

## تجزیه و تحلیل آسیب پذیری آب زیرزمینی در آبخوان الشتر براساس پارامترهای وزنی با استفاده از آمار دو متغیره و مدل SI مبتنی بر GIS

معصومه یوسفوند<sup>۱\*</sup>، حسین زینی‌وند<sup>۲</sup>، فاطمه یوسفوند<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

۲- استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

۳- کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

### چکیده:

امروزه علاوه بر بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی که باعث افت شدید سطح آب شده است، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری آلاینده‌های مختلفی را به سفره‌های آب زیرزمینی تحمیل می‌کند. با توجه به اهمیت دشت الشتر در تامین آب کشاورزی، شرب و صنعت منطقه از یک روش جدید مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، برای محاسبه پارامترهای وزنی با استفاده از آمار دو متغیره با تلفیقی از مدل SI برای ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت الشتر استفاده شد. در گام نخست از ۱۴ پارامتر عمق تا سطح ایستابی، شیب، کاربری اراضی، جهت، انحنای شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، تراکم زهکشی، بافت خاک، بارندگی، سنگ شناسی، شاخص توان جریان (SPI) و فاصله از جاده به منظور ارزیابی آسیب پذیری آبخوان منطقه استفاده شد. در گام دوم، تمامی لایه‌ها و نقشه‌های مورد نیاز مدل همراه با داده‌های عمق آب زیرزمینی و ارتفاع مطلق نقطه نشانه مربوط به ۵۵ چاه مشاهده‌ای در پایگاه نرم افزار ArcGIS 10.2 تهیه شدند. سپس به منظور بررسی روابط بین پارامترها در چاه‌های انتخابی منطقه، تراکم چاه و وقوع مطلق آن‌ها برای هر کلاس از هر پارامتر محاسبه و در پایان شاخص روش آماری (SI) برای هر پارامتر تهیه گردید. با تلفیق لایه‌های فوق، نقشه نهایی آسیب‌پذیری آبخوان دشت الشتر تهیه شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مناطق شمالی دشت از پتانسیل آسیب‌پذیری زیادی برخوردار بوده و نواحی مرکزی کمترین پتانسیل را دارند.

واژه‌های کلیدی: آبخوان الشتر، آسیب پذیری، آمار دو متغیره، پارامترهای وزنی، GIS، SI



## ۱- مقدمه

منابع آب زیرزمینی دومین منبع آب شیرین موجود در جهان محسوب می‌گردد، که عمده نیازهای آبی را تحت پوشش قرار می‌دهد. حدود یک سوم جمعیت جهان وابسته به آب زیرزمینی بوده و بیش از ۷۰ درصد آن به مصرف کشاورزی می‌رسد. آب زیرزمینی به دلیل استعداد آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیره زیاد نسبت به آب‌های سطحی، به عنوان یک منبع مهم در منابع آب مورد توجه است [۱]. توسعه کشاورزی و صنعت افزایش برداشت از منابع مذکور را در پی دارد و برداشت بی‌رویه موجب افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان می‌شود که مشکلاتی مانند خشک شدن چاه‌ها، کاهش دبی رودخانه‌ها و آب دریاچه‌ها، تنزل کیفیت آب، افزایش هزینه پمپاژ، استحصال آب و از همه مهم‌تر باعث تخریب آبخوان می‌گردد.

یکی از مهم‌ترین منابع آبی آسیب‌پذیر در برابر آلودگی، آبخوان‌ها هستند. این منابع به شکل‌های مختلف در معرض آلودگی قرار دارند که تشخیص و کنترل آلودگی در آن‌ها نسبت به آب‌های سطحی مشکل‌تر و پرهزینه‌تر است. همچنین به دلیل استمرار آلودگی در این منابع، بهترین روش جلوگیری از آلودگی آن‌ها، شناسایی منابع آلوده‌کننده و مناطق آسیب‌پذیر، تهیه نقشه‌های پهنه بندی آسیب‌پذیری و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مناسب می‌باشد [۲ و ۳]. مفهوم آسیب‌پذیری برای اولین بار در اواخر سال ۱۹۶۰ میلادی در فرانسه ارائه شده است [۴]. امکان نفوذ و انتشار آلاینده‌ها به درون سیستم آب زیرزمینی را آسیب‌پذیری می‌نامند. آسیب‌پذیری به عنوان یک استعداد ذاتی سیستم آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود که وابسته به میزان حساسیت این سیستم به تأثیرات انسانی و یا طبیعی می‌باشد. به همین دلیل مدیریت منابع آب به ویژه آب‌های زیرزمینی، در مناطق خشک و نیمه خشک از اهمیت خاصی برخوردار است. عوامل مختلف طبیعی و انسانی در چند دهه اخیر باعث ایجاد شرایط بحرانی و افت سطح آب‌های زیرزمینی در بیشتر منطقه‌های کشور از جمله استان لرستان شده است.

شکری و همکاران (۱۳۹۲)، در بررسی تغییرات بیلان آب زیرزمینی دشت الشتر، میزان افت طی دوره آماری ۱۰ ساله (۸۱-۹۱) را برابر با ۳/۷ متر برآورد نمودند. نتایج کار این محققین نشان داد که بیلان آب زیرزمینی دشت الشتر منفی شده و کل کسری آب زیرزمینی آبخوان دشت در طی بازه ۱۰ سال، ۱۸/۵ درصد مربوط به توزیع و پراکندگی نامناسب زمان بارش و ۶۱ درصد مربوط به صدور مجوز و تخصیص ناصحیح منابع آب بوده است [۵]. جعفری و همکاران (۱۳۹۴)، به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت الشتر نسبت به آلودگی‌های زیست محیطی با استفاده از مدل SI، از ۵ پارامتر عمق تا سطح ایستابی، محیط آبخوان، توپوگرافی شیب، تغذیه خالص و کاربری اراضی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان منطقه استفاده نمودند [۶].

چیتسازان و اختری (۲۰۰۶)، به منظور تعیین نقاط مستعد در برابر آلودگی در آبخوان دشت‌های زویرچری و خران در شمال شرق اهواز از مدل DRASTIC در محیط سیستم اطلاعات مکانی<sup>۱</sup> (GIS) استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که بخش غرب و جنوب غربی آبخوان در محدوده آسیب‌پذیری متوسط و نواحی کوچکی در شمال غرب و شرق منطقه مورد مطالعه در محدوده بدون خطر آلودگی قرار می‌گیرد. آن‌ها همچنین پی بردند که پارامتر منطقه غیر اشباع بیشترین تأثیر را بر روی آسیب‌پذیری آبخوان داشته و به دنبال آن، عمق سطح ایستابی، تغذیه خالص، محیط خاک، منطقه اشباع، توپوگرافی و هدایت هیدرولیکی در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند [۱]. حمزه و همکاران (۲۰۰۷)، در منطقه متلین -راس<sup>۲</sup> در شمال تونس با استفاده از مدل‌های SI، SINTACS و DRASTIC به بررسی نواحی با بیشترین پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی پرداختند. بر طبق نتایج بدست آمده، مدل SI در مقایسه با سایر مدل‌های ذکر شده کارایی بیشتری در تعیین نقاط مستعد آلودگی دارد، روش‌های DRASTIC و SINTACS ماهیت آلاینده و

<sup>۱</sup> Geographic information System

<sup>۲</sup> Metline-Ras



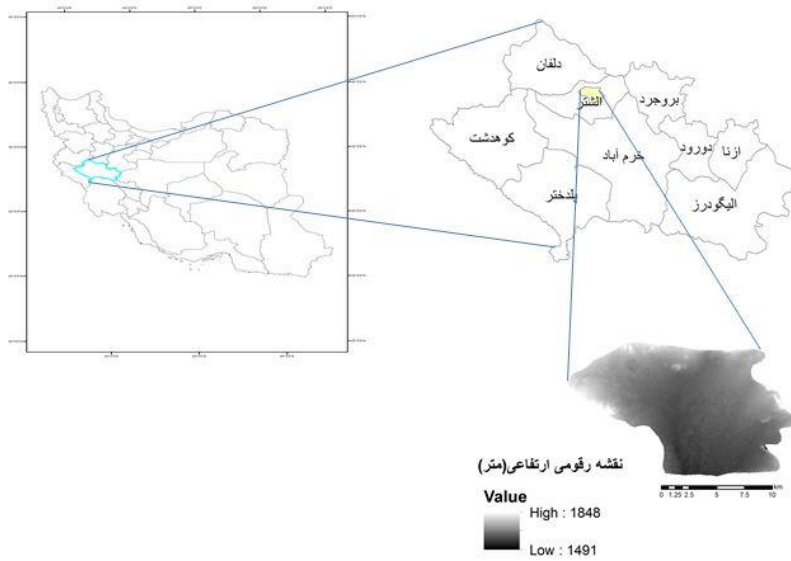
کاربری زمین را به عنوان عامل مدیریتی آسیب پذیری ویژه در نظر نمی گیرند [۷]. حمزه و ادد (۲۰۰۹) برای تعیین پتانسیل آسیب پذیری آب زیرزمینی در منطقه ی اوئد گیونچه<sup>۳</sup> در شمال تونس، انجام دادند به این نتیجه رسیدند که مدل SI روش مفیدتری برای مطالعه پتانسیل آلودگی در ناحیه مورد مطالعه می باشد [۸]. حمزه و ادد (۲۰۰۹)، در پژوهشی دیگر جهت ارزیابی آسیب پذیری آبخوان phreatic در شمال شرق تونس از دو روش SI و DRASTIC که روش های خاص آسیب پذیری می باشند استفاده نمودند. این مطالعه در محیط GIS به عنوان یک سیستم برای جمع آوری، ذخیره سازی و تجزیه و تحلیل اطلاعات جغرافیایی انجام گرفت. اعتبار دو روش برای آلودگی نترات کشاورزی با مقایسه توزیع نترات تایید شد. نتایج حاکی از متفاوت بودن توزیع طبقات آسیب پذیری در آب های زیرزمینی و معرفی روش SI به عنوان روش معتبر در ارزیابی آسیب پذیری آبخوان مورد مطالعه است [۹]. مینهاردت و همکاران (۲۰۱۴)، به منظور تجزیه و تحلیل آسیب پذیری زمین لغزش در مرکز ویتنام بر اساس محاسبه پارامترهای وزنی از آمار دو متغیره استفاده نمودند. در این پژوهش یافتن پارامتر ورودی بهتر، از طریق حذف دیگر پارامترها صورت گرفته شده است. بعد از بهینه سازی نه پارامتر ورودی که با استفاده از روش خطای حذف کردن وزن دار شده اند، بهترین نقشه پهنه بندی با میزان موفقیت ۹۲/۲ درصد و نرخ پیش بینی ۹۲/۳ درصد ارائه شد [۱۰].

هدف از انجام این مطالعه، تهیه نقشه آسیب پذیری در منطقه دشت الشتر می باشد. با توجه به اهمیت دشت مذکور در تامین آب شرب، صنعت و کشاورزی منطقه، با استفاده از مدل SI نسبت به شناسایی مناطق آسیب پذیر اقدام گردید تا در مناطقی با آسیب پذیری بیشتر از مکان گزینی صنایع آلودگی جلوگیری گردد. علاوه بر این به منظور اطمینان از این که آبخوان این دشت بتواند به عنوان منبع تامین آب سالم در منطقه باقی بماند، ضروری است تا مکان هایی که بیشتر مستعد دریافت و انتقال آلودگی هستند شناسایی شوند.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

با توجه به این که دشت الشتر یکی از دشتهای مهم استان لرستان از دیدگاه کشاورزی محسوب می شود، برای مطالعه در این تحقیق انتخاب گردید. حوزه آبخیز الشتر از زیر حوزه های رودخانه کشکان می باشد و حوزه آبخیز رودخانه کشکان جزئی از حوزه آبخیز کرخه از حوزه های آبخیز اصلی کشور است. این محدوده بین طول جغرافیایی  $31^{\circ} 3' 48''$  شرقی و عرض جغرافیایی  $88^{\circ} 1' 33''$  شمالی قرار دارد. از نظر پستی و بلندی ارتفاع متوسط دشت از سطح دریا حدود ۱۵۸۰ متر می باشد. وسعت حوزه آبخیز ۸۱۱ کیلومتر مربع و وسعت دشت آن  $163/89$  کیلومتر مربع می باشد. بارندگی متوسط سالانه دشت ۵۵۴ میلی متر و دمای متوسط سالانه  $8/8$  درجه سانتیگراد است. اقلیم محدوده با در نظر گرفتن سیستم اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم نیمه خشک سرد و ارتفاعات می باشد. سفره آبدار اصلی دشت الشتر را رسوبات آبرفتی تشکیل می دهد. در حال حاضر ضخامت قسمت اشباع آبخوان آبرفتی به حدود ۵۰ متر می رسد [۱۱]. کاربری اراضی دشت به صورت اراضی کشاورزی آبی است که در حاشیه شمالی باغات میوه می باشند (شکل ۱).

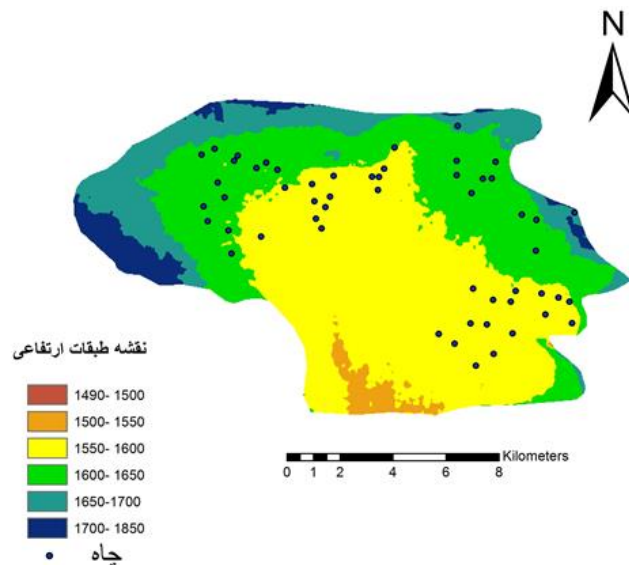
<sup>3</sup> Oued Gueniche



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان لرستان

### ۳- مواد و روش‌ها

به منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دشت الشتر در محیط سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، مراحل ساختن پایگاه داده، پردازش لایه‌های ورودی و تلفیق نقشه‌های معیار اعمال گردید. برای ساخت پایگاه داده، داده‌های مورد نیاز برای تهیه نقشه‌های معیار تهیه گردید و به فرمت قابل قبول برای ورود به نرم افزار ArcGis تبدیل شد. بزرگترین مزیت تهیه نقشه با استفاده از GIS، امکان انجام بهترین ترکیب و ادغام لایه‌های اطلاعاتی و تغییر سریع در پارامتر داده‌های استفاده شده در طبقه‌بندی استعداد آسیب‌پذیری یک آبخوان است (Wang و همکاران، ۲۰۰۷). هدف نهایی از تهیه نقشه معیار، تلفیق آن‌ها و به‌دست آوردن نقشه آسیب‌پذیری منطقه می‌باشد. در این پژوهش جهت تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری آب زیرزمینی ابتدا داده‌های عمق آب زیرزمینی و ارتفاع مطلق نقطه نشانه مربوط به ۵۵ چاه مشاهده‌ای در محدوده مورد مطالعه، از شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان اخذ شد که بعد از بازبینی تعدادی از چاه‌ها به دلیل نقص آماری حذف شدند. پایه زمانی مشترک جهت مطالعه، سال آبی ۸۰-۱۳۷۹ تا سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ انتخاب گردید (شکل ۲).



شکل ۲- موقعیت محدوده آبخوان الشتر و چاه‌های مشاهده‌ای برای آنالیزهای کیفی



## ۳-۱- تجزیه و تحلیل داده‌های ورودی

برای تجزیه و تحلیل آسیب پذیری آب زیرزمینی پارامترهای شرطی را به عنوان ورودی معرفی می‌کنیم. به منظور بررسی روابط بین پارامترها در چاه‌های انتخابی منطقه، تراکم چاه و وقوع مطلق آن برای هر کلاس از هر پارامتر با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه می‌شود.

$$[\%] \text{ وقوع مطلق} = \frac{\text{تعداد چاه هر کلاس}}{\text{تعداد کل چاهها}} \times 100 \quad (1)$$

$$[\%] \text{ تراکم چاه} = \frac{\frac{\text{تعداد چاه هر کلاس}}{\text{تعداد پیکسل هر کلاس}}}{\sum \left( \frac{\text{تعداد چاه هر کلاس}}{\text{تعداد پیکسل کلاس}} \right)} \times 100 \quad (2)$$

با توجه به این روابط، عامل وقوع مطلق چاه‌های منطقه تحت تاثیر گستردگی کلاس هاست. از بین دو عامل اصلی فوق تراکم چاه‌های منطقه به علت آنکه با منطقه طبقاتی نرمال می‌شود معیار بهتری است [۱۰].

## ۳-۲- نقش پارامترهای وزنی با استفاده از آمار دومتغیره و مدل SI در ارزیابی آسیب پذیری آبخوان

به منظور بررسی آسیب پذیری آب زیرزمینی در این تحقیق، از ۱۴ پارامتر عمق تا سطح ایستابی، شیب، کاربری اراضی، جهت، انحنای، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، تراکم زهکشی، بافت خاک، بارندگی، سنگ شناسی، شاخص توان جریان (SPI) و فاصله از جاده استفاده شد، که در ادامه به تشریح هر یک می‌پردازیم.

شاخص رطوبت توپوگرافی<sup>۴</sup> (TWI):

شاخص رطوبت توپوگرافی که از ترکیب مساحت حوضه بالادست و شیب بدست می‌آید، معمولاً برای کمی کردن کنترل توپوگرافی بر روی فرآیندهای هیدرولوژیکی می‌باشد. اگرچه روش‌های مختلفی برای محاسبه این شاخص وجود دارد، این روش‌های محاسباتی اصولاً در الگوریتم جهت جریان برای محاسبه مساحت حوضه بالادست و تخمین مقدار شیب با هم اختلاف دارند. در نهایت مناطقی که در یک حوضه مقدار TWI مشابهی داشته باشند، در صورتی که شرایط محیطی دیگر آنها (مانند خاک، پوشش گیاهی) یکسان باشد، فرض می‌شود که پاسخ هیدرولوژیکی مشابهی به باران داشته باشند و می‌توانند یکسان تلقی شوند [۱۳]. شاخص رطوبت توپوگرافی از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$TWI = Ln \frac{a}{\tan \beta} \quad (3)$$

که در آن a: سطح ویژه حوضه بر حسب مساحت تجمعی بالادست (مساحت بالادست در واحد طول خط تراز) و  $\beta$ : درجه شیب می‌باشد.

شاخص توان جریان<sup>۵</sup> (SPI):

این شاخص میزان قدرت مخرب جریان زمینی است که رابطه بین شیب و مساحت را بیان کرده و مکان‌های مستعد ایجاد خندق را که باعث رانش زمین می‌شود نشان می‌دهد. SPI با استفاده از رابطه ۴ قابل محاسبه است. شکل ۳ نقشه‌ی شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص توان جریان را برای آبخوان الشتر نشان می‌دهد.

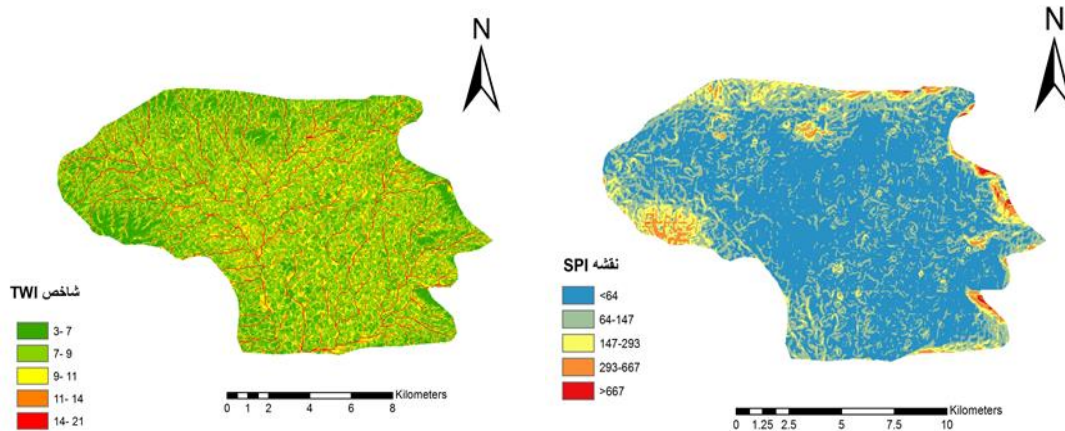
<sup>4</sup> Topographic Wetness index

<sup>5</sup> Stream Power Index



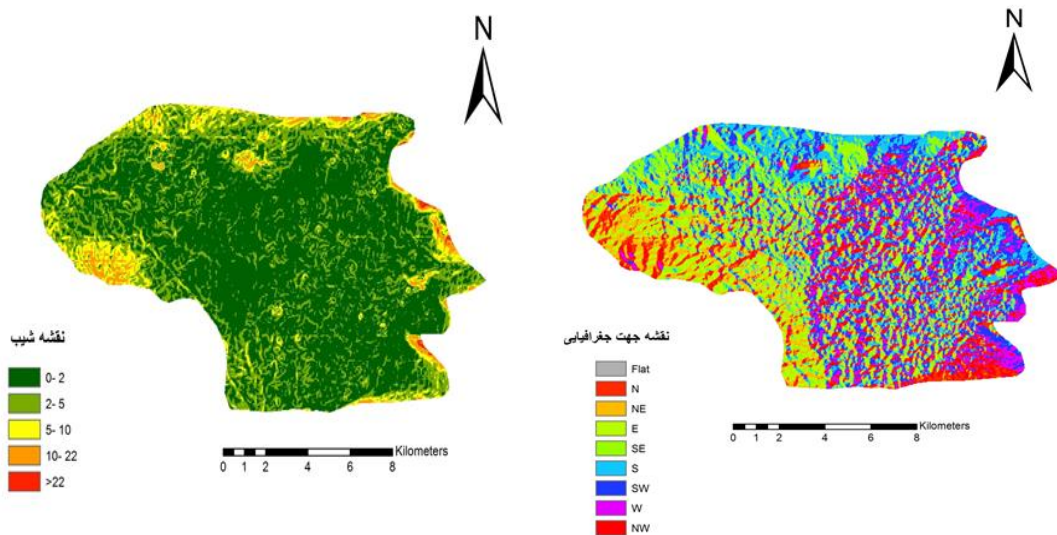
$$SPI = a \tan \beta$$

(۴)



شکل ۳- نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) و شاخص توان جریان (SPI) منطقه مورد مطالعه

شیب همان تندی یا گرادیان واحدی از زمین است که به صورت زاویه و برحسب درجه یا درصد اندازه‌گیری می‌شود. جهت طرفی است که واحدی از زمین در آنسو گسترش یافته است. این دو متغیر در بسیاری از کاربردهای سامانه‌های اطلاعات مکانی حائز اهمیت هستند. شیب و جهت شیب بر طبق نوع DTM بکار رفته محاسبه می‌شوند. در شکل ۴ گرادیان شیب به پنج دسته طبقه‌بندی شده است. با توجه به دشت‌گون بودن منطقه، بیشتر مساحت حوزه دارای شیبی کمتر ۲٪ می‌باشد.



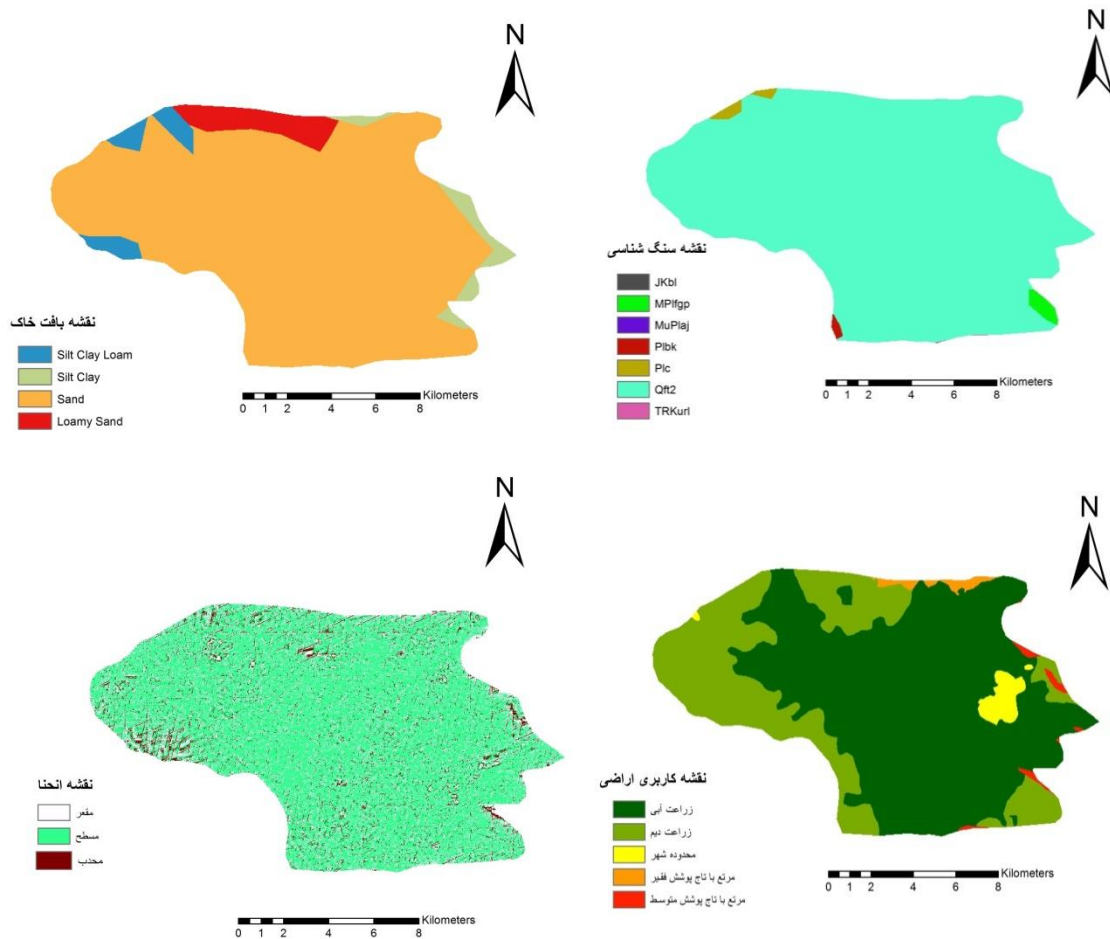
شکل ۴- نقشه شیب (Slope) و جهت شیب (Aspect) منطقه مورد مطالعه

در شکل ۵، چهار پارامتر ورودی نقشه انحنای کاربری اراضی، سنگ شناسی و بافت خاک برای منطقه مطالعاتی نشان داده شده است. بر طبق این شکل نقشه‌ی انحنای منطقه به سه دسته طبقه‌بندی شده که نشان می‌دهد بیشترین آمار وجود چاه در مناطق مسطح و به دنبال آن مناطق مقعر می‌باشد، مناطق محدب به دلیل ارتفاع زیاد فاقد چاه می‌باشد. با توجه به نقشه‌ی کاربری منطقه مورد مطالعه، کاربری حائز اهمیت در منطقه زراعت آبی می‌باشد و این در حالی است که بافت خاک غالب منطقه را بافت شنی پوشش می‌دهد.





در شکل ۶، نقشه دیگر پارامترهای ورودی ارزیابی آسیب پذیری آبخوان منطقه (فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از جاده، تراکم زهکشی، بارندگی و عمق سطح ایستابی) نشان داده شده است. عمق سطح ایستابی عبارت است از فاصله سطح زمین تا سطح ایستابی که یکی از مهم ترین فاکتورهای مدل SI است؛ زیرا بر اساس آن میزان ضخامت که آب باید طی کند تا به سطح آبخوان برسد مشخص می شود [۱۴]. برای تهیه لایه عمق سطح ایستابی از اندازه گیری داده های سطح آب ۵۵ حلقه چاه پیژومتر منطقه استفاده شد (شکل ۶).



شکل ۵- چهار پارامتر ورودی نقشه انحنای، کاربری اراضی، سنگ شناسی و بافت خاک

شاخص روش آماری (SI):

روش شاخص آماری برای اولین بار توسط ون وستن<sup>۶</sup> در سال ۱۹۹۷ مطرح شد. این شاخص از رابطه ۵ محاسبه می شود:

$$S_i = Ln\left(\frac{Densclass}{Densmap}\right) = Ln\left[\frac{Npix(L_i)}{Npix(N_i)}\right] / \left(\frac{\sum Npix(L_i)}{\sum Npix(N_i)}\right) \quad (5)$$

در این رابطه:

Densclass: تراکم چاه در طبقه پارامتر

<sup>6</sup> Van Westen



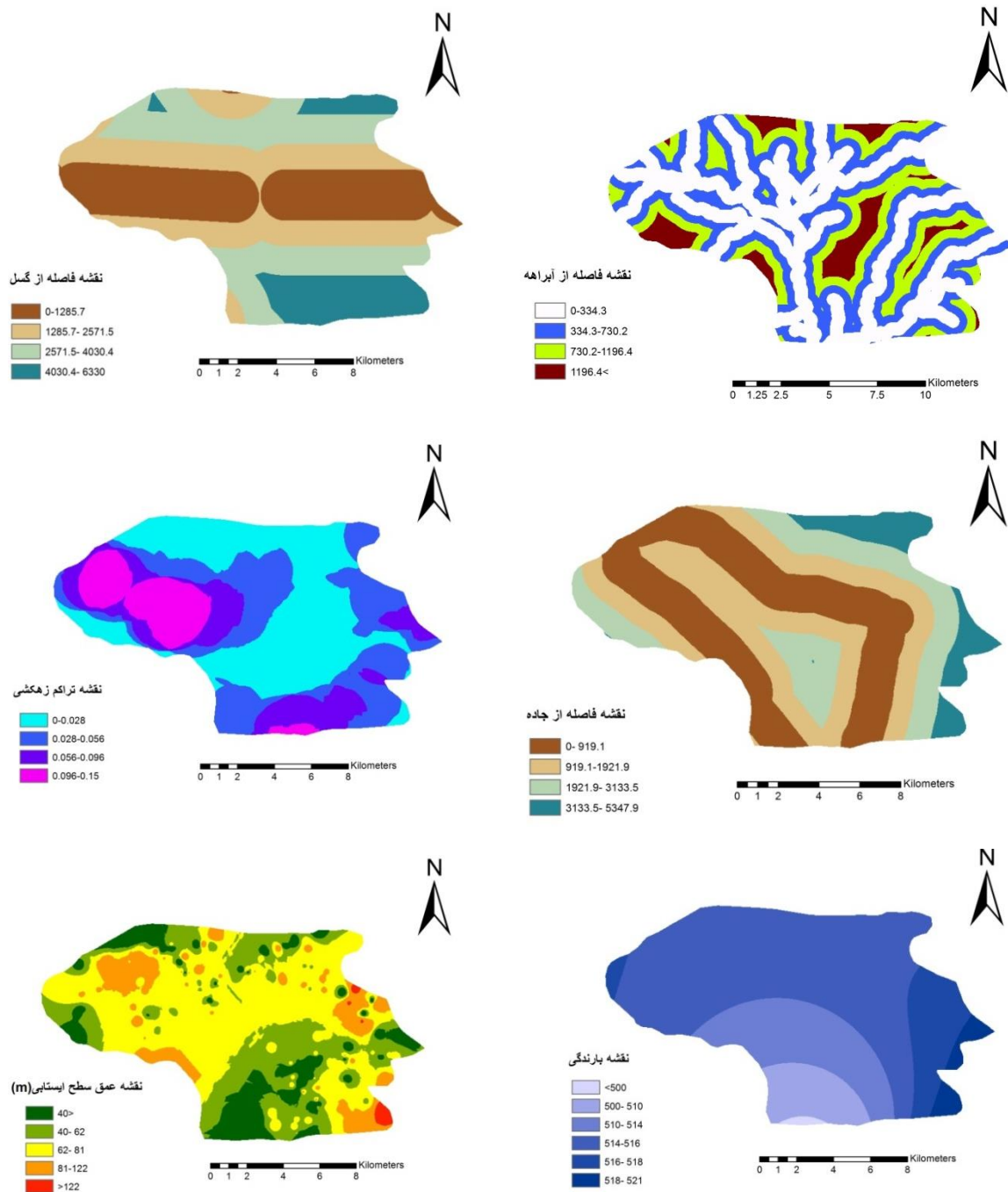
Densmap: تراکم چاه در کل نقشه

$N_{pix}(Li)$ : تعداد پیکسل‌های حاوی چاه در کلاس پارامتر  $i$  ام

$N_{pix}(Ni)$ : تعداد پیکسل در کلاس پارامتر  $i$  ام

$\sum N_{pix}(Li)$ : تعداد پیکسل حاوی چاه در منطقه مورد مطالعه

$\sum N_{pix}(Ni)$ : تعداد کل پیکسل در منطقه مورد مطالعه



شکل ۶- پارامترهای ورودی ارزیابی آسیب پذیری آبخوان منطقه مورد مطالعه





روش عامل وزنی:

ساده‌ترین و رایج‌ترین روش برای بررسی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی استفاده از مدل‌های وزن‌دهی است. این روش توسط سویک و تپل<sup>7</sup> در سال ۲۰۰۳ توسعه یافته است. روش عامل وزنی جزئی از شاخص روش آماری (SI) است. در این روش مقدار عامل وزنی (WF) برای هر پارامتر محاسبه شده و پس از آن تعداد پیکسل‌های حاوی چاه در کلاس پارامتر  $i$  ام در عامل SI ضرب می‌شود تا ارزش هر پارامتر بدست بیاید [۱۰].

$$TSi = \sum [Npxi(L_i) \times Si] \quad (6)$$

سپس با استفاده از روش حداقل- حداکثر، این مقادیر در طیف وسیعی از محدوده ۱ تا ۱۰ بدست آمد:

$$WF = \frac{TSi - MinSi}{MaxTSi - MinTSi} \times 9 + 1 \quad (7)$$

که در آن MaxTSi حداکثر مجموع ارزش شاخص وزن و MinTSi حداقل کل مقدار شاخص وزن است.

#### ۴- بحث و نتایج

در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری آب زیرزمینی ابتدا داده‌های عمق آب زیرزمینی و ارتفاع مطلق، نقطه نشانه مربوط به ۵۵ چاه مشاهده‌ای انتخاب شد و سپس پارامترهای ورودی مدل جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان در محیط GIS تهیه گردید. در مرحله بعد به منظور بررسی روابط بین پارامترها در چاه‌های انتخابی منطقه، تراکم چاه و وقوع مطلق آن‌ها برای هر کلاس از هر پارامتر محاسبه شد. با توجه به این‌که روش عامل وزنی جزئی از شاخص روش آماری (SI) می‌باشد، مقدار عامل وزنی (WF) برای هر پارامتر محاسبه شد (جدول ۱). با توجه به جدول ۱ و مقادیر شاخص عامل وزنی هر پارامتر، در منطقه دشت الشتر پارامترهای سنگ شناسی و بارش بیشترین و پارامترهای انحنا و فاصله از جاده کمترین تاثیر را در تعیین آسیب‌پذیری آبخوان دارد.

<sup>7</sup> Cevik and Topal



جدول ۱- ارتباط بین پارامترهای ورودی مدل و چاه های منطقه

پارامتر	کلاس طبقاتی	تعداد پیکسل هر کلاس	چاه	وقوع مطلق (%)	تراکم چاه (%)	شاخص آماری (SI)	عامل وزنی (WF)	عامل وزنی هر کلاس
طبقات ارتفاعی	۱۴۹۱-۱۵۰۰	۱	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۱۶	۰/۰۰
	۱۵۰۰-۱۵۵۰	۴۴۱۳	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰
	۱۵۵۰-۱۶۰۰	۸۶۴۱۳	۲۹	۵۲/۷۳	۴۰/۴۱	۰/۱۰		۰/۱۲
	۱۶۰۰-۱۶۵۰	۵۷۵۷۰	۲۴	۴۳/۶۴	۵۰/۲۰	۰/۳۲		۰/۳۷
	۱۶۵۰-۱۷۰۰	۲۵۶۳۰	۲	۳/۶۴	۹/۴۰	-۱/۳۵		-۱/۵۶
	۱۷۰۰-۱۸۴۹	۷۹۵۴	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰
جهت شیب	Flat	۶۲۴۰	۱	۱/۸۲	۶/۵۴	-۰/۶۳	۱/۲۴	-۰/۷۹
	N	۱۳۶۶۱	۳	۵/۴۵	۸/۹۶	-۰/۳۲		-۰/۴۰
	NE	۱۷۵۳۲	۱	۱/۸۲	۲/۳۳	-۱/۶۷		-۲/۰۶
	E	۲۰۰۰۰	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰
	SE	۲۷۵۴۴	۱۶	۲۹/۰۹	۲۳/۷۱	۰/۶۵		۰/۸۱
	S	۳۲۵۶۵	۱۰	۱۸/۱۸	۱۲/۵۴	۰/۰۲		۰/۰۲
	Sw	۲۷۷۴۰	۱۰	۱۸/۱۸	۱۴/۷۲	۰/۱۸		۰/۲۲
	W	۲۱۱۷۴	۸	۱۴/۵۵	۱۵/۴۲	۰/۲۲		۰/۲۸
	NW	۱۵۵۲۵	۶	۱۰/۹۱	۱۵/۷۸	۰/۲۵		۰/۳۰
انحنای مقعر مسطح محدب	مقعر	۳۵۹۰۹	۸	۱۴/۵۵	۲۶/۹۳	-۰/۳۰	۱/۰۱	-۰/۳۱
	مسطح	۱۳۵۳۳۱	۴۴	۸۰/۰۰	۳۹/۳۰	۰/۰۷		۰/۰۷
	محدب	۱۰۷۴۱	۳	۵/۴۵	۳۳/۷۶	-۰/۰۸		-۰/۰۸
فاصله از رودخانه	>۳۳۴	۷۲۷۰۱	۲۵	۴۵/۴۵	۳۴/۸۳	۰/۱۳	۱/۱۰	۰/۱۴
	۳۳۴-۷۳۰	۵۶۳۰۳	۱۸	۳۲/۷۳	۳۲/۳۸	۰/۰۶		۰/۰۶
	۷۳۰-۱۱۹۶	۳۷۰۷۰	۱۲	۲۱/۸۲	۳۲/۷۹	۰/۰۷		۰/۰۸
	<۱۱۹۶	۱۵۹۰۷	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰
تراکم زهکشی	۰-۰/۰۲۸	۷۳۰۲۶	۱۳	۲۳/۶۴	۱۴/۹۶	-۰/۵۳	۱/۱۱	۰/۵۹
	۰/۰۲۸-۰/۰۵۶	۵۶۴۱۱	۲۹	۵۲/۷۳	۴۳/۲۱	-۰/۵۳		۰/۵۹
	۰/۰۵۶-۰/۰۹۶	۲۹۴۸۲	۷	۱۲/۷۳	۱۹/۹۶	-۰/۲۴		-۰/۲۷
	۰/۰۹۶-۰/۱۵	۲۳۰۶۲	۶	۱۰/۹۱	۲۱/۸۷	-۰/۱۵		-۰/۱۷
فاصله از گسل	۰-۱۲۸۵	۵۲۴۴۷	۱۲	۲۱/۸۲	۲۰/۵۲	-۰/۲۸	۱/۰۷	-۰/۳۰
	۱۲۸۵-۲۵۷۱	۵۴۳۲۶	۲۱	۳۸/۱۸	۳۴/۶۶	۰/۲۵		۰/۲۶
	۲۵۷۱-۴۰۳۰	۴۹۷۱۲	۱۹	۳۴/۵۵	۳۴/۲۷	۰/۲۳		۰/۲۵
	>۴۰۳۰	۲۵۴۹۶	۳	۵/۴۵	۱۰/۵۵	-۰/۹۴		-۱/۰۱
فاصله از جاده	۰-۹۱۹	۶۶۱۰۱	۲۱	۳۸/۱۸	۲۷/۹۶	۰/۰۵	۱/۰۱	۰/۰۵
	۹۱۹-۱۹۲۱	۶۰۰۹۶	۲۱	۳۸/۱۸	۳۰/۷۵	۰/۱۵		۰/۱۵
	۱۹۲۱-۳۱۳۳	۳۹۰۰۳	۹	۱۶/۳۶	۲۰/۳۱	-۰/۲۷		-۰/۲۷
	۳۱۳۳-۵۳۴۷	۱۶۷۸۱	۴	۷/۲۷	۲۰/۹۸	-۰/۲۴		-۰/۲۴
شیب	۰-۲	۱۱۴۰۷۵	۴۳	۷۸/۱۸	۶۱/۲۶	۰/۲۲	۱/۱۳	۰/۲۵
	۲-۵	۵۰۳۳۷	۱۲	۲۱/۸۲	۳۸/۷۴	-۰/۲۴		-۰/۲۷
	۵-۱۰	۱۳۰۱۵	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰
	۱۰-۲۲	۴۲۰۶	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰
	>۲۲	۳۴۸	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰

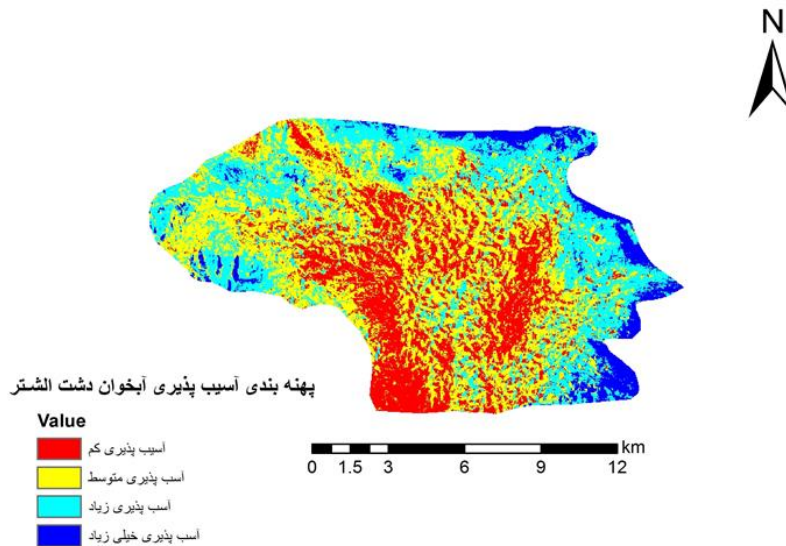


ادامه جدول ۱- ارتباط بین پارامترهای ورودی مدل و چاه های منطقه

پارامتر	کلاس طبقاتی	تعداد پیکسل هر کلاس	چاه	وقوع مطلق (%)	تراکم چاه (%)	شاخص آماری (SI)	عامل وزنی (WF)	عامل وزنی هر کلاس
شاخص رطوبت نسبی	<7	43129	10	18/18	17/06	-0/26	1/03	-0/27
	7-9	85962	31	56/36	26/53	-0/18		0/18
	9-11	32888	8	14/55	17/90	-0/22		-0/22
	11-14	13771	5	9/09	26/71	-0/18		0/19
	14-21	6231	1	1/82	11/81	-0/63		-0/65
سنگ شناسی	JKbl	1263	0	0/00	0/00	0/00	10/00	0/00
	MPlfgp	2	0	0/00	0/00	0/00		0/00
	MuPlaj	374	0	0/00	0/00	0/00		0/00
	Plbk	1154	0	0/00	0/00	0/00		0/00
	Plc	179152	0	0/00	0/00	0/00		0/00
	Qft2	36	55	100/00	100/00	8/53		85/28
بافت خاک رسی	سیت لوم رسی	5639	0	0/00	0/00	0/00	1/05	0/00
	شن لومی	8389	1	1/82	14/68	-0/93		0/97
	شن رس سیلتی	162593	52	94/55	39/38	0/06		0/06
	رس سیلتی	5260	2	3/64	45/94	0/21		0/22
کاربری اراضی	زراعت آبی	21152	52	94/55	88/52	0/35	1/25	0/44
	زراعت دیم	53880	3	5/45	11/48	-1/69		-2/12
	محدوده شهر	3823	0	0/00	0/00	0/00		0/00
	مرتج با تاج پوشش فقیر	1771	0	0/00	0/00	0/00		0/00
	مرتج با تاج پوشش متوسط	1355	0	0/00	0/00	0/00		0/00
شاخص توان جریان $10^2 \times$	<64	114075	43	78/18	61/26	0/22	1/37	0/25
	64-147	50337	12	21/82	38/74	-0/24		-0/27
	147-293	13015	0	0/00	0/00	0/00		0/00
	293-667	4206	0	0/00	0/00	0/00		0/00
	>667	348	0	0/00	0/00	0/00		0/00
عمق آب زیرزمینی	<40	24154	1	1/82	1/99	-1/99	1/37	-2/73
	40-60	49678	3	5/45	2/90	-1/61		-2/21
	60-80	85496	32	58/18	18/00	-0/21		0/29
	80-120	21336	18	32/73	40/58	1/03		1/41
	120-<	1317	1	1/82	36/52	-0/92		1/27
بارش	<500	948	0	0/00	0/00	0/00	2/36	0/00
	500-510	15811	0	0/00	0/00	0/00		0/00
	510-514	34443	3	5/45	7/56	0/29		0/68
	514-516	104920	41	74/55	100/00	1/29		3/05
	516-518	20517	10	18/18	42/29	1/61		3/80
	518-521	5342	1	1/82	16/24	0/62		1/46



در نهایت، شاخص روش آماری (SI) برای هر پارامتر تهیه و با تلفیق پارامترهای ورودی، نقشه نهایی آسیب پذیری آبخوان دشت الشتر تهیه گردید. نقشه نهایی آسیب پذیری آبخوان، به چهار طبقه آسیب پذیری کم، آسیب پذیری متوسط، آسیب پذیری زیاد و آسیب پذیری خیلی زیاد تقسیم بندی شده که در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷ - نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت الشتر به روش SI

با توجه به شکل ۷، نواحی شمالی دشت از پتانسیل آسیب پذیری زیاد و خیلی زیاد، مناطق مرکزی دشت از پتانسیل آسیب پذیر کم و متوسط و نواحی شرقی دشت از پتانسیل آسیب پذیری خیلی زیادی برخوردار هستند. به علت اینکه حذف آلودگی از منابع آب زیرزمینی پرهزینه است، پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت الشتر می تواند به عنوان ابزار ارزشمندی در اختیار مسئولان و متولیان قرار گیرد، تا با کمک آن بتوانند تصمیمات لازم را جهت کاربری اراضی و مدیریت آبخوان دشت الشتر اتخاذ کنند. این تصمیمات می تواند شامل اعمال مدیریت در مصرف کودهای کشاورزی و فاضلاب شهری به نقاط مطمئن تر و تغییر کاربری اراضی باشد.

##### ۵- نتیجه گیری

در این تحقیق، پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت الشتر با استفاده از پارامترهای وزنی، آمار دو متغیره و مدل SI در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شده است. نقشه پتانسیل آسیب پذیری بدست آمده، آسیب پذیری ذاتی آبخوان را نشان می دهد و می تواند به عنوان ابزار اولیه برای توسعه آبی منطقه به کار رود. پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت الشتر، که از تلفیق نقشه های رستری پارامترهای وزنی با لحاظ کردن آمار دو متغیره در محیط GIS به دست آمد نشان می دهد که در منطقه دشت الشتر سنگ شناسی و بارش بیشترین و پارامترهای انحنا و فاصله از جاده کمترین تاثیر را در تعیین آسیب پذیری آبخوان دارد.

##### منابع

[1] M. Chitsazan, and Y. Akhtari, "Evaluating the Potential of Groundwater Pollution in Kherran and Zoweircherry Plains through GIS-based DRASTIC Model", Journal of Water and Wastewater, Vol.17, pp. 39-51, 2006 (Persian).

[2] K. Knodel, G. Lange, and H. J. Voigt, "Environmental Geology, Handbook Field Methods and Case Studies", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1357p, 2007.



[3] I.S. Babiker, M. A. Mohamed, T. Hiyama, and k. Kato, "A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights" GifuPrefecture, central Japan, Sci. Total Environ, Vol. 345, pp.127-140, 2005.

[4] J. Vrba, A. Zoporozec, "Guide book on mapping groundwater vulnerability", International Contribution for Hydrogeology, vol. 16, Hannover7 Heise ,1994.

[۵] گ. شکری، ی. یوسفی فرد و ع.م آخوند علی، "بررسی تغییرات بیلان آب زیرزمینی دشت الشتر در بازه زمانی ۱۰ ساله (۸۱-۹۱)"، ارائه شده در اولین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی پایدار، همدان، ۱۳۹۲.

[۶] م. جعفری، ع. حقی زاده، ن. طهماسبی پور و ح. زینی وند، "ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت الشتر نسبت به آلودگی های زیست محیطی با استفاده از مدل SI"، ارائه شده در کنفرانس ملی کشاورزی پایدار، محیط زیست و توسعه روستایی، کوهدشت، ۱۳۹۴.

[7] M.H. Hamza, A. Added, A. Frances , and R. Rodriguez, *Validatedel application desmethodes de vulnerabilite DRASTIC, SINTACS et SI aletude dela pollution par les nitrates dans la nappe phreatique de Metline-Ras Jebel-Raf Raf*. Comptes Rendus Geoscience, 339: pp. 493-505, 2007.

[8] M.H. Hamza, and A. Added, "Validity of Drastic and SI vulnerability methods", NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Geospatial Visual Analytics, Part 7, pp. 395-407, 2009.

[9] M.H. Hamza, and A. Added, "Validity of Drastic and SI vulnerability methods", Laboratoire des Ressources Minéraleset Environnement Département deéologie, Facultédes Sciencesde Tunis, Universitéde Tunis EI Manar, 2009.

[10] M. Meinhardt, M. Fink, and H. Tünschel, "Landslide susceptibility analysis in central Vietnam based on an incomplete landslide inventory: Comparison of a new method to calculate weighting factors by means of bivariate atistics" , Journal of Geomorfology, 2014.

[11] A. Hassani Pak, *Geostatistics* .Tehran University Press, 2010 (Persian).

[12] Y.S .Yang, and L.Wang. "GIS-based dynamic risk assessment for groundwater nitrate pollution from agricultural diffuse sources" , Journal of Jilin University, Vol. 37, pp. 311-318, 2007.

[۱۳] ع. رحیمی فر، و. بردی شیخ و ع. بهره مند، "معرفی و تهیه نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی TWI"، ارائه شده در پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کشور"، کرمان، ۱۳۹۰.

[14] T.Y, Stigter, L. Ribeiro, and A.M.M Carvalho Dill, "Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater assessment method in comparison with in to agricultural regions in the south of Portugal". Journal of Hydrol, Vol. 14, pp. 79-99, 2006.