مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره شش، شهریورماه ۱۴۰۳ (۱۳۶-۱۲۳)

مقایسه روش تاگوچی و رگرسیون چند متغیره در تعیین فاکتورهای موثر در شاخص‌های کیفی آب (WQIs) (مطالعه موردی: خروجی سد تنظیمی کرج)

علی دهنوی [۱*]

a.dehnavi@eng.ui.ac.ir

نجمه دهنوی [۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۱۸ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۲**

چکیده

زمینه و هدف: اندیس‌های کیفیت آب، از جمله ابزار مورد استفاده در بررسی کیفیت منابع آب‌های سطحی هستند. محققین مختلفی تلاش کرده‌اند که این اندیس‌ها را با فاکتورهای کمتری ارائه دهند تا با کاهش هزینه پایش، در کشورهای در حال توسعه و کمتر توسعه یافته، قابل استفاده باشند. تحقیق حاضر با هدف مقایسه نتایج دو روش تاگوچی و رگرسیون چند متغیره در کاهش فاکتورهای شاخص کیفی آب NSF-WQI (National Sanitation Foundation Water Quality Index) صورت گرفت.

روش بررسی: در این تحقیق از نتایج کیفی آب سد تنظیمی کرج به عنوان مطالعه موردی و نشان دادن قابلیت روش تاگوچی در قیاس با رگرسیون‌های چند متغیره مختلف استفاده شده است. برای این منظور از اندیس کیفی آب NSF-WQI با ۹ فاکتور استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج روش تاگوچی در سطح اطمینان ۹۵ درصد و با فاکتور درصد تاثیر حداقل ۱/۵ درصد برای محدوده مورد مطالعه نشان داد که در فصول مختلف سال مورد بررسی، حداقل ۳ (شامل اکسیژن محلول، کل فسفر و فکال کالیفرم) و حداکثر ۴ فاکتور (شامل اکسیژن محلول، کل فسفر، فکال کالیفرم و کدورت) در تعیین اندیس کیفی NSF-WQI موثر بوده‌اند. این بررسی با رگرسیون خطی چند متغیره نیز همین نتیجه را در بر داشت. بررسی با درصد تاثیر ۵ درصد نیز نشان داد که حداقل ۲ و حداکثر ۳ فاکتور در تعیین اندیس کیفی مورد نظر موثر بوده است و در این حالت، ضریب همبستگی مدل‌های رگرسیونی بیشتر از ۰/۹۶ بوده است.

بحث و نتیجه‌گیری: علاوه بر کاربرد روش‌های مرسوم رگرسیون چند متغیره در کاهش فاکتورهای WQIs، از روش تاگوچی نیز می‌توان برای تعیین فاکتورهای موثر و نیز سهم هر فاکتور در نتیجه نهایی کیفیت آب بهره برد. در بررسی حاضر، ارقام ۱/۵ و ۵ درصد به عنوان حداقل و حداکثر حدود تصمیم‌گیری برای درصد تاثیر به عنوان یکی از خروجی‌های آماری روش تاگوچی پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: کاهش هزینه پایش، روش تاگوچی، شاخص کیفی آب، کاهش فاکتورهای موثر درWQIs.

۱- استادیار مهندسی محیط زیست، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 26, No. 6, September, 2024

Comparison of Taguchi Method and Multivariate Regression in Determining Factors Affecting Water Quality Indicators (WQIs)
(Case study: Karaj Regulatory Dam Outlet)

Ali Dehnavi [1*]
a.dehnavi@eng.ui.ac.ir
Najme Dehnavi [2]

Admission Date: June 22, 2024 Date Received: May 7, 2024

Abstract

Background and Objective: Water quality indicators are among the tools which is used to evaluate the quality of surface water resources. Many researchers have tried to provide these indicators with fewer factors to reduce their monitoring costs for useing in underdeveloped countries. The purpose of this study was to compare the results of Taguchi method and multivariate regression in reducing the factors of NSF-WQI (National Sanitation Foundation Water Quality Index).

Material and Methodology: In this research, the water quality results of Karaj regulatory dam have been used as a case study to show the capability of Taguchi method in comparison with different linear multivariate regression. For this purpose, the NSF-WQI water quality index was used by 9 factors.

Findings: The results of Taguchi method at 95% confidence level and with a minimum percentage influence (PI) of 1.5% at case study area, showed that in the different seasons between 3 (Dissolved Oxygen, Total Phosphorus and Fecal Coliform) and 4 (Dissolved Oxygen, Total Phosphorus, Fecal Coliform and Tourbidity) factors were effective in determining the NSF-WQI. The same results were obtained with multivariate linear regression. The using of 5% for PI showed that at least 2 and maximum 3 factors were effective in the water quality index determinating. In this case, the regression correlation of models was more than 0.96.

Discussion and Conclusion: In addition to using multivariate regression to reduce the WQIs factors, Taguchi method can also be used to determine the effective WQI factors and the contribution of each to the final result of water quality. In this study, 1.5% and 5% PI were suggested as the minimum and maximum decision-making limits as one of the statistical outputs of the Taguchi method.

Key words: Reducing monitoring costs, Taguchi method**,** Water quality index, WQIs factors reduction.

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Civil and Transportation Faculty, University of Isfahan, Isfahan 81746-73441, Iran. *(*Corresponding Author*)
2- Master's student in water resources engineering and management, Civil Engineering Faculty, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

مقدمه

شاخص کیفی آب[1](WQI) با یک عدد و با لحاظ نمودن اثر پارامترهای کیفی مختلف آب، سطح کیفی آن را نشان می‌دهد (۱ و ۲). در استفاده از شاخص کیفی آب، اندیس‌های مختلفی توسط سازمان‌های مرتبط با این حوزه معرفی شده‌اند که برای مثال می‌توان به شاخص‌های کیفی آب شامل OWQI[2]، CCMEWQI[3]، BCWQI[4]، NSF-WQI[5] و FWQI[6] اشاره نمود (۳، ۴، ۵ و ۶). بیشتر این شاخص‌ها بر مبنای تعداد زیادی از فاکتورهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب تعیین می‌شوند (۵). در این بین یکی از مهمترین آن‌ها، اندیس کیفی آب ارائه شده توسط بنیاد ملی بهداشت آمریکا (NSF-WQI) است که برای بررسی کیفی آب‌های سطحی به طور وسیعی استفاده می‌شود (۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱). در این شاخص و برای تعیین کیفیت آب، از ۹ پارامتر کیفی استفاده می‌شود (۱، ۸ و ۱۳). در صورتی‌که این شاخص کمتر از ۲۵ باشد نشان دهنده آب با کیفیت خیلی بد و در صورتی‌که در محدوده‌های ۲۵ تا ۵۰، ۵۰ تا ۷۰، ۷۰ تا ۹۰ و ۹۰ تا ۱۰۰ باشد، به ترتیب نشان‌دهنده‌ی کیفیت بد، متوسط، خوب و عالی است (۱، ۷ و ۱۰).

در اکثر روش‌های مورد نظر، از فاکتورهای نسبتا زیادی برای تعیین کیفیت آب استفاده می‌شود که علاوه بر زمان مورد نیاز برای نمونه‌برداری و آزمایش، به هزینه‌ی زیادی نیز نیاز دارند. به همین دلیل، محققین مختلفی تلاش کرده‌اند که شاخص کیفیت آب را با فاکتورهای کمتری ارائه دهند تا در کشورهای در حال توسعه و کمتر توسعه یافته قابل استفاده باشد. برای مثال ساید و همکارانش در سال ۲۰۰۴ رابطه‌ای را با هدف کاهش تعداد فاکتورهای موثر در محاسبه کیفیت آب با پنج فاکتور شامل اکسیژن محلول، کل فسفر، کدورت، کالیفرم مدفوعی و هدایت الکتریکی ویژه ارائه نمودند که در قیاس با NSF-WQI، دارای ۴ فاکتور موثر کمتر است (۱۲). علاوه براین، کانل[7] و همکارانش در سال ۲۰۰۷ شاخص حداقل کیفی آب (WQI_{min})[8] را با پنج فاکتور و نیز شاخص کیفی مبتنی بر اکسیژن محلول (WQI_{DO})[9] را با یک فاکتور موثر معرفی کردند (۱۴). لومب و[10] همکارانش نیز در سال ۲۰۱۱، شاخص کیفی حداقل (WQI_{min}) را با ۴ فاکتور شامل آمونیوم، کل نیتروژن آلی، فسفر غیر آلی محلول و کل فسفر، محاسبه کردند (۲). کاسر[11] و سوگیلی نیز در طی تحقیقات خود در سال ۲۰۱۴، نشان دادند که شاخص کیفی حداقل (WQI_{min}) با دو فاکتور موثر شامل آمونیوم و کل نیتروژن آلی، می‌تواند ابزار مناسبی در ارزیابی کیفی منابع آب در محدوده‌ی خروجی مزرعه‌های پرورش ماهی باشد (۱۵). همچنین دهنوی و طاهری در تحقیقات خود که نتایجش در سال ۲۰۱۷ منتشر گردید، نشان دادند که در محاسبه شاخص کیفی آب در فصول مختلف، می‌توان تعداد فاکتورهای مورد آزمایش را کاهش داد و در عوض از نتایج آزمایشات قبلی نیز در محاسبه شاخص کیفی آب استفاده نمود (۱۶).

برای کاهش تعداد فاکتورهای تاثیرگذار در شاخص کیفی آب معمولا از آنالیز واریانس چند متغیره[12] و رگرسیون چند متغیره[13] استفاده می شود. ا ستفاده از تحلیل آماری چند متغیره برای تشخیص پارامترهای مهم در ارزیابی شاخص‌های کیفی آب در سال‌های اخیر توسعه یافته است (۲). با استفاده از روش‌های تحلیل اماری چند متغیره، می‌توان با جایگزین کردن فاکتورهای کمتر (فاکتورهای اصلی) به جای تعداد زیادی فاکتور، تغییرات در کیفیت آب را سریعتر و با هزینه کمتر، پیش بینی نمود (۱۷). در تحقیقی که توسط کازی[14] و همکارانش در سال ۲۰۰۹ انجام شد، از تکنیک آنالیز آماری چند متغیره برای

1- Water quality index
2- Oregon Water Quality Index (OWQI)
3- Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCMEWQI)
4- British Columbia Water Quality Index (BCWQI)
5- National Sanitary Foundation Water Quality Index (NSF-WQI)
6- Florida Stream Water Quality Index
7- Kannel et al.
8- minimum WQI
9- WQI base on DO
10- Lumb et al.
11- Koçer and Sevgili
12- Multivariate analysis of variance (MANOVA)
13- Multivariate regression
14- Kazi et al.

ارزیابی تغییرات کیفیت آب در دریاچه منچر[1] استفاده شد (۱۸). بدلیانس و همکارانش در سال ۲۰۱۲ و با بررسی کیفیت آب رودخانه‌های جاجرود و کرج و نیز به کارگیری آنالیز چند متغیره، نشان دادند که دما و فسفر اثر چندانی بر روی شاخص NSF-WQI نداشته و در عوض FC (کالیفرم مدفوعی))، بیشترین تاثیر را بر روی این شاخص داشته است (۱). کاویاراسان[2] و همکارانش در سال ۲۰۱۵ از آنالیز چند متغیره برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی چند منطقه در هند استفاده کردند (۱۹). محمد[3] و همکارانش نیز در سال ۲۰۱۵ با استفاده از روش آنالیز چند متغیره در ارزیابی پارامترهای کیفی آب دریاچه رودخانه کالنگ[4] مالزی، ۷ فاکتور مورد ارزیابی را به ۳ فاکتور اصلی تقلیل دادند (۱۷). هاکی‌یو[5] و همکارانش نیز با استفاده از آنالیز چند متغیره و رگرسیون نشان دادند که به جای ۱۲ فاکتور مورد استفاده در تعیین کیفیت آب رودخانه‌ی مورد بررسی آن‌ها، فقط بین ۴ تا ۱۰ فاکتور در ایستگاه‌های مختلف، دارای اهمیت بوده است (۲۰). نظیر[6] و همکارانش در سال ۲۰۱۶ از تکنیک آنالیز چند متغیره برای شناسایی فاکتورهایی که باعث تغییرات زیاد در کیفیت آب می‌شوند استفاده کردند (۲۱). آن ها با این تکنیک در یافتند که آلاینده‌های آلی، زه‌آب‌های کشاورزی و استفاده از زمین‌های شهری، سه گروه اصلی آلودگی آب در مناطق مورد بررسی بوده که سهمی بالغ بر ۸۳/۳ در صد، در تغییرات کیفیت آب داشته اند(۲۱). ژینگ لوی و همکارانش[7] در سال ۲۰۲۲ طی یک تحقیق بر روی کیفیت آب سه رودخانه سلانگور[8]، لنگات[9] و کلانگ[10] مالزی، از آمار دراز مدت ۱۰ ساله شاخص‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی در مطالعه خود استفاده نمودند. آن‌ها از روش‌های مختلف آماری و از جمله تحلیل مولفه‌های اصلی[11]، تحلیل عاملی[12] و تحلیل روندی من-کندال[13] برای بررسی فاکتورهای مهم و موثر بر کیفیت آب استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که از بین فاکتورهای مختلف مورد بررسی، آمونیوم، نیترات، جامدات معلق و جامدات محلول از مهمترین فاکتورهای موثر بر کیفیت آب محدوده مورد مطالعه بوده است (۲۲). اکثر اندیس‌های کیفی آب با ۹ پارامتر یا بیشتر محاسبه می‌شوند و این در حالی است که پارامترهای DO[14]، BOD[15]، pH[16]، TDS[17] و FC[18] بیشتر معمول بوده و از اهمیت بیشتری برخوردارند (۲).

علاوه بر روش‌های آنالیز آماری چند متغیره، دهنوی و طاهری در سال ۲۰۱۷ از روش طراحی آزمایش تاگوچی و آنالیز آماری آن برای تعیین فاکتورهای تاثیرگذار در شاخص کیفی NSF-WQI استفاده نمودند و نشان دادند که از این روش نیز می‌توان در تعیین فاکتورهای موثر و نیز غیر موثر (دارای تغییر با زمان و بدون تغییر یا با تغییرات کم با زمان) در شاخص کیفی آب استفاده نمود (۱۶). در این رویکرد، از شاخص درصد تاثیر (PI) مبتنی بر کاربرد روش تاگوچی استفاده شده است. بر اساس این روش، فاکتورهایی که دارای PI کمتر از مقدار مشخصی (برای مثال ۵ درصد) باشند، نسبت به دوره‌ی زمانی مورد بررسی، دارای تغییرات چندانی نبوده و عملا فقط به عنوان یک مقدار ثابت در تعیین شاخص کیفی آب دخیل خواهند بود. بر عکس، فاکتورهای با PI بیشتر از مقدار مشخص (برای مثال ۵ درصد)، در طول زمان ثابت نبوده و نقش مهمی را در تغییر شاخص کیفی آب ایفا می‌کنند و به عنوان فاکتورهای مهم از آن‌ها یاد می‌شود (۱۶). قابل ذکر این‌که دهنوی و طاهری مقدار PI مشخص جهت مقایسه را ۵ درصد توصیه و البته متذکر شده‌اند که تعیین آن نیاز به بررسی بیشتر دارد (۱۶). هدف از تحقیق حاضر، اولا نشان دادن قابلیت کاربرد روش تاگوچی در تعیین فاکتورهای مهم شاخص کیفیت آب با رویکردی نوآورانه

1- Manchar Lake
2- Kaviarasan et al.
3- Mohamed et al.
4- Klang River
5- Haque et al.
6- Nazir et al.
7- Xing Loi et al.
8- Selangor River
9- Langat River
10- Klang River
11- Principal component analysis
12- Factor analysis
13- Man-Kendall trend analysis
14- Dissolved Oxygen
15- Biochemical Oxygen Demand
16- Total Dissolved Solids
17- Fecal Coliform
18- percent influence

و ثانیا تعیین مقدار پیشـــنهادی PI با مقایســـه نتایج دو روش تاگوچی و رگر سیون چند متغیره بوده ا ست. برای د ستیابی به این هدف، از نتایج پایش کیفی آب در خروجی ســـد تنظیمی کرج، به عنوان مطالعه موردی برای نشـــان دادن قابلیت روش تاگوچی و قیاس آن با روش‌های رگرسیونی چند متغیره استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

برای قیاس دو روش تاگوچی و رگرسیون چند متغیره در کاهش فاکتورهای موثر بر شاخص کیفی آب، از نتایج کیفی آب در سد تنظیمی کرج که در پائین دست سد اصلی قرار گرفته، استفاده شد (عرض و طول جغرافیایی: N "46.9 '56 °35 و °51 E"15.8 '05). حوزه آبریز سد کرج با بیش از ۵۰۰۰ کیلومتر مربع و میانگین بارندگی سالیانه حدود ۷۰۰ میلیمتر، بخش زیادی از آب مصارف کشاورزی، شهری و صنعتی استان تهران و البرز را تامین می‌نماید (۱ و ۷). در شکل (۱)، تصویر شماتیک محل نمونه برداری و موقعیت آن نسبت به سد و دریاچه سد مورد نظر نشان داده شده است.

نمونه‌برداری و فاکتورهای مورد سنجش

نمونه‌برداری، تثبیت، حمل و نقل، نگهداری و آزمایش نمونه‌ها توسط شرکت آب و فاضلاب استان تهران و منطبق بر روش‌های استاندارد آب و فاضلاب انجام شده است (۲۳). برای محاسبه NSF-WQI، از نتایج خام ۹ فاکتور موثر شامل pH، دما، اکشیژن محلول، اکسیژن خواهی بیولوژیکی، کدورت، کل فسفر، نیترات، کل جامدات و کالیفرم مدفوعی برای چهار فصل سال ۱۳۸۸، استفاده گردید. علت استفاده از نتایج خام سال مورد نظر، کامل بودن نتایج مورد نظر در تمام فصول آن سال برای همه فاکتورها بوده است. در هر فصل سال مورد نظر، حداقل ۲ و حداکثر ۳ نمونه برداری انجام گردیده که نتایج خام آن در اختیار بود. در محاسبه NSF-WQI از محاسبه‌گر سایت مرکز تحقیقات آب استفاده شد (۲۴).

شکل ۱- موقعیت دریاچه، سد کرج و ایستگاه نمونه برداری

Figure 1. Location of lake, Karaj dam and sampling station

چگونگی استفاده از روش تاگوچی

روش تاگوچی که در این تحقیق به نحو مناسبی از آن بهره گرفته شد، یک روش طراحی آزمایش فاکتوریل جزیی و نیز آنالیز آماری است که در زمینه‌های مختلفی از جمله مهندسی محیط زیست و تصفیه آب و فاضلاب به کار رفته است (۲۵، ۲۶ و ۲۷). در این روش به منظور صرفه جویی در وقت و هزینه، با طراحی آزمایش تعداد زیادی از آزمایشات و یا ترکیبات مورد نظر حذف شده و فقط تعدادی از آن‌ها در ترکیبات مختلف و بسته به فاکتورهای مورد بررسی و سطوح آن‌ها، مد نظر قرار می‌گیرند که به همین دلیل جزو روش‌های فاکتوریل جزیی دسته‌بندی می‌شود. در این روش بر اساس تعداد فاکتورها و سطوح آن‌ها و با استفاده از نرم افزار Qualitek-4، یک ماتریس متعامد از ترکیباتی که باید مورد بررسی قرار گیرند، طراحی و استفاده می‌شود. در نهایت نیز با آنالیز آماری سیگنال به نویز[1] و آنالیز واریانس، شاخص‌های آماری مورد نیاز ارائه و نتیجه آزمایشات حذف شده پیش بینی می‌شوند که در تحقیق حاضر نیز از این روش و آنالیزهای آن استفاده شد. در تحقیق حاضر و با توجه به وجود ۹ فاکتور دو سطحی (۹ فاکتور در روش NSF-WQI که هر کدام با دو سطح حداقلی و حداکثری مد نظر قرار گرفت)، یک ماتریس متعامد ۱۲ سطری طراحی و استفاده شد (۲۸).

آماده سازی نتایج

در استفاده از روش تاگوچی برای تعیین PI فاکتورهای مورد بررسی، حداقل و حداکثر مقدار هر فاکتور در یک دوره‌ی زمانی (برای مثال هر فصل یا یک سال) به عنوان حداقل و حداکثر سطح آن فاکتور با توجه به روش توصیه شده توسط دهنوی و طاهری مد نظر قرار گرفت (۱۶). در تحقیق حاضر آماده سازی نتایج بر مبنای ماتریس متعامد ۱۲ سطری انجام شد. این ماتریس برای ۹ فاکتور دو سطحی عمومیت داشته و ارتباطی با نوع فاکتورها و سطوح آن‌ها ندارد. با در نظر گرفتن هر یک از ردیف‌های این ماتریس، NSF-WQI محاسبه و برای دوره‌ی زمانی مورد نظر بر مبنای روش ارائه شده در مرجع (۱۶) آنالیز گردید. علاوه بر این، اطلاعات کیفی آب برای انجام رگرسیون‌های چند متغیره در نرم افزار SPSS[2] آماده سازی شد.

آنالیز نتایج

برای آنالیز نتایج بر اساس روش تاگوچی از نـرم افزار Qualitek-4 استفاده شد و آنالیز نتایج برای چهار فصل سال و نیز کل سال ۱۳۸۸ به صورت جداگانه مد نظر قرار گرفت. علاوه براین، از نرم افزار SPSS نیز برای رگرسیون چند متغیره بهره برده شد و در نهایت نتایج با هم مقایسه گردید.

نتایج و بحث

نتایج شاخص کیفی آب (NSF-WQI) در فصول مختلف سال مورد نظر و کل آن سال بر اساس ترکیبات ۱۲ گانه ماتریس متعامد طراحی شده، در جدول ۱ آورده شده است. این نتایج حاکی است که در سال مورد بررسی، شاخص مورد نظر حداکثر در بهترین شرایط دارای مقدار ۸۳/۹ با کیفیت خوب و حداقل دارای مقدار ۵۹/۸ با کیفیت متوسط باشد. هم‌چنین نتایج آنالیز واریانس شاخص کیفی آب مورد نظر در فصل بهار (به عنوان نمونه) که بر مبنای روش تاگوچی آنالیز شده نیز در جدول ۲ درج شده است. نتایج درج شده در ستون آخر این جدول (درصد تاثیر PI)، بیانگر میزان تاثیر هر یک از فاکتورها در نتیجه شاخص کیفی آب (NSF-WQI) است. بر اساس خصیصه نادیده انگاری روش تاگوچی و در سطح اطمینان ۹۵ درصد، مشخص گردید که تنها ۳ فاکتور شامل DO، TP[3] و FC از مجموع ۹ فاکتور مورد بررسی، در نتیجه نهایی شاخص کیفی آب موثر بوده‌اند. به عبارت دیگر فقط ۳ فاکتور مورد نظر، بین سطوح حداقل و حداکثر مورد بررسی، دارای تغییرات بوده و سایر فاکتورها در فصل مورد نظر و در اندازه‌گیری‌های این فصل، تغییر عمده‌ای نداشته و تقریبا ثابت بوده‌اند. کاهش فاکتورهای موثر در شاخص‌های کیفی آب توسط محققین مختلفی مد نظر بوده است. برای مثال لومب و همکارانش در سال ۲۰۱۱ نشان دادند که شاخص کیفی حداقل (WQI_{min}) با ۴ فاکتور موثر، بسیار برای ارزیابی کیفی منابع آب محیط‌های آبزی پروری مناسب است. علاوه براین، این محققین

1- Signal to Noise (S/N)
2- Statistical Package for the Social Sciences
3- Total phosphorus

استفاده از شاخص کیفی حداقل با دو فاکتور موثر شامل آمونیوم و کل نیتروژن آلی را باعث کاهش هزینه و کاهش زمان در برنامه‌های پایش کیفی منابع آب دانسته‌اند (۲). تحقیق بدلیانس و همکارانش در سال ۲۰۱۲ نشان داد که FC، بیشترین تاثیر را بر روی شاخص NSF-WQI داشته که بسیار با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (۱). در تحقیق حاضر، FC با PI حدود ۵۷ درصد، بیشترین تاثیر را در شاخص کیفی NSF-WQI داشته است. ساید و همکارانش در سال ۲۰۰۴ نشان دادند که اکسیژن محلول، کل فسفر، کدورت، کالیفرم مدفوعی و هدایت الکتریکی ویژه از اهمیت برخوردار بوده‌اند و لذا رابطه‌ایی را با این ۵ فاکتور ارائه نمودند (۱۲). از بین این ۵ فاکتور با اهمیت در تحقیق ساید و همکارانش، اکسیژن محلول، کالیفرم مدفوعی، کل فسفر و در مواردی نیزکدورت، با نتایج تحقیق حاضر در فصول مختلف مشابهت دارد.

با بررسی‌های انجام شده می‌توان گفت که از روش تاگوچی و راهکار ارائه شده در این تحقیق به همراه درصد تاثیر PI برای تعیین فاکتورهای مهم (دارای تغییر با زمان) و غیر مهم (بدون تغییر و یا با تغییرات کم با زمان) می‌توان استفاده نمود. دهنوی و طاهری از همین شاخص برای تمیز دادن فاکتورهای موثر و غیر موثر در شاخص کیفی آب استفاده نمودند و نشان دادند که می‌توان از نتایج قبلی فاکتورهای غیر موثر بدون این‌که لازم باشد در نمونه‌برداری‌های بعدی اندازه‌گیری شوند، استفاده نمود (۱۶). جهت مقایسه نتایج این روش با روش مرسوم رگرسیون چند متغیره، آنالیز نتایج با این روش نیز مد نظر قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۳ برای فصل بهار آورده شده است. برای این منظور از رگرسیون چند متغیره به روش‌های مختلف که در همان جدول درج گردیده، استفاده شد. در جدول ۳ اطلاعات جامعی از نتایج رگرسیون چند متغیره با روش‌های مختلف از جمله مقادیر p-value، فاکتورهای موثر در مدل پیش‌بینی، ضریب همبستگی مدل و غیره آورده شده است.

جدول ۱- نتایج شاخص کیفی آب (NSF-WQI) در فصول مختلف سال ۱۳۸۸

Table 1. Results of NSF-WQI in different seasons of 2009

زمان / ترکیب	فصل بهار	فصل تابستان	فصل پائیز	فصل زمستان	کل سال
۱	۷۵/۶	۸۰/۳	۷۳/۵	۸۳/۹	۸۰/۵
۲	۶۶/۶	۷۳/۷	۷۰/۱	۷۸/۲	۶۳/۲
۳	۷۱/۹	۷۵/۵	۷۰/۶	۷۹	۷۱/۶
۴	۷۴/۲	۷۸/۹	۷۱/۳	۸۲/۲	۷۵/۴
۵	۷۲/۴	۷۹/۱	۷۳/۳	۸۳/۷	۷۹/۸
۶	۶۶/۱	۷۴	۷۲/۲	۷۸/۸	۶۸/۴
۷	۷۶/۲	۷۹/۸	۷۴/۳	۸۳/۱	۸۳/۴
۸	۷۲/۷	۷۸/۴	۷۲/۶	۸۲/۹	۷۹/۰
۹	۶۵/۹	۷۲/۶	۶۸/۴	۷۷/۲	۵۹/۸
۱۰	۷۱/۳	۷۶/۲	۷۲/۵	۷۹	۷۳/۲
۱۱	۷۱/۱	۷۷/۷	۷۳/۳	۸۲/۷	۷۳/۸
۱۲	۷۰	۷۴/۶	۶۸/۷	۷۷/۴	۶۴/۴

جدول۲- نتایج آنالیز واریانس فاکتورهای مختلف شاخص کیفی آب(NSF-WQI) در فصل بهار با روش تاگوچی

Table 2. Results analysis of NSF-WQI factors in the spring with Taguchi method

فاکتور	درجات آزادی	مجموع مربعات	واریانس	نسبت F	مجموع خالص	درصد تاثیر(PI)
pH	۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲۸	۰	۰
T	۱	۱/۲	۱/۲	۳/۳۸	۰/۸۴۵	۰/۶۳
DO	۱	۴/۳۲	۴/۳۲	۱۲/۱۷	۱/۹۶	*۲/۹۵
BOD	۱	۰/۸۵	۰/۸۵	۲/۴۰	۰/۴۹۵	۰/۳۷
Turbidity	۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۱۸	۰	۰
TP	۱	۴۹/۶۲	۴۹/۶۲	۱۳۹/۸۶	۴۹/۲۶	*۳۶/۷۰
NO3	۱	۰/۴۸	۰/۴۸	۱/۳۴	۰/۱۲	۰/۰۹
TS	۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۴۱	۰	۰
FC	۱	۷۷/۰۱	۷۷/۰۱	۲۱۷/۰۸	۷۶/۶۶	*۵۷/۱
سایر/ خطا	۲	۰/۷۱	۰/۷۱	-	-	۲/۱۷

چنانچه از نتایج درج شده در جدول ۳ مشخص است، در مدل هم‌زمان[1] تمام فاکتورها بدون توجه به p-value آن‌ها در مدل وارد شده‌اند و لذا اصولا این روش مورد بحث این مقاله نیست و کارایی مناسبی برای کاهش تعداد فاکتورها ندارد. در مدل‌های پس‌رو[2] گام به گام[3] پیش‌رو[4] هر چند در مواردی p-value برخی از فاکتورهای آن‌ها متفاوت است، اما نتیجه‌ی نهایی هر سه روش و مدل پیشنهادی آن‌ها، یکسان بوده و فاکتورهای موثر درمدل نیز با مقادیر p-value کمتر ۰/۰۵، دقیقا شبیه نتایج روش تاگوچی است و بنابراین نتایج هر یک، قابل استفاده و قابل استناد است و لذا در ادامه از نتایج روش گام به گام استفاده شده است. از مقایسه نتایج دو روش (تاگوچی و رگرسیون گام به گام) مشخص می‌گردد که از بین سه فاکتور موثر بر اساس روش تاگوچی، DO با PI حدود ۳ درصد، p-value بزرگتری نسبت به دو فاکتور موثر دیگر دارد و اصولا در حالت کلی، فاکتورهای با PI کمتر، دارای p-value بزرگتری هستند (جدول ۳). بنابراین در روش تاگوچی، هر چه PI کمتر باشد، نشان می‌دهد که فاکتور مورد نظر p-value بزرگتری دارد و کمتر در نتیجه نهایی موثر بوده است. برای بررسی بیشتر، نتایج PI هر یک از فاکتورها به تفکیک هر یک از فصول سال مورد نظر و نیز کل آن سال، در جدول ۴ نشان داده شده است. در این جدول، نتایج حاصل از خصیصه نادیده‌انگاری فاکتورهای غیرمهم نیز در سطح اطمینان ۹۵ درصد درج شده است. بر اساس این خصوصیت، به جز فصل بهار که تعدادی از فاکتورها قابل نادیده گرفته شدن بوده‌اند، در بقیه‌ی فصول و در کل سال، چنین امکانی وجود نداشته و عملا همه‌ی فاکتورها در سطح اطمینان موردنظر، دارای اهمیت بوده و قابل حذف کردن نبوده‌اند. به همین دلیل، هر دو ستون مربوط به فصول تابستان، پائیز، زمستان و کل سال، دارای ارقامی شبیه به هم هستند. لـــذا برای مقایسه و تعیین PI منـــاسب، نتایج p-value رگرسیون چند متغیره گام به گام برای فصول مختلف و کل سال نیز در جدول ۵ آورده شده است. با مقایسه نتایج دو جدول ۴ و ۵ به تفکیک فصول مختلف، مشخص می‌گردد که فاکتورهای دارای p-value بزرگتر از ۰/۰۵که قابل حذف از مدل بوده‌اند، دارای PI کمتر از ۱/۵ درصد هستند. این فاکتورها هر چند طبق خصیصه نادیده گرفتن در روش تاگوچی، قابل حذف در سطح اطمینان ۹۵ درصد نبوده‌اند، اما p-value بزرگتر از ۰/۰۵ آن‌ها در رگرسیون چند متغیره، حاکی از سهم ناچیز آن‌ها

1- Enter
2- Backward
3- Stepwise
4- Forward

در نتیجه‌ی نهایی شاخص کیفی NSF-WQI بوده است. لذا امکان حذف این فاکتورها با توجه به تاثیر کم آن‌ها برای استفاده در شاخص کیفی مورد نظر، امکان پذیراست. بر عکس، فاکتورهای دارای p-value کمتر از ۰/۰۵، دارای اهمیت بوده و دارای PI بزرگی نیز هستند و لذا حذف آن‌ها امکانپذیر نیست. بنابراین رقم ۱/۵ درصد برای PI به عنوان یک پیشنهاد اولیه می‌تواند مد نظر قرار گیرد. بر این اساس، بین ۲ تا ۴ فاکتور در فصول مختلف و کل سال مورد نظر، دارای اهمیت بوده‌اند که در جدول ۴ مشخص شده‌اند.

جدول۳- نتایج رگرسیون چند متغیره با روش‌های مختلف در آنالیز شاخص کیفی آب (NSF-WQI) در فصل بهار

Table 3. The multivariate regression results by different methods for NSF-WQI in the spring

فاکتور	هم‌زمان			گام به گام و پیش‌رو			پس‌رو		
	p-value	فاکتورهای موثر در مدل	ضرایب مدل	p-value	فاکتورهای موثر در مدل	ضرایب مدل	p-value	فاکتورهای موثر در مدل	ضرایب مدل
pH	۰/۸۶۳	√	۰/۸۳۳	۰/۸۷۱	-	-	۰/۸۶۳	-	-
Change in T	۰/۲۰۳	√	-۰/۱۵۸	۰/۰۸۵	-	-	۰/۰۸۵	-	-
DO	۰/۰۷۲	√	۱/۷۱۴	۰/۰۱۲	√	۱/۷۱۴	۰/۰۱۲	√	۱/۷۱۴
BOD	۰/۲۵۷	√	-۱/۷۷۸	۰/۱۶۲	-	-	۰/۰۸۹	-	-
Turbidity	۰/۹۳۱	√	۰/۰۱۶	۰/۹۳۵	-	-	۰/۹۳۱	-	-
TP	۰/۰۰۷	√	-۳۶/۹۷	۰	√	-۳۶/۹۷	۰	√	-۳۶/۹۷
NO3	۰/۳۶۰	√	-۲/۰۰	۰/۳۱۱	-	-	۰/۱۳۶	-	-
TS	۰/۷۳۳	√	-۰/۰۰۳	۰/۷۴۴	-	-	۰/۶۱۳	-	-
FC	۰/۰۰۴	√	-۰/۰۰۷	۰	√	-۰/۰۰۷	۰	√	-۰/۰۰۷
مدل	۰/۰۲۳	-	۶۶/۵۳	۰	-	۶۰/۹۵	۰	-	۶۰/۹۵
ضریب همبستگی مدل	۰/۹۹۷			۰/۹۸۸			۰/۹۸۸		

جدول۴- نتایج آنالیز واریانس فاکتورهای مختلف شاخص کیفی آب (NSF-WQI) در فصول مختلف و کل سال با روش تاگوچی

Table 4. Analysis of variance results for different NSF-WQI factors in different seasons and the whole year by Taguchi method

فاکتور	بهار		تابستان		پائیز		زمستان		کل سال	
	با تاثیر همه فاکتورها	با تاثیر نادیده انگاری*	با تاثیر همه فاکتورها	با تاثیر نادیده انگاری*	با تاثیر همه فاکتورها	با تاثیر نادیده انگاری*	با تاثیر همه فاکتورها	با تاثیر نادیده انگاری*	با تاثیر همه فاکتورها	با تاثیر نادیده انگاری*
pH	۰	-	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۳۰	۰/۳۰	۱/۳۷	۱/۳۷	۰/۳۸	۰/۳۸
Change in T	۰/۶۳	-	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۸
DO	۲/۹۵	۳/۰۴**	۲/۹۶	۲/۹۶**	۲۱/۳۵	۲۱/۳۵**	۲/۶۸	۲/۶۸**	۱۹/۷۳	۱۹/۷۳**
BOD	۰/۳۷	-	۱/۵۸	۱/۵۸**	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۷۹	۰/۷۹
Turbidity	۰	-	۰/۷۵	۰/۷۵	۲۴/۸	۲۴/۸**	۱/۲۲	۱/۲۲	۲/۱۰	۲/۱۰**
TP	۳۶/۷۰	۳۶/۸**	۱۰/۵۰	۱۰/۵۰**	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۳	۸/۰۷	۸/۰۷**
NO3	۰/۰۹	-	۰/۴۵	۰/۴۵	۱/۲۰	۱/۲۰	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۳۲	۰/۳۲
TS	۰	-	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۱۱
FC	۵۷/۱	۵۷/۲**	۸۳/۲	۸۳/۲**	۵۱/۲۱	۵۱/۲۱**	۹۲/۹۶	۹۲/۹۶**	۶۸/۳۹	۶۸/۳۹**
سایر/ خطا	۲/۱۷	۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۴

* خصیصه نادیده انگاری در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شده و فاکتورهای قابل حذف، نادیده گرفته شده‌اند.

**فاکتورهایی که بر اساس روش رگرسیون چند متغیره گام به گام (جدول ۵)، دارای p-value کمتر از ۰/۰۵ بوده و دارای اهمیت هستند.

جدول۵- نتایج p-value رگرسیون چند متغیره با روش گام به گام در فصول مختلف و کل سال مورد نظر

Table 5. Results of p-value for stepwise multivariate regression method in different seasons and the whole year

فاکتور	بهار	تابستان	پائیز	زمستان	کل سال
pH	۰/۸۷۱	۰/۱۵۳	۰/۲۶۲	۰/۰۹۳	۰/۲۳۸
Change in T	۰/۰۸۵	-	۰/۰۶۵	۰/۸۲۶	۰/۵۹۶
DO	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۰	۰/۰۴۳	۰/۰۰
BOD	۰/۱۶۲	۰/۰۳۹	۰/۵۹۱	۰/۳۴۳	۰/۰۶۰
Turbidity	۰/۹۳۵	۰/۰۷۷	۰/۰۰	۰/۱۱۷	۰/۰۲۲
TP	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۵۹	۰/۶۲۷	۰/۰۰۱
NO3	۰/۳۱۱	۰/۲۰۲	۰/۰۵	۰/۱۷۷	۰/۲۸۰
TS	۰/۷۴۴	۰/۹۰۵	۰/۳۵۹	۰/۵۶۵	۰/۵۳۷
FC	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

از آنجایی که در رگرسیون چند متغیره گام به گام، مدل‌های پیشنهادی با توجه به مقادیر p-value، مرحله به مرحله ارائه و اصلاح می‌شوند، لذا می‌تواند بین مدل‌ها و PI فاکتورها، مقایسه انجام شده و PI مناسب تعیین شود. بر اساس این خصوصیت رگرسیون گام به گام، مدل‌های پیشنهادی با فاکتورهای دارای PI بیشتر از ۵ درصد که توسط دهنوی و طاهری پیشنهاد گردیده بود، در جدول ۶ آورده شده است.

جدول۶- مدل‌های پیش بینی رگرسیون گام به گام بر اساس PI بیشتر از ۵ درصد در فصول مختلف و کل سال مورد نظر

Table 6. Stepwise regression prediction models based on PI more than 5% in different seasons and the whole year

فاکتور	بهار		تابستان		پائیز		زمستان		کل سال	
	فاکتورهای مدل	ضرایب مدل	فاکتورهای مدل	ضرایب مدل	فاکتورهای مدل	ضرایب مدل	فاکتورهای مدل	ضرایب مدل	فاکتورهای مدل	ضرایب مدل
pH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DO	-	-	-	-	√	۲/۱۳	-	-	√	۲/۹۰
BOD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbidity	-	-	-	-	√	-۰/۱۳۶	-	-	-	-
TP	√	-۳۶/۹۷	√	-۲۷/۲۲	-	-	-	-	√	-۳۱/۴۱
NO3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FC	√	-۰/۰۰۷	√	-۰/۰۴۶	√	-۰/۰۰۴	√	-۰/۴۰۱	√	-۰/۱۵
ضریب ثابت مدل	-	۷۷/۱۵	-	۸۰/۵۸	-	۵۷/۳۴	-	۸۳/۴۹	-	۵۵/۷۸
ضریب همبستگی مدل	۰/۹۷۱		۰/۹۶۸		۰/۹۸۷		۰/۹۶۴		۰/۹۸۱	

بر اساس این مدل‌ها و در تمام موارد، ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹۶ بوده و لذا رقم پیشنهادی توسط دهنوی و طاهری نیز یک پیشنهاد مناسب برای کاهش تعداد پارامترهای دخیل در تعیین شاخص کیفی آب است. استفاده از شاخص PI به جای نتایج رگرسیون چند متغیره، علاوه بر این‌که سهم فاکتورهای مورد بررسی را در نتیجه نهایی شاخص کیفی آب نشان می‌دهد، باعث خواهد شد که اولویت‌بندی فاکتورها بر اساس اهمیت آن‌ها بر مبنای PI، به راحتی مشخص شود و این در حالی است که در روش رگرسیون چند متغیره و برای فاکتورهایی که p-value معادل صفر دارند، چنین دسته بندی غیرممکن است. به هر حال در مقاله‌ی حاضر از این دو روش در کنار هم استفاده شد و فاکتورهای با اهمیت کم تعیین گردید. بر اساس تحقیقات لومب و همکاران، کاربرد پارامترهای DO، BOD، pH، TDS و FC بیشتر معمول بوده و از اهیمت بیشتری برخوردار بوده‌اند (۲). بر اساس نتایج تحقیقات حاضر و در ایستگاه مورد نظر، FC، TP، DO و در یک مورد هم Turbidity اهمیت داشته است ولی سهم FC نسبت به سایر فاکتورها قابل توجه‌تر بوده است (جدول ۴). در تحقیقات نونگ و همکارانش[1] که نتایج آن در سال ۲۰۲۰ منتشر گردید، از بین ۲۰ فاکتور مورد بررسی، ۵ فاکتور مهم شامل TP، FC، Hg (جیوه)، دمای آب و DO برای تعیین

1- Nong et al.

شاخص کیفی حداقل آب (WQI_{min})، با اهمیت و موثر تشخیص داده شدند که حداقل ۳ مورد آن با نتایج تحقیقات حاضر در ایستگاه مورد مطالعه در تطابق است (۲۹). بنابراین برای کاهش هزینه‌های نمونه‌برداری و آنالیز، می‌توان از روش تاگوچی و بر مبنای نتایج قبلی فاکتورهای کیفیت آب در ایستگاهای پایش، فاکتورهای با تاثیر کم را از برنامه نمونه‌برداری حذف نمود و از نتایج قبلی آن‌ها در تعیین شاخص کیفی آب استفاده کرد. این موضوع به خوبی توسط دهنوی و طاهری تبین شده است (۱۶).

نتیجه گیری و پیشنهاد

یکی از مهمترین دغدغه‌ها در توسعه شاخص‌های کیفی آب، تعیین فاکتورهای مهم و تاثیرگذار در شاخص‌های مورد نظر با هدف استفاده در کشورهای در حال توسعه و کمتر توسعه یافته است. برای این منظور معمولا از آنالیز واریانس و رگرسیون چند متغیره استفاده می‌شود. علاوه براین، امکان استفاده از روش تاگوچی نیز وجود دارد که هنوز کاربرد چندانی پیدا نکرده است. در تحقیق حاضر، کاربرد روش تاگوچی با استفاده از نتایج کیفی آب سد تنظیمی کرج که در پایین دست سد کرج قرار گرفته، به عنوان مطالعه موردی مد نظر قرار گرفت. هم‌چنین و علاوه بر نشان دادن قابلیت روش تاگوچی، از قیاس نتایج آن با نتایج رگرسیون‌های چند متغیره پیش‌رو، پس‌رو و گام به گام نیز استفاده شد. با بکارگیری روش تاگوچی، رقم ۱/۵ درصد برای درصد تاثیر(PI) به عنوان یک پیشنهاد اولیه تعیین شد که بر این ا ساس، بین ۲ تا ۴ فاکتور در ف صول مختلف و کل سال مورد نظر(سال ۱۳۸۸) به جای ۹ فاکتور مورد بررسی، دارای اهمیت ت شخیص داده شدند. برر سی بی شتر با روش رگر سیون چند متغیره و قیاس نتایج آن با درصد تاثیر روش تاگوچی نشان داد که رقم ۵ در صد نیز به عنوان حد ت صمیم‌گیری حداکثر در روش تاگوچی، می‌تواند نتایج مناسبی در همبستگی با نتایج رگرسیون چند متغیره ایجاد نماید. در این صورت و بر اساس برر سی‌های انجام شده در تحقیق حا ضر، حداقل ۲ و حداکثر ۳ فاکتور در تعیین اندیس کیفی آب (NSF-WQI) موثر بوده و در این حالت، ضریب همب ستگی مدل‌های رگر سیونی نیز بیش از ۰/۹۶ بوده ا ست. بر ا ساس نتایج این تحقیق م شخص گردید که علاوه بر استفاده از روش‌های مرسوم رگرسیونی در تعیین فاکتورهای مهم و موثر در تعیین شاخص‌های کیفی آب، از روش تاگوچی نیز با به کارگیری حدود مناسب تصمیم‌گیری بر مبنای در صد تاثیر، می‌توان بهره برد. در تحقیق حا ضر رقم‌های ۱/۵ و ۵ درصد به ترتیب به عنوان حداقل و حداکثر حدود تصمیم گیری روش تاگوچی پیشنهاد شد و نشان داده شد که ا ستفاده از رقم ۵ درصد، علاوه بر ایجاد کاهش بیشتر تعداد فاکتورها، همچنان ضریب همبستگی بالایی در مدل‌های پیش‌بینی رگرسیونی دارد. پیشنهاد می‌شود که با توجه به جدید بودن روش تاگوچی در کاهش فاکتورهای موثر، تحقیقات بیشتری بر روی این روش در سایر منابع آبی انجام گردد.

References

1. Gholikandi, G.B., Haddadi, S., Dehghanifard, E., Tashayouie, H.R., 2012. Assessment of surface water resources quality in Tehran province, Iran. Desalination and Water Treatment, Vol. 37, pp. 8-20.
2. Lumb, A., Sharma, T., Bibeault, J.F., 2011. A review of genesis and evolution of Water Quality Index (WQI) and some future directions. Water Quality, Exposure and Health, Vol. 3, pp. 11-24.
3. Haldar, D., Halder, S., Das, P., Halder, G., 2016. Assessment of water quality of Damodar River in South Bengal region of India by Canadian Council of Ministers of Environment (CCME) Water Quality Index: a case study. Desalination and Water Treatment, Vol. 57, pp. 3489-502.
4. Hoseinzadeh, E., Khorsandi, H., Wei, C., Alipour, M., 2014. Evaluation of Aydughmush River water quality using the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI), River Pollution Index (RPI), and Forestry Water Quality Index (FWQI).

Desalination and Water Treatment, Vol. 54, pp. 2994-3002.

5. Poonam, T., Tanushree, B., Sukalyan, C., 2013. Water quality indices-important tools for water quality assessment: a review. International Journal of Advances in Chemistry, Vol. 1, pp. 15-28.
6. Shamsaei, A., Zareh, S.O., Sarang, A., 2004. The comparison of water indices and zoning quality in Karoon and Dez rivers. Journal of Water and Wastewater, Vol. 16, pp. 39-48. (In Persian)
7. Dehghanifard, E., Baneshi, M.M., Gholikandi, G.B., Dehnavi, A., Asgari, A.R., Khazaei, M., Yari, A.R., 2012. Application of water quality index for quality zoning. Archives of Hygiene Sciences, Vol. 1, pp. 20-25.
8. Sarkar, C., Abbasi, S.A., 2006. Qualidex-a new software for generating water quality indice. Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 119, pp. 201-231.
9. Shokuhi, R., Hosinzadeh, E., Roshanaei, G., Alipour, M., Hoseinzadeh, S., 2012. Evaluation of Aydughmush dam reservoir water quality by National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-WQI) and water quality parameter changes. Iranian Journal of Health and Environment, Vol. 4, pp. 439-450.
10. Salari, M., Radmanesh, F., Zarei, H., 2013. Quantitative and qualitative assessment of Karoon River water using NSFWQI Index and AHP method. Journal of Human and Environment, Vol. 10, pp. 13-22. (In Persian)
11. Madadinia, M., Monavari, M. Karbassi, A.R., Nabavi, M.B., Rajabzadeh, E., 2014. Study on water quality of Karoun River (Ahvaz region) using water quality index. Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 16, pp. 49-60. (In Persian)
12. Said, A., Stevens, D.K., Sehlke, G., 2004. An innovative index for evaluating water quality in streams. Environmental management, Vol. 34, pp. 406-414.
13. Simões, F.D.S., Moreira ,A.B., Bisinoti, M.C., Gimenez, S.M.N., Yabe, M.J.S., 20018. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. Ecological Indicators, Vol. 8, pp. 476-484.
14. Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y.S., Kanel, S.R., Khan, S.P., 2007. Application of water quality indices and dissolved oxygen as indicators for river water classification and urban impact assessment. Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 132, pp. 93-110.
15. Koçer, M.A.T., Sevgili, H., 2014. Parameters selection for water quality index in the assessment of the environmental impacts of land-based trout farms. Ecological Indicators, Vol. 36, pp. 672-681.
16. Dehnavi, A., Taheri, R., 2017. A new strategy to reduce factors number in water quality measurements using Taguchi method-case study: the Karaj River. Desalination and Water Treatment, Vol. 60, pp. 106-113.
17. Mohamed, I., Othman, F., Ibrahim, A.I., Alaa-Eldin, M., Yunus, R.M., 2015. Assessment of water quality parameters using multivariate analysis for Klang River basin, Malaysia. Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 187(1), pp. 1-12.

18. Kazi, T.G., Arain, M.B., Jamali, M.K., Jalbani, N., Afridi, H.I., Sarfraz R.A., Baig, J.A., Shah, A.Q., 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 72, pp.301-309.
19. Kaviarasan, M., Geetha, P., Soman, K., 2015. Multivariate statistical technique for the assessment of ground water quality in Coonoor Taluk, Nilgiri District, Tamilnadu, India. Indian Journal of Science and Technology, Vol. 8, pp. 2-6.
20. Kuruppu, U., Rahman, A., Haque, M., Kader, F., Sathasivan, A. , Water quality investigation in the Hawkesbury-Nepean River in Sydney using principal component analysis. Proceedings of the 20th International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM2013), 1-6 December 2013, Adelaide, South Australia.
21. Nazir, H.M., Hussain, I., Zafar, M.I., Ali, Z., AbdEl-Salam, N.M., 2016. Classification of drinking water quality index and identification of significant factors. Water Resources Management, Vol. 30, pp. 4233-4246.
22. Loi, J.X., Chua, A.S. M., Rabuni, M.F., Tan, C K., Lai, S.H., Takemura, Y., & Syutsubo, K., 2022. Water quality assessment and pollution threat to safe water supply for three river basins in Malaysia. Science of The Total Environment, Vol. 832.
23. American Public Health Association (APHA), 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21 ed., American Public Health Association, USA.
24. Water Research Center, Monitoring the quality of surface waters: calculating NSF Water Quality Index ,2018. Available in: https://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters.
25. Deghles, A., Kurt, U., 2016. Treatment of raw tannery wastewater by electrocoagulation technique: optimization of effective parameters using Taguchi method. Desalination and Water Treatment, Vol. 57, pp. 14798-14809.
26. Yen, H.Y., Li, J.Y., 2015. Process optimization for Ni (II) removal from wastewater by calcined oyster shell powders using Taguchi method. Journal of Environmental Management, Vol. 161, pp. 344-349.
27. Yang, T.M., Hsu, N.S., Chiu, C.C., Wang, H.J., 2014. Applying the Taguchi method to river water pollution remediation strategy optimization. International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol. 11(4), pp. 4108-4124.
28. Roy, R.K., 2001. Design of experiments using the Taguchi approach, 1st Ed., John Wiley & Sons Inc. ,USA.
29. Nong, X., Shao, D., Zhong, H., & Liang, J. 2020. Evaluation of water quality in the South-to-North Water Diversion Project of China using the water quality index (WQI) method. Water research, Vol. 178.