Bookan Dam Reservoir Quality Simulation

Amin Sarang, Granuate Student in Hydraulic Structures, S.U.T
Masoud Tajrishy, Asst, Professor, Department of Civil Engineering, S.U.T
Ahmad Abrishamchi, Assoc, Professor, Department of Civil Engineering, S.U.T

Abstract

Processes and phenomena of reservoirs deeply effect up and downstream environments. Recently, bad taste and odor have causesed much problems for the people of saqez city in kurdestan. The objective of this paper is to present the results of field investigations of the reserroir water quality. Water quality parameters such as temperature (T), dissolved oxygen concentration (DO), total dissolved solids (TDS), clectrical conductivity (EC), biochemical oxygen demand (BOD), organic-N, total phosphorus, secchi depth and pH were measured for three consecutive months in the summer of 1379 (July, August and September of 2000). The results, with the help of HEC5-Q model, were used to calibrate and validate the daily simulation of water quality parameters for one year.

شبیه‌سازی کیفی مخزن سد بوکان

امین سارنگ*　　مسعود تجریشی**　　احمد ابریشم‌چی***

چکیده

ایجاد مخزن اثرات ژرف و عمیقی در محیط زیست بالادست و پایین‌دست رودخانه دارد. برخی از این اثرات ناشی از فرایندها و پدیده‌های خاص داخل مخزن می‌باشد. شناخت این پدیده‌ها کمک مؤثری به کارشناسان و مدیران در پیش‌بینی و پیشگیری مسائل محیط زیست آبی مرتبط با سدها می‌نماید.

طبق مطالعات صورت گرفته، به دلایل گوناگونی از جمله ضعف در انجام مطالعات و پایش جامع زیست محیطی سدها در مراحل مختلف احداث سد (از طراحی تا بهره‌برداری و حتی بعد از پایان عمر آن)، تعداد زیادی از سدهای کشور (از جمله ۱۵ خرداد، لتیان، میناب و ...) دچار مشکلات عدیده زیست محیطی چون شوری، تغذیه‌گرایی[1]، گندیدگی آب و .... می‌باشند. مخزن سد بوکان بر روی رودخانه زرینه‌رود در استان کردستان نیز از جمله مخازنی است که به دلیل ورود مداوم فاضلاب شهر سقز دچار معضل زیست‌محیطی از نوع تغذیه‌گرایی می‌باشد. طبق مطالعات صورت گرفته، این مخزن در شرایط گذار از حالت **Oligotrophic** به **Eutrophic** (به عبارتی **Mesotrophic**) به سر می‌برد که عدم توجه به روند کنونی ورود آلاینده‌ها به مخزن این سد، تسریع تخریب کیفیت آب آن را به دنبال خواهد داشت. در حال حاضر در برخی از ماههای سال (عمدتا"اردیبهشت) تأثیر فرایندهای تغذیه‌گرایی به صورت ایجاد بو و تغییر رنگ در آب شرب شهر سقز، مشکلاتی را برای مردم این شهر ایجاد نموده که لازم است برای مطالعه جامع این مسأله و یافتن راه‌حل‌هایی برای کاهش یا رفع کامل تخریب کیفیت آب این مخزن، اقدامات جدی صورت پذیرد.

با توجه به اهمیت موضوع، نگارندگان طی مطالعات میدانی خود در مخزن سد مزبور با سنجش پارامترهای کیفی چون دما، **DO**، **TDS** و **EC**، BOD_5، نیتروژن، فسفر، عمق سکی **(Secchi)** و **pH** ...، در سه نوبت (سه ماه متوالی) در تابستان ۱۳۷۹، وضعیت کیفی موجود مخزن را تحلیل کرده و از نتایج آن برای تعمیق شبیه‌سازی روزانه لایه‌بندی حرارتی و کیفی (به مدت یکسال) به کمک مدل **HEC5-Q** و واسنجی و اعتبار سنجی مدل استفاده کرده‌اند.

کلمات کلیدی : ۱- سد بوکان، ۲- تغذیه گرایی، ۳- لایه‌بندی، ٤- مدل HEC5-Q، ٥- شبیه‌سازی کیفی، ٦- مخزن

مقدمه

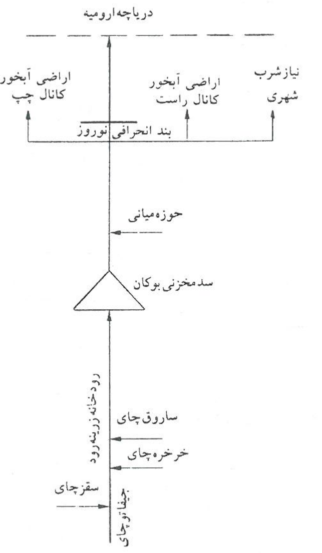
به دلیل نبود دیدگاه جامع‌نگر و مبتنی بر توسعه پایدار در کشور و بالتبع آن خلاءهای قانونی، نبود نهادهای تخصصی کافی، نبود استانداردهای مطالعات زیست‌محیطی منطبق بر وضعیت کشور، در اولویت نبودن یا عدم شناخت از اهمیت مطالعات زیست‌محیطی در نزد مدیران و کارشناسان و ...، همه این عوامل دست به دست هم داده تا علاوه بر کمبود آب، بحران کیفی آب نیز دامنگیر مردم اقصی نقاط کشور شده یا به زودی خواهد شد. مؤید این مطلب، نگاهی به آمار موجود می‌باشد، به طوری که از ۲۹ سد ساخته شده تا سال ۱۳۷٤، ٦ سد در محل ورودی خود دارای TDS بیش از ۱۰۰۰mg/L (حد مجاز شرب زیر ٥۰۰mg/L) می‌باشند، همچنین در سدهای منجیل، وشمگیر، عرب سورنگ و صوفی شیخ، مسأله رسوب کارایی آنها را به شدت پایین آورده است. سدهایی چون لتیان، میناب، پیشین، درودزن، قیر، کوار، کرج، بوکان و ... نیز از مسائل متعددی چون تغذیه‌گرایی و گندیدگی آب رنج می‌برند. این تنها نمایی است از مخازنی که مشکل کیفی خود را با آثار و عوارض بیرونی نشان داده‌اند و لذا می‌توان انتظار داشت تعداد کثیری از مخازن دیگر موجود در کشور علی‌رغم پتانسیل بالقوه تخریب کیفیت آب در خود، تاکنون عارضه‌های آن را نشان نداده‌اند. با علم به شرایط ویژه حاکم بر سدهای کشور، به نظر می‌رسد پرداختن به مطالعه مسائل زیست‌محیطی سدها در اسرع وقت ، می‌تواند راهکارهای مناسبی برای کمک به تصمیم‌گیران در پیش‌بینی و پیشگیری از تخریب و زوال حداقل آب‌هایی که با صرف هزینه‌های هنگفت ذخیره و تأمین شده‌اند، را ارائه نماید[٤ و ۱].

۲-آشنایی با سد بوکان

سد مخزنی بوکان (نام‌های دیگر این سد، شهید کاظمی و زرینه‌رود) بر روی رودخانه زرینه‌رود در استان کردستان واقع است. عملیات ساختمانی آن توسط پیمانکاران خارجی، در مردادماه سال ۱۳٤٦ آغاز و در فروردین‌ماه سال ۱۳٥۰ خاتمه یافت. سد بوکان در حوزه آبریز زرینه‌رود در شمال غرب کشور، در مختصات جغرافیایی۳۲ دقیقه و ۳٦ درجه عرض شمالی و در ۸٥ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان میاندوآب و در ۳٦ کیلومتری شرق شهر بوکان و ۲٦ کیلومتری شرق شهر سقز قرار گرفته است. آب خروجی از سد، در پشت بند انحرافی نوروزلو در ۷۰ کیلومتری پایین‌دست سد آرام گرفته و توزیع می‌گردد. بهره‌برداری از سد مزبور در حال حاضر توسط سازمان آب آذربایجان غربی انجام می‌شود. مشخصات سرشاخه‌های این رودخانه به ترتیب اهمیت در جدول ۱ ذکر شده است. همچنین شکل ۱ بیانگر پیکربندی سیستم می‌باشد.

جدول ۱: مشخصات سرشاخه‌های ورودی به مخزن سد بوکان

نام سرشاخه	مساحت حوزه(km^2)	درصد مساحت نسبت به کل	سرچشمه رودخانه
ساروق چای	۲۳٦۲	۳٤/۳	دامنه کوه بلقیس در شمال شرق زرینه رود(ارتفاع قله ۳۳۳۲ متر) [بلندی‌های تکاب]
خرخره چای	۱۷٥۲	۲٥/٤	دامنه شمالی کوه چهل چشمه (ارتفاع ۳۱۷۱ متر)
جیغاتوچای	۱٦۱٦	۲۳/٥	دامنه شمالی کوههای قره الیاس (ارتفاع قله ۲۷۹۸ متر)
سقز چای	۱۱٥۹	۱٦/۸	دامنه شمالی کوه وازنه و دامنه جنوبی کوه هواره برزن [بلندی‌های بانه]
مجموع	٦۸۹۰	۱۰۰	



شکل ۱: پیکربندی مجموعه سیستم منابع آب حوزه آبریز رودخانه زرینه‌رود

---

* دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

** استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

*** دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

[1] Eutrophication

۲-۱- مطالعات میدانی کیفیت آب مخزن سد بوکان

۲-۱-۱- انتخاب پارامترهای مهم کیفی

با توجه به تعدد انواع پارامترهای کیفی قابل سنجش و از طرفی هزینه زیاد نمونه‌گیری و آزمایش، انتخاب درست پارامترهای مهم بر اساس شرایط زمانی از مهمترین نکات و مسائل هر مطالعه میدانی زیست‌محیطی آبی است.

در طی سالیان گذشته، به دلیل نبود سیستم جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب مناسب برای شهر سقز با جمعیتی حدود ۱۵۰ هزار نفر که در ۲۶ کیلومتری غرب این سد واقع است، فاضلاب شهر مستقیماً" از طریق چم سقز، وارد مخزن بوکان شده است. علاوه بر این مواد آلی، در کلیه زهابهای اراضی بالادست مخزن نیز که زیر کشت عمدتاً" گندم هستند، به همراه مواد مغذی شسته شده از خاک وارد این مخزن می‌شوند. به دلیل آورد سه سرشاخه مهم دیگر به مخزن این سد و با عنایت به این که مصرف‌کنندگان اصلی آب استحصالی از این مخزن در کیلومترها پایین‌تر از سد قرار داشته و در طی این فاصله هم مخزن اثر پالایشی و ترقیقی بر روی آب چم سقز داشته و هم آب خروجی از سد در رودخانه زرینه‌رود خود - پالایش شده، عملاً" مشکلی از بابت کیفیت در طی سال‌های اخیر از این سد احساس نشده است. اما از سال ۱۳۷۷ با بهره‌برداری کامل از تأسیسات آبگیری، انتقال و تأمین آب شرب در شهر سقز، مسأله مهم و آزاردهنده‌ای در زمان‌های خاصی از سال (در اواسط اردیبهشت بسیار شدید و در پاییز تا حدی کمتر) نمایان گشته است و مردم شهر از بو، رنگ و طعم آب توزیع شده رنج می‌برند که می‌تواند از آثار جانبی، پرغذایی این مخزن باشد که بدین صورت ظهور یافته است.

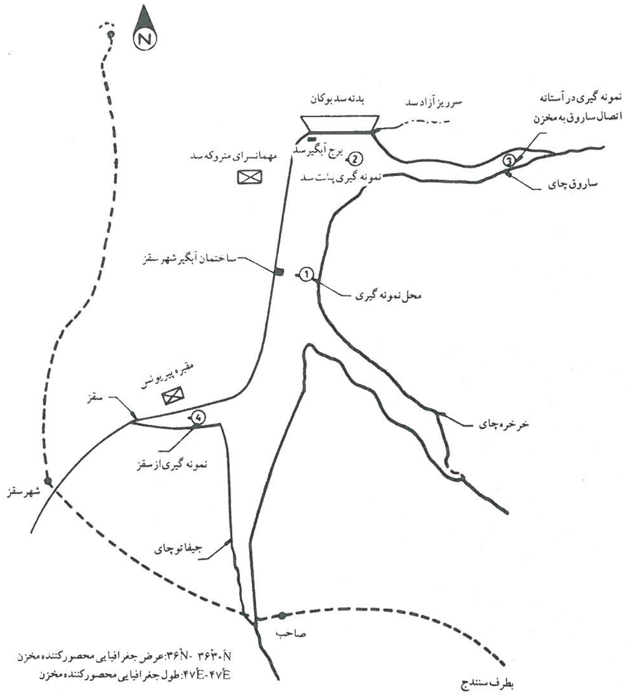
با عنایت به شرایط یاد شده و با توجه به این که بررسی اکولوژیکی سیستم مخزن و مطالعات لیمنولوژیکی دقیق آن در عین ضرورت، از یک طرف بسیار گران و هزینه‌بر و از طرفی به حداقل یک دوره یکساله کامل اندازه‌گیری اکثر پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مهم از جمله جلبک شناسی نیازمند است، لذا تنها پارامترهای مهم در این تحقیق در نظر گرفته شده و در مطالعات میدانی نیز در دستور کار قرار گرفت. این پارامترها عبارت بودند از اکسیژن محلول و دما. اما از آنجا که شبیه‌سازی اکسیژن محلول به تنهایی در مدل HEC5-Q عملی نیست (البته منطقی هم نیست) و حداقل به یک پارامتر اکسیژن خواه نیاز دارد، لذا به تناوب، اندازه‌گیری پارامترهای زوال پاینده‌ای چون نیترات، فسفر کل، ارتوفسفات، نیتروژن آلی، BOD، به همراه pH (بررسی قلیائیت آب) در برنامه مطالعات دیده شد. از طرفی تعیین شفافیت مخزن (عمق سکی) نیز برای واسنجی مدل شبیه‌سازی حرارتی - کیفی و مطالعه کلی میزان تغذیه‌گرایی سیستم برنامه‌ریزی و اجرا شد.

۲-۱-۲- برنامه مطالعات میدانی

با توجه به جمیع شرایط و محدودیت‌های حاکم بر این مطالعه، تصمیم بر آن شد که مطالعات طوری برنامه‌ریزی شود که لایه‌بندی تابستانه و حتی‌الامکان چرخش آن مشاهده گردد. لذا طی سه نوبت با فواصل یک ماهه از ابتدای مرداد ۷۹، نمونه‌برداری‌ها آغاز شد و به ترتیب در ۷۹/۵/۳، ۷۹/۵/۳۱ و ۷۹/۷/۴ مطالعات میدانی صورت گرفت.

نمونه‌برداری‌ها در چهار نقطه مخزن برنامه‌ریزی و عملی شد. این نقاط عبارت بودند از : ۱- مقابل ساختمان آبگیر شهر سقز (به علت این که این تأسیسات به اجبار و یا به اشتباه بسیار نزدیک به محل اتصال چم سقز به مخزن می‌باشد و طبیعتاً" می‌تواند نشانگر شرایط انتقالی سیستم از حالت رودخانه‌ای به دریاچه‌ای باشد و تغییرات طولی پارامترها را در مخزن نشان دهد و همچنین در ادامه مطالعات و به همراه یکسری اندازه‌گیری‌های تکمیلی دیگر از جمله سنجش فیتوپلانکتون‌ها، می‌تواند برای تشخیص عامل ایجاد بو در آب شرب شهر سقز و ارائه راه‌حل‌های کاهش یا حذف این مشکل مورد استفاده قرار گیرد)، ۲- پشت بدنه سد و مقابل مهمانسرای قدیمی سد بعد از محل اتصال رود ساروق به مخزن، ۳- محل ورودی (اتصال) ساروق به مخزن، ٤- محل اتصال چم سقز به مخزن در مقابل مقبره پیریونس (شکل ۲).

البته باید عنایت داشت که سال آبی ۷۹-۷۸ جزء دوره‌های خشک زرینه‌رود محسوب شده و به ویژه در



شکل ۲: نقاط نمونه‌برداری از مخزن سد بوکان

جدول ۲: داده‌های اندازه‌گیری میدانی در مخزن سد بوکان، مورخ ۷۹/۵/۳

T(air)	NO₃(mg/L)	PO₄(mg/L)	pH	TDS(mg/L)	EC(µs/cm)	DO(mg/L)	T°(C)	DEPTH(m)
۳۵	۰-۰/۵	۰/۰٤۹	۸/۵	۱۱٦/٦	۲۳۲	٦/۹	۲۷	۰
عمق سکی ۳۳۰(cm)	۰-۰/۵	۰/۰٤۵	۸/۲	۱۲۵/۱	۲٤۸	٦/٦	۲۷	۳
	۰-۰/۵	۰/۰٦	۸/۱	۱۲۹	۲۵۸	٦/۲	۲٦/۷	٦
	۰-۰/۵	–	۸	۱٤۳/۵	۲۸۵	۳/۳	۲۵/۳	۹
تراز سطح آب مخزن: ۱٤۱۱متر	۰-۰/۵	–	۷/۵	۱٤٤/۹	۲۸۹	۱/۹	۲۳/۱	۱۱
	۰-۰/۵	–	۷/۵	۱٤۸/۳	۲۹٦	۱/۵	۲۲/٦	۱۲
	۰-۰/۵	–	۷/۵	۱٤۸/۷	۲۹۸	۱/۱	۱۹/۷	۱۵
زمان اندازه‌گیری: ۱۳:۰۰-۱۱:۲۰	۰-۰/۵	۰/۰۹۲	۷/۵	۱۵۱/٦	۳۰۰	۱	۱۸/۱	۱۸
	۰-۰/۵	–	۷/۵	۱۵۱/٦	۳۰۰	۱	۱۸/۱	۲٤
	۰-۰/۵	۰/۱۳	۷/۵	۱۵۱/٦	۳۰۰	۰/٦	۱۸/۱	۲۵/۵

جدول ۳: داده‌های اندازه‌گیری میدانی در مخزن سد بوکان مورخ ۷۹/۵/۳۱

Tair(C)	BOD_5 (mg/L)	ORGANIC -N(mg/L)	Total-P (mg/L)	pH	TDS(mg/L)	EC(µs/cm)	DO(mg/L)	T°(C)	DEPTH (m)
۳٤				۸/۵	۱۲۸	۲۵۵	۲/۸٤	۲۵/٤	۰
عمق سکی ۱۹۰(cm)				۸/۵	۱۲۸	۲۵۵	۲/۷۵	۲۵/٤	۲
				۸/۵	۱۲۸/۱	۲۵۷	۲/۷۵	۲۵/٤	٤
	۱/۵	۱٦	۰/۰٤	۸	۱۲۸/۱	۲۵۷	۲/٦٤	۲۵/۲	٦
تراز سطح آب مخزن: ۱٤۰۷/۱۷متر				۸	۱۲۸/۱	۲۵۷	۲/٦۳	۲۵/۱	۸
		۱٤/٤	۰/۱۲	۸	۱۲۸/۱	۲۵۷	۲/٤۲	۲٤/۹	۱۰
				۷/۵	۰۲۹	۲۵۸	۲/۱۸	۲٤/۹	۱۱
				۷/۵	۱۳٦/٤	۲۷۳	۱/۱	۲٤/۱	۱٤
زمان اندازه‌گیری: ۱۲:٤۵-۱۱:۳۰	۱/۵	۱۵/۵	۰/۰٦	۷/۵	۱٤٦/۵	۲۹۳	۱	۲۲/٤	۱٦
				۷/۵	۱۵۱/۸	۳۰۱	۱/۰۲	۲۱/۲	۱۸
		۲۸	۰/۱۲	۷/۵	۱۵٦/۳	۳۱۲	۱/۰۲	۱۹/۷	۲۰
				۷/۵	۱۵٦/۳	۳۱۲	۰/٦۵	۱۹/٤	۲۲/۵

تابستان و در طی ماههای تیر تا مهر، کلیه سرشاخه‌های منتهی به مخزن خشک بوده و تنها در چم سقز، جریان غلیظ فاضلاب شهر سقز با سرعت اندک جریان داشته و ساروق نیز اندکی آورد داشته است. لذا به این دلایل صرفا" از اتصال این دو رودخانه به مخزن سد، نمونه‌برداری انجام شده است.

۲-۱-۳- نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی

به منظور پرهیز از اطاله کلام در ذیل به طور خلاصه اندازه‌گیری‌ها و سنجش‌های مخزن سد ذکر گردیده است.

الف – نمونه‌گیری مورخ ۷۹/۵/۳: نتایج این سنجش در جدول ۲ منعکس شده است.

ب – نمونه‌گیری مورخ ۷۹/۵/۳۱: در این برنامه نمونه‌گیری پارامترها تقریبا" همان پارامترهای قبلی بودند به جز این که NO_3^- و $PO_4^{=}$ جای خود را به فسفر کل، نیتروژن آلی و BOD_5 دادند. این سه جزء کیفی، در محل قابل اندازه‌گیری نبوده و کل نمونه‌ها به سنندج جهت آزمایش منقل شدند. نتایج این سنجش در جدول ۳ منعکس شده است.

ج – نمونه‌گیری مورخ ۷۹/۷/۴: نتایج این سنجش نیز در جدول ٤ انعکاس یافته است.

۲-۱-٤- تحلیل داده‌های میدانی

الف- لایه‌بندی در پشت بدنه سد (مخزن): تغییر پارامترهای مختلف در طی سه بار نمونه‌گیری در جدول ۵ و شکل ۳ منعکس شده است.

از جدول ۵ و شکل‌های مربوطه نتایج زیر استنباط می‌گردد:

۱- به دلیل آورد بسیار ناچیز رودخانه‌ها و از طرفی موقعیت زمانی نمونه‌گیری (در فصل تابستان بیشترین برداشت از آب برای تأمین نیاز آبی پایین‌دست به کشاورزی صورت می‌گیرد)، سطح مخزن افت شدیدی داشته است به طوری که تقریباً روزی ۱۰ سانتی‌متر سطح آب مخزن پایین آمده است.

جدول ٤: داده‌های اندازه‌گیری میدانی در مخزن سد بوکان، مورخ ۷۹/۷/٤

Tair(C)	BOD۵ (mg/L)	ORGANIC -N(mg/L)	Total-P (mg/L)	pH	TDS(mg/L)	EC(µs/cm)	DO(mg/L)	T°(C)	DEPTH (m)
۳۲				۸	۱۳٦	۲۷۳	۱/٦	۲۲	۰
عمق سکی ٤۲(cm)				–	۱۳٦	۲۷۳	–	۲۲/۷	۰/٤
				–	۱۳٦	۲۷۳	–	۲۲	۱/۵
	۲	۱۷/۵	۰/۰٤	۸	۱۳٦	۲۷۳	۱/۵	۲۲	۳
تراز سطح آب مخزن: ۱٤۰۵/۸۲متر				۷/۵	۱۳٦	۲۷۳	۱/۵	۲۲	٦
		۱۸/۸	۰/۰٤	۷/۵	۱۳۸	۲۷٦	۱/۵	۲۱/۹	۹
				۷/۵	۱۳۸	۲۷٦	۱/۵	۲۱/۷	۱۲
				۷/۵	۱۳۸	۲۷٦	۱/۵	۲۱/۷	۱۲
زمان اندازه‌گیری: ۱۳:۱۵-۱٤:۳۰				۷/۵	۱۳۸	۲۷٦	۱/۵	۲۱/٦	۱۵
	۱	۱٦/٦	۰/۱٤	۷/۵	۱۳۸	۲۷٦	۱/۵	۲۱/٦	۱۸
				۷/۵	۱٤۱	۲۸۳	۱/۵	۲۱/٦	۱۹/۱

جدول۵: مقایسه تطبیقی پارامترهای مختلف اندازه‌گیری شده در پشت بدنه سد بوکان (۷۹/۵/۳ تا ۷۹/۷/٤)

تغییر پارامترها زمان نمونه‌گیری	H (m)	ΔT ċ	T_0 ċ	T_{air} ċ	ΔDO $(\frac{mg}{L})$	ΔEC $(\frac{\mu s}{L})$	ΔTDS $(\frac{mg}{L})$	pH	EC_0 $(\frac{\mu s}{L})$	TDS_0 $(\frac{mg}{L})$	تراز سطح آب (m)	عمق رولایه (m)	عمق ترموکلاین (m)	عمق سکی (m)
۷۹/۵/۳	۲۵/۵	-۸/۹	۲۷	۳۵	-٦/۳	+۷۸	+۳۵	۸/۵-۷/۵	۲۳۲	۱۱٦/٦	۱٤۱۱	۸	۱۲	۳/۳
۷۹/۵/۳۱	۲۲/۵	-٦	۲۵/٤	۳٤	-۲/۲	+۵۷	+۲۸/۳	۸/۵-۷/۵	۲۵۵	۱۲۸	۱٤۰۸/۲	۱۲	۱۵/۵	۱/۹
۷۹/۷/٤	۱۹/۱	-۰/٤	۲۲	۳۲	-۰/۱٦	+۱۰	+۵	۸-۷/۵	۲۸۳	۱۳٦	۱٤۰۵/۸	۱۹	مخزن همگن	۱/۱

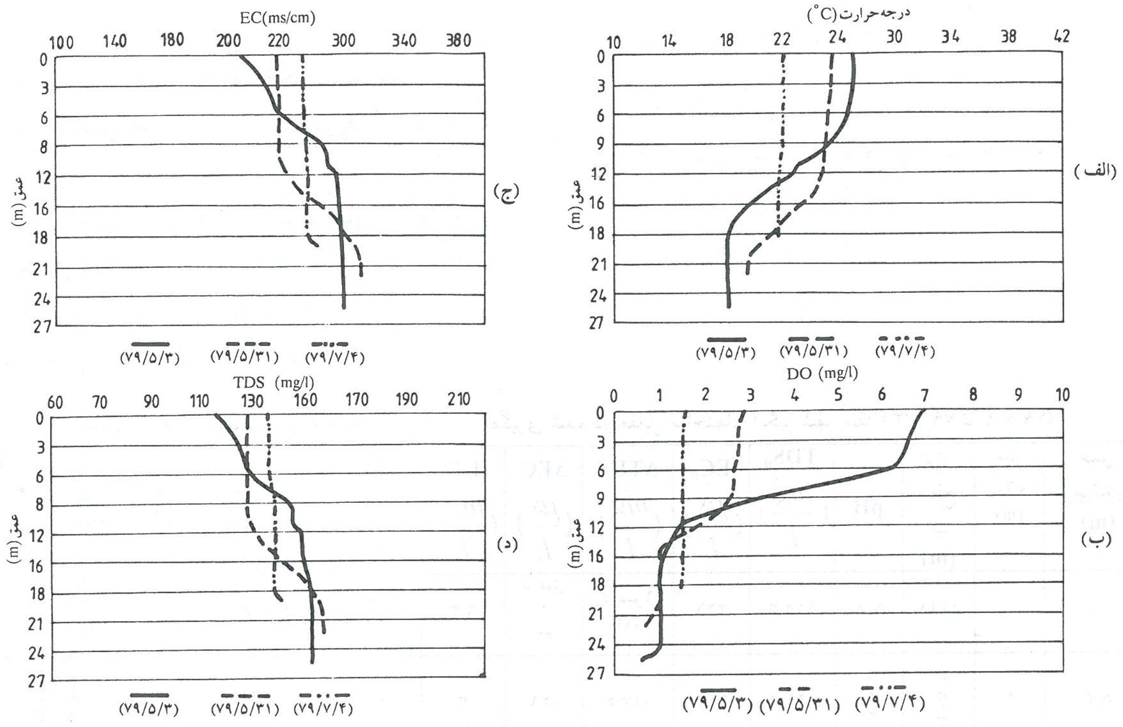
۲- خوشبختانه موقعیت زمانی سه نمونه‌گیری به گونه‌ای بوده است که روند کامل یک لایه‌بندی حرارتی از زمان شکل‌گیری پایدار تا زوال نسبی آن مشاهده می‌گردد. البته در روز ٤ مهر هنوز لایه‌بندی به طور کامل حذف نشده است، اما با روند مشاهده شده می‌توان انتظار داشت که حداکثر تا ۱۵-۱۰ مهر، واژگونی کامل رخ داده است.

۳- روند تغییر ساختار لایه‌بندی اکسیژن محلول نیز مشابه دما است.، اما از لحاظ مقدار و درصد تغییر، تا حدودی متفاوت است، مثلا" افت اکسیژن محلول سطح مخزن نسبت به شروع بازه در بازه اول ۵۵درصد و در بازه دوم ٤٤درصد می‌باشد، یا درصد تغییرات اختلاف اکسیژن در رولایه و زیر لایه، در بازه اول ٦۵ درصد و در بازه دوم ۹۳ درصد می‌باشد.

٤- ساختار لایه‌بندی اکسیژن محلول مشابه لایه‌بندی دمایی است. به عبارتی مانند دما، در رولایه همواره میزان اکسیژن محلول بیشتر از زیر لایه است. این وضعیت، با توجه به اثر اکسیژن خواهی کف مخزن، ته‌نشینی و سقوط جانداران مرده به زیر لایه که قبلاً در رو لایه و عمق تحت تأثیر نور زندگی می‌کردند، کمبود نور برای فعالیت‌های آبزیان در این لایه، اختلاط کم زیر لایه و ....، منطقی و قابل توجیه است [۲].

۵- افت اکسیژن محلول در طی سه نمونه‌گیری، ناشی از اختلاط مخزن و زوال لایه‌بندی حرارتی می‌باشد. چرا که با این اختلاط، مواد رسوبی کف، اجساد جانداران مرده و .... بالا آمده و در ستون آب قرار گرفته و به دنبال آن میزان اکسیژن‌خواهی در هر نقطه از ستون آب، افزایش می‌یابد. کاهش عمق سکی و شفافیت آب نیز مؤید این اختلاط است، چرا که به علت واژگونی مخزن، کدورت آب بر اثرپخش مواد و مصالح کف و مواد در حال ته‌نشینی افزایش یافته است.

٦- pH محیط در همه بازه‌های اندازه‌گیری، بالاتر از ۷/۵ بود و حداکثر ۸/۵ می‌رسد. به عبارتی محیط بازی



شکل ۳- مقایسه شهودی ساختار لایه‌بندی دما، شکل (الف) و اکسیژن محلول، شکل (ب)، EC شکل (ج) و TDS شکل (د) در پشت بدنه سد مخزن بوکان (۷۹/۵/۳ تا ۷۹/۷/٤)

است و این شرایط را، به سبب افزایش حلالیت CO_2، به فعالیت جلبک‌ها (فیتوپلانکتون‌ها) می‌توان منتسب نمود.

٧- روند افزایشی میزان EC و TDS سطحی را به مرور زمان می‌توان به تبخیر از سطح و عدم بارش در طول بازه‌های مورد بررسی، منتسب کرد.

٨- یک نکته مهم و جالب پیرامون کلیه لایه‌بندی‌ها در مخزن بوکان، عدم شکل‌گیری یک لایه‌بندی پایدار و قوی می‌باشد و همان طور که مشاهده می‌شود، حداکثر اختلاف دمایی ٨/٩°C (بازه اول) و حداکثر اختلاف DO، EC، TDS نیز به ترتیب در حدود ٦/٣ mg/L، ٧٨ µs/cm و ٣٥mg/L در همان برداشت اول می‌باشد که میزان زیادی نیست. در مخزن برخی از سدهای کشور گرادیان حرارتی به راحتی به ١٥°C تا ٢٠°C نیز می‌رسد، در صورتی که در بوکان به دلیل عمق کم آب و اقلیم نسبتا" معتدل در تابستان، این گرادیان به نظر می‌رسد زیاد نباشد.

٩- در هر سه نمونه‌گیری، اکسیژن محلول کف کمتر از ١/٥mg/L بوده که حاکی از وجود شرایط بی‌هوازی در تابستان می‌باشد. همچنین بوی تخم‌مرغ گندیده از نمونه آب در آخرین نقاط در لایه‌های زیرین مخزن در مطالعات میدانی مشاهده گردیده بود.

ب – لایه‌بندی در مقابل ساختمان آبگیر شهر سقز

جدول ٦، شرایط انواع لایه‌بندی‌ها را در مقابل ساختمان آبگیر انعکاس می‌دهد.

ج – وضعیت کیفی سرشاخه‌های سقز و ساروق در ورودی به مخزن سد بوکان

جداول ٧ و ٨ انعکاس دهنده شرایط حاکم بر چم سقز و ساروق چای در طی سنجش‌های میدانی است.

از جدول ٧، نتایج زیر را می‌توان استنباط نمود:

١- به علت کدورت آب ناشی از حمل رسوبات، وجود بار آلودگی زیاد به ویژه مواد معلق در این رودخانه و رشد جلبک‌ها، عمق سکی نسبت به مخزن افت شدیدی داشته است.

٢- روند تغییر اکسیژن محلول به صورت مشخص و قابل پیش‌بینی شده‌ای نیست، چرا که این پارامتر تابع میزان ورودی فاضلاب شهر و کیفیت آن می‌باشد که این موضوع نیز طبیعتا" نوساناتی دارد. البته زمان نمونه‌برداری نیز در این پدیده مهم است، چرا که اکسیژن محلول در این چم تا حدی متأثر از فعالیت جلبک‌ها و عمل فتوسنتز – تنفس آنها می‌باشد.

٣- EC و TDS روند رو به رشدی داشته‌اند به طوری که در بازه اول، TDS حدود ٢/٦ درصد نسبت به شروع بازه و در بازه دوم حدود ٦ درصد رشد داشته است.

٤- pH در این چم به نسبت مخزن، بالاتر بوده که دلیل آن را باید در میزان و فعالیت زیاد جلبک‌ها در این رودخانه سراسر آلوده جستجو کرد، چرا که عمل فتوسنتز و مصرف CO_2، آنهم در حدود ظهر که شدت تابش نور بالا است، افزایش قلیائیت محیط می‌باشد [٦].

٢-١-٥- بررسی یک بعدی بودن مخزن با مقایسه پارامترهای سنجش شده درپشت بدنه و مقابل آبگیر شهر سقز

به منظور درک بهتر از نتایج اندازه‌گیری صورت گرفته در پست بدنه سد و مقابل ساختمان آبگیر شهر سقز و بررسی میزان صحت فرض یک بعدی بودن لایه‌بندی‌های مختلف در مخزن، مطالعات لازم بر روی داده‌های جمع‌آوری شده انجام شد که طبق این بررسی‌ها مشخص گردید که تغییرات دما در طول مخزن و در یک عمق مشخص ناچیز بوده و بیش از ٥-٣ درصد مقدار پایه نخواهد بود، این روند برای پارامترهای کیفی دیگر به خصوص اکسیژن محلول بیشتر بوده است. لذا فرضیه یک بعدی بودن مخزن و ثابت بودن پارامترها در هر لایه از مخزن برای دما منطقی‌تر از دیگر مؤلفه‌های کیفی چون DO، BOD و ... می‌باشد.

جدول ٦- مقایسه تطبیقی پارامترهای مختلف اندازه‌گیری شده در مقابل ساختمان آبگیر شهر سقز (٧٩/٥/٣ تا ٧٩/٧/٤)

تغییر پارامترها زمان نمونه‌گیری	H (m)	ΔT ċ	T_0 ċ	T_{air} ċ	ΔDO ($\frac{mg}{L}$)	DO ($\frac{mg}{L}$)	ΔEC ($\frac{\mu s}{L}$)	ΔTDS ($\frac{mg}{L}$)	EC_0 ($\frac{\mu s}{L}$)	TDS_0 ($\frac{mg}{L}$)	pH	تراز سطح آب (m)	عمق رولایه (m)	عمق ترموکلاین (m)	عمق سکی (m)
٧٩/٥/٣	احتمالا" ١٥	تا عمق٦ -١/٢	٢٧/٥	٣٤/٥	تا عمق٦ -٢/٩	٦/٣	تا عمق ٦ ٢٦	تا عمق٦ +١١	٢٢٦	١١٥/٣	٧/٨	١٤١١	-	–	٢/١
٧٩/٥/٣١	١٢	-١/٦	٢٥/٨	٣٠	-٢/٣	٣	+٣٦	+١٧/٥	٢٤٢	١٢١/٥	٧/٨-٧/٥	١٤٠٨/٢	٦	٨/٥	١/٥
٧٩/٧/٤	٩/٥	-٠/٧	٢٢	٢٥/٧	-١/٥١	٢/٤٢	+٤	+٢/٥	٢٦٣	١٣١/٥	٨-٧/٥	١٤٠٥/٨	٩/٥	مخزن همگن	١

جدول ٧- مقایسه تطبیقی پارامترهای مختلف سنجش شده در چم سقز (٧٩/٥/٣ تا ٧٩/٧/٤)

تغییر پارامترها زمان نمونه‌گیری	T_0 ċ	T_{air} ċ	DO ($\frac{mg}{L}$)	EC_0 ($\frac{\mu s}{L}$)	TDS_0 ($\frac{mg}{L}$)	pH	عمق سکی (m)	مشاهدات
٧٩/٥/٣	٣٠/٦	٣٥/٧	٨/١	٢٢٨	١١٤/٢	٨/٥	٠/٥٥	کدورت زیاد آب – سطح آب در اثر ورود آلاینده‌های فاضلاب شهر کاملا" چرب و روغنی به نظر می‌رسید.
٧٩/٥/٣١	٢٩/٦	٣٦/٥	٥	٢٣٤	١١٧	٨/٨	٠/٤٢	کدورت زیاد آب – سطح آب در اثر ورود آلاینده‌های فاضلاب شهر کاملا" چرب و روغنی به نظر می‌رسید.
٧٩/٧/٤	٢٤/٧	٣١/٨	٥/٧	٢٤٨	١٢٤	٩/٢	٠/١	سبزینگی سطح آب به لحاظ شهودی بسیار زیاد شده بود و محل اتصال چم به مخزن نیز در اثر افت سطح آب پیشروی زیادی داشته و به پای آبگیر دشت لگزی رسیده بود.

جدول ٨- مقایسه تطبیقی پارامترهای مختلف سنجش شده در ساروق چای (٧٩/٥/٣ تا ٧٩/٧/٤)

تغییر پارامترها زمان نمونه‌گیری	T_0 ċ	T_{air} ċ	DO ($\frac{mg}{L}$)	EC_0 ($\frac{\mu s}{L}$)	TDS_0 ($\frac{mg}{L}$)	pH	عمق سکی (m)	مشاهدات
٧٩/٥/٣	٢٩/٥	٣٥/٧	٧/٧	٢٧٠	١٣٥	٨	٠/٣	مواد معلق بسیار زیاد و آب کاملا" به رنگ قهوه‌ای روشن مشابه خاک (عمق آب حدود ٢ متر)
٧٩/٥/٣١	٢٧/٦	٣٦	٢/٢٥	٢٨١	١٤١	٨	٠/٣٤	مواد معلق بسیار زیاد و آب کاملا" به رنگ قهوه‌ای روشن مشابه خاک
٧٩/٧/٤	٢٢/٧	٢٨/٥	٢/٣٧	٢٩٦	١٤٨	٨	٠/٢٦	مواد بسیار زیاد و آب کاملا" به رنگ قهوه‌ای روشن مشابه خاک

٣- شبیه‌سازی روزانه مخزن سد بوکان با مدل HEC5-Q

٣-١- تهیه و پردازش داده‌های ورودی به مدل HEC5-Q [٥]

کلیه اطلاعات مورد نیاز مدل از قبیل اطلاعات هیدرولیکی، اطلاعات بهره‌برداری از سد، اطلاعات اقلیمی (ایستگاه سینوپتیک سقز)، اطلاعات تشعشع موج کوتاه (ایستگاه ارومیه) تهیه و پردازش شد و معادلات مربوط به پیش‌بینی برخی از آنها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS استخراج گردید.

٣-٢- تحلیل حساسیت مدل HEC5-Q

تحلیل حساسیت پارامترهای مختلف مؤثر در مدل برای لایه‌بندی دما در ٤ زمان مختلف (اواسط هر فصل) انجام شده که به نتایج آن در ذیل اشاره شده است.

١- دمای آب جریان ورودی، تشعشع موج کوتاه و عمق سکی (و طبیعتا" بدنبال آن درصد و عمق جذب تشعشع) به ترتیب از با اهمیت‌ترین و مؤثرترین پارامترهای در شبیه‌سازی حرارتی مخزن می‌باشند [٧].

٢- به غیر از پارامترهای حجم جریان ورودی و ضریب جذب تشعشع سطحی (β) (آنهم در ٧٩/٥/١٥)، در بقیه موارد همواره اثر افزایش پارامترها بیشتر از کاهش آن (بدون لحاظ علامت) در ساختار لایه‌بندی حرارتی مشهود بوده است (به ویژه در زمانی که لایه‌بندی مخزن شکل گرفته است). این مشخصه به نحوه تغییرات منحنی دما – دانسیته مربوط می‌گردد [٣].

۳- به غیر از پارامترهای پروفیل اولیه دمایی و تا حدی پارامتر حجم جریان ورودی، با شکل‌گیری ساختار لایه‌بندی، حساسیت مدل به تغییر پارامترها مشهودتر و محسوس‌تر می‌گردد. در مورد تأثیر پروفیل اولیه با توجه به این که شبیه‌سازی از اول مهر ۷۸ انجام شده است که در آن مخزن همگن بوده، طبیعتا" مدتی زمان نیاز است تا مدل خطای مشهود کاربر را انتخاب پروفیل اولیه را با دیگر اطلاعات ورودی سازگار نماید. به عبارتی اگر شروع شبیه‌سازی مخزن از اول فروردین‌بود، باز هم در ساختار لایه‌بندی تا مدتی عدم سازگاری با واقعیت مشاهد می‌شد، که البته بعد از مدتی حذف می‌گشت.

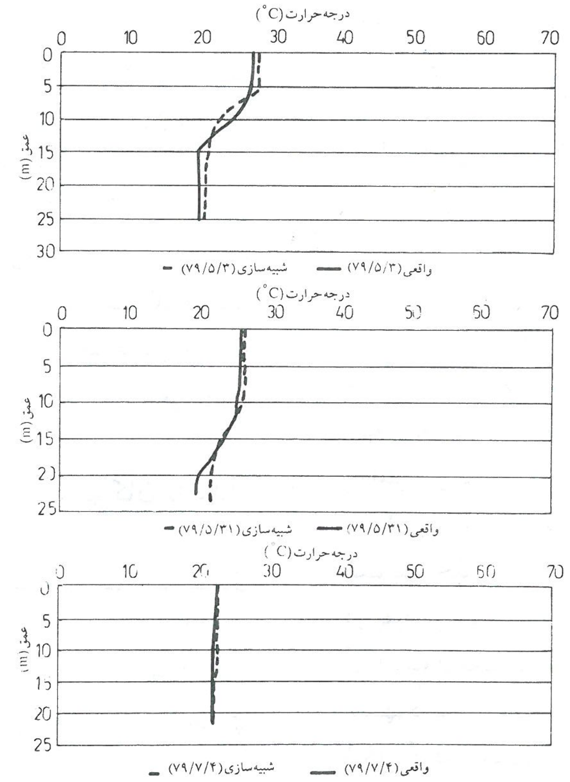
٤- به غیر از حالت تفکیک ورودی‌ها از طریق دو رودخانه و تا حدی برای پارامترهای حجم جریان ورودی و خروجی، در بقیه موارد با افزایش پارامتر، مقادیر مطلق ساختار لایه‌بندی ترقی کرده و با کاهش آن، کاهش یافته است.

۳-۳- واسنجی مدل HEC5-Q

با تشخیص پارامترهای مهم، تأثیرگذار و قابل تغییر و با هدف شبیه‌سازی یکساله دما، (۷۸/۷/۱ تا ۷۹/٦/۳۱) پارامترهای مزبور (عمدتا" عمق سکی و ضریب جذبی سطحی و ....) تغییر داده شد تا بتوان واسنجی مدل را به نحو مناسبی انجام داد.

۳-۳-۱- واسنجی حرارتی مخزن

با اجرای مدل تحت شرایط ذکر شده، پروفیل حرارتی مخزن در سه تاریخ مشابه مطالعات میدانی، بررسی و مقایسه شده که نتایج آن در شکل ٤ آمده است. آنچه که از نمودار یاد شده مشخص است، با نزدیک شدن به زمان واژگونی مخزن، نتایج مدل با مطالعات میدانی نزدیکی بسیار جالبی پیدا می‌کنند، از طرفی در روز ۷۹/۷/٤، لایه‌بندی در مدل به طور کامل از بین نرفته است (توجه شود که با توجه به شبیه‌سازی مخزن در بازه ۷۸/۷/۱ تا ۷۹/٦/۳۱ مقایسه شده، در هر حال می‌توان اظهار داشت که نتایج مدل با مشاهدات همخوانی بسیار خوبی داشته است). مقایسه سه پروفیل مشاهده‌ای و واقعی حاکی از این موضوع است که انرژی ذخیره شده در مخزن، برای مدل اندکی کمتر از واقعیت است که این مهم به تفاوت مقادیر واقعی تشعشع و دمای ورودی با مقادیر وارد شده به مدل بر می‌گردد. از طرفی با افزودن عمق سکی (بیش از ٤متر) و کاهش درصد جذب سطحی انرژی، دمای زیر لایه بیشتر شده و تفاوت نتایج مدل با واقعیت به خصوص در زیر لایه بارزتر و مشهودتر می‌گشت.

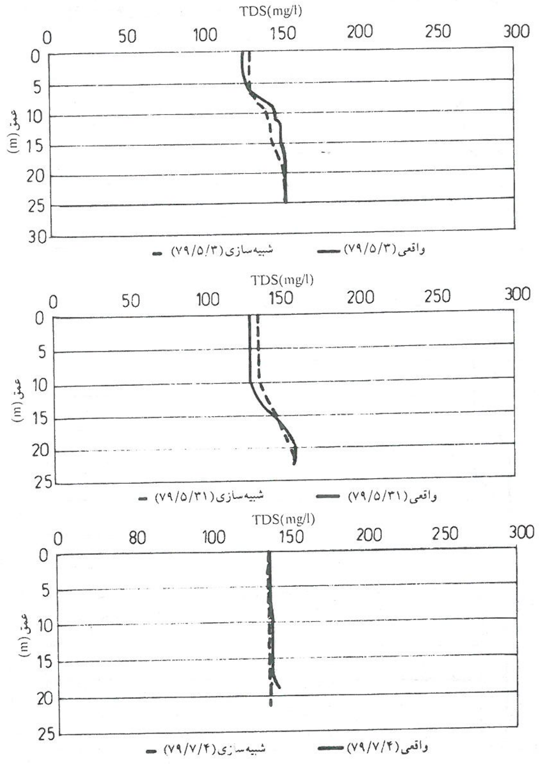


شکل ٤: مقایسه لایه‌بندی حرارتی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در مخزن سد بوکان

۳-۳-۲- واسنجی کیفی مخزن

بعد از انطباق خوب نتایج شبیه‌سازی حرارتی با مطالعات میدانی، شبیه‌سازی پارامترهای کیفی نیز انجام شد. دو پارامتر مهم کیفی که از این مرحله به بعد در مطالعات دیده می‌شود، اکسیژن محلول (DO) و کل مواد جامد معلق (TDS) می‌باشد. البته EC و TDS قرابت ویژه‌ای با هم دارند.

الف – TDS: این پارامتر یک جزء کیفی پایستار است که شبیه‌سازی آن نسبتا" راحت است و جزء پروفیل اولیه شوری مخزن و مقادیر این پارامتر در آورد رودخانه، مابقی پارامترهای مؤثر در آن مشابه دما است. با این وصف با فرض همگن بودن مخزن از نظر پروفیل شوری در شروع شبیه‌سازی (نتایج مطالعات میدانی، مؤید این فرض است)، این مقدار برابر نتایج مطالعات میدانی در تاریخ ۷۹/۷/٤ اختیار شده و شبیه‌سازی شوری نیز برای یکسال و به صورت روزانه در مخزن انجام شد. پروفیل حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر مشاهده‌ای در شکل ٥ مقایسه و تطبیق داده شده است.



شکل ٥- مقایسه لایه‌بندی TDS مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مخزن سد بوکان

ب – DO: در تشریح معادلات حاکم بر مدلسازی این پارامتر مشخص گردید که این پارامتر جزء مهمترین پارامترهای کیفی و در عین حال پیچیده‌ترین آنها است. که به منابع و مصارف بسیار متعددی چون فتوسنتز، تنفس ، اثر کف، هوادهی، اکسیژن خواهی شیمیایی و بیوشیمیایی و ... مرتبط می‌باشد. لذا شبیه‌سازی کامل این پارامتر به اطلاعات زیادی نیازمند است که غالبا" در اکوسیستم‌های آبی کشور نایاب یا کمیاب است. از طرفی مدل HEC5-Q برای شبیه‌سازی اکسیژن محلول دو گزینه دارد. گزینه اول با اختیار یک پارامتر غیر پایستار اکسیژن خواهی DO را شبیه‌سازی می‌کند و در گزینه دوم که گزینه جامع‌تر مدل مزبور محسوب می‌شود تحت عنوان " گزینه فیتوپلانکتون " با اختیار اطلاعاتی چون نرخ زوال آمونیاک، غلظت آمونیاک، نرخ فعالیت " فیتوپلانکتون‌ها " ضریب تفکیک نیتروژن از فیتوپلانکتون، نرخ رشد و غلظت فیتوپلانکتون، ضریب

تفکیک آمونیاک از نیتروژن در دسترس، نرخ تنفس فیتوپلانکتون‌ها، نرخ مرگ و میر، نرخ تولید یا پس‌دهی فسفر از رسوبات کف و ...، به شبیه‌سازی پارامتر یاد شده می‌پردازد. در بین اطلاعات یاد شده تنفس، فعالیت فتوسنتز و مرگ و میر فیتوپلانکتون‌ها از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. با عنایت به محدودیت‌های شدید اطلاعات در دسترس در مورد وضعیت جلبک‌ها و گیاهان آبزی مخزن سد مزبور که خود نیازمند انجام آزمایشات ویژه‌ای می‌باشد، در ادامه مطالعات گزینه اول، مبنای کار قرار گرفت که طبیعتاً دچار ضعف‌هایی می‌باشد. در شکل ٦ نتایج خروجی مدل در شبیه‌سازی DO با مطالعات میدانی مقایسه شده است.

همان طور که در نمودار یاد شده مشاهده می‌شود با نزدیک شدن به موعد واژگونی مخزن، اختلاف مقادیر DO مشاهده‌ای واقعی بیشتر می‌شود که این مهم ناشی از این است که در شرایط واقعی مخزن، شکوفندگی جلبک‌ها رخ می‌دهد و از طرفی با ورود مواد کف در ستون آب، افت اکسیژن واقعی بالا می‌رود که این مهم در مطالعات میدانی به خوبی سنجش و تحلیل شده است. در این مدل با انتخاب گزینه اول صرفاً سه منبع – مصرف به صورت هوادهی، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی و اثر کف دیده می‌شود . لذا در مواقعی که لایه‌بندی در مخزن شکل گرفته، مدل بهتر شرایط بی‌هوازی را شبیه‌سازی می‌کند. نکته بارز دیگری که از شکل قابل استنتاج است، اکسیژن محلول لایه سطحی مخزن است که چون در مدل فعالیت‌های بیولوژیکی فیتوپلانکتون‌ها (فتوسنتز و تنفس) دیده نمی‌شود، مقدار این پارامتر در مدل تحت تأثیر عامل هوادهی، اکثرا" مقدار نسبتا" بالایی ارائه می‌شود. که در واقعیت شرایط به گونه‌ای دیگر دنبال. می گردد

۳-٤- تحلیل شبیه‌سازی روزانه مخزن

۳-٤-۱- تحلیل ساختاری

روند تغییرات ساختار لایه‌بندی سه پارامتر دما، TDS و DO بررسی شده است که نتایج آن در ذیل انعکاس یافته است:

- در دوره یاد شده، تغییرات دمای مخزن بین ۵/۵°C تا ۲۸ نوسان داشته است که طبیعتا" حداکثر آن در لایه سطحی مخزن در تابستان (مرداد) و حداقل در زمانی که مخزن در زمستان همگن بوده (بهمن) رخ داده است. این محدوده حاکی از این موضوع است که لایه‌بندی زمستانه در مخزن ایجاد نشده و دما به حد ٤°C نرسیده است، که موضوع با ازدیاد دمای هوا در طی سال‌های اخیر و به خصوص خشکسالی‌های اخیر قابل انتظار است (طبق بررسی‌های صورت گرفته، مخزن سد بوکان از نوع Dimictic با قابلیت تشکیل لایه‌بندی زمستانه، هر چند ضعیف می‌باشد).

- لایه‌بندی TDS (عکس لایه‌بندی دما می‌باشد) در مخزن ضعیف بوده و گرادیان آن حداکثر به ۲۰mg/L در تابستان (مرداد) می‌رسد و در اکثر اوقات از سال، مخزن از نظر تغییرات TDS همگن می‌باشد.

- در طول سال مزبور حدود ۵ ماه در مخزن لایه‌بندی (به ویژه حرارتی با شدت‌های مختلف) وجود دارد و در مابقی سال مخزن همگن و اختلاط یافته می‌باشد.

- تغییرات ساختار لایه‌بندی DO نیز مشابه دما بوده و تغییرات این پارامتر بین ۰/٤mg/L تا ۹/۷ نوسان می‌کند.

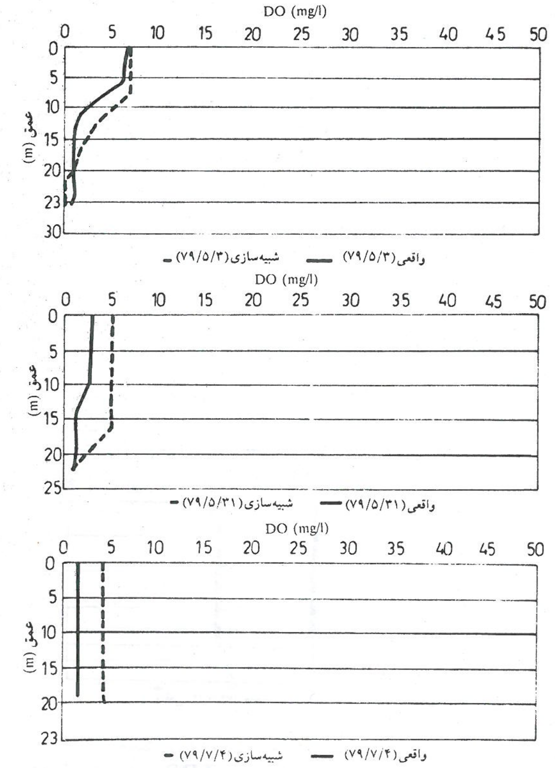
- در دوره تابستان شرایط بی‌هوازی یا کم اکسیژنی بر مخزن حاکم می‌باشد و حداکثر گرادیان DO نیز در همین بازه رخ می‌دهد. در زمستان، اکسیژن محلول کل مخزن در شرایط بسیار خوبی بوده و به حدود ۱۰mg/L می‌رسد.

۳-٤-۲- تحلیل پارامترهای کیفی آب خروجی از مخزن

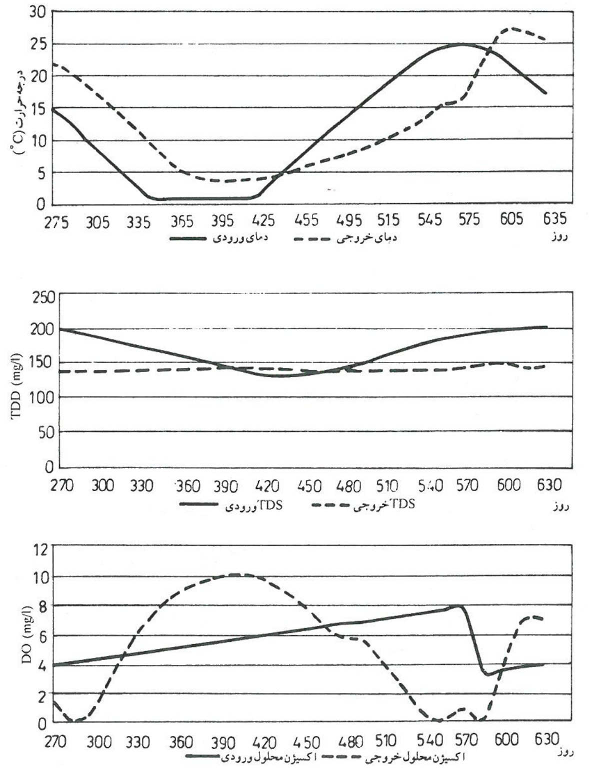
همان طور که ذکر شد، مخازن نقش تعدیل کننده رژیم رودخانه در پایین‌دست خود را بازی می‌کنند و تأثیرات عمده‌ای بر پارامترهای هیدرولیکی و کیفی رودخانه دارند. بعد از شبیه‌سازی یکساله مخزن، تأثیر فرایندهای داخل مخزن در کیفیت آب خروجی بررسی و در شکل ۷ انعکاس یافته است.

از شکل مزبور نتایج ذیل استنیاط می‌گردد:

الف – دما: مقدار این پارامتر در خروجی از شروع مهر تا اوایل اسفند همواره بیشتر از دمای ورودی بوده که علت آن به رژیم حرارتی مخزن و جذب و نگهداشت آن در این دوره که دمای هوا بسیار سردتر از دمای لایه‌های زیرین مخزن می‌باشد بر می‌گردد. عنایت شود که دمای آب ورودی در تعادل با دمای هوا بسیار سردتر از دمای آب لایه‌های زیرین می‌باشد و با توجه به محل استقرار



شکل ٦- مقایسه لایه‌بندی DO مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مخزن سد بوکان



شکل ۷- مقایسه سه پارامتر T، TDS، DO در ورودی و خروجی مخزن سد بوکان (۱۳۷۸/۷/۱ – ۱۳۷۹/٦/۳۱)

خروجی(این سد تنها یک خروجی و آنهم در کف مخزن دارد) مخزن سد بوکان، طبیعی است که در پاییز و زمستان، دمای خروجی گرمتر از ورودی باشد. از اوایل اسفند تا اواسط مرداد این روند عکس شده و به علت شکل‌گیری تدریجی لایه‌بندی حرارتی و ازدیاد دمای هوا و سردتر شدن زیر لایه، دمای خروجی سردتر از ورودی است. با نزدیک شدن به موعد واژگونی که همراه با زوال لایه‌بندی می‌باشد کم کم دمای زیر لایه گرم‌تر شده و روند دوباره بر عکس می‌شود، به طوری که دمای آب خروجی گرمتر از ورودی می‌گردد. در ضمن در فصل تابستان حداکثر اختلاف دمای ورودی و خروجی در حد ۱۰°C رخ می‌دهد.

ب – TDS: طبق نمودار مذکور از مهر تا اوایل بهمن و از اواخر اسفند تا پاییز سال بعد، همواره TDS ورودی بیشتر از خروجی است که این مهمّ نشانگر تجمع (هرچند کم)شوری در مخزن و پخش شوری ورودی در حجم بسیار زیاد مخزن و کاهش غلظت آن می باشد. در غیر بازه های یاد شده، TDS خروجی اندکی بیشتر از ورودی می باشد، در این بازه مخزن همگن بوده و شرایط کیفی ورودی و خروجی تقریبا" مشابه می‌باشد. حداکثر اختلاف شوری ورودی و خروجی نیز در اواخر تابستان در حد ۶۰mg/L رخ می‌دهد.

ج – DO: روند تغییرات DO نیز بدین صورت است که از اوایل خرداد تا اواخر مرداد با توجه به وقوع لایه بندی و شکل‌گیری شرایط بی‌هوازی، عملا" DO خروجی به شدت پایین تر از ورودی بوده که اختلاف آن به حدود ۷/۵mg/L می‌رسد اما با واژگونی مخزن این روند تا حدی بهبود می‌یابد. همچنین از اواخر آبان تا اواسط فروردین به دلیل بهبود کیفیت آب ورودی، آورد مناسب سرشاخه‌ها و ...، DO خروجی بالاتر از ورودی می‌باشد.

٤- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از عملکرد شبیه‌سازی مخزن سد بوکان و مدل HEC5-Q

کارایی این مدل با توجه به عدم لحاظ تأثیر پارامترهای کیفی پایستار بر چگالی آب، در شبیه‌سازی شوری مورد تردید و قابل تأمل و بررسی بیشتر است. نگارندگان پیرامون این موضوع چندین بار با HEC نیز مکاتبه داشته که پاسخ روشنی دریافت ننموده است.

- گزینه اول شبیه‌سازی DO در این مدل برای بررسی و تحلیل لایه‌بندی اکسیژن محلول در مخازن مغذی، منجر به جواب‌های رضایت‌بخشی نمی‌گردد. لذا در این موارد حتماً می‌بایست گزینه شبیه‌سازی فیتوپلانکتون‌ها، علی‌رغم نیاز به اطلاعات فراوان، مورد توجه قرار گیرد.

- مدل مزبور اگرچه از نظر تعریف شرایط بهره‌برداری بسیار کارا و توانمند است، اما عدم کارایی این مدل و سایر مدل‌های کیفی مخزن (مورد بررسی نگارندگان) در شبیه‌سازی شرایط بی‌هوازی مخزن، عملا" امکان تحلیل درست وضعیت تغذیه‌گرایی در مخازن را کاهش داده است.

- هر چند مطالعات نشان می‌دهد، پارامتر کیفیت آب در نیازهای آبی مصرف کنندگان پایین دست چندان مهم و مسأله ساز مطرح نبوده اما نارضایتی مصرف کنندگان بالادست و مطالعات و مشاهدات حاضر، گواه وجود مشکلات کیفی در مخزن سد بوده و به ویژه هر چند مکان بهره‌برداری به محل اتصال سرشاخه چم سقز به مخزن، نزدیک‌تر باشد مصرف کنندگان بیشتر از این مشکلات رنج برده و خواهند برد. طبق مطالعات میدانی صورت گرفته (عمق سکی حدود ۳ متر در شرایط لایه‌بندی نسبتا" کامل و پایین‌تر از آن در شرایط واژگونی مخزن) مخزن سد بوکان در رده مخازن Mesotrophic بوده که تداوم شرایط فعلی (ورود سرشاخه سقز در حالی که حاوی فاضلاب خام شهر است) به سرعت شرایط مخزن را به سمت Eutrophic سوق می‌دهد. بررسی سرعت این روند خود می‌تواند در یک مطالعه تحقیقی مجزا مورد بررسی قرار گیرد.

- عامل کلیدی در بهبود شرایط فعلی کیفی مخزن، به طوری که این معضل کمتر توسط مصرف کنندگان پایین‌دست احساس می‌شود، زمان ماند پایین مخزن و تخلیه نسبتا" سریع مخزن می‌باشد.

- رقوم فعلی دریچه تخلیه کننده سد، امکان بهره‌برداری کیفی از مخزن را نمی‌دهد و شرایط کیفی آب خروجی در دوران شکل‌گیری لایه‌بندی ، متأثر از شرایط حاکم بر زیر لایه می‌باشد.

- با حفظ شرایط فعلی در آینده شوری، مسأله مهم کیفیت آب خروجی از این سد نیست و مقادیر این پارامتر طبق دیاگرام شولر برای نیازهای کیفی کشاورزی و شرب مناسب است.

- لایه‌بندی در مخزن از اواخر اردیبهشت شروع شده و تا اوایل مهر ادامه دارد و قوی‌ترین لایه‌بندی تابستانه در دهه اول مرداد و زمستانه در بهمن ماه رخ می‌دهد (چون در سال آبی ۷۹-۷۸ این لایه‌بندی رخ نداده، زمان دقیق آن مشخص نشده است).

- یک تجربه بسیار مهم که در بررسی کیفیت آب در طول این مطالعات حاصل شد این بود که اصولا" با سنجش فقط یک پارامترمثل DO، نمی‌توان در مورد وضعیت کیفی آب، نظر مطلقی داد چرا که پارامترهای مختلفی چون زمان سنجش در این تحلیل بسیارمهم است. مثلا" در نمونه‌گیری ۷۹/۷/٤ هر چند وضعیت چم سقز در محل اتصال به مخزن بحرانی‌تر شده بود و این مهم به طور شهودی نیز مشخص بود (سبزی رو به تیرگی آب)، اما DO آب نسبت به دوره‌های اندازه‌گیری قبلی بیشتر شده بود که این مهم ناشی از فتوسنتز جلبک‌ها در هنگام نمونه‌گیری (ظهر) بود.

- علت کمبود اکسیژن محلول در آب خروجی این سد تا حد زیادی متأثر از پارامتر SOD می‌باشد که این مهم با توجه به تجمع مواد آلاینده در کف مخزن منطقی است. از طرفی مشاهدات و مطالعات میدانی نیز حاکی از تصاعد گاز H_2S در نمونه‌هایی که از کف برداشت می‌شد ، بوده است که مؤید دیگری بر شرایط ذکر شده می‌باشد.

قدردانی

در تهیه این مقاله عزیزان شرکت سهامی آب و فاضلاب استان کردستان (جناب آقای مهندس حسینی مدیر عامل محترم شرکت، جنابت آقای مهندس مؤسس مسؤول آزمایشگاه شرکت و جناب آقای مهندس خزپوش مدیر امور آب و فاضلاب شهرستان سقز)، سرکارخانم مهندس پورکاشانی (مسؤول آزمایشگاه محیط زیست دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف) و کارشناسان مرکز مطالعات و تحقیقات آب دانشگاه صنعتی شریف کمال همکاری را نمودند که بدین وسیله از ایشان قدردانی و تشکر می‌نماییم.

منابع و مراجع

۱- سارنگ، ا.، تجریشی، م.، " گزارش سیمای وضعیت منابع آب کشور – چالش‌ها و راهکارها "، دفتر مطالعات آب و محیط زیست دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف، در حال انتشار، پاییز ۱۳۷۹.

2- Lee, Robert C., (1987). “ *Engineering and Design Reservoir Water Quality Analysis*”, Department of the Army, U.S. Army Crops Engineering, Washington DC, PP. 1-1 to 2-38.

3-Chapra, Steven C., (1987). “ *Surface Water – Quality Modeling* “, Mc Graw – Hill, PP. 276-293. 560-575-588.

4- ICOLD., (1994). “ *Dams and Environment, Water Quality and Climate* “, Bulletin 96, PP, 4-75.

5- Hydrologic Engineering Center U.S Army Crops of Engineering, (1986). “ *Simulation of Flood Control and Conservation Systems – Appendix on Water Quality Analysis : HEC5-Q* “.

6- Horne, A and C.R. Goldman, (1983). “*Limnology* “, McGraw-Hill.

7- Orlob, G, (1983). “ *Mathematical Modeling of Water Qualtiy : Streams, Lakes, and Reservoirs* “, John Wiley & Sons.