

## آسیب‌پذیری آبخوان دشت حاجی آباد بر اساس روش‌های DRASTIC و SINTACS

مهرداد حسن زاده<sup>۱</sup>، مهدی مومنی رق آبادی<sup>۲\*</sup>، امیر رباطی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری عمران-منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان، ایران

### چکیده

با توجه به نیاز روزافزون جوامع بشری به منابع آب زیرزمینی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، حفاظت و جلوگیری از آلودگی این منابع امری ضروری تلقی می‌گردد. بدین منظور، ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی می‌تواند نقشی حیاتی در حفاظت و بهره‌برداری از این منابع ایفا نماید. دشت حاجی‌آباد با وسعت حدود ۱۵۸ کیلومتر مربع در فاصله ۱۶۰ کیلومتری شمال بندرعباس واقع شده است. نظر به اهمیت این دشت از جهت تأمین آب کشاورزی و شرب منطقه و با توجه به روند افت سطح آب زیرزمینی منطقه، برداشت از منابع آب در سال‌های اخیر ممنوع شده است. در از این پژوهش، ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت حاجی‌آباد توسط روش‌های DRASTIC و SINTACS انجام گرفت. در نهایت نقشه‌های نهایی آسیب‌پذیری با مقادیر EC واسنجی شد. به منظور بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت، از نقاط تعیین شده ۲۶ نمونه آب در دوره‌های مختلف سال آبی ۱۳۹۸ برداشت گردید که آنالیز نمونه‌ها آب در آزمایشگاه آب و خاک هرمزگان انجام گردید. همچنین، از نتایج داده‌های نمونه‌های آب آنالیز شده توسط سازمان آب منطقه‌ای هرمزگان نیز استفاده شده است. اندیس آسیب‌پذیری روش دراستیک برای منطقه مورد مطالعه، مقداری بین (۹۴-۱۲۸) و برای SINTACS (۱۱۵-۱۵۶) به‌دست آمده است. طبق برآورد نقشه‌های آسیب‌پذیری تهیه‌شده برای هر دو روش، بیشترین پتانسیل آسیب‌پذیری مربوط به قسمتی از بخش مرکزی و شرقی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. مقدار شاخص همبستگی بین EC و روش‌های آسیب‌پذیری DRASTIC و SINTACS به ترتیب ۳۹ و ۳۵ برآورد شده است.

**کلیدواژه‌ها:** آسیب‌پذیری آبخوانها، روش SINTACS، آب زیرزمینی، هرمزگان

### ۱. مقدمه

در برخی از مناطق خشک و نیمه‌خشک دلیل کمیاب بودن منابع آب سطحی یا نامناسب بودن آن، آب‌های زیرزمینی می‌تواند تنها منبع آب شیرین باشد. آلودگی آب زیرزمینی یکی از مسائل جدی و مهم در نواحی شهری و کشاورزی بدلیل استفاده از زمین است (سعیدی و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۴). بدین منظور جهت دستیابی به یک روش مناسب جهت حفاظت منابع آب زیرزمینی از آلودگی‌هایی که در آینده آن‌ها را تهدید می‌کند، استفاده از روش‌های

ارزیابی آسیب پذیری آب های زیرزمینی از جمله AVI (وان استمپورت<sup>۱</sup>، ۱۹۹۲: ۵۸)، GODS (فوستر<sup>۲</sup>، ۱۹۸۷: ۱۲۰)، DRSTIC (آلرو همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۸۷: ۹۸)، SINTACS (سیویتا<sup>۴</sup>، ۱۹۹۴: ۱۵) و غیره توسعه یافتند. مفهوم قابلیت آسیب پذیری آب های زیرزمینی اولین بار توسط مارگات در اواخر دهه ۱۹۶۰ در فرانسه جهت هشدار درباره آلودگی آب ارائه گردید (عدمات<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۵۰). آسیب پذیری آبخوان به صورت سهوت امکان نفوذ و پخش آلودگی از سطح زمین به سفره آب زیرزمینی در شرایط طبیعی تعریف می گردد (مارگات<sup>۶</sup>، ۱۹۸۶: ۹۴). به طور کلی انواع بررسی های آسیب پذیری آبخوان ها به دو نوع ذاتی و ویژه قابل بیان است. آسیب پذیری ذاتی با توجه به خصوصیات هیدرولوژی و هیدروژئولوژیکی منطقه مانند خصوصیات آبخوان و تنش های وارده بر آن مورد ارزیابی قرار می گیرد و آسیب پذیری ویژه به منظور ارزیابی حساسیت آبخوان به آلاینده خاص یا گروهی از آلاینده های ناشی از فعالیت انسانی می باشد که از تعامل آلاینده ها با اجزای آسیب پذیری ذاتی بوجود می آید (آلر و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۴۴). روش دراستیک توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده برای ارزیابی آسیب پذیری آب های زیرزمینی در کل ایالات متحده ابداع شد. این روش بر پایه مفهوم وضعیت هیدروژئولوژیکی استوار است. وضعیت هیدروژئولوژیکی در حقیقت توصیف کننده ترکیبی از تمام عوامل زمین شناسی و هیدرولوژیکی است که حرکت آب های زیرزمینی را در ورود، درون و خروج از سیستم در یک ناحیه تحت تأثیر قرار داده و کنترل می کند امروزه با استفاده از تکنیک GIS امتیازبندی و ترکیب لایه های این روش آسان تر شده و دقت انجام این محاسبات نیز تا حد زیادی افزایش یافته است. از سوی دیگر به منظور بهبود روش دراستیک از روش های مختلفی استفاده شده است. رایج ترین روش های ارزیابی شاخص آسیب پذیری شامل روش های DRATIC، GOD، SINTACS، SI و روش رتبه دهی AVI است (شاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۷؛ آنان<sup>۸</sup>، ۲۰۱۵).

<sup>۱</sup> Van Stempvoort

<sup>۲</sup> Foster

<sup>۳</sup> Aller

<sup>۴</sup> Civita

<sup>۵</sup> Al-Adamat

<sup>۶</sup> Margat

<sup>۷</sup> Sharadqah

<sup>۸</sup> Annan

متداول ترین روش تعیین آسیب پذیری آبخوان روش DRASTIC می باشد که تاکنون در مطالعات متعددی به کار برده شده است (کوزلوسکی و سوچکا<sup>۱۵</sup> (۲۰۱۹: ۱۵۲)، مقصوم و همکاران (۲۰۲۰: ۱۷۷)، راجپوت<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۰: ۱۶۸) و جانگ و همکاران (۲۰۲۰: ۱۱۹)). ندیری و صدقی (۱۳۹۸: ۲۷-۱۶) به ارزیابی آسیب پذیری آبخوان های تحت فشار و آزاد محدوده ورزقان با روش های دراستیک، SI و Corrected SINTACS پرداختند. نتایج آسیب پذیری در منطقه نشان داد که دراستیک با داشتن ضریب تعیین و شاخص همبستگی بالاتر نسبت به سینتاک برای آبخوان آزاد ولی در آبخوان تحت فشار، Corrected SINTACS نسبت به روش دراستیک در تعیین مناطق آسیب پذیر دقیق تر عمل کرده است. آنها براساس نتایج به دست آمده در ارزیابی هر دو آبخوان بخش های شرقی و مرکزی آزاد و قسمت جنوبی آبخوان تحت فشار که ضخامت لایه نفوذناپذیر کمتر است به عنوان مناطق آسیب پذیر معرفی کردند. سویلان (۲۰۲۰: ۱۴۴-۱۵۷) آسیب پذیری آبخوان بوکاک حوضه آنتالیا ترکیه با روش دراستیک اصلاح شده ارزیابی کرد. ابتدا با ۷ پارامتر نقشه آسیب پذیری منطقه را تهیه کرد. طبق نقشه منطقه به آسیب پذیری بالا، متوسط و کم طبقه بندی شد. سپس با افزودن پارامتر کاربری اراضی فرایند سلسله مراتبی دوباره روش اجرا گردید و نقشه نهایی آسیب پذیری تهیه شد. نقشه آسیب پذیری نهایی منطقه را به آسیب پذیری با خطر بسیار بالا، بالا، متوسط و کم طبقه بندی شد. با توجه به اینکه مشاهده کرد که منطقه با کودهای مورد استفاده در کشاورزی آلوده شده است بنابراین نتایج نشان داد که نقشه ی تهیه شده با روش دراستیک اصلاح شده برای آبخوان بوکاک قابل قبول تر معرفی کرد. به منظور بهبود عملکرد برخی روش های ارزیابی آسیب پذیری کلاسیک از روش های هوش مصنوعی استفاده می شود. در مطالعات مرتبط با کاربرد هوش مصنوعی برای اجرای روش با ساختار چندگانه (AIMF)، نشانگر افزایش همبستگی بین نتایج دو روش حاصل از ساختار DRASTIC پایه (BDF) و ساختار فازی کاتاستروف (FCF) گردید (ندیری و همکاران، ۲۰۱۸ b). همچنین روش های ترکیبی هوش مصنوعی (SICM) و روش های با ساختار چندگانه هوش مصنوعی (AIMF) با استفاده از مدل های شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، منطق فازی (FL) برنامه ریزی بیان ژن (GEP) و الگوریتم ژنتیک (GA) برای تعیین شاخص آسیب پذیری DRASTIC آبخوان دشت اردبیل مورد

<sup>1</sup> Kozłowski and Sojka

<sup>2</sup> Rajput

استفاده قرار گرفته است (ندیری و همکاران، ۲۰۱۸b و ۲۰۱۷a: ۱۵۵). با توجه به مطالب بیان شده در این پژوهش مناطق آسیب پذیر شناسایی و مدیریت بهره برداری از منابع آب زیرزمینی دشت هرمزگان بررسی گردید و آسیب پذیری منابع آب زیرزمینی دشت هرمزگان با استفاده از روش های DRASTIC و SINTICS انجام شد.

## ۲. مواد و روش ها

### ۲-۱. منطقه مورد مطالعه

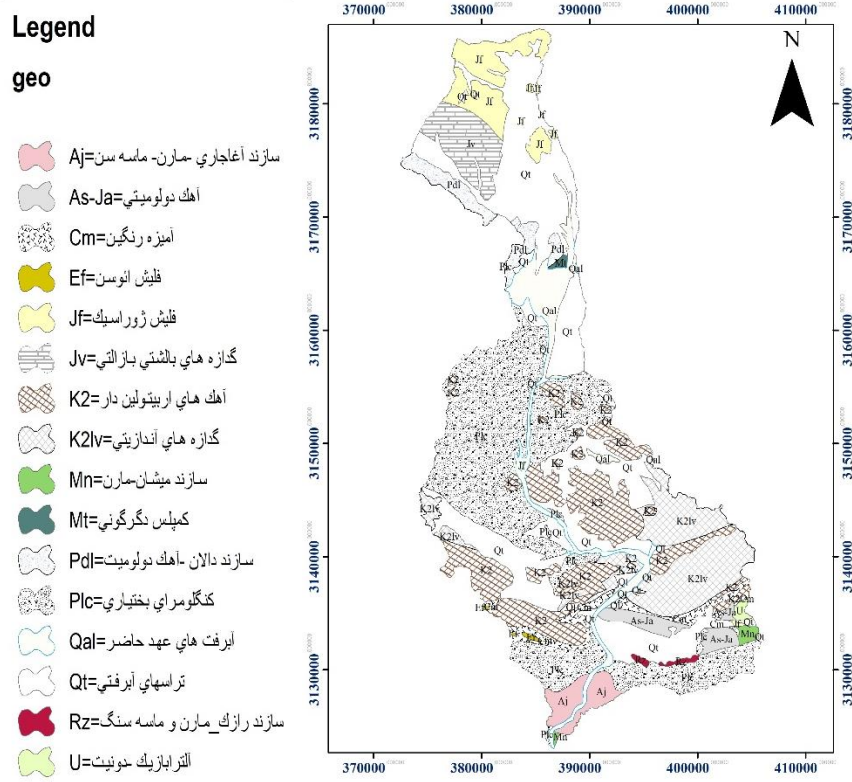
دشت حاجی آباد در فاصله ۱۶۰ کیلومتری شمال بندرعباس و در حد فاصل طول های جغرافیایی ۳۵ و ۵۵ تا ۰۰ و ۵۶ و عرض های ۱۷ و ۲۸ تا ۲۱ و ۲۸ شمالی واقع گردیده که از شمال به ارتفاعات کوه بی بی دختران از غرب به جاده سیرجان- بندرعباس از شرق به ارتفاعات آنفوزه کوه و از جنوب به تپه های کنگومرائی و عرض متوسط ۴ کیلومتر می باشد. آب و هوای منطقه گرم و متوسط دمای منطقه ۱۹/۸ درجه سانتی گراد و متوسط تبخیر سالیانه دشت ۲۴۶۴/۷ میلی متر می باشد. ارتفاع دشت بین حداقل ۹۰۰ متر و حداکثر ۱۰۳۰ متر که به سمت جنوب غرب دشت از ارتفاع آنها کاسته می گردد. رژیم حرکتی آب های سطحی این دشت از شیب عمومی زمین پیروی می نماید به طوری که از بخش شمالی و ناحیه شرقی به طرف جنوب غرب جریان دارند.



شکل (۱): موقعیت حوضه آبریز و آبخوان حاجی آباد در ایران

Fig (1): Location of Hajjiabad catchment and aquifer in Iran

منطقه مورد مطالعه در راستای سلسله کوه‌های زاگرس و جنوب تراسز زاگرس واقع گردیده و از نظر رسوبگذاری و چینه‌شناسی جزء زاگرس چین خورده محسوب می‌شود. با توجه به داده‌های ژئوفیزیکی و اطلاعات زمین‌شناسی از حاشیه شمالی دشت و در مجاورت طبقات آهکی آسماری جهرم گسلی عبور کرده که مربوط به گسل اصلی رو رانده زاگرس است (گزارش مطالعات شرکت آب منطقه‌ای، ۱۳۹۳: ۷۷).

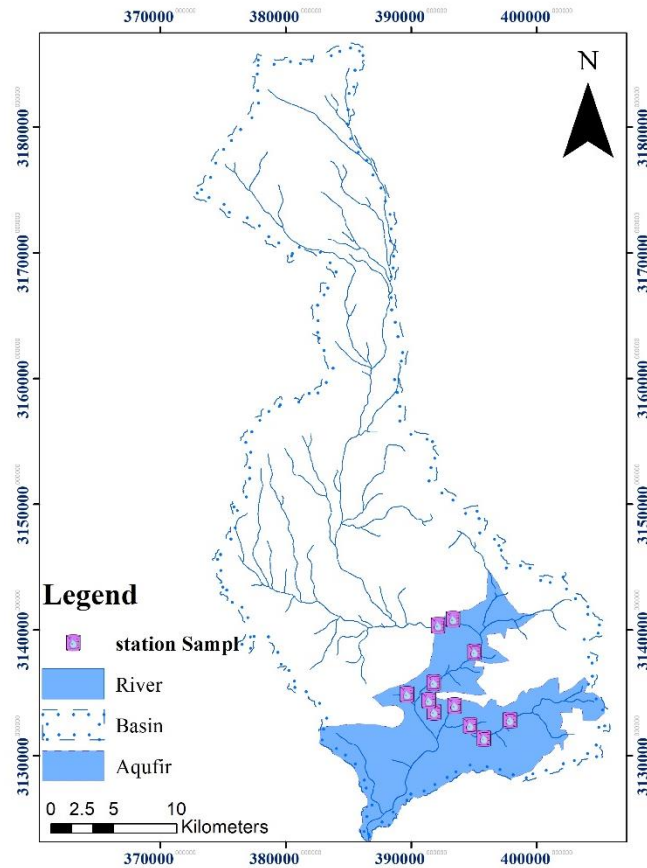


شکل (۲): زمین‌شناسی حوضه آبریز آبخوان حاجی‌آباد

Fig (2): Geology of Hajiabad aquifer catchment area

## ۲-۲. بررسی داده‌ها

به منظور بررسی خصوصیات هیدرو شیمیایی آب زیرزمینی موجود در منطقه، از تعداد ۱۶ نمونه آب‌های آنالیز شده از چاه‌های مطالعاتی منابع آب زیرزمینی توسط سازمان آب منطقه‌ای استان هرمزگان برای سال آبی ۹۳ استفاده گردید. موقعیت چاه‌های مورد مطالعه در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳): موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری  
Fig (3): Location of sampling stations

### ۲-۳. پارامترهای مؤثر بر آسیب پذیری

عوامل مؤثر در آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی شامل عمق سطح آب زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، محیط غیراشباع، هدایت هیدرولیکی، توپوگرافی یا شیب سطح زمین و کاربری اراضی است که مشخصات پارامترهای ذکر شده در جدول ۱ ارائه شده است. جهت تهیه نقشه عمق سطح ایستابی، از داده‌های ماهانه سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهداتی برای سال ۹۳ استفاده شده است. نقشه عمق سطح ایستابی با استفاده از درون‌یابی نقاط حاصل از میانگین عمق سطح ایستابی پیزومترها با استفاده از روش کریجینگ بدست آمد. مهمترین عامل در حرکت عمودی آب، میزان تغذیه توسط نزولات جوی (تغذیه خالص) می‌باشد. شرایط منطقه و حجم آب حاصل از آبیاری کشاورزی و فاضلاب‌ها نیز، در محاسبه

تغذیه خالص در نظر گرفته می‌شوند. جهت بدست آوردن نرخ تغذیه در آبخوان، از روش پهنه‌بندی تغییرات حجم آب زیرزمینی آبخوان استفاده شده است. ابتدا داده‌های سطح آب برای چاه‌های مشاهده‌ای جمع‌آوری شده و برای هر یک از آنها پلی‌گون تیسن ترسیم گردید. در ادامه طبق رابطه (۱) ضریب ذخیره سفره بر تغییرات سالانه (سال آبی ۹۴-۱۳۹۳) سطح آب پیژومتر هر تیسن ضرب شده و بر مدت زمان بررسی تغییرات سطح آب تقسیم گردید. (اسکانلون<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۲).

$$R = Sy \times \Delta h / \Delta t \quad (1)$$

در رابطه بالا  $R$  نرخ تغذیه،  $Sy$  آبدهی ویژه (ضریب ذخیره)،  $h$  ارتفاع تراز آب و  $t$  زمان می‌باشد. ایراد اساسی رابطه بالا عدم لحاظ آب برگشتی حاصل از کشاورزی می‌باشد که به منظور دخالت این گزینه در رابطه، میزان برداشت از چاه‌های بهره‌برداری موجود در هر پلی‌گون تیسن محاسبه و با عددهای بدست آمده حاصل از رابطه بالا جمع گردید و در نهایت عدد بدست آمده بر مساحت هر پلی‌گون تقسیم گردید و نرخ تغذیه هر پلی‌گون محاسبه شد. در تعیین آسیب‌پذیری فرض بر این است که انتقال از طریق نفوذ به آب زیرزمینی و عامل حرکت آب در محیط غیر اشباع خاک می‌باشد که آلاینده از سطح زمین حرکت کرده و به سطح ایستابی می‌رسد، بنابراین برای محاسبه پارامتر معادل در لایه‌های با ضخامت‌های متفاوت از میانگین هارمونیک استفاده می‌گردد. برای تهیه این لایه نیز مشابه لایه محیط آبخوان از لوگ چاه‌های اکتشافی موجود در منطقه استفاده شده است. با این تفاوت که جنس لایه‌های بالایی سطح ایستابی در لوگ‌ها مدنظر است. با مطالعه لوگ چاه‌های اکتشافی، متناسب با ترکیب و اندازه دانه‌های تشکیل دهنده در هر لایه، رتبه‌بندی و یک لایه نقطه‌ای آماده گردد. هدایت هیدرولیکی بالا امکان جریان یافتن آلاینده‌ها در آبخوان را افزایش می‌دهد. برای تهیه لایه هدایت هیدرولیکی از داده‌های آزمایش پمپاژ استفاده شد. برای تعیین مقادیر هدایت هیدرولیکی در نقاط مختلف دشت، مقادیر قابلیت انتقال بر ضخامت اشباع سفره تقسیم گردید. توپوگرافی به تغییرات شیب سطح زمین اشاره دارد. شیب سطح زمین علاوه بر این که بر حرکت و نفوذ آب‌های سطحی و آلاینده‌ها در سطح زمین تأثیر می‌گذارد، بر گسترش خاک و در نتیجه بر ظرفیت میرایی طبیعی یا خودپالایی آلاینده‌ها نیز مؤثر است. بنابراین هر چه شیب سطح زمین کمتر باشد زمان تماس آب‌های سطحی و آلاینده‌ها با سطح زمین بیشتر است و در نتیجه امکان نفوذ آلاینده‌ها به داخل آبخوان بیشتر می‌شود. به

<sup>1</sup> Scanlon

منظور تهیه این لایه ابتدا یک مدل رقومی ارتفاعی (DEM) از منطقه تهیه و سپس با استفاده از ابزار Slope نقشه درصد شیب از این مدل رقومی در محیط ArcGIS استخراج گردید.

جدول (۱): مقایسه وزن نسبی پارامترها به منظور ارزیابی روش‌های آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی  
Table (1): Comparison of relative weights of parameters to evaluate groundwater vulnerability methods

DRASTIC		SINTACS		پارامترها
وزن‌دهی		وزن‌دهی		
D	۵	S	۵	عمق سطح ایستابی
R	۴	I	۴	تغذیه خالص
A	۳	A	۳	محیط آبخوان
S	۲	T	۴	محیط خاک
T	۱	S	۲	توپوگرافی
I	۵	N	۵	منطقه غیراشباع
C	۳	C	۳	هدایت هیدرولیکی
-	-	-	-	نوع خاک
$I_{DRASTIC} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$		$I_{SINTACS} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$		معادلات
آلر و همکاران، ۱۹۸۷		ساداتی پور و همکاران، ۲۰۱۶		رفرنس

جدول (۲): رتبه‌بندی و وزن مربوط به پارامترها (آلر و همکاران، ۱۹۸۷)

Table (2): Ranking and weighting of parameters (Aller et al., 1987)

امتیاز	محدوده (عمق سطح ایستابی بر حسب متر)	امتیاز	محدوده (تغذیه خالص بر حسب میلی-متر)
۱۰	۰-۱/۵	۱	۰-۵۰/۸
۹	۱/۵-۴/۶	۳	۵۰/۸-۱۰۱/۶
۷	۴/۶-۹/۱	۶	۱۰۱/۶-۱۷۷/۸
۵	۹/۱-۱۵/۲	۸	۱۷۷/۸-۲۵۴
۳	۱۵/۲-۲۲/۸	۹	>۲۵۴
۲	۱۵/۲-۳۰/۴		
۱	>۳۰/۴		



جدول (۳): رتبه بندی و وزن مربوط به پارامترها

Table (3): Ranking and weight of the parameters

امتیاز	محدوده (شیب بر حسب درصد)	امتیاز	محدوده (هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)
۱۰	۰-۲	۱	۰/۰۴-۴/۱
۹	۲-۶	۲	۴/۱-۱۲/۳
۵	۶-۱۲	۴	۱۲/۳-۲۸/۷
۳	۱۲-۱۸	۶	۲۸/۷-۴۱
۱	۱۸<	۸	۴۱-۸۲
		۱۰	۸۲<

## ۲-۴. روش DRASTIC

روش دراستیک یک روش تجربی است که اولین بار در سال ۱۹۸۷ برای ارزیابی آسیب پذیری آب های زیرزمینی ایالات متحده مطرح شد که بر اساس مفهوم وضعیت هیدروژئولوژیکی استوار است (آلر و همکاران، ۱۹۸۷). وضعیت هیدروژئولوژیکی در واقع بیانگر ترکیبی از همه ی فاکتورهای زمین شناسی و هیدرولوژیکی است که حرکت آب های زیرزمینی را در یک منطقه کنترل می کند (۷). این روش پتانسیل آلودگی یک ناحیه را با جمع نمودن عوامل کلیدی مؤثر بر انتقال مواد محلول ارزیابی می نماید (۶). هدف اصلی ارزیابی به روش دراستیک، محاسبه نقشه ی رستری شاخص آسیب پذیری است که به وسیله ی هم پوشانی نقشه های رستری پارامترهای تأثیرگذار در آسیب پذیری آب زیرزمینی تهیه می شود (رحمان، ۲۰۰۸: ۸۸). این روش از هفت مشخصه هیدروژئولوژیکی قابل اندازه گیری و مؤثر در انتقال آلودگی به آب های زیرزمینی که شامل عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط خاک (A)، توپوگرافی یا شیب سطح زمین (T)، مواد تشکیل دهنده زون غیر اشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) است. این مشخصه ها در محیط GIS به صورت هفت لایه با فرمت رستر تهیه می شود. در روش دراستیک به هر پارامتر یک نرخ و وزن (از ۱ تا ۵) بر حسب اهمیت پارامتر اختصاص داده می شود. نرخ پارامترهای دراستیک بین ۱ تا ۱۰ تغییر است، به طوری که

۱ به معنای کمترین و ۱۰ بیشترین خطر برای آلودگی آب زیرزمینی در نظر گرفته می شود (پاناگپولوس و همکاران، ۲۰۰۵، ۱: ۲۲۰).

از این رو شاخص دراستیک بر اساس وزن دهی به مجموع هفت پارامتر به صورت زیر محاسبه می شود (آلر و همکاران، ۱۹۸۷: ۱۶۶)

$$DI = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (2)$$

در رابطه ذکر شده DI شاخص آسیب پذیری دراستیک و حروف بزرگ نشان دهنده پارامترهای هفت گانه و  $r$  نرخ ارزش (رتبه) و  $w$  وزنی است که به هر پارامتر تخصیص داده می شود.

## ۲-۵. روش SINTACS

این مطالعه روش آسیب پذیری SINTACS بر اساس اطلاعات موجود در جدول ۱ مورد استفاده قرار گرفت. روش SINTACS بر پایه مفهوم وضعیت هیدروژئولوژیکی استوار می باشد. وضعیت هیدروژئولوژیکی در حقیقت توصیف کننده ترکیبی از تمام عوامل زمین شناسی و هیدرولوژی است که حرکت آب های زیرزمینی را در ورود، درون و خروج از سیستم در یک ناحیه تحت تأثیر قرار داده و کنترل می کند (ساداتی پور و همکاران، ۲۰۱۶: ۲۱۵). شاخص آسیب پذیری هر روش بر اساس وزن<sup>۲</sup> و رتبه دهی<sup>۳</sup> پارامترهای کاربردی مطابق جدول ۱ محاسبه می گردد. با توجه به روابط موجود  $w$  بیانگر ضریب وزنی (به هر پارامتر با توجه به اهمیت تأثیر آن در محاسبه آسیب پذیری وزن بین ۱ تا ۵ داده می شود)،  $r$  بیانگر نرخ (برای هر قسمت از دشت نرخی در نظر گرفته می شود که عددی بین ۱ تا ۱۰ است (پاناگپولوس و همکاران، ۲۰۰۶). مقادیر بزرگتر و کوچکتر شاخص DI، به ترتیب نشان دهنده پتانسیل زیاد و کم آسیب پذیری آبخوان می باشد. داده ها و اطلاعات مورد نیاز در این پژوهش، شامل داده های ارتفاعی رقومی، لوگ پیژومترها و چاه های بهره برداری، نقشه نیمه تفصیلی بافت خاک، بارش منطقه، نقشه گروه نفوذ پذیری خاک، نقشه کاربری اراضی، آمار سطح آب پیژومترها و داده های EC چاه های دشت هرمزگان مورد مطالعه قرار گرفت و تمامی نقشه های رستری لایه های مورد نیاز از روش کریجینگ در نرم افزار ArcGIS تهیه شد.

جدول (۴): محدوده آسیب پذیری (سیویتا و مائو، ۱۹۹۷)

Table (4): Vulnerability Range (Civita and Mao, 1997)

<sup>1</sup> Panagopoulos et al

<sup>2</sup> Wheight

<sup>3</sup> Rating

محدوده آسیب پذیری SINTACS (سیوتا و مائو، ۱۹۹۷)	محدوده آسیب پذیری DRASTIC (آلر و همکاران، ۱۹۸۷)	آسیب پذیری
۶۳ <	۷۹ <	بدون آسیب پذیری
۶۴-۷۷	۸۰-۹۹	خیلی کم
۷۸-۹۹	۱۰۰-۱۱۹	کم
۱۰۰-۱۱۹	۱۲۰-۱۳۹	کم تا متوسط
۱۲۰-۱۳۹	۱۴۰-۱۵۹	متوسط تا زیاد
۱۴۰-۱۵۹	۱۶۰-۱۷۹	زیاد
۱۶۰-۱۷۹	۱۸۰-۱۹۹	خیلی زیاد
۱۸۰ >	۱۸۰ >	کل

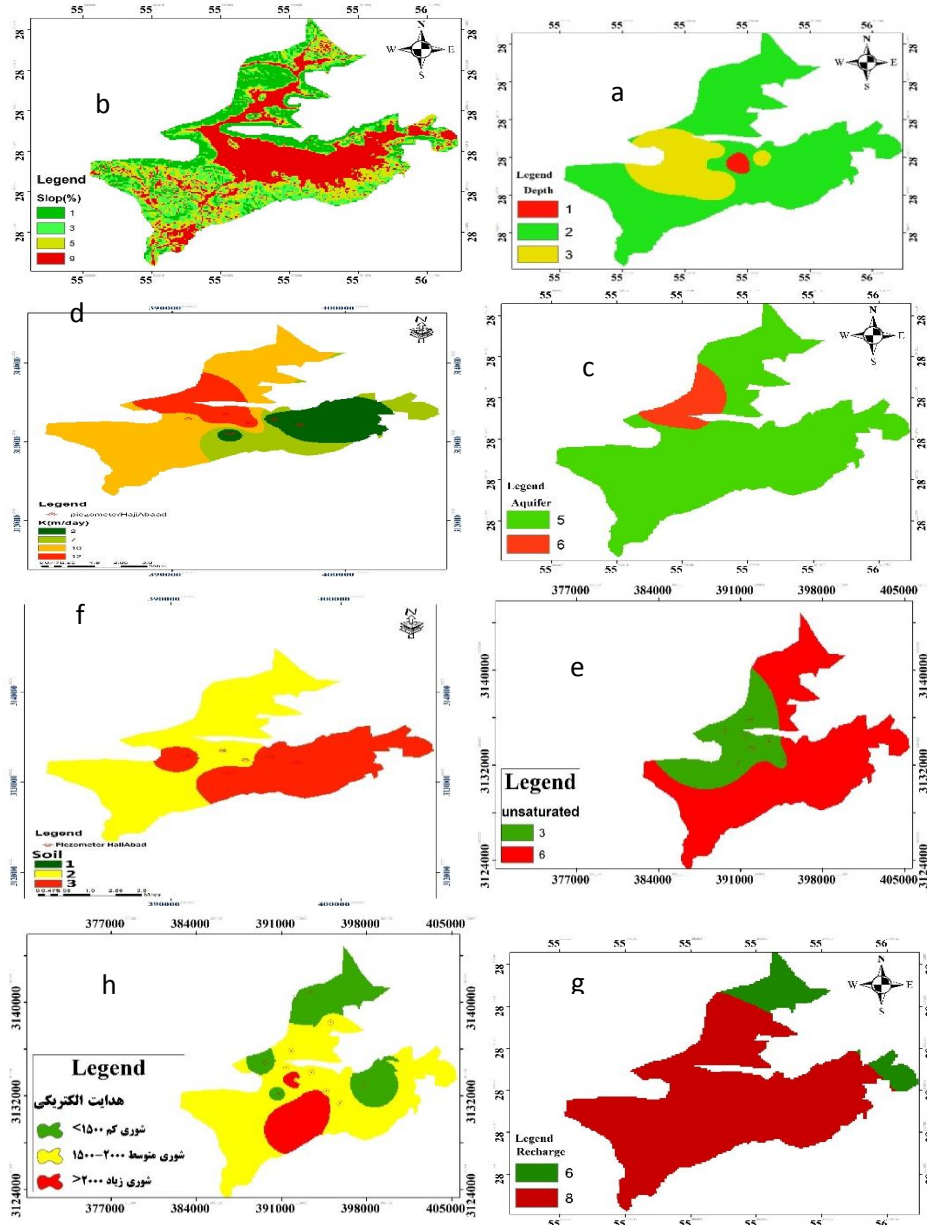
### ۳. نتایج و بحث

#### ۳-۱. ارزیابی آسیب پذیری به روش های DRASTIC و SINTACS

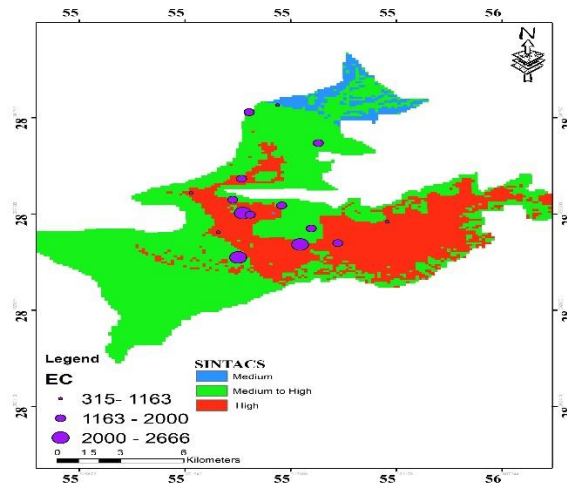
در این مطالعه برای تهیه ی لایه های لازم در آسیب پذیری از داده های چاه های مشاهده ای و ۹۷-۹۸، اطلاعات چاه های بهره برداری، لاگ چاه های آبخوان، لاگ چاه های مشاهده ای و اکتشافی، اطلاعات ایستگاه های هواشناسی و نقشه رقومی ارتفاعی دشت استفاده گردید. لایه های رستری مربوط به هفت پارامتر دراستیک با وضوح  $50 \times 50$  متر تهیه شد. لایه عمق آب زیرزمینی با استفاده از درون یابی کریجینگ برای عمق آب زیرزمینی (D) سطح آب محاسبه شد شکل (۴) و مطابق طبقه بندی استاندارد دراستیک رتبه بندی شد. همانطور که در جدول (۲) ارائه شده است امتیاز ۱ برای عمق سطح ایستابی بیشتر از  $30/4$  متر، رتبه ۲ برای عمق سطح ایستابی بین  $15/2$  تا  $30/4$  متر و برای رتبه ۳ برای عمق سطح ایستابی  $22/8$  تا  $15/2$  متر می باشد. در تهیه لایه تغذیه خالص (R)، از دو منبع بارش و آب برگشتی از کشاورزی به عنوان منابع عمده تغذیه آبخوان مورد استفاده قرار گرفت. برای هر کدام به صورت جداگانه لایه رستری محاسبه گردید در نهایت با همپوشانی دو لایه مذکور و رتبه دهی طبق طبقه بندی جدول (۲) لایه تغذیه خالص به دست آمد شکل (۴-ب). به منظور به دست آوردن تغذیه از طریق بارش لایه رستری سطح آب های زیرزمینی برای ماه پرباران (اردیبهشت) و ماه کم باران (مرداد) تهیه شد و سپس لایه رستری مردادماه را از لایه رستری اردیبهشت ماه کم شد و در نهایت ضرب در ضریب ذخیره ۳ درصد آبخوان گردید تا لایه رستری تغذیه خالص از بارش به دست آید (تاری، ۱۳۹۰: ۵۸). برای تهیه لایه محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، محیط غیر اشباع (I) و لایه هدایت هیدرولیکی (C) از لاگ های

چاه‌های مشاهده‌ای موجود در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. لایه توپوگرافی نیز با تهیه‌ی شیب از نقشه رقومی ارتفاعی دشت حاصل شد. سپس لایه‌های مذکور بر اساس روش استاندارد طبقه‌بندی و نرخ‌بندی شدند. نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی و نرخ‌بندی به‌دست‌آمده از هر پارامتر در شکل ۵-ب) ارائه‌شده است.

مطابق شکل (۴) تقریباً ۷۰ درصد منطقه مورد مطالعه دارای شیب بین ۱۲-۱۸ درصد (رتبه ۳) است که در شیب متوسط، پتانسیل آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد. ۲۰ درصد بخش شمالی منطقه دارای شیب کمتر از ۵ درصد (دارای رتبه ۹) است که در شیب‌های کم، پتانسیل آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد که این مطلب در نقشه‌ی آسیب‌پذیری کاملاً مشهود می‌باشد. پس از نظر شیب، دشت حاجی‌آباد کمتر پتانسیل آلودگی را دارد. حدود ۸۰ درصد منطقه، فاصله سطح زمین تا سطح ایستابی کمتر از ۵ متر هست و با توجه به رتبه‌بندی دراستیک و سینتاک می‌توان نتیجه گرفت که اعماق کمتر از ۵ متر تأثیر زیادی در افزایش پتانسیل آسیب‌پذیری دارد. پارامتر هدایت هیدرولیکی بیان‌کننده قابلیت هدایت آب و آلاینده‌های محلول در آن هست. به‌طور متوسط عمده منطقه مورد مطالعه دارای هدایت هیدرولیکی ۱۲ متر بر روز (رتبه‌ی ۴) هست. این عمل می‌تواند در پتانسیل آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه محدودیت زیادی وارد کند زیرا بیش از ۸۵ درصد آبخوان، هدایت هیدرولیکی کمتر از ۱۲ متر بر روز دارد. تغذیه آب زیرزمینی موجب می‌گردد تا آلاینده در صورت وجود به صورت عمودی انتقال یافته و به سطح ایستابی برسد و به صورت افقی در آبخوان حرکت کند. این پارامتر حجم آبی را که موجب پراکنش و رقیق‌سازی آلوده‌کننده در مناطق اشباع و غیراشباع می‌گردد، کنترل می‌کند. معمولاً هر چقدر تغذیه بیشتر باشد، پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی نیز بیشتر است. طبیعی است در صورتی که تغذیه بسیار کم باشد، احتمال آلودگی بسیار کاهش می‌یابد. در دشت حاجی‌آباد حدود ۸۵ درصد از کل سطح منطقه دارای ۱۷۷/۸ تا ۲۵۴ میلی‌متر در سال تغذیه هست و بیشترین مقدار تغذیه ۲۱۵ میلی‌متر در سال است. بنابراین در محدوده مطالعاتی پارامترهای هدایت هیدرولیکی و تغذیه خالص و بعد از آن عمق تا سطح ایستابی عوامل افزایش‌دهنده پتانسیل آسیب‌پذیری محسوب می‌شوند و با درجه تأثیر مناسب، مقدار شن و ماسه موجود در خاک سطحی و عمقی، باعث افزایش پتانسیل آلودگی هستند.



شکل (۴): نقشه امتیاز بندی پارامترهای (a) عمق آب زیرزمینی، (b) توپوگرافی، (c) محیط آبخوان، (d) هدایت هیدرولیکی، (e) تأثیر منطقه غیر اشباع، (f) محیط خاک، (g) تغذیه خالص، (h) هدایت الکتریکی  
Fig (4): Zoning map of parameters a) groundwater depth, b) topography, c) aquifer environment, d) hydraulic conductivity, e) effect of unsaturated area, f) soil environment, g) net nutrition, h) EC



شکل (۵): نقشه آسیب پذیری روش SINTACS و مقدار EC در چاه های مشاهداتی  
Fig 5: Vulnerability map of the drastic model and EC value in observation wells

نقشه اصلی روش SINTACS جهت ارزیابی آسیب پذیری با اعمال وزن های مربوط به هر پارامتر و تلفیق لایه ها با استفاده از تابع همپوشانی تهیه شد شکل (۵). با توجه به نقشه SINTACS میزان آسیب پذیری دشت از ۱۱۵ تا ۱۵۶ برآورد گردیده است، دشت در محدوده آسیب پذیری متوسط، متوسط تا زیاد و زیاد قرار دارد. طبق شکل (۵) طبقه بندی آسیب پذیری با روش SINTACS (سیویتا و مائو<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷؛ ۲۴۱) نشان می دهد که بخش های از مرکز دشت ( نزدیک روستاهای علی آباد و حاجی آباد) در طبقه زیاد و دامنه شمالی حوضه دشت حاجی آباد دارای طبقه متوسط است. بیشترین مساحت دشت در محدوده با آسیب پذیری متوسط تا زیاد قرار داشته است. جدول (۵) روش سینتاک نسبت به روش دراستیک انعطاف پذیری بیشتری دارد و احتمال آسیب پذیری را کمی بیشتر از روش دراستیک نشان داد. موسی زاده (۱۳۹۷: ۲۲) نیز در ارزیابی آسیب پذیری آبخوان روضه چای دشت ارومیه به نتایج دست یافت. مطالعه ای که در شمال کشور پرتغال به منظور کاربرد SI و DRASTIC برای تعیین آسیب پذیری آبخوان در مقابل آلودگی ناشی از فعالیت های کشاورزی توسط استیگر و همکاران (۲۰۰۶) انجام گرفته، نتایج آنها نشان داد که SI در مقایسه با DRASTIC نتایج قابل اعتمادتری را ارائه می دهد.

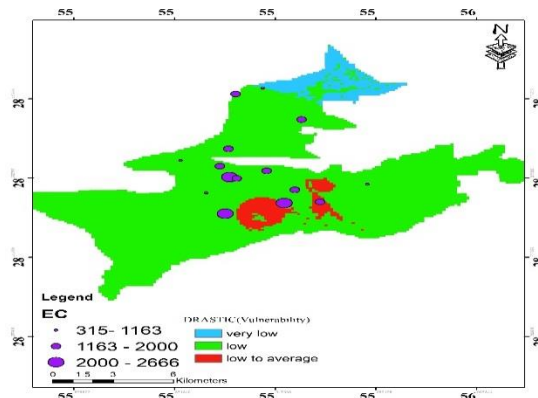
<sup>1</sup> Civita &Maio

جدول (۵): کلاس‌های آسیب‌پذیری و مساحت هر یک در دشت حاجی‌آباد

Table (5): Vulnerability classes and the area of each in Hajiabad plain

روش دراستیک		روش SINTACS		کلاس آسیب-	
مساحت (%)	مساحت (km <sup>2</sup> )	کلاس آسیب- پذیری	مساحت (%)	مساحت (km <sup>2</sup> )	کلاس آسیب- پذیری
۶/۵	۱۰/۲۳	خیلی کم	۵/۱	۸/۱	متوسط
۸۸/۹	۱۴۰/۶	کم	۸۵/۷	۱۳۵/۷۳	متوسط تا زیاد
۴/۶	۷/۲	متوسط	۸/۹	۱۴/۲	زیاد

نقشه اصلی روش دراستیک جهت ارزیابی آسیب‌پذیری با اعمال وزن‌های مربوط به هر پارامتر و تلفیق لایه‌ها با استفاده از تابع همپوشانی تهیه شد شکل (۵). با توجه به نقشه دراستیک میزان آسیب‌پذیری دشت از ۹۴ تا ۱۲۸ برآورد شد که بیش‌ترین آسیب‌پذیری در بخش‌های از مرکز دشت ( نزدیک روستاهای علی‌آباد و حاجی‌آباد) و کمترین در دامنه شمالی حوضه دشت حاجی‌آباد است و با توجه به محدوده شاخص آسیب‌پذیری دراستیک ارائه‌شده توسط آلر و همکاران (۱۹۸۷) که در جدول (۴) گردآوری شده است، آسیب‌پذیری منطقه مابین ۳ رده مابین کم خطر تا متوسط تقسیم می‌شوند.



شکل (۶): نقشه آسیب‌پذیری روش دراستیک و مقدار EC در چاه‌های مشاهداتی

Fig (6): Vulnerability map of Drastic model and EC value in observation wells

براساس نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که اطراف روستاهای علی‌آباد و حاجی‌آباد میزان پتانسیل آلودگی متوسط هست. مناطق مرکزی دشت دارای پتانسیل آلودگی زیادی هستند که دلیل آن به خاطر کم بودن عمق آب زیرزمینی، وجود بافت شن و ماسه در قسمت

غیراشباع و اشباع آبرفت هست. چرا که هر چقدر سطح اب زیاد باشد موجب می گردد تا زمان حرکت و امکان پالایش آلوده کننده کاهش می یابد و هر چه بافت خاکی که آلاینده از آن عبور می کند درشت تر باشد، امکان پالایش کمتر می گردد و سریع تر به منابع زیرزمینی می پیوندد.

### صحت سنجی و تحلیل حساسیت روش ها

روش های ارزیابی آسیب پذیری آبخوان باید صحت سنجی شوند تا درستی یا نادرستی تلفیق پارامترهای به کار رفته مشخص شود. در صحت سنجی هر چه تفاوت واقعی و اندازه گیری شده با نتایج پیش بینی شده توسط روش کمتر باشد، می توان نتیجه گرفت که ترکیب پارامترهای مورد استفاده درست هست ولی اگر روش در دوره های زمانی دیگر نتواند حوادث و شرایط حاکم بر آبخوان را شبیه سازی کند، فاقد اعتبار بوده و ترکیب پارامترهای به کار رفته درست نیست (چیت سازان و صمدی، ۱۳۸۱). با توجه به این واقعیت که عمده کودهای مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه از نوع املاح هستند، در نمونه های برداشت از ۲۲ چاه موجود در دشت حاجی آباد، یون های محلول و میزان هدایت الکتریکی اندازه گیری شدند. با توجه به اینکه ۹۶٪ منطقه اراضی کشاورزی و باغ است و در اثر استفاده از کودهای آلی میزان هدایت الکتریکی در این نواحی بالاتر از ۲۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر است و اندازه گیری نیترات امکان پذیر نبود برای صحت سنجی از این پارامتر استفاده شد. در شکل (۴-h) مقادیر هدایت الکتریکی به سه گروه (شبهه نقشه های خطرپذیری) تقسیم شدند. با توجه به این نقشه، مقادیر خیلی کم و کم هدایت الکتریکی در نواحی شمالی و شمال شرقی دشت واقع شده اند، در حالی که منطقه با مقدار هدایت الکتریکی متوسط و بیشتر از ۲۰۰۰ میکروزیمنس بر متر در مساحت کمی در مرکز دشت قرار دارد. این موضوع با طبقه بندی آسیب پذیری محدوده مطالعه، که توسط دراستیک و سینتاک حاصل شد، تطابق دارد. همان طور که در شکل های ۵ و ۶ ملاحظه می شود، مقادیر هدایت الکتریکی اندازه گیری شده بر روس نقشه های آسیب پذیری حاصل از روش دراستیک و روش SINTACS قرار داده شدند. با دقت در هر دو شکل مشخص می شود که مقادیر بالای هدایت الکتریکی در چاه ها، در مناطقی واقع شده اند که دارای حساسیت بیشتری برای آلودگی هستند که این موضوع در روش SINTACS نمایان تر است. همچنین چاه های با غلظت پایین هدایت الکتریکی، در مناطقی با پتانسیل آلودگی زیاد قرار نگرفته اند. نقشه آسیب پذیری نشان می دهد که روش SINTACS با داده های مشاهداتی هم خوانی بیشتری دارد و شرایط آلودگی در منطقه را



بهرتر نشان می‌دهد. به منظور بررسی دقیق‌تر و همچنین مقایسه‌ی دوباره‌ی روش‌های کلاسیک استفاده شده در این پژوهش، از روش محاسبه‌ی شاخص همبستگی (CI) در آبخوان و داده‌های هدایت الکتریکی استفاده شد. به این منظور مقادیر هدایت الکتریکی به سه دسته‌ی هدایت الکتریکی کم، متوسط و زیاد تقسیم شد. سپس تعداد چاه‌هایی که مقادیر EC آن با نقشه‌های آسیب پذیری ارزش یکسانی دارند و در یک گروه قرار دارند به ۳ ضرب می‌شوند، آن تعداد از چاه‌هایی که مقادیر EC و گروه آسیب پذیری آن به مقدار ۱ و ۲ اختلاف دارند به ترتیب در ۲ و ۱ ضرب می‌شوند. سپس مقادیر حاصل با هم جمع بسته می‌شوند و شاخص همبستگی (CI) به دست می‌آید که این می‌تواند همبستگی بین روش‌های ارزیابی آسیب پذیری و مقادیر EC را نشان دهد. CI بیشتر به معنای همبستگی بیشتر است (ندیری، ۲۰۱۳). انطباق چاه‌های با سه سطح آلودگی EC و دسته‌های آسیب پذیری پیش بینی شده توسط روش‌های DRASTIC و SINTACS در جدول (۶) برای آبخوان حاجی‌آباد آورده شده است. براساس این جدول مقدار ضریب همبستگی بین نقشه تولید شده با استفاده از روش دراستیک با نقشه هدایت الکتریکی، ۳۹ و همین مقدار برای منطقه فازی ۳۵ به دست آمد که تفاوت ناچیزی با یکدیگر دارند. پس می‌توان نتیجه گرفت که هر دو روش تقریباً مشابه هم عمل کردند. اما به طور کلی این مقدار ضریب همبستگی نزدیک بهم هستند و نمی‌توان به قطعیت بیان کرد که کدام روش بهتر و عملکردش بالاتر بوده است که با نتایج رضانی سربندی و همکاران (۱۳۹۶) و اصغری مقدم و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد.

جدول (۶): تطبیق چاه‌های اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در سه سطح آلودگی با روش‌های دراستیک و

#### SINTACS

Table (6): Adaptation of Electrical Conductivity measuring wells in three levels of pollution with DRASTIC and SINTACS methods

روش	دسته‌بندی	غلظت هدایت الکتریکی			CI
		کم	متوسط	زیاد	
دراستیک	کم	۱	۰	۰	۳۹
	متوسط	۳	۷	۲	
	زیاد	۰	۱	۱	
SINTACS	کم	۱	۰	۰	۳۵
	متوسط	۰	۳	۰	
	زیاد	۳	۵	۳	

#### ۴. نتیجه گیری

با توجه به اهمیتی که کیفیت آب در سلامتی انسان و یا کاربرد در مصارف مختلف دارد، می بایست مطالعات علمی، اصولی و هدفمند و جامعی از منابع آب منطقه و بررسی های دقیق بر روی کیفیت آب صورت گیرد تا مقدمات لازم برای مدیریت و استفاده بهینه از منابع آب، مقابله با خطرات و بهبود کیفیت صورت گیرد. به منظور دست یابی به یک روش مناسب جهت حفاظت منابع آب زیرزمینی از آلودگی هایی که در آینده آن ها را تهدید می کند، ارزیابی آسیب پذیری آب های زیرزمینی توسعه یافته اند. در حال حاضر روش های مختلفی جهت پتانسیل یابی آلودگی آب های زیرزمینی وجود دارد. در این تحقیق آسیب پذیری آبخوان با استفاده از روش های DRASTIC و SINTACS بررسی شده است و به منظور صحت سنجی نتایج روش های استفاده شده، از داده های غلظت هدایت الکتریکی استفاده شد. نتایج نشان داد که شاخص دراستیک دشت حاجی آباد بین ۹۴ تا ۱۲۸ بدست آمد و بیشترین آسیب پذیری بخش مرکزی و کمترین مقدار بخش های دیگر را شامل می شود. شاخص آسیب پذیری روش SINTACS برای منطقه مورد مطالعه ۱۱۵ تا ۱۵۶ متغیر بوده و در سه محدوده متوسط، متوسط تا زیاد و زیاد قرار می گیرد. در این تحقیق هر دو روش، پتانسیل خطر پذیری را در آبخوان حاجی آباد با دقت تقریباً یکسانی پیش بینی شد. با داشتن شاخص همبستگی بین داده های نقطه ای هدایت الکتریکی و نقشه آسیب پذیری نشان داد که روش سینتاک نسبت به روش دراستیک آسیب پذیری را بهتر فراهم کرده است. پتانسیل آلودگی در هر دو روش مورد مطالعه در مناطق شمالی و جنوبی پایین بوده این می تواند ناشی از زیاد بودن عمق آب زیرزمینی و هدایت هیدرولیکی پایین می باشد. از مقایسه روش ها با تعیین ضریب تعیین بین غلظت هدایت الکتریکی و پارامترهای آسیب پذیری نشان داد که بیشترین همبستگی در لایه ی شیب، عمق تا سطح ایستابی و جنس محیط غیر اشباع شده است.

#### ۵. منابع و مأخذ

1. Akhavan S, Mousavi SF, Abedi-Koupia J and Abbaspour K. (2011). Conditioning DRASTIC model to simulate nitrate pollution case study: Hamadan-Bahar plain. *Environmental Earth Science* 63: 1155-1167.
2. 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.
3. Aller, L., T. Bennet, J.H. Lehr, R.J. Petty, and G. Hackett. (1987). DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological settings. EPA/600/2-87/035. *US Environmental Protection Agency, Ada, OK, USA*.
  4. Anane, M., Abidi, B., Lachaal, F., Limam, A., Jellali, S. (2015). GIS-based DRASTIC, Pesticide DRASTIC and the Susceptibility Index (SI): comparative study for evaluation of pollution potential in the Nabeul-Hammamet shallow aquifer, Tunisia. *Journal of Hydrogeology*, 21(3): 715-731.
  5. Asghari moghadam A, Nadiri A, Paknia V.(2015). Vulnerability Assessment of Bostan Abad Plain Qquifer by DRASTIC and SINTACS Models. *Journal of Hydrogeomorphology*,3(8),21-52
  6. Bouwer, H. (1978). *Grondwater Hydrology*. McGraw-Hillpub. U .S. A.
  7. Cameron E and Peloso GF. (2001). An application of fuzzy logic to the assessment of aquifer's pollution potential. *Environmental Geology* 40: 1305-1315.
  8. Chitsazan M and Akhtari Y. (2009). A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kherran plain, Khuzestan, Iran. *Water Resource Management* 23: 1137-1155.
  9. Civita M. (1994). Le carte della vulnerabilita` degli acquiferi all'inquinamento. *Teoria & pratica (Aquifer vulnerability maps to pollution) (in Italian)*, Pitagora Ed, Bologna, 325.
  10. El-Naqa, A., Hammouri, N. & Kioso, M. (2006). GIS Based Elevation of Groundwater Vulnerability in the Russefia Area Jordan, *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, 23(3): 277-287.
  11. Foster, S. S. D. (1987). Fundeamntal concept in aquifer vnlnterability, pollution risk and protection strategy. *Vulnerablitily of soil and groundwater topollutants*,38:69-86
  12. Jang W, Engel B, Harbor J, Theller, L.(2020). Integrated environmental modeling for efficient aquifer vulnerability assessment using machine learning. *Environmental Modelling & Software*.124(4):678-688.
  13. Kozłowski M, Sojka M. (2019). Applying a Modified DRASTIC Model to Assess Groundwater Vulnerability to Pollution: A Case Study in Central Poland. *Pol. J. Environ. Stud.* 28(3): 1223-1231.
  14. Maqsoom A, Aslan B, Khalil U, Ghorbanzadeh O, Ashraf H,



- Tufail R, Farooq D, Blaschke T. (2020). A GIS-based DRASTIC Model and an Adjusted DRASTIC Model (DRASTICA) for Groundwater Susceptibility Assessment along the China–Pakistan Economic Corridor (CPEC) Route. *SPRS Int. J. Geo-Inf*, 9(5): 332-344.
15. Margat, J. (1968). *Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution*. BRGM Publication, 68.
  16. Mosazadeh R. (2017). *Hydrochemical evaluation and vulnerability of Chai Dasht aquifer in Urmia plain*. Master Thesis in Hydrogeology, Urmia University.
  17. Nadiri A, Sedghi Z. (2018). Vulnerability assessment of multiple aquifers using DRASTIC and SINTACS practical frameworks. *Journal of Hydrogeology*, 4 (2), 171-188
  18. Nadiri A.A, Asghari Moghaddam A, Tsai F, & Dixon B.(2013). Optimization of DRASTIC Method by Supervised Committee Machine Artificial Intelligence to Assess Groundwater Vulnerability for Maragheh-Bonab Plain Aquifer, Iran. *Journal of hydrology*. 530: 89-100
  19. Nadiri, A.A., Gharekhani, M., Khatibi, R .(2018a). Mapping aquifer vulnerability indices using artificial intelligence-running multiple frameworks (AIMF) with supervised and unsupervised learning. *Water Resour. Manage*, 32(9):3023-3040
  20. Nadiri, A.A., Sedghi, Z., Khatibi, R., Sadeghfam, S .(2018b). Mapping specific vulnerability of multiple confined and unconfined aquifers by using artificial intelligence to learn from multiple DRASTIC frameworks. *Journal Environ Manage*, 227:415-428
  21. Panagopoulos, G., A. Antonakos, and N. Lambrakis. (2005). Optimization of DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment, by the use of simple statistical methods and GIS. *Hydrogeology Journal (published online)*.
  22. Panagopoulos, G., A. Antonakos, and N. Lambrakis. (2005). Optimization of DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment, by the use of simple statistical methods and GIS. *Hydrogeology Journal (published online)*.
  23. Pathak DR, Hiratsuka A, Awata I and Chen L. (2008). GIS base Fuzzy optimization method to groundwater vulnerability evaluation. Pp 2716-2719. *Proceeding of The 2<sup>nd</sup> international Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering* .16-18 May, Shanghai, China.



24. Qian, H., P. Li, KWF. Howard, C. Yang, and X. Zhang .(2012). Assessment of groundwater vulnerability in the Yinchuan Plain, northwest China using OREADIC. *Environ Monitoring Assess* 184(6):3613–3628.
25. Rahman, A. (2008). A GIS based model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Algarh, India. *Applied Geography* 28 (1): 32-53
26. Rahman, A. (2008). A GIS based model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Algarh, India. *Applied Geography* 28 (1): 32-53
27. Rajput H, Goyal R, Brighu U. (2020). Modification and optimization of DRASTIC model for groundwater vulnerability and contamination risk assessment for Bhiwadi region of Rajasthan, India. *Environmental Earth Sciences*,42: 79-86
28. Ramezani sarbandi M, Ghazavi R, Dokhani S, Mortazavi M.(2016). The Investigation of the Groundwater Vulnerability to Pollution Using DRASTIC and GODS Models (A Case Study: Rafsanjan Plain). *Journal of Hydrogeomorphology*,4(10),65-80
29. Rezaei, F., Safavi, H.R., Ahmadi, A .(2013). Groundwater vulnerability assessment using fuzzy logic: a case study in the Zayandehrood aquifers, Iran. *Environmental management*, 51(1):267-277.
30. Saidi Salwa, Bouri Salem and Ben Dhia Hamed. (2011). Sensitivity analysis in groundwater vulnerability assessment based on GIS in the Mahia-Ksour Essaf aquaifer, Tunisia: a validation study. *Hydrological Sciences Journal*. 56(2): 288-304
31. Scanlon, B.R., Healy, R.W., Cook, P.G .(2002). Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*,10(1):18-39.
32. Sharadqah, S .(2017). Contamination Risk Evaluation of Groundwater in the Canton of Portoviejo-Ecuador, using Susceptibility Index and two Intrinsic Vulnerability Models. *American Journal of Environmental Sciences*, 13(1):65-76.
33. Soyaslan I. (2020) Assessment of groundwater vulnerability using modified DRASTIC-Analytical Hierarchy Process model in Bucak Basin, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*. 13(1127).