲۲۸	پلیس‌راه ۱
۱۲۴۹	۴۰.۱۸۹۱۳	۳۱.۷۳۸۴	تل ۱
۱۲۴۹	۴۰.۲۱۶۱۷	۳۲.۲۲۹۷	حسین‌آباد ساغری ۱
۱۳۰۶	۴۰.۲۴۷۴۰	۳۲.۳۲۱۰	دیزج ۱
۱۲۹۷	۴۰.۲۳۷۱۵	۳۰.۵۳۵۸	فولاد
۱۲۹۰	۴۰.۲۱۷۵۵	۳۰.۳۰۴۵	وسمه
۱۱۳۸	۴۰.۲۷۴۶۴	۳۲.۹۲۹۷	جنوب حصار
۱۱۶۱	۴۰.۱۷۶۳۷	۲۹.۳۳۷۲	غرب ورچم کوهی
۱۲۱۹	۴۰.۱۸۲۰۳	۲۹.۶۶۳۹	شرق ورچم کوهی
۱۲۴۳	۴۰.۱۹۷۸۸	۲۹.۹۷۸۸	شمال قهوه‌خانه دهملا ۱
۱۱۵۷	۴۰.۱۶۹۵۰	۳۰.۸۱۰۰	حسن‌آباد



شکل (۲-۴) نقشه هم‌ارزش عمق سطح ایستابی (D) در آبخوان دشت شاهرود

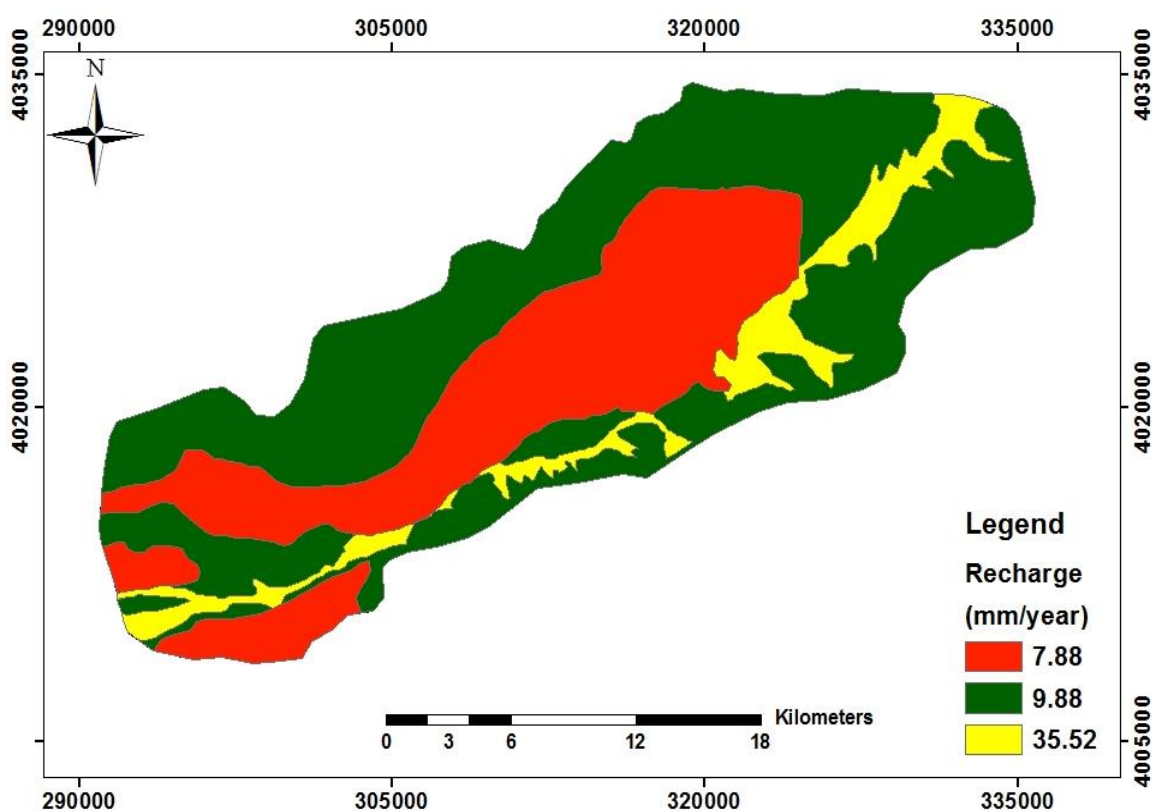
۲-۲-۴- تغذیه آبخوان (R)

تغذیه عبارت است از حجم آبی که در واحد سطح سفره به درون زمین وارد می‌شود (Bouwer, 1978). یکی از فاکتورهای اصلی انتقال مواد آلاینده به درون زمین، حرکت عمودی آب می‌باشد که همراه با خود مواد آلاینده را شسته و به صورت محلول یا کلوییدی و یا تعلیق به درون زمین حمل می‌کند. سرعت عبور مواد حل شده به سرعت حرکت عمودی آب به درون زمین وابسته می‌باشد.

در مدل DRASTIC فرض بر این است که عمده‌ترین عامل حرکت عمودی آب، تغذیه‌ایی است که از طریق بارش از سطح زمین به صورت عمودی وارد می‌شود. با توجه به عدم اندازه‌گیری میزان تغذیه در آبخوان شاهرود از نتایج مطالعات قبلی (ولی‌زاده، ۱۳۹۲) استفاده شده است.

جهت آگاهی از مقدار تغذیه، مقادیر بارندگی برای ماه‌های مختلف بوسیله آمار جمع‌آوری شده در

ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک شاهرود تعیین شده است. متوسط بارش در دشت شاهرود ۱۷۷/۶ میلی‌متر در سال می‌باشد به طوریکه در محدوده‌ی زمین‌هایی که در آبرفت‌های بستر رودخانه قرار گرفته (دانه درشت)، مقدار ۲۰ درصد از بارندگی و در سایر مناطق ۵ درصد از بارندگی به عنوان تغذیه در نظر گرفته شده است (ولی‌زاده، ۱۳۹۲). همچنین با در نظر گرفتن بافت‌های مختلف مناطق دشت، نقشه هم‌ارزش تغذیه دشت شاهرود تهیه شده که در (شکل ۳-۴) نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۳-۴) مشاهده می‌شود میزان تغذیه آبخوان شاهرود از حدود ۷/۸ تا ۳۵/۵ میلی‌متر در سال متغیر می‌باشد. بیشترین مقدار تغذیه مربوط به آبرفت‌های بستر رودخانه با بافت دانه درشت (رنگ زرد) و کمترین مقدار تغذیه مربوط به مناطق مرکزی با بافت دانه ریز رسی (رنگ قرمز) می‌باشد.



شکل (۳-۴) نقشه هم‌ارزش تغذیه سطحی (R) آبخوان شاهرود

۴-۲-۳- محیط آبخوان (A)

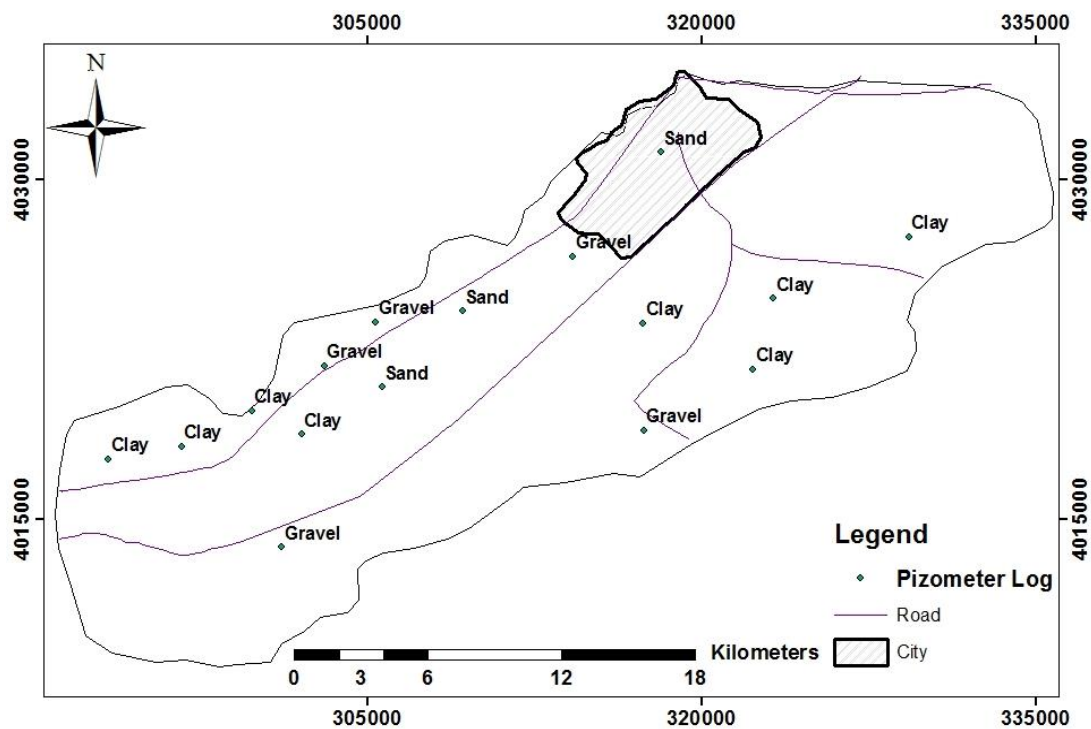
سفره آب‌زیرزمینی سازندی است که قابلیت نگهداری آب به مقدار کافی و نیز توانایی انتقال آن را داشته باشد (Todd and Mays, 1980). محیط آبخوان بر سیستم حاکم بر جریان آب‌زیرزمینی تأثیرگذار است. دانه‌بندی، ترکیب، خصوصیات مواد تشکیل دهنده منطقه اشباع از جمله جنس، تخلخل، اندازه و جورشدگی ذرات بر جهت جریان آب و طول مسیر تأثیر دارد.

فاکتور دیگر مربوط به سطح مؤثر مواد سفره بوده که با مواد آلاینده در تماس می‌باشد. همچنین به قطر ذرات و سیستم شکستگی وابسته می‌باشد. ذرات دانه درشت و درز و شکستگی باعث نفوذپذیری بیشتر و ظرفیت رقیق‌شدگی کمتر می‌شود. مسیر حرکت آب، مدت زمان لازم برای انجام فرآیندهایی نظیر جذب، تجزیه شیمیایی، پخش و تأخیر را کنترل می‌کند.

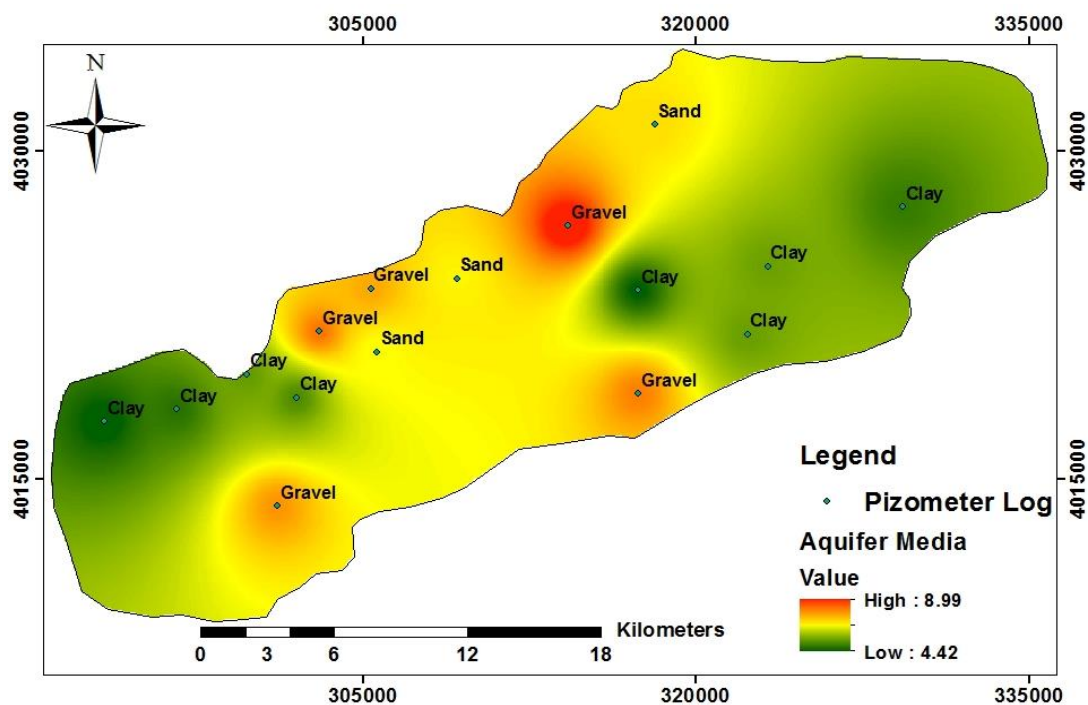
اطلاعات مربوط به محیط آبخوان از کاوش‌های زیرسطحی و براساس لاگ پیزومترهای حفاری شده در دشت شاهرود استخراج شده است. متأسفانه لاگ حفاری تعدادی از پیزومترها موجود نبوده و در برخی از مناطق نیز اطلاعات محدودی از محیط آبخوان در دسترس می‌باشد. با این حال سعی شده است با اکتفا به همین اطلاعات و با در نظر گرفتن نتایج ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی، خصوصیات محیط آبخوان و تقسیم‌بندی ارزش عددی محیط آبخوان در روش DRASTIC انجام شود. لاگ پیزومترهای موجود در پیوست ارائه شده است.

جهت دستیابی به نقشه هم ارزش محیط آبخوان به کمک روش‌های آماری در محیط نرم‌افزار ArcGIS بر حسب جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان به هر نقطه با جنس رسوبات مشخص، ارزش عددی اختصاص داده و به این ترتیب نقشه هم‌ارزش محیط آبخوان تهیه گردید. موقعیت لاگ‌های پیزومترهای دشت شاهرود و جنس غالب رسوبات در محیط اشباع آبخوان در شکل (۴-۴) نشان داده شده است. همچنین شکل (۴-۵) نقشه هم‌ارزش محیط آبخوان را نشان می‌دهد. مناطق سبز رنگ در این شکل دارای بافت دانه‌ریز رسی بوده و قسمت‌هایی که با رنگ زرد و قرمز نشان داده شده است به

ترتیب دارای بافت دانه درشت گراولی و دانه متوسط ماسه‌ای می‌باشد.



شکل (۴-۴) موقعیت پیزومترهای دارای لاگ حفاری در دشت شاهرود و بافت غالب رسوبات در محیط اشباع آبخوان



شکل (۴-۵) نقشه هم‌ارزش محیط آبخوان (A) دشت شاهرود

۴-۲-۴- محیط خاک (S)

منظور از محیط خاک، قسمت بالایی زون غیراشباع می‌باشد که تا حد نفوذ ریشه گیاهان (فعالیت موجودات ارگانیکی) ادامه دارد. خاک سطحی نقش مهمی بر نفوذ مواد آلاینده به درون زمین و در نهایت به سفره آب زیرزمینی دارد. حضور ذرات دانه درشت‌تر باعث نفوذپذیری بیشتر و انتقال سریع‌تر مواد آلاینده می‌شود. پتانسیل آلودگی خاک به جنس یا نوع خاک، اندازه ذرات خاک و پتانسیل جذب آلودگی در خاک وابسته می‌باشد.

جهت تعیین نوع خاک در دشت‌های مختلف کشور، می‌توان از نقشه‌های خاک تهیه شده توسط مؤسسات آب و خاک کشور و یا انجام مطالعات خاک‌شناسی، حفر پروفیل خاک و نمونه‌برداری استفاده نمود. متأسفانه نقشه خاک دشت شاهرود تاکنون تهیه نشده است. جهت مطالعه بافت خاک دشت شاهرود از نقاط مختلف دشت ۱۵ نمونه برداشت شد. سپس نمونه‌ها به روش‌های الک و هیدرومتری دانه‌سنجی شده و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. برای طبقه‌بندی خاک از مثلث نام‌گذاری بافت خاک طبق استاندارد دیپارتمان کشاورزی امریکا با تعیین درصد وزنی مقدار رس، سیلت و ماسه استفاده گردیده است. همچنین با استفاده از تکنیک سنجش از راه دور، تصاویر ماهواره استر و با استفاده از نرم‌افزار ENVI نقشه محیط خاک بدست آمد.

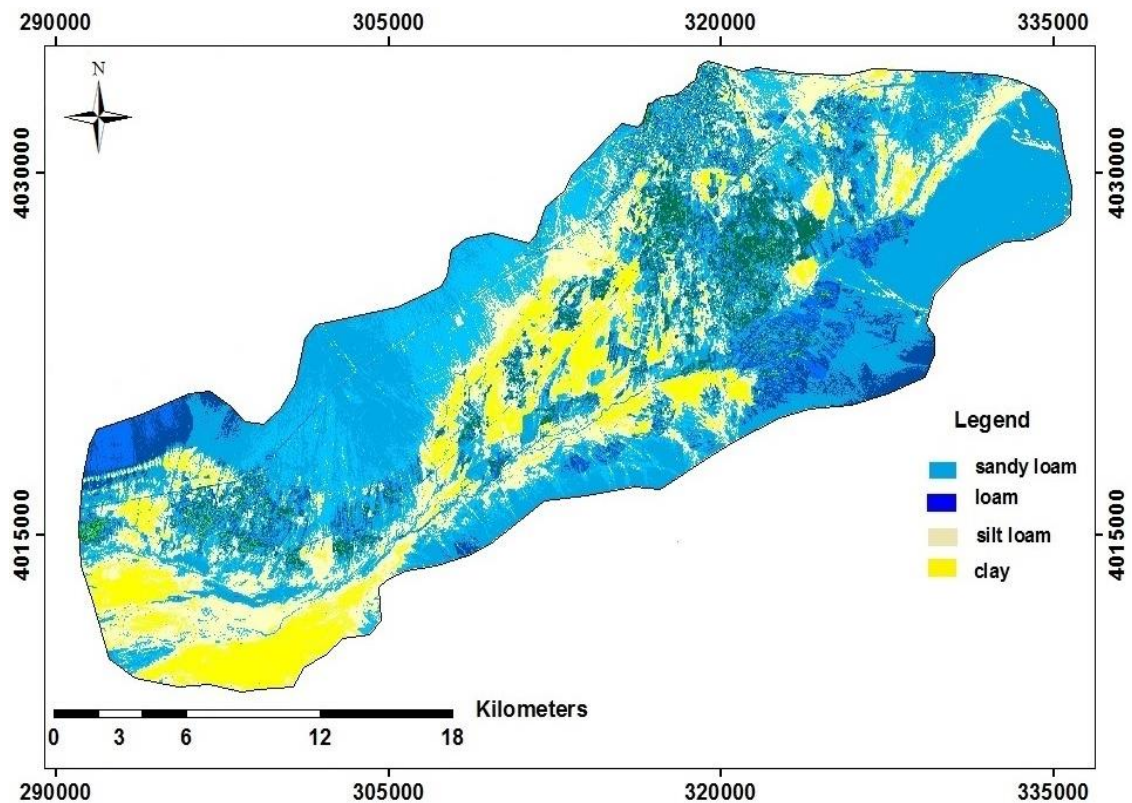
پردازش تصاویر ماهواره‌ای یکی از مناسب‌ترین روش‌های کسب اطلاعات زمین‌شناسی است. تصاویر سنجنده استر (سال ۲۰۰۱)، از آرشیو داده‌های ماهواره‌ای سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شده و فرآیند پیش‌پردازش بر روی این داده‌ها انجام گرفت. به این ترتیب که تصاویر سنجنده استر در طی تحلیل مؤلفه اصلی و مؤلفه معکوس، مورد پردازش قرار گرفت و نقشه پراکندگی بافت خاک برای دشت شاهرود تهیه شده است. نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نمونه‌های برداشت شده از رسوبات سطحی مورد صحت‌سنجی قرار گرفته است.

الف) پردازش تصاویر و تهیه نقشه خاک

به منظور تهیه بافت خاک، از تحلیل مولفه‌های اصلی و معکوس تصویر و همچنین ترکیب رنگی کاذب استفاده شده است. تحلیل مولفه اصلی یک روش مفید در کاهش ابعاد داده‌های چند طیفی بوده و امکان تجسم، آنالیز و مدیریت بیش‌تر داده‌ها را فراهم می‌کند.

به منظور بارزسازی پوشش گیاهی از مولفه اصلی دوم (PC2)، استفاده شده است، چرا که این مولفه دارای بیشترین اختلاف بارگذاری در باندهای ۲ و ۳ می‌باشد. مؤلفه اصلی معکوس با بارزسازی ته رنگ‌های (hue) پایین و بالا در سطح سنگ‌ها و تاکید بر ناهنجاری‌های موجود در ته رنگ، تصویر قابل تفسیری را در مقایسه با مؤلفه‌های اصلی به وجود آورده است (Ott et al., 2006). بر این اساس برای تفکیک واحدهای مختلف زمین‌شناسی از ترکیب رنگی مولفه معکوس اول در باند سرخ، مولفه معکوس سوم در باند سبز و مولفه معکوس چهارم در باند آبی استفاده شده است (IPC134).

با استفاده از قابلیت نرم‌افزار ARC GIS 10.2، تصاویر PC2 (پوشش گیاهی) و IPC134 (واحدهای زمین‌شناسی)، در ۱۰ کلاس، طبقه‌بندی شد و بیش‌ترین ارزش تصویری در بالاترین طبقه قرار گرفت. طبقه ۹ و ۱۰ تصویر طبقه‌بندی شده‌ی PC2 معرف پوشش گیاهی است. بر طبق بازدیدهای صحرایی بافت خاک مناطق کشاورزی عمدتاً ریزدانه است (معادل Clay). طبقه ۵ و ۶ تصویر IPC134، معرف بافت‌های دانه دشت بوده (معادل Sandy Loam)، چرا که این مناطق در حاشیه دشت قرار داشته و خاک‌های سطحی در فاصله کمتری از منشاء تشکیل شده است. طبقه دهم تصویر IPC134، نشان‌دهنده توزیع رسوبات دانه‌ریز بوده و طبقه ۷ و ۸ همین تصویر، معرف بافت خاک دانه‌درشت تا دانه‌ریز (معادل Loam تا Sandy Loam) می‌باشد (شکل ۴-۶).

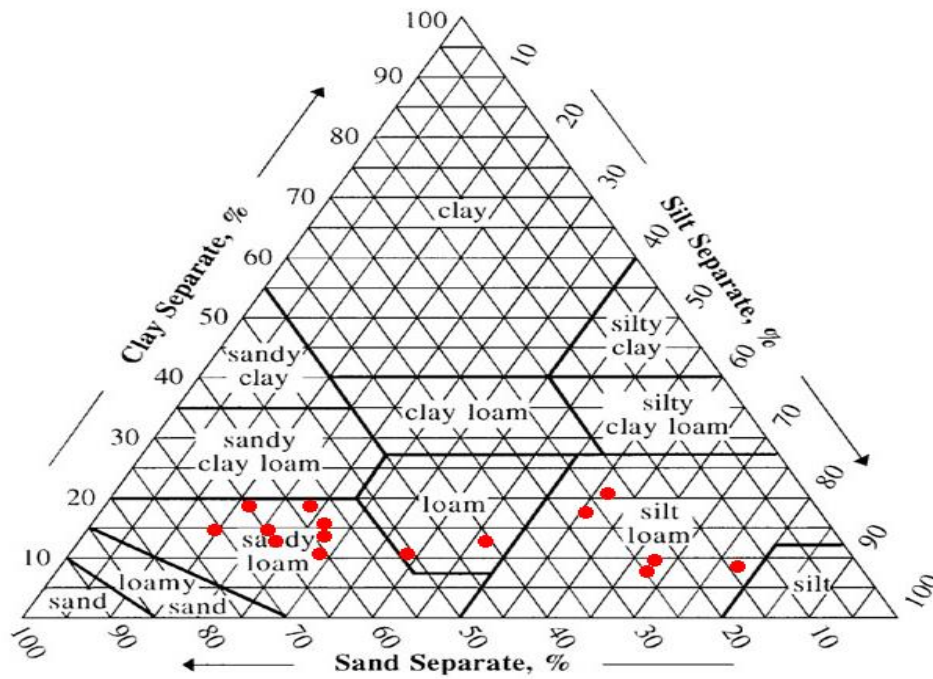


شکل (۴-۶) پراکندگی بافت خاک در دشت شاهرود براساس پردازش تصاویر استر

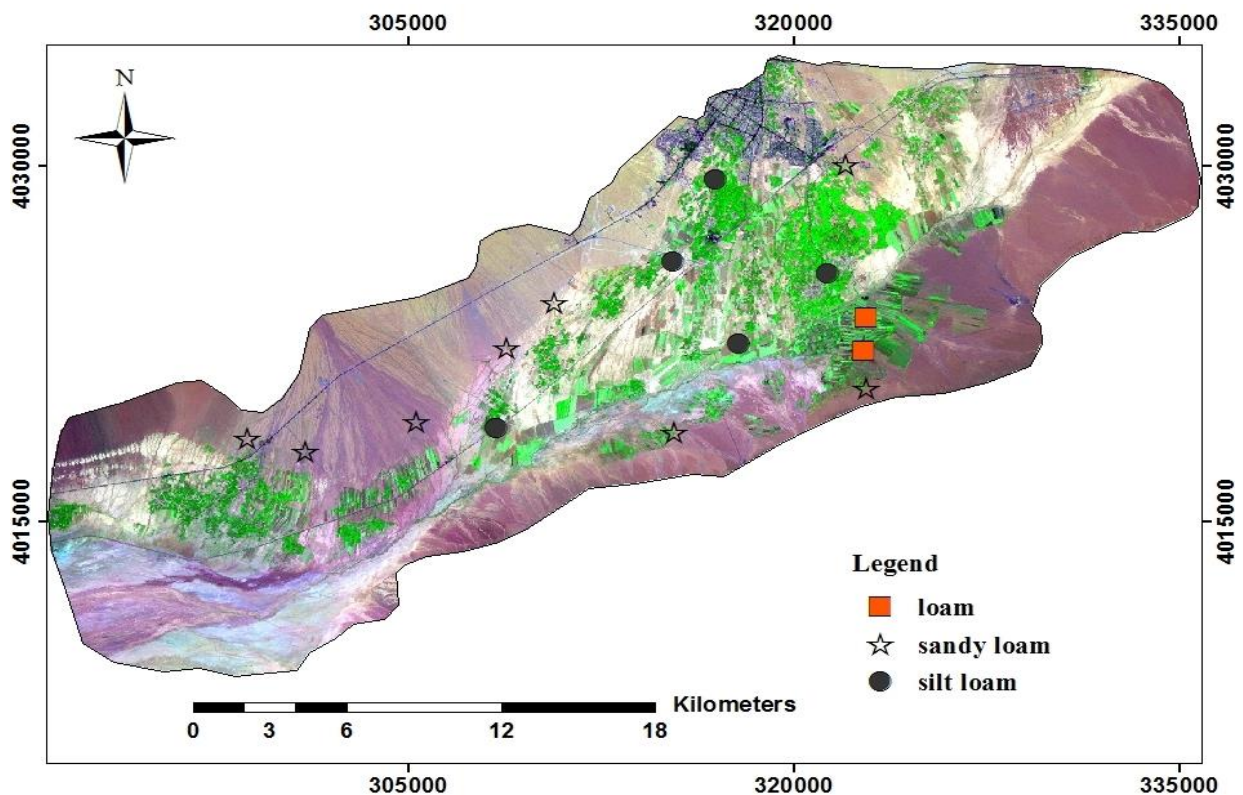
جهت صحت‌سنجی نتایج حاصل شده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، بافت خاک نمونه‌های جمع‌آوری شده از دشت شاهرود با استفاده از مثلث بافت خاک دپارتمان کشاورزی آمریکا (شکل ۴-۷) تعیین شد (جدول ۴-۲). بر این اساس بافت عمده خاک از نوع لوم ماسه‌ای بوده (حاشیه دشت) و مناطق مرکزی دشت دارای بافت رسی تا لوم سیلتی بوده که منطبق با مناطق کشاورزی است. شکل (۴-۸) پراکندگی نقاط برداشت نمونه خاک همراه بافت اندازه‌گیری شده آن‌ها در دشت شاهرود را نشان می‌دهد.

جدول (۲-۴) درصد ذرات تشکیل دهنده و بافت خاک در نمونه‌های برداشت شده از رسوبات سطحی دشت شاهرود

بافت خاک	رس (%)	سیلت (%)	ماسه (%)	شماره نمونه
لوم ماسه‌ایی	۱۵	۲۶	۵۹	۱
لوم سیلتی	۱۷	۵۵	۲۸	۲
لوم سیلتی	۹	۶۷	۲۴	۳
لوم سیلتی	۷	۶۷	۲۶	۴
لوم ماسه‌ایی	۱۲	۲۲	۶۶	۵
لوم ماسه‌ایی	۱۴	۲۰	۶۶	۶
لوم ماسه‌ایی	۱۰	۲۸	۶۲	۷
لوم ماسه‌ایی	۱۴	۱۴	۷۲	۸
لوم	۱۲	۴۶	۴۲	۹
لوم	۱۰	۳۸	۵۲	۱۰
لوم سیلتی	۲۰	۵۶	۲۴	۱۱
لوم ماسه‌ایی	۱۸	۱۶	۶۶	۱۲
لوم ماسه‌ایی	۱۸	۲۳	۵۹	۱۳
لوم سیلتی	۸	۷۷	۱۵	۱۴
لوم ماسه‌ایی	۱۳	۲۷	۶۰	۱۵

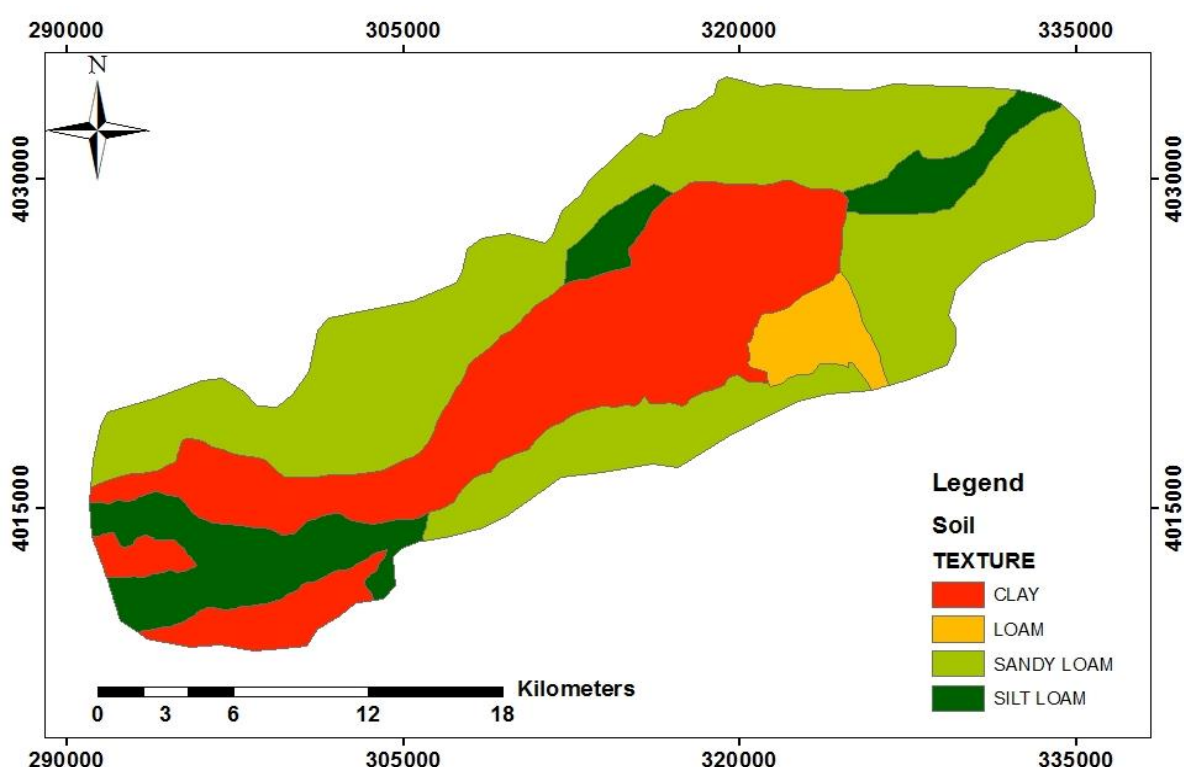


شکل (۷-۴) مثلث بافت خاک براساس استاندارد دپارتمان کشاورزی آمریکا (USDA)



شکل (۸-۴) بافت خاک نمونه‌های برداشت شده از دشت شاهرود

مقایسه آنالیزهای خاک دشت شاهرود، همخوانی زیادی با نتایج حاصل شده از سنجش از دور دارد. به طوری که حاشیه دشت دارای بافت دانه درشت (لوم ماسه‌ای) بوده و مناطق کشاورزی و قسمت‌های مرکزی دشت (بافت ریزدانه) دارای بافت لومی تا رسی است. براساس تلفیق نتایج حاصل از سنجش از راه دور و بافت خاک نمونه‌های برداشت شده از سطح دشت شاهرود نقشه بافت خاک دشت شاهرود مطابق شکل (۹-۴) تعیین و ترسیم شده است.

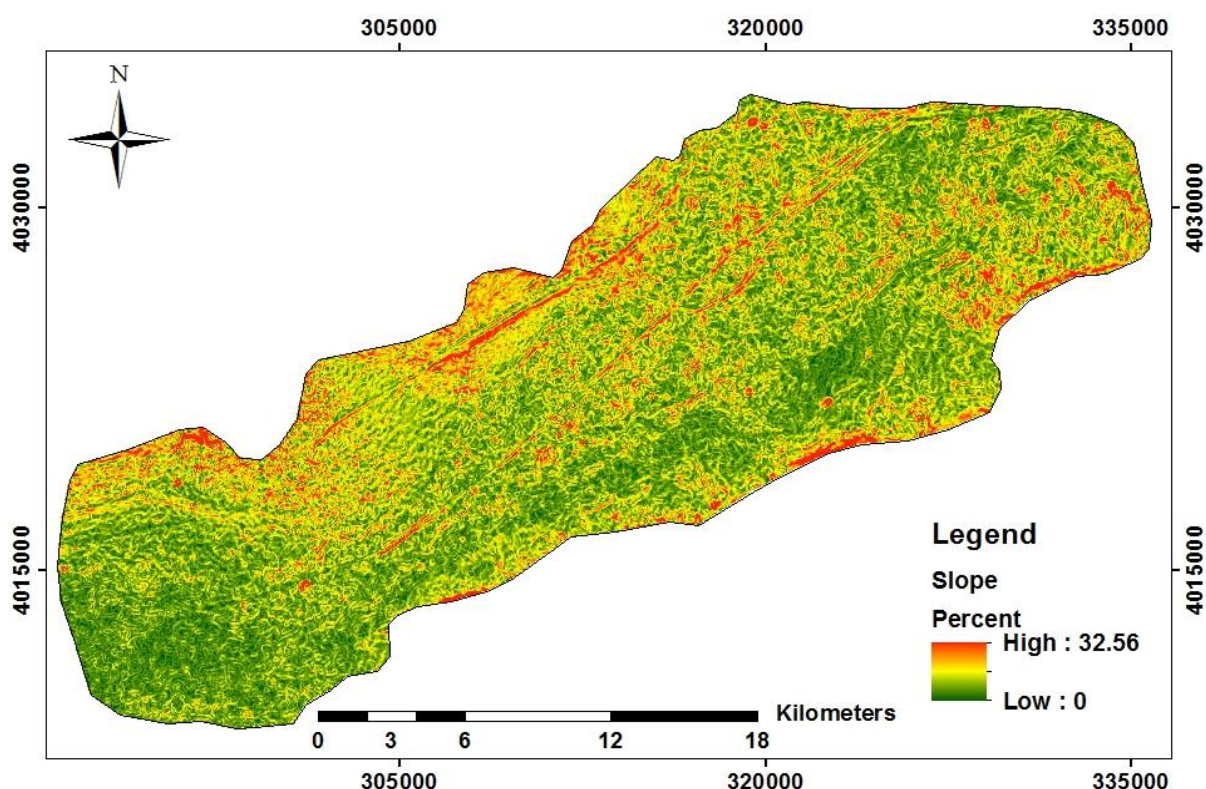


شکل (۹-۴) نقشه بافت خاک دشت شاهرود

۴-۲-۵- توپوگرافی (T)

این لایه به تغییرات شیب سطح زمین مرتبط می‌شود. هر چه شیب کمتر باشد، مواد آلاینده حل شده، فرصت بیشتری برای نفوذ خواهد داشت. در نتیجه منطقه با شیب کمتر، پتانسیل بالاتری برای آلودگی آب زیرزمینی ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر شیب بیشتر سبب می‌شود که مواد محلول به

صورت رواناب جاری شود و کمتر نفوذ کند. به علاوه شیب بر توسعه و گسترش خاک و میرایی آلاینده مؤثر می‌باشد. به گونه‌ایی که در شیب‌های پایین ضخامت خاک سطحی زیاد می‌شود. برای تهیه نقشه شیب، از نقشه‌های توپوگرافی مرتبط به محدوده مورد مطالعه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استفاده گردید و سپس نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاع (DEM) تهیه شد. نقشه هم ارزش شیب دشت شاهرود در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است، شیب منطقه به طور کلی کم بوده و بنابراین نقش مهمی در آسیب‌پذیری دشت خواهد داشت.



شکل (۴-۱۰) نقشه هم ارزش شیب (T) دشت شاهرود

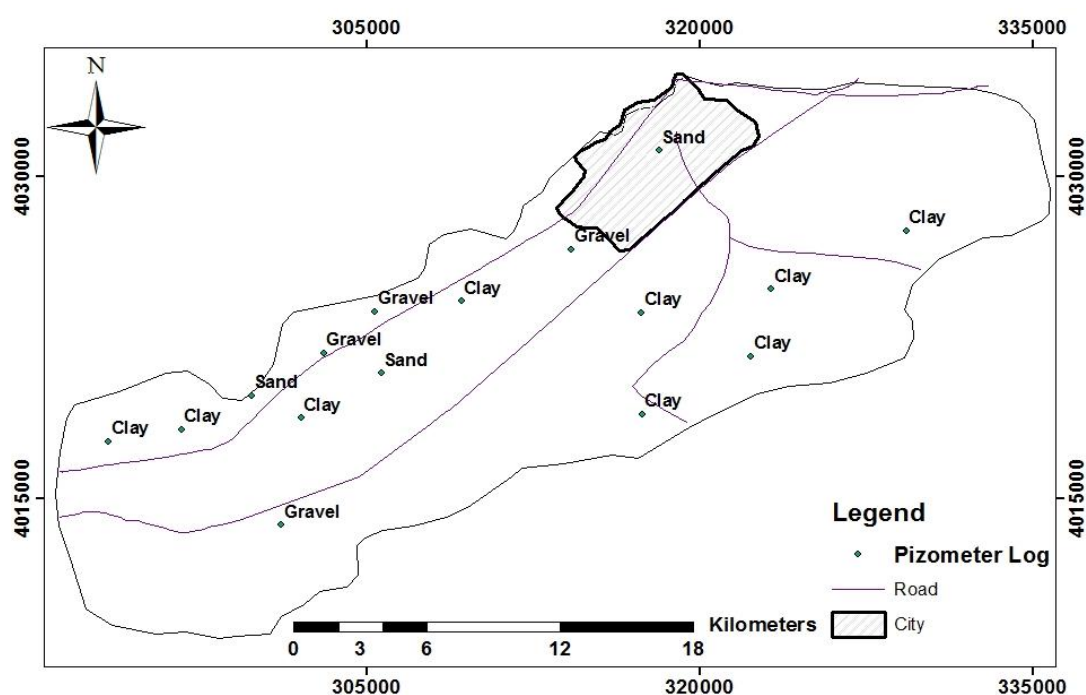
۴-۲-۶- محیط غیراشباع آبخوان (I)

این لایه مربوط به جنس خاک بوده که از سطح ایستابی شروع شده و تا زیر منطقه خاک سطحی ادامه دارد. محیط و شرایط منطقه وادوز تأثیر زیادی بر مواد آلاینده دارد زیرا در این منطقه فرصت

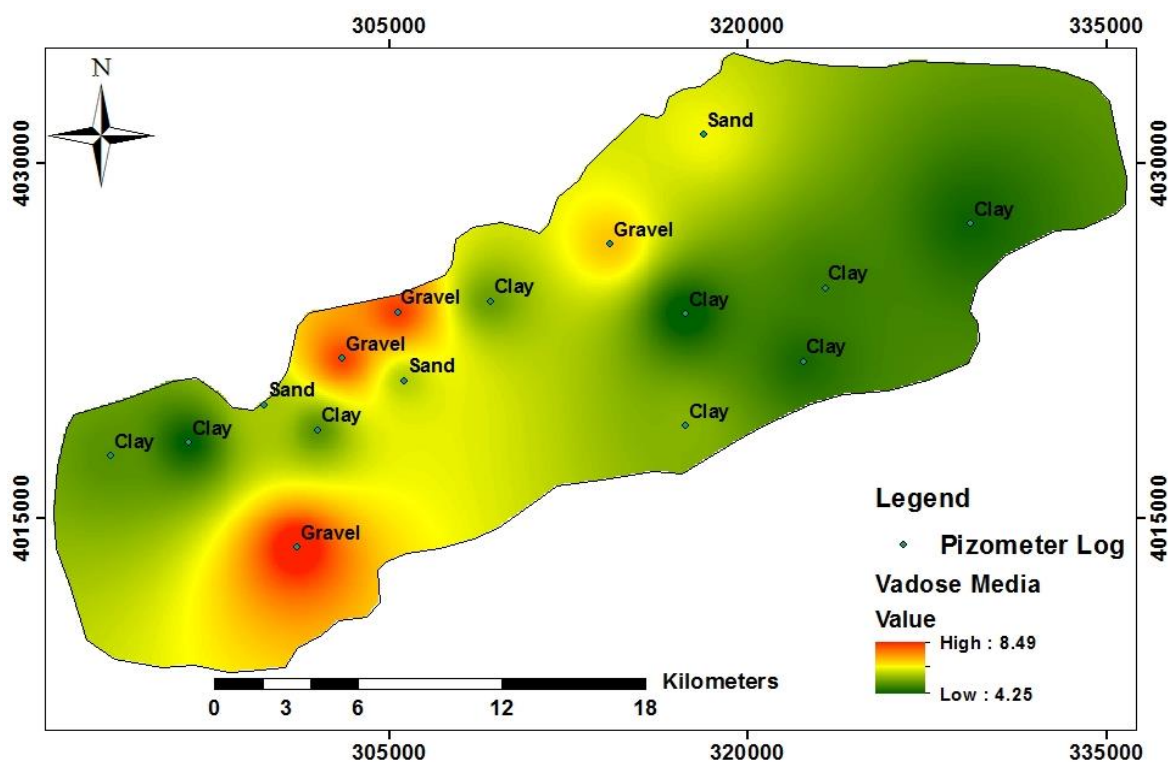
جذب و یا انحلال پیدا می‌کنند (Aller and Bennet, 1987). الگوی حرکت مواد محلول، اینکه به صورت افشان یا کانالی باشد نیز حائز اهمیت است.

اطلاعات مربوط به محیط غیراشباع نیز همانند محیط آبخوان از کاوش‌های زیرسطحی، لاگ حفاری‌های پی‌زومترها (پیوست) و مطالعات زمین‌شناسی بدست می‌آید. تنها تمایز آن‌ها این است که جنس رسوبات بالاتر از سطح ایستابی در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به داده‌های موجود براساس تقسیم‌بندی ارزش عددی منطقه غیراشباع آبخوان در روش DRASTIC برآورد شده است. شکل (۴-۱۱) موقعیت لاگ‌های پی‌زومترهای دشت شاهرود و تغییرات بافت خاک در محیط غیراشباع آبخوان را نشان می‌دهد. نقشه هم ارزش محیط غیراشباع را با استفاده از روش‌های زمین آماری در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شده که در شکل (۴-۱۲) نشان داده شده است. مناطق سبز رنگ در این شکل دارای بافت دانه‌ریز رسی بوده و قسمت‌هایی که با رنگ زرد و قرمز نشان داده شده است به ترتیب دارای بافت دانه درشت گراولی و دانه متوسط ماسه‌ای می‌باشد.



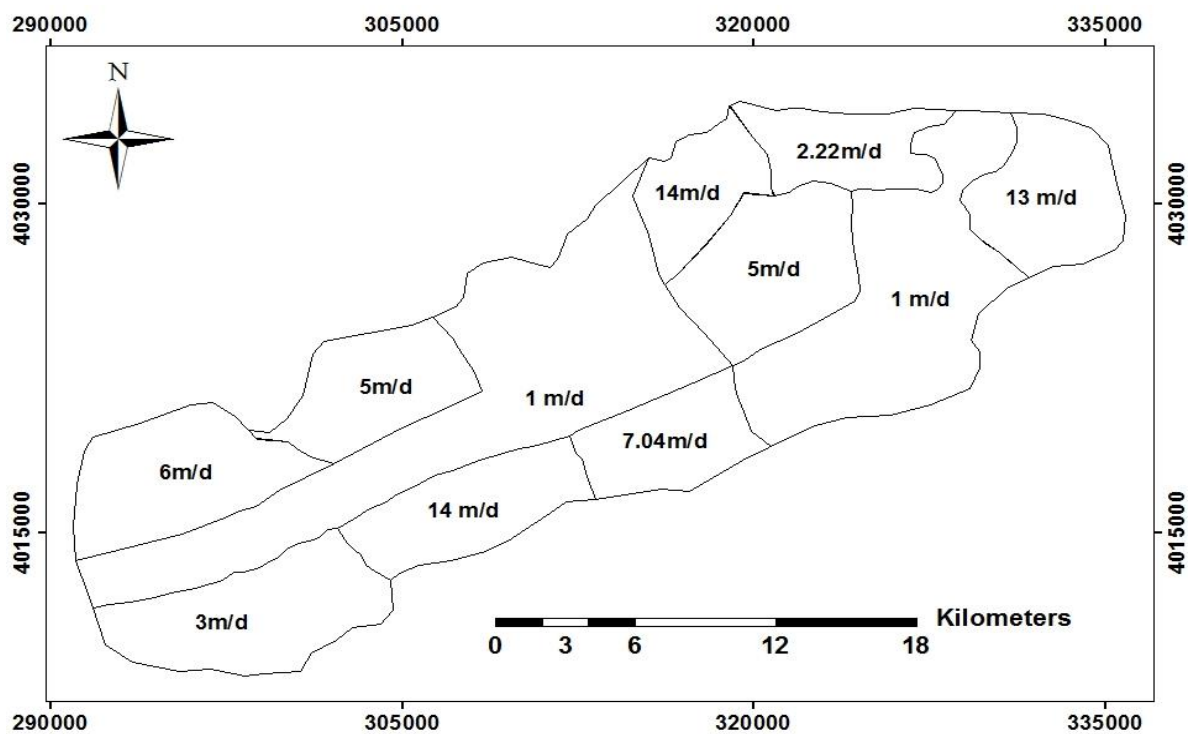
شکل (۴-۱۱) موقعیت لاگ‌های پی‌زومترهای دشت شاهرود و تغییرات بافت خاک در محیط غیراشباع آبخوان



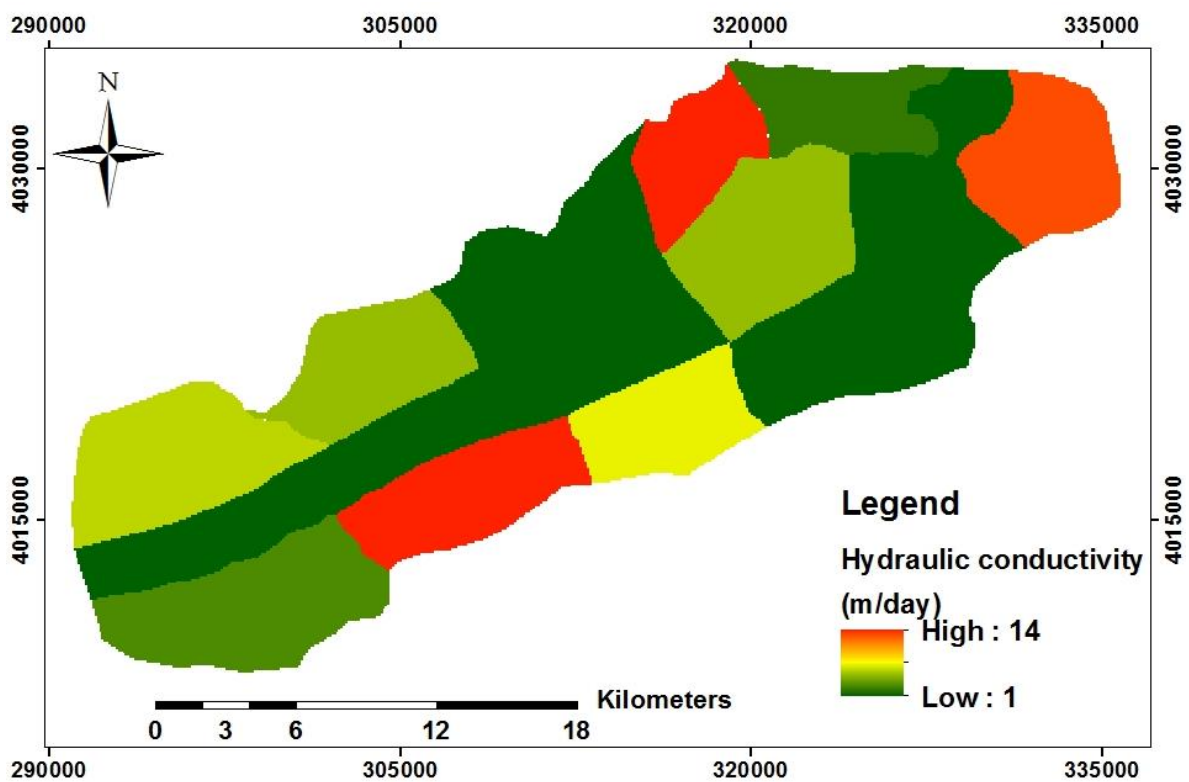
شکل (۴-۱۲) نقشه هم‌ارزش محیط غیراشباع (I) دشت شاهرود

۴-۲-۷- هدایت هیدرولیکی (C)

این پارامتر مربوط به نفوذپذیری سفره یا توانایی مواد سفره در انتقال آب یا مواد محلول می‌باشد. هدایت هیدرولیکی را با حرف بزرگ K نشان می‌دهند و دیمانسیون آن از نوع سرعت می‌باشد. به عبارت دیگر شدتی است که آب‌زیرزمینی تحت گرادیان هیدرولیکی محیط، جریان پیدا می‌کند (Todd and Mays, 1980). هدایت هیدرولیکی عامل کنترل‌کننده حرکت و زمان ماندگاری مواد آلاینده در سفره آب‌زیرزمینی می‌باشد. به همین دلیل K بیشتر سبب پتانسیل آلودگی بالاتر می‌باشد. لازم به ذکر است که تاکنون هیچ آزمایش پمپاژی در محدوده مطالعاتی انجام نشده است. با توجه به موجود نبودن نقشه قابلیت انتقال آبخوان و نبود اطلاعات این پارامتر، مقادیر هدایت هیدرولیکی براساس نتایج مدل‌سازی عددی در آبخوان شاهرود (ولی‌زاده، ۱۳۹۲) مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۴-۱۳). بر این اساس نقشه هم‌ارزش هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت شاهرود تهیه شده که در شکل (۴-۱۴) نشان داده شده است.



شکل (۱۳-۴) نقشه هدایت هیدرولیکی براساس نتایج مدل‌سازی عددی در آبخوان شاهرود (ولی‌زاده، ۱۳۹۲)



شکل (۱۴-۴) نقشه هم ارزش هدایت هیدرولیکی (C) آبخوان دشت شاهرود

۳-۴- رتبه دهی و وزن دهی پارامترها

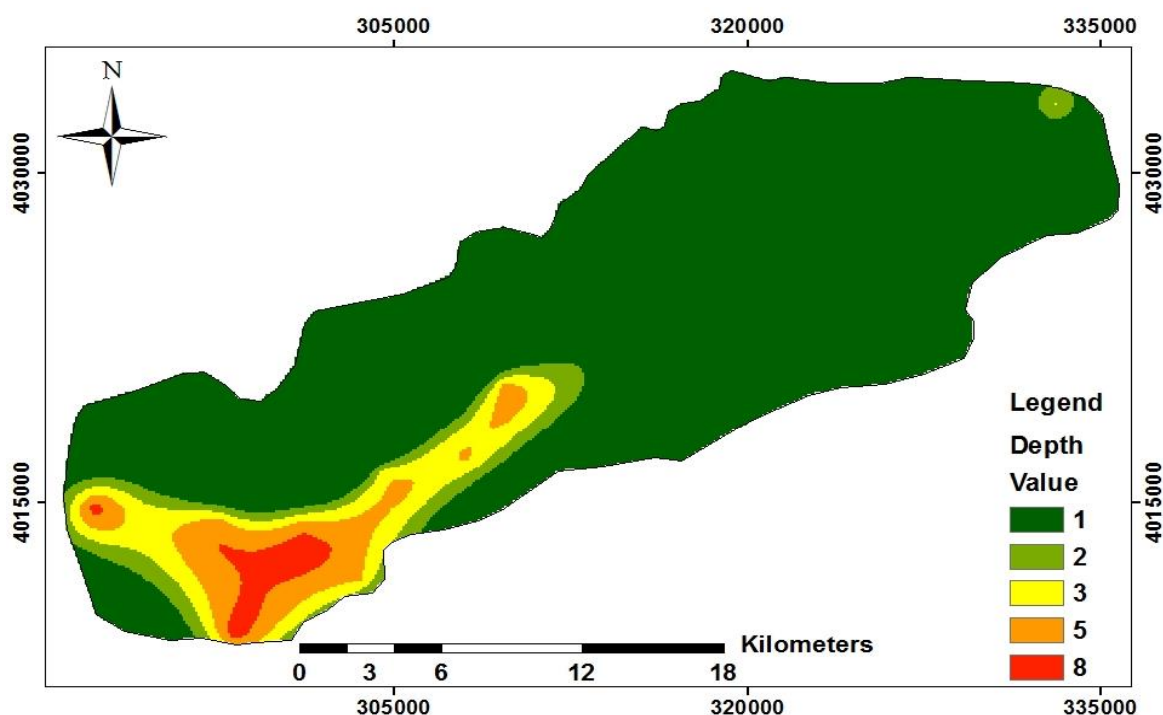
رتبه بندی پارامترهای مدل DRASTIC مطابق جدول (۳-۴) انجام گردیده است. در محدوده مورد مطالعه، وزن دهی و رتبه دهی پارامترها بر مبنای روش استاندارد ارائه شده توسط آلر و همکاران (Aller et al., 1987) صورت گرفته است.

جدول (۳-۴) رتبه بندی و وزن دهی پارامترهای مدل DRASTIC در آبخوان دشت شاهرود

رتبه	پارامتر	رتبه	پارامتر
	محیط آبخوان (A)		عمق آب زیرزمینی (متر) (D)
۹	گراول	۸	۷/۲۲ _ ۱۰/۵
۵	ماسه	۵	۱۰/۵ _ ۱۷/۵
۱	رس	۳	۱۷/۵ _ ۲۳/۵
	محیط خاک (S)	۲	۲۳/۵ _ ۳۰/۴
۶	لوم ماسه ایی	۱	۳۰/۴ _ ۳۰۶/۱۲
۵	لوم		تغذیه آبخوان (میلیمتر در سال) (R)
۴	لوم سیلتی	۳	۱۵/۵۲ _ ۳۵/۵۲
۱	رس	۲	۹/۸۸ _ ۱۵/۵۲
	محیط غیراشباع (I)	۱	۷/۸۸ _ ۹/۸۸
۹	گراول		شیب توپوگرافی (درصد) (T)
۵	ماسه	۱۰	۰ - ۲
۱	رس	۹	۲ - ۶
	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز) (C)	۵	۶ - ۱۲
۴	۹/۶۶ _ ۱۴	۳	۱۲ - ۱۸
۳	۵/۳۳ _ ۹/۶۶	۱	> ۱۸
۲	۱ - ۵/۳۳		

۴-۳-۱- رتبه‌بندی عمق سطح ایستابی (D)

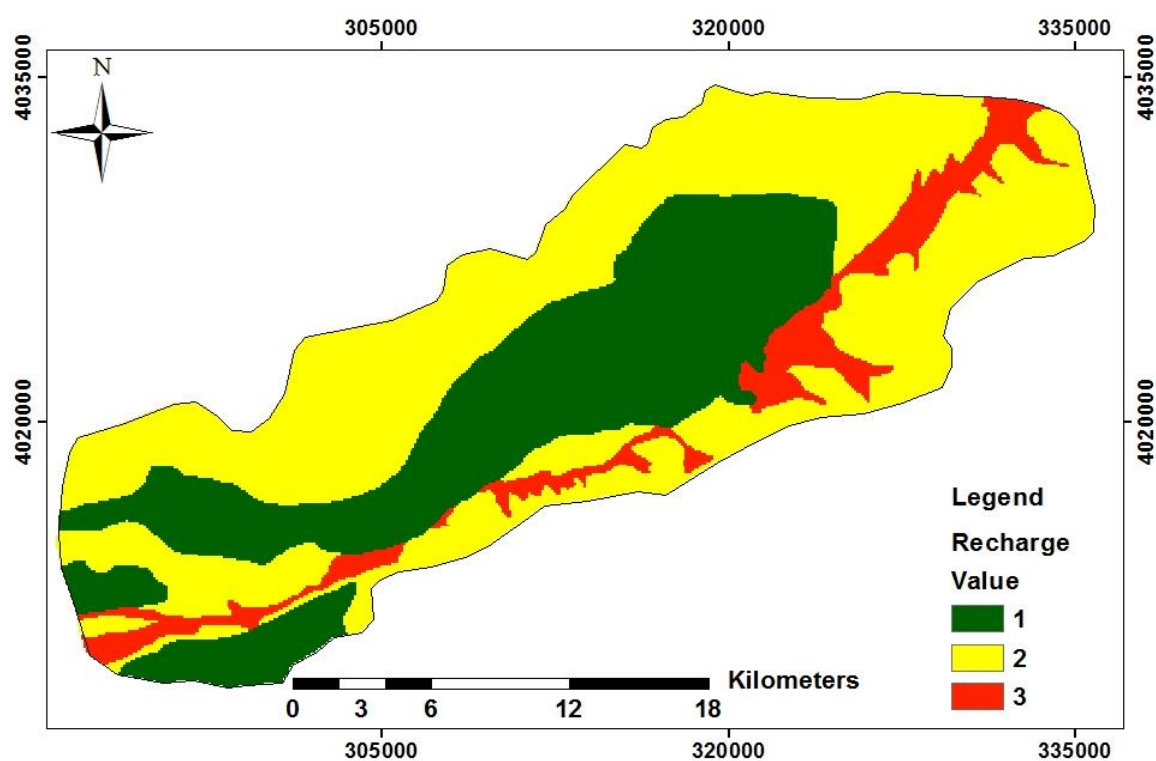
مناطق که دارای عمق کم آب‌زیرزمینی هستند دارای بیشترین ضریب آسیب‌پذیری و مناطقی که دارای عمق زیاد آب‌زیرزمینی هستند کمترین ضریب آسیب‌پذیری را دارند. لازم به ذکر است در مدل دراستیک فرض بر این است که به مناطق با عمق سطح ایستابی بیشتر از ۳۰ متر رتبه یک یعنی حداقل آسیب‌پذیری تعلق می‌گیرد. این بدین معنی است که در اعماق بیشتر از ۳۰ متر پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی کاهش پیدا می‌کند. هر چه عمق سطح ایستابی کمتر باشد پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی افزایش و رتبه بیشتری در مدل به خود اختصاص می‌دهد. رتبه‌بندی عمق آب زیرزمینی آبخوان شاهرود براساس جدول (۴-۳) انجام و در شکل (۴-۱۵) ارائه شده است. قسمت‌هایی از آبخوان نظیر قسمت‌هایی از جنوب و جنوب غربی آبخوان (خروجی آب‌زیرزمینی) بیشترین رتبه را می‌گیرد. زیرا عمق آب زیرزمینی در این مناطق کم می‌باشد و بنابراین آسیب‌پذیرتر می‌باشند. قسمت‌های مرکزی و دیگر مناطق آبخوان (رنگ سبز) از رتبه کم آسیب‌پذیری برخوردار می‌باشند. زیرا عمق آب زیرزمینی در این مناطق زیاد می‌باشد.



شکل (۴-۱۵) نقشه رتبه‌بندی شده عمق آب‌زیرزمینی آبخوان دشت شاهرود

۴-۳-۲- رتبه‌بندی تغذیه آبخوان (R)

میزان تغذیه براساس جدول (۴-۳) طبقه‌بندی و سپس رتبه‌بندی شده است. منطقه آبرفت عهد حاضر و بستر رودخانه دارای بیشترین رتبه بوده و نقش بسیار موثری در آسیب‌پذیری آبخوان دارد. مناطق کشاورزی رتبه کم آسیب‌پذیری را دارند (شکل ۴-۱۶). همچنین حاشیه دشت به دلیل بافت دانه متوسط آن، دارای رتبه حدواسط می‌باشد.

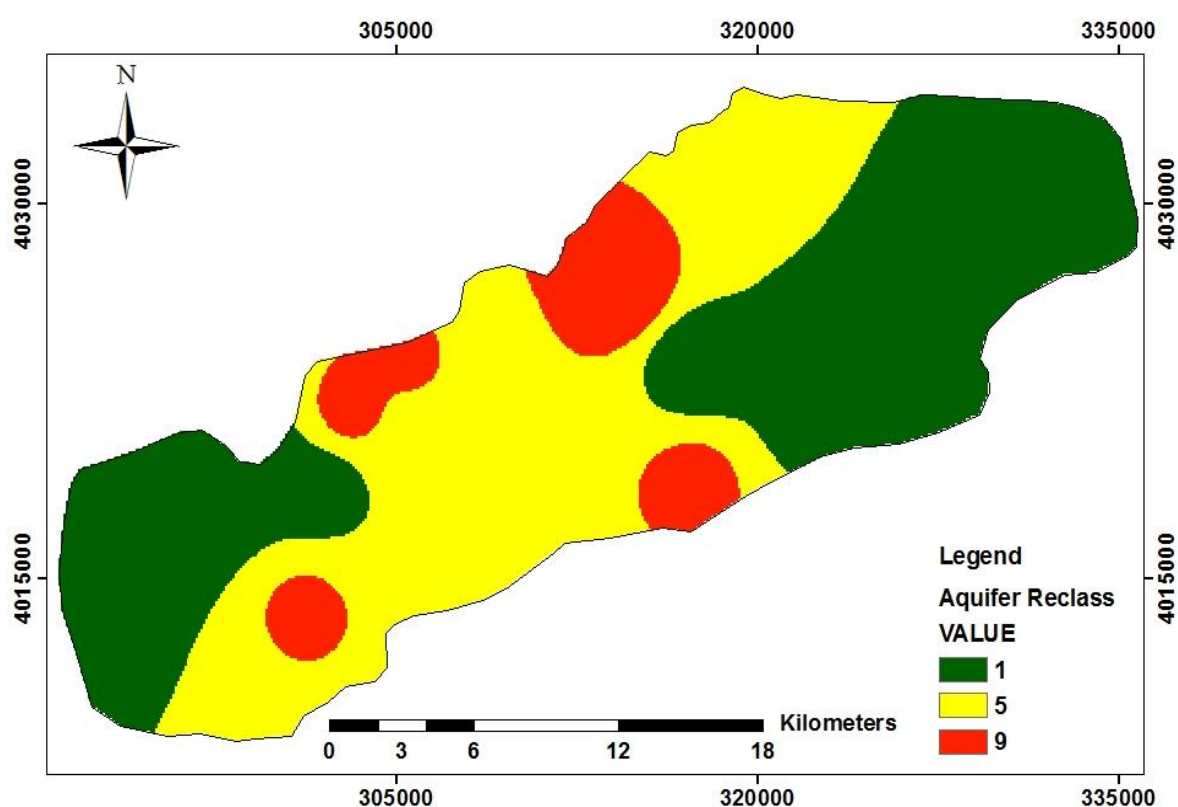


شکل (۴-۱۶) نقشه رتبه‌بندی شده تغذیه آبخوان دشت شاهرود

۴-۳-۳- رتبه‌بندی محیط آبخوان (A)

براساس رتبه‌بندی محیط آبخوان (جدول ۴-۳)، نقشه رتبه‌بندی شده آسیب‌پذیری محیط آبخوان دشت شاهرود در شکل (۴-۱۷) نشان داده شده است. در شکل (۴-۱۷) قسمت‌های شمال غربی آبخوان و قسمت‌هایی از جنوب آبخوان دانه درشت بوده است. این مناطق که با رنگ قرمز نشان داده

شده است، بیشترین رتبه آسیب‌پذیری را به خود اختصاص داده است. همچنین بخش‌های مرکزی آبخوان دارای رسوبات آبرفتی دانه متوسط و قسمت‌هایی از بخش‌های ابتدایی و انتهایی آبخوان دانه‌ریز بوده است که به ترتیب با آسیب‌پذیری متوسط (رنگ زرد) و آسیب‌پذیری کم (رنگ سبز) نمایش داده شده است.

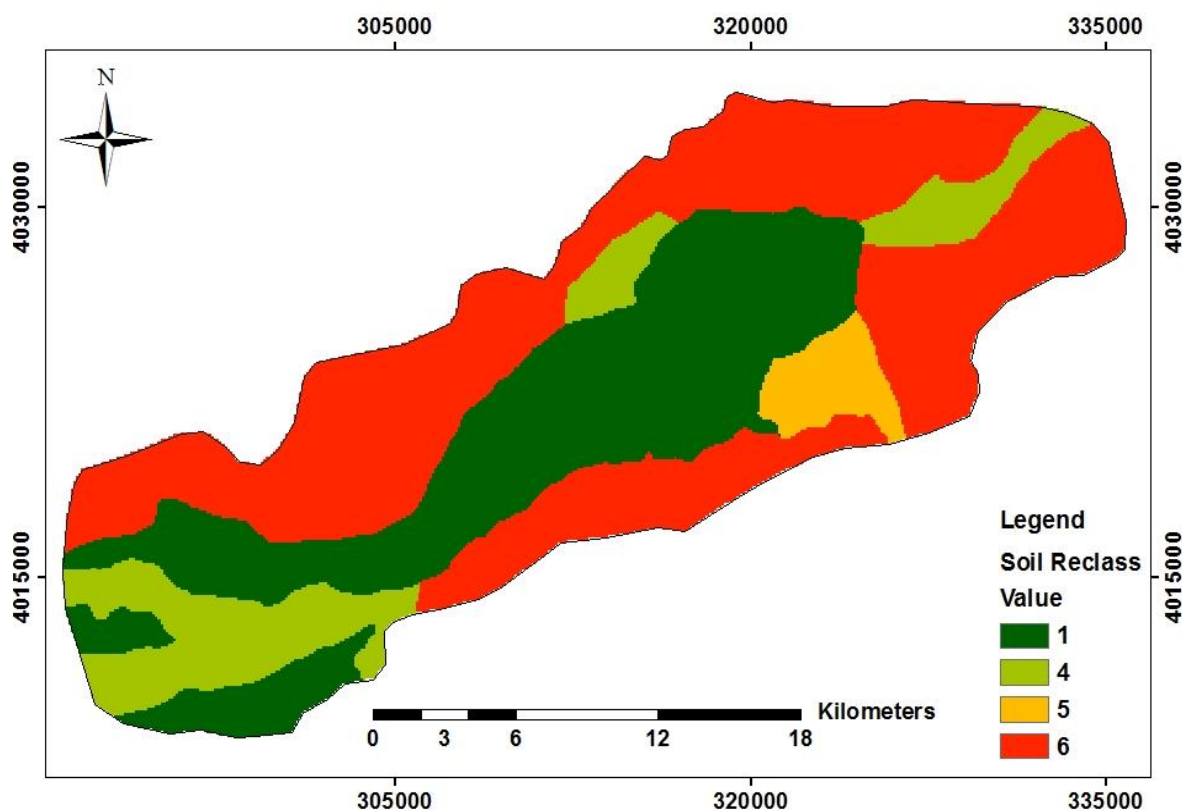


شکل (۴-۱۷) نقشه رتبه‌بندی شده محیط آبخوان دشت شاهرود

۴-۳-۴- رتبه‌بندی محیط خاک (S)

رتبه‌بندی خاک سطحی دشت شاهرود به لحاظ آسیب‌پذیری در شکل (۴-۱۸) نمایش داده شده است. به طور کلی حاشیه دشت با بیشترین رتبه، بافت دانه‌درشت (لوم ماسه‌ای)، مناطق کشاورزی و قسمت‌های مرکزی دشت با کمترین رتبه بافت ریزدانه (لومی تا رسی) را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که بخشی از دشت که با رنگ نارنجی در شکل (۴-۱۸) نشان داده شده است دارای بافت دانه

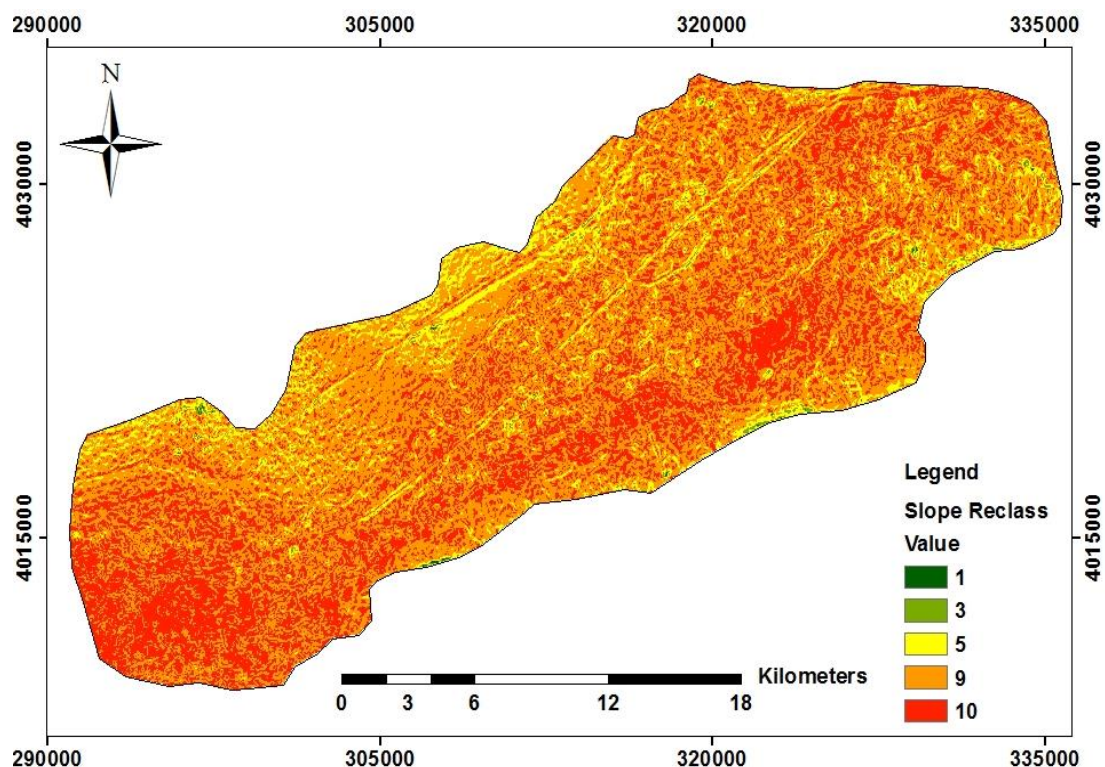
متوسط (لومی) بوده و بر آسیب‌پذیری تأثیر متوسط دارد.



شکل (۴-۱۸) نقشه رتبه‌بندی شده بافت خاک دشت شاهرود

۴-۳-۵- رتبه‌بندی توپوگرافی (T)

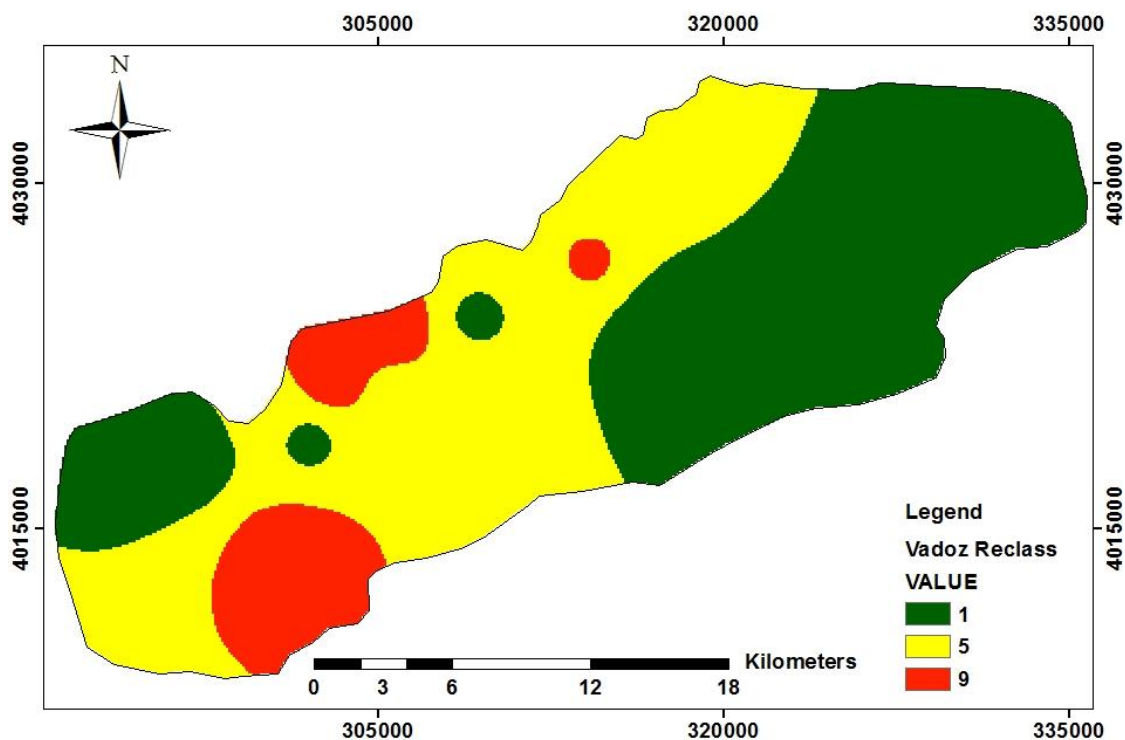
در مدل دراستیک شیب صفر تا ۲ درصد، بیشترین فرض نفوذ را دارد و رتبه بالا می‌گیرد. از آنجایی که محدوده منطقه مورد مطالعه به صورت دشت می‌باشد. شیب منطقه به طور کلی در قسمت‌های مرکزی آبخوان، کم و در قسمت‌های شمال شرقی به سمت ارتفاعات آهکی، زیاد می‌باشد. مناطقی که دارای کمترین شیب است بیشترین ضریب و بالعکس مناطق با شیب زیاد حداقل ضریب را به خود اختصاص می‌دهد. نقشه رتبه‌بندی شده شیب سطح زمین براساس طبقه‌بندی ارائه شده در جدول (۴-۳) در شکل (۴-۱۹) آورده شده است.



شکل (۴-۱۹) نقشه رتبه‌بندی شده شیب سطح زمین در دشت شاهرود

۴-۳-۶- رتبه‌بندی محیط غیراشباع آبخوان (I)

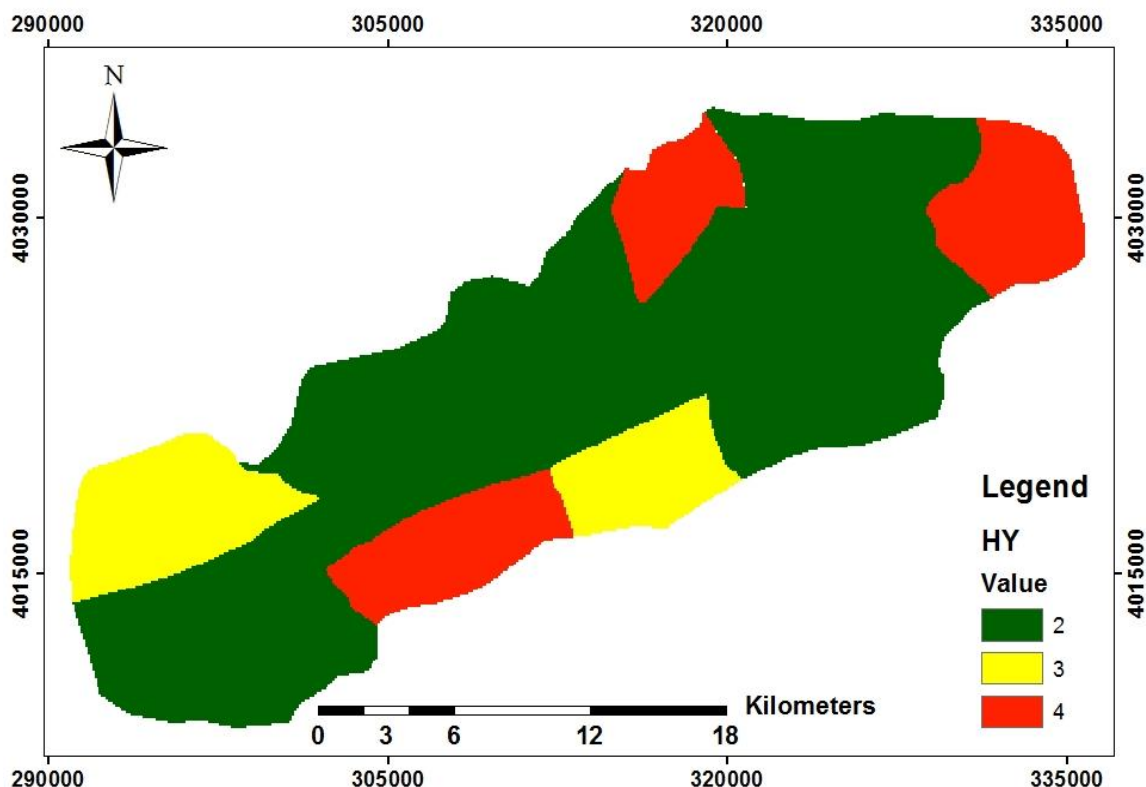
روند تغییرات جنس رسوبات تشکیل دهنده منطقه غیراشباع تقریباً مشابه محیط آبخوان می‌باشد. نقشه رتبه‌بندی شده محیط غیراشباع آبخوان دشت شاهرود براساس جدول (۴-۳) تهیه و در شکل (۴-۲۰) نشان داده شده است. قسمت‌هایی که با رنگ قرمز در شکل (۴-۲۰) نشان داده شده است، با رسوبات دانه درشت، رتبه بالا و قسمت‌هایی که با رنگ زرد نشان داده شده، رتبه متوسط را در آسیب‌پذیری می‌گیرد. زیرا دارای رسوباتی از قبیل ماسه دانه متوسط می‌باشند. همچنین قسمت‌هایی که با رنگ سبز نشان داده شده، با رسوبات رسی کمترین رتبه را به خود اختصاص می‌دهد.



شکل (۴-۲۰) نقشه رتبه‌بندی شده محیط غیراشباع آبخوان دشت شاهرود

۴-۳-۷- رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی (C)

هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت شاهرود بین ۱ تا ۱۴ متر بر روز متغیر است. بیشترین ضریب به مقادیر بالای هدایت هیدرولیکی اختصاص می‌یابد (جدول ۴-۳). نقشه رتبه‌بندی شده هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت شاهرود در شکل (۴-۲۱) نشان داده شده است. محدوده شهر و قسمت‌هایی که با رنگ قرمز نشان داده شده است به دلیل هدایت هیدرولیکی بالا، بیشترین رتبه را داشته و نقش بالایی را در آسیب‌پذیری دشت دارد. همچنین قسمت‌هایی که با رنگ سبز و زرد نشان داده شده است با توجه به هدایت هیدرولیکی این مناطق دارای رتبه کم تا متوسط می‌باشند.



شکل (۴-۲۱) نقشه رتبه‌بندی شده هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت شاهرود

۴-۴- شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC و نقشه آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود

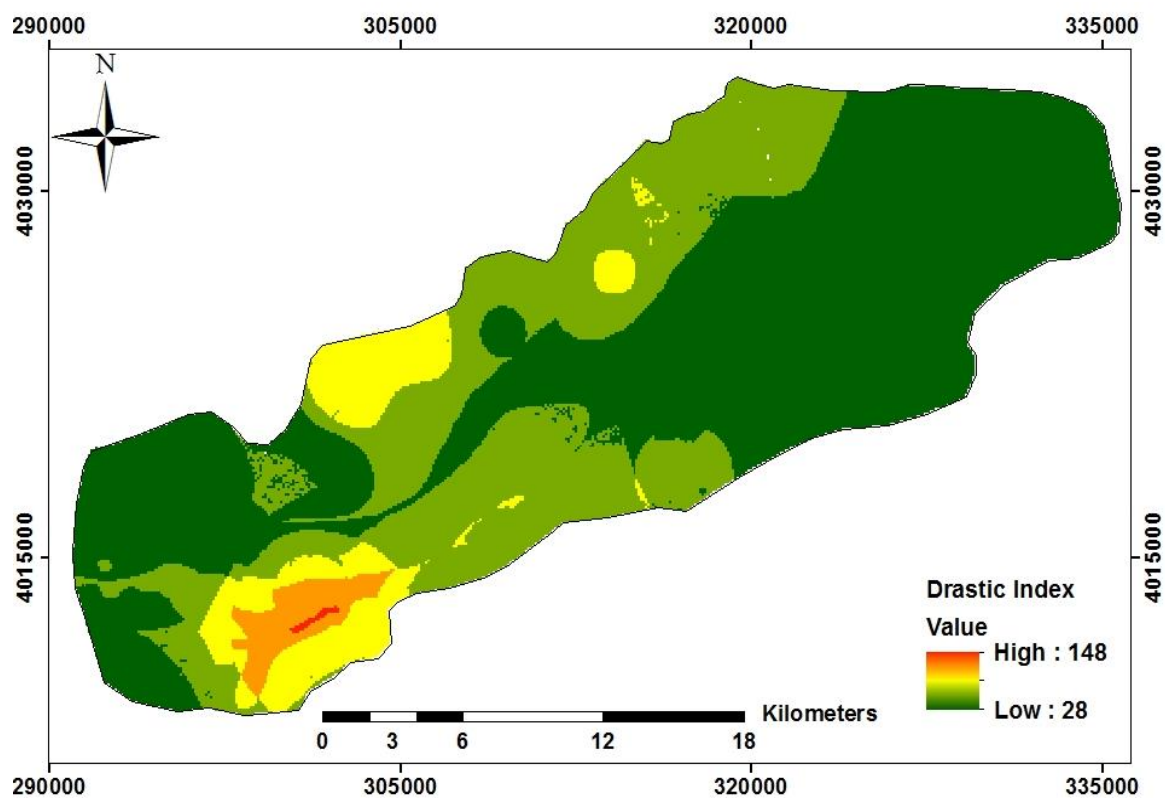
پارامترهای مدل DRASTIC در نرم افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی نظیر (Arc GIS) به صورت هفت لایه‌ی اطلاعاتی وارد شده و با رتبه‌دهی، وزن‌دهی و سپس تلفیق لایه‌ها (Overlaying)، لایه‌ی جدیدی به نام شاخص دراستیک (Drastic index) به دست خواهد آمد. این شاخص به صورت نقشه آسیب‌پذیری نمایش داده شده که آبخوان را از نظر پتانسیل آلودگی پهنه‌بندی و مورد ارزیابی قرار می‌دهد. رتبه مربوط به هر پارامتر بین ۱ تا ۱۰ و وزن هر پارامتر با توجه به اهمیت آن از ۱ تا ۵ (جدول ۴-۳) متغیر می‌باشد. جهت برآورد شاخص دراستیک از فرمول (۳-۱) استفاده شده است.

شاخص دراستیک برای دشت شاهرود بین ۲۸ تا ۱۴۸ برآورد گردید (شکل ۴-۲۲). با توجه به این پهنه‌بندی منطقه شهری و بخش‌های جنوبی منطقه آسیب‌پذیری بالا و سایر مناطق آسیب‌پذیری متوسط تا کم را نشان می‌دهد. به طور کلی می‌توان گفت که نزدیک بودن سطح آب زیرزمینی به

سطح زمین در قسمت‌های جنوبی آبخوان و درشت دانه بودن بافت خاک سطحی در حاشیه شمالی آبخوان، سبب آسیب‌پذیری بسیار بالای این مناطق شده است. بافت ریزدانه خاک سطحی در مناطق کشاورزی سبب آسیب‌پذیری کم این مناطق شده است. رتبه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری در جدول (۴-۴) و نقشه پهنه‌بندی شده آن در شکل (۴-۲۳) ارائه شده است.

به منظور صحت‌سنجی پهنه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری در دشت شاهرود توزیع غلظت نیتрат در بخش‌های مختلف دشت براساس نتایج مطالعات انجام شده توسط کلاتگی و جعفری (۱۳۹۳) بر روی نقشه آسیب‌پذیری نمایش داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در مناطق کشاورزی که شاخص آسیب‌پذیری کمتری دارند مقادیر غلظت نیترات نیز کم می‌باشد که این موضوع به بافت دانه‌ریز سطحی خاک مرتبط می‌باشد. در مناطق شهری و بخش‌های جنوبی آبخوان شاهرود که بافت خاک دانه‌درشت‌تر، مقادیر غلظت نیترات نیز بیشتر می‌باشد (شکل ۴-۲۴).

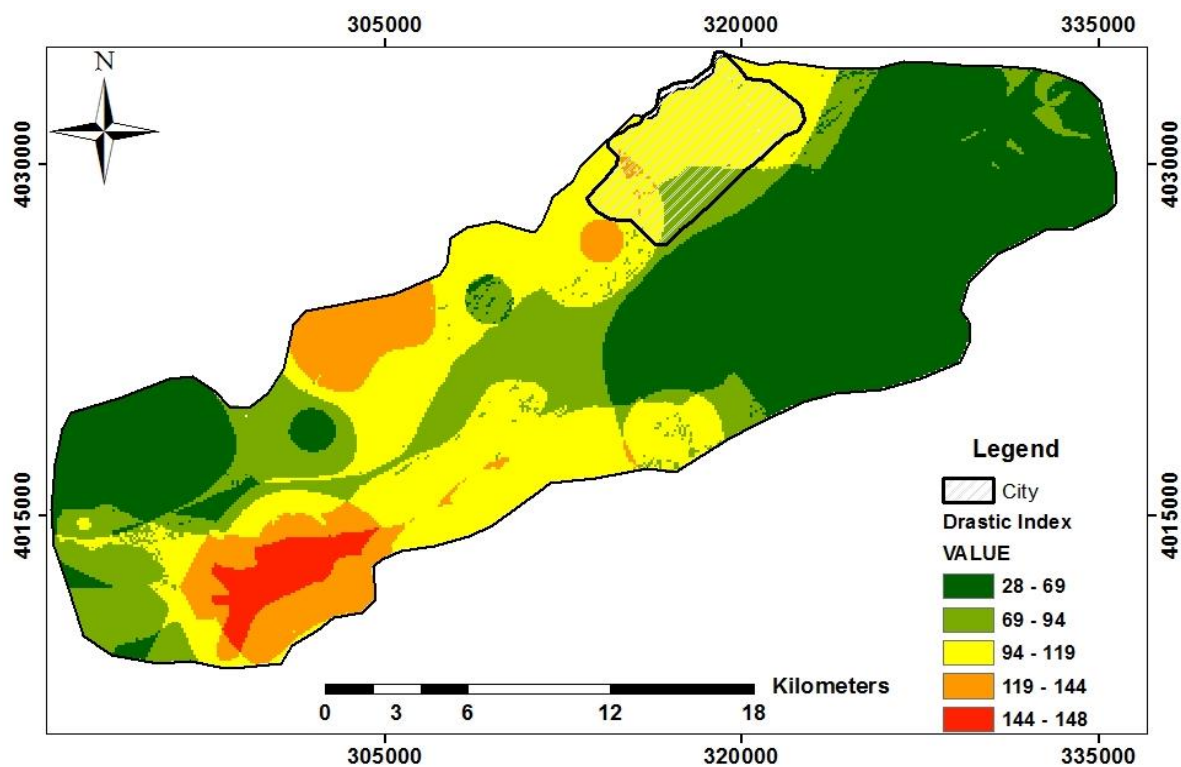
بررسی منابع آلاینده دشت شاهرود که توسط کرمی (۱۳۹۱) انجام شده است نشان می‌دهد عمده منابع آلاینده آبخوان شاهرود که در محدوده شهر شاهرود واقع شده‌اند در منطقه‌ای از آبخوان قرار می‌گیرند که از نظر آسیب‌پذیری در رده سه (آسیب‌پذیر) قرار می‌گیرد. لذا لازم است مدیریت این منابع آلاینده به نحوی صورت گیرد تا خطر زیادی متوجه آبخوان نباشد. مناطقی از آبخوان که آسیب‌پذیری زیاد و بحرانی دارند خوشبختانه هیچگونه منبع آلاینده‌ای در سطح شناسایی نشده است.



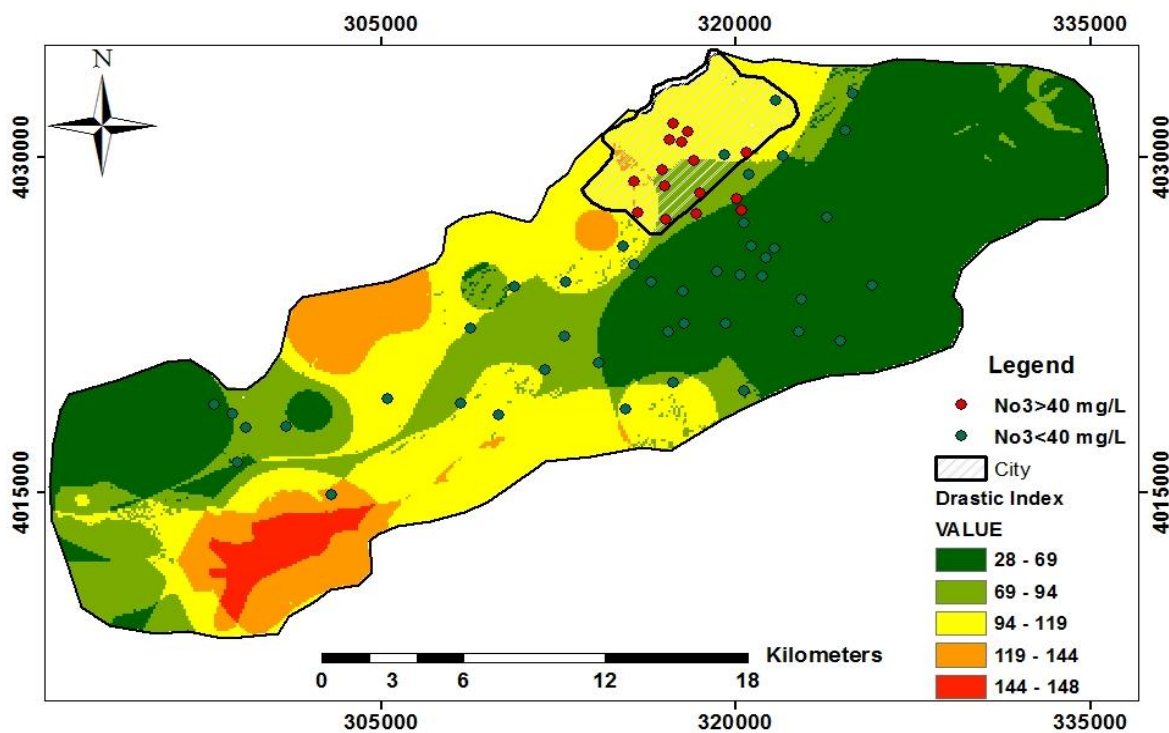
شکل (۴-۲۲) نقشه شاخص آسیب‌پذیری آبخوان دشت شاهرود براساس مدل دراستیک

جدول (۴-۴) رتبه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری به روش دراستیک

وضعیت آسیب‌پذیری	دامنه شاخص DRASTIC
قابل اغماض	۲۸ - ۶۹
کم	۶۹ - ۹۴
آسیب‌پذیر	۹۴ - ۱۱۹
زیاد	۱۱۹ - ۱۴۴
خیلی زیاد	۱۴۴ - ۱۴۸



شکل (۴-۲۳) نقشه نهایی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت شاهرود (براساس طبقه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری)



شکل (۴-۲۴) غلظت نیترات در دشت شاهرود و ارتباط آن با نقشه آسیب‌پذیری تهیه شده به روش دراستیک

۴-۵- آنالیز حساسیت مدل

یکی از بزرگترین مزایای مدل DRASTIC ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از پارامترهای متعدد بوده، با این عقیده که تاثیر خطاها، یا عوامل نامعلوم و عدم قطعیت‌های موجود را بر روی خروجی نهایی محدود می‌کند (Evans and Myers, 1990; Rosen, 1994).

به عقیده برخی از دانشمندان می‌توان با استفاده از تعداد کمتری از پارامترها، با دقت بیشتر و هزینه کمتر به نتیجه مطلوبی از آسیب‌پذیری آبخوان دست یافت

(Barber *et al.*, 1993; Merchant, 1994; Napolitano and Fabbri, 1996; Mclay *et al.*, 2001).

آیا تمام هفت پارامتر DRASTIC برای بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت شاهرود لازم است یا با تعداد کمتری می‌توان به نتیجه مطلوب دست یافت، در این صحت با استفاده از آنالیز حساسیت مدل مشخص می‌شود.

جهت ارزیابی تأثیرگذاری پارامترها بایستی ابتدا پارامترهای DRASTIC برای تعیین وابستگی و تغییرپذیری ارزیابی شوند. طبق عقیده روزن (Rosen, 1994) عدم وابستگی بین پارامترهای DRASTIC احتمال قضاوت غلط را کاهش می‌دهد. در تحقیق حاضر جهت حساسیت‌سنجی مدل از دو روش استفاده شد. آنالیز حساسیت حذف پارامتر (Map removal) که توسط لودویک و همکاران (Lodwick *et al.*, 1990) ارائه گردیده و آنالیز حساسیت تک پارامتری (Single parameter) که توسط ناپولیتانو و فابری (Napolitano and Fabri, 1996) پیشنهاد شده است.

۴-۵-۱- همبستگی پارامترهای مدل DRASTIC

جهت بررسی ارتباط بین پارامترهای مدل DRASTIC ماتریس همبستگی بین این پارامترها در محیط نرم‌افزار Arc GIS محاسبه شد. تحلیل همبستگی بین پارامترهای مدل DRASTIC در جدول

(۴-۵) نشان داده شده است. یک رابطه قوی بین پارامترهای محیط خاک و تغذیه خالص وجود دارد (ضریب همبستگی برابر با ۰/۷۷۷) که به دلیل تاثیر مستقیم نقشه خاک در تهیه لایه تغذیه خالص می‌باشد. ارتباط قوی دیگری بین پارامترهای محیط آبخوان و محیط غیراشباع (ضریب همبستگی برابر با ۰/۶۳۳) وجود دارد زیرا رسوبات تشکیل دهنده آبخوان در بخش اشباع و غیراشباع به صورت ماسه و شن و رس می‌باشند که تقریباً از دانه‌بندی یکسانی برخوردار هستند. سایر پارامترهای مدل همبستگی مهمی را نشان نمی‌دهند، حتی بین بعضی از پارامترها همبستگی منفی وجود دارد. این موضوع نشان دهنده مستقل بودن پارامترهای مدل DRASTIC می‌باشد.

جدول (۴-۵) ماتریس همبستگی پارامترهای مدل DRASTIC در دشت شاهرود

لایه	D	R	A	S	T	I	C
D	۱/۰۰						
R	-۰/۰۷۳	۱/۰۰					
A	۰/۱۸۰	-۰/۱۰۹	۱/۰۰				
S	-۰/۲۳۳	۰/۷۷۷	-۰/۰۶۳	۱/۰۰			
T	۰/۱۴۸	-۰/۰۴۰	-۰/۰۵۲	-۰/۱۴۴	۱/۰۰		
I	۰/۴۵۲	-۰/۱۱۸	۰/۶۳۳	-۰/۱۳۵	۰/۰۱۳	۱/۰۰	
C	-۰/۰۴۶۶	۰/۱۲۴	-۰/۰۱۶	۰/۱۳۳	۰/۰۰۵	-۰/۰۹۵	۱/۰۰

۴-۵-۲- آنالیز حساسیت حذف پارامتر

تحلیل حساسیت حذف پارامتر توسط لودویک و همکاران (Lodwick et al., 1990) انجام شد. در این روش، حساسیت نقشه آسیب‌پذیری نسبت به حذف یک یا چند پارامتر و تأثیر هر یک از پارامترها در

ارزیابی آسیب‌پذیری مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این روش میزان حساسیت حذف نقشه با استفاده از رابطه (۱-۴) بدست می‌آید.

$$S = (|V/N - V'/n| / V) \times 100 \quad (۱-۴)$$

که S میزان حساسیت را نشان می‌دهد و به آن شاخص تغییرپذیری (Variation Index) نیز می‌گویند. V و V' به ترتیب شاخص‌های آسیب‌پذیری بدون حذف و با حذف پارامتر هستند. n و N تعداد لایه‌های مورد استفاده در محاسبه V و V' می‌باشند. شاخص واقعی آسیب‌پذیری که با استفاده از تمام هفت پارامتر DRASTIC به‌دست می‌آید، به‌عنوان شاخص آسیب‌پذیری بدون حذف پارامتر (V) در نظر گرفته می‌شود، درحالی‌که آسیب‌پذیری محاسبه شده با استفاده از تعداد کمتری از لایه‌ها به‌عنوان آسیب‌پذیری با حذف پارامتر (V') مورد توجه قرار می‌گیرد. با حذف تک تک پارامترها، میزان حساسیت مدل آسیب‌پذیری دشت شاهرود نسبت به هر پارامتر بدست آمد. نتایج حاصل از این آنالیز در جدول (۶-۴) ارائه شده است.

جدول (۶-۴) نتایج آماری تحلیل حساسیت حذف پارامتر در دشت شاهرود

حساسیت شاخص تغییرپذیری (%) (S)				پارامتر حذف شده
میانگین	بیشینه	کمینه	انحراف معیار (S.D)	
۰/۹۷۱	۶/۱۶۹	۰/۰۰۲	۰/۵۸۰	D
۰/۸۲۸	۲/۳۹۹	۰/۰۰۶	۰/۴۸۸	R
۱/۳۰۳	۴/۹۹۹	۰/۰۲۳	۰/۷۳۶	A
۱/۱۶۸	۲/۶۳۳	۰/۰۰۶	۰/۶۹۵	S
۰/۷۵۲	۲/۳۴۹	۰/۰۱۴	۰/۵۲۸	T
۲/۱۰۱	۶/۷۷۲	۰/۰۰۶	۱/۵۶۴	I
۰/۷۵۵	۲/۱۶۴	.	۰/۴۸۰	C

نتایج موجود در جدول (۴-۶) نشان می‌دهد که بیشترین تغییر در شاخص پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان با حذف پارامتر محیط غیراشباع اتفاق می‌افتد به طوری که میانگین شاخص تغییرپذیری ۲/۱ درصد می‌باشد. این می‌تواند به دلیل وزن زیاد این پارامتر باشد. پس از این پارامتر، حساسیت مدل آسیب‌پذیری به حذف پارامتر محیط آبخوان با میانگین حساسیت ۱/۳ درصد در رتبه دوم قرار می‌گیرد. همچنین حساسیت مدل آسیب‌پذیری به حذف پارامترهای بافت خاک، عمق برخورد به آب زیرزمینی، تغذیه و هدایت هیدرولیکی به ترتیب میانگین حساسیت ۱/۱، ۰/۹، ۰/۸ و ۰/۷ در رتبه‌های بعدی حساسیت قرار می‌گیرد. در نهایت آسیب‌پذیری آبخوان با میانگین حساسیت ۰/۷ درصد کمترین حساسیت را نسبت به حذف پارامتر شیب توپوگرافی نشان می‌دهد.

۴-۵-۳- آنالیز حساسیت تک پارامتری

روش تحلیل حساسیت تک پارامتر (Napolitano and Fabri, 1996) تأثیر هر کدام از پارامترهای DRASTIC را بر روی شاخص آسیب‌پذیری ارزیابی می‌کند. در این روش وزن موثر یا واقعی هر کدام از پارامترها با وزن تئوریک اختصاص یافته به آن پارامتر در مدل DRASTIC مقایسه می‌شود. وزن موثر در هر سلول با استفاده از رابطه (۴-۲) محاسبه می‌شود.

$$W = (P_r P_w / V) \times 100 \quad (۴-۲)$$

که در این رابطه W وزن موثر مربوط به هر پارامتر، P_r و P_w به ترتیب رتبه و وزن هر کدام از پارامترها و V شاخص آسیب‌پذیری می‌باشد. وزن موثر تابعی از مقدار یک پارامتر با توجه به سایر پارامترها همانند وزن اختصاص یافته به آن توسط مدل DRASTIC می‌باشد. از آنجایی که تحلیل حساسیت حذف پارامتر در بخش قبل، اهمیت هر هفت پارامتر را در ارزیابی شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد، تحلیل حساسیت تک پارامتری وزن‌های موثر و تئوری

پارامترها را با هم مقایسه می‌کند. نتایج آماری این تحلیل در جدول (۷-۴) ارائه شده است.

جدول (۷-۴) نتایج آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری در دشت شاهرود

پارامتر	وزن تئوری	وزن تئوری (%)	وزن موثر (%)			انحراف معیار (S.D)
			میانگین	بیشینه	کمینه	
D	۵	۲۱/۷۴	۱۰/۹۶	۵۱/۳۰	۴/۴۲	۵/۹۲
R	۴	۱۷/۴۰	۱۱/۳۳	۲۸/۶۸	۲/۸۶	۴/۹۵
A	۳	۱۳/۰۴	۱۴/۵۴	۴۴/۲۸	۳/۴۰	۸/۹۸
S	۲	۸/۷۰	۱۲/۸۳	۳۰/۰۸	۱/۴۹	۸/۰۳
T	۱	۴/۳۰	۱۴/۶۱	۳۳/۰۷	۰/۸۷	۵/۵۷
I	۵	۲۱/۷۴	۲۳/۵۲	۵۴/۹۲	۶/۰۲	۱۲/۷۱
C	۳	۱۳/۰۴	۱۲/۲۱	۲۷/۲۷	۴/۰۵	۴/۹۵

نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که وزن موثر و تئوری پارامترهای DRASTIC کاملاً بر هم منطبق نیستند و در بعضی موارد تفاوت‌های قابل توجهی با هم دارند. با توجه به جدول (۷-۴) پارامتر محیط غیراشباع با میانگین وزن موثر ۲۳/۵ درصد به‌عنوان مهم‌ترین و مؤثرترین پارامتر در ارزیابی آسیب‌پذیری شناسایی شده است، به عبارتی نتایج حاصل از تحلیل حساسیت حذف پارامتر را تأیید می‌کند. میانگین وزن موثر این پارامتر کمی بیش از وزن تئوری اختصاص داده شده به آن توسط مدل DRASTIC می‌باشد. همچنین پارامترهای محیط آبخوان، توپوگرافی و بافت خاک وزن موثر بیشتری نسبت به وزن تئوری نشان می‌دهند، که در رتبه دوم به لحاظ اهمیت قرار می‌گیرند. ولی پارامترهای عمق آب زیرزمینی، تغذیه و هدایت هیدرولیکی، وزن موثر کمتری نسبت به وزن تئوری اختصاص داده شده به آن‌ها توسط مدل DRASTIC دارند. این نتایج نشان می‌دهد که پارامترهای عمق آب

زیرزمینی، تغذیه و هدایت هیدرولیکی تأثیر کمتری بر روی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در مقایسه با مدل تئوری DRASTIC دارند و در عوض پارامترهای محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی و محیط غیراشباع در مقایسه با فرضیات مدل DRASTIC تأثیر بیشتری را بر روی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی در دشت شاهرود دارند.

براساس نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل با استفاده از روش‌های حذف پارامتر و تک پارامتر، پارامتر اثر منطقه غیراشباع بیشترین حساسیت را در هر دو روش نشان می‌دهد. در مواردی که بعضی از پارامترها دارای عدم قطعیت هستند، توصیه می‌شود ابتدا مدل با عدم قطعیت انجام شده و سپس تحلیل حساسیت انجام شود. در صورتی که حساسیت مدل به پارامتر دارای عدم قطعیت زیاد نباشد می‌توان از نتایج مدل استفاده کرد. در غیر این صورت یا بایستی نواقص اطلاعاتی برطرف شود یا از روش دیگری استفاده شود.

با توجه به اینکه رتبه‌بندی و ارزش‌گذاری پارامترها تا حدودی کارشناسی بوده، همین موضوع یکی از معایب این روش به حساب می‌آید زیرا سبب عدم قطعیت در نتایج این روش می‌شود.

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه

دشت شاهرود یکی از دشت‌های مهم استان سمنان می‌باشد. با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در این دشت که برای اهدافی نظیر شرب، کشاورزی و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق بررسی آسیب‌پذیری و شناسایی مناطق مستعد آلودگی آبخوان با استفاده از مدل DRASTIC انجام شده است. در این فصل نتایج تحقیق ارائه شده و در پایان پیشنهادهایی برای مطالعات آتی ارائه می‌گردد.

۵-۲- نتایج

۱- عمق سطح ایستابی در آبخوان شاهرود از $7/1$ تا $206/5$ متر متغیر می‌باشد. بیشترین عمق سطح ایستابی در قسمت غربی منطقه و کمترین عمق سطح ایستابی در قسمت‌های خروجی آبخوان مشاهده می‌شود. در مدل دراستیک به مناطق با عمق سطح ایستابی بیشتر از ۳۰ متر رتبه یک (حداقل آسیب‌پذیری) تعلق گرفته و بیشترین رتبه به عمق سطح ایستابی کمتر از ۱۰ متر داده شده است. قسمت‌هایی از آبخوان نظیر قسمت‌هایی از جنوب و جنوب غربی آبخوان (خروجی آب‌زیرزمینی) که بیشترین رتبه را به خود اختصاص داده، که آسیب‌پذیرتر می‌باشند.

۲- میزان تغذیه آبخوان شاهرود از بارندگی‌ها حدود $7/8$ تا $35/5$ میلی‌متر در سال متغیر می‌باشد. در مدل دراستیک این میزان به سه بازه تقسیم‌بندی گردید. بیشترین مقدار تغذیه مربوط به آبرفت‌های بستر رودخانه با بافت دانه درشت بوده که بیشترین رتبه به آن‌ها اختصاص داده شده و نقش بسیار موثری در آسیب‌پذیری آبخوان دارد. مناطق کشاورزی دارای کمترین رتبه (رتبه یک) بوده است زیرا بافت خاک در این مناطق از سیلنتی تا رسی متغیر می‌باشد.

۳- بافت رسوبات در منطقه اشباع آبخوان شاهرود از رس تا گراول متغیر می‌باشد. محدوده اشباع به سه محیط مختلف تقسیم‌بندی گردید و به هر محیط بسته به درجه اهمیت آن در آسیب‌پذیری رتبه مورد نظر اختصاص یافت. بخش‌های با بافت غالب رسی کمترین رتبه (رتبه یک) و مناطق با بافت گراولی به عنوان قسمت آسیب‌پذیر، بیشترین رتبه (رتبه ۹) را به خود اختصاص داده است.

۴- بافت خاک در بخش‌های مختلف دشت متفاوت بوده، به نحوی که چهار بافت غالب قابل شناسایی می‌باشد. بافت لوم ماسه‌ای در حاشیه دشت قرار گرفته که رتبه ۶ (آسیب‌پذیرتر) به آن تعلق گرفته است. مناطق با بافت لومی تا رسی (مناطق کشاورزی و قسمت‌های مرکزی دشت) از رتبه ۱ تا ۵ تقسیم‌بندی شده است. در نتیجه مناطق مرکزی دشت با بافت دانه‌ریز پتانسیل آسیب‌پذیری کمتری داشته و در مقابل، حاشیه دشت پتانسیل آلودگی بیش‌تری دارد چرا که بافت خاک این مناطق درشت دانه است.

۵- شیب منطقه بین ۰ تا ۳۲ درصد متغیر بوده، که به ۵ بازه تقسیم‌بندی شده است. در مدل دراستیک شیب صفر تا ۲ درصد، احتمال نفوذ حداکثر، رتبه بالا (رتبه ۱۰) را به خود اختصاص داده و به شیب بیشتر از ۱۸ درصد کمترین رتبه (رتبه ۱) اختصاص می‌یابد. از آنجایی که محدوده منطقه مورد مطالعه به صورت دشت می‌باشد. شیب منطقه به طور کلی در قسمت‌های مرکزی آبخوان، کم و در قسمت‌های شمال شرقی به سمت ارتفاعات آهکی، زیاد می‌باشد. مناطقی که دارای کمترین شیب است نقش مهم‌تری را در آسیب‌پذیری آبخوان داشته است.

۶- روند تغییرات بافت رسوبات تشکیل دهنده منطقه غیراشباع تقریباً مشابه محیط آبخوان بوده است. بافت رسوبات در منطقه غیراشباع از رس تا گراول متغیر بوده که به سه محیط مختلف تقسیم‌بندی شده است. رس‌ها کمترین رتبه (رتبه یک) و گراول به عنوان قسمت آسیب‌پذیر، بیشترین رتبه (رتبه ۹) را به خود اختصاص داده‌اند.

۷- هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت شاهرود بین ۱ تا ۱۴ متر بر روز متغیر می‌باشد. هدایت هیدرولیکی به سه بازه تقسیم‌بندی گردید. بیشترین ضریب (رتبه ۴) به مقادیر بالای هدایت هیدرولیکی (۹-۱۴ متر بر روز) اختصاص یافت. به مقادیر هدایت هیدرولیکی کمتر از ۵ متر بر روز، رتبه ۲ اختصاص یافته است.

۸- شاخص دراستیک برای دشت شاهرود بین ۲۸ تا ۱۴۸ برآورد گردید. با توجه به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود، ۴۰/۵ درصد از مساحت کل دشت دارای آسیب‌پذیری قابل اغماض، ۱۸/۹ درصد آسیب‌پذیری کم، ۲۸/۸ درصد آسیب‌پذیر، ۱۰/۰ درصد آسیب‌پذیری زیاد و تنها حدود ۱/۶ درصد از منطقه دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد می‌باشد. منطقه شهری و بخش‌های جنوبی منطقه آسیب‌پذیری بالا و سایر مناطق آسیب‌پذیری متوسط تا کم را نشان می‌دهد. به طور کلی می‌توان گفت که نزدیک بودن سطح آب زیرزمینی به سطح زمین در قسمت‌های جنوبی آبخوان و درشت دانه بودن بافت خاک سطحی در حاشیه شمالی آبخوان، سبب آسیب‌پذیری بسیار بالای این مناطق شده است. بافت ریزدانه خاک سطحی در مناطق کشاورزی سبب آسیب‌پذیری کم این مناطق شده است.

۹- نتایج صحت‌سنجی پهنه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری در دشت شاهرود با استفاده از توزیع غلظت نیترات در بخش‌های مختلف دشت نشان می‌دهد که در مناطق کشاورزی با شاخص آسیب‌پذیری پایین، مقادیر غلظت نیترات کم می‌باشد که این موضوع به بافت دانه‌ریز سطحی خاک مرتبط می‌باشد. در مناطق شهری و بخش‌های جنوبی آبخوان شاهرود که بافت خاک دانه‌درشت‌تر می‌باشد، مقادیر غلظت نیترات نیز بیشتر می‌باشد.

۱۰- نتایج تحلیل همبستگی بین پارامترهای مدل DRASTIC نشان می‌دهد که رابطه مهمی بین پارامترهای محیط خاک و تغذیه خالص (ضریب همبستگی برابر با ۰/۷۷۷) وجود دارد که ناشی از استفاده مستقیم نقشه خاک در تهیه لایه تغذیه می‌باشد). ارتباط قوی دیگری بین پارامترهای محیط آبخوان و محیط غیراشباع (ضریب همبستگی برابر با ۰/۶۳۳) وجود دارد زیرا رسوبات تشکیل دهنده آبخوان در بخش اشباع و غیراشباع به صورت ماسه و شن و رس می‌باشند که تقریباً از دانه‌بندی یکسانی برخوردار هستند. سایر پارامترهای مدل همبستگی مهمی را نشان نمی‌دهند، حتی بین بعضی از پارامترها همبستگی منفی وجود دارد، که این موضوع نشان دهنده مستقل بودن پارامترهای مدل DRASTIC می‌باشد.

۱۱- نتایج تحلیل حساسیت حذف پارامتر نشان می‌دهد که شاخص آسیب‌پذیری نسبت به حذف لایه‌های محیط غیراشباع و محیط آبخوان حساسیت بالایی دارد. میانگین شاخص تغییرپذیری آن‌ها به ترتیب ۲/۱ و ۱/۳ درصد می‌باشند. همچنین حساسیت مدل آسیب‌پذیری به حذف پارامترهای بافت خاک، عمق برخورد به آب‌زیرزمینی، تغذیه و هدایت هیدرولیکی به ترتیب میانگین حساسیت ۱/۱، ۰/۹، ۰/۸ و ۰/۷ در رتبه‌های بعدی حساسیت قرار می‌گیرد.

۱۲- نتایج تحلیل حساسیت تک پارامتری (تعیین وزن موثر پارامترهای DRASTIC)، نشان می‌دهد که پارامترهای عمق آب زیرزمینی، تغذیه و هدایت هیدرولیکی تأثیر کمتری بر روی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در مقایسه با مدل تئوری DRASTIC دارند و در عوض پارامترهای محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی و محیط غیراشباع در مقایسه با فرضیات مدل DRASTIC تأثیر بیشتری را بر روی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی در دشت شاهرود دارند. این موضوع نشان می‌دهد تهیه این لایه‌ها برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان بایستی با دقت بیشتری انجام شود.

۵-۳-پیشنهادهای

۱- جهت شناسایی دقیق خصوصیات محیط آبخوان، محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیکی پیشنهاد می‌شود که بررسی‌های اکتشافی در محدوده دشت شاهرود انجام گیرد. همچنین انجام آزمایش پمپاژ به منظور دستیابی به ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان دشت شاهرود پیشنهاد می‌شود.

۲- شهر شاهرود در محدوده آسیب‌پذیر قرار دارد بنابراین پیشنهاد می‌گردد کنترل و مدیریت منابع آلوده‌کننده در این بخش از آبخوان با دقت و جدیت بیشتری دنبال گردد.

۳- با توجه به اینکه مدل دراستیک یک مدل برآورد کننده است، پیشنهاد می‌شود ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از روش‌های دیگر نیز انجام شود و نتایج آن‌ها با مدل دراستیک و داده‌های واقعی مقایسه گردد. بدین ترتیب می‌توان نتایج قابل اعتمادتری از ارزیابی آسیب‌پذیری به‌دست آورد و همچنین بهترین روش در ارزیابی آسیب‌پذیری شناسایی می‌گردد.

۴- با توجه به نتایج به‌دست آمده از مدل DRASTIC در این تحقیق و همچنین در بسیاری از مطالعات داخلی و خارجی دیگر و نظر به کم‌هزینه بودن آن، پیشنهاد می‌شود از این روش در راستای حفاظت و جلوگیری از آلودگی منابع ارزشمند آب زیرزمینی استفاده گردد.

پیوست

لاگ حفاری پیزومترهای حفر شده در دشت شاهرود

دفتر مطالعات پایه منابع آب

کد : ۰۳۶-۴۲۰

شرکت آب منطقه‌ای بایبصران

(صفحه ۳ از ۳ صفحه)

وہلے

[illegible]

نام کنترل کننده: محمد علی
امضاء

تاریخ تهیه: ۹۲۸/۸۵

مقام
امضاء

پیوست ۱) لاگ حفاری پیزومتر پلیس راه

وزارت نیرو

فرم حفاری

شرکت آب منطقه‌ای بهمنجان

شرکت مدیریت منابع آب ایران

کد: ۴۲۰-۰۲۱

معاونت مطالعات پایه و مدیریت حوضه های آبریز

دفتر مطالعات پایه منابع آب

(صفحه ۳ از ۳ صفحه)

۵۲

عوامل شیمیایی EC-CL-PH	مقطع حفاری لوله گذاری	نام، سن، جنس سازند یا لایه ها	سختی زمین شناسی	عمق (متر)	عوامل شیمیایی EC-CL-PH	مقطع حفاری لوله گذاری	نام، سن، جنس سازند یا لایه ها	سختی زمین شناسی	عمق (متر)
$E_c = 9.24$ $cl = 28$ $PH = 7.15$		ارامنه	۵۰	۹۵	E		آکریک	۵۰	۱۰
$E_c = 5.999$ $PH = 7.1$ $cl = 27$		آگرچه	۵۰	۱۰۵			ترکیبی از	۵۰	
			۵۰	۱۰۵			شن ریز	۵۰	
							و مس	۵۰	
							میزان ۵/۵	۵۰	
							مقطع مس	۵۰	۲۰
							رس و سلت	۵۰	
								۵۰	۳۰
								۵۰	۴۰
							۸٪ رس	۵۰	
							رس و سلت	۵۰	
							و قهقهه	۵۰	
							دانه ریز	۵۰	
							ظهور خرفی	۵۰	
							شت ریز	۵۰	۶۰
							۸٪ رس	۵۰	
							شن و مس	۵۰	
							درشت دانه	۵۰	۷۰
							میزان دار	۵۰	
							۱۰٪ رس	۵۰	۸۰
							مس و رس	۵۰	
							دانه و قهقهه	۵۰	
							رس و سلت	۵۰	۹۰
								۵۰	۹۵

در این مقطع
۱.۵نام کنترل کننده:
امضاء

تاریخ تهیه: ۸۵/۹/۳

نام تهیه کننده:
امضاء

۴۵

پیوست (۲) لاگ حفاری پیژومتر تل

ہندوستان دہلی

(ص ۳ از ۳ ص)

[illegible]

نام کنترل کننده:

تاریخ نیپہ :

نام تہہ کنندہ :

پیوست ۳) لاگ حفاری پیزومتر دیزج

ک : ۲۱-۰۲۰۸

برکت مدیریت منابع آب ایران

هوانت مطالعات پایه و مدیریت حوزه های آبریز

فتر مطالعات پایه منابع آب

(صفحہ ۱۲: ۳ صفحہ)

بسم الله الرحمن الرحيم

انضاء

تاریخ تپہ :

[Handwritten signature]

پیوست ۴) لاگ حفاری پیزومتر حسین آباد ساغری

عمق (متر)	سختی زمین شناسی	نام، سن، جنس سازند یا لایه ها	مقطع حفاری لوله گذاری	عوامل شیمیایی EC-CL-PH	عمق (متر)	سختی زمین شناسی	نام، سن، جنس سازند یا لایه ها	مقطع حفاری لوله گذاری	عوامل شیمیایی EC-CL-PH
0			فاز 1		0			فاز 1	
21			رسوبیلت 1/100		21			رسوبیلت 1/100	
24			رسوبیلت 1/100		24			رسوبیلت 1/100	
30			رسوبیلت 1/100		30			رسوبیلت 1/100	
36			رسوبیلت 1/100		36			رسوبیلت 1/100	
57			رسوبیلت 1/100		57			رسوبیلت 1/100	
60			رسوبیلت 1/100		60			رسوبیلت 1/100	
69			رسوبیلت 1/100		69			رسوبیلت 1/100	
75			رسوبیلت 1/100		75			رسوبیلت 1/100	
81			رسوبیلت 1/100		81			رسوبیلت 1/100	
91			رسوبیلت 1/100		91			رسوبیلت 1/100	

تاریخ تہیہ :

نظم نهیہ کنندہ

فام كنڻ ۽ ڪندڙ

پیوست ۵) لاگ حفاری پیزومتر جنوب حصار

شرکت آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان

فرم حفاری

کد: ۰۲۱-۰۰۰۰۰۰۰۰

وزارت نیرو

شرکت مدیریت منابع آب ایران

معاونت مطالعات پایه و مدیریت حوزه های آبریز

دفتر مطالعات پایه منابع آب

(صفحه ۳ از ۳ صفحه)

مرکز آبریز خورین

عمق (متر)	مختصات	نام پهن جفت	مقطع حفاری	عوامل شیمیایی	عمق (متر)	مختصات	نام پهن جفت	مقطع حفاری	عوامل شیمیایی
(متر)	زمین شناسی	سازند با لایه ها	نقطه گذاری	EC-CL-PH	(متر)	زمین شناسی	سازند با لایه ها	نقطه گذاری	EC-CL-PH
0									
24									
63									
69									
115									
120									
125									
130									
135									
140									
145									

نتایج آزمایشات

115	$E_c = 677$	$PH = 7.2$	$d = 2.6$
120	$E_c = 781$	$PH = 7.2$	
125	$E_c = 677$	$PH = 7.4$	
130	$E_c = 679$	$PH = 7.4$	
135	$E_c = 664$	$PH = 7.4$	
140	$E_c = 657$	$PH = 7.5$	$d = 2.7$

واحد متر برابر است با ۱۰۰ سانتی متر

$wt_1 = 115m$
 $wt_2 = 114.57m$

نام کنترل کننده:

تاریخ تهیه:

نام تهیه کننده:

پیوست (۶) لاگ حفاری پیزومتر خورین

دفتر مطالعات پایه منابع آب

240-0.21 : 25

میرزا حسن

شرکت آب منطقه‌ای.....

(صفحة ٣ من ٣)

$$wt_2 = 44.19 \text{ m}$$

تاریخ تہیہ :

پیوست ۷) لاگ حفاری پیزومتر صدیق

۴۲۰

سنز (متر)	سنز زمین شناسی	نام پهنای سازند یا لایه ها	مقطع حفاری لوله گذاری	عوامل شیمیایی EC-CL-PH	عمق (متر)	سنز زمین شناسی	نام پهنای سازند یا لایه ها	مقطع حفاری لوله گذاری	عوامل شیمیایی EC-CL-PH
۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۱۳۳	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۷	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۱۴۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۱۴	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۱۴۷	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۲۱	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۱۵۴	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۲۸	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۱۶۱	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۳۵	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۱۶۸	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۴۲	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۱۷۵	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۴۹	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۱۸۲	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۵۶	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۱۸۹	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۶۳	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۱۹۶	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۷۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۲۰۳	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۷۷	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۲۱۰	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۸۴	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۲۱۷	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۹۱	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۲۲۴	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۹۸	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰	۲۳۱	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۱۰۵	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰		۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۱۱۲	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰		۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۱۱۹	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰		۰۰	۰۰	۰۰	۰۰
۱۲۶	۰۰	۰۰	۰۰	۰۰		۰۰	۰۰	۰۰	۰۰

مهر و امضاء مسئول

نام کتبی کننده:
 امضاء:
 صحت:

تاریخ تهیه: ۱۵/۹/۳۰

نام تهیه کننده:
 امضاء:
 صحت:

پیوست ۸) لاگ حفاری پیژومتر فولاد

شرکت آب منطقه‌ای سیستان

فرم حفاری

کد: ۴۲۰-۰۲۱

وزارت نیرو

شرکت مدیریت منابع آب ایران

معاونت مطالعات پایه و مدیریت حوضه های آبریز

مدیران

دفتر مطالعات پایه منابع آب

(صفحه ۳ از ۳ صفحه)

عمق (متر)	ستون زمین شناسی	نام پهن جرس سازند یا لایه ها	مقطع حفاری لوله گذاری	عوامل شیمیایی EC-CL-PH	عمق (متر)	ستون زمین شناسی	نام پهن جرس سازند یا لایه ها	مقطع حفاری لوله گذاری	عوامل شیمیایی EC-CL-PH
0		آبوفت کلاتر			100		۴٪ شن ریزه		
5		شن ۲٪ + رس سبک			105		بقیه رس سبک		
10		۸٪ رس سبک			110		۷۰٪ رس + ۳۰٪ شن ریزه		$E_c=9.18$ $PH=7.10$ $Cl=2.18$
20		۸٪ شن ریزه			115		۲٪ شن ریزه ریزه و ما		
25		متوسط شن ریزه + ۱۰٪ شن ریزه			120		۸۰٪ رس ریزه		$E_c=9.98$ $PH=7.10$ $Cl=2.17$
30		۱۰٪ رس سبک			125		۲٪ شن ریزه و ما		
35		۵۰٪ شن ریزه			130		بقیه رس سبک		
40		دانه ۵۰٪ + رس سبک			135		۸۰٪ رس ریزه		$E_c=9.91$ $PH=7.10$ $Cl=2.19$
45		رس سبک			141		۸۰٪ رس ریزه		
50		۸۰٪ رس + ۲۰٪ سبک و رس							
55									
60		۳۰٪ رس ریزه و سبک + ۴۰٪ شن ریزه							
65		۴۰٪ شن ریزه + ۳۰٪ رس							
70									
75									
80		۷۰٪ رس و سبک + ۳۰٪ شن ریزه							
85		۳۰٪ شن ریزه و متوسط							
90									
95									
97.5									

در حوضه سیستان کلاتر

SCN ≈ ۱:500

تاریخ تهیه: ۱۳۸۵/۹/۲۰

نام تهیه کننده: مهندس شورش
امضاء:

نام تهیه کننده: مهندس صالح
امضاء:

پیوست ۹) لاگ حفاری پیژومتر کلاتخوان

شرکت آب منطقه‌ای ...

فرم حفاری

کد: ۴۲۰-۰۲۱

ارث نیرو

شرکت مدیریت منابع آب ایران

ماونیت مطالعات پایه و مدیریت حوضه های آبریز

(صفحه ۳ از ۳ صفحه)

پروژه

نقشه مطالعات پایه منابع آب

عمق (متر)	سختی زمین شناسی	نام سنجش	مقطع حفاری	عوامل شیمیایی	عمق (متر)	سختی زمین شناسی	نام سنجش	مقطع حفاری	عوامل شیمیایی
(متر)	زمین شناسی	سازند یا لایه ها	نوع گذاری	EC-CL-PH	(متر)	زمین شناسی	سازند یا لایه ها	نوع گذاری	EC-CL-PH
0					133				
7					140				
14					147				
21					154				
28					161				
35					175				
42					182				
49					196				
56					203				
63					210				
70					217				
77					224				
84					231				
91					238				
98					245				
105									
112									
119									
126									

$Ec = 1898$
 $PH = 7.10$
 $Cp = 11$

$Ec = 1898$
 $PH = 7.10$
 $Cp = 1.72$

$Ec = 1944$
 $PH = 7.1$
 $Cp = 1.74$

مهندس ...

نام کنترل کننده: ...

تاریخ تهیه: ۱۵/۹/۸۰

نام تهیه کننده: ...

پیوست (۱۰) لاگ حفاری پیژومتر وسفه

[illegible]

نام گزین کنندہ :
امضاء

تاریخ تہیہ :

نام تهیه کنندہ :

پیوست ۱۱) لاگ حفاری پیزومتر شمال قادرآباد

دفتر مطالعات پایه منابع آب

فرم حفاری

کتاب : ۲۱-۰۰-۶۲۰

شرکت آب منطقه‌ای.....

وزیر استعاره

(صفحة ٣ از ٣ صفحه)

[illegible]

تاریخ تہیہ :

پیوست ۱۲) لاگ حفاری پیزومتر قهوه‌خانه دهملا

ت نیرو

٤٢٠-٠٢١ : دك

ست مدیریت منابع آب ایران

نت مطالعات پایه و مدیریت حوضه های آبریز

مطالعات پایه منابع آب

(صفحه ۳ از ۳ صفحه)

[illegible]

نام کنترل کننده :

تاریخ تهیه :

نام پیکر کننده :

پیوست ۱۳) لاگ حفاری پیزومتر کارگاه شن و ماسه

شرکت مدیریت منابع آب ایران

دفتر مطالعات پایه منابع آب

کد : ۰۲۱-۲۲۰

شرکت آب منطقه‌ای.....

(صفحه ۳ از ۳ صفحه)

عزیز و محترم دوست

عوامل شیمیایی EC-CL-PH	مقطع حفاری لوله گذاری	نام، سن، جنس سازند یا لایه ها	سختی زمین شناسی	عمق (متر)	عوامل شیمیایی EC-CL-PH	مقطع حفاری لوله گذاری	نام، سن، جنس سازند یا لایه ها	سختی زمین شناسی	عمق (متر)
									۰
							سطح آب		۰/۲ m
							کرک خاک		
							خاک رس		
							مستند چوب		
							سبز زیتونی		
							دانه سبز		
							سایه سبز		
							ناقص رنگ		
							دانه بندی		۲۸
							رس، بوم		
							چمن، سبزه		
							رس، سبز		
							دانه		
							دانه و کف		
							زردی		
							آذرین		
							رس، بوم		۵۵
							چمن، سبزه		
							رس، سبز		
							دانه		
							دانه		
							رس، بوم		۷۲
							چمن، سبزه		
							رس، سبز		
							دانه		
							دانه		
							رس، بوم		۸۶
							چمن، سبزه		
							رس، سبز		
							دانه		
							دانه		
							رس، بوم		
							چمن، سبزه		
							رس، سبز		
							دانه		
							دانه		
							رس، بوم		
							چمن، سبزه		
							رس، سبز		
							دانه		
							دانه		
							رس، بوم		
							چمن، سبزه		
							رس، سبز		
							دانه		
							دانه		
							رس، بوم		
							چمن، سبزه		
							رس، سبز		
							دانه		
							دانه		
							رس، بوم		
							چمن، سبزه		
							رس، سبز		
							دانه		
							دانه		
							رس، بوم		
							چمن، سبزه		
							رس، سبز		
							دانه		
							دانه		
							رس، بوم		

نام ~~کسر~~ کنندہ :

تاریخ تہیہ :

نام تهیه کننده

پیوست ۱۴) لاگ حفاری پیزومتر غرب ورچم کوهی

شرکت آب منطقه‌ای.....

فرم حفاری
کد : ۰۲۱-۴۲۰

وزارت نیرو

شرکت مدیریت منابع آب ایران

معاونت مطالعات پایه و مدیریت حوزه های آبریز

دفتر مطالعات پایه منابع آب

(صفحه ۳ از ۳ صفحه)

پیزومتر شرق ورچم

شماره شیمیایی EC-CL-PH	مقطع حفاری لوله گذاری	نام، سن، جنس سازند یا لایه ها	سختی زمین شناسی	عمق (متر)	شماره شیمیایی EC-CL-PH	مقطع حفاری لوله گذاری	نام، سن، جنس سازند یا لایه ها	سختی زمین شناسی	عمق (متر)
							خاکستری رنگ سفید بافت نرم قطعات نازک درشت		۵
							رنگ سفید بافت نرم قطعات نازک درشت		۲۱
							رنگ سفید بافت نرم قطعات نازک درشت		۲۴
							رنگ سفید بافت نرم قطعات نازک درشت		۵۷
							رنگ سفید بافت نرم قطعات نازک درشت		۸۷
							رنگ سفید بافت نرم قطعات نازک درشت		۱۱۰

$wt_1 = 92m$
 $wt_2 = 92,70m$

$92-99m = Ec = 778$
 $99-105m = Ec = 448$
 $105-110m = Ec = 788$
 $TDS = 420$
 $PH = 8,1$
 $TDS = 450$
 $PH = 8$
 $TDS = 440$
 $PH = 8,1$

فصلنامه
امضاء

تاریخ تهیه :

فصلنامه
امضاء

پیوست (۱۵) لاگ حفاری پیزومتر شرق ورچم کوهی

فرم حقاری

ک : ۲۱-۰۲۰۶

شرکت آب منطقه‌ای.....

(صفحہ ۳ از ۳ صفحہ)

۱۵۱

[illegible]

تاریخ تہیہ :

نام تهیه کنند :

پیوست ۱۶) لاگ حفاری پیزومتر اداره

منابع

- ۱- احمدی ع. آبرومند م. (۱۳۸۸)، " بررسی پتانسیل آلودگی دشت خاش، شرق ایران، با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی "، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۵، شماره ۱، ۱-۱۱.
- ۲- اداره آب منطقه‌ای شهرستان شاهرود، (۱۳۹۱)، آرشیو آمار آب منطقه‌ای شهرستان شاهرود.
- ۳- اصغری مقدم ا.، فینجانی ا. و ندیری ع. (۱۳۸۸)، " ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی دشت‌های بازرگان و پلدشت با استفاده از مدل درستیک"، مجله محیط‌شناسی، سال سی و پنجم، شماره ۵۲، ص ۵۵-۶۴.
- ۴- افروزی م، محمدزاده ح. (۱۳۹۱)، " ارزیابی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت فارس- جونقان نسبت به آلودگی با استفاده از شاخص DRASTIC در محیط GIS"، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم.
- ۵- امیراحمدی ا.، آب‌باریکی ز. ابراهیمی م. (۱۳۹۰)، " ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت داورزن به روش دراستیک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)"، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۶، ص ۵۱-۶۶.
- ۶- باقرزاده س. کلانتری ن. مرادزاده م. رحیمی م ح. دانشیان ح. (۱۳۸۹)، " استفاده از GIS برای تحلیل حساسیت تک پارامتری روش‌های DRASTIC و SINTACS جهت ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی دشت بهبهان"، همایش ملی ژئوماتیک. اردیبهشت ۱۳۸۹.
- ۷- جمشیدی خ. افشاریان‌زاده ع. صهبانی م. ده‌حقی ف. (۱۳۶۹)، " نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ گرگان". سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.

- ۸- چیت‌سازان م. و اختری ی. (۱۳۸۵)، "پتانسیل‌یابی آلودگی آب‌های زیرزمینی در دشت‌های زویرچری و خران با استفاده از مدل درستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی"، **مجله آب و فاضلاب**، شماره ۵۹.
- ۹- حاجی‌حسینی آ. قاسمی آ. (۱۳۸۲)، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بسطام"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.
- ۱۰- خدائی ک. شهنساری ع ا. و اعتباری ب. (۱۳۸۵)، "پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوبین به دو روش DRASTIC و GODS"، **مجله زمین‌شناسی ایران**، شماره ۴، ص ۷۳-۸۷.
- ۱۱- خسروی خ. حبیب‌نژاد م. سلیمانی ک. بابایی خ. (۱۳۹۱)، "ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت دهگلان با استفاده از مدل درستیک در GIS"، **دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری**، پژوهشکده مدیریت حوزه آبخیز.
- ۱۲- رزاق‌منش م. محمدی ک. (۱۳۸۳)، "تخمین آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به روش DRASTIC"، **دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک**، دانشگاه شیراز.
- ۱۳- رنجبر ع. (۱۳۸۳)، "ارزیابی استعداد بالقوه آب زیرزمینی دشت شیراز با استفاده از مدل DRASTIC در محیط GIS"، **پایان‌نامه کارشناسی ارشد**، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان.
- ۱۴- سازمان هواشناسی شهرستان شاهرود، (۱۳۹۱)، **آرشیو گزارشات آماری سالانه ایستگاه‌های هواشناسی**.
- ۱۵- شهرکی ف. آغاسی ع. شهرکی ف. و زارعی ع. (۱۳۸۸)، "ارزیابی پتانسیل و آنالیز حساسیت آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت هشتگرد به روش درستیک"، **مجله آب و فاضلاب**، شماره ۲.

- ۱۶- عزیزی ف. محمدزاده ح. (۱۳۹۱)، "پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و ارزیابی تغییرات مکانی کیفیت آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران با استفاده از مدل DRASTIC و شاخص کیفی GWQI"، مجله‌ی مهندسی منابع آب، سال ۵.
- ۱۷- علیزاده ا. (۱۳۹۰)، "اصول هیدرولوژی کاربردی" انتشارات استان قدس رضوی، چاپ سی و یکم، ۲۷۰ ص.
- ۱۸- کرمی غ ح. (۱۳۹۱)، "شناسایی منابع آلاینده دشت شاهرود به منظور تدوین برنامه پایش"، اداره کل حفاظت محیط زیست استان سمنان.
- ۱۹- کلاتگی م. جعفری ه و باقری ر. (۱۳۹۳)، "ارزیابی آلودگی یون نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت شاهرود"، هفتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.
- ۲۰- "گزارش وضعیت منابع آبی استان سمنان"، (۱۳۸۳)، شرکت فن‌آوران آب سازه.
- ۲۱- "مطالعات ژئوالکتریک دشت شاهرود"، (۱۳۹۰)، شرکت سهامی آب منطقه‌ای سمنان.
- ۲۲- ملکی ر. (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "تهیه‌ی مدل ریاضی دشت شاهرود برای بررسی اثر اجرای طرح فاضلاب بر سطح آب زیرزمینی"، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۲۳- وزیری ح. (۱۳۸۰)، "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.
- ۲۴- ولی‌زاده م. (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مدل‌سازی انتقال آلاینده نیترات در آب‌های زیرزمینی دشت شاهرود"، دانشگاه شاهرود.

- 1- Al-Adamat R. A. N., Foster I. D. L. and Baban S. M. J. (2003). "Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC". **Applied Geography**, 23, pp 303-324.
- 2- Aller L., Bennet T., Leher J. H., Petty R. J. and Hackett G. (1987). "DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings".. EPA 600/2-87-035, 622. U. S. **Environmental Protection Agency**.
- 3- Almasri M. N. (2008). "Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza coastal aquifer, Palestine". **Journal of Environment Management**, 88, pp 577-593.
- 4- Anonymous p. (1993). "A methodology and decision support system for evaluation the leaching potential of pesticides". **Environmental Protection Agency**.
- 5- Babiker I. S., Mohamed M. A. A., Tetsuya H. and Kikuo K. (2004). "A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan" *Science of the Total Environment*, 345, pp 127-140.
- 6- Barber C., Bates L. E., Barron R. and Allison H. (1993). "Assessment of the relative vulnerability of groundwater to pollution: a review and background paper for the conference workshop on vulnerability assessment". **Journal of Geology & Geophysic**. 14(2/3), pp 147-157.
- 7- Bouwer H. (1978). "**Groundwater Hydrology**". McGraw Hill, Inc.
- 8- Breaban I G. Paiu M. (2012). "Application of DRASTIC model and GIS for evaluation of aquifer vulnerability", *Water Resources and Wetlands*, pp 588-593.
- 9- Carsel R. J., Mulkey L. A., Lober M. N. and Baskin L. B. (1985). "The pesticide root zone model: a procedure for evaluating pesticide leaching threats to groundwater". *Ecological Modeling*, 30, pp 49-69.
- 10- Evans B. M. and Myers W. L. (1990). "A GIS based approach to evaluating regional groundwater pollution potential with DRASTIC". **Journal of Soil and Water Conservation**, 45, pp 242-245.

- 11- Foster S.S. (1987). Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy: Proceedings of International Conference, vulnerability of soil and groundwater to pollutants, Noodwijk, 38, pp 69-86.
- 12- Frind E. O., Molson J. W. and Rudolph D. L. (2006). Well vulnerability: "A quantitative approach for source water protection". **Groundwater**, 44(5), pp 732-742.
- 13- Fritch T. G., Mcknight C. L., Yelderman J. C. and Arnold J. G. (2000). "An aquifer vulnerability assessment of the Paluxy aquifer, Cenral Texas, USA, using GIS and a modified DRASTIC approach". **Journal of Environment Management**, 25(3), pp 337-345.
- 14- Gogu R. C. and Dassargues A. (2000). "Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods". **Environmental Geology**, 39(6), pp 549-559.
- 15- Hasiniaina F., Zhou J. and Guoyi L. (2010). "Regional assessment of groundwater vulnerability in tamtsag basin, Mongolia using DRASTIC model". **Journal of American Science**, 6(11), pp 65-78.
- 16- Helsel D. R. and Hirsch R. M. (1992). "Statistical methods in water resources". Elsevier Publishers. New York, Wiley.
- 17- Leonard R. A., Knisel W. G. and Stil D. A. (1987). GLEAMS: "Groundwater Loading Effects of Agriculture Management Systems", st. joseph, Michigan, 30(6), pp 1403-1416.
- 18- Lodwick W. A., Monson W. and Svoboda L. (1990). "Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical information systems: suitability analysis". **Journal Geographic Information of Systems**. 4(4), pp 413– 28.
- 19- McLay C. D. A., Dragten R., Sparling G. and Selvarajah N. (2001). "Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches". **Environmental Pollution**, 115, pp 191–204.
- 20- Merchant J. W. (1994). "GIS-based groundwater pollution hazard assessment: A critical review of the DRASTIC model". **Photogramm Engng & Remote Sensing**, 60(9), pp 1117–1127.

- 21- Napolitano P. and Fabbri A. G. (1996). "Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS". *HydroGIS 96: application of geographical information systems in hydrology and water resources management. Proceedings of Vienna Conference. IAHS Pub, (235), pp 559–566.*
- 22- U. S. National Research Council. (1993). "Committee on Techniques for Assessing Ground Water Vulnerability". **National Academy Press Washington, D.C.** p. 210.
- 23- Ott N., Kollersberger T. and Tassara A. (2006). "GIS analyses and favorability mapping of optimized satellite data in northern Chile to improve exploration for copper mineral deposits", *Geosphere*, 2, pp 236-252.
- 24- Rahman A. (2008). "A GIS Based DRASTIC model for Assessing Groundwater Vulnerability in Shallow Aquifer in Aligarh, India". **Applied Geography**, 28, pp 32-35.
- 25- Rosen L. (1994). "A study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions". **Ground Water**, 32(2), pp 278-285.
- 26- Secunda, S. Collin M. Melloul A. J. (1998). "Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel's Sharon region". **Journal of Environmental Management**, 54, pp 39 – 57.
- 27- Sener E. and Davraz A. (2012). "Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method". **Hydrogeology Journal**. 21, pp 701-714.
- 28- Shahid S. (2000). "A study of groundwater pollution vulnerability using DRASTIC-GIS, west Bengal, India". **Journal of Environmental Hydrology**, 8, pp 1-9.
- 29- Sinan M. and Razack M. (2009). "An extension to the DRASTIC model to assess groundwater vulnerability to pollution: application to the Haouz aquifer of Marrakech (Morocco)". **Environmental Geology**, 57, pp 349-363.
- 30- Sotornikova R. and Vrba J. (1987). "Some remarks on the concept of vulnerability maps. In: vulnerability of soil and groundwater to pollutants" (ed. By w. Van Duijvenbooden & H. G. Van Waegeningh), *Proc. Int. Conf., March 30- April 3. Noordwijk aan zee, The Netherlands, Committee on Hydr. Research*, 38.
- 31- Stigter T.Y., Ribeiro L. and Carvalho Dill A. M. M. (2006). "Evaluation of an

intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination level in two agriculture regions in the south of Portugal”. **Hydrogeology Journal**, 14, pp 79-99.

32- Todd D. K. and Mays L.W. (2005) “**Groundwater Hydrology**”, Third Edition, John Wiley and sons, New York, 625 p.

33- U. S. Environmental Protection Agency. (1990). “**Ground water and Contamination**”, vol . I . EPA/625/6-90/016A. Sept.

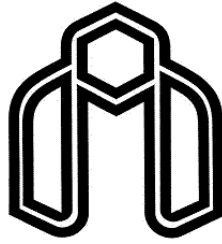
34- Vrba J. and Zoporozec A. (1994). “Guide book on mapping groundwater vulnerability”. **International Association of Hydrogeology**, vol. 16, Hannover Heise, 131 p.

35- Yin L. Zhang E. Wang X. Wenninger J. Dong J. Guo L and Huang J. (2012). “A GIS-based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in the Ordos Plateau, China”, **Environ Earth Sci** , 69, pp 171- 185.

Abstract

Shahrood plain with an area of about 540 km² is located in Semnan province. According to importance of groundwater resources in this plain which are used for drinking, agriculture and industry the study of the aquifer vulnerability and identify areas susceptible to contamination is necessary for development and management of valuable water resource. In this research vulnerability of Shahrood plain aquifer was evaluated using DRASTIC. Data layer including depth to water table (D), recharge (R), aquifer media (A), surface soil texture (S), topography (T), impact of unsaturated zone (I) and hydraulic conductivity (C), was prepared in GIS and weighted. The layers were overlaid and DRASTIC index for the aquifer zones of Shahrood plain was calculated. It was estimated at 44 to 169. According to the aquifer vulnerability zoning map, urban areas and southern parts of the region are in high vulnerability class, and other areas are in moderate to low vulnerability classes. The fine texture of surface soils in agricultural areas is caused the low vulnerability of this region. Nitrate concentration in different parts of the shahrood aquifer with was compared the vulnerability zoning map. The results showed that nitrate concentrations is high in the vulnerable zones. In order to perform sensitivity analysis of the aquifer vulnerability maps with respect to different parameters, the correlation coefficients were investigated. Sensitivity analysis using methods of removing parameter and single parameter showed high sensitivity of vulnerability index to aquifer media and impact of vadoz zone layers. It proves more importance of these two layers in the aquifer vulnerability zoning.

Key words: Vulnerability, DRASTIC, Shahrood Plain, Sensitivity Analysis



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

**Groundwater Vulnerability Assessment of Shahrood Aquifer Using
DRASTIC Model**

Shadi Abolhasani Almasi

Supervisor:

Dr. Hadi Jafari

February 2015