یادداشت فنی

ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان خویس با به‌کارگیری مدل دراستیک و سینتکس به‌منظور مدیریت کاربری اراضی

سیده فاطمه موسوی[1]، سید مسعود یعقوبی[2]، منوچهر چیت‌سازان[3]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز
(نویسنده مسئول) ۰۹۳۹۱۶۷۸۳۹۳ baharan.mosavi@gmail.com
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز
۳- استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز

(دریافت ۹۳/۳/۲۱ پذیرش ۹۳/۱۲/۱۷)

چکیده

تغییر کاربری اراضی فرایندی تدریجی است. یکی از تبعات تغییر کاربری اراضی تغییر در کمیت و کیفیت آب زیرزمینی است. تغییرات کمّی معمولاً با بررسی سالانه بیلان آب زیرزمینی قابل پایش است، اما سنجش تغییرات کیفی فرایندی پرهزینه و زمان‌بر است. مدل‌های دراستیک و سینتکس با استفاده از مشخصه‌های آبخوان شرایط پیش‌بینی آسیب‌پذیری در آبخوان را فراهم می‌کنند. به‌منظور مدیریت کاربری اراضی در آینده در دشت خویس که در جنوب غرب ایران واقع شده است، آسیب‌پذیری آبخوان با استفاده از مدل دراستیک و سینتکس مورد ارزیابی قرار گرفت. اصول مدل دراستیک بر پایه پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی مؤثر بر انتقال آلودگی است. پارامترهای مدل سینتکس نیز همان پارامترهای مدل دراستیک بوده ولی فرایند وزن و رتبه‌دهی پارامترها در این روش انعطاف بیشتری دارد. پس از تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری، درستی ارزیابی‌های صورت گرفته با استفاده از نقشه هم‌مقدار نیترات مورد صحت‌سنجی قرار گرفت که میزان همبستگی نقشه هم‌نیترات آب زیرزمینی با مدل دراستیک و سینتکس به‌ترتیب ۴۰ و ۸۴ درصد بود. با تحلیل حساسیت به دو روش حذف نقشه و تک پارامتری نیز میزان تأثیرگذاری هر کدام از پارامترها در آلوده‌سازی آبخوان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که جنوب شرق منطقه دارای بیشترین خطر آسیب‌پذیری است.

واژه‌های کلیدی: دراستیک، سینتکس، خویس، نیترات، کاربری اراضی

۱- مقدمه

وجود آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی در سطح زمین و نفوذ این آلاینده‌ها به آبخوان باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. بنابراین جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی در مدیریت منابع آب زیرزمینی امری ضروری است[۱]. یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر منطقه مورد نظر و مدیریت کاربری اراضی است. پژوهشگران و مدیران منابع آب برای شناسایی مناطقی که نسبت به سایر مناطق دارای احتمال آلودگی بیشتری هستند، روش‌های کاربردی مشخصی را ابداع نموده‌اند. یکی از این روش‌ها، روش دراستیک[1] است. پژوهش‌های داخلی و خارجی متعددی در زمینه ارزیابی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی صورت گرفته است. بابیکر و همکاران در سال ۲۰۰۵ در کاکامیگاهارای ژاپن، رحمان در سال ۲۰۰۸ در علیگره هند و عبدالله و همکاران در سال ۲۰۱۳ در حوضه امان- زرقا در اردن با به‌کارگیری مدل دراستیک به مکان‌یابی مناطق دارای ریسک آلودگی در هر یک از این مناطق پرداختند [۲، ۳ و ۴]. چیت‌سازان و اختری در سال ۲۰۰۹ با استفاده از مدل دراستیک و GIS، به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری آبخوان خران پرداختند [۵]. آصفی و همکاران در سال ۲۰۱۴ با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS، مدل سینتکس دشت اندیمشک را تصحیح کردند[۶]. تبرمایه و واعظی هیر در سال ۲۰۱۵ پتانسیل آلودگی آبخوان تبریز را با مدل دراستیک تهیه کردند [۷].

این پژوهش با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان خویس با به‌کارگیری مدل دراستیک و سینتکس به‌منظور مدیریت کاربری اراضی انجام شد. دشت خویس با وسعتی حدود ۲۷۴ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴ دقیقه شمالی در شمال غرب استان خوزستان و جنوب شوش واقع شده است.

[1] DRASTIC

۲- مواد و روشها

۲-۱- مدل دراستیک

ماهیت و ذات مدل دراستیک تجمعی است. این مدل جواب‌های قطعی ارائه نمی‌دهد بلکه مناطقی با آسیب‌پذیری زیاد را از مناطقی با آسیب‌پذیری کمتر متمایز می‌کند. عوامل دراستیک شامل هفت پارامتر: عمق آب[1] (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، بافت خاک (S)، توپوگرافی (T)، تأثیر منطقه غیر اشباع (I) و هدایت هیدرولیکی آبخوان (C) می‌باشند. برای استفاده از عوامل دراستیک یک سیستم طبقه‌بندی عددی طراحی شده است. این سیستم شامل سه بخش وزن‌ها، بازه‌ها و نرخ‌هاست. به هر کدام از عوامل دراستیک با توجه به اهمیت آن نسبت به سایر عوامل یک وزن نسبی بین ۱ تا ۵ اختصاص داده می‌شود. همچنین هر کدام از عوامل دراستیک به بازه‌هایی تقسیم‌بندی می‌شوند که بر روی پتانسیل آلودگی تأثیر می‌گذارند. نرخ‌ها نیز اهمیت نسبی هر بازه با توجه به تأثیر بر روی پتانسیل آلودگی را بیان می‌کنند که بین ۱ تا ۱۰ متغیر است. وزن پارامترها در این مدل ثابت و استاندارد است و بیانگر تأثیر آن پارامتر در انتقال آلاینده‌ها به محیط آبخوان است. اما نرخ هر پارامتر بر حسب منطقه مورد مطالعه متفاوت است و در هر منطقه خاص، کاربر را مجاز به واسنجی مدل می‌کند [۸]. در این پژوهش به‌منظور تعیین نرخ بازه‌ها پس از بازدیدهای صحرایی از روش کارشناسی استفاده شد. نتیجه مدل دراستیک یک اندیس عددی است که از رتبه‌ها و وزن‌های اختصاص یافته به پارامترهای مدل مشتق می‌شود. معادله مربوط برای تعیین اندیس دراستیک به‌صورت زیر است

$$\text{DRASTIC Index} = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W \quad (۱)$$

که در آن

R رتبه و W وزن است. بعد از محاسبه اندیس دراستیک، نواحی آسیب‌پذیر آبخوان مشخص می‌شوند. در مدل دراستیک برای تلفیق لایه‌ها از روش همپوشانی شاخص استفاده شده و نقشه آسیب‌پذیری ذاتی حاصل شده است[۹].

۲-۲- مدل سینتکس[2]

روش سینتکس از مدل دراستیک مشتق شده است. پارامترهای این روش همان پارامترهای روش دراستیک است با این تفاوت که فرایند وزن و رتبه‌دهی پارامترها در روش سینتکس انعطاف بیشتری دارد. واژه سینتکس از کنار هم قرار گرفتن حروف اول پارامترهای به‌کار رفته در آن تشکیل شده است. پس از تهیه لایه‌های شاخص سینتکس، این لایه‌ها در کلاس‌های مختلف طبقه‌بندی شدند. شاخص آسیب‌پذیری این روش از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$I_v = \sum P_{(1,7)} \times W_{(1,n)} \quad (۲)$$

که در آن

I_v شاخص آسیب‌پذیری، $P_{(1,7)}$ رتبه پارامترها، $W_{(1, n)}$ وزن وابسته به تعداد آرایه‌های کلاس وزنی و n تعداد آرایه‌های کلاس وزنی است[۹].

۲-۳- آماده‌سازی، تلفیق و تصحیح نقشه‌های معیار

لایه‌های معیار به‌منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان در مدل دراستیک و سینتکس مشابه بوده و مراحل آماده‌سازی هر یک در ادامه ارائه شده است.

۲-۳-۱- عمق سطح ایستابی

برای تهیه این لایه، از موقعیت جغرافیایی و میانگین سالانه عمق سطح ایستابی ۲۱ حلقه چاه مشاهده‌ای در سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ که در محدوده مورد مطالعه وجود دارد، استفاده شد.

۲-۳-۲- تغذیه خالص

در ابتدا نفوذ آب زیرزمینی در آبخوان بر حسب درصد پهنه‌بندی شد و با ضرب نمودن درصد نفوذ در بارش سالانه منطقه مورد مطالعه در سال آبی ۹۲-۹۱ نقشه پهنه‌بندی تغذیه آبخوان به‌دست آمد.

۲-۳-۳- محیط آبخوان

برای تهیه لایه محیط آبخوان از لاگ پیزومترها و چاه‌های بهره‌برداری در منطقه استفاده شد. پس از جمع‌آوری پرونده چاه‌ها و لاگ پیزومترهای موجود در دشت، داده‌ها به فرمت قابل قبول تبدیل شدند. پس از آن شبکه تیسن منطقه بر اساس موقعیت چاه‌ها و پیزومترها نسبت به مرز منطقه مورد مطالعه ساخته شد. سرانجام در لایه به‌دست آمده بر حسب نسبت جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان در هرکدام از چاه‌ها، به هر یک نرخی بین ۱ تا ۱۰ اختصاص داده شد.

[1] Depth to Water Table
[2] SINTACS

۲-۳-۴- محیط خاک

لایه خاک نیز با استفاده از نقشه رقومی شده ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان خوزستان تهیه شد. این نقشه در محیط نرم‌افزار ArcGIS زمین مرجع و رقومی شد. با توجه به گزارش‌های نقشه مورد نظر، به هرکدام از سری‌های خاک یک نرخ تعلق گرفت.

۲-۳-۵- توپوگرافی

برای تهیه نقشه شیب، از مدل رقومی ارتفاع[1] که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شده، استفاده شد.

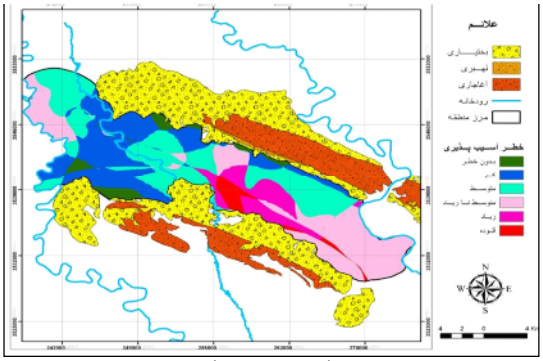
۲-۳-۶- اثر منطقه غیراشباع

برای تولید این لایه از لاگ چاه‌های بهره‌برداری موجود استفاده و روشی مشابه با پارامتر محیط آبخوان به‌کار برده شد.

۲-۳-۷- هدایت هیدرولیکی

برای تهیه این لایه، از میزان هدایت هیدرولیکی که از نقشه مدل ریاضی آبخوان دشت خویس به‌دست آمد، استفاده شد [۱۰].

پس از تهیه نقشه‌های معیار و تلفیق آن‌ها، نقشه آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه تهیه شد. در این پژوهش، هم مقیاس‌سازی لایه‌ها به روش قطعی و با توجه به دانش کارشناسی و با استفاده از تابع طبقه‌بندی مجدد صورت گرفت. در شکل‌های ۱ و ۲ به‌ترتیب نقشه آسیب‌پذیری آبخوان خویس با استفاده از مدل دراستیک و سینتکس ارائه شده است. پس از تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری، با استفاده از نقشه هم‌نیترات منطقه مطابق شکل ۳، نقشه‌های حاصل مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت با ارزیابی نقشه‌های خطرپذیری آلودگی، نرخ‌ها و وزن‌های اعمال شده بازبینی شد. انتخاب نیترات به‌عنوان شاخص آلودگی در منطقه به‌این دلیل است



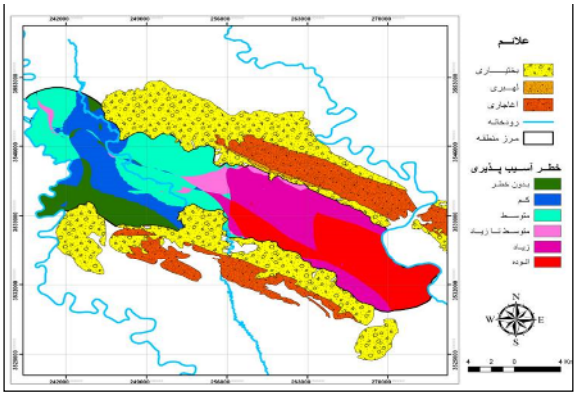
شکل ۱- نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دشت خویس در مدل دراستیک

[1] DEM

که در منطقه مورد مطالعه، نیترات آلاینده اصلی است و به‌علت فعالیت‌های کشاورزی و دامداری تولید و وارد آبخوان می‌شود. وجود نیترات در آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین پیش‌نشانگرهای تخریب کیفیت آب است [۱۱].

۲-۴- تحلیل حساسیت

پس از تهیه و تصحیح نقشه‌های پتانسیل آلودگی، به‌منظور تعیین تأثیر هر پارامتر بر روی شاخص نهایی آلودگی آزمون تحلیل حساسیت برای هر دو مدل انجام شد.



شکل ۲- نقشه آسیب پذیری آبخوان دشت خویس در مدل سینتکس

۲-۴-۱- روش تحلیل حساسیت حذف نقشه

این روش تأثیر حذف پارامترها در تشکیل شاخص نهایی آلودگی را مشخص می‌کند. محاسبه حساسیت حذف نقشه به‌صورت رابطه زیر است

$$S = \left(\left|V/N - V'/n\right|/N\right)\times 100 \qquad (۳)$$

که در آن

S میزان حساسیت را نشان داده و به آن اندیس تغییرپذیری می‌گویند. V و 'V به‌ترتیب اندیس‌های غیرآشفته و آشفته و N و n تعداد لایه‌های مورد استفاده در محاسبه V و `V است.

۲-۴-۲- روش تحلیل حساسیت تک پارامتری

در این روش وزن پیکسل یا لایه با وزن تئوری مقایسه شده و مؤثرترین وزن لایه‌ای (یا لایه) مشخص می‌شود. وزن مؤثر در هر پیکسل با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید

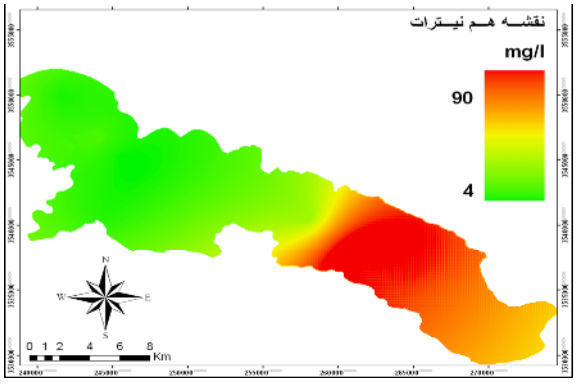
$$W = (P_r P_w/V) \times 100 \qquad (۴)$$

که در این رابطه
W وزن مؤثر هر پارامتر، P_r و P_w به‌ترتیب نمره و وزن هر کدام از پارمترها و V اندیس نهایی آسیب‌پذیری است.

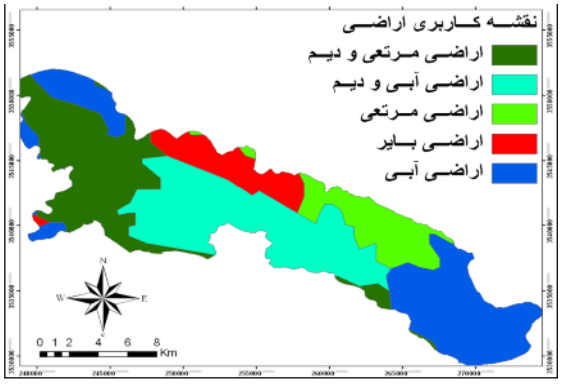
۳- نتایج و بحث

محاسبه تحلیل همبستگی بین پارامترهای مدل دراستیک نشان می‌دهد که یک رابطه قوی بین پارامترهای محیط خاک و تغذیه خالص وجود دارد (ضریب تعیین برابر با ۰/۸۸) که به‌دلیل تأثیر مستقیم نقشه خاک در لایه تغذیه خالص است. آنالیز تحلیل همبستگی بین پارامترهای مدل سینتکس نیز نشان می‌دهد که رابطه قوی بین پارامترهای محیط غیر اشباع و عمق سطح ایستابی وجود دارد (ضریب تعیین برابر با ۰/۵۵۱) که به‌دلیل تأثیر مستقیم جنس منطقه غیر اشباع بر تغذیه و به تبع آن افزایش یا کاهش عمق سطح آب زیرزمینی می‌باشد. پس از تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری، نقشه هم‌مقدار نیترات با استفاده از داده‌های آنالیز نیترات اسفندماه ۱۳۹۱ تهیه و به‌منظور صحت‌سنجی و تصحیح نقشه‌های آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳). علاوه بر نقشه نیترات، نقشه کاربری اراضی نیز با استفاده از نقشه رقومی شده کاربری اراضی استان خوزستان تهیه شد (شکل ۴). در نهایت میزان همبستگی بین نقشه‌های هم‌نیترات، کاربری اراضی، مدل دراستیک و مدل سینتکس محاسبه شد که در جدول ۱ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج تحلیل حساسیت به‌روش حذف نقشه، مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار برروی اندیس آسیب‌پذیری در هر دو مدل، اثر محیط غیر اشباع است. در روش تک پارامتری نیز عمق تا سطح ایستابی مؤثرترین پارامتر در ارزیابی آسیب‌پذیری هر دو مدل است. در منطقه مورد مطالعه، کشت نیشکر و گندم در مقیاس زیاد همراه با استفاده بدون برنامه از کودهای شیمیایی صورت می‌گیرد. بنابراین می‌توان دلیل ازدیاد نیترات در منطقه را مربوط به این



شکل ۳- نقشه هم نیترات دشت خویس



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی دشت خویس

عوامل دانست. تغییر کاربری اراضی زراعی به اراضی باغی، تغییر نوع کشت، ممانعت از ورود فاضلاب به آبخوان، احداث و یا تکمیل طرح‌های زهکشی در مناطقی که سطح ایستابی بالا است، از راهکارهای مهم برای پایین انداختن سطح ایستابی و جلوگیری از ورود آلاینده‌ها به آبخوان است.

جدول ۱- ماتریس همبستگی نقشه هم‌نیترات، کاربری اراضی، مدل دراستیک و مدل سینتکس در منطقه

لایه	کاربری اراضی	هم نیترات (mg/L)	دراستیک	سینتکس
کاربری اراضی	۱/۰۰			
هم‌نیترات (mg/L)	۰/۶۶	۱/۰۰		
دراستیک	۰/۲۹	۰/۴۰	۱/۰۰	
سینتکس	۰/۳۹	۰/۸۴	۰/۶۳	۱/۰۰

۴- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی هر دو مدل دراستیک و سینتکس در آبخوان خویس مناطق مشابهی را در طبقه‌بندی یکسان قرار می‌دهند که البته وسعت آن‌ها متفاوت است و این به‌دلیل متفاوت بودن نحوه نرخ‌بندی بازه‌ها در لایه‌های هر مدل است. هر دو مدل، نواحی شرق و جنوب‌شرق را در لیست مناطق دارای ریسک آلودگی و آسیب‌پذیر قرار می‌دهند. نتایج همبستگی مدل دراستیک و مدل سینتکس با نقشه هم‌نیترات با صحت‌سنجی نشان داد که مدل سینتکس با همبستگی ۰/۸۴ نسبت به مدل دراستیک با همبستگی ۰/۴۰ در پیش‌بینی آسیب‌پذیری آبخوان دارای قابلیت و دقت بیشتری است و بنابراین کارایی آن در این منطقه بیشتر است. علاوه بر این، مقایسه نقشه هم‌نیترات و نقشه‌های نهایی آسیب‌پذیری با نقشه کاربری اراضی نشان می‌دهد که مناطق آلوده غالباً منطبق بر اراضی دارای کشت آبی و دیم و مناطق دارای بالاآمدگی آب که عمق

سطح ایستابی در آن‌ها کم است، می‌باشد. استفاده از کودهای شیمیایی و محدودیت عمق بخش غیر اشباع در این مناطق، از یک طرف غلظت نیترات در آب ورودی به آبخوان را افزایش داده و از طرفی قدرت نیرات‌زدایی مسیر را کاهش می‌دهد، لذا نظارت دقیق و کنترل شده بر مصرف کودهای نیتراته، تغییر نوع کشت، تغییر کاربری اراضی و تأسیس و تکمیل سیستم زهکشی در شرق و جنوب شرق منطقه به‌عنوان مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی برای کاهش و یا جلوگیری از آلودگی در این بخش از آبخوان پیشنهاد می‌شود. ماهیت ساختار ترکیبی در مدل سینتکس و وجود انعطاف بیشتر در ایجاد بازه‌ها، نرخ‌بندی و ترکیب آنها باعث شده است تا این مدل نسبت به مدل دراستیک در محدوده مطالعاتی دشت خویس نتایج نزدیک‌تری به آنچه واقعیت است را ارائه دهد.

۵- مراجع

1. Melloul, A., and Collin, M. (1994). "Water quality factor identification by the principal components' statistical method." *Water Sci. Technol.*, 34, 41- 50.
2. Babiker, I. S., Mohamed, M. A., Hiyama, T., and Kato, K. (2005). "A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan." *Science of the Total Environment*, 345(1), 127-140.
3. Rahman, A. (2008). "A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India." *Applied Geography*, 28(1), 32-53.
4. Abdulla, M. A., Nadhir, A. A., Ahmed, A. A., and Sven, K. (2013). "A GIS-Based Drastic model for assessing aquifer vulnerability in Amman-Zerqa Groundwater Basin, Jordan." *J. of Engineering*, 5, 490-504.
5. Chitsazan, M., and Akhtari, Y. (2009). "A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kharran plain, Khuzestan, Iran." *J. of Water Resour. Manage*, 23, 1137-1155.
6. Asefi, M., Zarei, H., and Radmanesh, F. (2014). "Improvement of SINTACS method using analytical hierarchy process in geographic information system environment to evaluate aquifer vulnerability (case study: Andimeshk plain)." *J. of Irrigation and Water Engineering*, 18(4), 109-125.
7. Tabarmayeh, M., and Vaezi Hir, A. (2015). "Investigation on vulnerability of Tabriz-plain unconfined aquifer." *J. of Water and Soil*., 28(6), 1137-1151.
8. Al-Adamat, R.A.N., Foster, I.D.L., Baban, S.M.J. (2003). "Groundwater vulnerability and riskmapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC." *J. of Applied Geography*, 23, 303-324.
9. Yarmohamadi, E. (1996). "Aghili aquifer pollution potential assessment using DRASTIC, GIS and SINTACS." MSc Thesis, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. (In Persian)
10. Yaghubi, S.M. (2012). "Hydrogeology and simulation of groundwater resources Khovaies Plain by finite differences mathematical model." MSc Thesis, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. (In Persian)
11. USEPA. (1985). "DRASTIC: A standard system for evaluating groundwater using hydrogeological settings." Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma WA/EPA Series. p: 163.