تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال سوم، شماره ۲، پاییز ۱۳۸۶
Volume 3, No. 2, Fall 2007 (IR-WRR)
۷۱-۷۷

گزارش فنی

لایه بندی حرارتی در مخازن متوالی ـ مطالعه موردی مخازن سدهای کارون ۱،۲و۳

حمید زرگرپور[۱]، مجتبی غروی[۲] و جعفر دهقان[۳]

چکیده

لایه بندی حرارتی مانع دریافت اکسیژن از منابع خارجی در داخل مخازن می‌شود، کمبود اکسیژن و ایجاد شرایط بی‌هوازی بر بسیاری از فرایندهای بوم‌شناختی و شیمیایی در مخزن تاثیر منفی می‌گذارد. در این شرایط رهاسازی جریان از زیر لایه در زمان لایه‌بندی باعث می‌شود که جریان آب سردتری از جریان پایه، آزاد و رها شود. جریان آب سرد از مخازن بالادست در شرایط گرم تابستان می‌تواند باعث تقویت لایه‌بندی یا حتی القای لایه‌بندی در مخازن پایین‌دست شود. در این مقاله به منظور بررسی اثر مخازن بالا دست در وضعیت لایه‌بندی مخازن پایین دست درمخازن کارون ۱،۲و۳ دو حالت متفاوت مورد بررسی قرار خواهد گرفت. حالت تک مخزنی، که در آن ورودی به مخازن، جریان طبیعی رودخانه است و حالت چند مخزنی که در آن هر سه مخزن با هم دیده شده است و لایه‌بندی مخازن با توجه به اثر القایی سه مخزن بر روی هم تعیین شده است. با مقایسه نتایج این دو حالت می‌توان به‌هدف موردنظر رسید. برای این منظور از برنامه HEC5Q استفاده شده است. نتیجه بررسی نشان‌می‌دهد که در مخزن کارون سه با توجه به اینکه اولین مخزن در بالادست است، روند تغییرات لایه‌بندی طبیعی وعادی است. در مخزن کارون۲ در اوایل زمستان هنوز دمای آب مخزن گرم است و حدود شش درجه با حالت مخزن تک در همان زمان تفاوت دارد. در مخزن کارون ۱ شروع فصل لایه‌بندی و دامنه تغییرات دمای آب در اثر وجود مخازن بالادست متفاوت است.

کلمات کلیدی: لایه بندی حرارتی، رولایه، زیرلایه، میان لایه

۱- عضو هیات علمی دانشگاه امام حسین (ع)
۲- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
۳- عضو معاونت فنی و طرحهای توسعه، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران

Technical Report

Thermal Stratification in Tandem Reservoirs Case Study: Karun 1, Karun 2, and Karun 3 Reservoirs

H. Zargarpour[1], *M. Gheravi*[2] *and J. Dehghan*[3]

Abstract

Thermal stratification in prevents reservoirs oxygen to reach the bottom layers. In this study, the effects of upstream reservoirs in thermal stratification of downstream reservoirs have been investigated. This paper presents the results in two different conditions; single and tandem reservoirs.

In single reservoir conditions, inflow to each reservoir is the natural river stream. In tandem reservoirs condition, the effect of each reservoir on downstream reservoirs is examined. Comparing the results of these two conditions explained the induced thermal stratification phenomena. This study is performed using HEC-5Q software.

Keywords: Thermal stratification, Induced, Epilimnion, Hypolimnion, Metalimnion

1- Scientific Staff, Emam Hosein University, Iran.
2- Assistant Professor, School of Civil Eng. Iran University of Science and Technology (IUST-IRAN)
3- Member of Technical Department of IWPC, Iran.

۱- مقدمه

تاریخچه بررسی وضعیت لایه بندی و تکنیکهای آنالیز و تحلیل سیستم‌ها به منظور کنترل کیفیت آب در بهره برداری از مخازن به اوایل دهه هشتاد باز می‌گردد. البته مباحث کیفی از اواسط دهه ۱۹۶۰ مورد توجه بود اما اوج آن در دهه هشتاد بود که بعضی از کارهای انجام شده در این زمینه در زیر آمده است [۳و ۴و ۵]. لابادیه (Labadie) در سال ۱۹۸۳ مدل کیفی وستکس (WESTEX) را با مدل شبیه سازی رودخانه مادسیم (MODSIM) ترکیب کرد و آنها را برای رودخانه کامبرلند (Cumberland) به کار برد او در این مطالعه ثابت کرد که بهره برداری از مخزن می‌تواند به منظور بهبود شرایط کیفی آب ،به خصوص در دوره‌های خشک اصلاح شود. Punnett (1987) مدل HEC5Q را برای رودخانه کاناوا (Kanawha) در غرب ویرجینیا به منظور تنظیم برنامه بهره برداری از سه مخزن، برای رسیدن به شرایط مطلوب اکسیژن محلول (DO) در پائین دست این سه مخزن به کاربرد و فونتانا (Fontana) و همکارانش از وستکس در یک مدل بهینه سازی برنامه ریزی پویا برای تعیین سیاست بهینه بهره برداری ، با استفاده از یک سازه برداشت انتخابی با چندین خروجی استفاده کرد . با تنظیم آب خروجی از دریچه‌های مختلف خروج آب می‌توان تا حد امکان دمای آب خروجی را به دمای مورد نظر در پائین دست نزدیک کرد. Loftis et al. (1985) شبیه سازی کیفی آب را با یک مدل بهینه سازی غیر سطحی به منظور رسیدن به شرایط مطلوب کمی و کیفی در سیستمی از دریاچه‌ها، ترکیب کردند. و بالاخره Donald F. Hayes, et al. (1998) بهبود کیفیت آب در بهره برداری از مخازن و سدهای برقابی متوالی و به طور خاص روی اکسیژن محلول را روی رودخانه کامبرلند مورد توجه قرار دادند. در تمامی کارهای انجام شده قبلی تعیین وضعیت لایه‌بندی حرارتی و پروفیل دمایی به عنوان پیش نیاز و بحث پایه مطرح است. [۶و ۸]

۲- تقسیم بندی مخازن

مطالعات اولیه‌ای که در مورد ساختمان حرارتی دریاچه‌ها توسط Hutchinson (1957) انجام شد، نشان می‌داد که در زمانی که مخزن به حداکثر لایه بندی خود رسیده و یک میان لایه ـ ترموکلاین (Thermocline) مشخص در مخزن شکل گرفته، تغییرات نسبتاً کمی در دمای نقاط مختلف سطوح موازی سطح آب وجود دارد . هر چند دریاچه‌های بزرگ با طول زیاد هم هستند که در اثر عوامل طبیعی مثل ورود یک جریان شدید به مخزن و یا اثر باد ، در امتداد افقی هم تغییرات دما دارند، اما این تغییرات توسط نیروهای ثقلی پراکنده و خنثی می‌شود و مخزن در اغلب سال دارای تغییرات دمایی در عمق می‌باشد و می‌توان آنرا تک بعدی دانست . پس با مقایسه نیروهای اینرسی و نیروهای ثقلی می‌توان وضعیت تغییرات دما در مخزن را تا حدود زیادی تشخیص داد و آنها را به یکی از سه گروه زیر تقسیم کرد[۲] :

۱. مخزن عمیق که دارای منحنی‌های هم دمای افقی است. لایه بندیهای حرارتی یا چگالی عموماً از ویژگیهای این مخازن است.
۲. مخزن با لایه بندی ضعیف که در آن منحنی‌های هم دما نسبت به افق زاویه دارند
۳. مخزن با اختلاط کامل که توزیع دما و چگالی در عمق این مخزن در دوره‌های تابستانی و زمستانی تقریبا یکنواخت است .

هر دو مخزن عمیق و اختلاط کامل را می‌توان به صورت تک بعدی مدل کرد با این تفاوت که تغییرات دما در مخزن عمیق در عمق است و در مخزن با اختلاط کامل تغییرات در جهت محور طولی مخزن است .

پارامتر و عدد مناسبی که در آن نیروی اینرسی و ثقل وجود دارد عدد بدون بعد فرود است که در تعریف اولیه به صورت نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای ثقلی تعریف می‌شود . تجربه نشان می‌دهد که برای مخازن کوچک تا متوسط ،که محور اصلی آنها کمتر از۵۰ کیلومتر است ، فرض تک بعدی بودن مخزن ، فرضی معقول و منطقی است استثناء در این مورد مخازنی هستند که شکل باریک و عمیق دارند و لذا حجم کمی از آب مخزن (نیروی ثقلی) در برابر حداکثر جریان ورودی به مخزن (نیروی اینرسی) قرار می‌گیرد . لذا هرچه نسبت نیروی اینرسی به ثقل (عدد فرود)کمتر باشد فرض تک بعدی بودن مخزن در جهت قائم درست تر است.

۳- مطالعه موردی

رودخانه کارون پر آب ترین رودخانه ایران، بامساحت حوزه آبگیر حدود ۶۰۵۰۰ کیلومتر مربع، متوسط بارندگی سالانه در حدود ۶۰۰ میلیمتر ومیانگین آبدهی سالانه حدود ۱۸۷۰۰ میلیون مترمکعب دارای امکانات بالقوه متعددی برای احداث سد می‌باشد.

به طوریکه تا کنون چندین طرح برقابی بر روی این رودخانه در دست بهره برداری ، مطالعه و یا در حال اجرا می‌باشد که از این میان می‌توان به سد شهید عباسپور و سد کارون سه به عنوان طرح و سد

در حال بهره برداری ، و طرح سد و نیروگاه کارون دو به عنوان طرح مطالعاتی اشاره کرد. این مطالعه موردی لایه بندی مخازن این سه سد با توجه به اثر القایی سه مخزن بر روی هم انجام شده است. [۹]

۴- مبانی و مفروضات مدلسازی

۱- برای انجام مطالعات از داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی ایستگاه پل شالو برای کارون ۲ و ۳ و ایستگاه سد شهید عباسپور برای کارون ۱ با توجه به طول دوره آماری و تجهیزات مناسب آنها و نزدیکی به محل سدها استفاده شده است.

۲- برای فهم بهتر اثر لایه بندی القایی در مخازن متوالی سدهای کارون یک و دو و سه ،مخازن این سدها در حالت تک و متوالی شبیه سازی شده اند . که تفاوت عمده در شبیه سازی مربوط به دو مورد آورد رودخانه دمای و آب ورودی است.

اما در مورد مخزن سد کارون سه چون مخزنی در بالا دست آن در مطالعه ما وجود ندارد ، آورد رودخانه و دمای آب ورودی به مخزن در دو حالت تک و متوالی تفاوتی ندارد و به همین جهت مخزن این سد در یک حالت شبیه سازی شده است .

۳- برنامه بهره برداری از مخازن :

- منحنی فرمان مخازن در حالت متوالی :

جدول ۱ متوسط ماهیانه آب ورودی به مخزن کارون یک و متوسط خروجی آب از خروجیهای مختلف (توربین‌ها، کنترل سیلاب ، تونل) را نشان می‌دهد[۱۲]. در شبیه سازی مخزن سد کارون یک در حالت تک مخزنی از همین داده‌ها و اطلاعات استفاده شده است و دمای آب ورودی به مخزن نیز بدون اثر مخازن بالادست و با استفاده از نمودار همبستگی دمای هوا – دمای آب منطقه در نظر گرفته شده است . اما با توجه به اینکه سد کارون سه کمتر از سه سال از آبگیری آن می‌گذرد و کارون دو نیز در مرحله مطالعاتی قرار دارد . دوره آماری مناسبی مانند آنچه در مورد مخزن سد شهید عباسپور وجود دارد در مورد این دو مخزن موجود نیست لذا برنامه بهره برداری از مخازن این سدها با توجه به فرضیات و اصول زیر، فرض شده و در شبیه‌سازی از آن استفاده شده است .

۱. تغییر تراز سطح آب بین تراز عادی بهره برداری و تراز حداقل بهره برداری
۲. با توجه به تغییرات تراز متوسط ماهیانه سد کارون یک بر اساس آمار ۲۲ساله که در جدول ۱ آمده است . در مورد مخزن کارون سه نیز سعی شده، روند تغییرات به همین صورت باشد.
۳. در مورد مخزن کارون دو با توجه به حجم کم این مخزن (۲۰۶ میلیون متر مکعب) نسبت به مخازن سدهای شهید عباسپور (۳۰۰۵ میلیون متر مکعب) و کارون سه (۲۷۵۰ میلیون متر مکعب) روند تغییرات همانند دو سد دیگر است. اما دامنه این تغییرات بین تراز ۶۵۰ متر و ۶۶۰ متر از سطح دریای آزاد می‌باشد .

جدول ۱- متوسط ماهیانه آب ورودی به مخزن و خروجی از مخزن سد شهید عباسپور[۱۲]

ماه	دبی ورودی به مخزن (m^3/s)	دبی خروجی از توربین‌ها (m^3/s)	دبی خروجی از سرریزها (m^3/s)	دبی خروجی از تونلها (m^3/s)
دی	۳۸۰	۳۲۵	۵۱/۳۱	۰/۴
بهمن	۴۵۸	۳۴۲	۸۷/۴	۰/۳۲
اسفند	۷۰۸	۳۵۷	۱۹۲/۰۷	۰
فروردین	۸۹۳	۴۱۲	۳۵۷/۷۷	۰/۱۴
اردیبهشت	۷۱۳	۴۳۱	۲۲۷/۶۹	۰
خرداد	۴۳۹	۳۹۷	۳۵/۵۹	۰
تیر	۲۹۰	۳۵۹	۵/۸۷	۰
مرداد	۲۱۸	۳۲۲	۲/۰۶	۰
شهریور	۱۷۹	۳۰۰	۱/۳۳	۰
مهر	۱۶۸	۲۵۴	۰	۰/۷۴
آبان	۲۲۵	۲۴۲	۰	۰/۳۸
آذر	۳۶۱	۲۸۱	۴۶/۸۷	۰/۴۲

دامنه تغییرات تراز آب در مخزن کارون یک بین تراز ۵۰۰ متر (تراز حداقل بهره برداری) و تراز ۵۳۰ متر (تراز حداکثر بهره برداری) و دامنه تغییرات تراز آب در مخزن کارون سه بین تراز۸۰۰ متر (تراز حداقل بهره برداری) و تراز ۸۴۰ متر (تراز حداکثر بهره برداری) در نظر گرفته می‌شود . با توجه به فرضیات فوق تعیین منحنی فرمان مخازن کارون یک و دو و سه از مخزن کارون سه به اینصورت انجام می‌شود .

دبی متوسط ماهیانه ورودی به مخزن سد کارون سه با استفاده از آمار ایستگاه پل شالو به صورت جدول ۲ است .

با در نظر گرفتن تراز متوسط ماهیانه آب در مخزن کارون سه و روند تغییرات مشابهی در آن به مانند مخزن کارون یک حجم متوسط ماهیانه آب در مخزن مشخص است. و با استفاده از رابطه تعادلی زیر می‌توان دبی خروجی از مخزن کارون سه را تعیین کرد .
حجم آب ذخیره شده در مخزن = تبخیر – حجم آب خروجی از مخزن – حجم آب ورودی به مخزن

با در نظر گرفتن خروجی مخزن کارون سه به عنوان ورودی کارون دو و تراز متوسط ماهیانه آب در مخزن دبی خروجی مخزن کارون دو نیز قابل محاسبه است .و به همین صورت در مورد مخزن کارون ۱

- منحنی فرمان مخازن در حالت تک :

منحنی فرمان مخزن سد شهید عباسپور بر اساس داده‌های آماری دوره ۲۲ ساله که جدول ۱ آمده است ، در شبیه سازی منظور شده است . در مورد مخزن سد کارون سه دبی ورودی و خروجی از مخزن (منحنی فرمان) همان اعداد و ارقام حالت قبل می‌باشد . چون نسبت به حالت متوالی ورودی به مخزن سد کارون سه تغییری نخواهد داشت . منحنی فرمان مخزن کارون دو نیز همان منحنی فرمان حالت قبل است .

با تعریفی که در بخش دوم در خصوص تقسیم بندی مخازن انجام شد وضعیت مخازن کارون یک ، کارون دو و کارون سه را می‌توان در جدول ۳ خلاصه کرد.

بنابراین شبیه‌سازی کیفی مخازن سدهای کارون یک (شهید عباسپور)،کارون دو و کارون سه را می‌توان با مدلهای تک بعدی با دقت تقریباً خوبی انجام داد و نیاز به مدلهای پیچیده تر دو بعدی و سه بعدی نمی‌باشد. از میان این مدلها ،مدلHEC5Q می‌باشد که دارای قابلیتهای مناسب و مورد انتظار در این مطالعه می‌باشد.

۵- سیستم مخزن و رودخانه

با توجه به نقشه توپوگرافی رودخانه کارون سیستم مخزن و رودخانه [۱۰ و ۱۱ و ۱۴] برای مدل‌سازی در برنامه HEC5Q [۱و ۷] در نظر گرفته شده است. از پائین دست سد کارون سه تا محل سد کارون یک حدود شش انشعاب فرعی وجود دارد به نامهای دره کت و رود درازنا بین کارون سه و کارون دو ، دره برده نخش و آب شلا و آب سرحوض و سبز آب بین کارون دو و سد شهید عباسپور که عموماً دارای دبی‌های پایه کمی نسبت به شاخه اصلی هستند و باعث تغییر خاصی در کیفیت و دمای آب در مسیر رودخانه اصلی نخواهند شد و شرایط آب و هوایی متفاوتی به لحاظ دمایی را به شاخه اصلی کارون منتقل نخواهند کرد انتخاب نقاط کنترل در مسیر رودخانه بر اساس منطق برنامه می‌باشد.

جدول۲- میانگین ماهیانه دبی در محل سد کارون سه (متر مکعب در ثانیه)[۱۳]

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
دبی (m^3/s)	۱۲۹	۱۵۱	۲۲۶	۲۴۹	۳۳۴	۴۴۷	۶۲۰	۵۵۰	۳۶۶	۲۴۰	۱۷۴	۱۳۹

جدول۳ - وضعیت لایه بندی در مخازن سدهای کارون ۱،۲و۳

نام مخزن	طول مخزن (km)	عمق مخزن (m)	حجم‌مخزن (MCM)	دبی متوسط ورودی مخزن (m^3 /sec)	عدد فرود	وضعیت لایه‌بندی مخزن	فرض تک بعدی بودن مخزن در جهت قائم
کارون یک	۳۰	۱۶۵	۳۰۰۵	۲۹۹/۵	۰/۰۰۵۸	مناسب	مناسب
کارون دو	۲۰	۹۵	۲۰۶	۳۰۰	۰/۰۹۸۱	مناسب	مناسب
کارون سه	۵۵	۱۸۰	۲۷۵۰	۳۰۲	۰/۰۱۰۷	مناسب	مناسب

۶- نتایج مطالعه موردی سدهای کارون یک و دو و سه

۶-۱- وضعیت لایه بندی مخزن سد کارون سه

در شکل ۱ وضعیت پروفیل دمایی مخزن برای دوره سه ساله نشان داده شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود ، در ماههای سرد سال دامنه تغییرات دما در عمق مخزن زیاد نیست و در بهمن و اسفند به حداکثر پنج درجه سانتیگراد می‌رسد. اما به تدریج با گرم شدن هوا لایه بندی در مخزن شکل می‌گیرد و در مرداد ماه اختلاف دمای لایه سطح آب با لایه‌های عمقی مخزن به حدود بیست درجه سانتیگراد می‌رسد و مخزن به شدت لایه‌بندی می‌شود. شکل‌گیری میان لایه (ترموکلاین) از اوایل اردیبهشت ماه شروع می‌شود و تا فصل پائیز ادامه دارد و بعد از آن با سرد شدن هوا و لایه‌های بالایی آب دوباره مخزن به سمت توزیع تقریباً یکنواختی از دما پیش می‌رود. اما به جهت اینکه این مخزن جزء مخازن با لایه بندی مناسب است هیچ وقت شرایط اختلاط کامل را در مخزن نخواهیم داشت. دوره لایه بندی مخزن یک بار از بهار تا پائیز است. و در مخزن به جهت اینکه هیچوقت دمای آب به 4° c نمی‌رسد ، لایه بندی منفی شکل نمی‌گیرد .

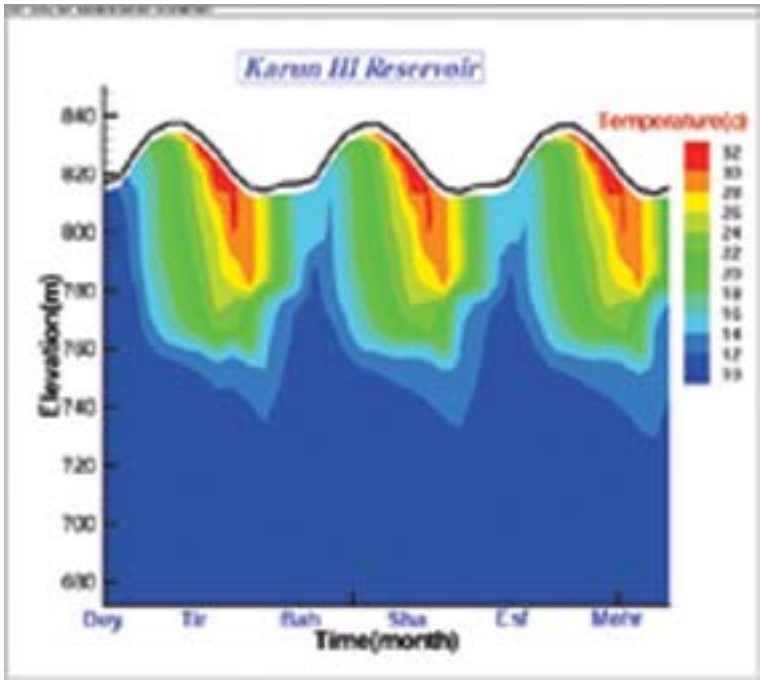
۶-۲- وضعیت لایه بندی مخزن سد کارون دو

در شکل ۲ و ۳ وضعیت پروفیل دمایی مخزن برای دوره سه ساله نشان داده شده است . شکل در تمام طول سال شرایط اختلاط مناسبی از مخزن و دمایی یکنواخت در عمق را نشان می‌دهد که با توجه به حجم آب ورودی به مخزن و حجم کم مخزن و بزرگ بودن عدد فرود در این حالت در مقایسه با مخزن کارون سه این وضعیت در مخزن قابل توجیه است. تفاوت عمده لایه بندی مخزن در حالت تک و متوالی تأخیر تقریباً دو ماهه پروفیل دمایی عمقی مخزن در حالت تک نسبت به حالت متوالی است . یعنی در زمستان دمای آب مخزن در حالت تک نسبت به حالت مخازن متوالی سردتر و در تابستان گرمتر است . که علت آن هم القاء لایه بندی توسط مخزن سد کارون سه به کارون دو می‌باشد .

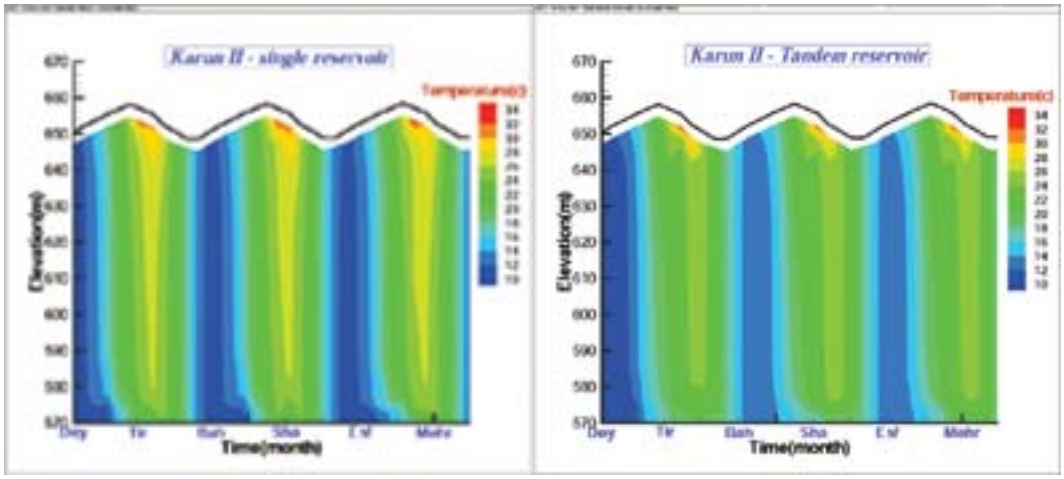
۶-۳- وضعیت لایه بندی مخزن سد شهید عباسپور

دمای آب ورودی به مخزن در حالت تک مخزنی در زمستان و پائیز کمتر از دمای آب ورودی در حالت مخازن متوالی است به همین دلیل در زمستان به خصوص در فصل دی ماه لایه بندی نسبت به حالت تک مخزنی شدیدتر است .

اما با شروع فصل بهار این وضعیت برعکس می‌شود به طوریکه در حالت تک مخزنی کارون یک در اواسط اردیبهشت ماه لایه بندی شروع می‌شود در حالیکه در این ماه زمانیکه مخزن تحت تأثیر مخازن بالا دست خود است مخزن تقریباً از اختلاط مناسبی برخوردار است.



شکل ۱ - لایه بندی مخزن سد کارون سه



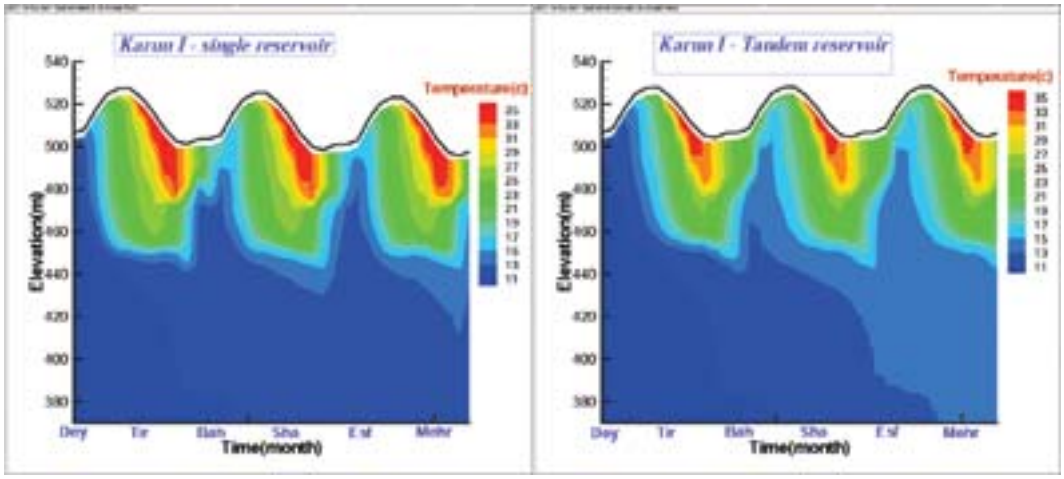
شکل۲ و۳ - لایه بندی مخزن سد کارون دو در حالت تک مخزنی و چندمخزنی [۱۵]

به طوریکه اختلاف دما بین رولایه و زیرلایه در اردیبهشت و خرداد برای حالت مخازن متوالی به ترتیب حدود دو و چهار درجه و برای مخزن در حالت تک هفت در جه و یازده درجه سانتیگراد می‌باشد. در تابستان نیز (بخصوص اوایل تابستان) چون دمای آب ورودی به مخزن در حالت مخازن متوالی کمتر است شدت لایه بندی نیز کمتر خواهد بود. بنابراین اینطور می‌توان گفت که شروع فصل لایه بندی در حالت مخازن متوالی در مخزن سد شهید عباسپور با تأخیری حدود یک ماه خواهد بود و شدت لایه بندی در تابستان نسبت به حالت تک مخزنی کمتر است.

شکل ۴ و ۵ به خوبی وضعیت لایه‌بندی را در این دو حالت نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشخص است که شدت لایه‌بندی در حالت تک‌مخزنی شدیدتر است و همچنین لایه‌بندی ضعیفی را در زمستان در حالت مخازن متوالی می‌توان دید که علت آن القاء لایه‌بندی از مخازن بالادست است . و نکته قابل توجه دیگر در این دو شکل این است که در حالتی که مخزن سد شهید عباسپور تحت تاثیر مخازن بالادست خود است عمق مخزن در تابستان تحت تاثیر قرار می‌گیرد و دمای بیشتری پیدا می‌کند.

۷- نتیجه‌گیری

در مخزن کارون سه با توجه به اینکه اولین مخزن در بالادست است، روند تغییرات لایه‌بندی طبیعی‌وعادی است. یعنی لایه‌بندی در مخزن در اواسط بهار شروع می‌شود و در اواسط تابستان شدید می‌شود و در اواخر پاییز که پایان دوره لایه‌بندی است، ضعیف می‌شود. مخزن سد کارون دو نیز به جهت اینکه اختلاط مناسبی دارد، در هر دو حالت از پروفیل تقریباً یکنواختی در عمق برخوردار است. لایه‌بندی در آن در مدت کوتاهی به صورت ضعیف شکل می‌گیرد.



شکل ۴ و ۵ - لایه بندی مخزن سد شهید عباسپور در حالت تک مخزنی و چند مخزنی

تفاوت لایه بندی در دو حالت تک و متوالی در دمای آب مخزن است که در حالت متوالی تحت تأثیر مخزن کارون سه در اوایل زمستان هنوز دمای آب مخزن گرم است و حدود شش درجه با حالت مخزن تک در همان زمان تفاوت دارد. در مخزن سد کارون یک، لایه‌بندی القایی دو اثر عمده دارد: اول شروع فصل لایه بندی و دوم دامنه تغییرات دمای آب. در مخزن سد شهید عباسپور در حالت تک لایه‌بندی روند طبیعی دارد. یعنی در اواسط بهار لایه بندی شروع می‌شود در اواسط تابستان به حداکثر خود می‌رسد و در اواخر پاییز پایان می‌یابد . اما در زمانیکه مخزن تحت تأثیر مخازن بالادست خود است، شروع دوره لایه بندی اواخر بهار و پایان آن اواسط زمستان است. همچنین شدت لایه بندی در حالت چند مخزنی به شدت لایه‌بندی در حالت تک مخزنی نیست و دامنه تغییرات دمایی در مخزن محدودتر است. به طوریکه عمق مخزن در حالت متوالی نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد و دمای بیشتری نسبت به حالت تک مخزنی می‌یابد.

۸- مراجع

شرکت خدمات مهندسی برق، امور مهندسی منابع آب، گزارش منابع آب سد شهید عباسپور.

شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس، گزارش هیدرولوژی و منابع آب طرح کارون ۳.

دهقان، ج. (۱۳۸۰)، "لایه‌بندی حرارتی در مخازن متوالی،مطالعه موردی مخازن سدهای کارون یک ،دو و سه، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۲۵ صفحه

Fontana, D., Labadie, J. and Loftis, B. (1981), Optimal control of reservoir discharge quality through selective withdrawal, *Water Resour. Res.*, 17(6), pp. 1594-1604.

Hayes, D. F. (1990), *Operating multireservoir hydropower systems for downstream water quality*, ph.D. dissertation, Colo. State Univ., Ft. Collins.

Hayes, D. F., Labadie, J. W., Sanders, T. G. and Brown, J. K. (1998), *Enhancing water quality in hydropower system operations*, water resources research, vol. 34 , No.3 , pp. 471-483.

Hutchinson, G. E. (1957), *A Treatise on Limnology* vol.1, New York, NY:Wiley.

Hydrologic Engineering center, U.S.Army Corps of Engineers (1986), HEC-5, *Simulation of flood control and conservation systems, Appendix on water quality analysis.*

Hydrologic Engineering center, U.S.Army Corps of Engineers, HEC-5 (1989), *Simulation of flood control and conservation systems, and Exhibit 8 of users manual – input descriptions.*

Labadie, J. (1983), *Drought contingency model for water control at Corps reservoirs in the Ohio River Basin : Cumberland River case study,* Colo. State Univ., Ft. Collins.

Loftis, B., Labadie, J. and Fontana, D. (1985), *Optimal operation of a system of lakes for quality and quantity*, paper presented at Specialty Conference on computer Applications in Water Resources, Am.Soc. Of Civ. Eng., Buffalo, N.Y., June 10-12.

Orlob, G. T. (1982), *Mathematical modeling of water quality: streams, lakes, and reservoirs,* university of California, Davis, John Wiley and sons, New York.

Punnett, R. (1987), *HEC-5Q: Ahandy tool or monkey wrench?* In proceeding: CE Workshop on Reservoir Release, Misc. Pap. E-87-3, 49 p., U.S.Army Eng. Waterw. Exp. Stn., Vicksburg, Miss.

تاریخ دریافت گزارش فنی: ۱ بهمن ۱۳۸۵
تاریخ اصلاح گزارش فنی: ۲۲ اردیبهشت ۱۳۸۶
تاریخ پذیرش گزارش فنی: ۳ شهریور ۱۳۸۶