

بررسی قابلیت پیش‌بینی تغذیه‌گرایی پیکره‌های آبی با استفاده از روابط تجربی

داوود حسنلو^۱، محسن سعیدی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - محیط زیست، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه علم و صنعت، تهران

۲- استادیار گروه آب و محیط زیست، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه علم و صنعت، تهران

choke263@yahoo.com

خلاصه

پدیده تغذیه‌گرایی یکی از اثرات مضر زیست محیطی ورود مواد مغذی به پیکره‌های آبی و عامل کاهش کیفیت آب و ایجاد شرایط نامطلوب اکوسیستمی در رودخانه و دریاچه می‌باشد. پیشرفت‌های اخیر در علوم و ابزار محاسباتی به مدل‌سازان اجازه داده است تا مدل‌های جامع‌تر و پیچیده‌تر جهت پیش‌بینی وضعیت تغذیه‌گرایی پیکره‌های آبی توسعه دهند. متأسفانه پیشرفت‌های اخیر در امر مدل‌سازی این باور ناصحیح را القا کرده است که لزوماً مدل‌های پیچیده‌تر بر مدل‌های ساده‌تری مطلقاً دارند. در صورت بودجه و زمان نامحدود، مدل پیچیده‌تر و جامع‌تر قطعاً با قابلیت اطمینان بالاتری همراه خواهد بود لکن انجام مطالعات ساده و نسبتاً دقیق که نیاز به اطلاعات کمتری در مقایسه با مدل‌های پیچیده دارند، در فازهای اولیه این قبیل طرح‌ها می‌تواند بسیار مفید باشد. در این مقاله با بررسی حداقل اطلاعات مورد نیاز جهت پیش‌بینی سطح تغذیه‌گرایی یک پیکره آبی استفاده از معادلات تجربی جهت پیش‌بینی وضعیت تغذیه‌گرایی مخازن و دریاچه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور تعدادی از مخازن و دریاچه‌های نقاط مختلف دنیا جهت بررسی صحت و دقت معادلات تجربی مزبور مورد بررسی قرار گرفته‌اند. دقت نسبی معادلات تجربی فوق ماکسimum بر استفاده از این معادلات جهت پیش‌بینی وضعیت تغذیه‌گرایی یک پیکره آبی در فازهای اولیه مطالعات احداث و بهره‌برداری و پیش از انجام مدل‌سازی‌های زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد.

کلید واژه‌ها: تغذیه‌گرایی، مواد مغذی، معادلات تجربی، پیکره‌های آبی

۱- مقدمه

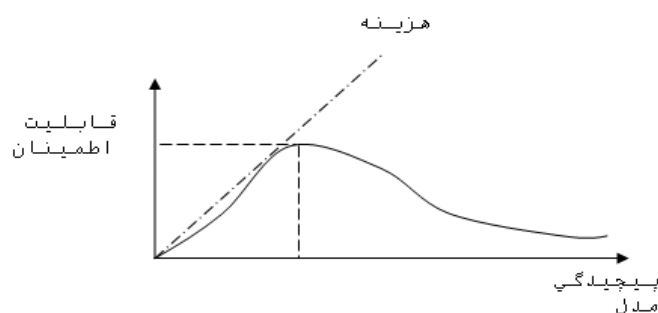
یکی از اثرات زیست محیطی ورود مواد مغذی (ازت و فسفر) به مخازن سدها و دریاچه‌ها، کاهش کیفیت آب و ایجاد اثرات نامطلوب اکوسیستمی در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها در اثر وقوع پدیده تغذیه‌گرایی می‌باشد. تغذیه‌گرایی به معنای رسیدن مواد مغذی به رسوبات و پیکره آب مخازن یا دریاچه‌ها و افزایش توان بیولوژیک یا باروری آنها می‌باشد. این موضوع باعث رشد بی‌رویه گیاهان آبی می‌گردد تا حدی که کیفیت آب مخزن را کاهش داده و اکوسیستم آبی و حیات جانداران را به مخاطره می‌اندازد. از مهم‌ترین علائم بروز تغذیه‌گرایی رشد بی‌رویه جلبک‌ها، گیاهان و علف‌ها در کنار پیکره آبی، رشد گیاهان و جلبک‌ها در سطح آب (روایه)، کاهش شفافیت و تغییر رنگ آب، کاهش میزان اکسیژن محلول و حتی حذف کامل آن از اعماق مخزن (زیرلایه) در فصول گرم می‌باشد. ایجاد نوسان در میزان pH و اکسیژن محلول، کاهش ظرفیت مجاری انتقال آب، گرفتگی فیلترها در تصفیه‌خانه‌های آب و سمی، بدبو و بی‌مزه شدن آب مخزن از دیگر مشکلات ناشی از پدیده تغذیه‌گرایی می‌باشد.

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - محیط زیست

^۲ - رئیس دفتر تحصیلات تکمیلی دانشکده عمران

یکی از مسائل مهم در مدیریت کیفی منابع آب، تعیین سطح تغذیه‌گرایی پیکره‌های آبی است. پیشرفتهای اخیر در علوم و ابزار محاسباتی به همراه تغییرات و تحولات جدید در مسائل زیست‌محیطی، به مدل سازان اجازه داده است تا مدل های جامعتر و پیچیده‌تری جهت پیش‌بینی وضعیت تغذیه‌گرایی پیکره‌های آبی توسعه دهند. از جمله این مدلها که در سالیان اخیر مورد استفاده زیادی داشته‌اند مدلهای CE-QUAL-W2 و HEC-5 را می‌توان نام برد که دارای پیچیدگی زیادی بوده و جهت پیش‌بینی تغذیه‌گرایی نیازمند به حجم اطلاعات بالایی می‌باشند. متأسفانه پیشرفتهای اخیر در امر مدل‌سازی این باور ناصحیح را القا کرده است که لزوماً مدل‌های پیچیده‌تر بر مدل‌های ساده برتری مطلق دارند. در انتخاب یک مدل کیفی‌آب باید تبادلی بین پیچیدگی مدل، قابلیت اطمینان لازم، هزینه عملیات و زمان در اختیار صورت پذیرد، می‌باشد. لذا استفاده از معادلات تجربی جهت پیش‌بینی وضعیت آبی تغذیه‌گرایی مخزن می‌تواند به عنوان گزینه‌ای مناسب مورد توجه قرار گیرد. تعیین پارامترهای شاخص تغذیه‌گرایی نظیر غلظت فسفر و نیتروژن کل در دریاچه، غلظت متوسط و حداکثر کلروفیل a و میزان جلبک خشک با استفاده از این معادلات نیازمند به حداقل داده‌های کیفی بوده و زمان و هزینه بسیار کمتری در مقایسه با مدل‌سازیهای پیچیده کامپیوتری را طلبد می‌نماید.

جهت پیش‌بینی وضعیت تغذیه‌گرایی مخازن، روشها و روابط تجربی متفاوتی که با انجام مطالعات متعدد بر روی دریاچه‌های نقاط مختلف دنیا استخراج گردیده نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آن جمله می‌توان به گراف Vollenweider and Kerekes [1] که با مطالعه بر روی ۴۹ دریاچه امریکا بدست آمده است اشاره نمود. در این گراف وضعیت غذایی یک پیکره آبی از روی بار فسفر ورودی و زمان ماند آب در دریاچه تعیین می‌گردد. Vollenweider [2] و Larsen and Mercier [3] با تعریف رابطه تعیین نرخ خالص حذف، Vollenweider and Kerekes [1] با ارائه فرمولی جهت تخمین غلظت فسفر در دریاچه با توجه به بار ورودی از رودخانه‌ها، Lorenzen [4] با ارائه روابطی جهت تخمین غلظت متوسط و حداکثر کلروفیل سالانه در مخزن با توجه به مشاهدات میدانی بر روی دریاچه‌ها و مخازن نقاط مختلف دنیا، اقدام به تعیین وضعیت تغذیه‌گرایی مخازن نموده‌اند. ایشان با استخراج پارامترهای فوق برای دریاچه‌های مورد بررسی از طریق جداول تجربی نسبت به پیش‌بینی وضعیت غذایی دریاچه‌های مورد مطالعه اقدام نمودند. در صورت بودجه و زمان نامحدود، مدل پیچیده‌تر و جامع‌تر قطعاً با قابلیت اطمینان بالاتری همراه خواهد بود. تهیه و تامین داده‌های گسترده‌تر جهت اجرای مدل‌های پیچیده مستلزم وجود بودجه و زمان بیشتر می‌باشد. در واقع با افزودن بر پیچیدگی مدل با لحاظ کردن پارامترها و معادلات بیشتر در مدل تامین بودجه و زمان بیشتر برای انجام مطالعات کافی آزمایشگاهی و میدانی باید مورد توجه قرار گیرد. در شکل (۱) قابلیت اطمینان مدل با توجه به سطح پیچیدگی آن نشان داده شده است و حد بهینه آن نیز مشخص شده است. همانطور که نشان داده شده، افزایش هزینه‌ها با بالا بردن سطح پیچیدگی مدل لزوماً به معنای رسیدن به قابلیت اطمینان بیشتر نمی‌باشد



شکل شماره ۱. رابطه بین پیچیدگی مدل و قابلیت اطمینان (5) Chapra

در بسیار از موارد یک تقریب کلی از وضعیت آینده تغذیه‌گرایی سیستم که نیازمند اطلاعات کمتر و در نتیجه زمان و بودجه محدودتری می‌باشد، می‌تواند راهگشای برنامه‌ریزیهای مطالعاتی و مدیریتی در آینده باشد. با توجه به مدولار بودن این قبیل مدلها استفاده از حداقل داده‌های مورد نیاز و تدوین الگوریتمهای ساده‌تر جهت شبیه‌سازی فرایند و رسیدن به دقتی قابل قبول می‌تواند به عنوان کارآمدترین راه حل مورد توجه قرار گیرد. به این ترتیب رسیدن به حد بهینه‌ای از هزینه و دقت که با سطح اطلاعات موجود سازگاری داشته باشد ممکن خواهد شد. در این مقاله با آگاهی از مشکلات جمع‌آوری و تکمیل داده‌های پایه مورد نیاز و همچنین با در نظر گرفتن سطح اطمینان مورد نیاز در فازهای اولیه مطالعاتی استفاده از روابط و گرافهای تجربی به عنوان روشی منطقی و نسبتاً دقیق جهت برآورد وضعیت تغذیه‌گرایی سیستم مورد بررسی و آزمون قرار گرفته است.

۲- مواد و روشها

استفاده از روابط تجربی جهت برآورد وضعیت تغذیه‌گرایی سیستم از روی میزان غلظت فسفر ورودی یا میزان غلظت آن در پیکره آبی و دیگر مشخصات دریاچه می‌تواند علیرغم وجود عدم قطعیت‌های ذکر شده، تقریب منطقی در سطح اطلاعات در دسترس و زمان محدود در مقایسه با مدل‌سازیهای پیچیده تغذیه‌گرایی ایجاد نماید. در ادامه، استفاده از روش‌های پیش‌بینی وضعیت تغذیه‌گرایی یک پیکره آبی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱- روابط تجربی

این روابط با توجه به اندازه‌گیریها و مشاهدات میدانی تعداد بسیار زیادی از مخازن و دریاچه‌ها در اقصی‌نقاط دنیا تدوین گشته و طی سالیان گذشته توسط محققین مختلف تکمیل و مورد استفاده قرار گرفته است. روابط فوق با این پیش فرض که در اغلب موارد این فسفر است که ماده غذایی محدودکننده تولیدات بیومس در آب می‌باشد، ارائه شده است. در عمده روشهای تجربی با اندازه‌گیری میزان فسفر ورودی به آب یا میزان فسفر پیکره آبی در حالت کاملاً آمیخته می‌توان تولیدات گیاهی و سطح تغذیه‌گرایی سیستم را ارزیابی نمود. مشخصات هیدرولیکی دریاچه جهت برآورد غلظت فسفر حالت آمیخته از روی غلظت ورودی به دریاچه و زمان ماند آن از پارامترهای اولیه مورد نیاز در این روابط می‌باشد. به این ترتیب پارامتر D تحت عنوان نرخ ترقیق یا Hydraulic flushing جهت منظور نمودن زمان ماند فسفر در دریاچه بصورت زیر تعریف شده است.

$$D = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

[2] Vollenweider و [3] Larsen and Mercier با تعریف نرخ خالص حذف (K)، در رابطه زیر پارامتر K را که تابعی از نرخ ترقیق (D) است را بیان نمودند.

$$K = \sqrt{D} \quad (2)$$

با انجام تحلیل‌های رگرسیونی بر روی ۸۷ دریاچه و بر اساس معادلات تعادل جرمی با در نظر گرفتن زمان ماند فسفر جهت یافتن غلظت کاملاً آمیخته فسفر در توده آب معادله زیر را براساس غلظت فسفر ورودی (PI) و نرخ ترقیق (D) پیشنهاد نمودند.

$$P = \frac{PI}{1 + \sqrt{D}} \quad (3)$$

این رابطه تخمین غلظت فسفر در مخزن با توجه به بار ورودی از رودخانه‌ها را ممکن می‌سازد. در بسیاری از دریاچه‌ها و مخازن در حال بهره‌برداری، غلظت فسفر با فرض اختلاط کامل کل دریاچه یا اختلاط کامل در سطوح فوقانی آن توسط اندازه‌گیری مستقیم تخمین زده شده و مقیاس عمل در تعیین وضعیت تغذیه‌گرایی سیستم می‌گردد. در بررسی وضعیت تغذیه‌گرایی یک پیکره آبی، روابط تخمین زنده تولیدات گیاهی و میزان جلبک در آب به منظور تخمین کیفیت آب از مهمترین پارامترها تلقی می‌شوند. در این زمینه روابط تجربی متفاوتی جهت تخمین مقادیر متوسط سالانه Chlorophyll a و Peak Chlorophyll a از روی میزان غلظت فسفر در حالت کاملاً آمیخته ارائه شده است.

[4] Lorenzen با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده از دریاچه‌های نقاط مختلف دنیا رابطه‌ای جهت تخمین غلظت میانگین و پیک کروفیل ($Chl a$) در دریاچه‌ها و مخازن پیشنهاد نمود که توسط [1] Vollenweider and Kerekes مورد بازنگری قرار گرفته و در نهایت روابط زیر را که در آن غلظت میانگین و پیک کروفیل تابعی از غلظت میانگین فسفر در دریاچه می‌باشد ارائه نمود.

$$Chla = 0.27.(p)^{0.99} \quad (4)$$

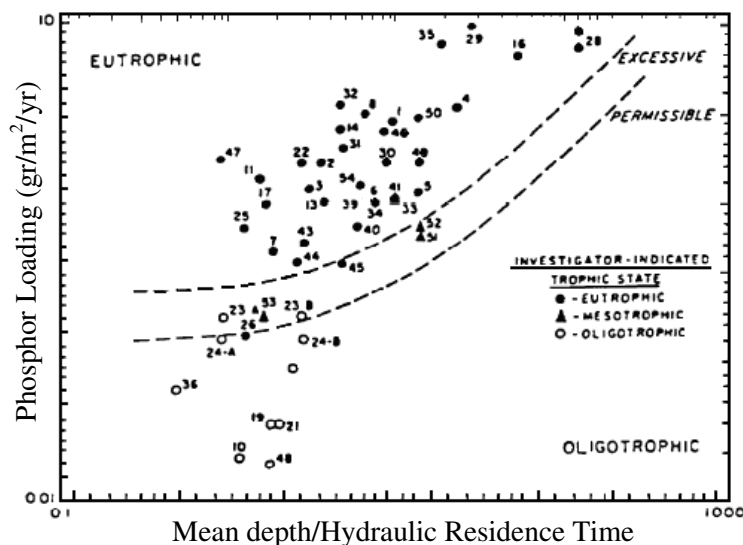
$$Peak.Chla = 0.58.(p)^{1.07} \quad (5)$$

بنابراین با تعیین غلظت فسفر در دریاچه طبق روابط فوق میزان تولیدات گیاهی ناشی از آن برآورد می‌گردد. به این ترتیب تنها با تعیین مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی دریاچه و میزان غلظت فسفر در دریاچه (P) یا غلظت فسفر جریانات ورودی (PI) با محاسبه مقادیر Chlorophyll a و Peak Chlorophyll a، وضعیت تغذیه‌گرایی پیکره آبی تعیین می‌گردد. اطلاعات فوق در فازهای اولیه مطالعات احداث مخازن و سدها با هزینه منطقی قابل حصول بوده و با تعیین آنها، وضعیت کلی تغذیه‌گرایی سیستم را تعیین خواهد نمود. در این مقاله سطح تغذیه‌گرایی ۹ دریاچه و مخزن مورد مطالعه با استفاده از جداول تجربی [1] Vollenweider and Kerekes، [6] Meybeck and R. Helmer, (1989)، [5] Chapra و براساس غلظت فسفر p ، $Chl a$ ، $Peak Chl a$ برآورد گردیده است. جهت تصدیق و بررسی صحت روابط تجربی فوق، پیش‌بینی‌های انجام شده با وضعیت تغذیه‌گرایی گزارش شده هر دریاچه مقایسه گردیده است.

۲-۲- گراف تجربی Vollenweider

[1] Vollenweider and Kerekes با استفاده از نتایج برنامه تحقیقاتی تغذیه‌گرایی OECD، نمودار تجربی زیر که با مطالعه بر روی ۴۹ دریاچه در

آمریکا حاصل شده است، جهت ارزیابی وضعیت تغذیه‌گرایی سیستم پیشنهاد نمود. با محاسبه دو پارامتر $\frac{MeanDepth}{Hydraulic\ Residual\ Time}$ و $Phosphor\ Loading$ طبق روابط زیر وضعیت تغذیه‌گرایی پیکره آبی را در یکی از سه حالت $Eutrophice$ ، $Oligotrophic$ ، $Mesotrophic$ و $Eutrophice$ از روی گراف فوق قابل تعیین است.



شکل شماره ۲- گراف تجربی (2) Vollenweider جهت تعیین وضعیت تغذیه‌گرایی سیستم

پارامترهای بکار رفته در محورهای عمودی و افقی این گراف *Phosphor Loading* و q_s عبارتند از:

$$q_s = \frac{\bar{Z}}{T_w} \quad (6)$$

$$Phosphor\ Loading = L_p = \bar{Z} \cdot P \cdot (K + D) \quad (7)$$

۳- نتایج

در این مقاله میزان دقت هر یک از معادلات فوق در پیش‌بینی وضعیت تغذیه‌گرایی سیستم با بررسی ۹ دریاچه در نقاط مختلف دنیا مورد بررسی قرار گرفته است. این دریاچه‌ها در ۴ قاره آفریقا، اروپا، آسیا و آمریکا و در طول و عرضهای جغرافیایی و اقلیم متفاوت واقع شده‌اند.

۱. **دریاچه Baikal**: این پیکره آبی در مرز ۳ کشور Tanzania-Uganda-Kenya واقع شده است. با توجه به مشخصات این دریاچه و غلظت فسفر اندازه‌گیری شده در آن طبق روابط تجربی حاکم پارامترهای تعیین‌کننده تغذیه‌گرایی به شرح زیر تعیین می‌گردد

جدول شماره ۱. وضعیت تغذیه‌گرایی دریاچه Baikal

پارامتر	Meybeck (1989)	Chapra(1997)	Vollenweider (1981)
P	فوق شاداب- شاداب	شاداب	شاداب
$Chl.\bar{a}_{mean}$	شاداب	شاداب	شاداب
$Chl.\bar{a}_{Peak}$	فوق شاداب- شاداب	-	شاداب

با توجه به پارامترهای محاسبه شده، گراف فوق وضعیت دریاچه را شاداب تخمین می‌زند. طبق منابع و مراجع وضعیت این دریاچه از نظر غذایی شاداب گزارش شده است و تصدیق‌کننده نتایج روابط و گراف تجربی فوق می‌باشد.

۲. **دریاچه Tanganyika**: این دریاچه در مرز سه کشور Malawi-Mozambique-Tanzania واقع شده است. با توجه به مشخصات آن برای پارامترهای شاخص محاسبه شده در جداول Meybeck, Chapra, Vollenweider و نیز پارامترهای گراف Vollenweider وضعیت دریاچه عبارتند از:

جدول شماره ۲. وضعیت تغذیه گرایبی دریاچه Tanganyika

پارامتر	Meybeck (1989)	Chapra(1997)	Vollenweider (1981)
P	فوق شاداب	شاداب	شاداب
$Chl.\bar{a}_{mean}$	فوق شاداب	شاداب	شاداب
$Chl.\bar{a}_{Peak}$	فوق شاداب	-	شاداب

همچنین با توجه به پارامترهای محاسبه شده، گراف فوق وضعیت دریاچه شاداب تخمین میزند. وضعیت گزارش از وضعیت تغذیه گرایبی این دریاچه نیز وضعیت آنرا شاداب بیان نموده است.

۳. دریاچه Malawi: این دریاچه در کشور ژاپن واقع شده است. با توجه به مشخصات آن برای پارامترهای شاخص محاسبه شده در جداول Meybeck، Chapra و Vollenweider و نیز پارامترهای گراف Vollenweider وضعیت دریاچه عبارتند از:

جدول شماره ۳. وضعیت تغذیه گرایبی دریاچه Malawi

پارامتر	Meybeck (1989)	Chapra(1997)	Vollenweider (1981)
P	شاداب	شاداب	شاداب
$Chl.\bar{a}_{mean}$	شاداب	شاداب	شاداب
$Chl.\bar{a}_{Peak}$	شاداب	-	شاداب

با توجه به پارامترهای محاسبه شده از گراف فوق وضعیت دریاچه شاداب تخمین زده شده است. وضعیت گزارش شده از این دریاچه در منابع نیز شاداب بوده و تصدیق کننده نتایج این معادلات میباشد.

۴. دریاچه Victoria: این دریاچه در مرز دو کشور Macedonia-Albania واقع شده است با توجه به مشخصات آن برای پارامترهای شاخص محاسبه شده در جداول Meybeck، Chapra و Vollenweider و نیز پارامترهای گراف Vollenweider وضعیت دریاچه عبارتند از:

جدول شماره ۴. وضعیت تغذیه گرایبی دریاچه Victoria

پارامتر	Meybeck (1989)	Chapra(1997)	Vollenweider (1981)
P	مغذی	مغذی	مغذی
$Chl.\bar{a}_{mean}$	مغذی	مغذی	مغذی
$Chl.\bar{a}_{Peak}$	مغذی	-	مغذی

با توجه به پارامترهای محاسبه شده، گراف فوق وضعیت دریاچه مغذی تخمین میزند. وضعیت گزارش شده از این دریاچه در منابع، تصدیق کننده نتایج معادلات فوق میباشد.

۵. دریاچه Titicaca: این دریاچه در مرز دو کشور Peru-Bolivia واقع شده است. با توجه به مشخصات آن برای پارامترهای شاخص محاسبه شده در جداول Meybeck، Chapra و Vollenweider و نیز پارامترهای گراف Vollenweider وضعیت دریاچه عبارتند از:

جدول شماره ۴. وضعیت تغذیه گرایبی دریاچه Titicaca

پارامتر	Meybeck (1989)	Chapra(1997)	Vollenweider (1981)
P	بینابین	مغذی	بینابین
$Chl.\bar{a}_{mean}$	بینابین	بینابین	بینابین
$Chl.\bar{a}_{Peak}$	بینابین	-	بینابین

با توجه به پارامترهای محاسبه شده، گراف فوق وضعیت دریاچه بینابین-شاداب تخمین میزند. مشاهده می شود طبق استانداردهای سخت گیرانه فسفر در جدول Chapra(1997) وضعیت دریاچه بر اساس این پارامتر مغذی تشخیص داده شده اما برای این پارامتر در دیگر جداول وضعیت بینابین گزارش شده است. وضعیت گزارش شده از این دریاچه در منابع، حالت بینابین میباشد که تصدیق کننده نتایج فوق می باشد.

۶- **دریاچه Biwa**: این دریاچه در مرز کشورهای Zambia-Burundi-Tanzania واقع شده است. با توجه به مشخصات آن برای پارامترهای شاخص محاسبه شده در جداول Meybeck, Chapra و Vollenweider و نیز پارامترهای گراف Vollenweider وضعیت دریاچه عبارتند از:

جدول شماره ۴. وضعیت تغذیه گرای دریاچه Biwa

پارامتر	Meybeck (1989)	Chapra(1997)	Vollenweider (1981)
P	شاداب	شاداب	شاداب
$Chl.\bar{a}_{mean}$	شاداب	شاداب	شاداب
$Chl.\bar{a}_{Peak}$	شاداب	-	شاداب

با توجه به پارامترهای محاسبه شده، گراف فوق وضعیت دریاچه شاداب تخمین میزند. وضعیت تغذیه گرای دریاچه از این دریاچه در منابع نیز شاداب می باشد.

۷- **دریاچه Ohrid**: این دریاچه در روسیه واقع شده است. با توجه به مشخصات آن برای پارامترهای شاخص محاسبه شده در جداول Meybeck, Chapra و Vollenweider و نیز پارامترهای گراف Vollenweider وضعیت دریاچه عبارتند از:

جدول شماره ۴. وضعیت تغذیه گرای دریاچه Ohrid

پارامتر	Meybeck (1989)	Chapra(1997)	Vollenweider (1981)
P	فوق شاداب	شاداب	شاداب
$Chl.\bar{a}_{mean}$	فوق شاداب	شاداب	شاداب
$Chl.\bar{a}_{Peak}$	فوق شاداب	-	شاداب

با توجه به پارامترهای محاسبه شده، گراف فوق وضعیت دریاچه شاداب تخمین میزند. وضعیت گزارش شده از این دریاچه در منابع نیز وضعیت شاداب دریاچه را تصدیق می کند.

۸- **دریاچه Aker**: این دریاچه در نروژ واقع شده است. با توجه به مشخصات آن برای پارامترهای شاخص محاسبه شده در جداول Meybeck, Chapra و Vollenweider و نیز پارامترهای گراف Vollenweider وضعیت دریاچه عبارتند از:

جدول شماره ۴. وضعیت تغذیه گرای دریاچه Aker

پارامتر	Meybeck (1989)	Chapra(1997)	Vollenweider (1981)
P	مغذی	مغذی	مغذی-بینابین
$Chl.\bar{a}_{mean}$	فوق مغذی	مغذی	مغذی
$Chl.\bar{a}_{Peak}$	مغذی	-	مغذی

با توجه به پارامترهای محاسبه شده، گراف فوق وضعیت دریاچه مغذی تخمین میزند. منابع نیز وضعیت دریاچه را مغذی گزارش نموده اند که آن تصدیق کننده نتایج معادلات فوق می باشد.

۹. دریاچه Froyland : این دریاچه در نروژ قرار داشته با توجه به مشخصات آن برای پارمترهای شاخص محاسبه شده در جداول Meybeck, Chapra و Vollenweider و نیز پارمترهای گراف Vollenweider وضعیت دریاچه عبارتند از:

جدول شماره ۴. وضعیت تغذیه‌گرایی دریاچه Froyland

پارامتر	Meybeck (1989)	Chapra (1997)	Vollenweider (1981)
P	مغذی-بینابین	مغذی	مغذی-بینابین
$Chl.\bar{a}_{mean}$	مغذی	مغذی	مغذی
$Chl.\bar{a}_{Peak}$	مغذی	-	مغذی-بینابین

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

مدیریت پدیده تغذیه‌گرایی جز با شبیه‌سازی مخزن و پیش‌بینی وضعیت تغذیه‌گرایی آن از روی بار مواد مغذی ورودی ممکن نخواهد بود. مدل‌های متعددی که در این زمینه توسعه داده شده‌اند لیکن این مدل‌ها علیرغم حجم بالای اطلاعات مورد نیاز و مدل‌سازی دقیق وضعیت هیدرودینامیکی و کیفی دریاچه، به دلیل عدم قطعیت‌های موجود در پیش‌بینی وضعیت تغذیه‌گرایی دریاچه نتایجی با تقریب‌های بالا حاصل خواهند نمود. اما معادلات تجربی، با استفاده از حداقل داده‌های موجود قادر به پیش‌بینی نسبتاً دقیق وضعیت تغذیه‌گرایی سیستم بوده و می‌توانند بعنوان ابزاری کارآمد جهت پیش‌بینی سطح تغذیه‌گرایی دریاچه در مراحل مقدماتی مطالعات بکار روند. با برآورد میزان غلظت فسفر ورودی به مخزن براساس نمونه‌گیری‌های محدود و با توجه مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی مخزن، میزان غلظت کلروفیل در دریاچه یا توان بیولوژیک توده آب از روی معادلات تجربی تعیین می‌گردد. در نظر گرفتن پارامترهای فوق تقریب نسبتاً دقیق از وضعیت تغذیه‌گرایی سیستم براساس حداقل اطلاعات موجود را در مدت زمان محدود ممکن خواهد ساخت. بنابراین، استفاده از روابط تجربی در فازهای اولیه مطالعات جهت پیش‌بینی وضعیت تغذیه‌گرایی مخازن سدهای در دست احداث توصیه می‌گردد.

۴- مراجع

- [1] Vollenweider, R.A. and Kerekes, J.J. (1981). Background and summary results of the OECD cooperative program on eutrophication. In: restoration of lakes and inland waters. EPA/440/5-81-010. p. 25-36..
- [2] Vollenweider, R.A. (1976). Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Mem. Inst. Ital. Idrobiol. Bott. Marco de Marchi, 33:53-83.
- [3] Larsen, D.P., And H.T. Mercier. (1976). Phosphorus Retention Capacity Of Lakes. J. Fish. Res. Board Can. 33:1731-1750.
- [4] Lorenzen, H.U. (1978). Phosphorus Models and Eutrophication. In press.
- [5] Chapra S. C. (1997). Surface Water Quality Modeling, McGraw-Hill, New York.
- [6] Meybeck, M. and R. Helmer, (1989). The quality of rivers: from pristine stage to global pollution, Global and Planetary Change 1: 283-309.