

## بهینه‌سازی مدل DRASTIC با استفاده از روش‌های آمار ناپارامتری

نورالله کرمی شاهملکی<sup>(۱\*)</sup>، سید محمودرضا بهبهانی<sup>۲</sup>، علیرضا مساح بوانی<sup>۳</sup> و کمال خدایی<sup>۴</sup>

۱. کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۲. دانشیار گروه مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۳. استادیار گروه مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۴. عضو هیئت علمی پژوهشکده علوم کاربردی جهاد دانشگاهی

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۲۴

تاریخ پذیرش: ۸۹/۸/۴

### چکیده

بررسی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی بعنوان وسیله و ابزاری موثر، برای تشخیص مناطق آسیب‌پذیر و انجام فعالیت‌های حفاظتی جهت حفظ کیفیت آب این مناطق می‌باشد. در میان روش‌های آسیب‌پذیری، روش DRASTIC بطور وسیعی برای ارزیابی آسیب‌پذیری در مقیاس ناحیه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. مشکل این روش، سلیقه‌ای و کارشناسی بودن رتبه‌بندی و وزن‌دهی پارامترهای آن است. هدف این تحقیق استفاده از روش آمار ناپارامتری جهت بهینه‌سازی مدل DRASTIC و کاهش مشکلات وزن‌دهی و رتبه‌بندی‌ها و در مرحله بعد حذف و اضافه نمودن پارامترهاست. بدین منظور پس از جمع‌آوری پارامترهای ورودی از منطقه مطالعاتی دزفول، آسیب‌پذیری براساس مدل استاندارد DRASTIC تعیین گردید. رتبه‌بندی و اهمیت و وزن پارامترها با استفاده از آزمون‌های آمار ناپارامتری و با توجه به میزان غلظت نیترات مورد بازنگری قرار گرفت و معادله آسیب‌پذیری بهینه برای منطقه تعیین گردید. نتایج تحقیق نشان‌دهنده ارتباط نسبتاً زیاد آسیب‌پذیری بهینه شده با نیترات، نسبت به روش معمولی DRASTIC می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: DRASTIC، آسیب‌پذیری، آب زیرزمینی، آمار ناپارامتری، دزفول.

### مقدمه

آبخوان‌ها به دلیل استعداد آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیره زیاد نسبت به منابع آب‌های سطحی بعنوان یک منبع مهم در منابع آب مورد توجه می‌باشند (Babiker et al., 2005). وجود منابع مهم آلاینده‌های انتشاری و نقطه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی در سطح زمین و نفوذ آلاینده‌ها به آبخوان باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. به همین دلیل، جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی در مدیریت منابع آب زیرزمینی امری ضروری می‌باشد (Fritch et al., 2000). یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی آب زیرزمینی، تعیین میزان آسیب‌پذیری آبخوان و سوق دادن تلاش‌های مدیریتی به سمت این مناطق جهت حفظ کیفیت آب است (خدایی، ۱۳۸۲).

آسیب‌پذیری آبخوان اغلب به عنوان یک ویژگی ذاتی از سیستم آب‌زیرزمینی تعریف می‌گردد که در یک ناحیه هم می‌تواند توسط انتقال عمودی آلودگی در ناحیه غیراشباع و هم انتقال افقی در ناحیه اشباع بیان گردد (Gogu and Passargues, 2000). پس می‌توان گفت که آسیب‌پذیری به خصوصیات آبخوان و تنش‌های وارده به آن بستگی دارد و مشخصه‌ای نسبی، بدون بعد و غیر قابل اندازه‌گیری است. بررسی آسیب‌پذیری آب‌زیرزمینی نسبت به آلودگی در طی سال‌های گذشته موضوع بسیاری از تحقیقات بوده است و روش‌های مختلفی تاکنون جهت بررسی آن ابداع شده‌اند (Al-Adamat et al., 2003; Aller et al., 1987; Evans., 1998 and Myers, 1990). از جمله این روش‌ها، می‌توان به روش‌های آماری، فرآیند محور و شاخص اشاره کرد.

\* نویسنده مرتبط noorolah\_karami@yahoo.com

پارامترهای موجود در مدل و یا اضافه نمودن پارامترهای موثر دیگری نظیر کاربری اراضی را پیشنهاد نموده‌اند (Antonakos and Lambarkis, 2007). همچنین پیشنهاداتی در مورد ادغام این روش با مدل‌های دیگر آسیب‌پذیری ارائه شده‌است. در این تحقیق، ضرایب و رتبه‌بندی‌های اولیه پارامترها با استفاده از ارتباط پارامترهای مدل DRASTIC با وقوع آلودگی واقعی (نیترا ت) به کمک روش‌های آمار ناپارامتری اصلاح شده است.

### مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی دزفول - اندیمشک با مساحتی حدود ۱۷۷۸ کیلومتر مربع و مختصات جغرافیایی ۰۳ و ۳۲° تا ۳۳° و ۳۲° عرض شمالی ۱۰° و ۴۸° تا ۳۷° و ۴۸° طول شرقی در شمال - شمال غرب استان خوزستان واقع شده و مهم‌ترین شهرهای آن دزفول، اندیمشک و شوش می‌باشد. شکل (۱) محدوده مورد مطالعه و موقعیت چاه‌ها را نشان می‌دهد.

### مدل DRASTIC

مدل DRASTIC یک روش برای ارزیابی پتانسیل آلودگی می‌باشد. این مدل در بسیاری از کشورهای دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا اطلاعات ورودی مورد نیاز برای این مدل نسبت به روش‌های دیگر ارزیابی آسیب‌پذیری قابل دسترس‌تر می‌باشند. مدل DRASTIC دارای هفت پارامتر می‌باشد و متناسب با این پارامترها، هفت لایه اطلاعاتی، ورودی‌های مدل را تشکیل می‌دهند (Hammouri and Kuisi, 2006). جدول (۱) منابع اخذ ورودی‌های مدل در این تحقیق را نشان می‌دهد.

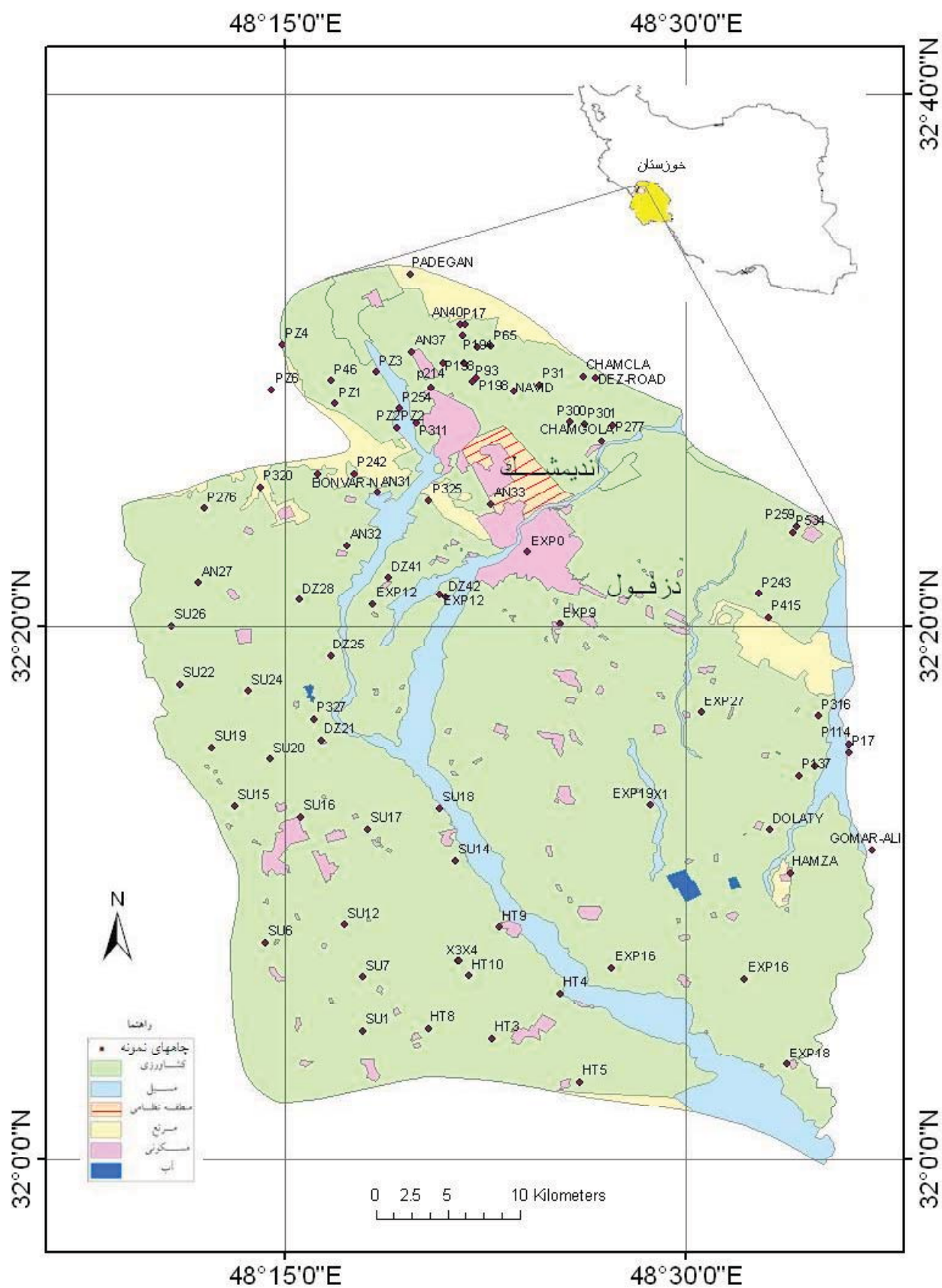
روش‌های آماری شامل آمارهای توصیفی ساده و تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره است و اطلاعات و داده‌های بیشتر مانند منابع آلودگی و عوامل موثر بر حساسیت ذاتی، غالباً در بررسی‌های آماری دقیق‌تر مانند رگرسیون لجستیک که سعی دارد تا متغیرهای توصیفی را مورد توجه قرار دهند انجام می‌شود (Al-Zabet, 2002). هدف روش فرآیند محور، ارزیابی کمی آسیب‌پذیری است که در آن به مدل‌های انتقال و جریان در ناحیه اشباع و غیراشباع توجه می‌شود و اثر ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک، تغذیه و عمق نفوذ را در انتقال آلودگی ارزیابی می‌کند. این روش فرآیندهای فیزیکی حرکت آب و مسیر مربوط به انتقال آلودگی را شبیه‌سازی کرده و توزیع مناطق حساس یا آسیب‌پذیر را مشخص می‌کند (Lynch et al., 1997).

دسته سوم، روش شاخص است که از ابتدایی‌ترین و ساده‌ترین روش‌ها است در این روش هر عاملی که بطور بالقوه بر احتمال آلودگی تاثیر بگذارد در یک مقیاس طبقه‌بندی شده و همچنین برای پارامترها، ضرایب نسبی ارائه می‌شود. پر استفاده‌ترین و شناخته شده‌ترین روش شاخص، روش DRASTIC می‌باشد. این روش از هفت پارامتر زمین‌شناسی و هیدرولوژی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری استفاده می‌کند. روش DRASTIC برای اولین بار توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا توسعه یافته و به دفعات در آمریکا، اروپا و سایر نقاط جهان مورد استفاده قرار گرفته است (Thirumalaivasan, 2001).

در روش DRASTIC طبقه‌بندی و تعیین ضرایب پارامترها تا حدودی سلیقه‌ای و بر مبنای نظرات کارشناسی می‌باشد لذا نمی‌تواند به عنوان یک روش دقیق پیش‌بینی مورد استفاده قرارگیرد. برای بهبود و اصلاح مدل DRASTIC پیشنهادات زیادی توسط محققین ارائه شده‌است. اکثر این محققین کم کردن

جدول ۱- داده‌های استفاده شده برای پارامترهای مدل DRASTIC

مقیاس داده	فرمت	منابع اخذ داده	نوع داده‌ها	لایه خروجی
-	جدول	سازمان آب و برق خوزستان	تراز سطح آب زیرزمینی	عمق آب زیرزمینی (D)
-	جدول	سازمان آب و برق خوزستان	تغییرات سطح آب	تغذیه آبخوان (R)
-	جدول	پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی	لوگ چاه‌ها	محیط آبخوان (A)
۱:۵۰۰۰۰	نقشه	شرکت بهره‌برداری شبکه دز	نقشه خاک	نقشه خاک (S)
۱:۲۵۰۰۰	نقشه	سازمان نقشه‌برداری	نقشه توپوگرافی	توپوگرافی (T)
-	جدول	پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی	لوگ چاه‌ها	منطقه غیر اشباع (I)
-	نقشه	پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی	هدایت هیدرولیکی	هدایت هیدرولیکی (C)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و کاربری اراضی محدوده دزفول-اندیمشک

در این رابطه اندیس  $r$  ارزش رده‌بندی شده هر پارامتر،  $w$  وزن هر یک از پارامترها و  $D, R, A, S, T, I, C$  پارامترهای مدل DRASTIC هستند.

در این معادله هر پارامتر در یک ضریب اندازه‌گیری ضرب می‌شود. این ضرایب بر مبنای نظرات کارشناسی تعیین می‌گردند و نشان‌دهنده تاثیر نسبی هر پارامتر در انتقال آلودگی می‌باشد. همچنین رده‌بندی و ارزش‌گذاری اولیه رده‌های مختلف مربوط به هر کدام از پارامترها بصورت ۱۰ درجه‌ای و بر اساس روش DRASTIC تعیین می‌شوند (Leone et al., 2007) (جدول ۲).

پارامترهای مدل DRASTIC شامل: عمق آب (D)، تغذیه آبخوان (R)، محیط آبخوان (A)، خاک (S)، توپوگرافی (T)، منطقه غیر اشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) است. این پارامترها پس از تبدیل شدن از مقیاس فیزیکی به مقیاس نسبی به معادله خطی ساده‌ای انتقال می‌یابند.

(۱)

$$DRASTIC = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$$

جدول ۲- رتبه بندی و ضرایب مدل DRASTIC

عمق آب زیرزمینی (D)		تغذیه آبخوان (R)		محیط آبخوان (A)		خاک (S)	
طبقات (m)	رتبه بندی	طبقات (mm)	رتبه بندی	طبقات	رتبه بندی	طبقات	رتبه بندی
0-1.5	10	0-50	1	Holocene	5	Clay	1
1.5-4.5	9	50-100	3	Conglomerate	4	Clay loam	3
4.5-9	7	100-180	6	Karstic	8	Sandy clay loam	4
9-15	5	180-250	8	Pleistocene	7	Loam	5
15-23	3	250+	9	Marl	6	Sandy Clay	5
23-30.5	2			Flysch	3	Sandy Loam	6
30.5+	1					Silty clay	2
توپوگرافی (T)		منطقه غیر اشباع (I)		هدایت هیدرولیکی (C)			
طبقات slope (%)	رتبه بندی	طبقات	رتبه بندی	طبقات (m/day)	رتبه بندی		
0-2	10	Holocene deposits	8	0.01-1.3	1		
2-6	9	Conglomerate	6	1.3-3.9	2		
6-12	5	Flysch	3	3.9-8.6	4		
12-18	3	Tyrrhenian sea terraces	6	8.6-13	6		
18+	1	Limestone	6	13-24.2	8		
		Marl	2	24.2+	10		
		Pleistocene deposits	6				

نمونه‌ها استفاده نمود (شکل ۲).

همانطوری که در این شکل مشاهده می‌گردد پارامترهای نظیر منطقه غیر اشباع (I)، هدایت هیدرولیکی (C) و محیط آبخوان (A) دارای همبستگی زیاد و در مقابل پارامترهای خاک (S)، تغذیه آبخوان (R)، توپوگرافی (T) و عمق آب (D) ارتباط کمتری را با غلظت نترات نشان می‌دهند. در مرحله بعد برای قضاوت دقیق و محاسبه کمی ارتباط بین پارامترهای مدل و غلظت نترات از محاسبه ضریب اسپیرمن استفاده گردید.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

در این رابطه  $n$  تعداد داده‌ها و  $d_i$  اختلاف رتبه‌ها است.

برای هر پارامتر، در این مرحله با توجه به ضریب اسپیرمن محاسبه شده، فرض نبود ارتباط ( $H_0: \rho_s = 0$ ) در مقابل فرضیه جانشین ( $H_0: \rho_s \neq 0$ ) در سطح اطمینان ۰/۰۵ آزمون می‌گردد. بدلیل اینکه تعداد داده‌ها برای هر پارامتر بیش از ۳۰ عدد می‌باشند ثابت شده‌است که تحت فرضیه صفر عدم همبستگی، میانگین  $r_s$  برابر صفر و واریانس آن  $n-1/1$  می‌باشد بنابراین در این حالت

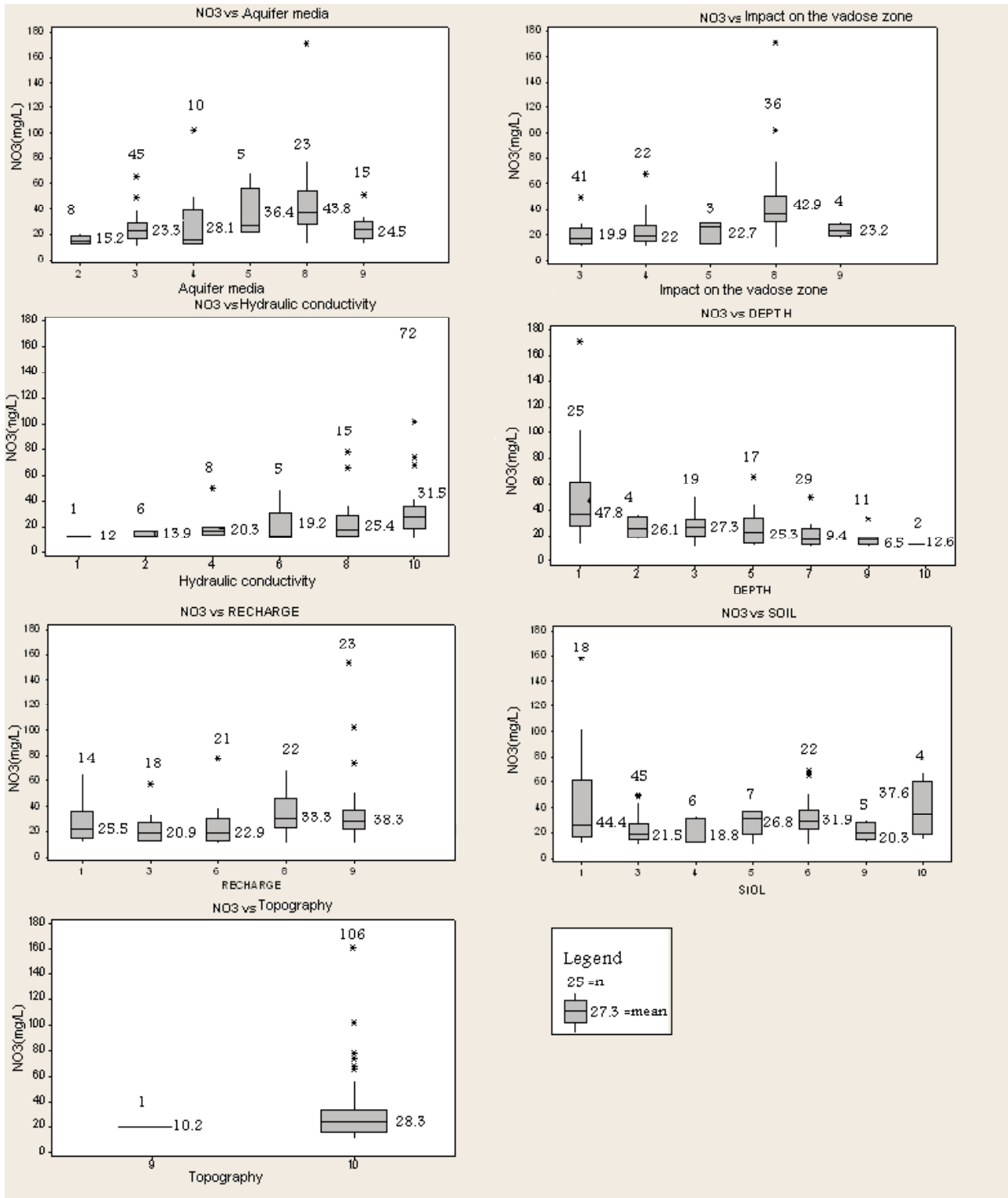
نتیجه مدل DRASTIC، طبق رابطه (۱)، یک لایه شبکه‌ای است که در آن پیکسل‌های دارای اعداد بزرگتر بیان‌کننده مناطقی هستند که آسیب‌پذیری ذاتی آب‌زیرزمینی بیشتر است و پیکسل‌های دارای ارزش عددی کمتر مناطقی را نشان می‌دهند که آسیب‌پذیری ذاتی آنها ناچیز می‌باشد (Rupert, 1999).

### مدل اصلاح شده DRASTIC

با توجه به نکات اشاره شده در مورد مدل DRASTIC معمولی، ایراد اصلی این مدل را می‌توان در غیر ملموس بودن تعیین مقیاس درجه‌بندی و ضرایب اندازه‌گیری آن دانست. همچنین در مورد انتخاب پارامترهای موثر در انتقال آلودگی نیز ابهاماتی در مدل مطرح می‌باشد (Rahman, 2008).

### بازنگری ضرایب و کم‌وزیاد کردن پارامترها

بازنگری وزن پارامترهای مدل DRASTIC را می‌توان با بررسی ارتباط هر پارامتر با غلظت نترات انجام داد. برای این منظور می‌توان در مرحله اول از نمودارهای جعبه‌ای ایجاد شده براساس ارتباط هر یک از پارامترهای مدل DRASTIC با غلظت نترات



شکل ۲- نمودار جعبه ای ارتباط پارامترهای مدل DRASTIC و مقادیر نیترات

مثبت بیشتر باشد، همبستگی مثبت وجود دارد.  
 ۲- اگر مقدار آماره نمونه  $r_s$  منفی باشد و از مقدار بحرانی منفی کمتر باشد، همبستگی منفی وجود دارد.  
 ۳- اگر مقدار آماره نمونه  $r_s$  بین مقادیر بحرانی مثبت و منفی قرار گیرد، فرض صفر مورد قبول شده و همبستگی وجود ندارد.

مقدار بحرانی  $r_s$  از فرمول  $\pm z/\sqrt{n-1}$  محاسبه گردید در این فرمول مقدار Z از جدول استاندارد و با توجه به سطح اطمینان مورد نظر بدست آمد. در پایان برای تصمیم گیری در مورد نتایج از نکات زیر استفاده گردید (نیرومند، ۱۳۸۳).  
 ۱- چنانچه مقدار آماره نمونه  $r_s$  مثبت باشد و از مقدار بحرانی

جدول ۳- مقادیر ضریب همبستگی پارامترهای مدل DRASTIC

پارامترها	ضریب اسپیرمن ( $r_s$ )	مقدار بحرانی در سطح 0.05	آزمون فرض $\rho_s = 0$	وزن اولیه	وزن اصلاح شده
عمق آب زیرزمینی (D)	-0.57	$\pm 0.15$	رد	5	بدلیل تاثیر معکوس حذف می‌گردد
تغذیه آبخوان (R)	0.04	$\pm 0.15$	قبول	4	-
محیط آبخوان (A)	0.34	$\pm 0.16$	رد	3	3.3
محیط خاک (S)	0.12	$\pm 0.15$	قبول	2	-
توپوگرافی (T)	0.1	$\pm 0.16$	قبول	1	-
منطقه غیراشباع (I)	0.52	$\pm 0.16$	رد	5	5
هدایت هیدرولیکی (C)	0.4	$\pm 0.15$	رد	3	3.8
کاربری اراضی (L)	0.3	$\pm 0.15$	رد	-	2.9

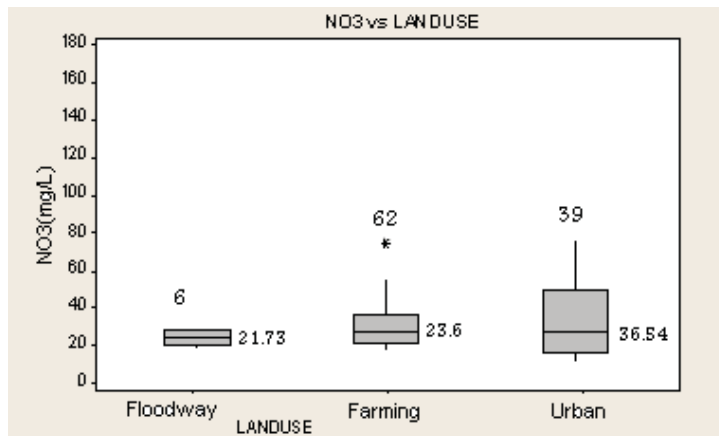
پارامتر با آسیب‌پذیری طبیعی بدلیل توجه به نوع و منشا آلودگی، آسیب‌پذیری ویژه محاسبه می‌گردد. در منطقه مورد مطالعه با توجه به نتایج آزمایشات نیترات، بیشترین مقدار این آلاینده در مناطق مسکونی مشاهده گردید که ناشی از دفع فاضلاب خانگی از طریق چاه‌های جذبی است و در مرتبه بعد زمین‌های کشاورزی بدلیل استفاده از کودهای شیمیایی حامل نیترات، بیشترین مقدار نیترات را به آبخوان وارد می‌کنند. اثبات این موضوع را می‌توان در box plot کاربری اراضی نیز مشاهده کرد (شکل ۳).

با اضافه نمودن پارامترهای جدید (کاربری اراضی) به همراه وزن‌های اصلاح شده و حذف پارامترهای کم اهمیت معادله آسیب‌پذیری ویژه بصورت معادله (۳) تغییر می‌یابد.

$$v = 3.8C + 2.9L + 3.3A + 5I \quad (3)$$

پس از این مرحله مقادیر ضرایب پارامترهایی که فرض صفر برای آنها رد شده‌است را به مقیاسی با حداکثر ۵ تبدیل نموده و ضرایب جدید متناسب با آن محاسبه می‌گردند. نتایج این محاسبات در جدول (۳) آمده است.

با توجه به نتایج جدول (۳) پارامترهای متناظر با فرض‌های مورد قبول مانند عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه (R)، خاک (S) و توپوگرافی (T) از مدل آسیب‌پذیری DRASTIC کنار گذاشته شده و بقیه پارامترها با ضرایب جدید در معادله (۳) استفاده می‌شوند. نکته قابل توجه دیگر امکان اضافه کردن کاربری اراضی به مدل DRASTIC است. توجیه این عمل را می‌توان به حجم آلودگی اعمال شده در سطح زمین مرتبط کرد که تاثیر زیادی بر افزایش غلظت نیترات در آب زیرزمینی دارد. با ترکیب شدن این



شکل ۳- رابطه نیترات با کاربری اراضی

در مرحله بعد آماره U بوسیله معادله (۵) محاسبه گردید:

$$U_1 = W_1 - \frac{n_1(n_1+1)}{2} \quad (5)$$

وقتی مقدار  $n_1, n_2$  بزرگتر از ۸ باشد توزیع  $U_1$  را می توان نرمال فرض کرد و برای محاسبه میانگین و واریانس آن از فرمول (۶) و (۷) استفاده کرد:

$$\mu_{U_1} = \mu_{U_2} = \frac{n_1 n_2}{2} \quad (5)$$

$$\sigma_{U_1}^2 = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12} \quad (6)$$

پس از این مرحله، مقدار  $Z = \frac{U_1 - \mu_{U_1}}{\sigma_{U_1}}$  را محاسبه و آن را

بصورت دو طرفه و با سطح اطمینان ۵٪ آزمون نموده و فرض یکسان بودن رده های مجاور بررسی گردید. در بین پارامترهای DRASTIC، تنها هدایت هیدرولیکی کاندیدای ادغام بود که با توجه به تعداد نمونه ها و شرایط آزمون ویلکاکسن، رتبه ۸ و ۱۰ با هم ادغام گردیدند. در نهایت به منظور اصلاح درجات هر پارامتر مقادیر درجه بندی اصلاح شده با استفاده از میانگین غلظت نیترات هر طبقه استخراج شده و به مقیاس ده درجه ای تبدیل گردید. نتایج ادغام رده ها و بازنگری و اصلاح درجه بندی پارامترها در جدول (۴) آمده است.

### اصلاح درجه بندی پارامترها

تغییر در مقیاس درجه بندی را می توان با استفاده از مقدار غلظت نیترات در گروه های طبقه بندی شده هر پارامتر انجام داد. برای این منظور در ابتدا بدلیل رتبه ای بودن ماهیت گروه ها با استفاده از آزمون ناپارامتری مجموع - رتبه ویلکاکسن، معنی دار بودن تفاوت رده ها در پارامترهای پیوسته نظیر عمق، تغذیه و هدایت هیدرولیکی بررسی گردید. برای اینکه بتوان از آزمون مجموع - رتبه استفاده نمود باید دو نمونه مستقل داشت و فرضیه صفر می تواند یکسان نبودن توزیع ها باشد. شایان ذکر است که در بکاربردن این آزمون نیازی به نرمال بودن جامعه نیست (نیرومند، ۱۳۸۳). برای این آزمون ابتدا نمونه های دو رده مجاور بر اساس میزان تغییرات به صورت صعودی مرتب گردیدند. اگر تفاوت قابل ملاحظه ای بین میانگین ها در دو رده مجاور وجود داشته باشد انتظار می رود که اکثر رتبه های پایین تر به یک رده و رتبه های بالاتر به رده دیگر اختصاص یابند.

بدین منظور مطابق معادله (۴) ابتدا مجموع رتبه های دو رده بطور جداگانه محاسبه گردید (نیرومند، ۱۳۸۳):

$$W_1 + W_2 = \frac{(n_1 + n_2)(n_1 + n_2 + 1)}{2} \quad (4)$$

$W_1$  مجموع رتبه های رده یک،  $W_2$  مجموع رتبه های رده دو،  $n_1, n_2$  بترتیب تعداد اعضا کلاس اول و دوم.

جدول ۴- بازنگری رتبه بندی پارامترهای مدل DRASTIC

منطقه غیر اشباع (I)			
رتبه های اصلاح شده	میانگین نیترات	رتبه های اولیه	رده
4.6	19.9	3	
5.1	22	4	Sandy clay
5.2	22.7	5	Sandy silty clay
10	42.9	8	Sand
5.4	23.2	9	Gravel
محیط آبخوار (A)			
رتبه های اصلاح شده	میانگین نیترات	رتبه های اولیه	کلاس
3.5	15.2	2	Clay
5.3	23.3	3	Silty clay
6.4	28.1	4	Sandy silty clay
8.3	36.4	5	Sandy silt
10	43.8	8	Sand
5.6	24.5	9	Gravel
کاربری اراضی (L)			
رتبه های اصلاح شده	میانگین نیترات	رتبه های اولیه	کلاس
10	36.5	10	مسکونی
6.5	23.6	6	کشاورزی
5.9	21.7	3	مسپیل
هدایت هیدرولیکی (C)			
رتبه های اصلاح شده	میانگین نیترات	رتبه های اولیه	طبقات (m/day)
3.9	12	1	0.01-1.3
4.5	13.9	2	1.3-3.9
6.6	20.3	4	3.9-8.6
6.2	19.1	6	8.6-13
10	30.62	8	13-24.2
		10	>24.2

### نتیجه‌گیری

کاربری اراضی بعنوان پارامتری موثر در تولید آلودگی به مدل اضافه و در پایان با تشکیل معادله جدید براساس محیط آبخوان، منطقه غیراشباع، هدایت هیدرولیکی و کاربری اراضی رابطه (۳)، آسیب‌پذیری در سه رده متوسط، زیاد و خیلی زیاد مشخص شده است. بیشترین مساحت آسیب‌پذیری در این روش مربوط به رده آسیب‌پذیری زیاد است که ۵۰ درصد مساحت منطقه را پوشش می‌دهد (شکل ۴ - الف).

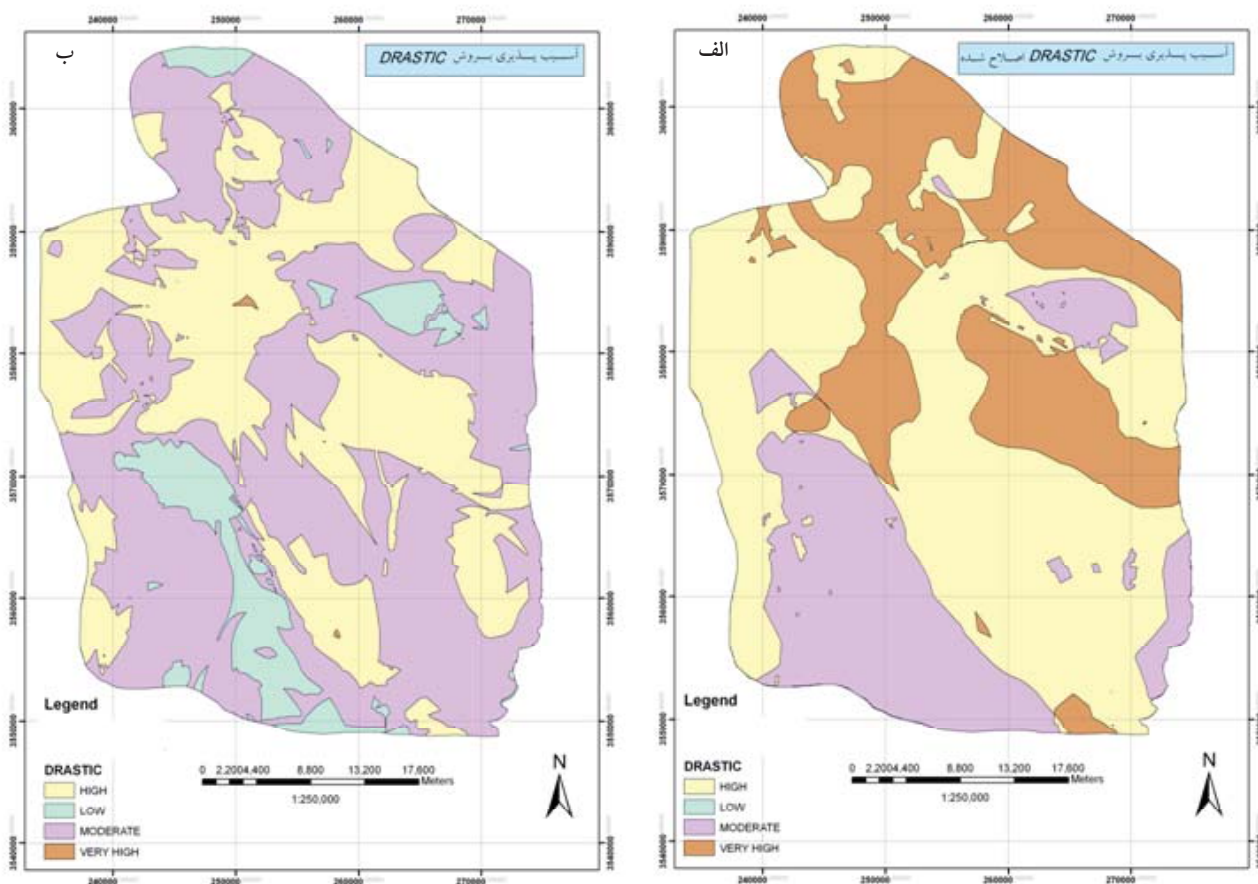
همانطوری که در جدول ۵ مشاهده می‌گردد میزان ضریب همبستگی اسپیرمن برای غلظت نیترات و ریسک آلودگی در روش اصلاح شده ۰/۶۱ است که در مقایسه با مقدار بحرانی در سطح اطمینان ۵٪ (۰/۲) معنی‌دار بودن آن ثابت می‌گردد. از طرفی با توجه به اختلاف آن با روش DRASTIC می‌توان ارتقاء دقت مدل را نسبت به مدل معمولی DRASTIC مشاهده نمود این افزایش را می‌توان ناشی از اصلاح وزن‌ها و رتبه‌بندی طبقات دانست.

در این تحقیق آسیب‌پذیری به دو روش DRASTIC و DRASTIC اصلاح شده مورد بررسی و محاسبه قرار گرفته است. در روش DRASTIC معمولی از هفت پارامتر عمق آب (D)، تغذیه آبخوان (R)، محیط آبخوان (A)، خاک (S)، توپوگرافی (T)، منطقه غیر اشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) استفاده و محاسبات آسیب‌پذیری براساس رتبه‌بندی و وزن‌دهی استاندارد DRASTIC صورت گرفته است. بر اساس ارزیابی نتایج مربوط به این روش، آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه در سه رده کم، متوسط و زیاد قرار می‌گیرد که به ترتیب ۸، ۵۴ و ۳۸ درصد مساحت منطقه را پوشش می‌دهند. (شکل ۴ - ب).

از طرف دیگر در روش DRASTIC اصلاح شده با استفاده از آزمونهای آمار ناپارامتری علاوه بر اصلاح رتبه‌بندی پارامترها، وزن و تعداد پارامترهای موثر نیز اصلاح می‌شود. در این روش،

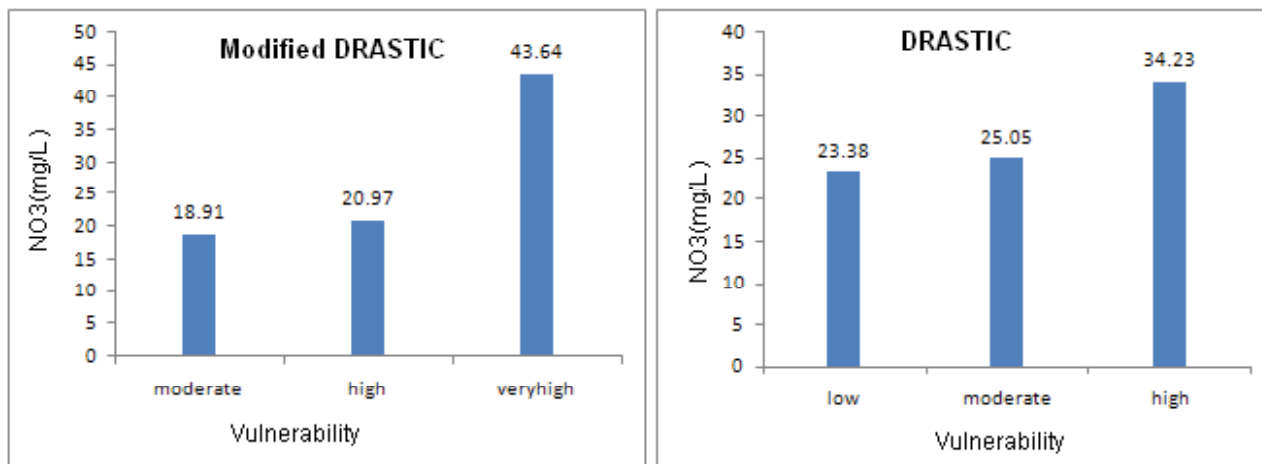
جدول ۵- مقادیر همبستگی دو روش DRASTIC و DRASTIC اصلاح شده با مقادیر نیترات

مدل آسیب‌پذیری	همبستگی با نیترات
Modified DRASTIC	۰/۶۱
DRASTIC	۰/۳۶



شکل ۴- نقشه آسیب‌پذیری روش معمولی و اصلاح شده





شکل ۵- تفاوت میانگین نیترات در کلاس‌های مختلف آسیب‌پذیری

2005. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Height, Gifu Prefecture, central Japan. *Science of the Total Environment*, 345, 127-140.

- Evans, B.M. and Myers, W.L., 1990. A CIS-based approach to evaluating regional groundwater pollution potential with DRASTIC. *Journal of Soil and Water Conservation* 242-245.

- Fritch, T.G., Mcknight, C.L., Yelderman, Jr. J.C. and Arnold, J.G., 2000. An aquifer vulnerability assessment of the Paluxy Aquifer, central Texas, USA, using GIS and a modified DRASTIC approach. *Environment Management*, 25, 337-345.

- Gogu, R.C. and Dassargues, A., (2000). Current trends in vulnerability assessment using overlay and index methods. *Environmental Geology* 39, 149-159.

- Hammouri, N., Kuisi, M., 2006. GIS-based evaluation of groundwater vulnerability in the Russeifa area, Jordan. *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, 23, 277-287.

- Leone, A., Ripa, m.n., Uricchio, V., Deak, J. and Vargay, Z., 2007. Vulnerability and risk evaluation of agricultural nitrogen pollution for Hungary main aquifer using DRASTIC and GLEAMS models. *Journal of Environmental Management*, 84, 212-221.

- Lynch, S.D., Reynders, A.G. and Schulze, R.E., 1997. A DRASTIC approach to groundwater vulnerability in South Africa. *South African Journal of Science*, 93 (2), 59-60.

- Rahman, A., 2008. A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. *Applied Geography*, 28, 32-53.

بالا بودن دقت روش اصلاح شده را می‌توان در مقایسه میانگین نیترات برای کلاس‌های مختلف آسیب‌پذیری نیز مشاهده کرد (شکل ۵). در این نمودار روش DRASTIC اصلاح شده روند مناسبی را از نظر افزایش غلظت نیترات با افزایش آسیب‌پذیری نشان می‌دهد. همچنین اختلاف بین کلاس‌های مختلف را بهتر نمایش می‌دهد ولی نمایش این اختلافات در روش DRASTIC معمولی نامحسوس‌تر است.

### منابع

- خدائی، ک.، ۱۳۸۲. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت جوبین در مقابل آلودگی با استفاده از روش‌های DRASTIC و GODS، شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان.

- نیرومندی، ح.، ۱۳۸۳، آمار کاربردی، انتشارات اقلیدس، ۲۵۳.

- Al-Adamat, R., Foster, I. and Baban, S., 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.

- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J., Petty, R. and Hackett, G., 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings (EPA-600/2-87-035) US EPA, Washington DC.

- Al-Zabet, T., 2002. Evaluation of aquifer vulnerability to contamination potential using the DRASTIC method, *Environmental Geology*, 43, 203-208.

- Antonakos, A.K. and 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, S., Mohamed, A., Hiyama, T. and Kato, K.,

- Rupert, M.G., 1999. Improvements to the DRASTIC groundwater vulnerability mapping method. US Geological Survey Fact Sheet, 66-99.

- Secunda, S., Collin, M. and Mellou, A.J., (1998). Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive land use. Environmental Management, 54, 39-57.

- Thirumalaivasan, D., 2001. Aquifer vulnerability as-

essment using Analytic Hierarchy Process (AHP) and GIS for upper PALAR watershed. Paper presented at the 22nd Asian conference on remote sensing, 5-9 November 2001, Singapore.

- Thirumalaivasan, D., Karmegam, M. and Venugopal, K., 2001. AHP- DRASTIC: software for specific aquifer vulnerability assessment using DRASTIC model and GIS. Environmental Modeling and Software, 18, 645-656.