اولین همایش ملی برنامه ریزی حفاظت ،حمایت از محیط زیست وتوسعه پایدار

محل برگزاری : همدان دانشکده شهید مفتح

۱ اسفند ۱۳۹۲

معرفی برخی شاخص های کیفی در ارزیابی اکوسیستم های آبی

احمدرضاپیرعلی زفره یی[1]*،عیسی ابراهیمی درچه[2]

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد بوم شناسی آبزیان شیلاتی،دانشگاه صنعتی اصفهان Ar.pirali@na.iut.ac.ir

[2]دانشیارگروه شیلات ،دانشگاه صنعتی اصفهان E_Ebrahimi@cc.iut.ac.ir

چکیده

ارتقاء کیفی سطح زندگی، افزایش تقاضای آب ،گسترش آلودگی منابع آب در اثر توسعه فعالیت‌های کشاورزی، شهری و صنعتی موجب ایجاد شرایط نامساعد زیست‌محیطی و تشدید آلودگی منابع آب شده و مدیریت معقول و منطقی آن را بسیار دشوار و پیچیده کرده است. از منابع مختلف طبیعی از قبیل خاک ،جنگل، مرتع وآب، مورد اخیر به دلایل مختلف از اهمیت خاصی برخوردار می باشد، محدودیت های طبیعی وشرایط خاص اقلیمی ایران از یک سو و اهمیت روز افزون نقش منابع آب در توسعه اقتصادی-اجتماعی جوامع از سوی دیگر توجه خاصی به این منابع را می طلبد.مطالعه پیرامون منابع آبی می تواند شامل تعیین شرایط هیدرولوژیکی، اقلیمی، آبدهی، مدیریت حوضه آبریز، بررسی امکان بهره برداری مستقیم و غیر مستقیم از منابع و نهایتا بررسی وضعیت آلودگی وشرایط و ویژگی های منابع آلاینده آنها باشد. در خصوص آگاهی از شرایط کیفی و یا آلودگی منابع آبی نیز باید اطلاعات مربوطه را پردازش کرده و نتیجه خلاصه شده آن را برای کاربردهای مختلف به متخصصان ارایه شود. یکی از روش های بسیار ساده که می تواند شرایط کیفی آب را بازگو نماید استفاده از شاخص های کیفی آب می باشد. امروزه لزوم مطالعات کیفی منابع آب با توجه به ورود آلاینده های متنوع و گسترده امری اجتناب ناپذیر و به عنوان یکی از مهمترین چالش های پیش روی بشر طی سالیان اخیر در اکثر نقاط دنیا بوده است. در این مطالعه به بررسی و مقایسه انواع شاخص های کیفی مرسوم در ارزیابی اکوسیستم های آبی پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی اکوسیستم های آبی،آلودگی، شاخص های کیفی ،منابع آبی،وضعیت کیفیت آب

۱-مقدمه

رودخانه ها و آب های جاری، از دیر باز مورد توجه جوامع بشری بوده و برای بهره برداری از آنها، شهرها و مراکز صنعتی و کشاورزی معمولاً در نزدیکی رودخانه ها ایجادشده اند به این ترتیب ضمن تامین نیازهای حیاتی انسان،رودخانه ها در رفع نیازهای کشاورزی، صنعتی وحمل و نقل جوامع انستنی نیز نقشی داشته اند. افزایش تقاضای آب، بالا رفتن سطح زندگی، گسترش آلودگی منابع آب در اثر توسعه فعالیت‌های کشاورزی، شهری و صنعتی موجب ایجاد وضع نامساعد زیست محیطی و تشدید آلودگی منابع آب شده و مدیریت معقول و منطقی آن را بسیار دشوار و پیچیده کرده است. با توجه به آنکه عوامل انسانی (آلاینده‌های صنعتی) موجب افزایش غلظت آلاینده ها در منابع آبی خصوصا رودخانه ها می گردند و با فرض آنکه مکانیزم های طبیعی نظیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و خودپالایی رودخانه ها سهم عمده در کنترل و یا تشدید این عوامل خواهند داشت(Ramirez *et al.*,2004). طی دهه های اخیر راه کارهای متعددی در مراحل مختلف شناسایی،پیشگیری و اقدامات اصلاحی جهت افزایش کیفیت منابع آب توسط محققین مختلف ارایه شده است. در این میان مرحله شناسایی و اطلاع از وضعیت کیفی منابع آب به عنوان اولین گام جهت دستیابی به محیط آبی سالم و استاندارد سهم عمده ای از مطالعات را به خود اختصاص داده و در صورت توجه کافی می تواند به عنوان بستری مناسب برای پیشگیری و اقدامات اصلاحی جهت افزایش کیفیت منابع آب محسوب شود. شناسایی دقیق کمیت و کیفیت منابع آلاینده، تعیین وضعیت کیفی و ارایه مدل مناسب جهت بررسی تغییرات مکانی و زمانی آلاینده ها از مهمترین مولفه های مرحله شناسایی مطالعات کیفی آب است (رهبری وهمکاران۱۳۸۵). همراه با پیشرفت و توسعه فناوری،اطلاعات فراوانتر در زمان کوتاه تر در اختیار انسان قرار می گیرد.به منظورآگاهی از شرایط کیفی و یا میزان آلودگی آبهای سطحی باید اطلاعات مربوطه را پردازش کرده و نتیجه خلاصه شده آن برای کاربردهای مختلف در اختیار متخصصان قرار گیرد. یکی از روش های بسیار ساده و دور از پیچیدگی های ریاضی و آماری که می تواند شرایط کیفی آب را بازگو کند استفاده از شاخص های کیفی آب می باشد (Bharti *et al.*,2011).

۲-پیشینه تحقیق:

امروزه لزوم مطالعات کیفی منابع آب با توجه به ورود آلاینده های متنوع و گسترده امری اجتناب ناپذیر و به عنوان یکی از مهمترین چالش های پیش روی بشر طی سالیان اخیر در اکثر نقاط دنیا بوده است. از اواخر قرن بیستم علاقه زیادی در زمینه ایجاد و یا بهبود شاخص های کنترل کیفی آب بر اساس شرایط موجود ایجاد شده است. هورتون[1] در سال ۱۹۶۵ اولین شاخص کیفی آب را ارایه نمود (Horton. 1965). مقایسه شاخص ها با یکدیگر یکی از روش هایی است که باعث بهبود شاخص های قدیمی می گردد. اولین مقایسه بین شاخص های کیفی آب توسط ات[2] در سال ۱۹۷۱ انجام شد.لندور و دنینگر (۱۹۷۶) با توجه به نظرات ۱۰۰ کارشناس،پنج شاخص کیفیت از جمله شاخص NSFWQI در مورد کیفیت ۲۰ نمونه آب را مقایسه کردند. نتایج محاسبات همبستگی بالایی را بین میانگین نظر کارشناسان و ۵ شاخص کیفی نشان داد (Landwehr *et al.*,1976). در سال۱۹۸۸ در امریکای مرکزی پیشرفت عظیمی در راستای ایجاد شاخص های کیفی توسط لئون[3] و ریچاردسون ایجاد گردید.بروکل[4] و هلموند[5] با نتایجی که

[1]-Horton
[2]- Ott
[3]–Leon

از تحقیقات خود در مورد شاخص های زیست محیطی گرفتند ثابت کردند که حدود ۳۰ شاخص را می توان بصورت مشترک در سراسر جهان برای تشخیص حالات کیفی آب به کار برد.ایشان همچنین نشان دادندکه تمامی این شاخص ها در برگیرنده۳تا۷۲متغیرمی باشد که درحدود۳پارامتر ان از بین متغیرهای pH،NO_3+N،PO_4+P،NH_4+N و ذرات جامد(TS) می باشند (Ramirez *et al.*,2004).با توجه به اهمیت این موضوع ، در سایر نقاط جهان نیز مطالعات و تحقیقات زیادی به همین شیوه انجام گرفت. از سال ۱۹۹۰ ارزیابی زیستی کیفیت آب فقط با استفاده از شاخص‌های محیطی شروع شد(Wang *et al.*,2001). سپس این مسئله با نسخه برداری از شاخص‌های محیطی و شاخص‌های زیستی مختلف، کامل‌تر گردید(Blocksom *et al.*2002). همچنین مطالعات مشابه در چین از سال ۱۹۸۰ آغاز شده بود(Wu et al.,2005). هاوس و الیس[6] (۱۹۸۷) روند شکل گیری، ساختار و کاربرد شاخص‌های مختلف کیفیت آب را به منظور مدیریت منابع آب مورد بررسی قرار دادند (House *et al.*,1987).

کیفیت آب عبارتی است که برای توصیف ویژگی های زیستی، شیمیایی و فیزیکی آب با توجه به تناسب آب با کاربری های سودمند آن استفاده می شود. روش های اندازه گیری مهم ترین پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب که درارزیابی کیفیت آب موثر می باشد در (APHA1992)آورده شده است.

۳-شاخص های کیفی آب

شاخص ها اطلاعاتی درمورد محیط زیست و کیفیت اکوسیستم ها ارائه میدهند و میتوانند در سطح یک حوزه آبخیز یا کل کشور قابل استفاده باشند .در یک تعریف ساده،درباره شاخص های کیفیت آب میتوان گفت که شاخص ها ابزار ساده و مناسبی برای تعیین شرایط کیفیت آب بوده و مانند هر ابزار دیگری، نیازمند آگاهی از اصول و مفاهیم اساسی آب و موضوعات مربوطه می باشند. مثلا پایش منظم رودخانه ها بصورت هدفمند و براساس برنامه ریزی و طراحی مناسب و سپس درجه بندی آن با روش شاخص کیفی، امکان دسترسی به تغییرات و تحولات کیفی و پیش بینی اقدامات کاهش آلودگی در حوزه آبریز رودخانه را برای مدیران و مسؤولان فراهم میکند. به طور کلی شاخص های کیفی اب به ۵ دسته طبقه بندی می شود(Zandbergen *et al.*,1988):

الف-شاخص های عمومی:در این نوع شاخص ها طبقه بندی کیفی آب صرف نظر از نوع مصرف آن صورت می گیرد.برای مثال می توان از شاخص هورتون وشاخص کیفیت سازمان بهداشت ملی امریکا(NSFWQI) نام برد.

ب-شاخص مصارف ویژه:در این نوع شاخص طبقه بندی کیفی آب بر اساس نوع مصرف (عمومی،شرب،کشاورزی،حفظ حیات آبی و...)صورت می گیرد که از ان جمله می توان به شاخص اورگان اشاره کرد.

ج-شاخص های طراحی:ابزاری برای کمک به سنجش تصمیمات برنامه ریزی های آبی می باشد.

د-شاخص های آماری: در این نوع شاخص ها از روش های آماری استفاده شده و کمتر نظرهای شخصی در آن وارد می شود.

ه-شاخص های زیستی:این نوع شاخص ها عموما کیفیت آب را بر اساس تاثیرات آن بر حیات آبزیان ارزیابی می کنند.

حال با توجه به هر اکوسیستم به معرفی این شاخص ها می پردازیم.

۱-۱-۳رودخانه ها

---

[4]-Breukel

[5]-Helmond

[6] - House and Ellis

رودخانه ها به عنوان یکی از مهمترین منابع تأمین و انتقال آب مصرفی بخش های صنعت، کشاورزی و مصارف شهری از اهمیت خاصی برخوردارند. حفظ کیفیت منابع آب بمنظور تأمین آب آشامیدنی، ارتقاء فعالیتها و کاربری های تفریحی و ایجاد یک اکوسیستم مناسب برای ماهیان و حیات وحش، مستلزم کیفیت بالای آب رودخانه می باشد. بدین دلیل، آگاهی از روند تغییرات کیفی آب رودخانه ها همراه با شناسایی عوامل اصلی آلودگی آن از اهمیت بسیاری برخوردار می باشد.

۲-۱-۳شاخص کیفیت آب

این الگو اقتباسی از نظام شاخص کیفیت آب سازمان حفاظت محیط زیست بریتانیا در سال ۱۹۷۸ است که با برخی تغییرات با اکوسیستم های آبی ایران متناسب شده است، این الگو با رابطه زیر تکمیل می گردد(Joung *et al.*,1979):

$$WQI = \sum W_1 Q_1$$

WQI : شاخص کیفیت آب (مقدار آن از صفر تا ۱۰۰ متغیر است).

W_1 : وزن یا درجه اولویت عامل(از صفر تا ۱)

Q_1: کیفیت پارامتر از صفر تا ۱۰۰ (منحنی های معیار)

شاخص ماهانه آن از صفر تا ۱۰۰ و شاخص سالانه از صفر تا ۱۲۰۰ است.

۳-۱-۳شاخص NSFWQI[۷]

شاخص کیفیت سازمان بهداشت ملی امریکا که در سال ۱۹۷۰ با حمایت بنیاد بهداشت ملی امریکا توسط براون و همکارانش ارایه گردید یکی از ساده ترین و پرکاربردترین روش ها برای ارزیابی کیفیت آب می باشد. برای محاسبه این شاخص از ۹ پارامتر کیفی آب شامل: اکسیژن محلول،کلیفرم مدفوعی، pH، BOD_5 ،نیترات، فسفات، تغییرات دما،کدورت و مواد جامد محلول استفاده می شود.با استفاده از منحنی های معیار مناسب که برای هر یک از ۹ پارامتر وجود دارد(جدول۱) زیرشاخص آن پارامتر استخراج شده و به همراه وزن هر پارامتر با جدول با استفاده از رابطه ،شاخص کیفیت آب در ایستگاه های مختلف محاسبه می شود. براساس گروه بندی امتیازهای کلی شاخص (جدول۲) می توان ایستگاه های مورد نظر را از نظر وضعیت کیفی طبقه بندی نمود و برای نمایش بهتر می توان از رنگ های استانداردی که برای ان ارایه شده است استفاده کرد(Nemati *et al.*,2009)

جدول (۱): فاکتورهای وزنی شاخص NSFWQI

پارامتر	فاکتور وزنی
اکسیژن محلول	۱۷/۰
کلیفرم مدفوعی	۱۵/۰
pH	۱۲/۰
BOD_5	۱۰ /۰
نیترات	۱۰ /۰
فسفات	۱۰/۰
دما	۱۰/۰

[7]–National Sanitation Foundation Water Quality Index

کدورت	۰۸/۰
جامدات کل	۰۸/۰

جدول (۲):گروه بندی امتیاز کلی شاخص NSFWQI

مقدار عددی شاخص	تعریف	رنگ
۰-۲۵	بسیار بد	قرمز
۲۶-۵۰	بد	نارنجی
۵۱-۷۰	متوسط	زرد
۷۱-۹۰	خوب	سبز
۹۱-۱۰۰	عالی	آبی

رابطه۳-۱:

$$NSFWQI_a=\sum_{i=1}^{n} WiQi$$

Q_i=زیر شاخص هر پارامتر

W_i =فاکتور وزنی هر پارامتر

محاسبه زیرشاخص ها با استفاده از نرم افزار NSFWQI calculator صورت میگیرد.

۴-۱-۳شاخصDSWQI

برای محاسبه شاخصDSWQI از فاکتورهای وزنی (البته دارای توابع برای محاسبه هر فاکتور می باشد که در اینجا آورده نشده است) در جدول۳ برای محاسبه عیار و زیر شاخص هر پارامتر و از رابطه ۲-۳ برای محاسبه شاخص نهایی استفاده شده است. که در این رابطه Iiمقدار زیر شاخص هر پارامتر و W_i فاکتورهای وزنی هر پارامتر می باشد(Cude.2001).

رابطه ۲-۳:

$$DS\,WQI=\prod_{i=1}^{n} I_i^{\,W_i}$$

جدول (۳):وزن و توابع زیر شاخص ها در شاخصDSWQI

پارامتر	وزن
DO	۰.۱۰۹
BOD_5	۰.۰۹۷
کلیفرم کل	۰.۰۹۰
کلیفرم مدفوعی	۰.۱۱۶
قلیائیت	۰.۰۶۳

سختی	۰.۰۶۵
کلراید	۰.۰۷۴
EC	۰.۰۷۹
۶.۹<pH	۰.۰۷۴
نیترات	۰.۰۹۰
درجه حرارت	۰.۰۷۷
رنگ	۰.۰۶۳

۵-۱-۳شاخصBCWQI

شاخص کیفیBCWQI[8] در سال ۱۹۹۵ توسط وزارت محیط زیست کانادا برای ارزیابی کیفیت آب تدوین گردید. در این روش پارامترهای کیفی اب با یک مقدار معین سنجیده شده و میزان تجاوز از ان تعیین می گردد.این حد می تواند رهنمودهای توصیه شده برای حفظ قابلیت بهره برداری آب در طراحی مورد نظر و یا هر استاندارد دیگری که میزان مصارف محتلف آب در ان مطرح است را در برگیرد. یکی از مزایای این روش استفاده از استانداردهای هر حوزه منطقه و یا کشور می باشد و این امکان را می دهد تا بر اساس تمامی پارامترها ی اندازه گیری شده موجود در هر استاندارد طبقه بندی کیفی صورت گیرد. برای محاسبه شاخص نهایی از رابطه ۳-۳ استفاده می شود (Lands *et al.*,1996).

رابطه۳-۳:

$$BCWQI = \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + \left(\frac{F_3}{3}\right)^2}}{1/453}$$

که در آن ،F1درصد پارامترهایی که از حد تجاوز نموده اند،F2تعداد دفعاتی که در مجموع اندازه گیری ها از حد معین تجاوز نموده (به صورت درصدی از کل دفعات برداشت) وF3ماکزیمم تخطی از حد استاندارد می باشد. جدول ۴بیانگر حالات کیفی بر اساس مقدار شاخص BCWQI می باشد.

جدول (۴):توصیف اب رودخانه بر اساس شاخصBCWQI

مقدار شاخص	توصیف کیفی آب
۰-۴	عالی
۴-۱۷	خوب
۱۸-۴۳	مناسب
۴۴-۵۹	متوسط
۶۰-۱۰۰	ضعیف

[8]-British Columbia Water Quality Index

۶-۱-۳شاخص اورگان (OWQI)[9]

این شاخص کیفی درایالت اورگان و در ابتدا توسط یک گروه بررسی کننده مسایل کیفی زیست محیطی در سال۱۹۷۹ برای ارزیابی شرایط و روند کیفی آب ایجاد گردید. این شاخص که بصورت یک شاخص کاهشی می باشد برای ارزیابی کیفی آب برای مصارف تفریحی استفاده می شود(Cude.2001).

منحنی ها و روابط تعیین زیرشاخص ها در این شاخص همانندNSFWQI بر اساس نظر اساتید فن به صورت توابع تغییر شکل لگاریتمی بوجود آمده است. درشاخصOWQI از نمودارهای اختصاصی تعیین این شاخص، برای بدست آوردن زیر شاخص های آن و از رابطه ۴-۳ که یک تابع متوسط هارمونیک غیر وزنی است و برای جمع بندی شاخص استفاده می گردد.

رابطه۴-۳:

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

که در آن SIمقدار زیرشاخص هر پارامتر و n تعدادزیرشاخص های استفاده شده در شاخص می باشد.

جدول(۵): طبقه بندی کیفیت اب بر اساس شاخص OWQI

مقدار شاخص	توصیف کیفی آب
کمتر از ۶۰	خیلی بد
۷۰-۶۰	بد
۸۴-۸۰	متوسط
۸۵-۸۹	خوب
۱۰۰-۹۰	عالی

۴- شاخص های زیستی

شاخص های زیستی عبارت های عددی هستند که مقادیر کمی تنوع گونه ای را با اطلاعات کیفی در مورد حساسیت های اکولوژیکی هر تاکسون در بین دیگران ترکیب می کنند.این شاخص ها در کل مختص به یک نوع آلودگی یا ناحیه جغرافیایی خاص بوده و برای کلاسه بندی درجه آلودگی ار طریق میزان تحمل یک گونه شاخص به مواد آلاینده استفاده می شوند گونه های شاخص برای سطح تحمل یک نمره(امتیاز)در یافت میدارند. شاخص های توسعه یافته برای نواحی جغرافیایی خاص مثل شاخص زیستی بلژیک [10] یا سیستم امتیازی BMWP که برای ارزیابی آلودگی رودخانه ها در انگلستان تهیه شده به صورت موفقیت آمیزی در برخی دیگر از کشور ها پذیرفته شده است (اسماعیلی ساری. ۱۳۸۱و Rosenberg *et al.*,1993).

۴-۱شاخص BMWP

[9] -Oregon Water Quality Index

[10]-BBI

متداول ترین سیستم شاخص زیستی در انگلستان شاخص زیستیBMWP[11] است که اولین بار در مارس ۱۹۷۸ توسط کارگروه پایش بیولوژیک اداره محیط زیست انگلستان پیشنهاد شد. این سیستم در سال ۱۹۷۸ بر مبنای نظرسنجی از مراجع علمی و ارزیابی ها و بحث های مختلف در مورد آن بهبود و توسعه یافت و در سال های ۱۹۷۸ و ۱۹۷۹ در سطح ملی در کشور انگلستان برای ارزیابی کیفی رودخانه ها مورد استفاده قرار گرفت. این سیستم در سال های۱۹۹۶ و۱۹۹۷ توسط والی و هاوکز با استفاده از انالیز داده های ارزیابی کیفی آب انگلستان و ولز در سال ۱۹۹۰ که شامل بیش از ۱۷۰۰۰ نمونه بیولوژیک بود، مورد ارزیابی قرار گرفت آنها نشان دادند که بسیاری از امتیاز های اصلاح شده نسبت به امتیازهای اصلی اختلاف معنی داری دارند.

سیستم امتیازیBMWP عمدتا توسط تعداد تاکسون در هر نمونه از طریق اندازه نمونه ، نمونه گیری و راندمان عمل اوری نمونه ها اثر می پذیرد.برای غلبه بر این ضعف ذاتی سیستم مفهوم میانگین امتیاز به ازاء هر تاکسونASPT[12] توسط برخی بیولوژیست ها همچون ارمیتاژ و همکاران۱۹۸۳ مناسب تشخیص داده شد و آنرا شاخص قابل اعتمادتری در مورد کیفیت رودخانه نسبت به مجموع امتیاز BMWP می دانند(Czerniawska-Kusza. 2005).

رابطه۱-۴: ASPT = BMWP/تعداد تاکسون موجود در نمونه

این شاخص در انگلستان، استرالیا ،اسپانیا، ارژانتین ،کانادا و تایلند و چندین کشور اروپایی پذیرفته شده است.

جدول (۶):طبقه بندی کیفیت اب بر اساس شاخصASPT

کیفیت آب	ASPT
آب های تمیز بیشتر از	۶
آب های با کیفیت مشکوک به آلودگی	۶-۵
آب های با احتمال آلودگی متوسط	۵-۴
آب های با آلودگی شدید کمتر از	۴

۲-۴شاخص هلسینهوفHFBI

شاخص زیستی هیلسینهوف (HFBI)[13] آلودگی های ناشی از مواد مغذی را نشان داده و یک ارزیابی از تغییرات کیفیت آب برای هر ایستگاه با استفاده از میزان مقاومت هر تاکسون نسبت به آلودگی را فراهم می کند. مقدار تحمل ارگانیسم ها و دامنهHFBI از صفر تا ده می باشد.در این روش ارزیابی مقدار کم اکسیژن محلول که توسط بار آلی ایجاد می شود هدفی است که بهتر میتوان روی آن کار کرد. شاخص زیستی هیلسینهوف از بهترین و کم هزینه ترین رو شهایی است امروز در آمریکا و اروپا رایج می باشد.این شاخص با شناسایی بزرگ بی مهرگان آبزی در حد خانواده و تعیین میزان بردباری آن ها نسبت به آلودگی آب برآورد می شود.امتیاز صفر بیانگر

[11] -Biological Monitoring Working Party

[12] -Average Score Per Taxon

[13]-Hilsenhoff Biological Family Index

عدم مقاومت خانواده به آلودگی و در نتیجه پاکیزگی آب و امتیاز ۱۰ ، مقاومت بالای خانواده را به آلودگی نشان می دهد.این شاخص با استفاده ازرابطه ۲-۴ برآورد می گردد. (Hilsenhoff.1988).

رابطه ۲-۴:

$$HFBI= \sum n.\ Vt,\ N$$

N: تعداد کل نمونه در تمام خانواده ها

n : تعداد نمونه ها در هر خانواده

Vt: ارزش تحمل هر خانواده

نمونه	*Baetidae*	*Caenidae*	*Chironomidae*	*Ecdyonuridae*	*Gammaridae*
شاخص t_i	٤	٧	٨	٤	٤
نمونه	*Helmidae*	*Simuliidae*	*Tabanidae*	*Tipulidae*	*Hirudinea*
شاخص t_i	٤	٦	٦	٣	١٠
نمونه	*Hydropsychidae*		*Platyhelminthidae*		*Polycentropodidae*
شاخص t_i	٤		٤		٦

شکل(۱): مقادیر ضریب زیستی شاخص هیلسینهوف

جدول(۷): طبقات کیفی آب براساس شاخص هیلسینهوف

درجه آلودگی به مواد آلی	کیفیت آب	HFBI
بدون آلودگی مواد آلی	عالی	۰-۷۵/۳
آلودگی بسیار ناچیز خیلی	خیلی خوب	۷۶/۳-۴.۲۵
مقداری آلودگی آلی	خوب	۵/ ۰۰ - ۲۶/۴
آلودگی آلی در حد نسبتا قابل تشخیص	متوسط	۷۵/۵-۱/۵
آلودگی آلی قابل تشخیص نسبتا	بد	۵۰/۶-۷۶/۵
آلودگی آلی خیلی زیاد	بد	۲۵/۷-۵۱/۶
آلودگی آلی شدید	خیلی بد	۱۰-۲۶/۷

بدلیل متنوع بودن شاخص های زیستی به ذکر چند مورد دیگر به اختصار در اینجا اکتفا می گردد (Czerniawska-Kusza. 2005 :(Armitage et al.1983, Chessman,1995, Landwehr1996 et al.,1976

۳-۴شاخص TBI

شاخصTBI[14] بوسیلهWoodiwissدر سال ۱۹۶۴ برای ارزیابی آلودگی در رودخانه ترنت[15] در انگلیس توسعه یافت.این شاخص بر مبنای تعداد تاکسون های شناخته شده از بی مهرگان کفزی نسبت به حضور۶تاکسون یافت شده در جانوران منطقه نمونه گیری

[14]-Trent Biotic Index
[15]-Trent

برآورد می شود. این شاخص از صفر تا ۱۰ می باشد (۱۰برای آبهای تمیز و صفر برای آبهای آلوده). برای استفاده از این شاخص ابتدا تعداد گروه ها در نمونه ها مشخص و با توجه به جدولی مخصوصی که دارد به محاسبه این شاخص می پردازیم.

۴-۴شاخصEBI[16]

این شاخص در واقع همان شاخصTBI می باشد که رنج امتیازی(طبقه بندی) آن افزایش یافته و در دامنه ی شاخص ۱۵-۰ قرار گرفته است. این شاخص نیز بدلیل اینکه هیچ میزانی از فراوانی نمی دهد و همچنین نیاز به شناسایی نمونه ها تا حد گونه دارد ولی در کل نسبت بهTBI برتری دارد زیرا رنج رتبه بندی ان افزایش یافته است.

۴-۵شاخص CBS[17]

این شاخص برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ توسط Chandler در انگلیس استفاده شد این شاخص رنج وسیعی از تاکسون ها همجنین میزان فراوانی گونه های حاضر در نمونه را در نظر می گیرد. برای مشخص کردن امتیاز شاخص هر موجود حاضر در منطقه نمونه برداری بر اساس میزان فراوانی یک امتیاز می گیرد، درجدول مخصوص این شاخص هر تاکسون دارای امتیاز است.

۴-۶شاخصSIGNAL

SIGNAL[18] یک سیستم نمونه گیری خطی برای درشت بی مهرگان شفیره های آبزی رودخانه های استرالیا بود و برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ برای ارزیابی آلودگی مکان های تخلیه پساب سیستم های تصفیه در رودخانه ای نزدیک سیدنی استفاده شد. در این روش به هر موجود بر اساس میزان حساسیت نسبت به آلودگی یک شماره بین یک تا ده اختصاص داده می شود.این شماره ها بر طبق مقدار افراد خانواده در نمونه ها ی برداشت شده می باشد.این شاخص انواع مختلفی از آلودگی نظیر پساب های صنعتی مواد حاصل از فعالیت های معدنی رسوبات ناشی از خاک برداری و ساخت و ساز و تغییرات حرارتی را در بر می گیرد (Chessman. 1995).

۴-۷شاخص EPT

یکی از معمولترین روش های ارزیابی کیفیت آب شاخص EPT است .این شاخص بر اساس تعدادکل گونه های سه راسته حساس به آلودگی یعنی Ephemeroptera، Plecoptera،Tricoptera در جمعیت نمونه برداری شده می باشد.بنابراین هرچه شاخص EPT بیشتر باشد میزان آلودگی کمتر است.(Wright et al.,2002)

جدول (۸):دسته بندی کیفیت اب براساس شاخصEPT

دسته بندی	عالی	خوب	متوسط	ضعیف	فقیر
EPT	>27	27-21	20-14	7-13	0-6

[16]-Extended Trent Biotic Index
[17]-Chandler
[18] -Stream Invertebrate Grade Number Average Level

۸-۴روش Beck-Tsuda

این روش بر اساس مشاهده مستقیم و شمارش تعداد ارگانیسم های شاخص بوده و به دو صورت β و α انجام می گیرد در نوع Beck-Tsuda-α کفزیان شاخص به دو دسته تقسیم می شوند. گروه اول یاA آنهایی می باشند که هیچ مقاومتی نسبت به آلودگی ندارند و گروه دوم یاB گروهی می باشند که نسبت به آلودگی مقاومند.شاخص زیستی در این روش بر طبق رابطه 4-3 محاسبه می شود.

رابطه:4-3

Biological Index [BI]=2A+B

جدول(8): مقادیر شاخص ها برای تعیین کیفیت آب در دو روش α وβBeck-Tsuda

وضعیت کیفی آب	Beck-Tsuda- α	Beck-Tsuda-β
تمیز(الیگوساپروبین)	[BI] ≥20	[BI]≥30
آلودگی کم(بتا-متاساپروبین)	11 ≤[BI]≤19	15≤[BI]≤29
آلودگی متوسط(آلفا-متاساپروبین)	6≤[BI]≤10	6 ≤ [BI]≤ 14
آلودگی زیاد(پلی ساپروبین)	0 ≤[BI]≤5	0 ≤ [BI]≤ 5

۹-۴روش Pantleu Buck

در این روش بی مهرگان کفزی در نمونه ها شناسایی شده و شاخص آلودگی بر اساس پراکنش جمعیت ارگانیسم ها و تکرار حضور آنها در نمونه محاسبه شده و شاخص آلودگی (S) بر اساس رابطه زیر بدست می اید:

$S=\sum(s*h)/\sum h$

S: شاخص آلودگی

s: شاخص درجه آلودگی

h : شاخص جمعیت

۵-آب های ساحلی

استفاده از شاخص های کیفی یکی از روش های ساده و معمول برای سنجش کیفی آب های ساحلی می باشد.در این روش تعداد زیادی از اطلاعات کیفی آب به صورت یک عدد منفرد در می آید که با مقیاس و درجه بندی آن می توان مشخص کرد کیفیت آب در کدام طبقه بندی قرار دارد.شاخص های کیفی متعددی تا کنون در آب های ساحلی مختلف استفاده شده است.به عنوان مثال می توان از شاخص OECD[۱۹] در سواحل دریای ادریاتیک و روش مقیاس ماده مغذی[۲۰] (TRIX)نام برد.

[19] -Organization for Economic Corporation and Development

[20] -Nutrient Concentration Scales

۱-۵شاخص OECD

این شاخص اولین بار توسط Giovanardi وTromellini برای داده های جمع آوری شده از سواحل دریای ادریاتیک استفاده شده است.در این روش پس از اعمال یک روش آماری چند متغیره در دریای ادریاتیک کلروفیل آ و فسفر کل به عنوان پارامترهایی که بیشترین تاثیر را در وضعیت تروفی سیستم دارند انتخاب شدند.با استفاده از درون یابی بین داده های فسفر کل و کلروفیل آ یک مدل تجربی برای تعیین میزان احتمال سطوح مختلف تروفی بدست می آید(Giovanardi *et al.*,1992).

۲-۵شاخص TRIX

شاخص TRIX[۲۱] اولین بار بر روی پارامترهای کیفی که از سال ۱۹۸۲ تا ۱۹۹۳ در سواحل دریای ادریاتیک جمع اوری شده بود اعمال گردید.پارامترهای این شاخص کلروفیل آ($Chl\ a: mg/m^3$)،درصد کمبود اکسیژن اشباع(aD%O=abs)100-O%) و پارامترهای عناصرمغذی شامل نیتروژن و فسفر کل($NT- PT: mg/m^3$) یا پارامترهای موادمغذی شامل نیتروژن معدنی محلول و فسفر معدنی محلول ($P-PO_4: mg/m^3$) $N_m = N-(NO_3 + NO_2 + NH_4)$ می باشد (Aguilera *et al.*,2001).

$$TRIX = \frac{\mathrm{Log}(Chla \times aD\%O \times N \times P) - (-1.5)}{1.2}$$

در شاخص TRIX یک تابع ساده برای مشخص کردن وضعیت کیفی سواحل ارایه گردیده است که می تواند با درجه بندی وضعیت آب از ۰ تا ۱۰ مبنای مقایسه منطقه های مختلف قرار گیرد. این شاخص به علت استفاده از پارامترهای کیفی بیشتر دقت بالاتری دارد. شاخصTRIX علاوه بر پارامترهای بیولوژیکی پارامترهای شیمیایی را نیز در نظر می گیرد ولی شاخص OECD براساس میزان کلروفیل a طراحی شده و منطقه ای عمل می کند. ضعف مشترک شاخص OECD و روشTRIX محلی بودن آنها است .به علاوه این شاخصها فاقد فاکتور COD که به علت بالابودن آلودگی نفتی از اهمیت زیادی برخورداراست، می باشد .با توجه به اختلاف زیادی که مقادیر پارامترهای شیمیایی و بیولوژیکی اکوسیستم های مختلف وجود دارد، مناسب است که اولا جهت تعیین کیفیت سواحل به یک شاخص اکتفا نگردد .ثانیا وضعیت یک منطقه مشخص باهمان منطقه درطول زمان مقایسه ونتیجه حاصله مورد ارزیابی وداوری قرارگیرد.

۶-تالابها

تالابها به عنوان اکوسیستم های حاصلخیز ،غنی و منحصربه فرد می توانند در برنامه های راهبردی اقتصادی - اجتماعی نقشی تعیین کننده داشته باشند .تالابها به عنوان شاهکار خلقت در مجموعه محیط های طبیعی هستند که اهمیت زیادی دارند

اگرچه مطالعات زیادی برای استفاده از درشت بی مهرگان آبزی در ارزیابی و پایش رودخانه‌ها و نهرها انجام گرفته است. ولی مطالعات کمتری در این خصوص بر روی تالاب‌ها انجام شده است.دیویس[۲۲] و همکاران (۲۰۰۶) در مقاله‌ای تحت عنوان آیا روش‌های ارزیابی

---

[21]-Trophic Index

[22] - Davis

زیستی رودخانه‌ها قابل استفاده برای تالاب‌ها هستند؟ روش‌ها و شاخص‌های مختلف را به خصوص در تالاب‌های استرالیا مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که از روش‌ها و شاخص‌های ارزیابی رودخانه‌ها برای تالاب‌ها نیز می‌توان استفاده کرد (Davis *et al.*,2006).

۷-دریاچه

برای ارزیابی دریاچه ها از نظر موقعیت تروفی و شرایط یوتریفیکاسیون از شاخص تروفی TSI[۲۳] استفاده می شود. مقیاس عددی TSI از ۰ تا ۱۰۰ متغیر می باشد و بر پایه ی فسفات کل،(mg/l TP) نیتروژن کل،(TN mg/l) اکسیژن خواهی شیمیایی (COD mg/l) ،عمق دیسک سکشی (SD m) و کلروفیل آ(Chl-a mg/l) قرار دارد .مقیاس ۰ تا ۱۰۰ به سطوح ؛ الیگوتروف(۰-۳۰)،مزوتوف خفیف(۳۰-۴۰)، مزوتروف (۴۰-۵۰)، مزوتروف حاد (۵۰-۶۰)، یوتروف (۶۰-۷۰)،هایپرتروف (۸۰-۷۰)، هایپرتروف حاد(۸۰-۱۰۰) تقسیم می شود(Carlson.1977).

جدول(9): شرایط تغذیه گرایی براساس اعدادTSI

شرایط دریاچه	TSI
Oligotrophic	<۳۵
Mesotrophic	۳۵-۵۵
Eutrophic	>۵۵
Hypereutrophic	>۷۰

۸-شاخص تنوع شانون-وینر

شاخص شانون-وینر که در سال ۱۹۴۹ به صورت جداگانه توسط شانون و وینر ارائه شده است، معمولاًبرای محاسبه تنوع زیستی در محیط‌های خشکی و آبی بکار می‌رود.

$$H=-\sum_{i=1}^{s}(Pi)(lnPi)$$

Pi= فراوانی نسبی i امین تاکسون در جامعه

s= تعداد کل تاکسون در جامعه

[23] -Trophic State Index

[۲۳]- Wilhm

از این شاخص به منظور بررسی تنوع درشت بی‌مهرگان کفزی در اکوسیستم‌های آبی بسیار استفاده شده است، تا جایی‌که ویلم[۲۴] در سال ۱۹۶۸ براساس تنوع بدست آمده از بررسی درشت بی‌مهرگان کفزی، یک طبقه‌بندی برای کیفیت آب ارائه کرده است.که در جدول۷ آمده است(Washington.1984).

جدول(۷): طبقه‌بندی کیفیت آب براساس شاخص تنوع شانون-وینر

طبقه کیفی آب	شاخص شانون-وینر
آب تمیز	۵-۳
آب متوسط	۳-۱
آلودگی زیاد	۱>

۹-بحث و نتیجه گیری

با توجه به مطالبی که در این مطالعه آورده شد می توان به نکات مثبت استفاده از شاخص ها از جمله دقت،در برداشتن اثرات دراز مدت آلاینده ها ،ارزان قیمت بودن ،کاربری ساده و درک آنها بوسیله افراد غیر متخصص اشاره کرد، از این رو سنجش تحلیل و تفسیر داده های کیفی اکوسیستم های آبی به طور منظم این امکان را فراهم می سازد که شیوه های مدیریتی صحیح و مناسبی اتخاذ شده و به تدریج از آلودگی های آنهاکاسته شده و به سمت کیفیتی استاندارد حرکت کنیم. در واقع پایش منظم اکوسیستم ها به طور منظم بر اساس برنامه ریزی و سپس درجه بندی آن با روش شاخص کیفی امکان دسترسی به تحولات کیفی و پیش بینی اقدامات کاهش آلودگی در حوضه آبریز را برای مدیران و مسولان فراهم می کند.شاخص ها با ساده سازی و کاهش اطلاعات خام و اولیه علاوه بر بیان کیفیت آب روند تغییرات کیفی اب را در طول مکان و زمان نشان می دهند که حجم اطلاعات زیاد حاصل از اندازه گیری های کیفی بصورت یک عدد منفرد و بدون بعد تبدیل می شود که این در یک مقیاس درجه بندی شده دارای مفهوم و تفسیر کیفی تعریف شده ای است. مطالعۀ آب ها و شناسایی آلودگی اکوسیستم های آبی تنها با روش های رایج سنجش پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب کافی نیست زیرا فقط اطلاعاتی را در زمان نمونه برداری به ما می دهد. با مقایسه بین شاخص های ذکر شده، شاخص کیفیت آب مؤسسه ملی بهداشت امریکا (NSFWQI) بدلیل مرسوم بودن، ساده بودن، دارا بودن نرم افزار جهت محاسبه، راحتی اندازه گیری پارامترها در ایران و همچنین مطالعات صورت پذیرفته در این زمینه از جمله شاخص های مناسب جهت مطالعات کیفیت آب پیشنهاد میشود روش های سنتی بررسی منابع آب به طور کامل قادر به بیان کیفیت و وضعیت محیط آبی نیست .به همین دلیل پایش زیستی با استفاده از جانوران و بخصوص بزرگ بی مهرگان کفزی شاخص بهتری از محیط آبی می باشدو یکی از بهترین و کارآمدترین رو شها برای ارزیابی زیستی(Bioassessment) استفاده ازموجودات ماکروبنتوز می باشد. به طور کلی کیفیت آبهای جاری باید بر اساس خصوصیات فیزیکو شیمیائی و زیستی مورد سنجش قرارگیرد تا بتوان طیف وسیعی از اطلاعات را برای مدیریت اصولی آبها ارائه کرد. به

عنوان مثال سازگاری ارگانیسم ها با شرایط زیست محیطی در طی مدت زمان طولانی صورت می گیرد. در حالیکه داده های شیمیائی در طبیعت بسیار لحظه ای و آنی هستند و علاوه بر این برای یک سنجش صحیح به حجم زیادی از محاسبات نیاز مند است.

روش های زیستی، به خوبی منابع فاقد آلودگی نیاز به مشخص کردن آنالیز های حساس دارد. روشهای زیستی ارزیابی کیفیت آب بر جوامع زیستی تاثیرگذار است، در حالیکه روش های فیزیکی و شیمیائی با روش زیستی معنا دار خواهند بود.

منابع

اسماعیلی ساری، ع.(۱۳۸۱)آلاینده ها،بهداشت و استاندارد محیط در محیط زیست،انتشارات نقش مهر

پاول آر،نیدهم،جیمز،ج.(۱۳۷۱)راهنمای مطالعه بیولوژی آب شیرین،ترجمه فرشته قاسم زاده ،مسعود فریدونی ،مرتضی جراحی،انتشارات جاوید،۱۸۲ صفحه

رهبری،ک.،نبوی،م. و موبد،پ.(۱۳۸۵)بررسی روشهای مختلف ارزیابی بیولوژیکی و تنو ع زیستی در کیفیت منابع آبی و محاسبه شاخص های تنوع بستر رودخانه کارون از بازه ملاثانی تا دارخوین، *هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه*،اهواز،دانشگاه شهید چمران

APHA(1992) *Standard Method For examination of water and wastewater* ، 18 the edition،American Public Health Association ،Washington,DC.

Aguilera, P. A. and Castro, H. and Rescia, H. and Schmitz, M. F.(2001)"Metodological Development of an Index of Coastal Water Quality: Application in a Tourist Area" *Environmental Management*, V.27, No.2, pp.295-301.

Armitage P. D. , D. Moss, J. F. Wright and M. T. Furse.(1983) The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research* **17:** 333-347.

Bharti N, Katyal.D .(2011) Water quality indices used for surface water vulnerability assessment international journal of environmental sciences,volume 2, No 1:173-154

Blocksom, K. A., Kurtenbach, J. P. and Klemm, D. J.(2002) “Development and evalution of the lake macroinvertebrate integrity index (LMII) for new jersey lakes and reservoirs”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 77,PP: 311-333.

Carlson, R.E. (1977). A trophic state index for lakes. Limnol. Oceanog, 22: 361–369.

Chessman, B.(1995) 'Rapid assessment of rivers using macroinvertebrates: A procedure based on habitat-specific sampling, family level identification, and a biotic index' , *Australian Journal of Ecology*, vol. 20, pp. 122-129

Cude, C. (2001) Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness, Journal of the American Water Resources Assessment, 37, pp125–137

Czerniawska-Kusza I**.(** 2005) Comparing modified Biological Monitoring Working Party score system and several biological indices based on macroivertebrates for water-quality assessment, *Limnologica* **35**, 169-176

Davis, J., Horwitz, P., Norris, R., Chessman, B., McGuire, M. and Sommer, B.(2006) “Are river bioassessment methods using macroinvertebrates applicable to wetlands?”, *Hydrobiologia*, 572,PP: 115-128.

Giovanardi, F. and Tromellini, E.(1992) "Statistical assessment of trophic conditions,Application of the OECD methodology to the marine environment" in Vollenweider, R.A. and Marchetti, R. And Viviani, R. (eds) , Marine coastal Eutrophication , Elsevier publishers B.V., pp 211-233.

Hawkins, C. P. and Carlisle, D. M.(2001) “Use of predictive models for assessing the biological integrity of wetlands and other aquatic habitats”. In Rader, R.B., D.P. Batzer & S. Wissinger (eds), “Biomonitoring and Management of North American Freshwater Wetlands”. john Wiley & Sons, Newyork.

Hilsenhoff, W.L.(1988) Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. J. N. Am. Benthol. Soc. 7(1):65-68.

Horton, R. K. (1965) An index number system for rating water quality, Journal of Water Pollution Control Federation, 37(3), pp 300–306.

House, M. A. and Ellis, J. B.(1987) "The development of water quality indices for operational management", *Water Science Technology*, 19,(9),PP: 145-154.

Jefries , N. & Mills , D. (1992) *Fresh water ecology* , Blhaven Press London.

Joung, H. M, Miller W. W, Mahannah C. N. and Guitjens J. C. (1979) A Generalized Water Quality Index Based on Multivariate Factor Analysis, Journal of Environmental Quality, 8(1). pp 95-100.

Lands, M., and Parks, S.(1996) Water Quality Status Reports, British Columbia, Ministry of Environmental, Water Quality Section, Victoria, 179p.

Landwehr, J. M. & Deininger, R. A. (1976) A comparison of several water quality indexes, Journal of Water Pollution Control Federation, 48(5), pp 954.

Nemati, M., Ebrahimi, E., N, M. and A, S.(2009) "Biological assessment of the Zayandeh rud River, Iran, using benthic macroinvertebrate", *Limnologica*(40),PP: 226-235.

Nemati, M., Ebrahimi, E., N, M. and A, S.(2009) "Water quality assessment in an arid region using a water quality index", *Water Science Technology*,PP: 2319-2327.

Rosenberg, D. and Resh, V.(1993) *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*, Chapman &Hall, New York.

Ramirez, N.F. and Solano A. F. (2004) Physico-Chemical Water Quality Indices – A Comparative Review, J. Revista BIFTUA, 2(1), pp 19-30.

Wang, B. X. and Yong, L. F.(2001) "Advances in rapid bio-assessment of water quality using benthic macroinvertebrates", *Journal of Nanjing Agricultural University*, 24,(4),PP: 107-111.

Washington, H. G .(1984) Diversity, biotic and similarity indices. A reviw with special revevance to aqutic ecosystem. *Water Research* 18.:653-694

Wright, J. F., Sutcliffe, D. W. and Furse, M. T.(2000) "Assessing the Biological Quality of Fresh Waters: Rivpacs and other Techniques" Freshwater Biological Association, Ambleside, United Kinfdom.

Wu, H. J., Cui, B. and Lu, J.(2005) "A community structure of benthos and ecological assessment of water quality of shallow lakes in Wuhan", *Huazhong University of Science and Technology (Natural Science)*, 33,(10),PP: 96-98.

Zandbergen, P. A. and Hall K. I. (1988) Analysis of the British Colombia Water quality Index for Watershed Managers: a case study of two small watersheds, Water Qual .Res. Canada, 33(a), pp 510-525.