Archive of SID

# بهینه‌سازی مدل دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: دشت اندیمشک)

مهرناز آصفی[1*]، فریدون رادمنش[2]، حیدر زارعی[3]

۱*- نویسنده مسئول: دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران-مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲- استادیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- استادیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت:۹۱/۷/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۲

## چکیده

**با توجه به نیاز روز افزون جوامع بشری به منابع آب زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک، حفاظت و جلوگیری از آلودگی این منابع امری ضروری می‌باشد. ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی نقش حیاتی در حفاظت و بهره‌برداری از این منابع دارد. یکی از متداول‌ترین مدل‌های ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، مدل دراستیک است. سلیقه‌ای بودن نرخ‌بندی پارامترهای به کار رفته در این مدل، مشکل اصلی آن به شمار می‌رود. در مطالعه حاضر، وزن‌دهی پارامترهای مدل دراستیک با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اصلاح گردید. جهت تعیین مدل بهینه، ضریب همبستگی بین شاخص آسیب‌پذیری و غلظت نیترات آب زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل رگرسیون خطی ساده محاسبه گردید. نتایج این تحلیل نشان داد که مدل دراستیک بهینه نسبت به مدل دراستیک نرمال از همبستگی بهتری با غلظت نیترات برخوردار می‌باشد. همچنین برای ارزیابی خطرپذیری آبخوان به آلودگی، پارامتر کاربری اراضی به پارامترهای قبلی افزوده و بدین ترتیب نقشه آسیب‌پذیری ویژه آبخوان تهیه گردید. نتایج حاصل نشان داد که حدود ۶۵ درصد از آبخوان دشت اندیمشک از خطرپذیری آلودگی خیلی کم و ۳۵ درصد مابقی، دارای خطرپذیری آلودگی کم می‌باشد.**

**کلید واژه‌ها:** آسیب‌پذیری، دراستیک، دشت اندیمشک، تحلیل سلسله مراتبی.

# Optimization of DRASTIC Model for Vulnerability Assessment of Groundwater Resources Using Analytical Hierarchy Process (Case study: Andimeshk Plain)

M. Asefi[1], F. Radmanesh[2], H. Zarei[3]

1- MSc in Civil and Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
2- Assistant Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 15 Oct. 2012 Accepted: 22 Apr. 2013

## Abstract

Due to the increasing needs of human societies to groundwater supplies, the resource conservation and pollution prevention is necessary, especially in arid regions. Vulnerability assessment of groundwater can play a vital role in the protection of these resources. The main problem of DRASTIC model as the most widely used models for groundwater vulnerability assessment is the weighting. In this study, the weighting was modified using Analytical Hierarchy Process (AHP). To determine the optimal model, the correlation

www.SID.ir

Archive of SID



between the vulnerability index and the groundwater nitrate concentrations were determined using Simple Linear Regression Analysis (SLRA). The results showed that the optimal DRASTIC model has a better correlation rather than normal DRASTIC model. Also, to assess the risk of aquifer pollution, land use parameter added to the parameters and specific vulnerability aquifer map were prepared. The results showed that about 65 and 35 percent of Andimeshk aquifer contamination risk are very low and low, respectively.

**Key words:** Vulnerability, DRASTIC, Andimeshk plain, Analytical Hierarchy Process.

## مقدمه

حفاظت و نگهداری منابع آب زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، امری ضروری به شمار می‌آید (خداپناه و همکاران، ۲۰۰۹). رفع آلودگی آب‌های زیرزمینی فرآیندی طولانی است و اغلب آلودگی زمانی تشخیص داده می‌شود که رفع آلودگی آبخوان تقریباً غیرممکن می‌گردد (خدایی و همکاران، ۱۳۸۵). بنابراین، جلوگیری از آلوده شدن سیستم‌های آب زیرزمینی اهمیت زیادی در مدیریت منابع آب زیرزمینی دارد (گوو و همکاران[1]، ۲۰۰۷). یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان است (خدایی و همکاران، ۱۳۸۵).

روش‌ها و مدل‌های مختلفی برای تخمین آسیب‌پذیری آبخوان‌ها در جهان توسعه پیدا کرده است. رایج‌ترین این روش‌ها و مدل‌ها عبارتند از: مدل دراستیک[2]، مدل گاد[3]، روش رتبه‌دهی ای وی آی[4]، روش سینتکس[5]، روش ایسیس[6]، آیریش پرسپکتیو[7]، روش جرمان[8] و روش اپیک[9]. البته از آن‌جایی که آسیب‌پذیری آبخوان، کمیتی قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد، تصمیم‌گیری در رابطه با انتخاب یکی از روش‌های فوق، امری کاملاً مبهم می‌باشد. از این رو، در بررسی‌ها و مطالعات صورت گرفته، به مقاسیه نتایج روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری با داده‌های کیفیت آب آبخوان و نیز انجام روش تحلیل حساسیت توجه می‌شود (جیمیتزی و همکاران[10]، ۲۰۰۶).

دراستیک، مدلی است که عملاً در بسیاری از کشورهای جهان، برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان استفاده می‌شود. از دلایل این موفقیت می‌توان به این موارد اشاره نمود: نسبتاً ارزان می‌باشد، داده‌های ورودی مورد نیاز معمولاً از قبل موجود می‌باشد یا به آسانی از سازمان‌های مختلف به دست می‌آید و به راحتی در سامانه اطلاعات جغرافیایی قابل اجرا می‌باشد (ناپولیتانو[11]، ۱۹۹۵)، همچنین نتایج این مدل به راحتی تفسیر شده و با فرآیندهای تصمیم‌گیری ترکیب می‌گردد (عبداللهی[12]، ۲۰۰۹). از این رو، در این مطالعه به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت اندیمشک از روش دراستیک استفاده گردید.

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی صورت گرفته اما به طور کلی مطالعات اندکی در زمینه اصلاح روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری بر اساس شرایط واقعی منطقه صورت گرفته است. متکان و همکاران (۱۳۸۷) به منظور پهنه‌بندی آسیب‌پذیری نیتراته آب‌های زیرزمینی دشت همدان، از روش‌های آماری و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی جهت وزن‌دهی این پارامترها استفاده نمودند. هم‌چنین علاوه بر نرخ‌بندی‌های معمول در مدل دراستیک، از روش فازی برای هم مقیاس‌سازی نقشه‌های معیار و آماده‌سازی آن‌ها جهت تلفیق و جهت تعیین وزن مناسب، همبستگی بین غلظت نیترات و پارامترها و ضرایب از همبستگی اسپیرمن و کندال[13] استفاده نمودند. بر این اساس سه پارامتر عمق سطح ایستابی، محیط آبخوان و محیط خاک بیشترین همبستگی را با داده‌های نیترات نشان دادند و به رابطه جدیدی به نام داس[14] دست یافتند. بنابر وزن‌های به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی، لایه‌های قطعی و فازی دراستیک را به طور جداگانه با یکدیگر تلفیق کردند. هم چنین جهت تهیه نقشه خطرپذیری آلودگی، لایه کاربری اراضی را به پارامترهای قبلی اضافه و برای تعیین وزن بهینه این پارامتر نیز از روش‌های آماری استفاده کردند و بدین ترتیب نقشه آسیب‌پذیری منطقه ترسیم گردید. کرمی شاهملکی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت دزفول پرداختند. در این تحقیق ابتدا آسیب‌پذیری دشت مورد مطالعه توسط مدل دراستیک استاندارد تعیین گردید. اما به دلیل سلیقه‌ای بودن رتبه‌دهی و وزن‌دهی پارامترها این مدل مورد اصلاح قرار گرفت. هر دو مدل محاسبه شده توسط غلظت نیترات اندازه‌گیری شده مورد همبستگی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان دهنده ارتباط نسبتاً

1- Guo et al
2- DRASTIC system
3- GOD system
4- AVI rating system
5- SINTACS method
6- ISIS method
7- Irish perspective
8- German method
9- EPIK method
10- Gemitzi et al
11- Napolitano
12- Abdullahi
13- Spearman and Kendall
14- DAS

www.SID.ir

Archive of SID



زیاد مدل اصلاح شده با نیترات موجود در آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه نسبت به روش دراستیک استاندارد می‌باشد. بای و همکاران[1] (۲۰۱۱) به ارزیابی آب‌های زیرزمینی منطقه بائوتو[2] در چین پرداختند. در این مطالعه ابتدا برای بررسی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از مدل دراستیک استفاده نموده و نتایج آن را با کیفیت آب زیرزمینی آن منطقه مقایسه کردند اما از آن جایی که نتایج مدل مذکور با کیفیت آب زیرزمینی مطابقت نداشت، مدل دراستیک بر اساس شرایط هیدروژئولوژیکی محلی و با به کارگیری تئوری ترویج و روش فرآیند سلسله مراتبی مورد اصلاح قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که در ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه، نتایج حاصل از مدل دراستیک اصلاح شده به کمک تئوری ترویج و روش سلسله مراتبی نسبت به نتایج حاصل از مدل دراستیک مطابقت بیشتری با شرایط واقعی دارد. سینر و داوراز[3] (۲۰۱۲) به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی حوضه دریاچه اجیردیر در ترکیه از مدل دراستیک بهینه‌سازی شده استفاده نمودند. برای همین منظور، پارامترهای«درز و شکافتگی» و «کاربری اراضی» را که بر انتقال مواد آلاینده به آبخوان نقش دارند را به پارامترهای مدل اضافه کردند. آن‌ها وزن این پارامترها را بر اساس نظر کارشناسی و نیز با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی تعیین نمودند. بدین ترتیب علاوه بر مدل دراستیک نرمال، دو مدل بهینه‌سازی شده برای آبخوان مورد مطالعه اجرا گردید. به دلیل گسترده بودن فعالیت‌های کشاورزی در منطقه از غلظت نیترات آبخوان به عنوان معیار اصلاح مدل استفاده کردند. برای انتخاب مدل بهینه، با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی ساده، همبستگی بین غلظت نیترات آبخوان و آسیب‌پذیری تعیین گردید. در نهایت نتایج حاصل از این تحلیل نشان داد که مدل دراستیک اصلاح شده توسط روش تحلیل سلسله مراتبی از همبستگی بیشتری با غلظت نیترات آبخوان برخوردار است. از این رو، نتایج حاصل از این مدل از اعتبار بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار می‌باشد.

دشت اندیمشک بخشی از دشت وسیع دزفول–اندیمشک، که مهمترین دشت استان خوزستان محسوب می‌شود، است. از طرفی در این دشت به علت وجود منابع آب سطحی و زیرزمینی، خاک حاصلخیز و زمین‌های هموار، کشاورزی و باغداری از رونق خاصی برخوردار می‌باشد. به همین دلیل استفاده از انواع کودهای شیمیایی و حیوانی در منطقه بسیار زیاد می‌باشد و همین امر می‌تواند باعث افزایش احتمال آلودگی آبخوان این دشت به منابع آلاینده، به ویژه نیترات گردد. از طرف دیگر، به علت واقع شدن شهر اندیمشک در محدوده منطقه مورد مطالعه، فعالیت‌های صنعتی، مرغداری و دامداری صورت گرفته، باعث تولید فاضلاب‌های شهری و صنعتی و در نتیجه افزایش احتمال آلودگی آبخوان شده است. از آن جایی که، منابع آب زیرزمینی نقش مهمی در تأمین آب شرب مردم ساکن در منطقه دارد، به منظور اطمینان از این که، این منابع بتوانند به عنوان منبعی سالم جهت تأمین آب شرب در آینده باقی بماند، شناسایی نواحی حساس به آلودگی امری ضروری به شمار می‌رود. از این رو، هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت اندیمشک و شناسایی مناطق حساس به آلودگی با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS می‌باشد. با این که مدل دراستیک یکی از رایج‌ترین مدل‌های به کار رفته برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان به شمار می‌رود، لیکن، ضروری است این مدل در هر منطقه بر اساس شرایط هیدروژئولوژیکی محلی تصحیح گردد تا بتوان به نتایج نسبتاً صحیحی دست پیدا نمود (بای و همکاران، ۲۰۱۱). از این رو، هدف اصلی این مطالعه، اصلاح مدل دراستیک بر اساس شرایط هیدروژئولوژیکی محلی می‌باشد. در این تحقیق، از مزایای این مدل استفاده و با اصلاح میزان تأثیر هر یک از پارامترهای ورودی مدل در انتقال آلودگی به آبخوان مورد مطالعه، بر اساس میزان ضریب همبستگی بین شاخص آسیب‌پذیری و غلظت نیترات آبخوان، مدل مذکور بر اساس شرایط هیدروژئولوژیکی محلی واسنجی شده است.

## مواد و روش‌ها

### مدل دراستیک

مدل دراستیک در آمریکا و به منظور حفاظت از منابع آب زیرزمینی توسعه یافت. مدل مذکور، مدلی تجربی است که آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی نسبت به آلودگی را بر اساس وضعیت هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه برآورد می‌نماید (حسینیاینا و همکاران[4]، ۲۰۱۰). واژه دراستیک از هفت پارامتر به کار رفته در این مدل تشکیل شده که عبارتند از: عمق سطح ایستابی[5]، تغذیه خالص[6]، محیط آبخوان[7]، محیط خاک[8]، توپوگرافی[9]، تأثیر محیط غیراشباع[10] و هدایت هیدرولیکی[11] (بابیکر (بابیکر و همکاران[12]، ۲۰۰۵). به هر پارامتر بر اساس استعداد و حساسیت نسبی در برابر آلاینده، یک وزن نسبی از ۱ تا ۵ اختصاص داده می‌شود. همچنین، رتبه‌بندی بر اساس مقیاس ۱ تا ۱۰ و اهمیت نسبی آن در پتانسیل آلودگی در منطقه مورد ارزیابی انجام می‌شود (حسینیاینا و همکاران، ۲۰۱۰). شاخص دراستیک برای روش دراستیک استاندارد با استفاده از رابطه (۱) به دست می‌آید، که در این رابطه، r: رتبه و w: وزن هر عامل می‌باشد

1- Bai et al
2- Baotou
3- Sener and Davraz

4- Hasiniaina et al
5- Depth to watertable (D)
6- net Recharge (R)
7- Aquifer media (A)
8- Soil media (S)
9- Topography
10- Impact of vadose zone (I)
11- hydraulic Conductivity (C)
12- Babiker et al

www.SID.ir

Archive of SID



(سامی و گانگ[1]، ۲۰۰۸). به طور کلی، بالاتر بودن مقدار شاخص دراستیک، آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به آلودگی آب زیرزمینی را نشان می‌دهد (حسینیاینا و همکاران، ۲۰۱۰).

$$\text{DRASTIC index} = D_r D_W + R_r R_W + A_r A_W + S_r S_W + T_r T_W + I_r I_W + C_r C_W \quad (۱)$$

## فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[2]

روش تحلیل سلسله مراتبی به‌دلیل داشتن مبنای نظری قوی، دقت بالا، سهولت استفاده، دارا بودن ارزش و اعتبار و درستی دقت نتیجه، یکی از معتبرترین و پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد (عطائی، ۱۳۸۹). در این فرآیند، سلسله مراتب مؤلفه‌های تصمیمات در فرآیند تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در واقع فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یک فرآیند متقابل است که در آن تصمیم‌گیرنده یا گروهی از تصمیم‌گیرندگان اولویت‌هایشان را به تحلیل‌گر منتقل می‌کنند و می‌توانند نتایج و عقاید خود را مورد بحث و مناظره قرار دهند. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بر پایه ترکیبی از یک سری از ماتریس‌های مقایسه دو به دو می‌باشد که همه معیارها را با یکدیگر مقایسه می‌کنند. این فرآیند به منظور برآورد وزن‌دهی و درجه‌بندی هر یک از معیارها در مقایسه با سایر معیارها می‌باشد. این امتیازدهی، نشانگر اهمیت هر یک از این معیارهای شرکت داده شده برای نیل به هدف کلی است. ساعتی[3] (۱۹۸۰) به منظور مقایسه دو به دو هر یک از معیارها، از ۱ تا ۹ استفاده نمود که در آن عدد یک نشان می‌دهد که معیارها دارای اهمیت یکسان می‌باشند و عدد ۹ نشان می‌دهد که معیار تحت بررسی به مقدار قابل توجهی در مقایسه با دیگر معیارها دارای اهمیت می‌باشد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مسئله مطرح شده توسط تصمیم‌گیرنده را به ساختار سلسله مراتبی تجزیه می‌کند. عناصر یک سطح به خصوص سلسله مراتب به صورت دو به دو همان‌طور که در بالا شرح داده شد مورد مقایسه قرار می‌گیرند (تیرومالایواسان و همکاران[4]، ۲۰۰۳).

## محدوده مورد مطالعه

دشت اندیمشک، واقع در شمال غرب استان خوزستان با مساحتی حدود ۲۹۵ کیلومتر مربع و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و طول ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی، بخشی از دشت وسیع دزفول–اندیمشک، که وسیع‌ترین دشت استان خوزستان می‌باشد، محسوب می‌شود (شکل ۱). این دشت از شمال و شمال غرب و غرب به ارتفاعات، از شرق به رودخانه دز و از جنوب و جنوب غرب به تاقدیس شیرین آب محدود می‌گردد. مهمترین شهر واقع در این دشت، اندیمشک می‌باشد (بی‌نام، ۱۳۹۰).

## زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی

به لحاظ زمین‌شناسی در اطراف منطقه مورد مطالعه، سازندهای آغاجاری، لهبری، بختیاری و رسوبات عهد حاضر به ترتیب قدمت رخنمون دارد. به علت حضور کنگلومرای بختیاری در این دشت و تخریب، فرسایش و حمل مواد این سازند در قسمت اعظم محدوده، آبرفت دشت مورد مطالعه، بیشتر شامل مواد دانه درشت و قلوه‌ای می‌باشد. با توجه به نتایج آزمون پمپاژ انجام شده در یکی از چاه‌های واقع در جنوب منطقه مورد مطالعه، مقدار ضریب آبگذری، هدایت هیدرولیکی، ظرفیت ویژه چاه و ضریب ذخیره در این چاه به ترتیب برابر با ۸۵۰ متر مربع در روز، ۱۲/۵ متر مربع در روز، ۶۰ لیتر بر ثانیه بر متر و ۱۷/۵ درصد می‌باشد (بی‌نام، ۱۳۹۰).

## روش انجام کار

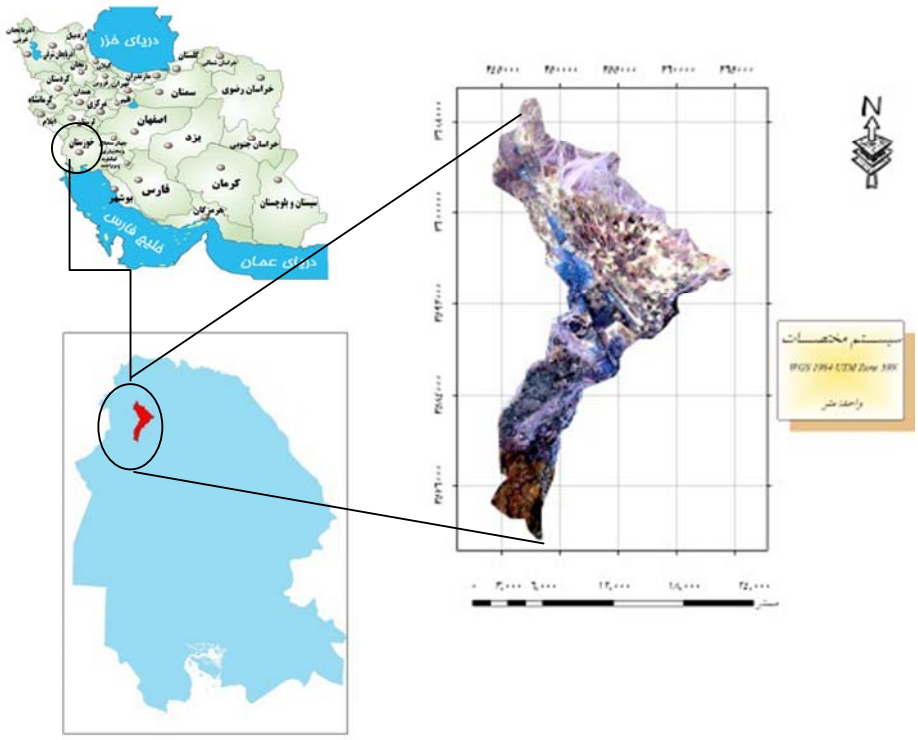
برای مدل‌سازی آسیب‌پذیری ناشی از آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت اندیمشک، ابتدا پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز پارامترهای مدل، اقدام به ساخت پایگاه اطلاعاتی گردید. سپس به منظور تهیه نقشه‌های معیار[5]، داده‌های جمع‌آوری شده ابتدا به فرمت نقطه‌ای در محیط اکسل تبدیل و در نهایت به نرم‌افزار ArcGIS 9.3 معرفی گردید. هدف اصلی از تهیه نقشه‌های معیار، تلفیق آن‌ها با یکدیگر با استفاده از تکنیک هم‌پوشانی و در نتیجه تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان مورد مطالعه می‌باشد. در تحقیق حاضر علاوه بر نرخ‌بندی پارامترهای ورودی بر اساس تئوری مدل دراستیک نرمال، از وزن‌های اصلاح شده پارامترهای مدل، جهت تهیه نقشه‌های معیار استفاده شد. بدین منظور، با استفاده از یون نیترات به عنوان شاخص آلودگی، اقدام به تصحیح وزن پارامترهای مدل دراستیک بر پایه وزن‌دهی به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[6] گردید. بدین منظور، در این این تحقیق، از مقادیر نیترات ۳۳ حلقه چاه موجود در منطقه در مردادماه ۱۳۹۰، به عنوان پارامتر کنترل کننده اصلی (آلاینده شاخص) استفاده شده است. سپس به منظور تعیین وزن بهینه هر پارامتر، همبستگی بین شاخص‌های آسیب‌پذیری محاسبه شده و غلظت نیترات با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی ساده[7] محاسبه گردید.

1- Samey and Gang
2- Analytical Hierarchy Process (AHP)
3- Saaty
4- Thirumalaivasan et al
5- Criterion maps
6- Analytical Hierarchy Process (AHP)
7- Simple Linear Regression Analysis (SLRA)

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ۱- نقشه موقعیت دشت اندیمشک**

**جدول ۱- نمرات تغذیه برای منطقه مورد مطالعه (پیسکوپو، ۲۰۰۱)**

| الف) شیب | | ب) بارندگی | | ج) نفوذپذیری خاک | | میزان تغذیه | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شیب (٪) | وزن | بارش (میلی‌متر) | وزن | محدوده | وزن | بازه | نمره |
| <۲ | ۴ | >۸۵۰ | ۴ | زیاد | ۵ | ۱۱-۱۳ | ۱۰ |
| ۲-۱۰ | ۳ | ۷۰۰-۸۵۰ | ۳ | متوسط تا زیاد | ۴ | ۹-۱۱ | ۸ |
| ۱۰-۳۳ | ۲ | ۵۰۰-۷۰۰ | ۲ | متوسط | ۳ | ۷-۹ | ۵ |
| >۳۳ | ۱ | <۵۰۰ | ۱ | کم | ۲ | ۵-۷ | ۳ |
| | | | | خیلی کم | ۱ | ۳-۵ | ۱ |

**تهیه نقشه‌های معیار مدل**

پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز مدل، اقدام به تهیه نقشه‌های معیار مورد نیاز مدل، بر پایه توابع سیستم اطلاعات جغرافیایی گردید. به منظور تهیه لایه عمق تا سطح ایستابی دشت اندیمشک، از آمار حداقل عمق آب زیرزمینی ۱۵ حلقه چاه پیزومتری واقع در دشت مورد مطالعه، در دوره یک ساله از مهرماه ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹ استفاده گردید. براساس هیدروگراف واحد آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ ماه مرداد با کمترین عمق سطح ایستابی انتخاب شد.

برای تهیه لایه تغذیه خالص از روش پیسکوپو[1] (۲۰۰۱) استفاده گردید. بدین منظور، ابتدا یک مدل رقومی ارتفاعی[2] از منطقه تهیه گردید. سپس شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی تهیه شده، استخراج و با استفاده از معیارهای مربوطه رده-بندی شد. نقشه خاک منطقه نیز با توجه به معیارهای تعریف شده، تهیه و رده‌بندی گردید. همچنین به منظور تهیه نقشه بارش با استفاده از داده‌های ارائه شده توسط سازمان آب و برق خوزستان، نقشه بارش محدوده مورد مطالعه طی دوره آماری ۲۱ ساله تهیه گردید. پس از تهیه تمام نقشه‌های مذکور، برای به دست آوردن

1- Piscopo, 2001
2- Digital Elevation Model (DEM)

www.SID.ir

Archive of SID



لایه تغذیه، نقشه‌های شیب و خاک به همراه رتبه بارندگی منطقه (که در منطقه مورد مطالعه برابر با ۱ است) هم‌پوشانی شدند. سپس لایه به دست آمده با استفاده از این روش با توجه به معیارهای جدول (۱) طبقه‌بندی شد. معادله پیسکوپو برای محاسبه تغذیه پتانسیل یک منطقه به صورت زیر است (پیسکوپو، ۲۰۰۱):

(۲) تغذیه = نفوذپذیری خاک + میزان بارندگی+ شیب

برای تهیه لایه محیط آبخوان از لاگ چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری موجود در منطقه استفاده گردید. سپس بر اساس نسبت جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان در هر کدام از چاه‌های مذکور، به هر یک رتبه‌ای بر اساس معیارهای تئوری روش دراستیک اختصاص داده شد. سپس، شبکه تیسن منطقه بر اساس موقعیت چاه‌ها و نسبت به مرز منطقه مورد مطالعه تهیه شد. در نهایت لایه به دست آمده، بر اساس رتبه داده شده به هر چاه به لایه رستری تبدیل گردید.

برای تهیه لایه محیط خاک، با استفاده از نقشه‌های خاک موجود، تیپ‌های مختلف خاک از نظر بافت‌شناسی در منطقه مطالعاتی شناسایی گردید. سپس بر اساس بافت‌های خاک موجود در منطقه بر اساس معیارهای تعریف شده در تئوری مدل دراستیک ارزش-گذاری و کلاس‌بندی گردید.

به منظور تهیه لایه توپوگرافی، ابتدا مدل رقومی ارتفاعی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه و سپس نقشه شیب از این مدل رقومی ارتفاعی استخراج گردید. در نهایت برای تهیه لایه توپوگرافی، نقشه شیب به دست آمده با استفاده از استانداردها و معیارهای تعریف شده در مدل دراستیک، کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری گردید.

برای تهیه لایه محیط غیراشباع از لاگ چاه‌های پیزومتری و بهره‌برداری موجود در دشت استفاده گردید. برای تهیه این لایه روشی مشابه با تهیه نقشه پارامتر محیط آبخوان به کار برده شد، با این تفاوت که ضخامت و جنس لایه‌های بالای عمق برخورد به آب مورد استفاده قرار گرفت. بر این اساس به هر یک از چاه‌ها بر اساس وضعیت لیتولوژیکی، ضخامت و جنس رسوبات بخش غیراشباع و میزان تأثیر آن‌ها در انتقال آلودگی به آبخوان، رتبه‌ای اختصاص داده شد. در این لایه همانند لایه محیط آبخوان، شبکه تیسن منطقه بر اساس موقعیت نسبت به مرز منطقه مورد مطالعه تهیه شد. در انتها لایه تهیه شده به این روش، بر اساس رتبه داده شده به هر چاه به لایه رستری تبدیل گردید.

با توجه به آن که در آزمون‌های پمپاژ مقدار پارامتر ضریب قابلیت انتقال اندازه‌گیری می‌شود، اطلاعات و موقعیت جغرافیایی مربوط به ضریب قابلیت انتقال و هم‌ضخامت اشباع آبخوان دشت، از نقشه‌های تهیه شده توسط سازمان آب و برق به دست آمد. سپس، نقشه ضریب قابلیت انتقال بر نقشه هم‌ضخامت آبخوان، تقسیم و نقشه هدایت هیدرولیکی دشت به دست آمد. نقشه هدایت هیدرولیکی با توجه به تئوری مدل دراستیک، کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری گردید.

به طور کلی، مدل‌های متداول موجود تلفیق نقشه برای اجرا در سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل منطق بولین، مدل هم‌پوشانی شاخص، مدل منطق فازی و مدل وزن‌های نشانگر می‌باشد (بونهام-کارتر[1]، ۱۹۹۴). در تحقیق حاضر از مدل هم‌پوشانی شاخص، جهت تلفیق لایه‌ها برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه استفاده گردید. پس از تهیه نقشه‌های معیار و تلفیق آن‌ها جهت محاسبه شاخص آسیب‌پذیری آبخوان، به منظور مطابقت وزن‌های اختصاص یافته به پارامترهای مدل بر اساس شرایط واقعی منطقه، اقدام به تحلیل حساسیت مدل گردید.

## تحلیل حساسیت[2]

تحلیل حساسیت به مطالعه سهم متغیرها و پارامترهای ورودی به صورت منفرد در خروجی مدل تحلیلی می‌پردازد. در مدل‌سازی GIS، «اثر» داده‌های ورودی به صورت منفرد، روی نقشه هم پوشانی نهایی مورد بررسی قرار می‌گیرد (ناپولیتانو و فابری[3]، ۱۹۹۶). از این رو، به منظور تحلیل حساسیت آسیب‌پذیری دشت مورد مطالعه، از دو نوع تحلیل حساسیت استفاده گردید.

## تحلیل حساسیت حذف نقشه[4]

این نوع تحلیل حساسیت توسط لودویک و همکاران[5] (۱۹۹۰) معرفی شده است. در این نوع تحلیل حساسیت، ارزیابی ضرورت یا عدم ضرورت استفاده از هفت پارامتر دراستیک مطرح می‌باشد. به ویژه مسأله مربوط به تأثیر هر پارامتر به صورت منفرد بر مقدار آسیب‌پذیری نهایی، هدف اصلی تحقیقات انجام شده توسط محققین مختلف در این زمینه بوده است (ناپولیتانو و فابری، ۱۹۹۶). میزان حساسیت حذف نقشه، حساسیت نقشه آسیب‌پذیری نسبت به حذف یک یا تعداد بیشتری نقشه از نقشه آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد و به کمک رابطه (۳) محاسبه می‌گردد. در این رابطه، S: میزان حساسیت بیان شده از لحاظ شاخص تغییرپذیری، V و 'V: به ترتیب شاخص آسیب‌پذیری غیرآشفته (شاخص واقعی و بدون حذف پارامتر) و شاخص آسیب‌پذیری آشفته، N و n: به ترتیب تعداد لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده برای محاسبه V و 'V می‌باشد. شاخص آسیب‌پذیری واقعی به دست آمده با کاربرد هر هفت پارامتر به عنوان آسیب‌پذیری غیرآشفته درنظر گرفته می‌شود. در حالی که آسیب‌پذیری محاسبه شده با استفاده از تعداد کمتری از لایه‌های اطلاعاتی، به عنوان آسیب‌پذیری آشفته درنظر گرفته می‌شود (بابیکر و همکاران، ۲۰۰۵). هدف این فرآیند،

1- Bonham-Carter
2- Sensitivity analysis
3- Napolitano and Fabbri
4- Map removal sensitivity analysis
5- Lodwick et al
6- Composite DRASTIC index (CD index)

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۲- بازه‌های آسیب‌پذیری مربوط به شاخص CD (مارتینز-باستیدا و همکاران، ۲۰۱۰)**

| آسیب‌پذیری | بازه (شاخص CD) |
|---|---|
| خیلی کم | ۱۰۰> |
| کم | ۱۰۰-۱۴۵ |
| متوسط | ۱۴۵-۱۹۰ |
| زیاد | ۱۹۰-۲۳۵ |
| خیلی زیاد | ۲۳۵≤ |

ارزیابی حساسیت مقادیر آسیب‌پذیری نسبت به حذف پارامتر تعریف شده می‌باشد (حسینیاینا و همکاران، ۲۰۱۰).

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

**تحلیل حساسیت تک پارامتری**

میزان حساسیت تک پارامتری جهت ارزیابی تأثیر هر یک از پارامترهای دراستیک روی شاخص آسیب‌پذیری طراحی شده است. در این روش تحلیل، وزن «مؤثر» یا «واقعی» هر پارامتر ورودی در هر پلی‌گون با وزن «تئوریک» اختصاص یافته توسط مدل تحلیلی مورد مقایسه قرار می‌گیرد. وزن مؤثر هر پلی‌گون با استفاده از رابطه (۴) به دست می‌آید. که در این رابطه، W: وزن «مؤثر» هر پارامتر، $P_r$ و $P_w$: به ترتیب مقدار رتبه و وزن هر پارامتر و V شاخص کلی آسیب‌پذیری می‌باشد (بابیکر و همکاران، ۲۰۰۵).

$$W = \left( \frac{P_r P_w}{V} \right) \times 100 \qquad (۴)$$

**تصحیح وزن پارامترهای مدل به روش AHP**

به منظور تصحیح وزن پارامترهای به کار رفته در مدل به روش AHP، وزن‌دهی بر پایه قضاوت کارشناسی انجام گرفته است. بدین منظور، ابتدا هفت پارامتر موجود در مدل دراستیک براساس اهمیت و نقشی که در تعیین آسیب‌پذیری آبخوان منطقه مورد مطالعه داشتند، اولویت‌بندی و سپس معیارها، به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه و اهمیت آن‌ها نسبت به یکدیگر تعیین گردید. پس از انجام وزن‌دهی بر اساس نظرات کارشناسی، اقدام به تشکیل یک ماتریس گردید که ورودی آن همان وزن‌های تعیین شده توسط دانش کارشناسی می باشد. وزن‌های کارشناسی شده به عنوان ورودی به نرم‌افزار Super Decisions 2.0.8 داده شد و در نهایت از خروجی نرم‌افزار که در واقع وزن‌های نسبی مربوط به معیارها می‌باشند، جهت تهیه نقشه آسیب‌پذیری دشت مورد مطالعه استفاده گردید. جهت کاهش خطای تصمیم‌گیری و انتخاب بهینه‌تر و صحیح‌تر وزن‌ها، از چندین نظر کارشناسی استفاده و در نتیجه چندین مدل برای محاسبه شاخص آسیب‌پذیری اجرا گردید. در نهایت بر اساس همبستگی بین غلظت نیترات آبخوان و شاخص آسیب‌پذیری نهایی، بهترین وزن‌دهی انتخاب گردید. به عبارت دیگر، در میان مدل‌های اجرا شده، هر چه همبستگی بین غلظت نیترات و شاخص آسیب‌پذیری نهایی بیشتر باشد، آن مدل به عنوان مدل بهینه منطقه گزینش می‌شود.

**آسیب‌پذیری ویژه به آلودگی نیترات**

پس از تهیه نقشه آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه، خطرپذیری آبخوان مورد مطالعه توسط محاسبه شاخص آسیب‌پذیری ویژه ارزیابی گردید. آسیب‌پذیری ویژه به آلودگی نیترات توسط شاخص دراستیک مرکب (شاخص CD)[1] محاسبه می‌گردد. این شاخص اقتباسی از شاخص دراستیک می‌باشد که با اضافه کردن یک پارامتر جدید به آن، پتانسیل خطرپذیری مربوط به کاربری اراضی (L) را تعیین می‌نماید. هدف این روش، ارزیابی وسعت تأثیر پتانسیل کاربری اراضی بر روی کیفیت آب زیرزمینی در نتیجه استفاده از بافت خاک و محیط ناحیه اشباع‌نشده در طول زمان می‌باشد. آسیب‌پذیری ویژه به آلودگی نیترات بر اساس این شاخص دارای بازه‌ای بین ۲۸ تا ۲۸۰ می‌باشد و به‌وسیله رابطه (۵) محاسبه می‌گردد. در این رابطه، $L_w$: وزن نسبی پتانسیل خطرپذیری مربوط به کاربری اراضی، $L_r$: رتبه پتانسیل خطرپذیری مربوط به کاربری اراضی و بقیه پارامترها مشابه پارامترهای به کار رفته در رابطه (۱) می‌باشد. نقشه پتانسیل خطرپذیری مربوط به کاربری اراضی با استفاده از متدولوژی مشابه به کار رفته برای سایر پارامترهای شاخص دراستیک تهیه می‌شود (مارتینز-باستیدا و همکاران[2]، ۲۰۱۰). بازه‌های آسیب‌پذیری شاخص CD با استفاده از جدول (۲) طبقه‌بندی می‌گردد.

$$\begin{aligned} \text{CD index} = {} & D_w D_r + R_w R_r + A_w A_r + S_w S_r \\ & + T_w T_r + I_w I_r + C_w C_r \end{aligned} \qquad (۵)$$

1-

2- Martinez-Bastida et al

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۳- نتایج آماری تحلیل حساسیت حذف تک نقشه**

| پارامترحذف شده | تغییرات شاخص آسیب‌پذیری | | | |
|---|---|---|---|---|
| | میانگین | بیشینه | کمینه | انحراف معیار |
| D | ۱/۵۴ | ۳/۶۳ | ۰ | ۰/۵۴ |
| R | ۰/۵۰ | ۱/۸۳ | ۰ | ۰/۴۳ |
| A | ۰/۵۷ | ۲/۱۱ | ۰ | ۰/۳۹ |
| S | ۰/۸۸ | ۱/۶۱ | ۰ | ۰/۴۶ |
| T | ۰/۹۰ | ۲/۲۲ | ۰/۳۲ | ۰/۲۷ |
| I | ۲/۳۸ | ۵/۰۹ | ۰/۵۱ | ۰/۷۸ |
| C | ۰/۴۸ | ۱/۵۸ | ۰ | ۰/۳۳ |

**جدول ٤- نتایج آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری**

| پارامتر | وزن تئوریک | وزن تئوریک (٪) | وزن مؤثر (٪) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | میانگین | کمینه | بیشینه | انحراف معیار |
| D | ۵ | ۲۱/۷۳ | ۱۰/۲۸ | ۳/۸۷ | ۳۶/۰۸ | ۹/۰۴ |
| R | ۴ | ۱۷/۳۹ | ۱۳/۴۹ | ۳/۲۷ | ۲۱/۰۵ | ۳/۹۵ |
| A | ۳ | ۱۳/۰۴ | ۱۶/۲۲ | ۸/۵۷ | ۲۶/۹۶ | ۳/۶۸ |
| S | ۲ | ۸/۶۹ | ۸/۹۵ | ۴/۵۸ | ۱۶/۸۶ | ۲/۷۹ |
| T | ۱ | ۴/۳۴ | ۸/۸۳ | ۰/۹۱ | ۱۲/۳۲ | ۱/۶۶ |
| I | ۵ | ۲۱/۷۳ | ۲۸/۵۹ | ۱۷/۳۶ | ۴۴/۸۷ | ۴/۶۸ |
| C | ۳ | ۱۳/۰۴ | ۱۳/۳۵ | ۴/۸ | ۲۳/۰۷ | ۳/۴۴ |

## نتایج و بحث

### آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت اندیمشک

با تلفیق نقشه‌های معیار تهیه شده بر اساس رابطه (۱)، نقشه نهایی آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه، بر اساس نرخ‌بندی مدل دراستیک نرمال تهیه گردید. نتایج نشان داد که شاخص نهایی دراستیک استاندارد برای دشت اندیمشک، بین ۷۳ تا ۱۵۷ قرار می‌گیرد. همان طور که در بخش‌های پیشین ذکر شد، به منظور ارزیابی صحت وزن‌های اختصاص داده شده به پارامترهای مدل دراستیک، بر اساس شرایط واقعی منطقه، اقدام به تحلیل حساسیت مدل گردید. نتایج آماری تحلیل حساسیت به روش حذف نقشه در جدول (۳) نشان داده شده است. همان گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، بیشترین تغییر در شاخص آسیب‌پذیری در حذف پارامتر تأثیر ناحیه غیراشباع (با میانگین تغییرات شاخص آسیب‌پذیری ۲/۳۸ درصد) اتفاق می‌افتد. این موضوع به دلیل وسعت زیاد محدوده با رتبه بالا (درشت دانه بودن اکثر رسوبات واقع در ناحیه غیراشباع) می‌باشد. حساسیت شاخص آسیب‌پذیری به حذف پارامتر عمق تا سطح ایستابی در رتبه دوم قرار دارد. همچنین میزان حساسیت شاخص آسیب‌پذیری به پارامتر توپوگرافی، پس از پارامتر عمق تا سطح ایستابی در رتبه سوم قرار دارد. شاخص آسیب‌پذیری حساسیت کمتری به پارامترهای محیط خاک، محیط آبخوان، تغذیه خالص و هدایت هیدرولیکی نشان می‌دهد. در این میان، حذف پارامتر هدایت هیدرولیکی (با میانگین تغییرات شاخص آسیب‌پذیری ۰/۴۸ درصد) کمترین حساسیت را دارا می‌باشد. همچنین، نتایج حاصل از تحلیل حساسیت تک پارامتری مدل در جدول (۴) ارائه گردیده است. همان‌گونه که این جدول نشان می‌دهد، مؤثرترین پارامتر در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت مورد مطالعه، پارامتر ناحیه غیراشباع (با میانگین وزن مؤثر ۲۸/۵۹ درصد) می‌باشد که نتایج حاصل از تحلیل حساسیت حذف نقشه را تأیید می‌کند. مقایسه وزن مؤثر هر پارامتر با وزن تئوریک آن در آبخوان مورد مطالعه نشان می‌دهد که وزن های مؤثر و تئوریک پارامترهای مدل کاملاً منطبق بر یکدیگر نمی‌باشند. همچنین نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که پس از پارامتر ناحیه غیراشباع، پارامترهای محیط آبخوان، هدایت هیدرولیکی، محیط خاک و توپوگرافی دارای وزن مؤثر بیشتری نسبت به وزن تئوریک آن‌ها در مدل دراستیک دارد. ولی پارامترهای تغذیه خالص و عمق تا سطح ایستابی وزن مؤثر کمتری نسبت به وزن تئوریک نشان می‌دهند. به دلیل عدم تطابق وزن‌های اختصاص یافته به پارامترها در مدل دراستیک نرمال با نتایج تحلیل حساسیت مدل، اقدام به تصحیح وزن پارامترهای مدل بر اساس شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه با کاربرد روش وزن‌دهی AHP بر اساس نظرات کارشناسی گردید. به منظور تعیین رابطه آماری میان غلظت نیترات آب زیرزمینی و نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان، تحلیل رگرسیون خطی ساده[1] انجام شد. در این تحلیل، مقادیر نیترات چاه‌های نمونه‌برداری شده به عنوان متغیر وابسته و مقادیر آسیب‌پذیری متناظر هر یک از این

1- Simple Linear Regression Analysis (SLRA)

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۵- حدهای بحرانی R در سطح معنی‌دار نیم درصد و یک درصد (اهدایی، ۱۳۶۸)**

| تعداد نمونه‌ها | سطح معنی دار | |
|---|---|---|
| | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ |
| ۲۶ | ۰/۳۷۴ | ۰/۴۷۸ |
| ۲۷ | ۰/۳۶۷ | ۰/۴۷۰ |
| ۲۸ | ۰/۳۶۱ | ۰/۴۶۳ |
| ۲۹ | ۰/۳۵۵ | ۰/۴۵۶ |
| ۳۰ | ۰/۳۴۹ | ۰/۴۴۹ |
| ۳۵ | ۰/۳۲۵ | ۰/۴۱۸ |

**جدول ٦- شاخص مدل دراستیک اصلاح شده برای منطقه مورد مطالعه**

| شاخص DRASTIC | محدوده DRASTIC | مساحت (کیلومتر مربع) | درصد مساحت |
|---|---|---|---|
| آسیب‌پذیری ذاتی خیلی کم | < ۱۰۰ | ۲۴۶/۳۳ | ۸۴/۰۳ |
| آسیب‌پذیری ذاتی کم | ۱۰۰-۱۲۵ | ۴۶/۸۱ | ۱۵/۹۶ |
| | جمع کل | ۲۹۳/۱۴ | ۱۰۰ |

چاه‌ها به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده است. از میان مدل‌های اجرا شده، بهترین ضریب همبستگی برابر ۰/۷۵۲ به دست آمد (شکل ۲). با توجه به در نظر گرفتن تعداد ۳۳ حلقه چاه در تحلیل رگرسیون خطی ساده انجام شده، مقدار ضریب همبستگی بهینه به دست آمده، طبق جدول (۵)، در سطح اعتماد قابل قبولی قرار دارد، جهت ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت اندیمشک و اخذ تصمیمات مدیریتی، می‌توان به نتایج حاصل از این مدل اطمینان نمود. البته به دلیل این که مدل دراستیک نرمال در سطح اعتماد قابل اطمینانی قرار دارد، ضریب همبستگی مدل بهینه شده نسبت به دراستیک نرمال، افزایش چشمگیری نداشته است. بر این اساس، شاخص آسیب‌پذیری مدل دراستیک اصلاح شده برای دشت اندیمشک، بین ۵۹ تا ۱۲۳ به دست آمد. برای درک بهتر و نشان دادن وضعیت آسیب‌پذیری منطقه، شاخص نهایی به دست آمده به دو کلاس مختلف طبقه‌بندی گردید. حدود ۸۴ درصد از کل مساحت منطقه مورد مطالعه (۲۴۶/۳۳ کیلومتر مربع) دارای آسیب‌پذیری خیلی کم و حدود ۱۶ درصد از منطقه (۴۶/۸۱ کیلومتر مربع) در محدوده آسیب‌پذیری کم قرار دارد (جدول ۶). در شکل (۵) نقشه آسیب-پذیری ویژه نهایی آبخوان دشت مورد مطالعه ارائه گردیده است.

**ارزیابی آسیب‌پذیری ویژه آبخوان مورد مطالعه**

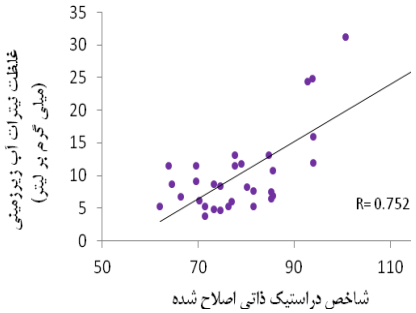
به منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری ویژه آبخوان دشت مورد مطالعه، ابتدا به علت اهمیت پارامتر کاربری اراضی در انتقال آلودگی به آبخوان، این پارامتر با وزن ۵ به پارامترهای مدل دراستیک نرمال طبق رابطه (۵) افزوده شد. به منظور صحت وزن داده شده به این پارامتر طبق شرایط واقعی منطقه، با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی ساده میزان همبستگی میان شاخص آسیب‌پذیری ویژه محاسبه شده و غلظت نیترات آبخوان تعیین گردید (۰/۶۵۱). به منظور تعیین وزن بهینه این پارامتر بر اساس شرایط واقعی منطقه، نیز از روش وزن‌دهیAHP استفاده گردید. به گونه‌ای که وزن بهینه این پارامتر همانند عملیات تصحیح اوزان پارامترهای مدل دراستیک، بر اساس چندین نظر کارشناسی، بین هفت پارامتر مدل دراستیک و پارامتر کاربری اراضی، مقایسه زوجی انجام شد. بر این اساس پس اجرای مدل‌های مختلف و تعیین ضرایب همبستگی آن‌ها با غلظت نیترات، بهترین مدل آسیب‌پذیری ویژه آبخوان دشت مورد مطالعه بر اساس بیشترین میزان ضریب همبستگی با غلظت نیترات تعیین گردید. به گونه‌ای که میزان همبستگی مدل اصلاح شده آسیب‌پذیری ویژه به ۰/۷۴۹ رسید (شکل ۳). در این مدل نیز، با توجه به تعداد ۳۳ حلقه چاه در نظر گرفته شده در تحلیل رگرسیون خطی ساده انجام شده، مقدار ضریب همبستگی بهینه به دست آمده، طبق جدول (۵)، در سطح اعتماد قابل قبولی قرار دارد، به همین دلیل، می‌توان به نتایج حاصل از این مدل اصلاح شده جهت ارزیابی صحیح‌تر خطرپذیری آبخوان دشت اندیمشک اطمینان نمود. بر این اساس، شاخص آسیب‌پذیری ویژه به آلودگی که با تلفیق پارامترهای مدل دراستیک و کاربری اراضی (شاخص CD اصلاح شده) محاسبه شده است بین ۶۵/۸۳ تا ۱۳۵/۸۵ قرار گرفت. بر این اساس خطرپذیری آبخوان دشت مورد مطالعه به دو طبقه خیلی کم و کم تقسیم‌بندی شده است. حدود ۶۵ درصد از کل مساحت منطقه مورد مطالعه (۱۹۰/۷۰ کیلومتر مربع) دارای آسیب‌پذیری ویژه خیلی کم و حدود ۳۵ درصد از منطقه (۱۰۲/۴۴ کیلومتر مربع) در محدوده آسیب‌پذیری ویژه کم قرار دارد (جدول ۷). در شکل (۵)

www.SID.ir

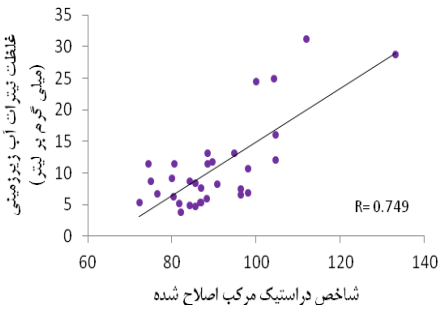
Archive of SID



نقشه آسیب‌پذیری ویژه نهایی آبخوان دشت مورد مطالعه نشان داده شده است. در جدول ۸، وزن بهینه پارامترهای مدل دراستیک و دراستیک مرکب ارائه شده است.




**شکل ۲- نمودار همبستگی شاخص دراستیک ذاتی اصلاح شده با غلظت نیترات**




**شکل ۳- نمودار همبستگی شاخص CD اصلاح شده با غلظت نیترات**

**جدول ۷- شاخص مدل دراستیک مرکب اصلاح شده برای منطقه مورد مطالعه**

| شاخص CD | محدوده CD | مساحت (کیلومتر مربع) | درصد مساحت |
|---|---|---|---|
| آسیب‌پذیری ویژه خیلی کم | < ۱۰۰ | ۱۹۰/۷۰ | ۶۵/۰۵ |
| آسیب‌پذیری ویژه کم | ۱۰۰-۱۴۵ | ۱۰۲/۴۴ | ۳۴/۹۵ |
| | جمع کل | ۲۹۳/۱۴ | ۱۰۰ |

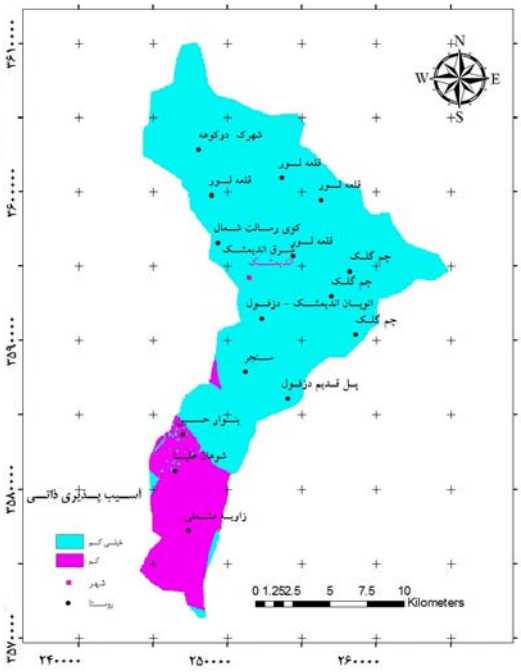
**جدول ۸- وزن بهینه پارامترهای مدل دراستیک و دراستیک مرکب**

| پارامتر | وزن اولیه | وزن بهینه | |
|---|---|---|---|
| | | دراستیک | دراستیک مرکب |
| عمق تاسطح ایستابی | ۵ | ۳/۸۵ | ۳/۹۳ |
| تغذیه خالص | ۴ | ۲/۰۳ | ۲/۲۸ |
| محیط آبخوان | ۳ | ۱/۲۲ | ۱/۳۵ |
| محیط خاک | ۲ | ۲/۵۵ | ۲/۸۴ |
| توپوگرافی | ۱ | ۱ | ۱ |
| تأثیر ناحیه غیراشباع | ۵ | ۵ | ۵ |
| هدایت هیدرولیکی | ۳ | ۱/۵۹ | ۱/۷۲ |
| کاربری اراضی | ۵ | - | ۱/۱ |
| نرخ ناسازگاری | | ۰/۰۳۵ | ۰/۰۵۲ |

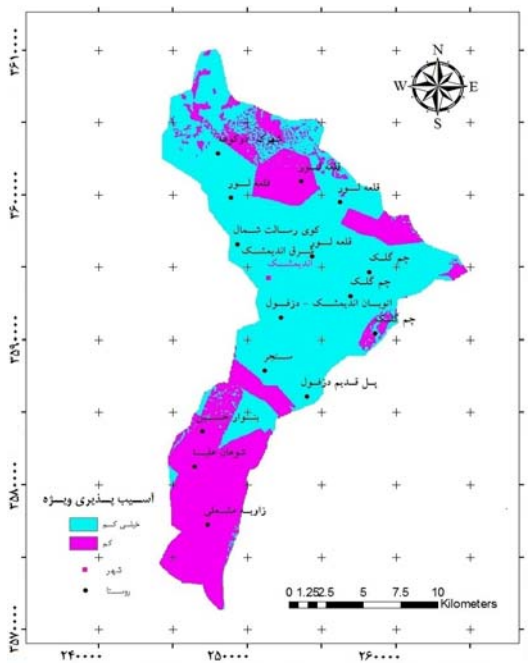
www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ٤- نقشه آسیب‌پذیری ذاتی نهایی آبخوان اندیمشک**




**شکل ۵- نقشه آسیب‌پذیری ویژه نهایی آبخوان اندیمشک**

## نتیجه‌گیری

– با توجه به افزایش میزان ضریب همبستگی شاخص‌های دراستیک و CD اصلاح شده با غلظت نیترات، نسبت به مدل‌های دراستیک و CD نرمال، این نتیجه حاصل می‌شود که نتایج حاصل از مدل‌های واسنجی شده مطابقت بیشتری با شرایط واقعی حاکم بر منطقه دارند.

– همان گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، نواحی شمالی دشت از میزان آسیب‌پذیری کمتری نسبت به نواحی جنوبی برخوردارند. به عبارت دیگر از سمت شمال به جنوب دشت بر میزان آسیب‌پذیری دشت افزوده شده است. به طوری که نواحی اطراف شهر اندیمشک، شهرک دوکوهه، قلعه لور، چم گلک و سنجر آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان، خیلی کم و نواحی اطراف روستاهای بنوار حسین، شوهان علیا و زاویه مشعلی آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان، کم می‌باشد.

– به طور کلی، با توجه به نقشه آسیب‌پذیری ویژه به دست آمده توسط شاخص CD اصلاح شده (شکل ۵)، خطرپذیری آلودگی آبخوان دشت اندیمشک در سطح بالایی نمی‌باشد. محدوده غلظت نیترات موجود در آبخوان دشت (۳۱/۱۹-۳/۸۲ میلی‌گرم در لیتر) اندازه‌گیری شده است که با توجه به حداکثر غلظت مجاز تعیین شده توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای مصارف آشامیدنی (۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، غلظت نیترات موجود در آبخوان مورد مطالعه پائین‌تر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان‌های مذکور می‌باشد. علاوه بر نتایج حاصل از همبستگی میان غلظت نیترات و شاخص CD اصلاح شده، مطابقت قابل قبولی میان غلظت نیترات اندازه‌گیری شده و کلاس‌های خطرپذیری وجود دارد.

– البته با این که خطرپذیری آبخوان مورد مطالعه نسبت به آلودگی، 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، این امر تنها با مشارکت مردم، کارشناسان، مسئولین و مدیران مربوطه محقق خواهد شد.

## منابع

۱- اهدایی، ب. ۱۳۶۸. آمار تجربی عمومی. مرکز انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، چاپ دوم، ۴۶۷ صفحه.

www.SID.ir

Archive of SID



۲- بی‌نام. ۱۳۹۰. مطالعات هیدروژئولوژی نیمه تفصیلی دشت دزفول- اندیمشک. شرکت مهندسین مشاور بهکارآب اهواز، سازمان آب و برق خوزستان.

۳- خدایی، ک.، شهسواری، ع. ا. و ب. اعتباری. ۱۳۸۵. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوین به روش‌های DRASTIC و GODS. زمین شناسی ایران. سال ۲(۴): ۸۷-۷۳.

۴- عطائی، م. ۱۳۸۹. تصمیم‌گیری چند معیاره. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۳۳۳ صفحه.

۵- کرمی شاهملکی، ن.، بهبهانی، س. م. ر.، مساح بوانی، ع. و ک. خدایی. ۱۳۸۹. بهینه‌سازی مدل DRASTIC با استفاده از روش‌های آمار ناپارامتری. فصلنامه زمین شناسی ایران، ۱۴: ۸۲-۷۳.

۶- متکان، ع. الف.، ناصری، ح. ر. و ز. استادهاشمی. ۱۳۸۷. تصحیح روش دراستیک مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از روش‌های آماری و تحلیل سلسله مراتبی، مطالعه موردی دشت همدان. فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، ۴(۳): ۲۲۲-۲۰۵.

6- Abdullahi, U. S. 2009. Evaluation of models for assessing groundwater vulnerability to pollution in Nigeria. Bayero Journal of Pure and Applied Sciences, 2(2): 138-142.

7- Babiker, I. S., Mohamed, M. A. A., Hiyama, T. and K. Kikuo. 2005. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. Science of the Total Environment, 345(1-3): 127-140.

8- Bai, L. Wang, Y. and F. Meng. 2011. Application of DRASTIC and extension theory in the groundwater vulnerability evaluation. Water and Environment Journal, 26(3): 381-391.

9- Bonham-carter, G. F. 1994. Geographic information system for geoscientists: Modeling with GIS. Pergamon, Ontario, 319-470.

10- Gemitzi, A., Petalas, C., Tsihrintzis, V. and V. Pisinaras 2006. Assessment of groundwater vulnerability to pollution: A combination of GIS, fuzzy logic and decision making techniques. Environmental Geology, 49(5): 653-673.

11- Guo, Q., Wang, Y., Gao, X. and T. Ma. 2007. A new model (DRARCH) for assessing groundwater vulnerability to arsenic contaminaion at basin scale: A case study in Taiyuan basin. Journal of Envitonmental Geology, 52(5): 923-932.

12- Hasiniaina, F., Zhou, J. and L. Guoyi. 2010. Regional assessment of groundwater vulnerability in Tamtsag basin, Mongolia using drastic model. Journal of American Science, 6(11): 65-78.

13- Khodapanah, L., Sulaiman, W. N. A. and N. Khodapanah. 2009. Groundwater quality assessment for different purpose in Eshtehard District, Tehran, Iran. European Hournal of Scientific Research, 36(4): 543-553.

14- Lodwick, WA., W. N. A. Munson. and L. Svoboda. 1990. Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical information systems: suitability analysis. International Journal of Geographic Information Systems, 4(4): 413-428.

15- Martinez-Bastida, J. J. Arauzo, M. and M. Valladolid. 2010. Intrinsic and specific vulnerability of groundwater in central Spain: The risk of nitrate pollution. Hydrogeology Journal, 18(3): 681-698.

16- Napolitano, P. 1995. GIS for aquifer vulnerability assessment in the Piana Campana, Southern Italy, using the DRASTIC and SINTACS method. Thesis of Master of Sciences in Geology Survey, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.

www.SID.ir

Archive of SID



17- Napolitano, P. and A. G, Fabbri. 1996. Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS. IAHS Public, 235: 559-566.

18- Piscopo, G. 2001. Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW. Departmant of Land and Water Conservation, Australia. http://www.dlwc.nsw.gov.au./care/water/groundwater/reports/pdfs/castlereagh_map_notes.pdfs.

19- Saaty, T. L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill Inc, 17-34.

20- Samey, A. A. and C. Gang. 2008. A GIS Based DRASTIC Model for the Assessment of Groundwater vulnerability to pollution in West Mitidja: Blida city, Algeria. Research Journal of Applied Sciences, 3(7): 500-507.

21- Sener, E. and A. Davraz. 2012. Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method: The case of Egirdir Lake basin (Isparta, Turkey). Hydrogeology Journal. DOI 10.1007/s10040-021-0947-y.

22- Thirumalaivasan, D., Karmegam, M. and K. Venugopal. 2003. AHP-DRASTIC: Software for specific aquifer vulnerability assessment using DRASTIC model and GIS. Environmental Modeling and Software, 18: 645-656.

www.SID.ir