بررسی روش های ارزیابی آسیب پذیری آبخوان نسبت به نیترات

سهیلا قربان پور دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه فردوسی مشهد
علی اصغر بهشتی استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد
*تلفن نویسنده:۰۹۱۵۰۰۷۶۰۹۴
پست الکترونیکي:s_ghorbanpoor88@yahoo.com

چکیده
منابع آب زیرزمینی نقش مهمی در تامین منابع آب مورد نیاز ایران دارد. بررسي و مطالعه گزارش هاي موجود در مورد وضعيت غلظت يون نيترات در بعضي از شهرهاي ايران نشان مي دهد كه غلظت نيترات در بيشتر موارد چند برابر حداكثر غلظت استاندارد آب آشاميدني می باشد. از طرفي با توجه به بحران كم آبي و محدوديت منابع آب كشور ضرورت تهيه نقشه های پهنه بندی آلودگی در خصوص حفظ كيفيت منابع آب خصوصا در مورد آلودگي منابع آب زيرزميني به نيترات به شدت مورد نياز است. به همين منظور در اين مقاله روش های ارزیابی آسیب پذیری آبخوان را مورد ارزیابی قرار خواهندگرفت تا روشی مناسب جهت ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت مشهد نسبت به آلودگی نیترات انتخاب شود. نتایج بررسی نشان می دهد که روش دراستیک اصلاح شده با استفاده از منطق فازی جهت تعیین آسیب پذیری آبخوان مشهد می تواند بسیار موثر واقع شود.
کلید واژه‌ها : ***آسیب پذیری ، نیترات ،دراستیک*** .

۱-مقدمه

آب های زیرزمینی به عنوان منبع مهم تامین آب شناخته می شوند زیرا در مقایسه با آب های سطحی حساسیت کمتری نسبت به آلودگی دارند و یک منبع بزرگ ذخیره محسوب می شوند[1].در سالهاي اخير در بسياري از مناطق شهري به دليل استفاده روز افزون مواد شيميايي محلول و همچنين نشت فاضلاب هاي خانگي و صنعتي در سفره هاي آب زيرزميني كيفيت آب زيرزميني به شدت كاهش يافته است . يون نيترات از جمله مهمترين آلاينده هاي منابع آب زيرزميني مي باشد و با توجه به حلاليت بالاي آن، زدودن آن از آب آشاميدني بسيار پر هزينه است . نيترات علاوه بر چرخه طبيعي ازت در اثر ورود فاضلاب انساني ، مواد زايد شهري و صنعتي و همچنين فعاليتهاي كشاورزي وارد منابع آب و خاك شده و اثرات نا مطلوبي بر سلامت مصرف كنندگان بر جا مي گذارد.

بر اساس تحقیقات Tesoriero **[**1997**]** نیترات مهم ترین آلاینده ی غیر آلی، جهت نشان دادن آلودگی آب های زیرزمینی توسط فعالیت های بشری است همچنین نیترات به دلیل انحلال پذیری بالا، جذب کم و پایداری ترکیب نسبت به سایر آلاینده های شیمیایی آلی و غیر آلی و ویروس هاوباکتری هااز قابلیت انتقال بالاتری برخوردار است[2].

در بسیاری از شهر های کشورمان بخصوص در نواحی قدیمی شهر که از تراکم جمعیتی زیادی برخوردار است میزان تخلیه فاضلاب نیز در زمین زیاداست و استمرار دفع فاضلاب سبب می شود تا خاصیت نیترات زدایی زمین کاهش یابد و در نتیجه بخشی از نیترات فاضلاب به آبخوان برسد**[3] .**

مفهوم آسیب پذیری اولین بار در فرانسه در پایان سال ۱۹۶۰ جهت ایجاد آگاهی از آلودگی های آب زیرزمینی معرفی شد. آسیب پذیری یک مفهوم نسبی دارد و به این مفهوم است که بعضی از نواحی نسبت به نواحی دیگر آلوده تر است. به طور کلی آسیب پذیری آب زیرزمینی، احتمال رسیدن آلاینده ها از سطح زمین به آب زیرزمینی و انتشار آلاینده در آبخوان تعریف می شود[4]. همچنین آسیب پذیری نوعی خصوصیت نسبی بدون بعد و غیرقابل اندازه گیری است وبه ویژگی های آبخوان، محیط زمین شناسی و هیدروژئولوژی بستگی دارد[5]. بطورکلی آسیب پذیری آب زیرزمینی یک مفهوم کیفی است، که قابل اندازه گیری نمی باشد بلکه با استفاده از اطلاعات دیگر که قابل اندازه گیری هستند، بدست می آید.

بطور کلی روش های ارزیابی آسیب پذیری در سه گروه کلی قرار می گیرند:[6]

۱. روش های شبیه سازی
۲. روش های آماری
۳. روش های شاخص و هم پوشانی

از بین روش های ذکر شده روش های شاخص و همپوشانی مناسب ترین روش ها برای ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی هستند، زیرا به نسبت ارزان بوده، به طورمستقیم به هدف می رسند، داده های مورد استفاده آن در دسترس یا قابل تخمین می باشند، و نتایج نهایی آن به آسانی قابل توصیف بوده و برای تصمیم گیری های مدیریتی مناسب هستند[7].

ارزيابي آسيب پذيري آب هاي زيرزميني يا توصيف مناطق آلوده آسان نمي باشد زيرا به پارامترهاي پيچيده زيادي بستگي دارد. در همه روش هاي ارزيابي آسيب پذيري ،عدم قطعيت واطمينان امري ذاتي است. اين عدم قطعيت ناشي از خطاي اطلاعاتي ومتغير بودن پارامترهاي هيدرولوژيك نسبت به زمان ومكان مي باشد[8].

انتخاب روش ارزیابی بستگی به شرایط منطقه دارد و ممکن است بعضی از روش ها در مناطقی مناسب تر باشند. در ایران به طور گسترده از روش دراستیک استفاده شده است و در مقایسه با روش های دیگر نتایج قابل قبول تری را ارائه کرده است. بنابراين تهيه مدلي قابل انعطاف كه توانايي پاسخگويي تحت شرايط عدم قطعيت با كمترين اطلاعات ورودي را دارد، ابزار مديريتي مناسبي جهت ارزيابي آسيب پذيري آب هاي زيرزميني مي باشد.ازآن جا كه در ارزيابي آسيب پذيري آب هاي زيرزميني دسته بندي اطلاعات وتعيين مرز بين اين دسته ها از اهميت ويژه اي برخوردار است ، بنابراين منطق فازي آسيب پذيري را بهتر از روش هاي معمول ارزيابي مي كند [9]. به دلیل اینکه داده های ورودی مدل دراستیک دارای عدم قطعیت هستند، فازی سازی داده های آن موجب تهیه نقشه آسیب پذیری با دقت بالاتری می شود. در این مقاله ابتدا روش های کلی ارزیابی آسیب پذیری به طور خلاصه مرور شده و سپس روش دراستیک اصلاح شده با استفاده از منطق فازی به طور کامل مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲- روش های ارزیابی آسیب پذیری

از روش های شاخص و هم پوشانی می توان به روش های GOD [10], DRASTIC[11], AVI [12], SINTACS [13] و IRISH[14] اشاره کرد.از روش های شاخص و هم پوشانی روش DRASTIC با استقبال بیشتری روبرو شده است و به طور گسترده در بسیاری از کشورها استفاده می شود. به دلیل اینکه داده های مورد نیاز روش دراستیک نسبتا کم و جمع آوری آنها آسان است، کم هزینه است و در مناطق گسترده نیز اجرا می شود [11] و براحتی می توان آن را از سازمان های دولتی تهیه کرد. همچنین مدل دراستیک در محیط GIS کاربرد داردوزمینه را برای محاسبه آسیب پذیری فراهم می کند. به علاوه انتخاب تعداد زیاد پارامترها و روابطی که بین آنها برقرار است، احتمال نادیده گرفتن پارامترهای مهم را کاهش می دهد و تاثیر خطا ی جزئی در محاسبه پارامترها را نادیده می گیرد و از نظر آماری صحت مدل را افزایش می دهد[15].روش دراستیک با وجود پیچیدگی ساختار زمین شناسی و نبود اندازه گیری های دقیق پارامترها نتایج نسبتا درستی را برای نواحی گسترده ارائه می دهد [16]. از مزیت های دیگر روش دراستیک این است که قابلیت در نظر گرفتن فاکتور های دیگر از قبیل کاربری زمین و پوشش را دارد [17] .

۲.۱ارزیابی آسیب پذیری به روش DRASTIC:

از روش های شاخص و هم پوشانی می توان به روش دراستیک اشاره
کرد که در سال ۱۹۸۷ توسط آلر و همکارانش جهت ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی در آمریکا ارائه شد. از ۷ پارامتر تشکیل شده است که نام مدل از حروف اول پارامترهای مدل حاصل شده است. این پارامترها عبارتند از عمق آب زیرزمینی (D) تغذیه خالص (R) محیط آبخوان (A) محیط خاک (S) توپوگرافی (T) تاثیر محیط غیر اشباع (I) هدایت هیدرولیکی(C). با رتبه دهی و وزن دهی به پارامترها، شاخص آسیب پذیری دراستیک حاصل می شود، که نواحی با پتانسیل آلودگی را نشان می دهد. رتبه مربوط به هر پارامتر بین ۱تا ۱۰ متغیراست و وزن هر پارامتر با توجه به اهمیت آن بین ۱تا ۵ متغیر می باشد. به مهم ترین پارامتر وزن ۵ وبه کم اهمیت ترین آنها وزن ۱ داده می شود[11]. امروزه روش دراستیک یک سیستم استاندارد شده برای ارزیابی آلودگی آب های زیرزمینی است، همچنین روش دراستیک در بسیاری از مطالعات، در ایالات متحده و سراسر جهان پذیرفته شده است[5].

۲.۱.۱ پارامترهای روش دراستیک:

عمق آب زیرزمینی: فاصله بین سطح ایستابی تا سطح زمین می باشد،به عبارت دیگر تعیین کننده عمقی است که آلوده کننده باید طی کند تا به سطح ایستابی برسد واهمیت قابل توجهی دارد. حضورلایه های با تراوایی کم که آبخوان را محصور می سازند نیز موجب ایجاد محدودیت در حرکت آلوده کننده به یک آبخوان می شود. با افزایش عمق سطح ایستابی در اثر کنش های طبیعی مانند تجزیه شیمیایی، جذب سطحی و پخش امکان پالایش مواد آلاینده افزایش می یابد.

تغذیه خالص آبخوان: تغذیه عاملی برای نفوذ و انتقال آلاینده ها به منطقه اشباع از طریق ناحیه غیر اشباع است. بصورت عمودی نفوذ می کند وبصورت افقی در آبخوان حرکت می کند. با افزایش میزان تغذیه در یک منطقه، پتانسیل آلودگی آب های زیرزمینی در آن منطقه افزایش می یابد. در مدل دراستيك عمده ترین منبع تغذیه، ریزش هاي جوي مي باشد. در شهر مشهد میزان فاضلاب ورودی از چاه های جذبی و میزان باران جمع شده در بام منازل به عنوان تغذیه در نظرگرفته می شود.

مواد تشکیل دهنده آبخوان: این عامل به خصوصیات مواد تشکیل دهنده منطقه اشباع مانند میزان تخلخل ، جنس و اندازه ذرات وجورشدگی ذرات اشاره دارد که میزان پویایی و تحرک آلودگی و به عبارتی فرآیند های رقیق سازی آلودگی مانند تجزیه شیمیایی ، جذب ، پخش وتاخیر را کنترل می کند.

نوع خاک : به بخش هوازده بالایی منطقه غیر اشباع گفته می شود که تا حد نفوذ ریشه گیاهان ادامه دارد.این بخش از نظر فعالیت بیولوژیکی و وجود مواد آلی اهمیت بسیاری دارد و میزان آب نفوذی ونیز نفوذ آلاینده ها به داخل آبخوان کنترل می کند.به طور کلی هر قدر اندازه ذرات تشکیل دهنده خاک ریزتر ونفوذپذیری خاک کم تر ودرصد مواد آلی و ضخامت خاک بیشتر باشد، پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی کاهش می یابد.

توپوگرافی: توپوگرافی به صورت شیب وتغییرات شیب سطح زمین مورد توجه قرار می گیرد. توپوگرافی حرکت آلوده کننده ونگهداری آن را بر سطح زمین در کنترل دارد. شیب های کم بویژه در زمین های کشاورزی باعث کاهش رواناب وافزایش نفوذ به آبخوان ودر نتیجه انتقال بیشتر آلودگی به آب زیرزمینی می شود. بنابراین هر چه شیب سطح زمین کم تر باشد زمان تماس آب های سطحی و آلاینده ها با سطح زمین بیشتر است ودر نتیجه امکان نفوذ آلاینده ها به داخل آبخوان بیشتر می شود.

اثر منطقه غیراشباع: منطقه بالایی سطح ایستابی است که از آب غیراشباع باشد و یا بصورت غیر پیوسته از آب اشباع شده باشد. منطقه غیر اشباع با نگهداشت، جذب و حذف ویروس های بیماری زا و باکتری ها، جذب وکاهش بسیاری از مواد شیمیایی وآلی ومصنوعی، رقیق کردن غلظت فلزات سنگین ومواد شیمیایی غیرآلی دیگر از طریق جذب و واکنش با سطح کانی ها، در جلوگیری از آلودگی آب های زیرزمینی نقش مهمی ایفا می کند. تاثیر منطقه غیر اشباع در آلودگی آبخوان، مشابه محیط خاک بوده و به نفوذپذیری مواد تشکیل دهنده و خصوصیات محیط غیر اشباع بستگی دارد.

هدایت هیدرولیکی: هدایت هیدرولیکی قابلیت مواد تشکیل دهنده آبخوان برای انتقال آب می باشد. هدایت هیدرولیکی حرکت آلاینده و پخش آن را از نقطه نفوذتارسیدن به منطقه اشباع کنترل می نماید. بنابراین هر چه هدایت هیدرولیکی بیشتر باشد،امکان جریان یافتن آلاینده در آبخوان بیشتر می شود. جداول زیر محدوده رتبه بندی و وزن دهی به هر پارامتر را نشان می دهد.

جدول(۱)محدوده ها ورتبه بندی های پارامتر های روش دراستیک (Aller et al , 1987)

محدوده هاو رتبه بندی های محیط آبخوان

محدوده	رتبه بندی
شیل توده	۲
آذرین/دگرگونی	۳
آذرین/دگرگونی هوازده	۴
یخرفت ها	۵
ماسه سنگ لایه لایه،سنگ آهک و توالی شیل ها	۶
ماسه سنگ توده ای	۶
سنگ آهک توده ای	۸
شن وماسه	۸
بازالت	۹
سنگ های کارستی	۱۰
وزن : ۳	

هدایت هیدرولیکی آبخوان

محدوده	رتبه بندی
۰.۰۴-۴.۱	۱
۴.۱-۱۲.۳	۲
۱۲.۳-۲۸.۷	۴
۲۸.۷-۴۱	۶
۲۱-۸۲	۸
>۸۲	۱۰
وزن : ۳	

توپوگرافی(درصد شیب)

محدوده	رتبه بندی
۰-۲	۱۰
۲-۶	۹
۶-۱۲	۵
۱۲-۱۸	۳
>۱۸	۱
وزن : ۱	

عمق آب زیرزمینی(D)

محدوده	رتبه بندی
۰-۱.۵	۱۰
۱.۵-۴.۶	۹
۴.۶-۹.۱	۷
۹.۱-۱۵.۲	۵
۱۵.۲-۲۲.۸	۳
۲۲.۸-۳۰.۴	۲
>۳۰.۴	۱
وزن : ۵	

تغذیه خالص (میلی متر)

محدوده	رتبه بندی
۰-۵۰.۸	۱
۵۰.۸-۱۰۱.۶	۳
۱۰۱.۶-۱۷۷.۸	۶
۱۷۷.۸-۲۵۴	۸
>۲۵۴	۹
وزن : ۴	

محیط خاک

محدوده	رتبه بندی
نازک یا نبود لایه خاک	۱۰
شن	۱۰
ماسه	۹
کودگیاهی	۸
رس فشرده/یا متراکم	۷
لوم ماسه ای	۶
لوم	۵
لوم سیلتی	۴
لوم رس دار	۳
کود	۲
رس غیرمتراکم	۱
وزن : ۲	

محیط غیراشباع

محدوده	رتبه بندی
لایه محبوس کننده	۱
سیلت/رس	۳
شیل	۳
ماسه سنگ،سنگ آهک وشیل های لایه لایه	۶
شن وماسه با مقدارزیادی رس وسیلت	۶
آذرین /دگرگونی	۴
شن وماسه	۸
بازالت	۹
سنگ آهک کارستی	۱۰
وزن : ۵	

۲.۱.۲ تهیه نقشه شاخص آسیب پذیری:

نقشه آسیب پذیری از قرار گرفتن ۷ لایه مربوط به پارامتر های دراستیک تشکیل می شود که محیط نرم افزار gis این امکان را فراهم می کند تا برای به دست آوردن شاخص نهایی دراستیک لایه های هفت گانه را تهیه نماییم. لایه ها را مطابق رابطه ۱ در محیط نرم افزار (GIS) با هم جمع می شوند. در تلفیق لایه ها در واقع ارزش عددی مربوط به هر سلول در یک لایه ی رستری با ارزش عددی سلول متناظر آن در لایه های رستری دیگر با هم جمع می شود و در نهایت به صورت نقشه ای رستری، که همه سلول های آن دارای ارزش هستند و پتانسیل آلودگی را در نواحی مختلف نقشه به
صورت طیف رنگی نشان می دهند، نمایان می شوند. سپس از طریق رابطه ۱ این لایه ها روی هم قرار می گیرند نهایتا هر سلول روی نقشه آسیب پذیری دارای ارزشی می باشد، که با توجه به میزان آن کلاس آسیب پذیری تعیین می شود.

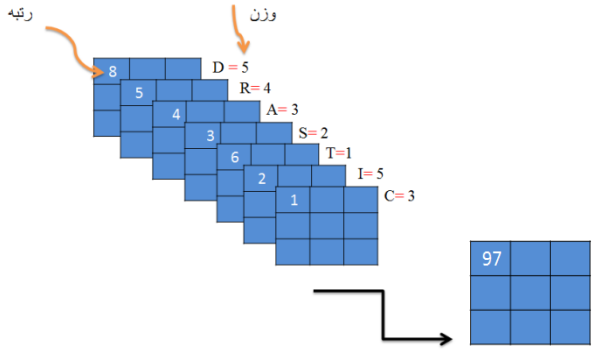
$$\text{DRASTIC Index} = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + Ir\,Iw + CrCw \qquad (1)$$

پارامترهایی که دارای اندیس r هستند نشان دهنده ی رتبه بندی پارامترهای آبخوان و پارامترهای دارای اندیس w نشان دهنده ی وزن پارامترمورد نظر هستند.

جدول (2) *رتبه بندی شاخص آسیب پذیری* **(Aller et al , 1987)**

دامنه تغییرات	کلاس آسیب پذیری
۱۰۳-۱۱۹	خیلی کم
۱۱۹-۱۳۵	کم
۱۳۵-۱۵۱	متوسط
۱۵۱-۱۶۷	بالا
۱۶۷-۱۸۳	خیلی بالا

شکل زیر نحوه محاسبه شاخص دراستیک را به صورت شماتیک نشان می دهد.



شکل(۱) *شماتیک محاسبه شاخص آسیب پذیری دراستیک*

شاخص آسیب پذیری = 5*8+4*5+3*4+2*3+1*6+5*2+3*1 = 97

محقین زیادی از روش دراستیک برای آسیب پذیری آبخوان استفاده نموده اند که در ادامه ضمن مرور مهمترین این مطالعات محاسن و معایب این روش براساس این مطالعات بررسی خواهد شد.

Rahman [2008] جهت ارزیابی آسیب پذیری آبخوان shallow واقع در Aligarh هندوستان از روش دراستیک و GIS استفاده کرد که نتایج نشان داد که حدود ۸۰ درصد آب زیرزمینی دارای آلودگی متوسط به بالا هستند که نگرانی اصلی برای ۰.۸ میلیون جمعیتی است که در Aligarh زندگی می کنند. این محققین مدل دراستیک را به عنوان یک ابزار مناسب جهت مدیریت منابع آب معرفی می کند[17].

صفرمعروفی و همکاران (۱۳۹۱)جهت شناسایی نواحی آسیب پذیر آبخوان دشت ملایر در برابر آلودگی و تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان از سه روش DRASTIC , SI وSINTACS استفاده کردند و به این نتایج دست یافتند که :مقایسه نتایج حاصل از روش های SI و DRASTIC اصلاحی نشان می دهد که هر دو روش، آسیب پذیری آبخوان دشت ملایر در سه گروه آسیب پذیری کم، متوسط و زیاد قرار می گیرد. ولی حدود گسترش محدوده های آسیب پذیری متفاوت است.روش دراستیک از بیشترین پارامترهای موثر در آسیب پذیری ذاتی برای پهنه بندی استفاده می کند و دقت آن بیشتر می باشد، ولی پهنه بندی آسیب پذیری با این روش هزینه و زمان بیشتری را نسبت به مدل SI می طلبد[18].

Corniello و همکاران [1997] در تحقیقی در جنوب ایتالیا به منظور ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی از چهار مدل SINTACS,GOD , DRASTIC و AVIاستفاده کردند. آ ن ها در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که محدوده کلاس آسیب پذیری DRASTIC عریض تر از روش SINTACS می باشد و به پارامترهای مرتبط با نوع بهره وری زمین اهمیت بیشتری می دهد[19].

Hamza وهمکاران [2007] در ناحیه Metline-Ras در شمال تونس با استفاده از مدل های SINTACS , DRASTIC و SI به بررسی نواحی با بیشترین پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی پرداختند و به نتایج زیر رسیدند:مدل SI در مقایسه با سایر مدل های ذکر شده کارائی بیشتری در تعیین نقاط مستعد آلودگی دارد، و روش های DRASTIC و SINTACS ماهیت آلاینده و کاربری زمین را به عنوان عامل مدیریتی آسیب پذیری ویژه در نظر نمی گیرند[20].

Abdelmajid و Omar [2013] از روش DRASTIC، GOD و SI جهت ارزیابی آسیب پذیری آبخوان آبرفتی دره نیل (Jijel واقع در شمال شرق الجزایر) با مساحت ۸۳ کیلومترمربع که از شمال نیز به دریای مدیترانه متصل است، استفاده کردند، و رواناب این منطقه نسبتا بالا است و به ۹۰۰میلی متر در سال نیز می رسد. از داده های ۳۶حلقه چاه از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۱ ، استفاده کردند و دلیل اصلی افزایش نیترات در آب های زیرزمینی را استفاده از کود مطرح کردند و پس از صحت سنجی با غلظت داده های نیترات به نتایج زیر دست یافتند:روش DRASTIC و SI سطح آسیب پذیری را در چهار کلاس نشان می دهد، در نهایت روش DRASTIC با ضریب همبستگی ۷۱ درصد مناسب تر است و نقشه قابل قبولتری را ارائه می دهد. محققان

دیگری همچون Salemi و همکاران (۲۰۱۲) در ایتالیا و Hamza و همکاران (۲۰۱۰) در تونس و Stigter و همکاران (۲۰۰۶) در پرتقال نیز به این نتیجه رسیده اند که روش DRASTIC نتیجه بهتری ارائه می دهد[21].
به منظور رفع معایب روش دراستیک محققین مختلف اصلاحاتی را روی مدل دراستیک اعمال نموده و برخی از آنها حذف یا اضافه کردن بعضی از پارامترهای مدل را پیشنهاد کرده اند، همچنین پیشنهاد هایی در مورد ادغام این روش با مدل های دیگر آسیب پذیری ارائه کرد ه اند. که در این تحقیق روش دراستیک با استفاده از منطق فازی به کار برده می شود.

۲.۲منطق فازی:

تئوری مجموعه فازی اولین بار در سال ۱۹۶۵ توسط عسگر لطفی زاده پایه گذاری شد. سیستم های فازی مبتنی بر دانش و قواعد است و از مشخصه های آن توانایی تقسیم بندی اطلاعات بوده و به علت تبیین بیشتر نسبت به یک عدد استفاده از آن در علوم مختلف برای تعمیم اطلاعات رواج یافته است. مدل فازی یکی از بهترین مدل هایی است که برای تهیه انواع نقشه ها استفاده می شود.
همچنین استفاده از منطق فازی در بسیاری از علوم که نیازمند طبقه بندی اطلاعات هستند گسترش فراوانی یافته است.چون داده های ورودی مدل دراستیک دارای عدم قطعیت هستند، فازی سازی داده های آن موجب تهیه نقشه آسیب پذیری با دقت بالاتری می شود. در روش
دراستیک، از منطق بولین استفاده می شود، که در منطق بولین مرز بین طبقات باید مشخص شود. با توجه به اینکه شاخص آسیب پذیری دارای ماهیت طیفی و دامنه دار می باشد، اگر از منطق بولین
استفاده شود موجب می شود که یک طبقه با کوچک ترین تغییر به طبقه بالاتر یا پایین تر منتقل شود که قابل قبول نمی باشد، با استفاده از روش فازی می توان یک روش مناسب جهت طبقه بندی آسیب پذیری ارائه داد.
جهت تکمیل فرآیند فازی سازی مراحل زیر لازم است :
فازی سازی مقادیر قطعی ورودی
بیان قواعد سیستم و روش استنتاج فازی
دی فازی سازی مقادیر فازی خروجی

۲.۲.۱ فازی سازی مقادیر قطعی ورودی:

اولين گام ايجاد يك سيستم فازي، تعريف ورودي ها و توابع عضويت مي باشد. تابع عضويت مقدار فازی بودن يک مجموعه فازی را مشخص می کند. پارامترهاي ورودي مدل استنتاج فازي شامل عمق سطح ايستابي، تغذيه خالص ،شيب توپوگرافي و هدايت هيدروليكي مي باشند.براي سه پارامتر ديگر مدل دراستيك يعني محيط آبخوان ، محيط غيراشباع ومحيط خاك به دليل اين كه فاقد مقادير بينابيني مي باشند ، امكان فازي سازي وجود ندارد. فازي سازي پارامتر هاي ذكر شده با استفاده از تابع عضويت گوسي صورت مي گيرد و در محيط نرم افزار matlab نمودار فازي هر پارامتر رسم مي شود.

۲.۲.۲ استخراج پایگاه قواعد و روش استنتاج فازي:

پس از فازي سازي پارامترهاي ورودي ،به ساختن پايگاه قواعد
فازي اقدام مي شود.قواعد فازي ارزيابي آسيب پذيري عبارت هايي با ساختار اگر – آن گاه فازي است كه درهر يك از اين قواعد آثار تركيبي شاخص هاي مورد استفاده از ديدگاه مورد نظر تعيين مي شود.تعداد قواعد مورد نياز به تعداد شاخص ها وتعدادطبقات هر شاخص بستگي دارد ومطابق رابطه زير محاسبه مي شود:

$$I = K_1 \times K_2 \times \ldots \times K_n \qquad (2)$$

در اين رابطه I تعداد قواعد n شماره شاخص و K تعداد طبقات هر شاخص مي باشد. براي هر يك از قواعد موجود با توجه به روش استنتاج فازي ممداني ، يك تابع عضويت براي خروجي آن ايجاد مي شود.در اين روش كه جهت قواعد عطفي به كار مي رود ، از ميان در جه عضويت ورودي هاي يك قاعده فازي در هرمحدوده ، كمترين درجه عضويت انتخاب وبه خروجي منتقل مي شود .اين كار براي تمامي قواعد در كل محدوده تغييرات متغيرها تكرار شده و متغير فازي خروجي بدست مي آيد.

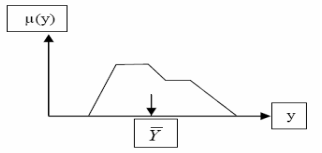
۲.۲.۳ غير فازي سازي مقادير فازي خروجي :

مقادير فازي خروجي رابايد با استفاده از روش غيرفازي ساز و با توجه به تابع عضويت خروجي به عدد حقيقي تبديل كرد. روش هاي مختلفي براي غير فازي كردن خروجي وجود دارد. از جمله اين روش ها مي توان به

روش ارتفاع ،ميانگين ،حداكثر،مركزثقل و... اشاره كرد.روش مركز ثقل رايج ترين روش براي تبديل كميت فازي به كلاسيك مي باشد.جهت محاسبه اين مقدار از رابطه زير استفاده مي شود[22].

$$\overline{Y} = \frac{\int y\mu(y)dy}{\int \mu(y)dy}$$

در اين رابطه y مقدارخروجي ،$\mu(y)$ درجه عضويت خروجي y و $\overline{Y}$مقدار حقيقي شاخص خروجي است.



شكل(۲)*غيرفازي ساز مركز ثقل*

در ادامه بررسی کارایی استفاده از منطق فازی در مطالعه آسیب پذیری آب های زیرزمینی براساس مطالعات گذشته صورت خواهد گرفت.

Dixon [2005] در شهرستان Woodruff منطقه دلتا می سی سی پی در Arkansas با استفاده از مدل DRASTIC مطالعه ای به منظور بهبود روش تولید نقشه های بالقوه آلودگی با استفاده از اطلاعات کاربری اراضی / آفت کش ها و ساختار خاک در همبستگی با پارامترهای انتخاب شده انجام داد. در این مطالعه، سه مدل مختلف (یعنی DIfuzz، VIfuzz و VIfuzz_ped) توسعه داده شدند و با مدل DI(دراستیک) مقایسه شدند. اولین روش مبتنی بر منطق فازی (DIfuzz) با استفاده از پارامترهای انتخاب شده از DI ایجاد شد. دو روش دیگر (مدل VIfuzz و VIfuzz_ped) به ترتیب کاربری اراضی / کاربرد آفت کش ها و اطلاعات ساختار خاک را در نظرگرفتند. اطلاعات کیفیت آب از ۵۵ حلقه چاه را به منظور بررسی پتانسیل آلودگی نقشه مورد استفاده قرار گرفته بود. نقشه آسیب پذیری تولید شده توسط مدل VIfuzz_ped با ساختار خاک نتایج بهتری را در مقایسه با داده های میدانی نشان داد.

ناصری وهمکاران(۱۳۸۸) پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان بهبهان واقع درجنوب شرقی استان خوزستان را به روش های دراستیک و منطق فازی انجام دادند ونتایج نشان داد که مدل فازی در طبقه بندی ها توزیع یکنواخت تری دارد در حالی که در روش دراستیک با منطق بولین درصد زیادی از محدوده مورد مطالعه دارای آسیب پذیری کم بود. به طور کلی منطق فازی توانست مناطق با آسیب پذیری خیلی کم و خیلی زیاد که در مدل دراستیک نشان داده نشده بودند را مشخص کند.جهت صحت سنجی نیز از ۲۳ حلقه چاه کشاورزی، غلظت یون های اصلی ونیترات را اندازه گیری کردند که نتایج نشان داد که آسیب پذیری مدل فازی به واقعیت نزدیک تر می باشد.

۳- جمع‌بندي و نتيجه‌گيري

در این مطالعه با مرور مطالعات گذشته کارایی روشهای مختلف بررسی آسیب پذیری آبخوان نسبت به آلودگی مورد ارزیابی قرار گرفت. روش های شاخص و همپوشانی مناسب تر از روش های شبیه سازی و روش های آماری برای ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی هستند از بین روشهای شاخص و همپوشانی، با توجه به مطالعات بالا و بررسی های انجام شده روش دراستیک با منطق فازی روشی مناسب جهت ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت مشهد معرفی می شود.

۴- مراجع

[1]US EPA (Environmental Protection Agency). DRASTIC: a standard system for evaluating groundwater potential using hydrogeological settings, Ada, Oklahoma WA/EPA Series; (1985). 163

[۲]جوکارنیاسر، و، عطایی آشتیانی ، ب ،(۱۳۸۵) ، مدل سازی و بررسی آلودگی نیترات در محیط غیراشباع تهران : تلفیق روش پارامترمتمرکز و تعادل جرم، فصلنامه ی علمی وپژوهشی شریف ،شماره ی ۳۳ ،ص.۱۱-۳

[۳]لطیف، م، (۱۳۸۱). بررسی آلودگی نیترات و منشا یابی آن در آب های زیرزمینی دشت مشهد.پایان نامه ی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی.

[4] Babiker.I.N., Mohamed. M.A., Hiyama.T., 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 (2005) 127– 140.

[5]Antonakos,A.K., N.J.,Lambrakis . (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
[6] Harter, T. and L. G. Walker. 2001. Assessing vulnerability of groundwater. US Natural Resources Conservation Service.
[7] Focazio, J.M., Reilly, E.T., Rupert, G.H. and Helset, R.D. 2002. Assessing groundwater vulnerability to contamination: providing scientifically defensible information for decision makers. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00-4273, 33 p.
[8] Anonymous, P., (1993). A Methodology and Decision Support System for Evaluating The Leaching Potential of Pesticides, U.S. Environmental Protection Agency, EPA, 600/S – 93/010
[9] Dixon, B., Scott, H.D, Dixon, J.C., Steele, K.F., (2002): Prediction of Aquifer Vulnerability to Pesticides Using Fuzzy Rule – Based Models at The Regional Scale, Physical Geography 23.
[10] Foster, S.S. (1987). Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: van Duijvenbooden, W., Van Waegeningh, H.G. (Eds.), Vulnerability of Soils and Groundwater to Pollution. TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, Proceedings and Information. 38: 69-86.
[11] Aller, L., Bennet, T., Leher, J.H., Petty, R.J. and Hackett, G. (1987). DRASTIC: A Standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydro-geological settings. Kerr Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency Report (EPA/600/2-87/035).
[12] Van Stemproot, D., Evert, L., and Wassenaar, L.(1993). Aquifer vulnerability index: a GIS compatible method for groundwater vulnerability mapping.Canadian Water Resources Journal. 18: 25-37.
[13] Daly, D. and Drew, D. (1999). Irish Methodology for Karst aquifer protection. P 267-272, In: Beck, B.F., Pettit, A.J. and Herring, J.G. (eds.), Hydrogeology and Engineering Geology of Sinkholes and Karst, Rotterdam, Balkema.
[14]Vrba,J., A.,Zoporozec .(1994). Guidebook on mapping groundwater vulnerability. InternationalContributionsto Hydrogeology. Verlag Heinz Heise GmbH and Co. KG
[15] Rosen, L.A., (1994). A study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions. Ground Water 32 (2), 278–285
[16]McLay, C. D. A., Dragten, R., Sparling, G& . Selvarajah, N., (2001), "Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches," Environ. Pollut. Vol. 115(2): 191-204.
[17]Rahman.A, (2008), A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. Applied Geography 28 (2008) 32–53
[۱۸] معروفی، ص، سلیمانی، س، قبادي، م.ح، رحیمی، ق، معروفی،ح(۱۳۹۱). ارزیابی آسیب پذیري آبخوان دشت ملایر با استفاده از مدلهاي SINTACS و SI ،DRASTIC، مجله پژوهش هاي حفاظت آب و خاك، جلد نوزدهم، شماره سوم.
[19]Corniello, A., Ducci, D. and Napolitano, P.(1997). Comparison between parametric methods to evaluate aquifer pollution vulnerability using a GIS: An example in the Piana Campana. P: 1721-1726, In: Engineering Geology and the Environment, Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
[20] Hamza, M.H., Added, A., France´s, A., and Rodrı´guez, R. (2007). Validite´ de l'application des me´thodes de vulne´rabilite´ DRASTIC, SINTACS et SI a` l'e´tude de la pollution par les nitrates dans la nappe phre´atique de Metline– Ras Jebel–Raf Raf. Comptes Rendus Geoscience. 339: 493-505.
[21] Abdelmadjid.B., Omar.S.(2013), Assessment of groundwater pollution by nitrates using intrinsic vulnerability methods: A case study of the Nil valley groundwater (Jijel, North-East Algeria) , African Journal of Environmental Science and Technology
[۲۲]تشنه لب ،م ،صفارپور ، ن ، افیونی،د،(۱۳۸۸):سیتم های فازی وکنترل فازی.انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
[23] Dixon, B. (2005). Groundwater vulnerability mapping: a GIS and fuzzy rule based integrated tool. Applied Geography, 25(4), 327e347. doi:10.1016/ j.apgeog.2005.07.002
[۲۴]ناصری، ح، فرهادی، ص، شهسواری، ع.ا .(۱۳۸۸)، مقایسه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان به روش های DRASTIC و منطق فازی(مطالعه موردی دشت بهبهان.