# A New Approach to Selecting Optimum Locations ofSampling Stations inKarkhehDam ReservoirUsingCE-QUAL-W2Model

**E. Jabbari[1], A. Chavoshian[2], A. Boroumand[3*], F. Masoumi[4]**

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_4, NO_3, 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-consideredin future studies. Furthermore, by using the three-dimensional water hydrodynamics and quality models, critical paths also be found in latitude of thereservoir. 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 alsocan be used.

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

Archive of SID



www.SID.ir

مجله علمی – پژوهشی
عمران مدرس
دوره پانزدهم، شماره ٤، زمستان ١٣٩٤

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

**ابراهیم جباری[1]، سید علی چاوشیان [2]، امیر برومند[3]*، فریبرز معصومی[4]**

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

**A.broumand@stu.qom.ac.ir**

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۲/۵] تاریخ پذیرش: [۱۳۹٤/۵/۲٤]

**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 آن ها 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، نیترات، کلروفیلa 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 اندازه گیری شده شاخص‌های مورد مطالعه در یک دوره چهارده ماهه از اردیبهشت ماه ۱۳۸٤ 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

با توجه به توسعه روز افزون جوامع بشری، افزایش آلودگی-های 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 ویژه-ای 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 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



Archive of SID
www.SID.ir

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 ایستگاه-های 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 درسیستم‌های رودخانه‌ای استفاده کردند. در روش پیشنهادی آنها الگوریتم ژنتیک و GIS[1] 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، هماهنگ 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[2] 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 میانیابی 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 تحلیل‌گر زمین‌آماری نرم‌افزار Arc GIS برای روش کریجینگ و نرم‌افزار R برای آنتروپی اطلاعات، مکان‌های کاندید را در حوضه تعیین و ایستگاه های 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 مدل-های 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

1 Geographic Information System

2 Altamaha



Archive of SID
www.SID.ir

کرخه استفاده شده و کنترل تغذیه گرایی در مخزن بـه عنـوان هدف عملیات پایش در نظر گرفته شده است(برومند ۱۳۹۱).

## ۲- روش پژوهش

حفظ و استفاده بهینه از منابع آب از اصول توسعه پایـدار هـر کشور است. بطور کلـی مـدیریت تقاضـا و تـأمین آب بـرای کاربری‌های مختلف با در نظر گرفتن محدودیت‌های کمـی و کیفی، شناسایی، کنترل و کاهش آلاینـده‌هـای آب بـه منظـور ارتقای شاخص های کیفیت منابع آب و حفظ محیط زیسـت از رویکردهای مدیریت منابع آب محسوب می‌شـود. در ایـن راستا، شناسایی و پایش کیفیـت منـابع آب از جملـه مخـازن سدها به عنوان یکی از گام‌های اصلی مدیریت کیفیـت منـابع آب، جایگاه ویژه‌ای دارد.

**شکل ۱**- روش پژوهش

در این پژوهش، سعی شده است با استفاده از مـدل کیفـی دو بعدی CE-QUAL-W2 ، نقاطی از مخزن سد کرخه که مقادیر شاخص های کیفی در طول زمان در آن‌ها تغییـرات زیـادی را نشان می‌دهد شناسایی شود.

برای این منظور، کنترل تغذیه‌گرایی در مخزن سـد بـه عنـوان هدف عملیات پایش در نظر گرفته شده است و بـا توجـه بـه اهمیت چهار پارامتر اورتوفسفات[3]، نیتـرات[4]، کلروفیـل a[5]، و اکسیژن محلول[6] در کنترل وضعیت تغذیه گرایـی، ایـن چهـار شاخص به عنوان شاخص‌های مورد مطالعه انتخاب شدند. در شکل ۱ گام‌های الگوریتم پیشنهادی در این پژوهش ارائه شده است.

مدل CE-QUAL-W2 استفاده شده در این پژوهش، مدل کالیبره شده به وسیله‌ی سعادت پور و افشار است (افشار و سعادت‌پور۲۰۰۹، افشار و همکاران۲۰۱۰ و سعادت‌پور و افشار ۱۳۸۸). پس از اجرای مدل، سری زمانی چهار پارامترکیفی مورد مطالعه در همه سلول‌های محاسباتی مخزن سد کرخه در مدل استخراج شد و واریانس زمانی غلظت‌های شاخص‌های کیفی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$S^2_{n-1} = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \qquad (1)$$

در رابطه بالا $S^2_{n-1}$ مقدار واریانس زمـانی، $n$ تعـداد داده‌هـا در سری زمانی، $x_i$ مقدار هرداده و $\bar{x}$ مقدار میانگین داده‌ها اسـت. برای به دست آوردن مسیرهای بحرانـی از نقطـه نظـر پـایش کیفیت در مخزن، در هر بازه، لایه‌ای که در آن واریانس زمانی تغییرات پارامترهای کیفی بیشینه است شناسایی شد و بهتـرین منحنی به عنوان مسیر بحرانی تغییرات شـاخص‌هـای کیفـی- مسیری که بیشترین تغییرات شاخص‌هـای کیفـی بـر روی آن اتفاق می‌افتد برای نقـاط یـاد شـده بـرازش داده شـده اسـت. قرارگیری ایستگاه‌های پایش روی این مسیرها موجب خواهـد شد که بیشینه اطلاعات کیفی را از عملیـات پـایش بـه دسـت آوریم.

3 $PO_4$
4 $NO_3$
5 Chlorophyll a
6 Dissolved oxygen



Archive of SID
www.SID.ir

## ۳- مطالعه موردی

سد مخزنی و نیروگاه برق آبی کرخه در فاصله ۲٤ کیلومتری شمال غرب اندیمشک در استان خوزستان (در جنوب غربی ایران) احداث شده است. این سد عظیم در ٤۸ درجه و ۸/۷ دقیقه طول شرقی و نیز ۳۲ درجه و ٦/۲۹ 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[7] 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 بی‌هوازی در مناطق عمیق‌تر مخزن خواهد شد.

**جدول ۱**- مشخصات مخزن سد کرخه.

| | |
|---|---|
| حجم مخزن در تراز بهره‌برداری ۲۲۰ متر | ٥۳٤٦/۸ میلیون مترمکعب (قبل از رسوب‌گذاری) |
| حجم مخزن در کمینه تراز بهره‌برداری (تراز ۱٦۰ متر) | ٤۳۰ میلیون مترمکعب |
| حجم مفید مخزن | ۳۹۰۳/۸۱ میلیون مترمکعب (بعد از رسوب‌گذاری) |
| حجم غیر مفید مخزن | ۱٤٤۳ میلیون مترمکعب |
| تراز آب در هنگام وقوع سیل حداکثر (P.M.F) | ۲۳۰/۷ متر |
| مساحت دریاچه در تراز بهره‌برداری ۲۲۰ متر | ۱٦۲/٤۷ کیلومتر مربع |
| طول دریاچه در تراز بهره‌برداری ۲۲۰ متر | حدود ٦۰ کیلومتر |

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 بازه های ٦٤، ٥۲، ٤۳ و ۳٦ واقع شده‌اند.

## ٤- نتایج

شکل ۳ چگونگی شماره‌گذاری سلول‌های مدل را نشان می‌دهد. در نمودارهای شکل ٤ تا ۷ نیز، تغییرات واریانس زمانی شاخص‌های مطالعه شده، در طول مخزن سد کرخه ارائه شده است. شکل ٤ نشان می‌دهد که غلظت فسفات در قسمت های نزدیکتر به بدنه سد، وضعیت پایدار تری در طول زمان نسبت به قسمت های نزدیک به محل جریان ورودی به سد دارد. همچنین مشاهده می‌شود که از بازه ۳۱ (حدود ۳٤ 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 اپیلیمنیون[8] نسبتا پایدار است ولی درلایه هیپولیمنیون[9] دارای تغییرات زیادی است و از نقطه نظر پایش در وضعیت بحرانی قرار دارد. همچنین مشاهده می‌شود که در حد فاصل بازه‌های ٤۷ تا ۳۱ (درفاصله ۱۸ تا ۳٤ 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 ٥ نشان می‌دهد که غلظت نیترات در نواحی نزدیک به بدنه سد در طول زمان نسبتا 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

7 Eutrophication

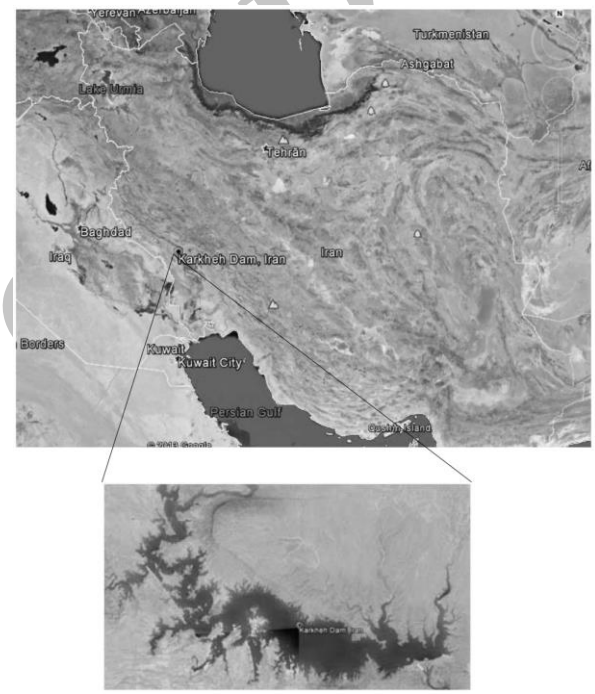
8 Epilimnion

9 Hypolimnion

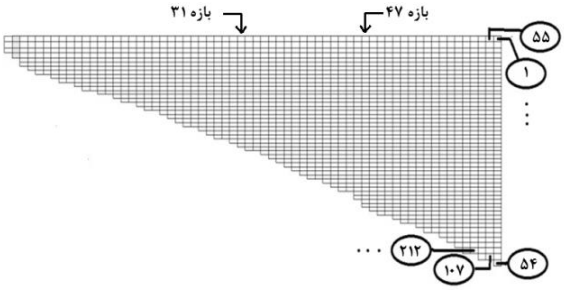


Archive of SID
www.SID.ir

فاصله ۳۳ کیلومتری از بدنه سد به سمت بالادست)، رفتار مخزن از نظر تغییرات در غلظت شاخص کیفی نیترات در لایه‌های اپیلیمنیون 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 اپیلیمنیون نسبتا پایدار است ولی درلایه هیپولیمنیون دارای تغییرات زیادی است و از نقطه نظر پایش در وضعیت بحرانی قرار دارد.




**شکل ۲**- موقعیت سد کرخه



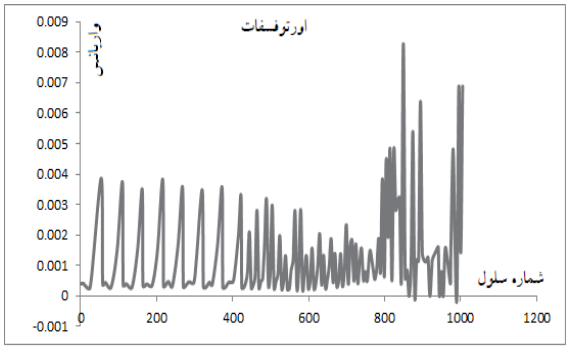

**شکل ۳**- راهنمای شماره‌گذاری سلول های محاسباتی در مدل CE-QUAL-W2

شکل ٦ نشان می‌دهد که از حدود بازه ٤٧ (١٨ کیلومتر بالاتر 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 اپیلیمنیون 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 کلرفیل a در طول زمان در لایه اپیلیمنیون نسبتا پایدار است ولی درلایه هیپولیمنیون دارای تغییرات زیادی است و از نقطه نظر پایش در وضعیت بحرانی قرار دارد.

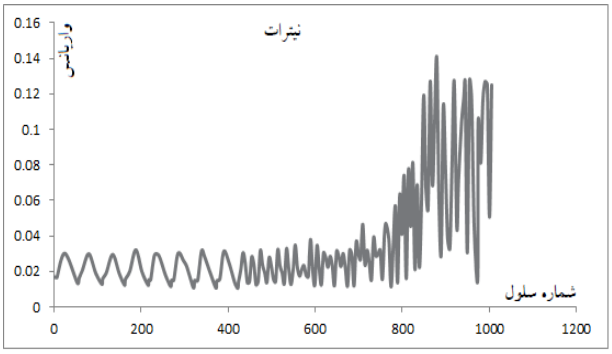
در شکل ۷ نیز، تغییرات واریانس زمانی شاخص کیفی اکسیژن محلول در طول دریاچه سد ارائه شده است. مشاهده می‌شود که مقادیر واریانس زمانی از بدنه سد تا حدود بازه ۳۲ (۳۳ کیلومتر بالاتر از بدنه سد) زیاد است و این بدان معناست که در این ناحیه از مخزن سد، غلظت اکسیژن محلول در طول زمان دارای تغییرات زیادی است و از 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 اپیلیمنیون تغییرات زیادی نداشته است ولی درلایه هیپولیمنیون دارای تغییرات زیاد است و از نقطه نظر پایش در وضعیت بحرانی قرار دارد. از بازه ۳۱ (حدود ٣٤ 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 جریان-های ورودی و اختلاط زیاد آن باشد.



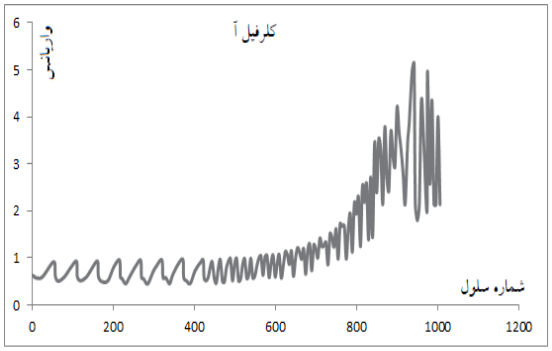
Archive of SID
www.SID.ir



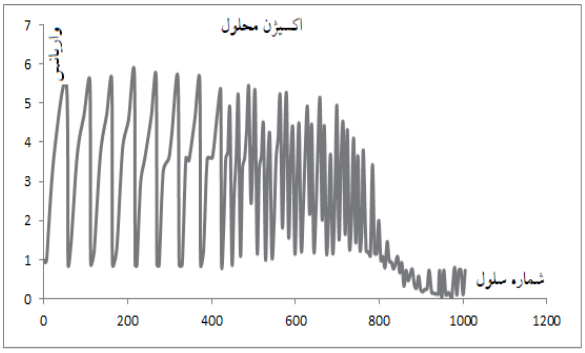

**شکل ٤**- تغییرات واریانس زمانی شاخص کیفی اورتو فسفات در دریاچه سد.




**شکل ٥**- تغییرات واریانس زمانی شاخص کیفی نیترات در دریاچه سد.

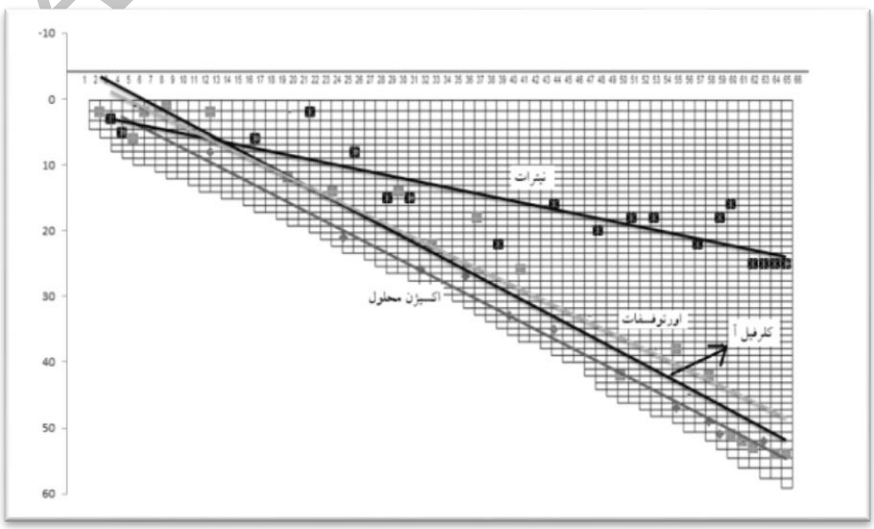



**شکل ٦**- تغییرات واریانس زمانی شاخص کیفی کلروفیل a در دریاچه سد.




**شکل٧**- تغییرات واریانس زمانی شاخص کیفی اکسیژن محلول در دریاچه سد.

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 پایش روی این مسیرها موجب خواهد شد که بیشینه اطلاعات کیفی را از عملیات پایش به دست آوریم. شکل ٨ مسیرهای بحرانی چهار شاخص کیفی تأثیرگذار در کنترل تغذیه‌گرایی در مخزن را نمایش می‌دهد. روابط ریاضی منحنی‌های برازش داده شده نیز در جدول شماره ٢ ارائه شده است.




**شکل ٨** - مسیرهای بحرانی تغییرات شاخص‌های کیفی موثر در کنترل تغذیه‌گرایی در مخزن سد کرخه



Archive of SID
www.SID.ir

**جدول۲**- روابط ریاضی مسیرهای بحرانی از نظر نیاز به پایش در مدل کیفی کالیبره شده مخزن سد کرخه.

| شاخص کیفی | $R^2$ | معادله منحنی |
|---|---|---|
| نیترات | ۰/۸۱ | $L.N^{*} = 0.3449 Seg.N^{**} + 1.4964$ |
| کلروفیل آ | ۰/۹۸ | $L.N = 0.8912\ Seg.N - 6.1625$ |
| اورتوفسفات | ۰/۸٤ | $L.N = 0.8144\ Seg.N - 4.5895$ |
| 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 حالی‌که 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 توجیه است. همچنین نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که مسیر بحرانی تغییرات هر چهار شاخص کیفی نیترات و کلرفیل 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.

## ٦-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.; "*Optimaizing the high plains aquifer water-level observation network*", K.G.S Open File Report,1999a; 1999 -١٥.

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

٩ 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 (١٣٩١).

١٠ سعادت‌پور؛ مطهره و افشار؛ عباس؛" *تغذیه گرایی مخازن سدها: مدلسازی دوبعدی سد کرخه*"؛ م. علمی- پژوهشی آب و فاضلاب،٣ (١٣٨٨) ،٨٠-٩٣

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 Automaticn 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.

Archive of SID



www.SID.ir