

## ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت قائن با استفاده از مدل DRASTIC الهه ساداتی‌پور<sup>۱\*</sup>، روح اله نوری<sup>۲</sup>، اکبر باغوند<sup>۳</sup>، سامان جوادی پیربازاری<sup>۴</sup>، حمید کاردان مقدم<sup>۵</sup>

<sup>۱\*</sup> نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناس ارشد علوم محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، elahe.sadatipour@yahoo.com

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، noori@ut.ac.ir

<sup>۳</sup> دانشیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، baghvand@ut.ac.ir

<sup>۴</sup> استادیار پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، javadis@ut.ac.ir

<sup>۵</sup> دانشجوی دکتری منابع آب، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، hkardan@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۱۱

### چکیده

منابع آب زیرزمینی اگرچه از آسیب‌پذیری کمتری نسبت به آب‌های سطحی برخوردارند، اما به دلیل عدم سهولت تصفیه در صورت آلوده شدن نیاز به مدیریت مناسبی دارند. در این تحقیق با توجه به اهمیت آبخوان دشت قائن در تامین آب مورد نیاز شرب و همچنین کشاورزی و تولید زعفران، ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان این دشت انجام شد. برای این منظور با جمع‌آوری پارامترهای ورودی مدل DRASTIC شامل عمق آب‌زیرزمینی، تغذیه خالص، مواد تشکیل‌دهنده آبخوان، نوع خاک، توپوگرافی، اثر منطقه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی آبخوان، آسیب‌پذیری آبخوان تعیین گردید. نتایج به دست آمده از DRASTIC مشخص نمود که حدود ۶/۲۹ درصد از آبخوان در محدوده پتانسیل آسیب‌پذیری کم، ۹۱/۳۴ درصد در محدوده آسیب‌پذیری متوسط و ۲/۳۶ درصد واقع در شمال‌شرقی آبخوان در محدوده آسیب‌پذیری زیاد قرار دارد. نتایج این تحقیق می‌تواند در اتخاذ تصمیمات مدیریتی در راستای بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی در دشت قائن مورد استفاده قرار گیرد.

### کلمات کلیدی

"آب زیرزمینی"، "آبخوان قائن"، "آسیب‌پذیری"، "شاخص DRASTIC".

### ۱- مقدمه

به همین منظور برای جلوگیری از آلودگی این منابع آبی، لزوم شناسایی مناطق دارای پتانسیل آلودگی و آسیب‌پذیری بالا در برابر منابع آلاینده دو چندان می‌گردد. آسیب‌پذیری شاخصی بدون بعد است و به خصوصیات زمین‌شناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژیکی آبخوان بستگی دارد (Antonakos & Lambrakis, 2007). یکی از رایج‌ترین روش‌های برآورد آسیب‌پذیری آبخوان‌ها، استفاده از روش DRASTIC است که توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا ارائه شده است (Aller et al., 1987). تحقیقات زیادی پیرامون ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی با روش DRASTIC در سایر نقاط

از آنجایی که سهم بارش در ایران به عنوان کشوری خشک و نیمه خشک حدود یک سوم میانگین جهانی می‌باشد (۲۵۰ mm)، عملاً در بسیاری از مناطق ایران از جمله استان خراسان جنوبی و دشت قائن مهم‌ترین منبع تامین آب مورد نیاز برای بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت آبهای زیرزمینی می‌باشد. منابع آب زیرزمینی به دلیل قرار گرفتن در لایه‌های زیرین خاک اگرچه از حساسیت و آسیب‌پذیری کمتری نسبت به آب‌های سطحی در برابر منابع آلاینده گسترده و نقطه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی برخوردارند، اما به دلیل عدم سهولت تصفیه در صورت آلوده شدن نیاز به مدیریت مناسبی دارند (Babiker et al., 2005).

شکل ۱) می‌باشد. متوسط ارتفاع محدوده بر اساس محاسبات GIS به میزان ۱۶۵۵ متر از سطح تراز دریاها می‌باشد. متوسط بارندگی در این محدوده ۱۶۰ میلی‌متر در سال می‌باشد و متوسط دمای سالانه ۱۵/۲۴ درجه سانتی‌گراد است. همچنین متوسط بارندگی دشت با مساحت ۲۴۷/۹ کیلومتر مربع ۱۵۷ میلی‌متر و در ارتفاعات با مساحت ۶۸۱/۳ کیلومتر مربع ۱۶۰/۴ میلی‌متر در سال برآورد شده است. این حوضه فاقد رودخانه دائمی بوده که رواناب حاصله با تعدادی مسیل از ارتفاعات جنوبی و شرقی به سمت غرب محدوده در جریان است که از طریق رودخانه کال خونیک به محدوده اسفدن (رودخانه فرخی) تخلیه می‌گردد و در خروجی نیز نقش زهکش را دارد. مقادیر تبخیر سالانه از سطح تشت تبخیر در محدوده مورد مطالعه به تفکیک کوه و دشت به ترتیب ۳۰۴۶/۲ و ۳۱۰۲/۲ میلی‌متر را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی قائن

### • مدل DRASTIC

مدل DRASTIC در زمره روش رتبه‌دهی توصیفی (شاخص-همپوشانی)<sup>۱</sup> یکی از روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان، قرار دارد. (دستورالعمل تعیین حریم کیفی آب‌های زیرزمینی، ۱۳۹۲). اساساً از مدل DRASTIC به شرط داشتن اطلاعات کافی از منطقه می‌توان به عنوان پیش زمینه‌ای تئوریک جهت به کارگیری روش‌های مختلف به منظور بررسی ریسک آسیب‌پذیری آبخوان استفاده کرد.

از مزایای این روش این است که الگوریتم‌های نسبتاً ساده‌ای را فراهم می‌کند تا بتوان حجم زیادی از اطلاعات مکانی را تلفیق

دنیا نظیر منطقه جیانگین واقع در اطراف رودخانه یانگ تسه و دشت پکن چین (Wang et al. 2012; You-Hailin et al. 2011)، رومانی (Gabriela Breabăn & Paiu, 2012)، آبخوان ارزق و ویدیکوفرینجا واقع در اردن (Al-Adamat et al. 2003; Rakad Taany et al. 2013)، ژاپن (Babiker et al. 2005)، منطقه بنگال غربی و آبخوان آلیگاره در هندوستان (Rahman, 2008; Shahid, 2000)، تونس (Hamza et al. 2007)، منطقه لاهور پاکستان (Malik Muhammad et al. 2015)، اسپانیا (Vias et al. 2006)، برزیل (Nober et al. 2007)، سوریه (Katta et al. 2010)، آمریکا (Evans, 1990) و ایتالیا (Corniello et al. 1997) صورت گرفته است. همچنین در ایران نیز روش DRASTIC برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان به طور موردی در دشت بازرگان و پلدشت (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۸۸)، هشتگرد (آزاد شهرکی و همکاران، ۱۳۸۹)، داورزن (امیر احمدی و همکاران، ۱۳۹۰)، ملایر (معروفی و همکاران، ۱۳۹۱)، اندیمشک (اصفی و همکاران، ۱۳۹۲)، خاتون آباد کرمان (نخعی و همکاران، ۱۳۹۲) و نیشابور (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۲) به کار گرفته شده است.

در این پژوهش نیز با توجه به اهمیت زیاد دشت قائن در کشاورزی و تولید زعفران، و همچنین در راستای ایجاد توسعه پایدار استفاده از منابع آب زیرزمینی در این دشت، ارزیابی آسیب‌پذیری و تعیین مناطقی با ریسک خطرپذیری بیشتر در منطقه مورد توجه قرار گرفته است. برای این منظور با توجه به عملکرد قابل قبول مدل DRASTIC، از این مدل برای تعیین آسیب‌پذیری این دشت استفاده شد.

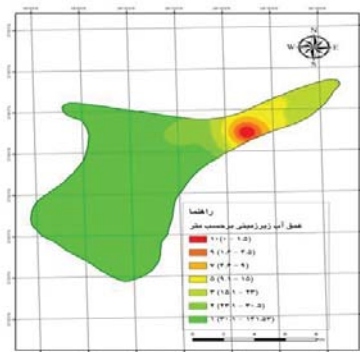
### ۲- روش انجام تحقیق

#### • محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی قائن از زیرحوضه‌های نمکزار خواف - دق پترگان ایران (کد ۵۱) در استان خراسان جنوبی ما بین طول‌های ۱۱۲° ۵۹' تا ۱۱۲° ۵۸' شرقی و عرض‌های ۳۳° ۳' تا ۳۳° ۲۶' شمالی واقع شده است. در شکل شماره ۱ موقعیت آبخوان قائن نسبت به کل کشور نشان داده شده است. این حوضه تقریباً مثلثی شکل بوده و مساحت آن بر اساس نقشه رقومی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ۹۲۹/۲۰ کیلومتر مربع می‌باشد. حداکثر ارتفاع ۲۶۲۵ متر در قله کوه عباس و حداقل ارتفاع در این محدوده ۱۲۸۴ متر در قسمت خروجی دشت (مشخص شده با رنگ قرمز بر روی

<sup>1</sup> Subjective Rating (Index and Overlay) Methods

صورت نقطه‌ای است و باید به سطح تبدیل شوند لازم است که برای این کار پس از وارد کردن اطلاعات نقطه‌ای مربوط به عمق آب زیرزمینی در محیط GIS با استفاده الگوریتم‌های درون‌یابی مانند روش IDW نقشه سطحی عمق آب زیرزمینی تهیه شود. سپس با استفاده از رتبه‌بندی عمق آب زیرزمینی به روش آلر (۱۹۸۷)، رتبه هر محدوده تعیین می‌گردد. هرچه عمق سطح ایستابی کمتر باشد رتبه بزرگتری به آن منطقه نسبت داده می‌شود. کمترین محدوده عمق تا سطح ایستابی بین صفر تا ۱/۵ بوده که بیشترین رتبه یعنی عدد ۱۰ را به خود اختصاص می‌دهد و بیشترین محدوده عمق بیش از ۳۰/۱ متر بوده که رتبه یک به آن اختصاص داده شده است. خوشبختانه از منظر رتبه‌بندی و ضریب DRASTIC، در اکثر مناطق دشت به غیر از محدوده شمال شرقی آبخوان عمق آب زیرزمینی بیشتر از ۲۳ متر است و ضریب مربوطه کمتر از دو می‌باشد. در شکل شماره ۲ پهنه بندی عمق آب زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۲- پهنه بندی عمق آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی قائن تغذیه خالص

برای تعیین پارامتر تغذیه خالص و تهیه نقشه مربوط به آن از روش پیشنهادی پیسکوپو<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۱) استفاده شد. در این روش پارامترهایی که در تغذیه آبخوان منطقه مطالعاتی حائز اهمیت هستند همچون شیب، بارندگی و نفوذپذیری خاک، طبق رابطه ۱ با یکدیگر ترکیب می‌گردد و نقشه نهایی تغذیه آبخوان به صورت رستری با توجه به معیارهای جدول ۱ تهیه می‌شود.

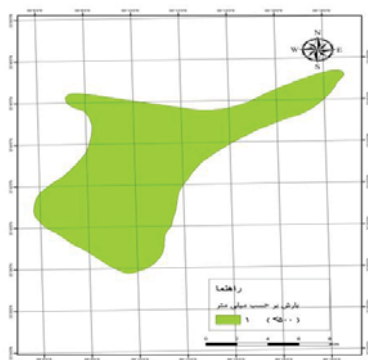
کرده و به صورت نقشه‌های شاخص و رده بندی آسیب‌پذیری ارائه نمود (Lindstrom, 2005). پایه و اساس این روش‌ها بر مبنای منابع بالقوه و منابع آلودگی موجود در محیط آبخوان می‌باشد. در این مدل هفت پارامتر برآورد می‌شوند که در سیستم هیدروژئولوژیکی کنترل کننده آلودگی آب زیرزمینی می‌باشند. این پارامترها شامل عمق آب زیرزمینی<sup>۱</sup>، تغذیه خالص<sup>۲</sup>، مواد تشکیل دهنده آبخوان<sup>۳</sup>، نوع خاک<sup>۴</sup>، توپوگرافی<sup>۵</sup>، اثر منطقه غیراشباع<sup>۶</sup> و هدایت هیدرولیکی آبخوان هستند (lowe & Butler, 2003). اهمیت هر یک از این عوامل به طوری است که به هر کدام از آن‌ها با توجه به پتانسیل آلودگی آنها، ارزشی بین ۱ تا ۱۰ نسبت داده می‌شود. (۱ نشان‌دهنده خطرپذیری کم و ۱۰ نشان-دهنده خطرپذیری زیاد منابع آب زیرزمینی در برابر آلاینده می‌باشد). به هر پارامتر براساس استعداد و اهمیت نسبی در برابر آلاینده، شرایط حاکم در آن منطقه و خصوصیات هیدروژئولوژیکی یک وزن نسبی از ۱ تا ۵ اختصاص داده می‌شود. به مهم‌ترین پارامتر وزن ۵ و به کم اهمیت‌ترین وزن ۱ اختصاص پیدا می‌کند.

#### • آماده سازی لایه‌های ورودی مدل DRASTIC

به منظور پهنه‌بندی آسیب‌پذیری از نرم افزار Arc GIS 10.2 استفاده شد. برای اجرای این مدل ابتدا امار و اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری و سپس وارد پایگاه اطلاعاتی GIS شدند. پایگاه اطلاعاتی برای داده‌های با فرمت نقطه‌ای ابتدا در محیط نرم‌افزار اکسل تهیه گردیده و سپس وارد محیط GIS شدند. بعلاوه الگوریتم‌های مختلفی بر روی داده‌ها مانند ادغام کردن<sup>۷</sup>، بریدن<sup>۸</sup>، درون‌یابی IDW<sup>۹</sup> و برهم نهی<sup>۱۰</sup> صورت پذیرفت.

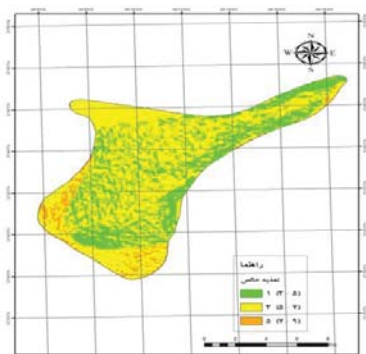
عمق آب زیرزمینی برای تهیه این لایه از امار پیژومترهای موجود در منطقه که بالغ بر ۸ حلقه می‌باشد استفاده گردید. اطلاعات آماری مربوط به سال ۱۳۹۴ می‌باشد و از شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی اخذ شده است. از آنجایی که اطلاعات مربوط به عمق آب زیرزمینی به

- 1 Depth of Water
- 2 Net Recharge
- 3 Aquifer Media
- 4 Soil Media
- 5 Topography
- 6 Impact of the Vadose Zone Media
- 7 Merge
- 8 Clip
- 9 Inverse Distance Weighted
- 10 Overlay



شکل ۳- لایه‌های مورد نیاز جهت تهیه لایه تغذیه خالص در منطقه مطالعاتی قائن

پس از تهیه تمام نقشه‌های مذکور، لایه تغذیه خالص آبخوان با هم‌پوشانی نقشه‌های شیب و خاک به همراه میزان بارش به دست آمد. به منظور هم‌پوشانی لایه‌ها از ابزار **Raster Calculator** در محیط **GIS** استفاده شده است. در شکل ۴ پهنه‌بندی تغذیه خالص و جدول ۲ میزان درصد سطح پوشش طبقات تغذیه خالص در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۴- پهنه بندی تغذیه خالص محدوده مطالعاتی قائن

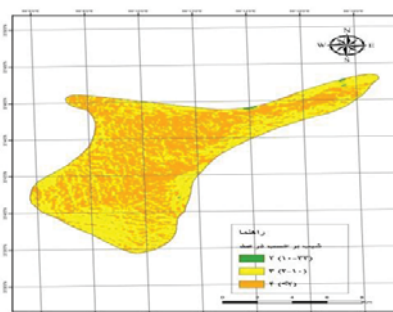
جدول ۲- میزان درصد سطح پوشش طبقات تغذیه خالص در منطقه مورد مطالعه

رتبه	در صد سطح پوشش
۱	۲۹/۶۷
۳	۶۴/۸۸
۵	۵/۴۴

جدول ۱- رتبه‌بندی تغذیه (Piscopo, 2001)

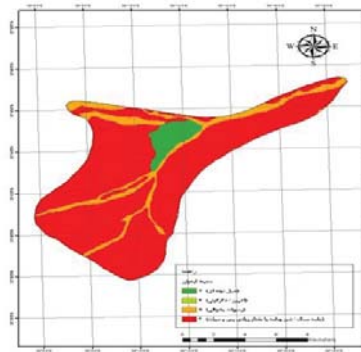
بارندگی		شیب	
فاکتور	بارش (میلی‌متر)	فاکتور	شیب (%)
۴	>۸۵۰	۴	<۲
۳	۷۰۰-۸۵۰	۳	۲-۱۰
۲	۵۰۰-۷۰۰	۲	۱۰-۳۳
۱	<۵۰۰	۱	>۳۳
میزان تغذیه		نفوذپذیری خاک	
فاکتور	محدوده	فاکتور	محدوده
۱۰	۱۱-۱۳	۵	زیاد
۸	۹-۱۱	۴	متوسط تا زیاد
۵	۷-۹	۳	متوسط
۳	۵-۷	۲	کم
۱	۳-۵	۱	خیلی کم

رابطه ۱: نفوذپذیری خاک + میزان بارندگی + شیب = تغذیه نقشه نفوذپذیری با توجه به همان فاکتورها که برای اثر ناحیه غیراشباع استفاده گردید تهیه شد. برای تجزیه و تحلیل بارندگی از آمار موجود در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه استفاده گردیده است. با روش میان‌یابی داده‌ها و سپس کلاس‌بندی کردن و اختصاص دادن رتبه مورد نظر به محدوده در محیط **GIS** یک طبقه توصیفی که در منطقه مورد مطالعه برابر با یک است به دست آمد. همچنین برای تهیه نقشه شیب با همان روش محاسبه پارامتر توپوگرافی که بعداً توضیح داده خواهد شد عمل می‌شود با این تفاوت که رتبه‌دهی و محدوده نمرات درصد شیب در اینجا متفاوت است که در کلاس‌بندی کردن، محدوده این تغییرات و رتبه‌ها اعمال می‌گردد (شکل شماره ۳).



• مواد تشکیل دهنده آبخوان

اطلاعات مربوط به محیط آبخوان قائن از کاوش‌های زیر سطحی و لوگ حفاری‌های اکتشافی و نقشه‌های ژئوفیزیکی و زمین شناسی منطقه به دست آمد. سپس بر حسب جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان و براساس رتبه‌بندی مواد تشکیل دهنده آبخوان توسط آلر و همکاران (۱۹۸۷) طبقه‌بندی انجام گرفت. نقشه رستری مواد تشکیل دهنده آبخوان که در شکل ۵ نشان داده شده است در محیط ArcGIS 10.2 تهیه گردید. با توجه به شکل حدود ۸۱/۶ درصد از محیط آبخوان منطقه مورد مطالعه دارای جنس شن و ماسه به همراه مقدار زیادی سیلت و رس، ۱۳ درصد شامل رسوبات یخچالی، ۵/۲ درصد شیل توده‌ای و مقدار ناچیزی در حدود ۰/۰۱ درصد از نوع آذرین می‌باشد.

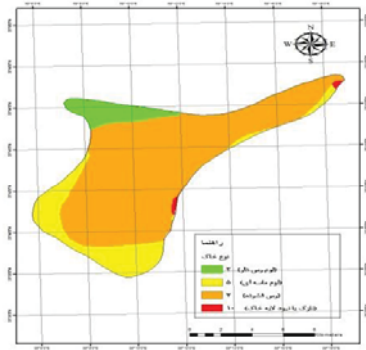


شکل ۵- پهنه‌بندی مواد تشکیل دهنده آبخوان قائن

• محیط خاک

برای تهیه این لایه از نقشه خاک منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استفاده شد. این نقشه مربوط به سازمان زمین شناسی کشور می‌باشد که پس از تهیه آن ابتدا زمین مرجع و سپس رقمی گردید. به پلی‌گون‌های ایجاد شده با توجه به رتبه‌دهی آلر و همکاران (۱۹۸۷) بر حسب جنس و نوع خاک مربوطه رتبه‌ای بین صفر تا ۱۰ اختصاص داده شد و نقشه رستری محیط خاک تهیه گردید. قابل ذکر است که خاک منطقه اکثراً خیلی عمیق و بعضاً نسبتاً عمیق تکامل یافته با بافت متوسط تا سنگین (از نوع رسی و با نفوذپذیری اندک) و در بعضی قسمت‌ها مانند بخش شمال غربی آبخوان خاک‌های کم عمق تا نسبتاً عمیق بر روی مارن‌های گچی و نمکی وجود دارد. همچنین در بخش جنوبی آبخوان خاک‌ها کم عمق تا نیمه عمیق و بدون تکامل پروفیلی و یا تکامل یافته با افق کلسیک هستند. در شکل ۶ پهنه بندی نوع خاک برای منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است که حدود

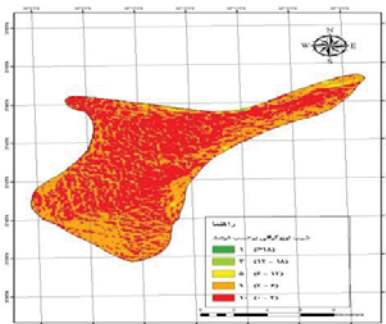
۷۵/۵ درصد از خاک آبخوان منطقه مورد مطالعه دارای جنس رس فشرده، ۱۶/۷ درصد شامل لوم ماسه‌ای، ۷/۲ درصد لوم رس‌دار و مقدار ناچیزی در حدود ۰/۴۹ درصد فاقد خاک می‌باشد.



شکل ۶- پهنه بندی نوع خاک منطقه مطالعاتی قائن

• توپوگرافی

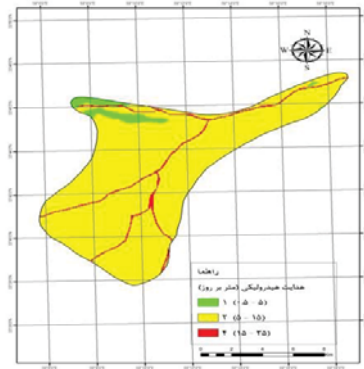
برای تهیه نقشه شیب از داده‌های ماهواره SRTM استفاده شد و برای این منظور مدل رقمی ارتفاعی (DEM<sup>1</sup>) تهیه شده در نرم افزار ArcGIS، با استفاده از الگوریتم D8 به الگوی رقمی شیب تبدیل شد. پس از به دست آمدن نقشه رستری شیب به کمک طبقه‌بندی آلر و همکاران (۱۹۸۷) مقدار رتبه مربوط به درصد شیب هر طبقه تهیه گردید. شکل ۷ نشان‌دهنده پهنه بندی بندی لایه توپوگرافی بر حسب درصد شیب که حدود ۵۵ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای درصد شیب ۰-۲ درصد، ۴۳/۴۲ درصد دارای شیب ۲-۶ درصد، ۰/۷ درصد دارای شیب ۱۲-۶ درصد، ۰/۱ درصد دارای شیب ۱۸-۱۲ درصد و حدود ۰/۰۱ درصد دارای درصد شیب بیش از ۱۸ درصد می‌باشد.



شکل ۷- پهنه بندی لایه توپوگرافی بر حسب درصد شیب منطقه مطالعاتی قائن

1 Digital Evaluation Model

• اثر منطقه غیراشباع

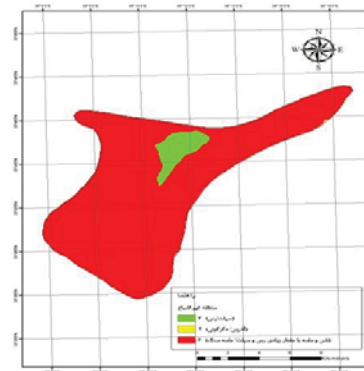


شکل ۹- پهنه بندی لایه هدایت هیدرولیکی در منطقه مطالعاتی قائن

نحوه تهیه اطلاعات مربوط به لایه منطقه غیراشباع، همانند محیط آبخوان از لوگ حفاری‌های اکتشافی و نقشه‌های ژئوفیزیکی و با توجه به رتبه‌دهی آلر و همکاران (۱۹۸۷) صورت می‌پذیرد؛ با این تفاوت که در این مورد، به دانه‌بندی، جنس و ویژگی‌های رسوبات بین سطح آب زیرزمینی و سطح زمین توجه می‌شود. شکل ۸ نشان‌دهنده پهنه بندی لایه اثر منطقه غیر اشباع است که حدود ۹۴/۷ درصد از آبخوان منطقه مورد مطالعه دارای جنس شن و ماسه به همراه مقدار زیادی رس و سیلت، ۵/۲۷ درصد شامل سیلت/رس و مقدار ناچیزی در حدود ۰/۰۱ درصد از نوع آذرین می‌باشد.

۳- نتایج

پس از تهیه هفت لایه مورد نیاز با توجه به وزن‌های اختصاص داده شده به پارامترها توسط آلر (جدول ۳) و رابطه ۲ نقشه نهایی آسیب‌پذیری آبخوان تهیه گردید.



شکل ۸- پهنه بندی لایه اثر منطقه غیر اشباع در منطقه مطالعاتی قائن

جدول ۳- وزن‌های اختصاص داده شده به پارامترهای DRASTIC (Aller, et al. 1987)

وزن	پارامتر
۵	عمق آب زیرزمینی (D)
۴	تغذیه خالص (R)
۳	مواد تشکیل دهنده آبخوان (A)
۲	نوع خاک (S)
۱	توپوگرافی (T)
۵	اثر منطقه غیراشباع (I)
۳	هدایت هیدرولیکی آبخوان (C)

• هدایت هیدرولیکی آبخوان

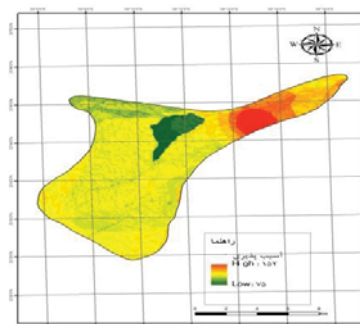
اطلاعات مربوط به هدایت هیدرولیکی از محاسبات آزمایش پمپاژ حاصل می‌گردد. با توجه به رتبه‌دهی آلر و همکاران (۱۹۸۷) و در مناطقی که آزمایش پمپاژ انجام نشده، براساس مقادیر نمونه و ساختارهای مشابه، نوع و بافت رسوبات تشکیل‌دهنده آبخوان هدایت هیدرولیکی تخمین زده می‌شود. شکل ۹ پهنه‌بندی لایه هدایت هیدرولیکی را نشان می‌دهد که حدود ۹۲/۸ درصد از آبخوان منطقه مورد مطالعه دارای رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی ۱۵-۵ متر در روز، ۳/۶۲ درصد دارای هدایت هیدرولیکی ۳۵-۱۵ متر در روز و ۳/۵۶ درصد منطقه دارای هدایت هیدرولیکی ۰/۵-۵ متر در روز می‌باشد.

DRASTIC  $M \ l \ b \ c \ I \ r \ p \ u \ E \ p \ u \ E \ p \ u \ E$   
رابطه ۲  $p \ u \ E \ p \ u \ E \ p \ u \ E \ p \ u$

در این رابطه  $I$ ، رتبه و  $w$ ، وزن هر پارامتر می‌باشد. در شکل ۱۰ میزان آسیب‌پذیری در منطقه مطالعاتی قائن نشان داده شده است.

جدول ۵- طبقه بندی میزان آسیب پذیری توسط بالوشا (۲۰۰۶)

رتبه	شاخص DRASTIC	پتانسیل آلودگی
۱	۷۹ >	بدون خطر آلودگی
۲	۸۰-۹۹	خیلی کم
۳	۱۰۰-۱۱۹	کم
۴	۱۲۰-۱۳۹	کم تا متوسط
۵	۱۴۰-۱۵۹	متوسط تا زیاد
۶	۱۶۰-۱۷۹	زیاد
۷	۱۸۰-۱۹۹	خیلی زیاد
۸	۱۹۹ <	کاملا مستعد آلودگی

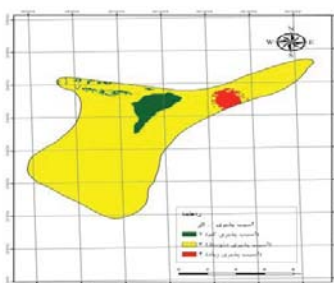
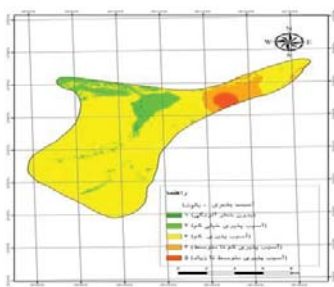


شکل ۱۰- میزان آسیب پذیری منطقه مطالعاتی قائن

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که شاخص آسیب پذیری مدل DRASTIC برای دشت قائن، بین ۷۵ تا ۱۵۲ قرار دارد که طبق جدول ۴ و ۵، محدوده آسیب پذیری آن مشخص می گردد.

جدول ۴- طبقه بندی میزان آسیب پذیری توسط آلر (۱۹۸۷)

رتبه	شاخص DRASTIC	پتانسیل آلودگی
۱	۴۶ >	ناچیز و قابل صرف نظر
۲	۹۲-۴۷	کم
۳	۱۳۶-۹۳	متوسط
۴	۱۸۴-۱۳۷	زیاد
۵	۱۸۵ <	خیلی زیاد



شکل ۱۱- نقشه های آسیب پذیری و کلاس بندی شده شاخص DRASTIC منطقه مطالعاتی قائن

از طبقه بندی آلر (۱۹۸۷) حدود ۶/۲۹ درصد از منطقه در محدوده پتانسیل آسیب پذیری کم، ۹۱/۳۴ درصد در محدوده آسیب پذیری متوسط و ۲/۳۶ درصد منطقه واقع در شمال شرقی آبخوان در محدوده آسیب پذیری زیاد قرار می گیرد.

در شکل ۱۱ نیز نقشه کلاس بندی شده شاخص DRASTIC برای منطقه با استفاده از طبقه بندی بالوشا و طبقه بندی آلر (۱۹۸۷) نمایش داده شده است.

همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می شود با استفاده از طبقه بندی بالوشا (۲۰۰۶) حدود ۰/۴۴ درصد از منطقه در محدوده بدون خطر آلودگی، ۱۰/۸۸ درصد در محدوده آسیب پذیری خیلی کم، ۸۰/۵۲ درصد منطقه در محدوده آسیب پذیری کم، ۶/۴۲ درصد دارای آسیب پذیری کم تا متوسط و ۱/۷۱ درصد منطقه در محدوده پتانسیل آسیب پذیری متوسط تا زیاد قرار می گیرد. همچنین با توجه به نقشه پهنه بندی شده شاخص DRASTIC با استفاده

## ۴- نتیجه گیری

شمال شرق حوضه آبریز و همچنین بالا بودن عمق آب زیرزمینی در این ناحیه است. البته با این که خطرپذیری آبخوان مورد مطالعه نسبت به آلودگی، بسیار بالا ارزیابی نشده است، با توجه به اقلیم منطقه، کمبود بارندگی، خشکسالی‌های اخیر، افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی، افزایش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و در نتیجه افزایش آلودگی‌های ناشی از فاضلاب‌های شهری، پساب‌های کشاورزی و صنعتی و در مقابل افزایش نیازمندی به آب جهت تأمین مصارف آشامیدنی، لزوم شناسایی مناطق مستعد آلودگی و جلوگیری از توسعه بی‌رویه فعالیت‌های انسانی در مناطق بحرانی ضروری می‌باشد و یا اقدام به کاهش میزان فعالیت آن کاربری در واحد سطح آبخوان نمود. همچنین در مناطقی از آبخوان که توسعه فعالیت‌های انسانی و یا کاربری جدیدی مدنظر است می‌توان با نقشه‌های آسیب‌پذیری، این فعالیت‌ها را به مناطق کم‌خطر یا بی‌خطر سوق داد.

اساساً روش DRATIC یک روش پارامتریک و رتبه‌بندی توصیفی در آسیب‌پذیری به شمار می‌رود. اطلاعات پایه‌ای مورد نیاز در این روش شامل عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص، جنس محیط آبخوان، جنس خاک، شیب سطح زمین، جنس محیط غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی می‌باشد. شاخص آسیب‌پذیری در محدوده ۷۵-۱۵۲ محاسبه گردید. همانگونه که در شکل ۱۰ نیز مشاهده می‌شود، نواحی شمال شرقی دشت از میزان آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به نواحی جنوبی برخوردارند، به عبارت دیگر از سمت جنوب به شمال دشت بر میزان آسیب‌پذیری دشت افزوده شده است. که این امر به علت قرار گرفتن محل خروجی جریان آب زیرزمینی در بخش

## ۵- منابع

- آزاد شهرکی، ف.، آغاسی، ع.، آزادشهرکی، ف.، و زارعی، ع. ۱۳۸۹. ارزیابی پتانسیل و آنالیز حساسیت آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت هشتگرد به روش دراستیک. مجله آب و فاضلاب، شماره دوم.
- آصفی، م.، رادمنش، ف.، و زارعی، ح. ۱۳۹۲. بهینه سازی مدل دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیر زمینی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: دشت اندیمشک). علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۷، شماره ۱.
- اصغری مقدم، ا.، فیجانی، ا.، و ندیری، ع. ۱۳۸۸. ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت های بازرگان و پلدشت با استفاده از مدل DRATIC بر اساس GIS. مجله محیط شناسی، سال ۳۵، شماره ۵۲، صفحه ۵۵-۶۴.
- امیراحمدی، ا.، آبیاریکی، ز.، و ابراهیمی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت داورزن به روش دراستیک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال دوم، شماره ششم، ص ۶۶-۵۱.
- امیراحمدی، ا.، ابراهیمی، م.، زنگنه اسدی، م.، و اکبری، ا. ۱۳۹۲. بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت نیشابور با استفاده از روش دراستیک در محیط GIS. فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ششم، تابستان، ص ۵۶-۳۷.
- دستورالعمل تعیین حریم کیفی آب‌های زیرزمینی، ۱۳۹۲. دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، امور نظام فنی. نشریه شماره ۶۲۱.
- معروفی، ص.، سلیمانی، س.، قبادی، م.، رحیمی، ق.، و معروفی، ح. ۱۳۹۱. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر با استفاده از مدل‌های SI، DRATIC و SINTACS. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد نوزدهم، شماره سوم.
- 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، شماره ۸.



- Al-Adamat, R., Foster, L., & Baban, S. 2003. Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azrag basin of Jordan using GIS, remote sensing and DRASTIC. *Applied Geography*. 23: 303-324.
- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H., Petty, R.J., & Hackett, G. 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings. EPA/600/2-87/035. US Environmental Protection Agency, Ada, OK, USA.
- Antonakos, A.K., Lambrakis, N.J., 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.
- Babiker, I., Muhamed, Hiyama, T., & kato, K. 2005. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in kaka migahara Heights , Gifu prefecture , Central Japan. *Science of the Total Environment* 345127\_140.
- Baalousha, H. 2006. Vulnerability assessment for the Gaza Strip, Palestine using DRASTIC. Springer-Verlag. Volume 50, Issue 3, pp 405-414.
- Corniello, A., Ducci, D., and Napolitano, P. 1997. Comparison between parametric methods to evaluate aquifer pollution vulnerability using a GIS: An example in the Piana Campana. *Engineering Geology and the Environment*. Balkema, Rotterdam, The Netherlands P: 1721-1726.
- Evans, B.M. 1990. A GIS-based approach to evaluating regional groundwater pollution potential with DRASTIC. *Soil and Water Conservation* 45: 45-242.
- Gabriela Breabăn, I., Paiu, M. 2012. Application of drastic model and gis for evaluation of aquifer vulnerability: study case barlad city area. *Water Resources and Wetlands*.
- Hamza, M.H., dded, A., Rodriguez, R., Abdeljaoued, S., & Mammou, A. 2007. A GIS-based DRASTIC vulnerability and net recharge reassessment in an aquifer of a semi-arid region (Metline-Ras Jebel-Raf Raf aquifer, Northern Tunisia). *Journal of Environment Management* 84\_12\_19.
- Katta, B., Walid, A.F., and Al Charideh, A.R. 2010. Groundwater vulnerability assessment for the Banyas Catchment of the Syrian coastal area using GIS and the RISK method. *Journal of Environmental Management* 91: 1103-1110.
- Lindstorm, R. 2005. Groundwater vulnerability assessment using Process-based models. ISRN KTH/LWR/PHD 1022-SE.
- Lowe, M., and M. Butler, 2003. Ground water sensitivity and vulnerability to pesticides, Heber and Round Valleys, Wasatch County, Utah. Miscellaneous Publication 03-5, Utah Geological Survey.
- Malik Muhammad, A., Zhonghua, T., Salman Dawood, A., and Earl, B. 2015. Evaluation of local groundwater vulnerability based on DRASTIC index method in Lahore, Pakistan. *Geofisica Internacional* 54-1: 67-81.
- Nober, R.C., Rotunno, F.O., Mansur, W.J., Nober, M.M., & Cosenza, C.A. 2007. Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS, modeling and a fuzzy logic tool. *Journal of Contamination Hydrogeology* 94(3-4), 277-292.
- Piscopo, G. 2001. Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW. Department of Land and Water Conservation, Australia. [http://www.dlwc.nsw.gov.au/care/water/groundwater/reports/pdfs/castlereagh\\_map\\_notes.pdf](http://www.dlwc.nsw.gov.au/care/water/groundwater/reports/pdfs/castlereagh_map_notes.pdf).
- Rahman, A. 2008. A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. *Applied Geography* 28\_32\_53.
- Rakad. A. Ta'any., Mohammad. A. Alaween., Mustafa M. Al-Kuisi and Naser. M. Al-Manaseer. 2013. GIS Based Model of Groundwater Vulnerability and Contamination Risk of Wadi Kufrinja Catchment Area, Jordan. *World Applied Sciences Journal* 24 (5): 570-581, 2013.
- Vias, J.M., Andreo, B., Perles, M.J., Carrasco, F., Vadillo, I., & Jimenez, P. 2006. Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method. *Hydrogeology Journal* 14(6): 912-925.
- Wang, J., He, J., & Chen, H. 2012. Assessment of groundwater contamination risk using hazard quantification, a modified DRASTIC model and groundwater value, Beijing Plain, China. *Science of the Total Environment* 432 (2012) 216-226.
- You-Hailin, Xu-Ligang, Ye-Chang, & Xu-Jiaxing. 2011. Evaluation of Groundwater Vulnerability with Improved DRASTIC Method. *Procedia Environmental Sciences* 10 2690 - 2695.