

بررسی پدیده لایه بندی حرارتی و تغذیه گرایی در مرحله ساخت مخزن سد ابوالفارس استان خوزستان

نازلی مقدم یکتا^۱

سید علی جوزی^{*۲}

sajoji@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

چکیده

زمینه و هدف: در این مطالعه، پتانسیل تغذیه گرایی و لایه بندی حرارتی بررسی شده است. برای بررسی شدت تغذیه گرایی، بار آلودگی ورودی به مخزن از حوضه سد و منطقه تأثیر مستقیم آلودگی به طور جداگانه تخمین زده شده و نتایج با هم مقایسه شده اند. شاخص کارلسون و ولنوايدر

روش پژوهش: برای محاسبه پتانسیل تغذیه گرایی از مدل استفاده شده است. با توجه به میزان بالای فسفر ورودی به مخزن از حوضه سد (۸۰۲۵ میکروگرم در لیتر) یا ناحیه تأثیر مستقیم آلودگی (۲۳۸۷ میکروگرم در لیتر)، در صورت تأیید ساخت سد، مخزن در حالت فوق غنی غذایی قرار خواهد گرفت.

یافته ها: نتایج نشان می دهد که بار آلودگی ورودی به مخزن از ناحیه تأثیر مستقیم آلودگی به دلیل مساحت کمتر، کمتر از حوضه سد است؛ با این حال، شدت بالای غنی غذایی همچنان مورد انتظار است. پتانسیل لایه بندی حرارتی با استفاده از نمودار وتزل، شاخص اورلب و زمان ماند بررسی شده است، با توجه به Fr محاسبه شده (۰,۰۰۴) و زمان ماند (۳,۴۴)، نتایج، لایه بندی قوی در مخزن را تأیید می کند. **نتیجه گیری:** علیرغم اقدامات مدیریتی مانند جلوگیری از تخریب مراتع، کنترل فرسایش، پاکسازی زمین قبل از آبیگری و غیره که می تواند برای بهبود کیفیت آب مخزن استفاده شود، با توجه به شرایط محیطی منطقه ای سد، این عوامل به همراه سایر عوامل اکولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی منجر به عدم تأیید پروژه در مطالعه ارزیابی اثرات زیست محیطی (EIA) می شوند.

واژه های کلیدی: لایه بندی حرارتی، تغذیه گرایی، حوزه آبریز، شاخص کارلسون، رابطه والن وایدر، مخزن سد ابوالفارس، شهرستان رامهرمز.

^۱ دکتری آلودگی های محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ استاد گروه محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران * (مسوول مکاتبات)

Study of Eutrophication and Thermal Stratification in Construction phase of Abolfares Dam Reservoir in Khuzestan Province

Nazli Moghadamkia¹

Ali Jozi^{2*}

sajoz@yahoo.com

Accepted Date: May 6, 2025

Date Received: November 11, 2025

Abstract

Introduction: In this study, potential of eutrophication and thermal stratification has been investigated. To study the eutrophication severity, pollution load entering the reservoir from dam basin and pollution direct impact area has been estimated separately and the results have been compared. Carlson Index and Vollenweider

Method: Model have been used to calculate eutrophication potential. Due to the high amount of phosphorus entering the reservoir from the dam basin (8025 µg/l) or pollution direct impact area (2387 µg/l) , reservoir will be in a state of hyper eutrophic in case of dam construction confirmed.

Results: The results show pollution load entering the reservoir from pollution direct impact area is lower than the dam basin due to a smaller area; however, a high intensity of eutrophication is still expected. Potential of thermal stratification has been investigated by Wetzel Graph, Orlob index and Retention time, regarding to calculated Fr (0.004) and Retention time (3.44), the results confirm the strong stratification in the reservoir.

Conclusion: Despite the management measures such as prevention of rangeland degradation, erosion control, land clearance before water taking, etc. can be used to improve reservoir water quality, according to environmental regional condition of the Dam, these factors along with other ecological and socio-economic factors leading to non-approval of the project in environmental impact assessment (EIA) study.

Keywords: Thermal stratification, Eutrophication, Basin, Carlson Index, Vollenweider Model, Abolfares dam reservoir, Ramhormoz Province.

¹ PhD in Environmental Pollution, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Professor, Department of Environment, Faculty of Technology and Engineering, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran* (Corresponding Author)

مقدمه

احداث سد و ذخیره کردن جریان‌های سطحی می‌تواند به سبب افزایش زمان ماند آب باعث تغییر کیفیت آب رودخانه گردد. بنابراین جهت تعیین نقش مخزن در کیفیت آب داخل مخزن و آب رها شده از سد و ارزیابی آن جهت مصارف مختلف و همچنین تأسیسات و فرایندهای مورد نیاز جهت تصفیه و رساندن آن به استانداردهای کیفی مورد نظر برای مصارف شرب و زراعی، نیاز به مطالعه وضعیت لایه‌بندی کیفی و حرارتی مخزن سد می‌باشد. از مهمترین پدیده‌های نامطلوبی که در آب‌های سطحی به خصوص دریاچه‌ها پس از احداث سد رخ خواهد داد می‌توان به لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی مخزن اشاره نمود. پدیده تغذیه گرایی^۱ معمولاً به دلیل رشد بیش از حد جلبک‌ها رخ می‌دهد. معمولاً تخلیه مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر در اثر ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی در محیط‌های آبی منجر به ایجاد چنین مشکلی می‌شود. کیفیت آب در دریاچه‌هایی که دچار تغذیه گرایی شده اند به شدت پایین می‌آید و رشد بیش از حد سیانوباکترها (آبنا، اسیلیاتورها، نوستوک، میکروسیستیس و ...) منجر به تولید سموم (هپاتوتوکسین، نوروٹوکسین و درماتوتوکسین) در آب می‌گردد که می‌تواند موجب مرگ و میر آبزیان و خصوصاً انسان گردد زیرا این سموم توسط روش‌های متداول تصفیه آب قابل حذف نمی‌باشند و مصرف چنین آب‌هایی برای شرب مناسب نمی‌باشد. لایه‌بندی حرارتی^۲ نیز به علت اختلاف چگالی ناشی از دما، شوری و مواد معلق ایجاد می‌شود. در اثر این پدیده، آب گرم تر در رولایه قرار می‌گیرد و رولایه (Epilimnion) را تشکیل می‌دهد که دارای شوری کم و مواد محلول و اکسیژن محلول کافی است. آب سرد در کف مخزن قرار گرفته و زیر لایه (Hypolimnion) را تشکیل می‌دهد که مواد محلول و شوری بیشتری دارد. بین این دو لایه یک لایه واسط به نام میان لایه (Metalimnion) قرار دارد که دارای گرادیان شدید دما می‌باشد. میان لایه (ترموکلاین) همانند سدّی مانع تبادلات دما، اکسیژن محلول و مواد مغذی در ستون آب شده و در نتیجه کیفیت آب در زیرلایه افت می‌کند. (راهنمای مطالعات کیفیت آب مخازن سدهای بزرگ، ۱۳۹۰)

یکی از مسایل مهم در مدیریت کیفی آب، تعیین مشخصه‌های لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی مخازن سدها می‌باشد. پیشرفت‌های اخیر در زمینه مطالعات کیفی آب مخازن سدها باعث تدوین مدل‌های جامع و پیچیده‌ای شده است که جهت

پیش بینی این دو پدیده استفاده می‌شوند. از جمله این مدل‌ها نرم افزار دو بعدی هیدرودینامیکی CE-Qual-w2 می‌باشد که نیازمند حجم اطلاعات قابل توجه جهت حل عددی معادلات حاکم است. لذا استفاده از معادلات تجربی جهت پیش بینی وضعیت لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی با توجه به زمان، هزینه و حجم اطلاعات مورد نیاز کمتر، مورد توجه می‌باشد و در مراحل اولیه بررسی به عنوان گزینه‌ای مناسب مطرح است. تحقیقات انجام شده قبلی در خصوص بررسی شرایط کیفی آب مخازن سدها بسیار گسترده بوده که بیشتر بروز این دو پدیده با استفاده از مدل‌های شبیه سازی مورد بررسی قرار گرفته است لیکن چهار تحقیق که مشابهت بسیار زیادی به تحقیق حاضر دارند می‌توان به بررسی بروز لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی در مخزن سد بافت (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۱)، بررسی لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی مخزن سد چغارخور (ریاحی پور و توفیق، ۱۳۸۷)، پایش پدیده تغذیه گرایی در دریاچه سد مخزنی اکباتان با بهره گیری از شاخص غنی شدگی کارلسون (نورمادی و همکاران ۱۳۹۲) و بررسی وضعیت تغذیه گرایی دریاچه زریبار کردستان با استفاده از شاخص کارلسون و با بهره‌گیری از سامانه GIS (ابراهیم پور و همکاران ۱۳۸۹) اشاره نمود. در تحقیقات خارجی مشابه نیز می‌توان به بررسی نشانه‌های تغذیه گرایی در مخزن سد بجماتی لهستان (۶) و ارزیابی شرایط تغذیه گرایی با استفاده از پایش کیفیت آب مخازن (Vidovic. M et al., 2015) اشاره نمود. در این مقاله با استفاده از سه شاخص موقعیت جغرافیایی، فرود و زمان ماند اقدام به پیش بینی لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد شده است. همچنین احتمال تغذیه گرایی نیز با دو شاخص کارلسون و والن وایدر برآورد گردیده است. با توجه به اینکه هدف از ساخت این سد تامین نیازهای کشاورزی می‌باشد و این سد هنوز ساخته نشده است لذا بررسی این دو پدیده می‌تواند در برنامه ریزی‌های مطالعاتی و مدیریتی در آینده جهت ارتقا کیفیت آب خروجی از سد موثر باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مطالعات مرحله اول سد ابوالفارس بر رودخانه‌ای با همین نام، در شهرستان رامهرمز از توابع استان خوزستان و در فاصله تقریبی ۴۰ کیلومتری شهر رامهرمز انجام گرفته است. رودخانه ابوالفارس در حدود ۹ کیلومتر پایین‌تر از محل پیشنهادی ساختگاه سد به رودخانه بزرگ مارون می‌ریزد. این سد، خاکی با هسته رسی، با ارتفاع ۵۵/۵ متر از بستر رودخانه، طول تاج سد ۲۴۸ متر، عرض تاج سد ۱۱/۵ متر، حجم مخزن ۲۶/۲ میلیون

^۱ Eutrophication^۲ Thermal Stratification

ابتدا بار آلودگی ورودی به مخزن برآورد و میزان فسفر ورودی به مخزن سد برآورد گردیده است. جهت تعیین بار آلودگی که در صورت اجرای سد به مخزن آن وارد خواهد شد، بطور معمول حوزه آبریز بالادست سد به عنوان محدوده مطالعاتی در نظر گرفته می‌شود، اما غالباً کل بار آلودگی برآورد شده در حوزه آبریز به مخزن سد راه پیدا نمی‌کند و یا در طول مسیر رودخانه با توجه به توان رودخانه در خودپالایی بخشی از آن پالایش می‌شود؛ لذا اعداد محاسبه شده از واقعیت دور خواهند بود. به همین دلیل در این مطالعه به منظور افزایش دقت در میزان پیش بینی شده برای بار آلودگی که به مخزن سد ابوالفارس وارد خواهد شد، حوضه اثرگذار مستقیم آلودگی تعیین شده است. این حوضه با توجه به موقعیت قرار گرفتن سرشاخه‌ها و تعداد و جمعیت روستاهای حاشیه رودخانه که به نحوی در کیفیت آب رودخانه‌ها موثر می‌باشند و نیز کاربری اراضی در نظر گرفته شده است. حوزه آبریز بالادست سد شامل حوضه اثرگذار مستقیم نیز می‌باشد، در نتیجه مساحت وسیع‌تری را تحت پوشش قرار می‌دهد. (شکل ۲)

جهت برآورد بار آلودگی میزان بار آلودگی ناشی از نیتروژن و فسفر از فعالیت‌های انسانی (فاضلاب)، بار آلودگی ناشی از کاربری اراضی و همچنین دام‌ها محاسبه گردیده است و با توجه به اینکه در حوزه آبریز رودخانه ابوالفارس واحد صنعتی یا معدنی خاصی مستقر نمی‌باشد لذا بار آلودگی ناشی از آلاینده‌های صنعتی قابل اغماض است. میزان بار آلودگی در حوضه مستقیم اثرگذار آلودگی (Kg/Y) و در حوزه آبریز بالادست سد به ترتیب در جدول‌های (۱ و ۲) ارائه شده است.

محاسبه بار آلودگی در حوضه مستقیم اثرگذار سد نشان می‌دهد، مجموعاً میزان نیتروژن و فسفر کل ورودی از این محدوده به مخزن سد ابوالفارس از مجموع منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به ترتیب حدود ۳۶۱ و ۶۲ تن در سال خواهد بود. همچنین، میزان نیتروژن و فسفر کل ورودی از سطح حوزه آبریز بالادست سد به مخزن سد ابوالفارس از مجموع منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به ترتیب حدود ۱۰۷۵ و ۲۱۰ تن در سال برآورد شده است.

جهت محاسبه احتمال بروز تغذیه گرایی در مخزن سد از شاخص کارلسون و والن وایدر استفاده شده است. با استفاده از فرمول (۱) میزان TSI در شاخص کارلسون، محاسبه و با جدول (۳) مقایسه می‌گردد (Carlson, 1977).

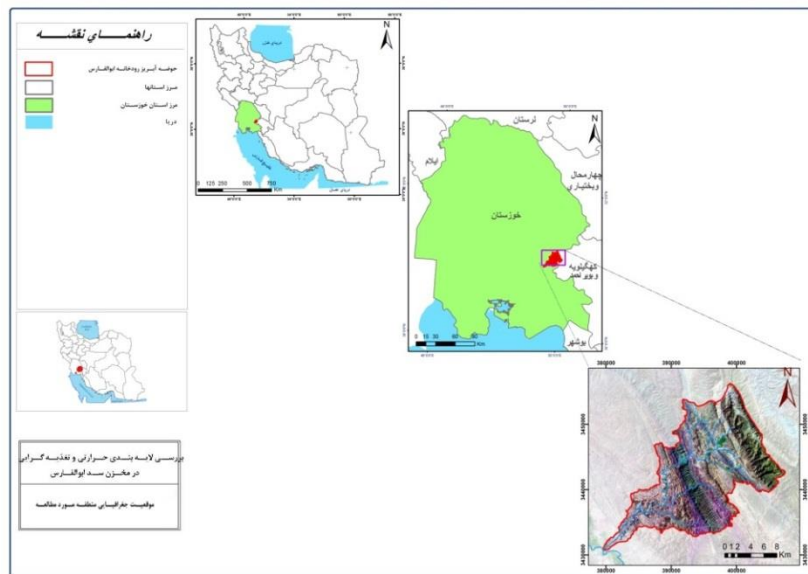
$$\text{TSI} = 14.42 \ln \text{Total phosphorus } (\mu\text{g/L}) + 4.15 \quad \text{فرمول (۱)}$$

مترمکعب در تراز نرمال و مساحت مخزن در تراز نرمال و ماکزیمم به ترتیب حدود ۱۸۰ و ۱۹۱ هکتار می‌باشد. میانگین دبی سالانه رودخانه ابوالفارس ۲/۳۵ مترمکعب در ثانیه و حجم آبدهی متناظر با آن ۹۱/۵ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. حجم رسوب ۵۰ ساله این رودخانه ۲/۷ میلیون مترمکعب می‌باشد. کیفیت آب رودخانه ابوالفارس در فصول پر آبی و شرایط سیلابی مناسب ارزیابی می‌شود، اما در فصول کم آبی بویژه تابستان و پاییز دچار افت کیفی می‌شود. یکی از سرشاخه‌های رودخانه به نام تنگ تلخ که در بالادست مخزن سد از ساحل چپ به رودخانه می‌ریزد دارای آبی با کیفیت بسیار پایین است که کیفیت رودخانه ابوالفارس را تحت تاثیر قرار می‌دهد. طبق استاندارد کیفیت آب آبیاری FAO آب رودخانه ابوالفارس در تابستان برای مصرف آبیاری دارای محدودیت شدید می‌باشد اما مقادیر pH و TSS در نتایج حاصله از اندازه گیری‌های بعمل آمده در حد مناسب سنجش شده است. از لحاظ کاربری اراضی حوزه آبریز این سد را مراتع و مابقی را زمین‌های کشاورزی تشکیل می‌دهد. فعالیت‌های کشاورزی در منطقه عمدتاً به صورت کشت آبی در مجاورت رودخانه‌های ابوالفارس و مارون انجام می‌گیرد. کشت غالب به گندم و جو و بعد از آن به برنج، پیاز، عدس، گوجه فرنگی و خیار تعلق دارد.

هدف اصلی پروژه، تنظیم جریان رودخانه ابوالفارس به منظور تامین آب آبیاری اراضی پایاب در حوالی شهرک فجر می‌باشد که در حال حاضر بخشی از دبی پایه رودخانه به کمک بند انحرافی فجر در پایین دست محل پیشنهادی احداث سد ابوالفارس، استحصال شده و برای آبیاری این اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف ثانویه، تولید انرژی برقایی می‌باشد که ۲ واحد نیروگاه با ظرفیت ۴ مگاوات به عنوان ظرفیت نصب مناسب انتخاب گردیده است. لازم به ذکر است، یک چاه نفت در حال بهره برداری در محدوده مخزن سد ابوالفارس وجود دارد که در صورت اجرا و آگیری سد، مستغرق خواهد شد و طبق محاسبات صورت گرفته این مسئله هزینه‌های قابل توجهی (۳۵۶۰۰ میلیون ریال) به طرح تحمیل خواهد نمود و علاوه بر آن از دیدگاه محیط زیست، اکولوژی و بهداشت و سلامت از ریسک بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. موقعیت سد در شکل (۱) ارائه شده است. (مهندسین مشاور لار، ۱۳۹۴)

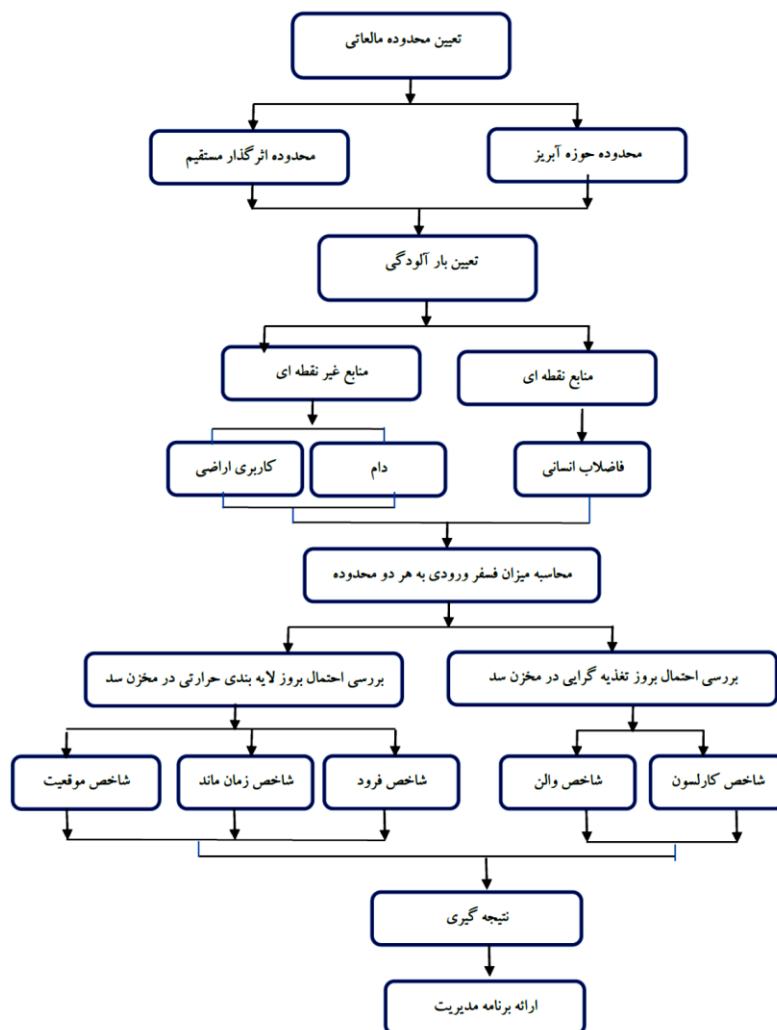
روش انجام کار

روش انجام کار در این مقاله در قالب نمودار (۱) می‌باشد.



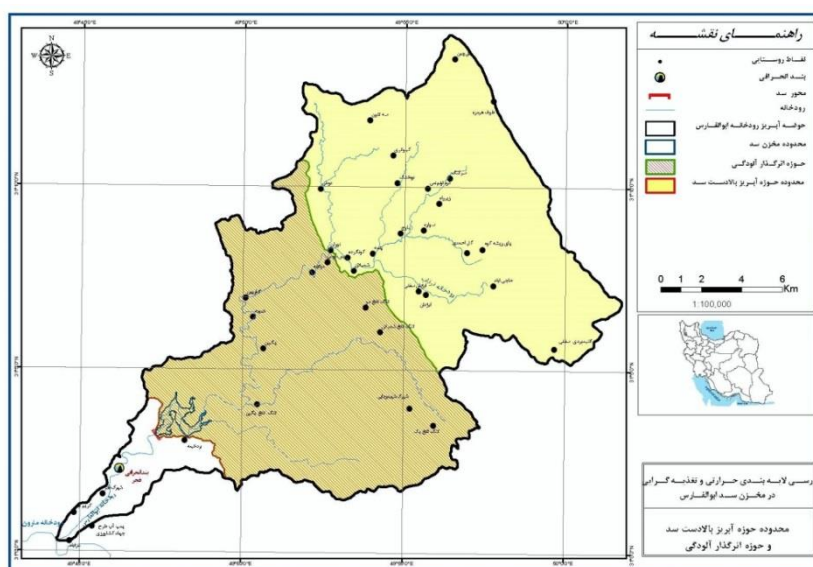
شکل (۱): موقعیت جغرافیایی سد.

Figure (1): Geographical location of the dam.



نمودار (۱): روش انجام کار.

Diagram (1): Method of doing the work.



شکل (۲): محدوده حوضه آبریز بالادست سد و حوضه مستقیم اثرگذار آلودگی.

Figure (2): Area of the dam's upstream catchment area and the direct area affected by pollution

جدول (۱): بار آلودگی در حوضه مستقیم اثرگذار آلودگی (Kg/Y)

Table (1): Pollution load in the direct area of pollution impact (Kg/Y)

جمع کل	منابع غیر نقطه ای		منابع نقطه ای	منابع آلاینده
	دام	کاربری اراضی	فاضلاب انسانی	
۳۶۰۹۵۴/۹۳	۲۸۱۰۸۶/۵	۷۹۶۵۳/۶	۲۱۴/۸۳	نیتروژن کل (TN) ^۱
۶۲۵۳۵/۳۷	۵۹۵۲۹/۶۷	۲۹۶۲/۷۴	۴۲/۹۶	فسفر کل (TP) ^۲

ماخذ: مهندسین مشاور لار، ۱۳۹۴، مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی سد مخزنی ابوالفارس.

جدول (۲): بار آلودگی در حوضه آبریز سد ابوالفارس (Kg/Y)

Table (2): Pollution load in the Abol Fares Dam catchment area (Kg/Y)

جمع کل	منابع غیر نقطه ای		منابع نقطه ای	منابع آلاینده
	دام	کاربری اراضی	فاضلاب انسانی	
۱۰۷۵۳۶۶/۴۴	۹۴۸۳۷۲/۲	۱۲۳۸۸۱/۰۵	۳۱۱۳/۱۹	نیتروژن کل
۲۱۰۲۴۴/۷۵	۲۰۴۸۲۳/۴	۴۷۹۸/۷۲	۶۲۲/۶۳	فسفر کل

ماخذ: مهندسین مشاور لار، ۱۳۹۴، مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی سد مخزنی ابوالفارس.

جدول (۳): مقادیر شاخص کارلسون برای تغذیه گرایی مخازن سدها

Table (3): Carlson index values for trophicity of dam reservoirs

وضعیت کیفی آب	شاخص کیفیت آب (TSI)	سطح تغذیه گرایی
پاک	۳۰-۴۰ و کمتر	اولیگوتروفیک (Oligotrophic)
متوسط	۴۰-۵۰	مزوتروفیک (Mesotrophic)
بد	۵۰-۷۰	یوتروفیک (Eutrophic)
خیلی بد	۷۰-۱۰۰+	هیپر یوتروفیک (Hyper eutrophic)

^۱ Total Nitrogen^۲ Total Phosphorus

ref: Carlson, 1977

$$t_w = \frac{V}{Q} \quad \text{فرمول (۳)}$$

در فرمول (۳): t_w = زمان ماند آب بر حسب سال، V = حجم مخزن بر حسب واحد حجم، Q = جریان سالانه بر حسب واحد جریان

یافته‌ها:

در حوزه اثرگذار مستقیم آلودگی، با توجه به حجم مخزن سد ابوالفارس (۲۶/۲ میلیون مترمکعب) و با فرض عدم تغییر در میزان نیتروژن و فسفر ورودی، غلظت نیتروژن در مخزن در دوران بهره برداری معادل ۱۳/۷۸ میلیگرم در لیتر و غلظت فسفر ۲۳۸۷ میکروگرم در لیتر خواهد بود و در حوزه آبریز بالادست سد غلظت نیتروژن در مخزن در دوران بهره برداری معادل ۴۱ میلیگرم در لیتر و غلظت فسفر ۸۰۲۵ میکروگرم در لیتر خواهد بود. بدین ترتیب در رابطه ارائه شده شاخص کارلسون و جایگذاری مقادیر فسفر:

$$TSI = 14/42 \ln 4/15 + 2387$$

$$14/42 \times 7/78 + 4/15 TSI =$$

$$116/34 TSI = (\text{حوزه اثرگذار مستقیم آلودگی})$$

$$TSI = 14/42 \ln 8025 + 4/15$$

$$14/42 \times 8/99 + 4/15 TSI =$$

$$TSI = 133/78 (\text{حوزه آبریز مستقیم سد})$$

بر این اساس، با توجه به جدول شاخص کیفیت آب دریاچه‌ها و میزان فسفر کل تولیدی، سطح تغذیه گرایی دریاچه سد ابوالفارس در دو حالت در مرحله هیپریوتروفیک قرار خواهد گرفت که به معنی شرایط کیفی «خیلی بد» می‌باشد. بررسی احتمال بروز پدیده تغذیه گرایی در مخزن نیز با رابطه والن وایدر با استفاده از جدول ۵ به تفکیک در حوزه اثر گذار مستقیم آلودگی و حوزه آبریز سد ابوالفارس برآورد و وضعیت آنها در شکل‌های (۳ و ۴) مشاهده می‌شود.

به منظور کنترل مجدد نتیجه استفاده از روش شاخص کارلسون، شرایط تغذیه گرایی مخزن براساس شاخص والن وایدر برحسب زمان ماند، عمق متوسط و بار فسفر ورودی به مخزن مورد بررسی قرار می‌گیرد (۲ و ۵).

احتمال بروز پدیده لایه بندی حرارتی با استفاده از شاخص فرود، شاخص زمان ماند آب و شاخص موقعیت جغرافیایی بررسی گردیده است. براساس نمودار ارائه شده توسط (Wetzel, 1975)، با توجه به مختصات جغرافیایی سد، امکان پیش بینی لایه بندی حرارتی با توجه به موقعیت جغرافیایی وجود دارد.

همچنین با استفاده از شاخص فرود، فرمول (۲) در حالت یک بعدی ارائه شده است (۴).

$$Fr = \frac{320 L \times Q}{d \times v} \quad \text{فرمول (۲)}$$

در فرمول (۲): Fr = عدد فرود، L = طول دریاچه سد (متر)، Q = دبی ورودی به مخزن (مترمکعب در ثانیه)، d = عمق متوسط مخزن (متر)، V = حجم مخزن (مترمکعب)

در روش اورلاب براساس عدد حاصله برای Fr سه حالت یا شدت مختلف برای پدیده لایه بندی حرارتی بدست خواهد آمد (جدول ۴)

جدول (۴): حالت‌های مختلف روش اورلاب

Table (4): Different modes of the overlap method

لایه بندی شدید	$Fr < \frac{1}{\pi}$	۱
لایه بندی ضعیف	$0.1 < Fr < 1$	۲
اختلاط کامل	$Fr > 1$	۳

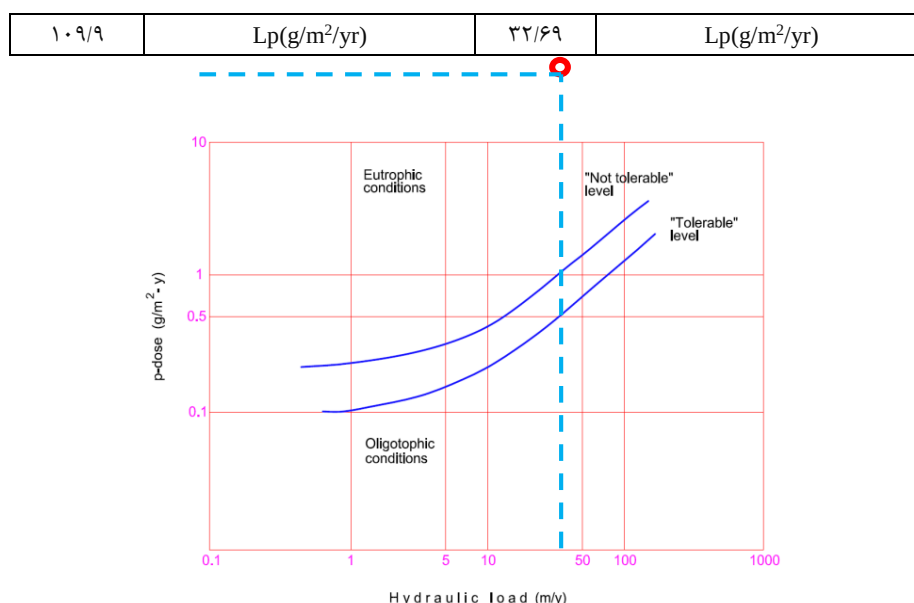
ref: Orlob, G.T., 1983.

در انتها نیز احتمال بروز لایه بندی حرارتی با شاخص زمان ماند مورد بررسی قرار گرفته که این شاخص طبق فرمول (۳) محاسبه می‌شود:

جدول (۵): پارامترهای مورد نیاز در استفاده از شاخص والن وایدر

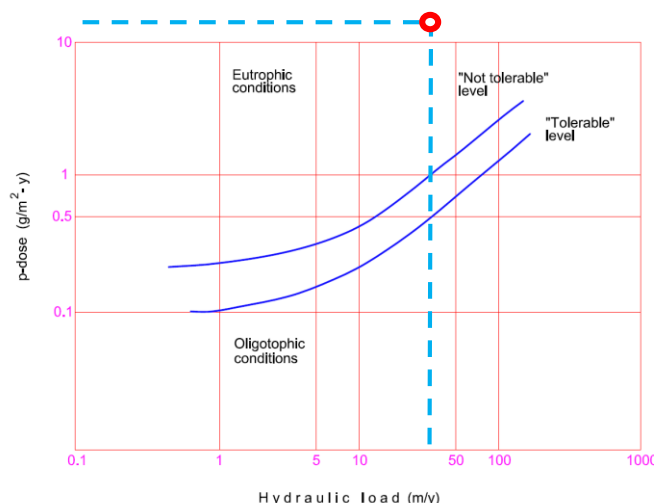
Table (5): Parameters required for using the Wallen-Wider index

حوزه اثرگذار مستقیم آلودگی		حوزه آبریز سد	
پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
عمق متوسط (m)	۱۳/۳	عمق متوسط (m)	۱۳/۳
زمان ماند (Year)	۰/۲۹	زمان ماند (Year)	۰/۲۹
H/t_w (m/yr)	۴۵/۸۶	H/t_w (m/yr)	۴۵/۸۶
بار فسفر کل (Kg/yr)	۶۲۵۳۵/۳۷	بار فسفر کل (Kg/yr)	۲۱۰۲۴۴/۷۵
مساحت مخزن (Km ²) در رقوم نرمال	۱/۹۱۳	مساحت مخزن (Km ²) در رقوم نرمال	۱/۹۱۳



شکل (۳): وضعیت تغذیه گرایي مخزن سد ابوالفارس براساس شاخص والن وایدنر (حوزه آبریز سد).

Figure (3): Nutrient status of the Abol Fares Dam reservoir based on the Wallenwider index (dam catchment area).

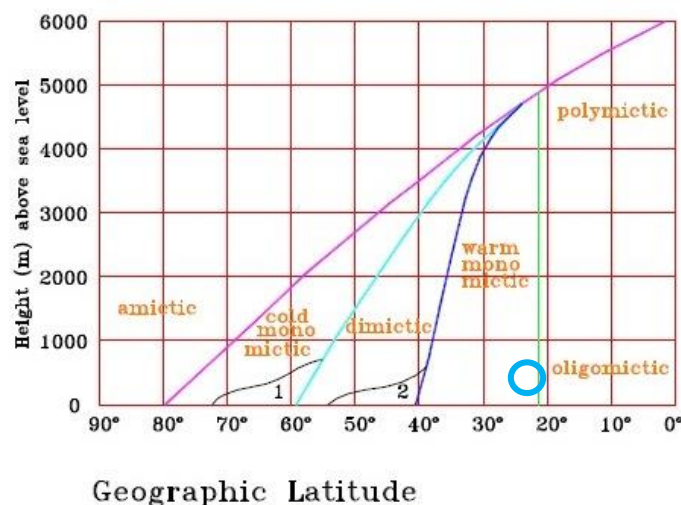


شکل (۴): وضعیت تغذیه گرایي مخزن سد ابوالفارس براساس شاخص والن وایدنر (حوضه اثرگذار مستقیم).

Figure (4): The eutrophication status of the Abol Fares Dam reservoir based on the Wallen-Wider index (directly affected basin).

آلاینده‌های انسانی (فاضلاب)، آلاینده‌های دامی و آلاینده‌های ناشی از کاربری اراضی، نسبت به حجم مخزن پذیرنده (کوچک بودن مخزن سد) بسیار بیشتر بوده و قطعاً با ورود آنها شرایط کیفی مخزن سد مناسب نخواهد بود. لازم به ذکر است محاسبات ارائه شده تجربی می‌باشند و برای مطالعه دقیق‌تر پدیده‌ها و شناخت اثرات آنها پیشنهاد می‌گردد، با استفاده از نتایج دقیق بدست آمده از کیفیت آب رودخانه، مطالعات شبیه سازی مغذی شدن به موازات شبیه سازی لایه‌بندی حرارتی انجام گیرد. احتمال بروز پدیده لایه‌بندی حرارتی مخزن سد براساس نمودار Wetzel، در شکل (۵) ارائه شده است.

چنانچه در نمودارهای فوق مشاهده می‌شود، شرایط کیفی آب مخزن سد ابوالفارس در دوران بهره برداری به سطح هیپریوتروفیک یا غیرقابل تحمل خواهد رسید. نکته قابل توجه آن است که میزان بار فسفر کل ورودی چه از سطح حوزه آبریز سد در نظر گرفته شود و چه از سطح محدوده اثرگذار مستقیم در نتیجه تفاوت چشمگیری حاصل نمی‌شود و در هر دو صورت کیفیت آب مخزن (خیلی بد) خواهد بود. از دلایل عمده ایجاد این شرایط برای مخزن سد ابوالفارس، می‌توان به میزان بالای بار آلودگی تولیدی نسبت به حجم و ابعاد کوچک مخزن سد اشاره نمود. در واقع حجم فسفر تولیدی ناشی از



شکل (۵): الگوی جانمایی حرارتی دریاچه‌ها و مخازن براساس عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا.

Figure (5): Thermal displacement pattern of lakes and reservoirs based on latitude and altitude above sea level.

لایه‌بندی حرارتی شدید وجود دارد، اما از آنجایی که پر بودن مخزن سد فقط در ماه‌های سرد سال اتفاق خواهد افتاد، پیش بینی می‌شود لایه‌بندی حرارتی با شدت کمتری رخ دهد. براساس شاخص زمان ماند و جاگذاری در فرمول زمان ماند آب در مخزن سد ابوالفارس، ۰/۲۹ سال (حدود ۳ ماه) خواهد بود که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$tw = 0.29 \xrightarrow{91.5} tw = \underline{26.2}$$

$$\frac{1}{tw} = \frac{1}{0.29} = 3.44$$

براساس شاخص عکس زمان ماند، در صورتیکه عکس زمان ماند کمتر از ۱۰ باشد، لایه‌بندی در مخزن ایجاد خواهد شد. این شاخص در سد ابوالفارس براساس فرمول به میزان ۳/۴۴ محاسبه می‌شود؛ لذا احتمال بروز پدیده لایه‌بندی حرارتی وجود خواهد داشت.

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس اعداد و ارقام به دست آمده از روابط و با توجه به معیارهای ارائه شده در مجموع می‌توان به نکات زیر توجه نمود:

- جهت تعیین وضعیت لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی مخازن سدها، در مراحل اولیه مطالعات، علاوه بر استفاده از مدل‌های پیچیده که نیازمند حجم بالای اطلاعات جهت شبیه سازی هستند می‌توان از معادلات تجربی استفاده کرد که به حداقل داده‌های موجود قادر به پیش بینی نسبتاً دقیق وضعیت لایه‌بندی حرارتی و تغذیه گرایی مخزن سد

براساس شکل (۵) مخزن در تک گردشی گرم قرار دارد. لذا ذکر این موضوع ضروری است که در مخازن در شرایط monomictic گردش آب یک بار در سال در پاییز و لایه‌بندی در تابستان رخ می‌دهد. مخازن مونومیکتیک دارای ویژگی‌های زیر می‌باشند:

۱- دمای آب در این مخازن هیچ گاه به کمتر از ۴ درجه سانتی گراد نمی‌رسد.

۲- در این رژیم حرارتی تنها یکبار در سال واژگونی رخ می‌دهد که دارای تناوب نسبتاً طولانی است.

۳- شروع فصل بهار شروع شکل‌گیری لایه‌بندی حرارتی در این نوع مخازن است به گونه‌ای که در اواسط تابستان تقریباً لایه‌بندی شدیدی در آن‌ها شکل می‌گیرد و تا پایان تابستان نیز ادامه دارد.

۴- این دریاچه‌ها بخش عمده‌ای از زمستان و اوایل بهار را در شرایط اختلاط کامل به سر می‌برند.

۵- دریاچه‌های واقع در عرض‌های جغرافیایی ۲۰ تا ۴۰ درجه (تقریباً تمام سدهای ایران) دارای چنین ویژگی می‌باشند.

با استفاده از شاخص فرود و جاگذاری اعداد در فرمول مربوطه میزان Fr برای مخزن سد ابوالفارس به شرح زیر به میزان ۰/۰۰۴ محاسبه می‌گردد:

$$Fr = 320 \frac{630 \times 2.9}{13.3 \times 91.5 \times 10^6} = 0.004$$

مقایسه نتیجه حاصله با حالت‌های مختلف روش اورلاب نشان می‌دهد که با فرض پر بودن مخزن سد، انتظار بروز پدیده

سد فقط در ماه‌های سرد سال اتفاق خواهد افتاد، پیش بینی می‌شود لایه‌بندی حرارتی با شدت کمتری رخ دهد.

۷- مقایسه نتایج به دست آمده با مطالعات مشابه در سد بافت نشان می‌دهد که در سد بافت بر اساس شاخص اورلاب و نمودار Wetzel احتمال بروز لایه‌بندی حرارتی وجود داشته که همانند سد ابوالفارس می‌باشد لیکن مخزن سد بافت بر طبق رابطه تجربی والن وایدر و کارلسون در شرایط مغذی قرار می‌گیرد در حالیکه مخزن سد ابوالفارس در شرایط هیپروتروفیک است. همچنین سد چغراخور نیز بر اساس شاخص اورلاب دارای لایه‌بندی شدید حرارتی می‌باشد که نمودار Wetzel و شاخص زمان ماند نیز این نتیجه را تایید می‌نماید که نتایج مشابه سد ابوالفارس می‌باشد. بررسی پدیده تغذیه گرایی در مخزن سد اکباتان نیز نشان داد که بیش از ۵۰ درصد از سطح ۲۲۰۰ هکتاری دریاچه در وضعیت هیپروتروفیک قرار دارد. سد بجماتی لهستان نیز با توجه به شاخص کارلسون در شرایط مغذی قرار دارد در حالیکه مخزن سد ابوالفارس در شرایط هیپروتروفیک است. همچنین بررسی پدیده تغذیه گرایی در سد گرلیست که در سال ۱۹۸۹ در صربستان ساخته شده است نشان می‌دهد که مخزن در دو سال اول پس از آبیگری در شرایط هیپروتروفیک، در هشت سال بعدی در شرایط یوتروفیک - هیپروتروفیک و پس از آن تا کنون در شرایط هیپروتروفیک قرار می‌گیرد.

۸- بطور کلی با توجه به شرایط محدوده مطالعاتی، روش‌های مدیریتی زیر می‌تواند در کاهش بار آلودگی حوضه نقش داشته باشد:

- با توجه به اینکه بیشترین کاربری اراضی در حوزه آبریز به ترتیب مربوط به مراتع (متراکم، نیمه متراکم و فقیر) می‌باشند، جلوگیری از تخریب بیشتر پوشش گیاهی مهمترین فاکتور کنترل فرسایش خاک و ورود رسوبات حامل آلاینده‌ها به مخزن سد می‌باشد. بنابراین اجرای برنامه‌های احیاء و مدیریت مراتع موثرترین راه حفظ پوشش گیاهی در سطح حوزه محسوب می‌شود.
- انجام مطالعات جامع آبخیزداری و اجرای برنامه‌های حفاظت خاک در سطح حوزه به ویژه در حوزه مشرف به مخزن سد با توجه به فرسایش پذیری زیاد حوزه.
- کنترل مصرف کود و سموم کشاورزی در اراضی کشاورزی واقع در سطح حوزه که البته از مساحت زیادی برخوردار نیستند.
- پاکتراشی محدوده مخزن قبل از آبیگری.

می‌باشند به این منظور کافی است که با برآورد میزان فسفر ورودی به مخزن بر اساس نمونه برداری‌ها و یا محاسبه میزان بار آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی، کشاورزی و دامداری و صنعتی و نیز توجه به مشخصات فیزیکی، هیدرولیکی مخزن، میانگین غلظت فسفر را با استفاده از روابط تجربی تعیین نمود.

۲- با استفاده از شاخص کارلسون مشخص گردید، با توجه به میزان فسفر ورودی به مخزن سد چه از حوضه اثرگذار مستقیم و چه از حوزه آبریز سد، مخزن سد ابوالفارس در مرحله هیپروتروفیک یا شرایط کیفی خیلی بد قرار می‌گیرد. دلیل عمده‌ای که در هر دو محدوده مورد بررسی، علیرغم شرایط مختلف از لحاظ مساحت، کاربری، تعداد جمعیت و ...، شرایط کیفی مخزن سد ابوالفارس (خیلی بد) پیش بینی می‌شود، کوچک بودن حجم مخزن نسبت به منابع آلاینده ورودی است که آن را بسیار آسیب پذیر می‌نماید.

۳- طبق رابطه تجربی والن وایدر شرایط کیفی آب مخزن سد ابوالفارس در دوران بهره برداری به سطح هیپروتروفیک یا غیرقابل تحمل خواهد رسید. نکته قابل توجه آن است که میزان بار فسفر کل ورودی چه از سطح حوزه آبریز سد در نظر گرفته شود و چه از سطح محدوده اثرگذار مستقیم در نتیجه تفاوت چشمگیری حاصل نمی‌شود و در هر دو صورت کیفیت آب مخزن (خیلی بد) خواهد بود. بدین ترتیب، نتیجه استفاده از این روش، نتیجه حاصله از روش شاخص کارلسون را تایید نموده و بر آن صحه می‌گذارد.

۴- از دلایل عمده ایجاد این شرایط برای مخزن سد ابوالفارس، می‌توان به میزان بالای بار آلودگی تولیدی نسبت به حجم و ابعاد کوچک مخزن سد اشاره نمود. در واقع حجم فسفر تولیدی ناشی از آلاینده‌های انسانی (فاضلاب)، آلاینده‌های دامی و آلاینده‌های ناشی از کاربری اراضی، نسبت به حجم مخزن پذیرنده (کوچک بودن مخزن سد) بسیار بیشتر بوده و قطعاً با ورود آنها شرایط کیفی مخزن سد مناسب نخواهد بود.

۵- با توجه به نمودار Wetzel، مخزن سد جزء مخازن مونومیکتیک (monomictic) گرم می‌باشد که لایه‌بندی در این مخازن تا اواخر تابستان ادامه دارد.

۶- شاخص اورلاب و شاخص زمان ماند نیز احتمال بروز لایه‌بندی شدید در مخزن سد ابوالفارس را تایید می‌نماید و با فرض پر بودن مخزن سد، انتظار بروز پدیده لایه‌بندی حرارتی شدید وجود دارد، اما از آنجایی که پر بودن مخزن

- Environmental Protection Agency. EPA 440/5-81-010, P. 25-36
- [6] Siemieniuk, A., Szykowska, J., Wiater, J., 2015. "Symptoms of Water Eutrophication In The Bachtamy Reservoir", Journal of Ecological Engineering, Volume16, Issue4, P. 89-95
- [7] Vidovic, M.M., Rodic, M.N, Vidovic, M.U, Trajkovic, I.S, Jovanic, S.Z, 2015. "Assessment of the Trophic status by Monitoring of Reservoir's Water Quality", Journal of Water Resources and Protection, 2015, 7, 1-13
- [8] Presidential Planning and Strategic Affairs Office, 2011, Publication No. 550, Guide to Water Quality Studies of Large Dam Reservoirs
- [9] Lar Consulting Engineers, 2015, Environmental Impact Assessment Studies of Abol Fares Reservoir Dam
- [10] Ebrahim et al., 2012, Investigation of the occurrence of thermal stratification and trophicity in the Baft Dam reservoir. National Conference on Water Flow and Pollution, University of Tehran
- [11] Riahipour et al., 2008, Investigation of thermal stratification and trophicity of the Choghar Khor Dam reservoir
- [12] Noormordadi et al., 2014, Monitoring the phenomenon of eutrophication in the Ekbatan reservoir lake using the Carlson enrichment index. Scientific Research Assembly of Ilam University of Medical Sciences.
- [13] Ebrahimpour et al., 2010, Investigating the trophic status of Lake Zaribar, Kurdistan, using the Carlson index and GIS system.
- انجام مطالعات مدل سازی کیفیت مخزن جهت تعیین وضعیت مخزن از لحاظ احتمال بروز پدیده های لایه بندی حرارتی و یوتروفیکاسیون که با استناد به نتایج آن می توان با طراحی صحیح دریچه های خروج آب و آبگیرها در ترازهای ارتفاعی مناسب اثرات سوء آن را به حداقل کاهش داد.
- تنظیم زمانی برنامه ریزی منابع آب و میزان رهاسازی آب با نیازهای آبی مختلف با زمان های بحرانی از لحاظ لایه بندی حرارتی و کیفی
- ۹- در انتها با توجه به نتایج حاصل از روابط و نمودارهای تجربی، مخزن سد ابوالفارس می تواند دچار پدیده لایه بندی حرارتی و تغذیه گرایی گردد که این عامل در کنار سایر عوامل اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی منجر به عدم تایید اجرای سد در مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی گردیده است.

منابع:

- [1] Carlson, R. E., A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography, 1977; 22: 361-9
- [2] Vollenweider. R. A., 1976, Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Mem. ISt.Ital. Idrobiol., 33: 53-83
- [3] WETZEL, R. G., Limnology, 1975.
- [4] Orlob, G. T., 1983. "Mathematical Modeling of Water Quality: Streams, Lakes and Reservoirs", International Institute for Applied Systems Analysis, University of California.
- [5] Vollenweider. R. A. and Kerekes J. J., 1980, Background and summary results of the OECD cooperative program on eutrophication, In: Proceeding of the International Symposium on Inland Waters and Lake Restoration U.S.