علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره سیزدهم، شماره سه، پاییز ۹۰

مقایسه لایه بندی حرارتی مخزن سد در دست احداث بختیاری در دو ناحیه دریاچه ای و انتقالی با استفاده از مدل CE-QUAL-W2

مهرداد نظریها[۱]

عرفان دانایی[۲*]

erfandanaei@gmail.com

سید حسین هاشمی[۳]

امیر حسین ایزد دوستدار[٤]

تاریخ دریافت:۸۷/۴/۸ **تاریخ پذیرش:۸۷/۷/۲۰**

چکیده

مخازن سدها به دلیل افزایش زمان ماند آب و ایجاد پدیده لایه بندی آب موجب تغییر کیفیت آب خروجی از سد نسبت به آب ورودی به آن می شوند.در این مقاله رژیم حرارتی مخزن سد در دست احداث بختیاری با استفاده از مدل CE-QUAL-W2 بررسی شده است. داده های ژرف شناسی مخزن سد، اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژی مربوط به مخزن سد بختیاری تهیه و بر اساس تغییرات احتمالی در جریان آب‌دهی رودخانه دو سناریو برای سال های خشک و نرمال تعریف شده است.

نتایج سال خشک نشان دهنده لایه بندی از اواخر فروردین تا اواخر شهریور بوده اما نتایج سال نرمال بیانگر یک لایه بندی هفت ماهه از اواخر اردیبهشت تا اواخر آذر می باشد.در هر دو سناریو ها یک لایه راکد در زیر تراز آبگیر مشاهده می شود. هر چه تاثیر وجود سد روی رژیم آبی بیش تر باشد(سال خشک)، انتظار نزدیکی شرایط به وضعیت دریاچه ای بیش تر است. نکته قابل ذکر در ناحیه انتقالی عدم تاثیر شرایط آبگیری روی پروفیل دماست و به دلیل عمق کم تر شدت تغییرات بیش تر است. مدت لایه بندی مشابه نزدیک سد بوده با این تفاوت که آغاز لایه بندی در سال های خشک و نرمال زودتر رخ می دهد. در این ناحیه به دلیل ماند آب بالاتر تغییرات لایه بندی بیش تر مشابه گردش های دریاچه بوده و سه لایه رولایه، میان لایه و زیر لایه در ماه های پاییز قابل تشخیص است.

واژه های کلیدی: سد بختیاری،لایه بندی حرارتی، شبیه سازی، CE-QUAL-W2

۱- استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست دانشگاه تهران*(مسئول مکاتبات).

۳- استادیار پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی

۴- مدیر دفتر مطالعات پایه، محیط زیست و میراث فرهنگی شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران

مقدمه

در دهه های اخیر و در شروع قرن جدید یکی از نگرانی های مردم ساکن کره زمین و خصوصا کشورهای واقع در مناطق خشک از جمله کشور ما مساله آب می باشد به گونه ای که دسترسی به آب با کمیت و کیفیت مناسب به یک چالش مهم تبدیل شده است (۱). همان طور که از دیر باز نیز مرسوم بوده، نیاز به ذخیره آب از طریق احداث سد برای تامین آب جهت مصارف کشاورزی، صنعت، شرب، کنترل سیلاب، تولید انرژی برق آبی، کنترل کیفی و... ضروری به نظر می رسد(۲). آب در حال جریان، تحت تاثیر فرایندهایی چون هواگیری، تنفس سلولی، اختلاط و...از کیفیت یکنواختی برخوردار است. اما ذخیره کردن جریان آب های سطحی می تواند باعث اثرات سوء بر کیفیت آب رودخانه شود چرا که با انسداد، فرایندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می توانند بر کیفیت آب مخزن و درنتیجه آب رها شده به پایین دست موثر باشند (۱). مهم ترین تغییراتی که در کیفیت آب ممکن است به وقوع بپیوندد لایه بندی و تغییرات دمایی در مخزن سد (لایه بندی حـــرارتـی) می باشد. هر چند که تغییرات دیگری نیز همچون مغذی شدن، تبخیر از مخزن، اثرات بستر مخزن، املاح محلول، گازهای محلول، مساله تولید بو و.... ازجمله مواردی هستند که بر کیفیت آب مخزن سد اثر می گذارند(۱).

گام نخست در مطالعه فرایندهای زیستی-فیزیکی داخل مخزن، شناخت لایه بندی حرارتی و به دنبال آن ایجاد لایه بندی و تشکیل فرایندهای متناسب با آن می باشد، چرا که دما در تجزیه مواد آلی و تسریع واکنش های شیمیایی و از طرفی غلظت و روند تغییرات زمانی و مکانی این مواد و عناصر، مشخص کننده کیفیت آب مخزن می باشد (۳). خصوصیات دمایی و پایداری آب مخازن سدها را می توان با استفاده از مدل های ریاضی پیش بینی نمود و در صورت پیش بینی مشکلات زیست محیطی، می توان از طرق مختلف برای تخفیف و تسکین آن، راه درمانی را در پیش گرفت.استفاده از آبگیرهای چند ترازه، تخریب لایه بندی مخزن یا اختلاط، هوادهی آب خروجی از سد با ایجاد پرش هیدرولیکی و غیـــره از جمـــله راه های درمانی قابل پیشنهاد در سنین مختلف یک سد از مطالعه تا بهره برداری می باشد (۳).

پیش از احداث سدها مطالعات محدودی روی لایه بندی حرارتی صورت می گیرد، زیرا نتایج شبیه سازی نیازمند واسنجی با استفاده ازنمونه های برداشت شده از مخزن می باشد. گوندوز و همکاران (1998) با استفاده از مدل دو بعدی *CE-QUAL-W2* رفتار کیفی آب در مخزن در دست احداث ایزیکلی[1]جهت تامین آب آشامیدنی آنکارا را شبیه سازی کردند.این مدل جهت تعیین کاهش بالقوه کیفیت آب در اثر بارهای آلودگی مختلف استفاده و نتایج آن با استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی مقایسه شد تا راهبردهای مدیریتی کنترل کیفیت آب مخزن و حوضه آب ریز تعیین شوند (۴) . شرکت مشاورین انکون[2] با استفاده از مدل یک بعدی DYRESM تاثیر سد دردست احداث یوسفعلی[3] در ترکیه را بر روی لایه بندی حرارتی مخزن مطالعه کردند (۵) .

با توجه به شکل مخزن سد بختیاری که نسبت طول به عرض زیاد (تقریبا ۱:۶۰) و شکل دندریتی دارد، از مدل CE_QUAL_W2 که قابلیت شبیه سازی دو بعدی مخزن را در عمق و طول دارد، استفاده شد. در این مقاله تاثیر دو سناریوی مختلف برنامه ریزی منابع آب ورودی به مخزن در شکل گیری لایه بندی حرارتی با استفاده از این مدل بررسی و نتایج پروفیل دما در مجاورت بدنه سد با نتایج ناحیه انتقالی (۳۰ کیلومتری بدنه) مقایسه شده است.

منطقه مورد مطالعه

سد بختیاری در جنوب غربی دامنه های رشته کوه زاگرس روی رودخانه ای به همین نام در مرز استان های لرستان (جناح راست) و خوزستان (جناح چپ) واقع شده است. مساحت حوضه آب ریز ۶۵۰۳ کیلومتر مربع و حداکثرارتفاع حوضه ۴۰۸۰ متر از سطح دریای آزاد می باشد. در تراز نرمال

1- Isikli
2- ENCON
3- Yusufeli

۸۳۰ متر نسبت به سطح دریا، حجم کل دریاچه ۴۸۴۵ میلیون متر مکعب و حجم مفید آن ۲۶۴۷ میلیون متر مکعب، مساحت مخزن ۵۵ کیلومتر مربع، طول آن حدود ۶۰ کیلومتر وحداکثرعمق مخزن در کنار دیواره سد ۳۰۰ متر می باشد. شش دستگاه توربین آبی هر یک به ظرفیت ۲۵۰ مگاوات و در مجموع ۱۵۰۰ مگاوات در نیروگاه سد نصب خواهد شد.

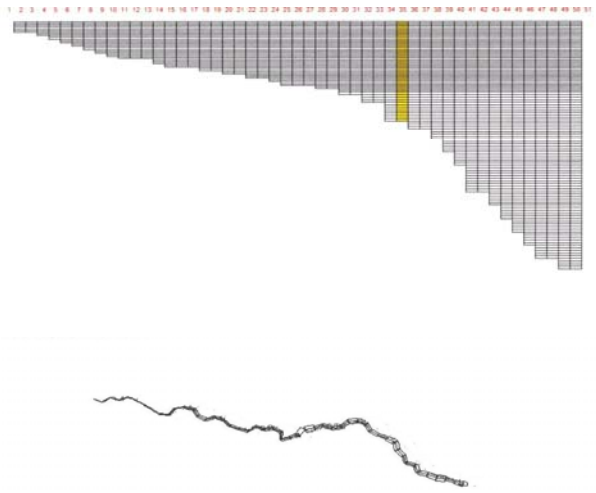
مواد و روش ها

برای شبیه سازی کیفیت آب مخزن از مدل CE-QUAL-W2 استفاده شد. این مدل یک مدل دو بعدی (طولی-عمقی) هیدرودینامیکی و کیفی می باشد و به دلیل فرض همگن بودن جانبی، برای پیکره های آبی طویل و باریک مناسب است. توسعه و تکامل این مدل از سه دهه پیش آغاز و برای مخازن، دریاچه ها، رودخانه ها و خورها در سراسر دنیا به کار گرفته شده است. این مدل برای مخازن توسعه یافته است ولی می تواند برای رودخانه ها و خورها نیز به کار برده شود. این مدل دوبعدی بر مبنای تفاوت محدود عمل کرده و قابلیت شبیه سازی توزیع قایم و طولی انرژی حرارتی و مواد شیمیایی و بیولوژیکی انتخاب شده در پیکره آبی را در طول زمان دارد. همچنین در پیکره های آبی حجم، سطح آب، چگالی، سرعت‌های قایم و طولی و غلظت اجزای کیفی را به خوبی شبیه سازی می کند. موتور شبیه سازی هیدرودینامیکی جریان غیر دایمی، تاثیرات تغییرات چگالی بر جریان را اعمال می کند. ماجول کیفی مدل مذکور قابلیت مدل سازی حدود ۳۰ پارامتر کیفی به همراه دما و الگوی چرخه ای دما را دارا می باشد. همچنین مدل دارای قابلیت‌های زیر نیز هست: الف- شبیه سازی برای دوره های طولانی مدت ب–مدل سازی شاخه های متعدد در پیکره های آبی با پیچیدگی هندسی ج- پیکره های آبی متعدد متصل د-فاصله های متغیر طولی و ارتفاعی در شبکه بندی. مدل با چندین فرض و تقریب که برای شبیه سازی فرایندهای هیدرودینامیکی، انتقال و کیفی به کار می گیرد، محدودیت‌هایی دارد.مدل به حل معادلات در راستای طولی و قایم پرداخته اما از تغییرات جانبی صرف نظر می کند. الگوریتمی برای مومنتم در راستای قایم وجود نداشته و نتایج برای پیکره هایی با شتاب قایم زیاد ممکن است دقیق نباشد. مؤلفه های کیفی آب که توسط مدل ارایه می شوند اندرکنش پیچیده ای دارند. چندین فرایند مانند انتقال و تجمع رسوب، مواد سمی و اکسیژن خواهی دینامیک رسوب شبیه سازی نمی شود (۶).

چهار سری داده شامل داده های هندسه مخزن، دوره شبیه سازی، شرایط مرزی و هواشناسی برای مدل سازی استفاده شدند.

هندسه مخزن

اطلاعات هندسه و ژرفشناسی مخزن سد بختیاری از نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ استخراج گردید. برای تعریف هندسه مخزن در مدل، پیکره آبی به ۵۱ قطعه با طول ۱/۵کیلومتر و به لایه هایی با عمق دو و سه متر تقسیم شد (شکل ۱) .



شکل ۱–نمای جانبی و بالای هندسه مخزن

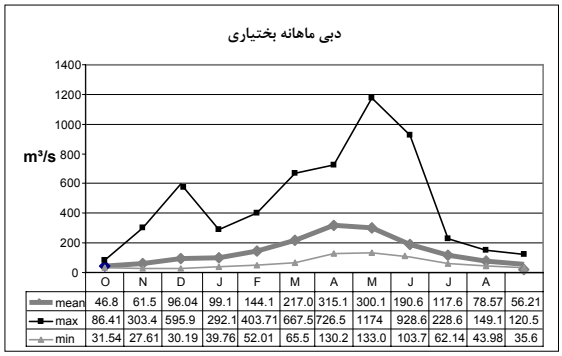
مدت زمان شبیه سازی

با توجه به این که سال های آبی مختلف خشک، نرمال و تر در دوره های آماری ثبت شده است، برای هر نوع سال آبی، یک دوره دو ساله شبیه سازی شامل سال اول مربوط به پر شدن و سال دوم مربوط به برداشت آب از مخزن در نظر گرفته شد. اطلاعات مربوط به دبی جریان ورودی به مخزن و

جریانات خروجی از مخزن برگرفته از جدول گزارش "برنامه ریزی منابع آب و تولید بهینه انرژی " تهیه شده در سال ۱۳۸۴ می باشد که از گزارش ارزیابی زیست محیطی برداشت شده است. برای بررسی نوسانات سالانه، سه سال آبی بسیار خشک، عادی و بسیار مرطوب جهت مقایسه تغییرات لایه بندی حرارتی به صورت جداگانه در ورودی مدل وارد گردیده است.

شرایط مرزی مدل

شرایط مرزی بالادست به وسیله دبی ورودی به مخزن و دمای آب ورودی و شرایط مرزی پایین دست نیز به وسیله دبی خروجی از مخزن به مدل معرفی می شود. اطلاعات هیدرولوژیکی از ایستگاه آب‌سنجی تنگ پنج در نزدیکی محل تلاقی رودخانه بختیاری به رودخانه سزار انتخاب شده است (شکل ۲).



	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
mean	46.8	61.5	96.04	99.1	144.1	217.0	315.1	300.1	190.6	117.6	78.57	56.21
max	86.41	303.4	595.9	292.1	403.71	667.5	726.5	1174	928.6	228.6	149.1	120.5
min	31.54	27.61	30.19	39.76	52.01	65.5	130.2	133.0	103.7	62.14	43.98	35.6

شکل ۲- میانگین، حداکثر و حداقل جریان ماهیانه رودخانه بختیاری(۷)

داده های هواشناسی

داده های هواشناسی شامل درجه حرارت هوا، درجه حرارت نقطه شبنم، سرعت و جهت باد و پوشش ابر می باشد. داده های هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه تنگ پنج و الیگودرز استخراج شده است. در این شبیه سازی، اطلاعات هواشناسی به صورت ماهانه به مدل وارد شده و از اطلاعات سال آبی ۸۲-۸۳ استفاده شده است. با عنایت به گزارش هواشناسی طرح که به تشابه دمای هوا در سال های مختلف اشاره دارد، مقادیر متوسط ماهانه برای دو سال پیاپی به مدل داده می شود.

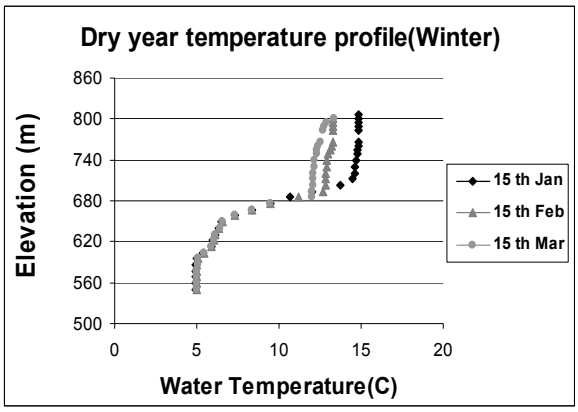
به دلیل عدم شکل گیری مخزن و فقدان اطلاعات در مورد تراز و دمای آب مخزن، کالیبراسیون مدل به هنگام شکل گیری مخزن انجام می شود. براساس مطالعات انجام یافته قبلی(۸، ۶). دو عامل جهت وزش باد نسبت به محور مخزن و سایه ناشی از پوشش گیاهی اطراف مخزن از مهم ترین عوامل تاثیر گذار بر پدیده لایه بندی هستند که هر دو عامل با توجه به داده های جمع آوری شده، تعیین شدند.

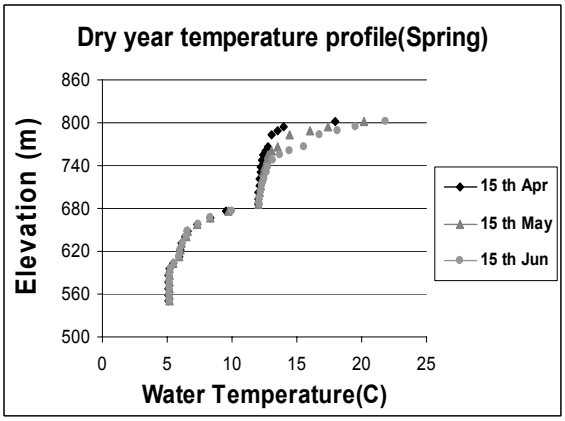
سناریوهای مدیریتی

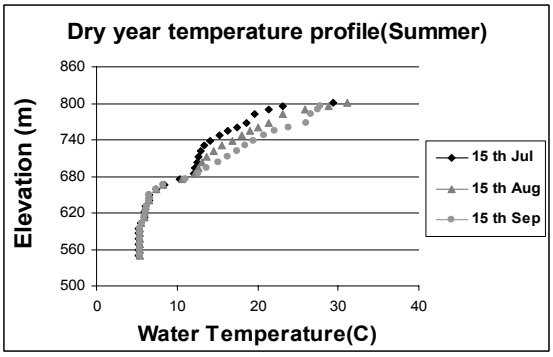
به منظور شبیه سازی رفتار حرارتی مخزن سد بختیاری بر اساس تغییرات احتمالی متوسط دبی ورودی به مخزن سد، سه سناریو تعریف شد. در سناریو اول رفتار حرارتی مخزن سد در اثر کاهش دبی آب ورودی بر اساس یکی از سال های خیلی خشک شبیه سازی شده است. سال مورد نظر سال آبی ۵۰- ۱۳۴۹ بوده است. در سناریو دوم رفتار حرارتی با دبی متوسط ورودی به مخزن بررسی شد. برای این منظور سال آبی نرمال ۶۹- ۱۳۶۸ انتخاب شد. در سناریو سوم رژیم حرارتی مخزن سد برای سال بسیار پر آب ۷۳- ۱۳۷۲ شبیه سازی شده است. تراز آب گیر در کلیه سناریوها ۷۰۰ متر از سطح دریا انتخاب شده است. در بررسی نتایج دو سناریوی خشک و نرمال با یکدیگر مقایسه شده است.

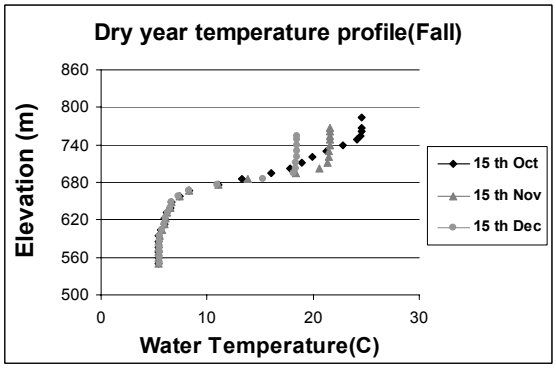
نتایج

شکل های ۳و ۴ به ترتیب نیمرخ عمودی تغییرات درجه حرارت آب را در سال های خشک و نرمال در نزدیکی دیواره سد نشان می دهد. شکل های ۵و۶ نیز به ترتیب نشان دهنده نیمرخ عمودی تغییرات درجه آب در سال های خشک و نرمال در ۳۰ کیلومتری دیواره سد می باشد.

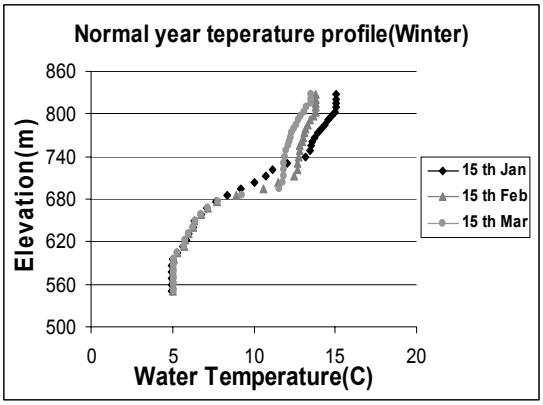


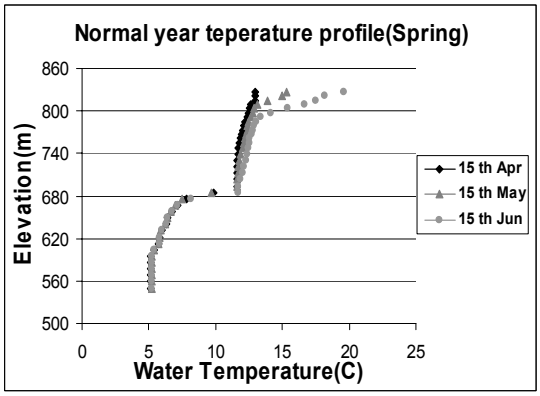


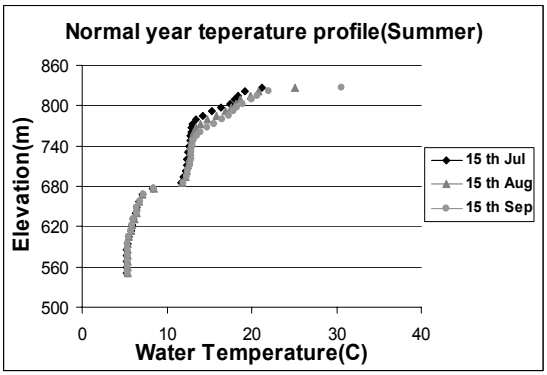


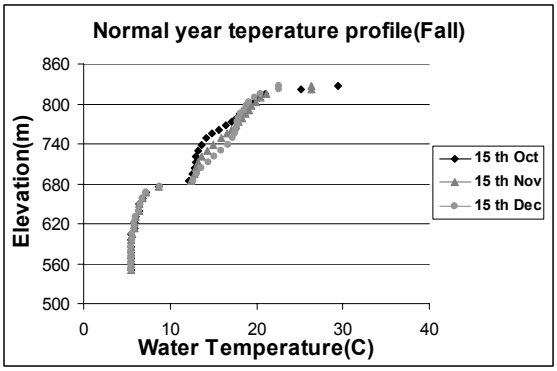


شکل۳- نیمرخ دمای آب نسبت به تراز ارتفاعی در سال خشک

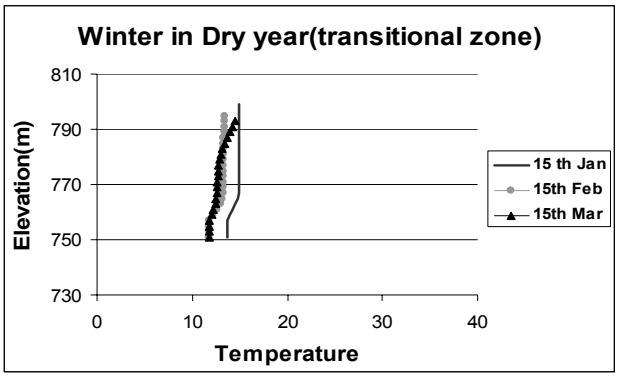


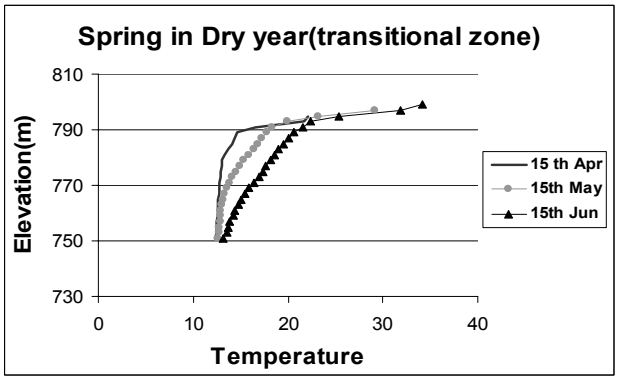


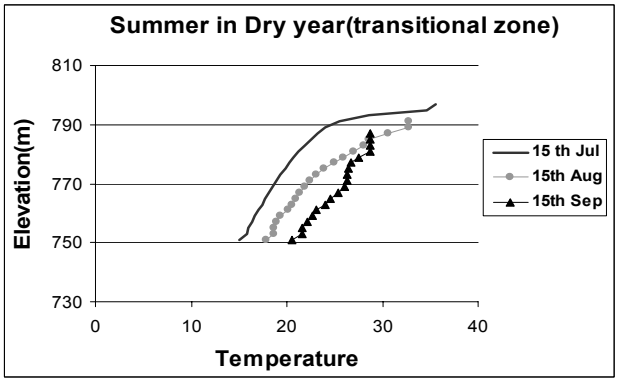


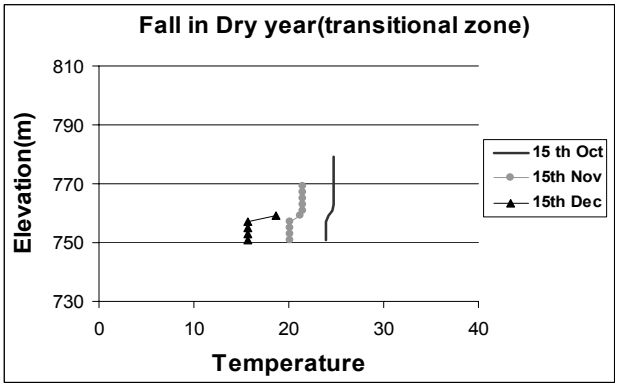


شکل۴- نیمرخ دمای آب نسبت به تراز ارتفاعی در سال نرمال

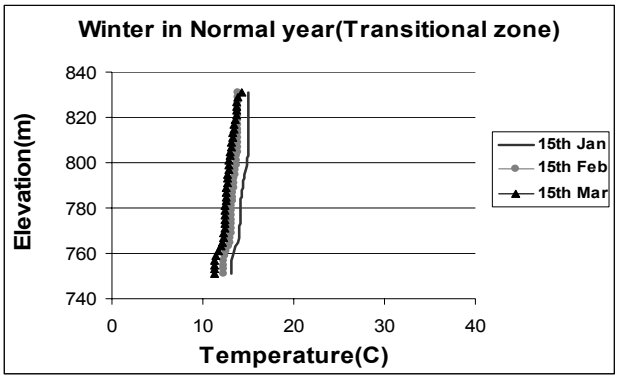


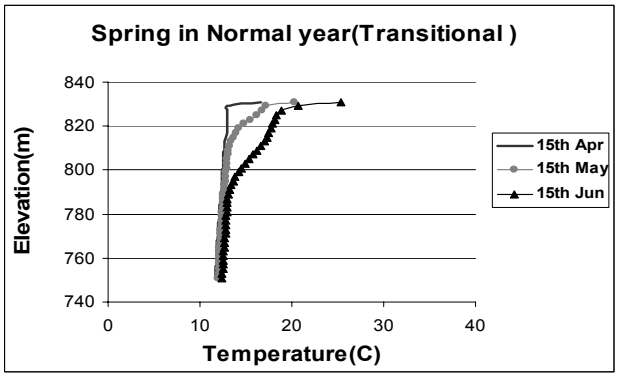


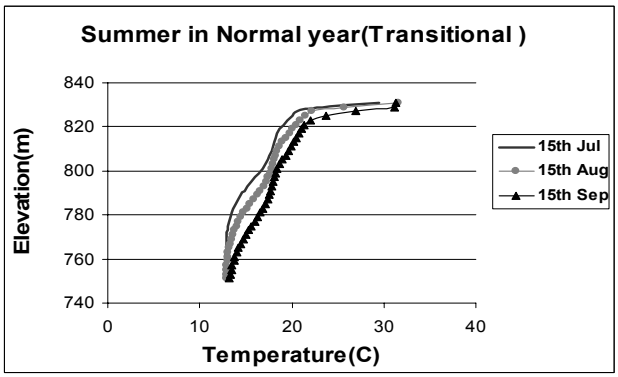


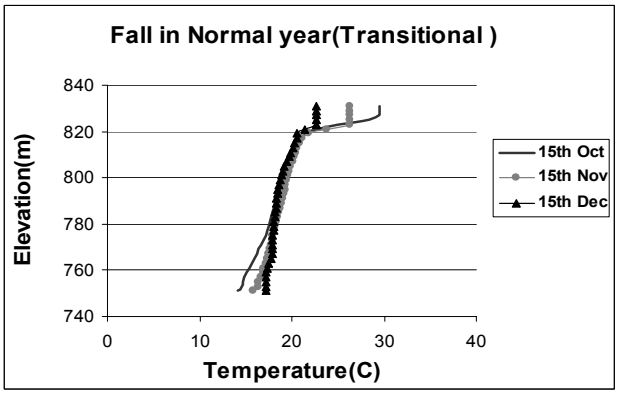


شکل۵- نیمرخ دمای آب در سال خشک در ناحیه انتقالی









شکل۶- نیمرخ دمای آب در سال نرمال در ناحیه انتقالی

بحث و نتیجه گیری

مشاهده می شود که در زیر تراز ۷۰۰متر که به عنوان تراز آب‌گیری انتخاب شده، شرایط دمایی حالت راکد داشته و تغییرات فصلی در آن مشاهده نمی شود و دمای آب یکسان و حدود ۵ درجه سانتی گراد می باشد.در آزمون های اولیه مشخص گردید که عمق این ناحیه راکد تابعی از تغییر در تراز آب‌گیر است.

دیاگرام های شکل ۳ نشان می دهد که در سال خشک از اوایل فروردین شکل گیری لایه بندی در تراز ارتفاعی بالا آغاز گشته و تا نیمه شهریور به حداکثر خود می رسد، به نحوی که تغییرات ۱۶ درجه ای دما در عمق ۱۰۰متر قابل مشاهده است و دمای سطحی آب به نزدیک ۳۰ درجه سانتی گراد می رسد.از میانه شهریور تا دی ماه زوال لایه بندی آغاز شده ومجددا یک لایه همدما شروع به شکل گیری کرده و ضمن کاهش دما عمق این لایه از ۳۵ متر به ۶۰ متر افزایش و در ماه های دی، بهمن و اسفند شرایط همدمای حدود ۱۳ تا ۱۵ درجه تا عمق ۱۰۰ متر مشاهده می شود.مخزن از نوع یک گردشی گرم بوده و این گردش در اوایل پاییز اتفاق می افتد و در مدت ۵ ماه از سال لایه بندی مشاهده می گردد.

اما بر اساس شکل ۴ تغییرات از نیمه اردیبهشت آغاز شده و تا اواخر آبان به حداکثر خود می رسد. به نحوی که تغییرات ۱۳ درجه ای دما در عمق ۱۴۰متر قابل مشاهده است و دمای سطحی آب به نزدیک ۲۷ درجه سانتی گراد می رسد از اواخرآبان تا اسفند ماه زوال لایه بندی آغاز شده و مجددا یک لایه همدما شروع به شکل گیری کرده و ضمن کاهش دما عمق این لایه از ۱۰ متر به ۱۱۵ متر افزایش و در ماه های اسفند و فروردین شرایط همدمای حدود ۱۱ تا ۱۳ درجه تا عمق ۱۳۰ متر مشاهده می شود. مخزن از نوع یک گردشی گرم بوده و این گردش در اوایل زمستان اتفاق افتاده و در مدت ۷ ماه از سال لایه بندی مشاهده می گردد.

در شکل ۵ مقایسه تغییرات دما در ماه های مختلف حاکی از آن است که در سال خشک در ماه های دی، بهمن و اسفند شرایط همدمای حدود ۱۲ تا ۱۴ درجه تا عمق ۵۰ متر مشاهده می شود از اوایل فروردین شکل گیری لایه بندی در تراز ارتفاعی بالا آغاز گشته و تا نیمه مرداد به حداکثر خود می رسد، به نحوی که تغییرات ۲۰ درجه ای دما در عمق ۵۰ متر قابل مشاهده است و دمای سطحی آب به نزدیک ۳۵ درجه سانتی گراد می رسد.از میانه مرداد تا دی ماه زوال لایه بندی آغاز شده و مجددا یک لایه همدما شروع به شکل گیری کرده و افت عمق آب به ۱۰ متر قابل مشاهده است. مخزن در این ناحیه یک گردش را در اوایل پاییز تجربه کرده و در مدت ۵ ماه از سال لایه بندی مشاهده می گردد. نکته قابل ذکر عدم مشاهده لایه راکد زیر تراز آب‌گیر می باشد.

اما بر اساس شکل ۶ تغییرات از اواخر فروردین آغاز شده و تا اواسط شهریور به حداکثر خود می رسد. به نحوی که تغییرات ۱۰ درجه ای دما در عمق ۱۸متر قابل مشاهده است و دمای سطحی آب به نزدیک ۳۱ درجه سانتی گراد می رسد از اواخرمهر تا دی ماه سه لایه قابل تشخیص است و عمق ترموکلاین در ۱۰ متری سطح آب بوده و تغییرات ۵ درجه سانتی گراد در ۶ مترعمق در آبان قابل مشاهده است. در ماه های دی و بهمن و اسفند شرایط همدمای حدود ۱۲ تا ۱۵ درجه تا عمق ۸۰ متر مشاهده می شود مخزن در این ناحیه یک گردش را در اواسط پاییز تجربه کرده و در مدت ۸ ماه از سال لایه بندی مشاهده می گردد. نکته قابل ذکر در ناحیه انتقالی عدم تاثیر شرایط آب‌گیری روی پروفیل دماست و به دلیل عمق کم تر، شدت تغییرات ملموس‌تر می باشد. مدت لایه بندی مشابه نزدیک سد بوده با این تفاوت که آغاز لایه بندی در سال های خشک و نرمال زودتر رخ می دهد.در این ناحیه به دلیل ماند آب بالاتر تغییرات لایه بندی بیش تر مشابه گردش های دریاچه بوده و سه لایه رولایه، میان لایه و زیر لایه در ماه های پاییز قابل تشخیص است.

در مقایسه بین دو سناریوی سال های خشک و نرمال می توان به این نتیجه رسید که شدت لایه بندی با توجه به زمان ماند بیش تر آب در سال خشک شدیدتر بوده اما مدت آن کوتاه‌تر است. دلیل کوتاهی عمر لایه بندی را می توان به فرا رسیدن یک دوره ورود کم آب در پاییز و برداشت آب از

لایه های میانی نسبت داد که به لایه های فوقانی که تحت اثر نازک شدن نیز قرار دارند، فرصت نفوذ نور خورشید را داده و لایه همدمای فوقانی سریع‌تر شکل می گیرد. همچنین می توان نتیجه گرفت که هر چه تاثیر وجود سد روی رژیم آبی بیش تر باشد(سال خشک)، انتظار نزدیکی شرایط به وضعیت دریاچه ای بیش تر بوده و گردش های سالانه بیش تر تحت تاثیر شرایط هندسی، اقلیمی، وزش باد و به طور کلی فرایندهای موثر بر شکل گیری لایه بندی هستند.

منابع

۱. سلطانی، ج، علوی مقدم، س.م، (۱۳۸۴)«تجربیات حاصل از مطالعات تاثیر لایه بندی حرارتی در کیفیت آب تعدادی از سدهای کشور».

۲. تجریشی، م، ابریشم چی، ا، افشار، ع، سارنگ، ا، (۱۳۸۵)"آشنایی، بررسی و تحلیل پدیده لایه بندی در مخازن سدها" مجموعه مقالات کارگاه تخصصی تغذیه گرایی و مدیریت آن در مخازن سدها.

۳. کارآموز، محمد. کراچیان، رضا. ۱۳۸۲. برنامه ریزی و مدیریت کیفی سیستم های منابع آب. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).

4. Gunduz, O, Soyupak, S. and Yurteri, C. 1998.”Development of water quality management strategies for the proposed Isikli Reservoir”. Wat. Sci. Tech Vol. 37, No2: 369-376
5. ENCON. 2006. Hydro modeling report (reservoir water quality and downstream flow modeling)
6. Williams N T,(2007).” Modeling Dissolved Oxygen In Lake Powell Using CE-QUAL-W2” Master of Science thesis Department of Civil and Environmental Engineering,

۷. شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس. ۱۳۸۴. گزارش ارزیابی زیست محیطی پروژه سد و نیروگاه بختیاری.

۸. محمدی خلف بادام، ح."تغذیه گرایی مخازن- مدل سازی دو بعدی (مطالعه موردی سد کرخه). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۳.