نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۲، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۴، ص. ۶۴ - ۵۵

Water Management in Agriculture
Vol. 2, No. 2, Autumn and Winter 2015, p. 55 - 64

معرفی و اصلاح شاخص‌های آسیب‌پذیری آب آبیاری

(مطالعه موردی: رودخانه ابهر رود)

فرهاد میثاقی*[۱] و فاطمه دلگشا[۲]

چکیده

در سال‌های اخیر با توجه به مشکل کم‌آبی و خشک‌سالی کشور ایران، استفاده از آب‌های جاری رودخانه‌ها برای مصارف کشاورزی از اهمیت بسزایی برخوردار شده است. شاخص‌های ارزیابی کیفیت و آسیب‌پذیری بسیاری درزمینه آب آشامیدنی ارائه‌شده است، ولی متأسفانه به توسعه شاخص‌های مناسب آسیب‌پذیری و کیفیت آب آبیاری اهمیت خاصی داده نمی‌شود؛ بنابراین در این مطالعه هدف ارائه شاخص‌های اصلاح‌شده برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب آبیاری می‌باشد. در این مطالعه شاخص‌های آسیب‌پذیری NSFWQI، BCWQI، CWQI و OWQI با توجه به دیاگرام ویلکاکس و استاندارد FAO-286 برای کیفیت آبیاری تحت‌فشار، اصلاح و برای ارزیابی آب آبیاری مورداستفاده قرارگرفته است. شاخص های ارزیابی مذکور برای پارامترهای کیفی SAR، Na^{+}، Cl^{-}، pH، HCO^{3-}، EC و TDS اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری کینه ورس و قروه بر روی رودخانه ابهر رود، از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ موردبررسی قرارگرفته است. نتایج حاکی از آن بود که این شاخص‌ها در ارزیابی آسیب‌پذیری آب آبیاری موردپذیرش بوده و در مورد رودخانه ابهر رود نتایج یکسانی را ارائه نمودند. ایستگاه کینه ورس در ارزیابی تمام شاخص‌ها دارای آسیب‌پذیری کمتری نسبت به ایستگاه قروه بود و این امر در واقعیت نیز مشهود است. شاخص NSFWQI به‌عنوان بهترین و مناسب‌ترین شاخص ارزیابی آسیب‌پذیری آب آبیاری معرفی شد. به‌منظور تعیین ضرایب پارامترهای مؤثر در شاخص NSFWQI پرسش‌نامه‌هایی تهیه و در اختیار متخصصان آبیاری و کشاورزی قرار گرفت. با توجه به اولویت‌بندی و امتیازبندی اعلام‌شده از طرف آن‌ها و به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی AHP، وزن پارامترهای کیفی در شاخص NSFWQI تعیین گردیده است.

کلمات کلیدی: آسیب‌پذیری، شاخص NSFWQI، CWQI، BCWQI، OWQI.

مقدمه

آب‌های سطحی جاری یا رودخانه‌ها نقش مهمی در تأمین آب موردنیاز فعالیت‌های مختلف مانند کشاورزی، صنعت، شرب و تولید برق‌دارند. بسیاری از برنامه‌ریزی‌های منابع آب در کشورها بر اساس پتانسیل بالقوه منابع آب سطحی می‌باشد (Vulnerability Assessment Factsheet, 2002). به دلیل جاری بودن آب در سطح زمین، اغلب در مسیر حرکت خود گرفتار انواع آلودگی‌های ذاتی موجود در زمین می‌شود. با توجه به اینکه تصفیه آب سطحی جهت مصارف کشاورزی، با توجه به حجم بالای آن تقریباً غیرممکن می‌باشد، بنابراین شناسایی و ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های سطحی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد. بسیاری از شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری آب سطحی، به‌طور مستقیم نمی‌توانند آلودگی خاصی را در مزرعه تشخیص دهند. مفاهیم اساسی آن بر اساس این نظریه استوار است که بعضی از مناطق بیشتر از مناطق دیگر نسبت به آلودگی آب آسیب‌پذیرتر هستند (Vrba, et al.,1994).

آسیب‌پذیری ازنظر مفهومی به دودسته ذاتی و ویژه تقسیم می‌گردد. آسیب‌پذیری ذاتی به خصوصیات زمین‌شناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژیکی یک منطقه بستگی دارد و به منابع آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی یا طبیعی توجهی ندارد. همچنین آسیب‌پذیری ویژه نشان‌دهنده آسیب‌پذیری آب‌های سطحی به آلاینده‌ای خاص یا گروهی از آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌باشد. هدف از ارزیابی آسیب‌پذیری کمک به تبیین سیاست‌های کاربردی و عملی برای مدیریت منابع سطحی در مسیر بهره‌برداری پایدار از آن‌ها است، که تابعی از مشخصات و خصوصیات ذاتی تشکیلات آب‌های سطحی می‌باشد. آسیب‌پذیری یک رودخانه یا هر نوع منبع آب سطحی نسبت به آلاینده‌های مختلف متفاوت بوده، به‌عنوان‌مثال ممکن است کیفیت آب سطحی نسبت به عوامل بیماری‌زا حساسیت

[۱] استادیار و عضو هیات علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه زنجان
(* نویسنده مسئول: Email: Farhad_Misaghi@znu.ac.ir)
[۲] کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه زنجان.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۹

کمتری داشته باشد، درصورتی که نسبت به بار نیترات و یا عملیات کشاورزی در سطح بسیار آسیب‌پذیر باشد (Hashimoto et al,1982).

روش‌های مختلفی برای سنجش کیفیت آب‌های سطحی و پهنه‌بندی کیفی آن‌ها در سطح دنیا موردمطالعه قرارگرفته است که شاخص‌های کیفی آب، یکی از پرکاربردترین و ساده‌ترین آن‌ها می‌باشد (Sheikh Setani, 2001). شاخص کیفی آب معیاری برای طبقه بندی آب بر مبنای استفاده از پارامترهای استاندارد است. شاخص یک ابزار ریاضی است تا مقادیر زیادی از داده‌های توصیف ویژگی‌های آب را به یک عدد تبدیل نماید که نشان‌دهنده سطح کیفی آب است. ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های سطحی و شاخص کیفی نیازمند یک گام نرمال سازی است که هر پارامتر به یک مقیاس ۰-۱۰۰ تغییر شکل یابد که ۱۰۰ حداکثر کیفیت را نشان می‌دهد. گام بعدی کاربرد یک فاکتور وزنی بر طبق اهمیت پارامتر به‌عنوان شاخص کیفیت آب است (Jonnalagadda, 2001, Nives, 1999). متأسفانه تمام شاخص‌های آسیب‌پذیری ارائه‌شده درزمینه آب شرب کاربرد دارند؛ و شاخص مناسبی برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب آبیاری وجود ندارد. در این تحقیق شاخص‌های ارزیابی آب شرب اصلاح‌شده و با اعمال تغییراتی در آن‌ها، جهت ارزیابی منابع آب آبیاری معرفی و ارزیابی‌شده‌اند.

صمدی و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی به پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه دره‌مرادبیک همدان بر اساس شاخص NSFWQI[2] با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج نشان داد که میانگین شاخص NSFWQI در بهترین وضعیت که مربوط به ایستگاه اول بود معادل ۶۲/۷۸ می‌باشد که وضعیت متوسط را ازلحاظ شاخص کیفی مورداستفاده مشخص می‌سازد. میانگین مذکور در بدترین حالت که مربوط به ایستگاه شماره ۶ می‌باشد، معادل ۲۷/۴۹ محاسبه گردید که نشانگر بروز وضعیت کیفی بد می باشد (Samadi et al., 2009).

هاشمی (۲۰۱۲) در تحقیقی به پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه قزل اوزون با استفاده از ارزیابی جامع فازی پرداخت. در این تحقیق، ابتدا بر اساس استانداردهای طبقه‌بندی آب کشاورزی، چهار کلاس کیفیت آب استخراج شد، به‌گونه‌ای که با افزوده شدن بر شماره کلاس، از رضایتمندی آن برای مصرف کشاورزی کاسته می‌شود. با توجه به نمونه‌های برداشت‌شده از این رودخانه، سه مشخصه کیفی، شامل سختی کل، نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی موردبررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از روش ارزیابی جامع فازی، میزان درجه عضویت هر ایستگاه در کلاس‌های کیفی (ماتریس تابع عضویت) محاسبه و به‌منظور تعیین ضرایب وزنی مشخصه‌های کیفی که از مهم‌ترین قسمت‌های ارزیابی کیفی است، از نظریه آنتروپی اطلاعات استفاده گردید. در پایان از حاصل‌ضرب ماتریس ضرایب وزنی در ماتریس توابع عضویت، وضع کیفی ایستگاه‌های پایش تعیین شد. نتایج نشان داد ازنظر مصرف کشاورزی، آب این رودخانه در اکثر ایستگاه‌ها نامناسب است که علت آن، غلظت بالای املاح در آب این منطقه تشخیص داده شد (Hashemi et al., 2012).

رادمنش و همکاران (۲۰۱۳) به پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه دز و کرخه با استفاده از شاخص‌های SFWQI[3],WQI[4] پرداختند. به‌منظور بررسی وضعیت کیفی آب رودخانه‌های دز و کرخه در فصل‌های مختلف نمونه‌گیری انجام شد. در این مطالعه مقطعی، پارامترهای کیفی خاص مطالعاتی میدانی، شامل اکسیژن محلول، دمای آب، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و شیمیایی، محتمل‌ترین تعداد کلی فرم مدفوعی، کدورت، کل جامدات محلول، pH، هدایت ویژه آب و دیگر پارامترهای کیفی در چهار ایستگاه مختلف در سال ۱۳۹۰ طی فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان اندازه‌گیری شدند. ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر اساس اهمیت انتخاب شدند. پهنه‌بندی کیفی آب این رودخانه‌ها بر اساس شاخص بنیاد ملی بهداشت NSFWQI و WQI بررسی گردید و نقشه‌های پهنه‌بندی استخراج شد (Radmanesh et al,2013).

نتایج ارزیابی کیفیت آب رودخانه بهتا در مقیاس بزرگ وابسته به اعماق اقیانوس با استفاده از شاخص NSF[5] نشان داد که شاخص

[2] National Science Foundation Water Quality Index

[3] Sanitation Foundation's Water Quality Index
[4] Water Quality Index
[5] National Science Foundation

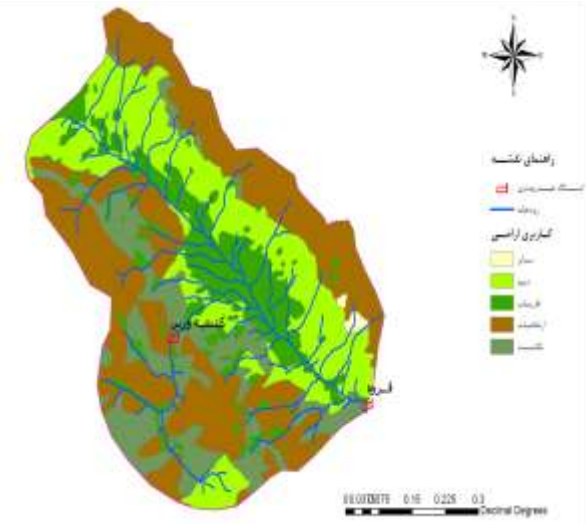
NSFWQI شاخص مناسبی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های سطحی می‌باشد (Pal Sharma et al., 2006).

نتایج بررسی شاخص کیفیت آب را در جریان دو رودخانه کشمیر و ویشای نشان داد ۱۱ پارامتر اصلی برای آشامیدنی در نمونه‌ها مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نشان داد که مقدار WQI از حداقل ۱/۰۸۵ تا حداکثر ۶۵۸/۷۹ می‌رسد. مقادیر بالاتر WQI عمدتاً به دلیل pH، سولفات و کلسیم بالاتر در جریان می‌باشد. با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون مشخص شد که دی‌اکسید کربن و اکسیژن رابطه منفی معنی‌داری با درجه حرارت دارد. نتایج نشان داد که کیفیت آب رودخانه ویشای در کلاس خوب تا عالی قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل به‌منظور توسعه مدل‌های پیش‌بینی جهت کیفیت آب مورداستفاده قرار گرفت (Aadil et al., 2013).

در این تحقیق شاخص‌های آسیب‌پذیری NSFWQI، BCWQI[۶]، CWQI[۷] و OWQI[۸] با توجه به دیاگرام ویلکاکس و استاندارد FAO-286 برای کیفیت آبیاری تحت‌فشار، اصلاح و برای ارزیابی آب آبیاری مورداستفاده قرارگرفته است. شاخص‌های ارزیابی مذکور برای پارامترهای کیفی SAR، Na^+، Cl^-، pH، HCO^{3-}، EC و TDS اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری کینه ورس و قروه بر روی رودخانه ابهر رود، از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ موردبررسی قرارگرفته است. به‌منظور تعیین ضرایب پارامترهای مؤثر در کیفیت آب کشاورزی، پرسش‌نامه‌هایی تهیه و در اختیار متخصصان آبیاری و کشاورزی قرارگرفته است و با توجه به اولویت‌بندی و امتیازبندی اعلام‌شده از طرف آن‌ها و به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی AHP[۹] وزن پارامترهای کیفی در شاخص NSFWQI تعیین گردیده است.

مواد و روش‌ها

رودخانه ابهر رود از شاخه‌های مهم و اولیه رودخانه شور می‌باشد که در شهرستان زنجان قرار دارد و یکی از سه رودخانه مهم استان زنجان است. این رودخانه از قسمت شرقی ارتفاعات جهان داغ که دارای ۲۳۸۰ متر ارتفاع بوده و در غرب و جنوب ابهر و سلطانیه قرار دارد، سرچشمه می‌گیرد و بلوک ابهر–قزوین را مشروب و بانام رودخانه شور به دریاچه نمک می‌ریزد. این رودخانه در محدوده ورود به استان زنجان دارای حوضه‌ای به مساحت حدود ۱۹۳۰ کیلومترمربع و در داخل استان محدوده سه‌راهی شامی شاپ دارای حوضه‌ای به مساحت ۲۵۳۰ کیلومترمربع می‌باشد. مطالعه بر روی دو ایستگاه هیدرومتری به نام‌های قروه و کینه ورس متعلق به وزارت نیرو انجام‌شده است. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری موردمطالعه بر روی رودخانه ابهر رود بر روی شکل (۱) نشان داده‌شده است. اطلاعات کیفی موردنیاز از نتایج آزمایش‌های فیزیکی–شیمیایی نمونه‌برداری‌های انجام‌شده طی مدت ۱۰ سال از سال ۱۳۸۰ تا سال ۱۳۸۹ به‌صورت ماهانه توسط وزارت نیرو در دو ایستگاه مذکور، تأمین‌شده است. متغیرهای کیفی مورداستفاده شامل هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذبی سدیم (SAR)، اسیدیته (pH)، بی‌کربنات (HCO^{3-})، کلر (Cl^-)، سدیم (Na^+) و کل جامدات محلول (TDS) می‌باشند.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری موردمطالعه بر روی رودخانه ابهر رود

اصلاح شاخص کیفی NSFWQI

در سال ۱۹۷۰ با حمایت سازمان بهداشت ملی آمریکا، براون و همکارانش یک شاخص کیفی کاهشی را بر اساس نظرسنجی از

[6] British Columbia Water Quality Index
۷ Canadian Water Quality Index
۸ Oregon Water Quality Index
۹ Analytical Hierarchy Process

تعداد زیادی از افراد متخصص با تخصص‌های گوناگون در این زمینه ارائه نمودند. آن‌ها در ابتدا حدود ۳۵ پارامتر آلودگی را مطرح نموده و سپس بر اساس نظر افراد متخصص حدود ۹ پارامتر را برای ایجاد شاخص اصلی انتخاب نمودند. پارامترهای مورداستفاده در این شاخص شامل دما، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، اسیدیته، نیترات، فسفر کل، کل جامدات محلول، کلی فرم مدفوعی و کدورت می‌باشد. در این مطالعه ۹ پارامتر شاخص NSFWQI، به ۷ پارامتر مؤثر در کیفیت آب آبیاری بر اساس نشریه FAO-286 تغییریافته، که در جدول (۱) ارائه‌شده است. در ایجاد شاخص کلی NSFWQI برای تأثیر هر پارامتر و یا زیر شاخص مربوط به آن، به هر یک از پارامترها یک وزن و یا ارزش عددی نسبت داده‌شده است (جدول ۲). لازم به توضیح است که ضرایب مذکور با استفاده از نظرسنجی از تعدادی افراد متخصص با تخصص کشاورزی و آبیاری و به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی AHP تعیین‌شده است. مجموع این ضرایب برابر واحد می‌باشد. برای محاسبه شاخص نهایی از جمع وزنی خطی زیر شاخص‌ها به شکل رابطه (۱) استفاده‌شده است:

$$NSFWQI = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i \; I_i}{\sum W_i} \qquad (۱)$$

که در آن:

n تعداد پارامترها، Ii زیر شاخص i ام و Wi ضریب وزنی پارامتر i ام می‌باشد.

جدول ۱- راهنمای تعیین کیفیت آب آبیاری با استفاده از نشریه ۲۸۶ فائو

مسائل کیفیت آب		واحد	درجه محدودیت		
			بدون محدودیت	کم تا متوسط	شدید
شوری	Ecw	ds/m	<۰/۷	۰/۷-۳	>۳
	TDS	mg/lit	<۴۵۰	۴۵۰-۲۰۰۰	>۲۰۰۰
مسمومیت یونی	Na+	meq/lit	<۳	>۳	
	Cl-	meq/lit	<۳	>۳	
	SAR	meq/lit0.5	<۳	۳-۹	>۹
اثرات متفرقه	Hco3-	meq/lit	<۱/۵	۱/۵-۸/۵	>۸/۵
	pH	-	محدوده مناسب ۶/۵-۸/۴		

جدول ۲- فاکتور وزنی تعیین‌شده در شاخص NSFWQI برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب آبیاری

پارامتر	SAR	Na+	pH	Cl-	HCO3-	Ec	TDS
W	۰/۳۰	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۰

اصلاح شاخص کیفی اورگان (OWQI)

این شاخص در ایالات اورگان و در ابتدا توسط یک گروه بررسی‌کننده مسائل کیفی زیست‌محیطی در سال ۱۹۷۹ برای ارزیابی شرایط و روند کیفی آب ایجاد گردید. این شاخص جزو شاخص‌های مصارف آب طبقه‌بندی‌شده است و بیشتر برای ارزیابی کیفی آب برای مصارف تفریحی استفاده می‌شود. سادگی و در دسترس بودن پارامترهای کیفی موردنیاز و تعیین زیر شاخص‌ها با استفاده از شکل یا روابط تحلیلی از مزایای این روش است. در این روش هر یک از پارامترهای هشتگانه فاقد ضریب وزنی بوده و اثر یکسانی در شاخص نهایی دارند، که یکی از معایب آن می‌باشد. پارامترهای مورداستفاده در این شاخص شامل دما، اکسیژن محلول، اکسیژن موردنیاز اعمال بیولوژیکی، pH، نیتروژن، فسفر کل، TDS و کلی فرم مدفوعی می‌باشد. در اصلاح این شاخص برای ارزیابی آب آبیاری، به‌جای ۸ پارامتر اولیه در آن، از ۷ پارامتر مذکور در

شاخص NSFWQI استفاده گردید. جدول ۳ بیانگر توصیف آب بر اساس مقادیر عددی این شاخص می‌باشد. شاخص نهایی اورگان به‌وسیله رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$OWQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{SI_i^2}}} \qquad (۲)$$

که در آن:n تعداد پارامترها و SIi پارامتر i ام می‌باشد.

اصلاح شاخص کیفی CWQI

شاخص کیفی CWQI توسط سازمان محیط‌زیست بریتیش کلمبیای کانادا در سال ۱۹۹۰ طراحی‌شده است (CCME, 2001) و یکی از شاخص‌های مهم و مفید جهت ارزیابی آب‌های سطحی برای حفاظت از زندگی آبزیان و مصرف‌کننده آب می‌باشد. این شاخص با توجه به پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی موردنیاز، پهنه آبی را ازنظر کیفی برای آشامیدن، کشاورزی، آبزیان، تفریح و سرگرمی و استفاده احشام بررسی می‌نماید. لازم به ذکر است که در این شاخص محدودیت پارامتر وجود ندارد و هر چه تعداد پارامترها بیشتر باشد، دقت ارزیابی بیشتر خواهد بود. در این بررسی، برای محاسبه شاخص CWQI مقدار مجاز هر پارامتر با استفاده از نشریه FAO-286 تعیین‌شده است. مقادیر مجاز برای هر یک از پارامترهای مورداستفاده در شاخص CWQI در جدول ۳ ارائه‌شده است. رابطه کلی برای محاسبه شاخص کیفی CWQI به‌صورت رابطه ۳ است.

$$CWQI = 100 - \left[\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732}\right] \qquad (۳)$$

که در آن؛ فاکتور بازه (F1) از تقسیم پارامترهایی که بیشتر از حد استاندارد هستند بر کل پارامترهای اندازه گیری شده در یک دوره نمونه‌برداری به دست می‌آید و به‌صورت درصد بیان می‌شود. فاکتور (F2) از تقسیم تعداد دفعاتی که درمجموع کل اندازه‌گیری‌های پارامترها از استاندارد تجاوز نموده به‌کل دفعات اندازه‌گیری می‌باشد و به‌صورت درصد بیان می‌شود و فاکتور دامنه (F3) که مقدار آن با استفاده از رابطه (۴) به دست می‌آید. ابتدا مقدار پارامترهایی را که غلظت آن ها (در یک زمان خاص) از مقدار استاندارد بیشتر است را بر مقدار استاندارد پارامتر موردنظر تقسیم و از آن یک واحد کم می‌شود تا میزان تخطی به دست آید. سپس با محاسبه میانگین تخطی نرمالیزه (nse) که از تقسیم مجموع کل تخطی‌ها بر تعداد دفعات اندازه‌گیری به دست می‌آید و با استفاده از رابطه (۴) مقدار F3 را محاسبه می‌شود. رده‌بندی کیفی آب بر اساس مقادیر عددی شاخص CWQI که بین صفرتا صد درصد تغییر می‌یابد در جدول (۳) آمده است.

$$F_3 = \frac{nse}{0.01nse + 0.01} \qquad (۴)$$

جدول ۳- رده‌بندی کیفی آب بر اساس مقادیر شاخص‌های CWQI، NSFWQI و OWQI (Ott,1980; Cude,2001)

طبقه‌بندی کیفیت	مقدار عددی شاخص OWQI	مقدار عددی شاخص NSFWQI	مقدار عددی شاخص CWQI
بسیار بد	۰ -۶۰	۰ -۲۵	۰ -۴۴
بد	۷۹ -۶۱	۵۰ -۲۶	۴۵ -۶۵
متوسط	۸۴ -۸۰	۷۰ -۵۱	۶۵ -۷۹
خوب	۸۹ -۸۵	۹۰ -۷۱	۸۰ -۹۴
عالی	۱۰۰ -۹۰	۱۰۰ -۹۱	۹۵ -۱۰۰

اصلاح شاخص کیفی BCWQI

شاخص کیفی BCWQI به‌عنوان شاخص افزایشی، در سال ۱۹۹۵ توسط وزارت محیط‌زیست، پارک‌ها و زمین کانادا برای ارزیابی کیفیت آب توسعه یافت. در این شاخص، پارامترهای کیفی آب با یک حد معین سنجیده شده و میزان تجاوز از آن تعیین می‌گردد. این حد می‌تواند رهنمودهای توصیه‌شده برای حفظ قابلیت

بهره‌برداری آب در طراحی موردنظر و یا هر استانداردی که میزان مصارف مختلف آب در آن مطرح است را در برگیرد؛ بنابراین یکی از مزایای این روش استفاده از استانداردهای هر حوضه، منطقه و یا کشور می‌باشد و این امکان را می‌دهد تا بر اساس تمامی پارامترهای اندازه‌گیری شده موجود در هر استاندارد، طبقه‌بندی کیفی صورت گیرد. برای محاسبه شاخص نهایی از رابطه (۵) استفاده می‌شود.

$$BCWQI = \frac{\sqrt{(F_1)^2 + (F_2)^2 + (\frac{F_3}{3})^2}}{1.453} \qquad (۵)$$

که در آن

F1 : درصد پارامترهایی که از حد معین تجاوز نموده‌اند و F2: تعداد دفعاتی که درمجموع اندازه‌گیری‌ها از حد معین تجاوز نموده به‌صورت درصدی از کل دفعات برداشت.

F3: ماکزیمم تخطی از حد معین (استاندارد) است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

۱۰۰×[مقدار اندازه‌گیری شده/ (حد ماکزیمم مجاز – مقدار اندازه‌گیری شده)]= درصد تخطی

باید توجه داشت که هرگاه مقدار برداشت‌شده، کمتر از حد مینیمم مجاز بود می‌بایست از رابطه زیر برای به دست آوردن درصد تخطی استفاده شود:

۱۰۰×[مقدار اندازه‌گیری شده/(مقدار اندازه‌گیری شده–حد ماکزیمم مجاز)]= درصد تخطی

عدد ۱/۴۵۳ برای حصول اطمینان از رسیدن ماکزیمم عدد شاخص BCWQI به عدد ۱۰۰ انتخاب‌شده است. نکته مهمی که دقت شاخص BCWQI را بالا می‌برد، تکرار نمونه‌برداری و افزایش تعداد ایستگاه‌های برداشت می‌باشد.

در مورد معایب این روش باید گفت که این شاخص، روند کیفی آب را تا زمانی که از حدود استاندارد تجاوز ننموده باشد، نشان نمی‌دهد. همچنین به علت استفاده از ماکزیمم تخطی (F3)، مشخص نمی‌شود که چه تعداد از برداشت‌ها در حدود بالای حد ماکزیمم استاندارد واقع‌شده‌اند.

جدول (۴) بیان‌کننده حالات کیفی بر اساس مقدار شاخص BCWQI می‌باشد. در این مطالعه، از مقادیر حدی ارائه‌شده برای کیفیت آب در FAO-286 استفاده‌شده است.

جدول ۴- توصیف کیفی آب رودخانه بر اساس BCWQI

طبقه‌بندی کیفیت آب	مقدار شاخص BCWQI
عالی	۰-۳
خوب	۴-۱۷
مناسب	۱۸-۴۳
متوسط	۴۳-۵۹
ضعیف	۶۰-۱۰۰

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی کیفیت آب رودخانه ابهر رود در ایستگاه‌های قروه و کینه‌ورس توسط چهار شاخص NSFWQI، OWQI، CWQI و BCWQI در شکل‌های (۲) تا (۴) طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ ارائه‌شده است. شکل (۲) نتایج شاخص NSFWQI را نشان می‌دهد. در این شاخص هر دو ایستگاه در محدوده ارزیابی عالی قرار دارند. همان‌طور که ذکر شد، این شاخص به هر یک از پارامترها مطابق بااهمیت آن‌ها وزنی اختصاص می‌دهد. درواقع تفاوت این شاخص با شاخص‌های قبلی را می‌توان در همین وزن دهی در نظر گرفت.

شکل (۳) نتایج شاخص OWQI را در دو ایستگاه هیدرومتری کینه ورس و قروه نمایش می‌دهد. نتایج این شاخص شباهت زیادی به شاخص NSFWQI دارد، با این تفاوت که در ایستگاه قروه سال‌های ۸۶ و ۸۸ دیگر در رده‌بندی عالی قرار نگرفته و دارای کیفیت خوبی برای کشاورزی می‌باشند.

نتایج شاخص CWQI در شکل (۴) نمایش داده‌شده است. با توجه به این شکل کیفیت ایستگاه‌های هیدرومتری طی سال‌های اندازه‌گیری هیچ تغییری ننموده و یکسان بوده است. ایستگاه کینه ورس عالی و ایستگاه قروه خوب ارزیابی‌شده است. نتایج این دو شاخص تقریباً شرایط یکسانی را نمایش می‌دهد.

با توجه به شکل (۵) و مقادیر عددی جدول (۴) (شاخص BCWQI)، مشاهده می‌گردد که ایستگاه کینه ورس به‌جز سال ۸۴ در بقیه سال‌ها ازلحاظ کیفیت عالی و ایستگاه قروه به‌جز سال ۸۰ در بقیه سال‌ها ازنظر کیفیت خوب ارزیابی‌شده است.

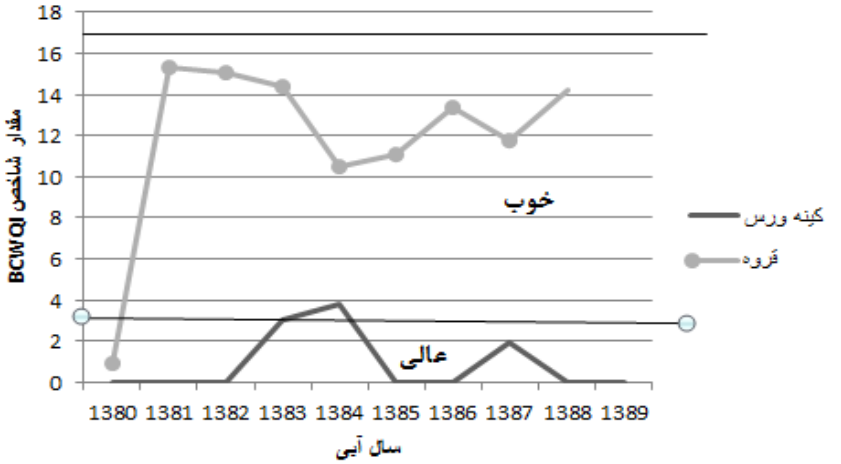
درواقع در هر سه شاخص افزایشی یعنی شاخص‌های NSFWQI، CWQI و OWQI شکل مربوط به ایستگاه هیدرومتری کینه ورس در تمام سال‌های اندازه‌گیری بالاتر از

ایستگاه قروه و در شاخص کاهشی BCWQI نیز گراف مربـوط بـه ایستگاه کینه ورس، در زیر ایستگاه قروه قرارگرفته است که با توجـه به بررسی‌های موجود این قضیه حاکی از بهتر بودن کیفیت ایسـتگاه کینه ورس نسبت به ایستگاه قروه می‌باشـد. بـا توجـه بـه موقعیـت ایستگاه کینه ورس که وسعت حوضه بالادست آن نسبت به حوضـه بالادست ایستگاه قروه کوچک‌تر بوده و درنتیجه مقدار زهاب کمتری وارد رودخانه شده و کیفیت آب در کینه ورس برای آبیاری مناسب‌تر ارزیابی می‌شود.

شکل ۲- میانگین تغییرات سالانه شاخص NSFWQI در ایستگاه‌های کینه‌ورس و قروه

شکل ۳- میانگین تغییرات سالانه شاخص OWQI در ایستگاه‌های کینه‌ورس و قروه

شکل ۴- میانگین تغییرات سالانه شاخص CWQI در ایستگاه‌های کینه‌ورس و قروه



شکل ۵- میانگین تغییرات سالانه شاخص BCWQI در ایستگاه‌های کینه‌ورس و قروه

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر جهت اصلاح شاخص‌های آسیب‌پذیری برای آب آبیاری، از پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذبی سدیم (SAR)، اسیدیته (pH)، بی‌کربنات (HCO^{3-})، کلر (Cl^{-})، سدیم (Na^{+}) و کل جامدات محلول (TDS) به‌عنوان ورودی شاخص‌های NSFWQI و OWQI استفاده شد. بدین منظور از نتایج آزمایش‌های فیزیکی-شیمیایی نمونه‌های آب رودخانه ابهر رود در ایستگاه‌های هیدرومتری کینه ورس و قروه طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ به‌صورت ماهیانه استفاده‌شده است. جهت تعیین مقادیر شاخص‌های NSFWQI و OWQI و تعریف حد مجاز برای شاخص‌های BCWQI و CWQI از نشریه FAO-286 استفاده شد. تغییری در فرمول‌های اصلی هیچ‌یک از شاخص‌های انجام نگرفت؛ تنها پارامترها مطابق کیفیت آب آبیاری اصلاح گردید. در محاسبه شاخص NSFWQI مطابق قاعده اصلی این شاخص به هر یک از پارامترها بر اساس کیفیت آب آبیاری وزنی نسبت داده شد، که با استفاده از نظرسنجی از کارشناسان و متخصصان کشاورزی و آبیاری تعیین‌شده است. در این مطالعه شاخص‌های BCWQI و CWQI تقریباً دارای روش کار یکسانی هستند، تنها تفاوت‌هایی در فرمول محاسبه نهایی و همچنین طبقه‌بندی عدد نهایی شاخص دارند. شاخص‌های NSFWQI و OWQI نیز دارای روش کار یکسان اعم از تعریف زیر شاخص‌های برابر و شکل‌های یکسان هستند، ولی تفاوت اصلی این دو شاخص که باعث برتری بالای

شاخص NSFWQI نسبت به OWQI می‌شود، همان نسبت دادن وزن به هر یک از پارامتر می‌باشد. در بررسی کلی شاخص NSFWQI از تمامی شاخص‌های ارائه‌شده در این مطالعه نتایج قابل‌قبول‌تری ارائه می‌دهد؛ زیرا دو شاخص BCWQI و CWQI بر اساس جدول (۳) برای محدوده متوسط عددی را در نظر نمی‌گیرند و بیشترین توجه این دو شاخص معطوف به اعداد بالاتر و حتی بسیار کم اعداد پایین‌تر از حد مجاز هستند و به‌این‌ترتیب اعداد شاخص برای اعداد نزدیک به پایین‌ترین و بالاترین حد مجاز یکسان هستند.همان‌طور که مشاهده شد نتایج هر چهار شاخص در مورد ایستگاه‌ها یکسان بود، ایستگاه کینه ورس دارای کیفیت بهتری ارزیابی شد. در ایستگاه قروه پارامترهای کلر و SAR دارای کیفیت مناسب، اما پارامترهای سدیم، EC، TDS و pH در تمامی ماه‌های سال‌های اندازه‌گیری بالاتر از حد مجاز بودند. ایستگاه کینه ورس تقریباً ازلحاظ تمامی پارامترها دارای کیفیت مناسب بود. از آنجائی که حوضه آبریز موردمطالعه یکی از سرشاخه‌های رودخانه شور می‌باشد و جریانات سطحی ازنظر شاخص‌های آسیب‌پذیری موردبررسی در شرایط مناسبی قرار دارند. چراکه زهاب کشاورزی و آلودگی‌های کمتری وارد جریان رودخانه شده است و کیفیت آب در شرایط مناسبی قرار دارد. لازم به توضیح است که در تحقیقات گذشته از شاخص‌های مذکور در ارزیابی آسیب‌پذیری آب شرب و محیط‌زیست استفاده‌شده بود. درحالی‌که در این مطالعه با اصلاح شاخص‌ها و استفاده از توانایی بالقوه آن‌ها، اقدام به ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب سطحی جهت کاربرد در آبیاری و کشاورزی گردید، که می‌تواند به‌عنوان نقطه قوت و نوآوری مطالعه مورد تأکید قرار گیرد.

منابع

Aadil, H., Naseer, A., Sami, U., and Ashok, K. 2013. Water Quality Index: A Case Study of Vishav Stream, Kulgam, Kashmir. International Journal of Environment and Bioenergy, 5(2): 108-122.

Cude, C. G. 2001. Oregan Water Quality Index: A tool for evaluating water quality management effectiveness.

CCME, Water Quality Index 1, 0, TEchnical Report. In: Canadian environmental quality guidelines. 2001. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_tEchrprtfctsht_e.pdf.

Hashemi, s,H., Azimi Qadyklayy, M., Damavandi, M.and Barekatain, S. 2012. Application of fuzzy comprehensive assessment on river water quality zoning. Journal of Ecology (JES) Volume 38, Issue 2, Summer 2012, Pages 103-1110.

Hashimoto, T., Stedinger, J. R. Louck, D.P. 1982. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation, Risk and Uncertainty in Water Resources Management, 18(1): 2-14.

Jonnalagadda, S.B. and Mhere.G. 2001. Water quality of the Odzi River in the eastern highlands of Zimbabwe. Journal of Water Res, 35: 2371–2376.

Nives, S.G. 1999. Water quality evaluation by index in Dalamatia. Journal of Water Res.; 33: 3423–3440.

Ott, W.R. 1980. Environmental Indices – Theory and Practice, Arbor Sceince Publisher, Inc. Ann, Michigan.

Pal Sharma. M., Sharma Shailendra. G,. Vivek Sh. P and Kumar. A. 2006. Water Quality Assessment of Behta River using benthic macro invertebrates, Life Science Journal, 3(4), 68-74.

Radmanesh, F., Salari, M., and Zolki, N. 2013. Zoning River water quality using NSFWQI, WQI; (Case study: Dez and Karkheh River). First International Conference on Environmental Protection and Planning. Islamic Azad University Hamedan Branch. 21 February 2013.

Samadi, M., Rahmani, M., Torabzadeh, H. 2009. Morad Beik river water quality zoning Hamadan based on NSFWQI and utilizes Geographic Information System. Scientific Journal of Hamadan University of Medical Sciences Volume 16, Number 6.

Sheikh Setani, N. 2001. Explain the qualitative indicators of quality of surface water and its application vulnerability assessment and mapping of rivers. Thesis of Environmental Engineering . University of Science and Technology . 191 pages.

Vrba, J. and Zoporozec, A., 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH International Contribution for Hydrogeology, 16. Hannover7 Heise, 131.

Vulnerability Assessment Factsheet, November 2002, Office of Water (4601M) EPA 816-F-02-025. www.epa.gov/ogwdw/sEcurity/index.html.

Water Management in Agriculture
Vol. 2, No. 2, Autumn and Winter 2015, p. 55 - 64

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۲، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۴، ص. ۶۴ - ۵۵

Introduction and Correction of Vulnerability Indicators for Irrigation Water (Case Study: Abhar Rud River)

F. Misaghi*[1] and F. Delgosha[2]

Abstract

In recent years due to water shortages and drought in Iran, the use of surface waters in this country is very important for agricultural use. Indicators in the field of assessing the quality of drinking water is provided, but the type and quality of irrigation water for agricultural products of particular importance given. Therefore, this study aims to provide solutions for measuring the quality of irrigation water is used. Here indicators NSFWQI, BCWQI, CWQI and OWQI corrected using Vilcox diagram and the FAO publication 286 for pressurized irrigation. Qualitative parameters of SAR, Na+, Cl-, and pH, HCO3-, Ec and TDS were measured on two stations Abharrud River, in the name of Kineh Varas and Qorveh of 2001 was up to 2010. Results showed that these indicators are acceptable in agriculture and about the same results presented Abhar Rud River. Kineh Varas station in assessing all indicators has less vulnerability than Qorveh station and it is also evident in the fact. The NSFWQI was the best index of irrigation water vulnerability. In order to determining of effective parameters on NSFWQI index, a sort of check list has been providing to irrigation and agriculture experts. Considering of their preference besides using AHP approach, weight of quality parameter has been determined.

Keywords: Vulnerability, BCWQI, CWQI, NSFWQI, OWQI.

[1] Assistant Professor of Water Engineering Department, Zanjan University, Iran.
(*Corresponding author: Email : Farhad_Misaghi@znu.ac.ir)
2 Master Science of Irrigation and Drainage Engineering, Zanjan University, Iran.
Received: February 9, 2016
Accepted: March 9, 2016