نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال سوم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۳

ISSN 2251-7480

ارزیابی کیفیت آب رودخانه دره‌رود برای آبیاری با بهره‌گیری از رویکرد پایدار مدار حفاظتی و مدل CCME-WQI

عظیم عشایری[۱*]، عبدالرضا کرباسی[۲]، اکبر باغوند[۳]

۱*) دانشجوی تحصیلات تکمیلی؛ رشته‌ی مهندسی عمران-محیط‌زیست؛ دانشگاه تهران؛ ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: ashayeri_a@ut.ac.ir

۲) دانشیار دانشگاه تهران؛ دانشکده‌ی تحصیلات تکمیلی محیط‌زیست؛ تهران؛ ایران

۳) دانشیار دانشگاه تهران؛ دانشکده‌ی تحصیلات تکمیلی محیط‌زیست؛ تهران؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۳۱

چکیده

مدیریت کیفیت آب، از عناصر مهم برای نگهداشت سامانه‌های پایدار آبیاری است. با بررسی شاخص- محور کیفیت آب می‌توان از طریق ترسیم روند تغییرات زمانی و مکانی، دامنه دست‌یابی به اهداف را تعیین کرد. در این پژوهش، با بهره‌گیری از مدل CCME-WQI و انتخاب پارامترهای ۳۰ گانه با ماهیت‌های مختلف فیزیکوشیمیایی، بیولوژیک، عناصر غذایی و فلزات سنگین، کیفیت آب رودخانه دره‌رود واقع در منطقه مغان ارزیابی شد. هدف از این ارزیابی، تعیین کلاس کیفیت آب رودخانه برای مصارف آبیاری بود. نمونه‌برداری‌ها از آب رودخانه از چهار ایستگاه مطالعاتی با دو دوره برداشت متناسب با شرایط تر و خشک هیدرولوژیک انجام و آزمایش‌های لازم بر روی آنها انجام شد. سپس، حدود هدفگذاری شده توسط محققین همراه با اطلاعات اندازه‌گیری شده، در مدل وارد گردیدند. آنگاه، سه فاکتور "محدوده‌ی هدفگذاری شده"، "فراوانی" و "دامنه‌ی انحراف از حدود هدفگذاری شده" محاسبه و نتایج داده‌ها نرمال‌سازی شدند. نتایج نشان داد که تناسب کیفی آب رودخانه در دوره‌های کم‌آبی و پرآبی با رویکرد کاربری آبیاری در محدوده کلاس B (به‌ترتیب در کلاس‌های خوب و خوبِ متمایل به متوسط) قرار می‌گیرد. در نهایت، خروجی حاصل از این مدل به عنوان یک ابزار تشخیصیِ پشتیبان، ایجاب می‌نماید که اقدامات مدیریتی بهبود (BMPs) در دامنه‌ای از ۷ تا ۱۸ درصد، برای ارتقای سطح کیفی و تبیین برنامه‌های تعدیلِ موثر جهت تصمیم‌گیری‌های پایدار-مدارِ آتی، در نظر گرفته شود.

کلید واژه‌ها: کیفیت آب آبیاری؛ مدل شاخص- محور؛ CCME-WQI؛ BMPs

مقدمه

آب و پهنه‌های آن به خاطر برخورداری از چرخه‌ی وسیع و گسترده در طبیعت، ارتباط بیشتری با دیگر اجزای محیط‌زیست دارد. در این چرخه، آب در کنش متقابل با خاک و پوشش گیاهی بوده و کیفیت آن از فعالیت‌های انسان در تغییر کاربری زمین و آلودگی ناشی از مصارف صنعتی، کشاورزی، شهری و در برخی موارد عوامل طبیعی، آسیب‌پذیر است. همچنین کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون کشور ایران از یک طرف و استفاده‌ی بی‌رویه و نادرست از منابع آب و آلودگی آنها از طرف دیگر، تهدیدی جدی برای توسعه‌ی پایدار و حفاظت محیط‌زیست به شمار می‌رود. بنابراین آگاهی از کیفیت منابع

آب، یکی از نیازمندی‌های مهم در برنامه‌ریزی و توسعه‌ی این منابع و حفاظت و کنترل آنها محسوب می‌گردد و بهره‌برداری و مدیریت نامناسب وغیرکارای این منابع نسبت به گذشته، می‌تواند مخاطرات اساسی در زمینه‌های سلامت و رفاه انسان، امنیت غذایی، توسعه‌ی صنعتی و حیات اکوسیستم‌ها را فراهم آورد (خوشدوز ماسوله و همکاران، ۱۳۹۲).

رودخانه‌ها به عنوان یکی از منابع مهم سطحی و تامین‌کننده‌ی آب آبیاری محسوب می‌شوند. این پهنه‌های آبی ارزشمند، همواره از گذشته‌های دور مورد توجه جوامع انسانی قرار گرفته و نقش آنها نه تنها در سیمای کلی سطح زمین، بلکه در شکل زیستن انسان بر روی کره‌ی زمین نیز تعیین‌کننده بوده است بطوریکه تشکیل تمدن‌های بزرگ و کهن در کنار رودخانه‌ها تائیدی بر این مقوله است (مجنونیان، ۱۳۷۸). درجه‌ی کمی و کیفی فیزیکو- شیمیایی و بیولوژیکی اجزای یک اکوسیستم رودخانه‌ای از جمله ترکیب، ساختار و فرایند آن و نیز روابط بین این اجزا، در صورتی‌که عملکرد و شرایط نگهداشت آن نزدیک به سطح مرجع باشد، می‌تواند بازتابی از اثرات قابل چشم‌پوشی و حداقلی فعالیت‌های انسانی بر روی سلامت اکوسیستم باشد (Schallenberg *et al.*, 2011).

تولیدات پایدار کشاورزی نیازمند سامانه‌های آبیاری با عملکرد مطلوب برای فراهم ساختن غذا و انرژی با کیفیت مطمئن برای حمایت جامع از جمعیت جهانی می‌باشد. در این راستا، طیف وسیعی از استراتژی‌های مدیریتی همراه با رویکردهای گوناگون برای تعدیل و کاهش اثرات آب با کیفیت پائین وجود دارد و مدیریت حفاظت کیفی منابع آب و بهره‌گیری پایدار- مدار از این منابع با رویکرد یکپارچه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. تامین آب آبیاری از رودخانه‌ها بستگی به میزان جریان(دبی) رودخانه، وضعیت کیفی، شرایط زمین‌شناسی و خاکشناسی، الگوی کاربری اراضی، شرایط اقلیمی و تاثیر سایر فعالیت‌های انسان‌ساخت دارد. در این میان، ارزیابی تناسب کیفیت آب برای آبیاری نیز به عنوان یکی از ابزارهای پشتیبان، نقش مهمی را در جهت مدیریت کارای سامانه‌های آبیاری ایفا می‌کند (مقیمی، ۱۳۸۸).

معیارهای کیفیت آب برای آبیاری از منظر بررسی جامع کیفی-زیست‌محیطی بسیار شفاف نمی‌باشد و از ابهامات زیادی برخوردار می‌باشد. همچنین در بررسی‌های مربوط به کیفیت آب آبیاری به‌طور عمده موضوع تناسب کیفی آب و اراضی برای تولیدات کشاورزی و راندمان‌های آبیاری در نظر گرفته شده است و به اثرات ایمنی، بهداشت و سلامت زیست‌محیطی در نتیجه‌ی استفاده از آب با کیفیت نامطلوب برای آبیاری و پیامدهای منفی آن بر روی شرایط زنده‌مانی پهنه‌های پذیرنده و حفظ حیات انسان، آبزیان و اکوسیستم کمتر پرداخته شده است. نظر به اهمیت موضوع و ضرورت توجه به کیفیت آب آبیاری و نیز حفاظت از منابع‌سطحی جاری و تامین‌کننده(رودخانه‌ها) به عنوان شریان‌های هستی‌بخش زمین (ابراهیم‌نژاد، ۱۳۸٤؛ مقیمی، ۱۳۸۸)، در تحقیق حاضر سعی گردیده است تا ضمن بهره‌گیری از سوابق و تجارب موفق و مشابه سایر محققین، از مدل‌های شاخص- محور و کلاسه‌بندی شده برای ارزیابی کیفیت آب آبیاری با رویکرد جامع و پایدار- مدار حفاظتی ، استفاده به عمل آید.

مطالعات زیادی در ارتباط با بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها برای کاربری‌های مختلف در سطوح ملی و فرا-ملی توسط محققین و سازمان‌های مختلف با روش‌های گوناگون ازجمله شیوه‌های مبتنی بر طبقه‌بندی شاخص- بنیان صورت پذیرفته است. در این راستا، شاخص‌ها به عنوان یک ویژگی اندازه‌گیری شده یا مشاهده شده تعریف می‌شوند که اطلاعات مدیریتی مفیدی را در خصوص روند مربوط به شرایط محیط زیست و نیز فعالیتهای انسانی اثرگذار بر محیط زندگی فراهم می‌کنند(US-EPA, 1996). در واقع، شاخص‌ها حجم زیادی از داده‌ها را خلاصه می‌کنند و نتایج حاصل از آنها در جهت اولویت‌بندی برخی اقدامات موثرآتی

بکار می‌آیند. روش‌های شاخص- محور متعدد و متنوعی برای بررسی وضعیت کیفی منابع آب برای کاربری‌های تعریف‌شده، وجود دارد. بطور کلی این شاخص‌ها با تکیه بر قضاوت کارشناسی به‌خصوص از منظر انتخاب مناسب حدود هدفگذاری شده برای مقاصد ویژه، اطلاعات سازنده‌ای را برای بهبود شرایط و نیز افزایش تعادل بین بهره‌گیری از زمین و کیفیت آب فراهم می‌کنند. درضمن، می‌توان گفت که شاخص‌های کیفی آب، راهکارهای ریاضی جهت ترکیب تعدادی از متغیرها در ارزش‌های معین با قابلیت درک ساده آنها برای متولیان و مدیران تصمیم‌ساز و عامه‌ی مردم می‌باشند و نقش تعیین‌کننده‌ای را برای کمک به اقدامات حفاظتی موثر، ایفاء می‌نمایند. در جدول ۱ خلاصه‌ای از سوابق مطالعات و تحقیقات انجام شده و مشخصات مدل‌های استفاده شده مرتبط ارائه شده است.

جدول۱. خلاصه‌ای از سوابق تحقیقات و مطالعات مشابه انجام شده با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب

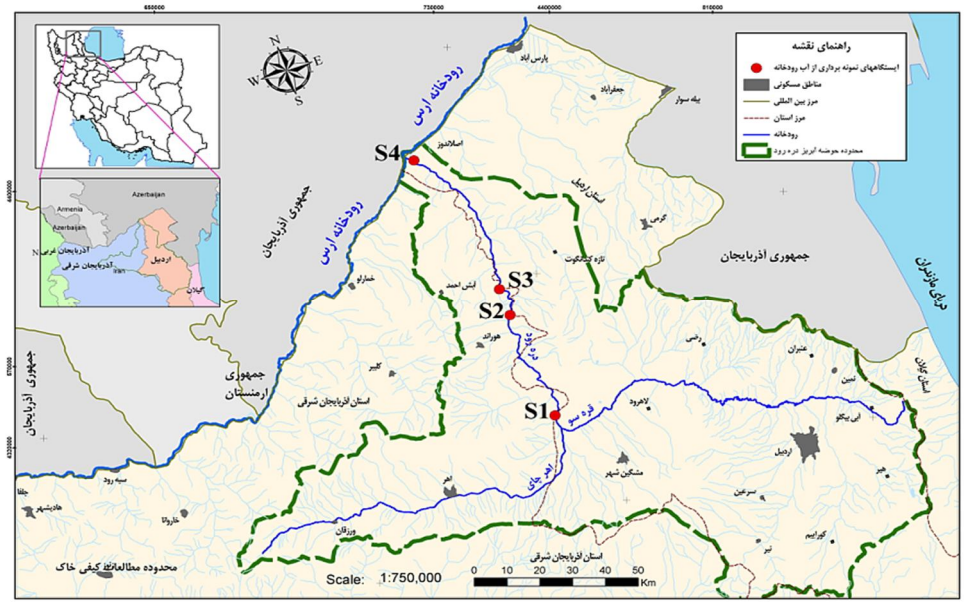
نام شاخص	هدف	روش	پارامترها	توضیحات تکمیلی/ مرجع
NSF-WQI [5]	تعیین کیفیت کلی آب	امتیازبندی (تکنیک دلفی)	DO, FC, BOD_5, TP, $N\text{-}NO_3$, T, pH, Turbidity, TS	- طبقه‌بندی کیفی در ۵ کلاس همراه با امکان تفسیر هر کدام از کلاس‌ها، دارای محدودیت تعداد پارامترهای ورودی مدل، [بنیاد بهداشت ملی آمریکا]
VISC-WQI [6]	تعیین کیفیت کلی آب رودخانه	امتیازبندی	TP, Turbidity, pH, Conductivity	- نتیجه‌ی بررسی داده‌های حاصل از ۵ سال نمونه‌برداری در ۱۸۳ ایستگاه پایش، دارای محدودیت تعداد پارامترهای ورودی مدل، [ایالت ویکتوریا-استرالیا]
Iowa-WQI [7], [8]	ارزیابی کیفیت آب رودخانه	امتیازبندی	DO, BOD_5, TP, pH, TDS, TSS, E. Coli bacteria, Nitrate + Nitrite as N, Total detected pesticides	- طبقه‌بندی شرایط کیفی در ۵ کلاس با دامنه‌ی ۰-۱۰۰ همراه با امکان تفسیر هر کدام از کلاس‌ها، دارای محدودیت تعداد پارامترهای ورودی مدل، [ایالت آیوا-آمریکا]
O-WQI [9]	ارزیابی کلی کیفیت آب از منظر تأثیر اقدامات مدیریتی	میانگین مربع هارمونیک غیروزنی برای ترکیب زیرشاخص‌ها	T, DO, BOD_5, pH, TS, NH_4^+, $N\text{-}NH_3$, TP, FC	- امکان کلاسه‌بندی کیفی آب برای مقاصد مختلف در دامنه‌های تعریف شده و تفسیر میزان اثرگذاری اقدامات مدیریتی، [ایالت اُرگان - آمریکا]
DOE-WQI [10], [11]	ارزیابی مبنایی کیفیت منابع آب	کلاسه‌بندی شرایط کیفی متکی بر ارزش‌گذاری پارامترها	DO, BOD_5, COD, TSS, $N\text{-}NH_3$, pH	- کلاسه‌بندی شاخص‌های کیفی (در ۳ بازه‌ی پاک، آلودگی متوسط و آلوده)، دارای محدودیت پارامتری، [کشور مالزی]
CCME-WQI [12]	ارزیابی کیفی آب برای حفاظت آبزیان و اکوسیستم‌های آبی	امتیازبندی کلاس کیفی آب بر پایه‌ی روابط ریاضی و ۳ فاکتور Scope، Frequency، Amplitude	عدم وجود محدودیت در پذیرش تعداد پارامترها	- امکان بهره‌گیری از این مدل برای مقاصد مختلف با تعریف حدود هدف‌گذاری شده بدون محدودیت پارامتری، [روش پیشنهادی شورای وزارت محیط زیست کانادا]

مواد و روش‌ها

محدوده‌ی موردمطالعه و مشخصات عمومی آن

رودخانه‌ی دره رود در شمال غربی ایران و در منطقه‌ی مغان واقع می‌باشد و از بهم پیوستن دو شاخه‌ی اهرچای و قره سو تشکیل و در نهایت به رود ارس منتهی می‌شود. حوضه‌ی آبریز این رودخانه با مساحت حدود ۱۴۵۷۷۰۰ هکتار، در دامنه‌ی بین عرض جغرافیایی '۴۵ و° ۳۸ تا '۳۰ و° ۳۹ شمالی و طول جغرافیایی '۱۰ و° ۴۷ تا '۵۰ و° ۴۷ شرقی قرار گرفته است. محدوده‌ی مورد مطالعه از محل اتصال دو شاخه‌ی فرعی گفته‌شده تا محل منتهی به رود ارس را بر روی رودخانه‌ی دره‌رود به طول حدود ۱۲۲ کیلومتر شامل می‌شود. در این حوضه، متوسط بارندگی

سالیانه معادل ۳۰۲/۹ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه معادل ۱۰/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد و متوسط ارتفاع معادل ۱۵۵۰ متر می‌باشد (مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۳۹۰). در شکل ۱ موقعیت بازه‌ی مطالعاتی نشان داده شده است.



شکل ۱. نقشهٔ محدودهٔ مطالعاتی و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

رویکرد مبتنی بر انتخاب مدل کیفی شاخص- محور CCME-WQI و مشخصات آن

بطور کلی رویکرد انتخاب مدل ارزیابی کیفی آب، متکی بر فرایند ارائه شده در شکل ۲ می‌باشد. با توجه به مشخصات ذکر شده در جدول ۱ و سوابق مدل‌های کیفی پیشنهاد شده توسط مراجع مختلف و نیز با در نظر گرفتن امکانات و محدودیت‌های هر مدل و مقاصد هدفگذاری شده، برای ارزیابی کیفی آب رودخانه‌ی دره‌رود به منظور کاربری آبیاری، محققین مدل CCME-WQI را برای انجام مطالعات این تحقیق انتخاب کردند.

شکل ۲. فرایند انتخاب مدل شاخص- محور کیفی و خروجی‌های آن

معرفی مدل CCME-WQI[1]

شاخص کیفیت آب CCME-WQI توسط شورای وزارت محیط زیست کانادا برای ارزیابی کیفی آب تهیه و پایه‌گذاری شده است. دیدگاه محققین در انتخاب شاخص مذکور برای مطالعات این پروژه، متاثر از وجود مزیت‌ها و امکانات به شرح زیر بوده است:

عدم وجود محدودیت در تعداد پارامترهای کیفی وارده در مدل

انعطاف‌پذیری مدل به پذیرش حدود و معیارهای هدفگذاری شده توسط کاربر برای مقاصد مختلف

لحاظ شدن سه فاکتور محدوده‌ی هدفگذاری‌شده (Scope) ، فراوانی(Frequency) و دامنه‌ی انحراف (Amplitude) در آن

امکان استفاده از مدل برای موقعیت‌های نقطه‌ای و پهنه‌ای سامانه‌ی آبی موردنظر

سهولت در بومی‌سازی شرایط کاربری آن برای مناطق و مقاصد مختلف در مقاطع زمانی و مکانی هدفگذاری شده

امکان تفسیرهای مناسب کلاسه‌بندی شده با توجه به دامنه‌های کیفی تعریف شده در مدل

سهولت و سادگی درک خروجی‌های آن برای سیاستگزاران و عامه‌ی مردم

امکان بهره‌گیری از آن به عنوان یک ابزار مفید برای ارزیابی میزان موفقیت و شکست استراتژی‌های مدیریتی در راستای اهداف حفاظت کیفی منابع آب

پاسخ‌دهی مناسب خروجی‌های این مدل در مطالعات و تحقیقات مختلف و جامع بودن آن

تایید عملکرد این مدل توسط مراجع معتبری همچون UNEP و توصیه‌ی بکارگیری از آن به عنوان یک مدل قابل استفاده در سطح جهانی

روابط و معادلات حاکم بر مدل CCME-WQI به شرح زیر می‌باشد.

(۱) F_1(Scope)=(تعداد کل پارامترها / تعداد پارامترهای مردود از حد هدفگذاری) * ۱۰۰

(۲) F_2(Frequency)= (تعداد کل آزمون‌ها / تعداد آزمون‌های مردود از حد هدفگذاری) * ۱۰۰

(۳) *Excursion*(میزان انحراف هر آزمون) = (حد هدفگذاری شده/مقدار عددی آزمون مردود شده) - ۱

(رابطه‌ی٤. برای حالتی که قرار است نتیجه‌ی آزمون پائین‌تر از حد هدفگذاری قرار نگیرد):

(٤) *Excursion*(میزان انحراف هر آزمون) = (مقدار عددی آزمون مردود شده / حد هدفگذاری شده) - ۱

(۵) نرمال‌سازی جمع میزان انحرافات

$$nse = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} excursion_i}{total \quad number \quad of \quad tests} \right)$$

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0.01nse + 0.01} \right) \qquad (٦)$$

$$CCME,WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right) \qquad (۷)$$

با در نظر گرفتن روابط گفته‌شده، برای تعیین کلاس کیفی آب و تفسیر تناسب آن برای کاربری هدفگذاری شده، از اطلاعات مندرج در جدول ۲ استفاده به عمل آمده است.

[1] Canadian Council of Ministers of the Environment -Water Quality Index

جدول ۲. کلاسه‌بندی شاخص کیفی آب و تفسیر تناسب آن در مدل CCME-WQI (CCME, 2011)

کلاسه‌بندی شاخص کیفی آب	دامنه‌ی امتیاز کیفی	تفسیر تناسب و شرایط کیفی آب
عالی (Excellent)	۹۵ – ۱۰۰	– کیفیت آب با درجه‌ی بالایی، از تهدید و اختلال حفظ شده است. شرایط، بسیار نزدیک به سطوح طبیعی و بکر می‌باشد.
خوب (Good)	۸۰ -۹۴	– کیفیت آب در حد مرزی از تهدید و اختلال حفظ شده است. شرایط، به ندرت از سطوح طبیعی و بکر خارج می‌شود.
متوسط (Fair)	۶۵ -۷۹	– کیفیت آب به‌طور معمول حفظ شده است لیکن گاهی اوقات مورد تهدید و اختلال قرار دارد. شرایط، برخی مواقع از حالت طبیعی و بکر خارج می‌شود.
نسبتا" متوسط یا حد مرزی(Marginal)	۴۵ -۶۴	– کیفیت آب بطور مکرر در معرض تهدید و اختلال قرار دارد. شرایط، در اغلب مواقع از حالت طبیعی و بکر خارج می‌شود.
ضعیف (Poor)	۰ -۴۴	– کیفیت آب، به‌طور تقریبی، همیشه در معرض تهدید یا اختلال قرار دارد. شرایط، بطور معمول از حالت طبیعی و سطح مطلوب خارج است.

اجزاء و مشخصات شبکه‌ی پایش کیفی

اجزای شبکه‌ی پایش مطالعات مرتبط با این تحقیق از لحاظ تعداد ایستگاه‌های نمونه‌برداری، بازه‌ی زمانی برداشت نمونه‌ها، پهنه‌ی رودخانه‌ای، تواتر برداشت نمونه‌ها ، نوع پارامترها، دقت و روش‌های استاندارد اندازه‌گیری به صورت زیر می‌باشد.

انتخاب چهار ایستگاه نمونه‌برداری بر روی رودخانه‌ی دره‌رود در فاصله‌ی محل تلاقی دو شاخه‌ی فرعی قره‌سو و اهر چای تا محل اتصال به رود ارس (مطابق شکل ۱)

تواتر نمونه‌برداری شامل دو دوره‌ی نمونه‌برداری با لحاظ نمودن فصول تر و خشک در بازه‌ی زمانی مطالعات(دوره‌ی اول در هفته‌ی آخر خردادماه و دوره‌ی دوم در هفته‌ی آخر آذرماه ۱۳۹۲) ضمن توجه به آمار طولانی مدت شرایط اقلیمی منطقه‌ی موردمطالعه

پارامترهای ۳۰ گانه‌ی فیزیکو- شیمیایی پایه، بیولوژیکی، مواد مغذی و آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین مطابق جدول ۳

انتخاب آزمایشگاه معتبر و معتمد مورد تائید سازمان حفاظت محیط زیست ایران (آزمایشگاه آب و خاک مهاب‌قدس)

انجام عملیات نمونه‌برداری وتنظیم شرایط برداشت، حفظ و ارسال نمونه‌ها و نیز انجام آزمایش‌ها با استفاده ازدستورالعمل‌ها و روش‌های استاندارد توصیه شده توسط مراجع معتبر بین‌المللی (APHA, 2005).

رعایت فرایند تضمین و کنترل کیفیت در قالب برنامه‌ی QA/QC در تمامی مراحل انجام کار(APHA, 2005).

انتخاب حدود هدفگذاری شده توسط محققین برای هر کدام از پارامترها برای کاربری آبیاری (مطابق جدول ۳)

نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌های کیفی نمونه‌های آب برداشت شده به تفکیک پارامترهای اندازه‌گیری، دوره‌ها و ایستگاه‌های نمونه‌برداری و حدود هدفگذاری شده در جداول زیر(۳- الف و۳- ب) ارائه شده است. در دست‌یابی به نتایج صحیح و دقیق از برنامه و فرایند QA/ QC شامل

فاکتورهای وابسته به سطح پارامتری، ارتباطات و برهم‌کنش‌های بین پارامتری، توازن یون‌ها، راهنماهای مربوط به نحوه‌ی نگهداشت، تثبیت و حمل نمونه‌ها در ظروف مناسب، تناسب دقت روش‌های استاندارد مورد استفاده با تجهیزات بکار گرفته شده، نحوه‌ی کالیبراسیون تجهیزات، بهره‌گیری از نمونه‌های شاهد استاندارد، روش Spike ، نمونه‌های شاهد کالیبراسیون، تکرار نمونه‌ها، وارسی داخلی و خارجی و روش‌های توصیه شده توسط مراجع معتبر استفاده به عمل آمده است (Mitchell, 2006; US-EPA, 2005).

جدول ۳ (الف). نتایج آنالیز کیفی پارامترها به تفکیک ایستگاه‌های نمونه‌برداری و پارامترها (دوره‌ی پرآبی)

ماهیت پارامترها	نام پارامتر	واحد	S۱	S۲	S۳	S۴	Guideline value / Reference	
فیزیکی	pH	s.u	۸.۳۳	۸.۴۶	۸.۶۲	۸.۸۱	۶–۸.۵	FAO, ۱۹۸۵
	هدایت الکتریکی / EC	ms/cm	۲.۱۲۴	۱.۳۵۲	۱.۱۱۳	۱.۶۹۱	۳	FAO, ۱۹۸۵
	کل جامدات محلول /TDS	ppm	۱۳۵۰.۶	۸۲۲.۶	۷۴۸.۵	۱۱۷۳.۴	۲۰۰۰	FAO, ۱۹۸۵
	کل ذرات معلق /TSS	ppm	۴۰.۲	۱۱.۹	۳۱.۳	۲۶.۶	۵۰ (drip ir.)	S.African, ۱۹۹۶
شیمیایی پایه	سدیم / Na	ppm	۱۹۷.۵۲	۱۱۶.۱۷	۱۱۰.۶۹	۱۹۶.۴۲	۹۲۰	FAO, ۱۹۸۵
	پتاسیم / K	ppm	۱۵.۰۵	۸.۸۹	۹.۵۱	۹.۷۳	۲	FAO, ۱۹۸۵
	کلسیم / Ca	ppm	۱۵۳.۷۲	۱۱۲.۱۲	۱۰۶.۲۷	۱۹۰.۲۶	۴۰۰	FAO, ۱۹۸۵
	منیزم / Mg	ppm	۲۰.۶۶	۲۸.۹۱	۳۷.۸۳	۳۹.۳۴	۶۰	FAO, ۱۹۸۵
	کلراید / Cl	ppm	۱۷۴.۸	۹۴.۴	۸۷.۵	۱۸۱.۶	۱۰۶۵	FAO, ۱۹۸۵
	سولفات / SO۴	ppm	۲۹۵.۱۵	۲۲۲.۰۷	۲۰۹.۱۲	۳۱۴.۶۸	۹۶۰	FAO, ۱۹۸۵
	کربنات / CO۳	ppm	۷.۷۶	۸.۲۴	۱۰.۰۴	۱۲.۶۵	۳	FAO, ۱۹۸۵
	بیکربنات / HCO۳	ppm	۳۳۱.۶۷	۲۴۶.۹۱	۲۷۶.۲۴	۳۵۳.۵۸	۶۱۰	FAO, ۱۹۸۵
	نسبت جذب سدیم / SAR	unitless	۲.۸۰	۱.۷۸	۱.۶۵	۲.۳۹	۱۵	FAO, ۱۹۸۵
مواد مغذی	نیترات / Nitrate–N	ppm	۴.۱	۳.۸	۴.۹	۵.۸	۱۰	FAO, ۱۹۸۵
	آمونیوم / N–NH۴	ppm	۰.۱۶	۰.۳	۰.۲۳	۰.۱۸	۵	FAO, ۱۹۸۵
	فسفات / P–PO۴	ppm	۰.۰۵۵	۰.۲۳۱	۰.۱۹۹	۰.۱۰۸	۲	FAO, ۱۹۸۵
باکتریولوژیکی	کلیفرم کل / T.Coliform	MPN/۱۰۰ ml	۲۳۰	۵۰	۲۰۰	۱۶۰	۱۰۰۰	CCME, ۱۹۸۷
	کلیفرم گوارشی / F.Coliform	MPN/۱۰۰ ml	۱۱۸	۵	۲۰	۱۰۵	۱۰۰	CCME, ۱۹۸۷
عناصر کمیاب (فلزات سنگین)	بور / B	ppm	۰.۱۹	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۱۳	۲	FAO, ۱۹۸۵
	آلومینیوم / Al	ppm	۰.۱۴	۰.۴۶	۰.۰۷	۰.۲۶	۵	CCME, ۱۹۸۷
	آهن / Fe	ppb	۲۳.۹۳	۷۶.۹۱	۲۷.۷۴	۲۴.۷۱	۵۰۰۰	CCME, ۱۹۸۷
	منگنز / Mn	ppb	۱۴.۶۴	۶.۵۷	۷.۵۳	۶.۶۷	۲۰۰	CCME, ۱۹۸۷
	نیکل / Ni	ppb	۰.۶۵	۱.۰۱	۰.۴۵	۰.۶۴	۲۰۰	CCME, ۱۹۸۷
	مس / Cu	ppb	۵.۱۳	۴.۹۲	۵.۴۴	۳.۶۶	۲۰۰	S.African, ۱۹۹۶
	روی / Zn	ppb	۶۴.۲۸	۱۳.۷۱	۱۶.۳۱	۳.۷۸	۱۰۰۰	CCME, ۱۹۸۷
	کروم / Cr(VI)	ppb	۱.۴۶	۱.۳۹	۱.۲۲	۱.۴۹	۸	CCME, ۱۹۹۷
	کبالت / Co	ppb	۰.۰۳	۰.۱۸	۰.۱۲	۰.۰۹	۵۰	CCME, ۱۹۸۷
	سرب / Pb	ppb	۱۴.۳۳	۱۳.۷۳	۱۲.۶۵	۱۲.۳۱	۲۰۰	CCME, ۱۹۸۷
	سلنیم / Se	ppb	< ۰.۳	< ۰.۳	< ۰.۳	< ۰.۳	۲۰	S.African, ۱۹۹۶
	وانادیم / V	ppb	۴.۹۷	۴.۳۶	۶.۴۸	۴.۵۱	۱۰۰	CCME, ۱۹۸۷

جدول ۳ (ب). نتایج آنالیز کیفی پارامترها به تفکیک ایستگاه‌های نمونه‌برداری و پارامترها (دوره‌ی کم‌آبی)

ماهیت پارامترها	نام پارامتر	واحد	S۱	S۲	S۳	S۴	Guideline value / Reference	
فیزیکی	pH	s.u	۸.۳۳	۸.۴۶	۸.۶۲	۸.۸۱	۶—۸.۵	FAO, ۱۹۸۵
	EC / هدایت‌الکتریکی	ms/cm	۲.۱۲۴	۱.۳۵۲	۱.۱۱۳	۱.۶۹۱	۳	FAO, ۱۹۸۵
	TDS / کل جامدات محلول	ppm	۱۳۵۰.۶	۸۲۲.۶	۷۴۸.۵	۱۱۷۳.۴	۲۰۰۰	FAO, ۱۹۸۵
	TSS / کل ذرات معلق	ppm	۴۰.۲	۱۱.۹	۳۱.۳	۲۶.۶	۵۰ (drip ir.)	S. African, ۱۹۹۶
شیمیایی پایه	Na / سدیم	ppm	۱۹۷.۵۲	۱۱۶.۱۷	۱۱۰.۶۹	۱۹۶.۴۲	۹۲۰	FAO, ۱۹۸۵
	K / پتاسیم	ppm	۱۵.۰۵	۸.۸۹	۹.۵۱	۹.۷۳	۲	FAO, ۱۹۸۵
	Ca / کلسیم	ppm	۱۵۳.۷۲	۱۱۲.۱۲	۱۰۶.۲۷	۱۹۰.۲۶	۴۰۰	FAO, ۱۹۸۵
	Mg / منیزم	ppm	۲۰.۶۶	۲۸.۹۱	۳۷.۸۳	۳۹.۳۴	۶۰	FAO, ۱۹۸۵
	Cl / کلراید	ppm	۱۷۴.۸	۹۴.۴	۸۷.۵	۱۸۱.۶	۱۰۶۵	FAO, ۱۹۸۵
	SO۴ / سولفات	ppm	۲۹۵.۱۵	۲۲۲.۰۷	۲۰۹.۱۲	۳۱۴.۶۸	۹۶۰	FAO, ۱۹۸۵
	CO۳ / کربنات	ppm	۷.۷۶	۸.۲۴	۱۰.۰۴	۱۲.۶۵	۳	FAO, ۱۹۸۵
	HCO۳ / بیکربنات	ppm	۳۳۱.۶۷	۲۴۶.۹۱	۲۷۶.۲۴	۳۵۳.۵۸	۶۱۰	FAO, ۱۹۸۵
	SAR / نسبت جذب سدیم	unitless	۲.۸۰	۱.۷۸	۱.۶۵	۲.۳۹	۱۵	FAO, ۱۹۸۵
مواد مغذی	Nitrate—N / نیترات	ppm	۴.۱	۳.۸	۴.۹	۵.۸	۱۰	FAO, ۱۹۸۵
	N—NH۴ / آمونیوم	ppm	۰.۱۶	۰.۳	۰.۲۳	۰.۱۸	۵	FAO, ۱۹۸۵
	P—PO۴ / فسفات	ppm	۰.۰۵۵	۰.۲۳۱	۰.۱۹۹	۰.۱۰۸	۲	FAO, ۱۹۸۵
باکتریولوژیکی	T.Coliform / کلیفرم کل	MPN/۱۰۰ ml	۲۳۰	۵۰	۲۰۰	۱۶۰	۱۰۰۰	CCME, ۱۹۸۷
	F.Coliform / کلیفرم گوارشی	MPN/۱۰۰ ml	۱۱۸	۵	۲۰	۱۰۵	۱۰۰	CCME, ۱۹۸۷
عناصر کمیاب (فلزات سنگین)	B / بور	ppm	۰.۱۹	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۱۳	۲	FAO, ۱۹۸۵
	Al / آلومینیوم	ppm	۰.۱۴	۰.۴۶	۰.۰۷	۰.۲۶	۵	CCME, ۱۹۸۷
	Fe / آهن	ppb	۲۳.۹۳	۷۶.۹۱	۲۷.۷۴	۲۴.۷۱	۵۰۰۰	CCME, ۱۹۸۷
	Mn / منگنز	ppb	۱۴.۶۴	۶.۵۷	۷.۵۳	۶.۶۷	۲۰۰	CCME, ۱۹۸۷
	Ni / نیکل	ppb	۰.۶۵	۱.۰۱	۰.۴۵	۰.۶۴	۲۰۰	CCME, ۱۹۸۷
	Cu / مس	ppb	۵.۱۳	۴.۹۲	۵.۴۴	۳.۶۶	۲۰۰	S. African, ۱۹۹۶
	Zn / روی	ppb	۶۴.۲۸	۱۳.۷۱	۱۶.۳۱	۳.۷۸	۱۰۰۰	CCME, ۱۹۸۷
	Cr(VI) / کروم	ppb	۱.۴۶	۱.۳۹	۱.۲۲	۱.۴۹	۸	CCME, ۱۹۹۷
	Co / کبالت	ppb	۰.۰۳	۰.۱۸	۰.۱۲	۰.۰۹	۵۰	CCME, ۱۹۸۷
	Pb / سرب	ppb	۱۴.۳۳	۱۳.۷۳	۱۲.۶۵	۱۲.۳۱	۲۰۰	CCME, ۱۹۸۷
	Se / سلنیم	ppb	< ۰.۳	< ۰.۳	< ۰.۳	< ۰.۳	۲۰	S. African, ۱۹۹۶
	V / وانادیم	ppb	۴.۹۷	۴.۳۶	۶.۴۸	۴.۵۱	۱۰۰	CCME, ۱۹۸۷

محاسبه‌ی شاخص کیفی آب رودخانه و توابع وابسته به آن بر اساس مدل CCME-WQI

با توجه به نتایج پارامترهای کیفی و حدود هدفگذاری تعریف شده برای هر کدام از پارامترها نسبت به محاسبه‌ی فاکتورهای ذکر شده در روابط ۱ لغایت ۷ اقدام و در نهایت ارزش و کلاس کیفی آب رودخانه با استفاده از مدل شاخص- محور CCME-WQI به تفکیک ایستگاه‌های مطالعاتی و دوره‌های پرآبی و کم‌آبی تعیین گردیده است. خروجی محاسبات مورد اشاره در جدول ٤ ارائه شده است.

جدول ٤. نتایج محاسبات مربوط به تعیین کلاس کیفی آب رودخانه و میزان اقدام مدیریتی بهبود(BMP) پیشنهادی

دوره‌ی نمونه‌برداری	ایستگاه‌ها	F1	F2	nse	F3	WQI	Category	*BMP required (%)	
								Good	Excellent
دوره‌ی پرآبی	S1	۱۳.۳	۱۳.۳	۰.۲۸۸	۲۲.۳۸	۸۳.۱۱	Good/ Fair	یک درصد	۱۵ درصد
	S2	۱۳.۳	۱۳.۳	۰.۱۴۳	۱۲.۴۸	۸۶.۹۴	Good		۱۰ درصد
	S3	۱۳.۳	۱۳.۳	۰.۱۵۶	۱۳.۵۲	۸۶.۶۰	Good		۱۱ درصد
	S4	۱۶.۷	۱۶.۷	۰.۲۹۴	۲۲.۷۲	۸۱.۱۰	Good/ Fair	چهار درصد	۱۸ درصد
	Overall	۱۶.۷	۱۴.۲	۰.۲۲۰	۱۸.۰۵	۸۳.۶۲	Good/ Fair	یک درصد	۱۵ درصد
دوره‌ی کم‌آبی	S1	۱۰.۰	۱۰.۰	۰.۲۷۶	۲۱.۶۵	۸۵.۰۷	Good		۱۳ درصد
	S2	۶.۷	۶.۷	۰.۱۷۳	۱۴.۷۵	۸۹.۸۹	Good		۷ درصد
	S3	۱۰.۰	۱۰.۰	۰.۲۰۴	۱۶.۹۳	۸۷.۲۶	Good		۱۰ درصد
	S4	۱۳.۳	۱۳.۳	۰.۲۳۹	۱۹.۲۹	۸۴.۴۳	Good		۱۳ درصد
	Overall	۱۳.۳	۱۰.۰	۰.۲۲۳	۱۸.۲۴	۸۵.۷۴	Good		۱۲ درصد

* روش پیشنهادی محقق اصلی (عشایری ع.)

مقایسه و ارزیابی شاخص کیفیت آب رودخانه در محدوده‌ی مورد مطالعه

با توجه به نتایج جدول ٤، دامنه‌ی شاخص عددی کیفیت آب رودخانه‌ی دره‌رود به تفکیک ایستگاه‌های نمونه‌برداری چهارگانه و درکل سامانهٔ مطالعاتی در دوره‌ی پرآبی بین امتیازهای ۸۱/۱۰ تا ۸٦/۹٤ و در دوره‌ی کم‌آبی در گستره‌ی عددی بین ۸٤/٤۳ تا ۸۹/۸۹ واقع و در هر دو دوره از روند مقابل $S_2\rangle S_3\rangle Overall\rangle S_1\rangle S_4$ پیروی می‌کند. در این راستا، مقایسه‌ی شاخص‌های کیفی کلی(Overall) نیز از شرایط $Overall_{Lf}\rangle Overall_{Hf}$ برخوردار می‌باشد.

ارزیابی و اطلاع از کیفیت آب پهنه‌های آبی، یکی از مهمترین گام‌های مدیریت بهینه‌ی منابع آب همسو با موازین توسعه‌ی پایدار می‌باشد. در این راستا همانطوری‌که خروجی‌های آزمایش‌ها و محاسبات مدل نشان می‌دهند، شرایط کیفی آب رودخانه‌ی دره‌رود از منظر مصارف آبیاری، در دوره‌های کم‌آبی و پرآبی به ترتیب در کلاس خوب و خوب نزدیک به متوسط واقع می‌باشد. در حالیکه در مطالعه‌ی دیگر انجام شده توسط محققین این مقاله، کیفیت آب این رودخانه برای حفاظت آبزیان و اکوسیستم آبی در کلاس مرزی یا کم تا متوسط تشخیص داده شده است. این موضوع بیانگر این است که نتایج ارزیابی مربوط به این مدل، سخت‌گیرانه‌تر از سایر مدل‌ها می‌باشد. بطوریکه بر اساس برخی شاخص‌ها و دیاگرام‌های ارزیابی کیفی پارامتریک مانند توصیه‌های FAO، دیاگرام ویلکاکس، کلاسه‌بندی شاخص NSF-WQI و ... کلاس کیفی آب رودخانه‌ی دره‌رود در سطح عالی واقع می‌شود در صورتیکه بر اساس این مدل در سطح خوب متمایل به متوسط قرار می‌گیرد. همچنین اکثر مدل‌های ارزیابی کیفی منابع آب به‌خصوص در ارتباط با کاربری آبیاری و کشاورزی پارامترهای محدودی را بطور عمده از منظر کیفیت آب برای بهبود میزان محصولات کشاورزی و محدودیت‌های زراعی آن و اثری که بر ادوات و تجهیزات می‌گذارند، در ساختار خود ملحوظ می‌دارند در حالیکه در شرایط کنونی ضرورت لحاظ داشتن رویکرد پایدار- مدار حفاظتی به ویژه از دیدگاه بهداشت محیط و سلامت انسانی و چرخه‌ی وابسته به آن، اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. به همین خاطر است که از سال ۲۰۰۸ برنامه‌ی زیست‌محیطی سازمان ملل (UNEP)، بهره‌گیری از مدل CCME-WQI را برای ارزیابی کیفی منابع آب برای کاربری‌های مختلف به عنوان مدلی جهان- شمول، جامع و آزمون‌شده معرفی نموده است و حتی از این مدل به عنوان شاخصی برای ارزیابی موفقیت استراتژی‌های مدیریت کیفی منابع آب و ابزاری برای مدیریت بهینه‌ی کیفیت منابع آب در سطح برنامه‌های حوزه های آبریز نام برده است.

نتیجه‌گیری

بطورکلی اقدامات مدیریتی لازم جهت حصول بهبود و ارتقای سطح کیفی به کلاس بالاتر، حداقل دامنه‌ای از ۷ تا ۱۸ درصد را مشمول می‌گردد(جدول ٤). بدین ترتیب، بکارگیری اقدامات مدیریتی بهبود(BMP) و راهکارهای وابسته به آن می‌تواند به عنوان یکی از فاکتورهای موثر در بهینه‌سازی وضعیت کیفی منبع آب در نظر گرفته شود. در این زمینه، توجه خاص به پتانسیل بار آلودگی منابع وارده بر سامانه‌ی پذیرنده و ارزیابی توان تحمل‌پذیری زیست‌محیطی با لحاظ کردن رویکرد تلفیقی اکوژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، بیولوژیکی، هیدرولیکی و فیزیکو- شیمیایی در قالب دیدگاه P3R (مشتمل بر حفاظت(Protection)، پیش‌بینی(Prediction)، پیش‌گیری(Prevention) و ترمیم(Repair)) برای حفظ سلامت، ارزش زیستگاهی و شرایط زنده‌مانی رودخانه نیز موردتوصیه می‌باشد. پژوهشگران سعی دارند تا در آینده بر پایه‌ی یافته‌های خود، مدلی را شبیه شاخص CCME-WQI که قابلیت انعطاف‌پذیری داشته و محدودیت ورود پارامترهای زیاد را نداشته باشد، ضمن ملحوظ داشتن

توابع آن، از طریق روش دلفی(Delphi technique) با ارزشگذاری ماهوی پارامترها برای مقاصد مختلف، تعریف و ارائه نمایند. در نهایت، نتایج حاصل از این تحقیق با توجه به قابلیت‌های مدل بکار گرفته شده به عنوان یک ابزار تشخیصی تصمیم‌ساز، می‌تواند سیاستگزاران، مدیران، متولیان و سایر ذینفعان منابع آب منطقه را در جهت برنامه‌ریزی و تمهید بهترین اقدامات برای حفظ و بهبود شرایط کیفی آب رودخانه برای کاربری‌های هدفگذاری شده و توسعه‌ی استراتژی‌های موثر آتی و پایدار- مدار، پشتیبانی نماید.

فهرست منابع

ابراهیم‌نژاد، م. ۱۳۸٤. اکولوژی رودخانه، انتشارات دانشگاه اصفهان، ٦۹۵ صفحه.

خوشدوز ماسوله، ن.، بابازاده ، ح. و طباطبایی، س.ح. و نادری، م. ۱۳۹۲. توسعه مدل دراستیک اصلاح شده برای تعیین آسیب‌پذیری آبخوان‌های ساحلی. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۳ (۱): ۱۹-۳۱.

شرکت مهندسی مشاور مهاب‌قدس، شرکت آب منطقه‌ای اردبیل. ۱۳۹۰. گزارش مطالعات ساماندهی رودخانه‌ی دره‌رود، فصل‌های هواشناسی و هیدرولوژی، ۲۱۲ صفحه.

مقیمی، ا. ۱۳۸۸. اکوژئومورفولوژی و حقوق رودخانه، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۹٦ صفحه.

مجنونیان، ه. ۱۳۷۸. حفاظت رودخانه‌ها. انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست ایران، ۱۲۱ صفحه.

Brown, R.M., McLelland, N.J., Deininger, RA. and Tozer, R.G. 1970. A Water Quality Index Do We Dare?, Supported by the National Sanitation Foundation (NSF) of United States, Water & Sewage Works Oct.:339-343.

Davies-Colley, R.; Schmidt, J 2012. Developing a composite index to describe river condition in New Zealand. NIWA client report HAM2012-131 for Ministry for the Environment.

Foreman, Katherine Lynn. 2005. The Development of a Water Quality Index for the State of Iowa, University of Iowa.

Graig Cox, Andrew Hug. 2012. Murky waters: Farm pollution stalls cleanup of Iowa streams, Environmental working group.

Cude,C.G. 2001. Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness. Journal of the American Water Resources Assessment, 37(1): 125 – 137.

Department of Environment (DOE) Malaysia, 2007. Malaysia Environmental Quality Report, In: Chapter 3, River Water Quality, Sasyaz Holdings Sdn Bhd, pp. 24.

Department of Environment Malaysia, 1985. "Development of Water Quality Criteria and Standards for Malaysia", technical report.

CCME 2001. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, Technical Report, Canadian Council of Ministers of the Environment Winnipeg MB, Canada. Available at: http: // www. ccme ca/source to tap/ wqi . html

APHA. 2005. Standard methods for the examination of water and waste water, 21st edition, American Public Health Association, Washington, DC., USA. http://www.eanet.asia/product/qaqc/qaqcinland.pdf

Mitchell, P. 2006, Guidelines for Quality Assurance and Quality Control in Surface Water Quality Programs in Alberta.

Schallenberg, M.; Kelly, D.; Clapcott, J.; Death, R.; MacNeil, C.; Young, R.; Sorrell, B.; Scarsbrook, M. 2011. "Approaches to assessing ecological integrity of New Zealand freshwaters", Science for Conservation 307, 84p. Available at: http://environment.gov.ab.ca/info/library/7739.pdf

US-EPA (Region 9), 2005. Quality Assurance Project Plan for Monitoring of Surface Water, Rev-1, (Prepared by: Eagle Valley Environmental Program). Available at: http://www.epa.gov/region9/qa/pdfs/module3.pdf

ISSN 2251-7480

Assessing Darreh-rood river water quality for irrigation using sustainable conservation approach and CCME-WQI model

Azim Ashayeri [1*], Abdolreza Karbasi [2] and Akbar Baghvand [3]

1*) Graduate Student in Civil and Environmental Engineering, University of Tehran, Iran
Corresponding author email: ashayeri_a@ut.ac.ir
2) Associate Professor, Graduate faculty of environment, University of Tehran, Tehran, Iran
3) Associate Professor, Graduate faculty of environment, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 18-11-2013 Accepted: 22-09-2014

Abstract

Water quality management is a key element for maintenance of sustainable irrigation systems. Index-based appraisal of water quality can be used to demonstrate progress towards the targets, by plotting trends in the temporal and spatial variations of water quality. This study aimed to evaluate the water quality of Darreh-rood river located in Moghan region (NW-Iran) for irrigation purpose, using CCME-WQI model. Consequently, four sampling points were selected to collect the river-water samples on a half-yearly frequency sampling related to low and high flow basis (2 times a year). Water samples were analyzed for 30 parameters including basic physicochemical, nutrients, biological and heavy metals. Afterwards, levels targeted by researchers along with measured parameters, were included in the model. Three factors including F1 (scope), F2 (frequency) and F3 (amplitude) were determined and normalized. Results showed that the suitability of river water quality for irrigation purpose is in class B (categories: Good and Good/Fair), during low-flow and high-flow periods, respectively. In conclusion, the consequences of this model as a diagnostic tool, necessitates to be considered the best management practices (about 7 to 18 percent BMPs) for conserving and improving the river-water quality and to develop future sustainable mitigation plans.

Keywords: BMPs; CCME-WQI; index-based model; irrigation water quality