دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع آب

عنوان:

مدل سازی کیفی آب در مخازن سدها (مطالعه موردی: سد ابوالعباس)

استاد راهنما:

دکتر احمد فاخری فرد

استاد مشاور:

دکتر علی مریدی

پژوهشگر:

بهنام زمانی قره چمن

بهمن ماه ۱۳۹۰

مقدمه:

در طی دهه های گذشته سدهای زیادی در سراسر جهان ساخته و به بهره برداری رسیده اند. تعداد زیاد سدهای احداثی در نقاط مختلف جهان حاکی از نقش مهم و تاثیر گذار سدها و دریاچه ها در جوامع بشری است (تورنتون و همکاران ۱۹۹۶) . کشور ایران با توجه به روند توسعه سریع خود، در سالهای گذشته شاهد ساخته شدن سدهای بزرگ و کوچک متعددی در نقاط مختلف و با اهداف متعددی بوده است؛ تا جایی که از لحاظ کمیت و کیفیت ساخت در حال حاضر یکی از کشورهای پیشرو در صنعت سدسازی به شمار می رود. علیرغم پیشرفت های قابل توجه در این عرصه، به دلیل تفکر و رویکرد سازه ای در کشورهای در حال توسعه، مسئله ای که همانند بسیاری از کشورها، در کشور ما نیز به دور از توجه مانده و بدان پرداخته نشده است، مسئله کیفیت آب مخازن سدها، تاثیرات متقابل سد و محیط و تاثیر آن بر محیط زیست می باشد. به نحوی که به غیر از یک مورد (سد سازبن)، تقریباً هیچ یک از سدهای کشور (حتی بسیاری از کشورهای دیگر) دارای یک مدل کیفی مدون جهت مشخص نمودن دستورالعمل و مدل مناسب برداشت آب از نظر کمی و کیفی با دیدگاه کیفیت آب نمی باشند.

مسئله بررسی و مدل سازی کیفی مخازن به دلیل پیچیدگی های موجود و درگیری با علوم مختلف، تاکنون رشد نسبتاً ناموزونی داشته است. به طوری که در مطالعات اکولوژی و بیولوژی مخازن، توجه کافی به عوامل و قوانین هیدرولوژیک که در جهت توصیف و بررسی پدیده های بیولوژیک و شیمیایی بسیار مهم و ضروری هستند نشده است. این موضوع نقصی عمومی در تحقیقات و مقالاتی است که توسط زیست شناسان انجام و تالیف شده است (بایائو و بوئاویدا ۲۰۰۰؛ کنتزر و همکاران ۲۰۱۰).از طرف دیگر، متخصصین رشته های فنی درگیر با مسائل سدها، عموماً تحقیقات خود را معطوف و محدود به مسائل و مفاهیم هیدرولوژیک و هیدرولیک نموده و عوامل بیولوژیک و بیوشیمیایی را نادیده گرفته اند (هاینمن ۱۹۸۴، کنتزر و همکاران ۲۰۱۰). لذا داشتن دید فراگیر و همه جانبه در انجام مطالعات کیفی مخازن و در نظر گرفتن عوامل و جنبه های مختلف تاثیر گذار بر آن (تا جایی که محدودیت ها اجازه می دهند) ضروری به نظر می رسد.

یکی از مهم ترین مسائل مرتبط با بهره برداری و محیط زیست مخازن سدها، مسئله پیش بینی کیفیت آب مخازن و جریان خروجی از آن طی دوران بهره برداری می باشد. می بایست توجه داشت که بروز لایه بندی حرارتی و افزایش مواد مغذی آب[1](یوتروفیکاسیون) در مخازن موجب افت شدید کیفیت آب و عدم توانایی آن در تامین حد مطلوب نیازهای مختلف و به مخاطره افتادن حیات آبی اکوسیستم پایین دست رودخانه می گردد. لایه بندی[2] حرارتی و ایجاد گرادیان غلظت پارامترهای کیفی آب ورودی به مخزن همچنین ایجاد لایه های دارای مقادیر مختلف اکسیژن محلول، در ساختگاه سد، به عنوان محل تعبیه دریچه های برداشت آب، اهمیت شبیه سازی لایه بندی مخزن را جهت تعیین عمق

[1] Eutrophication
[2] Stratification

(تراز) دارای مناسب ترین کیفیت برای برداشت جهت مصارف مختلف و نیز برای تامین نیاز حیات طبیعی رودخانه مشخص می سازد.

پدیده گرمایش جهانی[3] نیز که در دهه های اخیر تاثیرات شگرفی بر تغییرات اقلیمی داشته بر دامنه این نگرانی ها و دغدغه ها افزوده است. به طورکلی نتایج تحقیقات نشان داده است که یکی از مهمترین تاثیرات مخرب هیدرولوژیکی پدیده گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی[4] ناشی از آن روی مخازن، کاهش بارندگی در مناطق خشک و نیمه خشک و در نتیجه کاهش ورودی به مخازن، کاهش نرخ تجدید آب توسط بارش های تابستانی و افزایش زمان ماند آب در مخازن می باشد(جرج ۲۰۰۲، جرج و هیورلی ۲۰۰۳) که این امر تاثیر شدیدی در افت کیفیت آب مخازن می گذارد. بنابراین انتخاب ساختگاه سد، و به تبع آن مکان و فیزیک مخزن، تعیین محل مناسب و طراحی و برنامه ریزی صحیح دریچه های برداشت آب از سد، شرایط هیدرولوژیک حاکم و وضعیت اکوسیستم مناطق سیلگیر حوضه بالادست، مهمترین عوامل موثر بر کیفیت و کمیت آب مخازن می باشند که می بایست پیش از طراحی و ساخت سد بررسی شده و با توجه به وضعیت لایه بندی حرارتی و کیفی آب مخزن در زمان های برداشت آب، در طراحی لحاظ گردند . عدم لحاظ هریک از عوامل اخیر در طراحی، و ساخت سد، موجب ایجاد مشکلات متعددی برای برنامه ریزان و مدیران منابع آب خواهد شد. چرا که حل مشکلات ناشی از آن پس از ساخت سد، و هر گونه تغییر مورد نیاز در سازه سد، بسیار مشکل، پرهزینه و تقریباً ناشدنی خواهد بود.

هم اکنون بسیاری از مطالعات علمی و مهندسی مرتبط با سیستم های آب های سطحی، به منظور تعیین خط مشی و الگوهای مدون و مشخص برای تعیین نیازهای آبی جهت حفاظت از انسان ها و اکوسیستم های آبی صورت می گیرد. متخصصین منابع آب به منظور درک بهتر و دقیق تر، تصمیم گیری و مدیریت فرآیندهای فیزیکی، بیولوژیکی، ریاضی و اجتماعی مرتبط با منابع آب سطحی ابزارهای علمی و فنی متعددی را به کار می گیرند. در ارتباط با مدیریت کیفی منابع آب، هم اکنون سه ابزار مهم مورد استفاده قرار می گیرد: ۱) مشاهده تجربی ۲) آنالیز تئوریک ۳) مدل سازی عددی. هریک از ابزارهای فوق الذکر دارای مزایا و معایبی می باشند و مناسب ترین راه استفاده از آنها درک بهتر و استفاده به جا از آنها در موارد مختلف می باشد (جی ۲۰۰۴). پیچیدگی محیط طبیعی آب های سطحی، در کنار توسعه روز افزون توانایی های کامپیوتری در شبیه سازی زمانی و مکانی کیفی سیستم های آبی که مبتنی بر معادلات دیفرانسیلی هستند، مدل های شبیه سازی هیدرودینامیک و کیفیت آب را تبدیل به ابزارهایی مهم و کارآ برای علوم مهندسی آب و مدیریت منابع آب نموده اند و با شرایط امروز جهان، استفاده از این مدل ها در مطالعات و تصمیم گیری ها اجتناب ناپذیر می نماید (جی۲۰۰۸).

تجربه جهانی در مدلسازی کیفی آب، در دهه های پیشین بیشتر معطوف به مناطق ساحلی اقیانوس ها، دریاهای آزاد و مصب ها بوده است و مدل سازی سیستم های آبی شیرین که به نسبت کمتر انجام یافته (آدی و لاولند ۲۰۰۷) در دهه

[3] Global warming
[4] Climate change

های اخیر شاهد پیشرفت چشمگیر بوده است. این پیشرفت به دلیل نشأت گرفتن از ملاحضات و دغدغه های زیست محیطی دانشمندان این عرصه، بیشتر معطوف به دریاچه های آب شیرین و رودخانه ها بوده و کمتر به مخازن سدها و مسائل کیفی مربوط به آنها پرداخته شده است. لذا بحث اخیر بالاخص در کشور ایران مبحثی جدید است که مستلزم اهتمام بیشتر فعالان علوم آب جهت پیوند استراتژی های بهره برداری با نیازهای کمی وکیفی و دیدگاه های زیست محیطی می باشد. در صورت تحقق چنین پیوندی، طی دهه های آتی، مخازن سدهای موجود و سدهای آینده دارای کارایی و توانایی بیشتری در رویارویی با تغییرات اقلیمی پیش رو بوده و سازه های قابل اطمینانی جهت تامین نیازهای جامعه و حفاظت از زیست بوم مناطق مختلف کشور خواهند بود.

احداث سدها و مدیریت عملیات مخازن می تواند تاثیر چشمگیری روی کیفیت آب و محیط آبی پایین دست رودخانه داشته باشد. مسائل عمده مرتبط با کیفیت آب در مخازن سدها، شامل کدورت، ذرات جامد معلق، مواد مغذی و سایر پارامترهای کیفی آب در ارتباط با مصارف آب برداشتی و آب رها شده جهت حیات طبیعی رودخانه و محیط زیست مخزن و آبزیان و گیاهان آبی داخل مخزن می باشد. ورود آلاینده ها از حوضه های بالادست نظیر فاضلاب های شهری و صنعتی، نشت مواد نفتی ویا سمی از معادن و مخازن به آب رودخانه ها و فعالیت های کشاورزی، مسائل عمده مخازن سدها در نقاط مختلف می باشند. پدیده افزایش مواد مغذی آب (تغذیه گرایی) نیز با افزودن بر رشد جلبک ها و گیاهان آبزی در مخازن و در نتیجه کاهش مقادیر اکسیژن محلول در آب، افت کیفیت آب و افزایش رسوبگذاری در مخزن را سبب می گردد (ووربز و جیمز ۲۰۰۹).

توجه به مسائل ذکر شده اخیر، اهمیت شبیه سازی کیفی مخازن سدها جهت پیش بینی رفتار آنها در قبال کیفیت آب ورودی و تغییرات محیطی را پیش از احداث آنها بیش از پیش نمایان می سازد. کیفیت آب برداشتی از مخازن با روش های مختلفی قابل کنترل است که یکی از این روش ها، برداشت آب به صورت همزمان از دریچه های تعبیه شده در ترازهای مختلف می باشد، که آب با کیفیت های مختلف را تخلیه می نمایند. برای یک سد پیشنهادی احداث نشده، مدل سازی عددی یک روش قابل اطمینان جهت شبیه سازی کیفی و پیش بینی کیفیت آب برداشتی از مخزن به شمار می رود. شبیه سازی مذکور به منظور بررسی و کنترل صحت طراحی اولیه سازه سدها، ترازو مکان دریچه های برداشت آب روی بدنه سد و یا روی برج آبگیر و بررسی عملکرد آنها از نظر کیفیت آب برداشتی و اعمال تغییرات مورد نیاز در سازه و ترازدریچه ها و همچنین کنترل صحت برنامه ریزی برداشت آب، پیش بینی کیفیت آب برداشتی برای مصارف برنامه ریزی شده و نیز پیش بینی آب تخلیه شده از سد به رودخانه می باشد.

در این تحقیق با استفاده از داده های کیفی برداشت شده از رودخانه ابوالعباس در خوزستان، در ساختگاه انتخابی سد پیشنهادی ابوالعباس ، با استفاده از یک مدل سه بعدی ، شبیه سازی لایه بندی حرارتی و شاخص های کیفی مخزن در فصول مختلف، به منظور شناسایی و تشخیص لایه های دارای کیفیت مناسب جهت تعیین مناسب ترین عمق نصب دریچه های برداشت آب در سد و پیش بینی کیفیت آب برداشتی جهت مصارف شرب، کشاورزی و نیازهای زیست محیطی و نیز تعیین پتانسیل تغذیه گرایی در مخزن انجام گرفته است.

فصل اول

بررسی منابع

۱.۱. مدیریت کیفی مخازن

دریاچه ها و مخازن سدها در کنار رودخانه ها منابع اصلی آب های سطحی به شمار می روند. مخازن سدها به عنوان دریاچه های مصنوعی ساخته دست بشر جهت رفع نیازهای جوامع، دارای ویژگی های خاصی هستند که آنها را از دریاچه های طبیعی متمایز ساخته و مدیریت کیفی این منابع و اعمال روش های مناسب مدیریتی مستلزم داشتن دانش کافی از ویژگی های مذکور می باشد. اطلاعات ما درباره مسائل کیفی دریاچه های طبیعی در حال حاضر دامنه گسترده تری را در برگرفته و نیز این اطلاعات در ارتباط با تعدادی از مسائل مشترک مخازن و دریاچه ها نیز موجود می باشد (جرگنسن و همکاران ۲۰۰۵) . در حقیقت مخازن سدها تنها دارای نیمی از ویژگیهای دریاچه های طبیعی بوده (رسته مهندسی ارتش آمریکا ۱۹۸۷) و علاوه بر آن دارای ویژگی هایی مختص خود می باشند. بررسی مسائل مختص مخازن سدها به دلیل تعدد اهداف احداث مخازن و سازه های جانبی مرتبط با آنها دارای محدودیت ها و پیچیدگی های زیادی است. محدودیت های مذکور می توانند به دلیل تفاوت نوع کاربرد مخازن و یا به دلیل پیچیدگی های هیدرولوژیک، زمین شناختی، مورفولوژی و مواد مغذی در آنها باشد. در هر صورت، علاوه بر استفاده از اطلاعات، بررسی های کلی و نتیجه گیری های حاصل از تحلیل مخازن دیگر، ویژگی ها و مسائل اختصاصی مخزن مورد مطالعه نیز می بایست در نظر گرفته شوند. لذا قوانین کلی در مطالعات موردی به صورت مشروط مطرح و نیازمند بررسی اختصاصی برای مخزن مورد مطالعه می باشند. در نتیجه واضح است که در بحث مدیریت کیفی منابع آب در کنار مبانی فنی و اجرایی، مطالعات می بایست بر مبنای پایه ای تئوریک جهت تحلیل و چنین نتیجه گیری هایی صورت پذیرند (تاندیسی و همکاران ۱۹۹۹، کندی ۱۹۹۹، جرگنسن و همکاران ۲۰۰۵).

از دیدگاه کیفی در مقایسه با دریاچه ها، مخازن (بویژه در سدهای بزرگ) دارای عمق و زمان ماند بیشتر و عموماً دارای لایه بندی بوده و از نظر تعدادی از پارامترهای لیمنولوژیک [5] با دریاچه های طبیعی تفاوت دارند (تورنتون و همکاران ۱۹۹۶، استراسکرابا ۱۹۹۳). مخازن سدها عموماً حوضه آبریز بزرگتری نسبت به دریاچه های طبیعی دارند؛ لذا بار رسوب و مواد مغذی ورودی بیشتری نسبت به دریاچه ها داشته و تغییرات فصلی ورود پارامترهای فوق الذکر نیز بیشتر است. از سوی دیگر در دریاچه ها معمولاً ورودی و خروجی آب در سطح یا نزدیک به سطح آب بوده و این در حالی است که در مخازن ورود و خروج آب می تواند در اعماق مختلف، از سطح آب تا کف مخزن باشد (جی ۲۰۰۸) که این مسئله در تفاوت های هیدرودینامیکی و کیفیت در ستون آب مخازن و دریاچه ها اهمیت بسزایی دارد.

کیفیت آب و محیط طبیعی آبی در یک حوضه آبریز به شدت تحت تاثیر مدیریت عملیات مخازن موجود در سطح آن حوضه می باشد. تامین آب با کیفیت مناسب جهت نیازهای شرب، کشاورزی و صنعت، تقویت و بهبود جریانات با دبی و کیفیت پایین، و تامین دبی حداقل جهت تامین نیاز زیست محیطی جهت حیات طبیعی

[5] Limnologic

رودخانه و اکوسیستم پایین دست از مهمترین اهداف عملیات مرتبط با کیفیت آب در اغلب پروژه های سدسازی به شمار می روند (ووربز و جیمز ۲۰۰۹). با توجه به برداشت آب از ترازهای مختلف یک مخزن، رویدادهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک درون مخازن تاثیر چشمگیری روی کیفیت آب برداشتی از آن دارند. یک مخزن، در شرایط لایه بندی یا بدون لایه بندی، آبِ با کیفیت های مختلفی را از دریچه های تعبیه شده در ترازهای مختلف تخلیه می کند. در مخازنی که پدیده لایه بندی حرارتی رخ می دهد، می توان با استفاده از برداشت آب از ترازهای مختلف وضعیت دما و کیفیت آب برداشتی را بسته به نیازهای موجود تنظیم کرد. علاوه بر دما، همین موضوع به طریقی دیگر برای سایر پارامترهای کیفی آب نیز صادق است، چرا که دما یکی از کلیدی ترین پارامترهای تاثیرگذار بر فرآیندهای بیولوژیک و بیوشیمیایی و در نتیجه کیفیت آب بوده و اهمیت آن در دماهای بالاتر در مخازن، هم رده با شرایط هیدرولوژیک حوضه بالادست به شمار می رود (مورش و کوئین ۱۹۹۶). در نتیجه با استفاده از نتایج مدل سازی و شبیه سازی مخزن و تعیین ترازهای مناسب، می توان آب متناسب با معیارهای کیفی موجود برای شرب، کشاورزی و صنعت را برداشت نموده و توانایی و رفتار مخزن در پاسخگویی به نیازها را در شرایط مختلف مورد بررسی قرار داده و پیش بینی نمود.

رسوب (به همراه سایر جامدات معلق) و چرخه تبادل عناصر و پارامترهای کیفی بین رسوبات مخازن و آب، تاثیر گذاری آن بر میزان کدورت آب و عمق نفوذ نور در مخزن،و نیز نحوه کنترل و مدیریت آن در سطح حوضه نیز از عوامل مهم دخیل دیگر در مدیریت کیفی مخازن سدها می باشند که در بخش مربوط به رسوب مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱.۲. تقسیم بندی منابع آب سطحی از دیدگاه مدل سازی کیفی

منابع آب های سطحی به دو دسته کلی منابع آب شور و شیرین طبقه بندی می شوند. منابع آب شور شامل اقیانوس ها و دریاهای آزاد و تالاب های ساحلی [6] و منابع آب شیرین شامل رودخانه ها، دریاچه ها، تالاب ها و مخازن سدها می باشند. از لحاظ مدل سازی کیفی منابع آب شور، مصب [7] رودخانه ها به دلیل اینکه محل تداخل و تبادل آب شور و شیرین بوده و دائماً دستخوش تغییرات غلظت و پیشروی و پسروی شوری تحت تاثیر نیروهای جزر و مدی [8] هستند، و نیز مناطق ساحلی اقیانوس ها و دریاهای آزاد به دلیل استفاده و ارتباط جوامع بشری بیشتر مورد توجه می باشند. مناطق ساحلی دریاهای آزاد و اقیانوس ها جهت تعذیه، تولید انرژی الکتریکی، بهره برداری از منابع غنی بیولوژیک، فعالیت های تفریحی، حمل و نقل، تخلیه فاضلاب ها و زباله های شهری و صنعتی مورد استفاده بوده و آلودگی های زیست محیطی ناشی از فعالیت های انسانی برای

[6] Lagoons
[7] Estuaries
[8] Tidal forces

ساکنین اطراف آن اهمیت بسزایی دارد (شوارتز ۲۰۰۵). با توجه به زندگی حدود نیمی از جمعیت جهان (سه میلیارد نفر) در حاشیه مناطق ساحلی و دوبرابر شدن این رقم تا سال ۲۰۲۵ (دفتر جمعیت آمریکا ۲۰۰۳)، اهمیت و تاثیر این نواحی از نظر تاثیر گذاری بر زندگی انسان ها بیش از پیش نمایان می گردد.

منابع آب شیرین سطحی شامل رودخانه ها، دریاچه ها تالاب ها و مخازن سدها، تشکیل دهنده ۰/۸۸ درصد از کل ذخیره آب قابل استفاده کره زمین بوده و در کنار منابع آب زیرزمینی تامین کننده نیازهای آب شیرین جامعه بشری می باشند (گلیک و شیکلومانوف ۱۹۹۳). دریاچه ها و مخازن سدها در بر گیرنده ۹۰ درصد ذخیره آب شیرین مایع در سطح کره زمین هستند (جی ۲۰۰۸). با توجه به سهولت استحصال منابع آب سطحی و محدودیت آن، در کنار رشد روز افزون نیاز جامعه بشری به منابع آب، و افزایش آلاینده های ورودی به این آبها، مدیریت و بهره برداری مناسب کمی و کیفی از این منابع اهمیت بیشتری می یابد.

۱.۳. مبانی و روش های مدل سازی کیفی مخازن

به منظور شبیه سازی کیفی محیط های آبی سه روش مدل سازی مختلف به کار می رود (اشکلادو و همیلتون ۱۹۹۷). نخستین روش که در دهه های گذشته رایج ترین روش جهت مدل سازی به شمار می رفت، استفاده از مدل های مبتنی بر شبیه سازی شرایط جریان ماندگار ورودی – خروجی[9] بوده است (مولر ۱۹۸۲، آلگرن ۱۹۸۸). عموماً در این مدل ها پیش بینی غلظت پارامترهای کیفی-که شامل مواد مغذی می باشند توسط غلظت مقادیر خالص ورودی و غلظت بیومس[10] فیتوپلانکتون[11]ها (کلروفیل نوع a یا سایر معرف های بیومس) توسط همبستگی با ماده مغذی محدود کننده (اغلب فسفر) صورت می گیرد (دیلون و ریگلر ۱۹۷۵). مدل های مذکور دارای معایب متعددی هستند؛ در این مدل ها فاکتورهای دیگر تاثیر گذار روی بیومس فیتوپلانکتون ها نظیر شرایط اقلیمی و تبادلات داخلی یا بیولوژیک در محیط آبی در نظر گرفته نمی شوند. همچنین مدل های مبتنی بر روش فوق الذکر، دریاچه مورد نظر را یک محیط پیوسته مختلط در نظر می گیرند که این امر موجب می شود که تنها برای زمان های خاصی از سال که دریاچه در شرایط کاملاً مختلط است قابل استفاده باشند (ایمبرجر و پترسون ۱۹۹۰) که این امر نیز محدودیت دیگری برای این روش به شمار می رود.

روش دوم که به نام روش مدل سازی اکولوژیک کیفیت آب[12] موسوم است تعداد زیادی از پارامترهای شیمیایی و بیولوژیک غایب در روش مدل های ورودی-خروجی را وارد محاسبات خود می نماید. مدل های مذکور به طور کلی معرف تغییرات فرآیندهای اکولوژیک با تغییرات زمان و معادلات پایستگی وابسته به هم بوده و ناگزیر از انجام کالیبراسیون ضرایب تغییرات جهت تطبیق با شرایط محیط شبیه سازی می باشند

[9] Steady state, input-output models
[10] Biomass
[11] Phytoplankton
[12] Ecological water quality modeling

(همیلتون و اشکلادو ۱۹۹۷). هدف از مدل سازی با این روش، کسب درکی بنیادین از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک تاثیر گذار بر بیومس فیتوپلانکتون ها و مقادیر بالای مواد مغذی در آب می باشد (اسکاویا ۱۹۸۰، جرگنسن ۱۹۸۳). به طور کلی هر دو نوع مدل های اخیر به منظور شبیه سازی دریاچه ها و آبگیرهای طبیعی و جهت بررسی وضعیت تغییرات کیفیت آب در زمان با دیدگاه بیوشیمیایی و اکولوژیک طراحی شده و فاقد ابعاد مکانی جهت تعیین همزمان تغییرات در مکان می باشند.

روش سوم که نسبت به روش های اخیر کامل تر است، عبارت است از توسعه مدل های عددی هیدرودینامیک با افزودن و کوپل کردن جزء محاسباتی کیفیت آب شامل یکی از مدل های ساده ورودی-خروجی نوع نخست یا مدل های کامل تر اکولوژیک نوع دوم (همیلتون و اشکلادو ۱۹۹۷). هیدرودینامیک یکی از مهم ترین و اصلی ترین عوامل تاثیر گذار در فرآیندهای کیفی و اکولوژیک در دریاچه ها و مخازن می باشد (وینسنت و همکاران ۱۹۹۱). مدل های مذکور به صورت یک، دو و سه بعدی بوده و در حال حاضر به طور گسترده ای جهت شبیه سازی محیط های آبی مورد استفاده قرار می گیرند (مدل های دو نوع نخست نیز اصطلاحاً مدل های صفر بعدی خوانده می شوند). حضور معادلات دیفرانسیلی انتقال و پخش آب و املاح در مدل های هیدرودینامیک به عنوان هدایت گر مدل های اکولوژیک به همراه استفاده از داده های اقلیمی و در نظر گرفتن فیزیک دریاچه ها و مخازن مورد مطالعه موجب شبیه سازی دقیق تر تغییرات درون محیط آبی می گردد. در این تحقیق جهت شبیه سازی مخزن ابوالعباس از مدل هیدرودینامیک سه بعدی ELCOM کوپل شده با مدل اکولوژیک محیط های آبی CAEDYM استفاده شده است که هردو مدل محصول مرکز تحقیقات آب دانشگاه استرالیای غربی بوده و جهت انجام این پایان نامه به طور مستقیم از دانشگاه مربوطه دریافت شده اند. در ادامه پس از بررسی اجمالی معادلات و مدل سازی هیدرودینامیک و بیولوژیک در ابعاد مختلف، به توضیح مدل های به کار رفته در این تحقیق و معادلات حاکم بر آن ها پرداخته خواهد شد.

۱.۴. عوامل موثر در کیفیت آب مخازن:

کیفیت آب یک مخزن، پاسخ آن مخزن به تاثیر عوامل محیطی نظیر حوضه بالادست، وضعیت هواشناختی منطقه، وضعیت هندسی و زمین شناختی منطقه و فرآیندهای درون مخزن می باشد. لذا دامنه گسترده ای از عوامل بر کیفیت آب یک مخزن تاثیر دارند. در ادامه به طور اجمالی به عوامل عمده و نحوه تاثیر گذاری آنها در کیفیت آب مخازن اشاره می شود.

۱.۴.۱. وضعیت ساختگاه سد و مورفولوژی مخزن

انتخاب ساختگاه سد و نحوه آماده سازی آن جهت احداث، نظیر عملیات خاکبرداری و نحوه پاکسازی پوشش

گیاهی منطقه، می تواند تاثیر چشمگیری روی کیفیت آب مخازن پس از آبگیری داشته باشد (گانیسون و چن ۱۹۸۳).

پارامترهای مورفومتریک مخزن شامل مساحت، حجم، عمق متوسط و عمق ماکزیمم، نسبت گسترش خط ساحلی و کشیدگی، از عوامل تاثیر گذار بر ویژگی های هیدرولوژیک و لیمنولوژیک مخازن می باشند. الگوی تحولات هیدرودینامیکی، و نیز فعل و انفعالات بیولوژیکی، تبادلات اکسیژن، تجزیه و سایر فرآیندهای مرتبط با کیفیت آب، به طور مستقیم یا غیر مستقیم با وضعیت مورفومتریک مخزن در ارتباط هستند. همچنین پارامترهای مورفومتریک مخزن با یکدیگر نیز در ارتباط بوده و می توان با بررسی این ارتباطات دیدگاهی کلی از وضع موجود یا پتانسیل وضعیت کیفی آب در مخزن داشت. به عنوان مثال عمق متوسط یک مخزن که از تقسیم حجم به مساحت آن به دست می آید؛ مقادیر کمتر آن نشانگر نفوذ بیشتر نور به اعماق، آب گرم تر و در نتیجه آن افزایش فعالیت های بیولوژیک، تجزیه ترکیبات ارگانیک و نهایتاً تولید بیشتر مواد مغذی می گردد (رسته مهندسی ارتش آمریکا ۱۹۸۷).

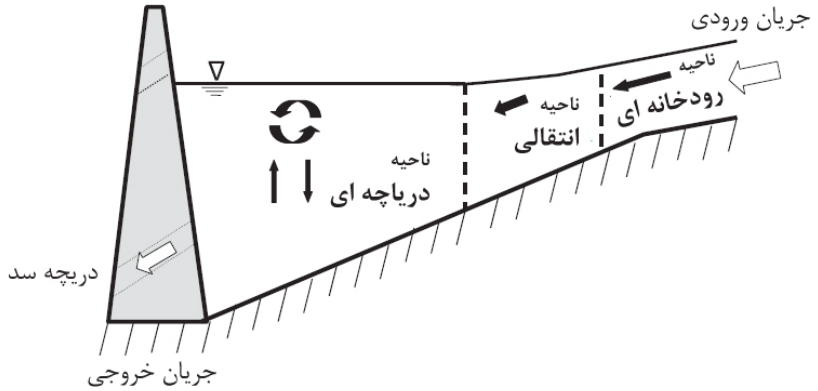
۱.۴.۲. نواحی مختلف مخزن و گرادیان های طولی

مخازن سدها در ابعاد طولی و عمقی به نواحی مختلفی دسته بندی می شوند. هریک از این نواحی دارای ویژگی های فیزیکی، هیدرولیکی، شیمیایی و بیولوژیکی منحصر به خود می باشند که در وضعیت کیفی آب تاثیر دارند. از نظر طولی مخازن سدها از بالادست به پایین دست به ترتیب به سه ناحیه رودخانه ای[13]، انتقالی[14] و دریاچه ای[15] تقسیم می شوند (جی ۲۰۰۸، رسته مهندسی ارتش آمریکا ۱۹۸۷). تقسیم بندی مذکور در شکل ۱.۴.۱ نشان داده شده است.

ناحیه رودخانه ای همانطور که در شکل ۱.۴.۱ نشان داده شده،قسمتی است که عموماً باریک بوده و آب به صورت کاملاً مختلط در آن جریان می یابد. در این ناحیه با وجود روند کاهشی سرعت، جریان رودخانه ای آب مشهود بوده و جریان توانایی حمل بخش قابل توجهی از بار معلق رودخانه را دارد.

ناحیه انتقالی ناحیه تبدیل جریان از شبه رودخانه ای به شبه دریاچه ای می باشد. به طوری که سطح آب به تدریج از سطح شیبدار به صورت مسطح در آمده، لذا سرعت جریان کاهش یافته و قسمت اصلی ذرات معلق در

[13] Riverine
[14] Transition
[15] Lacustrine



شکل ۱.۴.۱. نواحی رودخانه ای، انتقالی و دریاچه ای مخزن

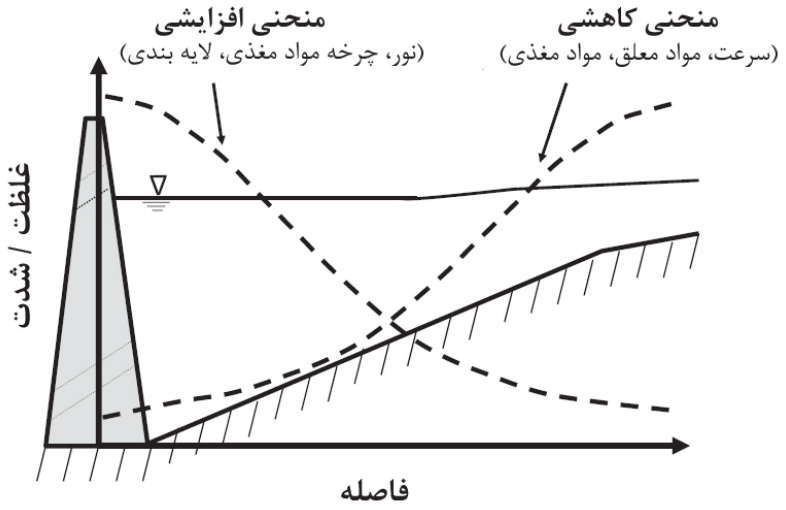
این ناحیه ته نشین می شوند. در این ناحیه تاثیرات نیروهای شناوری [16] به دلیل اختلاف دانسیته میان جریان آب ورودی و آب درون مخزن به طور چشمگیری افزایش می یابد.

ناحیه دریاچه ای قسمتی از مخزن است که دارای بیشترین تشابه با دریاچه ها می باشد (به ویژه پشت دیواره سد). در این قسمت نیروهای شناوری تعیین کننده الگوی جریانات آب می باشند. به دلیل سرعت کم و عمق زیاد، عموماً غلظت ذرات معلق در این ناحیه کمتر بوده ولذا عمق نفوذ نور بیشتر و در نتیجه رشد جلبک ها در این ناحیه بیشتر می باشد (جی ۲۰۰۸). در شکل ۱.۴.۲ نحوه توزیع طولی فرآیند های وابسته به سرعت جریان در سه ناحیه فوق الذکر مخزن نشان داده شده است.

۱.۴.۳. لایه بندی افقی و گرادیان های قائم

منشأ گرادیان های قائم املاح و متغیرهای کیفی در دریاچه ها و مخازن، لایه بندی حرارتی می باشد که به نوبه خود از تشعشع خورشید بر روی سطح آب نشأت می گیرد. جانسون و فورد (۱۹۸۶) نشان دادند هنگامی که عمق متوسط دریاچه از ۱۰ متر و متوسط زمان ماند [17] آب از ۲۰ روز تجاوز کند، پتانسیل لایه بندی ایجاد می گردد. در اثر نفوذ نور، در دریاچه های کم عمق پروفیل گرمایی تشکیل می شود (کل ۱۹۸۳). در دریاچه های عمیق نظیر مخازن سدها که مد نظر این تحقیق می باشند به دلیل تاثیر اختلاط ناشی از باد در لایه های سطحی و تاثیر عوامل دیگر در لایه های زیرین، وضعیت متفاوت بوده و این دریاچه ها و بالاخص مخازن سدها علاوه بر ناحیه بندی افقی دارای ناحیه بندی قائم نیز می باشند.

[16] Buoyancy
[17] Retention Time



شکل ۱.۴.۲. شکل شماتیک توزیع طولی متغیرهای هیدرودینامیکی و کیفی مخزن

۱.۴.۴. بیلان آبی مخزن:

وضعیت بالانس آب در نتیجه تعادل یا عدم تعادل ورود، خروج و تلفات آب از عوامل مهم تاثیرگذار روی کیفیت آب داخل مخزن و آب برداشتی بوده و تأثیر آن می تواند در مقیاس های سالانه، فصلی، ماهانه و حتی روزانه بسیار چشمگیر باشد. منابع ورودی آب به مخزن شامل ورود آب از سرشاخه های حوضه، رواناب سطحی، بارش مستقیم روی سطح دریاچه، منابع نقطه ای و آب زیرزمینی می باشد. خروج و تلفات آب نیز به نوبه خود شامل تبخیر از سطح دریاچه، تبخیر و تعرق گیاهان آبزی داخل مخزن، برداشت از دریچه ها، خروجی سرریز، نفوذ، تغذیه آب های زیرزمینی و فرار آب از مخزن می باشد. در مخازن مختلف، عوامل فوق الذکر می توانند هریک به تنهایی تاثیر اصلی و قابل توجهی نسبت به سایر عوامل داشته و یا ترکیبی از آنها بر کیفیت مخزن تاثیر گذار باشد. دوره های ترسالی و خشکسالی، رژیم دمایی، غلظت مواد شیمیایی و وضعیت رسوب حمل شده در هریک از عوامل ذکر شده نیز می بایست در بررسی تاثیر بیلان آبی در نظر گرفته شوند (رسته مهندسی ارتش آمریکا ۱۹۸۷).

۱.۴.۵. ویژگی های فیزیکی آب

آب مایعی با ویژگی های فیزیکی منحصر بفرد است که می بایست در بررسی های کیفی آن مد نظر قرار گیرد. این ویژگی ها که شامل دانسیته، ویسکوزیته، گرمای ویژه و کشش سطحی می باشند هریک به نوبه خود تاثیر چشمگیری در وضعیت کیفیت آب در شرایط مختلف و نحوه تاثیر گذاری سایر عوامل دارند. این ویژگی ها در بخش هیدرودینامیک مخازن بتفصیل مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

۱.۴.۶. رژیم گرمایی، الگوی لایه بندی حرارتی و اختلاط

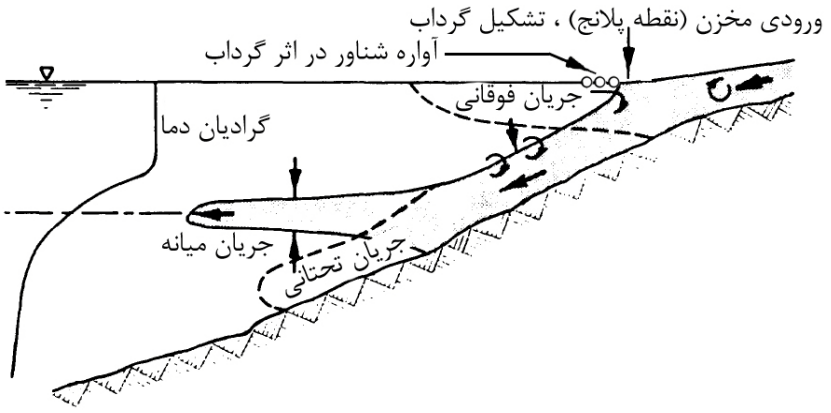
الگوی دمایی سالانه منطقه احداث سد، شکل دهنده یکی از اصلی ترین فرآیند های لیمنولوژیک مخزن آن است. تغییرات گرمایی در داخل مخزن، موجب ایجاد لایه بندی دانسیته تحت تاثیر دمای آب می گردد. لذا درک کافی از رژیم دمایی مخزن، جزو ضروریات بررسی ها و مدیریت کیفی مخازن می باشد. رژیم گرمایی، تعیین کننده الگوی زمانی و دفعات لایه بندی حرارتی[18] و اختلاط کلی (واژگونی[19]) سالیانه هر دریاچه و مخزن بوده و در حقیقت مبنای اصلی طبقه بندی لیمنولوژیک دریاچه ها و مخازن می باشد (هاچینسن و لوفلر ۱۹۵۶؛ لوفلر۲۰۰۴).

۱.۴.۷. اختلاط اولیه و اختلاط های داخلی مخزن

جریان های ورودی به مخزن در صورت عدم اختلاف دانسیته با آب مخرن، در محل ورود با آب داخل مخزن اختلاط یافته و به سمت دیواره سد حرکت می کنند. در حالی که در صورت وجود اختلاف دانسیته آب ورودی، این جریان در محل ورود به مخزن [20] از شرایط همگن در یک کانال باز تبدیل به یک جریان تحتانی [21] لایه بندی شده می گردد (فورد و جانسون ۱۹۸۳). در نقطه ورودی مخزن، جریان آب از جریان رودخانه ایِ شیبدار به حالت دریاچه ایِ افقی میل می کند. لذا با توجه به سرعت زیاد جریان پیش از نقطه ورودی مخزن، و سرعت کم آن در خروج از آن نقطه، گرداب بزرگی در این محل تشکیل می شود (فورد و همکاران ۱۹۸۲) . تغییر در عمق و جهت جریان تحت اثر تشکیل گرداب، به ایجاد اختلاط کمک کرده و این اختلاط تحت تاثیر گرداب مذکور اختلاط اولیه[22] نامیده می شود (فورد و جانسون ۱۹۸۳). شکل ۱.۴.۳ شمای کلی مکانیسم اختلاط اولیه و لایه بندی ایجاد شده پس از آن را نشان می دهد.

اختلاط داخلی[23] واژه ای است که برای توصیف اختلاط های ناشی از باد، چرخه دمایی، چرخش لانگموئر [24]، همرفت[25]، ناپایداری های کلوین-هلمولتز[26] و خروج جریان از دریچه های مخزن به کار می رود. (شکل ۱.۴.۴).

[18] Thermal stratification
[19] Overturn
[20] Plunge point
[21] underflow
[22] Initial Mixing
[23] Internal Mixing
[24] Langmuir circulation
[25] Convection
[26] Kelvin-Helmholtz

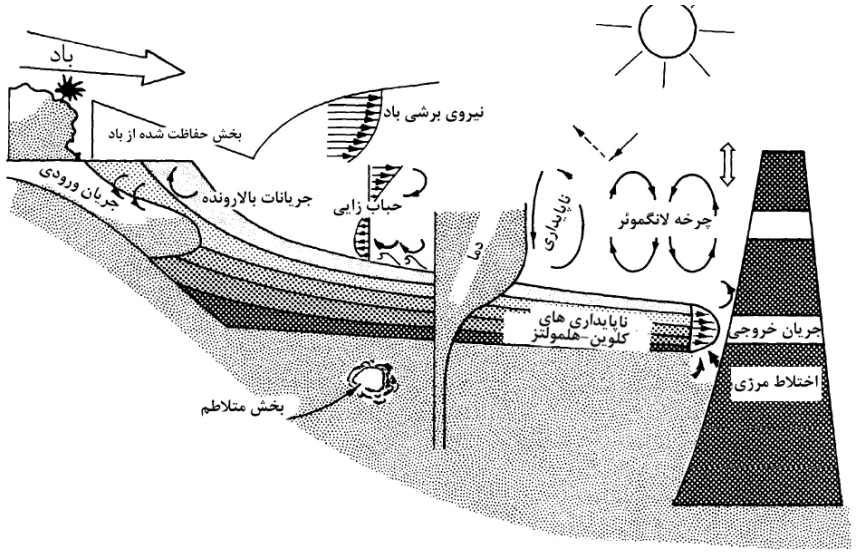


شکل ۱.۴.۳. محل ورودی مخزن (نقطه پلانج)، گرداب حاصله و ایجاد لایه بندی پس از آن

۱.۴.۸. عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی

بار رسوب معلق و ذرات کلوئیدی می تواند موجب افزایش دانسیته آب و ایجاد مقاومت در برابر اختلاط گردد. با وجود ته نشینی سریع ذرات جامد معلق، ذرات ریز کلوئیدی که به ویژه در زمان وقوع طوفان به همراه سیل به درون مخزن وارد می شوند، تا زمان ته نشینی و زوال [27]، می توانند از اختلاط لایه های زیرین آب با لایه های بالایی جلوگیری نمایند. به طور کلی پس از ورود یک جریان عمده سیلابی به مخزن می توان انتظار وقوع اختلاف دانسیته بین لایه های تحتانی و فوقانی مخزن را داشت.

مقادیر بالای TDS [28] یا املاح ورودی نیز به نوبه خود موجب افزایش دانسیته آب و جلوگیری از اختلاط کامل سیستم می گردد.



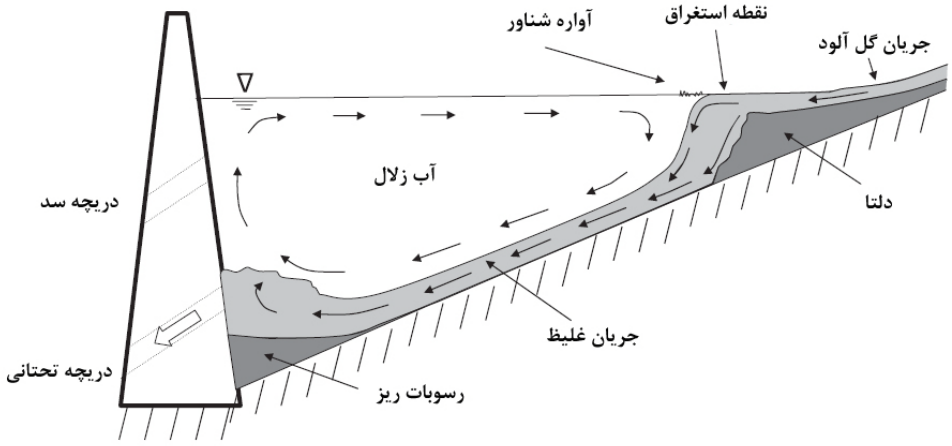
شکل ۱.۴.۴. شمای کلی اختلاط های داخلی مخزن

[27] Decay
[28] Total Dissolved Solids (TDS)

تجزیه رسوبات و مواد آلی ته نشین شده به همراه رسوب نیز می توانند موجب تجمع املاح در لایه های زیرین و افزایش دانسیته آب شده و از اختلاط کامل جلوگیری نمایند. این پدیده که biogenic meromixis نامیده می شود اغلب در آغاز بهره برداری از مخزن (زمان آبگیری اولیه مخزن و نیز در دوران انتقالی مخزن که تجزیه آبرفت های سیلابی بستر و پوشش گیاهی کف مخزن نسبتاً زیاد است) رخ داده و در طول دوران بهره برداری اثرات لایه بندی ناشی از آن بتدریج کاهش می یابد (رسته مهندسی ارتش آمریکا ۱۹۸۷).

۱.۴.۹. رسوبگذاری و تبادلات آب-رسوب

مخازن به عنوان محل تله اندازی آب، رسوب و مواد مغذی، دارای چرخه ها و فرآیندهای داخلی پیچیده ای میان اجزای تله اندازی شده می باشند. با ورود جریان رودخانه به مخزن، سرعت جریان و اختلاط ناشی از تلاطم به شدت کاهش یافته و رسوبات حمل شده توسط رودخانه، شروع به ته نشینی می نمایند (جی ۲۰۰۸). مواد ارگانیک درشت و آواره ها[29] به همراه سنگریزه و شن درشت در بالادست و عموماً در محل دلتای ورودی مخزن ته نشین می شوند. پلانکتون[30] های رودخانه یا جلبک[31] های دارای پوسته ضخیم یا دیاتومه[32] هایی که مقاومت کافی در برابر سایش حین انتقال را دارند نیز توسط جریان رودخانه وارد مخزن می شوند ولی بسرعت ته نشین می شوند. این جلبک ها و مواد ارگانیک در اندازه سیلت درشت در بخش های بالایی مخزن، ذرات ریزتر در بخش های پایین تر، و نیز مواد کلوییدی آنها بسیار آهسته تر ته نشین می شوند (رسته مهندسی ارتش آمریکا ۱۹۸۷). الگوی ته نشینی مذکور در حالت کلی به نحو مشابهی موجب ایجاد طبقه بندی طولی ته نشینی بار معلق بر اساس دانه بندی رسوب برای بار معلق کل می گردد. (شکل ۱.۴.۵).



شکل ۱.۴.۵. الگوی عمومی ته نشینی رسوب در مخازن

[29] Debris
[30] Plankton
[31] Algae
[32] Diatom

دیاژنس[33] یا فرآیند تبدیل رسوب به سنگ های رسوبی برآیند کلیه فرآیندهای فیزیکی و بیوشیمیایی فعال در بستر رسوبی می باشد. در یک مدل کیفی آب، دیاژنس برای بیان زوال مواد آلی در محیط رسوبی به کار می رود. تبادلات رسوبی ناشی از واکنش های دیاژنتیک می تواند بخش قابل توجهی از منابع مواد مغذی یا اکسیژن ورودی به یک دریاچه یا مخزن را به خود اختصاص دهد. تجزیه مواد آلی در رسوبات کف، نیاز گسترده ای به اکسیژن دارد که از طریق ستون آب بالای آن تامین می شود. این نیاز، نیاز اکسیژن رسوب[34] یا SOD نامیده می شود. SOD قسمت قابل توجهی از مصرف اکسیژن کل یک محیط آبی را به خود اختصاص می دهد. در بلند مدت (دهه های متوالی) رسوبات کف نقش حفره ای برای جذب و به دام انداختن مواد مغذی و سایر موادی را ایفا می کنند که از ستون آب جدا می شوند. بطور مشخص بخشی از مواد مغذی ته نشین شده نظیر فسفر، نیتروژن و سیلیس در رسوبات عمیق تر مدفون و برای همیشه از سیستم آبی حذف می شوند (جی ۲۰۰۸).

۱.۵. پیشینه تحقیق:

تحقیقات متعددی در جهان به منظور مطالعه و بررسی وضعیت کیفی دریاچه ها انجام گرفته و مدل های مختلفی نیز در این ارتباط بشرحی که در بخش های پیشین مطرح گشت ارائه شده است. علیرغم اهمیت فزاینده سدها و نقش مؤثر آن ها در توسعه و نیز تغییرات زیست محیطی، تحقیقات انجام یافته در ارتباط با مخازن سدها، به نسبت سایر محیط های آبی بسیار کمتر بوده است. بالاخص در ارتباط با سدهای پیشنهادی علیرغم اهمیت بالای آن، تحقیقات اندکی صورت گرفته است. در ادامه به بررسی پیشینه تحقیق با استفاده از مدل های به کار رفته در این پژوهش، در مخازن سدهای نقاط مختلف جهان و نیز چند دریاچه آب شیرین پرداخته می گردد.

کاسولی و چنگ (۱۹۹۲) یک روش تفاضلات محدود نیمه ضمنی را جهت حل عددی جریانات سه بعدی آب ارائه نموده و نخستین بار از آن جهت شبیه سازی سه بعدی جریانات جزر و مدی در مصب پیچیده سان فرانسیسکو در کالیفرنیا و تالاب ونیز در ایتالیا استفاده کردند که در هر دو مورد مطالعات پیشین منجر به ناپایداری شده بود. متد ارائه شده آنها در مناطق مذکور با پایداری کامل و سرعت محاسبات بالا عمل نموده و نتایج قابل قبولی را ارائه نمود. روش مذکور (TRIM-3D) مبتنی بر معادلات ناویر-استوکس سه بعدی با میانگین گیری از سرعت های نظیر عدد رینولدز بوده و با فرض هیدرواستاتیک بودن فشار ساده سازی می گردد. این روش با اعمال و ادغام معادله پیوستگی در عمق و استفاده از شرایط سینماتیک در سطح آزاد آب و نیز در نظر گرفتن تنش برشی باد در سطح و تنش برشی کف به عنوان شرایط مرزی معادلات دیفرانسیلی انتقال و پیوستگی، به حل نیمه ضمنی معادلات مذکور می پردازد. با توجه به گسسته سازی ضمنی تنها بخشی

[33] Diagenesis
[34] Sediment Oxygen Demand

از معادلات سه بعدی جریان (گرادیان تراز سطح آب در معادلات مومنتوم و سرعت در معادله توسعه سطح آزاد آب) این روش اصطلاحاً نیمه ضمنی نامیده می شود. لازم به ذکر است که روش مذکور، مبنای ریاضی طراحی مدل هیدرودینامیک سه بعدی به کار رفته در پژوهش حاضر می باشد.

اشکلادو و همیلتون (۱۹۹۶) در طی یک تحقیق گسترده به معرفی مدل سازی هیدرودینامیکی در کنار مدل سازی کیفیت آب و مدل سازی کیفی یک مخزن با استفاده از مدل اکوسیستم CAEDYM کوپل شده با مدل یک بعدی هیدرودینامیک DYRESM (مدل انتقال قائم مواد یکسان با مدل ELCOM) به بررسی عملکرد آن در مخازن پرداختند. بر اساس تحقیقات افراد نامبرده، یکی از مزایای استفاده از مدل های هیدرودینامیک در شبیه سازی مخازن، عدم نیاز آنها به انجام کالیبراسیون (به دلیل فرآیند محور بودن و استفاده از معادلات دیفرانسیلی برای شبیه سازی فرآیندها) می باشد. در بخش دوم تحقیق مذکور، مدل فوق الذکر جهت شبیه سازی چرخه نیتروژن، فسفر و اکسیژن محلول مخزن سد پراسپکت در سیدنی استرالیا به کار رفته است که نتایج مدل مذکور با درصد خطای پایینی با داده های برداشتی از درون مخزن تطابق داشت. نتایج مدل همچنین لایه بندی حرارتی شدیدی را در طی ماه های گرم سال نشان داد که ورود آب سرد از خط لوله انتقال آب به لایه های زیرین مخزن نیز آن را تشدید و موجب تشکیل ترموکلاین در ترازی بالاتر از حد معمول می شد.

هان و همکاران (۱۹۹۹) با استفاده از مدل هیدرودینامیک یک بعدی DYRESM ساختار دمایی مخزن سد سائو را در شمال شرق اسپانیا مورد بررسی قرار دادند. مدل با استفاده از داده های هواشناسی، و دمای آب جمع آوری شده از محل مخزن اجرا شده و بنابر ادعای محققین مذکور تطابق قابل قبولی را با داده های دمای برداشتی از مخزن ارائه نمود. بر اساس نتایج به دست آمده از مدل، تغییرات دمای جریان ورودی و بالاخص دمای بالای جریان ورودی از رودخانه بیشترین تأثیر را در ساختار و توزیع دمایی مخزن سد سائو داشته و تأثیر زمان ماند بر روی لایه بندی حرارتی با تغییرات تراز ترموکلاین در این مخزن آشکار می گردد.

رومرو و ایمبرجر (۲۰۰۳) با استفاده از مدل ELCOM-CAEDYM ورود یک سیل به مخزن سد بوراگورانگ در سیدنی استرالیا را که دارای مورفولوژی پیچیده، باریک و طولانی می باشد، جهت پیش بینی حرکت سیل مذکور در مخزن شبیه سازی نمودند. بر اساس نتایج این مدل سازی، جریان جریان تحتانی کدر و مملو از مواد مغذی فاصله ۵۰ کیلومتری محل ورود رودخانه به مخزن و دیواره سد را طی ۷ الی ۸ روز پیموده و در طول مسیر خود از بالادست موجب بر هم خوردن وضعیت لایه کم اکسیژن زیرین (هایپولیمنیون) گشته و فسفر و نیتروژن ذره ای و نیز کدورت، با روندی نمایی (۰/۳۴ الی ۰/۴۲) در رأس جریان تحتانی ته نشین شدند. نتایج شبیه سازی الگوهای مکانی حرکت اکسیژن محلول و مواد مغذی، تطابق خوبی را با نمونه های فیزیکی برداشتی از مخزن در طی سیل مذکور نشان داد. در نهایت پژوهشگران مذکور جهت شبیه سازی تغییرات

مکانی جریان یک سیل در داخل مخزن، استفاده از یک مدل هیدرودینامیک مناسب (ترجیحاً) سه بعدی با کوپل یک مدل بیوشیمیایی دارای تنظیمات ساده را توصیه نمودند.

دالیمور و همکاران (۲۰۰۴) با توجه به تأثیرات ورود جریانات مستغرق با غلظت، دما، شوری و کدورت مختلف از رودخانه به مخزن در کیفیت آب مخازن، با استفاده از مدل هیدرودینامیک ELCOM و کوپل آن به یک مدل دو بعدی جریانات تحتانی، ورود جریانات مستغرق غلیظ به مخزن سد ولینگتون در استرالیا را که پیش از آن در مطالعات آزمایشگاهی، در محل و نیز با استفاده از سایر مدل های عددی بررسی شده بود شبیه سازی نمودند. بنا به اظهار محققین مذکور به دلیل پیچیدگی جریانات تحتانی مستغرق در مخازن و دریاچه های دارای توپوگرافی پیچیده، مدل های تجربی و آزمایشگاهی ارائه شده جهت بررسی جریانات ثقلی، توانایی محدودی جهت اعمال در مطالعات و پروژه های واقعی داشته و نمی توان آنها را مستقیماً در محاسبات مربوط به تأثیرات امواج داخلی و اختلاط ناشی از باد به کار گرفت. لذا محققین فوق استفاده از مدل سازی عددی را جهت شبیه سازی و پیش بینی توزیع زمانی و مکانی دما، مواد مغذی، آلاینده ها و کدورت حمل شده از رودخانه ها به داخل مخازن و دریاچه ها توصیه می نمایند. نتایج پژوهش انجام یافته توسط این افراد برای جریانات مستغرق غلیظ ورودی به سد ولینگتون، حاکی از تطابق بالای نتایج مدل با داده های برداشتی از محل بوده است.

رومرو و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از مدل سه بعدی ELCOM و کوپل آن با مدل اکوسیستم CAEDYM در مخازن سدهای پراسپکت و واراگامبا در شرق استرالیا به بررسی وضعیت هیدرودینامیک و چرخه مواد مغذی دو مخزن مذکور در شرایط عادی و نیز در هنگام وقوع یک سیل در یکی از مخازن و مقایسه عملکرد مدل سه بعدی با یک مدل یک بعدی به کار رفته در همان مخازن پرداختند. براساس مطالعات آنها، یک ترکیب ساده از مواد مغذی، موادآلی ذره ای و فیتوپلانکتون ها به منظور شبیه سازی فصلی و سالانه و بررسی مخازن بدون مشکل تغذیه گرایی کافی می باشد. همچنین نتایج پژوهش مذکور اهمیت مدل سازی صحیح و دقیق هیدرودینامیکی را جهت تعیین مناسب توزیع زمانی و مکانی مواد و آلاینده ها در داخل مخزن و نیز کارایی مدل سه بعدی را در این زمینه به خصوص در هنگام وقوع سیل نشان داد. همچنین مشخص نمود که از معایب استفاده از مدل های بسیار پیچیده جهت شبیه سازی، عدم امکان انجام تحلیل حساسیت در صورت وجود پارامترهای زیاد می باشد.

سیلایوس و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر سد سازی بر روی دما، دانسیته و شوری آب دو رودخانه استریمون و نوستوس در یونان و در ادامه تأثیر آن بر وضعیت لایه بندی حرارتی در مصب دو رودخانه مذکور در محل تخلیه آنها به دریای اژه را با استفاده از مدل ELCOM شبیه سازی نمودند. مدل مذکور برای دو سناریوی مختلف، شامل تأثیر عدم حضور یکی از سدهای احداثی بر روی هریک از دو رودخانه فوق الذکر اجرا گشت و بر اساس نتایج به دست آمده، آب خروجی از سد احداثی بر روی رودخانه استریمون (سد کرکینی) با کاهش ۱۳ درصدی

انرژی کل پتانسیل ستون آب در پایین دست در طول فصل بهار (از آوریل تا ژوئن) موجب ایجاد لایه بندی حرارتی در مصب رودخانه گشت. از طرف دیگر نتایج پژوهش مذکور نشان داد که در مصب رودخانه نوستوس نیز دینامیک ستون آب به شدت تحت تأثیر فعالیت های سدسازی قرار گرفته به نحوی که در فاصله ماه های نوامبر تا جولای دهانه رودخانه مذکور شاهد کاهش حدوداً ۵۰ درصدی انرژی کل پتانسیل ستون آب بوده است.

پاپادیمیتراکیس و کارالیس (۲۰۰۹) با استفاده از مدل ELCOM-CAEDYM چرخه هیدرودینامیک و فرآیندهای کیفی مرتبط را در مخزن سد مورنوس در یونان برای دوره دو ساله از ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ شبیه سازی نمودند. براساس نتایج مطالعه مذکور توزیع زمانی و مکانی پارامترهای کیفی مخزن نظیر اکسیژن محلول، نیترات، آمونیوم، فسفر و کربن و نیز الگوی کلی تغییرات کیفیت آب در داخل مخزن مشخص گردید. مقایسه نتایج مدل و مقادیر برداشتی از محل حاکی از شرایط اولیگوتروفیک مخزن و عدم وجود مشکل تغذیه گرایی در آن بود و محققان مذکور به ضرورت جمع آوری داده ای بیشتر اشاره نموده و استفاده بیشتر و برنامه ریزی شده از سیستم اتوماتیک جمع آوری داده های کیفی (EYDAP) نصب شده در داخل مخزن سد مذکور را پیشنهاد نمودند.

چونگ و همکاران (۲۰۰۹) از مدل ELCOM-CAEDYM جهت شبیه سازی نحوه ورود یک جریان غلیظ کدر از رودخانه به یک مخزن دارای لایه بندی (سد دایچئونگ در کره جنوبی) و انتشار در داخل آن و پیش بینی تأثیر آن بر کدورت مخزن و در نتیجه تأثیر بر روی اکوسیستم آبی و کیفیت آب استفاده نمودند. بر اساس نتایج، جریان کدر ورودی از فاصله ۲۰ الی ۳۰ کیلومتری بالادست محور سد مستغرق شده و در عمق ۲۰ الی ۳۵ متری از سطح آب به مسیر خود ادامه داد. این پژوهش راندمان تله اندازی مخزن مذکور را برابر ۵۸ درصد برآورد نمود که از آن مقدار حدود ۵۳ درصد بر روی رسوبات ته نشین شد. در تحقیق مذکور نیز مقادیر حاصل از مدل ELCOM-CAEDYM بدون نیاز به کالیبراسیون تطابق بالایی با مقادیر مشاهداتی نشان دادند. محققان مذکور با استفاده از نتایج شبیه سازی و پیش بینی نحوه توزیع کدورت در مخزن، عمق مناسب جهت تخلیه آب کدر از مخزن را پیش بینی و الگویی را جهت تغییر تراز برداشت آب از دریچه های سد در شرایط مختلف را شبیه سازی و تدوین نمودند. به عنوان مثال با توجه به اینکه افزایش زمان سیر جریان غلیظ در داخل مخزن، موجب کاهش سرعت آن و ته نشینی بیشتر مواد معلق می گردد، جهت افزایش سرعت جریان، با تغییر تراز دریچه تحتانی از ۵۴ به ۴۰ متر در مدل، جریان کدر و غلیظ ورودی از بالادست به همراه آب کم اکسیژن لایه های زیرین به رودخانه پایین دست تخلیه شد. در نهایت این محققان تلفیق مدل سازی و پیش بینی فرآیندهای داخل مخزن را با یک سیستم مدیریتی عملی و به هنگام (ARMS)[35] در مخزن و استفاده از داده های خروجی از مدل ها را در فرآیند مدیریت کیفی آب مخازن توصیه نمودند.

[35] Aquatic Real-time Management System

مارسه و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از مدل DYRESM-CAEDYM فرآیندهای مخزن سد پیشنهادی لکوباسو در اسپانیا را جهت تطبیق سازه سد و تراز دریچه های آن با استراتژی های کمی و کیفی بهره برداری و نیز مشخص نمودن تراز لایه های بدون اکسیژن شبیه سازی نمودند. در طی پژوهش مذکور کالیبراسیون مدل CAEDYM با استفاده از ضرایب موجود در منابع صورت گرفته و با استفاده از داده های برداشتی از خط انتقال موجود آب به مخزن، سناریو هایی جهت شبیه سازی استراتژی های مختلف بهره برداری طراحی و مدل برای یک دوره ۴ ساله اجرا شد. نتایج تحقیق نشان دهنده تشکیل ترموکلاین در عمق ۷ الی ۱۰ متری سطح آب در طول دوران لایه بندی حرارتی بوده و به طورکلی بخش های تحتانی مخزن تا ارتفاع ۱۵ متر از کف آن در طول سال (حتی در زمان اختلاط کامل زمستانی) دارای کمبود اکسیژن بود. تعبیه یک دریچه تحتانی در عمق بسیار پایین سد و استفاده از روش سعی و خطا در تعیین تراز بهینه آن، نهایتاً در عمق ۸۵ متری، موجب افزایش نرخ تجدید آب و کاهش زمان ماند لایه های زیرین شده و مشکل کم اکسیژنی لایه های تحتانی مرتفع گشت. با این وجود نتایج نشانگر این امر بود که با وجود تعبیه دریچه مذکور، در کلیه سناریو های اجرایی به استثنای سناریوی برداشت ماکزیمم از دریچه ها مشکل کم اکسیژنی لایه های زیرین به طور کامل مرتفع نمی گردد. همچنین در طی پژوهش مذکور، شبیه سازی ورود جریان مینیمم به مخزن و تاثیر آن در وضعیت کیفیت آب مخزن نیز مورد بررسی قرار گرفت که طی آن مشخص شد که جریانات ورودی با دبی کمتر از ۲ متر مکعب در ثانیه با وجود اعمال هر گونه استراتژی بهره برداری نیز می توانند موجب افت کیفیت آب مخزن شده و کاهش غلظت اکسیژن محلول در مخزن اجتناب ناپذیر می گردد.

میثاقی و هوندزو (۲۰۱۰) با استفاده از مدل ELCOM-CAEDYM بر پایه مقادیر ضرایب ارائه شده در منابع برای روابط تجربی مدل CAEDYM اقدام به شبیه سازی فرآیندهای مرتبط با کیفیت آب شامل تغییرات زمانی و مکانی دما، اکسیژن محلول، فسفر و یک گروه جلبک در دریاچه مینتونکا در ایالات متحده برای یک دوره ۸ ماهه نمودند. بر اساس نتیجه گیری های محققان مذکور، مدل سازی دقیق دریاچه و شبیه سازی فرآیندهای آن با استفاده از مدل سه بعدی کمک شایان و قابل توجهی به تحلیل و پیش بینی مناسب فرآیندهای مختلف در این دریاچه با مورفولوژی پیچیده نمود. نتایج پژوهش نشان دهنده عملکرد مناسب تر مدل سه بعدی نسبت به مدل های یک بعدی و تطابق بیشتر نتایج آن با داده های فیزیکی برداشتی در دریاچه مذکور بود. بر این اساس مدل سه بعدی ELCOM-CAEDYM به خوبی نشان دهنده تغییرات مکانی فصلی و موقت و نیز از بین رفتن مکان های مناسب سکونت آبزیان بود که مدل یک بعدی از انجام چنین پیش بینی ناتوان بود.

با توجه به جدید بودن مبحث مدل سازی کیفی سدها در جهان و بویژه در ایران، تاکنون مطالعات بسیار محدودی در ارتباط با مدل سازی کیفی مخازن در ایران انجام یافته که به غیر از یک مورد در ارتباط با مدل سازی سد پیشنهادی سازبن (مهاب قدس ۱۳۸۹) سایر مطالعات مربوط به پس از احداث سدها بوده و در کلیه