مهندسی عمران شریف (زمستان ۱۳۹۸)
دوره‌ی ۲ - ۳۵، شماره‌ی ۴/۲، ص. ۸۷-۹۶

Original Article

ارزیابی پتانسیل ریسک آلودگی منابع آب سطحی با استفاده از شاخص‌های وراستیک و نیومکزیکو در محیط ArcGIS، مطالعه‌ی موردی: محدوده‌ی آستانه‌ی کوچصفهان در استان گیلان

سید سعید رائی نظامی * **(استادیار)**
اشکان بنی‌خدمت (دانشجوی کارشناسی ارشد)
اتابك فیضی خانکندی (استادیار)
دانشکده‌ی فنی و مهندسی عمران، دانشگاه محقق اردبیلی

ارزیابی ریسک آلودگی منابع آب و پهنه‌بندی آن می‌تواند اطلاعاتی سودمند جهت کنترل کیفی منابع آب ایجاد کند. ریسک به‌طور کلی شامل دو مشخصه‌ی آسیب‌پذیری و حساسیت است. به‌طوری که ممکن است در یک منطقه‌ی شاخص، آسیب‌پذیری بالا ولی با حساسیت آلودگی کم اتفاق بیفتد و یا بالعکس. در پژوهش حاضر، جهت ارزیابی حساسیت آلودگی منابع آب سطحی (محدوده‌ی آستانه‌ی کوچصفهان) از شاخص وراستیک (WRASTIC) و جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آن، از شاخص محیط‌زیست نیومکزیکو (NMED) استفاده شده است. داده‌های مورد نیاز، از سازمان‌ها، مطالعات میدانی و سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه و با ورود به نرم‌افزار ArcGis، میزان ریسک آب‌های سطحی تعیین شده است. نتایج نشان می‌دهند که زیرحوضه‌های مختلف، ریسک آلودگی متفاوتی دارند و در زیرحوضه‌های با ریسک آلودگی بالا، وجود صنایع، کشاورزی و فاضلاب‌های خانگی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده است.

واژگان کلیدی: ریسک آلودگی، آسیب‌پذیری، حساسیت، وراستیک، شاخص محیط‌زیست نیومکزیکو (NMED).

rasinezami@uma.ac.ir
banikhedmat.ashkan@gmail.com
a_feizi@uma.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه با توجه به بحران کمبود منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، مسئله‌ی کیفیت آب‌های موجود اهمیت ویژه‌یی پیدا کرده است. به‌طوری که آلودگی همان اندک آب موجود، آثار بعضاً جبران‌ناپذیری در سلامتی انسان‌ها می‌گذارد. کیفیت آب‌های سطحی تحت تأثیر آلاینده‌های نقطه‌یی و غیرنقطه‌یی و عوامل طبیعی و انسانی قرار دارد. کیفیت آب در هر رودخانه، متأثر از چند پارامتر، شامل: زمین‌شناسی حوضه‌ی آبخیز، شرایط آب و هوایی، و مواد آلاینده‌یی با منشأ انسانی و یا طبیعی است.[۱] هم‌زمان با گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و فعالیت‌های شهرنشینی در چند دهه‌ی اخیر، بسیاری از رودخانه‌ها تحت آسیب‌های جدی واقع شده‌اند و روز به روز توجه به ممنوعیت و سازمان‌دهی فعالیت‌ها در حریم رودخانه را ضروری ساخته است.[۲] به دلیل وابستگی زیاد انسان‌ها به آب‌های شیرین، تغییر کاربری زمین و معرفی گونه‌های منجر به آلودگی آب، موجب تخریب زیستگاه و از دست رفتن تنوع زیستی شده است.[۳]

با بررسی مطالعات پیشین مشاهده شد که در سال ۱۹۹۱، گالگوس و همکارانش به ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های سطحی سد آب شرب شهر سانتافه درکشور آرژانتین و حوضه‌ی آبخیز سد ناواجو در ایالت نیومکزیکوی آمریکا با استفاده از شاخص وراستیک پرداخته‌اند. شاخص وراستیک برای ارزیابی کیفی منابع آب سطحی و به‌صورت ترکیب خطی وزن‌دار از معیارهای مختلف تأثیرگذار درکیفیت آب سطحی در حوضه‌ی یک رودخانه یا منابع آب سطحی دیگر است. نتایج مطالعات اخیر نشان داده است که حوضه‌ی سد سانتافه به دلیل محدودیت‌هایی که دارد، آسیب‌پذیری کم و حوضه‌ی آبخیز سد ناواجا، آسیب‌پذیری بالایی دارد.[۴] همچنین دیامانتینو و همکاران (۲۰۰۵)، با استفاده از روش‌های وراستیک و USGS [۱] به بررسی آسیب‌پذیری حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی هوای[۲] در کشور چین پرداختند و نتیجه‌گیری کردند که حوضه‌ی مذکور براساس روش وراستیک، آسیب‌پذیری بالا و براساس روش USGS، آسیب‌پذیری کم دارد.[۵] راجکومار و همکاران (۲۰۰۹)، نیز در ارزیابی حساسیت و

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۶/۱۰/۲۵، اصلاحیه ۱۳۹۷/۱/۲۰، پذیرش ۱۳۹۷/۲/۳.
DOI:10.24200/J30.2018.5327.2290

ریسک حوضه‌ی آبخیز ترینیداد[3] و توباگو[4] با استفاده از شاخص وراستیک نتیجه گرفتند که در منطقه‌ی ترینیداد، ۷، ۷۷ و ۱۶ درصد منطقه به ترتیب: ریسک کم، متوسط و بالا دارند. همچنین در منطقه‌ی توباگو ۷، ۸۶ و ۷ درصد منطقه، به ترتیب: ریسک کم، متوسط و بالا دارند.[۶] همچنین نظری دوست (۲۰۱۱)، ریسک آلودگی در حوضه‌ی آبخیز ۶ سد تأمین‌کننده‌ی آب شرب استان تهران (کرج، لار، لتیان، مالمو، نمرود و طالقان) را با شاخص وراستیک ارزیابی و پس از مشخص کردن میزان پتانسیل ریسک آلودگی در هر حوضه، راهکارهای لازمه را ارائه کرده است.[۷] رحیمی بلوچی و همکاران (۲۰۱۲)، نیز آسیب‌پذیری منابع آب‌های سطحی حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی جراحی در استان خوزستان را با شاخص وراستیک بررسی کردند و نتیجه گرفتند که شاخص وراستیک، مقدار عددی ۷۲ دارد و منطقه‌ی مذکور پتانسیل آلودگی بالایی دارد، که بیشتر آن ناشی از فعالیت‌های انسانی برای محیط هیدرولوژیک ذکر شده است.[۸] همچنین حسن‌پور و فتائی (۲۰۱۳)، در بررسی حوضه‌ی آبخیز سد شفارود نتیجه گرفتند که حوضه‌ی مذکور، ریسک آلودگی متوسط تا زیاد دارد و فعالیت‌های انسانی و طبیعی از عوامل اصلی ایجاد ریسک در منطقه است.[۹] محمدپور خلیل آبادی و فتائی (۲۰۱۳)، نیز ریسک آلودگی آب‌های سطحی حوضه‌ی آبخیز سد سبلان در استان اردبیل را با استفاده از شاخص وراستیک ارزیابی کردند و نتایج به دست آمده نشان داد که زیرحوضه‌های مختلف، ریسک آلودگی متفاوتی دارند.[۱۰] همچنین قربانی و عظیمی قالیباف (۲۰۱۴)، در بررسی منابع آب سطحی حوضه‌ی رودخانه‌ی گلستان در استان خراسان با شاخص وراستیک نتیجه گرفتند که حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه، ریسک آلودگی متوسطی دارد.[۱۱] پاکزی و همکاران (۲۰۱۵)، نیز جهت تعیین حساسیت آبخوان در محل دفن پسماند از دو روش وراستیک و دراستیک[5] استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که با استفاده از روش‌های ذکر شده و عوامل تعیین حساسیت، میزان حساسیت کلی حوضه‌ی مورد مطالعه نسبت به آلودگی احتمالی، قابل ارزیابی خواهد بود.[۱۲] همچنین میرزایی و همکاران (۲۰۱۶)، در پژوهشی به ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی حوضه‌ی زاینده رود با استفاده از شاخص کیفیت آب سازمان بهداشت ملی آمریکا (NSFWQI) [6] و ارزیابی ریسک آلودگی با استفاده از شاخص وراستیک پرداختند و نتایج به دست آمده نشان داد که در ایستگاه رودخانه‌ی یک، آب از نظر کیفی در وضعیت متوسط و در سایر ایستگاه‌ها در وضعیت کیفی بد قرار دارد. همچنین شاخص وراستیک در حوضه‌ی زاینده‌رود، نشان‌دهنده‌ی ریسک آلودگی بالا با عدد شاخص ۷۰ است.[۱۳] در محاسبه‌ی شاخص NFSWQI، پارامترهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی اندازه‌گیری شده است، که شامل: اکسیژن محلول، کل جامدات، اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی، کدورت، pH، دما، فسفات، نیترات و کلیفرم مدفوعی هستند. شاخص NFSWQI، ابزاری کارآمد جهت تعیین وضعیت و طبقه‌بندی کیفی منابع آب بوده است.[۱۴و۱۵]

همچنین محسنی بندپی و همکاران (۲۰۱۴)، در بررسی کیفیت آب رودخانه‌ی گُل گُل ایلام بر اساس شاخص کیفی آب NSFWQI، ۹ داده‌ی کیفی را در ۶ ایستگاه سنجش کیفی بررسی کردند و پس از تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده بر اساس شاخص کیفی آب سازمان بهداشت ملی آمریکا NSFWQI، مسیر رودخانه را نیز با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS [7] پهنه‌بندی کردند.[۱۶]

کریمی و همکاران (۲۰۱۶)، نیز با تلفیق روش وراستیک و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، به بررسی ریسک آلودگی آب‌های سطحی استان تهران پرداختند و نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که عملگر «یا» [8] به دلیل داشتن دامنه‌ی متعادلی از ارزش‌ها در کل منطقه از کم تا بسیار زیاد، مناسب‌ترین عملگر برای تولید نقشه‌های ارزیابی ریسک است.[۱۷] همچنین پارمار و کشاری (۲۰۱۲)، در تحلیل حساسیت کیفیت آب زیرشاخه‌ی دهلی رودخانه‌ی یامونا[9] در هندوستان، آنالیز حساسیت جهت تعیین پارامترهای تأثیرگذار (اندازه‌گیری‌های کمّی جریان رودخانه و داده‌های فاضلاب‌های تخلیه شده به رودخانه) در عدم قطعیت خروجی‌های مدل شبیه‌سازی کیفی QUAL2E را انجام دادند و نتیجه گرفتند که بیشترین تأثیر پارامترهای مذکور بر روی ضریب زوال و ضریب ته‌نشینی مواد آلی در رودخانه‌ی مورد مطالعه بوده است.[۱۸] العدامت[10] (۲۰۱۷)، نیز در مدل‌سازی حساسیت منابع آب سطحی به آلودگی‌های وارده با استفاده از قابلیت‌های GIS، شاخص جدیدی به نام SWSI[11] بر پایه‌ی GIS جهت تعیین حساسیت منابع آب سطحی به آلودگی معرفی کردند، که یک روش ترکیبی وزنی خطی در محیط GIS برای محاسبه‌ی حساسیت منابع آب سطحی به آلودگی بر اساس استفاده از ۳ عامل طبیعی و ۳ عامل انسان ساخت بوده است. و در نهایت، منطقه‌ی مورد مطالعه به ۳ ناحیه با حساسیت بالا، متوسط و کم تقسیم‌بندی شد.[۱۹] همچنین کومار و شارما (۲۰۱۴)، از دو شاخص کیفی آب NFSWQI [12] و شاخص تنوع کیفی شانون SDI [13] جهت ارزیابی آلودگی دریاچه‌ی کانکاریا[14] در احمدآباد هندوستان استفاده کردند و در پژوهش خود، داده‌های کیفی آب و داده‌های مربوط به فیتوپلانکتون[15]ها از دریاچه‌ی کانکاریا را به کار بردند. داده‌ها از لحاظ بازه‌ی زمانی به ۳ بازه‌ی زمانی تابستان، پاییز و زمستان تقسیم‌بندی شدند. نتایج حاصل از استفاده‌ی تلفیقی از دو شاخص اخیر نشان داد که ما بین تابستان و پاییز، بهبودی در شرایط کیفی دریاچه رخ می‌دهد.[۲۰]

شمسایی و همکاران (۲۰۰۴)، نیز در بررسی و مقایسه‌ی تطبیقی شاخص‌های کیفی و پهنه‌بندی کیفی رودخانه‌های کارون و دز برای ۳ سال آبی با استفاده از: شاخص کیفی آب اورگان (OWQI)،[16] شاخص کیفی آب بریتیش کلمبیا (BCWQI)[17] و شاخص کیفی آب سازمان بهداشت ملی آمریکا (NFSWQI)، نتیجه‌گیری کردند زمانی که یک یا چند پارامتر ویژه بر روی تصمیم‌گیری‌های اخذ شده، تأثیر قابل توجهی داشته باشند، شاخص NSFWQI به دلیل دخالت مستقیم پارامترهای اندازه‌گیری شده در شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها و در نظرگرفتن اثر وزن هر پارامتر به منظور مورد توجه قرار دادن حساسیت، مناسب‌تر از دو شاخص دیگر است.[۲۱]

بررسی سوابق مطالعاتی در مورد ارزیابی کیفی و پهنه‌بندی آن برای منابع آب سطحی نشان می‌دهد که در مطالعات پیشین بیشتر به ارتباط کیفیت منابع آب سطحی با پارامترهای کیفی محدودی پرداخته شده و پهنه‌بندی کیفی و ارزیابی آسیب‌پذیری آن‌ها با استفاده از شاخص‌های کیفی متداول، همچون NFSWQI صورت گرفته است. در شاخص‌های مذکور، فقط به بررسی و آنالیز حساسیت کیفیت منابع آب‌های سطحی نسبت به پارامترهای کیفی مختلف پرداخته شده و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آن‌ها فقط با مدنظر قرار دادن فاکتور و زیرفاکتورهای محدودی انجام گرفته است. نظر به این‌که اتخاذ هر تصمیمی در مورد مدیریت کیفی حوضه‌ی منابع آب سطحی، مستلزم تحلیل حساسیت سیستم منابع آب به پارامترهای مختلف کمّی، کیفی و مشخصه‌های مختلف هیدرومتئورولوژی[18] حوضه‌ی آبریز است؛ لذا صرف مدنظر قرار دادن یک شاخص متداول کیفی و تحلیل عدم قطعیت خروجی‌های مدل شبیه‌سازی کیفی بر اساس آن نمی‌تواند در اتخاذ تصمیم‌های مناسب مدیریت کیفی راهگشا باشد. گذشته از آن، پهنه‌بندی ریسک آلودگی با مد نظر قرار دادن هم‌زمان نتایج آنالیز حساسیت و نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی از طریق در نظر گرفتن تغییرات مکانی و کیفی منابع مختلف آلودگی ناشی از کاربری‌های اراضی مختلف و شرایط و مشخصات هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز یک رودخانه، بسیار محدود و به‌ندرت مورد توجه قرار گرفته است.

در پژوهش حاضر، ابتدا بر اساس گستردگی و تنوع شاخص‌های مختلف

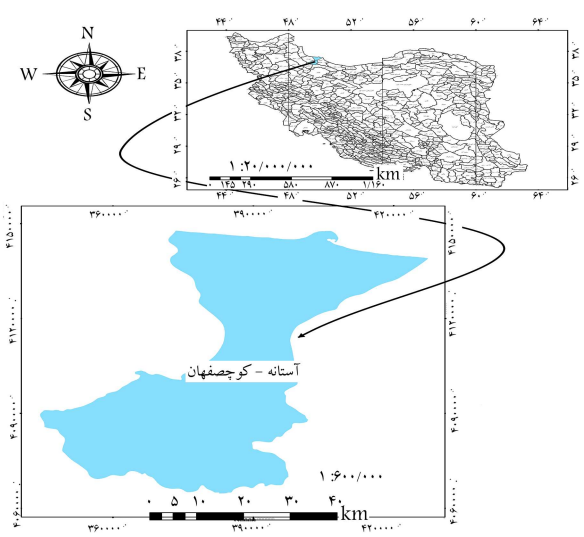
هیدرولوژیکی و کاربری‌های اراضی مختلف تأثیرگذار در کیفیت منابع آب سطحی حوضه‌ی موردمطالعه، به تقسیم‌بندی حوضه به ۱۳ زیرحوضه‌ی مختلف اقدام شده است، تا تنوع عوامل مختلف تأثیرگذار و توزیع مکانی آن‌ها در پهنه‌بندی ریسک آلودگی حوضه مدنظر قرار گیرد. سپس ارزیابی حساسیت آلودگی آب‌های سطحی به عوامل مختلف تأثیرگذار با استفاده از روش وراستیک، که روشی بر پایه‌ی ترکیب خطی وزن‌دار عوامل مختلف است، اقدام شده است. در مرحله‌ی بعد، ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های سطحی با استفاده تلفیقی از شاخص محیط‌زیست نیومکزیکو(NMED)[19] و داده‌های تهیه شده از نرم‌افزار GIS صورت گرفته است. در این مرحله، پس از تعیین نوع زیرحوضه‌ها، با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار GIS زون‌های بافری در طرفین شبکه‌ی زهکشی محدوده‌ی مطالعاتی ایجاد و با استفاده از تصاویر ماهواره‌یی و اطلاعات دریافتی از سازمان‌های مختلف، موقعیت منابع بالقوه‌ی تولید آلاینده تعیین شده است. در نهایت، با توجه به مختصات و موقعیت قرارگیری زون‌ها، با بر هم نهی تعداد منابع آلاینده قرار گرفته در هر زون بافری با استفاده از نرم‌افزار GIS، تعداد منابع آلاینده تعیین و سپس پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منابع آب‌های سطحی ارائه شده است. در نهایت، با استفاده از اطلاعات حاصل از حساسیت و آسیب‌پذیری محدوده‌ی مورد مطالعه، نقشه‌های ریسک‌پذیری آب‌های سطحی تهیه شدند. استفاده از این رهیافت تلفیقی، در ادبیات موضوع، در ایران و در سطح بین‌المللی، برای هیچ حوضه‌ی آبریزی یافت نشده است.

۲. معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

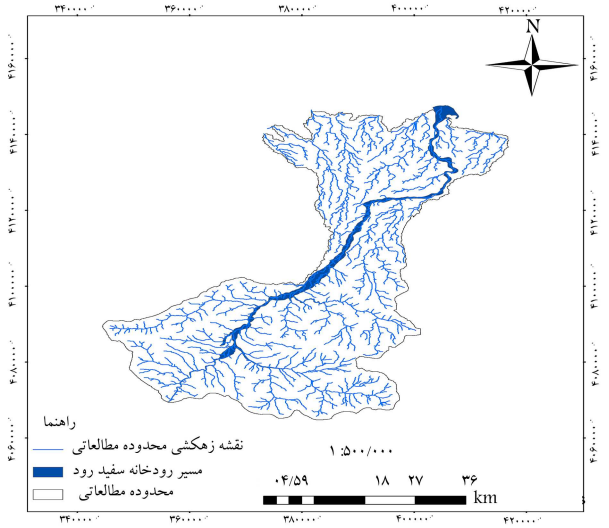
در پژوهش حاضر، حوضه‌ی دشت آستانه و کوچصفهان بررسی شده است (شکل ۱). مهم‌ترین رودخانه‌ی حوضه‌ی ذکر شده، سفیدرود است؛ که به همراه چند رودخانه‌ی دیگر در اطراف آن، حوضه‌ی سفیدرود را تشکیل می‌دهند. محدوده‌ی موردمطالعه، حوضه‌ی میانی گیلان است و شامل: رودخانه‌های توتکابن، رشته‌رود فیرارود، خرشک، زیلکی‌رود و دیسام است. محدوده‌ی مطالعاتی حاضر در مختصات طول جغرافیایی ″۵۰، ′۳۰، °۴۹ و عرض جغرافیایی ″۳۷، ′۵۵ ، °۳۴ واقع شده است. وسعت منطقه‌ی موردنظر ۲۷۲۹ کیلومتر مربع بود. حوضه‌ی ذکر شده از شمال به دریای خزر، از شرق به حوضه‌ی رودخانه‌های شرق گیلان و از غرب به حوضه‌ی رودخانه‌های منتهی به تالاب انزلی محدود شده است. منطقه‌ی مطالعاتی با توجه به زیرشاخه‌های منتهی به مسیر اصلی رودخانه‌ی سفیدرود، به ۱۳ زیرحوضه تقسیم شده است. نقشه‌ی شبکه‌های زهکش حوضه‌ی موردمطالعه مطابق شکل ۲ است.

۳. مواد و روش‌ها

ریسک به‌طور کلی شامل دو مشخصه‌ی آسیب‌پذیری و حساسیت است. به‌طوری که ممکن است در یک منطقه‌ی آسیب‌پذیری بالا، ولی با حساسیت آلودگی کمتر و بالعکس موجود باشد. با توجه به مطالعات انجام شده در این زمینه، که در بخش ۲ به آن اشاره شده است، شاخص وراستیک از جمله شاخص‌هایی است که جهت تعیین حساسیت منابع آب سطحی، اهمیت ویژه‌یی دارد. همچنین از جمله شاخص‌های مؤثر جهت تعیین آسیب‌پذیری منابع آب سطحی، شاخص NMED است، که توسط ویلیامز (۲۰۰۰) از طرف سازمان نیومکزیکوی آمریکا ارائه شده است. از این رو در پژوهش حاضر، جهت تعیین ریسک آلودگی آب‌های سطحی زیرحوضه‌های



شکل ۱. شمای کلی محدوده‌ی مطالعاتی.



شکل ۲. نقشه‌ی زهکش منطقه‌ی مطالعاتی.

منطقه‌ی مطالعاتی از روش‌های وراستیک و NMED استفاده شده است، که در ادامه به تشریح هرکدام پرداخته شده است.

۱.۳. شاخص وراستیک

شاخص وراستیک از ۷ پارامتر مؤثر جهت تعیین حساسیت منطقه استفاده می‌کند. در واقع نام این مدل از مخفف معادل لاتین این پارامترها تشکیل شده است:

۱. وجود و تخلیه‌ی فاضلاب به منابع آب (W)؛

۲. کاربری‌های تفریحی موجود در منطقه (R)؛

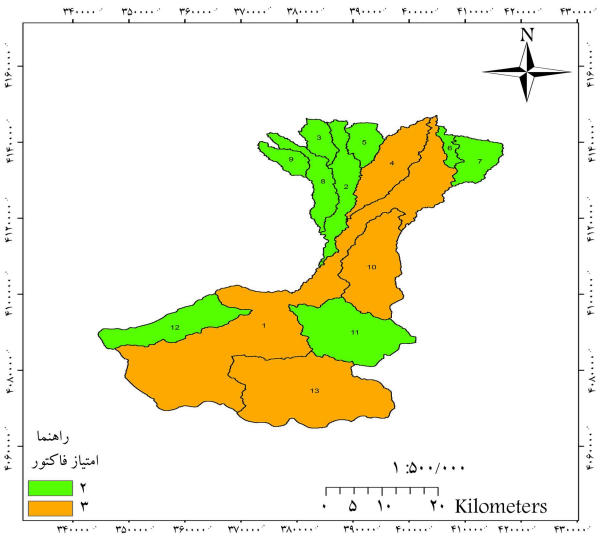
۳. اثر فعالیت‌های کشاورزی (A)؛

۴. اندازه‌ی حوضه‌ی آبخیز (S)؛

۵. راه‌های حمل و نقلی (T)؛

۶. فعالیت‌های صنعتی (I)؛

۷. پوشش گیاهی زمین (C).



شکل ۳. نقشه‌ی امتیاز عامل تخلیه‌ی فاضلاب (W) در زیر حوضه‌ها.

مقدار عددی شاخص وراستیک برای کل حوضه‌ی آبخیز یا هر زیرحوضه با استفاده از رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌شود:

$$WRASTIC \text{ index} = W_{R^*}W_{W^*} + R_{R^*}R_{W^*} + A_{R^*}A_{W^*} + S_{R^*}S_{W^*} + T_{R^*}T_{W^*} + C_{R^*}C_{W^*} \quad (۱)$$

که در آن، اندیس‌های R^* و W^* به ترتیب نشان‌دهنده‌ی امتیاز و وزن عوامل وراستیک است.

جهت محاسبه‌ی عددی شاخص وراستیک، ابتدا زیرحوضه‌های مطالعاتی مشخص می‌شوند (شکل ۳). در پژوهش حاضر، بر اساس گستردگی و تنوع شاخص‌های مختلف هیدرولوژیکی و کاربری‌های اراضی مختلف تأثیرگذار در کیفیت منابع آب سطحی حوضه‌ی مورد مطالعه، حوضه‌ی موردنظر به ۱۳ زیرحوضه تقسیم شد تا تنوع عوامل مختلف تأثیرگذار و توزیع مکانی آن‌ها در پهنه‌بندی ریسک آلودگی حوضه مدنظر قرارگیرد. سپس وضعیت هر یک از عوامل آلاینده‌ی حوضه و یا زیرحوضه‌ی موردنظر بررسی شد. در مرحله‌ی بعد، با استفاده از جدول ۱، امتیاز هر یک از عوامل حوضه‌ی آبخیز تعیین و سپس وزن هر عامل با کمک جدول ۲ مشخص شد. امتیازهای مربوط به هر کدام از عوامل شاخص وراستیک، که در جدول ۱ ارائه شده‌اند، توسط خود توسعه‌دهنده‌ی شاخص وراستیک،[۲۲و۲۳] پیشنهاد و مبنای ارزیابی، تعیین ریسک و حساسیت آلودگی منابع آب سطحی در پژوهش حاضر استفاده شده است. در نهایت به کمک رابطه‌ی ۱، مقدار شاخص وراستیک به دست آمده است. پس از مشخص شدن مقدار عددی شاخص وراستیک، محدوده‌ی حساسیت آلودگی حوضه و زیرحوضه‌ها با استفاده از جدول ۳ تعیین شده است.[۲۲و۲۳]

۲.۳. شاخص NMED جهت تعیین آسیب‌پذیری

روش NMED در سال ۲۰۰۰ توسط دفتر آب آشامیدنی وزارت محیط زیست نیومکزیکوی آمریکا ارائه شده است. در روش مذکور بر اساس اندازه‌ی حوضه‌ی آبخیز و مناطق بحرانی اطراف منابع آب سطحی و همچنین تعداد منابع بالقوه‌ی تولید آلاینده‌های مختلف، میزان آسیب‌پذیری آلاینده‌های مختلف تعیین می‌شود. در روش NMED، ابتدا باید نوع حوضه‌ی آبخیز را بر اساس مساحت‌شان مشخص کرد. بدین صورت که حوضه‌های آبخیز با مساحت کمتر از ۷۷/۷ کیلومترمربع در حوضه‌ی آبخیز با نوع A و حوضه‌های با مساحت بیش از ۷۷/۷ کیلومترمربع در نوع B قرارگرفتند. سپس برای هر نوع، زون بافری به این صورت تعریف شده است: در حوضه‌ی آبخیز نوع A، اولین بافر زون بافری a است، که نواری به عرض ۶۱ متر در طرفین شبکه‌ی زهکش است. پس از آن زون بافری b نواری است به عرض ۱۵۲ متر از لبه‌ی خارجی زون a و به موازات آن ترسیم و سپس تمامی مناطق خارج از زون‌های a و b، جزء زون بافری c محسوب شدند.

در حوضه‌ی آبخیز نوع B، زون‌های بافری a و b، همانند حوضه‌ی آبخیز نوع A تعریف شدند، ولی زون بافر c یک نوار به عرض ۶۵۲/۵ متر از لبه‌ی خارجی زون بافر b تعریف شده است.

پس از تعیین نوع حوضه و زون‌های بافری، تعداد منابع آلاینده‌ی بالقوه در هر یک از زون‌ها با استفاده از جدول ۴ تعیین شد. بدین صورت که در محیط ArcGis، ابتدا کلیه‌ی منابع آلاینده، که در جدول ۴ ارائه شده‌اند، بر روی زون‌های بافری قرارگرفتند و سپس تعداد منابع آلاینده‌ی موجود در هر زون بافری از حوضه‌های آبخیز مشخص شدند. پس از تعیین نوع حوضه و تعداد منابع بالقوه‌ی تولید آلاینده، از طریق بر هم‌نهی لایه‌های اطلاعاتی وزن‌دار با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار ArcGis، محدوده‌ی آسیب‌پذیری منابع آب سطحی در حوضه‌ی آبخیز با استفاده از جدول ۵ مشخص شد. در انتها، پس از یافتن حساسیت آلودگی با روش وراستیک و آسیب‌پذیری با روش NMED، جهت یافتن ریسک آلودگی آب‌های سطحی منطقه‌ی مطالعاتی، از جدول ۶، که توسط سازمان محیط زیست نیومکزیکو ارائه و استفاده شده است.[۱۶]

۴. نتایج

نتایج پژوهش حاضر شامل نتایج مربوط به تعیین میزان حساسیت منابع آب سطحی در زیرحوضه‌ها با استفاده از شاخص وراستیک و تعیین میزان آسیب‌پذیری آب‌های سطحی در زیرحوضه‌ها با استفاده از شاخص NMED است، که در ادامه ارائه شده است.

۱.۴. نتایج شاخص حساسیت وراستیک

اطلاعات موردنیاز جهت محاسبه‌ی مقدار عددی شاخص وراستیک، شامل: مقادیر و منابع فاضلاب‌های ورودی به منطقه‌ی مطالعاتی، موقعیت منابع فعالیت‌های تفریحی موتوری و غیرموتوری، محدوده‌ی فعالیت‌های کشاورزی، اندازه‌ی حوضه‌های آبخیز، موقعیت مکانی جاده‌های ارتباطی و راه‌های حمل و نقل، موقعیت فعالیت‌های صنعتی و محل ورود پساب‌های آن‌ها و میزان پوشش گیاهی منطقه است. تمامی اطلاعات مذکور از ادارات و سازمان‌های آب و فاضلاب، محیط زیست، جهاد کشاورزی، منابع طبیعی، راه و شهرسازی، و صنعت و معدن تهیه شده و سپس موقعیت مکانی آن‌ها در محیط GIS بر روی منطقه‌ی مطالعاتی قرارگرفته است. در نهایت، امتیازدهی به هر زیرحوضه با توجه به جدول ۱ انجام و نتایج آن در جدول ۷ ارائه شده است. همچنین در شکل‌های ۴ الی ۱۰، عوامل شاخص وراستیک ارائه شده است.

پس از تعیین امتیاز عوامل هفت‌گانه‌ی شاخص وراستیک و همچنین تعیین وزن عوامل در هر یک زیرحوضه‌ها با استفاده از جدول ۲، میزان حساسیت هر زیرحوضه با استفاده از رابطه‌ی ۱ محاسبه و نتایج مربوط به مقدار عددی حساسیت شاخص وراستیک در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۱. امتیاز عوامل شاخص وراستیک.[۲۲و۲۳]

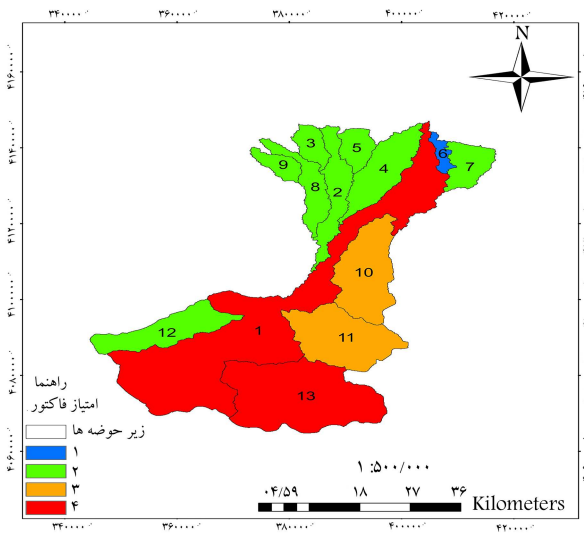
شاخص	وضعیت شاخص	امتیاز
تخلیه‌ی فاضلاب (W)	خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به حوضه تخلیه می‌شود و سیستم سپتیک تانک مجزا وجود دارد.	۵
	خروجی تصفیه‌خانه های فاضلاب عمومی به حوضه تخلیه می‌شود.	۴
	بیش از ۵۰ سیستم سپتیک تانک مجزا وجود دارد.	۳
	کمتر از ۵۰ سیستم سپتیک تانک مجزا وجود دارد.	۲
	هیچ تخلیه‌ی فاضلابی در حوضه وجود ندارد.	۱
فعالیت‌های تفریحی (R)	فعالیت تفریحی موتوری مجاز است.	۵
	فعالیت تفریحی غیرموتوری مجاز است.	۴
	دسترسی با ماشین به منطقه‌ی تفریحی وجود دارد.	۳
	دسترسی بدون ماشین به منطقه‌ی تفریحی وجود دارد	۲
	هیچ فعالیت تفریحی در منطقه وجود ندارد	۱
فعالیت‌های کشاورزی (A)	۵ نوع فعالیت کشاورزی و بیشتر در منطقه وجود دارد.	۵
	۴ نوع فعالیت کشاورزی در منطقه وجود دارد.	۴
	۳ نوع فعالیت کشاورزی در منطقه وجود دارد.	۳
	۲ نوع فعالیت کشاورزی در منطقه وجود دارد.	۲
	۱ نوع فعالیت کشاورزی در منطقه وجود دارد.	۱
اندازه‌ی حوضه‌ی آبخیز (S)	مساحت بیش از ۱۹۴۲۵۰ هکتار	۵
	مساحت ۳۸۸۵۰ تا ۱۹۴۲۵۰ هکتار	۴
	مساحت ۱۵۵۴۰ تا ۳۸۸۵۰ هکتار	۳
	مساحت ۳۸۸۵ تا ۱۵۵۴۰ هکتار	۲
	مساحت کمتر از ۳۸۸۵ هکتار	۱
راه‌های حمل‌ونقل (T)	وجود راه‌آهن در حوضه‌ی آبخیز	۵
	وجود بزرگراه در حوضه‌ی آبخیز	۴
	وجود راه‌های آسفالت در حوضه‌ی آبخیز	۳
	وجود جاده‌های خاکی و شوسه در حوضه‌ی آبخیز	۲
	عدم وجود راه‌های حمل و نقل در حوضه‌ی آبخیز	۱
فعالیت‌های صنعتی (I)	تخلیه‌ی حجم بسیار زیاد پساب صنایع و یا تأثیر بسیار زیاد صنایع در مناطق اطراف	۸
	تخلیه‌ی حجم زیاد پساب صنایع و یا تأثیر زیاد صنایع در مناطق اطراف	۶
	تخلیه‌ی حجم متوسط پساب صنایع و یا تأثیر متوسط صنایع در مناطق اطراف	۴
	تخلیه‌ی حجم اندک پساب صنایع و یا تأثیر اندک صنایع در مناطق اطراف	۲
	عدم وجود فعالیت صنعتی در حوضه‌ی آبخیز	۱
وضعیت پوشش گیاهی (C)	۰ تا ۵ درصد زمین توسط پوشش گیاهی پوشیده شده است.	۵
	۶ تا ۱۹ درصد زمین توسط پوشش گیاهی پوشیده شده است.	۴
	۲۰ تا ۳۴ درصد زمین توسط پوشش گیاهی پوشیده شده است.	۳
	۳۵ تا ۵۰ درصد زمین توسط پوشش گیاهی پوشیده شده است.	۲
	بیش از ۵۰ درصد زمین توسط پوشش گیاهی پوشیده شده است.	۱

جدول ۲. وزن عوامل شاخص وراستیک.[۲۲و۲۳]

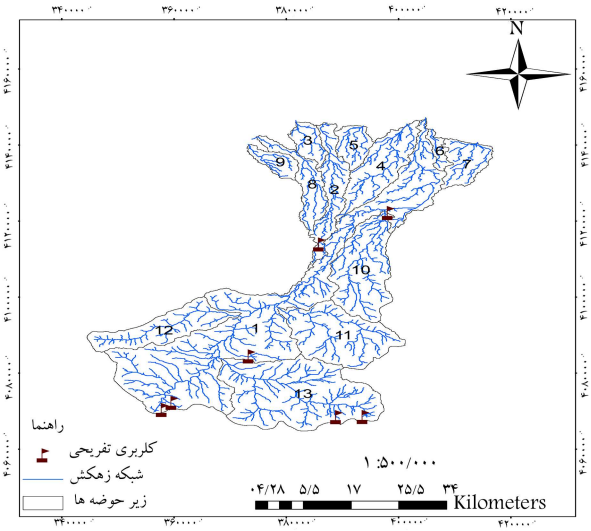
عامل	وزن
تخلیه‌ی فاضلاب	۳
فعالیت‌های تفریحی	۲
فعالیت‌های کشاورزی	۲
اندازه‌ی حوضه‌ی آبخیز	۱
راه‌های حمل و نقل	۱
فعالیت‌های صنعتی	۴
پوشش گیاهی	۱

جدول ۳. محدوده‌ی حساسیت آلودگی شاخص وراستیک.[۲۲و۲۳]

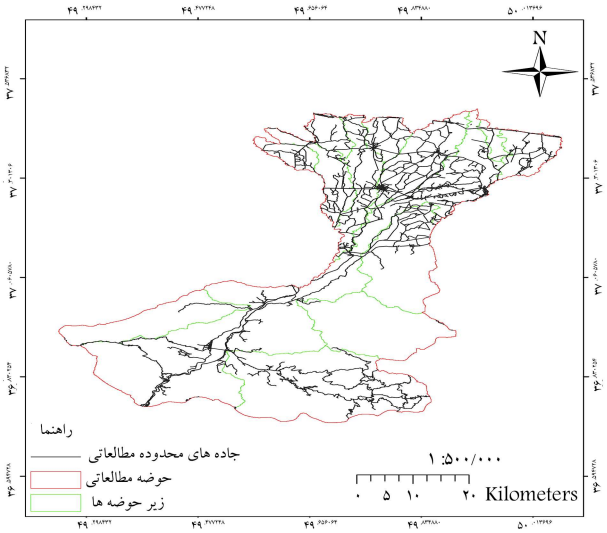
شاخص وراستیک	حساسیت آلودگی
بیش از ۵۰	زیاد
۲۶ تا ۵۰	متوسط
کمتراز ۲۶	کم



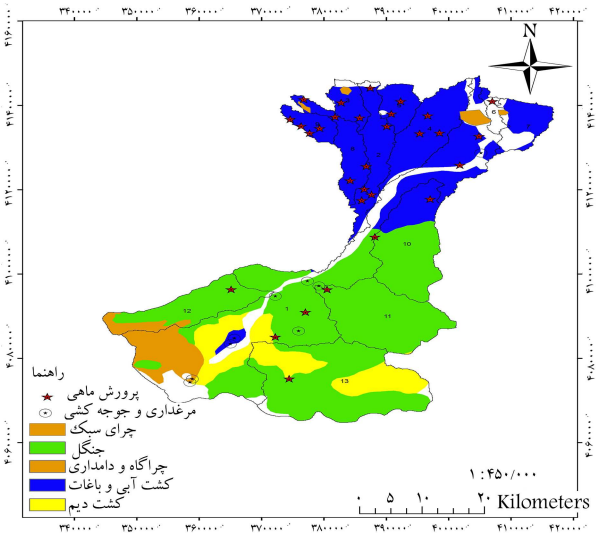
شکل ۶. نقشه‌ی امتیاز عامل اندازه‌ی حوضه‌ی آبخیز.



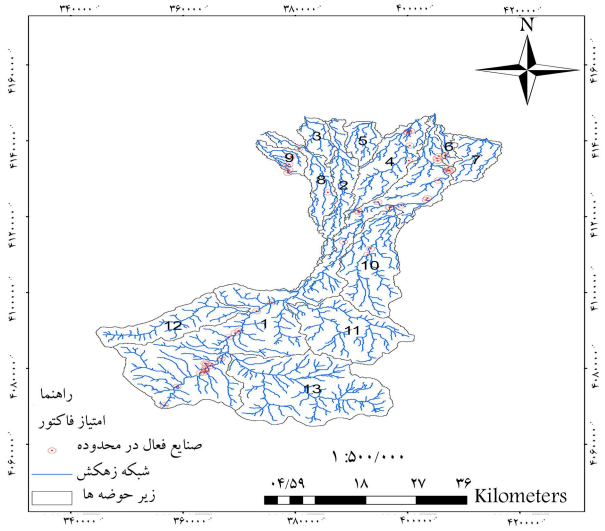
شکل ۴. نقشه موقعیت کاربری تفریحی (R) زیر حوضه‌ها.



شکل ۷. نقشه‌ی موقعیت راه‌های حمل و نقل محدوده‌ی مطالعاتی.



شکل ۵. نقشه‌ی موقعیت کاربری تفریحی (A) در زیرحوضه‌ها.



شکل ۸. صنایع فعال در محدوده‌ی مطالعاتی.

جدول ۴. فعالیت و منابع بالقوه‌ی تولید آلاینده (ویلیامز ۲۰۰۰).[۲۳]

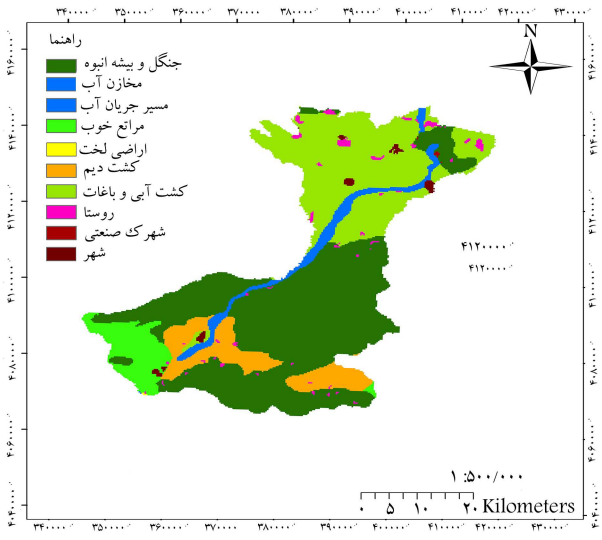
نوع فعالیت	منبع تولید آلاینده
کشاورزی	فرآوری محصولات دامی ـ کانال‌های زهکشی کشاورزی ـ پرورش دام‌های لبنی ـ کشاورزی لبنی ـ ماشین‌آلات کشاورزی ـ گلخانه ـ خوراک دام ـ کاربرد کود دامی ـ پرورش دام ـ مرغداری ـ ذخیره‌ی کودهای فله ـ ذخیره‌ی دانه‌های کشاورزی ـ ذخیره‌ی آفت‌کش‌های کشاورزی
تجاری	فرودگاه ـ تعمیرگاه خودرو ـ چاه‌های بسته ـ پمپ بنزین ـ آرایشگاه ـ بیمارستان ـ خدمات دامپزشکی ـ محوطه‌ی راه‌آهن ـ اردوگاه ـ محوطه‌ی قایق‌رانی ـ اسکله
صنعتی	کارخانه‌ی آسفالت ـ محل دفن زباله‌های شیمیایی ـ کارخانه‌ی بتن/سیمان ـ صنایع فلزات ـ کارخانه‌ی کاغذسازی ـ شهرک‌های صنعتی ـ چاه‌های فاضلاب ـ سنگ‌بری ـ صنایع برداشت شن و ماسه
شهری/مسکونی	امکانات تفریحی ـ پساب تصفیه‌ی فاضلاب‌های شهری ـ مراکز بازیافت زباله ـ چاه‌های جذبی ـ استخرهای فاضلاب ـ بزرگراه‌ها ـ نشت فاضلاب ـ ایستگاه آتش نشانی

جدول ۵. طبقات آسیب‌پذیری روش NMED.[۲۳]

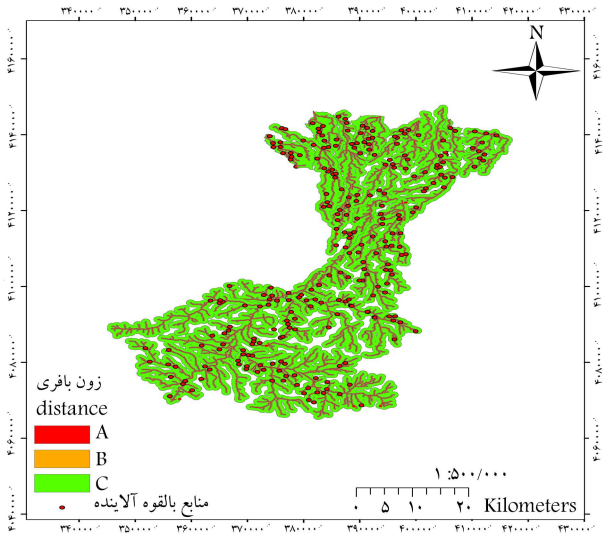
	زون بافری A	زون بافری B	زون بافری C	آسیب‌پذیری
تعداد منابع آلاینده در هر زون بافری	۱+	۵+	۷+	زیاد
	۰	۳-۴	۶-۴	متوسط
	۰	۲-۱	۳-۱	کم

جدول ۶. ریسک منابع آب‌های سطحی.[۲۳]

آسیب‌پذیری آلودگی آب‌های سطحی	حساسیت آلودگی آب‌های سطحی		
	زیاد	متوسط	کم
زیاد	زیاد	زیاد	متوسط
متوسط	زیاد	متوسط	متوسط
کم	متوسط	متوسط	کم



شکل ۹. نقشه‌ی پوشش گیاهی زیرحوضه‌ها.



شکل ۱۰. موقعیت منابع بالقوه آلاینده‌های آب‌های سطحی در زون‌های بافری.

۲.۴. نتایج شاخص آسیب پذیری NMED

جهت تعیین آسیب‌پذیری آب‌های سطحی با استفاده از روش NMED، ابتدا باید نوع حوضه‌ی آبخیز با توجه به مساحت آن مشخص شود. بدین منظور با استفاده از نرم‌افزار GIS، مساحت هر یک از زیرحوضه‌های محدوده‌ی مطالعاتی محاسبه و زیرحوضه‌های با مساحت کمتر از ۷۷/۷ کیلومتر مربع از نوع A و بیش از آن از نوع B نام‌گذاری شده است. جدول ۹، نوع زیرحوضه‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

پس از تعیین نوع زیرحوضه‌ها، زون‌های بافری در طرفین شبکه‌ی زهکشی محدوده‌ی مطالعاتی ایجاد شده است. در نهایت با استفاده از تصاویر ماهواره‌یی و اطلاعات دریافتی از سازمان‌های مختلف، موقعیت منابع بالقوه‌ی تولید آلاینده‌های کشاورزی، تجاری، صنعتی، مسکونی مطابق شکل ۱۰ تعیین شده است.

پس از تعیین موقعیت منابع آلاینده‌ی بالقوه و با توجه به مختصات و موقعیت قرارگیری آن‌ها، با برهم‌نهی تعداد منابع آلاینده‌ی قرارگرفته در هر زون بافر با استفاده از

جدول ۷. امتیاز عوامل شاخص وراستیک در هر زیرحوضه.

شماره‌ی زیر حوضه	امتیاز عامل						
	تخلیه‌ی فاضلاب	فعالیت‌های تفریحی	فعالیت‌های کشاورزی	اندازه‌ی حوضه‌ی آبخیز	راه‌های حمل و نقل	فعالیت‌های صنعتی	پوشش گیاهی
۱	۳	۴	۵	۴	۴	۸	۱
۲	۲	۴	۲	۲	۴	۱	۱
۳	۲	۱	۳	۲	۴	۱	۱
۴	۳	۱	۳	۲	۳	۴	۱
۵	۲	۱	۲	۲	۳	۱	۱
۶	۲	۱	۳	۱	۳	۲	۴
۷	۲	۱	۲	۲	۳	۱	۱
۸	۲	۱	۳	۲	۴	۲	۱
۹	۲	۱	۲	۲	۴	۲	۱
۱۰	۳	۴	۳	۳	۳	۶	۱
۱۱	۲	۱	۲	۳	۲	۱	۱
۱۲	۲	۱	۳	۲	۲	۱	۱
۱۳	۳	۴	۴	۴	۳	۱	۱

جدول ۸. مقدار حساسیت شاخص وراستیک در زیرحوضه‌ها.

شماره‌ی زیرحوضه	امتیاز	شماره‌ی زیرحوضه	امتیاز
۱	۶۸	۸	۲۹
۲	۲۹	۹	۲۷
۳	۲۵	۱۰	۵۱
۴	۳۹	۱۱	۲۲
۵	۲۲	۱۲	۲۳
۶	۳۰	۱۳	۳۶
۷	۲۲		

جدول ۹. نوع زیرحوضه‌ها جهت تعیین آسیب‌پذیری.

شماره‌ی زیرحوضه	امتیاز	شماره‌ی زیرحوضه	امتیاز
۱	B	۸	B
۲	B	۹	A
۳	A	۱۰	B
۴	B	۱۱	B
۵	A	۱۲	B
۶	A	۱۳	B
۷	B		

نرم‌افزار GIS، تعداد منابع آلاینده تعیین و سپس آسیب‌پذیری منابع آب‌های سطحی در جدول ۱۰ ارائه شده است.

با توجه به نتایج حاصل از تعیین حساسیت زیرحوضه‌ها با استفاده از شاخص وراستیک و تعیین آسیب‌پذیری با استفاده از روش NMED، میزان ریسک حوضه‌ی آستانه - کوچصفهان در جدول ۱۱ ارائه شده است.

جدول ۱۰. تعداد منابع آلاینده در زون‌های بافری هر زیرحوضه در روش NMED.

شماره‌ی زیرحوضه	زون بافری			آسیب‌پذیری
	A	B	C	
۱	۲۲	۲۲	۷۵	زیاد
۲	۲	۷	۹	زیاد
۳	۰	۲	۸	متوسط
۴	۲	۳	۱۷	زیاد
۵	۰	۲	۹	متوسط
۶	۰	۲	۱	کم
۷	۳	۱	۶	زیاد
۸	۵	۲	۱۳	زیاد
۹	۱	۴	۹	زیاد
۱۰	۳	۸	۲۶	زیاد
۱۱	۴	۹	۹	زیاد
۱۲	۰	۵	۲	متوسط
۱۳	۷	۱۰	۱۸	زیاد

۵. نتیجه‌گیری

در سوابق مطالعاتی انجام شده، بیشتر به ارتباط کیفیت منابع آب سطحی با پارامترهای کیفی پرداخته شده و پهنه‌بندی کیفی و ارزیابی آسیب‌پذیری آن‌ها با استفاده از تلفیق استفاده از شاخص‌های کیفی متداول مانند NFSWQI صورت گرفته است. شاخص‌های مورد استفاده در ادبیات موضوع، فقط به بررسی و آنالیز حساسیت کیفیت منابع آب‌های سطحی نسبت به پارامترهای کیفی مختلف پرداخته و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آن‌ها با استفاده از عوامل و زیرفاکتورهای محدودی انجام شده است. لذا استفاده از فقط یک شاخص متداول کیفی نمی‌تواند در اتخاذ تصمیم‌های مناسب مدیریت کیفی راهگشا باشد. گذشته از آن، پهنه‌بندی ریسک آلودگی با مدنظر قرار

جدول ۱۱. میزان ریسک آلودگی منابع آب سطحی با روش وراستیک و NMED.

زیرحوضه	حساسیت آلودگی	آسیب‌پذیری	ریسک
۱	زیاد	زیاد	زیاد
۲	متوسط	زیاد	زیاد
۳	کم	متوسط	متوسط
۴	متوسط	زیاد	زیاد
۵	کم	متوسط	متوسط
۶	متوسط	کم	متوسط
۷	کم	زیاد	متوسط
۸	متوسط	زیاد	زیاد
۹	متوسط	زیاد	زیاد
۱۰	زیاد	زیاد	زیاد
۱۱	کم	زیاد	متوسط
۱۲	کم	متوسط	متوسط
۱۳	متوسط	زیاد	زیاد

دادن هم‌زمان نتایج آنالیز حساسیت و نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی از طریق در نظرگرفتن تغییرات مکانی و کیفی منابع مختلف آلودگی ناشی از کاربری‌های اراضی مختلف و شرایط و مشخصات هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز یک رودخانه بسیار حائز اهمیت است. در پژوهش حاضر، با استفاده از روش‌های وراستیک و NMED به ترتیب به آنالیز حساسیت و ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی حوضه‌ی مورد مطالعه با استفاده از قابلیت‌های ویژه‌ی نرم‌افزار ArcGIS در تلفیق و آنالیز عوامل وزن‌دهی شده استفاده شده است. در نهایت، با تلفیق نتایج دو تحلیل ذکر شده، پهنه‌بندی ریسک آلودگی منابع آب سطحی در محدوده‌ی مورد مطالعه صورت پذیرفته است.

پس از تعیین وضعیت هر یک از عوامل هفت‌گانه‌ی موردنظر در پژوهش حاضر، نتایج نشان داده است که مقدار شاخص وراستیک در زیرحوضه‌های ۱ تا ۱۳ برابر با ۶۸، ۲۹، ۲۵، ۳۹، ۲۲، ۳۰، ۲۲، ۲۹، ۲۷، ۵۱، ۲۲، ۲۳ و ۳۶ است. با توجه به مقادیر عددی به دست آمده، زیرحوضه‌های ۱ و ۱۰ با حساسیت آلودگی زیاد، زیرحوضه‌های ۳، ۵، ۷، ۱۱ و ۱۲ با حساسیت آلودگی کم و سایر حوضه‌ها با حساسیت آلودگی متوسط بودند. در زیرحوضه‌های ۱ و ۱۰، که شاخص حساسیت آلودگی زیاد داشتند، عامل فعالیت‌های صنعتی به دلیل وجود شهرک‌های صنعتی و کارگاه‌های برداشت شن و ماسه بیشترین سهم را داشته و از عوامل مهم ایجاد آلودگی در زیرحوضه بوده است. در سایر زیرحوضه‌ها نیز عوامل فعالیت‌های صنعتی، فعالیت‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری و روستایی از عوامل مهم در ایجاد آلودگی بودند.

با توجه به روش NMED و تعیین تعداد منابع آلاینده‌ی نام برده طبق جدول ۴ در هر زون بافری از زیرحوضه‌ها، نتایج نشان داد که زیرحوضه‌های ۳ ، ۵ و ۱۲ با خطر آسیب‌پذیری متوسط، زیرحوضه‌ی ۶ با آسیب‌پذیری کم و سایر زیرحوضه‌ها با آسیب‌پذیری زیاد بودند. از جمله منابع آلاینده‌ی بالقوه در زیرحوضه‌ها، شامل مناطق روستایی، مناطق شهری، فعالیت‌های صنعتی، کاربری‌های کشاورزی و پرورش دام است. پس از تعیین حساسیت آلودگی با روش وراستیک و آسیب پذیری با روش NMED برای آب‌های سطحی، طبق جدول ۱۱ مشخص شد که زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۴، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۳ با ریسک آلودگی زیاد و سایر زیرحوضه‌ها با ریسک آلودگی متوسط بودند.

با توجه به نتایج به دست آمده، روش استفاده شده در پژوهش حاضر به دلیل اختصاص وزن‌های بیشتر به منابع آلاینده با خطر بیشتر از روش‌های مناسب برای ارزیابی ریسک آلودگی آب‌های سطحی بوده و به عنوان روشی استاندارد به جهت مدیریت و حفاظت کیفی منابع آب سطحی است. با توجه به هزینه‌های سنگین حذف آلودگی از آب‌های سطحی، پژوهش حاضر می‌تواند به عنوان ابزار ارزشمند در اختیار مسئولان قرارگیرد تا با استفاده از آن، تصمیم‌های مدیریتی لازم را اتخاذ کنند؛ که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به این موارد اشاره کرد:

- -با توجه به امتیاز عوامل به دست آمده، از احداث مراکز صنعتی و یا توسعه‌ی کشاورزی در مناطق با ریسک آلودگی بالا جلوگیری شود و در مناطق با ریسک متوسط و یا کم، نظارت و کنترل کافی وجود داشته باشند.
- با توجه به عدم وجود سیستم‌های تصفیه‌ی پساب در بیشتر صنایع فعال در حوضه، الزام مجهزکردن تمامی صنایع ذکر شده در دستورکار قرارگیرد.
- با توجه به تخریب بستر رودخانه و ورود آلودگی‌های ناشی از آن، از ادامه‌ی فعالیت کارگاه‌های برداشت شن و ماسه و استخرهای ماهی غیرمجاز جلوگیری شود.
- سیستم‌های تصفیه‌ی فاضلاب شهری راه‌اندازی شود.
- از انجام فعالیت‌های تفریحی غیراستاندارد، از قبیل: قایق‌سواری، شنا، شستشو و غیره جلوگیری شود.

پانوشت‌ها

1. U.S. Geological Survey
2. Huai river
3. Trinidad
4. Tobago
5. Drastic
6. National Sanitation Foundation Water Quality Index
7. geographic information systems
8. or
9. Yamuna
10. Al-Adamat
11. Surface Water Susceptibility to Pollution Index
12. Water Quality Index
13. Shanon Diversity Index
14. Kankaria lake
15. Phytoplankton
16. Oregon Water Quality Index
17. British Columbia water quality indices
18. hydrometeorology
19. New Mexico Environment Department Index

منابع (References)

1. Singh, K., Malik, A., Mohan, D. and et al. "Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gotmi river", *(India)- a case study, Water Research*, **38**(18), pp. 3980 - 3992 (2004).
2. Misra, A.K. "Climate change and challenges of water and food security", *International Journal of Sustainable Built Environment*, **3**(1), pp. 153-165 (2014).
3. Malmqvist, B. and Rundle, S. "Threats to the running water ecosystems of the world", *Environmental Conservation*, **29**(2), pp. 134-153 (2002).
4. Gallegos, D., Lowance, J. and Thomas, Ch. "Watershed vulnerability estimation using WRASTIC", Adapted from the Guidance Manual for Compliance with the Filtration and Disinfection Requirements for Public Water Systems Using Surface Water Sources (1991).
5. Diamantino, C., Heneriques, M.J., Oliveira, M.M. and et al. "Methodologies for pollution risk assessment of water resources system", The 4th Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources (2005).
6. Rajkumar, W.S., Buckradee, A., deRoche, S. and et al. "Watershed vulnerability assessment using the WRASTIC approach for trinidad and tobago", Port of Spain: EMA (2009).
7. Nazaridust, A. "Risk management for lake dam damage at the execution of Tehran - environment study", Asarab Consulting Engineers Co (2011).
8. Rahimi Baluchi, L. and Malekmohamadi, B. "Methodology for assessing the vulnerability of surface water resources", *6th Environmental Engineering Exhibition and Conference*, Tehran (2012).
9. Hasanpur Kkurande, H. and Fatai, E. "The risk assessment of results in the pollution of the dams, by using the WRASTIC model", *Journal of Environmental Geology*, **C**(7), pp. 19-36 (2013).
10. Mohamadpur, A. "Assessment of the risk of pollutants in sabalan dam watershed using methods of finite-order and fuzzy uncertainty", Ardebil (2013).
11. Ghorbani, A. and Aazimi, A. "Risk assessment of golestan catchment area using WRASTIC model, *National Conference on Environment and Energy of Iran, Kharazmi International Educational and Educational Institute of Safashahr* (2014).
12. Pakzi, M., Sadatoseyni, S. and Nurani, M. "Investigation of aquifer sensitivity by DRASTIC and WRASTIC methods in waste landfill", The 3ed International Symposium on Environmental Engineering and Water Resources, Khaje Nasir al-Din Tusi University (2015).
13. Mirzaei, M., Solgi, E. and Salman-Mahiny, A. "Evaluation of surface water quality by NSFWQI index and pollution risk assessment, Using WRASTIC Index in 2015", *Arc. Hyg. Sci*, **5**(4), pp. 264 - 277 (2016).
14. Tahmasebi, S., Afkhami, M. and Takdastan, A. "Study of chemical, physical and microbial quality of gargar river, Iran, using NSF Water quality index", *Iranian Journal of Health and Environment*, **3**(4), pp. 55-64 (2012).
15. Nor Azalina, R., Mohd Hafiz, Z. and Rosmina, A. "Salak river water quality identification and classification according to physico-chemical characteristics", *Procedia Engineering Journal*, **50**, pp. 69-77 (2012).
16. Mohseni, B.A., Monireh Majlessi, M. and Ali Kazempour, A. "Evaluation of golgol river water quality in Ilam province based on the national sanitation foundation water quality index (NSFWQI)", *Journal of Health in the Field*, **1**(4), pp. 45-53 (2014).
17. Karimi, S., Sadat Alavipur, F., Ghorbaninia, Z. and et al. "Combining WRASTIC with multi-criteria evaluation and fuzzy model to assess the risk of surface water contamination", *Geography and Development Magazine*, **N**(44), pp. 25-44 (2016).
18. Parmar, D.L. and Keshari, A.K. "Sensitivity analysis of water quality for Delhi stretch of the river yamuna, India", *Journal of Environmental Monitoring Assessment*, **184**(3), pp. 1487-508 (2012).
19. Al-Adamat, R. "Modelling surface water susceptibility to pollution using GIS", *Journal of Geographic Information System*, **9**(3), pp. 293-308 (2017).
20. Ashutosh Kumar, A. and Sharma, M.P. "Application of water quality index and diversity index for pollution assessment of kankaria lake at Ahmedabad, India", *Journal of Civil & Environmental Engineering*, **4**(3), pp. 1-4 (2014).
21. Shamsaie, A., Oreei, S. and Sarang, A. "The comparison of water indices and zoning quality in kroon and Dez rivers", *Journal of Water and Wastewater*, **16**(3), pp. 39-48 (2004).
22. "Disaster Risk Management Guide for Surface and Underground Water Resources", Number of Criteria 712, season 5, p. 65 (2016).
23. "State of New Mexico, Source Water Assessment and Protection Program", section 5, p. 38 (2000).