

## ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت داورزن به روش دراستیک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

ابوالقاسم امیراحمدی\*، دانشیار دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران  
زکيه آب باريكي، کارشناس محیط زیست و همکار مرکز پژوهشی جغرافیایی و اجتماعی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار،  
ایران

مجید ابراهیمی، کارشناس ارشد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران

### چکیده

یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان و مدیریت کاربری اراضی است. در این تحقیق با توجه به ویژگی‌های هیدرولوژی و هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه، آسیب‌پذیری آبخوان در برابر عوامل آلاینده، پهنه‌بندی شده است. برای این منظور از مدل دراستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای پردازش و تجزیه و تحلیل کیفی آبخوان استفاده شده است. در مدل دراستیک از مشخصه‌های موثر در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان آب زیر زمینی شامل عمق سطح ایستابی، شبکه‌ی تغذیه، جنس آبخوان، نوع خاک، شیب توپوگرافی، مواد تشکیل‌دهنده منطقه غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی مورد استفاده قرار گرفته که به صورت هفت لایه در نرم افزار ArcGis تهیه شدند و با وزن دهی و رتبه‌بندی و تلفیق هفت لایه فوق، نقشه‌ی نهایی آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلودگی تهیه گردید. با انطباق یون نیترات بر روی نقشه‌ی نهایی دراستیک مشخص شد که کلیه نقاطی که دارای نیترات بالا هستند، در محدوده‌ی آلودگی زیاد قرار گرفته‌اند که دقت و صحت مدل را مورد تأیید قرار می‌دهد. با توجه به نقشه‌ی پهنه‌بندی بدست آمده 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 در محدوده آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار می‌گیرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که میزان آلودگی و پتانسیل آلودگی آبخوان بسیار بالا بوده که این مسئله توجه و مراقبت آبخوان داورزن را توسط مراجع ذیصلاح ایجاب می‌کند.

### واژگان کلیدی

دشت داورزن، آسیب‌پذیری آب زیرزمینی، مدل دراستیک، سیستم اطلاعات جغرافیایی

## ۱- مقدمه

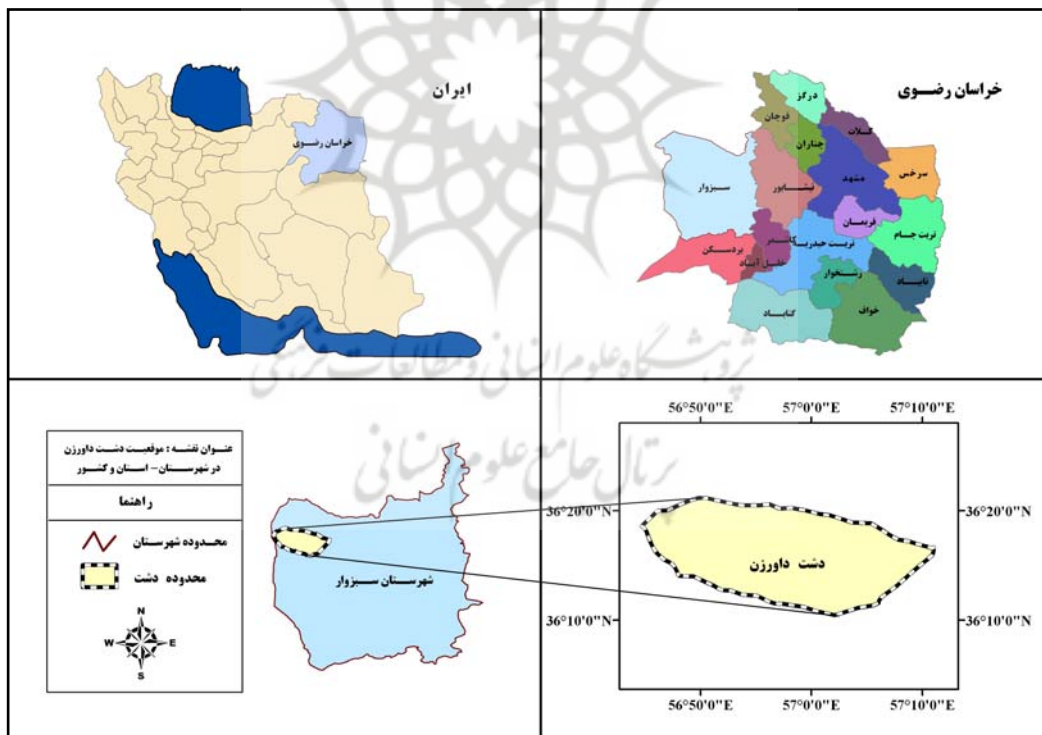
آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع طبیعی در جهان است، در شرایط کنونی، بخشی قابل ملاحظه‌ای از مصارف آب کشور ایران به‌خصوص در بخش شرب توسط منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد. در دشت داورزن حدود ۹۵ درصد از مصارف شرب، کشاورزی و صنعت از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد. عدم شناخت صحیح، و یا عدم درک میزان آسیب‌پذیری سریع آب‌های زیرزمینی ممکن است سبب ایجاد آلودگی‌های شدید در این منابع شود و چه بسا اتفاق می‌افتد که دیگر نتوان از این منابع استفاده کرد و برای رفع آلودگی و مصرف مجدد، باید وقت و هزینه زیادی صرف شود. فعالیت‌های انسانی اخیر، محیط آسیب‌پذیری را به وجود آورده، به‌طوری که آب زیرزمینی را به عنوان منبعی طبیعی در معرض آلاینده‌های صنعتی و کشاورزی قرار داده‌اند (Thapinta, and Hudak, 2003). مفهوم آسیب‌پذیری برای اولین بار در اواخر سال ۱۹۶۰ میلادی در فرانسه برای آگاهی بخشی در مورد آلودگی آب زیرزمینی ارائه شده است (Vrba and Zoporozec, 1994). آسیب‌پذیری را می‌توان به عنوان امکان نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی تعریف کرد. آسیب‌پذیری آبخوان، نیروی آن را برای نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی نشان می‌دهد، به‌طوری که آلودگی تولید شده در سطح زمین بتواند به آب زیرزمینی برسد و در آن پراکنده شود (Besien, 2004; Babiker, et al, 2005 Worrall, and). آسیب‌پذیری نوعی خصوصیت نسبی، بدون بعد و غیرقابل اندازه‌گیری است و به ویژگی‌های آبخوان، محیط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی بستگی دارد (Antonakos, and Lambrakis, 2007). روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری ارائه شده است که می‌توان به گروه روش‌های پردازشی، روش‌های شاخص همپوشانی و آماری تقسیم‌بندی کرد (Tesoriero et al, 1998). در روش‌های پردازشی از مدل‌های شبیه‌سازی برای تخمین حرکت آلاینده‌ها بهره می‌برند. روش‌های آماری از روابط همبستگی بین متغیرهای مکانی و میزان آلاینده‌های موجود در آب زیرزمینی استفاده می‌کنند. روش‌های شاخص - همپوشانی پارامترهای کنترل کننده حرکت آلاینده‌ها از سطح زمین به منطقه اشباع را تلفیق کرده و شاخصی به نام شاخص آسیب‌پذیری را در نقاط مختلف یک منطقه تعیین می‌کند. در روش‌های شاخص - همپوشانی انتخاب ارزش عددی پارامترها تا حدودی کارشناسی بوده و این روش‌ها نمی‌توانند به عنوان یک روش دقیق پیش‌بینی مورد استفاده قرار گیرند. با وجود این سادگی و سهولت تهیه اطلاعات مورد نیاز آنها در مقیاس ناحیه‌ای از مزایای عمده این روش‌هاست. در تمامی روش‌ها آسیب‌پذیری آبخوان براساس انتقال آلودگی از سطح زمین به لایه آبدار برآورد شده است. یکی از روش‌های متداول برای آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان، روش دراستیک<sup>۱</sup> است که کاربرد زیادی داشته است (Aller et al, 1987). این روش در مناطق دنیا نظیر کره جنوبی (Kim, and Hamm, 1999)، امارات متحده عربی (Zabet, 2002)، هند (Rahman, 2007)، الجزایر (Samey, and Gang, 2008)، پرتغال (Lobo-ferreira and Oliveira, 1997)، ژاپن (Insaf S. Babiker, et al, 2004) اردن (Al-Adamat et al, 2003) استفاده شده است. روش دراستیک در ایران برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری به طور موردی به کار گرفته شده است (خدائی و شهسواری، ۱۳۸۲، تجربی و همکاران، ۱۳۷۸). آمار و اطلاعات مورد نیاز برای این روش در بیشتر دشت‌های ایران فراهم نبوده و محدودیت ایجاد می‌نماید. در این تحقیق برای بررسی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی منطقه از مدل دراستیک و برای تهیه نقشه از محیط GIS استفاده شده است. هدف از این مطالعه، تهیه نقشه آسیب‌پذیری و تعیین مناطقی با نیروی بالای آلودگی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه است. با توجه به اهمیت

<sup>1</sup>- Drastic

منابع آب زیرزمینی که برای مقاصد مختلف شرب، کشاورزی و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مطالعه‌ی آسیب‌پذیری آبخوان و حفاظت این مناطق برای توسعه و مدیریت بهینه منابع آب ضروری به نظر می‌رسد.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه تحت عنوان دشت داورزن در غرب شهر سبزوار واقع شده و از لحاظ تقسیمات جغرافیایی جزء شهرستان سبزوار در استان خراسان رضوی محسوب می‌گردد که بین  $36^{\circ} 10' 7''$  تا  $36^{\circ} 20' 30''$  عرض شمالی و  $56^{\circ} 45' 30''$  تا  $57^{\circ} 15' 10''$  طول شرقی و ارتفاع ۹۷۰ متری از سطح دریا واقع شده است. دشت داورزن با وسعت  $487/35$  کیلومتر مربع شکلی نسبتاً کشیده داشته و از شرق به دشت سبزوار، از شمال به ارتفاعات جغتای از جنوب به کالشور سبزوار و از غرب به وسیله حوضه آبریز کویر مزینان که بخشی از حوضه‌ی آبریز دشت کویر است محدود می‌گردد. دشت داورزن قسمتی از زون البرز است که آن را بخشی از ناحیه‌ی چین‌خورده‌ی ایران مرکزی می‌دانند، قدیمی‌ترین سازند منطقه متعلق به کرتاسه است که در ارتفاعات شمالی دشت به صورت مجموعه‌ای از افیولیت ملانژها مشاهده می‌شود. اما به‌طور کلی بیش‌ترین مساحت سازندها متعلق به دوران سوم و چهارم زمین‌شناسی است که بیش‌ترین گستردگی مربوط به کواترنر، میوسن و پالئوژن است. رسوبات دوران سوم زمین‌شناسی بیش‌تر به صورت کنگلومرای پالئوژن، توف، آندزیت و رسوبات تبخیری گچ و نمک در جنوب و در دامنه‌ی ارتفاعات شمالی دشت رخنمون دارد. نهشته‌های دوران چهارم از مخروط‌افکنه‌ها، رسوبات آبرفتی و ماسه‌های روان که دامنه‌ها و ارتفاعات و سطح دشت را می‌پوشاند تشکیل شده است.



شکل شماره (۱): موقعیت دشت داورزن در ایران، خراسان رضوی و شهرستان

## ۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- مواد: پهنه‌بندی آسیب‌پذیری در محیط *GIS* انجام شده است. برای این منظور آمار و اطلاعات وارد پایگاه اطلاعاتی *GIS* گردید. در این تحقیق از منابع اطلاعاتی گوناگونی از جمله نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰

(سازمان جغرافیایی ارتش، ۱۳۵۲)، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۵)، نقشه خاک (موسسه آب و خاک کشور، ۱۳۵۴)، آمار هواشناسی، هیدرولوژی، سطح آب زیرزمینی، نتایج آزمایش پمپاژ، لوگ حفاری، چاه‌های مشاهده‌ای، اکتشافی و بهره‌برداری، نقشه‌های مطالعات ژئوفیزیکی و آمار منابع و مصارف آب از شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه گردید (سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۹).

**۲-۳- روش‌شناسی:** ساده‌ترین و رایج‌ترین روش برای آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نسبت به آلودگی، استفاده از مدل‌های وزن دهی است. در این روش‌ها مشخصه‌ها براساس تاثیری که بر آلودگی آب زیرزمینی دارند امتیازدهی می‌شوند (LeGrand, 1964). متداول‌ترین روش برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان، روش دراستیک است که توسط انجمن ملی آب زیرزمینی با همکاری آژانس حفاظت محیطی ایالات متحده ایجاد شده است (Aller, et al, 1987). در این روش هفت عامل، یا مشخصه قابل اندازه‌گیری برای سیستم هیدروژئولوژیکی برآورد می‌شود (Evans, and Mayers, 1990; Al-adamat, et al, 2003; Babiker, et al, 2005). این عوامل شامل: عمق آب زیرزمینی<sup>۱</sup>، شبکه تغذیه<sup>۲</sup>، محیط آبخوان<sup>۳</sup>، نوع خاک<sup>۴</sup>، توپوگرافی<sup>۵</sup>، اثر منطقه غیر اشباع<sup>۶</sup> و هدایت هیدرولیکی<sup>۷</sup> هستند. ضرایب در این روش با توجه به ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه می‌تواند تغییر یابد. این عوامل به صورت عددی برآورد می‌شوند، به طوری که به هر کدام از آن‌ها با توجه به پتانسیل آلودگی آن، نرخی از ۱ تا ۱۰ اختصاص داده شده است (۱ به معنای کمترین و ۱۰ بیش‌ترین خطر برای آلودگی آب زیرزمینی) هر یک از این مشخصه‌ها با توجه به اهمیت نسبی آن در توانایی انتقال آلودگی به سیستم آب زیرزمینی در ضریب وزنی ضرب شده که براساس معیار کیفی نه کمی، (از ۱ تا ۵) متغیر براساس قضاوت نویسنده تعیین می‌شود (Panagopoulos, et al, 2006). روش دراستیک از بیش‌ترین مشخصه‌های موثر در آسیب‌پذیری استفاده می‌کند و به همین علت اثر عدم قطعیت‌های احتمالی در مشخصه‌ها را کاهش می‌دهد. جدول شماره (۱) این عوامل و ضرایب وزنی اصلی و تغییر یافته آن‌ها را با در نظر گرفتن شرایط منطقه نشان می‌دهد.

جدول شماره (۱): عوامل دراستیک و ضرایب وزنی اصلی و تغییر یافته آنها

عوامل دراستیک	وزن‌های اصلی دراستیک	وزن‌های تغییر یافته دراستیک با توجه به شرایط منطقه
D R A S T I C	۵	۵
	۴	۳
	۳	۳
	۲	۲
	۱	۲
	۵	۴
	۳	۴

هدف مطالعات آسیب‌پذیری آب زیرزمینی، تهیه نقشه و تعیین مناطقی با نیروی بالای آسیب‌پذیری است. استفاده از روش مناسب برای تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری در یک منطقه بستگی به وجود داده‌ها و

<sup>1</sup> - depth to water

<sup>2</sup> - net Recharge

<sup>3</sup> - Aquifer media

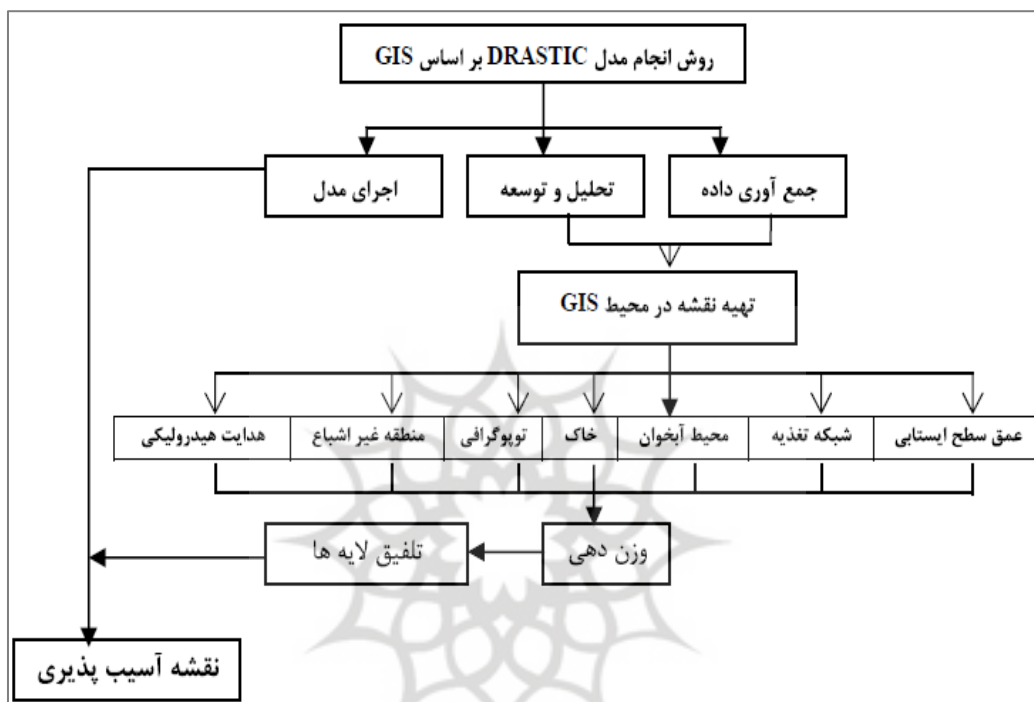
<sup>4</sup> - Soil type

<sup>5</sup> - Topography

<sup>6</sup> - Impact of vadose zone

<sup>7</sup> - hydraulic Conductivity

توزیع آن‌ها، موقعیت هیدروژئولوژی و مقیاس و هدف نقشه دارد. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان می‌توان از محیط GIS استفاده کرد. مدل دراستیک ابتدا برای استفاده در سیستم اطلاعات جغرافیایی طراحی نشده بود، اما تحقیقات نشان دادند که چنین اجرایی از این مدل مزایای بسیاری دارد (Merchant, 1994). با استفاده از امکانات تحلیل فضایی که در GIS قابل دسترسی است، لایه اطلاعاتی بر اساس هفت مولفه‌ی دراستیک ایجاد می‌شود. وقتی مقادیر دراستیک از طریق GIS نشان داده شوند، رابطه‌ی فضایی بین اجرای مدیریت اراضی و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی مشخص می‌شود (Soper, 2006).



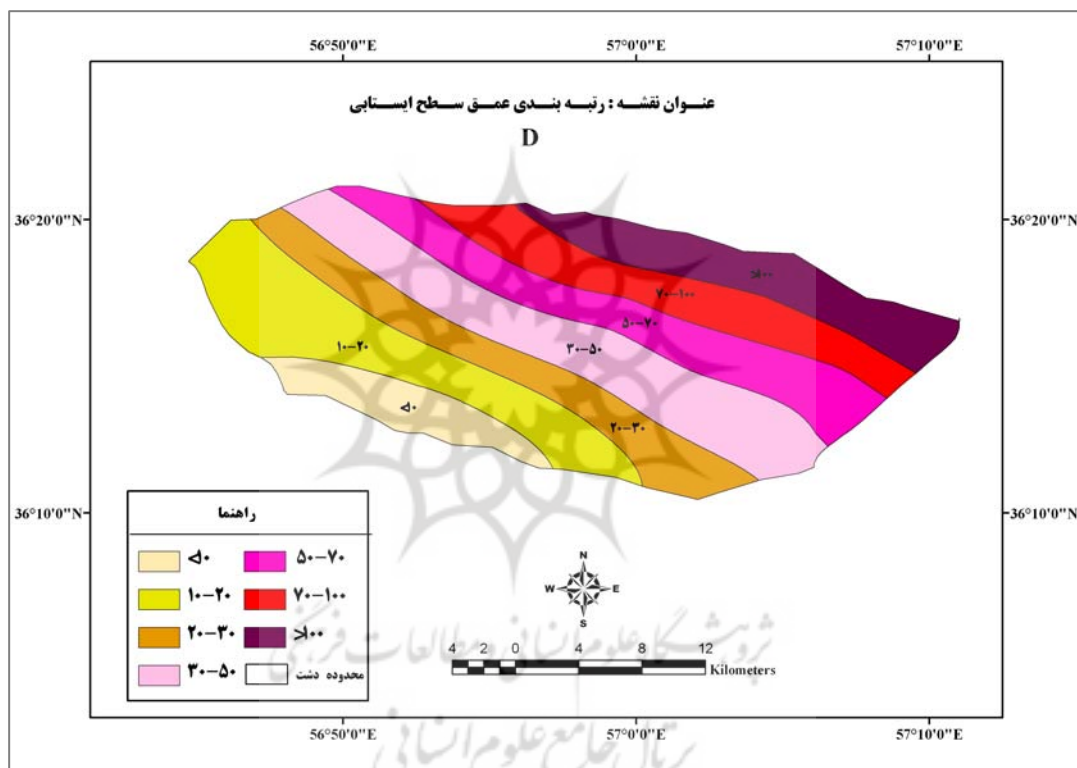
شکل شماره (۲): روش مدل‌سازی دراستیک بر اساس GIS

#### ۴- ارزیابی آسیب‌پذیری به روش DRASTIC

۴-۱- لایه عمق آب زیرزمینی (D): عمق آب زیرزمینی با فاصله‌ای که مواد آلاینده طی می‌کند تا به سفره برسد مرتبط است. بدیهی است که هرچه عمق سطح آب زیرزمینی بیش‌تر باشد، زمان بیشتری طول می‌کشد تا مواد آلاینده به سفره برسند و امکان پخش شدن و رقیق شدن یا جذب مواد آلاینده در خاک وجود دارد. عمق آب زیرزمینی رابطه‌ی مستقیم و تاثیر زیادی در آلودگی سفره دارد، به همین دلیل وزن ۵ برای عمق آب در نظر گرفته شده است. اطلاعات آماری عمق آب زیرزمینی از چاه‌های مشاهده‌ای حفاری شده در آبخوان حاصل می‌گردد. با استفاده از عمق یابی ماهانه سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای دشت داورزن و بررسی صحت و سقم داده‌ها و در صورت لزوم تصحیح آن‌ها، با استفاده از روش درون‌یابی Spline نقشه‌ی هم‌ارزش عمق آب زیرزمینی تهیه شده است. لازم به یادآوری است وزن دهی طبق طراحی مدل توسط (Aller & Bennet, 1987) می‌باشد. رتبه‌بندی عمق آب زیرزمینی در مدل بر اساس جدول ۲ می‌باشد.

جدول شماره (۲): رتبه‌بندی عمق آب زیرزمینی (Aller &amp; Bennet, 1987)

رتبه‌بندی	عمق سطح آب
۱۰	۰-۱۰
۹	۱۰-۲۰
۷	۲۰-۳۰
۵	۳۰-۵۰
۳	۵۰-۷۰
۲	۷۰-۱۰۰
۱	>۱۰۰



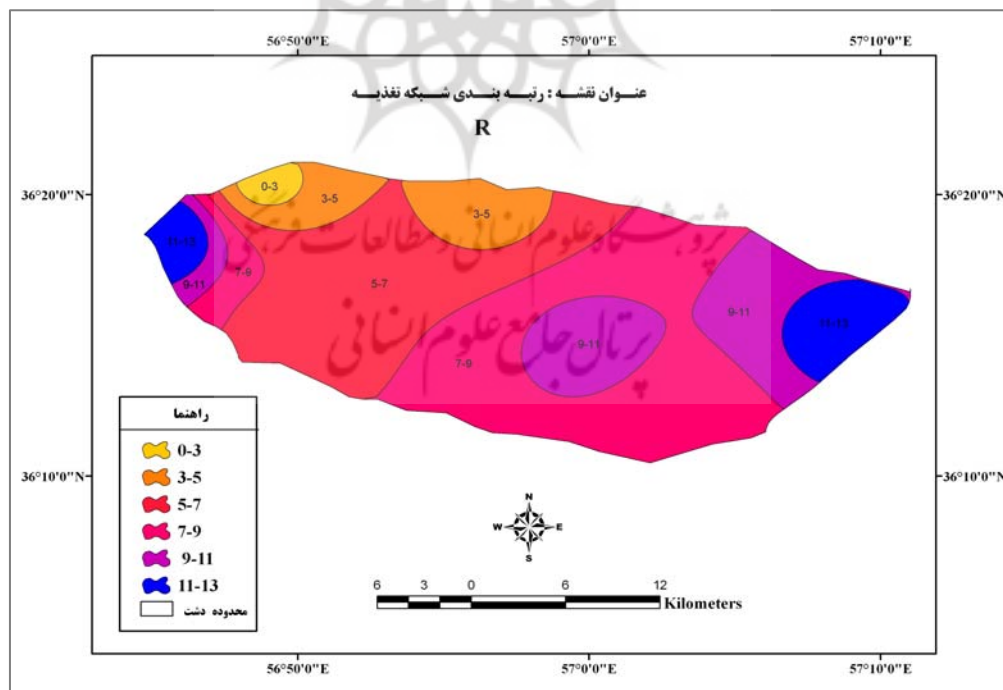
شکل شماره (۳): نقشه کلاسه‌بندی شده عمق آب زیرزمینی

۲-۴- لایه شبکه تغذیه (R): یکی از عوامل اصلی انتقال مواد آلاینده به درون زمین، حرکت عمودی آب می‌باشد که با خود مواد آلاینده را شسته و به صورت محلول یا کلوئیدی و یا تعلیق به درون زمین حمل می‌کند. شدت و گذر مواد محلول به شدت و حرکت عمودی آب به درون زمین بستگی دارد. در این مدل فرض بر این است که عمده‌ترین عامل حرکت عمودی آب، تغذیه‌ی نزولات جوی است که از سطح زمین به صورت عمودی وارد می‌شود. منابع دیگر مثل تغذیه‌ی مصنوعی، آبیاری کشاورزی و آب فاضلاب اگر قابل توجه باشد در نظر گرفته می‌شود. تغذیه عبارت است از حجم آبی که در واحد سطح سفره برای یک دوره یک ساله به درون زمین وارد می‌شود (Bouwer, 1978). منابع تغذیه‌ی سفره آب زیرزمینی دشت داورزن عبارتند

از: تغذیه‌ی ناشی از ریزش‌های جوی (RP)، تغذیه‌ی ناشی از جریانات سطحی و رواناب‌ها (Ry)، پساب برگشتی به آب زیرزمینی ناشی از مصارف کشاورزی، شرب و صنعت (RW). بنابراین تغذیه خالص (تغذیه کل) از حاصل جمع آن‌ها به دست می‌آید. با درون یابی خطوط هم باران و تبدیل آنها به فرمت رستری در محیط GIS، مدل رقومی بارندگی حاصل گردید. نرم افزارهای GIS توابع محاسباتی زیادی دارند که به راحتی می‌توان با اعمال درصد نفوذ مستقیم از بارندگی را در سطح دشت به دست آورد. در مواردی که نقشه همباران موجود نباشد، پس از تهیه مدل رقومی ارتفاع زمین، با استفاده از رابطه‌ی بارندگی و ارتفاع، مدل رقومی بارندگی به دست می‌آید و با اعمال درصد نفوذ از بارندگی در محیط GIS نقشه میزان تغذیه از بارندگی تهیه می‌گردد. واحد تغذیه سانتیمتر در سال در نظر گرفته شده است. رتبه بندی این لایه بر اساس جدول ۳ می‌باشد.

جدول شماره (۳): رتبه‌بندی شبکه تغذیه (Aller & Bennet, 1987)

رتبه‌بندی	مقدار تغذیه (cm/year)
۱	۰-۳
۳	۳-۵
۶	۵-۷
۸	۷-۹
۹	۹-۱۱
۱۰	۱۱-۱۳

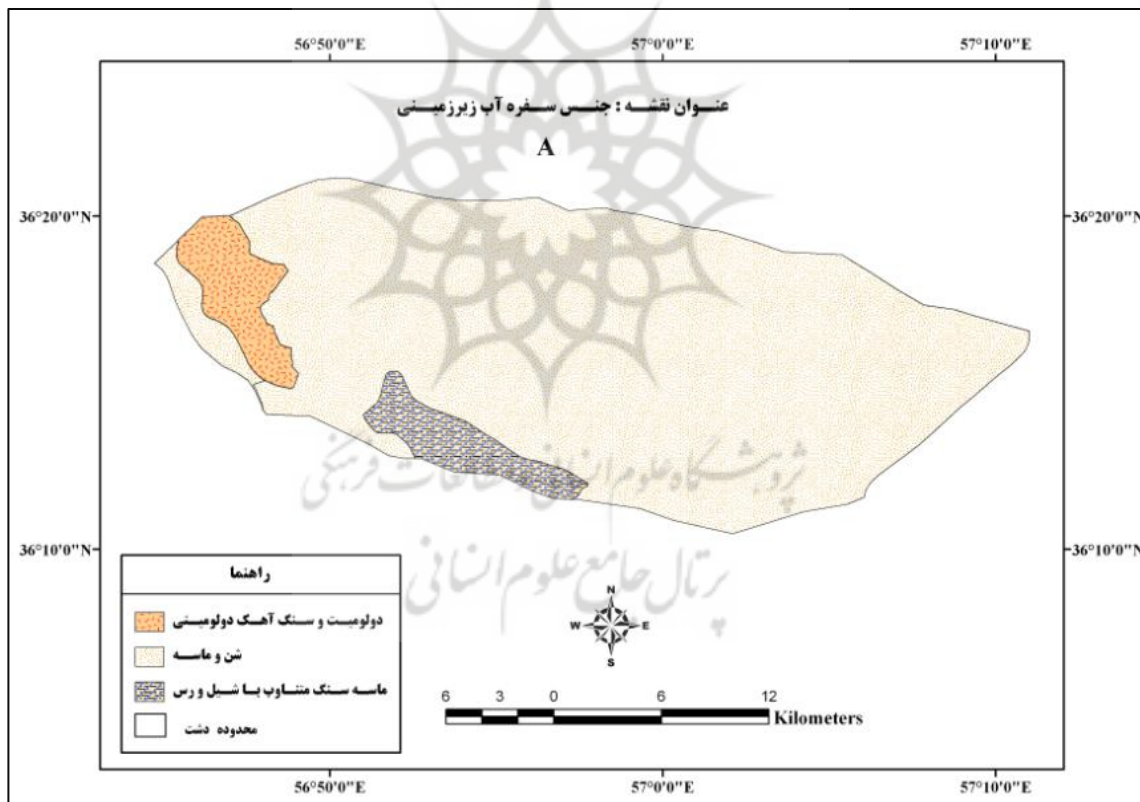


شکل شماره (۴): نقشه میزان تغذیه آب زیرزمینی

۳-۴- محیط آبخوان (A): محیط آبخوان بیانگر ویژگی میرایی مواد تشکیل دهنده آبخوان است. این ویژگی خود نشان‌دهنده‌ی میزان پویایی و تحرک آلودگی، در میان اجزای آبخوان است. اطلاعات مربوط به محیط آبخوان در دشت داورزن از کاوش‌های زیرسطحی (لوگ حفاری اکتشافی، پیزومتري و چاه‌های بهره‌برداري)، کاوش‌های ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی منطقه به دست می‌آید. در دشت داورزن نقشه‌ی موقعیت لوگ حفاری‌های اکتشافی، مشاهده‌ای عمیق تهیه شده و بر اساس بررسی‌های اکتشافی و با توجه به روش استاندارد DRASTIC خصوصیات محیط آبخوان ارزش‌گذاری شده است (شرکت مهندسين مشاور ساز آب شرق، ۱۳۸۸). وزن مربوط به این لایه ۳ پیشنهاد شده است. جدول ۴ رتبه‌بندی این لایه را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۴): رتبه‌بندی محیط آبخوان (Aller & Bennet, 1987)

رتبه‌بندی	جنس سفره
۳	ماسه سنگ متناوب با شیل و رس
۷	شن و ماسه
۹	دولومیت و آهک



شکل شماره (۵): نقشه کلاسه‌بندی شده محیط آبخوان

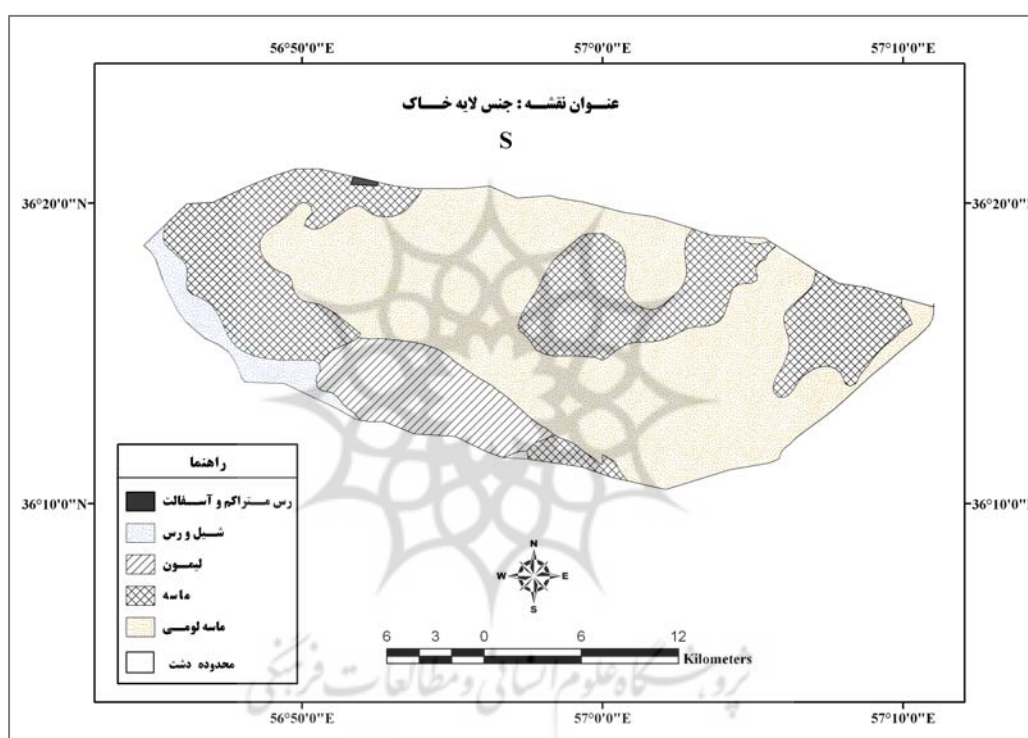
۴-۴- نوع خاک (S): لایه خاک معمولاً با ضخامتی حدود ۰/۵ تا ۲ متر به لحاظ میکروبیولوژی منطقه بسیار فعال به شمار می‌رود. لایه خاک به دلیل فعالیت نسبتاً بالای میکروبی، وجود مواد آلی بالا و وجود ریشه گیاهان، برای حذف و



کاهش غلظت آلاینده‌ها از پتانسیل بالایی برخوردار است. در این تحقیق نقشه‌ی خاک منطقه که توسط موسسه آب و خاک کشور تهیه شده، رقومی شده است. وزن لایه خاک ۲ پیشنهاد شده است.

جدول شماره (۵): رتبه‌بندی نوع خاک (Aller & Bennet, 1987)

رتبه‌بندی	جنس لایه خاک
۹	ماسه
۷	رس و شن
۵	ماسه لومی
۳	شیل و رس
۱	رس متراکم و آسفالت



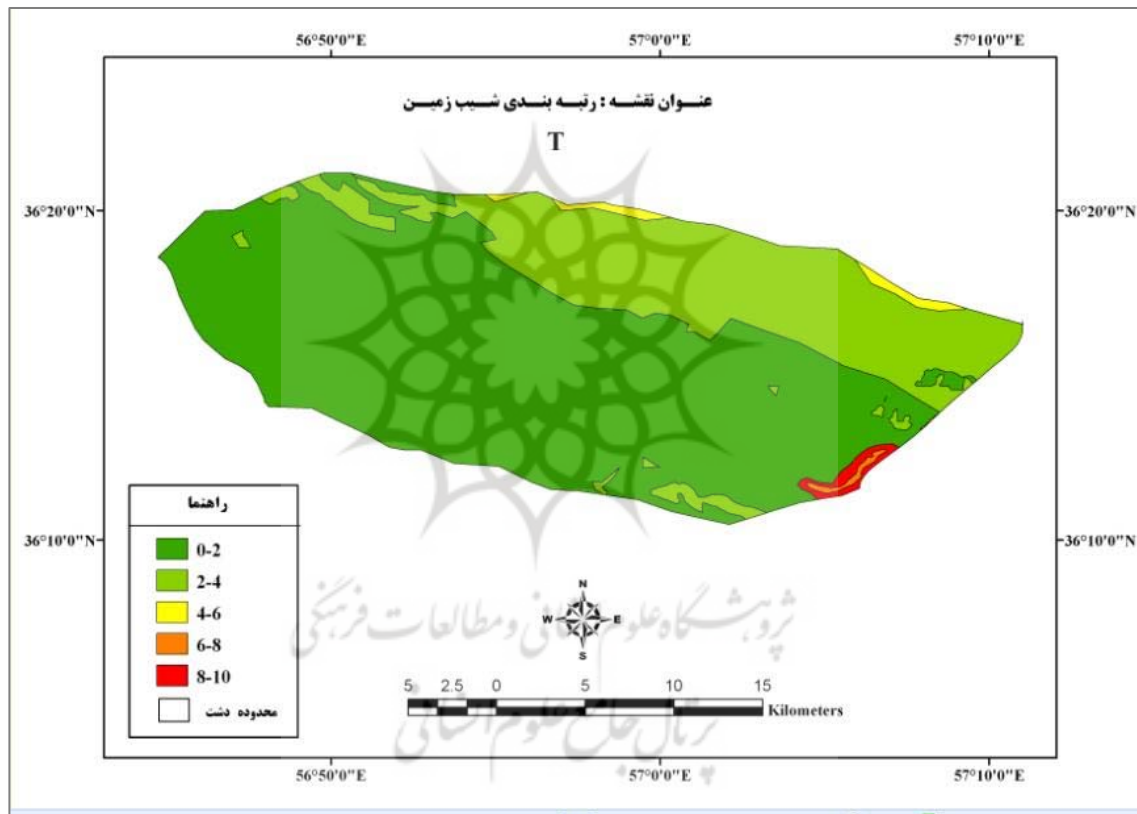
شکل شماره (۶): نقشه کلاسه‌بندی شده عمق ارزش نوع خاک

۴-۵- لایه توپوگرافی (T): این لایه به تغییرات شیب سطح زمین مربوط می‌شود. فرض بر این است که هرچه شیب کمتر باشد، مواد آلاینده محلول، فرصت بیش تری برای نفوذ خواهند داشت. پس ناحیه با شیب کمتر، رتبه بیش تری در مدل خواهد داشت. شیب بیش تری باعث می‌شود که مواد محلول به صورت رواناب جاری شود و کمتر نفوذ کند. در مدل دراستیک خطوط توپوگرافی به صورت مناطق هم شیب به صورت درصد پهنه‌بندی می‌شود. شیب صفر تا ۲ درصد بیش ترین فرض نفوذ را دارد و رتبه‌ی ۱۰ را داراست. و نواحی با شیب بالای ۱۰ درصد در پایین ترین رتبه قرار می‌گیرند، چون کمترین نفوذ را دارا می‌باشند. تأثیر دیگر شیب در توسعه خاک است بطوری که در شیب‌های بالا ضخامت لایه‌ی خاک سطحی کم می‌شود. در محدوده‌ی داورزن برای تهیه نقشه شیب از نقشه‌های رقومی سازمان جغرافیایی ارتش با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شده است، برای این منظور

نقشه‌های توپوگرافی در نرم افزار Arc- GIS به مدل رقومی ارتفاع تبدیل شده و سپس نقشه شیب از مدل ارتفاع رقومی محاسبه و استخراج شده است. رتبه‌بندی این لایه براساس جدول ۶ و وزن آن ۲ پیشنهاد شده است.

جدول شماره (۶): رتبه‌بندی شیب زمین (Aller & Bennet, 1987)

رتبه‌بندی	شیب بر حسب درصد
۱۰	۰-۲
۹	۲-۴
۸	۴-۶
۶	۶-۸
۳	۸-۱۰
۱	>۱۰



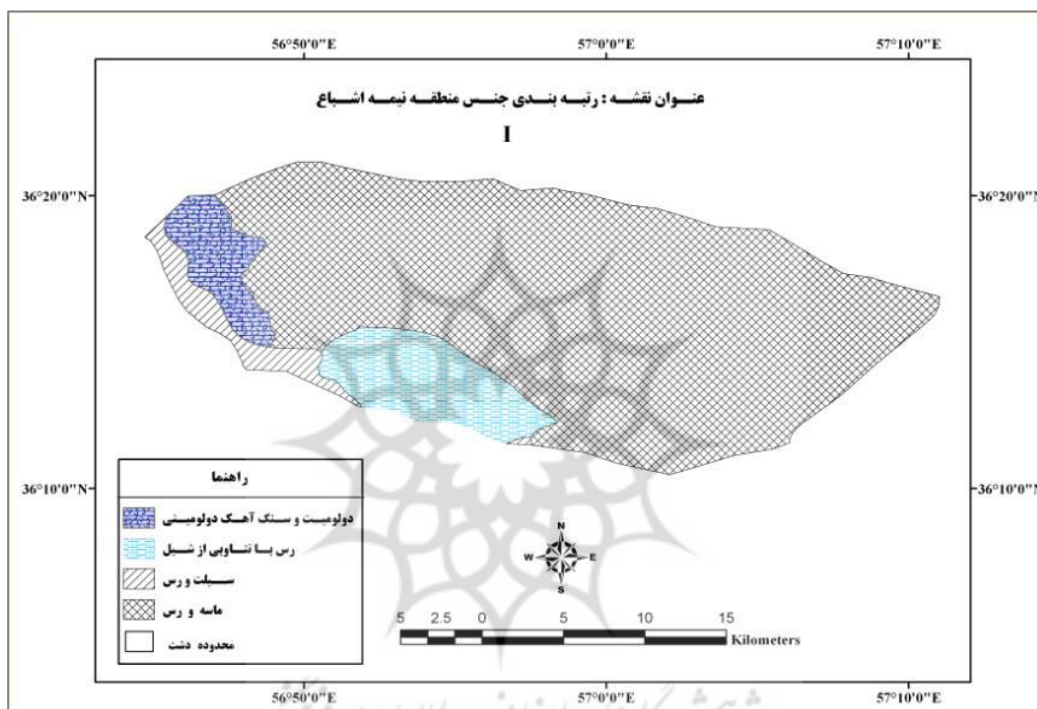
شکل شماره (۷): نقشه کلاسه‌بندی شیب توپوگرافی بر حسب درصد

۴-۶- اثر منطقه غیر اشباع (I): این لایه مربوط به جنس خاک می‌باشد، که از زون خاک سطحی شروع و تا سطح ایستابی ادامه می‌یابد. و از نظر دارا بودن آب، غیراشباع یا به صورت ناپیوسته اشباع می‌باشند. درمدل دراستیک فرض بر این است که محیط و شرایط منطقه غیراشباع اثر زیادی بر مواد آلاینده دارد، زیرا در این منطقه (تا قبل از رسیدن به سطح ایستابی) فرصت جذب و یا رقیق شدگی پیدا می‌کنند. نحوه‌ی تهیه اطلاعات مربوط به منطقه غیر اشباع همانند محیط آبخوان است با این تفاوت که در این مورد دانه‌بندی و خصوصیات رسوبات

ما بین سطح آب زیرزمینی و سطح زمین مورد توجه قرار می‌گیرد. رتبه‌بندی این لایه براساس جدول ۷ وزن آن ۴ پیشنهاد شده است.

جدول شماره (۷): رتبه‌بندی جنس منطقه غیر اشباع (Aller & Bennet, 1987)

رتبه‌بندی	جنس منطقه نیمه اشباع
۳	سیلت و رس
۵	رس با تناوبی از شیل
۷	ماسه و رس
۹	دولومیت و سنگهای آهک دولومیتی

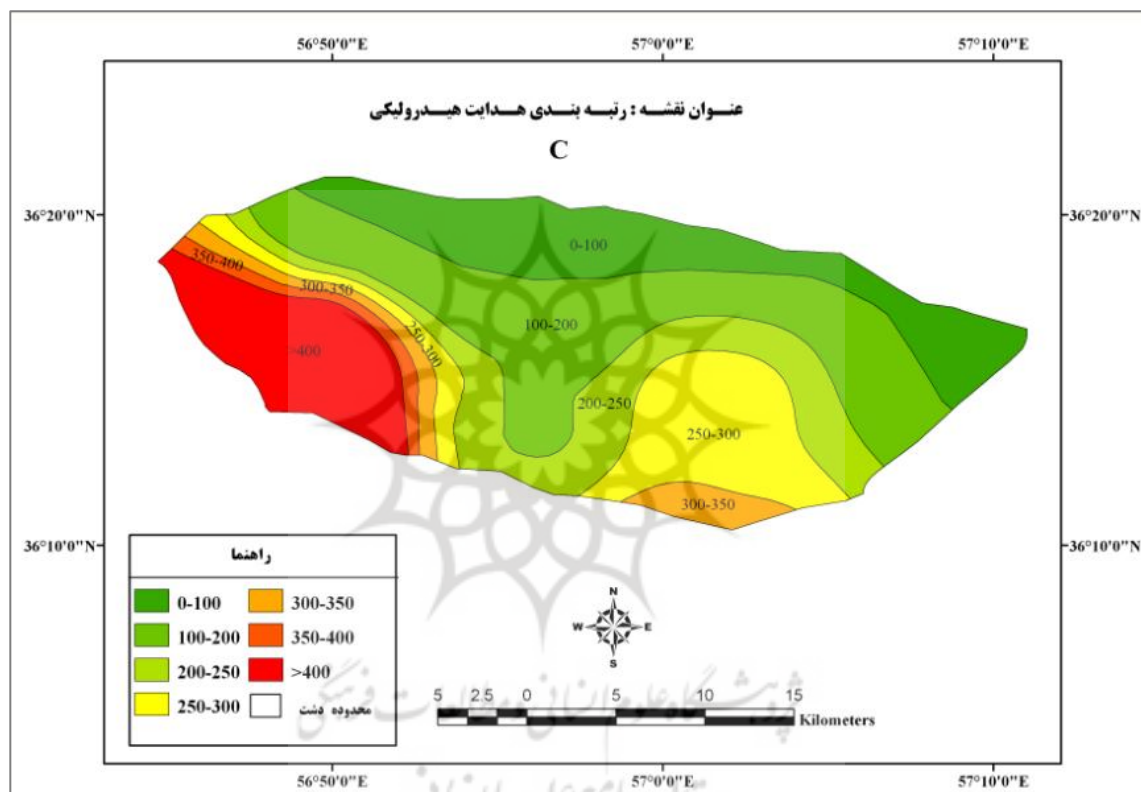


شکل شماره (۸): نقشه کلاسه‌بندی شده اثر منطقه غیر اشباع

۴-۷ - **لایه هدایت هیدرولیکی (C):** این لایه مربوط به نفوذپذیری سفره یا توانائی مواد سفره به منظور انتقال آب یا مواد محلول می‌باشد. در مسائل هیدرولوژی هدایت هیدرولیکی با حرف بزرگ  $K$  نشان می‌دهند و دیمانسیون آن از نوع سرعت می‌باشد. در واقع شدتی است که آب زیرزمینی تحت شیب هیدرولیکی محیط، جریان پیدا می‌کند (Tood, 1980). هدایت هیدرولیکی عامل کنترل‌کننده حرکت و زمان ماندگاری مواد آلاینده از نقطه‌ای که وارد سطح خاک می‌شود تا درون سفره می‌باشد. به همین خاطر افزایش  $K$  باعث پتانسیل آلودگی بیشتر یا بالاتر می‌باشد. اطلاعات مربوط به هدایت هیدرولیکی از محاسبات آزمایش پمپاژ حاصل می‌گردد. در مناطقی که آزمایش پمپاژ انجام نگردیده است. براساس مقادیر نمونه و ساختارهای مشابه، نوع و بافت رسوبات تشکیل‌دهنده آبخوان هدایت هیدرولیکی تخمین زده می‌شود. نقشه هدایت هیدرولیکی از نتایج مدل ریاضی آب زیرزمینی دشت داورزن (شرکت مهندسی مشاور ساز آب شرق، ۱۳۸۸) استخراج شده است. رتبه‌بندی این لایه براساس جدول ۸ و وزن آن ۴ پیشنهاد شده است.

جدول شماره (۸): رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی (Aller &amp; Bennet, 1987)

رتبه‌بندی	هدایت هیدرولیکی
۱	۰-۱۰
۳	۱۰-۲۰
۵	۲۰-۲۵
۶	۲۵-۳۰
۸	۳۰-۳۵
۹	۳۵-۴۰
۱۰	>۴۰



شکل شماره (۹): نقشه کلاسه‌بندی شده هدایت هیدرولیکی بر حسب متر بر روز

##### ۵- ترکیب و تلفیق لایه‌ها

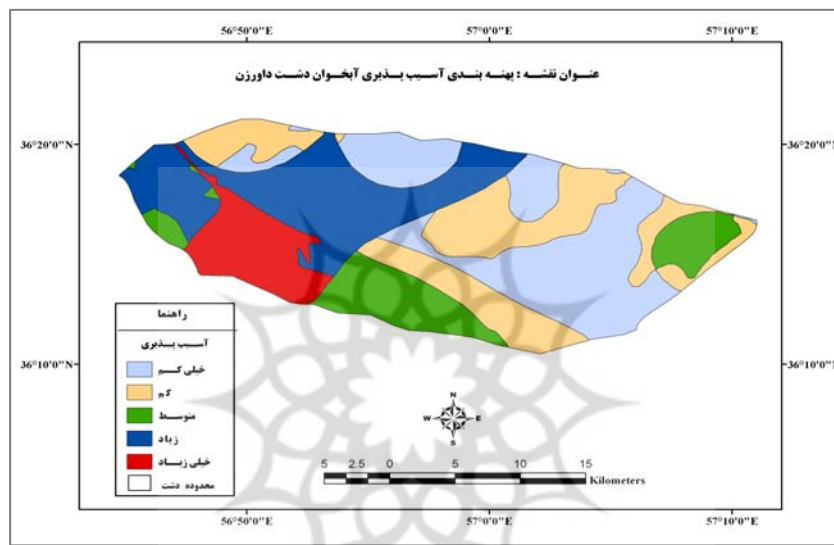
در *GIS* برای ترکیب لایه‌های رستری از تابع همپوشانی<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. از آن‌جا که داده‌های مورد استفاده همگی به فرمت رستری تبدیل شده بودند، بنابراین تابع همپوشانی برای این هدف استفاده شد. این تابع به دو صورت ریاضی<sup>۲</sup> و وزنی<sup>۳</sup> عمل ترکیب داده‌ها را انجام می‌دهد. با توجه به این که لایه‌های مورد نظر در مدل دراستیک هر یک دارای وزن خاصی بودند، برای ترکیب و تلفیق داده‌ها از تابع همپوشانی وزنی از طریق منوی *Raster calculator* در نرم افزار *ArcGis* برای تلفیق لایه‌ها استفاده شد. برای این کار تمام لایه‌ها همراه با ضرایب به صورت درصد برای

<sup>1</sup>- Overlay

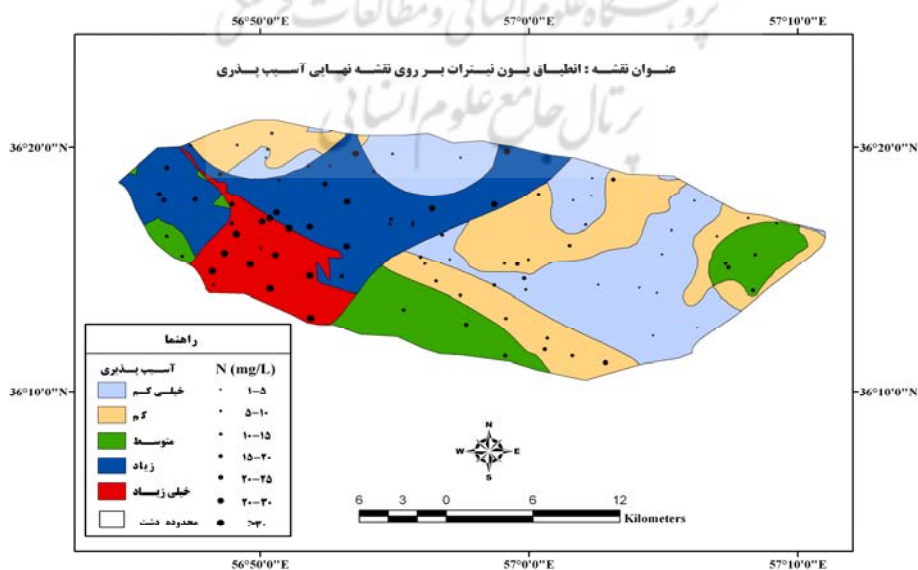
<sup>2</sup>- Arithmetic

<sup>3</sup>- Weighted

مدل تعریف شد و سپس عمل تلفیق لایه‌های مورد نظر صورت پذیرفت. نقشه نهایی آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلودگی، با تقسیم‌بندی به پنج محدوده آسیب‌پذیری خیلی کم، آسیب‌پذیری کم، آسیب‌پذیری متوسط، آسیب‌پذیری زیاد، آسیب‌پذیری خیلی زیاد در شکل شماره (۱۰) نشان داده شده است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی به دست آمده 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 در محدوده آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار می‌گیرد. برای صحت سنجی نقشه نهایی آسیب‌پذیری از یون نیترات (به عنوان آلاینده طبیعی در منطقه) استفاده شد (شکل شماره ۱۱). با انطباق یون نیترات بر روی نقشه نهایی دراستیک مشخص شد که کلیه نقاطی که دارای نیترات بالا هستند، در محدوده‌ی با نیروی آلودگی زیاد قرار گرفته‌اند که این می‌تواند دقت و صحت مدل را تایید کند.



شکل شماره (۱۰): نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری دشت داورزن



## ۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق نقشه‌ی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت داورزن در مقابل آلودگی با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS تهیه شده است. در روش *DRASTIC* از هفت پارامتر شامل عمق سطح ایستابی (*D*)، شبکه تغذیه (*R*)، جنس آبخوان (*A*)، نوع خاک (*S*)، شیب توپوگرافی (*T*)، مواد تشکیل‌دهنده‌ی منطقه غیر اشباع (*I*) و هدایت هیدرولیکی (*C*) مورد استفاده شده است. با وزن دهی و رتبه‌بندی و تلفیق هفت لایه دراستیک در محیط GIS، نقشه نهایی آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلودگی، با تقسیم‌بندی به پنج محدوده‌ی خیلی کم تا خیلی زیاد به دست آمد. برای صحت‌سنجی نقشه نهایی آسیب‌پذیری از یون نیترات (به عنوان آلاینده طبیعی در منطقه) استفاده شد. با انطباق یون نیترات بر روی نقشه نهایی دراستیک مشخص شد که کلیه‌ی نقاطی که دارای یون نیترات بالا هستند در محدوده‌ای با نیروی آلودگی زیاد قرار گرفته‌اند که این می‌تواند دقت و صحت مدل را مورد تایید قرار دهد. از نظر وسعت می‌توان گفت که حدود حدود ۲۳/۲ درصد از منطقه مورد مطالعه در محدوده‌ی آسیب‌پذیری خیلی کم، ۲۱/۴ درصد آسیب‌پذیری کم، ۱۷/۳۸ درصد آسیب‌پذیری متوسط، ۲۵/۴۳ درصد آسیب‌پذیری زیاد و ۱۲/۵۹ درصد در محدوده آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار می‌گیرد. بر پایه‌ی نتایج حاصل از مدل سازی *DRASTIC* آسیب‌پذیری آبخوان دشت داورزن تقریباً در نیمه شرقی در گروه آسیب‌پذیری کم و نیمه غربی در گروه آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که میزان آلودگی و پتانسیل آلودگی آبخوان بالا بوده و با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه که برای مقاصد مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، حفاظت این مناطق به منظور جلوگیری از آلودگی و مدیریت بهینه منابع آب ضروری است.

## ۷- فهرست منابع

- (۱) تجریشی، م.، ابریشمچی، ا.، موسوی س.ر.، تفضیلی، م.، علم الهدی، ع.ا.، توفیق، م. و پور کاشانی، ف.، (۱۳۷۸)، ارائه روشی به منظور ارزیابی آسیب پذیری آب های زیرزمینی نسبت به مصرف سموم و آفت کش ها، مجموعه مقالات پژوهشی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
- (۲) خدائی، ک. و شهسواری، ع. (۱۳۸۲)، پهنه بندی آسیب پذیری آب زیرزمینی آبخوان دشت بهبهان در مقابل آلودگی با استفاده از روش دراستیک، بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور .
- (۳) سازمان جغرافیایی ارتش جمهوری اسلامی ایران، (۱۳۵۲)، نقشه ی توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰
- (۴) سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی ایران، (۱۳۷۵)، نقشه ی زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.
- (۵) شرکت مهندسی مشاور ساز آب شرق، (۱۳۸۸)، مدیریت به هم پیوسته منابع آب شهرستان سبزوار.
- (۶) شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی، (۱۳۸۹)، مدیریت پایه منابع آب های زیرزمینی.
- (۷) موسسه آب و خاک کشور، (۱۳۷۲)، نقشه خاک دشت داورزن و سبزوار.
- (8) Al-Adamat, R.A.N., I.D.L., Foster, S.M.J., Baban. 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, 303-324.
- (9) Aller, L., Bennett, T., Lehr et al. 1987. *DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings*, EPA 600/2-87-035. Ada, Oklahoma: U.S. Environmental Protection Agency.
- (10) 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* 333, 288- 304.
- (11) Babiker, I.S., et al. 2005. *A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan*. *Science of the Total Environment* 345, 127-140.
- (12) Bouwer, H. 1978. *Groundwater*, New York, Mc Grow, Hill Inc.
- (13) Evans, B.M., W.L., Mayers. 1990. *A GIS-based approach to evaluating regional groundwater pollution potential with DRASTIC*. *Journal of Soil and Water Conservation* 45, 242-245.
- (14) LeGrand, H.E. 1964. *System for evaluating the contamination potential of some waste sites*. *Journal of American Water Works Association* 56, 959-974.
- (15) Lobo Ferreira, J.P. and Oliveira, M., 1997. *On the DRASTIC ground water vulnerability mapping of Portugal*, *Proceedings from the 27th Congress of the International Association for Hydraulic Research, San Francisco, USA*, 132-137.
- (16) Kim, Y.J., S.Y., Hamm. 1999. *Assessment of the potential for ground water contamination using the DRASTIC/EGIS technique, Cheongju area, South Korea*: *Hydrogeol. J.*, 7 (2): 227-235.

- (17) Merchant, J. 1994. **GIS-based groundwater pollution hazard assessment: a critical review of the DRASTIC model**. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60 (9), 1117-1127.
- (18) Panagopoulos, G., A., Antonakos, N., Lambrakis .2006. **Optimization of DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment, by the use of simple statistical methods and GIS**. *Hydrogeology Journal (published Online)*
- (19) Rahman, A. 2007. **A GIS based model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Algarh, India**. *Applied Geogr.*, 28 (1): 32-53.
- (20) Samey, A.A., C., Gang .2008. **A GIS based DRASTIC model for the assessment of groundwater vulnerability to pollution in west Mitidja: Blida city, Algeria**. *Research Journal of Applied Sciences* 3 (7): 500-507.
- (21) Soper, R.C. 2006. **Groundwater vulnerability to agrochemicals: A GIS-based DRASTIC model analysis of Carroll, Chariton, and Saline Counties, Missouri, USA**. Master science thesis, University of Missouri-Columbia.
- (22) Todd, P.K. ,1980, **Ground water , Hydrology , Kluwer Academic Publisher**.400 p.
- (23) Thapinta, A., P., Hudak .2003. **Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution potential by pesticides in Central Thailand**. *Environmental International* 29, 87-93.
- (24) Vrba, J., A., Zoporozec.1994. **Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International Contributions to Hydrogeology**. Verlag Heinz Heise GmbH and Co. KG.
- (25) Worrall, F., T., Besien.2004. **The vulnerability of groundwater to pesticide contamination estimated directly from observations of presence or absence in wells**. *Journal of Hydrology* 303 (1-4), 92-107.
- (26) Zabet, T.A. 2002. **Evaluation of aquifer vulnerability to contaminant potential using DRASTIC method**. *Environ. Geol.*, 43(1-2): 203-208.