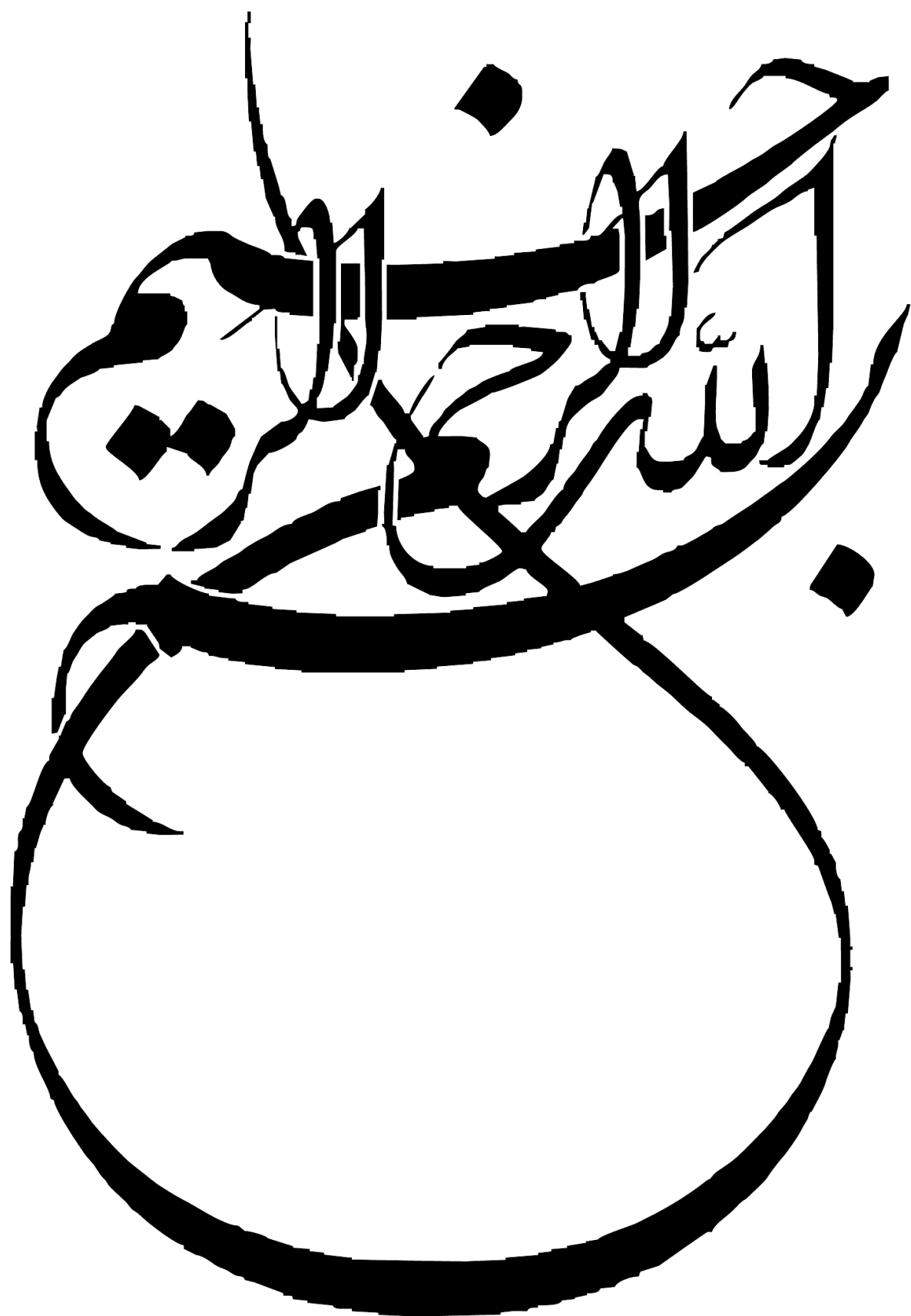






دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی

ارزیابی آسیب پذیری منابع آب زیرزمینی دشت بسطام با استفاده از

مدل DRASTIC

نگارنده:

الهه محمدزاده

اساتید راهنما :

دکتر افشین قشلاقی

دکتر هادی جعفری

دی ۱۳۹۵

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می نمایم به:

- محضر از زشمندیدر و مادر عزیزم به خاطر همه ی تلاش های محبت آمیزی که در دوران مختلف زندگی ام انجام داده اند و
بامهربانی چگونه زیستن را به من آموخته اند.

- به خواهران مهربانم زهره و مریم که در تمام طول تحصیل همراه و یارم من بوده اند.

- به استادان فرزانه و فرهیخته ای که در راه کسب علم و معرفت مرایاری نمودند.

- به آنان که در راه کسب دانش را بنمایم بودند.

- به آنان که نفس خیرشان و دعای روح پرورشان بدرقه ی راهم بود.

- الهام به من بکک کن تا بتوانم ادای دین کنم و به خواسته ی آنان جامه ی عمل بپوشانم.

- پروردگار احسن حاقبت، سلامت و سعادت را برای آنان مقدر نما.

تقدیر و تشکر

اکنون که به یاری پروردگاری همتا، و راهنمایی ارزشمند استادان کرامی محارث این مجموعه به پایان رسیده است، بر خود لازم می دانم از حمایت و الطاف بی دریغ تمامی عزیزانی که در این راه به نحوی اینجانب را یاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم.

تحت از اساتید ارجمند آقای دکتر افشین قشلاقی و آقای دکتر مهدی جعفری که علاوه بر تمامی مراحل تحصیل، به عنوان اساتید راهنما از پیچ کوشش و راهنمایی جهت بهتر شدن این پژوهش دریغ نورزیدند پاس گزاری می کنم.

از ریاست محترم دانشکده علوم زمین، جناب آقای دکتر امید بیخاطر مساعدت ایشان کمال تشکر را دارم.

از اساتید گروه آبشناسی و زمین شناسی زیست محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود آقای دکتر غلام حسین کرمی، آقای دکتر رحیم باقری و خانم دکتر کیستی فرقانی بخاطر راهنمایی های ارزنده اشان در طول تحصیل، نهایت پاس و قدردانی دارم.

از خانواده به ویژه پدر و مادر عزیزم که در طی مراحل مختلف تحصیل و انجام این طرح همواره یاور و مشوق اینجانب بوده اند و سختی ها فراوانی را تحمل نموده اند نهایت تشکر و پاس گزاری دارم.

از تمامی دوستان و عزیزانی که به اشکال مختلف در ترم رساندن این پایان نامه مرا یاری داده اند کمال تشکر و پاس گزاری را می نمایم.

اللهه محمدزاده

دی ماه ۹۵

تعهد نامه

اینجانب الهه محمدزاده دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته‌ی زمین‌شناسی زیست محیطی دانشکده‌ی علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده‌ی پایان‌نامه با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی دشت بسطام با استفاده از مدل DRASTIC تحت راهنمایی آقای دکتر افشین قشلاقی، آقای دکتر هادی جعفری متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمامی افرادی که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند، در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در تمام مراحل انجام پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق اسلامی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

دشت بسطام با وسعت حدود ۴۸۴ کیلومتر مربع در استان سمنان قرار دارد. منابع آب زیرزمینی در این دشت از اهمیت زیادی برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت برخوردارند. به منظور مدیریت بهینه آب، مطالعه آسیب‌پذیری و شناسایی مناطق مستعد آلودگی آبخوان امری ضروری است. در این تحقیق از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS برای پردازش و تجزیه و تحلیل کیفی آبخوان استفاده شد. برای این مدل از پارامترهای موثر در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان شامل عمق سطح ایستابی (D)، تغذیه خالص (R)، جنس آبخوان (A)، نوع خاک (S)، شیب (T)، مواد تشکیل دهنده منطقه غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) مورد استفاده شد که به صورت هفت لایه در نرم افزار Arc GIS تهیه و با وزن‌دهی، رتبه‌بندی، هم‌پوشانی و تلفیق آنها نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت بسطام و نیز شاخص دراستیک بدست آمد. شاخص دراستیک برای دشت بسطام بین ۴۰ تا ۱۶۳ برآورد گردید. با توجه به نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان بسطام ۱۷/۵۶ درصد آسیب‌پذیری قابل اغماض، ۱۴/۴۰ درصد آسیب‌پذیری کم، ۳۴/۴۰ درصد آسیب‌پذیری متوسط، ۲۹/۶۰ درصد آسیب‌پذیری زیاد و ۳/۲ درصد از منطقه نیز دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد است. با توجه به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان، بخش‌های مرکزی، غرب و شمال دشت دارای آسیب‌پذیری زیاد تا خیلی زیاد است و سایر مناطق آسیب‌پذیری متوسط تا کم را نشان می‌دهند. آسیب‌پذیری بالا در این مناطق به علت شیب کم، عمق کم سطح آب زیرزمینی و بافت دانه درشت در محیط اشباع، محیط غیراشباع و محیط خاک است. جهت صحت‌سنجی مدل دراستیک غلظت نیتрат در آب زیرزمینی دشت بسطام اندازه‌گیری شد. غلظت نیترات از ۹/۶ تا ۸۰/۶ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. افزایش غلظت نیترات در مرکز و جنوب دشت به علت کشاورزی گسترده و استفاده از کودهای نیتراته می‌باشد. با انطباق نقشه تغییرات غلظت یون نیترات بر روی نقشه نهایی شاخص آسیب‌پذیری دراستیک مشخص شد، کلیه نقاطی که دارای نیترات بالا هستند، در محدوده آسیب‌پذیری متوسط تا خیلی زیاد قرار می‌گیرند، که این دقت و صحت مدل را تایید می‌کند.

کلمات کلیدی: آسیب‌پذیری، دراستیک، آبخوان دشت بسطام، آنالیز نیترات

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- ۱- محمدزاده ا، جعفری ه، قشلاقی ا، (۱۳۹۵)، ارزیابی آسیب پذیری آبخوان بسطام با استفاده از روش دراستیک در محیط GIS، بیستمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تهران
- ۲- محمدزاده ا، قشلاقی ا، جعفری ه، (۱۳۹۵)، ارزیابی آلودگی نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام، بیستمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تهران

فهرست مطالب

عنوان

چکیده.....	و.....
فصل اول : کلیات.....	۱.....
۱-۱- بیان مسأله و ضرورت انجام تحقیق.....	۲.....
۲-۱- اهداف تحقیق.....	۲.....
۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....	۳.....
۴-۱- هواشناسی منطقه.....	۴.....
۵-۱- زمین شناسی عمومی دشت بسطام.....	۶.....
۶-۱- چینه شناسی دشت بسطام.....	۶.....
۱-۶-۱- لشکرک (osh,sv,s).....	۶.....
۲-۶-۱- سازند خوش ییلاق (Dkh,Dkh2).....	۶.....
۳-۶-۱- سازند دورود (p,pd).....	۷.....
۴-۶-۱- سازندالیکا (Re).....	۷.....
۵-۶-۱- سازند لار (J1).....	۷.....
۶-۶-۱- سازند زیارت (EZ).....	۷.....
۷-۶-۱- سازند کرج (V,Ekt,Ek,EV).....	۸.....
۸-۶-۱- واحد میوسن (mgm.Ngc,Ngm.s).....	۸.....
۹-۶-۱- رسوبات کواترنری (عهد حاضر)(Qt1,Qt2.Qal,Qplc).....	۸.....
۷-۱- ژئومورفولوژی دشت بسطام.....	۱۰.....
۸-۱- هیدرولوژی.....	۱۰.....
۹-۱- هیدروژئولوژی.....	۱۱.....
۱۰-۱- بررسی تغییرات کیفی و کمی آب زیرزمینی دشت بسطام.....	۱۱.....
فصل دوم : مروری بر مطالعات پیشین.....	۱۳.....
۱-۲- مقدمه.....	۱۴.....
۲-۲- آسیب پذیری آبخوان.....	۱۴.....
۱-۲-۲- مفهوم آسیب پذیری.....	۱۴.....
۱-۱-۲-۲- آسیب پذیری ذاتی (Intrinsic vulnerability).....	۱۵.....

۱۵	۲-۱-۲-۲ آسیب‌پذیری ویژه (Specific vulnerability):
۱۵	۳-۲ روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری
۱۶	۱-۳-۲ روش همپوشانی و شاخص (Overlay and Index Methods)
۱۶	۲-۳-۲ روش‌های پردازشی (Processing Method)
۱۷	۳-۳-۲ روش آماری (Statistical Method)
۱۷	۴-۲ مدل‌های ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان
۱۸	۱-۴-۲ مدل DRASTIC
۱۸	۲-۴-۲ مدل GODS
۱۹	۳-۴-۲ مدل (Aquifer Vulnerability Index) AVI
۱۹	۴-۴-۲ مدل SINTACS
۲۰	۵-۴-۲ مدل (Susceptibility Index) SI
۲۰	۵-۲ پیشینه پژوهش
۲۰	۱-۵-۲ مطالعات صورت گرفته در ایران:
۲۳	۲-۵-۲ پیشینه پژوهش در جهان :
۲۷	فصل سوم : روش انجام کار
۲۸	۱-۳ منابع داده‌ها
۲۸	۲-۳ سیستم اطلاعات جغرافیایی
۲۹	۳-۳ مدل دراستیک
۳۱	۴-۳ وزن‌ها (weights) رتبه‌ها (rating) بازه‌ها (ranges)
۳۲	۵-۳ نمونه‌برداری از خاک دشت بسطام
۳۴	۶-۳ نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌های آب زیرزمینی
۳۷	فصل چهارم : ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان بسطام
۳۸	۱-۴ مقدمه
۳۸	۲-۴ لایه‌های اطلاعاتی
۳۸	۱-۲-۴ عمق سطح ایستابی (Depth to Water table)
۴۱	۲-۲-۴ تغذیه خالص (Recharge)
۵۰	۳-۲-۴ محیط آبخوان (Aquifer Media)
۵۲	۴-۲-۴ محیط خاک (Soil)
۵۳	۵-۲-۴ توپوگرافی (Topography)

۵۳.....	۶-۲-۴- محیط غیراشباع (Impact of Vadoze Zone)
۵۵.....	۷-۲-۴- هدایت هیدرولیکی (Hydraulic Conductivity)
۵۷.....	۳-۴- رتبه‌بندی و وزن‌دهی پارامترهای مدل دراستیک
۵۸.....	۱-۳-۴- رتبه‌بندی عمق آب زیرزمینی
۵۹.....	۲-۳-۴- رتبه‌بندی تغذیه خالص
۶۰.....	۳-۳-۴- رتبه‌بندی محیط آبخوان
۶۱.....	۴-۳-۴- رتبه‌بندی محیط خاک
۶۲.....	۵-۳-۴- رتبه‌بندی توپوگرافی
۶۳.....	۶-۳-۴- رتبه‌بندی محیط غیراشباع
۶۴.....	۷-۳-۴- رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی
۶۵.....	۴-۴- شاخص آسیب‌پذیری دراستیک و نقشه آسیب‌پذیری آبخوان بسطام
۶۸.....	۵-۴- صحت‌سنجی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان بسطام
۷۱.....	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۷۲.....	۱-۵- مقدمه
۷۲.....	۲-۵- نتایج
۷۴.....	۳-۵- پیشنهادها
۷۶.....	منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه..... ۳
- شکل ۲-۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهرود، بسطام، خوش ییلاق، علی آباد) .. ۹
- شکل ۱-۳- مراحل مختلف روش مدل‌سازی دراستیک بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)..... ۲۹
- شکل ۲-۳- تصاویری از بافت سطحی خاک دشت بسطام..... ۳۲
- شکل ۳-۳- نمونه‌برداری از خاک سطحی دشت بسطام..... ۳۳
- شکل ۴-۳- موقعیت نقاط نمونه‌برداری از خاک دشت بسطام..... ۳۳
- شکل ۵-۳- تصاویری از چاه‌های بهره‌برداری در دشت بسطام..... ۳۵
- شکل ۶-۳- نمونه‌برداری از چاه‌های بهره‌برداری آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۳۵
- شکل ۷-۳- موقعیت نقاط نمونه‌برداری از آب زیرزمینی در دشت بسطام..... ۳۶
- شکل ۱-۴- موقعیت پی‌زومترهای دشت بسطام به همراه عمق آب زیرزمینی در آنها بر حسب متر (شهریور ماه ۱۳۹۱) ۴۰
- شکل ۲-۴- نقشه هم‌ارزش عمق آب زیرزمینی دشت بسطام (شهریور ماه سال ۱۳۹۱)..... ۴۰
- شکل ۳-۴- نمودار بارش و ارتفاع منطقه مورد مطالعه..... ۴۲
- شکل ۴-۴- نقشه هم‌بارش دشت بسطام..... ۴۳
- شکل ۵-۴- مثلث بافت خاک بر اساس استاندارد دیپارتمان کشاورزی آمریکا (USDA)..... ۴۵
- شکل ۶-۴- نقشه نفوذپذیری خاک دشت بسطام..... ۴۶
- شکل ۷-۴- نقشه شیب دشت بسطام..... ۴۷
- شکل ۸-۴- نقشه رتبه‌بندی شیب در دشت بسطام..... ۴۸
- شکل ۹-۴- نقشه رتبه‌بندی نفوذپذیری خاک دشت بسطام..... ۴۹
- شکل ۱۰-۴- نقشه نهایی هم‌ارزش تغذیه خالص دشت بسطام..... ۵۰
- شکل ۱۱-۴- نقشه موقعیت چاه‌های اکتشافی در دشت بسطام و بافت غالب رسوبات در محیط اشباع آبخوان..... ۵۱
- شکل ۱۲-۴- نقشه هم‌ارزش محیط آبخوان در دشت بسطام..... ۵۱
- شکل ۱۳-۴- نقشه هم‌ارزش بافت خاک سطحی در دشت بسطام..... ۵۲
- شکل ۱۴-۴- نقشه موقعیت چاه‌های اکتشافی در دشت بسطام و بافت غالب رسوبات در محیط غیر اشباع آبخوان... ۵۴
- شکل ۱۵-۴- نقشه هم‌ارزش محیط غیر اشباع آبخوان در دشت بسطام..... ۵۴
- شکل ۱۶-۴- نقشه هم‌ارزش هدایت هیدرولیکی دشت بسطام..... ۵۷
- شکل ۱۷-۴- نقشه رتبه‌بندی عمق آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۵۹
- شکل ۱۸-۴- نقشه رتبه‌بندی تغذیه خالص در دشت بسطام..... ۶۰
- شکل ۱۹-۴- نقشه رتبه‌بندی محیط آبخوان دشت بسطام..... ۶۱
- شکل ۲۰-۴- نقشه رتبه‌بندی بافت خاک سطحی دشت بسطام..... ۶۲
- شکل ۲۱-۴- نقشه رتبه‌بندی شیب توپوگرافی در دشت بسطام..... ۶۳
- شکل ۲۲-۴- نقشه رتبه‌بندی محیط غیر اشباع دشت بسطام..... ۶۴

- شکل ۴-۲۳ - نقشه رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی دشت بسطام..... ۶۵
- شکل ۴-۲۴ - نقشه شاخص دراستیک دشت بسطام..... ۶۶
- شکل ۴-۲۵ - نقشه نهایی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت بسطام..... ۶۷
- شکل ۴-۲۶ - نقشه توزیع غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام..... ۷۰
- شکل ۴-۲۷ - غلظت نیترات در دشت بسطام و مطابقت آن با نقشه شاخص آسیب‌پذیری به وسیله مدل دراستیک..... ۷۰

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱ - طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن.....	۴
جدول ۱-۲ - آمار ۲۴ ساله ایستگاه سینوپتیک دشت بسطام.....	۵
جدول ۱-۳ - وزن‌های اختصاص یافته به پارامترهای مدل دراستیک.....	۳۲
جدول ۱-۴ - مشخصات پیرومترهای حفر شده در دشت بسطام.....	۳۹
جدول ۲-۴ - موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی، ارتفاع و میانگین بارش اندازه‌گیری شده در آنها.....	۴۱
جدول ۳-۴ - درصد ذرات تشکیل‌دهنده و بافت خاک نمونه‌های برداشت شده از محدوده دشت بسطام.....	۴۴
جدول ۴-۴ - رتبه‌بندی شیب، نفوذپذیری خاک، بارش طبق روش پیسکوپو.....	۴۷
جدول ۵-۴ - مقادیر قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت بسطام.....	۵۶
جدول ۶-۴ - رتبه‌بندی تغذیه خالص طبق روش پیسکوپو.....	۵۷
جدول ۷-۴ - رتبه‌بندی عمق آب زیرزمینی، شیب، محیط اشباع، محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیکی.....	۵۸
جدول ۸-۴ - رتبه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری به روش دراستیک.....	۶۷
جدول ۹-۴ - نتایج آنالیز کیفی منابع آب زیرزمینی دشت بسطام.....	۶۹

فصل اول:

کلیات

۱-۱- بیان مسأله و ضرورت انجام تحقیق

آب‌های زیرزمینی به دلیل سهولت در بهره‌برداری و همچنین به دلیل تأمین آب بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت از اهمیت زیادی برخوردارند. رشد جمعیت، همراه با استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی و شرب و تخلیه انواع پساب‌های صنعتی و فاضلاب شهری به داخل آبخوان‌ها باعث تغییرات قابل ملاحظه‌ای در کیفیت آب زیرزمینی شده است. تعیین حریم کیفی آبخوان برای تصمیم‌گیری مدیریتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای این منظور باید نقشه پهنه‌بندی آسیب-پذیری ذاتی آبخوان را به دست آورد و سپس بر اساس نقشه کاربری اراضی منطقه با شناسایی آلاینده یا آلاینده‌هایی که موجب آلودگی آبخوان می‌شوند، نقشه حریم کیفی آبخوان را تهیه کرد. مدل دراستیک به دلیل سهولت اجرا و به کارگیری چندین پارامتر هیدروژئولوژیک یکی از پرکاربردترین مدل در تعیین میزان خطر آلودگی می‌باشد. جمعیت شهر بسطام در حال حاضر ۷۳۸۲ نفر و جمعیت روستایی دشت بسطام ۲۲۷۷۰ نفر اعلام شده است که در سال ۱۴۰۰ جمعیت شهر بسطام ۱۰۰۳۹ نفر و جمعیت روستاها حدود ۲۹۶۰۱ نفر برآورد شده است. به ازای جمعیت ۳۰۱۵۲ نفر روستاها و شهر بسطام میزان آب مصرفی ۲/۸۴ میلیون متر مکعب در سال بوده که در سال ۱۴۰۰ به ازای جمعیت شهر و روستا حدود ۳۹۶۴۰ نفر ۳/۷۲ میلیون متر مکعب برآورد شده است (خرسندی، ۱۳۸۹).

۱-۲- اهداف تحقیق

الف) بررسی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت بسطام با استفاده از مدل دراستیک (Drastic)

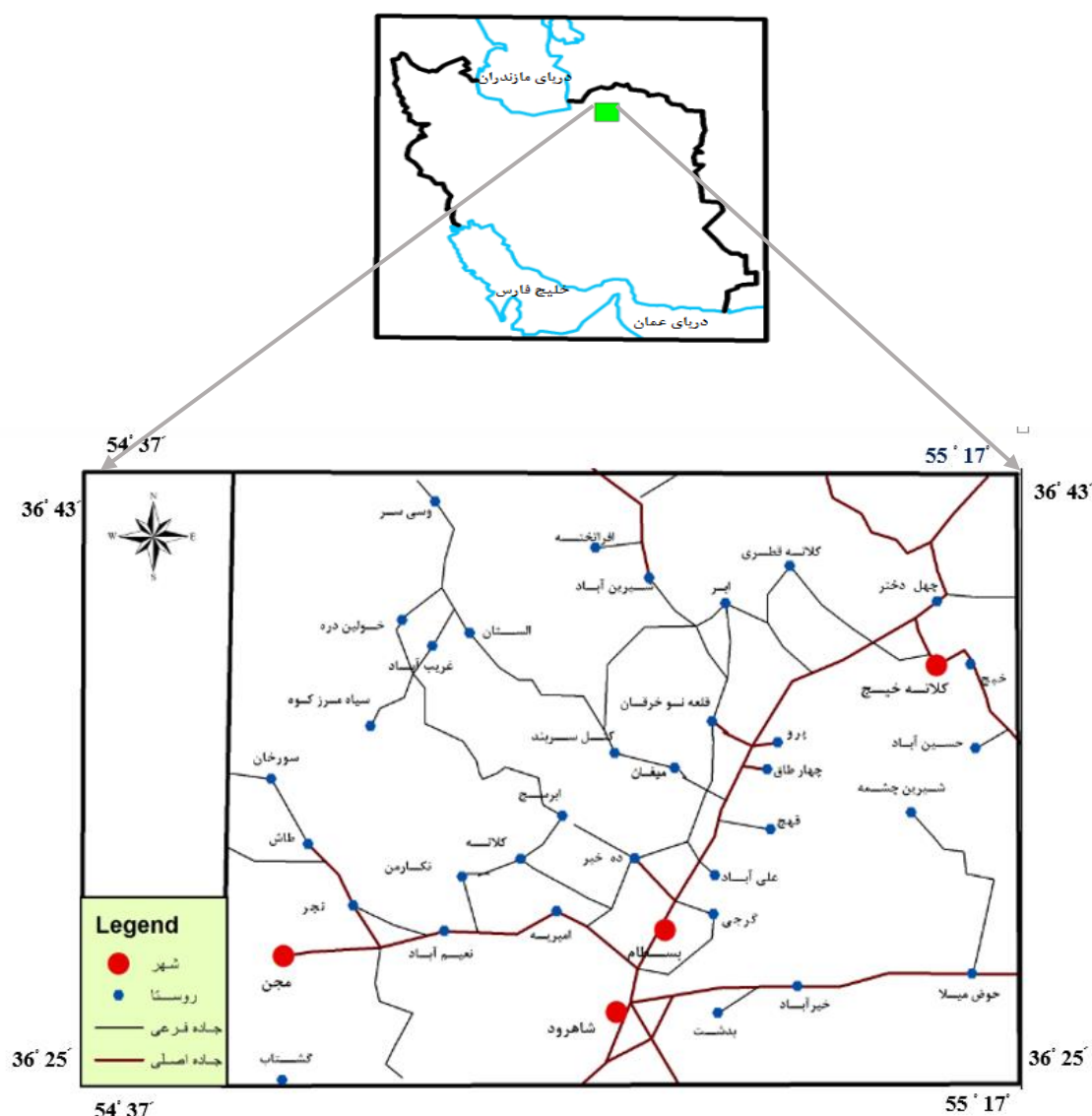
ب) بررسی نقش و اهمیت پارامترهای موثر در آسیب‌پذیری آبخوان دشت بسطام

ج) پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان بسطام و برآورد شاخص آسیب‌پذیری

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

۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه بسطام دارای وسعتی حدود ۱۳۳۰ کیلومتر مربع است که ۴۸۴ کیلومتر آن شامل دشت و مابقی آن معادل ۸۴۶ کیلومتر مربع ارتفاعات است. این منطقه بین مختصات جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۵ دقیقه و تا ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه و تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی و در بخش شمالی شهرستان شاهرود واقع شده است (شکل ۱-۱). در دشت بسطام ۲ شهر و ۳۲ روستا وجود دارد که از شمال به شهرستان گنبد کاووس از غرب به شهرستان علی آباد کتول و گرگان از شرق به دهستان کلاته غربی بخش بسطام و از جنوب به شهرستان شاهرود محدود می‌شود.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه

در دشت بسطام، راه اصلی جاده آسفalte شاهرود - آزادشهر است که از قسمت میانی دشت با جهت امتداد جنوب غربی - شمال شرقی عبور می نماید. با صرف نظر از محور اصلی، محورهای فرعی، شامل شاهرود - مجن، بسطام - امیریه، امیریه - نکارمن، جاده ابر، جاده خرقان و جاده گرجی است که دسترسی به نقاط مختلف دشت را امکان پذیر می سازند.

۴-۱ - هواشناسی منطقه

به منظور ارزیابی آب و هوا و اقلیم منطقه مورد مطالعه، از روش دمارتن طبق رابطه (۱-۱) استفاده شده است. ضریب خشکی دمارتن، برای دشت بسطام ۷/۴۱ می باشد. ضریب خشکی دمارتن کمتر از ۱۰ و طبق جدول (۱-۱) دشت بسطام در محدوده اقلیم خشک قرار می گیرد. T میانگین دمای سالانه P میانگین بارش سالانه I ضریب خشکی دمارتن می باشد.

$$I = \frac{p}{t+10}$$

رابطه ۱-۱

جدول ۱-۱ - طبقه بندی اقلیمی دمارتن

نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دمارتن
خشک	کوچتر از ۱۰
نیمه خشک	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگتر از ۳۵

با توجه به جدول (۲-۱) که مربوط به آمار ۲۴ ساله ایستگاه سینوپتیک بسطام است. در دوره آماری (۱۳۹۰-۱۳۶۶) متوسط درجه حرارت سالانه ۱۲ درجه سانتی گراد و میانگین بارش سالانه در حدود ۱۶۵ میلی متر می باشد.

جدول ۲-۱- آمار ۲۴ ساله ایستگاه سینوپتیک دشت بسطام

سال	متوسط درجه حرارت (C°)	بارش سالانه (mm)
۶۶-۶۷	۱۱/۶	۲۲۴/۵
۶۷-۶۸	۱۱/۶	۱۲۵
۶۸-۶۹	۱۲/۲	۱۳۵/۹
۶۹-۷۰	۱۱/۵	۲۲۹
۷۰-۷۱	۱۰	۲۵۱
۷۱-۷۲	۱۱/۱	۱۹۹
۷۲-۷۳	۱۱/۴	۸۸
۷۳-۷۴	۱۱/۸	۱۹۵
۷۴-۷۵	۱۱/۴	۱۸۲/۶
۷۵-۷۶	۱۲/۴	۸۱/۵
۷۶-۷۷	۱۲/۷	۱۷۷/۴
۷۷-۷۸	۱۳/۳	۹۲/۵
۷۸-۷۹	۱۲/۹	۱۰۴/۸
۷۹-۸۰	۱۳	۱۶۳
۸۰-۸۱	۱۳/۳	۱۱۸
۸۱-۸۲	۱۲/۸	۲۵۱
۸۲-۸۳	۱۳/۱	۱۸۱/۴
۸۳-۸۴	۱۲/۴	۱۴۹/۴
۸۴-۸۵	۱۳/۶	۱۴۲/۵
۸۵-۸۶	۱۲/۳	۱۷۷/۴
۸۶-۸۷	۱۲/۳	۹۷/۷
۸۷-۸۸	۱۲/۷	۲۰۲/۶
۸۸-۸۹	۱۳/۷	۱۹۲
۸۹-۹۰	۱۳/۴	۲۱۴/۶

۱-۵- زمین‌شناسی عمومی دشت بسطام

از نظر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در ایالت ساختاری البرز شرقی قرار دارد. رشته کوه البرز جزئی از قسمت‌های شمالی کوه‌زایی آلپ - هیمالیا در آسیای غربی است. در ناحیه مورد بررسی سازندهای مختلفی با سن پالئوزوئیک تا عهد حاضر رخنمون دارند. بخش مرکزی دشت از رسوبات کواترنری، بخش شرقی از سازندهای سنوزوئیک، بخش‌های جنوبی از سازندهای مزوزوئیک و بخش شمال‌غربی و جنوب غربی از سنگ‌های پالئوزوئیک تشکیل شده است.

۱-۶- چینه‌شناسی دشت بسطام

براساس نقشه ۱/۱۰۰۰۰ بسطام مهم‌ترین سازندهایی که در منطقه رخنمون دارند، از قدیم به جدید عبارتند از سازند لشکرک، خوش‌ییلاق، دورود، الیکا، لار، زیارت، کرج و رسوبات کواترنری (درویش زاده، ۱۳۸۵).

۱-۶-۱- لشکرک (osh,sv,s)

نام این سازند از دهکده لشکرک واقع در ارتفاعات علم کوه گرفته شده است. این سازند ۱۷۵ متر از شیل، ماسه‌سنگ و دولومیت در قاعده تشکیل شده است. این تشکیلات مربوط به اردوئین پیشین تا میانی می‌باشد که در شمال‌غربی و جنوب‌غربی دشت رخنمون دارد.

۱-۶-۲- سازند خوش‌ییلاق (Dkh,Dkh2)

سازند خوش‌ییلاق در بخش شرقی البرز مرکزی در گردنه‌ی خوش‌ییلاق با فسیل‌های فراوان براکیوپود، مرجان و تریلوبیت مشخص می‌شود. لیتولوژی غالب این سازند شامل آهک‌های دولومیتی، شیل توفی، دولومیت و ماسه‌سنگ است. سن این سازند دونین میانی تا بالایی است که در جنوب‌غربی دشت واقع شده است.

۱-۶-۳- سازند دورود (p,pd)

این سازند که در جنوب غربی دشت رخنمون دارد، دارای ضخامت ۱۵۰ متر از کنگولومرا، ماسه سنگ های قهوه ای و قرمز و آهک های ضخیم لایه فوزولین دار تشکیل شده است. فسیل بلروفن گاستروپودی موجود در آهک های این سازند شاخص پرمین زیرین می باشد.

۱-۶-۴- سازند الیکا (Re)

این سازند دارای ضخامت حدود ۲۹۰ متر که از سه واحد تشکیل شده است. بخش زیرین دارای آهک نازک لایه تا شیل های خاکستری و آهک های ورمیکوله دار است که آثار کرمی و دوکفه ای های کلاریا در آن دیده می شود، بخش میانی از دولومیت و آهک دولومیتی فاقد فسیل تشکیل شده که گاهی بر روی آن لایه آهکی سفید تا کرمی که همان لایه فوقانی است، دیده می شود. سن این سازند تریاس زیرین تا میانی است. رخنمون این سازند در بخش جنوب غربی دشت دیده می شود.

۱-۶-۵- سازند لار (J1)

از نظر لیتولوژی این سازند شامل سنگ آهک و سنگ آهک های دولومیتی، سبتر لایه تا توده ای، خاکستری روشن، حاوی قلوه های چرت و رگه های کلسیتی است. آمونیت های موجود در این سازند سن آن را ژوراسیک بالایی نشان می دهد. این سازند در بخش جنوب شرقی منطقه رخنمون دارد.

۱-۶-۶- سازند زیارت (EZ)

سازند زیارت در بخش شرقی دشت بسطام دیده می شود، میکروفسیل های موجود در این سازند، سن این سازند را ائوسن زیرین نشان می دهند. بر روی سازند قرمز رنگ فجن قرار دارد که از نظر لیتولوژی بخش زیرین این سازند شامل مارن های ژئوپس دار و ژئوپس با فسیل های دوکفه ای و در بخش بالایی شامل آهک های ریفی است. فسیل های موجود در این سازند انواع نومولیت ها هستند.

۱-۶-۷- سازند کرج (V,Ekt,Ek,EV)

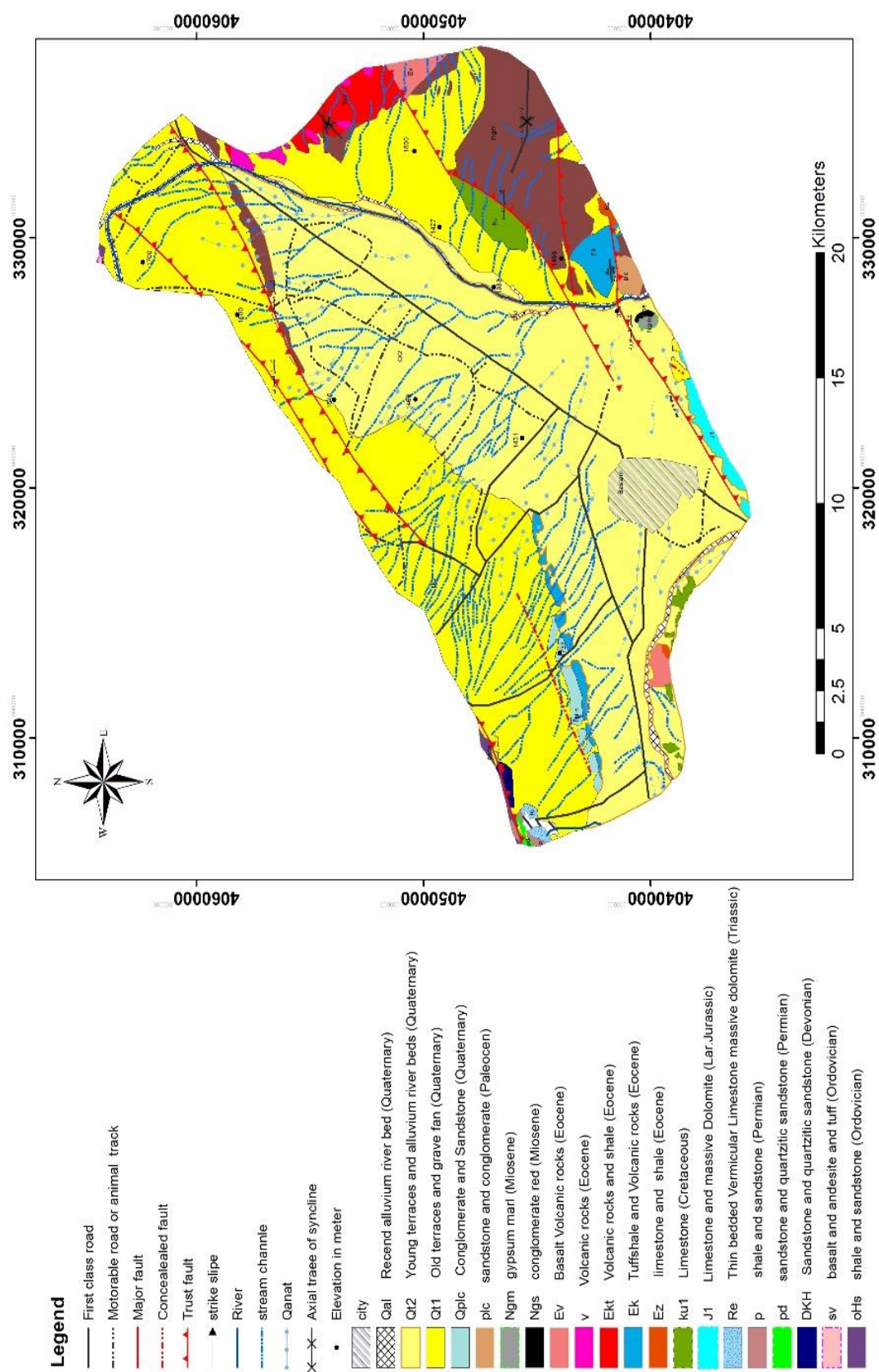
این سازند که بر روی سازند زیارت قرار گرفته، از پنج بخش تشکیل شده است. بخش مهم آن توفیت‌های این سازند است که در اثر انباشت خاکسترهای آتشفشانی در زیر آب دریای کم‌عمق به وجود آمده است. بر اساس شواهد چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی این سازند متعلق به ائوسن میانی است که در جنوب، شمال‌شرقی و شرق دشت رخنمون دارد.

۱-۶-۸- واحد میوسن (mgm.Ngc,Ngm.s)

طبقات این توالی معادل بخش‌هایی از سازند قرمز زیرین در ایالت زون ایران مرکزی است. این واحد از طبقات مارن‌های قرمز رنگ همراه با رگه‌های ژئوپس و لایه‌هایی از ماسه‌سنگ نازک لایه و متوسط لایه به رنگ ارغوانی و شیل‌های نازک لایه ارغوانی به همراه لایه‌هایی از کنگلومرا و میکروکنگلومرای قرمز رنگ تشکیل شده است. در مارن‌های این واحد روزن‌داران آزاد متعلق به زمان میوسن زیرین شناسایی شده‌اند. این واحد در بخش شرقی و جنوب‌شرقی دشت بسطام دیده می‌شود.

۱-۶-۹- رسوبات کواترنری (عهد حاضر) (Qt1,Qt2.Qal,Qplc)

این رسوبات متعلق به آخرین دوران بوده و اکثراً به عنوان رسوبات آبرفتی محسوب می‌شود که در دریا‌های کم‌عمق با جریان‌های سطحی برجای مانده‌اند. این رسوبات به چهار بخش تقسیم می‌شوند. (Qt1, Qt2, Qal, Qplc) این رسوبات در سطح دشت‌ها و حاشیه ارتفاعات گسترده و گسترش زیادی دارند. بیشتر محدوده دشت از رسوبات کواترنری تشکیل شده است. در شکل (۱-۲) نقشه زمین‌شناسی دشت بسطام نمایش داده شده است.



شکل ۱-۲ - نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (بر گرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰) شهرود، بسطام، خوش بیلاق، علی آباد

۱-۷- ژئومورفولوژی دشت بسطام

دشت بسطام که در استان سمنان در شمال شرقی شهرستان شاهرود قرار دارد. این دشت از جنوب غربی به دشت مجن از شمال شرقی به دشت مزج و جیلان محدود است. ارتفاعات دشت بسطام شامل ارتفاعات شاهرود، ابرسج، سیاهه، سرخان، کلب درویش، خوش‌بیلاق، کلاته بن و رضو در شمال غربی، شمال و شمال شرقی و کوه‌های زرین کهر و سیاه در جنوب شرقی و کوه‌های بسطام تپال و محمد حنفی در شرق تا غرب جنوب دشت را فرا گرفته‌اند. بلندترین نقطه حوضه آبریز دشت به ارتفاع ۳۹۴۵ متر در کوه شاهوار و پست‌ترین نقطه در خروجی دشت به میزان ۱۴۵۰ متر از سطح دریا است (خرسندی، ۱۳۸۹). سازندهای آهکی و دولومیتی ژئومورفولوژی صخره‌ای پرتگاهی با دره عمیق V شکل و سازندهای شیلی مارنی مورفولوژی ملایم و دره‌های II شکل را تشکیل می‌دهند. از لحاظ ناهمواری می‌توان این دشت را به دو قسمت ارتفاعات مربوط به البرز شرقی و جلگه تقسیم نمود. قسمت جلگه‌ای این دشت در محاصره کوه‌ها قرار داشته و نسبتاً هموار است که از آبرفت‌های رودهای دائمی و فصلی موجود در دشت تشکیل شده اند (نوروزی، ۱۳۷۶).

۱-۸- هیدرولوژی

وجود توپوگرافی کوهستانی و بارش مناسب در منطقه مورد مطالعه باعث ایجاد رودخانه‌های مهمی که اغلب دارای دبی پایه هستند، شده است. از جمله رودخانه‌های مهم این دشت می‌توان به: رودخانه تاش، مجن، فرحزاد، میغان، ابرسج، داستان و سرتنگه اشاره کرد. جریانات سطحی این محدوده از طریق رودخانه شاهرود و کال محمودآباد که در دشت بسطام جریان دارند، وارد حوضه شاهرود شده و در نهایت از کال شاهرود و یا کال سیاه در جهت غرب به کویر حاج علیقلی تخلیه می‌گردند (مسلمی، ۱۳۹۰). دشت بسطام دارای چندین رشته قنات و چشمه است که از ارتفاعات شمالی و غربی به سمت جنوب دشت کشیده شده و دشت را تغذیه می‌کنند.

۱-۹- هیدروژئولوژی

منطقه بسطام از نظر هیدروژئولوژی دارای هر دو نوع آبخوان سازند سخت و آبرفتی هستند. از آبخوان‌های آبرفتی این محدوده می‌توان به آبخوان دشت مجن، شاهرود و بسطام اشاره نمود. ارتباط این آبخوان‌ها با سازندهای آهکی مجاور باعث شده تا علاوه بر تغذیه آن‌ها از طریق آب‌های نفوذی سطحی از آب زیرزمینی این آبخوان‌های غنی نیز تغذیه شوند. آبخوان‌های سازند سخت به ویژه در ارتفاعات تپال، صحرای جلالی و حوضه مجن از توسعه خوبی برخوردار بوده و سفره‌های آبی غنی را ایجاد می‌نمایند. در دشت بسطام در سال ۱۳۶۱ برای تعداد ۱۳۳ حلقه چاه، متوسط آبدهی ۳۰ لیتر در ثانیه بوده که در سال ۱۳۸۲ به ازای ۳۰۷ حلقه چاه، متوسط آبدهی ۲۰ لیتر در ثانیه شده است که ضریب کاهش آن ۶۷ درصد به ازای ۲۱ سال و سالانه حدود ۳/۲ درصد بوده است (خرسندی، ۱۳۸۹). تعداد چاه‌های بهره‌برداری ۳۳۰ حلقه چاه است که عمدتاً مصارف کشاورزی و شرب دارند.

۱-۱۰- بررسی تغییرات کیفی و کمی آب زیرزمینی دشت بسطام

شوری متوسط آب زیرزمینی دشت بسطام بر اساس آمار موجود از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۸۸ طی ۶ سال حدود ۳۵ واحد افزایش یافته است (خرسندی، ۱۳۸۹). متوسط سالانه هدایت الکتریکی آب زیرزمینی نیز از سال ۱۳۷۸ به میزان ۱۳۷۴ میکروهموس بر سانتی‌متر مربع تا ۱۴۹۲ میکروهموس بر سانتی‌متر مربع در سال ۱۳۸۷ متغیر بوده است و متوسط آبدهی لحظه‌ای دشت بسطام بر مبنای آمار موجود ۲۰ لیتر در ثانیه برآورد شده که نسبت به سال‌های قبل حدود ۱۳ لیتر در ثانیه کاهش آبدهی رخ داده است (خرسندی، ۱۳۸۹). منشأ اصلی یون‌های کلسیم و منیزیم، انحلال کربنات‌ها و ژیپس و همچنین منشأ کلر و شوری آب زیرزمینی دشت بسطام، انحلال نمک موجود در سازندهای تخریبی، مارنی و شورزار بخش‌های شرقی و غربی است (نصرتی، ۱۳۹۵).

فصل دوم:

مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه

آب‌های زیرزمینی منابع مهمی از نظر تأمین آب شرب و کشاورزی هستند (Pathak et al. 2009). رفع آلودگی آب زیرزمینی بسیار پرهزینه و فرآیندی طولانی است و بیش‌تر زمانی آلودگی تشخیص داده می‌شود که رفع آلودگی آبخوان غیرممکن می‌گردد. به همین علت حفاظت از منابع آب زیرزمینی در مقابل آلاینده‌های ناشی از فاضلاب‌های خانگی، صنعتی، مصارف کودها و سموم شیمیایی در کشاورزی ضروری است. یکی از راه‌های پیشگیری آلودگی آب زیرزمینی شناسایی مناطقی است که استعداد آلوده شدن بالایی دارند و از طریق این شناخت می‌توان منطقه را از لحاظ آسیب‌پذیری پهنه‌بندی نمود. ارزیابی آبخوان روشی با ارزش و کم‌هزینه در شناسایی نواحی مستعد به آلودگی و یک ابزار مهم برای طرح‌های زیست‌محیطی و تصمیم‌های مدیریتی به حساب می‌آید.

۲-۲- آسیب‌پذیری آبخوان

آسیب‌پذیری آبخوان به معنی امکان نفوذ و انتشار آلاینده‌ها از سطح زمین به داخل سیستم آب زیرزمینی است (Harter and Walker, 2001). در سال ۱۹۹۴ توسط جامعه بین‌المللی هیدروژئولوژیست‌ها بیان شده است که آسیب‌پذیری یکی از خصوصیت‌های ذاتی آبخوان است که فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی در آن مؤثر هستند (Almasri, 2008). درحقیقت آسیب‌پذیری نوعی خصوصیت نسبی، بدون بعد و غیرقابل اندازه‌گیری است و به ویژگی‌های آبخوان، محیط زمین‌شناسی و هیدرولوژی بستگی دارد (Antonakos and Lambrakis, 2007). آسیب‌پذیری آبخوان به میزان آلاینده، حساسیت ذاتی، موقعیت آبخوان و نوع منابع آلودگی نیز بستگی دارد (پناهنده، ۱۳۹۲).

۲-۲-۱- مفهوم آسیب‌پذیری

مفهوم آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نسبت به آلودگی برای اولین بار در سال ۱۹۶۸ توسط مارگات (Margat) مطرح شد (Rahman, 2008). فرآیند نفوذ و انتشار آلودگی از سطح زمین به داخل آبخوان

را تحت عنوان آسیب‌پذیری بیان می‌کنند. آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی را می‌توان به دو گروه آسیب-پذیری ذاتی و آسیب‌پذیری ویژه تقسیم کرد (Almasri, 2008; Gogu and Dassargues, 2000):

۲-۱-۲-۱- آسیب‌پذیری ذاتی (Intrinsic vulnerability):

آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان به امکان آلودگی در یک ناحیه از آبخوان بدون در نظر گرفتن آلاینده خاص اشاره دارد (Almasri, 2008). این آسیب‌پذیری به ویژگی‌های ذاتی یک آبخوان چون خصوصیات هیدرولوژی، هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی آن بستگی دارد و مستقل از ماهیت ماده آلاینده است. در نتیجه هیچ‌گونه ارتباطی به منابع آلودگی طبیعی یا غیر طبیعی ناشی از فعالیت‌های انسانی ندارد (Gogu and Dassargues, 2000).

روش‌هایی مانند دراستیک (DRASTIC) و سین‌تکس (SINTACS) به منظور ارزیابی این نوع آسیب-پذیری مورد استفاده قرار می‌گیرند (Hamza et al. 2007).

۲-۱-۲-۲- آسیب‌پذیری ویژه (Specific vulnerability):

در آسیب‌پذیری ویژه آب‌های زیرزمینی نسبت به یک آلودگی خاص و یا گروهی از آلاینده‌ها ناشی از فعالیت‌های انسانی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Almasri, 2008). در 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). مدل SI یکی از روش‌هایی است که برای ارزیابی این نوع آسیب‌پذیری استفاده می‌شود و در آن آسیب‌پذیری آبخوان به طور مشخص نسبت به آلاینده‌های (نیترات) بررسی می‌گردد (Hamza et al. 2007).

۲-۳- روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری

روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی طراحی شده است. این روش‌ها به سه دسته اصلی روش‌های هم‌پوشانی و شاخص، روش پردازشی و روش آماری تقسیم می‌شوند

(Almasri, 2008; Verba and Zaporozec, 1994). هرکدام از روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری به پارامترهای موثر مانند الگوی بارش، عمق آب زیرزمینی، هدایت هیدرولیکی، کاربری اراضی و ... نیاز دارند. تعداد و نوع این پارامترهای مورد استفاده، بستگی به نوع روش ارزیابی آسیب‌پذیری دارد.

۲-۳-۱- روش هم‌پوشانی و شاخص (Overlay and Index Methods)

روش‌های هم‌پوشانی و شاخص اولین روش‌هایی بودند که مورد استفاده قرار گرفته و هنوز هم از آن‌ها در ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. در این روش اطلاعات مربوط به پارامترهای مؤثر در آسیب‌پذیری آبخوان جمع‌آوری، دسته‌بندی، رتبه‌بندی و در نهایت تلفیق می‌گردند. شاخص آسیب‌پذیری در نقاط مختلف آبخوان را با تلفیق نقشه‌های مربوط به خصوصیات مؤثر بر آسیب‌پذیری آبخوان و نسبت دادن وزن به هر پارامتر محاسبه می‌کنند. روش هم‌پوشانی و شاخص، عوامل کنترل‌کننده حرکت آلاینده از سطح زمین تا داخل آبخوان را با هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی تعیین می‌کند. در این روش انتخاب ارزش عددی پارامترها تا حدودی کارشناسی بوده و این روش‌ها نمی‌تواند به عنوان یک روش دقیق پیش‌بینی، مورد استفاده قرار گیرد (امیر احمدی و همکاران، ۱۳۹۰). کاربرد تکنولوژی GIS به طور مؤثری، تهیه نقشه‌های هم‌پوشانی را آسان کرده است (Aller et al. 1987).

۲-۳-۲- روش‌های پردازشی (Processing Method)

در این روش‌ها بسیاری از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی که در تجزیه و انتقال آلاینده‌ها در زون اشباع و غیراشباع تأثیر دارند، تلفیق می‌شوند (ابوالحسنی الماسی، ۱۳۹۳). در روش‌های پردازشی فرایندهای فیزیکی حرکت آب و مسیر مربوط به انتقال آلودگی را شبیه‌سازی کرده و توزیع مناطق حساس یا آسیب‌پذیر را مشخص می‌کند. این مدل‌ها، انتقال آلودگی نسبت زمان و مکان را پیش‌بینی می‌کند و همچنین جهت تخمین حرکت آلاینده‌ها از مدل‌های شبیه‌سازی بر مبنای تحلیل‌های معادلات ریاضی استفاده می‌کند. محدوده روش‌های پردازشی از شاخص‌هایی بر مبنای مدل ساده انتقال تا حل

عددی انتقال آلوده کننده به صورت یک بعدی در منطقه غیراشباع و مدل تلفیقی و مدل های چندفازی دو یا سه بعدی در تغییر می باشند (Frind *et al.* 2006). روش های پردازشی به علت پیچیدگی و نیاز به داده های زیاد، بیشتر در مطالعات با مقیاس کوچکتر استفاده می شوند.

۲-۳-۳ روش آماری (Statistical Method)

روش آماری یکی دیگر از روش های ارزیابی آسیب پذیری آبخوان ها است. در این روش در حقیقت ارتباط بین میزان آسیب پذیری و پارامترهای مرتبط با آسیب پذیری مورد بررسی قرار می گیرد. این مدل از روابط همبستگی بین متغیر مکانی و میزان آلاینده های موجود در آب زیرزمینی استفاده می کند. هم چنین یک نوع آلودگی یا احتمال آلودگی به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می شود. رگرسیون ساده، رگرسیون چندگانه مثال هایی از این روش هستند (Helsel and Hirsch, 1992) در آنها به بررسی و مدل سازی ارتباط بین متغیر وابسته و متغیر مستقل پرداخته می شود و هدف از آنها پیش بینی متغیر وابسته براساس تغییرات متغیر و یا متغیرهای مستقل است. محدودیت این روش ها مشاهدات ناکافی کیفیت آب، دقت داده ها و انتخاب دقیق متغیرهای مکانی است.

۲-۴-۲ مدل های ارزیابی آسیب پذیری آبخوان

انواعی از مدل های مختلف در ارزیابی آسیب پذیری آبخوان استفاده می شود که از جمله آنها می توان به مدل DRASTIC (Aller *et al.* 1987)، مدل GODS (Foster, 1987)، مدل AVI (Van stemp Voort *et al.* 1993)، مدل SINTACS (Civita, 1994)، مدل SI (Frances *et al.* 2001) اشاره کرد. دراستیک رایج ترین روشی است که در ارزیابی آسیب پذیری آبخوان استفاده می شود (Aller *et al.* 1987).

۲-۴-۱- مدل DRASTIC

مدل دراستیک توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالت متحده در سال ۱۹۸۷ برای ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی در کل ایالت متحده طراحی شد. این مدل بر پایه مفهوم وضعیت هیدروژئولوژیکی استوار است. مدل دراستیک پتانسیل آلودگی یک ناحیه را با جمع نمودن عوامل کلیدی مؤثر بر انتقال مواد حل شده آلاینده ها ارزیابی می کند. عمق سطح ایستابی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، محیط غیراشباع آبخوان (I)، توپوگرافی (T) و هدایت هیدرولیکی (C) از پارامترهایی هستند که در این روش مورد استفاده قرار می گیرند. این هفت پارامتر در نرم افزار GIS وارد شده، رتبه بندی، وزن دهی و تلفیق می گردند و سپس لایه جدیدی به نام شاخص آسیب پذیری طبق رابطه (۱-۲) به دست خواهد آمد.

$$DrDw+RrRw+ArAw+SrSw+TrTw+IrIw+CrCw = D\text{-index} \quad \text{رابطه ۱-۰}$$

در این رابطه حروف I, T, S, A, R, D و C، پارامترهای هیدروژئولوژیک تأثیرگذار در مدل دراستیک و اندیس های I و T به ترتیب رتبه و وزن هر پارامتر می باشند.

۲-۴-۲- مدل GODS

این مدل بسیار ساده، علمی و روش تجربی برای ارزیابی سریع شدت آلودگی است. شاخص آسیب پذیری GODS در برابر آلودگی متشکل از چهار پارامتر است که شامل وضعیت هیدرولیکی آب زیرزمینی در آبخوان، لایه های روی منطقه اشباع (از نظر وضعیت و درجه استحکام آنها)، عمق سطح ایستابی یا عمق آب زیرزمینی تا سفره های محبوس و نوع بافت خاک است. در این روش ارزش کلاس های مختلف، پارامترها از صفر تا یک تغییر می کند و به تمامی پارامترها وزن یکسانی اختصاص داده می شود. شاخص آسیب پذیری GODS طبق رابطه (۲-۲) از حاصل ضرب این پارامترها به دست می آید.

$$\text{GODS index} = \text{G. O. D.S}$$

رابطه ۲-۰

در این رابطه G نوع سفره آبدار، O لیتولوژی منطقه بالای سفره آبدار، D عمق تا سطح ایستابی و S، نوع پوشش خاک است.

۲-۴-۳- مدل (Aquifer Vulnerability Index) AVI

در این روش از دو پارامتر برای سنجش میزان آسیب پذیری استفاده می شود که عبارتند از ضخامت هر لایه رسوبی بالای سفره آبدار (D) و هدایت هیدرولیکی (K). با استفاده از این مشخصه ها، میزان مقاومت هیدرولیکی سفره آبدار طبق رابطه (۲-۳) محاسبه می شود.

$$C = \sum d/k$$

رابطه ۳-۰

در این رابطه C مقاومت هیدرولیکی سفره آبدار، d ضخامت لایه های بالای سفره بر حسب متر و K هدایت هیدرولیکی تخمینی هر لایه بر حسب متر بر روز است. پارامتر مقاومت هیدرولیکی دارای بعد زمانی است که بیان کننده زمان حرکت آب زیرزمینی از لایه لای خلل و فرج سطح فوقانی بخش اشباع به سمت پایین است.

۲-۴-۴- مدل SINTACS

در روش SINTACS از هفت پارامتر عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، اثر منطقه غیر اشباع، نوع خاک، توپوگرافی و هدایت هیدرولیکی برای پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان استفاده می شود. تمامی این پارامترها از مدل دراستیک اشتقاق یافته اند که تنها رتبه بندی و وزن دهی در این روش متفاوت است. این پارامترها طبق رابطه (۲-۴) با هم تلفیق می شوند.

$$I_v = \sum P \times W$$

رابطه ۴-۰

در رابطه فوق I_v شاخص آسیب پذیری P رتبه پارامترها W وزن مربوط به هر پارامتر می باشد.

۲-۴-۵- مدل SI (Susceptibility Index)

روش SI نیز برای ارزیابی آسیب پذیری نسبت به آلاینده کشاورزی ارائه شده است. در این روش ۵ پارامتر عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه خالص (R)، سنگ شناسی آبخوان (A)، توپوگرافی (T) و کاربری اراضی (LU) مورد استفاده قرار می گیرد. هر پارامتر بر اساس واحدهای تشکیل دهنده رتبه بندی شده و پس از وزن دهی و تلفیق شاخص نهایی SI به دست می آید.

$$LUw + Iw + TrTw + SrSw + ArAw + RrRw + DrDw = SI$$

رابطه ۵-۰

در این رابطه حروف I، T، S، A، R، D و LU، پارامترهای هیدروژئولوژیک تأثیرگذار در مدل SI و اندیس های r و w به ترتیب رتبه و وزن هر پارامتر می باشند.

۲-۵- پیشینه پژوهش

مطالعات زیادی در زمینه ارزیابی آسیب پذیری آبخوان در ایران و جهان صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می شود.

۲-۵-۱- مطالعات صورت گرفته در ایران

۱- آسیب پذیری آبخوان دشت های زویچری و خرآن در شمال شرق شهرستان اهواز در استان خوزستان با استفاده از مدل دراستیک مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص دراستیک در این مطالعه بین ۵۶ تا ۱۶۲ محاسبه گردید. نتایج مدل نشان داد که بخش های غرب و جنوب غربی آبخوان دارای آسیب پذیری متوسط هستند. همچنین نواحی کوچکی در شمال غرب و شرق منطقه مورد مطالعه در محدوده بدون

خطر آلودگی قرار گرفت و سایر بخش‌های آبخوان نیز آسیب‌پذیری پائینی داشتند. بر اساس نتایج بدست آمده ۲۰/۹، ۷۶/۶ و ۲/۵ درصد از منطقه به ترتیب در محدوده آسیب‌پذیری متوسط، پایین و بدون خطر آلودگی قرار گرفت (چیت سازان و اختری، ۱۳۸۵).

۲- آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت هشتگرد، در فاصله ۶۵ کیلومتری غرب تهران با استفاده از مدل دراستیک توسط آزاد شهرکی و همکاران (۱۳۸۹) بررسی شد. بر اساس نتایج این پژوهش شاخص دراستیک در دشت هشتگرد بین ۶۷ تا ۱۶۱ بدست آمد. از لحاظ آسیب‌پذیری دشت هشتگرد به سه بخش آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد تقسیم شد. هم‌چنین پهنه‌بندی آسیب‌پذیری این مدل با توزیع غلظت نترات آب زیرزمینی، از هم‌خوانی خوبی برخوردار بود. نتایج آنالیز حساسیت پارامتر واحد، بیشترین وزن مؤثر را مربوط به محیط غیراشباع نشان می‌داد. علت کم بودن وزن مؤثر عمق آب زیرزمینی، عمیق بودن سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت هشتگرد ارزیابی گردید.

۳- آسیب‌پذیری آبخوان خاش در برابر آلودگی با استفاده از مدل دراستیک مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج این پژوهش، آبخوان به دو بخش آسیب‌پذیری کم و متوسط پهنه‌بندی شد. گستره پهنه‌ای با آسیب‌پذیری متوسط حدود ۷۵/۵ درصد و گستره پهنه‌ای با آسیب‌پذیری کم حدود ۲۴/۵ درصد برآورد گردید. مناطقی با حساسیت کم در بخش‌های جنوب، شرق و مرکز آبخوان دشت خاش و مناطقی با حساسیت متوسط در قسمت‌های شمال، غرب و جنوب‌غربی آبخوان پیش‌بینی گردید. نتایج حذف پارامتر و هم‌چنین تحلیل حساسیت به روش تک پارامتری نشان داد که مهم‌ترین پارامتر تاثیرگذار و آسیب‌پذیر آبخوان تغذیه خالص است (احمدی و آبرومند، ۱۳۸۸).

۴- به منظور بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت داورزن که در غرب شهر سبزوار واقع شده است، امیر احمدی و همکاران (۱۳۹۰) از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای پردازش، تجزیه و تحلیل کیفی آبخوان استفاده کردند. با توجه به نقشه پهنه‌بندی تهیه شده، حدود ۲۳/۲ درصد از

منطقه مورد مطالعه در محدوده آسیب‌پذیری خیلی کم، ۲۱/۴ درصد آسیب‌پذیری کم، ۱۷/۳۸ درصد آسیب‌پذیری متوسط، ۲۵/۴۳ درصد آسیب‌پذیری زیاد و ۱۲/۵۹ درصد آسیب‌پذیری خیلی زیاد را ارزیابی گردید.

۵- افروزی (۱۳۹۱) خطر آلودگی آبخوان فارسان- جونقان را با استفاده از مدل دراستیک ارزیابی نمود. نتایج حاصل نشان داد که به ترتیب حدود ۲۶، ۳۸، ۱۵ و ۲۱ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه دارای خطرپذیری آلودگی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد هستند. تحلیل حساسیت مدل دراستیک به روش تک پارامتری و حذف پارامتر نیز آشکار ساخت که مهمترین پارامتر تأثیرگذار بر میزان شاخص آسیب‌پذیری دشت، هدایت هیدرولیکی آبخوان است. در این پژوهش به منظور یکنواختی بیشتر در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری، کم کردن اثرات منفی نظرات کارشناسی و انتخاب مدل مناسب جهت ارزیابی خطر آلودگی آبخوان، از مدل‌های AHP-DRASTIC، FUZZY-AHP-DRASTIC و SINTACS نیز به دلیل همسان بودن تعداد و نوع پارامترهای به کار رفته با مدل دراستیک معمولی، استفاده شد.

۶- مطالعات صورت گرفته در مورد ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت خضر آباد به روش مدل دراستیک، نشان داد که شاخص دراستیک برای کل منطقه ۴۵ تا ۱۴۲ است. هم‌چنین نقشه پهنه‌بندی ترسیم شده بیان می‌کند که ۱۱/۷۵ درصد کل منطقه مورد مطالعه شدیداً آسیب‌پذیر است که عمدتاً مناطق جنوبی و جنوب‌غربی دشت را شامل می‌شود. آسیب‌پذیری با شدت متوسط ۴۲/۹۹ درصد بیشترین سهم را در منطقه مطالعاتی به خود اختصاص داده است (صادقی‌روش و زهتابیان، ۱۳۹۲).

۷- آسیب‌پذیری آبخوان دشت شاهرود با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS توسط ابولحسنی الماسی (۱۳۹۰) مورد بررسی قرار گرفت. شاخص دراستیک برای این دشت 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 می‌دادند. آنالیز حساسیت به دو روش

حذف پارامتر و تک پارامتری نیز آشکار ساخت که شاخص آسیب‌پذیری نسبت به حذف لایه‌ها محیط غیر اشباع و محیط آبخوان حساسیت بالایی دارد.

۲-۵-۲- پیشینه پژوهش در جهان

۱- آسیب‌پذیری آبخوان پالوکسی (Paluxy) در شمال تگزاس با استفاده از مدل دراستیک مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بررسی دو نقشه (آسیب‌پذیری و آسیب‌پذیری اصلاح شده) ترسیم شد. در روش اول رتبه‌ها و وزن‌های اولیه پارامترهای تغذیه خالص و محیط غیراشباع و در روش دوم از مقادیر اصلاح شده نرخ تغذیه خالص و محیط غیراشباع استفاده گردید. 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 آسیب‌پذیری خیلی زیاد برآورد گردید. براساس نتایج بدست آمده از روش دوم ۷۱، ۱۳ و ۱۱ درصد از منطقه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد بوده و ۵ درصد از منطقه نیز با پتانسیل آلودگی خیلی زیاد پیش‌بینی گردید (Fritch et al. 2000).

۲- به منظور بررسی آسیب‌پذیری آبخوان بازالتی ناحیه ازرق (Azraq) در اردن از مدل دراستیک استفاده شد. پارامتر کاربری زمین نیز به عنوان یک پارامتر اضافی در مدل دراستیک مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مدل دراستیک نهایی با استفاده از داده‌های هیدروشمیایی آبخوان تایید شد. شاخص دراستیک بین ۹۲ تا ۱۳۹ برآورد گردید. نقشه آسیب‌پذیری به دو بخش آسیب‌پذیری متوسط که ۸۴/۱۹ درصد و آسیب‌پذیری کم ۱۵/۸۱ درصد از دشت را می‌پوشاند، تقسیم می‌شود. (Al-Adamat et al. 2003).

۳- پاداک و همکاران (Pathak et al. 2009) آسیب‌پذیری آبخوان کم عمق دره کاتماندو (Kathmandu) را با استفاده از مدل دراستیک و GIS مورد بررسی قرار دادند. هم‌چنین برای تعیین بافت خاک منطقه، ۲۵ نمونه خاک از نواحی مختلف ناحیه برداشت شد. شاخص آسیب‌پذیری در این ناحیه بین ۵۹ تا

۲۰۵ برآورد گردید. این شاخص به پنج بخش آسیب‌پذیری بسیارضعیف، ضعیف، متوسط، بالا و بسیار بالا طبقه‌بندی شد.

۴- آسیب‌پذیری آبخوان دشت Dire Dawa در اتیوپی توسط تیلان و همکاران (Tilahun *et al.* 2010) با استفاده از مدل دراستیک مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج این پژوهش آبرفت‌هایی که در شرق منطقه مورد مطالعه و در محدوده شهر می‌باشد، دارای بافت درشت دانه بوده، در حالی که آبرفت‌های بخش غربی منطقه دارای بافت ریز دانه و دارای نفوذپذیری کم هستند. نتایج این مطالعه نشان داد که بخش شرقی منطقه مورد مطالعه که شهر Dire Dawa در آن واقع است، دارای آسیب‌پذیری بسیار زیاد است. غلظت نیترات در منطقه مورد مطالعه با نقشه آسیب‌پذیری هم‌خوانی داشت. شاخص آسیب‌پذیری نیز ۳۸ تا ۱۸۰ برآورد گردید.

۵- آسیب‌پذیری آبخوانی در قسمت شمال حوضه جفارا (Jeffara) (جنوب تونس) با استفاده از مدل دراستیک بررسی شد. دو نقشه آسیب‌پذیری در این ناحیه تهیه گردید. نقشه اول آسیب‌پذیری مربوط به آفات کشاورزی به روش مدل دراستیک است. نقشه دوم آسیب‌پذیری مدل دراستیک را نشان می‌داد که آشکار می‌ساخت، بخش مرکزی ناحیه مورد مطالعه دارای آسیب‌پذیری متوسط بوده درحالی که بخش‌های جنوب‌غربی آسیب‌پذیری کم را نشان می‌دادند. با انطباق نقشه شاخص دراستیک با کاربری اراضی مشخص شد که مناطق کشاورزی دارای آسیب‌پذیری بالا بوده و در معرض آلودگی توسط آفت‌کش‌ها قرار دارند. همچنین مشخص شد که پارامتر عمق آب زیرزمینی بزرگترین اثر را روی شاخص آسیب‌پذیری کلی دارا است. در مدل کلی شاخص دراستیک بین ۸۳ تا ۱۸۸ برآورد گردید که شامل آسیب‌پذیری بالا، پایین و متوسط است. در مدل دراستیک آفت‌کش نیز شاخص دراستیک بین ۹۳ تا ۲۱۹ برآورد شد که به آسیب‌پذیری کم، متوسط، بالا و بسیار بالا طبقه‌بندی گردید.

(Chandoul *et al.* 2014).

۶- آسیب‌پذیری در بخش مرکزی دشت گانگا در هند توسط علام و همکاران (Alam et al. 2014) با استفاده از مدل دراستیک (LU) مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص دراستیک بین ۱۵۸ تا ۱۹۰ برآورد گردید. نقشه آسیب‌پذیری به چهار بخش کمتر از ۱۶۰، ۱۷۰ تا ۱۶۰، ۱۸۰ تا ۱۷۰ و بیشتر از ۱۸۰ که به ترتیب شامل آسیب‌پذیری پایین، متوسط، بالا و بسیار بالا تقسیم گردید. بر اساس این مدل مشخص شد که عمق آب، منطقه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی نقش مؤثرتری نسبت به تغذیه خالص، محیط آبخوان و بافت خاک دارا هستند.

۷- جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان شهر میسور (کارناتاکا) در هند از مدل دراستیک استفاده شد. برای صحت و دقت مدل دراستیک در ۲ فصل در هر فصل ۵۳ نمونه آب زیرزمینی جمع‌آوری گردید. نمونه‌های آب مورد آنالیز هیدروشیمیایی قرار گرفتند. بر اساس نتایج بدست آمده، در ماه اکتبر طبق مدل دراستیک آسیب‌پذیری بالاتری را نشان می‌داد که این مسأله به علت تغذیه بالا در این زمان بوده هم‌چنین ۶۰ درصد از منطقه در محدوده شیب ۰-۲ قرار می‌گرفت که باعث نفوذ بیشتر آب‌های جاری به داخل آبخوان می‌شود (Lathamani et al. 2015).

در مجموع نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که روش دراستیک روشی کارآمد در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان بوده، زیرا با داشتن داده‌های اندک و هزینه کم می‌توان این مدل را در مناطق وسیع به کار برد. در این مدل نسبت به مدل‌های ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان، از تعداد بیشتر پارامتر استفاده می‌شود. هم‌چنین توصیه شده است از این روش برای جلوگیری از آلودگی آب زیرزمینی در مناطق مستعد آلودگی استفاده شود.

فصل سوم:

روش انجام کار

۳-۱- منابع داده‌ها

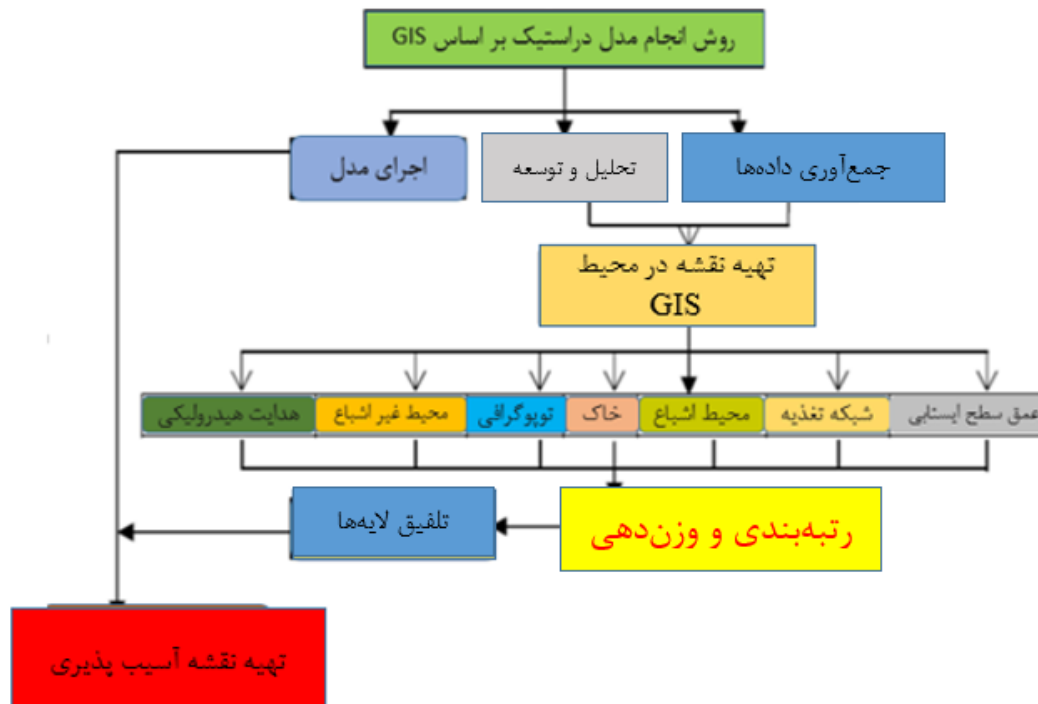
جهت انجام روش دراستیک در تعیین آسیب‌پذیری آبخوان بسطام باید اطلاعات مورد نیاز این مدل جمع‌آوری شود. جهت تعیین هر پارامتر از این مدل از منابع زیر استفاده شده است: برای تهیه پارامتر عمق آب زیرزمینی از داده‌های پیژومتری و گزارش هیدروژئولوژیکی استفاده شد. به منظور تعیین تغذیه خالص از داده‌های بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی، نقشه درصد شیب و درصد نفوذپذیری خاک دشت بسطام به کار گرفته شد. پارامتر محیط اشباع و محیط غیراشباع از طریق لاگ چاه‌های اکتشافی به دست آمد. همچنین نمونه‌برداری از خاک دشت بسطام به منظور تعیین بافت خاک و دستیابی به پارامتر خاک نظیر نفوذپذیری انجام گردید. برای تعیین دو پارامتر هدایت هیدرولیکی و توپوگرافی به ترتیب از آزمایش افت پله‌ای و نقشه توپوگرافی با مقیاس‌های مختلف استفاده شد.

۳-۲- سیستم اطلاعات جغرافیایی

GIS مجموعه ابزاری قدرتمند است که به منظور جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، استخراج، تبدیل و نمایش داده‌های مکانی به کار گرفته می‌شود. نرم افزار GIS توانایی انجام بسیاری از آنالیزهای عادی مانند تحلیل تقریب (Proximate analysis)، بدست آوردن سطوح رستری (Raster Surface derivation) را دارا می‌باشد. اولین برتری GIS این است که لایه‌های اطلاعاتی متفاوت به عنوان مثال شکل نقطه‌ای ارتفاع، خطوط جاده و رودخانه‌ها و سطوح رستری بارندگی که از منابع و دارای مقیاس مختلف است را در یک سیستم قرار می‌دهد. این تکنولوژی همچنین به طور مخصوص برای روش‌های شاخص و هم پوشانی با پذیرفتن لایه‌های اطلاعاتی گوناگون برای ترکیب و یا وزن‌دهی و رتبه‌دهی پارامترها به کار می‌رود. در این مطالعه ابتدا آمار و اطلاعات موجود که شامل پارامترهای مورد نیاز برای مدل دراستیک است، از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار گرفتند. پس از اینکه محدوده دشت مشخص شد، از سیستم GIS به منظور زمین مرجع کردن و رقومی کردن محدوده دشت برای ایجاد نقشه پایه، درون‌یابی پارامترها، رتبه‌بندی لایه‌ها و هم‌پوشانی استفاده شد.

۳-۳- مدل دراستیک

روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان استفاده می‌شود که می‌توان به موارد نظیر روش‌های آماری، هم‌پوشانی- شاخص و روش‌های پردازشی اشاره کرد. از میان روش‌هایی که برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان استفاده می‌شود، رایج‌ترین روش مدل DRASTIC می‌باشد. مدل دراستیک مدل تجربی است که اولین بار در سال ۱۹۸۷ توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالت متحده آمریکا ارائه شد (Aller et al, 1987). این مدل از ترکیب هفت پارامتر هیدروژئولوژیک مؤثر در انتقال آلودگی به آب‌های زیرزمینی یعنی عمق سطح ایستابی (Ground water Depth)، تغذیه خالص آبخوان (Recharge)، محیط آبخوان (Aquifer media)، محیط خاک (Soil)، توپوگرافی (Topography)، منطقه‌ی غیراشباع (Impact of vadose zone) و هدایت هیدرولیکی (Hydraulic Conductivity) تشکیل شده است. واژه‌ی دراستیک نیز عبارت از حروف اول پارامتر تأثیرگذار در این روش می‌باشد. در شکل (۳-۱) مراحل اجرای مدل دراستیک و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان نمایش داده شده است.



شکل ۳-۱- مراحل مختلف روش مدل‌سازی دراستیک بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

این هفت پارامتر در نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی نظیر (ARCGIS) به صورت هفت لایه اطلاعاتی وارد شده و با رتبه‌دهی و وزن‌دهی و سپس تلفیق آنها (Over laying) لایه جدیدی به نام شاخص دراستیک به دست خواهد آمد. همچنین برای استفاده از پارامترهای دراستیک یک سیستم طبقه‌بندی عددی (Ranking) طراحی شد. این سیستم شامل سه بخش وزن‌ها (Weights)، بازه‌ها (Ranges) و رتبه‌ها (Ratings) است. مدل دراستیک بر چهار فرض اصلی استوار است :

(Jamrah et al. 2008; Rosen, 1994)

- آلودگی از سطح زمین به داخل زمین نفوذ می‌کند.
 - عامل اصلی انتقال آلودگی به داخل زمین آب نفوذی ناشی از بارندگی می‌باشد.
 - قابلیت تحرک آلودگی با آب یکسان است.
 - منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل دراستیک ۰/۴ کیلومترمربع یا بیشتر وسعت داشته باشد.
- یکی از بزرگترین مزایای این مدل انجام تحلیل با وجود تعدادی زیادی از لایه‌های ورودی مختلف است. این باعث می‌شود تأثیر خطاها یا عوامل نامعلوم بر لایه خروجی نهایی کاهش یابد. همچنین از مزایای دیگر این روش می‌توان اندک بودن نسبی داده‌های لازم، سهولت دستیابی به داده‌ها، دقت آماری، هزینه کم و استفاده آن در مناطق وسیع را نام برد. یکی از قابلیت‌های این روش انعطاف‌پذیری زیاد آن در انطباق با شرایط ویژه منطقه است. علاوه بر مزایای ذکر شده، روش دراستیک دارای نواقصی نیز می‌باشد. برای مثال، برخی از فاکتورهای مهم علمی، نظیر ظرفیت جذب، زمان انتقال و رقیق‌سازی مستقیماً در شاخص نهایی نقش ندارند. همچنین این روش آسیب‌پذیری سفره‌های متخلخل را در مقایسه با سفره‌های حاصل از شکستگی بیشتر برآورد می‌کند (Rosen, 1994).

۳-۴- وزن ها (weights) رتبه ها (rating) بازه ها (ranges)

هرکدام از پارامترهای مدل دراستیک یک وزن نسبی بین ۱ تا ۵ را می‌گیرد، که عدد ۵ مربوط به مؤثرترین و عدد ۱ مربوط به کم اثرترین آنهاست (جدول ۳-۱). هریک از عوامل هیدروژئولوژیک تأثیر گذار در مدل دراستیک نیز خود به بازه‌هایی تقسیم می‌شوند. به عنوان مثال لایه عمق آب زیرزمینی بر حسب متر به بازه‌هایی تقسیم می‌شوند که نسبت تأثیر هر بازه بر روی آسیب‌پذیری آبخوان متفاوت است. در این مدل به بازه‌های هریک از پارامترهای دراستیک نیز یک رتبه (Rating) از ۱ تا ۱۰ بر اساس تأثیر آنها بر آسیب‌پذیری اختصاص داده می‌شود (Aller et al. 1987). در نهایت پس از جمع آوری و رقومی کردن اطلاعات هیدروژئولوژیکی، هفت عامل نامبرده که پتاسیل آلودگی را کنترل می‌کنند. برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری با یکدیگر هم‌پوشانی و تلفیق شده و یک لایه جدید به نام شاخص دراستیک (DRASTIC INDEX) طبق رابطه (۳-۱) به دست می‌آید.

$$\text{DrDw} + \text{RrRw} + \text{ArAw} + \text{SrSw} + \text{TrTw} + \text{IrIw} + \text{CrCw} = \text{D-index} \quad \text{رابطه ۳-۱}$$

در این رابطه حروف D, R, A, S, T, I, C و پارامترهای هیدروژئولوژیک تأثیرگذار در مدل دراستیک و اندیس‌های r و w به ترتیب رتبه و وزن هر پارامتر می‌باشند. شاخص آسیب‌پذیری در این روش از حاصل ضرب هر پارامتر در رتبه‌ی آن به دست می‌آید. هرچه این شاخص بزرگتر باشد، نشان دهنده این است که آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بیشتر است.

جدول ۳-۱- وزن‌های اختصاص یافته به پارامترهای مدل دراستیک (Aller et al. 1987)

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

۳-۵- نمونه‌برداری از خاک دشت بسطام

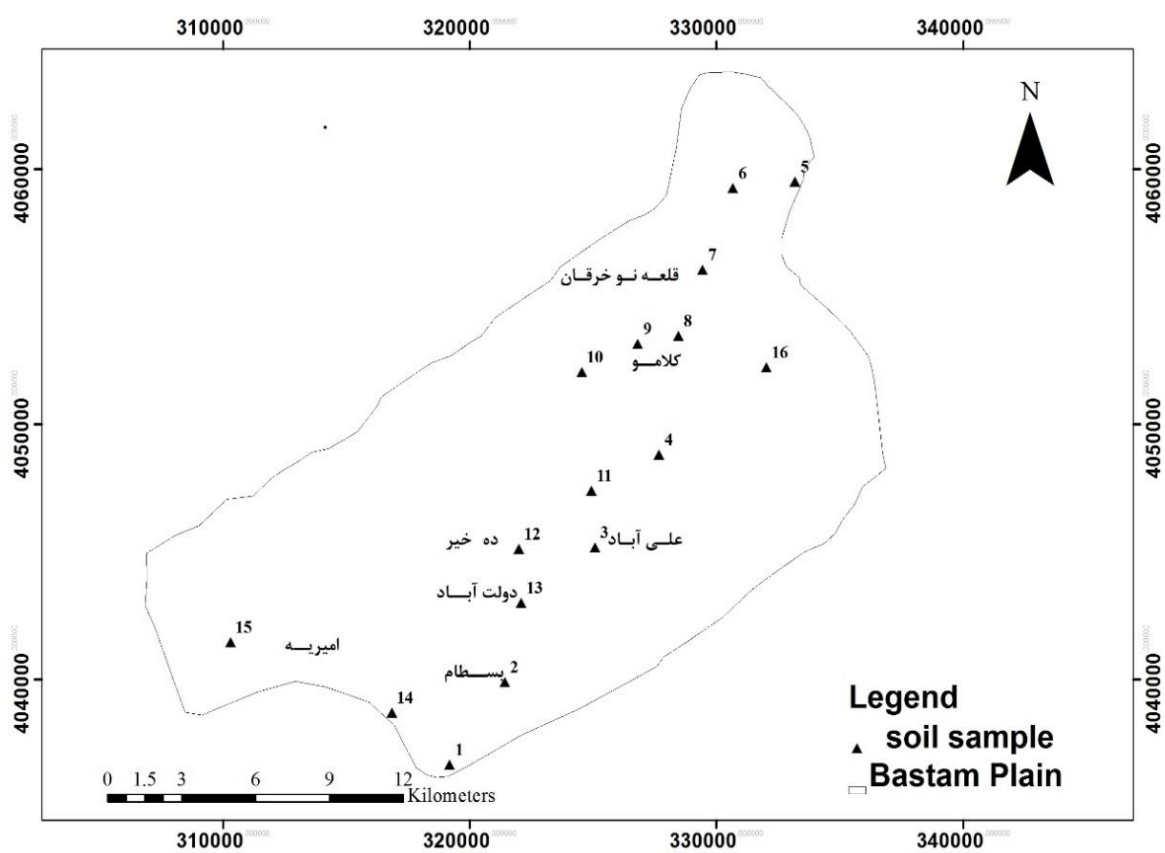
جهت تعیین بافت خاک دشت بسطام، تعداد ۱۶ نمونه از خاک دشت از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری به وزن ۲ الی ۳ کیلوگرم برداشت شد. بعد از تعیین موقعیت نقاط نمونه‌برداری با GPS و نامگذاری آنها، نمونه‌ها به آزمایشگاه ارسال گردیدند. در شکل (۳-۲) و (۳-۳) تصاویری از بافت سطحی خاک دشت بسطام و نحوه نمونه‌برداری مشاهده می‌شود. همچنین در شکل (۳-۴) موقعیت نقاط نمونه‌برداری از خاک سطحی دشت نمایش داده شده است.



شکل ۳-۲- تصاویری از بافت سطحی خاک دشت بسطام



شکل ۳-۳- نمونه برداری از خاک سطحی دشت بسطام



شکل ۳-۴- موقعیت نقاط نمونه برداری از خاک دشت بسطام

سپس در آزمایشگاه نمونه‌های خاک خشک شده و دانه‌های درشت آن جدا گردید. جهت دانه‌سنجی خاک از روش طبقه‌بندی استاندارد کشاورزی آمریکا استفاده شد. در این طبقه‌بندی اجزا سازنده خاک در سه دسته ماسه (ذرات با اندازه $0/05$ تا 2 میلی‌متر)، سیلت (ذرات با اندازه $0/02$ تا $0/05$ میلی‌متر) و رس (ذرات کوچکتر از $0/02$ میلی‌متر) تفکیک می‌شوند. نمونه‌های برداشت شده در داخل الک مش 10 (2 میلی‌متر) الک شده‌اند. برای جدا سازی ذرات ماسه، سیلت و رس نمونه‌ها به آزمایشگاه خاک پارک علم و فناوری استان سمنان ارسال گردیدند. نمونه‌ها به روش هیدرومتری مورد آنالیز قرار گرفته و درصد ذرات تشکیل دهنده آنها مشخص گردید.

۳-۶- نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌های آب زیرزمینی

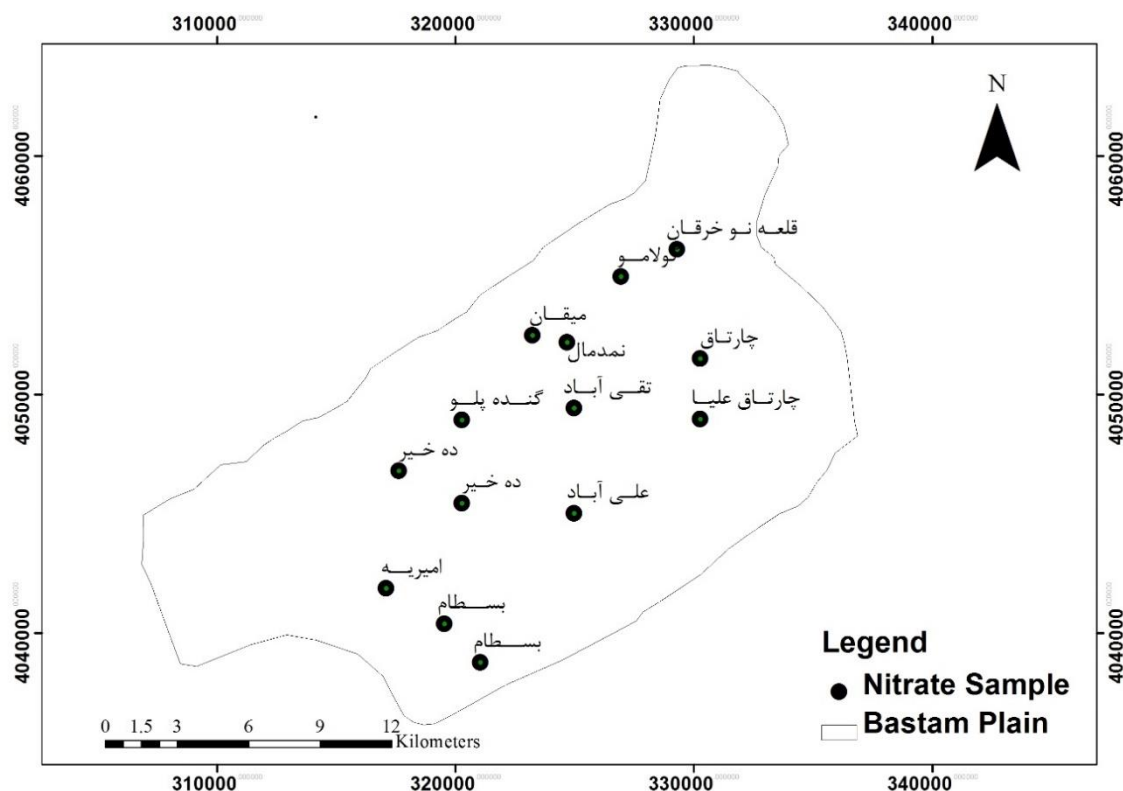
به منظور تعیین واسنجی مدل دراستیک از چاه‌های بهره‌برداری دشت بسطام که شامل چاه‌های شهر بسطام و روستاهای اطراف آن است، 14 نمونه آب برداشت گردید. تصاویری از چاه‌های بهره‌برداری از دشت بسطام در شکل (۳-۵) و نحوه نمونه‌برداری در شکل (۳-۶) مشاهده می‌شود. پس از ثبت موقعیت نمونه‌ها توسط GPS نمونه‌ها آب در ظرف‌های پلی اتیلن نیم لیتری جمع آوری شده و در دمای 4°C سانتی‌گراد نگهداری شدند. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل (۳-۷) مشاهده می‌شود. هدایت هیدرولیکی و pH نمونه‌های آب به ترتیب توسط EC متر و PH متر اندازه‌گیری شد. غلظت نیترات توسط روش اسپکترومتری در آزمایشگاه پارک علم و فناوری استان سمنان اندازه‌گیری شد.



شکل ۳-۵- تصاویری از چاه‌های بهره‌برداری در دشت بسطام



شکل ۳-۶- نمونه‌برداری از چاه‌های بهره‌برداری آب زیرزمینی دشت بسطام



شکل ۳-۷- موقعیت نقاط نمونه برداری از آب زیرزمینی در دشت بسطام

فصل چهارم:

ارزیابی آسیب پذیری آبخوان بظام

۴-۱- مقدمه

با توجه به اهمیت آبخوان دشت بسطام در تأمین آب شرب و کشاورزی در منطقه، در این پژوهش مناطق آسیب پذیر آبخوان از نظر آلودگی با استفاده از مدل دراستیک شناسایی گردید. برای این منظور پس از جمع آوری لایه های اطلاعاتی، تهیه نقشه های هم ارزش، رتبه بندی و وزن دهی هر پارامتر صورت گرفت و در نهایت نقشه شاخص آسیب پذیری آبخوان، با تلفیق همه ی پارامترها ترسیم شد. همچنین صحت سنجی مدل، به وسیله ی آنالیز نیترات، ترسیم نقشه هم ارزش نیترات و انطباق آن با نقشه شاخص آسیب پذیری بررسی گردید.

۴-۲- لایه های اطلاعاتی

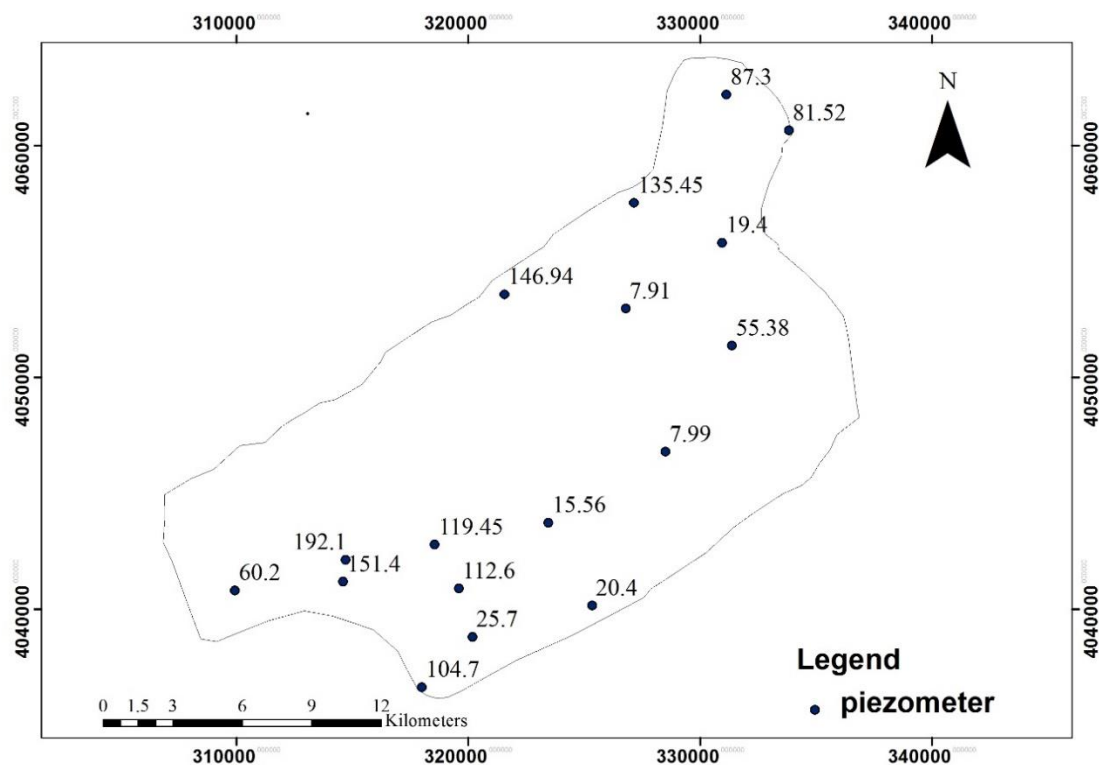
۴-۲-۱- عمق سطح ایستابی (Depth to Water table)

پارامتر عمق آب زیرزمینی، مسافتی است که ماده آلاینده طی می کند، تا به سفره آب زیرزمینی برسد (Hasininaina et al. 2010). هرچه عمق آب زیرزمینی بیشتر باشد، زمان صرف شده برای رسیدن ماده آلاینده، به آبخوان بیشتر می شود. در نتیجه در اثر برهم کنش های طبیعی از قبیل تجزیه شیمیایی، جذب و پخش امکان پالایش ماده آلاینده افزایش می یابد. بنابراین سطوح ایستابی عمیق تر کمتر در معرض آلودگی قرار می گیرند. برای آگاهی از عمق برخورد به سطح ایستابی از داده های شبکه چاه های پیزومتری و گزارش های هیدروژئولوژیکی دشت بسطام استفاده شد. این داده ها شامل طول و عرض جغرافیایی پیزومترها و عمق سطح آب زیرزمینی در آنها است که در جدول (۴-۱) ارائه شده است. شکل (۴-۱) نیز پیزومترهای دشت بسطام به همراه عمق برخورد به سطح ایستابی آنها نشان می دهد. با استفاده از درون یابی داده های عمق آب زیرزمینی نقشه هم ارزش عمق سطح ایستابی تهیه شد (شکل ۴-۲). مشاهده می شود که عمق سطح ایستابی در آبخوان بسطام از ۷ تا ۲۰۰ متر متغیر می باشد. طبق شکل (۴-۲) بخش های صورتی رنگ در نقشه، عمق کم را نشان می دهد. کمترین عمق سطح ایستابی

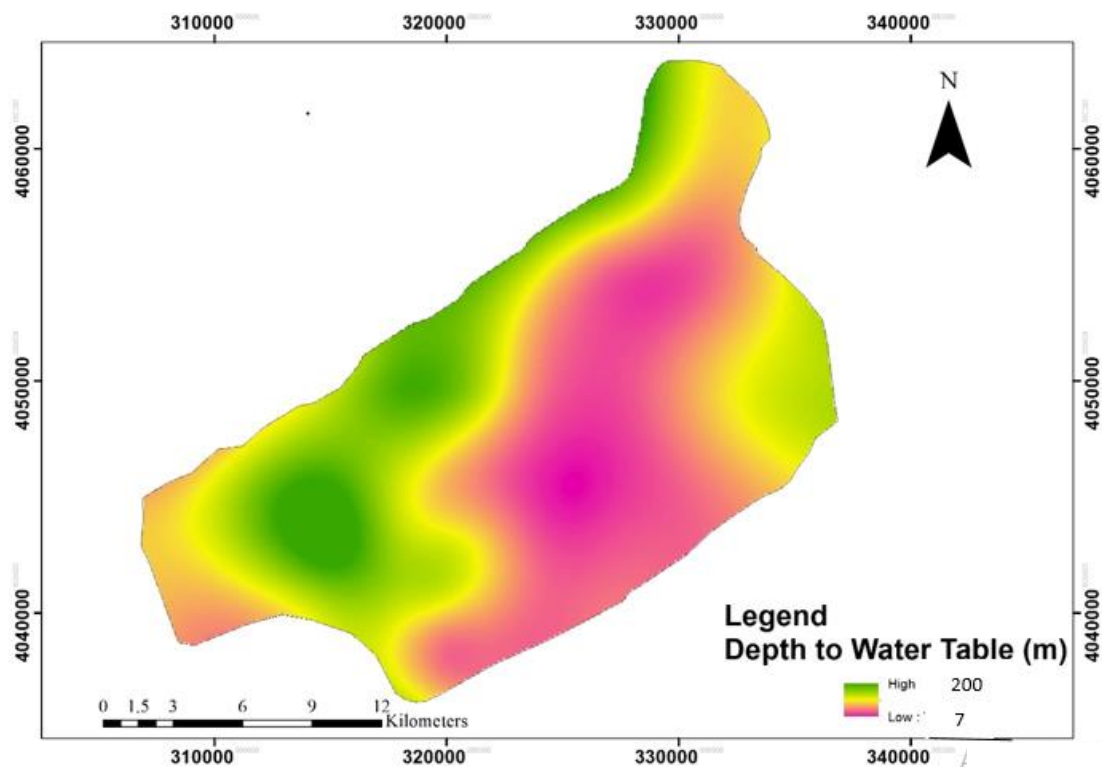
مربوط به نواحی مرکزی دشت یعنی روستای علی آباد، کلامو و قسمت‌های جنوبی شهر بسطام است. نواحی سبز رنگ عمق بیشتر سطح آب زیرزمینی نسبت به نواحی دیگر را نمایش می‌دهد.

جدول ۴-۱- مشخصات پیزومترهای حفر شده در دشت بسطام

نام پیزومتر	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	عمق آب زیر زمینی در شهریورماه ۱۳۹۱ (متر)
امیریه نکارمن	۴۰۴۰۸۱۵	۳۰۹۹۳۲	۶۰ / ۲
اقبالیه	۴۰۴۲۱۳۷	۳۱۴۷۰۴	۱۹۲ / ۱
دولت آباد	۴۰۴۲۷۹۳	۳۱۸۵۴۳	۱۱۹ / ۴۵
غیائی	۴۰۴۰۸۶۹	۳۱۹۵۸۱	۱۱۲ / ۶
مخزن	۴۰۳۶۶۴۳	۳۱۷۹۹۷	۱۰۴ / ۷
کال چخماق	۴۰۴۳۷۳۸	۳۲۳۴۵۵	۱۵ / ۵۶
شرف آباد	۴۰۴۰۱۵۹	۳۲۵۳۳۹	۲۰ / ۴
قلعه بلوچ	۴۰۴۶۷۹۳	۳۲۸۵۰۳	۷ / ۹۹
کلامو	۴۰۵۲۹۵۵	۳۲۶۷۸۹	۷ / ۹۱
شریف آباد	۴۰۵۱۳۷۱	۳۳۱۳۷۴	۵۵ / ۳۸
نجفی	۴۰۵۵۸۰۶	۳۳۰۹۵۵	۱۹ / ۴
قلعه نو خرقان	۴۰۵۷۵۲۸	۳۲۷۱۴۴	۱۳۵ / ۴۵
ابر گیاهی	۴۰۶۲۱۹۰	۳۳۱۱۲۹	۸۷ / ۳
دو راهی ابر	۴۰۶۰۶۵۵	۳۳۳۸۲۲	۸۱ / ۵۲
سید ابوالقاسم	۴۰۳۸۸۱۲	۳۲۰۱۷۰	۲۵ / ۷
میغان	۴۰۵۳۵۸۴	۳۲۱۵۴۹	۱۴۶ / ۹۴
جنوب اقبالیه	۴۰۴۱۱۸۵	۳۱۴۵۹۵	۱۵۱ / ۴



شکل ۴-۱- موقعیت پیزومترهای دشت بسطام به همراه عمق آب زیرزمینی در آنها بر حسب متر (شهریور ماه ۱۳۹۱)



شکل ۴-۲- نقشه هم‌ارزش عمق آب زیرزمینی دشت بسطام (شهریور ماه سال ۱۳۹۱)

۴-۲-۲- تغذیه خالص (Recharge)

تغذیه عاملی برای نفوذ و انتقال آلاینده‌ها به منطقه اشباع آب زیرزمینی، از طریق ناحیه غیراشباع است. علاوه بر این تغذیه عامل مهمی در کنترل فرایند پراکندگی و رقیق‌سازی آلودگی در محیط اشباع و غیراشباع می‌باشد (Piscopo, 2001). به طور معمول با افزایش میزان تغذیه در منطقه، پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی در آن منطقه افزایش می‌یابد. در مدل دراستیک فرض بر این است که عمده‌ترین عامل حرکت عمودی آب تغذیه‌ای است که از طریق بارش از سطح زمین به صورت عمودی وارد می‌شود. جهت ترسیم نقشه تغذیه ابتدا طبق روش پیسکوپو (Piscopo, 2001) اقدام به تهیه سه نقشه بارش، شیب و نفوذپذیری خاک در دشت بسطام گردید که با تلفیق این سه نقشه طبق رابطه (۴-۱) نقشه تغذیه تهیه می‌شود.

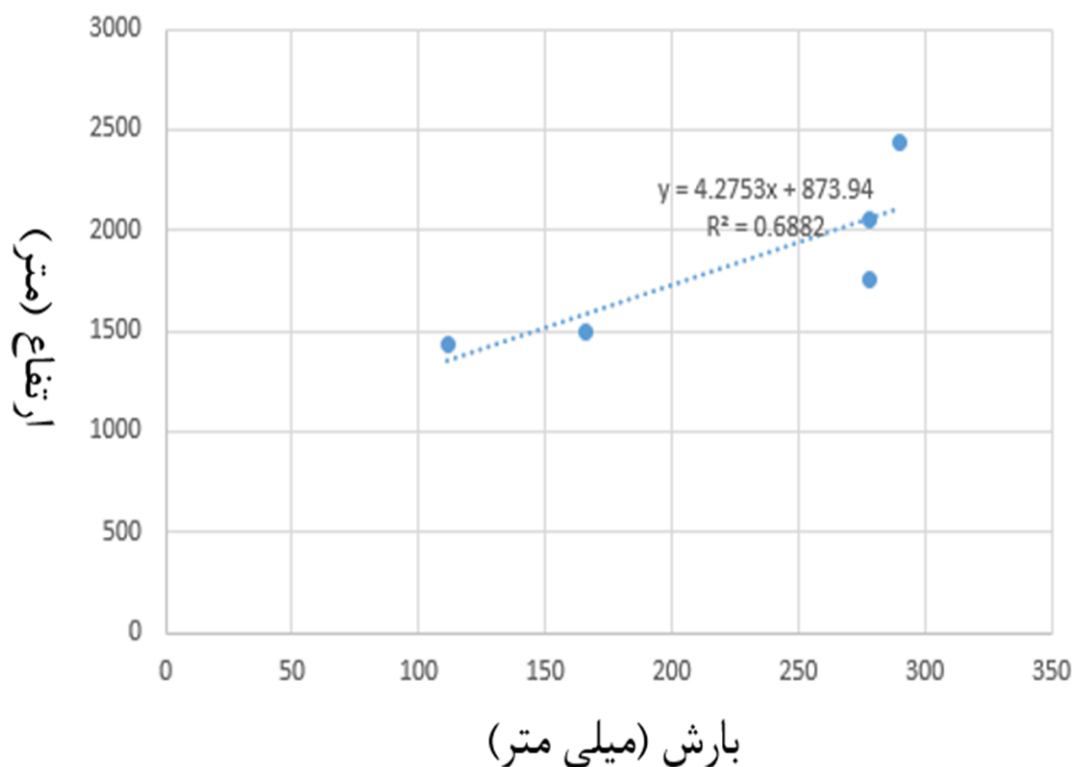
$$\text{Recharge value} = \text{Slope}(\%) + \text{Rainfall (mm)} + \text{Soil permeability} \quad \text{رابطه ۴-۱}$$

برای ایجاد نقشه بارش ابتدا اطلاعات مربوط به ۵ ایستگاه باران‌سنجی در دشت بسطام و اطراف آن جمع‌آوری شد. این اطلاعات که توسط امور آب شاهرود تهیه شده، شامل موقعیت ایستگاه‌ها، ارتفاع و میانگین بارش ۲۴ ساله در ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد نظر است (جدول ۴-۲).

جدول ۴-۲ - موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی، ارتفاع و میانگین بارش اندازه‌گیری شده در آنها (اداره امور آب شاهرود، ۱۳۹۴)

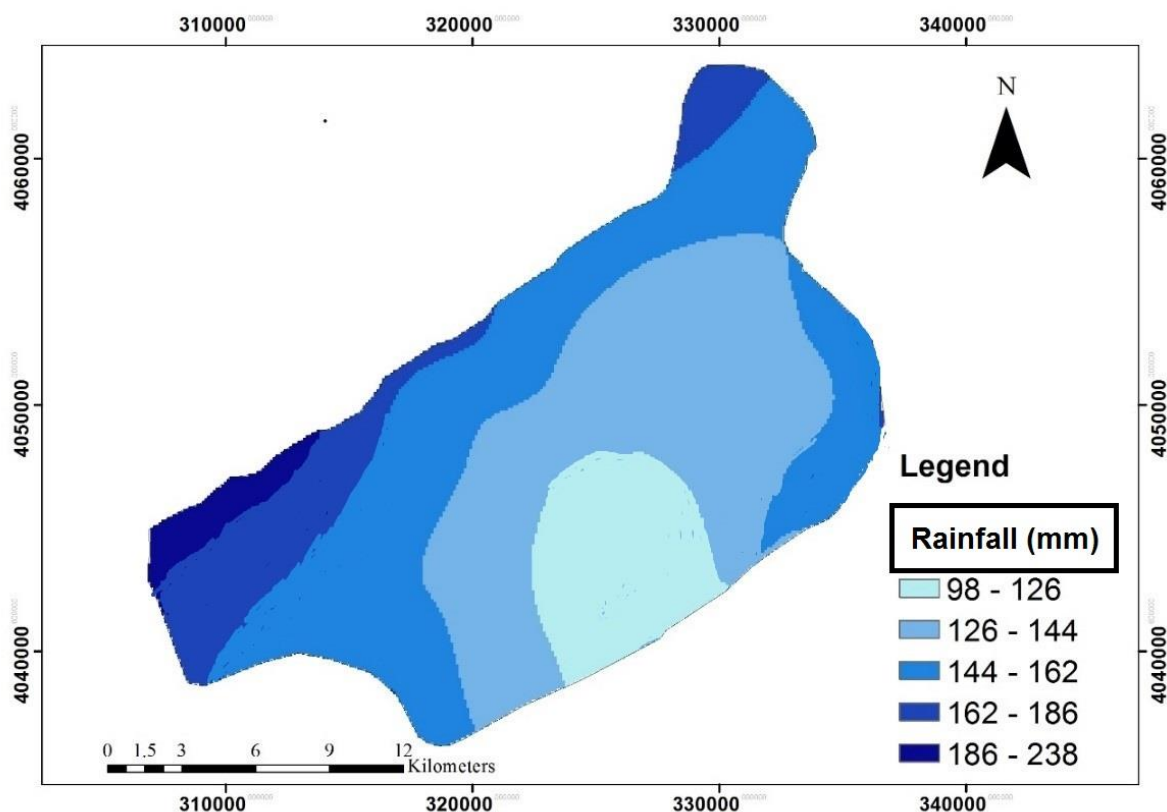
نام ایستگاه	Utm (x)	Utm (y)	بارش	ارتفاع (m)
خیج	۳۴۹۵۶۶	۴۰۵۹۲۱۵	۱۱۱/۵۷	۱۴۳۰
تاش سفلی	۲۹۱۸۷۲	۴۰۴۸۳۳۳	۲۸۹/۶	۲۴۴۰
بسطام	۳۱۸۸۸۲	۴۰۳۷۴۸۶	۱۶۵/۶	۱۵۰۰
مجن	۲۸۹۴۸۲	۴۰۴۰۱۲۷	۲۷۷/۹۳	۲۰۵۰
ابرسج	۳۱۳۶۱۴	۴۰۵۰۶۷۱	۲۷۷/۸	۱۷۵۰

با استفاده از اطلاعات جدول (۲-۴) نمودار ارتفاع و بارش منطقه مورد مطالعه به همراه معادله مربوط به آن توسط نرم افزار Excel ترسیم شد (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴- نمودار بارش و ارتفاع منطقه مورد مطالعه

با استفاده از نقاط ارتفاعی در دشت بسطام و قرار دادن آنها در معادله بارش - ارتفاع میزان بارش در نواحی مختلف دشت محاسبه گردید. با درون‌یابی نقاط بارش، نقشه هم‌باران در محدوده دشت ترسیم شد که در شکل (۴-۴) آورده شده است. بارش در دشت بسطام بین ۹۸ تا ۲۳۸ میلی‌متر متغیر می‌باشد. غرب شهر بسطام به سمت امیریه، ابرسج، روستای ابر و کوهپایه‌هایی که اطراف محدوده دشت بسطام قرار گرفتند، دارای ارتفاع بیشتر و در نتیجه بارش بیشتری هستند.

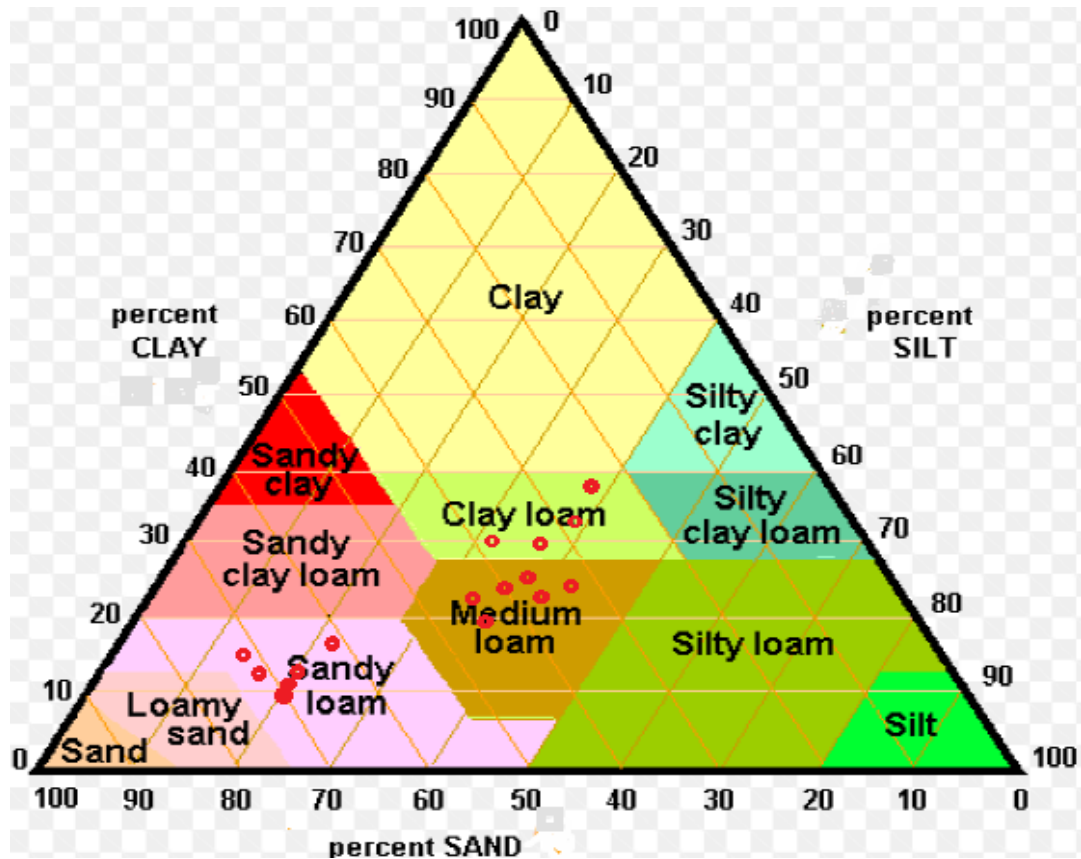


شکل ۴-۴- نقشه هم بارش دشت بسطام

جهت تهیه نقشه نفوذپذیری خاک، نمونه‌برداری از ۱۶ نقطه از خاک سطحی دشت بسطام انجام شد. نمونه‌های خاک بعد از انتقال به آزمایشگاه مورد آنالیز دانه‌بندی به روش الک و هیدرومتری قرار گرفتند. درصد ذرات ماسه، سیلت و رس در هر نمونه تعیین (جدول ۴-۳) و بافت خاک بر اساس مثلث بافت خاک دپارتمان کشاورزی آمریکا (USDA) (شکل ۴-۵) تعیین گردید.

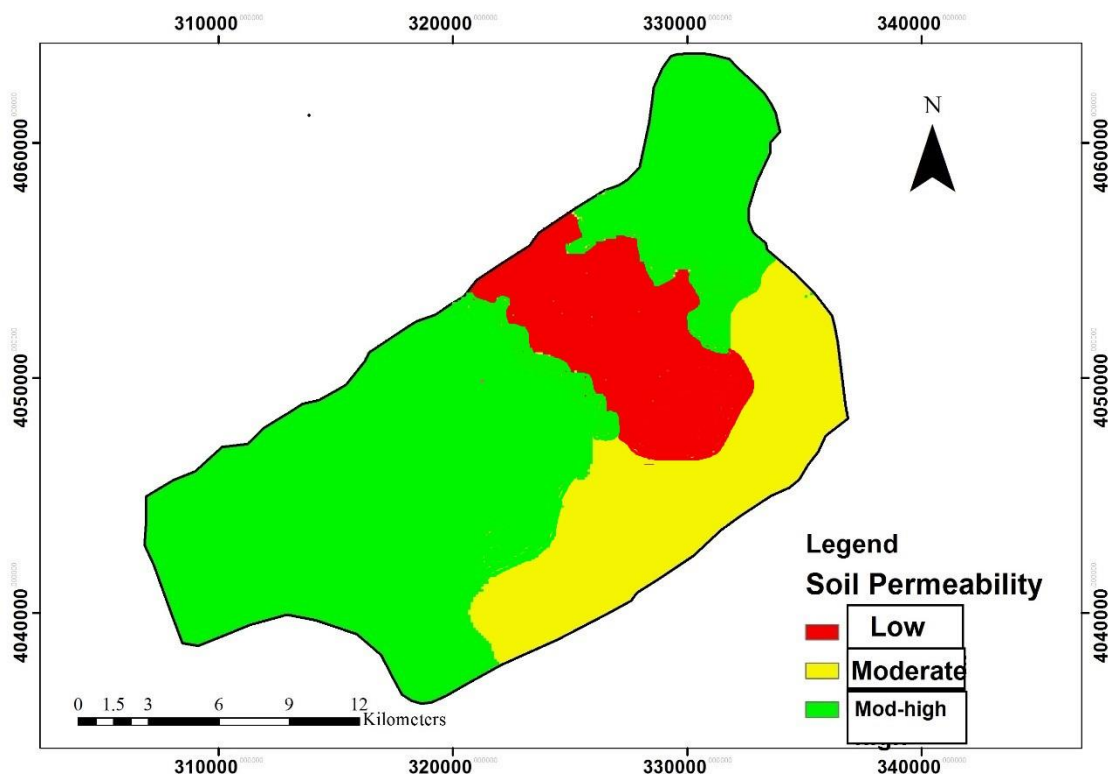
جدول ۴-۳- درصد ذرات تشکیل دهنده و بافت خاک نمونه های برداشت شده از محدوده دشت بسطام

شماره نمونه	درصد رس	درصد سیلت	درصد ماسه	بافت
۱	۱۶	۲۲	۶۲	لوم ماسه ای
۲	۲۵	۴۲	۳۳	لومی
۳	۲۱	۳۴	۴۵	لومی
۴	۳۸	۳۸	۲۴	لوم رسی
۵	۱۱	۲۰	۶۹	لوم ماسه ای
۶	۲۴	۳۶	۴۰	لومی
۷	۱۰	۲۰	۷۰	لوم ماسه ای
۸	۳۳	۳۸	۲۹	لوم رسی
۹	۳۰	۳۲	۳۸	لوم رسی
۱۰	۳۰	۳۶	۳۴	لوم رسی
۱۱	۱۳	۲۰	۶۷	لوم ماسه ای
۱۲	۱۵	۱۴	۷۱	لوم ماسه ای
۱۳	۲۰	۳۶	۴۴	لومی
۱۴	۱۳	۱۶	۷۱	لومی ماسه ای
۱۵	۱۰	۲۰	۷۰	لومی ماسه ای
۱۶	۲۵	۳۷	۳۸	لومی



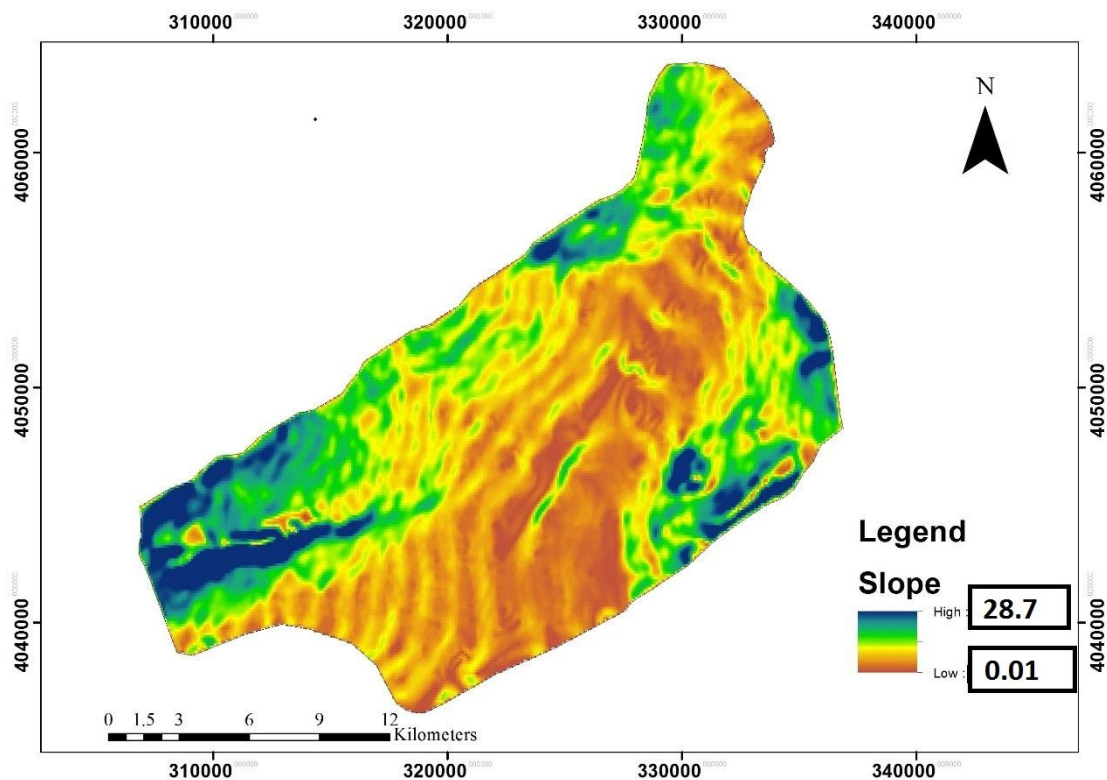
شکل ۴-۵ - مثلث بافت خاک بر اساس استاندارد دپارتمان کشاورزی آمریکا (USDA)

بعد از تعیین بافت خاک، به هر کدام از بافت‌های تعیین شده ارزش عددی اختصاص یافت. به مناطق با بافت لوم ماسه‌ای و دارای نفوذپذیری بیشتر، بیشترین ارزش و به مناطق با بافت لومی رسی و نفوذپذیری کمتر، کمترین ارزش اختصاص داده شد. در شکل (۴-۶) نقشه نفوذپذیری خاک نشان داده شده است. بخش‌های مرکزی دشت که به رنگ قرمز نشان داده شده از بافت لومی رسی تشکیل شده و دارای نفوذپذیری کم می‌باشد. قسمت‌های شمالی، جنوبی و بخشی از مرکز دشت از نفوذپذیری متوسط تا زیاد و همچنین نواحی شرقی منطقه از نفوذپذیری متوسط برخوردار است.



شکل ۴-۶- نقشه نفوذپذیری خاک دشت بسطام

نقشه درصد شیب با توجه به نقشه رقومی ارتفاع ترسیم شد که در شکل (۴-۷) قابل مشاهده است. شیب در دشت بسطام از ۰/۰۱ تا ۲۸/۷ درصد متغیر است. بخش‌های مرکزی و جنوبی دشت دارای ارتفاع و شیب کمتر می‌باشند که با رنگ قهوه‌ای و زرد در نقشه نمایش داده شده است. حاشیه دشت بسطام به سمت کوهپایه‌ها دارای شیب بیشتر بوده و بنابراین کمتر در معرض آسیب‌پذیری از لحاظ توپوگرافی قرار می‌گیرند.



شکل ۴-۷ - نقشه شیب دشت بسطام

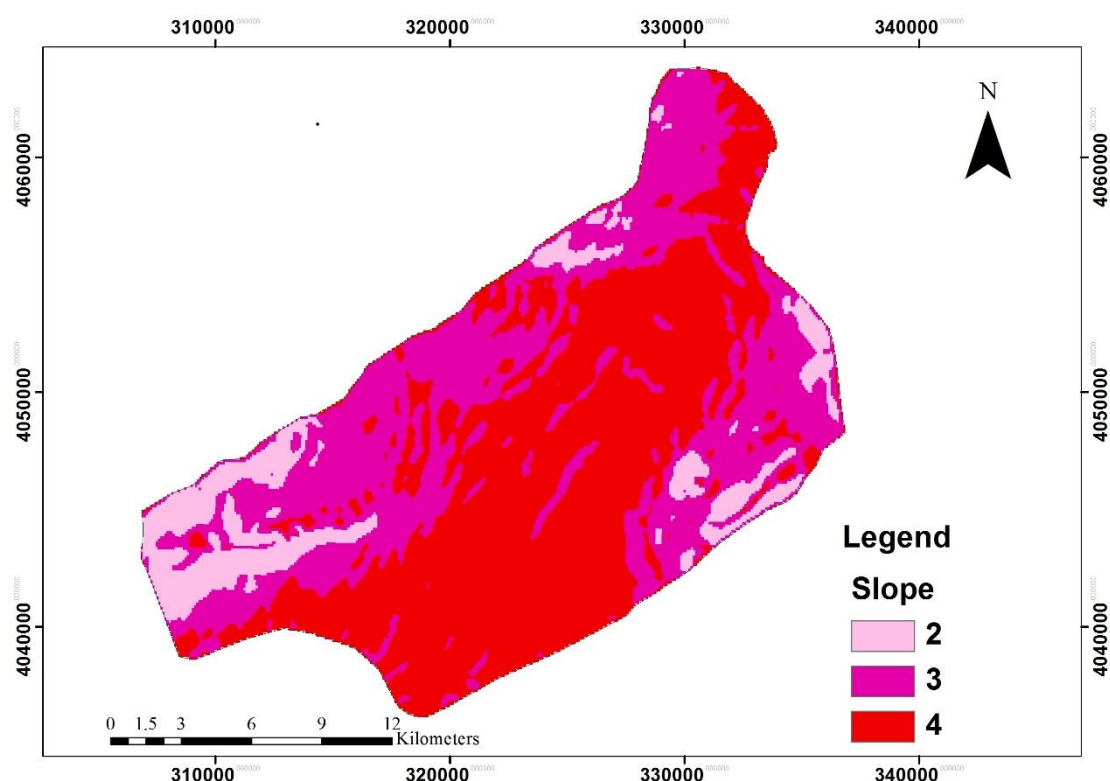
برای تهیه نقشه تغذیه خالص ابتدا باید سه نقشه فوق رتبه‌بندی شوند. نقشه‌های رتبه‌بندی بر اساس جدول (۴-۴) برای این سه نقشه ترسیم گردید.

جدول ۴-۴ - رتبه‌بندی شیب، نفوذپذیری خاک، بارش طبق روش پیسکوپو (Piscopo, 2001)

شیب (Slope %)		بارش (Rainfall mm)		نفوذپذیری خاک (Soil Permeability)	
رتبه	بازه	رتبه	بازه	رتبه	بازه
۴	>۲	۴	>۸۵۰	۵	بالا
۳	۲-۱۰	۳	۷۰۰-۸۵۰	۴	متوسط تا بالا
۲	۱۰-۲۸	۲	۵۰۰-۷۰۰	۳	متوسط
		۱	>۵۰۰	۲	کم
				۱	بسیار کم

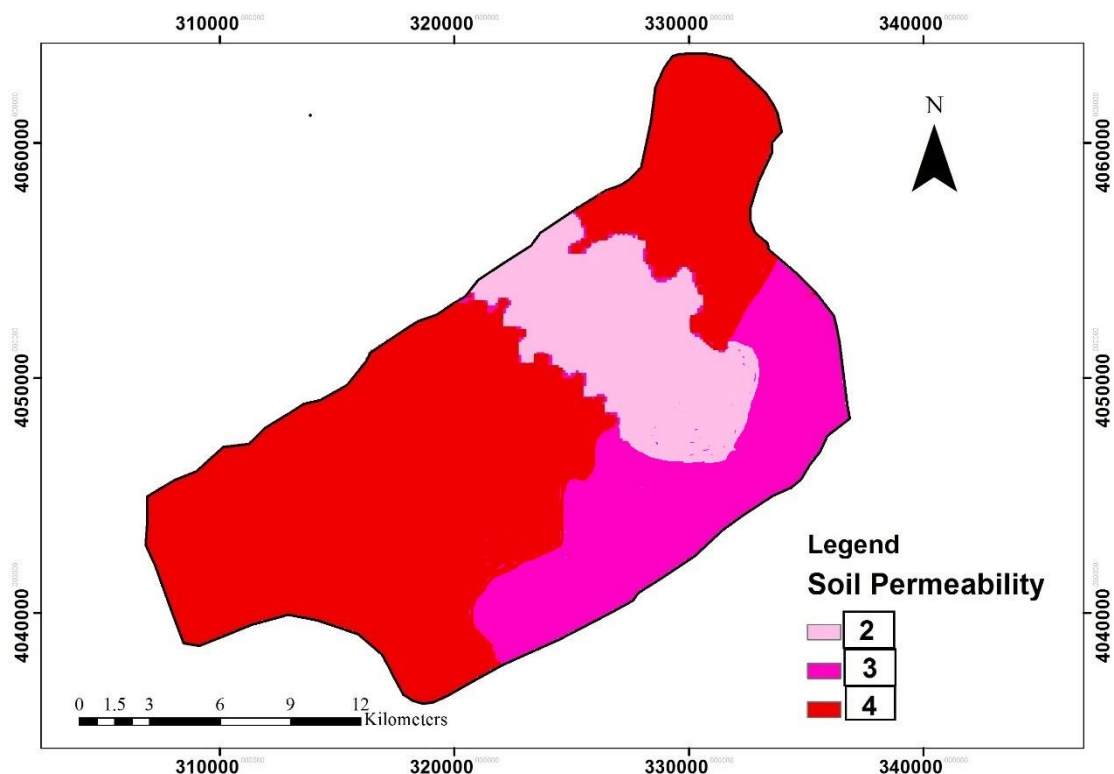
در دشت بسطام بارندگی در نقاط مختلف دشت متفاوت و کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر می‌باشد. در نتیجه، کل دشت در رتبه ۱ قرار می‌گیرد.

نقشه رتبه‌بندی شیب در شکل (۴-۸) نشان داده شده است. بخش‌های مرکزی و جنوبی دشت که با رنگ قرمز نمایش داده شده، بیشترین رتبه (رتبه ۴) را به خود اختصاص داده است.



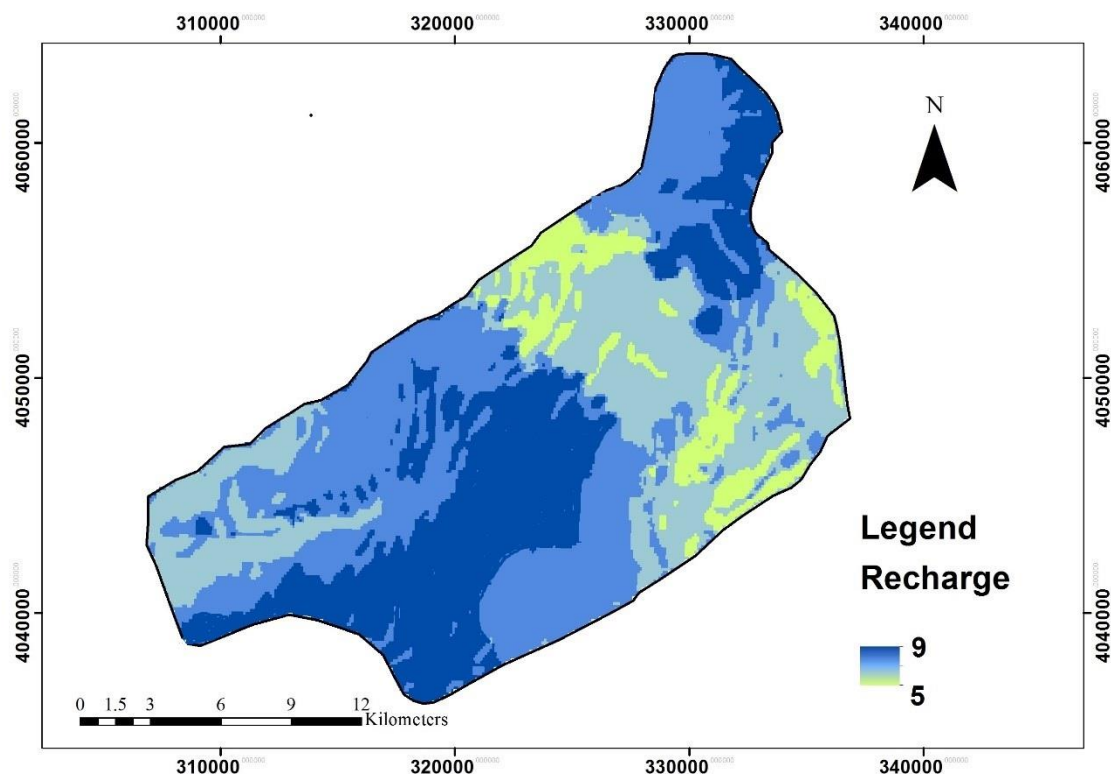
شکل ۴-۸- نقشه رتبه‌بندی شیب در دشت بسطام

نقشه رتبه‌بندی نفوذپذیری بافت خاک در شکل (۴-۹) ارائه شده است. طبق شکل (۴-۹)، بخش‌های با نفوذپذیری زیاد بیشترین رتبه و بخش‌های با نفوذپذیری کم دارای کمترین رتبه هستند. بخش‌های مرکزی آبخوان از بافت ریزتر و نفوذپذیری کمتر برخوردار هستند و نواحی قرمز پر رنگ در بخش شمال، جنوب و مرکزی دشت در نقشه دارای بافت دانه درشت‌تر و نفوذپذیری بیشتر می‌باشند. هم‌چنین نواحی شرقی دشت نیز دارای نفوذپذیری متوسط است.



شکل ۴-۹ - نقشه رتبه‌بندی نفوذپذیری خاک دشت بسطام

با تلفیق سه نقشه رتبه‌بندی شده شیب، بارش و نفوذپذیری خاک نقشه تغذیه دشت بسطام تهیه شد (شکل ۴-۱۰). همانطور که مشاهده می‌شود، بخش‌هایی از شمال، جنوب و مرکز آبخوان که به رنگ آبی پر رنگ مشخص شده، بیشترین مقدار تغذیه را به خود اختصاص داده است. افزایش میزان تغذیه در این نواحی به علت بافت دانه درشت‌تر خاک و شیب کمتر دشت می‌باشد. حاشیه دشت بسطام، بخش‌های مرکزی و جنوب‌غربی که به رنگ‌های سبز و آبی کم رنگ نمایش داده شده، به علت بافت دانه ریز و همچنین شیب بیشتر از تغذیه خالص کمتری برخوردار است.

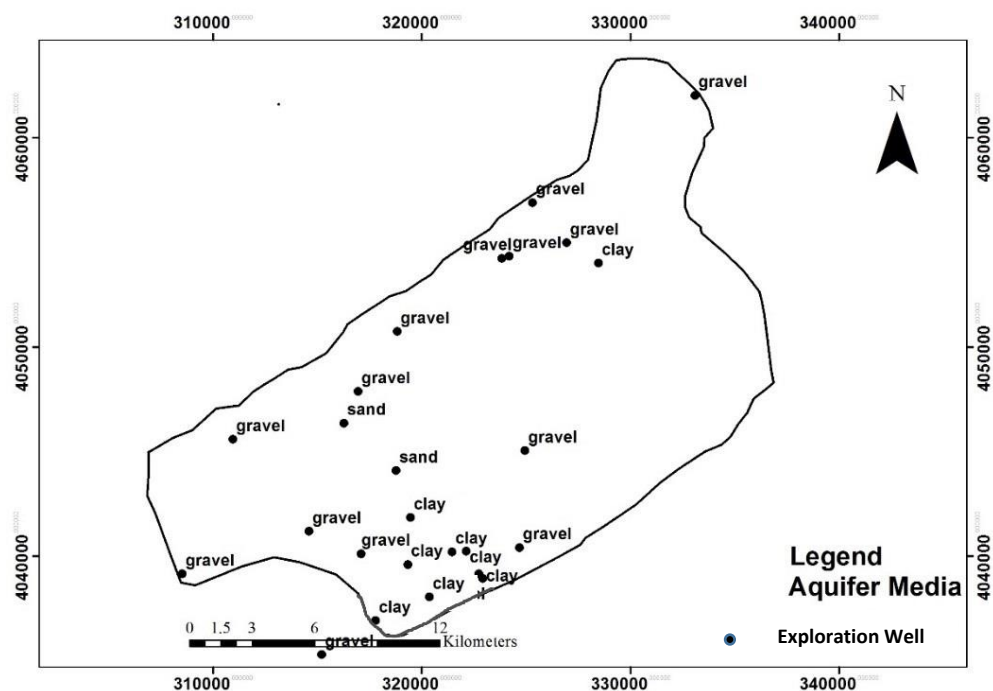


شکل ۴-۱۰- نقشه نهایی هم‌ارزش تغذیه خالص دشت بسطام

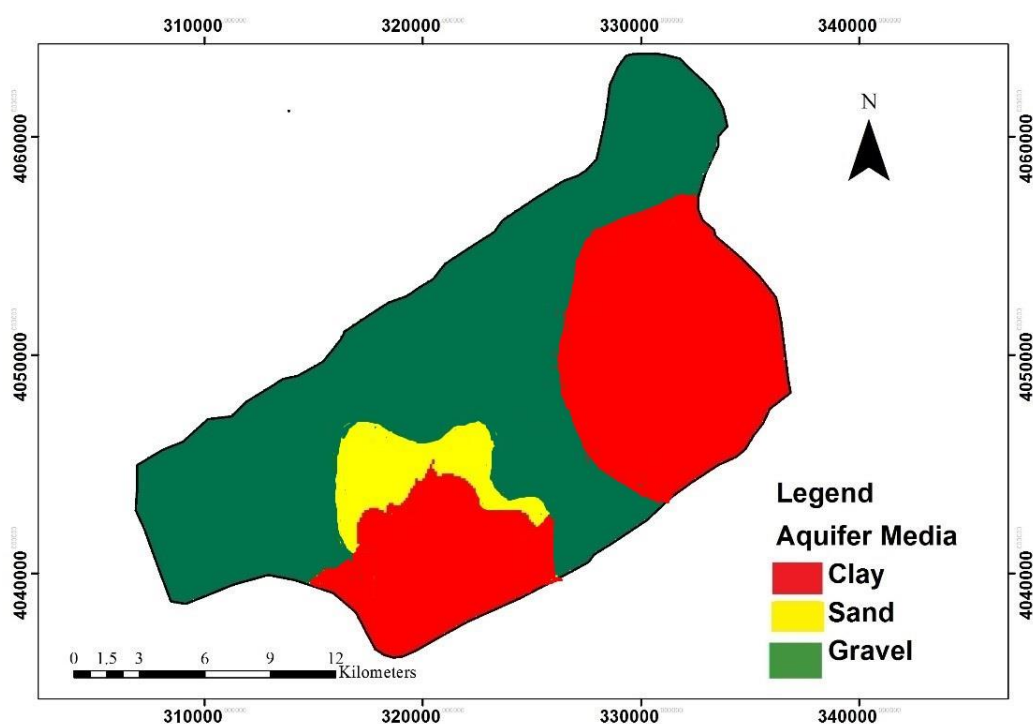
۴-۲-۳- محیط آبخوان (Aquifer Media)

محیط آبخوان امکان میرایی آلاینده را تعیین می‌کند (Tilahun and Merkel, 2010). دانه‌بندی، ترکیب و خصوصیات مواد تشکیل دهنده منطقه اشباع از جمله جنس، تخلخل، اندازه و جورشدگی بر جهت جریان آب و طول مسیر اثر آن می‌گذارد. ذرات دانه درشت و وجود درز و شکاف باعث نفوذپذیری بیشتر و ظرفیت رقیق‌شدگی کمتر می‌شوند. هر چه ذرات دانه درشت‌تر، آسیب‌پذیری بیشتر است. اطلاعات مربوط به محیط آبخوان از لاگ چاه‌های اکتشافی دشت بسطام بدست آمد. جهت تهیه نقشه هم‌ارزش، برحسب جنس مواد تشکیل دهنده محیط آبخوان به هر نقطه‌ای با جنس رسوبات مشخص، ارزش عددی اختصاص داده شده و نقشه هم‌ارزش محیط آبخوان ترسیم گردید. موقعیت چاه‌های اکتشافی به همراه بافت غالب خاک در منطقه اشباع آبخوان در شکل (۴-۱۱) آورده شده است. شکل (۴-۱۲) نقشه هم‌ارزش محیط آبخوان را نشان می‌دهد. نواحی قرمز، زرد و سبز به ترتیب نشان دهنده بافت رسی، ماسه‌ای و گراولی هستند. بخش‌هایی دارای بافت دانه درشت‌تر بیشترین ارزش و نواحی

دارای بافت دانه ریزتر کمترین ارزش را دارند. بیشتر محدوده اشباع آبخوان از بافت گراولی تشکیل شده است.



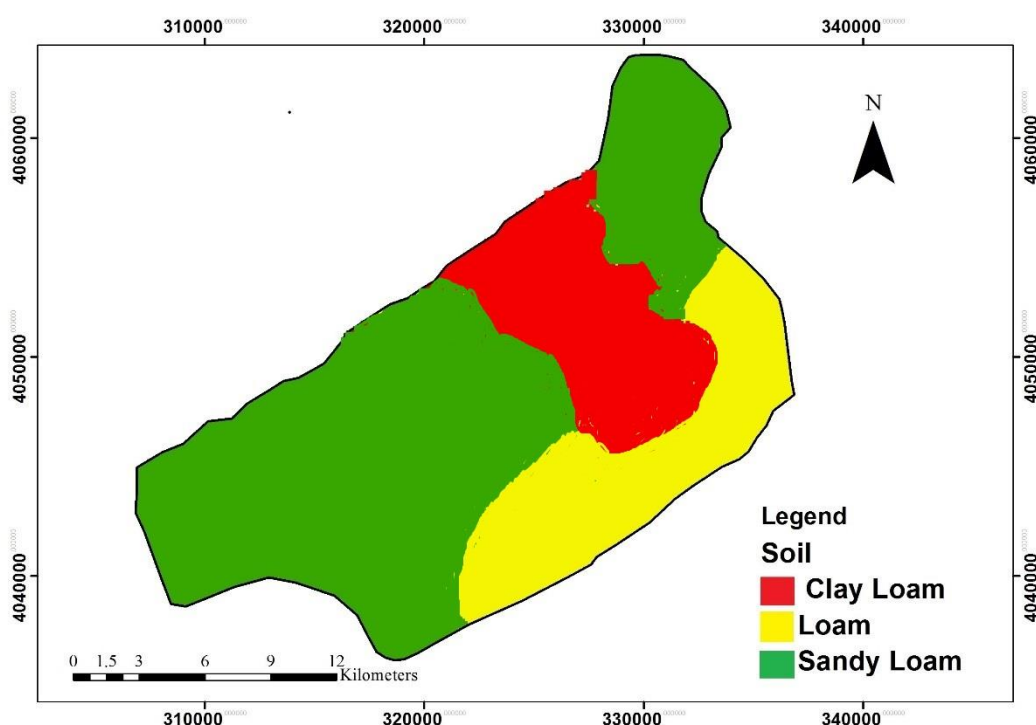
شکل ۴-۱۱ - موقعیت چاه‌های اکتشافی در دشت بسطام و بافت غالب رسوبات در محیط اشباع آبخوان



شکل ۴-۱۲ - نقشه هم‌ارزش محیط آبخوان در دشت بسطام

۴-۲-۴- محیط خاک (Soil)

خاک به بخش هوازده بالایی منطقه غیراشباع گفته می‌شود که تا حدی ریشه گیاهان در آن نفوذ می‌کند. این بخش از نظر فعالیت‌های بیولوژیکی و وجود مواد آلی بسیار حائز اهمیت است. محیط خاک در حقیقت میزان آب نفوذی و نفوذ آلاینده‌ها را به داخل آبخوان کنترل می‌کند. به طور کلی هر قدر اندازه دانه‌های تشکیل دهنده محیط خاک ریزتر باشد، نفوذپذیری خاک کمتر است و هرچه درصد مواد آلی و ضخامت خاک بیشتر باشد، پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی کمتر خواهد بود. نقشه بافت خاک همانطور که در بخش تغذیه بیان شد، با استفاده از ارزش گذاری بافت سطحی خاک دشت بسطام تهیه گردید که در شکل (۴-۱۳) مشاهده می‌شود. مناطق با بافت دانه ریز کمترین ارزش و مناطق با بافت دانه درشت بیشترین ارزش را به خود اختصاص داده است. در این شکل نواحی مرکزی دشت که به رنگ قرمز نمایش داده شده دارای بافت لومی رسی و نواحی زرد و سبز رنگ به ترتیب دارای بافت دانه متوسط (لومی) و دانه درشت (لومی ماسه‌ای) هستند.



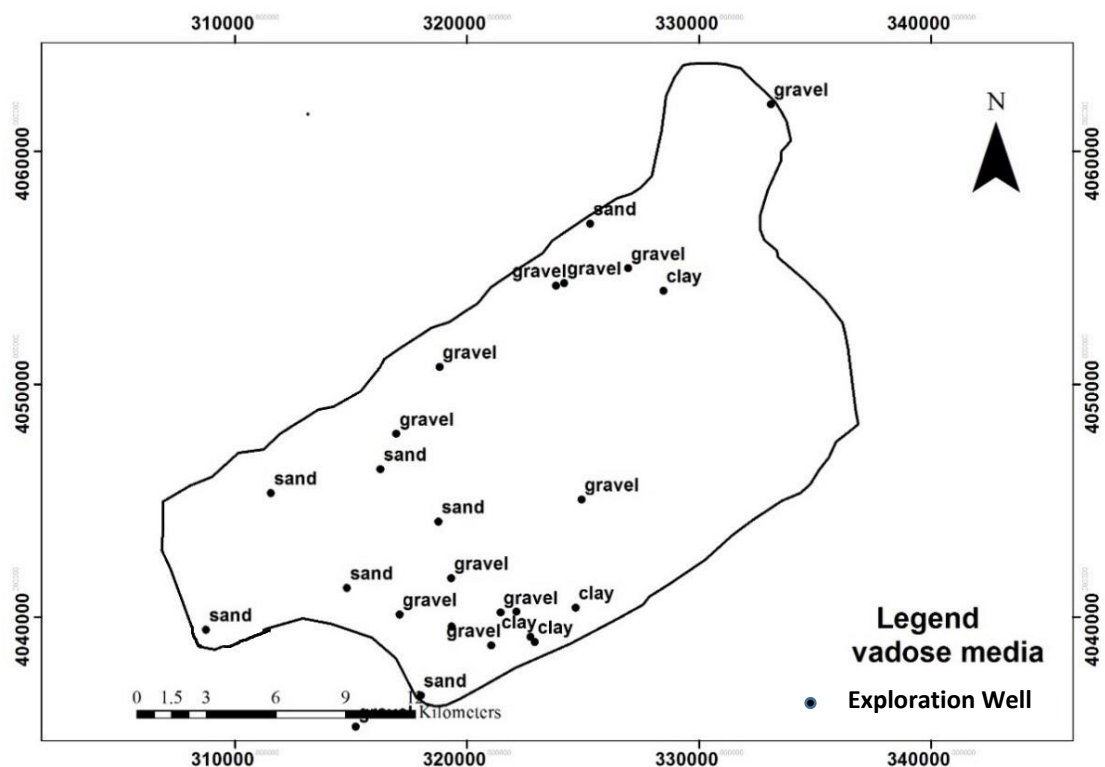
شکل ۴-۱۳- نقشه هم‌ارزش بافت خاک سطحی در دشت بسطام

۴-۲-۵- توپوگرافی (Topography)

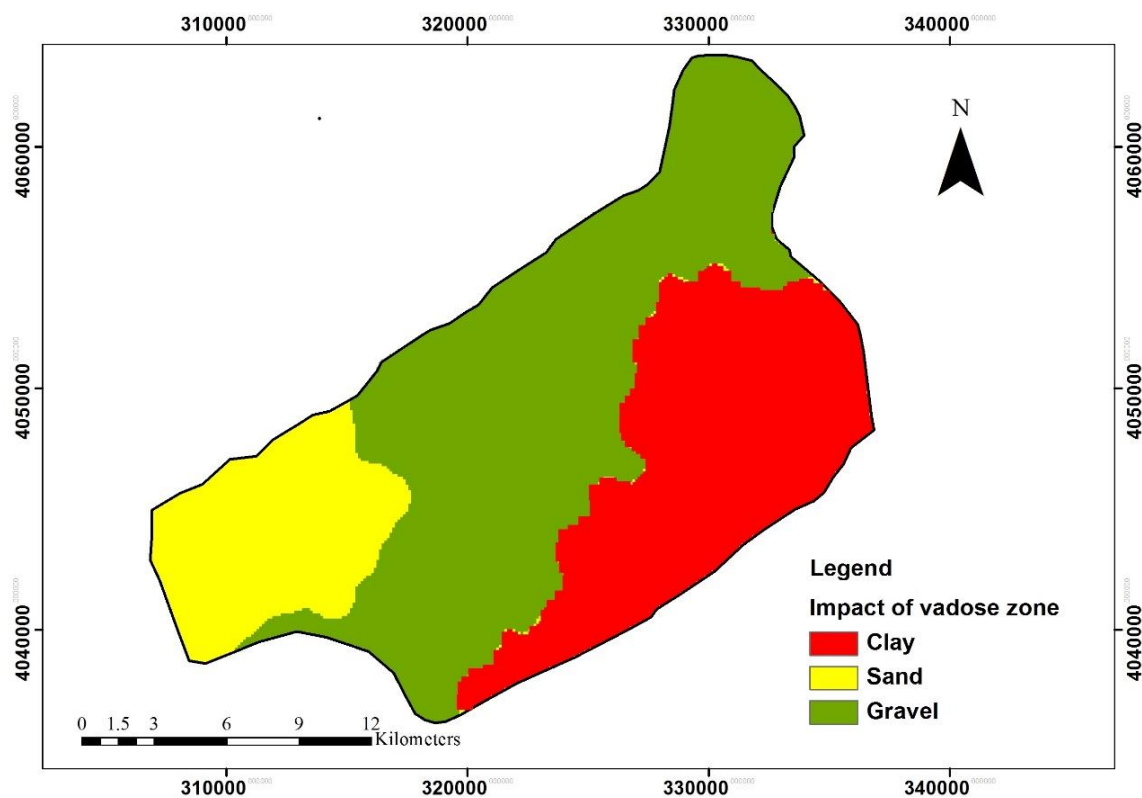
توپوگرافی به تغییرات شیب سطح زمین اشاره دارد. شیب سطح زمین علاوه بر این که بر حرکت و نفوذ آب‌های سطحی و آلاینده‌ها در سطح زمین تأثیر می‌گذارد، بر گسترش خاک و در نتیجه بر میرایی آلاینده‌ها نیز مؤثر است. بنابراین هر چه شیب زمین کمتر باشد، زمان تماس آب سطحی و آلاینده‌ها با سطح زمین بیشتر شده و در نتیجه امکان نفوذ آلاینده‌ها به داخل آبخوان بیشتر می‌شود و ضخامت خاک نیز افزایش می‌یابد. برای تهیه نقشه شیب در این مطالعه از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) استفاده شد. نقشه شیب دشت بسطام قبلاً در بند ۴-۲-۲ (شکل ۴-۷) ترسیم گردید که از تکرار آن در این بخش خودداری می‌گردد.

۴-۲-۶- محیط غیراشباع (Impact of Vadoze Zone)

محیط غیراشباع در مدل دراستیک شامل بخش بین سطح ایستابی و محیط خاک بوده که خلل و فرج آن با آب و هوا پر شده است. این ناحیه عبور و رقیق شدن ماده آلاینده به منطقه اشباع را کنترل می‌کند. در این منطقه فرصت جذب و یا انحلال آلاینده وجود دارد. لازم به ذکر است که الگوی حرکت مواد محلول نیز حائز اهمیت است. تأثیر منطقه غیراشباع در آلودگی آبخوان مشابه محیط خاک بوده و به نفوذپذیری و خصوصیات مواد تشکیل دهنده زون غیراشباع بستگی دارد. اطلاعات مربوط به محیط غیراشباع در منطقه مورد مطالعه از طریق لاگ حفاری چاه‌های اکتشافی و مطالعات زمین‌شناسی مربوط به دشت بسطام بدست آمد. موقعیت چاه‌های اکتشافی به همراه بافت غالب در محیط غیراشباع، در شکل (۴-۱۴) آورده شده است. نقشه‌ی هم‌ارزش مربوط به محیط غیراشباع همانند نقشه محیط اشباع دشت ترسیم شد که در شکل (۴-۱۵) ارائه شده است. در این نقشه نواحی قرمز، زرد و سبز به ترتیب دارای بافت رسی، ماسه‌ای و گراولی هستند. بخش‌های با بافت دانه درشت دارای بیشترین ارزش و بخش‌هایی با بافت دانه ریز دارای کمترین ارزش می‌باشند. نیمی از آبخوان در محیط غیراشباع دارای بافت گراولی است.



شکل ۴-۱۴- نقشه موقعیت چاه‌های اکتشافی در دشت بسطام و بافت غالب رسوبات در محیط غیراشباع آبخوان



شکل ۴-۱۵- نقشه هم‌ارزش محیط غیراشباع آبخوان در دشت بسطام

۷-۲-۴- هدایت هیدرولیکی (Hydraulic Conductivity)

این پارامتر مربوط به توانایی مواد تشکیل‌دهنده آبخوان در انتقال آب، می‌باشد (Alam et al. 2014). هدایت هیدرولیکی را با حرف بزرگ K نمایش می‌دهند و بعد آن از نوع سرعت است. در این تحقیق اطلاعات مربوط به هدایت هیدرولیکی با بررسی نتایج آزمون افت پله‌ای انجام شده در دشت بسطام بدست آمده است. بر اساس نتایج حاصل از این آزمون‌ها مقدار قابلیت انتقال T با استفاده از فرمول تجربی زیر (رابطه ۲-۴) محاسبه شده است. در این رابطه T قابلیت انتقال برحسب $(\frac{m^2}{day})$ ، Q دبی بر حسب $(\frac{m^3}{day})$ ، S افت برحسب (m) است.

$$T = 22.9 \frac{Q^{0.66}}{S} \quad \text{رابطه ۲-۴}$$

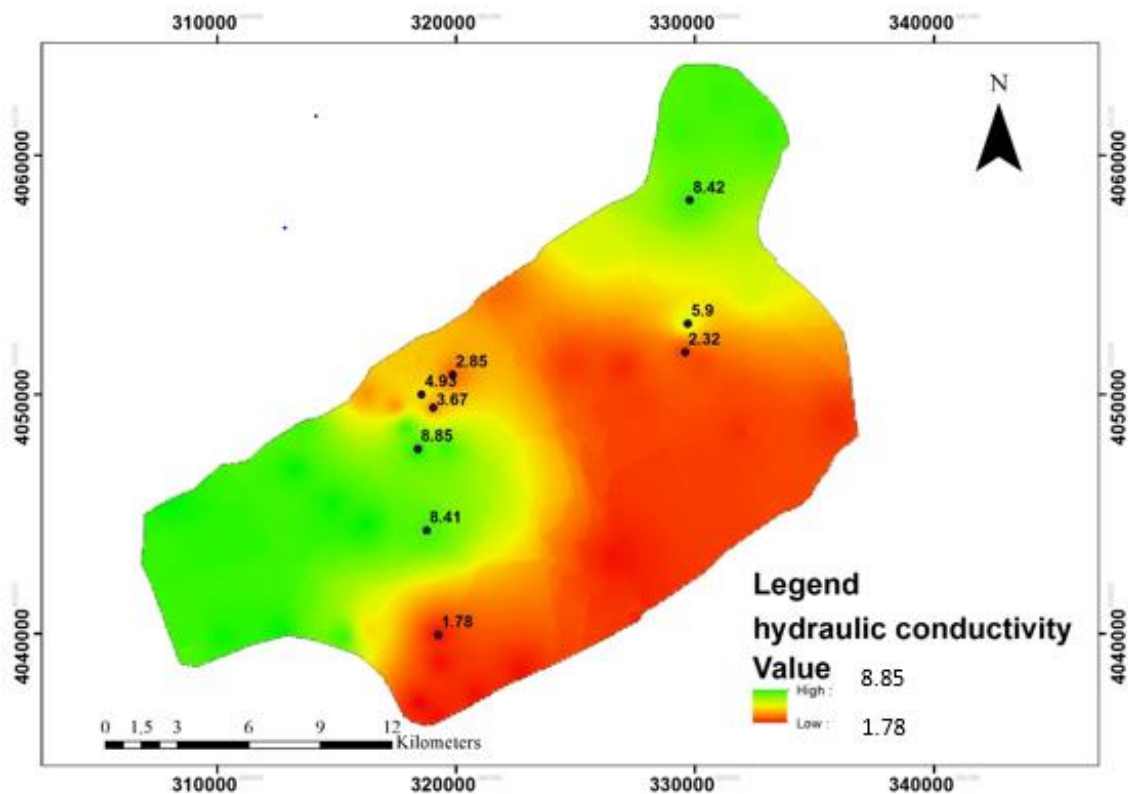
ضخامت آبخوان بسطام از بررسی مطالعات ژئوفیزیکی دشت بسطام که در سال ۱۳۸۸ توسط مهندسين مشاور سازند آب پارس انجام شده است، محاسبه گردید (خرسندی، ۱۳۸۹). با محاسبه T و ضخامت مقدار K (هدایت هیدرولیکی) از طریق رابطه (۳-۴) محاسبه شد. در این معادله K هدایت هیدرولیکی، T قابلیت انتقال و b ضخامت آبخوان است. در جدول (۴-۴) موقعیت جغرافیایی چاه‌هایی که آزمایش افت پله‌ای انجام شده، به همراه مقادیر T و K محاسبه شده آنها، نشان داده شده است.

$$T = Kb \quad \text{رابطه ۳-۴}$$

جدول ۴-۵ - مقادیر قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت بسطام

نام محل	Utm x	Utm y	$T(\frac{m^2}{day})$	$K(\frac{m}{day})$
۱	۳۱۸۷۶۲	۴۰۴۴۳۱۲	۲۱۰/۳	۸/۴۱
۲	۳۲۹۷۷۶	۴۰۵۸۱۱۰	۲۵۲/۷	۸/۴۲
۳	۳۱۹۸۴۱	۴۰۵۰۸۳۰	۱۴۲/۷	۲/۸۵
۴	۳۱۹۰۳۲	۴۰۴۹۴۵۰	۱۸۳/۸	۳/۶۷
۵	۳۲۹۶۹۶	۴۰۵۲۹۵۱	۴۱۳/۱	۵/۹
۶	۳۲۹۵۸۷	۴۰۵۱۷۶۰	۱۶۲/۴	۲/۳۲
۷	۳۱۹۲۳۵	۴۰۳۹۹۴۸	۱۷۸/۲	۱/۷۸
۸	۳۱۸۵۴۸	۴۰۴۹۹۹۷	۲۴۶/۶	۴/۹۳
۹	۳۱۸۳۹۷	۴۰۴۷۷۱۵	۲۶۵/۷	۸/۸۵

پس از محاسبه مقادیر K، نقشه هم‌ارزش هدایت هیدرولیکی آبخوان از طریق درون‌یابی اعداد هدایت هیدرولیکی تهیه شد. در شکل (۴-۱۶) نقشه هم‌ارزش هدایت هیدرولیکی آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، هدایت هیدرولیکی از ۱/۷۸ تا ۸/۸۵ ($\frac{m}{day}$) متغیر می‌باشد. بخش‌های شمالی و غربی آبخوان که با رنگ سبز نشان داده شده است، هدایت هیدرولیکی بیشتری را نسبت به نواحی دیگر نشان می‌دهند. همچنین نواحی قرمز رنگ از هدایت هیدرولیکی کمتری نسبت به نواحی دیگر برخوردار می‌باشد.



شکل ۴-۱۶- نقشه هم‌ارزش هدایت هیدرولیکی دشت بسطام

۴-۳- رتبه‌بندی و وزن‌دهی پارامترهای مدل دراستیک

پس از جمع‌آوری داده‌ها و ایجاد لایه‌های اطلاعاتی GIS اقدام به رتبه‌بندی (Reclassfiy) و وزن‌دهی هریک از لایه می‌شود. رتبه‌بندی تغذیه خالص طبق روش پیسکوپو (Piscopo, 2001) در جدول (۴-۶) و رتبه‌بندی دیگر پارامترها بر اساس روش آلر و همکاران (Aller *et al.* 1987) در جدول (۴-۷) انجام شده است.

جدول ۴-۶- رتبه‌بندی تغذیه خالص طبق روش پیسکوپو (Piscopo, 2001)

تغذیه خالص	(Recharge)
رتبه	بازه
۸	>9
۵	۷-۹
۳	۵-۷

جدول ۴-۷- رتبه بندی عمق آب زیرزمینی، شیب، محیط اشباع، محیط غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی بر طبق روش آلر و همکاران (Aller et al. 1987)

رتبه بندی شیب		رتبه بندی عمق آب زیرزمینی	
رتبه (Factor)	بازه (Range)	رتبه (Factor)	بازه (Range)
۱۰	۰ - ۲	۸	۷ / ۱۲ - ۱۰ / ۵
۹	۲ - ۶	۵	۱۰ / ۵ - ۱۷ / ۵
۵	۶ - ۱۲	۳	۱۷ / ۵ - ۲۳ / ۵
۳	۱۲ - ۱۸	۲	۲۳ / ۵ - ۳۰ / ۴
۱	> ۱۸	۱	$X < ۳۰ / ۴$

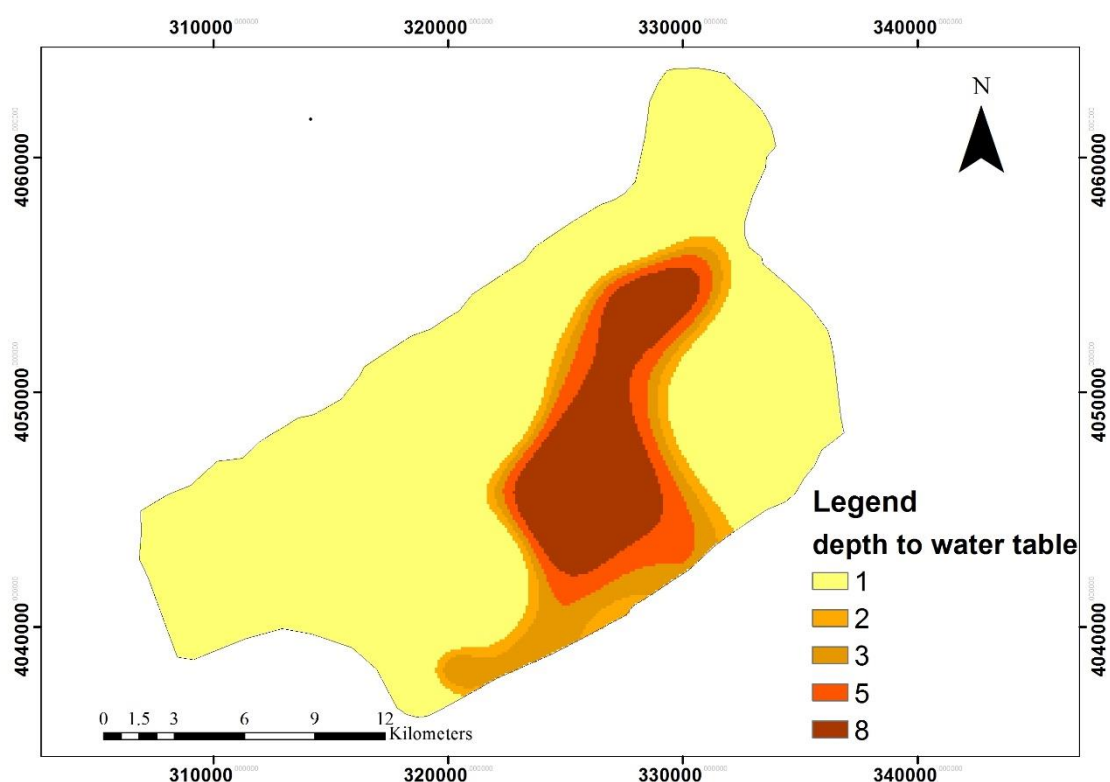
رتبه بندی محیط غیر اشباع آبخوان		رتبه بندی محیط اشباع آبخوان	
رتبه (Factor)	بافت (Texture)	رتبه (Factor)	بافت (Texture)
۹	گراول	۹	گراول
۵	ماسه	۵	ماسه
۱	رس	۱	رس

رتبه بندی هدایت هیدرولیکی		رتبه بندی بافت خاک	
رتبه (Factor)	بازه (Range)	رتبه (Factor)	بافت (Texture)
۴	۹/۶۶ - ۱۱/۲۱	۹	ماسه
۳	۵/۳۳ - ۹/۶۶	۶	لوم ماسه ای
۲	۱ - ۵/۳۳	۵	لوم
		۳	لوم رسی

۴-۳-۱- رتبه بندی عمق آب زیرزمینی

رتبه بندی پارامتر عمق آب زیرزمینی توسط جدول (۴-۷) صورت گرفته است. مناطقی از دشت بسطام که دارای کمترین عمق آب زیرزمینی هستند، بیشترین رتبه را به خود اختصاص می دهند و آسیب

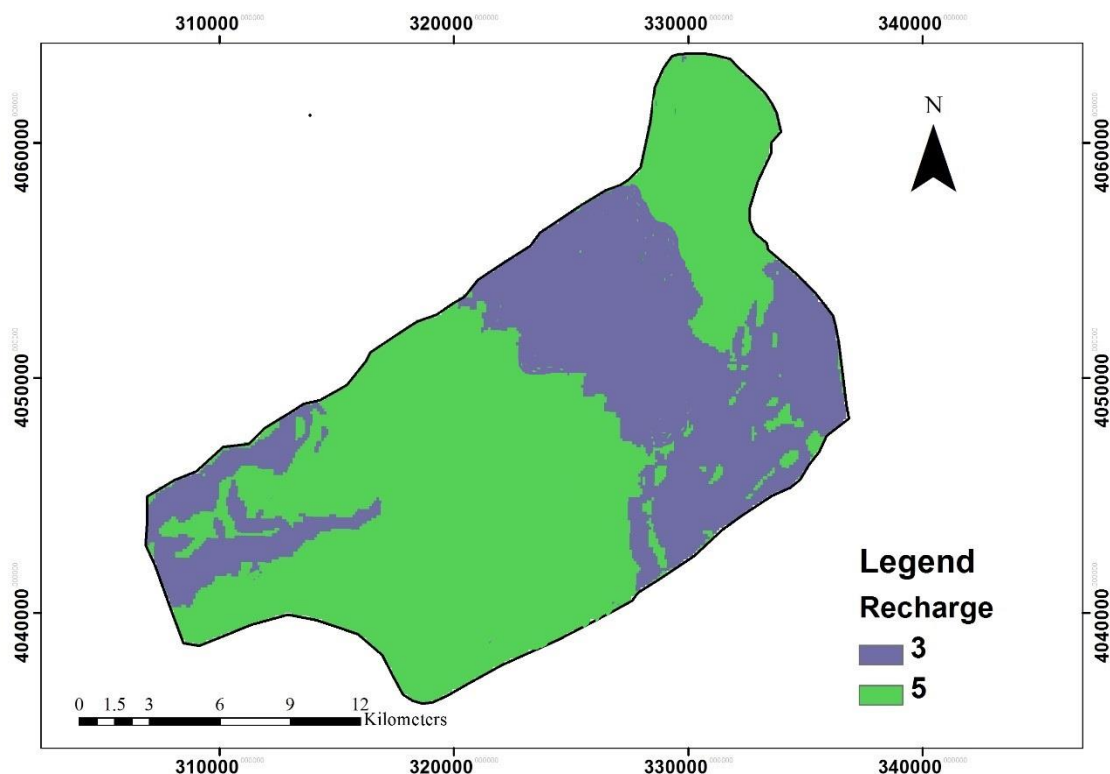
پذیری بیشتری دارند. بخش‌هایی که عمق آب بیشتر از ۳۰ متر است، رتبه یک را به خود اختصاص داده و نسبت به نواحی دیگر، کمتر در معرض آلودگی قرار می‌گیرند. شکل (۴-۱۷) نقشه رتبه‌بندی عمق آب زیرزمینی که با توجه به جدول (۴-۷) ترسیم شده است را نشان می‌دهد. قسمت‌های مرکزی دشت و جنوب شهر بسطام دارای عمق کمتر بوده و بیشتر مورد آسیب‌پذیری قرار می‌گیرند.



شکل ۴-۱۷- رتبه‌بندی عمق آب زیرزمینی دشت بسطام

۴-۳-۲- رتبه‌بندی تغذیه خالص

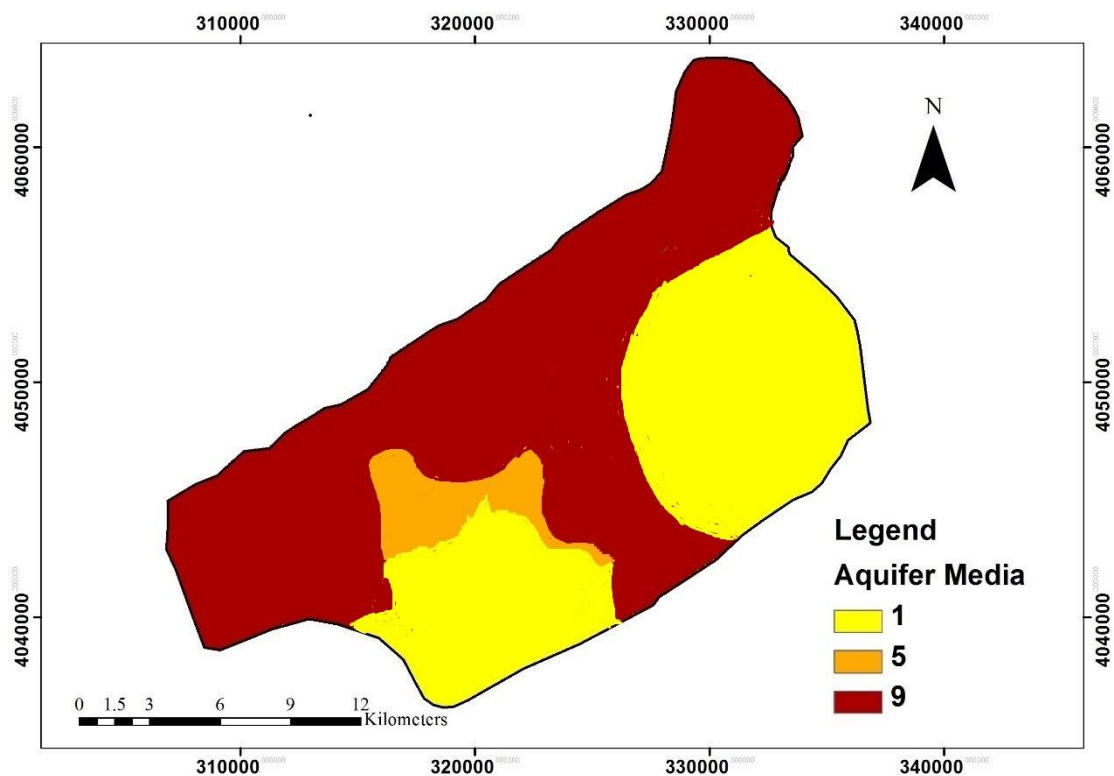
میزان تغذیه براساس جدول (۴-۶)، طبقه‌بندی و سپس رتبه‌بندی شده است. نواحی با شیب کم و بافت دانه درشت دارای بیشترین رتبه بوده و بنابراین در معرض آسیب‌پذیری بیشتر قرار دارند. بخش‌های حاشیه دشت به علت ارتفاع بیشتر و بخش اندکی در مرکز دشت به دلیل بافت دانه ریز از تغذیه کمتری برخوردار می‌باشد (شکل ۴-۱۸).



شکل ۴-۱۸- نقشه رتبه بندی تغذیه خالص در دشت بسطام

۴-۳-۳- رتبه بندی محیط آبخوان

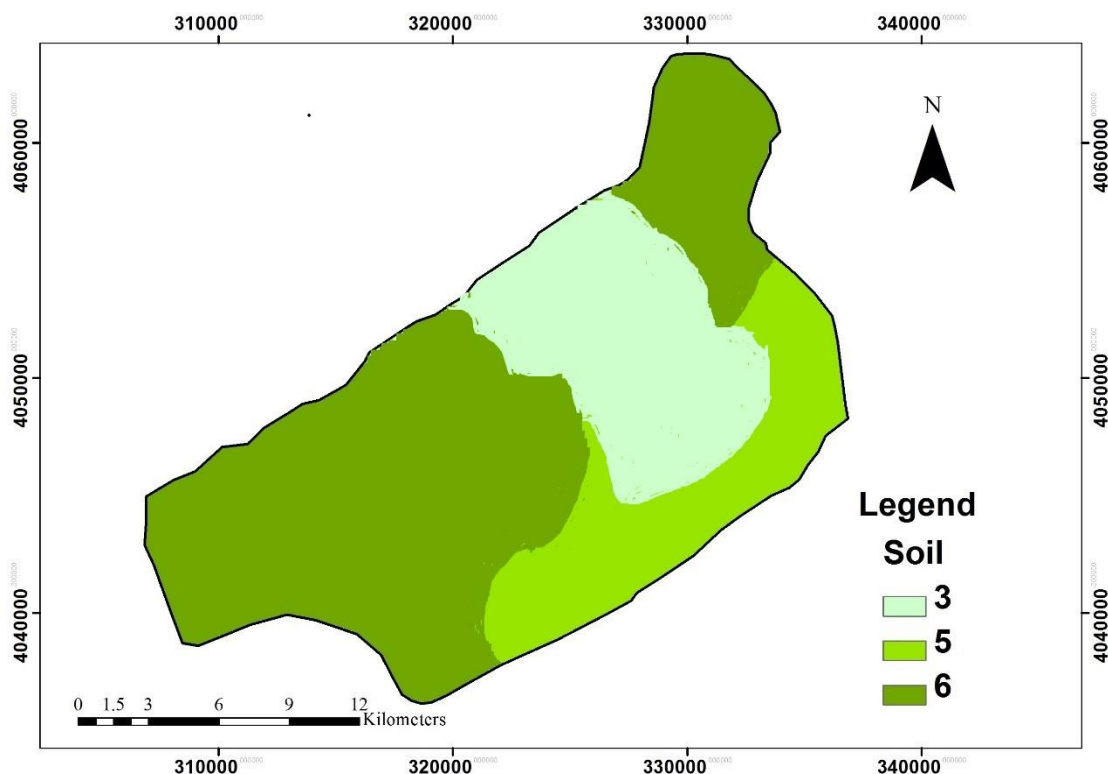
نقشه رتبه بندی محیط آبخوان در شکل (۴-۱۹) نشان داده شده است. بیشتر بخش های دشت، دارای بافت دانه درشت گراولی در محیط اشباع آبخوان بوده و از این نظر بیشترین رتبه را از لحاظ آسیب پذیری به خود اختصاص می دهند. سایر قسمت های دشت از آسیب پذیری متوسط (رنگ نارنجی) تا کم (رنگ زرد) برخوردار می باشند.



شکل ۴-۱۹- نقشه رتبه‌بندی محیط آبخوان دشت بسطام

۴-۳-۴- رتبه‌بندی محیط خاک

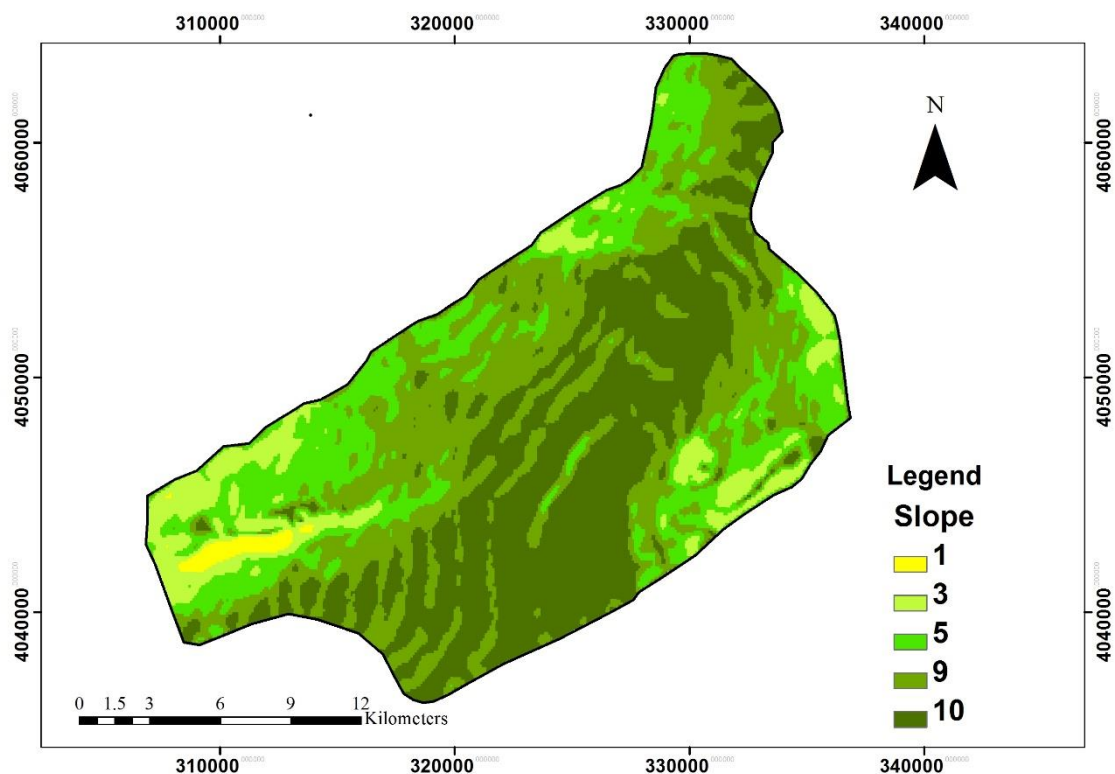
رتبه‌بندی خاک دشت بسطام در شکل (۴-۲۰) نشان داده شده است. به طور کلی بیشتر قسمت‌های دشت از بافت دانه درشت (لومی ماسه ای) برخوردار بوده که آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد دارند. بخش‌های شمالی، جنوبی و قسمتی از نواحی مرکزی دشت با بافت دانه درشت (لومی ماسه ای) و بخش‌های مرکزی دشت با بافت دانه ریز (لوم رسی)، به ترتیب بیشترین و کمترین آسیب‌پذیری را به خود اختصاص داده است. همچنین نواحی شرقی دارای بافت لومی و دارای آسیب‌پذیری متوسط است.



شکل ۴-۲۰ - نقشه رتبه‌بندی بافت خاک سطحی دشت بسطام

۴-۳-۵- رتبه‌بندی توپوگرافی

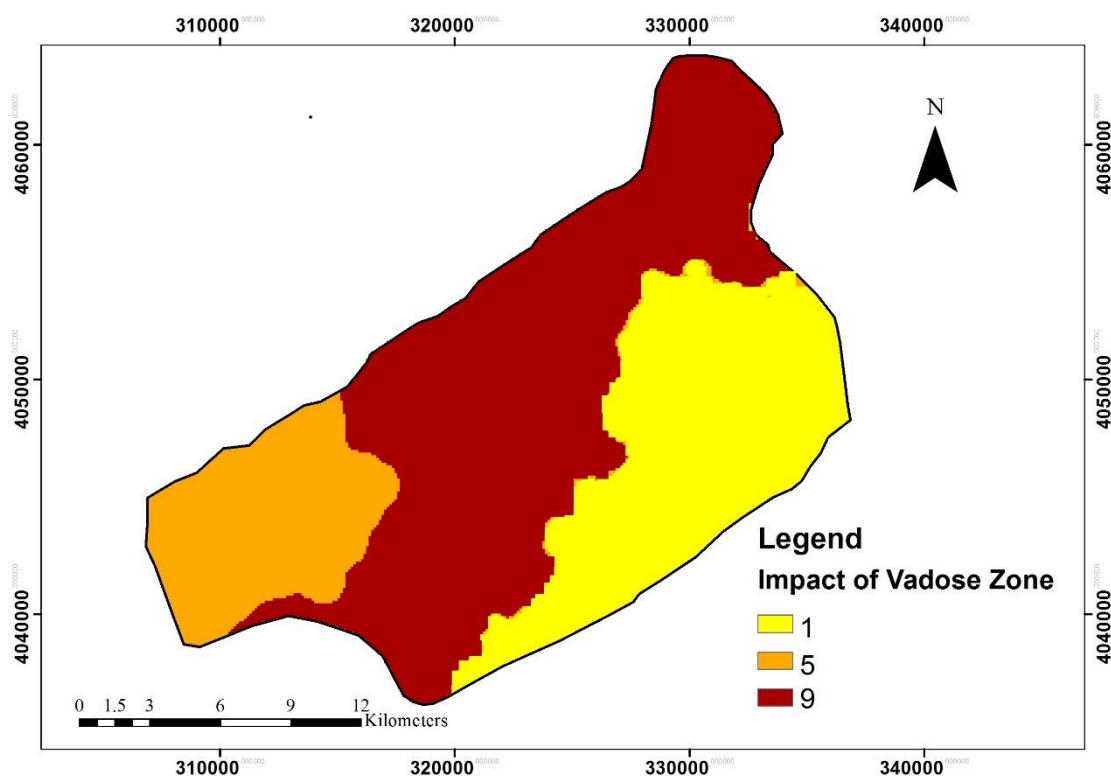
نقشه رتبه‌بندی شیب دشت بسطام در شکل (۴-۲۱) نشان داده شده است. بیشتر بخش‌های آبخوان بسطام در محدوده شیب ۰ تا ۶ درصد قرار می‌گیرد که رتبه بالایی را به خود اختصاص می‌دهد. چرا که در شیب کم، آب و آلاینده‌های همراه با آن سریعتر به داخل آبخوان نفوذ می‌کند. نواحی مرکزی دشت و جنوبی با شیب کم، که با رنگ سبز پرنگ نمایش داده شده، از لحاظ آسیب‌پذیری بیشترین رتبه را به خود اختصاص می‌دهد. اطراف دشت به سمت کوهپایه‌ها دارای شیب بیشتر بوده و لذا از آسیب‌پذیری کمتری برخوردار می‌باشند.



شکل ۴-۲۱- نقشه رتبه‌بندی شیب توپوگرافی در دشت بسطام

۴-۳-۶- رتبه‌بندی محیط غیراشباع

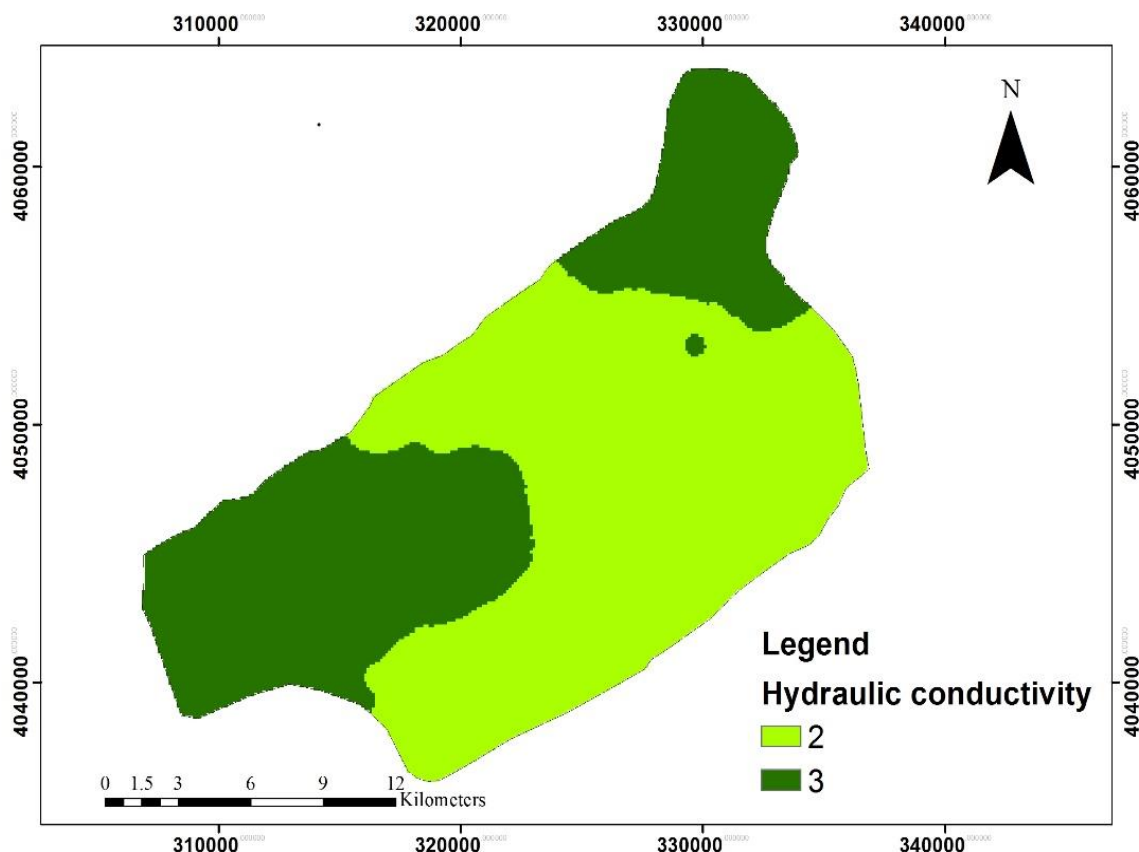
نقشه رتبه‌بندی محیط غیراشباع آبخوان دشت بسطام در شکل (۴-۲۲) نشان داده شده است. بخش‌های با رنگ قرمز دارای رسوبات دانه درشت گراولی در منطقه غیراشباع بوده و از بیشترین رتبه آسیب‌پذیری برخوردار هستند. قسمت‌های شرقی، دارای بافت رسی و نواحی جنوب غربی دشت از بافت ماسه‌ای تشکیل شده است.



شکل ۴-۲۲- رتبه‌بندی محیط غیراشباع دشت بسطام

۴-۳-۷- رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی

در شکل (۴-۲۳) نقشه رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی دشت بسطام نشان داده شده است. نقشه به دو ناحیه از لحاظ هدایت هیدرولیکی تقسیم می‌شود. بخش‌های شمالی و جنوب‌غربی از هدایت هیدرولیکی بیشتری نسبت به نواحی دیگر برخوردار بوده و لذا از لحاظ آسیب‌پذیری رتبه بیشتری را به خود اختصاص می‌دهند.

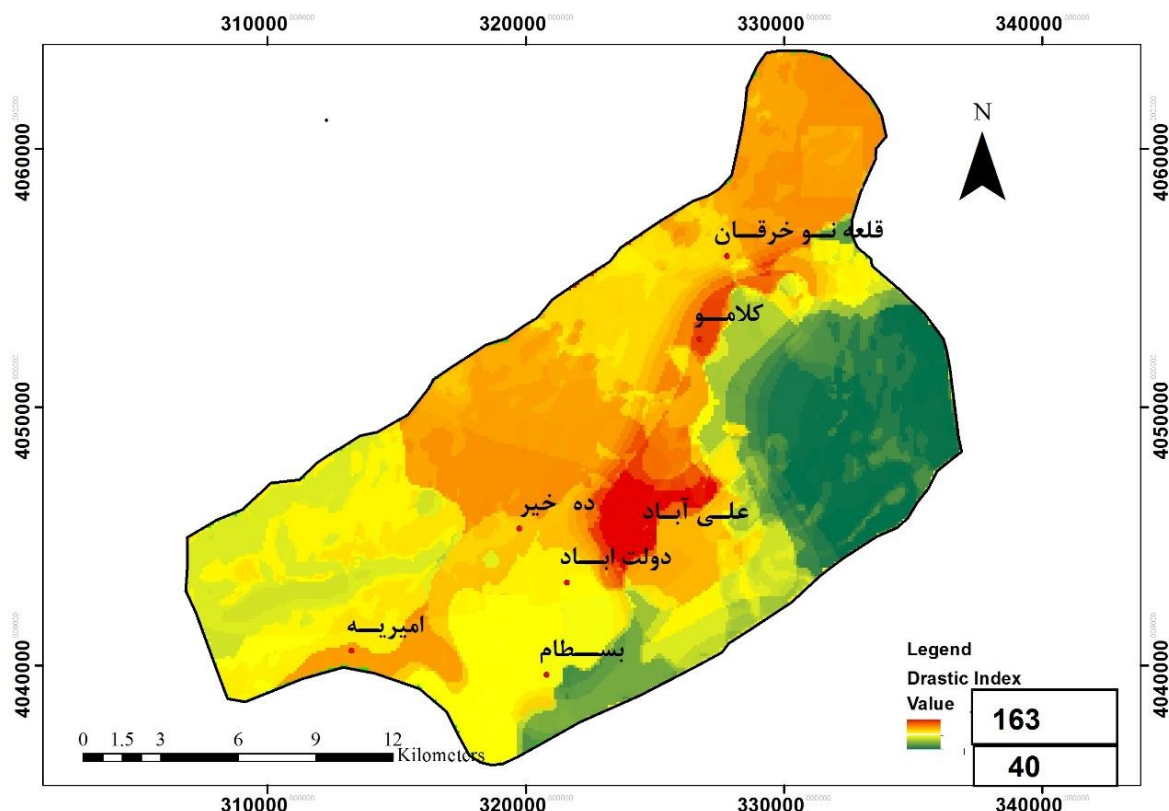


شکل ۴-۲۳- نقشه رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی دشت بسطام

۴-۴- شاخص آسیب‌پذیری دراستیک و نقشه آسیب‌پذیری آبخوان بسطام

به منظور تعیین شاخص نهایی آسیب‌پذیری، هر یک از پارامترهای مدل دراستیک در سیستم اطلاعات جغرافیایی (Arc GIS)، رتبه‌دهی (Reclassify) و وزن‌دهی شدند. سپس با استفاده از تحلیل گر مکانی (Spatial Analyst) تلفیق لایه‌ها (Overlaying) صورت گرفت. از طریق این روش لایه جدیدی به نام شاخص دراستیک (Drastic index) به دست آمد. رتبه هر پارامتر بین یک تا ده و وزن هر پارامتر بین یک تا پنج در نظر گرفته شد. جهت برآورد شاخص دراستیک از رابطه (۳-۱) استفاده گردید. شاخص دراستیک برای دشت بسطام ۴۰-۱۶۳ بدست آمد. مناطقی که در محدوده شاخص دراستیک بیشتر قرار می‌گیرند، از آسیب‌پذیری بیشتری برخوردار می‌باشند. در شکل (۴-۲۴) نقشه شاخص دراستیک آبخوان بسطام آورده شده است. همانطور که در این نقشه مشاهده می‌شود، بخش‌های مرکزی آبخوان آسیب‌پذیری زیادتری دارند. این موضوع به علت عمق کم آب، شیب کم زمین و بافت دانه درشت

محیط اشباع، غیر اشباع آبخوان و محیط خاک در این بخش است. روستاهای علی آباد، کلامو، قلعه نو خرقان از آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به نواحی دیگر برخوردار است.



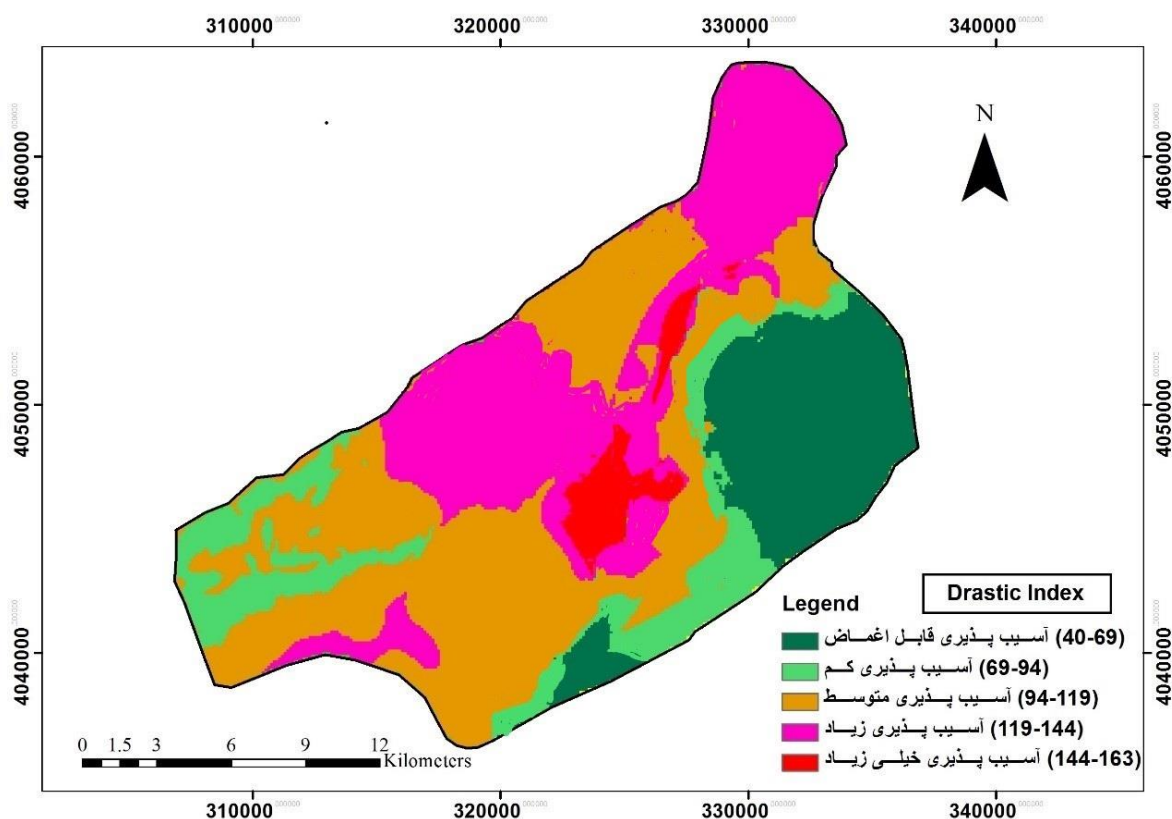
شکل ۴-۲۴- نقشه شاخص دراستیک دشت بسطام

پس از تهیه نقشه شاخص آسیب‌پذیری، طبق جدول (۴-۸) این نقشه رتبه‌بندی گردید و نقشه نهایی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان بسطام ترسیم شد. همانطور که در شکل (۴-۲۵) نمایش داده شده است. نواحی مرکزی که به رنگ قرمز نمایش داده شده، دارای بیشترین آسیب‌پذیری و بخش‌های مرکزی، شمالی و غربی به رنگ صورتی دارای آسیب‌پذیری زیاد است. بخش‌های نارنجی از آسیب‌پذیری متوسط و نواحی شرقی با رنگ سبز و سبز پرنگ دارای آسیب‌پذیری کم و قابل اغماض بوده و دارای کمترین آسیب‌پذیری می‌باشد. با توجه به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان بسطام ۱۷/۵۶ درصد دشت آسیب‌پذیری قابل اغماض، ۱۴/۴۰ درصد آسیب‌پذیری کم، ۳۴/۴۰ درصد آسیب‌پذیری متوسط، ۲۹/۶۰ درصد

آسیب پذیری زیاد و ۳/۲ درصد از منطقه دارای آسیب پذیری خیلی زیاد می باشد.

جدول ۴-۸ - رتبه بندی شاخص آسیب پذیری به روش دراستیک

وضعیت آسیب پذیری	دامنه شاخص (DRASTIC)
قابل اغماض	۴۰-۶۹
کم	۶۹-۹۴
آسیب پذیر	۹۴-۱۱۹
زیاد	۱۱۹-۱۴۴
خیلی زیاد	۱۴۴-۱۵۷



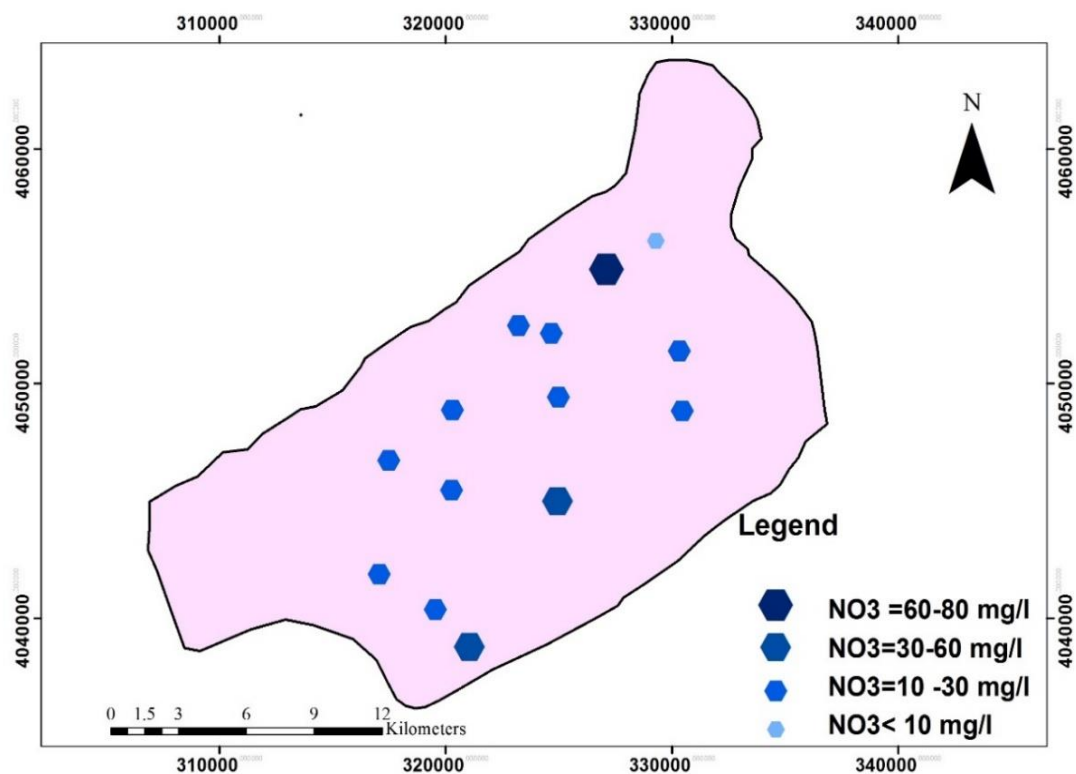
شکل ۴-۲۵- نقشه نهایی پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت بسطام

۴-۵- صحت سنجی پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان بسطام

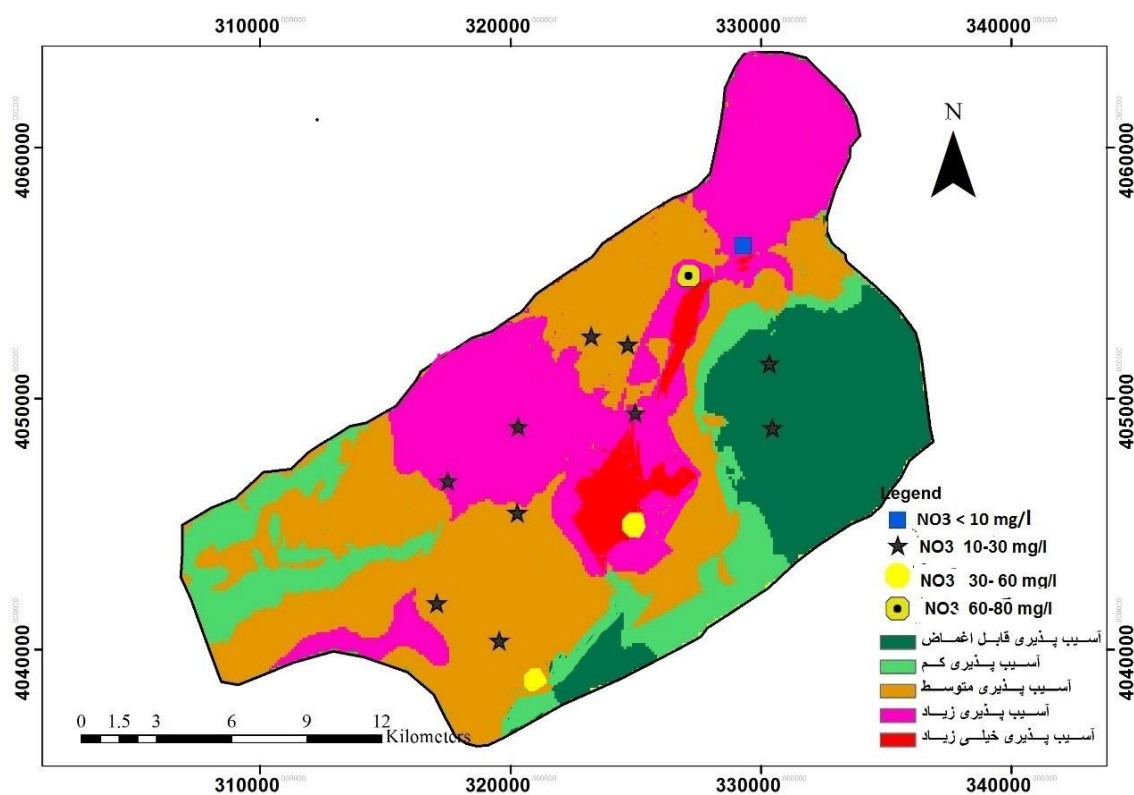
یکی از معایب روش دراستیک این است که رتبه بندی و ارزش گذاری پارامترها تا حدودی کارشناسی بوده و به شرایط آبخوان بستگی دارد. بنابراین مدل دراستیک باید با استفاده از غلظت آلاینده های طبیعی مانند نیتрат، شوری، آفت کش ها و غیره صحت سنجی شود. با توجه به منطقه مورد مطالعه که فعالیت های کشاورزی به صورت گسترده انجام می شود، به منظور صحت سنجی پهنه بندی شاخص آسیب پذیری در دشت بسطام، نمونه برداری تصادفی از آب های زیرزمینی از طریق چاه های بهره برداری در دشت بسطام صورت گرفت و میزان pH، EC و غلظت نیترات در آن ها اندازه گیری شد. نتایج اندازه گیری در جدول (۴-۹) ارائه شده است. غلظت نیترات بین ۹/۶ تا ۸۰/۶ میلی گرم بر لیتر، pH بین ۶/۳۰ تا ۷/۹ و هدایت الکتریکی بین ۹۰۰ تا ۲۳۰۰ میکرو موس بر سانتی متر متغیر است. توزیع غلظت نیترات در بخش های مختلف آبخوان بسطام در شکل (۴-۲۶) مشاهده می شود. در بخش اعظم دشت غلظت نیترات بین ۱۰-۳۰ میلی گرم بر لیتر تغییر می کند. پراکندگی غلظت یون نیترات بر روی نقشه شاخص آسیب پذیری منطبق گردید (شکل ۴-۲۷). همانطور که مشاهده می شود آبخوان در محدوده روستاهای علی آباد، کلامو و جنوب شهر بسطام از غلظت بالاتری از نیترات برخوردار می باشد که طبق این نقشه در محدوده آسیب پذیری متوسط تا خیلی زیاد قرار می گیرند. این موضوع صحت پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان بسطام با استفاده از مدل دراستیک را تایید می نماید.

جدول ۹-۴ - نتایج آنالیز کیفی منابع آب زیرزمینی در دشت بسطام

نمونه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	NO_3 (mg/l)	pH	EC (μ mhos/cm)
۱	۳۲۹۲۸۷	۴۰۵۶۰۸۰	۹/۶	۷/۸	۱۱۰۲
۲	۳۲۶۹۴۸	۴۰۵۴۹۴۰	۸۰/۶	۶/۳	۲۳۰۰
۳	۳۲۴۶۷۶	۴۰۵۲۱۸۵	۱۹/۶	۶/۵	۲۱۰۰
۴	۳۲۳۲۳۶	۴۰۵۲۴۷۶	۱۵/۶	۷/۴	۱۹۲۰
۵	۳۳۰۲۷۱	۴۰۵۱۵۰۹	۱۴/۸	۷/۲	۱۹۲۳
۶	۳۳۰۲۶۶	۴۰۴۸۹۸۵	۱۷/۲	۷/۱	۱۹۶۲
۷	۳۲۰۲۶۹	۴۰۴۸۹۳۰	۱۳/۶	۷/۸	۱۱۰۰
۸	۳۲۰۲۶۲	۴۰۴۵۴۴۲	۱۱/۶	۷/۶	۱۱۲۲
۹	۳۱۷۶۲۷	۴۰۴۶۷۹۷	۱۷/۶	۶/۶	۲۰۰۰
۱۰	۳۱۹۵۴۲	۴۰۴۰۳۸۲	۱۶/۴	۷/۹	۹۰۰
۱۱	۳۱۷۰۹۳	۴۰۴۱۸۶۹	۱۶/۸	۷/۵	۱۳۰۰
۱۲	۳۱۱۰۴۹	۴۰۳۸۷۶۹	۳۸/۴	۷/۵	۱۲۵۰
۱۳	۳۲۴۹۷۸	۴۰۴۵۰۰۷	۴۸	۶/۴	۲۱۵۰
۱۴	۳۲۴۹۷۴	۴۰۴۹۴۲۶	۱۳/۲	۷/۵	۱۷۰۰



شکل ۴-۲۶- توزیع غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت بسطام



شکل ۴-۲۷- غلظت نیترات در دشت بسطام و مطابقت آن با نقشه شاخص آسیب پذیری تهیه شده به وسیله مدل دراستیک

فصل پنجم:

نتیجه گیری و پیشنهاد

۵-۱- مقدمه

دشت بسطام یکی از دشت‌های مهم استان سمنان است. با توجه به اهمیت آبخوان دشت بسطام، در تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت، ارزیابی آسیب‌پذیری این آبخوان در این تحقیق با استفاده از مدل دراستیک انجام شده است. در این فصل نتایج تحقیق ارائه شده و در پایان پیشنهادهایی برای مطالعات آینده ارائه شده است.

۵-۲- نتایج

۱- عمق سطح ایستابی در آبخوان دشت بسطام از ۷ تا ۲۰۰ متر متغیر است. کمترین عمق سطح ایستابی در قسمت‌های مرکزی دشت و محل خروجی آبخوان مشاهده می‌شود. بیشترین عمق آب زیرزمینی در قسمت جنوب غربی منطقه دیده می‌شود. در مدل دراستیک به مناطق با عمق سطح ایستابی کمتر از ۱۰ متر بیشترین رتبه و نواحی با عمق بیشتر از ۳۰ متر، رتبه یک داده می‌شود.

۲- نقشه تغذیه خالص از تلفیق سه نقشه بارندگی، شیب و نفوذپذیری خاک تهیه شده است. میانگین بارش در دشت بسطام از ۹۸ تا ۲۳۸ میلی‌متر متغیر می‌باشد. در بخش‌های غربی دشت میزان بارندگی به علت افزایش ارتفاع مقدار بیشتری را نشان می‌دهد. میانگین بارندگی در نواحی مختلف دشت کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر است، به همین علت کل دشت از لحاظ بارندگی رتبه یک را به خود اختصاص می‌دهد. نفوذپذیری خاک دشت بسطام به سه ناحیه نفوذپذیری پایین، متوسط و متوسط تا بالا تقسیم گردید. بیشتر بخش‌های دشت دارای شیب کم بوده و بنابراین بیشترین رتبه را به خود اختصاص داده است. از تلفیق سه نقشه بارندگی، شیب و نفوذپذیری خاک نقشه تغذیه خالص تهیه شده است. قسمت‌های شمالی، جنوبی و مرکزی دشت دارای تغذیه خالص بیشتری می‌باشد، زیرا این بخش‌ها از نفوذپذیری بالا و شیب کمتر برخوردار است.

۳- بافت رسوبات در منطقه اشباع آبخوان بسطام از رس تا گراول متغیر است. محدوده اشباع آبخوان به

سه بخش مختلف تقسیم گردید. بخش‌هایی با بافت غالب رس کمترین رتبه (رتبه یک)، مناطق با بافت ماسه‌ای (رتبه پنج) و بخش‌هایی با بافت گراولی بیشترین رتبه (رتبه نه) را به خود اختصاص داده است. بیشتر محدوده دشت دارای بافت گراولی در محیط اشباع آبخوان است.

۴- بافت خاک در بخش‌های مختلف دشت متفاوت بوده، به نحوی که ۳ بافت غالب لومی رسی (رتبه ۳)، بافت لومی (رتبه ۵) و بافت لومی ماسه‌ای (رتبه ۶) قابل شناسایی می‌باشد. بیشتر محدوده دشت از بافت لومی ماسه‌ای تشکیل شده است.

۵- شیب منطقه از ۰/۰۱ تا ۲۸/۷ درصد متغیر می‌باشد که به ۵ بازه تقسیم می‌شود. در مدل دراستیک شیب صفر تا ۲ درصد، احتمال نفوذ حداکثر و رتبه بالا (رتبه ۱۰) را به خود اختصاص می‌دهد. شیب بیشتر از ۱۸ درصد کمترین رتبه به لحاظ آسیب‌پذیری (رتبه یک) را دارا می‌باشد. از آن جا که محدوده مورد مطالعه دشت می‌باشد. شیب منطقه به طور کلی در قسمت‌های مرکزی و جنوبی آبخوان کم و به سمت کوهپایه‌های شرقی و غربی زیاد می‌شود.

۶- بافت رسوبات در محیط غیراشباع از رس تا گراول متغیر بوده است. رس‌ها کمترین رتبه (رتبه یک)، بخش‌های ماسه‌ای رتبه متوسط (رتبه پنج) و گراول بیشترین رتبه (رتبه نه) را به خود اختصاص داده است.

۷- هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت بسطام بین ۱/۷۸ تا ۸/۸۵ متر بر روز متغیر می‌باشد. به بخش‌هایی که دارای هدایت هیدرولیکی کمتر از ۵ متر بر روز است، رتبه ۲ و نواحی که دارای هدایت هیدرولیکی بیشتر از ۵ متر بر روز است، رتبه ۳ اختصاص داده شده است. نواحی شمالی و جنوب‌غربی دشت از هدایت هیدرولیکی بیشتری نسبت به نواحی دیگر برخوردار می‌باشند.

۸- شاخص دراستیک برای دشت بسطام بین ۴۰ تا ۱۶۳ برآورد گردید. با توجه به پهنه‌بندی آسیب

پذیری آبخوان بسطام ۱۷/۵۶ درصد دشت آسیب‌پذیری قابل اغماض، ۱۴/۴۰ درصد آسیب‌پذیری کم، ۳۴/۴۰ درصد آسیب‌پذیری متوسط، ۲۹/۶۰ درصد آسیب‌پذیری زیاد و ۳/۲ درصد از منطقه دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد می‌باشد. بخش‌های مرکزی، شمالی و غربی دشت دارای آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد و سایر بخش‌ها دارای آسیب‌پذیری کم و متوسط افزایش شاخص آسیب‌پذیری در این نواحی، به علت شیب کم، عمق کم آب‌ریززمینی و بافت دانه درشت در محیط اشباع، محیط غیراشباع و محیط خاک می‌باشد.

۹- به منظور صحت‌سنجی مدل دراستیک در پهنه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری دشت بسطام، غلظت نیترات به همراه pH و هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شد. غلظت نیترات بین ۹/۶ تا ۸۰/۶ میلی‌گرم بر لیتر، pH بین ۶/۳۰ تا ۷/۹ و هدایت هیدرولیکی بین ۹۰۰ تا ۲۳۰۰ میکرو موس بر سانتی‌متر متغیر است. بیش‌تر نقاط دشت دارای غلظت نیترات بین ۱۰ تا ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر هستند. افزایش غلظت نیترات در جنوب و مرکز دشت به علت کشاورزی گسترده و استفاده از کودهای نیتراته مقدار زیادی را نشان می‌دهد. مطابقت پراکندگی غلظت نیترات با نقشه شاخص آسیب‌پذیری نشان می‌دهد که نواحی که غلظت نیترات بالای ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر است، در محدوده آسیب‌پذیری زیاد تا خیلی زیاد قرار می‌گیرند. این موضوع صحت مدل دراستیک در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان بسطام را تایید می‌نماید.

۵-۳- پیشنهادها

- ۱- آبخوان بسطام در محدوده روستاهای علی آباد، کلامو، قلعه نو خرقان در محدوده آسیب‌پذیری زیاد تا خیلی زیاد قرار می‌گیرد. پیشنهاد می‌شود منابع آلوده کننده در این نواحی بررسی و کنترل شود.
- ۲- با توجه به عدم وجود اطلاعات کافی جهت شناسایی دقیق محیط آبخوان و محیط غیراشباع پیشنهاد می‌شود، بررسی‌های بیشتر اکتشافی در دشت بسطام انجام شود.

۳- انجام تعداد بیشتر آزمایش پمپاژ در دشت بسطام، به منظور تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی از بررسی‌های مختلف از جمله بررسی آسیب‌پذیری لازم بوده و بنابراین پیشنهاد می‌شود این آزمایش‌ها در بخش‌های مختلف دشت انجام شود.

۴- پیشنهاد می‌شود ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان بسطام با استفاده از روش‌های دیگر نیز انجام شود و نتایج آنها با مدل دراستیک مقایسه شود.

۵- با توجه به سهولت دستیابی به داده‌ها و هزینه کم مدل دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌ها، پیشنهاد می‌شود، این روش به منظور حفاظت آبخوان‌ها و جلوگیری از آلودگی منابع آبی در سایر دشت‌ها استفاده گردد.

منابع

- ۱- ابوالحسنی الماسی ش، (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی آسیب‌پذیری سفره آب زیرزمینی شاهرود با استفاده از مدل دراستیک"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۲- احمدی ع. و آبرومند م، (۱۳۸۸)، "بررسی پتانسیل آلودگی دشت خاش، شرق ایران، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی"، فصل نامه زمین شناسی کاربردی، سال ۵، شماره ۱، ص ۱۱-۱
- ۳- آزاد شهرکی ف. آغاسی ع. آزاد شهرکی ف. و زراعی ع، (۱۳۸۹)، "ارزیابی پتانسیل و آنالیز حساسیت آسیب‌پذیری دشت هشتگرد به روش دراستیک"، مجله آب و فاضلاب، شماره ۲، ص ۶۱-۷۰
- ۴- افروزی م، (۱۳۹۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "تعیین حریم کیفی آبخوان فارسان - جونقان با استفاده از مدل دراستیک و مقایسه آن با مدل‌های AHP، FUZZY-AHP و SINTACS بر اساس غلظت نیترات"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۵- امیراحمدی ا. آب باریکی ز. و ابراهیمی م، (۱۳۹۰)، "ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت داورزن به روش دراستیک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)"، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال ۲، شماره ۶، ص ۵۱-۶۶
- ۶- پناهنده پ، (۱۳۹۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی توسط مدل دراستیک با استفاده از روش AHP در دشت تالار قائم شهر"، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ۷- چیت‌سازان م. و اختری ی، (۱۳۸۵)، "پتانسیل‌یابی آلودگی آب‌های زیرزمینی در دشت‌های زویرچری و خرّان با استفاده از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی"، مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۹، ص ۳۹-۵۱
- ۸- خرسندی، (۱۳۸۹)، "تعیین سقف کفشکنی چاه‌های دشت بسطام"، ویرایش سوم، شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان

- ۹- درویش زاده ع، (۱۳۸۵)، "زمین شناسی ایران"، دانشگاه امیرکبیر (۳۴۴ص) تهران.
- ۱۰- صادقی روش م. و زهتابیان غ، (۱۳۹۲)، "ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت خضرآباد به روش دراستیک"، فصل نامه علمی محیط زیست، شماره ۵۵، ص ۲۱-۳۱
- ۱۱- مسلمی خ، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "پیش بینی سطح آب زیرزمینی دشت بسطام با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی (AMN) و شبکه استنتاج تطبیقی عصبی فازی (ANFIS)"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۱۲- نخعی م. امیری و. و رحیمی شهربابکی م، (۱۳۹۲)، "ارزیابی پتانسیل آلودگی و آنالیز حساسیت آب زیرزمینی در آبخوان خاتون آباد با استفاده از مدل دراستیک مبتنی بر GIS"، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، دانشگاه شهید چمران، شماره ۸، ص ۱-۱۰
- ۱۳- نصرتی آ، (۱۳۹۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی سفره آب زیرزمینی دشت بسطام"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود
- ۱۴- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بسطام، علی آباد، خوش ییلاق و شاهرود، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور
- ۱۵- نوروزی م، (۱۳۷۶)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "پتروگرافی، پترولوژی و ژئوشیمی سنگ های آتشفشانی شمال شرق بسطام"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تربیت معلم .

Reference

- 1-Al-Adamat R.A. N. Foter I. D. and Baban S. M. J. (2003) "Ground water 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-Alam F. Umar R. Ahmed S. and Dar F.A. (2014) "A new Model (DRASTIC-LU) For evaluating ground water Vulnerability in Parts of Central Ganga Plain India" **Arab J Geosci.**, 7 pp 927 -937.

- 3-Aller L. Bennet T. Leher J.H. Petty R .J. and Hackett G. (1987) “DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeological setting”. EPA 600/2-87-035 .622.U.S. **environmental protection agency**.
- 4-Almasri M. N. (2008) “ Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza coastal aquifer, Palestine” **Journal of Environment management.**, 88, pp 577-593.
- 5-Antonakos A. K., N.J., lambrakis. (2007) “Development and testing of Three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates Based on the drastic model, an example from NE Korinthia Greece” **Journal of Hydrology.**, vol.333 pp 288-304.
- 6-Chandoul I. R. Bouaziz S. and Dhia H. B. (2014) “ Groundwater vulnerability assessment using GIS-based DRASTIC models in shallow aquifer of Gabes North (South East Tunisia)” **Arab J Geosci.**, pp 11.
- 7-Civita M. (1994) “Aquifer vulnerability maps to pollution”. Pitagora Ed, Blogna, 1994.
- 8-Foster SSD. (1987)“ Fundamental Concepts in aquifer Vulnerability Polution Risk and Protection Strategy.In: Duijvenbooden W. van and Waegeningh H.G. van (eds): TNO Committee on Hydrological Research, The Hague. Vulnerability of soil and ground-water to pollutants, Proceedings and Information 38 pp 69–86.
- 9-Frances A. Paralta E. Fernandes J. Ribeiro L. (2001) “Development and application in the Alentejo region of a method to assess the Vulnerability of ground water to diffuse agriculture pollution the sus – ceptibility index. Lisboa, Geosystem Center Ist Third International conference on future Ground water Resource at Risk.
- 10-Frind E. O. Molson J.W. and Rudolph D. L. (2006) “Well vulnerability: A quantitive approach for source water protection” **Ground water**, 44(5),pp 732-742.
- 11-fritch T. G. Mcknight C. L. Yelderman J.C and Arnold J. G. (2000) “An aquifer vulnerability assessment of the paluxy aquifer, Gernal Texax, USA, using GIS and a modified DRASTIC approach”. **Journal of Environment Managmet**, 25(3), pp 337-345.
- 12-Gogu R. C. and Dassarguse A. (2000)“ Current trends and future Callenges in Ground Water Vulnerability assessment Using Overlay and Index Methods”. **Environmental Geology**, 39(6) PP 549-559.
- 13-Hamza M. H. Added A. Frances A. and Rodriguez R. (2007) “Validite de l’application des methodes de vulnerabilite DRASTIC, SINTACS et SI a l’etude de la pollution par les

nitrate dans la nappe phréatique de Métalline-Ras Jebel-Raf (Nord– East Tunisien)” **C. R. Geosci.**, Vol. 339 pp 493–505.

14-Harter T. and L. G. Walker. (2001) “Assessing vulnerability of ground water”. Us Natural Resources Conservation Service.

15-Hasiniana F. Zhou J. and Guoyi L. (2010) “Regional assessment of ground water vulnerability tamtasg 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**. newYork, Wiley.

17-Jamrah A. AL-futaisi A. Rajmohan N. Al-Yaroubi S. (2008) “ Assessment of groundwater vulnerability in the coastal region of Oman using DRASTIC index method in GIS environment” **Environ Monit Assess**, 147 pp125–138.

18- Lathamani R. Janardhana M. R. Mahalingam B. Suresha S. (2015) “ Evaluation of Aquifer Vulnerability Using Drastic Model and GIS: A Case Study of Mysore City, Karnataka, India” **Aquatic Procedia.**, 4 pp 1031 – 1038.

19- Pathak D. R. Hiratsuka A. Awata I. Chen L. (2009) “ Ground water vulnerability assessment in shallow aquifer of Kathmandu Valley using GIS-based DRASTIC model”. **Environ Geol.**, 57pp1569–1578.

20-Piscopo G. (2001) “ Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW, Department of Land and Water Conservation, Australia”.

21-Rahman A. (2008) “A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater Vulnerability in Shallow aquifer in Aligarh, India” **Applied GeoGraphy.**, 28, pp, 32 - 35.

22- Rosen L. (1994) “A Study of the Drastic Methodology with emphasis on Swedish conditions” **Ground water.**, 32(2), pp 278-285.

23-Tilahun K. Merkel B. J. (2010) “Assessment of groundwater vulnerability to pollution in Dire Dawa, Ethiopia using DRASTIC” **Environ Earth Sci.**, 59 pp1485-1496.

24-Vansteeproot D. Evert, L. and Wassenaar L. (1993) “Aquifer vulnerability Index (AVI): a GIS compatible method for groundwater vulnerability mapping” **Can Water Res J.**, 18 pp 25–37.

25-Vrba J. and Zoporozec A. (1994) “Guidebook on mapping groundwater vulnerability” **International Association of Hydrogeology.**, Vol. 16, Hannover Heise, 131p.

Abstract

Bastam plain with an area of about 484 km² is suited in Semnan province. The groundwater resources in the plain is of great importance particularly in terms of drinking and agriculture uses. In order to optimize water resource management, it is necessary to identify the vulnerable areas to ground water contamination in a specific area. In this study, a GIS – based Drastic model is used to evaluate the vulnerability of groundwater resource in Bastam plain. In this model, seven effective parameters including depth to water table (D), recharge (R), aquifer media (A), surface soil texture (S), topography (T), impact of unsaturated (I) and hydraulic conductivity (C) are considered. These are first rendered in GIS (as data layers) and then weighted, rated and overlaid to produce a vulnerability index. The overall Drastic index was found between 40 and 163 for the study area. According to zoning map, it was revealed that 17.56 %, 14.40 %, 34.40 %, 29.60%, 3.2 % of the total area have negligible, low, average, high and very high vulnerability, respectively. The vulnerability assessment also show that vulnerability in the central part, West regions and The northern part of the plain has high to very high vulnerability and other areas are characterized by moderate to low vulnerability. The high the vulnerability in these areas is evidently due to low slope, shallow ground water level and coarse texture of the aquifer and Soil. To validate the accuracy of drastic modelling nitrate concentration were measured in 14 abstraction well within in the Bastam plain. Nitrate concentration is varied from 9.6 to 80.6 milligrams per liter. Increasing trend in the central plain and its southern parts is obviously owing to extensive farming and the extensive use of nitrate fertilizers. overlapping the map of nitrate concentration with final produced map vulnerability was obtained.

Key words: vulnerability, Drastic, Bastam plain, Analysis Nitrate



Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Environmental Geology

**Evaluating the vulnerability of the groundwater resources in Bastam
plain using DRASTIC**

By:

Elahe Mohammadzade

Supervisors :

Dr.A. Qishlaqi

Dr.H. Jafari

January 2017

