

تهیه نقشه آسیب پذیری آلودگی آبخوان بقیع خراسان رضوی به دو روش cop و Paprika با استفاده از سنجش از دور و GIS

محمدعلی زنگنه اسدی^۱، نادیا بقائی نژاد^{۲*}، شیرین غلامپور^۲، علی بهشتی قله زو^۳

چکیده

آبخوانهای کربناته در مقیاس جهانی از مهمترین منابع تامین کننده آب می باشند. ارزیابی آسیب پذیری و تهیه نقشه پهنه بندی خطر، راهکاری مهم در مدیریت منابع آب کارست به شمار می رود. گاهی به دلیل نازک بودن ضخامت خاک، جریان متمرکز در اپی کارست و تغذیه نقطه ای از طریق حفره های بلعنده نسبت به آلودگیها آسیب پذیرتر هستند. هدف از این پژوهش، تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان حوضه بقیع نیشابور در برابر انتشار آلودگی با استفاده از دو شبیه COP و PaPRIKa و ارائه راهکارهای مدیریتی برای حفظ این منابع است. فراسنجهای مربوط به هر دو روش مذکور در محیط نرم افزار GIS تعیین و بعد از یکسان سازی مقیاس و ترکیب لایه ها فراسنجهای بر طبق جداول یک و دو برای ارزش گذاری شدند و در نهایت نقشه آسیب پذیری برای هر دو روش بدست آمد. و در نهایت نتایج مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. بر طبق نتایج بدست آمده از روش PaPRIKa منطقه مورد مطالعه از نظر میزان آسیب پذیری به سه رده خیلی زیاد، زیاد و متوسط پهنه بندی گردید که به ترتیب ۸.۹ درصد، ۶۳.۸ درصد و ۲۷.۲ درصد از مساحت منطقه را در بر گرفته اند. نتایج نشان داد که شاخص COP برای منطقه مورد مطالعه بین ۰.۵ تا ۱۲ متغیر می باشد. بنابراین محدوده مورد مطالعه از نظر آسیب پذیری به چهار رده مختلف پهنه بندی گردید که عبارتند از: آسیب پذیری زیاد، متوسط، کم و خیلی کم که به ترتیب ۹.۸ درصد، ۵۰ درصد، ۲۵.۶ درصد و ۱۴.۶ درصد از مساحت منطقه را در بر گرفته اند.

واژه‌های کلیدی: آسیب پذیری، حوضه بقیع، کارست، نمایه COP، روش PaPRIKa

^۱ - دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

^۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

^۳ - دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

* - نویسنده مسوول مقاله: n.baghaei1990@gmail.com

مقدمه

نگهداری محیط‌های آبی بخصوص آب‌های زیر زمینی معضلی است که امروزه بشر با آن درگیر است (مظفری زاده و سجادی، ۱۳۹۱). اشکال و فرایندهای زمین ریخت-شناسی از مهمترین عوامل تأثیرگذار در شکل گیری و حجم منابع آب زیرزمینی محسوب می شوند. از میان این اشکال، اشکال کارستیک و همچنین عوامل تکتونیکی هر منطقه نقش مهمی در نفوذپذیری و تغذیه آب‌های زیرزمینی ایفا می کنند (کریشناورثی و سرینیواس، ۱۹۹۵). نفوذ آلاینده ها به درون سامانه آب زیرزمینی را آسیب پذیری می نامند. آسیب پذیری از نظر مفهومی به دو دسته ذاتی و ویژه تقسیم بندی می شود (افروزی و محمد زاده، ۱۳۹۲). و این آسیب پذیری می تواند وابسته به تأثیرات انسانی و طبیعی باشند (وربا و زاپورازس، ۱۹۹۴). ساختار سامانه‌های کارست بسیار پیچیده و ناهمگن می باشند (منجین، ۱۹۹۵؛ باکالوویژ، ۱۹۹۵؛ فورد و ویلیلمز، ۲۰۰۷ و وایت، ۲۰۰۷). و با وجود این پیچیدگی آلودگی می تواند به سرعت به آب‌های زیرزمینی وارد شود و در مجاری کارستی و در مسافت‌های طولانی مهاجرت نماید (گلداسچیر، ۲۰۰۵). سرعت نفوذ آب در سامانه‌های کارستی می تواند تحت تاثیر ویژگی‌هایی نظیر رسوبات پوشاننده این سامانه‌ها باشد (اندرو و همکاران، ۲۰۰۹؛ زوواهلن، ۲۰۰۴). در مناطق کارستی آب جمع شده در حفره‌های بسته کارستی یا فرو چاله‌ها از راه چاه های فروکش بطور مستقیم به مجراهای زیرزمینی نفوذ می کند (قربانی و اونق، ۱۳۹۱). به دلیل اینکه پاکسازی آبخوانهای کارستی نسبت به سایر منابع مستلزم زمان و هزینه زیادی می باشد، حفاظت از آبخوانهای کارستی و ارزیابی این منابع بسیار مهم و حیاتی می باشد (افراسیابیان، ۲۰۰۷). علاوه بر ارزیابی آسیب پذیری تهیه نقشه خطر و پهنه بندی منطقه راهکاری مهم در مدیریت منابع آب کارستی می باشد (عباسی و محمدی، ۱۳۹۲). نگهداری و حفظ آب‌های زیرزمینی نه تنها برای شرب انسان مهم است بلکه برای حفظ جریان پایه رودها در هر منطقه ضروری می باشد (پیری و بامری، ۱۳۹۳). مدیریت آب‌های زیرزمینی کارستی، نقش بسیار مهمی بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک دارد (دیجونگ، ۲۰۱۱). منابع آب زیرزمینی،

به مدیریت کمی و کیفی این منابع نیازمند است. مطالعه سازندهای کارست از آن جهت که ۲۰٪ از مساحت کره زمین بر روی سازندهای کارستی واقع شده است و آب مورد نیاز جمعیت قابل توجهی از جهان را تامین می کند حائز اهمیت است. بدین ترتیب در این پژوهش از دو روش PaPRIKa و COP در محیط GIS استفاده شده است. روش PaPRIKa ویژگیهای کارست را در ارزیابی آسیب پذیری آبخوان در نظر می گیرد که این خصوصیات شامل عامل P (لایه های بالایی محافظ آب‌های زیر زمینی)، عامل R (نوع سنگ در ناحیه اشباع)، عامل I (نفوذ سطحی)، و عامل Ka (ویژگیهای کارست) می باشند (کاووری و همکاران، ۲۰۱۱). روش COP برای ارزیابی آسیب پذیری ذاتی آبخوانهای کربناته در چهارچوب استاندارد اروپایی European COST Action ۶۲۰ ارائه شده است. این روش خصوصیات لایه‌های پوشاننده سطح آب زیرزمینی (عامل O)، تجمع جریان آب زیرزمینی (عامل C) و بارش بر روی آبخوان (عامل P)، را به عنوان فراسنجهای ارزیابی آسیب پذیری ذاتی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می دهد (باقرزاده و همکاران، ۱۳۸۹). در سالیان گذشته روشهای EPIK و PI بطور ویژه برای ارزیابی آسیب‌پذیری در نواحی کارستی ارائه شده اند، اما نتایج آنها چندان رضایت بخش نبوده است (گلداسچیر، ۲۰۰۵). ویاس و همکاران، (۲۰۰۵) روش COP را به منظور ارزیابی آسیب پذیری ذاتی آبخوانهای کربناته ارائه دادند که نتایج قابل قبولی بدست آوردند. کاووری و همکاران (۲۰۰۶) روش جدیدی برای ارزیابی آسیب پذیری در مناطق کارستی جنوب فرانسه ارائه داده و آن را PaPRIKa نام نهادند. مارین و همکاران (۲۰۱۲) دو روش COP و Paprika را در مناطق اسپانیا و فرانسه مورد مقایسه قرار دادند. آنها در پی نتایج خود به موثر بودن این دو روش نسبت به روشهای دیگر در ارزیابی آبخوانهای کارستی دست یافتند. چالیکاکیس و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی سهم روشهای ژئوفیزیکی در اکتشاف سامانه‌های کارستی پرداختند. آنها پس از انجام آزمایشات ژئوفیزیکی پی بردند که این آزمایشات جز روشهای رایج برای کشف آبخوانهای کارستی می باشند. وجه مشخصه این مقاله مقایسه این دو روش در ارزیابی آسیب پذیری آبخوانهای کارستی نسبت به

شکستگیها) و آبخوان اپی کارستی هستند. نقشه P در روش PaPRIKa از ترکیب زیر عاملهای فوق بدست می آید. در نقشه R (نوع سنگ)، لیتولوژی و میزان شکستگی در ناحیه اشباع مورد توجه است.

نقشه I (نفوذ سطحی)، بیانگر تمرکز انتشار نفوذ سطحی و میزان شیب است. نقشه Ka (توسعه کارست شدگی) تعیین کننده ظرفیت زهکشی و شبکه مجاری کارست است که بر پایه تحلیل آب نگار و یا آزمون ردیابهای مصنوعی قرار دارد. برای محاسبه شاخص آسیب پذیری، چهار نقشه یاد شده با استفاده از اعمال ضرایب طبق رابطه زیر ترکیب میشود:

$$\text{PaPRIKa Index} = 0.2 P + 0.2 R + 0.4 I + 0.2 Ka$$

عاملهای ذکر شده در هر کدام از روشها در محیط GIS ایجاد شده و بعد از یکسان سازی مقیاس و ترکیب لایه ها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت و نقشه نهایی مربوط بر اساس جدول مربوطه ارزش گذاری و حاصل شد (جدول ۱).

روش COP بخصوصیات حوضه کارستی توجه دارد، لایه-های مورد نیاز با توجه به الگوی روش COP ایجاد شدند (ویاس، ۲۰۰۶). در این روش خصوصیات لایه های پوشاننده سطح آب زیرزمینی (عامل O)، تمرکز جریان آب زیرزمینی (عامل C)، و بارش بر روی آبخوان (عامل P)، را به عنوان فراسنجهای ارزیابی آسیب پذیری ذاتی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می دهد (باقرزاده و همکاران، ۱۳۸۹). عامل O نشان دهنده ظرفیت خاک پوشاننده آبخوان (بافت و ضخامت) و سنگ شناسی ناحیه غیراشباع (شکستگی، ضخامت هر لایه و شرایط محدوده) است. برای عامل C، زمین ریخت شناسی کارست، شیب و پوشش گیاهی مورد توجه است. عامل p، متغیرهای مکانی و زمانی بارش را مورد توجه قرار می دهد که در انتقال آلودگی بخصوص در آبخوانهای بزرگ نقش ایفا می کند. شاخص آسیب پذیری COP، از ضرب عاملهای فوق بدست می آید (رابطه ۱) (جدول ۲).

$$\text{COP index} = C.O.P \quad \text{رابطه (۱)}$$

هر دو روش COP و PaPRIKa به خصوصیات حوضه‌های کارستی توجه دارد، لایه های مورد نیاز با توجه به الگوی روش COP و PaPRIKa در محیط نرم افزار GIS تعیین و

روشهای بکار برده شده در پژوهشهای قبلی می باشد که نتایج نشان دهنده‌ی مناسب بودن دو روش COP و Paprika برای ارزیابی مناطق مستعد آلودگی به ویژه آبخوانهای کارستی می باشد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه کارستی بقیع در شمال غرب نیشابور قرار دارد. این حوضه با مساحتی حدود ۶۶۶۳ هکتار در فاصله ۳۲ کیلومتری شمال غرب شهر نیشابور بین مدار ۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۶۱ دقیقه عرض شمالی و نصف النهار ۵۸ درجه ۶۵ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۶۶ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه برابر ۲۴۷/۴ میلی متر می باشد و دارای اقلیم نیمه خشک می باشد. این حوضه با ارتفاع متوسط ۲۰۲۰ متر از سطح دریا، از زیر حوضه های آبخیز کویر مرکزی ایران می باشد. از نظر زمین شناسی این حوضه دارای سازندهای زمین شناسی چمن بید، کشف رود، مزدوران و نهشته‌های دوران چهارمی می باشد. (درویش زاده، ۱۳۷۱).

مواد و روش ها

هر دو روش COP و PaPRIKa برای تعیین آسیب پذیری و تعیین آلودگی در آبخوانهای کارستی طراحی شده اند. و بر پایه انواع متغیرهای مبنی بر خصوصیات فیزیکی پهنه های اشباع و غیر اشباع قرار دارند. روش PaPRIKa ویژگیهای کارست را در ارزیابی آسیب پذیری آبخوان در نظر می گیرد که این خصوصیات شامل عامل P (لایه های بالایی محافظ آبهای زیر زمینی)، عامل R (نوع سنگ در ناحیه اشباع)، عامل I (نفوذ سطحی)، و عامل Ka (ویژگیهای کارست) می باشند (کاووری و همکاران، ۲۰۱۱). که عامل P خود از چهار زیر عامل (تراوایی سازند) Ca (پوشش خاک) S، (ناحیه اپی کارست) E، و (ترکیبی از جنس سازند، ضخامت و شکستگی در ناحیه غیر اشباع) UZ تشکیل شده است. نقشه P (نقشه حفاظت)، به حفاظت آبخوان آب به وسیله‌ی لایه های پوشاننده سطحی توجه دارند. این لایه شامل: خاک (بافت و ساخت و ضخامت)، ناحیه غیر اشباع (ضخامت، لیتولوژی و میزان

ابتدا نقشه شیب منطقه تهیه گردید و ارزش گذاری با توجه به آن انجام شد (شکل ۴).

عامل Ka

این عامل میزان کارستی شدن منطقه را نشان می‌دهد. در شبیه PaPRIKa بر اساس مساحت منطقه، مشاهدات و بررسیهای میدانی ارزش گذاری انجام می‌شود. کارستی شده پدیده ای است فرسایشی که ساز و کار آن انحلال و خوردگی توده سنگهای کربناته به وسیلهی اسید کربنیک محلول در آبهای جاری و زیرزمینی می‌باشد. مسلماً توسعهی کارست در آب و هوای سرد بیشتر از آب و هوای گرم است، چه افزایش، چه، دما باعث تشدید واکنشهای شیمیایی و کاهش مقدار CO₂ محلول در آب می‌گردد. هرچه کارست توسعه یافته تر باشد، میزان نفوذ آلودگی بیشتر است؛ زیرا شکافها و سوراخهای بلع گسترده گردیده و سبب می‌شود که میزان تماس آب نفوذی با سطح سنگ کمتر و نفوذ سریعتر انجام گیرد؛ در این حالت آلودگی بیشتر و سریعتری به آبخوان منتقل می‌شود. با توجه به جدول (۱) به کل منطقهی مورد مطالعه ارزش یکسان تعلق می‌گیرد.

نقشه‌ی آسیب پذیری با کار برد روش PaPRIKa

برای تهیهی نقشه‌ی نهایی در نرم افزار GIS تمام نقشه‌های به دست آمده در مراحل قبل با هم ضرایب مورد نظر بر طبق جمع گردید و نقشه‌ی آسیب پذیری مطابق شکل ۵ تهیه شد.

تهیهی لایه‌ها با کاربرد COP:

لایه‌ی تمرکز جریان (عامل C): این عامل نشانگر میزان بارندگی است که در حفرات فرورونده، متمرکز گردیده و از ناحیه‌ی غیراشباع پر می‌شود (ویاس، ۲۰۰۶). تمرکز جریان برای مناطق کارستی در قالب دو نمایشنامه تعریف شده است، که با توجه به خصوصیات آب وزمین ریخت شناسی، و همچنین زمین شناسی ساختمانی منطقه، یکی یا هر دو نمایشنامه انتخاب و اجرا می‌شود. جهت ارزیابی عامل C نیاز به تهیهی دو نقشه‌ی زیر عامل

پس از آن تمام لایه‌ها با یکدیگر ترکیب شدند و در نهایت با توجه به جدول یک و دو ارزش گذاری شدند. و نقشه آسیب پذیری به هر دو روش تهیه گردید (ویاس، ۲۰۰۶)

بحث

تهیه لایه‌های روش PaPRIKa

عامل P

برای به دست آوردن این عامل باید از ۴ زیر عامل UZ,S,CA و E استفاده کرد. نقشه مربوط به هر کدام از زیرعاملها در محیط نرم افزار GIS تهیه شد و بعد از یکسان سازی با هم تلفیق گردید. در این عامل، زمین-شناسی منطقه اهمیت زیادی دارد. سنگهای رخنمون یافته در حوضه بقیع بیشتر مربوط به دوران دوم زمین-شناسی هستند. سه سازند اصلی در این حوضه وجود دارد. سازندچمن بید (Jch) دارای سنگ شناسی آهک ریز بلور با میان لایه‌های پلمه سنگ تیره رنگ، سازند کشف رود (Jks) باسنگ شناسی پلمه سنگ و پلمه سنگ های لایسی و ماسه سنگ نازک و سازند مزدوران (Jm) با سنگ‌شناسی آهک و دو دارای بافت متوسط خاکستری همراه پلمه سنگ و آهکرس، همچنین در این حوضه، آبرفت (Qal) در مسیر رود دیده می‌شود. زمین ریخت شناسی کارست در سازند مزدوران که دارای کربنات زیادی است، بیشتر دیده می‌شود (شکل ۲). با توجه به جدول (۱) زیرعاملها ارزش-گذاری شده و تلفیق می‌گردند.

عامل R

در این عامل نوع سنگ و میزان شکستگی آن در ناحیه اشباع بررسی می‌شود با توجه به زمین شناسی منطقه که ذکر گردید ارزش گذاری به صورت زیر انجام می‌شود (جدول ۳، شکل ۳).

عامل I

عامل I به میزان نفوذ پذیری سازند ها و شیب آنها بستگی دارد (جدول ۴)، هر چه شیب کمتر باشد، کارست توسعهی یافته، تعداد نقاط بلع بیشتر شده، نفوذ زیادتری صورت می‌گیرد. برای به دست آوردن نقشه‌ی عامل I

باشد. بعد از مشخص کردن نوع بافت خاک با در نظر گرفتن ضخامت خاک در منطقه، به هر نمونه یک ارزش داده شد.

سنگ شناسی (O_1): به منظور تهیه نقشه سنگ شناسی، به سنگ شناسی هر لایه موجود در ناحیه غیراشباع یک ارزش داده شده، و با توجه به ضخامت هر لایه، مطابق با رابطه (۱) (کاربرد این رابطه مانند روش AVI و PI می‌باشد) یک نمایه به دست می‌آید، که بعد از تهیه‌ی بانک اطلاعاتی در محیط اکسل، و تبدیل به شکل قابل قبول در محیط GIS درون یابی، طبقه بندی و ارزش گذاری می‌شود. در مرحله‌ی بعد، رتبه فراسنج CN برای منطقه‌ی مورد مطالعه مشخص می‌شود، که برای منطقه‌ی مورد مطالعه، به علت آزاد بودن آبخوان، برابر با یک بوده و در نقشه‌ی مرحله قبل ضرب می‌شود؛ در نتیجه، نقشه‌ی نهایی O_1 حاصل می‌گردد. در نهایت، نقشه‌ی های خاک و سنگ شناسی همپوشانی و طبقه بندی شدند و نقشه‌ی لایه‌ی های پوششی حاصل گردید. همان طور که در شکل (۷) مشاهده می‌گردد، قسمت‌های جنوبی و مرکزی حوضه، حفاظت زیادی را در برابر آسیب پذیری آبخوان ایجاد می‌کنند (که با رنگ قرمز و سبز مشخص شده‌اند).

لایه‌ی بارش (عامل p): این عامل شامل مقدار بارش و شرایطی است که نرخ نفوذ را افزایش می‌دهند مانند: تناوب، توزیع زمانی، مدت و شدت بارشهای سیل آسا، این عامل به تعیین توانایی بارش برای حمل آلاینده‌ها از سطح به آب زیرزمینی کمک می‌کنند (ویاس و همکاران، ۲۰۰۶). این عامل به دو زیر عامل مقدار بارش (pq) و توزیع زمانی بارش (pi) ارزیابی می‌گردد.

مقدار بارش (pi): متداولترین و در عین حال مناسبترین روش‌های محاسبه‌ی مقدار بارش، حوضه‌ای از طریق ترسیم، نقشه‌ی همباران میسر می‌گردد، بدین منظور، اقدام به ترسیم نقشه‌ی مزبور جهت محاسبه‌ی مقدار بارش منطقه مورد مطالعه گردید، در نتیجه، نقشه‌ای که تمام حوضه‌ی آبخیز را در بر گرفته و دارای مقیاس و رقوم ارتفاعی مناسب می‌باشد (شبیه رقومی بارش drm) که جهت ترسیم بهتر خطوط همباران الزامی است. بعد از تهیه‌ی شبیه رقومی بارش drm منطقه‌ی مورد مطالعه،

سطحی (S_f) شیب و پوشش گیاهی (S_v) می‌باشد تا نقشه نهایی عامل C آماده گردد.

عوارض سطحی (S_f): فراسنج عوارض سطحی آن دسته از اشکال زمین ریخت شناسی مختص به سنگهای کربناته و حضور یا فقدان هر گونه لایه پوشاننده‌ی (نفوذپذیر یا نفوذناپذیر) را که تعیین کننده‌ی اهمیت فرایندهای رواناب و یا نفوذ می‌باشد، در نظر می‌گیرد. عوارض سطحی منطقه‌ی کارستی بقیع، با توجه به وجود خطواره‌ها و شکستگیها، و وجود لایه‌ی های پوشاننده‌ی نفوذپذیر یا نفوذناپذیر، و مطابق با معیارهایی که در شکل (۱) آمده‌اند، به بخشهای مختلفی تقسیم گردیده و در نهایت نقشه‌ی های عوارض سطحی و شیب- پوشش گیاهی همپوشانی و طبقه بندی شده و نقشه‌ی تمرکز جریان حاصل گردید (شکل ۲) با توجه به شکل (۲)، نواحی که با رنگ سبز مشخص شده‌اند، نشان دهنده‌ی تأثیر بیشتر عامل C به این معنی که درجه‌ی حفاظت آبخوان کارستی کمتر می‌گردد، و برعکس آن نواحی که با رنگ قرمز مشخص شده‌اند نشان دهنده‌ی تأثیر کمتر C، و در نتیجه حفاظت آبخوان کارستی بیشتر لازم می‌گردد.

لایه پوشش (عامل O): این لایه حفاظت آبخوان را در نظر گرفته و به وسیله خصوصیات فیزیکی و ضخامت لایه‌ی های بالای منطقه غیراشباع نمایان می‌شود. در روش COP فقط دو عامل با نقش آب و زمین شناسی به منظور ارزیابی عامل O در نظر گرفته می‌شود که شامل خاک (O_s) و سنگ شناسی لایه‌ی های ناحیه‌ی غیراشباع (O_L) می‌باشد (ویاس، ۲۰۰۶).

خاک (O_s): به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی خاک منطقه‌ی مورد مطالعه، پس از انجام عملیات میدانی مشخص شد که به علت کوهستانی بودن، پوشش خاکی ضخیم فقط در نواحی آبرفتی حوضه‌ی مورد مطالعه، و در بستر رود موجود بود و در دیگر مناطق حوضه پوشش نازکی از خاک دیده می‌شد، که بعد از تحلیل و نمونه گیری نوع بافت منطقه مشخص گردید.

بافت خاک در حوضه بقیع از بالا دست به سمت پایین دست، از ریگی به ماسه‌ای، و در نهایت خاک با بافت متوسط تغییر می‌کند. بطور کلی، پوشش خاکی منطقه‌ی مورد مطالعه دارای بافت دارای بافت متوسط- لایه‌ی می-

نتیجه گیری

در این تحقیق، با استفاده از GIS و سنجش از دور، آسیب پذیری آبخوان کارستی بقیع با کاربرد دو روش PaPRIKa و COP ارزیابی شد. عوامل این دو روش در محیط GIS تهیه، ارزش گذاری، طبقه بندی و همپوشانی شدند؛ در نتیجه، نقشه‌ی نهایی آسیب پذیری آبخوان مذکور حاصل گردید.

برطبق نتایج به دست آمده از روش PaPRIKa، منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر میزان آسیب پذیری به سه رده‌ی خیلی زیاد، زیاد و متوسط پهنه بندی گردید، که به ترتیب ۸/۹ درصد، ۶۳/۸ درصد و ۲۷/۲ درصد از مساحت منطقه را در بر گرفته اند.

نمایه شاخص COP، برای منطقه‌ی مورد مطالعه بین ۰/۵ تا ۱۲ متغیر است. بنابراین، محدوده‌ی مورد مطالعه از نظر آسیب پذیری به چهار رده‌ی مختلف پهنه بندی گردید که عبارتند از: آسیب پذیری زیاد، متوسط، کم و خیلی کم که، به ترتیب ۹/۸ درصد، ۵۰ درصد، ۲۵/۶ درصد و ۱۴/۶ درصد از مساحت منطقه را در بر گرفته اند.

تغییرات میزان آسیب پذیری با زمین ریخت شناسی کارست منطقه و نیز با میزان توسعه‌ی کارست منطقه ارتباط مستقیمی دارد. چه، نواحی با آسیب پذیری خیلی زیاد و زیاد، در منطقه‌ی منطبق با نواحی کارستی توسعه یافته واقع شده اند. نتایج به دست آمده در این پژوهش قابل مقایسه با نتایج تحقیقات صورت گرفته در این زمینه می باشند و می توان گفت که دو روش PaPRIKa و COP نتایج قابل قبولتری نسبت به سایر روشهای ارزیابی آسیب-پذیری آبخوانهای کارستی عرضه می دارند. شکل‌های کارستی، به دلیل انتقال سریع آلودگی، نقش انکارناپذیری در بالا بودن میزان آسیب پذیری منطقه دارند. در این راستا اقدامات مدیریتی، مانند تعیین حریم سوراخهای بلع و جلوگیری از ورود عوامل آلاینده، بخصوص آلودگیهای ناشی از فعالیتهای دامپروری، جلوگیری از تخریب جنگلها و فرسایش خاک منطقه، برای حفظ ویژگیهای آب وزمین ریخت شناسی منطقه، و در نهایت، تعیین حریم آبخوان برای اجرای اقدامات مدیریتی و حفاظتی از آبخوان، پیشنهاد می شود.

مذکور، طبقه بندی و ارزش گذاری شد و نقشه‌ی مقدار بارش (pq) تهیه گردید. مقدار بارش (pq) برای منطقه‌ی مورد مطالعه در رده‌ی ۸۰۰-۴۰۰ میلی متر در سال قرار دارد که دارای ارزش ۰.۳ می باشد (جدول ۲).

توزیع زمانی بارش (pi): عامل P_i توزیع زمانی بارش را در یک دوره‌ی زمانی معین در نظر گرفته، و از این رو نمایانگر شدت بارش می باشد (ویاس، ۲۰۰۶). به منظور تهیه‌ی نقشه، توزیع زمانی بارش برای هر ایستگاه باران سنجی بر طبق نمایشنامه‌ی سوم در جدول (۱) محاسبه شده این اطلاعات آمار، بعد از تهیه‌ی بانک اطلاعاتی در محیط اکسل، به شکل قابل قبول در محیط GIS تبدیل شده، سپس با درون یابی و طبقه بندی و ارزش گذاری، نقشه‌ی توزیع زمانی بارش تهیه گردید. (توزیع زمانی بارش برای کل منطقه‌ی مورد مطالعه در رده > ۱۰ میلی متر بر روز، که دارای ارزش ۰/۶ می باشد). در نهایت، نقشه‌ی مقدار بارش، برای منطقه تهیه گردید. میزان بارش برای حوضه‌ی بقیع در رده خیلی کم قرار دارد (شکل ۸).

نقشه آسیب پذیری با کاربرد COP:

همان طور که در بالا اشاره شد، در این تحقیق، به منظور ارزیابی آسیب پذیری آبخوان بقیع از رابطه (۱) در روش COP استفاده شد که این نمایه برای منطقه بین ۰.۵ تا ۱۲ بود و به چهار طبقه‌ی آسیب پذیری زیاد، متوسط، خیلی کم و کم تقسیم گردند. بطور کلی ۹/۷ درصد در محدوده‌ی آسیب پذیری زیاد، حدود ۵۰ درصد حوضه در محدوده‌ی آسیب پذیری متوسط، نزدیک ۲۵/۶ درصد حوضه دارای آسیب پذیری کم و ۱۴.۶ درصد حوضه در محدوده‌ی آسیب پذیری خیلی کم قرار دارند. شکل (۹) نقشه‌ی آسیب پذیری آبخوان بقیع را با کاربرد COP نشان می دهد. با توجه به این شکل، نواحی شمالی حوضه، که منطبق بر سازند چمن بید است، به علت پوشش نازک خاک آسیب پذیر تر از بقیه‌ی قسمتهای منطقه بوده، و بخشهای جنوب حوضه دارای آسیب پذیری خیلی کم؛ و این امر می تواند به دلیل جنس پلمه سنگها و ضخامت خاک در این قسمت باشد.

- ET fonctionnement, infiltration zones in karst aquifers: methods of study structure and functioning. *Hydrogéologie*. 4:3-21
10. De Jong, C., S., Cappy, and D. Funk, 2008 Transdisciplinary analysis of water problems in the mountainous karst areas of Morocco. *Eng. Geol.* 99: 228-238
 11. Ford, D.C. And P.W. Williams, 2007 .Karst geomorphology and hydrology. Chapman and Hall, New York.
 12. oldscheider, N. 2005. Karst groundwater vulnerability mapping: Application of a new method in the Swabia Alba, Germany. *Hydrogeol J* 13:555-564.
 13. Hartmann, M. T. Weiler, J. Wager, M, Lange, F. Kralik, N. Humer, A. Mizyed, J. A. Rimmer, B. Barber'a, C. Andreo, A. Butscher, and P. Huggenberger. 2013. Process-based karst modelling to relate hydrodynamic and hydrochemical characteristics to system properties., *Hydrol Earth Syst. Sci.* 10: 2835-2878.
 14. Kavouri, K., V., Plagnes, J, Tremoulet, N., Dorfliger, F., Rejiba, P. Marchet, 2011. "Paprika: A method For estimating karst resource and Source vulnerability-application to the Ouyse karst syster. (Southwest France)", *Hydrogeol.J.* 19: 339-353
 15. Konstantin's. Ch., P., Valérie G, Roger and P. Rémi Frank 2011. Bosch, contribution of geophysical methods to Karst-system exploration: An overview. *Hydrogeol. J.* 19: 1169-1180.
 16. Krishnamurthy. J., and G. Srinivas, 1995. Role of geological and geomorphological factors in ground water exploration. A study using IRS LISS data. *Int J Remote Sens.* 16: 2595-2618.
 17. Mangin, A. 1975. Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifers
- منابع**
۱. افروزی، م، ح. محمدزاده. ۱۳۹۲. ارزیابی آسیب پذیری دشت بروجن- فرادنبه با استفاده از شبیه DRASTIC براساس نیترات. مجله پژوهش آب ایران. ۷: ۲۱۸-۲۱۳
 ۲. باقرزاده، س، ن، کلانتری، م، مراد زاده، م، رحیمی، م، فاضلی، م. کشاورزی. ۱۳۸۹. استفاده از تکنیکهای GIS و سنجش از دور به روش COP مطالعه موردی آبخوان کارستی شیمبا. همایش ملی ژئوماتیک، تهران.
 ۳. پیری، ح، بامری، ابوالفضل. ۱۳۹۳. بزاورد نسبت جذبی سدیم (SAR) در آبهای زیر زمینی با استفاده از وایازی خطی چند متغیزه شبکه ی عصبی مصنوعی (مطالعه ی موردی دشت بجستان). مجله مهندسی منابع آب. ۷۳: ۸۰-۶۷
 ۴. عباسی، م، ا. محمدی. ۱۳۹۲. تهیه نقشه آسیب پذیری آلودگی آبخوان کارستی مانشت با استفاده از شبیه ریسک. پژوهش های زمین ریخت شناسی کمی. ۲: ۱۶۸-۱۵۵
 ۵. قربانی، م، م. اونق. ۱۳۹۱. پهنه بندی تحول و حساسیت کارست با استفاده از شبیه رگرسیون خطی چند متغیره در منطقه ی کارستی شاهو. پژوهش های زمین ریخت شناسی کمی، ۱: ۳۲-۱۹.
 ۶. مظفری زاده، ج، ز. سجادی. ۱۳۹۱. بررسی علل شوری و نفوذ آب شور رودهای دالکی و حله به آبخوان برازجان. مجله‌ی مهندسی منابع آب. ۶: ۶۹-۷۸
 7. Afrasiabian, A. 2007. The Importance of protection and management of karst water as drinking water resources in Iran. *Environ. Geol.* 52:673-677.
 8. Andreo, B., N., Ravbar, and J.M. Vias .2009. Source vulnerability mapping in carbonate (karst) aquifers by extension of the COP method: Application to pilot sites. *Hydrogeol. J.* 17:749-758
 9. Bakalowicz, M .1995. La zoned'infiltration des aquifères karstiques: methods d'étude structure

- protection of carbonate (karst) aquifers, EUR 20912. Brussels7 European Commission, Directorate-General XII Sci. Res. and Dev. t: 71- 163
21. White, WB .2007. A brief history of karst hydrogeology: Contributions of the NSS. *J. Cave Karst Stud.* 69:13–26
22. Zwahlen, F .2004. COST Action 620: Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. Final Report, Europ. Water Fram. Dir. EC, Brussels.
- karstiques [Contribution to the hydrodynamic study of karst aquifers]. PhD Thesis, Université de Dijon, France, 298
18. Marin, Al., N. Dorfliger. and B., Andreo,. 2012. Comparative application of two method (COP and PaPRIKa) for groundwater vulnerability mapping in Mediterranean karst aquifers (France and Spain) *Environ. Earth. Sci.* 65: 2407- 2421.
19. Massomisamakosh, j, .Bagheri, S. Davoodi, M. Yarahmadi, D, Jafari, Aghadamand., and Soltani, M. 2013. assessing and mapping the vulnerability of karstic aquifer using GIS and COP model, *Glob Nest J.* 15:384-393
20. Vi'as. J.M, B., Andreo. MJ. Perles F., Carrasco I., Vadillo. P, Jime'nez. 2004. The COP method. In: F, Zwahlen (ed). *Vulnerability and risk mapping for the*