

## بررسی اثرات لایه بندی حرارتی در دریاچه ها مطالعه موردي: دریاچه مصنوعی پارک جنگلی چیتگر

محمد دلنواز، دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- مهندسی محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس  
تلفن تماس: ۰۹۱۲۲۸۱۲۱۷۴ آدرس پست الکترونیکی: mdelnavaz@modares.ac.ir

### چکیده

لایه بندی حرارتی یکی از اثراتی است که در دریاچه های عمیق اتفاق می افتد. در این حالت کیفیت آب در اعمماق پایین مخزن سدها و یا دریاچه ها دچار تغییر می شود. به علت آنکه در این شرایط امکان رسیدن نور خورشید به این اعمماق فراهم نمی شود و در بعضی فصول اختلاط آب دریاچه به پایین ترین حد خود می رسد در نتیجه امکان بهره برداری از آب های عمیقی به دلیل کیفیت پایین آنها میسر نمی باشد. در این مقاله سعی شده است که شرایط ایجاد لایه بندی حرارتی در دریاچه ها در فصول مختلف سال و روش های از بین بردن آن ها مورد بررسی قرار گیرد. در انتها روش های مختلف تامین آب برای دریاچه مصنوعی پارک جنگلی چیتگر با توجه به اثرات لایه بندی حرارتی در منابع مختلف تامین آب مورد بررسی قرار گرفته است.

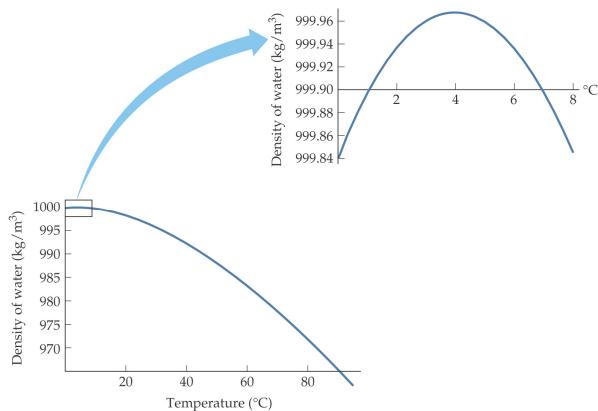
**کلید واژه ها:** لایه بندی حرارتی، دریاچه، مخزن، آب.

### - مقدمه

لایه بندی حرارتی یکی از اثراتی است که در دریاچه های عمیق اتفاق می افتد. در این حالت کیفیت آب در اعمماق پایین مخزن سدها و یا دریاچه ها دچار تغییر می شود. هنگامیکه آب لایه بندی می شود، کیفیت آب قابل قبول اغلب می تواند از لایه بالایی آن بدست آید زیرا این لایه با باد در اختلاط است [۱]. با توجه به اینکه که در طول تابستان اثرات لایه بندی حرارتی نسبت به سایر فصول بیشتر است و در این فصل نیاز به آب برای مصارف مختلف نیز افزایش می یابد از این رو توجه بیشتر به این پدیده و روش های از بین بردن آن اهمیت خود را نشان می دهد. یکی از نتایج از بین بردن لایه بندی حرارتی افزایش کیفیت آب شرب و آب صنعتی است. سیستم های گردش مصنوعی یکی از روش های از بین بردن لایه بندی حرارتی است که آب دریاچه های لایه بندی شده را به صورت کامل از پایین تا بالا مخلوط می کند و از این رو لایه بندی را حذف کرده و یا مانع از ایجاد آن می شود [۲].

## ۲- شرایط ایجاد لایه‌بندی حرارتی

دریاچه‌های بزرگ به علت پروفیل چگالی - دمای آب دچار تغییرات فصلی می‌شوند. این تغییرات به طور مشخص بر خصوصیات مختلف دریاچه تاثیر می‌گذارد. در اکثر مواقع، وقتی دمای آب زیاد می‌شود، چگالی آن کم می‌شود و به عکس وقتی دمای آب کاهش می‌یابد چگالی آب بیشتر می‌شود. استثنای این قانون در دمای ۴ درجه سانتی گراد می‌باشد، به نحوی که آب در این دما بیشترین چگالی خود را دارد. شکل شماره ۱ رابطه بین چگالی آب بر حسب دما را نشان می‌دهد.



شکل ۱: پروفیل چگالی بر حسب دمای آب [۳]

تغییرات پروفیل حرارت با ارتفاع در یک دریاچه پروفیل حرارتی نامیده می‌شود. این پروفیل از فصلی به فصل دیگر تغییر می‌کند و یک الگوی گردشی را که سال به سال به وقوع می‌پیوندد را به وجود می‌آورد. لایه‌بندی حرارتی باعث ایجاد سه ناحیه مشخص در آب می‌گردد [۴]:

۱. لایه بالایی سطح آب که در تماس با هوا می‌باشد epilimnion نامیده می‌شود.
  ۲. آب دریاچه که زیر لایه فوق قرار دارد hypolimnion نامیده می‌شود.
  ۳. این دو لایه توسط لایه‌ای که دارای تغییرات شدید دما در عمق می‌باشد از هم جدا می‌شوند [۵].
- این لایه (thermocline) metalimnion نامیده می‌شود.

## ۳- لایه‌بندی حرارتی در فصول مختلف سال

### ۳-۱- فصل بهار

در انتهای زمستان همستان با ذوب شدن یخ‌ها در دریاچه‌ها، دریاچه از سطح تا کف دارای دمای یکسانی می‌شود. باد نیز به اختلاط و گردش آب در دریاچه کمک می‌کند. آب سطحی می‌تواند به کف دریاچه برود و آب کف به سمت بالا حرکت کند. این الگوهای حرارتی از آن جهت که اجازه می‌دهد اکسیژن

کافی به کف دریاچه برسد مهم است و گرنه اکسیژن با سرعت انتشار کم به ته دریاچه خواهد رسید. این اختلاط آب دریاچه در این فصل از سال تغییرات بهاره نامیده می شود [۱و۳].

هنگامی که دمای هوا در انتهای بهار افزایش می یابد، گرمای خورشید دریاچه را گرم می کند. همانطور که مقدار اشعه جذب شده خورشید باعماق کاهش می یابد، گرمی آب از سطح به کف نیز کاهش می یابد. آب گرمتر چگالی کمتری دارد بنابراین آب سردتر در زیر بوده و آب گرمتر به صورت غوطه ور در بالای آن قرار می گیرد.

### ۲-۳ - فصل تابستان

در طول تابستان، تغییرات چگالی به عنوان یک مانع برای اختلاط کامل دریاچه عمل می کند و کف دریاچه را از اکسیژن بی بهره می کند. به علت نبودن عمل اختلاط در کف دریاچه، اکسیژن محلول فراهم نمی شود. از طرفی به علت نرسیدن نور خورشید عمل فتوستنتز نیز صورت نمی گیرد و باعث می شود که تولید اکسیژن در طول تابستان بسیار محدود گردد. تنفس جانوران و باکتری ها نیز می تواند اکسیژن محلول در کف دریاچه را خالی کند. جلبک های مرده در سطح دریاچه به کف فرو می روند و توسط باکتری ها تجزیه می شوند. بنابراین سرعت از بین رفتن اکسیژن محلول در لایه *hypolimnion* افزایش می یابد زیرا باکتری های هوایی اکسیژن را برای تجزیه مقدار زیادی مواد آلی که از لایه *epilimnion* به کف می آیند مصرف می کنند [۱و۳].

در طول ایستایی آب در تابستان کف دریاچه می تواند بی هوایی گردد و باکتری های بی هوایی می توانند مواد آلی را بدون نیاز به اکسیژن محلول تجزیه کنند. اگر تجمع جلبک های مرده سریع تر از تجزیه آنها توسط باکتری ها باشد در این صورت یک لایه از جلبک در کف حاصل می گردد. مردن جلبک ها به علت عدم اختلاط آب سطحی با مواد مغذی کف بوده و باعث می گردد که مواد مغذی در لایه *epilimnion* کاهش یابد. کمبود مواد غذایی موجود خود باعث مرگ مقدار زیادی جلبک می شود که به عنوان مواد آلی در کف دریاچه جمع می شوند. به طور مکرر باکتری های بی هوایی باعث تولید سولفید هیدروژن ( $H_2S$ ) می شوند. بنابراین مواد آلی ته نشین شده ممکن است بوی تخم مرغ گندیده بدتهند. مقداری از سولفور موجود در  $H_2S$  با آهن ترکیب می شود و تولید سولفید آهن  $FeS_2$  می کند. برای مثال وقتی یک نمونه از کف دریاچه گرفته می شود و تشریح می گردد مشاهده می شود که دارای ورقه های تیره رنگی می باشد که در طول یک ساعت ناپدید می شوند. مواد تیره سولفید آهن هستند که وقتی در معرض هوا قرار می گیرند با اکسیژن ترکیب شده و آهن را اکسید می کنند.

### ۳-۳- فصل پاییز

در فصل پاییز عمق لایه epilimnion کاهش می‌یابد، نهایتاً این لایه بسیار باریک می‌شود به نحوی که دیگر نمی‌توان آن را به صورت یک لایه مجزا در نظر گرفت و دریاچه لایه بندی خود را از دست می‌دهد. بنابراین در پاییز نیز مانند بهار آب دریاچه دارای دمای یکسان است ( تقریباً ۴ درجه در اواخر پاییز ). باد نیز می‌تواند آب دریاچه را به صورت کامل مخلوط نماید. نهایتاً آب سطحی که در تماس مستقیم با هوای سرد است سریع تراز آبی که در کف است سرد می‌شود و این آب چگال تر به عمق فرو می‌رود و به اختلاط بیشتر کمک می‌کند و بار دیگر اکسیژن و مواد مغذی بیشتری سرتاسر دریاچه را بر می‌کند. این فرآیند تغییرات پاییزه نامیده می‌شود [۱و۳].

### ۴- فصل زمستان

در فصل زمستان آب دریاچه سردتر از ۴ درجه می‌شود. هنگامیکه دمای آب در سطح به صفر درجه سانتی گراد برسد سطح دریاچه به صورت یخ پوشانده می‌شود. در طول زمستان، پوشش یخ از اختلاط دریاچه توسط باد جلوگیری می‌کند و مجدداً لایه بندی به وقوع می‌پیوندد. یک لایه با دانسیته کمتر که دارای دمای کمتر از ۴ و بیش از صفر درجه است در زیر پوشش یخ قرار می‌گیرد. در این حالت گفته می‌شود که رودخانه در رکود زمستانی است [۱و۳].

### ۴- تجهیزات از بین برنده لایه بندی حرارتی

مهم ترین تجهیزات از بین برنده لایه بندی حرارتی در دریاچه سیستم هایی هستند که گردش مصنوعی آب را در دریاچه ها ایجاد می‌کنند. سیستم های گردش مصنوعی یکی از روش های از بین بردن لایه بندی حرارتی هستند که آب دریاچه های لایه بندی شده را به صورت کامل از پایین تا بالا مخلوط می‌کند و از این رو لایه بندی را حذف کرده و یا مانع از ایجاد آن می‌شود. دستگاه های چرخش مصنوعی اکسیژن دریاچه را توسط گردش اجباری آب دریاچه برای در معرض هوا قرار گرفتن آن افزایش می‌دهند. روش های خاص و طراحی سیستم های گردش مصنوعی آب به منظور کیفیت آب دریاچه به خصوصیات فیزیکی دریاچه وابسته است [۶]. انواع روش های گردش مصنوعی به شرح زیر است [۷]:

- ✓ تزریق هوا
- ✓ پمپ های مکانیکی با جریان محوری
- ✓ افشاره های سطحی
- ✓ سیستم پمپ - آبشار
- ✓

## ۵- اثرات از بین بردن لایه بندی حرارتی

این اثرات شامل موارد زیر است:

### ۱- اکسیژن محلول:

عمومی ترین نتیجه از بین بردن لایه بندی حرارتی بهبود یافتن سطح اکسیژن محلول در نتیجه مزایای آن برای ماهی های موجود در آب گرم و بهبود کیفیت آب است [۲].

### ۲- ماهی:

از بین بردن لایه بندی حرارتی به طور عمده برای ماهی هایی که در آب گرم زندگی می کنند مفید است. ماهی ها به سطح مناسبی از اکسیژن محلول نیاز دارند و در لایه بدون اکسیژن کافی hypolimnion نمی توانند زنده بمانند. ماهی های آب گرم ( به عنوان مثال ماهی های خاردار دریایی و ماهی های بزرگ ) احتیاج به حداقل غلظت  $15 \text{ mg/l}$  اکسیژن محلول دارند و ماهی های آب سرد ( قزل آلا ) به  $6-7 \text{ mg/l}$  نیاز دارند. از بین بردن لایه بندی حرارتی به ماهی های آب گرم این اجازه را می دهد تا در سرتاسر دریاچه ساکن شوند زیرا شرایط برای اورگانیسم های غذایی ماهی ها بهبود یافته است [۲].

### ۳- کیفیت آب تولیدی:

یکی از نتایج از بین بردن لایه بندی حرارتی افزایش کیفیت آب شرب و آب صنعتی است. در شرایط بی هوایی ( فاقد اکسیژن ) رسوبات کف دریاچه فلزاتی مثل آهن و گوگرد را آزاد کرده و گاز سولفید هیدروژن باعث ایجاد طعم و بو در آب می گردد. هنگامیکه لایه بی هوایی hypolimnion از بین می رود این مشکلات تا حد بسیار زیادی از بین رفته و همچنین هزینه تصفیه آب نیز کاهش می یابد [۷].

### ۴- فسفر:

از بین بردن لایه بندی حرارتی این قابلیت را دارد که غلظت فسفر را در بعضی از دریاچه ها کاهش دهد. در طول تابستان که لایه بندی حرارتی اتفاق می افتد و لایه hypolimnion بی هوایی می شود، فسفر انحلال پذیر شده و از رسوبات کف در لایه hypolimnion آزاد می گردد. به علت آنکه در دریاچه لایه بندی شده گاهی اوقات عمل اختلاط صورت می گیرد این اجازه را می دهد که مقدار بیشتری از فسفر در epilimnion قرار گیرد. این افزایش  $P$  در سطح دریاچه باعث افزایش پتانسیل رشد جلبک می شود [۲].

## ۶- مطالعات شبیه سازی لایه بندی حرارتی در دریاچه مصنوعی پارک جنگلی چیتگر [۹]

دریاچه مصنوعی چیتگر در منطقه ۲۲ شهرداری در شمال غرب تهران واقع شده است و دارای حجم ۱۰ میلیون متر مکعب و دارای عمق ۱۶ متر می باشد و با مساحت ۲۲۵ هکتار بزرگترین دریاچه مصنوعی ایران است [۱۰]. مهم ترین منابع تامین آب در این محدوده که توانایی پشتیبانی از دریاچه را دارند شامل: رودخانه کن، رودخانه وردآورد، رواناب های شهری و فاضلاب تصفیه شده از مناطق شهری می باشد.

جدول ۱: خصوصیت مخزن دریاچه چیتگر [۱۰]

تراز	۱۲۴۸	۱۲۵۰	۱۲۵۲	۱۲۵۴	۱۲۵۶	۱۲۵۸	۱۲۶۰	۱۲۶۲	۱۲۶۴
(m) عمق	۰	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶
مساحت افقی (m <sup>2</sup> )	۷۳۳۶	۳۹۸۱۸	۱۱۰۵۴۹	۲۴۴۴۰۲	۳۸۲۶۱	۵۸۴۸۲۴	۱۰۱۷۳۸۰	۱۶۵۸۰۵۰	۲۲۶۷۴۸۹
مساحت جانبی (m <sup>2</sup> )	۷۳۳۶	۳۹۹۰۳	۱۱۵۷۸۸	۲۴۴۸۰۶	۳۸۲۹۷۶	۵۸۵۶۷۱	۱۰۱۸۲۹۸	۱۶۰۰۵۱	۲۲۶۸۸۵۲
(m <sup>3</sup> ) حجم	۰	۱۱۳۷۹	۳۳۱۴۳۸	۶۳۰۰۹۸	۱۱۴۶۱۴۶	۲۱۰۹۱۳۰	۳۷۹۱۸۴۵	۶۴۵۷۷۳۴	۱۰۳۲۸۲۳۰

جدول ۲: منابع پیشنهادی برای دریاچه [۱]

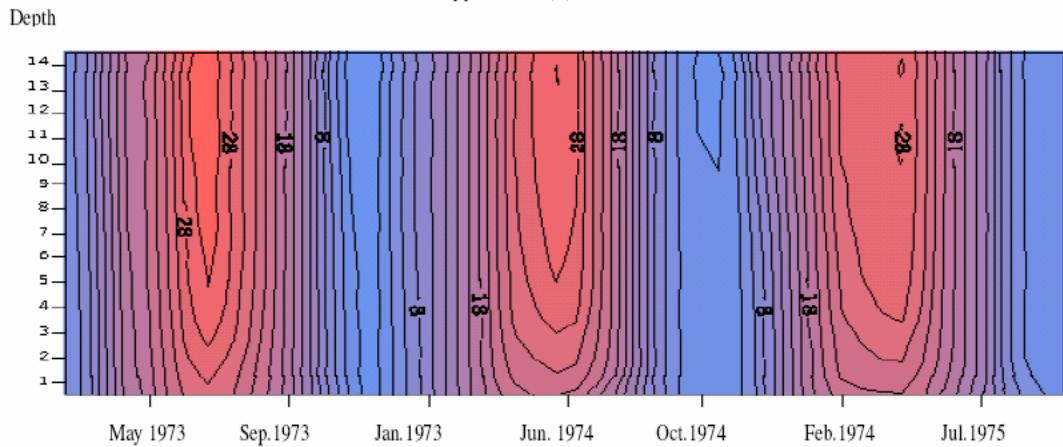
منابع آبی	رواناب های شهری	رواناب های حوضه آبی	فضالاب تصفیه شده شهری	رودخانه کن
۱	-	-	X	-
۲	-	-	-	X
۳	X	-	-	X
۴	-	X	-	X
۵	X	X	-	X
۶	X	-	X	-

علامت X بیانگر منبع مورد استفاده می باشد.

در این مقاله راه گرفتن آب از هر منبع بحث شده و شش انتخاب مختلف از منابع برای بدست آوردن آب دریاچه تعریف شده است. لایه بندی حرارتی یکی از مهم ترین پارامترهایی است که می تواند بر کیفیت آب دریاچه در ارتباط با شرایط آب و هوایی تهران تاثیر بگذارد.

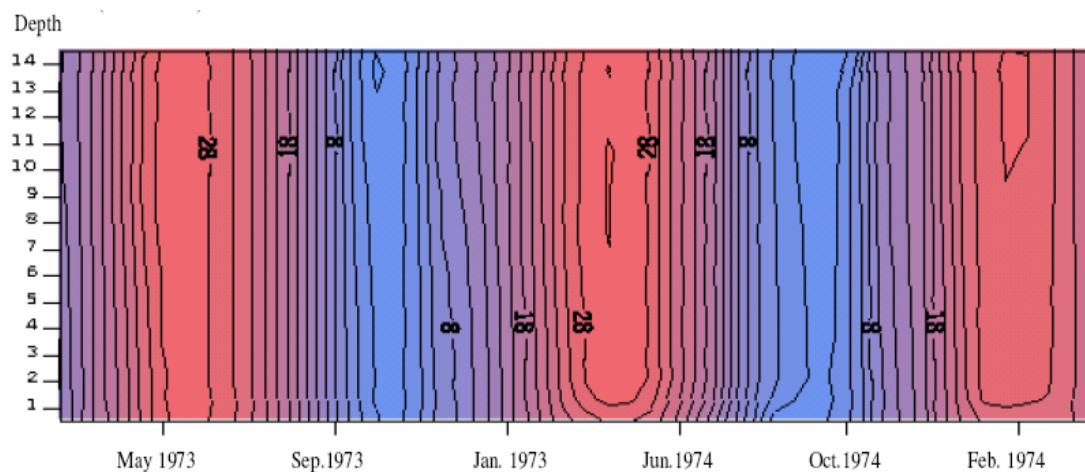
برای هر شش انتخاب صورت گرفته اثر لایه بندی حرارتی مدلسازی شده که این مدلسازی در یک دوره زمانی ۵ ساله صورت گرفته است [۹]. اطلاعات مورد نیاز برای مدل شامل: فاکتورهای کیفیتی، اطلاعات هواشناسی، خصوصیات زمین شناسی مخزن، خصوصیات جریان و همچنین ضرایب مورد نیاز برای مدل می باشد. اطلاعات ورودی مورد نیاز برای مدل سازی از اطلاعات موجود و آمارهای گذشته گرفته شده است. شبیه سازی لایه بندی حرارتی در دهه ۱۹۷۲-۱۹۷۳ و ۱۹۷۶-۱۹۷۷ صورت گرفته است. شکل های ارائه شده تغییرات دما را در مخزن دریاچه برای دوره زمانی فوق نشان می دهد. درجه حرارت نشان داد شده بر اساس مقیاس سانتی گراد می باشد.

شکل شماره ۲ نشان می دهد که تغییرات درجه حرارت نسبت به عمق خطی هستند. بنابراین می توان گفت اگر دریاچه توسط این منابع تغذیه شود، لایه بندی ضعیفی در بعضی از ماه های سال به وقوع می پیوندد.



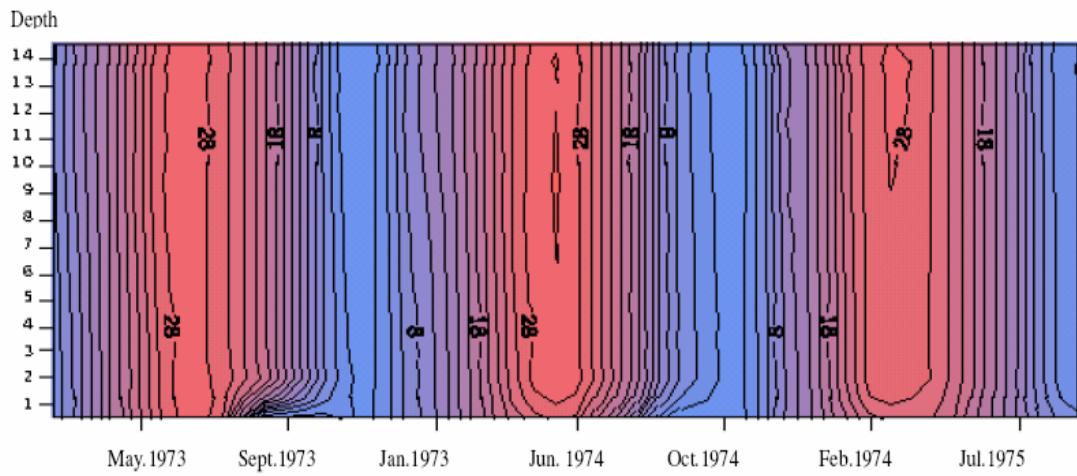
شکل ۲: شبیه سازی و پیش بینی تغییرات حرارت بر حسب عمق برای منبع شماره ۱ [۸]

شکل شماره ۳ نشان می دهد که تغییرات درجه حرارت نسبت به عمق برای کلیه ماه های سال بصورت خطی است. بنابراین اگر دریاچه توسط این منابع تغذیه شود، احتمال لایه بندی حرارتی بسیار ناچیز است.



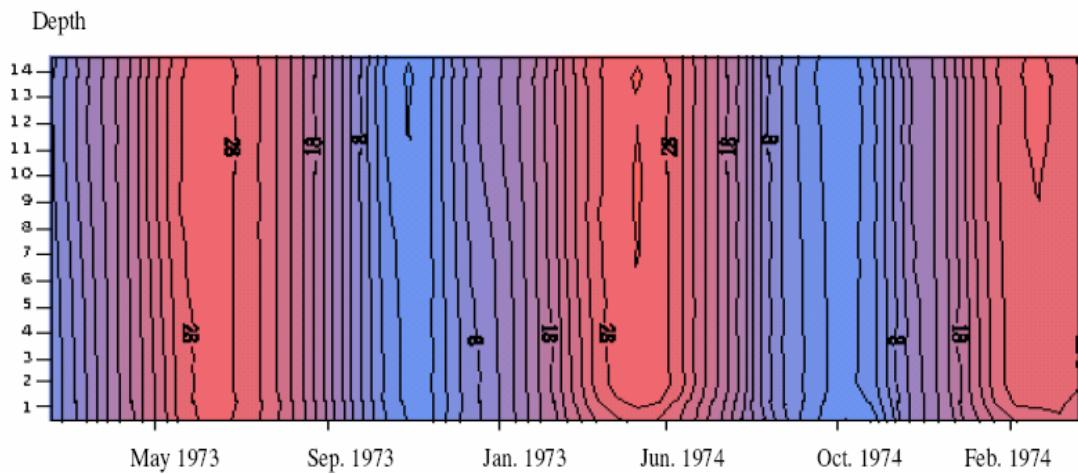
شکل ۳: شبیه سازی و پیش بینی تغییرات حرارت بر حسب عمق برای منبع شماره ۲ [۸]

شکل ۴ نشان می دهد که تغییرات درجه حرارت نسبت به عمق (لایه بندی حرارتی) در شروع مدل سازی در قسمت های عمیق مخزن در تابستان نسبتاً زیاد است. این لایه بندی در انتهای مدل سازی از بین می رود و در ماه های دیگر سال دیگر وجود ندارد.



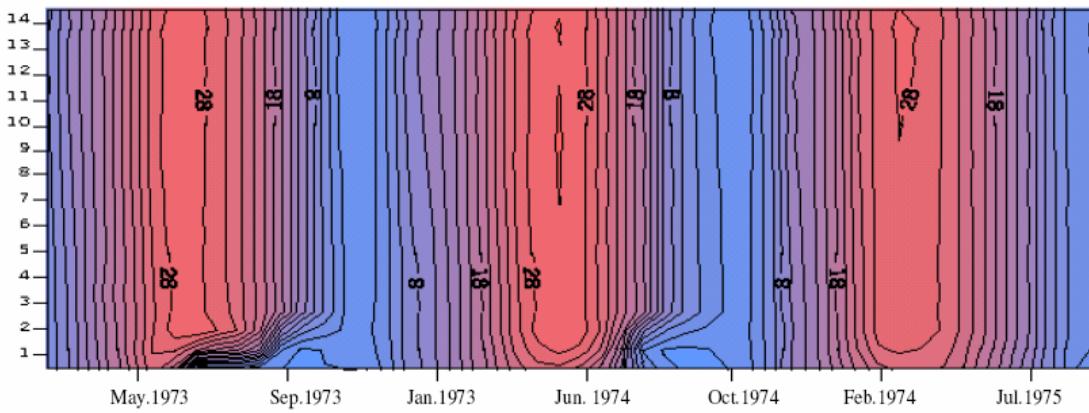
شکل ۴: شبیه سازی و پیش بینی تغییرات حرارت بر حسب عمق برای منبع شماره ۳ [۸]

در شکل ۵ پروفیل حرارتی تغییرات مختصه در طول دوره مدل سازی دارد. بنابراین می توان پیش بینی کرد که اگر منبع شماره ۴ برای تغذیه به کار رود لایه بندی حرارتی ناچیزی در دریاچه می تواند اتفاق بیفتند.



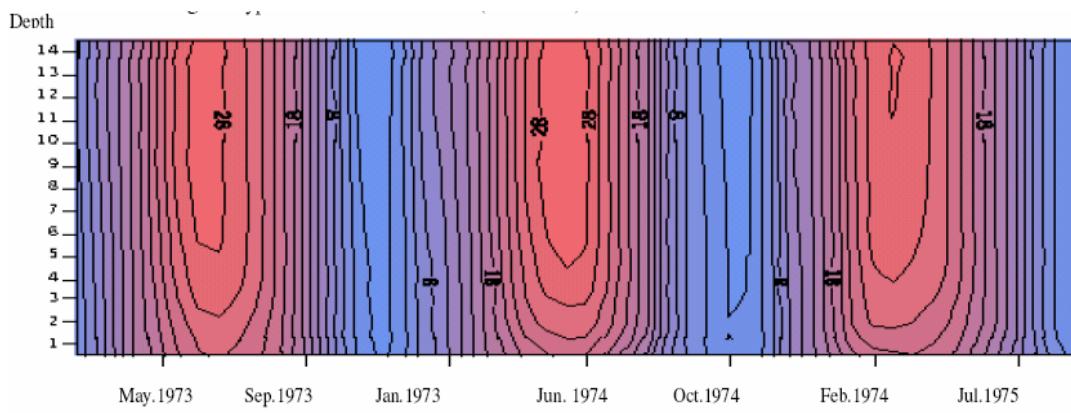
شکل ۵: شبیه سازی و پیش بینی تغییرات حرارت بر حسب عمق برای منبع شماره ۴ [۸]

شکل شماره ۶ نشان می دهد که تغییرات دما نسبت به عمق در تابستان شدید است اما هنگامیکه پاییز فرا می رسد دریاچه دچار تغییرات پاییزه شده و اثرات لایه بندی حرارتی ناپدید می شود. اگر چه لایه بندی حرارتی هنگامیکه هوا سرد می شود از بین می رود احتمال لایه بندی از منبع ۵ نسبت به سایر منابع بیشتر است.



شکل ۶: شبیه سازی و پیش‌بینی تغییرات حرارت بر حسب عمق برای منبع شماره ۵ [۸]

در شکل شماره ۷ تغییرات درجه حرارت نسبت به عمق خطی است. تغییرات ناچیز در حدود ۲ تا ۳ درجه سانتی گراد در عمق بیش از ۵ متر می‌باشد که خطر ناچیزی دارد.



شکل ۷: شبیه سازی و پیش‌بینی تغییرات حرارت بر حسب عمق برای منبع شماره ۶ [۸]

## ۷- نتیجه گیری

تشکیل لایه بندی حرارتی در ماه‌های گرم سال یک روند طبیعی در مخازن و دریاچه‌ها می‌باشد. این عامل هنگامیکه دمای هوا سرد می‌شود از بین می‌رود. بنابراین گرفتن آب از منابع، که ممکن است لایه بندی حرارتی داشته باشد باید با دقت کافی صورت گیرد. افزایش دمای آب عوامل مختلفی چون اکسیژن محلول، زندگی گونه‌های دریایی و کیفیت آب را تحت تاثیر قرار می‌دهد. شکل گیری لایه بندی حرارتی منجر به کاهش اکسیژن محلول در آب بخصوص در کف مخزن می‌شود. اگر این لایه بندی تثیت شود برای مدت زمان طولانی کیفیت آب را تهدید می‌کند. تثیت لایه بندی حرارتی در دریاچه‌ها، باعث افزایش سرعت فعالیت‌های ذکر شده در کف مخزن می‌شود، بنابراین طعم، بو و ظاهر آب غیر قابل قبول می‌شود.

در مورد دریاچه پارک جنگلی چیتگر بعد از اجرای مدل نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که رودخانه کن به عنوان یکی از منابع پیشنهادی برای تامین آب می‌باشد که کمترین مشکلات را از لحاظ لایه بندی ایجاد می‌نماید. هنگامیکه لایه بندی حرارتی در کف مخزن صورت می‌گیرد این امکان وجود دارد که

که آب را از قسمت های عمیق دریاچه گرفته و بخصوص در تابستان برای آبیاری محوطه پارک چیتگر مورد استفاده قرار دهیم. به این طریق گردش کامل آب به صورت کامل صورت می گیرد. مدیریت مناسب دریاچه برای جلوگیری از ورود مواد آلوده کننده و فاضلاب به دریاچه احتمال لایه بنده حرارتی را کاهش خواهد داد. بخصوص در مورد فاضلاب شهری و کشاورزی بایستی به شدت کنترل به عمل آید زیرا این فاضلاب ها شامل مقادیر زیادی فسفر و نیتروژن می باشند. اگر این مواد ریزمغذی در فاضلاب زیاد شود اختلاف چگالی بین hypolimnion و epilimnion نیز افزایش می یابد. به این صورت epilimnion نور خورشید را بیشتر جذب کرده بنابراین اختلاف دما بین لایه ها زیاد می شود و از این رو لایه بنده حرارتی شدیدی اتفاق می افتد.

## ۸- مراجع

- [1] Patricia E. Videtich and Erik J. Crooks- Living with the Great Lake, Grand Valley State University
- [2] Lake Aeration And Circulation, Illinois Environmental Protection Agency, November 1997
- [3] Michael L. Deas Cindy L. Lowney, Water Temperature Modeling Review, Central Valley September 2000
- [4] Atsushi, I. and O. Toshiyuki, 1998. Estimation of urban non-point source pollution in Lake Biwa basin. Water Sci. Technol.
- [5] Halley, M.C., 1993. Lake Water Quality Management. Proceeding of the Symposium on Engineering Hydrology, San Francisco
- [6] Kunihiko Amano, Better Application of Destratification Device for Water Quality Improvement in Dam Reservoirs, River Restoration Team, Public Works Research Institute
- [7] V.H. Chipofya, E.J. Matapa, Destratification of an impounding reservoir using compressed air—case of Mudi reservoir, Blantyre, Malawi
- [8] Water treatment, AWWA (2003 )
- [9] J. Nouri, H. Rahimpour and, R. Nezakati - Simulation of Thermal Stratification in Urban Man-made Lakes, American Journal Of Applied Science
- [10] Anonymous, 2002. The report of assessment of installation to take water and passing it through Chitgar Lake, assessing water choices and giving the best one. Water and Watershed Management Research Jahad Coopreation Publication.