شبیه‌سازی عددی تغذیه‌گرایی در مخازن سدها با نرم‌افزار CE-QUAL-W2 (مطالعه‌ی موردی: سد بافت)

مهدی ابراهیمی*[۱]، احسان جباری[۲]، هادی عباسی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۸ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۱۵

چکیده

پدیده‌ی تغذیه‌گرایی، از مهمترین چالشهای کیفی آبهای ذخیره شده در مخازن سدها می‌باشد که اثرات نسبتاً نامطلوبی بر کیفیت آبهای خروجی از آبگیرها دارد. در این پژوهش، با کاربرد نرم‌افزار CE-QUAL-W2 در سه حالت کم‌آبی، بهنجار و پرآبی، شرایط کیفیت آب مخزن سد بافت از نظر تغییرات ماهانه فراسنج‌های فسفات و نیترات مورد ارزیابی قرار گرفت. اگرچه نتایج شبیه‌سازی نشان دهنده‌ی غلظت پایین فسفات و نیترات در مخزن سد بافت است، اما همین غلظت‌های پایین با توجه به شاخص‌های تغذیه‌گرایی مختلف (شاخص کارلسون و نمودار والن‌وایدر)، مخزن مذکور را در ناحیه‌ی مغذی قرار می‌دهد. هم‌چنین، از نظر غلظت نیترات، مخزن در ناحیه‌ی بینابینی قرار دارد. بنابراین، مخزن سد بافت، از جهت مصارف شرب و کشاورزی مشکلی ندارد. با این وجود، چاره‌اندیشی برای جلوگیری از ورود مخزن سد به ناحیه‌ی مغذی شدید که می‌تواند کیفیت آب را به شدت تحت تاثیر قرار دهد ضروری می‌باشد. با توجه به بروز اوج لایه‌بندی حرارتی در اواخر مرداد و اوایل شهریورماه و نیز شروع اختلاط مخزن در بهمن‌ماه، برای جلوگیری از ورود مخزن به ناحیه‌ی مغذی شدید می‌توان به راهکارهای مناسبی اشاره کرد که مهمترین آنها عبارتند از: کاهش زمان ماند آب در مخزن با تخلیه‌ی نسبتا سریع و آبگیری از لایه‌های تحتانی در اواخر مرداد و اوایل شهریورماه، آبگیری از لایه‌های تحتانی در اوایل دی‌ماه، جلوگیری از ورود فاضلاب‌های روستایی و زه‌آب‌های کشاورزی از بالادست مخزن سد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه‌گرایی، سد بافت، نرم‌افزار CE-QUAL-W2

[۱]- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی‌ارشد سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه قم
[۲]- استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه قم
[۳]- دانشجوی دکتری تکنولوژی محیط‌زیست دانشگاه گنت بلژیک
*- نویسنده‌ی مسئول: mahdi.ebrahimi@gmail.com

مقدمه

تغذیه‌گرایی مخازن سدها به عنوان یک موضوع جدی در سال ۱۹۷۰ مطرح شد. ورود مواد مغذی (ازت و فسفر) به مخازن سدها، باعث کاهش کیفیت آب و وقوع پدیده‌ی تغذیه‌گرایی می‌شود. تغذیه‌گرایی موجب رشد بی‌رویه‌ی گیاهان آبزی می‌گردد، تا حدی که کیفیت آب مخزن سد را کاهش داده و باعث کاهش حجم مفید مخزن می‌شود. همچنین، باعث تحمیل هزینه‌های سنگین برای بهسازی و بازیابی کیفی منابع آب به‌خصوص در تصفیه خانه‌ها خواهد شد. شدت تغذیه‌گرایی را نمی‌توان از یک روش واحد و بدون ابهام، اندازه‌گیری و یا استنتاج کرد. از مهمترین علائم تغذیه‌گرایی، رشد بی‌رویه جلبکها درکنار پیکره‌های آبی و در سطح آب (رولایه)، کاهش شفافیت آب، کاهش میزان اکسیژن محلول به ویژه در زیرلایه، کاهش ظرفیت مجاری انتقال آب، گرفتگی فیلترها در تصفیه‌خانه‌های آب، و سمی، بدبو و بدمزه شدن آب می‌باشد. عدم وجود نیتروژن و فسفر کافی در مخازن (به ترتیب محدودیت نیتروژن و فسفر) سبب می‌شود که مخازن عاری از جلبک باشد. چون این‌دو، جزء مواد مغذی قابل مهارکردن هستند؛ با مهارکردن آنها می‌توان مسأله تغذیه‌گرایی را مهار کرد. پیشرفتهای اخیر در زمینه‌ی مطالعات کیفیت آب مخازن سدها، باعث تدوین نرم‌افزارهای جامع مانند شبیه دوبعدی و آب‌پویایی CE-QUAL-W2 جهت بررسی تغذیه‌گرایی شده‌است. در این مقاله، با به‌کارگیری این نرم‌افزار، به این مهم پرداخته شده‌است. با در نظر گرفتن نمایشنامههای متفاوت کم‌آبی، بهنجار و پرآبی، به بررسی تغذیه‌گرایی در مخزن سد بافت با استفاده از نرم‌افزار CE-QUAL-W2 پرداخته شده‌است. نمودارهای رسم شده درخصوص تغذیه‌گرایی، برگرفته از خروجیهای نرم‌افزار مذکور بوده است و بازه‌ی زمانی آنها بین روزهای دهم تا بیستم هر ماه بوده، و مربوط به نزدیکترین المان به محور سد که محل قرارگیری آبگیرها است، می‌باشد. مطالعه‌ی لایه‌بندی حرارتی و شوری در مخزن سد بافت، قبلا به‌وسیله‌ی نویسندگان این مقاله انجام شده است. با توجه به زمان ماند بالای آب در این مخزن (حدود یک‌سال)، برای بهبود شرایط کیفیت آب می توان به راهکارهای مناسبی اشاره کرد که از آن جمله، کاهش زمان ماند آب در مخزن با تخلیه‌ی نسبتا سریع و آبگیری از لایه‌های تحتانی در اواخر مرداد و اوایل شهریورماه، و آبگیری از لایه‌های تحتانی در اوایل دی‌ماه (قبل از پخش مواد مغذی) می‌باشند(ابراهیمی و همکاران،۱۳۹۱).

هدف از تحقیق حاضر، رسیدن به اهداف ذیل می‌باشد:

۱- شبیه‌سازی وضعیت تغذیه‌گرایی مخزن سد بافت با توجه به غلظت فسفات

۲- شبیه‌سازی وضعیت تغذیه‌گرایی مخزن سد بافت با توجه به غلظت نیترات

۳- ارایه پیشنهادها، جهت بهبود وضعیت کیفی و تغذیه‌گرایی مخزن سد بافت، با توجه به مصارف شرب و کشاورزی.

مواد و روشها

سد مورد مطالعه

سد بافت که بر روی رودخانه‌ی بافت و به منظور تامین آب شرب و کشاورزی(با اولویت تامین آب شرب) منطقه‌ی مورد نظر احداث گردیده‌است، در۱۶۰ کیلومتری جنوب‌غربی کرمان (چهار کیلومتری شمال‌شرقی بافت) قرار دارد. میانگین حجم آب ورودی به این سد ۳۳/۲ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. سد بافت از نوع سنگریزه‌ای با هسته‌ی رسی و گنجایش ۴۰ میلیون متر مکعب طراحی و اجرا شده‌است که از سال ۱۳۸۷ جهت مصارف کشاورزی عملا مورد استفاده قرارگرفته‌است و پس از تکمیل تصفیه‌خانه‌ی بافت، به‌عنوان مصرف شرب نیز مورد استفاده قرار خواهدگرفت.

شبیه‌سازی تغذیه‌گرایی با نرم‌افزار CE-QUAL-W2

شبیه CE-QUAL-W2 نرم‌افزاری برای محاسبه‌ی خواص آب‌پویایی و کیفی آب در حالت دوبعدی که در جهت عرض میانگین گرفته شده‌است، می‌باشد. این نرم‌افزار برای مخازن، توسعه یافته‌است ولی می‌تواند برای رودخانه‌ها و خورها نیز به‌کار گرفته شود. این نرم‌افزار دوبعدی، توزیع قائم و طولی انرژی حرارتی، مواد شیمیایی و زیستی انتخاب شده را در پیکره‌ی آبی در طول زمان شبیه‌سازی می‌کند، و قابلیت ارزیابی آثار بهره‌برداری

مخزن بر فراسنجهای کیفی آب را دارا می‌باشد (گروه مهندسین ارتش آمریکا،۲۰۱۱).

سالهای کم‌آبی، بهنجار و پرآبی، با توجه به بده‌های درازمدت رودخانه‌ی بافت انتخاب شده‌اند (بیشترین بده رودخانه‌ی بافت با توجه به آمار دراز مدت ثبت شده برابر ۴/۳۶ مترمکعب بر ثانیه، کمترین آن ۰/۰۴ متر مکعب بر ثانیه و میانگین آن ۸۳/. متر مکعب بر ثانیه می باشند) (شرکت مهندسین مشاور آب نیرو، ۱۳۸۵). دوره‌ی شبیه‌سازی به‌گونه‌ای انتخاب شده است که شامل سالهای کم‌آبی، بهنجار و پرآبی باشد. لازم به‌ذکر است که، روی داده‌های مربوط به فسفات و نیترات رودخانه‌ی بافت در دوره‌ی شاخص (شبیه‌سازی)، بین نیترات و بده رودخانه‌ی بافت، و همچنین فسفات و بده رودخانه‌ی بافت، رابطه‌ی همبستگی خطی برقرار شده‌است که این روابط در ذیل آمده است.

$$N03 = 0.1111Q + 0.353 \quad (۱)$$

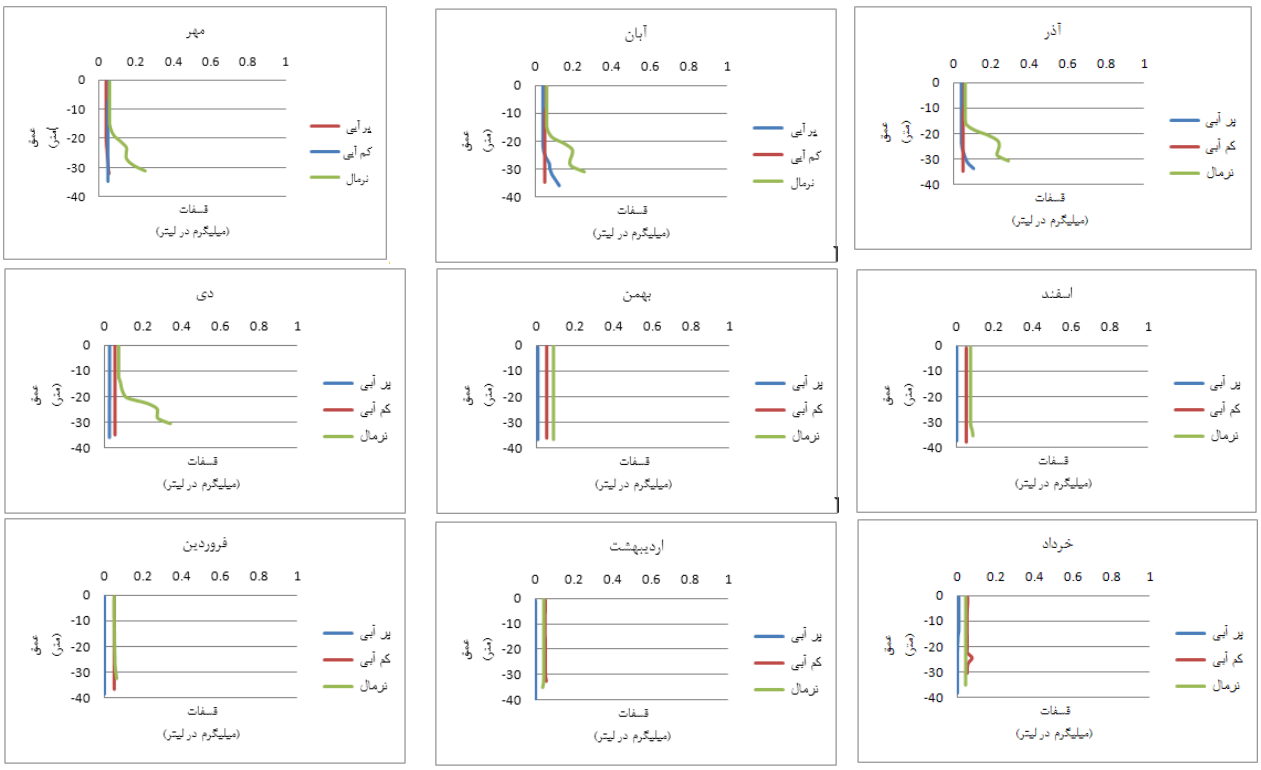
$$PO4 = -0.007288Q + 0.0486 \quad (۲)$$

در رابطه‌ی فوق، بده بر حسب مترمکعب بر ثانیه و فسفات و نیترات بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشند. همان‌طور که از روابط فوق استنباط می‌شود، با افزایش بده رودخانه‌ی بافت، نیترات افزایش می‌یابد. افزایش میزان نیترات همراه با افزایش بده رودخانه‌ی بافت، نشان‌دهنده‌ی وجود منشا آلودگی نیتراتی در بالادست این مخزن است، که نیازمند شناسایی عوامل موثر در بالادست مخزن می باشد.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به غلظت فسفات در مخزن سد بافت

در شکل یک، نتایج شبیه‌سازی فسفات در مجاورت محور سد بافت، برای سالهای متفاوت کم‌آبی، بهنجار و پرآبی آورده شده‌است. با توجه به شکل، مقدار فسفات (PO4) در مخزن سد بافت و در نمایشنامههای متفاوت کم‌آبی، بهنجار و پرآبی بین (۰/۰۶-۰/۰۵) میلی‌گرم در لیتر تغییر می‌کند. اگرچه مقدار آن در بعضی ماههای سال در زیرلایه به ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد؛ اما در مجموع، نوسان زیادی به لحاظ دامنه‌ی تغییرات آن مشاهده نمی‌شود. همچنین، مقادیر فسفات در سال پرآبی، کمتر از سالهای آبی دیگر است که قابل انتظار نیز می‌باشد. در ادامه، با توجه به معیارها و شاخصهای مختلف، به بررسی وضعیت تغذیه‌گرایی مخزن سد بافت در مجاورت محور آن می‌پردازیم.



شکل۱- نیمرخ تغییرات فسفات در مجاورت محور سد بافت در نمایشنامه‌های متفاوت

شاخص کارلسون

باتوجه به رابطه‌ی (۳)، این شاخص بر اساس غلظت فسفرکل محاسبه می‌شود (نشریه‌ی شماره‌ی ۵۵۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۹۰).

$$TSI(TP) = 10(6 - \frac{48}{TP \ln 2}) \quad (۳)$$

محدوده‌های این شاخص در جدول یک آمده است.

با توجه به روابط ارائه شده برای شاخص کارلسون و جاگذاری مقادیر فسفر کل داریم:

(۴)

$$TSI(TP) = 10\left(6 - \frac{48}{60 \ln 2}\right) = 48.46$$

بر اساس جدول یک، وضعیت تغذیه‌گرایی مخزن سد بافت، با توجه به غلظت فسفرکل، مغذی می‌باشد.

جدول۱- مقادیر شاخص کارلسون برای تعیین وضعیت تغذیه‌گرایی مخازن.

نوع مخزن	ساخص کارلوس(TSI)
شاداب	≤۲۵
بینابینی	۲۵-۴۵
مغذی	≤۴۵

نمودار والن‌وایدر

والن وایدر، شکل دو را برای تشخیص تغذیه‌گرایی مخازن سدها ارائه نموده است (والن‌وایدر، ۱۹۷۶).

در نمودار والن‌وایدر، H عمق متوسط مخزن، τ_w زمان ماند آب در مخزن و L_p بارگذاری فسفر در مخزن سد می‌باشد. مقدار $\frac{H}{\tau_w}$ که برابر با نسبت $\frac{Q}{A_s}$ می باشد در مخزن سد بافت برابر است با:

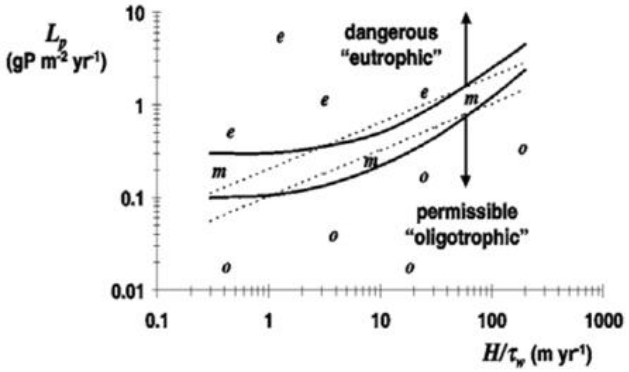
(۵)

$$\frac{Q}{A_s} = \frac{33.2 \times 10^6}{237 \times 10^4} = 14 \frac{m}{yr}$$

با توجه به اینکه غلظت فسفر کل در مخزن سد بافت برابر با ۶۰ میکروگرم بر لیتر، و بده متوسط سالانه‌ی ورودی به مخزن سد بافت برابر با ۳۳/۲ میلیون متر مکعب است، مقدار فسفر ورودی به مخزن سد بافت در سال برابر با ۱۹۹۲۰۰۰gr می‌باشد. بنابراین LP برابر است با:

$$LP = \frac{1992000}{237 \times 10^4} = 0.84 \frac{gp}{m^2 yr} \quad (۶)$$

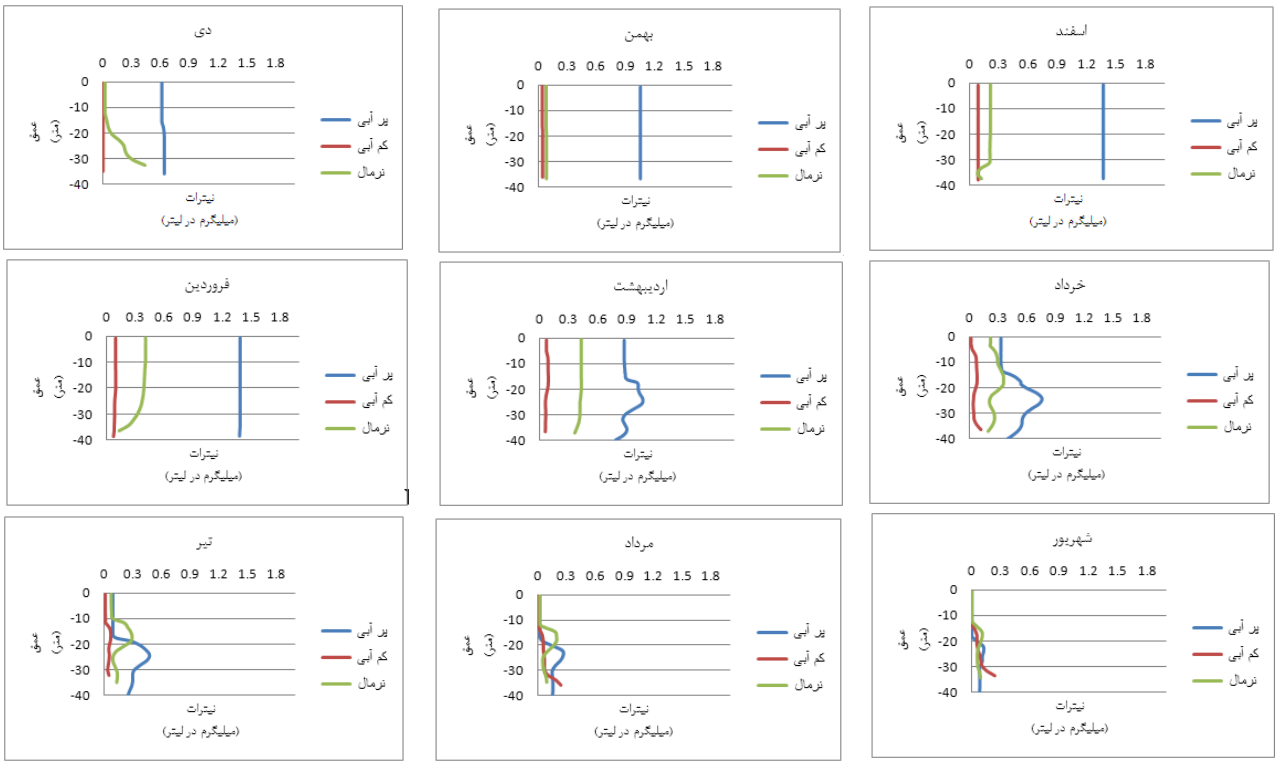
با توجه به نمودار والن وایدر، و مقادیر به‌دست آمده برای محورهای افقی و عمودی آن، وضعیت تغذیه‌گرایی مخزن سد بافت در ناحیه‌ی مغذی قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه موسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، حد مجاز فسفات در آب آشامیدنی را هفت میلی‌گرم بر لیتر تعیین کرده‌است؛ در حال حاضر آب مخزن مشکلی از نظر مصرف شرب ندارد.



شکل ۲ – نمودار والن‌وایدر برای تعیین وضعیت تغذیه‌گرایی مخازن سدها.

نتایج مربوط به غلظت نیترات در مخزن سد بافت

نتایج مربوط به غلظت نیترات در نمودار شکل سه ارائه شده است. با توجه به شکل، می‌توان وضعیت نیترات در مخزن سد بافت را به این صورت تشریح کرد که روند تغییرات نیترات (NO3) به عنوان یکی از شاخص‌های تغذیه‌گرایی مخزن، در ماههای متفاوت سال، و در نمایشنامه‌های متفاوت کم‌آبی، بهنجار و پرآبی، مشابه یکدیگر است. کمینه‌ی مقادیر آن برای ماه‌های مهر تا دی اتفاق می‌افتد که مقدار آن نزدیک به صفر است. از بهمن‌ماه، روند افزایشی به خود می‌گیرد (برای سال کم‌آبی برابر ۰/۰۴ میلی‌گرم بر لیتر، برای سال آبی بهنجار برابر ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر و برای پرآبی برابر یک میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد). مقدار نیترات در اسفندماه و فروردین‌ماه به بیشینه خود می‌رسد (برای سال کم‌آبی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر، برای سال آبی بهنجار ۰/۴۲ میلی‌گرم بر لیتر و برای سال پرآبی ۱/۴ میلی‌گرم بر لیتر). آنچه از مطالب فوق استنباط می‌شود، این است که در ماه‌هایی که بده رودخانه‌ی ورودی بیشتر است، غلظت نیترات نیز افزایش می‌یابد که با توجه به منطقه‌ی سد بافت می‌توان به ورود زه‌آب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های روستایی به رودخانه‌ی بافت اشاره کرد (شرکت مهندسین مشاور آب نیرو، ۱۳۸۵). اگرچه مخزن سد بافت در حال حاضر از نظر غلظت نیترات، برای مصرف شرب مشکلی ندارد (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران بیشینه مطلوب نیترات را برای مصرف شرب ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر تعیین کرده‌است)، اما با توجه به نتایج شبیه‌سازی، می‌توان مخزن را از نظر نیترات در گروه مخازن با تغذیه‌گرایی متوسط دسته‌بندی کرد، که درصورت عدم توجه به منشا آلودگی نیتراتی، در سال‌های آتی درگروه مخازن با تغذیه‌گرایی بالا قرار خواهدگرفت. در ادامه، معیار نورنبرگ برای تغذیه‌گرایی مخازن آورده شده‌است.



شکل ۳- نیمرخ تغییرات نیترات در مجاورت محور سد بافت در نمایشنامه‌های متفاوت.

شاخص تغذیه‌گرایی نورنبرگ

درجدول دو، سامانه‌ی پیشنهادی طبقه بندی وضعیت تغذیه‌گرایی نورنبرگ آمده‌است (نورنبرگ ،۱۹۹۶). با توجه به جدول فوق، می‌توان مخزن سد بافت را از نظر نیترات در گروه مخازن با تغذیه‌گرایی متوسط (ناحیه بینابینی) دسته‌بندی کرد. روند تغییرات نیترات در طول دوره‌ی شبیه‌سازی نشان می‌دهد که، دامنه‌ی تغییرات نیترات بین (۱/۴-۰) میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که در طول دوره (از کم‌آبی تا پرآبی)، روند افزایشی دارد. بنابراین، در صورت بروز سیلاب، مقادیر زیادی از نیترات از طریق رودخانه‌ی بافت وارد مخزن سد بافت خواهد شد. یکی از عوامل موثر در مهارکردن شدت تغذیه‌گرایی مخازن سدها، کنترل کاربری اراضی بالادست می‌باشد.

جدول۲- طبقه بندی وضعیت تغذیه‌گرایی نورنبرگ (میلیگرم بر لیتر).

وضعیت تغذیه‌گرایی	غلظت نیتروژن کل	غلظت فسفر کل
شاداب	$<$ ۰/۳۵	$<$ ۰/۰۱
بینابینی	۰/۳۵-۰/۶۵	۰/۰۱-۰/۰۳
مغذی	۰/۶۵-۱/۲	۰/۰۳-۰/۱
مغذی شدید	$>$ ۱/۲	$>$ ۰/۱

نتیجه‌گیری

۱- با توجه به غلظت (۰/۰۶- ۰/۰۵) میلی‌گرم بر لیتر فسفات در مخزن سد بافت و لحاظ کردن شاخص‌های کارلسون و نیز نمودار والن‌وایدر، مخزن سد بافت در گروه مخازن مغذی قرار می‌گیرد.

۲- مخزن سد بافت به لحاظ غلظت نیترات، دارای وضعیت تغذیه‌گرایی در ناحیه‌ی بینابینی است.

۳- روند تغییرات نیترات در مخزن سد بافت در نمایشنامه‌های آبی متفاوت و ماههای مختلف در دوره شبیه‌سازی، این حقیقت را نشان می‌دهد که در منطقه‌ی بالادست سد بافت، منشا آلودگی نیتراتی وجود دارد.

۴- با توجه به مقادیر مجاز اعلام شده از سوی موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران برای فسفات و نیترات، آب مخزن سد بافت در حال حاضر محدودیتی به لحاظ شرب و کشاورزی ندارد، اما دارای مشکل تغذیه‌گرایی می‌باشد.

۵- تخلیه‌ی آب از لایه‌های تحتانی در اواخر مرداد و اوایل شهریورماه توصیه می‌شود. همچنین، هوادهی آب خروجی از سد در این دوره، و تلاش برای برهم‌زدن لایه‌بندی حرارتی شدید ایجاد شده با استفاده از سامانه‌های هوادهی مصنوعی و پمپاژ آب از زیرلایه به رولایه، بنابر تشخیص مدیران و برنامه‌ریزان در محل سد مفید خواهد بود.

۶- با توجه به اینکه، عمل اختلاط موجب پخش مواد مغذی در مخزن، و کوتاهی عمر آن می‌شود، تخلیه‌ی آب از لایه‌های تحتانی قبل از شروع اختلاط، با توجه به شروع افزایش بده ورودی به مخزن توصیه می‌شود.

منابع

۱. ابراهیمی، م.، ا. جباری، و ه. عباسی. ۱۳۹۱. بررسی بروز لایه‌بندی حرارتی و تغذیه‌گرایی در مخزن سد بافت (بر اساس روابط تجربی). همایش ملی سنجش و شبیه‌سازی محیط. دانشگاه تهران.

۲. شرکت مهندسین مشاور آب نیرو. ۱۳۸۵. گزارش منابع آب پروژه سد بافت.

۳. شرکت مهندسین مشاور آب نیرو. ۱۳۸۵. مطالعات ارزیابی اثرات زیست‌محیطی پروژه سد بافت.

۴. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور. ۱۳۹۰. راهنمای مطالعات کیفیت آب مخازن سدهای بزرگ. نشریه‌ی شماره‌ی ۵۵۰.

5. Nurnberg, G.K.1996. Trophic state of clear and colored. Soft and hard water lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and Fish. Lake Reservoir Manage. 12: 432-447.
6. U.S. Army Corps of Engineers. 2011. CE-QUAL-W2 User Manual.
7. Vollenweider, R.A. 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in Lake Eutrophication. Mem. 1st. Ital. Idrobiol. 33: 53-83.