# بررسی کیفیت آب رودخانه‌ی سفیدرود و پهنه بندی آن با استفاده از شاخص های کیفی NSFWQI و OWQI

**سیده مریم میرمشتاقی**[۱]
**رضا امیرنژاد**[۲]
**محمدرضا خالدیان**[۳*]

۱. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تنکابن، دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی محیط زیست، تنکابن، ایران.
۲. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تنکابن، استادیار گروه محیط زیست، تنکابن، ایران.
۳. دانشگاه گیلان، دانشکده کشاورزی، استادیار گروه مهندسی آب، گیلان، ایران.

* نویسنده مسئول مکاتبات
khaledian@guilan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۷/۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۹/۱۰
این مقاله برگرفته از پایان نامه دانشجویی می باشد.

## چکیده

در حال حاضر رودخانه‌ی سفیدرود تنها منبع حیات آبزیان و منبع کشاورزی ساکنان حواشی رودخانه در استان گیلان نیست بلکه خود منبع آب شرب مصرفی اهالی و شهرهای اطراف می‌باشد، لذا کیفیت آب این رودخانه برای ما مهم است و روی سلامت جامعه تأثیر دارد. هدف از این مطالعه، بررسی کیفیت آب رودخانه سفیدرود با شاخص NSFWQI و مقایسه آن با استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی و آبیاری و تعیین کیفیت آب رودخانه در ایستگاه‌های تعیین شده در مسیر رودخانه سفیدرود می‌باشد. در این مطالعه تغییرات کیفی آب در طی ماه‌های فصل زمستان ۱۳۸۹ بهار و تابستان ۱۳۹۰ و از ۵ ایستگاه در طول رودخانه‌ی سفیدرود از طریق نمونه‌برداری آب رودخانه بر اساس روش استاندارد متد آمریکا اندازه گیری و مورد آزمایش قرار گرفت. در مجموع تعداد ۲۰ نمونه و با فاصله‌ی زمانی ۲ ماه در بهمن، فروردین، خرداد و مرداد برداشت گردید. برداشت نمونه از سه نقطه در هر ایستگاه صورت گرفت و سپس با تلفیق نمونه‌ها، یک نمونه مرکب بدست آمد. با ترکیب داده‌های میدانی، نتایج آزمایشگاهی و محاسبه‌ی شاخص کیفیت آب نشان دهنده این است که بیشترین شاخص کیفی NSFWQI را ایستگاه سد منجیل در ماه بهمن با مقدار ۵۷ دارا بوده و کمترین مقدار شاخص مذکور را ایستگاه سد تاریک در مرداد ماه با مقدار ۳۹ به خود اختصاص داده است. میانگین شاخص NSFWQI در رودخانه‌ی سفیدرود ۴۷/۵ بوده و در محدوده‌ی بد قرار دارد. ایستگاه‌های سد سنگر، پل آستانه و کیاشهر در تمام ماه‌های نمونه‌برداری وضعیت بد را نشان داده-اند و بین مقدار ۳۹ تا ۵۰ نوسان دارند و ایستگاه‌های سد منجیل و سد تاریک در دو ماه بهمن و فروردین وضعیت متوسط را نشان داده‌اند. محاسبه‌ی شاخص OWQI نیز کیفیت بسیار بد آب رودخانه‌ی سفیدرود را در دوره‌ی مطالعه نشان داده است.

**واژگان کلیدی:** شاخص کیفی آب، رودخانه‌ی سفیدرود، NSFWQI، OWQI.

## مقدمه

داشتن منابع آب سالم پیش نیاز ضروری و اساسی برای حفظ محیط زیست و رشد و توسعه اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و فرهنگی کشور است. رشد جمعیت جهان در دهه‌های اخیر و افزایش تقاضا برای مواد غذایی و نیز بالا رفتن سطح بهداشت سبب افزایش سرانه مصرف آب و فشار بر منابع آب موجود شده است. حفظ منابع تولید مواد غذایی از نظر کمی و کیفی به خصوص منابع آب و خاک وظیفه‌ای همگانی است. متأسفانه در کشور ما از آغاز ورود کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات و بیماری‌های گیاهی به عرصه تولیدات کشاورزی، توازنی بین آنچه مورد نیاز بوده و آنچه مصرف شده وجود نداشته است؛ لذا مصرف بی‌رویه مواد شیمیایی در کشاورزی، باعث افزایش شدت آلودگی منابع آبی که در گذر از شهرها و روستاها به اندازه کافی آلوده شده‌اند، می‌شود. با توجه به اینکه تغییرات محیط زیست تحت تأثیر کاهش یا افزایش مواد شیمیایی به آن است بنابراین لزوم داشتن یک استراتژی و برنامه مدون برای حفظ منابع آب و کنترل آلودگی‌های آن مسئله‌ای مهم در بخش‌های مدیریتی می‌باشد. کنترل و پایش آب‌های سطحی جهت مصارف مختلف آن، امری لازم و ضروری است تا از این طریق آبی با کیفیت مناسب جهت مصارف مختلف در دسترس مصرف کنندگان قرار گیرد. کیفیت آب در اکوسیستم‌های آبی به وسیله-ی پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بررسی می‌شود (Sargaonkar and Deshpande, 2003). یکی از روش‌های بسیار

Archive of SID


www.SID.ir

ساده و دور از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری که می‌تواند شرایط کیفی آب را بازگو و بعنوان یک ابزار پیشرفته قوی برای تصمیم گیری‌های مربوط استفاده شود، استفاده از شاخص‌های کیفی آب می‌باشد. شاخص‌های کیفی آب روش‌هایی هستند که در مدیریت کیفی آب می‌توان از آن‌ها با ساده سازی و کاهش اطلاعات خام و اولیه علاوه بر بیان کیفیت آب، روند تغییرات کیفی آب را در طول مکان و زمان بررسی کرد و مناطقی را که از نظر آلودگی بیشتر مورد تهدید می‌باشند مشخص و منابع آب را مدیریت نمود (Simoes *et al.*, 2008). دو فرم اصلی برای شاخص‌ها وجود دارد، شاخص‌هایی که با افزایش آلودگی، عدد شاخص آن‌ها افزایش می‌یابد، با نام شاخص آلودگی شناخته می‌شوند و شاخص‌هایی که با افزایش آلودگی، عدد شاخص آن‌ها کاهش می‌یابد با نام شاخص‌های کیفی شناخته می‌شوند، مثل NSFWQI و OWQI (ابراهیم پور و همکاران، ۱۳۹۰).

شاخص کیفی NSFWQI که مخفف National Sanitation Foundation Water Quality Index و به معنای شاخص کیفیت آب موسسه بهداشت ملی می‌باشد که در سال ۱۹۷۰ با حمایت موسسه ملی بهداشت آمریکا، براون و همکارانش این شاخص کیفی کاهشی را در این زمینه ارائه نمودند. آن‌ها در ابتدا حدود ۳۵ پارامتر آلودگی را مطرح کرده و سپس بر اساس نظر افراد متخصص حدود ۹ پارامتر را برای ایجاد شاخص اصلی انتخاب کردند (شمسایی و همکاران، ۱۳۸۴). پارامترهای مورد بحث در این شاخص عبارتند از: دما، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، اسیدیته، نیترات، فسفات، کل جامدات محلول، کلیفرم مدفوعی و کدورت. شاخص کیفی اورگان (OWQI) Oregon Water Quality Index در ایالت اورگان و در ابتدا توسط یک گروه بررسی کننده‌ی مسائل کیفی زیست محیطی در سال ۱۹۷۹ برای ارزیابی شرایط و روند کیفی آب ایجاد گردید. این شاخص جزو شاخص‌های مصارف آب طبقه‌بندی شده است و بیشتر برای ارزیابی کیفی آب برای مصارف تفریحی استفاده می‌شود. سادگی و در دسترس بودن پارامترهای کیفی مورد نیاز و تعیین زیر شاخص‌ها با استفاده از شکل‌ها یا روابط تحلیلی از مزایای این روش می‌باشد. رازدار و همکاران (۱۳۸۸) برای ارزیابی کیفیت آب تالاب انزلی از شاخص NSFWQI در سال ۱۳۸۶ استفاده کردند که تعداد ۱۰ ایستگاه به مدت یک سال مورد بررسی قرار گرفتند که کیفیت آب تالاب در محدوده‌ی متوسط قرار داشت. هوشمند و همکاران (۱۳۸۷) مطالعه کیفیت آب رودخانه کارون در استان خوزستان را برای سه سال آبی (۸۴-۸۲) انجام دادند و محدوده‌ی مورد مطالعه را به وسیله نرم افزار اطلاعات جغرافیایی با استفاده از شاخص NSFWQI پهنه بندی نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که کیفیت آب رودخانه کارون در منطقه مورد مطالعه جزو آب‌های با کیفیت متوسط طبقه بندی گردید (Enrique *et al.*, 2003). شاخص NSFWQI و کمبود اکسیژن محلول را در طول رودخانه گوادارما و مانزانارس برای دو سال متوالی ۲۰۰۳-۲۰۰۱ مورد مطالعه قرار دادند. نمونه‌ها از شش ایستگاه برداشت شدند و نتایج آن بصورت فصلی گزارش گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که در رودخانه گوادارما شاخص NSFWQI از کیفیت خوب نقاط ابتدایی به کیفیت متوسط در نقاط انتهای رسیده است. همچنین مقدار عددی شاخص برای رودخانه مانزانارس نیز حدود ۶۵ گزارش گردید. میرزایی و همکاران (۱۳۸۸) مطالعه مشابهی برروی پهنه بندی کیفی رودخانه جاجرود انجام دادند، در این مطالعه جهت پهنه بندی از شاخص NSFWQI استفاده گردید. اندازه گیری پارامترها در طول یک سال و بصورت فصلی انجام گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که علیرغم ورود آلودگی در بالا دست رودخانه، رودخانه از قدرت پالایش طبیعی بالایی برخوردار بود. کریمیان و همکاران (۱۳۸۵) شاخص NSFWQI را جهت پهنه بندی رودخانه زهره مورد استفاده قرار دادند. ایستگاه‌های منتخب شامل نه ایستگاه در طول رودخانه بود و نمونه‌ها بصورت ماهیانه و در طول یک سال آبی برداشت گردید. پارامترهای مورد مطالعه در این تحقیق نیز شامل وضعیت اسیدیته، اکسیژن محلول، اکسیژن بیوشیمیایی مورد نیاز، دما، هدایت الکتریکی، کدورت، نیترات، آمونیوم، پتاسیم و کلیفرم مدفوعی بود. نتایج این مطالعه نشان داد که آب این رودخانه در سرچشمه دارای کیفیت مناسب بوده است و بتدریج در طول مسیر با پساب‌های گوناگون آلوده شده و از کیفیت آن کاسته شده تا به حد کیفیت بد رسیده است.

بر اساس تجزیه و تحلیل نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ منطقه و امکانات GIS مساحت کل استان گیلان ۱۴۷۰۹ کیلومتر مربع و حوضه آبریز سفیدرود با وسعتی حدود ۶۷۰۰۰ کیلومترمربع بین ´ ۳۰ ° ۴۶ تا ´ ۱۵ °۵۱ طول شرقی و ´ ۴۵ °۳۴ تا ´ ۴۵ °۳۷ عرض شمالی قرار دارد. رودخانه سفیدرود از بهم پیوستن دو شاخه اصلی قزل‌اوزن و شاهرود از استان‌های کردستان و آذربایجان و استان مرکزی سرچشمه گرفته و در استان گیلان در بندر کیاشهر و در تراز ارتفاعی ۲۰- به دریای خزر منتهی می‌شود. طول سفیدرود از سد منجیل تا مصب حدود

Archive of SID

www.SID.ir

۱۴۲کیلومتر می‌باشد. عرض رودخانه از ۱۰۰ تا ۲۵۰ متر و عمق آن از ۲ تا ۸ متر تغییر می‌کند. آبدهی سالیانه آن بطور متوسط ۳۹۹۸/۴ میلیون مترمکعب، حداقل آبدهی لحظه‌ای آن ۷۶/۵ و حداکثر ۲۸۸/۵ مترمکعب در ثانیه در محل آستانه در یک دوره ۱۹ ساله اندازه‌گیری شده است. شیب حوضه از جنوب غربی به سمت شمال شرقی می‌باشد. سفیدرود دارای رژیم هیدرولوژی برفی –بارانی و در تمام مسیر تقریباً سیلابی است. برف به ویژه در ارتفاعات بالاتر از ۱۵۰۰ متر نقش مهمی در آورد بهاره رودخانه دارد. بستر رودخانه را در غالب نقاط رسوب-های دانه درشت تشکیل می‌دهد ولی گاهی در مسیر کوتاهی در دره‌های تنگ ناحیه میانی و حتی پایاب سد منجیل، بستر رودخانه در امتداد قابل توجهی سنگی است (کتیرایی، ۱۳۸۰). مسیر عمومی رودخانه شمال خاوری است. استان گیلان از نظر وضعیت منابع و حوضه‌های اصلی دارای چهار حوضه می‌باشد که عبارتند از: ۱-حوضه دشت تالش ۲-حوضه دشت فومنات ۳-حوضه دشت آستانه و کوچصفهان ۴-حوضه دشت لاهیجان؛ که رودخانه سفیدرود در دشت آستانه-کوچصفهان که حوضه میانی گیلان است، مهم‌ترین رود این حوضه می‌باشد که به همراه رودخانه‌های توتکابن، رشته‌رود، فیارود، خرشک، زیلکی رود و دیسام حوضه سفیدرود را تشکیل می‌دهد. رودخانه سفیدرود پرآب‌ترین رودخانه استان می‌باشد. به دلیل احداث سد سفیدرود در پایین دست تلاقی دو شاخه اصلی رودخانه (قزل‌اوزن و شاهرود) در منجیل و همچنین سدهای انحرافی تاریک و سنگر، اراضی بسیاری از آب رودخانه سیراب شده و بنابراین رودخانه مذکور در تولید انواع محصولات کشاورزی، دامی و شیلات استان نقش مهمی را ایفا می‌نماید (دریکوند و فرجی، ۱۳۸۹).

## مواد و روش‌ها

در ایجاد شاخص کلی NSFWQI برای منظور کردن میزان اثر هر پارامتر و یا زیر شاخص مربوط به آن، به هر یک از پارامترها یک وزن یا ارزش عددی نسبت داده شده است (جدول ۱). بیشترین وزن‌دهی مربوط به غلظت اکسیژن محلول در آب به میزان (۰/۱۷ واحد) و کمترین وزن مربوط به غلظت کل جامدات (۰/۰۷ واحد) می‌باشد. شاخص کیفیت آب از صفر تا صد (جدول ۲) طبقه بندی شده است (Oram, 2011). برای بدست آوردن عدد نهایی این شاخص از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود (ابراهیم پور و همکاران،۱۳۹۰).

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^{n} w_i I_i$$

n تعداد پارامترها (n=9)، Ii =زیر شاخص i ام، Wi = ضریب وزنی پارامتر i ام

**جدول ۱: فاکتورهای وزنی به کار رفته در شاخص NSFWQI**

| پارامترها | وزن | پارامترها | وزن |
|---|---|---|---|
| اکسیژن مورد نیاز شیمیایی | ۰/۱۱ | تغییرات دما | ۰/۱ |
| اکسیژن محلول | ۰/۱۷ | نیترات | ۰/۱ |
| فسفات کل | ۰/۱ | pH | ۰/۱۱ |
| کلیفرم | ۰/۱۶ | مواد جامد کل | ۰/۰۷ |
| کدورت | ۰/۰۸ | | |

**جدول ۲: رده بندی کیفی و تفسیر آلودگی شاخص‌های NSFWQI و OWQI**

| طبقه بندی کیفیت | مقدار عددی شاخص OWQI | مقدار عددی شاخص NSFWQI |
|---|---|---|
| بسیار بد | ۰-۱۰ | ۰-۲۵ |
| بد | ۶۱-۷۹ | ۲۶-۵۰ |
| متوسط | ۸۰-۸۴ | ۵۱-۷۰ |
| خوب | ۸۵-۸۹ | ۷۱-۹۰ |
| عالی | ۹۰ -۱۰۰ | ۹۱-۱۰۰ |

Archive of SID

www.SID.ir

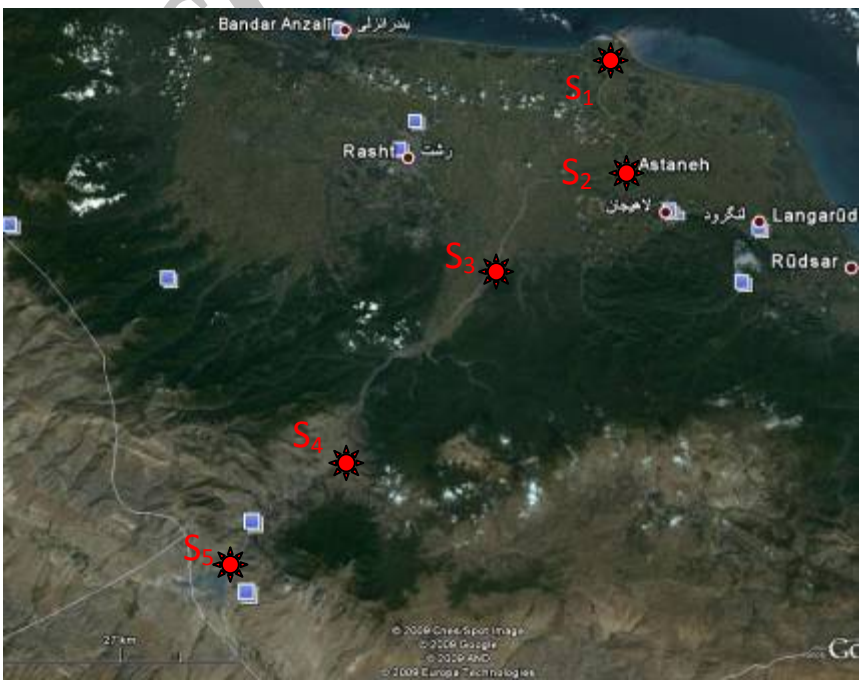
در روش OWQI هر یک از پارامترهای هشتگانه فاقد ضریب وزنی بوده و اثر یکسانی در شاخص نهایی دارد و با توجه به این که پارامترهای با ارزش کم و پارامترهای با ارزش بالا به یک مقدار روی عدد نهایی شاخص تأثیر دارند، می‌تواند از اشکالات این شاخص باشد. همان طور که اشاره گردید است پارامترهای مورد استفاده در این روش شامل: دما، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، اسیدیته، نیتروژن، فسفر کل، کل جامدات محلول و کلیفرم مدفوعی می‌باشند. جدول (۲) بیانگر کیفیت آب بر اساس مقادیر عددی شاخص می‌باشد.

شاخص نهایی اورگان بوسیله‌ی رابطه‌ی مقابل محاسبه می‌شود (Cude, 2001).

$$OWQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{SI_i^2}}}.$$

در رابطه فوق: n تعداد پارامترها (n=8) / SIi پارامتر i ام

ابتدا موقعیت کلی رودخانه سفیدرود با استفاده از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. جهت انتخاب نقاط نمونه‌برداری بر روی رودخانه، با توجه به طول تقریبی ۱۱۵ کیلومتری رودخانه و پس از بررسی نقشه‌ها و بازدیدهای صحرایی، به جهت دسترسی بهتر و امکان نمونه‌برداری، با توجه به مکان ورود آلاینده‌ها و شاخه‌های فرعی به سفیدرود و قرار گرفتن ایستگاه‌ها پس از سدهای احداثی بر روی رودخانه، انتخاب گردید. مبنای انتخاب نقاط اندازه‌گیری بر روی رودخانه به این صورت است که یک نقطه از بالادست که ورودی رودخانه سفیدرود به استان گیلان است و سه نقطه از وسط رودخانه به جهت تعیین تغییرات کیفی پارامترها در طی مسیر و دریافت شاخه‌های فرعی و دیگر ورودی‌های آلاینده به رودخانه که بالطبع بار آلودگی بیشتری نسبت به بالادست می‌توانند داشته باشند، انتخاب شده‌اند و یک نقطه در پایین‌دست رودخانه در محل ورود به دریای خزر انتخاب گردید (شکل ۱). برای بررسی تغییرات کیفی آب رودخانه‌ی سفیدرود در ماه‌های بهمن و فروردین ۱۳۸۹، اردیبهشت و مرداد ۱۳۹۰، از ۵ ایستگاه در طول رودخانه نمونه های آب تهیه و مورد آزمایش قرار گرفتند. در این مطالعه تعداد کل ۲۰ نمونه مرکب و با فاصله‌ی زمانی ۲ ماه برداشت گردید. برداشت نمونه ابتدا از سه نقطه در هر ایستگاه انجام گردید و سپس با تلفیق نمونه‌ها، یک نمونه برداری حاصل گردید. اولین محل نمونه برداری از پایین دست سد منجیل، ایستگاه اول (S1) شروع شد و سپس در سد تاریک، ایستگاه دوم (S2)، سد سنگر، ایستگاه سوم (S3)، پل آستانه، ایستگاه چهارم (S4) و در پل کیاشهر، ایستگاه پنجم (S5) خاتمه یافت. فاصله‌ی طولی تقریبی بین ایستگاه‌ها از یکدیگر به ترتیب ۴۵، ۲۰، ۳۵ و ۱۵ کیلومتر می‌باشد. مختصات جغرافیایی ۵ ایستگاه با استفاده از دستگاه GPS مشخص گردید (جدول ۳).




Archive of SID

www.SID.ir

**شکل ۱ : تصویر ماهواره‌ای از رودخانه سفیدرود**

**جدول ۳: مختصات نقاط واقع بر رودخانه سفیدرود جهت نمونه برداری**

| نام رودخانه | شماره نقاط | نزدیکترین شهر | utm (y) | utm (x) |
|---|---|---|---|---|
| سفیدرود | S۱- سد منجیل | منجیل | ۴۰۷۰۴۳۴ | ۳۵۶۸۸۵ |
| | S۲- سد تاریک | رستم آباد | ۴۰۹۴۶۶۰ | ۳۷۲۶۷۴ |
| | S۳- سد سنگر | سنگر | ۴۱۰۸۷۹۱ | ۳۸۷۳۳۸ |
| | S۴- پل آستانه | آستانه | ۴۱۲۶۱۷۲ | ۴۰۵۴۴۳ |
| | S۵-کیاشهر | کیاشهر | ۴۱۴۴۱۷۰ | ۴۰۵۳۱۷ |

پارامترهای مورد اندازه‌گیری شامل دما، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول و pH در محل و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی، نیترات، فسفات، کلیفرم و کدورت پس از انتقال نمونه به آزمایشگاه شرکت آب منطقه‌ای گیلان مطابق با روش‌های استاندارد متد ( APHA, AWWA, WEF, 1992) سنجش شد و به ترتیب توسط دستگاه‌های تجزیه‌ای استاندارد شامل ترمومتر دیجیتال، اکسیژن متر و pH متر WTW مدل i 340، BOD متر مدل WTW-730، اسپکتروفتومتری مدل HACH، کدورت سنج مدلAQUQ LYTIC AL1000 و روش MPN سه لوله‌ای اندازه‌گیری شدند. کلیه دستگاه‌ها قبل از زمان نمونه برداری با انجام کالیبراسیون بر اساس دستورالعمل پایش کیفیت آب‌های سطحی نشریه‌ی شماره ۵۲۲ از لحاظ دقت و صحت کار بررسی و مورد سنجش قرار گرفتند (دستورالعمل پایش کیفیت آب‌های سطحی (جاری)، ۱۳۸۸). پارامترها و غلظت‌های اندازه‌گیری شده برای بدست آوردن مقدار شاخص‌های NSFWQI و OWQI با استفاده از نرم افزار Water Quality Index بدست آمد (آخوندی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Oram, 2011).

## نتایج

نتایج بدست آمده‌ی ماهانه از کیفیت آب رودخانه سفیدرود در ایستگاه‌های مختلف (جدول ۴) ارائه شده است. شکل های (۱) و (۲) به ترتیب مقادیر شاخص‌های کیفی NSFWQI و OWQI برای ایستگاه‌های مختلف رودخانه‌ی سفیدرود را نشان می‌دهند. در تمام موارد اندازه‌گیری شده بیشترین شاخص کیفی NSFWQI را ایستگاه سد منجیل با مقدار ۵۷ و کمترین مقدار شاخص را ایستگاه سد تاریک در مرداد ماه با مقدار ۳۹ به خود اختصاص داده است. همان طور که در شکل (۳) دیده می‌شود شاخص کیفی OWQI در ایستگاه کیاشهر با مقدار ۹/۷ کمترین امتیاز و در ایستگاه سد تاریک با ۱۶/۸ بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده‌اند. همه‌ی ایستگاه‌ها از نظر طبقه بندی شاخص OWQI در طبقه‌ی کیفی بد و بسیار بد قرار گرفته‌اند. شاخص NSFWQI و OWQI بر اساس ایستگاه‌های انتخاب شده و ماه‌های اندازه‌گیری در شکل‌های (۳) و (۴) و جدول‌های (۵) و (۶) مورد مقایسه قرار گرفتند. میانگین شاخص NSFWQI در سد منجیل با سد تاریک در مقدار ۳۹ و همین طور سد سنگر با پل آستانه در مقدار ۴۵ با هم برابرند. شاخص NSFWQI و OWQI هر دو در ایستگاه سد منجیل بهترین کیفیت آب را نشان داده‌اند و از نظر تغییرات زمانی در ماه مرداد کمترین مقدار و در فروردین بیشترین مقدار عددی شاخص را نشان می‌دهند. با توجه به جدول (۶) شاخص NSFWQI بیشترین نوسانات در کیفیت آب ایستگاه‌های مورد اندازه‌گیری را در ماه مرداد و کمترین تغییرات را در ماه خرداد و شاخص OWQI بیشترین نوسانات در ایستگاه‌های مورد اندازه‌گیری را در ماه خرداد و کمترین نوسان را در ماه مرداد نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

**جدول ۴ : پارامترهای اندازه گیری شده در نقاط نمونه برداری رودخانه سفیدرود طی چهار ماه نمونه برداری**

| | پارامتر | pH | $T.po_4$ | $T.no_3$ | Temp | BOD | TDS | Turb | Coliform | DO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | mg/l | mg/l | °C | mg/l | mg/l | FNU | N/100ml | mg/l |
| بهمن ۸۹ | سد منجیل | ۸/۹۲ | ۰/۰۵ | ۴/۴ | ۸/۷۳ | ۲/۶۷ | ۸۱۲ | ۳۰/۰۶ | ۳۵ | ۸/۲۷ |
| | سد تاریک | ۸/۳۴ | ۰/۰۹ | ۳/۴ | ۶/۹ | ۲/۹۴ | ۷۷۶ | ۳/۳ | ۱۶۰۰ | ۷/۸۲ |
| | سد سنگر | ۸/۳۴ | ۰/۰۴ | ۳/۹ | ۹/۱ | ۳۳/۳ | ۳۳۹ | ۱۲/۴ | ۴۲۰۰ | ۸/۱۲ |
| | پل آستانه | ۷/۹۹ | ۰/۱۱ | ۴/۱۲ | ۸ | ۲۶/۶ | ۲۶۸/۷ | ۳۵ | ۴۳۰۰ | ۹ |
| | کیاشهر | ۷/۷۵ | ۰/۱۸ | ۴/۶۸ | ۶/۸ | ۲۵ | ۳۳۴ | ۱۳/۳ | ۴۲۰۰ | ۸/۷ |
| فروردین ۹۰ | سد منجیل | ۷/۴۵ | ۰/۰۴ | ۴/۳۲ | ۱۲/۹۰ | ۱/۶۲ | ۱۱۲۳ | ۱۱/۸۵ | ۳۲۰۰ | ۱۱/۸۰ |
| | سد تاریک | ۸/۲۷ | ۰/۱۳ | ۰/۹۸ | ۱۶/۹ | ۲/۳۴ | ۹۸۸ | ۶/۴ | ۳۷۰۰ | ۹/۹ |
| | سد سنگر | ۸/۳۹ | ۰/۰۹ | ۰/۴۲ | ۱۷/۹ | ۱۵/۹ | ۴۸۹/۵ | ۳/۷ | ۳۵۰۰ | ۸/۷ |
| | پل آستانه | ۸/۴ | ۰/۰۶ | ۰/۳۵ | ۱۸ | ۱۷/۲ | ۵۱۰ | ۳/۸ | ۳۹۰۰ | ۱۰/۵ |
| | کیاشهر | ۸/۳۶ | ۰/۱۲ | ۰/۱۵ | ۱۶ | ۲۰/۹ | ۵۳۵ | ۳/۳ | ۴۲۰۰ | ۱۰/۸ |
| خرداد ۹۰ | سد منجیل | ۸/۰۱ | ۰/۱۱ | ۴/۷ | ۲۲/۱ | ۷/۴ | ۹۹۵ | ۳/۴ | ۲۶۰۰ | ۹/۷۶ |
| | سد تاریک | ۸/۲۶ | ۰/۰۶ | ۲/۳۵ | ۲۱/۹ | ۹/۷ | ۹۹۷ | ۳/۷ | ۲۷۰۰ | ۱۰/۵ |
| | سد سنگر | ۸/۲۳ | ۰/۰۴ | ۲/۴۴ | ۲۳/۸ | ۲۵/۴ | ۹۸۵ | ۴/۲ | ۲۲۰۰ | ۹/۳ |
| | پل آستانه | ۸/۳۱ | ۰/۰۹ | ۰/۷۵ | ۲۵/۸ | ۴۲/۲ | ۹۵۱ | ۲/۰۹ | ۲۱۰۰ | ۸/۶ |
| | کیاشهر | ۸/۱۴ | ۰/۰۷ | ۰/۳ | ۳۰ | ۵۴/۱ | ۹۸۸ | ۱/۸۹ | ۲۲۰۰ | ۱۲/۷ |
| مرداد ۹۰ | سد منجیل | ۸/۱۱ | ۰/۱۳ | ۲/۷۹ | ۲۵ | ۴۶/۴ | ۱۲۹۹ | ۱۶/۵ | ۴۴۰۰ | ۹/۱ |
| | سد تاریک | ۸/۲ | ۰/۱۹ | ۲/۶۵ | ۲۶ | ۳۴/۸ | ۱۱۰۶ | ۱۶/۴ | ۳۹۰۰ | ۸/۶ |
| | سد سنگر | ۷/۸۳ | ۰/۰۴ | ۲/۷ | ۲۵ | ۳۰/۶ | ۹۹۵ | ۸/۲ | ۴۲۰۰ | ۸/۴ |
| | پل آستانه | ۸/۲۳ | ۰/۱ | ۱/۳۴ | ۲۴ | ۳۲/۶ | ۱۰۲۲ | ۷/۵ | ۴۱۰۰ | ۷/۲ |
| | کیاشهر | ۷/۸۵ | ۰/۱۲ | ۰/۸ | ۲۷ | ۲۳/۸ | ۱۰۴۱ | ۲/۵ | ۵۵۰۰ | ۷/۱ |

Archive of SID

www.SID.ir

**شکل ۱: تعیین مقدار شاخص NSFWQI در ایستگاه‌های رودخانه‌ی سفیدرود در ماه‌های مورد مطالعه (۱۳۹۰ – ۱۳۸۹)**

**شکل ۲: روند تغییرات شاخص OWQI در ایستگاه‌های رودخانه‌ی سفیدرود در ماه‌های مورد مطالعه (۱۳۹۰ – ۱۳۸۹)**

www.SID.ir

**شکل ۳: مقایسه میانگین شاخص‌های NSFWQI و OWQI در ایستگاه‌های رودخانه‌ی سفیدرود (۱۳۸۹ – ۱۳۹۰)**

**جدول ۵: میانگین و انحراف معیار شاخص‌های WQI و OWQI برای ایستگاه‌های رودخانه‌ی سفیدرود (۱۳۸۹ – ۱۳۹۰)**

| | منجیل | تاریک | سنگر | آستانه | کیاشهر |
|---|---|---|---|---|---|
| **WQI** | ۴۹ | ۴۹ | ۴۵ | ۴۵ | ۴۸ |
| و انحراف معیار آن | (±۷/۸۵) | (±۷/۷۶) | (±۳/۵۹) | (±۴/۲۴) | (±۵/۳۵) |
| **OWQI** | ۱۶ | ۱۵ | ۱۳ | ۱۳ | ۱۲ |
| و انحراف معیار آن | (±۲/۳۹) | (±۳/۲۳) | (±۱/۵۲) | (±۲/۴۸) | (±۲/۳۴) |

**شکل ۴: مقایسه میانگین شاخص‌های WQI و OWQI برای ماه‌های مختلف در رودخانه‌ی سفیدرود (۱۳۸۹ – ۱۳۹۰)**

www.SID.ir

**جدول ۶: میانگین و انحراف معیار شاخص‌های WQI و OWQI برای ماه‌های مختلف در رودخانه‌ی سفیدرود (۱۳۸۹ – ۱۳۹۰)**

| | مرداد | خرداد | فروردین | بهمن |
|---|---|---|---|---|
| **WQI** و انحراف معیار آن | ۴۳/۳ (±۶/۵۸) | ۴۳/۴ (±۱/۶۸) | ۵۲ (±۳/۸۰) | ۴۹/۶ (±۴/۰۹) |
| **OWQI** و انحراف معیار آن | ۱۱/۲۸ (±۱/۴۴) | ۱۳/۴۵ (±۳) | ۱۶/۲۲ (±۱/۶۶) | ۱۳/۷۹ (±۲/۱۲) |

## بحث و نتیجه‌گیری

رودخانه سفیدرود با معضل ورود انواع پساب‌های کشاورزی و فاضلاب شهری و صنعتی مواجه شده است بطوریکه بعد از نمونه برداری از مسیر رودخانه مشاهده گردید که میزان DO (شاخص سلامتی رودخانه) رو به کاهش بوده و در نتیجه اکسیژن خواهی بیولوژیکی افزایش پیدا کرده است (دریکوند و فرجی، ۱۳۸۹). بار آلودگی کلیفرم در طول رودخانه از بالادست به سمت ایستگاه‌های پایین دست افزایش یافته و بجز ایستگاه سد منجیل در باقی نقاط خصوصاً در نقاط انتهایی رودخانه بسیار فراتر از مقادیر پذیرفته شده است و در ایستگاه پل کیاشهر حتی به ۵۵۰۰ عدد در ۱۰۰ میلی لیتر آب نیز رسیده است که جهت شرب، کشاورزی و سایر مصارف بسیار خطرناک است (شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان، ۱۳۸۸). غلظت کدورت با وجود نشان دادن روند کاهشی از سد منجیل تا ایستگاه کیاشهر، بجز ماه خرداد از حداکثر مقدار استاندارد شرب WHO که NTU ۵ تعیین شده است، بالاتر رفته و مناسب آشامیدن نمی‌باشد. در ماه‌های بهمن و فروردین افزایش غلظت فسفات در ایستگاه خروجی کیاشهر به نسبت ایستگاه ورودی سد منجیل مشاهده شده است و در ماه‌های خرداد و مرداد روند کاهشی داشته است. WHO میزان استاندارد فسفات در آب شرب را ۵ میلی‌گرم بر لیتر و FAO میزان کمتر از ۵ میلی‌گرم بر لیتر را محدوده‌ی خوب برای آبیاری اعلام کرده است. با وجود نوسانات در مقدار پارامتر فسفات رودخانه‌ی سفیدرود، میزان آن نزدیک و یا کمتر از استاندارد شرب و آبیاری اندازه‌گیری شده است. رودخانه‌ی سفیدرود از نظر پارامتر نیترات نیز در محدوده‌ی استاندارد شرب و کشاورزی قرار گرفته است. پارامتر pH در دوره‌ی مطالعه در بازه‌ی قلیایی و در محدوده‌ی استاندارد شرب و کشاورزی قرار گرفته است که قلیاییت نشان‌دهنده درصد بالایی از نمک‌های محلول در آب (ناشی از فرسایش و انحلال سازندها) می‌باشد (کتیرایی،۱۳۸۰). میزان TDS روند کاهشی را در مسیر ورودی به دریا داشته است و در تمام ماه‌ها بجز ماه بهمن و خرداد در حد استاندارد شرب WHO (۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) قرار گرفته است. در برآیند کلی از پارامترها، می‌توان بیان کرد که آب رودخانه‌ی سفیدرود فقط در ایستگاه سد منجیل مناسب شرب بوده است و در ایستگاه-های سد سنگر تا ایستگاه کیاشهر در بهمن ماه در صورت تصفیه میکروبی آب و مناسب ساختن آب از نظر استاندارد کلیفرم برای آبیاری و کشاورزی می‌تواند مناسب باشد (میرمشتاقی، ۱۳۹۰). نتایج بدست آمده از شاخص NSFWQI نشان می‌دهد ایستگاه‌های سد منجیل و سد تاریک در دو ماه بهمن و فروردین در محدوده‌ی کیفیت متوسط و ایستگاه‌های سد تاریک، پل‌آستانه و کیاشهر در تمام ماه‌ها محدوده‌ی کیفی بد را نشان داده و بین مقدار ۳۹ تا ۵۰ نوسان دارد. میانگین شاخص NSFWQI در رودخانه‌ی سفیدرود ۴۷/۵ می‌باشد و در طبقه‌ی کیفی بد قرار گرفته است.

با توجه به مقایسه مقدار پارامترهای اندازه‌گیری شده با استانداردهای موجود، میزان پارامترهای اندازه‌گیری شده‌ی نیترات، فسفات، اکسیژن محلول و pH در اکثر موارد در محدوده‌ی استاندارد شرب و آبیاری قرار گرفته است (میرمشتاقی و همکاران، ۱۳۹۰). ولی میزان غلظت کلیفرم در رودخانه‌ی سفیدرود در محدوده‌ی استاندارد (استاندارد WHO، ۰ در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب شرب، کمتر از ۴۰۰ عدد کلیفرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب در استاندارد محیط زیست ایران جهت آبیاری) مصارف شرب و آبیاری قرار نگرفته است و به این دلیل آب رودخانه‌ی سفیدرود فقط در ایستگاه سد منجیل در بهمن ماه قابل استفاده‌ی مصارف شرب بوده ولی برای آبیاری مناسب نمی‌باشد و عوامل محدود کننده‌ی آب سفیدرود برای کشاورزی میزان TDS و کلیفرم بوده است (میرمشتاقی، ۱۳۹۰). ایستگاه‌های سد سنگر، پل آستانه و کیاشهر در بهمن ماه برای آبیاری مناسب هستند که در صورت کاربرد در مصارف آبیاری از آب این ایستگاه‌ها حتماً باید قبل از استفاده، از نظر میزان

Archive of SID

www.SID.ir

کلیفرم تصفیه شده و در محدوده‌ی استاندارد قرار بگیرد. طبق استانداردهای آبزی پروری فقط ایستگاه‌های بالادست دارای مقادیر استاندارد تعیین شده می‌باشند (دریکوند و فرجی، ۱۳۸۹). شاخص NSFWQI در اکثر موارد کمتر از ۵۰ اندازه‌گیری شده است و تنها در دو ایستگاه بالادست سد تاریک و سد منجیل در ماه‌های بهمن و فروردین کیفیت متوسط آب را نشان می‌دهد. کیفیت متوسط این ایستگاه از آنجا ناشی می‌شود که سرچشمه این رودخانه از دو شاخه‌ی قزل‌اوزن و شاهرود منشأ گرفته و آب را با همان کیفیت متوسط اولیه وارد استان می‌کند و همچنین این ایستگاه از نظر غلظت کلیفرم، BOD و اکسیژن محلول در آب نسبت به دیگر ایستگاه‌ها وضعیت بهتری دارد. در ایستگاه‌های میان‌دست، پایین‌دست و در نقطه ورود سفیدرود به دریای خزر (کیاشهر) آب با توجه به شاخص NSFWQI ، از نظر کیفی در وضعیت بد قرار گرفته است. وجود کمترین مقدار شاخص NSFWQI و کاهش کیفیت آب در سد تاریک در مرداد ماه به علت ورود فاضلاب‌های شهرهای رودبار و رستم آباد و شاخه های فرعی تاریک رود و توتکابن به رودخانه‌ی سفیدرود می‌باشد و مقدار پارامترهای BOD، کدورت و فسفات، مقدار شاخصNSFWQI و کیفیت آب این ایستگاه را تحت تأثیر قرار داده است (دریکوند و فرجی، ۱۳۸۹). شاخص کیفی OWQI تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه را در محدوده‌ی کیفی بسیار بد قرار داده است. در این شاخص به این دلیل که هر یک از پارامترهای هشتگانه فاقد ضریب وزنی بوده، اثر یکسانی در محاسبه‌ی شاخص نهایی دارند که خود می‌تواند از اشکالات این شاخص باشد با توجه به تأثیر یکسان پارامترها، پایین بودن یک یا دو زیر شاخص منجر به افت شدید شاخص نهایی می‌شود. در این روش پارامترهای با ارزش کم و پارامترهای با ارزش بالا به یک مقدار روی عدد نهایی شاخص تأثیر دارند (ابراهیم پور و همکاران، ۱۳۹۰). کاهش کیفیت شاخص‌های NSFWQI و OWQI در خرداد ماه، به علت کاهش دبی رودخانه به دلیل برداشت از کانال‌های فرعی در مسیر رودخانه برای تأمین آب کشاورزی و افزایش ورود زهاب‌های کشاورزی به رودخانه و افزایش کیفیت آب در فروردین، به علت ترقیق آلاینده‌ها که ناشی از بارندگی‌های فصلی و افزایش دبی به علت باز کردن دریچه‌ی سد برای تأمین آب مورد نیاز زمین‌های کشاورزی می‌باشد را می‌توان بیان نمود.

بکار بردن فاکتور وزنی برای هر پارامتر در ساختار شاخص اصلی و یا زیر شاخص تشکیل دهنده آن، باعث افزایش دقت در هنگام اخذ تصمیم گیری‌های بعدی بر اساس آن می‌شود. این فاکتور وزنی بر اساس میزان تأثیر پارامترهای مربوطه در آن شاخص اتخاذ می‌گردد که خود باعث کاربرد شاخص در شرایط ویژه‌تری می‌شود. شاخص NSFWQI که در ساختار آن از فاکتور وزنی استفاده شده، و نیز به دلیل عدم وجود ناحیه تاریکی، از دقت بالایی برخوردار است. مسئله تاریکی زمانی رخ می‌دهد که حداقل یکی از شاخص‌ها، شرایط ضعیف زیست محیطی را نشان دهد ولی شاخص کلی این شرایط ضعیف را نشان ندهد. در مورد شاخص OWQI، به دلیل نوع ساختار ریاضی شاخص کل، پارامترهایی که در این شاخص دارای اهمیت کمتری می‌باشند، از تأثیر بیشتری برخوردار هستند، طوری که کوچکترین تغییر در این پارامترها تأثیر زیادی بر شاخص کل خواهد داشت (شمسایی و همکاران، ۱۳۸۴). در مقایسه با شاخص WQI، شاخص OWQI بدلیل اینکه به همه‌ی پارامترها وزن یکسانی می‌دهد از ارزش کمتری برخوردار است. از آنجایی که شاخص NSFWQI برای هر پارامتری یک وزن خاص را در نظر می‌گیرد و در محاسبه‌ی نهایی شاخص، منظور می‌شود یک شاخص مناسب‌تر برای ارزیابی آب رودخانه می‌باشد. با توجه به اینکه در ایران تحقیقات زیادی روی آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها انجام نشده، استفاده از روش شاخص موسسه ملی بهداشت (NSF) برای شناخت اولیه از کیفیت منابع آبی کشور مناسب است. ارزیابی و شناخت کیفیت آب رودخانه‌ها و جریانات با استفاده از روش WQI سبب ارائه نتایج دقیق‌تر و پیش بینی‌های سریعتر می‌گردد و این امکان را فراهم می‌نماید که با بیانی ساده بتوان کیفیت آب رودخانه را در ایستگاه‌های مختلف ارائه و طبقه بندی نمود. نتایج بررسی کیفیت شیمیایی آب رودخانه، به طور کلی نشان می‌دهد که هر چه زمین‌های کشاورزی به منابع آب‌های سطحی مورد مطالعه نزدیک‌تر باشند، آلودگی آب آن‌ها بیشتر است. بیشترین آلودگی نیترات آب‌های سطحی مورد آزمایش، به زمان کود دهی بستگی دارد، همچنین مطالعه آلودگی‌های زیست محیطی نیز نشان می‌دهد که مهم‌ترین منشأ آلودگی در منطقه مورد مطالعه شامل پساب کارخانجات روغن‌کشی سفیدرود، روغن‌کشی گنجه، کشتارگاه منجیل، ریسندگی گنجه، فاضلاب و زباله شهرهای رودبار، آستانه و کیاشهر و همچنین پساب‌های کشاورزی حاصل از کودها و سموم دفع آفات نباتی توسط کشاورزان منطقه می‌باشد و به علت حضور مواد آلی، اکسیژن محلول در آب نیز کاهش یافته است (شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان، ۱۳۸۸). رودخانه‌ها در مسیرهای

Archive of SID

www.SID.ir

گاه طولانی خود دچار تغییر و تحولات بسیاری می‌شوند و نیز تا حدی توانایی خود پالایی دارند که این مسئله می‌تواند باعث از بین رفتن بسیاری از آلاینده‌ها شود. بنابراین باید اقداماتی صورت گیرد که این توانایی خود پالایی از دست رفته‌ی رودخانه‌ی سفیدرود احیا شده و بلکه افزایش یابد که این مهم جز با حفظ و نگهداری این منبع ارزشمند و جلوگیری از آلودگی آن به خصوص با پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های خانگی و صنعتی امکان پذیر نیست.

اگر طی یکی، دو دهه آینده جهت اصلاح الگوی مصارف صنعتی در کشاورزی و دفع پساب‌های صنعتی، شهری و کشاورزی تمهیدات و فرهنگ سازی لازم تحقق نیابد حیات مجموعه منابع مورد مطالعه با ادامه روند فوق به خطر خواهد افتاد و این منابع آبی تحت شرایط فوق مرده تلقی شده و احیاء آن‌ها سرمایه‌گذاری‌های سنگین را طلب می‌نماید. ضمناً سلامت جمیعت بهره‌بردار از منابع فوق نیز آسیب جدی دیده و هزینه‌های درمان تحمیل شده بر دولت و مردم در این خصوص و کاهش عمر افراد آسیب‌دیده با منافع حاصل از کمیت محصول در دسترس قابل قیاس نمی‌باشد. به منظور کنترل عواقب فوق تمهیدات زیر پیشنهاد می‌گردد:

- تغییر منبع تأمین آب استان به رودخانه‌ای دیگر جهت تأمین آب شرب با کیفیت مناسب برای سلامت جامعه.
- از تخلیه مستقیم فاضلاب خانگی به رودخانه جلوگیری شده و از روش‌های تصفیه فاضلاب خانگی استفاده شود.
- احداث و راه اندازی تصفیه خانه برای فاضلاب‌های شهری و صنعتی و نظارت بر تصفیه فاضلاب در حد استاندارد و تخلیه آن به آب سطحی برای مصارف کشاورزی.
- استفاده از موجودات آبزی تجزیه کننده عوامل آلایندگی مانند عدسک‌های آبی.
- ترویج کشاورزی پاک (بدون استفاده از سموم و کودهای شیمیایی و یا حداقل استفاده از انواع بی‌خطر آن‌ها) و استفاده از روش‌های مبارزه بیولوژیکی و طبیعی.

## سپاسگزاری

بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مدیریت مطالعات پایه منابع آب و آزمایشگاه امور آب منطقه‌ای استان گیلان که در انجام آزمایشات این تحقیق ما را همکاری نمودند، اعلام می‌نمایم.

## منابع

**ابراهیم پور، ص.، محمدزاده، ح. و محمدی، ا.، ۱۳۹۰.** بررسی کیفیت آب دریاچه ی تالابی زریوار و پهنه بندی آن با استفاده از شاخص‌های کیفی (NSFWQI) و (OWQI) و استفاده از سیستم جغرافیایی. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران. ۱۳ و ۱۴ اردیبهشت. صفحات۲و۳.

**آخوندی، ل.، نظری، ع.، احمدی، ج. و نخعی، م.، ۱۳۹۰.** پهنه بندی رودخانه قمرود بر اساس شاخص کیفی آب (NSFWQI) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیاییGIS. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران. اردیبهشت ۱۳۹۰. صفحات۳ و ۴.

**دستورالعمل پایش کیفیت آب های سطحی (جاری).، ۱۳۸۸.** معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور. نشریه شماره ۵۲۲. صفحات ۵۶-۴۲ .

**دریکوند، ا. و فرجی سینا، ک.، ۱۳۸۹.** بررسی و مطالعه کیفیت آب رودخانه سفیدرود از دیدگاه توان خود پالایی رودخانه. چهارمین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست. تهران. صفحات ۳-۲ و ۶-۵.

**رازدار، ب.، قویدل، آ. و ذوقی، م.، ۱۳۸۸.** بررسی کیفیت آب تالاب انزلی با استفاده از شاخص کیفی WQI. مجموعه مقالات همایش ملی،الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب. صفحات ۴۶۵-۴۵۷.

**شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان.، ۱۳۸۸.** مطالعات کمی و کیفی منابع آب در محدوده دشت آستانه و کوچصفهان. جلد اول و دوم.

**شمسایی، ا.، اورعی زارع، ص. و سارنگ ا.، ۱۳۸۴.** بررسی تطبیقی شاخص های کیفی و پهنه بندی کیفی رودخانه‌ی کارون و دز، مجله آب و فاضلاب، شماره ی ۵۵. ۴۸-۳۹ ص.

**کتیرایی، غ.، ۱۳۸۰.** کاربرد GIS برای پهنه بندی سیلاب رودخانه‌ها، مورد مطالعاتی: رودخانه سفیدرود. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه. دانشکده صنعت آب و برق تهران. ۸۷ ص.

Archive of SID

www.SID.ir

**کریمیان، آ.، جعفرزاده، ن.، نبی زاده، ر. و افخمی، م.، ۱۳۸۵.** پهنه بندی کیفی رودخانه بر اساس شاخص WQI مطالعه‌ی موردی رودخانه ی زهره، نشریه ی بین المللی مهندسی آب. صفحات ۲۴-۱۸.

**میرزایی، م.، نظری، ع. و هاشمیان، س.، ۱۳۸۸.** بررسی تحلیلی و مقایسه ای شاخص بندی کیفی رودخانه‌ی جاجرود، مجله‌ی فنی و مهندسی مدرس، شماره ی ۳۵، صفحات ۱۵۲-۱۴۳.

**هوشمند، ع.، دلقندی، م. و سید کابلی، ح.،۱۳۸۷.** پهنه بندی وضعیت کیفی آب رودخانه کارون بر اساس شاخصWQI با بهره گیری از GIS. مجموعه مقالات دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، خرداد۱۳۸۷. صفحات ۳و۷.

**میرمشتاقی، س.م.، ۱۳۹۰.** بررسی تغییرات کیفی آب رودخانه سفیدرود بر اساس شاخص کیفیت آب NSFWQI. پایان نامه کارشناسی ارشد آلودگی محیط زیست. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن. صفحات ۱۰۱-۹۹.

**میرمشتاقی، س.م.، امیرنژاد، ر.، خالدیان، م. و تاجداری، خ.، ۱۳۹۰.** بررسی روند تغییرات زمانی شاخص های کیفی آب رودخانه سفیدرود. دومین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی منابع آب ایران. شرکت آب منطقه‌ای زنجان. اردیبهشت۱۳۹۰. صفحات ۱۰ و۱۲.

**APHA, AWWA, WEF., 1992.** Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th End. American Public Health Association. Washington D.C., USA.

**Oram, B., 2011**. Calculating NSF Water Quality Index, Wilkes University Center for Environmental Quality Geo Environmental Sciences and Engineering Department. http://www.waterresearch.net/Watershed/ temperature. htm

**Cude, C., 2001**. Oregon Water Quality Index: A Tool for Evaluating Water Quality Management Effectiveness. Journal of the American Water Resources Association 37(1):125-137.

**Enrique, S., Manuel, F., Colmenarejo, J., Angel, R., Garcl, L. and Borja, R., 2007.** Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. Ecological Indicators; 7:315–328.

**Sargaonkar, A. and Deshpande, V., 2003.** Development of an Overall Index of Pollution for Surface Water Based on a General Classification Scheme in Indian Context. Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 89, No. 1, , pp. 43-67.

**Simoes, F., Moreira, A., Bisinoti, MC., Gimenez, S.and Santos, M., 2008.** Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. Ecological Indicators 38: 476-480.

Archive of SID

www.SID.ir