



## Assessment of Kashan Aquifer-Land Use Composite Vulnerability Impact on Groundwater Pollution Using DRASTIC Method and Degradation Model

J. Samadi<sup>1\*</sup>

### Abstract

Assessment of aquifer vulnerability and contamination is necessary for management, development and land use allocation, qualitative monitoring, pollution prevention and the groundwater protection. In this study, Degradation and DRASTIC models using GIS technique (combining by Index-Overlay method) was used for assessment of Kashan aquifer land use and vulnerability impact on groundwater pollution. In prepared map of DRASTIC model, demonstrates determination coefficient of 26%, significant level of 0.05 with nitrate concentrations in aquifer and DRASTIC-LU model demonstrates significant level of 0.05 and determination coefficient of 31.5% by added land use (LU) layer. Based on this model was found 1.1 percent of aquifer has high vulnerability in northwest, west and south of aquifer due to land uses of urban, industrial and farmland, high net recharge, sand and high coarse-grain material in impact of vadose zone, aquifer media, soil media. Also land uses of industrial, gardenland, cropland, urban, dry farmland, moorland, grassland with rates of 10, 9, 8, 7, 5.5, 2.5, 2 respectively demonstrates most nitrate pollution effect on groundwater by the use of Degradation model and demonstrates inherent risk of 0.45 and significant level of 0.05 based on partial correlation.

**Keywords:** Vulnerability, DRASTIC, Kashan aquifer, Land use, Pollution, Determination coefficient, Degradation model.

Received: January 15, 2014

Accepted: August 7, 2014

## ارزیابی تأثیر کاربری اراضی و آسیب پذیری آبخوان کاشان بر آلودگی آبهای زیرزمینی با استفاده از روش DRASTIC و مدل تخریب

جواد صمدی<sup>۱\*</sup>

### چکیده

ارزیابی آسیب پذیری و آلودگی آبخوان‌ها برای مدیریت، توسعه و تخصیص کاربری اراضی، نحوه پایش کیفیت، پیشگیری و حفاظت از آلودگی آبهای زیرزمینی ضروری است. در این تحقیق از مدل‌های DRASTIC و تخریب مخدوم با کمک تکنیک GIS (تلفیق به روش همپوشانی شاخص) جهت ارزیابی تأثیر کاربری اراضی و آسیب پذیری بر آلودگی آبخوان کاشان استفاده گردید. در نقشه تهیه شده از مدل DRASTIC، ضریب تعیین ۲۶٪ و سطح معنی داری ۰/۰۵ و با افزودن لایه کاربری اراضی (LU) سطح معنی داری ۰/۰۵ تعیین گردید. بر اساس این مدل ۱/۱ درصد از آبخوان در ناحیه شمال غرب، غرب و جنوب، به دلیل وجود کاربری‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، میزان تغذیه بالا و وجود شن و مواد درشت‌دانه زیاد در منطقه غیراشباع، محیط خاک و محیط آبخوان دارای آسیب پذیری زیادی می‌باشد. همچنین کاربری‌های صنعتی، باغی، زراعی، شهری، زراعت دیم، بایر و مراتع به ترتیب با رتبه‌های ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۵/۵، ۲/۵، ۲ بیشترین تأثیر آلودگی نترات با استفاده از مدل تخریب و خطرپذیری ذاتی ۰/۴۵ را بر آبهای زیرزمینی بر اساس همبستگی جزئی و سطح معنی داری ۰/۰۵ نشان دادند.

**کلمات کلیدی:** آسیب پذیری، DRASTIC، آبخوان کاشان، کاربری اراضی، آلودگی، ضریب تعیین، مدل تخریب.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۵ دی ۱۳۹۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۶ مرداد ۱۳۹۳

1- M.Sc. Graduated in Natural Resources Engineering-Environmental Pollutions of Shahid Beheshti University, Tehran & Member of Young Researchers and Elite Club of Islamic Azad University, Naragh Branch, Email: Javad.Samadi09138287975@yahoo.com

\*- Corresponding Author

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی- آلودگی‌های محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی تهران و عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی نراق.

\*- نویسنده مسئول

در پژوهشی اثر تغییرات و نوع کاربری اراضی نواحی شهری و روستایی بر آلودگی آبهای زیرزمینی دهلی (Delhi) هند را بررسی کردند نتایج نشان داد که حذف کاربری‌های کشاورزی و صنعتی و مناطق نیازمند به آبیاری بالا باعث کاهش آلودگی بسیار بالایی را در آبهای زیرزمینی می‌شود و می‌بایستی تغییرات کاربری اراضی کشاورزی به صنعتی و مسکونی و یا استفاده از کودهای شیمیایی محدود شوند (Rai & Kumari, 2012). گولر و همکاران در پژوهشی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی به آلودگی منابع انتشاری ناحیه ساحلی مدیترانه‌ای مرسین (Mersin) ترکیه تحت کاربری‌های نامناسب با استفاده از ضریب همبستگی پیرسونی مشخص کردند که همبستگی معنی‌داری بین غلظت نیترات و فاصله از نوع پوشش و کاربری زمین‌های معین باغ مرکبات، مزارع، مجتمع‌های صنعتی و ساختمان‌های مسکونی وجود دارد (Guler et al., 2013). بایر و همکاران در پژوهشی جهت بررسی تأثیرات آسیب‌پذیری و نوع کاربری اراضی بر آلودگی آبهای زیرزمینی گوانجی (Guangzhou) چین با توجه به نقشه‌های خطرپذیری و نیز بر اساس وزن‌دهی و رتبه‌بندی نوع کاربری‌ها و میزان خطرات انواع فعالیت‌های انسانی در روش شاخص خطر (Hazard Index) مشخص کردند که صنایع شیمیایی، فعالیت‌های کشاورزی و نواحی مسکونی و تفریحی بدون سیستم شبکه آب و فاضلاب شاخص خطر بیشتر و این مناطق خطرپذیری بالایی را نشان می‌دهد (Baier et al., 2014).

هدف و نوع‌آوری این پژوهش استفاده از GIS جهت تعیین آسیب‌پذیری منطقه، استفاده از مدل تخریب<sup>۴</sup> جهت تعیین تأثیر کاربری‌های اراضی و همبستگی جزئی<sup>۵</sup> جهت تعیین تأثیر آسیب‌پذیری و کاربری اراضی بر آلودگی نیترات آبخوان کاشان می‌باشد.

## ۲- منطقه مورد مطالعه

دشت کاشان در دامنه کوه‌های کرکس و حاشیه کویر مرکزی ایران و در حدود ۲۴۰ کیلومتری جنوب تهران به‌صورت دره‌ای باریک، با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی با عرضی در حدود ۲۰ کیلومتر واقع می‌باشد که در شمال به دشت قم، در جنوب به ارتفاعات مجاور منطقه نطنز، از غرب به ارتفاعات و از شرق به محدوده دریاچه نمک منتهی می‌شود و بین طولهای جغرافیائی ۵۱° و ۵۴° تا ۵۱° و عرضهای ۳۳° و ۴۵° تا ۳۴° و ۳۳° محدود می‌باشد. آبخوان کاشان به وسعت ۱۸۳۰ km<sup>۳</sup> (شکل ۱)، شهر کاشان و بخش مرکزی آن، شهر آران و بیدگل و همه بخش‌های آن و اراضی کشاورزی واقع در دشت را شامل می‌شود. حداکثر ارتفاع آبخوان از سطح دریا ۱۶۰۲ متر در حاشیه جنوب غربی و حداقل ارتفاع آن ۸۰۰ متر در حاشیه شمالی آبخوان می‌باشد (صمدی، ۱۳۹۴).

## ۳- مواد و روش پژوهش

### ۳-۱- مدل DRASTIC

DRASTIC مخفف پارامترهای عمق برخورد به سطح آب ایستایی<sup>۶</sup> (فاصله بین سطح زمین و سطح آب زیرزمینی، D)، نرخ تغذیه خالص<sup>۷</sup>

ارزیابی آسیب‌پذیری و آلودگی آبخوان برای مدیریت، توسعه و تخصیص کاربری اراضی، نحوه پایش کیفیت، پیشگیری و حفاظت از آلودگی آبهای زیرزمینی ضروری است (صمدی، ۱۳۹۴).

آسیب‌پذیری احتمال آلودگی آبهای زیرزمینی می‌باشد. و یک مفهوم کیفی است و قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد و باید از اطلاعات دیگری که قابل اندازه‌گیری هستند نتیجه‌گیری شود (Vrba & Zaporozec, 1994). به عبارت دیگر آسیب‌پذیری ذاتی (Intrinsic Vulnerability) آب زیرزمینی، امکان نفوذ و پخش آلودگی از سطح زمین به آبخوان در شرایط طبیعی (Margat, 1968) و آسیب‌پذیری ویژه (Specific Vulnerability)، احتمال میزان آلودگی آب زیرزمینی به ازاء میزان نوع مشخصی از آلودگی در سطح کاربری زمین می‌باشد (صمدی، ۱۳۹۴).

تهیه و نمایش نقشه آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی با استفاده از مدل‌های همپوشانی شاخص در محیط GIS رابطه مکانی بین شیوه مدیریت اراضی و آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی را به روشنی نشان می‌دهد و می‌تواند مدیریت آب و کاربری اراضی را بهبود بخشد (Connell & Daele, 2003). از این روش‌های زیادی برای بررسی تأثیر کاربری اراضی بر کیفیت آبهای زیرزمینی استفاده شده‌اند که می‌توان به روش‌های آماری، شاخص‌های کیفی (GWQI)<sup>۸</sup> و آسیب‌پذیری (ISIS, DRASTIC-LU, SEEPAGE)<sup>۹</sup> مدل‌های شبیه‌سازی انتقال و پخش آلودگی، مدل منطقه‌ای NLE<sup>۱۰</sup> و مدل‌های مناطق غیراشباع که توسط پژوهش‌های زیر انجام شده است اشاره نمود.

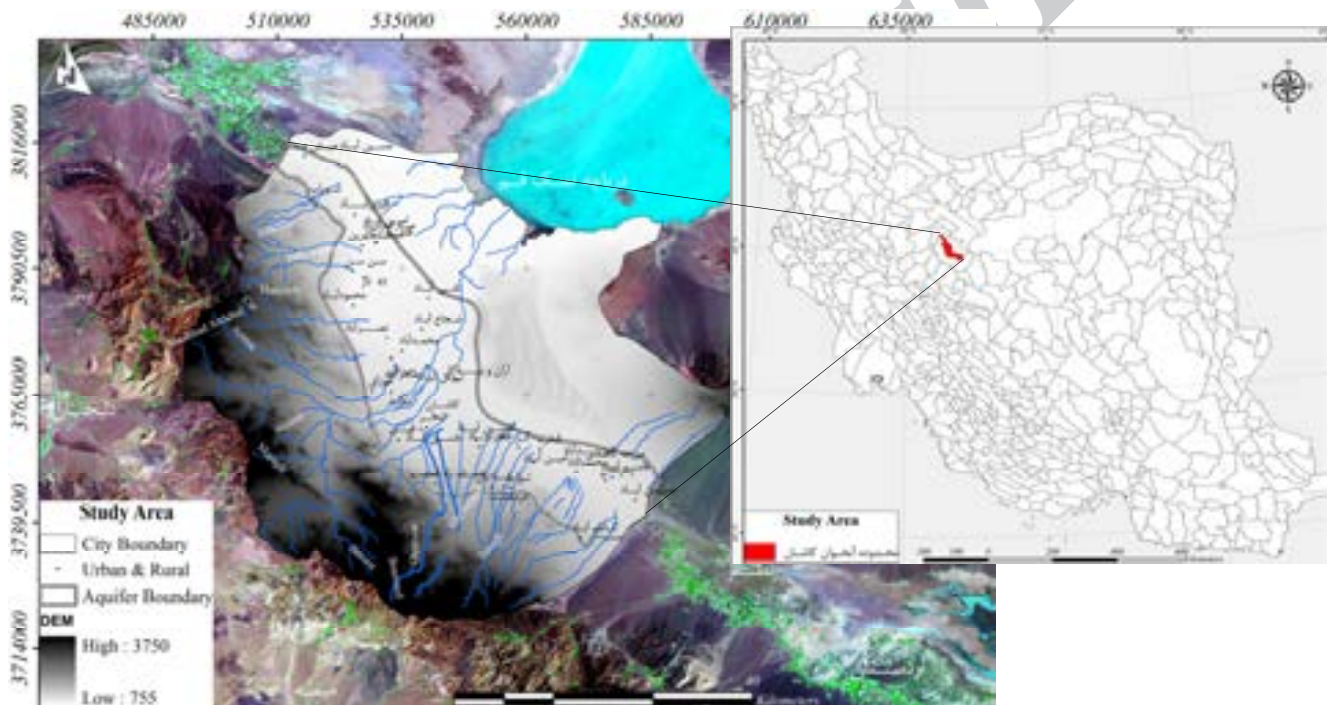
پژوهش‌های رانجان و همکاران نشان داد مناطقی از آبخوان حوضه رودخانه والاو (Walawe) سریلانکا که آسیب‌پذیری بالایی دارند دارای عمق کم آب زیرزمینی، شیب بسیار کم و رسوبات آبرفتی هستند و الگوی کاربری اراضی (میزان کوددهی و نوع کاربری) با آسیب‌پذیری و آلودگی آب‌های زیرزمینی تبعیت می‌کند (Ranjan et al., 2007). یغمایی و مرادی (۱۳۸۸) نوع کاربری اراضی را بر آلودگی آبهای زیرزمینی به نیترات و فسفر در استان مازندران شهرستان نور ارزیابی کردند. بر اساس نتایج، بالاترین تجمع نیترات در مناطق جنگلی تفاوت معنی‌داری نسبت به دیگر کاربری‌ها به دلیل آبهویی از افق بالایی و بیشترین میزان فسفر در مناطق مسکونی به دلیل آلودگی ناشی از شوینده‌ها نشان داد. وودورس و همکاران از سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS) و روش‌های DRASTIC و SINTACS جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی گریک (Greek) ایتالیا استفاده کردند. نتایج مشخص کرد که اراضی کشاورزی و رسوبات زمین‌شناسی آبرفتی و نفوذپذیر، آسیب‌پذیری و آلودگی بالایی ایجاد می‌کنند (Voudouris et al., 2010). هنتاتی و همکاران در پژوهشی، همبستگی ۰/۵۵ غلظت نیترات چاه‌ها و ضریب تعیین ۰/۸۸ رگرسیون نیترات با شاخص آسیب‌پذیری را بر اساس مدل DRASTIC و روش آماری در آبخوان حوضه اسفاکس- آگارب (Sfax- Agareb) تونس بدست آوردند (Hentati et al., 2011). رای و کوماری

۱- آلودگی در سطح زمین نفوذ نموده و به سطح ایستابی می‌رسد، مواد تشکیل‌دهنده یا محیط آبخوان<sup>۸</sup> (جنس و مواد تشکیل‌یافته در منطقه اشباع آب زیرزمینی، A)، محیط خاک<sup>۹</sup> (بافت و ساختمان تشکیل‌دهنده جنس و اندازه خاک، S)، توپوگرافی<sup>۱۰</sup> (شیب و تغییرات سطح زمین، T)، اثر منطقه غیراشباع<sup>۱۱</sup> (جنس و مواد تشکیل‌یافته در منطقه بالای سطح آب ایستابی، I)، هدایت هیدرولیکی<sup>۱۲</sup> (حجم آب عبوری در منطقه اشباع در واحد زمان و تحت شیب هیدرولیکی از میانی سطحی واحد و عمود بر جهت جریان، C) است که در یک سیستم هیدروژئولوژیکی کنترل‌کننده آلودگی آب زیرزمینی می‌باشند و اولین بار در آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا EPA توسط الر و همکاران در سال ۱۹۸۷ برای استاندارد نمودن سیستمی تهیه شد که آسیب‌پذیری آب زیرزمینی را نسبت به آلودگی مورد ارزیابی قرار می‌داد (Aller et al., 1987) این مدل یک نمایه نسبی و بدون بعد می‌باشد و بر اساس چهار فرضیه پایه‌گذاری شده است (Rosen, 1994):

در این روش برای ارزیابی پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی از شاخص آسیب‌پذیری طبق رابطه (۱) استفاده می‌گردد که برای بدست آوردن آن به سه عامل درجه‌بندی و محدوده (جهت هم‌مقیاس‌سازی<sup>۱۳</sup>) و وزن‌دهی پارامترهای هفت‌گانه مدل DRASTIC نیاز دارد.

$$V_{DRASTIC\ Index} = D_r * D_w + R_r * R_w + A_r * A_w + S_r * S_w + T_r * T_w + I_r * I_w + C_r * C_w \quad (1)$$

در این رابطه، r رتبه و w وزن هریک از پارامترهاست (Aller et al., 1987).



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه آبخوان کاشان

جهت هم‌مقیاس‌سازی با توجه به دانش کارشناسی و با استفاده از تابع طبقه‌بندی مجدد، تمام نقشه‌های معیار مربوط به روش DRASTIC طبق شکل (۲) رتبه‌بندی می‌شوند. در این رتبه‌بندی مرز بالا و پایین طبقات یک کد بر اساس رتبه جداول الر و همکاران بین ۱ تا ۱۰ در نظر گرفته می‌شود (مقدار ۱۰ نواحی با بیشترین آسیب‌پذیری، در حالیکه مقدار ۱ نواحی با کمترین آسیب‌پذیری بر اساس آن پارامتر مشخص می‌شود).

### ۳-۲- تعیین تأثیر آسیب‌پذیری و کاربری اراضی

به جز لایه‌های کیفی که بر اساس روند و اندازه نوع جنس رتبه‌بندی شده‌اند، دیگر لایه‌های مورد نیاز برای آبخوان کاشان هیچگونه تغییری نیافته و بر اساس مقادیر بازه و رتبه‌های جداول الر و همکاران رتبه‌بندی گردید. براساس تئوری مدل به هریک از پارامترهای هفت‌گانه

در این تحقیق از ضریب تعیین<sup>۱۴</sup> و همبستگی جزئی نقشه‌های کاربری اراضی و مدل DRASTIC با غلظت نیترات جهت بررسی میزان تأثیر آسیب‌پذیری و کاربری اراضی، و از مدل تخریب مخدوم (Makhdom, 2002) طبق رابطه (۲) جهت تعیین تأثیر کاربری‌ها بر آلودگی آبخوان کاشان استفاده گردید.

$$H = (\sum I + Pd) / V \quad (2)$$

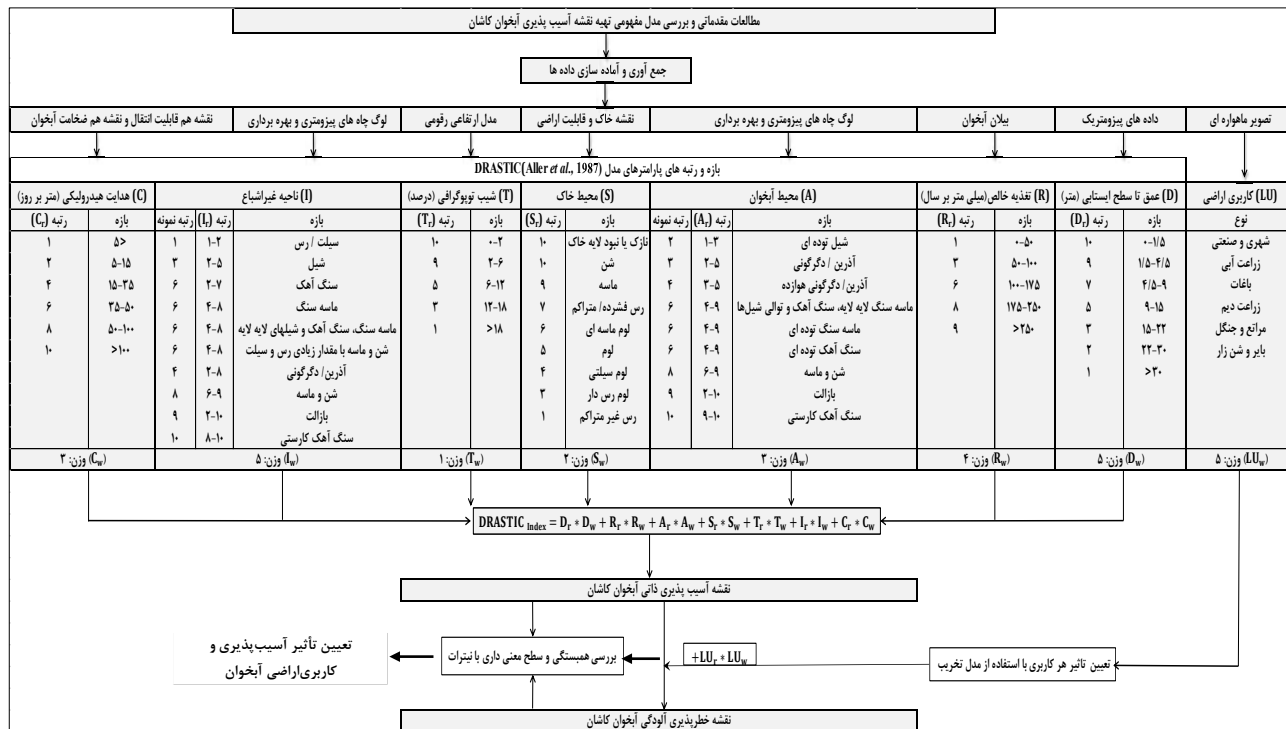
I: درجه هر نشاننده، تأثیر هر کاربری بر آلودگی آبهای زیرزمینی جهت رتبه‌بندی)

V: آسیب‌پذیری زیاد تا کم پهنه با رتبه‌های کم تا زیاد،  $V_{DRASTIC}^{-1}$  آبهای زیرزمینی برای هر کاربری)

Pd: میزان تراکم فیزیولوژیک، (عدد صفر برای آبهای زیرزمینی) می‌باشد.

در این رابطه

H: میزان تخریب در پهنه مورد بررسی، (میزان میلی‌گرم بر لیتر آلودگی نیترات آبهای زیرزمینی)



شکل ۲- مدل مفهومی بررسی تأثیر کاربری اراضی و آسیب‌پذیری بر آلودگی نیترات آبخوان کاشان

ضخامت اشباع آبخوان (بر اساس درون‌یابی ۲۵۷ نمونه ژئوفیزیکی) سازمان آب کاشان، مقدار هدایت هیدرولیکی از تقسیم قابلیت انتقال آب (سازمان آب و خاک تهران، ۱۳۸۸) بر لایه ضخامت اشباع بدست آمد. برای تهیه لایه کاربری اراضی منطقه مطالعه از تصویر سنجنده ETM ماهواره 2003 Landsat استفاده شد. پس از تصحیحات هندسی لازم و نیز استفاده از روش Supervised برای طبقه‌بندی کاربری اراضی در نرم‌افزار Geomatica 2012 و نیز استفاده از روش رقمی کردن در GIS و Google earth و تطبیق با نقشه‌های موجود تهیه گردید. برای به دست آوردن لایه مربوط به پارامتر تغذیه خالص به روش پیسکوپو (Piscopo, 2001) ابتدا اطلاعات مورد نیاز از بیان دشت کاشان بدست آمد (جدول ۱)، سپس بر اساس نقشه کاربری اراضی (مناطق شهری، کشاورزی و ...) میزان تغذیه با توجه به مساحت و حجم آب برگشتی محدوده پلی‌گنی آن محاسبه گردیده و با لایه مربوط به تغذیه ناشی از میزان ۱۶۶ میلی‌متری بارش، بر اساس لایه هدایت هیدرولیکی دشت، میزان نفوذ و شیب توپوگرافی، جمع و ادغام گردید (صمدی، ۱۳۹۴).

جهت محاسبه ضریب همبستگی و تعیین تأثیر، فرض نرمال بودن داده‌ها الزامی است. برای نرمال کردن داده‌های نیترات از تابع تبدیل BOX-COX در نرم‌افزار ArcGIS استفاده و پهنه‌بندی گردید (صمدی، ۱۳۹۴).

## ۴- نتایج و بحث

### ۴-۱- نقشه‌سازی پارامترها

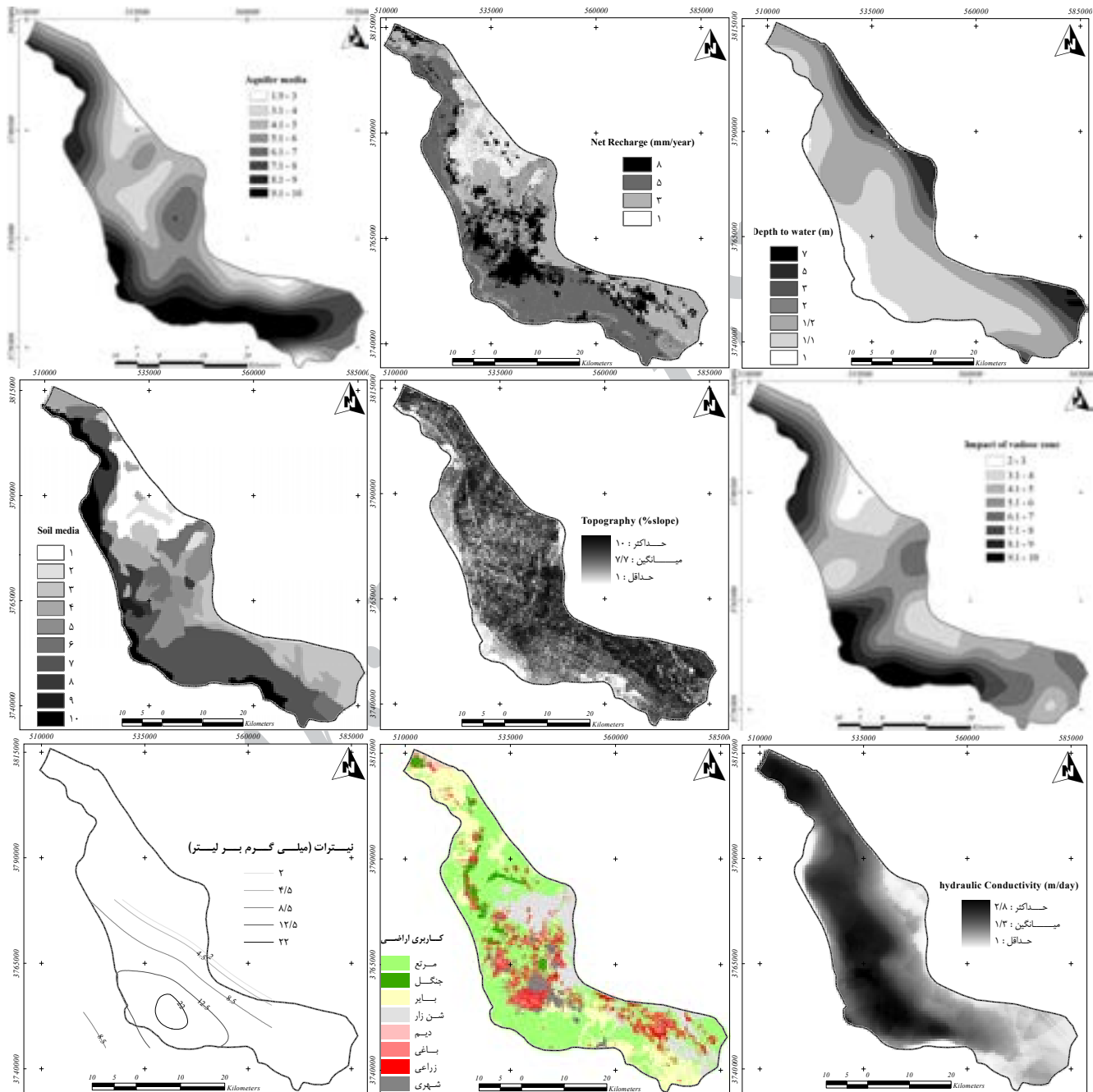
با توجه به شکل (۳)، برای تهیه لایه عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی از روش درون‌یابی Kriging داده‌های پیژومتريک ۶۷ حلقه چاه (سازمان آب کاشان، ۱۳۹۰) استفاده شد (صمدی، ۱۳۹۴). خصوصیات محیط آبخوان و ناحیه غیراشباع آبخوان کاشان توسط ۴۰ لوگ حفاری چاههای محدوده مطالعات سازمان آب کاشان سال ۱۳۹۰ و با توجه به گروه‌بندی جنس و رتبه و نیز اندازه جنس ذرات (ریزدانه عدد ۱ تا درشت‌دانه عدد ۱۰)، بر اساس ارزش عددی مدل DRASTIC تخمین زده شد، با درون‌یابی این اعداد در سطح دشت با استفاده از روش Spline-Tensian در نرم‌افزار ArcGIS، طبقه‌بندی مجدد آن بر اساس رتبه‌بندی و ارزش عددی اندازه جنس محیط آبخوان و ناحیه غیراشباع تهیه گردید. به منظور تهیه لایه خاک از نقشه خاک، نقشه قابلیت اراضی، سطح بالای لوگ پیژومتريکها و نیز اندازه جنس ذرات (ریزدانه عدد ۱ تا درشت‌دانه عدد ۱۰) استفاده گردید. برای تهیه لایه شیب توپوگرافی آبخوان کاشان از مدل رقمی ارتفاع با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ بر اساس توابع موجود در نرم‌افزار ArcGIS محاسبه و تهیه گردید. با توجه به اینکه در آزمایشات پمپاژ، مقدار پارامتر قابلیت انتقال آب اندازه‌گیری می‌شود، لذا با استفاده از لایه

جدول ۱- بیلان تغذیه آب زیرزمینی دشت کاشان (مهندسیین مشاور پایندآب توان، ۱۳۸۸)

عوامل تغذیه	حجم (M.C.M)	تغذیه در واحد سطح (mm)
نفوذ ناشی از بارش مستقیم	۲۶	۱۶/۶ (۱۰ درصد از بارش)
نفوذ ناشی از رواناب	۲۶	۱۶/۶ (۴۰ درصد از جریانات)
برگشتی حاصل از مصارف کشاورزی	۶۸	۲۸۰ (۳۰ درصد از مصارف)
برگشتی شرب و صنعت	۲۵	۲۶۶ (۷۰ درصد از مصارف)
ورودی آب زیرزمینی	۵۳	۳۳/۸
مجموع	۱۹۸ (۱۲۶mm)	۱۲۶

بعد از تهیه نقشه براساس ۹۶ ایستگاه نمونه برداری (شرکت آب و فاضلاب کاشان، ۱۳۹۱) و روش تابع چندجمله‌ای موضعی<sup>۱۵</sup> (شکل ۳) میزان همبستگی آن با نقشه آسیب پذیری و لایه کاربری اراضی تعیین گردید. انتخاب شاخص آلودگی نیترات به دلایل زیر می باشد:

(۱) نیترات به علت فعالیت‌های انسانی آلاینده اصلی و نشانه آلودگی و تخریب آبخوان می باشد (EPA, 1996). (۲) نیترات در آب حل شده و تا زمان رسیدن به آب زیرزمینی و پس از آن، غلظت آن تحت تأثیر عوامل هیدروژئولوژی افزایش، کاهش (ترقیق) و پخش می شود (صمدی، ۱۳۹۴).



شکل ۳- نقشه‌های رتبه‌بندی پارامترهای مدل DRASTIC، لایه کاربری اراضی و نقشه آلودگی نیترات سال ۹۱ آبخوان کاشان

طبق معادله DRASTIC، نقشه آسیب پذیری بر اساس طبقه‌بندی بالوشا (Baalousha, 2006) در شکل (۴) ارائه گردیده است.

۲-۴ نتایج حاصل از نقشه آسیب پذیری ذاتی: در این بخش، از وزنهای پیشنهادی الر و همکاران، طبق رابطه (۱) استفاده گردیده و بر

آبهای زیرزمینی برخوردار نیست. لذا جهت بررسی میزان تأثیر واقعی هر کاربری بر آلودگی آبهای زیرزمینی از روش آماری (میزان نیترات و آسیب‌پذیری موجود در هر کاربری) و مدل تخریب (Makhdoum, 2002) طبق رابطه (۲) استفاده شده و به صورت زیر محاسبه، رتبه‌بندی و در جدول (۲) تهیه گردید.

تأثیر کاربری صنعتی:

$$I_{\text{Industrial}} = H_{\text{Industrial}} * (V_{\text{DRASTIC-Industrial}}^{-1}) = 0.173 \rightarrow 10$$

تأثیر کاربری باغی:

$$I_{\text{Gardenland}} = H_{\text{Gardenland}} * (V_{\text{DRASTIC-Gardenland}}^{-1}) = 0.158 \rightarrow 9$$

تأثیر کاربری زراعی:

$$I_{\text{Cropland}} = H_{\text{Cropland}} * (V_{\text{DRASTIC-Cropland}}^{-1}) = 0.141 \rightarrow 8$$

تأثیر کاربری شهری:

$$I_{\text{Urban}} = H_{\text{Urban}} * (V_{\text{DRASTIC-Urban}}^{-1}) = 0.122 \rightarrow 7$$

تأثیر کاربری زراعت دیم:

$$I_{\text{Dry Farmland}} = H_{\text{Dry Farmland}} * (V_{\text{DRASTIC-Dry Farmland}}^{-1}) = 0.094 \rightarrow 5/5$$

تأثیر کاربری بایر و شنزار:

$$I_{\text{Wasteland \& Beachland}} = H_{\text{Wasteland \& Beachland}} * (V_{\text{DRASTIC-Wasteland \& Beachland}}^{-1}) = 0.038 \rightarrow 2/5$$

تأثیر کاربری مرتعی و جنگل:

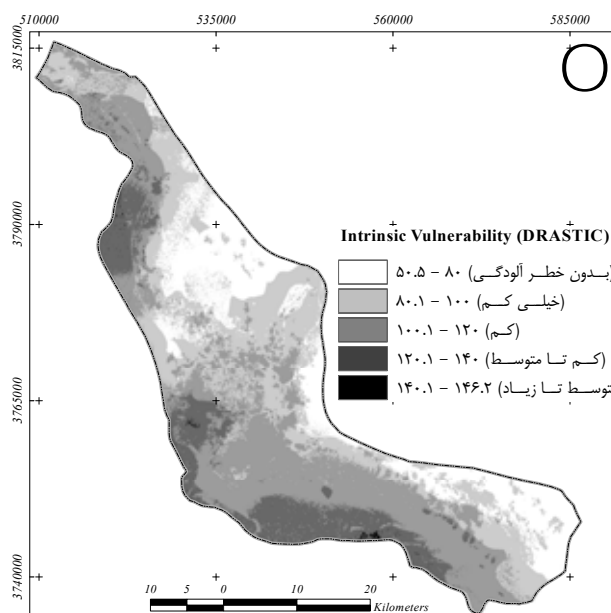
$$I_{\text{Grassland \& Forest}} = H_{\text{Grassland \& Forest}} * (V_{\text{DRASTIC-Grassland \& Forest}}^{-1}) = 0.037 \rightarrow 2$$

## جدول ۲- تعیین تأثیر کاربری‌ها بر اساس میزان نیترات و آسیب‌پذیری

در مدل تخریب				
Rate	I	V <sub>DRASTIC</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	کاربری اراضی
۱۰	۰/۱۷۳	۱۰۱	۱۷/۵	صنعتی
۹	۰/۱۵۸	۸۷	۱۳/۷۹	باغی
۸	۰/۱۴۱	۸۹	۱۲/۵۷	زراعی
۷	۰/۱۲۲	۱۰۶	۱۳	شهری
۵/۵	۰/۰۹۴	۱۱۳	۱۰/۶۷	دیم
۲/۵	۰/۰۳۸	۹۵	۳/۶۹	بایر و شنزار
۲	۰/۰۳۷	۱۱۳	۴/۲۹	مرتع و جنگلی

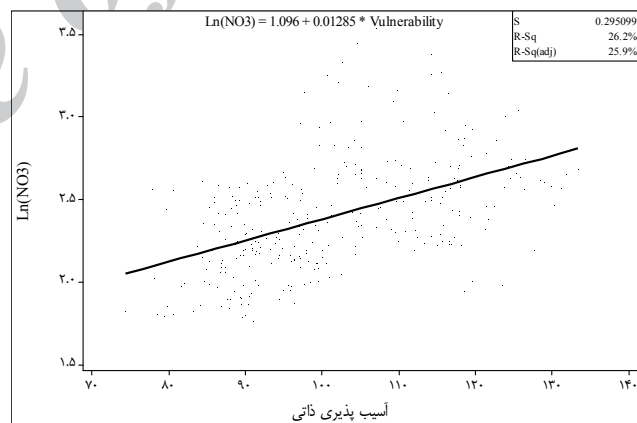
بر همین اساس مناطقی که آسیب‌پذیری پایین و آلودگی نیترات بالایی دارند از بیشترین تأثیر بر آلودگی آبهای زیرزمینی برخوردارند و رتبه بالاتری در نظر گرفته شدند. در نتیجه کاربری‌های صنعتی، باغی، زراعی، شهری، زراعت دیم، بایر و مراتع به ترتیب با رتبه‌های ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۵/۵، ۲/۵ و ۲ بیشترین تأثیر آلودگی نیترات را بر آبهای زیرزمینی نشان دادند.

**۴-۴- نتایج حاصل از نقشه آسیب‌پذیری ویژه:** برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری ویژه، از مدل DRASTIC-LU استفاده شد. در این مدل پارامتر رتبه‌بندی شده کاربری اراضی بر اساس مدل تخریب با وزن ۵ به مدل DRASTIC اضافه شده و نقشه نهایی در شکل (۶) ارائه گردید.



شکل ۴- نقشه آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان کاشان

در این نقشه میزان ضریب تعیین بین شاخص آسیب‌پذیری با غلظت نیترات ۲۶٪ و P-Value کوچکتر از ۰/۰۵ می‌باشد (شکل ۵). با افزایش هر ۵/۵ واحدی شاخص آسیب‌پذیری ۱ میلی‌گرم بر لیتر بر میزان غلظت آلودگی نیترات آبخوان افزوده می‌شود.



شکل ۵- رگرسیون مدل DRASTIC با لگاریتم طبیعی نیترات

**۴-۳- نتایج حاصل از تأثیر کاربری‌های اراضی:** در منطقه کاشان چندین کارخانه و کشتارگاه بزرگ صنعتی برای دام و طیور وجود دارد که فاضلاب تصفیه‌نشده آن می‌تواند نقش مهمی در افزایش غلظت نیترات در آب زیرزمینی مناطق دفع این فاضلاب‌ها ایفا کند. به علت نبودن سیستم فاضلاب شهری و روستایی، مواد دفعی از طریق چاههای جذبی در درون سفره تزریق می‌شود. این عمل به عنوان یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذاری آلودگی نیترات در منابع آب زیرزمینی تلقی می‌شود (خراسانی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶).

با توجه به اینکه کاربری‌هایی که آلودگی زیادی تولید می‌کنند به دلیل تفاوت در میزان آسیب‌پذیری آبخوان الزاما آن منطقه از آلودگی بالایی در

### جدول ۳- خطرپذیری ذاتی کاربری اراضی بر اساس میزان همبستگی جزئی و سطح معنی داری با نیترات

خطرپذیری ذاتی	پارامتر
۰/۵۵*	آسیب پذیری (DRASTIC)
۰/۴۵*	کاربری اراضی (LU)

\*: P-Value < 0.05 سطح معنی داری آماری می باشد.

### ۵- نتیجه گیری و پیشنهادها

ناحیه غیراشباع برای تعیین آسیب پذیری ذاتی و آسیب پذیری ویژه مربوط به آلاینده های جاذب همانند باکتری های کلی فرم و فسفات تأثیر مهمی دارد و می بایست این پارامتر با دقت خاصی برآورد و پهنه بندی شود. که در این مطالعه با دقت بالا و فواصل عمق سه متری و تعداد مناسب انجام گرفت. برای پهنه بندی و برآورد مکانی نیترات و در نتیجه صحت سنجی مدل نیاز به تعداد مکانی زیاد داده های نیترات می باشد. همچنین به دلیل اینکه منبع اصلی تولید آلودگی نیترات کاربری ها می باشد پیشنهاد می شود که نمونه برداری بر اساس توزیع و تنوع کاربری ها باشد.

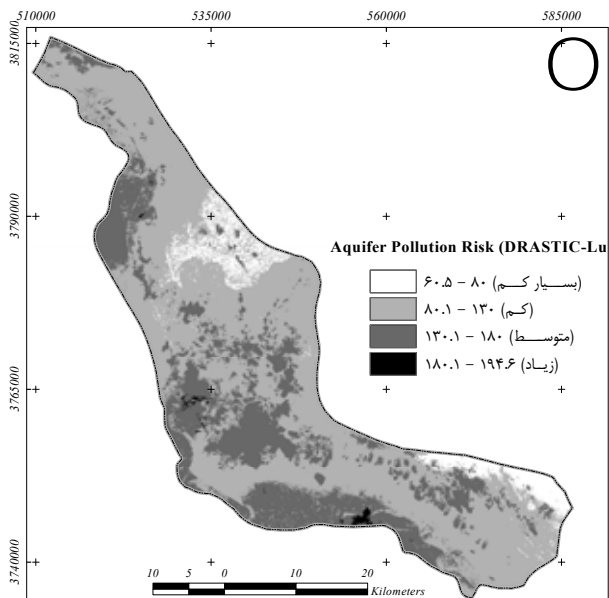
منبع اصلی آلودگی آبهای زیرزمینی وابسته به کاربری اراضی می باشد و بقیه پارامترها نقش ترقیق کنندگی دارند. با توجه به تأثیر ۰/۴۵ همبستگی جزئی کاربری اراضی با نیترات نتایج نشان می دهد هنگام استفاده از لایه کاربری اراضی (LU) میزان ضریب تعیین آسیب پذیری ویژه با نیترات حدود ۲۵ درصد افزایش می یابد.

پارامترهای هیدروژئولوژیکی آبخوان کاشان از خاصیت ترقیق کنندگی بالایی برخوردار بوده و منطقه فاقد آسیب پذیری بسیار زیاد می باشد و با توجه به اینکه بیش از ۹۵ درصد آبخوان کاشان دارای آسیب پذیری بسیار کم تا متوسط می باشد و کاربری اراضی از پتانسیل آلودگی زیادی برخوردار نمی باشند از این لحاظ توانایی توسعه شهری، صنعتی و کشاورزی بسیار زیادی در بیشتر مناطق خود دارا می باشد.

بر اساس نتایج بدست آمده از تأثیر کاربری اراضی، فعالیت های صنعتی و کشاورزی بیشترین تأثیر آلودگی نیترات را بر آبهای زیرزمینی ایجاد کرده و می بایستی نسبت به کاهش آلودگی منتشر شده از این کاربری ها در مناطق مرکزی آبخوان اقدام نمود. با توجه به مستعد بودن آبخوان برای احداث واحدهای صنعتی جدید مستقر در این دشت باید در مکان یابی اینگونه صنایع دقت شود و سعی گردد در مناطقی با آسیب پذیری کمتر توسعه و تخصیص داده شوند.

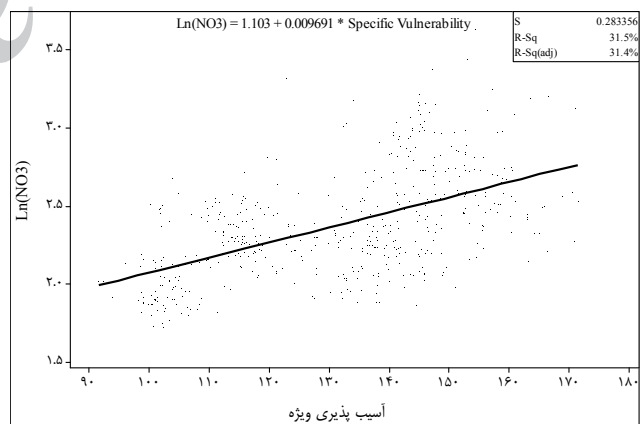
### پی نوشت ها

- 1- Ground Water Quality Index
- 2- The System for Evaluation of Potential of Agricultural Groundwater
- 3- Nitrogen Leaching Estimation
- 4- Degradation model
- 5- Partial correlation
- 6- Depth to water
- 7- Net Recharge
- 8- Aquifer media



شکل ۶- نقشه آسیب پذیری ویژه آبخوان کاشان

در این نقشه میزان ضریب تعیین بین شاخص آسیب پذیری ویژه با غلظت نیترات ۳۱/۵٪ و P-Value کوچکتر از ۰/۰۵ می باشد (شکل ۷). حدود ۱/۱ درصد از آبخوان دارای آسیب پذیری ویژه زیادی می باشد که بیشتر شامل کاربری های شهری، صنعتی و کشاورزی بوده و این ناحیه به دلیل تغذیه بالا، شن و محیط خاک، آبخوان و غیراشباع درشت دانه در شمال غرب، غرب و جنوب آبخوان قرار گرفته است.



شکل ۷- رگرسیون مدل DRASTIC-LU با لگاریتم طبیعی نیترات

### ۴-۵- نتایج حاصل از تأثیر آسیب پذیری و کاربری اراضی:

جهت بررسی میزان نقش و تأثیر پارامترهای آسیب پذیری، از ضریب همبستگی آنها با نیترات جهت تعیین خطرپذیری ذاتی (Inherent risk) استفاده می شود (Panagopoulos et al., 2006). بر اساس جدول (۳) تأثیر کاربری اراضی و آسیب پذیری بر آلودگی نیترات آبخوان کاشان بر اساس همبستگی جزئی و سطح معنی داری ۰/۰۵، خطرپذیری ذاتی ۰/۴۵ و ۰/۵۵ را بر آبهای زیرزمینی نشان دادند. بر این اساس آسیب پذیری آبخوان کاشان تأثیر و وزن بیشتری بر آلودگی آبهای زیرزمینی نسبت به کاربری اراضی نشان داده است.

- ground water vulnerability analyses in Guangzhou, China. *J. Environ. Res.*, 8(2): 249-262.
- Connell LD, Daele GVD (2003) A quantitative approach to aquifer vulnerability mapping. *J. Hydrology*, 276(1-4): 71-88.
- Environmental Protection Agency (1996) Environmental indicators of water quality in the United States. US Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA 841-R-96-002, 25p.
- Guler C, Kurt MA, Korkut RN (2013) Assessment of groundwater vulnerability to nonpoint source pollution in a Mediterranean coastal zone (Mersin, Turkey) under conflicting land use practices. *Ocean & Coastal Management*, 71: 141-152.
- Hentati I, Zairi M, Ben Dhia H (2011) A statistical and geographical information system analysis for groundwater intrinsic vulnerability: a validated case study from Sfax-Agareb, Tunisia. *J. Water and Environment*, 25(3): 400-411.
- Makhdoum MF (2002) Degradation model: a quantitative EIA instrument, acting as a decision support system (DSS) for environmental management. *Environ. Manage.*, 30(1): 151-156.
- Margat J (1968) Vulnérabilité des nappes deau souterraine a la pollution (groundwater vulnerability to contamination). Bases de la cartographie, (Doc) BRGM, 68SGL198 HYD, Orleans France.
- Panagopoulos GP, Antonakos AK, Lambrakis NJ (2006) Optimization of the DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment via the use of simple statistical methods and GIS. *J. Hydrogeol.*, 14(6): 894-911.
- Piscopo G (2001) Groundwater vulnerability map explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW. Department of Land and Water Conservation, Australia.
- Rai SC, Kumari P (2012) Assessment of groundwater contamination from land use/cover change in rural-urban fringe of national capital territory of Delhi (India). *Geography*, 8(2): 31-46.
- Ranjan P, Das GA, Kazama S, Sawamoto M (2007) Assessment of aquifer-land use composite vulnerability in Walawe river basin, Sri Lanka. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 4(2): 1-10.
- Rosen LA (1994) A study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions. *Groundwater*, 32(2): 278-285.
- Voudouris K, Kazakis N, Polemio M, Sifaleras A (2010) An agricultural decision support system for optimal land use regarding groundwater vulnerability. *International Journal of Information Systems and Social Change Global*, 1(4): 66-79.
- Vrba J, Zaporozec A (1994) Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH International Contribution for Hydrogeology, Hannover 7 Heise, Vol. 16, 131p.
- 9- Soil media  
10- Topography  
11- Impact of vadose zone  
12- Hydraulic Conductivity  
13- Scaling  
14- Determination coefficient  
15- Local polynomial
- ## ۶- تشکر و قدردانی
- این پژوهش بخشی از طرح پروژه پژوهشی اعطاشده به نویسنده مسئول توسط شرکت سهامی آب منطقه‌ای اصفهان می‌باشد که بدین‌وسیله از حمایت مالی و همکاری این شرکت از طرح تشکر می‌شود.
- ## ۷- مراجع
- خراسانی‌زاده ح، دلخواه ع، مزروعی ع (۱۳۸۶) مطالعه مقایسه‌ای مصارف آب کشاورزی و شهری از نظر کمی و کیفی و تاثیر چگونگی برداشت بر روی منابع آب و پیش‌بینی آینده در دشت کاشان. شرکت آب و فاضلاب کاشان، ۲۳۳ص.
- سازمان آب کاشان (۱۳۹۰) سطح آب زیرزمینی دشت کاشان.
- سازمان آب و خاک کشور (۱۳۸۸) نقشه قابلیت انتقال آبخوان کاشان.
- سازمان آب و فاضلاب کاشان (۱۳۹۱) یون نترات آب زیرزمینی کاشان.
- صمدی ج (۱۳۹۴) بهینه‌سازی مدل DRASTIC جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی آبخوان کاشان به آلودگی نترات با استفاده از روش‌های آماری. زمین‌شناسی ایران، سال ۹، شماره ۳۵.
- صمدی ج (۱۳۹۴) مدل‌سازی مکانی - زمانی تراز سطح آبهای زیرزمینی مناطق شهری و روستایی آبخوان کاشان با استفاده از GIS. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، سال ۱۷، شماره ۴.
- مهندسین مشاور پایندآب توان (۱۳۸۸) گزارش مطالعات بیلان منابع آب محدوده مطالعاتی کاشان سال آبی ۸۷-۸۸. شرکت مدیریت منابع آب ایران، آب منطقه‌ای اصفهان، ۷۷ص.
- یغمایی ه، مرادی حر (۱۳۸۸) اثر نوع کاربری اراضی بر آلودگی آبهای زیرزمینی به نترات و فسفر در استان مازندران (شهرستان نور). دومین همایش اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، ۴ص.
- Aller L, Bennet T, Leher JH, Petty R, Aller J, Hackett G (1987) DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. E.P.A., Report, No.600/2-87-035, 622p.
- Baalousha H (2006) Vulnerability assessment for the Gaza Strip, Palestine using DRASTIC. *Environmental Geology*, 50(3): 405-414
- Baier K, Schmitz KS, Azzam R, Strohschön R (2014) Management tools for sustainable ground water protection in mega urban areas – small scale land use and