

# A New Approach to Selecting Optimum Locations of Sampling Stations in Karkheh Dam Reservoir Using CE-QUAL-W2 Model

E. Jabbari<sup>1</sup>, A. Chavoshian<sup>2</sup>, A. Boroumand<sup>3\*</sup>, F. Masoumi<sup>4</sup>

1- Associate Prof., Water Eng. Dept., Faculty of Civil Eng., Iran University of science and Technology

2- Assistant Prof., Water Eng. Dept., Faculty of Civil Eng., Iran University of science and Technology

3- M.Sc. of Water Engineering, Faculty of Civil Eng., Iran University of science and Technology

4- Ph.D Student. of Water Engineering, Faculty of Civil Eng., Iran University of science and Technology

A.broumand@stu.qom.ac.ir

## Abstract

Nowadays, the problems of water quality and quantity in different parts of the world, especially developing countries, have provided a great challenge for these countries. Preservation and optimal usage of water resources are that main aspects of sustainable development in each country. Knowing qualitative and quantitative problems in water resources monitoring systems is one of the most important steps in water resources system management and pollution reduction plan. Recent studies in the field of water quality monitoring network has shown the needs for more researches, despite the abilities and investments in this field. One of the most important problems is the difference between required data and provided data in monitoring networks. So, monitoring systems should be revised and modified in several cases. High monitoring expenses necessitates optimizing monitoring systems to prevent cost loss.

Being aware of network properties is an essential step in evaluating existing quality monitoring network. Locations of sampling stations, time frequencies, qualitative variables specifications and sampling duration should be considered in these evaluations.

Reduce the cost of monitoring networks and maximize the obtained information, is the common objectives of the monitoring networks planning. From a monitoring perspective, identification of the reservoir eutrophication situation is of particular importance. Eutrophication phenomenon affects water quality strongly and causes serious limitations on the water utilization ability. Autotrophic organisms and algae overgrowth increased turbidity, toxic substances, increased sedimentation rate, oxygen concentration in the middle of the day and reduced severely by decreasing sunlight from sunset until next day morning, which causes anaerobic regions creation in deeper areas of the reservoir as the result.

In this study, locations of Karkheh dam reservoir that there was maximum variations in quality indices values using CE-QUAL-W2 model, was identified. PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, chlorophyll A and dissolved oxygen was studied to eutrophication control in reservoir. Because of limited available data from the time frequencies and sampling location point of view, dam reservoir was modeled by CE-QUAL-W2, 2D qualitative model for a period of one year. Using time series developed in previous step in model cells, time variance of studied parameters in the entire model cells was calculated and was used as a measure of its value change during time. Critical path from monitoring point of view was obtained after fitting best curve to cells with maximum time variance for studied qualitative indices. Placement of monitoring stations on this route will get the maximum information about the quality of the monitoring operation. The results showed that the proposed methodology is efficient in determination of critical paths for quality indices from monitoring perspective, in the dam reservoirs. It is recommended that, the model developed in this study, links with optimization models such as genetic algorithm, particle swarm optimization and etc.,. Also, uncertainties related to hydrologic characteristics of the model well-considered in future studies. Furthermore, by using the three-dimensional water hydrodynamics and quality models, critical paths also be found in latitude of the reservoir. Also, the recommended methodology, can be extended for monitoring of the multi-reservoir systems. In addition, to determine the critical path for all quality parameters, multi-criteria decision-making techniques also can be used.

**Keywords:** Water Quality Monitoring, CE-QUAL-W2 model, Eutrophication, Time Variance, Reservoir

# ارائه روشی برای تعیین مسیر بحرانی تغییرات شاخص‌های کیفی در مخزن سد کرخه با استفاده از مدل CE-QUAL-W2

ابراهیم جباری<sup>۱</sup>، سید علی چاوشیان<sup>۲</sup>، امیر برومند<sup>۳\*</sup>، فریبرز معصومی<sup>۴</sup>

۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- کارشناس ارشد مهندسی آب، دانشگاه علم و صنعت ایران

۴- دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشگاه علم و صنعت ایران

A.broumand@stu.qom.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۵/۲۴]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۲/۵]

**چکیده**- مدیریت کمی و کیفی منابع آب به منظور تأمین نیازهای آبی برای کاربری‌های مختلف از رویکردهای مهم سیاست‌گذاری در هر کشور است. در این راستا پایش کیفیت آب مخازن سدها به عنوان یک گام اساسی در مدیریت این منابع با ارزش اهمیت ویژه‌ای دارد. کاهش هزینه‌های عملیات پایش و طراحی شبکه پایش که بیشینه اطلاعات از آن حاصل شود، از اهداف مشترک همه برنامه‌های پایش است. در این پژوهش سعی شده است با استفاده از مدل کیفی CE-QUAL-W2 نقاطی از مخزن سد کرخه که مقادیر شاخص‌های کیفی در طول زمان در آن‌ها تغییرات زیادی را نشان می‌دهد شناسایی شود. برای این منظور، کنترل تغذیه‌گرایی در مخزن سد به عنوان هدف عملیات پایش در نظر گرفته شد و با توجه به اینکه چهار پارامتر اورتوفسفات، نترات، کلروفیل a و اکسیژن محلول تأثیر زیادی در ایجاد بستر مناسب برای رشد ماکروفیت‌ها، جلبک‌ها و انواع علف‌های هرزآبی دارند، این چهار شاخص مورد مطالعه قرار گرفتند. با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص‌های مورد مطالعه در یک دوره چهارده ماهه از اردیبهشت ماه ۱۳۸۴ تا تیرماه ۱۳۸۵ مدل پیش‌بینی کیفیت دوبعدی CE-QUAL-W2 کالیبره و واسنجی شد و با استفاده از سری زمانی شاخص‌های کیفی در سلول‌های مدل، مقادیر واریانس زمانی محاسبه شده و نقاطی که دارای واریانس زمانی بیشینه است به عنوان نقاط بحرانی از نظر پایش کیفیت معرفی شدند. نتایج به دست آمده بیانگر کارایی متدولوژی پیشنهادی در تعیین نقاط بحرانی به منظور پایش کیفی مخازن سدها است.

**واژه‌های کلیدی:** پایش کیفیت آب، مدل کیفی CE-QUAL-W2، تغذیه‌گرایی، واریانس زمانی

## ۱- مقدمه

آبی مورد مطالعه باشند. در زمینه طراحی سیستم‌های پایش، مطالعات متعددی صورت پذیرفته است. مک کینی و لوکس (۱۹۹۲) از روش‌های زمین آماری غیرخطی برای طراحی شبکه پایش منابع آب زیرزمینی استفاده کردند. آنها از واریانس تخمین متغیرهای هد هیدرولیکی و غلظت آلودگی به وسیله کریجینگ، به عنوان معیاری برای صحت پیش‌بینی و میزان عدم قطعیت مدل استفاده کردند. هوداک و لواسیجا (۱۹۹۳) یک روش بهینه‌سازی برای طراحی شبکه پایش در آبخوان‌های لایه‌ای براساس کمینه‌سازی اختلاف مقدار حاصل

با توجه به توسعه روز افزون جوامع بشری، افزایش آلودگی‌های زیست محیطی و مشکلات ناشی از کمبود منابع آب، پایش کیفیت منابع آب موجود به عنوان یک گام اساسی در مدیریت کمی و کیفی این منابع با ارزش، دارای اهمیت ویژه‌ای است. تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب، نیازمند پایش و جمع‌آوری اطلاعات از این منابع می‌باشد. بدیهی است که تصمیمات مدیریتی صحیح زمانی اتخاذ خواهند شد که اطلاعات جمع‌آوری شده دقیق و صحیح بوده و معرف بدنه

از شبیه‌سازی سیستم و مقدار واقعی پارامترهای هیدروژئولوژیک ارائه کردند. اولیا و دیویس (۱۹۹۹) دو کاربرد مهم از کریجینگ در زمینه ارزیابی و بهینه‌سازی شبکه پایش مکانی آب‌های زیرزمینی ارائه دادند. در کاربرد اول، آنها از روش کریجینگ به منظور تخمین مقادیر مجهول در شبکه پایش مکانی استفاده کردند به شکلی که خطای ناشی از تخمین حداقل باشد. در کاربرد دوم نیز ایشان با استفاده از روش کریجینگ مکانی و با نتایج کاربرد اول، ایستگاه‌های جدیدی را برای نمونه‌برداری مکانیابی کردند. تدوسیو و لاتینوپلوس (۲۰۰۶) با استفاده از یک روش مناسب بر پایه کریجینگ، روشی برای طراحی و بهینه‌سازی شبکه پایش منابع آب زیرزمینی ارائه دادند که می‌توان گفت کاملترین روش پیشنهادی در این زمینه بوده است. آنها یک منحنی به نمودار شبه‌واریوگرام برای تخمین تغییرات مکانی هد هیدرولیکی برازش دادند. سپس منحنی‌های هم تراز میانگین مربعات خطاهای تخمین برای کل دشت را رسم نمودند و در ادامه منحنی‌های خطوط همسان مربوط به اختلاف بین مقادیر تخمینی و مقادیر اصلی متغیر مورد پایش را برای کل دشت ترسیم کردند. نواحی که بیشترین میانگین مربعات خطاها را دارند مناطقی است که نیاز به افزایش ایستگاه در آنها محسوس است و بالعکس نواحی که کم‌ترین میانگین مربعات خطاها را دارند مناطقی است که می‌توان تعدادی از ایستگاه‌های آن را بسته به دقت مورد نیاز حذف کرد. این پژوهشگران در حذف ایستگاه‌های مازاد فاکتور انحراف استاندارد تغییرات اطلاعات حاصل از ایستگاههای پایش مورد مطالعه در طول زمان را نیز در نظر گرفتند یعنی ایستگاه‌هایی که انحراف استاندارد زیادی در اطلاعات جمع‌آوری شده در طول زمان داشتند حذف نشدند. پارک و همکاران (۲۰۰۶) از الگوریتم ژنتیک برای طراحی شبکه پایش در سیستم‌های رودخانه‌ای استفاده کردند. در روش پیشنهادی آنها الگوریتم ژنتیک و GIS<sup>۱</sup> به صورت یکپارچه مورد استفاده قرار گرفت. ایشان برای طراحی یک شبکه پایش موثر در سیستم رودخانه-ای، در تابع هدف خود از ترکیب خطی پنج معیار معرف بودن

نمونه‌ها، هماهنگی با استانداردهای کیفیت، نظارت بر مصرف آب، مدیریت منابع آلاینده و آزمایش تغییرات کیفیت آب استفاده کردند. تلسی و همکاران (۲۰۰۹) مدلی به منظور بهینه سازی شبکه پایش کیفیت آب در سیستم رودخانه را ارائه کردند. ایشان محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری را به گونه‌ای تعیین کردند که هنگامی که اعتمادپذیری عملکرد سیستم پایش به میزان بیشینه خود برسد، زمان تشخیص آلاینده، کمینه شود. آنها رودخانه آلتاماها<sup>۲</sup> واقع در گرجستان را مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که روش پیشنهادیشان می‌تواند به صورت موثر در طراحی شبکه پایش رودخانه‌ای به کار برده شود. آواداله (۲۰۱۲) یک متدولوژی بر اساس استفاده متوالی از اصل کریجینگ و آنتروپی پیشنهاد کرد. وی روش کریجینگ را بر اساس داده‌های بارش دیده شده، با استفاده از میانمایی خطی با جانمایی دوباره شبکه باران‌سنجی در سراسر حوضه آبریز برای محاسبه تغییرات مکانی بارش در ایستگاه‌های کاندید باران‌سنجی استفاده کرد و از آنتروپی اطلاعات برای نشان دادن میزان اطلاعات بارش در ایستگاه‌های کاندید استفاده کرد. در ادامه با استفاده از آنتروپی مشترک، ایستگاه‌های کاندید را اولویت بندی کرد. او متدولوژی مطرح شده را در حوضه آبریز مکه مورد استفاده قرار داد و با استفاده از تحلیل گر زمین آماری نرم افزار Arc GIS برای روش کریجینگ و نرم افزار R برای آنتروپی اطلاعات، مکان‌های کاندید را در حوضه تعیین و ایستگاه‌های نهایی را مشخص کرد.

در زمینه پایش کیفیت مخازن سدها، پژوهش‌های اندکی تاکنون انجام گرفته است. شاید دلیل اصلی این کار، نبودن ابزارهای محاسباتی مناسب که بتواند شرایط واقعی مخزن را به شکل مناسب شبیه‌سازی کند باشد. امروزه با توسعه مدل‌های دو بعدی و سه بعدی شبیه‌سازی کیفیت آب مخازن سدها، ارائه رویکردهایی برای طراحی سیستم پایش کیفی مناسب برای مخازن سدها دور از دسترس نیست. در این پژوهش، برای اولین بار از مدل کیفی CE-QUAL-W2 به منظور تعیین نقاط بحرانی پایش کیفیت آب در مخزن سد

از شبیه‌سازی سیستم و مقدار واقعی پارامترهای هیدروژئولوژیک ارائه کردند. اولیا و دیویس (۱۹۹۹) دو کاربرد مهم از کریجینگ در زمینه ارزیابی و بهینه‌سازی شبکه پایش مکانی آب‌های زیرزمینی ارائه دادند. در کاربرد اول، آنها از روش کریجینگ به منظور تخمین مقادیر مجهول در شبکه پایش مکانی استفاده کردند به شکلی که خطای ناشی از تخمین حداقل باشد. در کاربرد دوم نیز ایشان با استفاده از روش کریجینگ مکانی و با نتایج کاربرد اول، ایستگاه‌های جدیدی را برای نمونه‌برداری مکانیابی کردند. تدوسیو و لاتینوپلوس (۲۰۰۶) با استفاده از یک روش مناسب بر پایه کریجینگ، روشی برای طراحی و بهینه‌سازی شبکه پایش منابع آب زیرزمینی ارائه دادند که می‌توان گفت کاملترین روش پیشنهادی در این زمینه بوده است. آنها یک منحنی به نمودار شبه‌واریوگرام برای تخمین تغییرات مکانی هد هیدرولیکی برازش دادند. سپس منحنی‌های هم تراز میانگین مربعات خطاهای تخمین برای کل دشت را رسم نمودند و در ادامه منحنی‌های خطوط همسان مربوط به اختلاف بین مقادیر تخمینی و مقادیر اصلی متغیر مورد پایش را برای کل دشت ترسیم کردند. نواحی که بیشترین میانگین مربعات خطاها را دارند مناطقی است که نیاز به افزایش ایستگاه در آنها محسوس است و بالعکس نواحی که کم‌ترین میانگین مربعات خطاها را دارند مناطقی است که می‌توان تعدادی از ایستگاه‌های آن را بسته به دقت مورد نیاز حذف کرد. این پژوهشگران در حذف ایستگاه‌های مازاد فاکتور انحراف استاندارد تغییرات اطلاعات حاصل از ایستگاههای پایش مورد مطالعه در طول زمان را نیز در نظر گرفتند یعنی ایستگاه‌هایی که انحراف استاندارد زیادی در اطلاعات جمع‌آوری شده در طول زمان داشتند حذف نشدند. پارک و همکاران (۲۰۰۶) از الگوریتم ژنتیک برای طراحی شبکه پایش در سیستم‌های رودخانه‌ای استفاده کردند. در روش پیشنهادی آنها الگوریتم ژنتیک و GIS<sup>۱</sup> به صورت یکپارچه مورد استفاده قرار گرفت. ایشان برای طراحی یک شبکه پایش موثر در سیستم رودخانه-ای، در تابع هدف خود از ترکیب خطی پنج معیار معرف بودن

در این پژوهش، سعی شده است با استفاده از مدل کیفی دو بعدی CE-QUAL-W2، نقاطی از مخزن سد کرخه که مقادیر شاخص های کیفی در طول زمان در آن ها تغییرات زیادی را نشان می دهد شناسایی شود.

برای این منظور، کنترل تغذیه گرایبی در مخزن سد به عنوان هدف عملیات پایش در نظر گرفته شده است و با توجه به اهمیت چهار پارامتر اورتوفسفات<sup>۳</sup>، نیترات<sup>۴</sup>، کلروفیل<sup>۵</sup> و اکسیژن محلول<sup>۶</sup> در کنترل وضعیت تغذیه گرایبی، این چهار شاخص به عنوان شاخص های مورد مطالعه انتخاب شدند. در شکل ۱ گام های الگوریتم پیشنهادی در این پژوهش ارائه شده است.

مدل CE-QUAL-W2 استفاده شده در این پژوهش، مدل کالیبره شده به وسیله سادات پور و افشار است (افشار و سادات پور ۲۰۰۹، افشار و همکاران ۲۰۱۰ و سادات پور و افشار ۱۳۸۸). پس از اجرای مدل، سری زمانی چهار پارامتر کیفی مورد مطالعه در همه سلول های محاسباتی مخزن سد کرخه در مدل استخراج شد و واریانس زمانی غلظت های شاخص های کیفی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

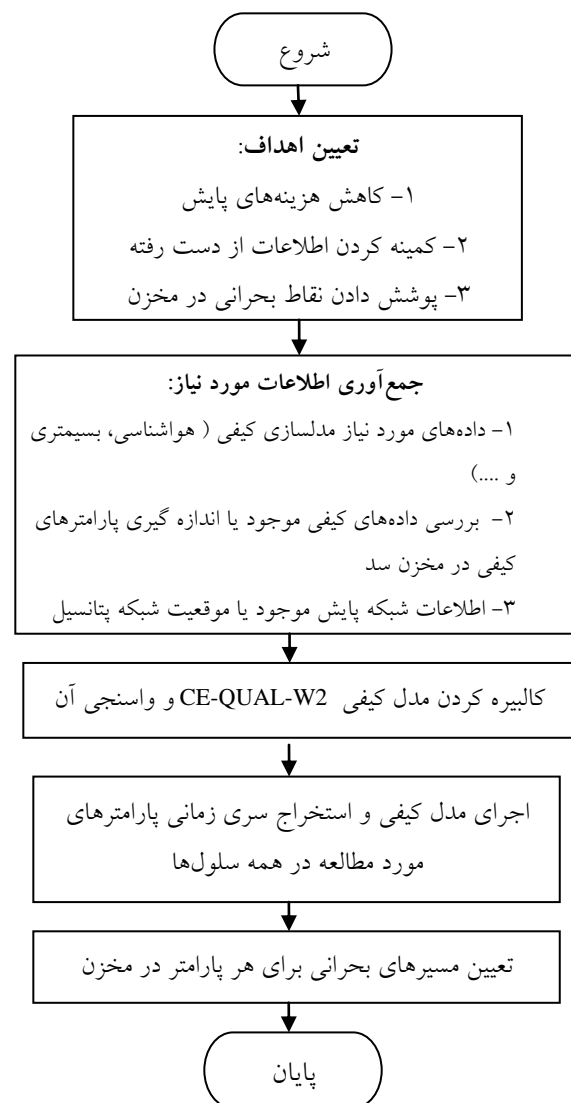
$$S_{n-1}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (1)$$

در رابطه بالا  $S_{n-1}^2$  مقدار واریانس زمانی،  $n$  تعداد داده ها در سری زمانی،  $x_i$  مقدار هر داده و  $\bar{x}$  مقدار میانگین داده ها است. برای به دست آوردن مسیرهای بحرانی از نقطه نظر پایش کیفیت در مخزن، در هر بازه، لایه ای که در آن واریانس زمانی تغییرات پارامترهای کیفی بیشینه است شناسایی شد و بهترین منحنی به عنوان مسیر بحرانی تغییرات شاخص های کیفی - مسیری که بیشترین تغییرات شاخص های کیفی بر روی آن اتفاق می افتد برای نقاط یاد شده برآزش داده شده است. قرارگیری ایستگاه های پایش روی این مسیرها موجب خواهد شد که بیشینه اطلاعات کیفی را از عملیات پایش به دست آوریم.

کرخه استفاده شده و کنترل تغذیه گرایبی در مخزن به عنوان هدف عملیات پایش در نظر گرفته شده است (برومند ۱۳۹۱).

## ۲- روش پژوهش

حفظ و استفاده بهینه از منابع آب از اصول توسعه پایدار هر کشور است. بطور کلی مدیریت تقاضا و تأمین آب برای کاربری های مختلف با در نظر گرفتن محدودیت های کمی و کیفی، شناسایی، کنترل و کاهش آلاینده های آب به منظور ارتقای شاخص های کیفیت منابع آب و حفظ محیط زیست از رویکردهای مدیریت منابع آب محسوب می شود. در این راستا، شناسایی و پایش کیفیت منابع آب از جمله مخازن سدها به عنوان یکی از گام های اصلی مدیریت کیفیت منابع آب، جایگاه ویژه ای دارد.



شکل ۱- روش پژوهش

3  $PO_4$

4  $NO_3$

5 Chlorophyll a

6 Dissolved oxygen

### ۳- مطالعه موردی

در این پژوهش، در مخزن سد کرخه به عنوان سد مورد مطالعه، چهار شاخص اورتوفسفات، نیترات، کلروفیل a و اکسیژن محلول که نقش بیشتری را در کنترل تغذیه‌گرایی در مخزن ایفا می‌کنند به عنوان شاخص‌هایی برای بررسی در نظر گرفته شده است. داده‌های استفاده شده در این پژوهش از چهار ایستگاه موجود در طول دریاچه سد به دست آمده‌اند که در مدل کیفی کالیبره شده در محل بازه‌های ۶۴، ۵۲، ۴۳ و ۳۶ واقع شده‌اند.

### ۴- نتایج

شکل ۳ چگونگی شماره‌گذاری سلول‌های مدل را نشان می‌دهد. در نمودارهای شکل ۴ تا ۷ نیز، تغییرات واریانس زمانی شاخص‌های مطالعه شده، در طول مخزن سد کرخه ارائه شده است. شکل ۴ نشان می‌دهد که غلظت فسفات در قسمت‌های نزدیکتر به بدنه سد، وضعیت پایدار تری در طول زمان نسبت به قسمت‌های نزدیک به محل جریان ورودی به سد دارد. همچنین مشاهده می‌شود که از بازه ۳۱ (حدود ۳۴ کیلومتر بالاتر از بدنه سد) به سمت بالادست، دامنه تغییرات واریانس زمانی، افزایش می‌یابد. این بدان معناست که در این قسمت از دریاچه سد، وضعیت غلظت فسفات در طول زمان در لایه اپیلمنیون<sup>۸</sup> نسبتاً پایدار است ولی در لایه هیپولیمنیون<sup>۹</sup> دارای تغییرات زیادی است و از نقطه نظر پایش در وضعیت بحرانی قرار دارد. همچنین مشاهده می‌شود که در حد فاصل بازه‌های ۴۷ تا ۳۱ (در فاصله ۱۸ تا ۳۴ کیلومتری از بدنه سد به سمت بالادست)، واریانس زمانی کمترین مقادیر را در طول سد دارد و این بدان معناست که در این محدوده از مخزن سد تغییرات در غلظت شاخص کیفی فسفات در حالت پایدارتری قرار دارد. شکل ۵ نشان می‌دهد که غلظت نیترات در نواحی نزدیک به بدنه سد در طول زمان نسبتاً پایدار است و در نواحی منتهی به جریان‌های ورودی دارای تغییرات زیادی در طول زمان است. همچنین مشاهده می‌شود که با توجه به دامنه کم تغییرات در واریانس زمانی از بدنه سد تا بازه ۳۲ (در

سد مخزنی و نیروگاه برق آبی کرخه در فاصله ۲۴ کیلومتری شمال غرب اندیمشک در استان خوزستان (در جنوب غربی ایران) احداث شده است. این سد عظیم در ۴۸ درجه و ۸/۷ دقیقه طول شرقی و نیز ۳۲ درجه و ۶/۲۹ دقیقه شمال در منطقه کرخه واقع شده است. رودخانه کرخه در بالادست محور سد، ۹۰ درجه تغییر جهت می‌دهد و در نتیجه دریاچه سد در سمت راست محور سد واقع شده است (شکل ۲). مشخصات مخزن سد کرخه در جدول شماره (۱) آمده است. از دیدگاه عملیات پایش، شناسایی وضعیت تغذیه‌گرایی مخزن دارای اهمیت ویژه‌ای است. پدیده اوتریفیکاسیون<sup>۷</sup> به شدت بر کیفیت آب اثر می‌گذارد و باعث ایجاد محدودیت‌های جدی در قابلیت کاربری آب می‌شود. رشد بیش از اندازه موجودات اتوتروف و جلبک‌ها باعث افزایش کدورت، تولید مواد سمی، افزایش نرخ رسوب‌گذاری، افزایش غلظت اکسیژن در نیمه‌های روز و کاهش شدید غلظت آن با کاهش میزان نور خورشید از هنگام غروب تا صبح روز بعد می‌شود که در نتیجه، خود باعث ایجاد نواحی بی‌هوایی در مناطق عمیق‌تر مخزن خواهد شد.

جدول ۱- مشخصات مخزن سد کرخه.

حجم مخزن در تراز بهره- برداری ۲۲۰ متر	۵۳۴۶/۸ میلیون مترمکعب (قبل از رسوب‌گذاری)
حجم مخزن در کمینه تراز بهره‌برداری (تراز ۱۶۰ متر)	۴۳۰ میلیون مترمکعب
حجم مفید مخزن	۳۹۰۳/۸۱ میلیون مترمکعب (بعد از رسوب-گذاری)
حجم غیر مفید مخزن	۱۴۴۳ میلیون مترمکعب
تراز آب در هنگام وقوع سیل حداکثر (P.M.F)	۲۳۰/۷ متر
مساحت دریاچه در تراز بهره- برداری ۲۲۰ متر	۱۶۲/۴۷ کیلومتر مربع
طول دریاچه در تراز بهره- برداری ۲۲۰ متر	حدود ۶۰ کیلومتر

8 Epilimnion

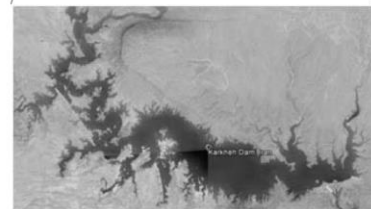
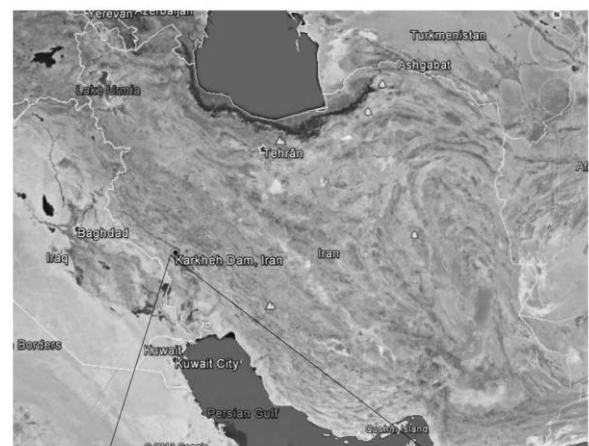
9 Hypolimnion

7 Eutrophication

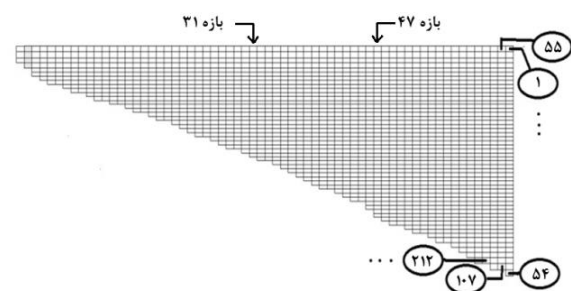
از بدنه سد) به سمت بالادست، مقادیر واریانس زمانی افزایش می‌یابد و این بدان معناست که غلظت کلروفیل  $a$  در این ناحیه از دریاچه سد، در طول زمان زیاد است و از نظر پایش دارای اهمیت بیشتری است. همچنین دامنه کم تغییرات واریانس زمانی از بدنه سد تا بازه شماره ۳۰ (حدود ۳۵ کیلومتر بالاتر از بدنه سد)، نشان می‌دهد که رفتار مخزن در این ناحیه از نظر تغییرات شاخص کیفی کلروفیل در طول زمان در لایه‌های اپیلمنیون و هیپولیمنیون به هم نزدیک است. اما از بازه شماره ۳۰ به سمت بالادست دامنه تغییرات واریانس زمانی افزایش می‌یابد. این بدان معناست که در این قسمت از بدنه سد وضعیت غلظت کلروفیل  $a$  در طول زمان در لایه اپیلمنیون نسبتاً پایدار است ولی در لایه هیپولیمنیون دارای تغییرات زیادی است و از نقطه نظر پایش در وضعیت بحرانی قرار دارد.

در شکل ۷ نیز، تغییرات واریانس زمانی شاخص کیفی اکسیژن محلول در طول دریاچه سد ارائه شده است. مشاهده می‌شود که مقادیر واریانس زمانی از بدنه سد تا حدود بازه ۳۲ (۳۳ کیلومتر بالاتر از بدنه سد) زیاد است و این بدان معناست که در این ناحیه از مخزن سد، غلظت اکسیژن محلول در طول زمان دارای تغییرات زیادی است و از نظر پایش دارای اهمیت بالاتری است. همچنین دامنه زیاد تغییرات در این محدوده از مخزن نشان می‌دهد که غلظت اکسیژن محلول در طول زمان در لایه اپیلمنیون تغییرات زیادی نداشته است ولی در لایه هیپولیمنیون دارای تغییرات زیاد است و از نقطه نظر پایش در وضعیت بحرانی قرار دارد. از بازه ۳۱ (حدود ۳۴ کیلومتر بالاتر از بدنه سد) به سمت بالادست، مقادیر واریانس زمانی به شدت کاهش می‌یابد. این به معنای تغییرات کم غلظت اکسیژن در طول زمان در این ناحیه از دریاچه سد است. همچنین دامنه تغییرات کم واریانس زمانی در این ناحیه، نشان می‌دهد که رفتار مخزن از نظر تغییرات غلظت اکسیژن محلول در لایه‌های بالایی و پایینی به هم نزدیک است و این موضوع می‌تواند به دلیل نزدیکی این ناحیه از مخزن به محل جریان‌های ورودی و اختلاط زیاد آن باشد.

فاصله ۳۳ کیلومتری از بدنه سد به سمت بالادست)، رفتار مخزن از نظر تغییرات در غلظت شاخص کیفی نیترات در لایه‌های اپیلمنیون و هیپولیمنیون به هم نزدیک است اما از بازه ۳۲ به سمت بالادست، دامنه تغییرات واریانس زمانی افزایش می‌یابد. این بدان معناست که در این قسمت از دریاچه سد، وضعیت غلظت نیترات در طول زمان در لایه اپیلمنیون نسبتاً پایدار است ولی در لایه هیپولیمنیون دارای تغییرات زیادی است و از نقطه نظر پایش در وضعیت بحرانی قرار دارد.



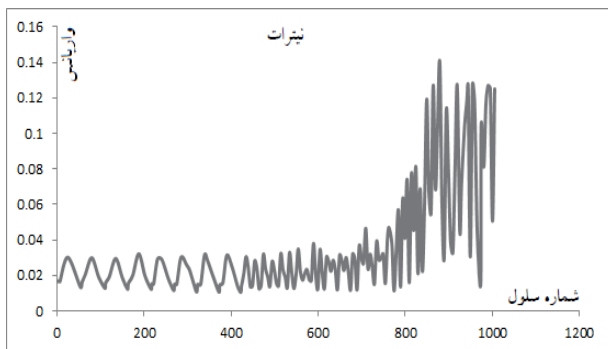
شکل ۲- موقعیت سد کرخه



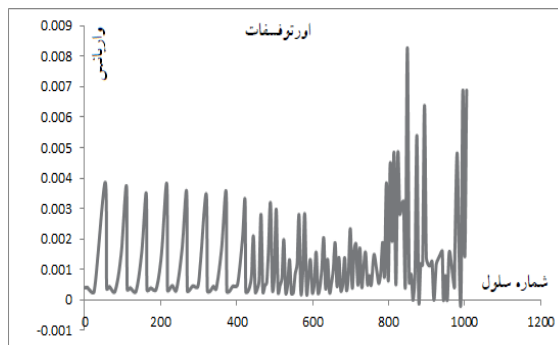
شکل ۳- راهنمای شماره‌گذاری سلول‌های محاسباتی در مدل CE-QUAL-W2

شکل ۶ نشان می‌دهد که از حدود بازه ۴۷ (۱۸ کیلومتر بالاتر

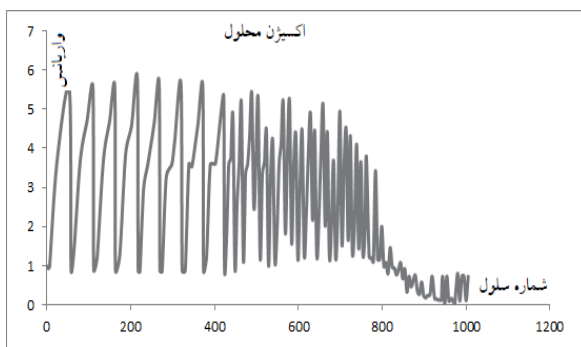




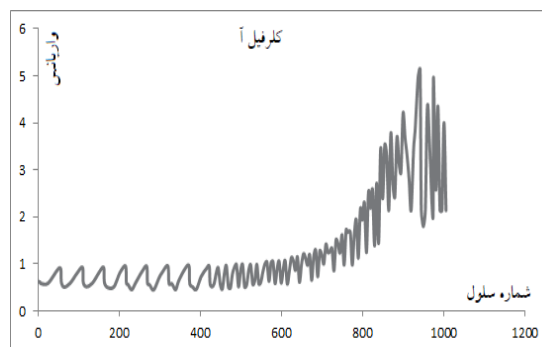
شکل ۵- تغییرات واریانس زمانی شاخص کیفی نیترات در دریاچه سد.



شکل ۴- تغییرات واریانس زمانی شاخص کیفی اورتوفسفات در دریاچه سد.



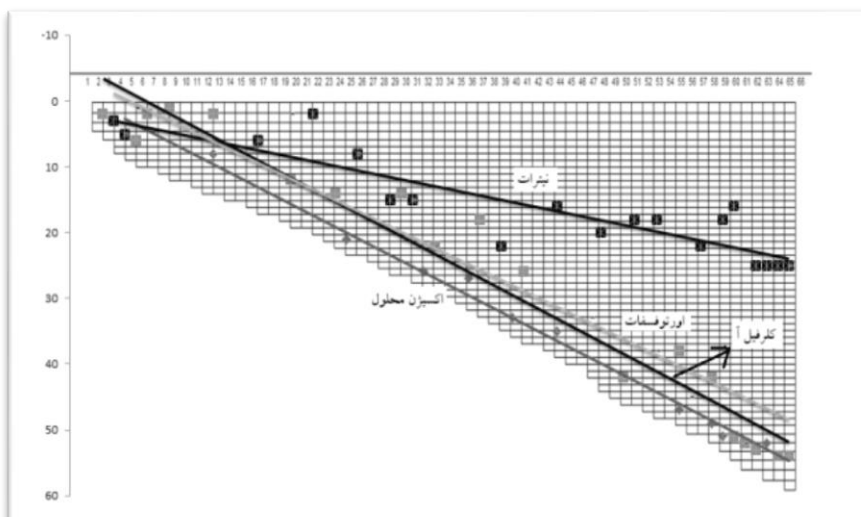
شکل ۷- تغییرات واریانس زمانی شاخص کیفی اکسیژن محلول در دریاچه سد.



شکل ۶- تغییرات واریانس زمانی شاخص کیفی کلروفیل a در دریاچه سد.

پایش روی این مسیرها موجب خواهد شد که بیشینه اطلاعات کیفی را از عملیات پایش به دست آوریم. شکل ۸ مسیرهای بحرانی چهار شاخص کیفی تأثیرگذار در کنترل تغذیه‌گرایی در مخزن را نمایش می‌دهد. روابط ریاضی منحنی‌های برازش داده شده نیز در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

برای به دست آوردن مسیرهای بحرانی از نقطه نظر پایش کیفیت در مخزن، در هر بازه، لایه‌ای که در آن واریانس زمانی تغییرات پارامترهای کیفی بیشینه است شناسایی شد و بهترین منحنی به عنوان مسیر بحرانی تغییرات شاخص‌های کیفی- مسیری که بیشترین تغییرات شاخص‌های کیفی بر روی آن اتفاق می‌افتد برای نقاط یاد شده برازش داده شده است. قرارگیری ایستگاه‌های



شکل ۸- مسیرهای بحرانی تغییرات شاخص‌های کیفی موثر در کنترل تغذیه‌گرایی در مخزن سد کرخه

- 4 Olea R., and Davis J.; "Sampling analysis and mapping of water levels in the high plains aquifer of Kansas", K.G.S Open File Report, 1999b; 1999-11.
- 5 Theodossiou N., and Latinopoulos P.; "Evaluation and optimisation of groundwater observation networkes using the kriging methodology", Environmental Modeling and Software, 2006; 21, p.p. 991-1000.
- 6 Park S.Y., CHoi J.H., Wang S., and Park S.S.; "Design of a water quality monitoring network in a large river system using the genetic algorithm", Ecological Modelling, 2006; 199, p.p. 297-289.
- 7 Telcie I.T., Nam K., Guan, J., and Aral M. ; "Optimal water quality monitoring network design for river systems", Journal of Environmental Management, 2009; 90(10) p.p. 2987-2998.
- 8 Awadallah A.G.O. .; "Selecting optimum locations of rainfall stations using kriging and entropy", International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS, 2012; 12(1), p.p. 36-41
- برومند؛ امیر؛ "مکانیابی بهینه ایستگاه‌های پایش کیفیت آب با استفاده از تئوری آنتروپی"؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت ایران (۱۳۹۱).
- ۱۰ سعادت‌پور؛ مطهره و افشار؛ عباس؛ "تغذیه گرایبی مخازن سدها: مدل‌سازی دوبعدی سد کرخه"؛ م. علمی - پژوهشی آب و فاضلاب، ۳ (۱۳۸۸)، ۸۰-۹۳
- 11 Afshar A., and Saadatpour M.; "Reservoir Eutrophication Modeling, Sensitivity Analysis, and Assessment; Application to Karkheh Reservoir, Iran". Environmental Engineering Science, 2009; 26(7), p.p.1227-1238.
- 12 Afshar A., Kazemi H., Saadatpour M.; "Particle Swarm Optimization for Automatic Calibration of Large Scale Water Quality Model (CE-QUAL-W2); Application to Karkheh Reservoir, Iran", Journal of Water Resource Management, 2010; 25(10), p.p.2613-2632.

جدول ۲- روابط ریاضی مسیرهای بحرانی از نظر نیاز به پایش در مدل

کیفی کالیبره شده مخزن سد کرخه.

شاخص کیفی	R <sup>2</sup>	معادله منحنی
نیترات	۰/۸۱	$L.N^* = 0.3449Seg.N^{**} + 1.4964$
کلروفیل آ	۰/۹۸	$L.N = 0.8912 Seg.N - 6.1625$
اورتوفسفات	۰/۸۴	$L.N = 0.8144 Seg.N - 4.5895$
اکسیژن محلول	۰/۹۹	$L.N = 0.8667 Seg.N - 1.5966$

\*Layer Number, \*\*Segment Number

## ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که مقادیر سه شاخص کیفی اورتوفسفات، نیترات و کلروفیل a در نقاط نزدیک به جریان‌های ورودی تغییرات بیشتری را در طول زمان نشان می‌دهد در حالی که در مورد شاخص کیفی اکسیژن محلول در نقاط نزدیک به جریان‌های ورودی مقادیر اکسیژن محلول وضعیت با ثبات‌تری در طول زمان دارد که این موضوع با توجه به اختلاط بیشتر قسمت‌های نزدیک به جریان‌های ورودی قابل توجه است. همچنین نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که مسیر بحرانی تغییرات هر چهار شاخص کیفی نیترات و کلروفیل a، اورتوفسفات و اکسیژن محلول در طول مخزن از معادله خطی پیروی می‌کند. پژوهش بالا کارایی روش پیشنهادی را در تعیین موقعیت بحرانی شاخص‌های کیفی از نظر نیاز به پایش در مخازن سدها نشان می‌دهد. پیشنهاد می‌شود که تمرکز نمونه برداری و پایش کیفی دریاچه سد در این نقاط و مسیرها بیشتر شود.

## ۶-مراجع

- 1 Mckinney D.C., and Loucks, D.P.; "Network design for predicting groundwater contamination", water resources research, 1992; 104(1), p.p. 133-147.
- 2 Hudak P.F., and Loaiciga H.A.; "An optimization method for monitoring network design in multilayered groundwater flow systems", water resources research, 1993; 29(8), p.p. 2835-2845.
- 3 Olea R., and Davis J.; "Optimizing the high plains aquifer water-level observation network", K.G.S Open File Report, 1999a; 1999 - ۱۰۵.



