

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور - مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

عنوان:

**بررسی و شناسایی عوامل آلاینده
در دریاچه مهارلو**

مجری:

مهرداد زمانپور

شماره ثبت

۸۸/۱۰۳۶

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور - مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

عنوان پروژه / طرح : بررسی و شناسایی عوامل آلاینده در دریاچه مهارلو

شماره مصوب : ۷۹-۰۷۱۰۲۱۴۰۰۰-۰۳

نام و نام خانوادگی نگارنده/ نگارندگان : مهرداد زمانپور

نام و نام خانوادگی مجری مسئول (اختصاص به پروژه ها و طرحهای ملی و مشترک دارد) :-

نام و نام خانوادگی مجری / مجریان : مهرداد زمانپور

نام و نام خانوادگی همکاران : محمود حافظیه

نام و نام خانوادگی مشاوران : فرامرز حسینی

نام و نام خانوادگی ناظر :-

محل اجرا : استان فارس

تاریخ شروع : ۷۹/۵/۱

مدت اجرا : ۱۴ ماه

ناشر : مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور

شمارگان (تیراژ) : ۲۰ نسخه

تاریخ انتشار : سال ۱۳۹۱

حق چاپ برای مؤلف محفوظ است . نقل مطالب ، تصاویر ، جداول ، منحنی ها و نمودارها با ذکر مأخذ بلامانع است .

«سوابق طرح یا پروژه و مجری»

پروژه : بررسی و شناسایی عوامل آلاینده در دریاچه مهارلو

کد مصوب : ۷۹-۰۷۱۰۲۱۴۰۰۰-۰۳

شماره ثبت (فروست) : ۱۰۳۶ تاریخ : ۸۸/۹/۱۸

با مسئولیت اجرایی جناب آقای مهرداد زمانپور دارای مدرک تحصیلی دکترای در رشته اکولوژی جانوری گرایش (آبهای شیرین لیمنولوژی) می باشد.

پروژه توسط داوران منتخب بخش اکولوژی منابع آبی در تاریخ ۸۸/۱۲/۱۸ مورد ارزیابی و با نمره ۱۴/۴ و رتبه متوسط تأیید گردید.

در زمان اجرای پروژه، مجری در :

ستاد پژوهشکده مرکز ایستگاه

با سمت عضو هیات علمی (استادیار پژوهش) مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع

طبیعی استان فارس مشغول بوده است.

به نام خدا

عنوان	«فهرست مندرجات»	صفحه
چکیده.....		۱
۱- مقدمه.....		۳
۱-۱- ویژگی های جغرافیایی استان فارس.....		۳
۲- مواد و روش ها.....		۱۰
۲-۱- محل انجام پژوهش.....		۱۰
۲-۲- روش کار.....		۱۱
۲-۳- نمونه برداری و سنجش ویژگی های آب.....		۱۳
۲-۴- تحلیل آماری.....		۱۹
۳- نتایج.....		۲۰
۳-۱- نتایج اندازه گیری عوامل فیزیکی.....		۲۰
۳-۲- عوامل شیمیایی.....		۲۴
۳-۳- کل مواد ذره ای (TPM).....		۳۵
۳-۴- فلزات سنگین.....		۳۶
۴- بحث.....		۴۰
۴-۱- pH.....		۴۰
۴-۲- دی اکسید کربن.....		۴۰
۴-۳- بی کربنات و کربنات.....		۴۱
۴-۴- اکسیژن محلول.....		۴۲
۴-۵- شوری و هدایت الکتریکی.....		۴۲
۴-۶- دما.....		۴۳
۴-۷- نیتريت و نترات.....		۴۴
۴-۸- آمونیاک آزاد.....		۴۴
۴-۹- فسفات.....		۴۵
۴-۱۰- کلر.....		۴۵
۴-۱۱- کلسیم، منیزیم، سختی.....		۴۶
۴-۱۲- کل مواد جامد محلول (TDS).....		۴۶
۴-۱۳- کل مواد ذره ای (TPM).....		۴۶

صفحه	عنوان
۴۷	۴-۱۴- فلزات سنگین
۵۱	پیشنهادها
۵۳	منابع
۵۵	پیوست
۵۷	چکیده انگلیسی

چکیده

جایگاه اکولوژیایی دریاچه مهارلو به‌ویژه جنبه‌های کاربردهای صنعتی (برداشت نمک) و شیلاتی (منبع مراحل مختلف زندگی آرتمیا که در آب‌زی‌پروری از آن برای تهیه غذای طبیعی استفاده می‌شود)، در ارتباط با حجم بالای ورود پس‌آب‌های شهری، صنعتی و بیمارستانی شیراز به این دریاچه از اهمیت بسیار زیادی در استان فارس برخوردار است. برای آگاهی از چگونگی آلودگی دریاچه، در این طرح وضعیت غلظت مواد معدنی مغذی و فلزات سنگین، و نیز برخی شرایط فیزیکی و شیمیایی دریاچه بررسی شده است. پنج ایستگاه در پنج نقطه از دریاچه تعیین شد تا در طول یک سال از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱ به‌طور ماهانه از آب دریاچه نمونه‌برداری و اندازه‌گیری عوامل مورد نظر بر روی آن انجام شود. با بروز یک خشک‌سالی فراگیر در استان فارس، دریاچه نیز در سال پیش از آغاز به‌طور کامل خشک شد و پس از آب‌گیری دوباره، تنها امکان کار در سه ایستگاه وجود داشت که آن نیز اجباراً در پایان به یک ایستگاه کاهش یافت. نتایج میانگین ماهانه ایستگاه‌ها با یکدیگر و نتایج میانگین سه ایستگاه در هر ماه با ماه‌های دیگر با روش تحلیل پراش مقایسه شد. میانگین سالانه pH ۷٫۹۵ (SD = ۰٫۵۵۸)، اکسیژن محلول ۲٫۹۲ ppm (SD = ۲٫۱۱)، شوری ppt ۲۹۰٫۷۳ (SD = ۱۶۸٫۰۸)، هدایت الکتریکی ۳۷۵٫۵۲ ms/cm (SD = ۲۳۲٫۷۲)، دمای آب ۲۰٫۸ درجه‌ی سانتی‌گراد (SD = ۷٫۴)، غلظت یون نیتريت ۰٫۰۵۰۷ ppm (SD = ۰٫۰۵۸۱)، نترات ۰٫۱۱۱۳ ppm (SD = ۰٫۰۸۹۳)، آمونیاک آزاد ۳٫۳۴۲ ppm (SD = ۲٫۸۹۴)، یون کربنات ۶۷٫۷۵ ppm (SD = ۶۶٫۸۴)، بی‌کربنات ۲۷۰٫۸۸ ppm (SD = ۱۹۰٫۹۱)، غلظت CO₂ محلول ۶۳٫۵۷ ppm (SD = ۳۷٫۹۴)، یون فسفات ۰٫۰۱۸۲ ppm (SD = ۰٫۰۲۵۶)، قلیائیت ۳۲۸٫۹۷ ppm (SD = ۲۱۶٫۱۴)، یون کلر ppt ۱۲۸٫۰۵ (SD = ۷۶٫۶۵)، کلسیم ۳۳۳۴٫۹۰ ppm (SD = ۴۷۶۹٫۸۷)، منیزیم ۲۲۷۱۹٫۲۲ ppm (SD = ۴۵۲۰۴٫۸۲)، سختی کل ۱۸۰۵۹٫۷۳ ppm (SD = ۱۲۵۱۳٫۵۴)، کل مواد جامد محلول ppt ۲۰۳٫۲۰ (SD = ۱۳۲٫۴۰)، و کل مواد ذره‌ی معلق ۸٫۶۵ ppm (SD = ۵٫۴۹) بوده است. در این دوره بیش‌ترین غلظت آرسنیک ۲۳ ppb، کوبالت ۳۰۳ ppb، کادمیوم ۹۷۰ ppb، سرب ۸۵۱۰ ppb و نقره ۲۵ ppb در آب دریاچه بوده است، در حالی که در برخی از ماه‌ها هیچ غلظتی به دست نیامد. نتایج نشان‌داد که در مورد بیش‌تر عوامل ایستگاه‌ها تفاوت معناداری با هم نداشتند، اما تغییرات ماهانه در طول سال برای بیش‌تر عوامل معنادار بود (P < 0.05). دریاچه

مهارلو از نظر مواد معدنی و نیز فلزات سنگین حدود متفاوتی از آلودگی را نشان می‌دهد، اما برای به دست آوردن درک دقیقی از وضعیت آلودگی دریاچه، توجه به روابط آب- رسوبات در جابجایی مواد آلاینده ضروری است. نتایج این بررسی می‌تواند ثبت خوبی از شرایط خشکسالی دریاچه به دست دهد.

واژه های کلیدی : دریاچه‌های شور- مهارلو- آلودگی- مواد مغذی- فلزات سنگین- آرتمیا

۱- مقدمه

دریاچه مهارلو در ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر شیراز با وسعت متوسط ۲۵۰۰۰ هکتار، با دارا بودن شوری بسیار بالا از زیست‌گاه‌های طبیعی منحصر به فرد استان فارس و کشور است که با سازش یافتن عمدتاً دو گونه از ارگانسیم‌های هالوفیل (شوردوست)، فیتوپلانکتونی از جلبک‌های سبز از جنس *Donaliella* و نیز جمعیتی از زووپلانکتون‌های جنس *Artemia* (سخت‌پوستان) زنجیر غذایی ساده‌یی را حمایت می‌کند. با وارد شدن پرندگان بومی و مهاجر (انواع اردک، غاز، کاکایی، کیلار، آنقوت، تنجه، درنا، خوتکا، آگرت، فالوروپ و به طور ویژه فلامینگوها) بر وسعت این زنجیر غذایی افزوده می‌شود (سازمان برنامه و بودجه فارس ۱۳۶۸).

در کنار ارزش و اهمیت حفظ گوناگونی و ذخایر زیستی محیط‌های آبی، توجه روز افزون بهره‌برداران صنعت آب‌زی‌پروری به استفاده از آرتمیا و مراحل مختلف سیستمی و لاروی آن اهمیت حفاظت و مراقبت از این منبع طبیعی با ارزش را صد چندان کرده است. از سوی دیگر ورود بسیار پر حجم مواد آلاینده که عمدتاً از راه رودخانه‌ی خشک صورت می‌گیرد و منابع بی‌شماری مانند فاضل‌آب شهری و روستایی شیراز و اطراف، فاضلاب کارخانه‌های موجود در گذر رودخانه، و نیز فاضل‌آب‌های بیمارستانی شهر شیراز طیف وسیعی از مواد آلوده‌کننده را به این دریاچه می‌آورد که با وارد شدن به زنجیر غذایی دریاچه از راه‌های مختلف در طبیعت گسترش می‌یابد و زنجیرهای غذایی دیگری را در نقاط دیگر کشور و جهان (که چه بسا انسان نیز بخشی از آن‌ها باشد) آلوده می‌سازد.

۱-۱- ویژگی‌های جغرافیایی استان فارس

استان فارس میان محدوده‌ی جغرافیایی ۳۱' ۴۳" در شمال تا ۲۷' ۰۶" در جنوب، و ۵۰' ۳۳" در غرب تا ۵۵' ۳۸" در شرق قرار دارد. منابع آب‌های زیرزمینی فارس بر چین‌خوردگی‌های رشته کوه‌های زاگرس قرار دارد. بیش‌تر این چین‌خوردگی‌ها جهت شمال غربی-جنوب شرقی دارد و به‌جز چند دشت آب‌رفتی بزرگ که دشت شیراز از آن جمله است، بیش‌تر ناودیس‌های این چین‌خوردگی به صورت دشت‌های کوچکی است که به دنبال هم

قرار گرفته اند و آب های زیرزمینی و سطحی خروجی هر یک از این دشت ها دشت بعدی را تغذیه می کند (سازمان برنامه و بودجه فارس ۱۳۷۶).

۱-۱-۱- تشکیلات زمین شناسی

تشکیلات زمین شناسی زاگرس اغلب از نوع آسماری (مربوط به ائوسین و الیگوسین) است. جنس تشکیلات زمین شناسی در بخش های شمالی تر آهک با درصد بالاست که به سوی جنوب، شرق و غرب از درصد آن کم می شود. این ویژگی موجب تشکیل مناطق کارستیک بزرگی شده است که بافت آن درزها، شکاف ها و منافذ بسیاری دارد و با دادن اجازه ی نفوذ به آب، بخش زیادی از آن را از دسترس خارج می کند. وجود گنبد های نمکی (مربوط به دوران اول زمین شناسی) در این منطقه محدودیت هایی برای منابع آبی به وجود آورده است، مانند گنبد نمکی سروستان که موجب شور شدن دشت سروستان شده است. آب باران نیز در بخش هایی از استان با گذر از گنبد های نمکی یا تشکیلات و خاک های شور، شوری را به آب های شیرین منتقل می کند. نمونه های بارز این پدیده را می توان در رودخانه بال داراب و نیز قره آقاج دید (مبشری و قهرمان ۱۳۵۳).

۱-۱-۲- ویژگی های مهم اقلیمی

از ویژگی های مهم اقلیمی منطقه فارس می توان به توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارندگی اشاره کرد. ماه های پایانی بهار و همهی تابستان بارندگی ندارد، و اندازه آن در بخش های کوهستانی بسیار بیش تر از دشت هاست (۴۰۰ میلی متر در برابر کم تر از ۲۵۰ میلی متر). دمای بالا، شدت تابش نور خورشید و سرعت بالای وزش باد نیز از سوی دیگر موجب می شود که نرخ تبخیر و تعرق به بیش ترین اندازه برسد (مبشری و قهرمان ۱۳۵۳).

۱-۱-۳- حوضه مهارلو

این حوضه در میان عرض شمالی ۲۹° ۰۱' تا ۳۰° ۰۶' و طول شرقی ۵۲° ۱۲' تا ۵۳° ۲۸' به گستردگی ۴۲۷۲ km² قرار دارد. بیش ترین درازای آن ۱۶۰ کیلومتر و بیش ترین پهنای آن ۴۳ کیلومتر است و در جغرافیای منطقه

آرایش شمال غربی-جنوب شرقی دارد. بیشترین بلندی از تراز دریا در این حوضه ۳۱۰۰ متر در غرب شیراز و کمترین آن ۱۴۵۰ متر در کنار دریاچه است. دارای دشت‌های آبرفتی، چند رودخانه، و زمین‌های کم‌ارتفاعی است که اغلب سیل‌گیر است.

۴-۱-۱- تشکیلات زمین‌شناسی

تشکیلات زمین‌شناسی حاشیه حوضه بیش‌تر رسوبات آهکی و مارنی دوران سوم، سنگ‌های کف آبرفت‌های دشت بیش‌تر از تشکیلات مارنی میوسن و در برخی نقاط نیز به‌ویژه در کناره‌های دشت از آهک است. چینه‌شناسی حوضه از طبقات ژوراسیک تا پلیوسین را نشان می‌دهد. پراکنده بودن آهک‌های آسماری در تمامی دشت آن را به مخزنی برای نگه‌داری آب تبدیل کرده است. آب‌رفت‌های تشکیل‌دهنده‌ی جلگه‌ی دشت شیراز از غرب به شرق ریزتر می‌شود، به طوری که در بخش‌های جنوب شرقی و اطراف دریاچه مهارلو به خاک‌های رسی تبدیل می‌شود (بهرامی ۱۳۶۹، کوچ‌مشکیان، ۱۳۷۳).

از نظر اقلیمی این حوضه آب‌وهوایی نیمه‌خشک تا آب‌وهوای مدیترانه‌ای گرم و خشک دارد و به‌ویژه تابستان در آن شامل ۵ تا ۶ ماه خشک است.

درجه حرارت متوسط هوا در دوره زمانی ۱۳۲۹ تا ۱۳۴۹ در تیر ماه به بیش‌ترین اندازه ۲۸٫۳ و در دی ماه به کم‌ترین اندازه ۵٫۶ درجه‌ی سانتی‌گراد بود. بیش‌ترین دمای ثبت شده در این دوره نیز ۴۲٫۲ در مرداد ماه ۱۳۴۹ و کم‌ترین دمای ثبت شده ۱۰٫۲- درجه‌ی سانتی‌گراد در دی ماه ۱۳۴۲ بود. رطوبت نسبی هوا در دوره مذکوره ۲۵٪ در تیرماه و ۶۵٪ در دی ماه بوده است.

جهت وزش بادها در این حوضه شمال غربی و غربی است. بیش‌ترین و کم‌ترین سرعت متوسط اندازه‌گیری شده‌ی باد در دوره زمانی ۱۳۴۰ تا ۱۳۵۰ به ترتیب ۶۸ و ۴٫۳ گره بوده است.

منشا اصلی بارندگی‌ها از فعالیت‌های مدیترانه‌ای است، که جریان‌های دریاهای جنوب و توده‌های هوای موسمی اقیانوس هند نیز به ویژه در بارندگی‌های زمستانی نقش دارد. در دوره زمانی ۱۳۲۹ تا ۱۳۴۹ میانگین اندازه بارندگی سالانه ۳۷۰ mm بود که در پربارش‌ترین زمان در دی‌ماه به ۷۸ mm رسید. در این دوره مرطوب‌ترین

سال ۳۳-۱۳۳۲ با ۵۶۴ mm و خشک ترین سال ۴۵-۱۳۴۴ با ۸۳ mm بارندگی بود. ۲۵٪ بارندگی ها در پاییز، ۶۱٪ آن در زمستان و ۱۴٪ آن در بهار اتفاق افتاد.

میانگین تبخیر و تعرق سالانه در این حوضه ۱۵۴۸ mm گزارش شده است. در جنوب این حوضه در جایی میان دشت شیراز و دشت قره باغ یک حوضه تبخیری به مساحت 30 km^2 وجود دارد که سالانه حدود ۳۰ میلیون متر مکعب آب را تبخیر می کند (وزارت نیرو ۱۳۷۸).

۵-۱-۱- منابع تامین آب

آب این حوضه از چند رود، جویبار و چشمه موقت و دائمی، و نیز تعدادی زه کش تامین می شود. برخی از مهم ترین آن ها عبارت است از:

۱. مسیل رودخانه ی خشک. این مسیل از دو شاخه از ارتفاعات قلات و دراک سرچشمه می گیرد، به سوی شمال شهر شیراز حرکت می کند و سرانجام به دریاچه ی مهارلو می ریزد. قنات های قصرقمشه و تنگ سرخ و سیل آب های زمستانی نیز به آن افزوده می شود. در فصل های بارانی پر آب است، در بهار و پاییز کم آب و در تابستان اغلب خشک می شود. متوسط ورود سالانه آب از این رودخانه $28,71 \text{ Mm}^3$ (میلیون متر مکعب) در سال برآورد شده است. در فصل های بارندگی ورودی آن به 33 Mm^3 می رسد که در حدود 22 Mm^3 فاضل آب شهری و صنعتی را نیز باید به آن افزود (کوچ مشکیان، ۱۳۷۳).
۲. مسیل پل فسا. عمده آب های سطحی و زیرزمینی خروجی دشت شیراز را با خود به دریاچه مهارلو می رساند. حجم آب جابه جا شده با این مسیل نیز در حدود ۲۴ میلیون متر مکعب در سال است.
۳. زه کش پایگاه و فرودگاه. این زه کش نیز با حمل حدود ۲,۵ میلیون متر مکعب در سال موازی با مسیل پل فسا به دریاچه می ریزد.
۴. چشمه های آرتزین. تعدادی چشمه ی کوچک و بزرگ که مهم ترین آن ها چشمه ی بَرْم شور در کنار دریاچه است نیز منبعی از آب شیرین برای دریاچه فراهم آورده است.

سالانه مقادیر بسیار زیادی فاضل آب شهری در شیراز تولید می‌شود که بیش‌تر آن سر از دریاچه بر می‌آورد. اندازه کل فاضل آب تولید شده‌ی این شهر حدود ۵۲ میلیون متر مکعب در سال است که ۲۰ میلیون متر مکعب آن در خارج از محدوده رودخانه تخلیه می‌شود و بقیه به دریاچه می‌رسد (کوچ‌مشکیان ۱۳۷۳).

۶-۱-۱- منابع آلوده‌کننده

آلوده‌کننده‌های اصلی آب‌ها از منابعی مانند پس‌آب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی منشا می‌گیرد. مواد آلوده‌کننده مهم موجود در این منابع به طور عمده مواد آلی (موجود در حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌های دیگر کشاورزی، زباله‌های صنعتی و شهری، و آلودگی‌های نفتی)، فلزات سنگین (ضایعات صنایع، کشاورزی، زه‌کش‌های شهری و مصارف خانگی)، اسیدها (نشت کرده از معادن، پس‌آب‌های صنعتی، و باران‌های اسیدی)، ریزمغذی‌ها (کودهای کشاورزی آلی و شیمیایی، فاضل آب‌ها)، و مواد رادیواکتیوی (صنایع هسته‌ای، آزمایش‌گاه‌های تشخیص طبی) (IPSC 1991) است (اداره‌ی کل حفاظت محیط زیست فارس ۱۳۶۴).

فلزات سنگین که از سمی‌ترین آلاینده‌هاست در گستره‌ی متنوعی از فعالیت‌ها کاربرد دارد، از جمله در صنایع الکترونیکی، آب‌کاری و جوش گالوانیک فلزات، تولید چرم، رنگ‌سازی، متالورژی، پتروشیمی، آزمایشگاه‌ها و بیمارستان‌ها. موادی مانند آرسنیک و جیوه را در آفت‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها می‌توان یافت، و روی و کادمیوم را در صنایع گالوانیزه و آب‌کاری فلزات. سرب نیز به مقدار فراوان در بنزین مصرفی خودروها وجود دارد (جعفرزاده حقیقی و مروی ۱۳۷۴، مسلمی ۱۳۶۸). منبع اصلی خروج سرب از فعالیت‌های شهری است و ۹۰٪ آن که از وسایل نقلیه خارج می‌شود از آگزوز خودروها به سطح جاده‌ها منتقل می‌شود. مقدار آن بستگی به حجم ترافیک، نزدیکی به جاده، چگونگی بادهای دایمی، فصل سال، زمان و روز و اوضاع جوی دارد (اوجی، ۱۳۷۳).

از منابع اصلی آلوده‌کننده می‌توان به منابع امور خدماتی شهری اشاره کرد. مراکزی مانند بیمارستان‌ها، رادیولوژی‌ها، آزمایشگاه‌های دانشگاهی، پزشکی، صنعتی و کشاورزی، گرمابه‌های عمومی، ماشین‌شویی‌ها، هتل‌ها و سالن‌های غذاخوری که مواد مختلفی را از آرسنیک موجود در داروی نظافت گرفته تا کلر، آب ژاول، کریستال‌های نقره، محلول‌های تثبیت‌کننده، نمک‌های آلومینیوم و کرومیوم، انواع مواد شوینده و حتی نمک به

اندازه‌های بسیار وارد رود خشک می‌کنند (صفوی ۱۳۷۸). کوچ‌مشکیان ۱۳۷۳ فهرست مفصلی از گرمابه‌ها، بیمارستان‌ها، رادیولوژی‌ها و آزمایشگاههای شیراز را به همراه اندازه‌ی دقیق مصرف آب و تولید فاضل‌آب روزانه و مقدار مصرف مواد آلاینده هر یک جمع‌آوری کرده است.

منابع صنعتی بسیاری را نیز می‌توان نام برد که نقش برجسته‌ای در آلاینده‌گی رود خشک و دریاچه مهارلو دارد. صنایع غذایی، صنایع فلزی و آب‌کاری فلزات، صنایع شیمیایی مختلف، صنایع سلولزی، چرم‌سازی، نساجی، صنایع کشاورزی و پرورش دام و پرندگان، صنایع برق و الکترونیک، صنایع بهداشتی و دارویی از جمله مهم‌ترین آنهاست (مددی و دیگران ۱۳۸۲).

فعالیت‌های کشاورزی از مهم‌ترین زمینه‌هایی است که به تنهایی سهم عمده‌ای در رهاسازی مواد آلاینده به آب‌ها دارد. پس‌آب‌های کشاورزی بخش بزرگی از سم‌ها، علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و مواد محلول حاصل از کودهای گیاهی و حیوانی را با خود به رودخانه و سپس دریاچه می‌برد، هم‌چنان که بخشی از آن را نیز به درون خاک و سفره‌های آبی می‌رساند. فهرستی از اندازه و انواع کودها و سم‌های مصرفی در مزارع کشاورزی دشت شیراز در سال ۱۳۷۲ در کوچ‌مشکیان ۱۳۷۳ آمده است.

۲-۱-۱- اهداف پژوهش

دریاچه مهارلو -یک دریاچه‌ی آب شور- که زیست‌گاه ویژه جنس *آرتمیا* (سخت‌پوستان) است، اهمیت ویژه‌ای از دیدگاه اکولوژیایی و نیز بهره‌برداری‌های آب‌زیان و آبرزی‌پروری دارد. ایده بهره‌گیری از ذخایر *آرتمیا* در پرورش میگو و بچه‌ماهیان قزل‌آلا در سال‌های اخیر توجه مدیران شیلات استان و کشور را به خود جلب کرده، به طوری که بهره‌برداری‌های مفصلی در دریاچه ارومیه، و محدودی در مهارلو آغاز شده است. با این حال به روشنی می‌توان دید که از این نظر تفاوت مهمی میان این دو دریاچه وجود دارد که همانا کوچک‌تر بودن مهارلو و ارتباط مستقیم و نزدیک آن با فاضل‌آب شهری است که آن را تا این اندازه آلوده ساخته است. آلودگی معدنی دریاچه می‌تواند به تغییرات پیش‌بینی ناشدنی در شرایط اکولوژیک منجر شود و زیستگاه زیندگان منحصر به فرد آن را با خطرهای احتمالی مواجه کند و آلودگی فلزات سنگین به سیتوپلاسم جلبک‌ها

و بافت‌های آرتیمیا منتقل می‌شود و می‌تواند در صورت بهره‌برداری برای تغذیه بچه‌ماهی‌ها، سرانجام از بدن انسان‌ها سر در آورد. توجه به حقیقت "تغلیظ زیستی" (bio-concentration، تجمع آلاینده‌ها در بافت‌های موجودات زنده در غلظت‌های بسیار بالاتر از اندازه‌ی محیط) بر درجه خطر می‌افزاید و ما را نسبت به آثار و پیامدهای آلودگی و بهره‌برداری از منابع آلوده حساس‌تر می‌کند. از همین روی دانستن چگونگی آلودگی‌های این دریاچه برای شیلات و آب‌زی‌پروری اهمیت فراوان داشته است.

در پژوهش حاضر غلظت برخی از مهم‌ترین عوامل آلاینده در دریاچه مهارلو، و تغییرات آن در طول یک سال (دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱) مطالعه و بررسی شده است.

۲- مواد و روش ها

عوامل مهم آلودگی مواد معدنی و فلزات سنگین به همراه برخی شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط دریاچهی مهارلو به مدت ۱۲ ماه از دی سال ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱ اندازه گیری شد.

۲-۱- محل انجام پژوهش

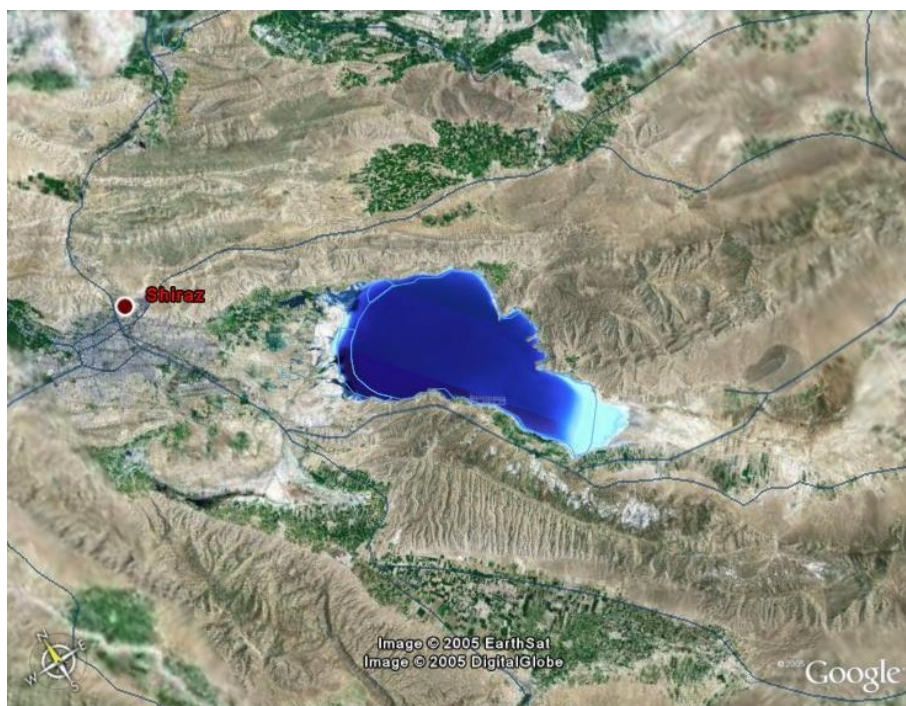
دریاچه مهارلو در ۲۳ کیلومتری جنوب شرقی شهر شیراز در میان عرض شمالی $29^{\circ} 18'$ تا $29^{\circ} 32'$ و طول شرقی $52^{\circ} 42'$ تا $52^{\circ} 58'$ قرار دارد. درازای آن ۳۱ km و پهنای آن ۱۱km است. جهت قرار گرفتن آن در امتداد شکل عمومی زاگرس و در سوی شمال غربی به جنوب شرقی است (شکل ۱). میانگین مساحت آن 175 km^2 است که در پرآب ترین سال ها به ویژه در آذر، دی و بهمن به 250 km^2 می رسد.

دریاچه مهارلو از شمال به دشت شیراز و جنوب به دشت سروستان و از شرق و غرب به ارتفاعات اطراف محدود می شود. کم ترین ارتفاع کف دریاچه از سطح دریا 1452 m و زمین های اطراف دریاچه 1460 m است (شکل ۲-۲).

آب های ورودی به دریاچه عمدتاً از سیل آب های رود خشک شیراز، مسیل پل فسا، و برخی زهکش ها تامین می شود. مقدار کمی آب شیرین نیز از چشمه برم شور در نزدیکی تقریباً-پیوسته با دریاچه به آن وارد می شود (شکل ۲-۳).

میانگین عمق دریاچه در اسفند 1351 m ، 0.4 m و میانگین حجم آن $10^6 \times 94$ و در شهریور 1359 m ، 0.1 m و میانگین حجم آن $10^6 \times 16$ گزارش شده است (اداره کل حفاظت محیط زیست فارس ۱۳۶۴).

بیشترین درجه حرارت هوا در دوره ی سال های ۶۹-۱۳۶۵ در تیر و مرداد ۴۱ درجه سانتی گراد و کمترین آن در دی و بهمن ۴- درجه سانتیگراد بوده است. درجه ی حرارت آب دریاچه نیز اگرچه تغییراتی را نشان می دهد، در زمستان ۱۳۶۵ در ساعات میانی پیش از ظهر از ۱۲ تا ۱۵ درجه سانتی گراد گزارش شده است (وزارت نیرو ۱۳۷۸).



شکل ۲-۲. عکس هوایی از دریاچه مهارلو و موقعیت آن نسبت به شهر شیراز. ارتفاع چشم در عکس بالا ۷۳km و در عکس پایین ۳۱ km با سپاس از Google Earth.

سه ایستگاه دیگر در محل ورودی رودخانه‌ی خشک، فاضل آب پل فسا و چشمه بَرَم‌شور برگزیده شد (جدول ۲-۱ و شکل ۲-۳ و ۲-۴). گذراندن مراحل تصویب و آغاز اجرای طرح با یک خشک‌سالی گسترده در استان فارس همراه بود، به طوری که بسیاری از دریاچه‌ها و آب‌گیرهای استان از رو به خشکی نهاد و به تدریج از سطح آن‌ها کاسته شد، و این تغییرات در دریاچه مهارلو نیز در سطح شدید روی داد. کاهش شدید سطح آب دریاچه در این سال‌ها موجب تغییر اندازه و شکل دریاچه شد. تصویرهای برداشته‌شده از دریاچه در تابستان ۱۳۸۱ که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است درکی از اندازه پس‌روی دریاچه و سطح آن در این سال به دست می‌دهد. در نتیجه این تغییرات ایستگاه‌های پیش‌بینی شده دیگر موجودیت نداشت. به همین دلیل پنج ایستگاه ابتدایی به سه ایستگاه کاهش داده شد. با گذشت زمان این ایستگاه‌ها نیز دچار خشکی شد و از همین روی در برخی از ماه‌های سال تنها یک یا دو ایستگاه باقی مانده بود که آن‌ها نیز اغلب به علت پس‌روی دریاچه با مکان ابتدایی خود تفاوت داشت (شکل ۲-۵).

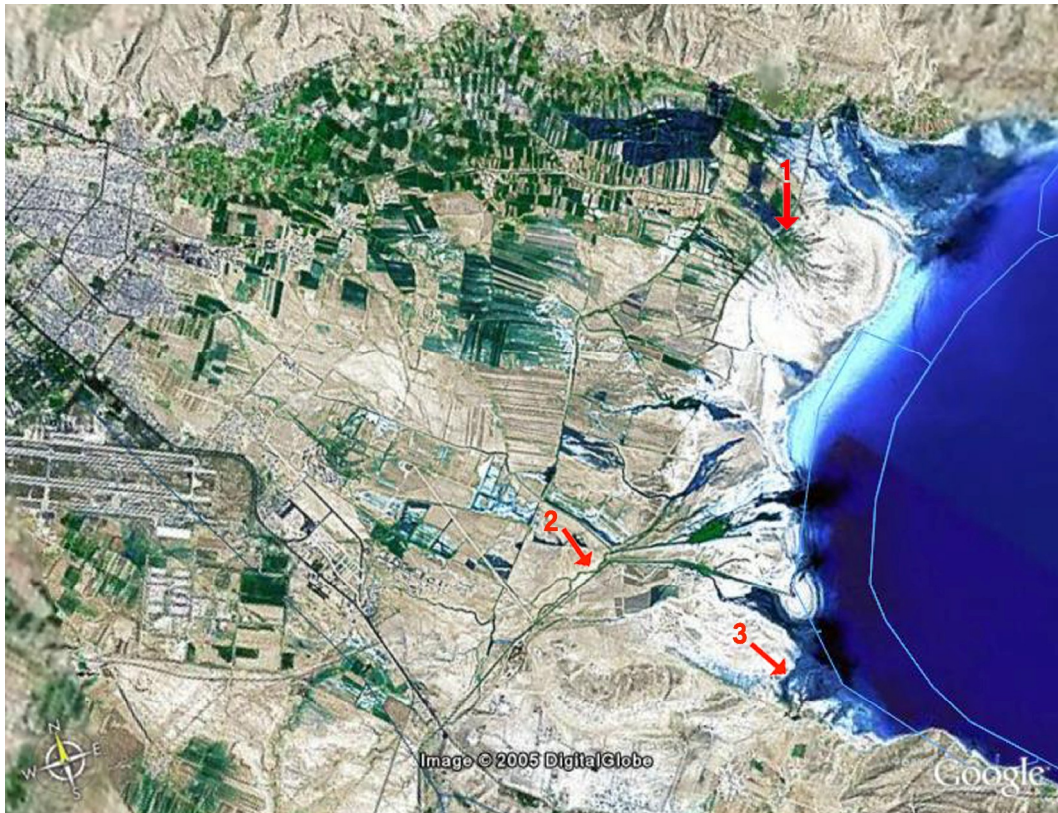
۲-۳ - نمونه‌برداری و سنجش ویژگی‌های آب

۲-۳-۱ - نمونه‌برداری‌های میدانی ماهانه

نمونه‌برداری ماهانه از آب برای سنجش عوامل پی‌اچ، اکسیژن محلول، شوری، هدایت الکتریکی، دما، یون نیتريت، نترات، آمونیوم، فسفات؛ کربنات، بی‌کربنات، CO₂ محلول، قلیائیت، کلر، کلسیم، منیزیم، سختی کل، کل مواد جامد محلول (Total Dissolved Solids, TDS)، و کل مواد ذره‌ای (Total Particulate Matter, TPM). غلظت برخی از فلزات سنگین مانند آرسنیک، سرب، کبالت، کادمیم، و جیوه از دی ماه ۱۳۸۰ تا آذر ماه ۱۳۸۱ انجام شد. نمونه‌ها در ظرف‌های پلاستیکی یک‌لیتری در محل برداشته می‌شد و پس از ثبت مشخصات محل و تاریخ نمونه‌برداری برای سنجش‌ها به آزمایشگاه منتقل می‌شد.

جدول ۱-۲. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری این مطالعه در دریاچه مهارلو.

شماره‌ی	نام محل	ارتفاع از سطح دریا	مشخصات جغرافیایی
۱	اسکله‌ی سپاه	۱۴۹۰	N: 29°26' 49"; E: 52° 44' 13"
۲	اسکله‌ی محیط زیست	۱۴۵۵	N: 29°27' 09"; E: 52° 43' 34"
۳	ورودی برم شور	۱۴۶۰	N: 29°28' 14"; E: 52° 42' 06"



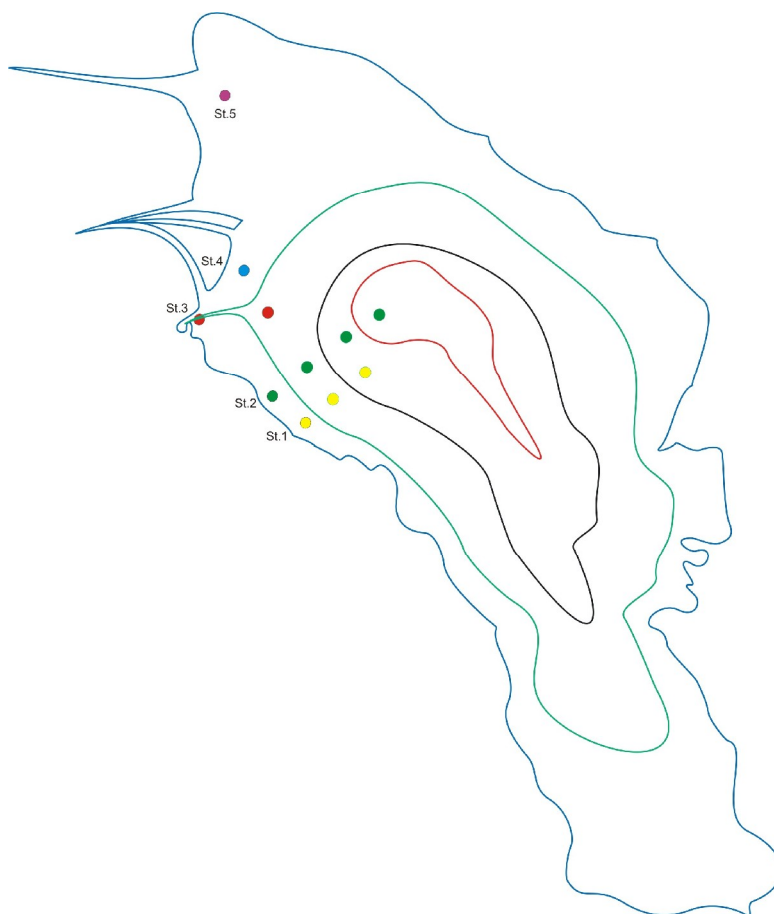
شکل ۲-۳. عکس هوایی از حاشیه شمال غربی دریاچه مهارلو و آب‌های ورودی به آن: ۱، رود خشک؛ ۲، مسیل پل فسا؛ ۳، برم شور. در سمت چپ تصویر بخش‌های شرقی شهر شیراز دیده می‌شود و فاصله میان شهر تا دریاچه در قسمت بالای عکس (گذر رود خشک) با زمین‌های کشاورزی (رنگ سبز) پر شده است. ارتفاع چشم ۱۷km با سپاس از Google Earth.



شکل ۴-۲-الف. عکس‌های برداشته شده از دریاچه در تابستان ۱۳۸۱. بالا، دیدگاه جنوب شرقی از دریاچه، عکس برداری شده از محل ایستگاه یک؛ پایین، بخش میانی دریاچه، عکس برداری شده از محل ایستگاه دو (ساختمان محیط زیست در تصویر دیده می‌شود). علامت پیکان در عکس بالا نقشی از عبور یک خودرو را بر کف دریاچه نشان می‌دهد. عکس‌ها توسط نگارنده و از کناره غربی دریاچه برداشته شده است.



شکل ۴-۲-ب. عکس برداشته شده از دریاچه در تابستان ۱۳۸۱. دیدگاه شمال غربی از دریاچه، عکس برداری شده از محلی مشرف به ایستگاه ۳. پیکان ۱ در عکس محل ریزش یک چشمه‌ی فرعی در کنار دریاچه و پیکان ۲ گذر چشمه برم‌شور را بر کف دریاچه نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵. نقشه‌ای از حداکثر گستره آب در سال‌های غیر خشک (خط پیرامون آبی رنگ)، آغاز نمونه‌برداری از دی ۱۳۸۰ تا تیر ۱۳۸۱ (سبز)، مرداد ۱۳۸۱ (سیاه)، شهریور، مهر و آبان ۱۳۸۱ (قرمز)، و آذر ۱۳۸۱ (سیاه). بخش‌های شرقی دریاچه (قسمت‌های باریک‌تر پایینی در این نقشه) عمق کم‌تری داشت و در مهر و آبان تنها لایه‌ای کم‌تر از چند سانتی‌متر بر روی لایه‌های ضخیم نمک این قسمت‌ها را پوشانده بود. نقشه تقریبی است و تنها برای نشان دادن پهنه آب نسبت به سه ایستگاه کاری رسم شده است. ایستگاه‌های پیش‌بینی شده چهار و پنج حذف شد.

۲-۳-۲- سنجش‌های انجام شده در محل دریاچه

اندازه‌گیری عواملی مانند دمای آب، پی‌اچ و اکسیژن محلول در محل و با استفاده از دماسنج جیوه‌ای، دستگاه اکسیژن‌متر صحرایی (WTW-Oxi 320)، و دستگاه پی‌اچ متر قابل حمل (HANA مدل HI 1281) انجام می‌شد. اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن با روش Titrimetric و با محلول‌های از پیش آماده به صورت یک کیت ساده در محل اندازه‌گیری شد. حجم‌های محاسبه شده از آب برداشته و با پیپت در محل تیتراژ کرده می‌شد.

۳-۳-۲- کارهای انجام شده در آزمایشگاه

اندازه گیری هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC-meter (WTW- LF340)، و اندازه گیری شوری (بر مبنای کلرید کلسیم با دستگاه Refractometer پس از حمل نمونه‌ها به آزمایشگاه انجام می‌گرفت. دیگر ویژگی‌های مذکور پس از رساندن نمونه‌ی آب به آزمایشگاه در کوتاه‌ترین مدت (حداکثر یک ساعت پس از نمونه‌برداری) در آزمایشگاه شیلات مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس انجام شد. برای سنجش یونی کانی‌ها بیش‌تر از دستور کارهای "روش‌های استاندارد برای ارزیابی آب و فاضل‌آب" (Greenberg *et al.* 1992) پی‌روی شد. در زیر روش‌های به کار رفته برای هر یک از عوامل، به همراه نشانی مربوط در این منبع ذکر می‌شود.

۴-۳-۲- روش‌های سنجش یون‌ها

- کربنات و بی‌کربنات با تیتراژ کردن با اسید کلریدریک و معرف فنل فتالین برای کربنات، و نارنجی متیلی برای بی‌کربنات.
- فسفات با روش آسکوربیک اسید (Standard Methods, section 4500-P E).
- آمونیوم با روش Phenate (Standard Methods, section 4500-NH3 D).
- نیتريت با به‌کارگیری روش colorimetric (Standard Methods, section 4500-NO₂⁻ B) و نیترات با دادن معرف Brucin sulfate.
- سختی کلسیم با استفاده از روش EDTA Titrimetric method (Standard Methods, section 3500-Ca D).
- سختی کل آب به روش EDTA Titrimetric method (Standard Methods, section 2340 C).
- سختی منیزیم با کاهش سختی کلسیم از سختی کل.
- قلیائیت آب با افزودن اندازه‌ی غلظت‌های یون‌های کربنات، بی‌کربنات، و فسفات.
- کلرید با روش Argentometric و تیتراژ سیون و تیتراژ کردن با نیترات نقره در حضور کرومات پتاسیم (Standard Methods, section 4500-Cl B).

- کل مواد جامد محلول (TDS) با خشک کردن حجم معینی از نمونه در ظرف‌های وزن‌شده از پیش و محاسبه تغییر وزن (Standard Methods, section 2540 B).

- غلظت فلزات سنگین به روش جذب اتمی در آزمایشگاه تجزیه، بخش شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز.

۴-۲- تحلیل آماری

نتایج عددی به دست آمده از اندازه‌گیری‌های بالا به کمک نرم‌افزار آماری SPSS پردازش شد. آمار توصیفی و تجزیه پراش برای مقایسه‌ی میانگین‌ها انجام شد. برای تجزیه پراش نخست میانگین‌های سه ایستگاه در هر ماه با ماه‌های دیگر مقایسه شد تا از معنادار بودن تغییرات ماهانه اطمینان حاصل شود. سپس برای آگاهی از احتمال وجود تغییرات معنادار میان ایستگاه‌های نمونه‌برداری، میانگین اعداد مربوط به یک سال هر ایستگاه با ایستگاه‌های دیگر سنجیده شد.

۳- نتایج

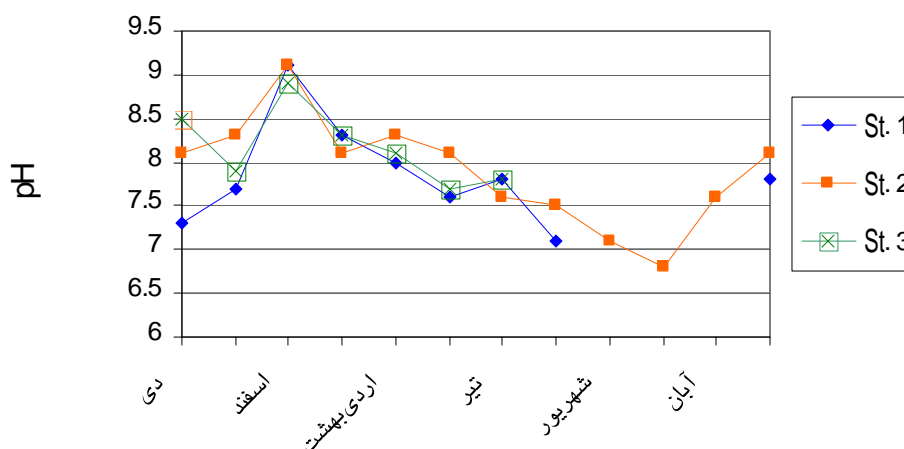
پیش از ارایه نتایج اندازه گیری های عوامل مختلف در دریاچه در دوره این مطالعه لازم است به این نکته اشاره شود که به دلیل قرار گرفتن این دوره در یک خشک سالی فراگیر و خشک شدن بخش عمده دریاچه، محل ایستگاه های تعیین شده بتدریج تغییر کرد و سرانجام در تابستان ۸۱ سطح دریاچه به اندازه ای کوچک شد که در محل ایستگاه های ۲ و ۳ دیگر آبی وجود نداشت. بنابراین در دوره مذکور نمونه برداری ها به اجبار به سه، دو و سپس یک ایستگاه کاهش پیدا کرد. تغییرات تقریبی گستره ی دریاچه در رابطه با جای ایستگاه های نمونه برداری در شکل ۱ نشان داده شده است.

بیشترین عمق آب در محل ایستگاه ها در ابتدای کار نمونه برداری ۳۰ cm بود و در ماه های اوج خشکی، پس از گذر از مسیری چند کیلومتری در بستر خشک و سپس مرطوب دریاچه، نزدیک ترین نقاط به ایستگاه های از پیش تعیین شده حداکثر ۷ سانتی متر عمق داشت.

۳-۱- نتایج اندازه گیری عوامل فیزیکی

۳-۱-۱- pH

نتایج اندازه گیری های پی اچ در دریاچه در طول مدت این بررسی نشان دهنده روندی شامل یک قله افزایش در اسفند ۱۳۸۰ بود که به صورت تدریجی کاهش یافت و در حدود آبان ۱۳۸۱ به کمترین مقدار رسید. تفاوت پی اچ در ماه های مختلف سال نسبت به هم در سطح ۰,۰۵ معنادار بود. سه ایستگاه نمونه برداری روند تغییرات ماهانه ی همسانی را نشان داد و هیچ یک از ایستگاه ها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت (نمودار ۱-۳). بیشترین پی اچ در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ۹,۱۰ و کمترین آن ۶,۸۰، و میانگین سالانه پی اچ دریاچه در سه ایستگاه ۷,۹۵ (SD = ۰,۵۵۸) بوده است.



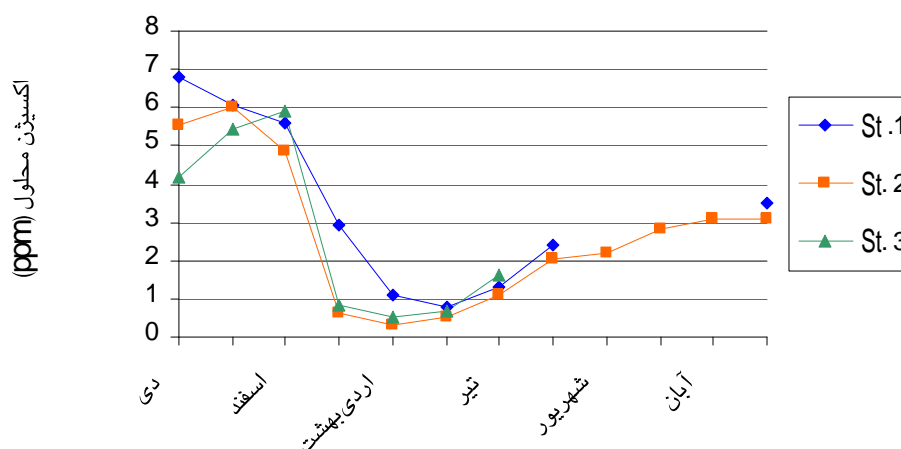
نمودار ۱-۳. منحنی تغییرات ماهانه pH در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

۲-۱-۳- اکسیژن محلول

اندازه گیری اکسیژن محلول دریاچه در این بررسی نشان داد که بیشترین غلظت در دی ماه ۱۳۸۰ وجود داشت. این مقدار با یک کاهش تند در فروردین و اردیبهشت ۱۳۸۱ به اندازه‌های ۱ ppm و کم‌تر رسید و سپس با روند تدریجی به حدود ۳ ppm در آبان ۱۳۸۱ افزایش یافت (نمودار ۲-۳).

در تحلیل آماری تفاوت اکسیژن محلول در ماه‌های مختلف سال نسبت به هم در سطح ۰,۰۵ معنادار بود. سه ایستگاه نمونه‌برداری روند هم‌سانی را نشان داد و هیچ یک از ایستگاه‌ها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت.

بیشترین غلظت اکسیژن محلول در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ۶,۸۲ ppm و کم‌ترین آن ۰,۳۰ ppm و میانگین سالانه‌ی آن در دریاچه در سه ایستگاه ۲,۹۲ ppm (SD = ۲,۱۱) بوده است.



نمودار ۲-۳. منحنی تغییرات ماهانه اکسیژن محلول در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

۳-۱-۳- شوری

شوری دریاچه از اوایل فروردین رو به افزایش گذاشت و بیشترین مقدار در ماه‌های پایانی تابستان و آغازین پاییز ثبت شد. پس از آن کاهش تندی دیده شد (نمودار ۳-۳).

تفاوت شوری در ماه‌های مختلف سال نسبت به هم در سطح ۰,۰۵ معنادار بود. سه ایستگاه روند هم‌سانی را نشان داد. هیچ یک از ایستگاه‌ها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت.

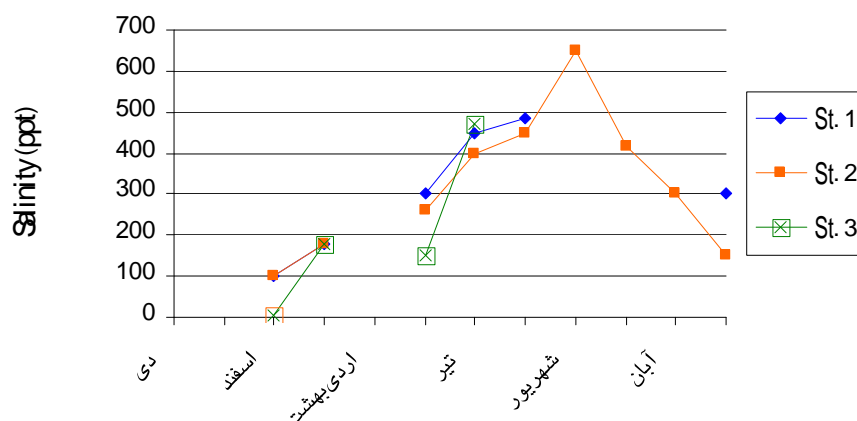
بیشترین شوری در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ۶۵۰,۰۰ ppt و کمترین آن ۵,۰۰ ppt و میانگین سالانه آن در سه ایستگاه ۲۹۰,۷۳ ppt (SD = ۱۶۸,۰۸) بوده است.

۳-۱-۴- هدایت الکتریکی

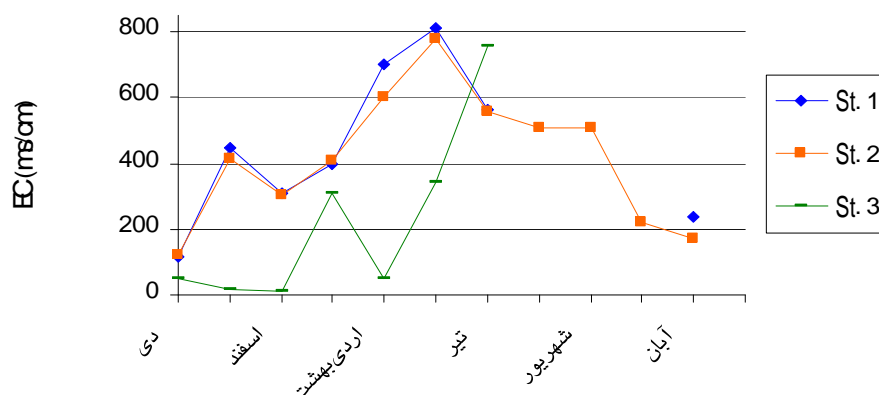
هدایت الکتریکی آب دریاچه در دوره مورد بررسی در ماه‌های زمستان در کمترین اندازه‌ها بود و در اواخر بهار و اوایل تابستان به بیشترین مقدار رسید (نمودار ۳-۴).

تفاوت هدایت الکتریکی در ماه‌های مختلف سال نسبت به هم در سطح ۰,۰۰۴ معنادار بود. سه ایستگاه نمونه‌برداری روندی تقریباً یک‌سان داشت، اگرچه ایستگاه ۳ عمدتاً ترازهای کمتری را نشان داد و اختلاف آن با دو ایستگاه دیگر در سطح ۰,۰۶ معنادار بود.

بیشترین هدایت الکتریکی در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ۸۱۱,۲۰ ms/cm و کمترین آن ۱۱,۸۷ ms/cm، و میانگین سالانه هدایت الکتریکی دریاچه در سه ایستگاه ۳۷۵,۵۲ ms/cm (SD = ۱۶۸,۰۸) بوده است.



نمودار ۳-۳. منحنی تغییرات ماهانه شوری در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

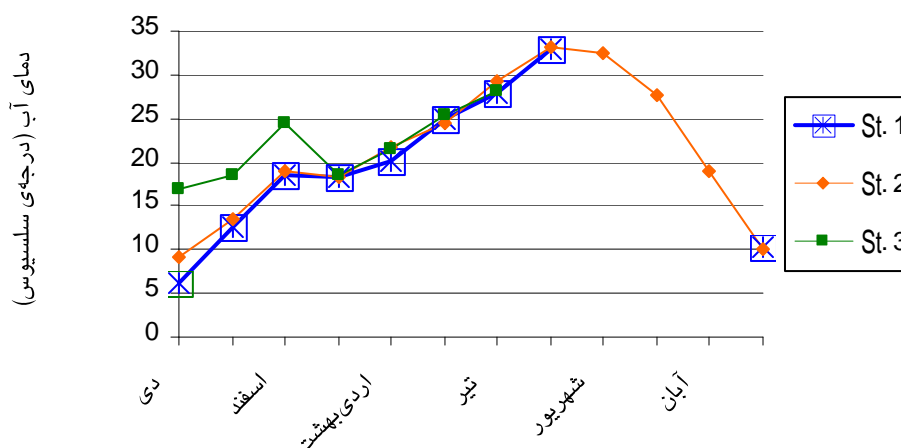


نمودار ۳-۴. منحنی تغییرات ماهانه هدایت الکتریکی در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

۵-۱-۳-دما

دمای آب با یک روند تدریجی از دی ماه تا شهریور ماه روبه‌رو بود، و در این ماه به بیشترین مقدار خود رسید. از این پس با آغاز کاهش دوباره به سطح زمستانی خود بازگشت (نمودار ۳-۵). تفاوت دما در ماه‌های مختلف سال نسبت به هم در سطح ۰,۰۵ معنادار بود. سه ایستگاه نمونه‌برداری روند هم‌سانی را در تغییرات ماهانه نشان داد و هیچ یک از ایستگاه‌ها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت.

بیشترین دما در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ۳۳٫۱ درجه سانتی گراد و کمترین آن ۶٫۲ درجه سانتی گراد ، و میانگین سالانه دمای آب دریاچه در سه ایستگاه ۲۰٫۸ درجه سانتی گراد ($SD = ۷٫۴$) بود.



نمودار ۲-۵. منحنی تغییرات ماهانه دمای آب دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

۳-۲- عوامل شیمیایی

۳-۲-۱- نیتريت

غلظت یون نیتريت در ماه‌های زمستان و بهار در سطح بسیار اندک کم‌تر از $۰٫۲ \text{ ppm}$ بود، اما با آغاز تابستان افزایشی به ده برابر (حدود $۰٫۲ \text{ ppm}$) را نشان داد (نمودار ۳-۶).

تفاوت غلظت نیتريت در ماه‌های مختلف سال نسبت به هم در سطح $۰٫۰۵$ معنادار بود. سه ایستگاه نمونه‌برداری روند هم‌سانی را نشان داد، مگر در خرداد و مهر که قله‌ای تا سطح حدود $۰٫۲ \text{ ppm}$ در ایستگاه‌های ۳ و ۲ ثبت شد هیچ یک از ایستگاه‌ها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت.

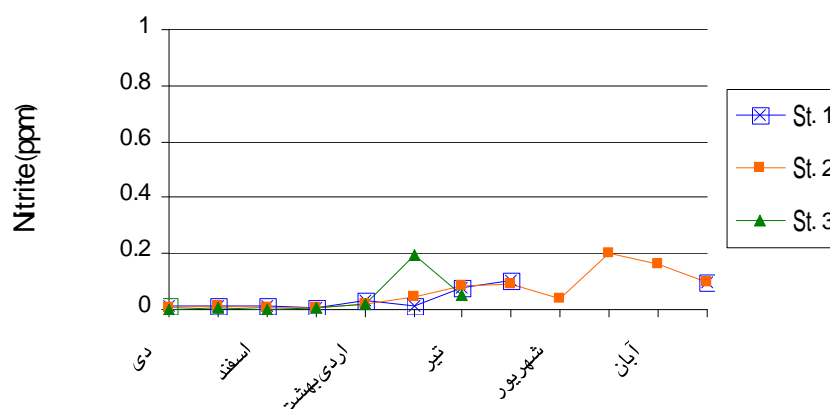
بیشترین غلظت نیتريت در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه $۰٫۲۰۰ \text{ ppm}$ و کم‌ترین آن $۰٫۰۰۱۹ \text{ ppm}$ ، و میانگین سالانه‌ی آن در سه ایستگاه $۰٫۰۵۰۷ \text{ ppm}$ ($SD = ۰٫۰۵۸۱$) بوده است.

۲-۲-۳- نیترات

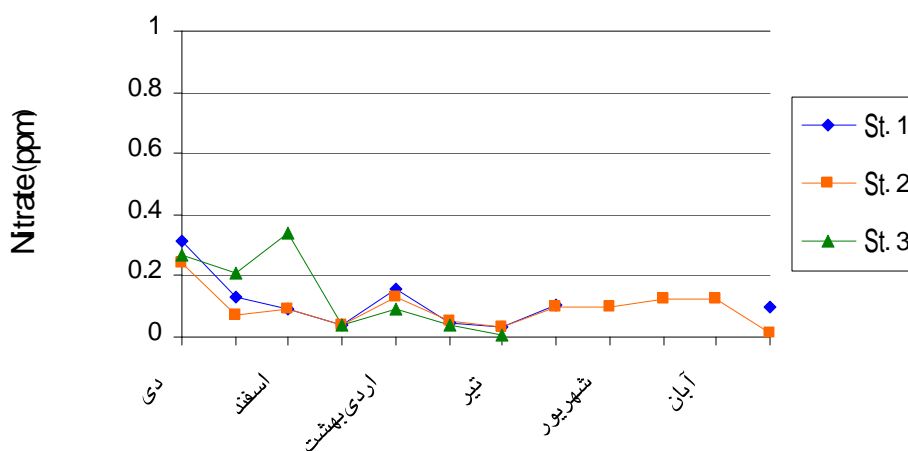
غلظت یون نیترات دریاچه در دوره بررسی روندی بر خلاف نیتريت را نشان داد به این ترتیب که از بیشترین مقدار (حدود ۰,۳۵ ppm) در دی ماه به حدود ۰,۰۳ ppm در مرداد ماه رسید. تفاوت غلظت یون نیترات در ماههای مختلف سال نسبت به هم در سطح ۰,۰۵ معنادار بود. سه ایستگاه نمونه برداری روند تقریباً همسانی را نشان داد هیچ یک از ایستگاهها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت (نمودار ۳-۷). بیشترین غلظت یون نیترات در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ۰,۳۴۰۰ ppm و کمترین آن ۰,۰۰۴۳ ppm و میانگین سالانه آن در سه ایستگاه ۰,۱۱۱۳ ppm ($SD = ۰,۰۸۹۳$) بوده است.

۳-۲-۳- آمونیاک آزاد

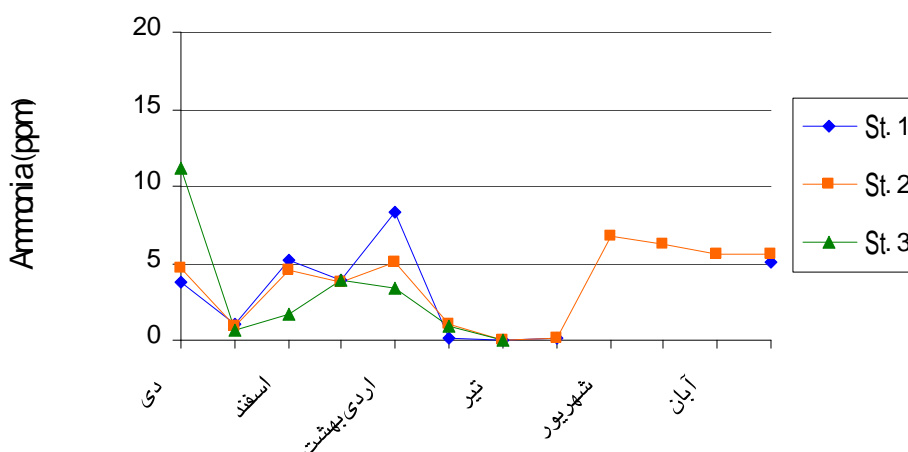
نتایج اندازه گیری غلظت آمونیاک آزاد نشان داد که غلظت این ماده در سطوح زیر ۱۲ ppm نوسان داشته است (نمودار ۳-۸). تفاوت غلظت آمونیاک آزاد در ماههای مختلف سال نسبت به هم در سطح ۰,۰۵ معنادار بود. سه ایستگاه روند تقریباً همسانی را نشان داد و هیچ یک از ایستگاهها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت. بیشترین غلظت آمونیاک آزاد در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ۱۱,۱۷۷ ppm و کمترین آن ۰,۰۲۸ ppm و میانگین سالانه آن در سه ایستگاه ۳,۳۴۲ ppm ($SD = ۲,۸۹۴$) بوده است.



نمودار ۳-۶. منحنی تغییرات ماهانه یون نیتريت در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.



نمودار ۳-۷. منحنی تغییرات ماهانه یون نیترات در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.



نمودار ۳-۸. منحنی تغییرات ماهانه آمونیاک آزاد در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

۴-۲-۳-کربنات

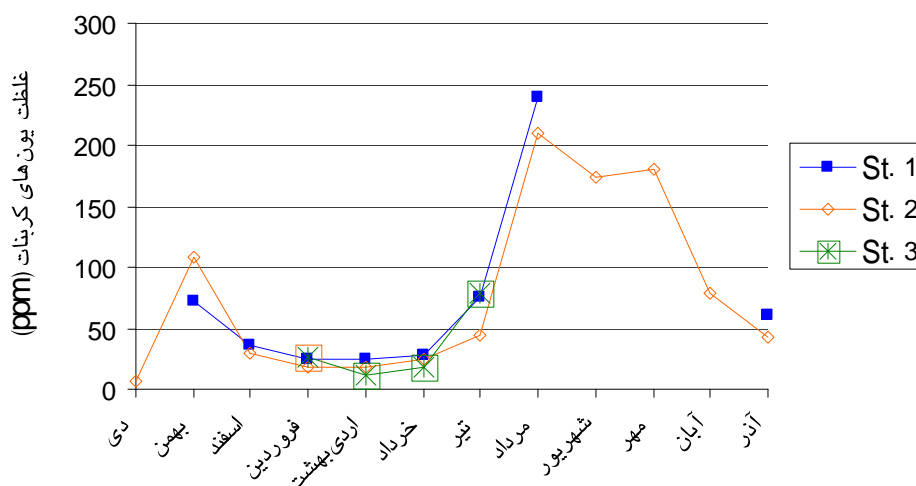
غلظت ماهانه یون کربنات در دریاچه‌ی مهارلو در اواخر بهار و اوایل تابستان جهش ناگهانی را از حدود ppm ۲۰-۳۰ به حدود ppm ۲۵۰ در اواخر تابستان نشان داد. پس از آن نیز یک روند کاهش تند تا اندازه‌های حدود ppm ۵۰ تجربه کرد (نمودار ۳-۹).

تفاوت غلظت یون کربنات در ماه‌های مختلف سال نسبت به هم در سطح ۰,۰۵ معنادار بود. سه ایستگاه نمونه‌برداری از این نظر نیز روند هم‌سانی را نشان داد و هیچ یک از ایستگاه‌ها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت. بیش‌ترین غلظت یون کربنات در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ۲۴۰,۰۰ ppm و کم‌ترین آن ۶,۰۰ ppm، و میانگین سالانه‌ی آن در دریاچه در سه ایستگاه ۶۷,۷۵ ppm (SD = ۶۶,۸۴) بوده است.

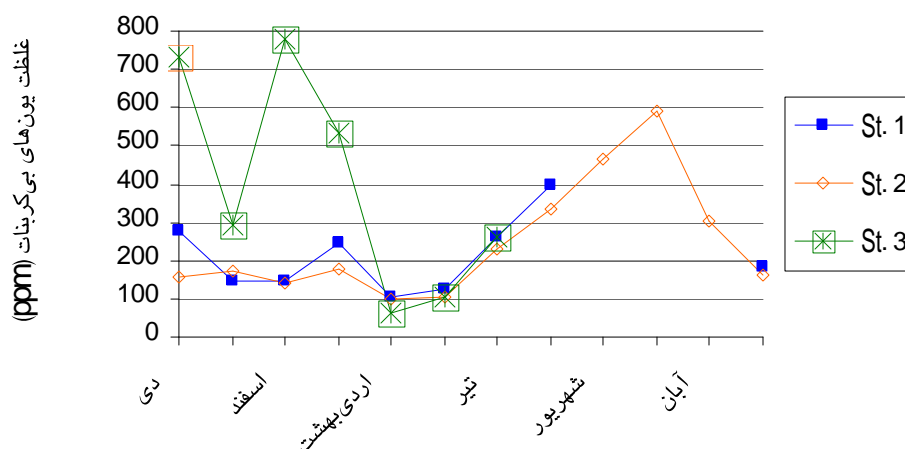
۵-۲-۳- بی کربنات

کم‌ترین غلظت ثبت شده یون بی کربنات دریاچه در دو ایستگاه ۱ و ۲ در میانه تابستان به حدود ۶۰ ppm رسید، و بیش‌ترین غلظت در میانه پاییز بود (حدود ۶۰۰ ppm).

در ماه‌های زمستان تا اوایل بهار سطح غلظت یون بی کربنات در ایستگاه ۳ بالا بود (حدود ۸۰۰ ppm)، که در میانه بهار به حداقل رسید و از این پس سه ایستگاه روند افزایشی هم‌سانی را نشان داد (نمودار ۱۰-۳). با این حال تفاوت غلظت یون بی کربنات در ماه‌های مختلف سال نسبت به هم در سطح ۰,۰۵ معنادار نبود. ایستگاه‌های ۱ و ۲ با یک‌دیگر و نیز ایستگاه ۳ با ۲ تفاوت معناداری در سطح ۰,۰۵ نداشت، اما ایستگاه ۳ و ۱ در سطح ۰,۰۶ تفاوت معناداری را با هم نشان داد.



نمودار ۹-۳. منحنی تغییرات ماهانه یون کربنات در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.



نمودار ۱۰-۳. منحنی تغییرات ماهانه یون بی کربنات در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

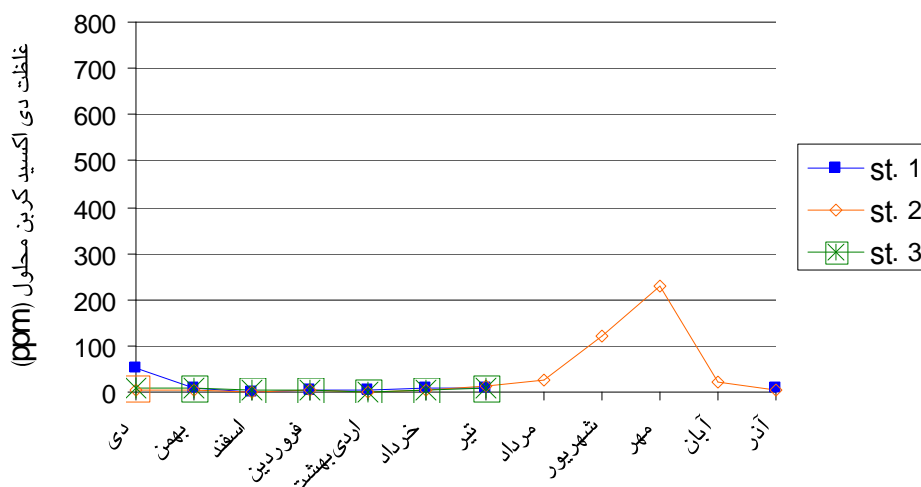
بیشترین غلظت یون بی کربنات در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ۷۸۰٫۸۰ ppm و کمترین آن ۶۱٫۰۰ ppm و میانگین سالانه ی آن در سه ایستگاه ۲۷۰٫۸۸ ppm (SD = ۱۹۰٫۹۱) بوده است.

۶-۲-۳- CO₂ محلول

غلظت CO₂ محلول دریاچه تا ماههای بهار و اوایل تابستان در سسوح بسیار پایین بود، اما در پاییز افزایش ناگهانی را نشان داد (نمودار ۱۱-۳).

تفاوت غلظت CO₂ محلول در ماههای مختلف سال نسبت به هم در سطح ۰٫۰۵ معنادار نبود. هیچ یک از ایستگاهها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت.

بیشترین غلظت CO₂ محلول در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ۱۵۴٫۰۰ ppm و کمترین آن ۰٫۰۰ ppm و میانگین سالانه آن در دریاچه در سه ایستگاه ۶۳٫۵۷ ppm (SD = ۳۷٫۹۴) بوده است.



نمودار ۱۱-۳. منحنی تغییرات ماهانه CO2 در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

۷-۲-۳- فسفات

غلظت یون فسفات در طول دوره‌ی اندازه‌گیری در هر سه ایستگاه در محدوده‌ی ثابتی (زیر حدود ۰,۰۴ ppm) نوسان داشت، اما در ماه‌های تابستان در ایستگاه‌های ۱ و ۲ با افزایشی تا تراز حدود ۰,۱ ppm رو به رو شد (نمودار ۱۰-۳).

تفاوت غلظت یون فسفات در ماه‌های مختلف سال نسبت به هم در سطح ۰,۰۰۲ معنادار بود. هیچ یک از ایستگاه‌ها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت.

بیش‌ترین غلظت یون فسفات در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ۰,۱۰۶۰ ppm و کم‌ترین آن ۰,۰۰۱۵ ppm و میانگین سالانه غلظت یون فسفات در سه ایستگاه ۰,۰۱۸۲ ppm (SD = ۰,۰۲۵۶) بوده است.

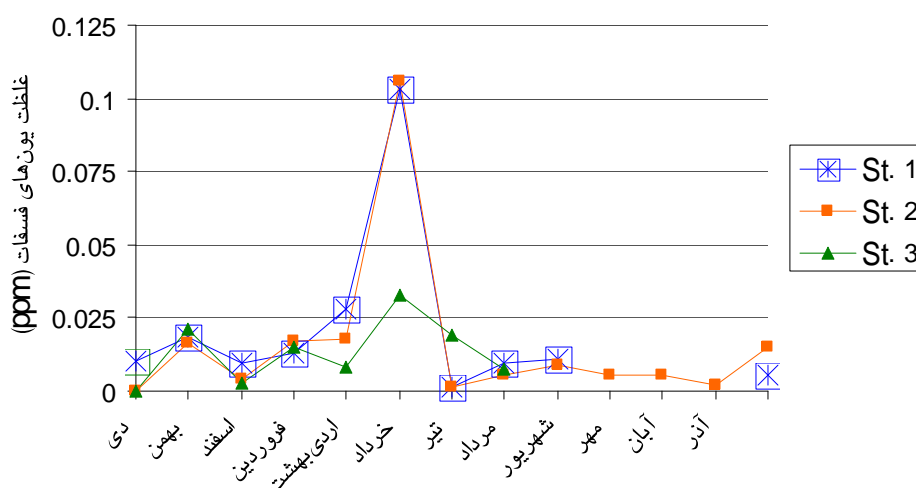
۸-۲-۳- قلیابیت

قلیابیت محاسبه شده دریاچه کم و بیش از طرح تغییرات غلظت یون بی‌کربنات تبعیت داشت، به این ترتیب که در ماه‌های زمستان تا اوایل بهار در ایستگاه ۳ بالا و در دو ایستگاه ۱ و ۲ پایین بود. سپس هر سه ایستگاه روند

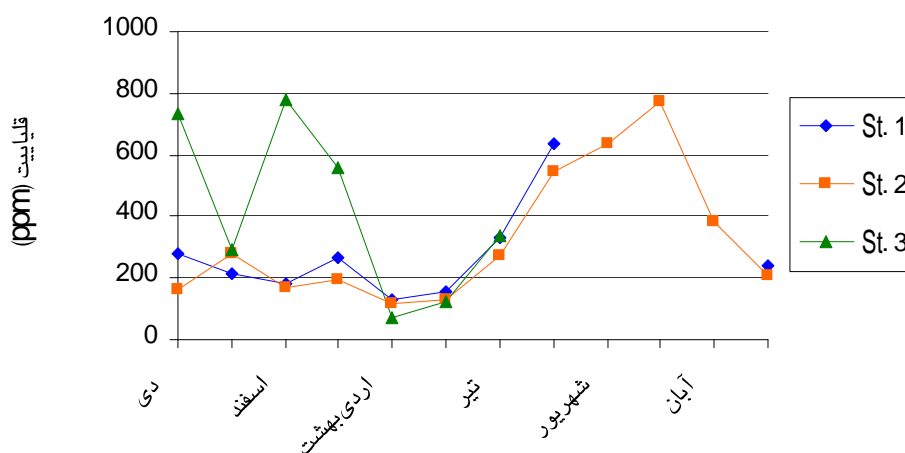
افزایش را نشان داد، به طوری که کمترین آن در میانه تابستان بود، و در میانه پاییز به بیشترین اندازه رسید (نمودار ۱۳-۳).

تفاوت کلیتیت در ماههای مختلف سال نسبت به هم در سطح ۰,۰۵ معنادار نبود. هیچ یک از ایستگاهها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت.

بیشترین کلیتیت در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ۷۸۰,۸۲ ppm و کمترین آن ۷۳,۰۳ ppm و میانگین سالانه آن در دریاچه در سه ایستگاه ۳۲۸,۹۷ ppm (SD = ۲۱۶,۱۴) بوده است.



نمودار ۱۲-۳. منحنی تغییرات ماهانه یون فسفات در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.



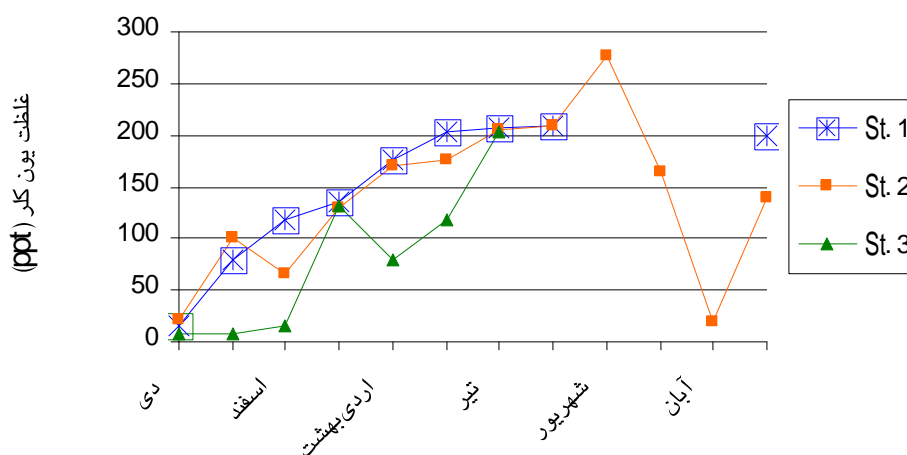
نمودار ۱۳-۳. منحنی تغییرات ماهانه کلیتیت در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

۹-۲-۳- کلر

غلظت یون کلر با تفاوت‌هایی در طرح‌های سه ایستگاه، روند مشابهی را در طول دوره نشان داد. طی این روند اندازه‌ی غلظت یون کلر از زمستان تا پایان تابستان پیوسته افزایش یافت تا به قله ppt ۲۷۷ در شهریور رسید. ادامه این روند در ایستگاه ۲ که در دوره‌ی مرداد تا آذر تنها ایستگاه باقی‌مانده بود، به یک کاهش ناگهانی و شدید در آبان (ppt ~۱۹) رسید و به دنبال آن یک افزایش به تراز ppt ۱۴۰ در آذر ماه دیده شد. چون‌این افزایشی در ایستگاه دوباره برقرار شده ۱ نیز در این ماه ثبت شد (نمودار ۱۴).

تفاوت غلظت یون کلر در ماه‌های مختلف سال نسبت به هم در سطح ۰,۰۵ معنادار بود داد، اما هیچ یک از ایستگاه‌ها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت.

بیش‌ترین غلظت یون کلر در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ppt ۲۷۷,۱۸ و کم‌ترین آن ppt ۷,۴۳؛ و میانگین سالانه آن در دریاچه در سه ایستگاه ppt ۱۲۸,۰۵ ($SD = ۷۶,۶۵$) بوده است.



نمودار ۱۴-۳. منحنی تغییرات ماهانه یون کلر در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

۱۰-۲-۳- کلسیم

غلظت یون کلسیم در ماه‌های زمستان، بهار و ابتدای تابستان در سطوح پایین (زیر ppm ۸۰۰) بود، اما در مرداد با یک افزایش ناگهانی در ایستگاه‌های ۱ و ۲ به حدود ppm ۱۷,۰۰۰ رسید، اگرچه دوباره با یک کاهش سریع

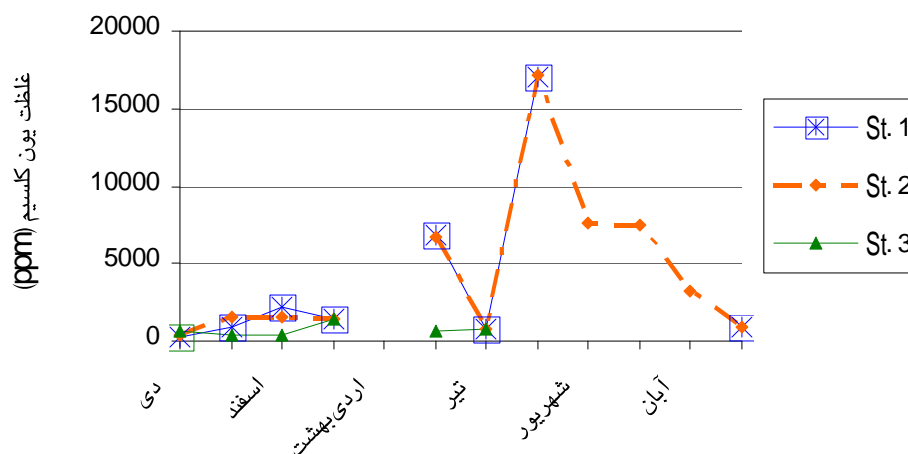
(اگرچه با شیب کم تر و در چند ماه) به سطح پیشین خود بازگشت. سه ایستگاه جز در خردادماه که افزایشی گذرا تا حدود ppm ۷,۰۰۰ در ایستگاه های ۱ و ۲ دیده شد، طرح یک سانی را نشان داد (نمودار ۱۵-۳). غلظت یون کلسیم در ماه های مختلف سال تفاوت معناداری در سطح ۰,۰۵ نشان داد، اما هیچ یک از ایستگاه ها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت. بیشترین غلظت یون کلسیم در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ppm ۱۷۲۱۱,۲۰ و کمترین آن ppm ۲۸۰,۵۶؛ و میانگین سالانه آن در دریاچه در سه ایستگاه ppm ۳۳۳۴,۹۰ (SD = ۴۷۶۹,۸۷) بوده است.

۱۱-۲-۳- منیزیم

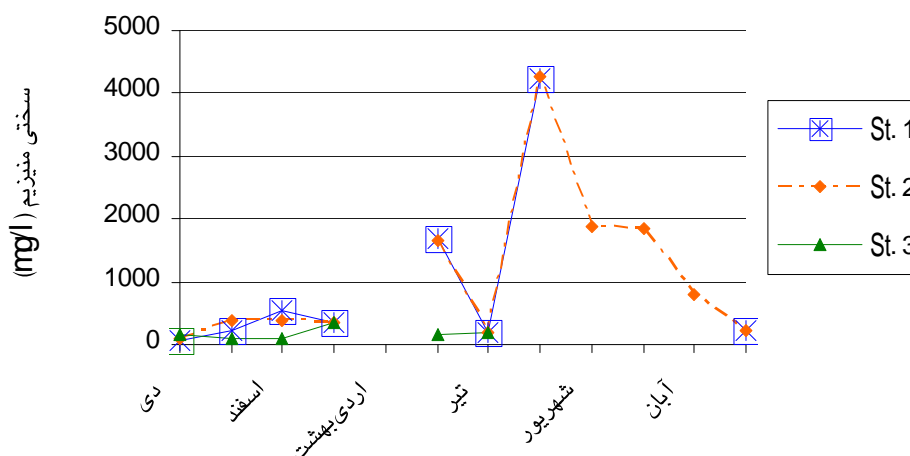
غلظت یون منیزیم نیز با طرحی کاملاً مشابه با کلسیم، در ماه های زمستان و ابتدای بهار در سطوح پایین (زیر ppm ۱۰,۰۰۰) بود، در میانه تابستان با افزایشی گذرا به حدود ppm ۳۰,۰۰۰ در هر سه ایستگاه افزایش یافت، در شهریور با یک افزایش ناگهانی در ایستگاه ۲ به قله ppm ۲۳۰,۰۰۰ رسید، و سرانجام با کاهشی آرام تر به سطح پیشین خود بازگشت. تفاوت غلظت یون منیزیم در ماه های مختلف سال نسبت به هم در سطح ۰,۰۵ معنادار بود. سه ایستگاه در ماه هایی که داده ها برای همه وجود داشت طرح یک سانی را نشان داد (نمودار ۱۶-۳)، و هیچ یک از ایستگاه ها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت. بیشترین غلظت یون منیزیم در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ppm ۲۳۴۷۴۲,۰۰ و کمترین آن ppm ۱۸۰۹,۲۷؛ و میانگین سالانه ی آن در دریاچه در سه ایستگاه ppm ۲۲۷۱۹,۲۲ (SD = ۴۵۲۰۴,۸۲) بوده است.

۱۲-۲-۳- سختی کل

تغییرات سختی کل آب دریاچه در طول دوره مورد بررسی یک روند افزایش پیوسته و تدریجی را از کمترین اندازه (زیر ppm ۶,۰۰۰) در دی ماه ۱۳۸۰ تا بیشترین اندازه (حدود ppm ۴۲,۰۰۰) در شهریور ۱۳۸۱، و سپس کاهش نسبتاً تند آن را به تراز حدود ppm ۱۵,۰۰۰ در آذر ماه نشان داد.



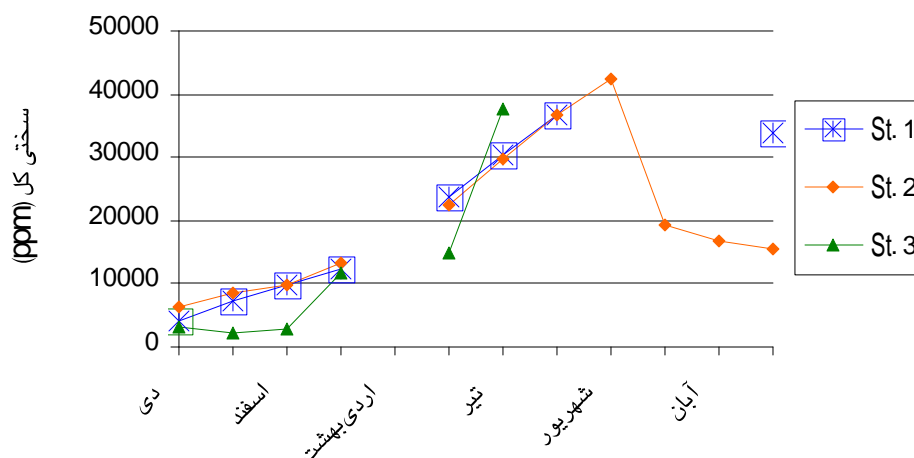
نمودار ۱۵-۳. منحنی تغییرات ماهانه یون کلسیم در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.



نمودار ۱۶-۳. منحنی تغییرات یون منیزیم در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

تفاوت تغییرات سختی کل در ماه‌های مختلف سال نسبت به هم در سطح ۰,۰۵ معنادار بود. تغییرات ایستگاه‌های ۱ و ۲ کاملاً هم‌آهنگ بود، اما ایستگاه ۳ که در دو ماه شرایط یک‌سانی با آن‌ها داشت، در ماه‌های بهمن، اسفند و خرداد اندازه‌هایی کم‌تر و در تیر ماه بیش‌تر از آن دو داشت (نمودار ۱۷-۳)، با این حال هیچ یک از ایستگاه‌ها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت.

بیش‌ترین سختی کل در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ۴۲۴۴۰,۰۰ ppm و کم‌ترین آن ۲۱۶۳,۵۷ ppm؛ و میانگین سالانه‌ی آن در دریاچه در سه ایستگاه ۱۸۰۵۹,۷۳ ppm (SD = ۱۲۵۱۳,۵۴) بوده است.



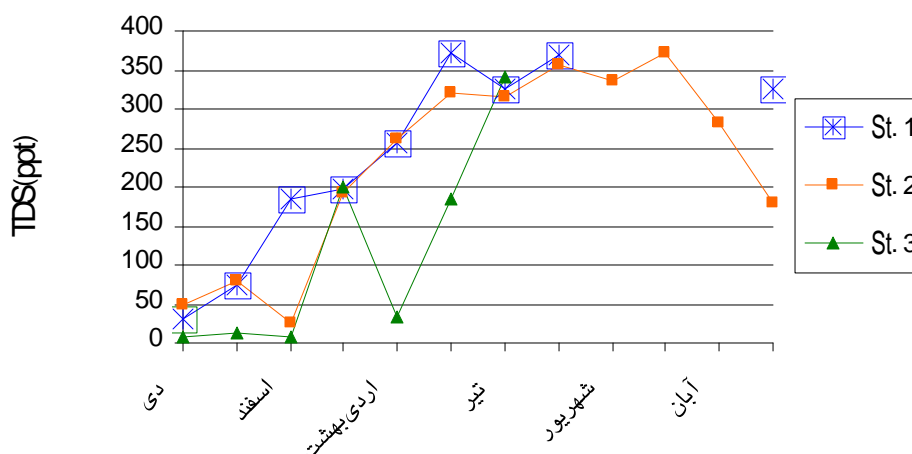
نمودار ۱۷-۳. منحنی تغییرات ماهانه سختی کل در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

۱۳-۲-۳- کل مواد جامد محلول (TDS)

نتایج اندازه گیری در سه ایستگاه در دوره ی مورد بررسی نشان داد که غلظت کل مواد جامد محلول در روندی تدریجی از اندازه های زیر ۱۰۰ ppt افزایش یافت و از میانه ی تابستان تا میانه پاییز به حدود ۳۷۰-۳۱۵ رسید، و سپس به حدود ۱۸۰ ppt تا ۳۰۰ ppt بازگشت (نمودار ۱۸-۳).

غلظت کل مواد جامد محلول در ماه های مختلف سال در سطح ۰,۰۵ تفاوت معناداری داشت، اما هیچ یک از ایستگاه ها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت.

بیشترین غلظت کل مواد جامد محلول در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ۳۷۲,۶۸ ppt و کمترین آن ۷,۶۰ ppt و میانگین سالانه آن در دریاچه در سه ایستگاه ۲۰۳,۲۰ ppt ($SD = ۱۳۲,۴۰$) بوده است.



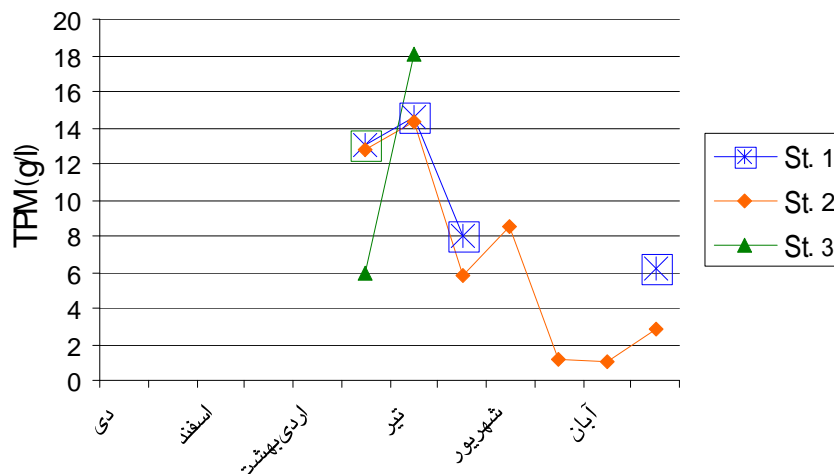
نمودار ۱۸-۳. منحنی تغییرات ماهانه کل مواد جامد محلول (TDS) در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

۳-۳- کل مواد ذره‌یی (TPM)

غلظت کل مواد ذره‌ای نیز اگرچه در ماه‌های نخست اجرا اندازه‌گیری نشده بود، در دوره اندازه‌گیری شده (خرداد تا آذر ۸۱) در روندی مشابه با غلظت کل مواد جامد محلول، پس از رسیدن به قله خود در تیر ماه دچار روند کاهش تدریجی شد (نمودار ۱۹-۳).

تفاوت غلظت کل مواد ذره‌ای در ماه‌های وجود نمونه در سطح ۰,۰۵ معنادار بود، اما هیچ یک از ایستگاه‌ها نسبت به دیگری تفاوت معناداری نداشت.

بیشترین غلظت کل مواد ذره‌ای در سه ایستگاه در طول ۱۲ ماه ۱۸,۰۴ ppm و کمترین آن ۱,۰۵ ppm؛ و میانگین سالانه آن در دریاچه در سه ایستگاه ۸,۶۵ ppm (SD = ۵,۴۹) بوده است.



نمودار ۱۹-۳. منحنی تغییرات ماهانه TPM در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

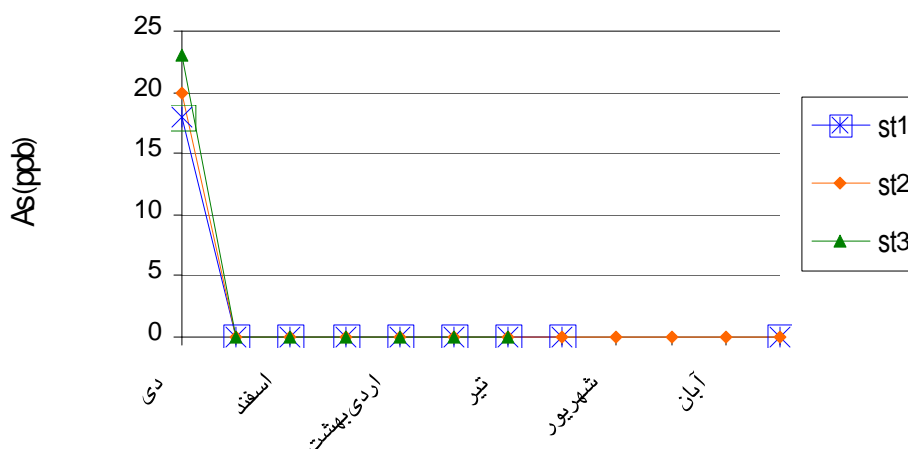
۳-۴- فلزات سنگین

۳-۴-۱- آرسنیک

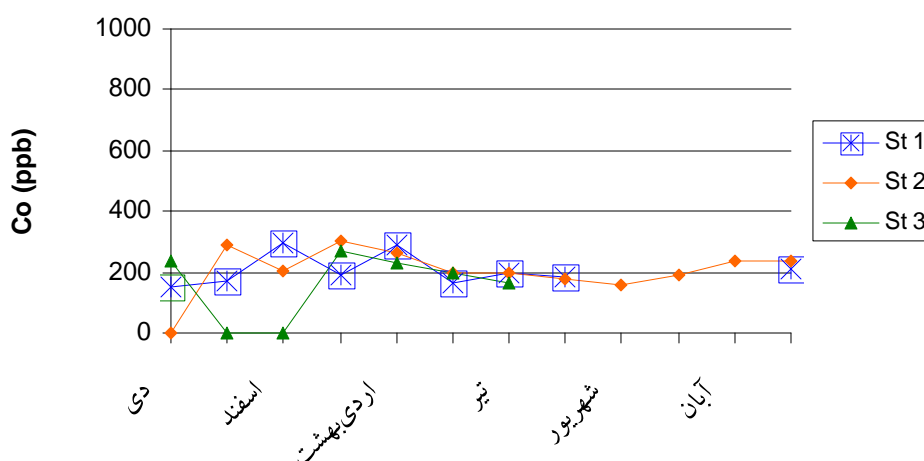
اندازه گیری فلز آرسنیک در دوره ی مورد بررسی تنها در دی ماه ۱۳۸۰ اندازه های ۱۸ ppb، ۲۰ ppb و ۲۳ ppb را نشان داد. در تمامی نمونه برداری های دیگر غلظت این ماده در حد قابل تشخیص برای دستگاه جذب اتمی نبود (نمودار ۲۰-۳). جدول نتایج اندازه گیری فلزات سنگین در دریاچه ی مهارلو در پایان گزارش (پیوست) آورده شده است.

۳-۴-۲- کوبالت

غلظت کوبالت در آب هر سه ایستگاه دریاچه ی مهارلو در این بررسی جز در ماه های بهمن و اسفند در ایستگاه ۳، و دی در ایستگاه ۲ که در حد قابل تشخیص نبود، میان ۱۵۲ ppb تا ۳۰۳ ppb نوسان داشت (نمودار ۲۱-۳).



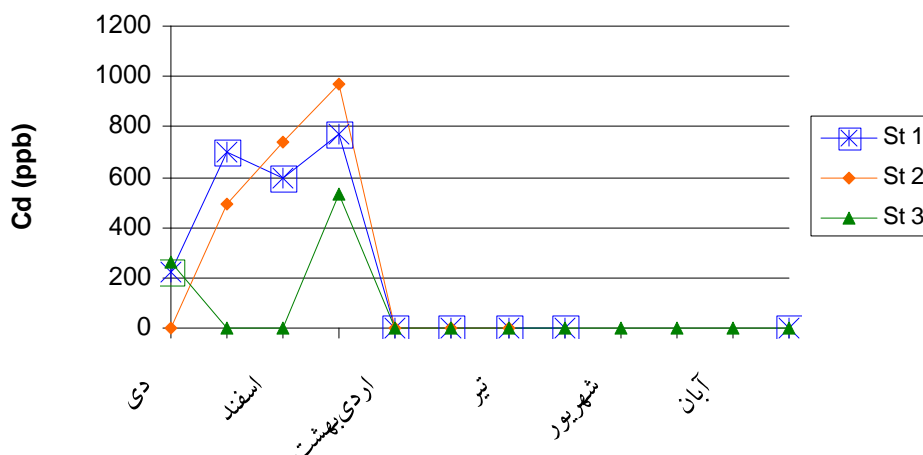
نمودار ۲۰-۳. منحنی تغییرات ماهانه غلظت آرسنیک در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.



نمودار ۲۱-۳. منحنی تغییرات ماهانه غلظت کوبالت در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

۳-۴-۳- کادمیوم

غلظت فلز کادمیوم در ماه‌های زمستان ۱۳۸۰ تا فروردین ۱۳۸۱ با روند افزایشی جزئی به حداکثر ۹۷۰ ppb رسید، اما از این پس دیگر در غلظت‌های قابل تشخیص نبود (نمودار ۲۲-۳).



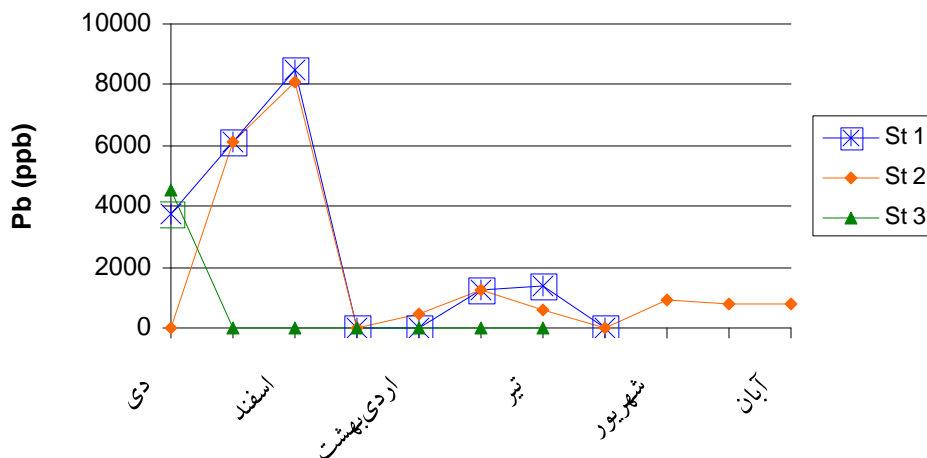
نمودار ۳-۲۲. منحنی تغییرات ماهانه غلظت کادمیوم در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

۳-۴-۴- سرب

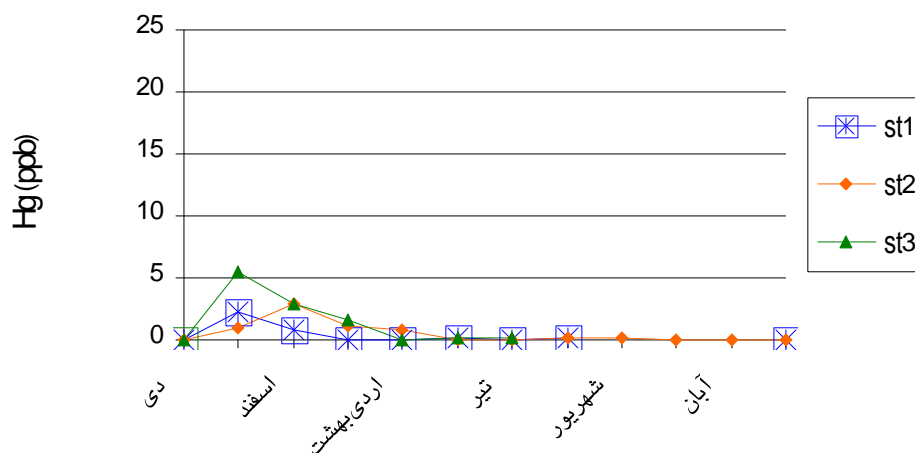
غلظت سرب در آب دریاچه در دوره‌ی بررسی در ماه‌های زمستان در ایستگاه‌های ۱ و ۲ به اندازه‌های ۸۵۱۰ ppb و ۸۱۲۰ ppb رسید اما پس از آن افت کرد و تا پایان بررسی در اندازه‌های زیر ۲۰۰۰ ppm نوسان داشت. افت ایستگاه ۳ که تنها در ماه نخست (دی) مقدار بالای ۴۵۰۰ ppb را نشان داد از ماه بهمن به اندازه‌ی غیر قابل تشخیص رسید و در همان حد ماند (نمودار ۳-۲۳).

۳-۴-۵- جیوه

مقدار غلظت جیوه آب دریاچه نیز در این دوره در هر سه ایستگاه از صفر در دی ماه به بیش‌ترین اندازه‌های خود (۲,۲ ppb و ۱,۰ ppb و ۵,۵ ppb) در ماه بهمن افزایش یافت، اما پس از آن با افت تدریجی در تابستان به اندازه‌های زیر سطح تشخیص رسید و تا پایان بررسی در همین حد ماند (نمودار ۳-۲۴).



نمودار ۳-۲۳. منحنی تغییرات ماهانه غلظت سرب در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.



نمودار ۳-۲۴. منحنی تغییرات ماهانه غلظت جیوه در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

۴- بحث

۴-۱- pH

طرح تغییرات pH را در طول تابستان (نمودار ۱) می توان با تغییرات غلظت دی اکسید کربن، یون کربنات و بی کربنات دریاچه توضیح داد. چنان که در نمودار ۱۱ دیده شد مقدار CO₂ محلول از دی تا اواخر تابستان در اندازه های پایین (زیر ۲۵ ppm) قرار داشت. پایین بودن مقدار CO₂ موجب کاهش مقدار اسید کربنیک موجود در آب می شود و باید افزایش pH را انتظار داشت، که افزایش pH در ماه های آغازین این بررسی تا حدود ۹ مطابق با چون این انتظاری است. پس از این تاریخ، چونان که در نمودار ۱۱ دیده شد، مقدار CO₂ با افزایش ناگهانی مواجه شد. این افزایش غلظت CO₂ پس از تفکیک و یونیزه شدن در آب مقدار اسید کربنیک آب را بالا می برد و در نتیجه pH را کم می کند. بر طبق نتایج این بررسی کاهش pH از اوایل تابستان آغاز می شود و در آبان ماه به کم ترین اندازه ی خود می رسد.

اوجی (۱۳۷۳) میانگین pH دریاچه در سال ۱۳۷۲ را ۷,۴ گزارش کرده است.

۴-۲- دی اکسید کربن

تغییرت غلظت CO₂ محلول در این دریاچه هم چون همه ی منابع آبی که دست کم جمعیتی از پلانکتون های گیاهی را در خود جای داده اند، با تغییرات سالانه این جمعیت ها سازگار است. در ماه های آغازین سال که دمای آب مناسب است، رشد فراوان جلبک تک سلولی *Dunaliella* sp. (پلانکتون گیاهی غالب دریاچه) در شرایطی که مقدار نور دریافتی این منطقه نیز بسیار بالاست نرخ فوتوسنتز بالایی را در به وجود می آورد که نتیجه مستقیم آن به درون کشیدن بیشترین مقدار ممکن از CO₂ محلول در آب است. توجه به اندازه شوری دریاچه این امکان را نیز در نظر می آورد که شوری بسیار بالای آب جلوی ورود بیش تر CO₂ را به آب گرفته باشد.

از سوی دیگر، مقدار اکسیژن محلول در آب نیز می تواند عامل موثر دیگری در اندازه CO₂ محلول دارد. از آن جا که اکسیژن و دی اکسید کربن برای حل شدن در آب با یک دیگر رقابت دارند، کاهش اکسیژن می تواند در زمانی که با سرد شدن هوا رشد و فعالیت فوتوسنتزی جمعیت پلانکتون های گیاهی کاهش یافته و در نتیجه

فشار مصرف CO₂ محلول برداشته شده است، میدان بیش تری به CO₂ بدهد، و به افزایش بیش تر سطح آن در آب بیانجامد نتیجه‌ای که پس از کاهش یافتن اکسیژن در ماه‌های تابستان و پاییز (نمودار ۲-۳) به ترتیب در غلظت CO₂ مشاهده شد.

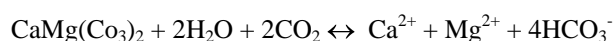
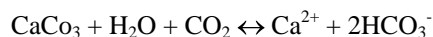
۳-۴- بی کربنات و کربنات

با افزایش غلظت CO₂ آب رابطه‌ی تعادلی‌یی که میان این سه ترکیب برقرار است به سوی تولید بیش تر کربنات و بی کربنات پیش می‌رود. بنا بر این انتظار می‌رود غلظت این دو یون نیز با افزایش CO₂ افزایش یابد. یافته‌های این بررسی نیز این پیش‌بینی را در اواخر پاییز تایید می‌کند (نمودارهای ۹-۳ و ۱۰-۳).

اگر چه اصولاً این دو یون از نظر غلظت می‌باید در حالت تقابل با یکدیگر باشد؛ از سوی دیگر می‌دانیم که پلانکتون‌های گیاهی می‌توانند با جذب بخشی از بی کربنات، آن را به CO₂ تبدیل کنند. این مساله به‌ویژه هنگامی که به پایین بودن سطح CO₂ در تابستان توجه شود اهمیت پیدا می‌کند، زیرا پلانکتون‌های گیاهی می‌توانند کم‌بود CO₂ محیط را جبران و از آن برای فوتوسنتز استفاده کنند. اما در مجموع، بالا بودن مقدار بی کربنات به میزان حدود چهار برابر کربنات، باعث شده است که تبدیل آن به کربنات تاثیر زیادی بر غلظت آن نداشته باشد، به طوری که غلظت آن در تمامی تابستان در حدود ۲۰۰ ppm بماند، و تنها پس از افزایش CO₂ در شهریور ماه مقدار آن‌ها نیز افزایش یافته است (نمودارهای ۹-۳ و ۱۰-۳).

در نمودار ۱۰-۳ (تغییرات غلظت بی کربنات) طرح متفاوتی از تغییرات در ایستگاه ۳ نسبت به ۱ و ۲ دیده می‌شود، به طوری که در ماه‌های آغازین این مطالعه یعنی زمستان ۱۳۸۰ اندازه بی کربنات نسبت به دو ایستگاه دیگر بسیار بیش تر است. محل این ایستگاه در نزدیکی خروجی آب‌گیر و چشمه‌ی برم شور قرار دارد، بنا بر این محتویات آن بیش تر تحت تاثیر این منبع آب شیرین است. از آن جاییکه اصولاً آب‌های زیرزمینی بر اثر فعالیت‌های باکتریایی در خاک مقداری CO₂ در خود دارد که موجب می‌شود کمی اسیدی شود. بر اثر عبور این آب از تشکیلات سنگی حاوی آهک کلسیتی (CaCO₃) و دولومیتی (CaMg(CO₃)₂) و حل شدن آن‌ها در آب نمک‌های بی کربنات کلسیم و منیزیم تشکیل می‌شود (معادله ذیل)، بنا بر این می‌توان انتظار داشت که در

این منبع بی کربنات بالاتری وجود داشته باشد. در جاهای دیگر دریاچه این ماده با CO₂ و کربنات به تعادل می رسد و بنا بر این غلظت کمتری دارد.



اوجی (۱۳۷۳) غلظت یون CO₃H را ۲۷۰ ppm گزارش کرده است که بجز در ماه های پایانی تابستان با تراز عمومی ثبت شده در این مطالعه، به ویژه در ایستگاه های ۱ و ۲، هم خوانی دارد.

۴-۴- اکسیژن محلول

از آن جا که کاهش دما موجب افزایش حلالیت گازها در آب می شود، مشاهده بالا بودن اکسیژن محلول در ماه های زمستان و آغاز بهار امری طبیعی است. به همان دلیل با گرم شدن آب در تابستان غلظت اکسیژن محلول کاهش می یابد، و در ماه های پاییز با آغاز کاهش دما رو به افزایش می گذارد.

از سوی دیگر، از آن جاییکه CO₂ با اکسیژن برای حل شدن در آب رقابت دارد، فشار غلظت یون های بی کربنات، کربنات و CO₂ محلول در سیستم تعادلی که دارند به ضرر اکسیژن عمل می کند و جلوی حل شدن بیش تر آن را در آب می گیرد. چنان که دیده شد غلظت این سه یون در ماه مرداد و شهریور به اندازه ای بیش تر از ماه های آغازین مطالعه بالا رفته است. به همین دلیل است که با کاهش دمای بیش تر در ماه های پاییز، سطح اکسیژن افزایش می یابد، اما به اندازه آغازین خود نمی رسد (نمودار ۲-۳).

۴-۵- شوری و هدایت الکتریکی

تغییرات شوری دریاچه به طور کامل با طرح تغییرات دما و نیز در نتیجه آن و موازی با آن، کاهش حجم آب دریاچه قابل توضیح است. افزایش شوری با افزایش دما پیش رفت. از سوی دیگر این منطقه در این فصل از

سال وزش بادهای تندی را در میانه روز تجربه می‌کند که می‌تواند بر مقدار تبخیر آب دریاچه اثر تشدید کننده‌ای بگذارد. با پیشروی تبخیر و پسروی تراز آب، بر غلظت نمک‌ها افزوده شد، به طوری که در پایان تابستان آنچه از "آب" دریاچه باقی مانده بود محلول غلیظی بود که کف آن را بستری از بلورهای نمک به ضخامت زیاد پوشانده بود. این محلول در بیشترین وضعیت فوق اشباع، و در حال تبدیل دم‌به‌دم نمک‌های محلول به بلورهای نمک بود. با آغاز بارندگی‌ها در میانه پاییز و تقسیم شدن مقدار نمک موجود در حجم بیش‌تری از آب، تراز شوری آب به اندازه‌ی طبیعی دریاچه بازگشت (نمودار ۲-۳). حافظیه ۱۳۷۹ مقدار شوری آب دریاچه را 110 g/l در بهمن و 290 g/l در آبان گزارش کرده است، که با اندازه‌های ثبت شده ما (100 ppt و 300 ppt) در زمستان و پاییز ۱۳۸۱ هم‌خوانی دارد.

هم‌چنان که انتظار می‌رفت، مقدار شوری در ایستگاه ۳، مقابل خروجی آب‌گیر برم‌شور، به دلیل فراهم آوردن منبعی دائمی از آب شیرین ترازهای پایین‌تری را نشان داد.

از آن‌جا یکه تغییرات هدایت الکتریکی آب دریاچه با تغییرات غلظت یون‌های محلول نسبت مستقیمی دارد، طرح تغییرات آن روند مشابهی را با تغییرات شوری گذرانده است. به دلیل همسان، ایستگاه ۳ عمدتاً ترازهای کم‌تری را نشان داد، که به‌ویژه در ماه‌های زمستان عملاً نزدیک به آب‌های شیرین بود (نمودار ۴-۳). اوجی (۱۳۷۳) هدایت الکتریکی آب دریاچه را 140 ms گزارش کرده است، که با اندازه‌های زمستانی ایستگاه‌های ۱ و ۲ هم‌خوانی دارد.

۶-۴-۵

روند تدریجی افزایش دمای آب از دی تا شهریور ماه بر تغییرات اقلیمی سالانه منطبق بود (نمودار ۵-۳). با این حال حافظیه ۱۳۷۹ دمای آب دریاچه را 12 درجه سانتی‌گراد در اسفند، 28 درجه سانتی‌گراد در تیر و $32,5$ درجه سانتی‌گراد در مرداد ۱۳۷۷ گزارش کرده است که با داده‌های ما هم‌خوانی دارد.

۷-۴- نیتريت و نترات

تغییرات غلظت یون نیتريت در ماه‌های آغازین بررسی که در زمان آغاز آب‌گیری دوباره دریاچه پس از خشکی کامل سال گذشته بود، اندازه‌های ناچیزی را نشان داد (کم‌تر از ۰,۰۲ ppm)، که بازتاب شرایط سیل‌آبی است که محیط آبی دریاچه را تازه برقرار کرده است. به همین دلیل با گذشت زمان، تاثیر فعالیت‌های زیستی بر دریاچه افزایشی را به حدود ده برابر به وجود آورده است (نمودار ۶-۳).

تغییرات غلظت یون نترات دریاچه در دوره بررسی، به ویژه در ماه‌های آغازین تا حدودی متفاوت با نیتريت بوده است (نمودار ۷-۳)، اگر چه این مقدار نیز مانند اندازه‌های ثبت شده برای نیتريت آن‌چنان ناچیز بود (حدود ۰,۳۵ ppm تا ۰,۰۳ ppm) که دامنه تغییرات آن را شاید نتوان مهم و قابل اعتنا دانست. به هر حال این یون محصول نهایی تغییر و تبدیل‌های ارگانیک ترکیبات نیتروژنی (آمونیاک ← نیتريت ← نترات) توسط باکتری‌هاست و ثبت غلظت‌های بالاتری از این یون در آغاز طرح در زمستان می‌تواند بازتاب آخرین بازمانده‌های محصولات نهایی متابولیسم زیندگان دریاچه یا ورودی آن‌ها از پس‌آب‌های شهری رودخانه‌ی خشک باشد. افزایش دوباره آن را در آغاز پاییز نیز می‌توان با همین دیدگاه توجیه کرد.

۸-۴- آمونیاک آزاد

آمونیاک، هم‌چنان که از بسیاری از منابع صنعتی و کشاورزی وارد اکوسیستم می‌شود، محصول نهایی متابولیسم مواد پروتئینی بسیاری از جانوران نیز هست. ورود پس‌آب‌های منابع نام‌برده به همراه جریان رودخانه‌ی خشک را می‌توان یک منبع اولیه دانست که در زمستان ۱۳۸۰ غلظت آن را به حدود ۱۱ ppm رساند، که فرآیندهای زیستی باکتری‌های تبدیل‌کننده آمونیوم به نیتريت و نترات به تدریج مقدار آن را کاهش داده است. سپس گرم‌تر شدن دما و مساعد شدن شرایط در بهار طبق روال معمول پدیده‌ی افزایش ناگهانی جمعیت آرتمیا را به همراه دارد (حافظیه ۱۳۷۹). این انفجار جمعیتی با افزایش شدید فعالیت‌های متابولیک همراه است که در نتیجه آن می‌توان رها شدن اندازه‌های بالای آمونیوم را به درون آب انتظار داشت. با پیش‌روی تابستان، پس‌روی آب دریاچه و سخت شدن شرایط زیست آن، به‌ویژه شوری و دمای آب، جمعیت آرتمیا به سوی تشکیل سیست و در پی آن

حذف بالغها می‌رود. هم‌زمان، فرصت دوباره‌ای فراهم می‌آید تا باکتری‌ها بتوانند با تبدیل آمونیاک به نیتريت و نیترات بخشی از بار آمونیاک آزاد را کاهش دهند. سرانجام، افزایش دوباره غلظت این یون را از شهریور به بعد می‌توان با کاهش هرچه بیشتر حجم آب دریاچه توضیح داد، به این صورت که در واقع بر مجموع یون‌های موجود چیزی افزوده نشده است، بلکه کاهش حجم آب باعث شده است غلظت این یون در واحد حجم افزایش یابد، پدیده‌ای که در مورد یون‌های دیگر نیتريت و نیترات نیز مشاهده می‌شود (نمودار ۸-۳). اوجی (۱۳۷۳) غلظت یون آمونیوم NH_4^+ را $1,4 \text{ ppm}$ گزارش کرده است که در تراز پایینی نتایج پژوهش حاضر قرار می‌گیرد.

۹-۴- فسفات

طرح تغییرات غلظت یون فسفات نشان داد که این یون نوسان سالانه چندانی ندارد (نمودار ۱۰-۳). افزایشی جزئی را که در میانه تابستان در ایستگاه‌های ۱ و ۲ ثبت شد نیز می‌توان به انفجار جمعیتی *آرتمیا* نسبت داد، زیرا این یون نیز از محصولات نهایی متابولیسم جانوران است و این افزایش هم‌زمان با انفجار جمعیتی پیش گفته دیده شده است و پس از سپری شدن آن، غلظت یون فسفات دوباره به تراز پیشین باز می‌گردد. نبود چنین افزایشی در ایستگاه ۳، جایی که بیش‌تر تحت تاثیر آب شیرین خروجی برم شور است، خود می‌تواند دلیلی دیگر برای حمایت از این فرض باشد. اندازه‌گیری اوجی (۱۳۷۳) مقدار یون PO_4^+ را $1,6 \text{ ppm}$ نشان داد که از اندازه‌های ثبت شده ما بسیار بالاتر است.

۱۰-۴- کلر

یون کلر به دلیل پیوند محکمی که با سدیم تشکیل می‌دهد عمدتاً به صورت زوج کلر-سدیم شکل می‌گیرد تا تشکیل پیوند با کلسیم و منیزیم. طرح روند تغییرات این یون با شوری و کل مواد جامد محلول دریاچه تقریباً هم‌سان بود، به طوری که با کاهش حجم آب دریاچه و افزایش شوری و کل مواد جامد محلول مقدار کلر محلول نیز افزایش یافت و با آب‌گیری دوباره دریاچه در پاییز به تراز آغازینی خود بازگشت (نمودار ۱۴-۳).

۱۱-۴- کلسیم، منیزیم، سختی

این دو یون چنان که پیش تر در بحث مربوط به کربنات و بی کربنات گفته شد، تمایل به پیوند با کربنات دارد، بنابر این تغییرات غلظت آن‌ها کاملاً بر یکدیگر و نیز بر تغییرات یون کربنات منطبق است، به طوری که افزایش جزئی کربنات در میانه زمستان به افزایش جزئی کلسیم و منیزیم در این زمان و قله غلظت کربنات در مرداد ماه با قله غلظت این دو یون در همین ماه همراه بود. کاهش‌های متعاقب کربنات نیز کاهش آن‌ها را در پی داشته است (نمودار ۱۵-۳ و ۱۶-۳).

تغییرات سختی کل آب دریاچه نیز از آن جا که عمدتاً منعکس کننده و دنباله‌روی تغییرات این دو یون است طرح مشابهی را نشان داد. (نمودار ۱۷-۳).

۱۲-۴- کل مواد جامد محلول (TDS)

تغییرات غلظت کل مواد جامد محلول نیز با روند تدریجی افزایش تا رسیدن به یک قله در پایان تابستان همراه بود، یعنی روندی که بر کاهش حجم آب دریاچه منطبق است که پس از رسیدن به این قله دوباره رو به کاهش گذاشت. اما توجه به زمان آغاز به کاهش غلظت کل مواد جامد محلول نشان می‌دهد که این کاهش زودتر از زمان آب‌گیری دوباره‌ی دریاچه اتفاق افتاده است (نمودار ۱۸-۳). برای توجیه این یافته می‌توان به موضوع افزایش تا حد فوق اشباع شوری رجوع کرد. افزایش شوری می‌تواند موجب شود که برخی از مواد از حالت محلول خارج و به صورت نمک وارد مواد رسوبی کف دریاچه شود و به این صورت از ثبت محتویات آب حذف گردد. البته ورود آب‌های شیرین جدید در اواخر پاییز نیز روند کاهش غلظت مواد جامد محلول را تسریع کرده است.

۱۳-۴- کل مواد ذره‌ای (TPM)

بالا بودن ابتدایی مقدار کل مواد ذره‌ای معلق و سپس کاهش آن (نمودار ۱۹-۳) در دوره ای که اندازه‌گیری آن انجام شد (خرداد تا آذر) می‌توانست تحت تاثیر عوامل مختلفی باشد. وزش باد در میانه روز علاوه بر آوردن

ذرات گرد و غبار و افزودن به محتویات آب دریاچه، باعث برهم خوردگی آب و در نتیجه بازگشت دوباره ذرات ته‌نشین شده به درون تنه آب شود. این اثر در تابستان که حجم آب به شدت کاهش یافته بود، می‌توانست بسیار شدیدتر از ماه‌های پرآب‌تر باشد. از سویی، غلیظ شدن آب دریاچه در تابستان می‌توانست عاملی باشد که در برابر ته‌نشین شدن مواد معلق مقاومت و آن را کند کند. عامل دیگری که ممکن است بر اندازه‌گیری و ثبت افزایش مواد معلق اثر گذاشته باشد وجود جلبک تک‌سلولی *Dunaliella* و متراکم‌تر بودن طبیعی جمعیت آن در تابستان است. این موجود ممکن است به راحتی در اندازه‌گیری‌های مواد معلق وارد شده باشد.

۱۴-۴- فلزات سنگین

منبع بسیاری از فلزات سنگین از جمله مس، روی، منگنز، مولیبدن، کادمیوم و آرسنیک انواع کودهای شیمیایی و مواد صنعتی است (جعفرزاده حقیقی و مروی ۱۳۷۴) که به همراه سیل آب رودخانه خشک وارد دریاچه می‌شود. از سوی دیگر بخش زیادی از این مواد پس از ورود به دریاچه به صورت رسوب در می‌آید و این پدیده به ویژه هنگامی که حجم آب دریاچه کاهش می‌یابد بسیار شدیدتر است. بنابر این به‌طور کلی کم بودن اساسی فلزات سنگین یا کاهش آن در فصل تابستان را می‌توان به این پدیده نسبت داد. از سوی دیگر وارد شدن مقادیری از CO₂ به همراه آب باران و حضور عوامل دیگری مانند مواد اسیدی و نیز نیترات (تاثیر pH) موجب می‌شود که برخی مواد به صورت محلول از رسوبات خارج شود. با کاهش و قطع آب ورودی و کاهش حجم آب کل دریاچه، دوباره بخش عمده‌ای از این مواد به درون رسوبات برمی‌گردد. اگرچه اکسید شدن می‌تواند موجب رسوب این فلزات شود، اما از آنجاییکه برخی از هیدروکسیدهای فلزی چندان پایدار نیستند و با تغییر در عوامل دیگر (که مهم‌ترین آن‌ها pH است) دوباره به‌صورت محلول در می‌آید، اثر آن در شرایط غلظت بسیار پایین فلزات در آب ناچیز فرض شده است.

۱-۱۴-۴- ارسنیک

اندازه گیری فلز ارسنیک توسط پتروشیمی فارس در سال های ۱۳۶۳، ۱۳۶۶، ۱۳۶۷، ۱۳۷۰، و ۱۳۷۱ مقدار آن را ۲ppb، ۲ppb، ۲۱۰۰ppb، ۴ppb و ۴ppb (اوجی ۱۳۷۳، به نقل از گزارشی از پتروشیمی فارس، بدون نشانی) و اوجی (۱۳۷۳) ۱۰۰ pmm گزارش می کند. غلظت این فلز تنها در ماه نخست این بررسی (دی ۱۳۸۰) اندازه های شایان ذکری در حدود ۲۰ ppb داشت. در این فصل مقادیری از این فلز می توانسته است از محل های رها شدن خود در مراکز خدماتی و صنعتی شهری راه خود را به همراه سیل آب های رودخانه خشک به سوی دریاچه و رسوبات آن گذرانده باشد. اهمیت توجه به رسوبات به عنوان محلی برای پنهان شدن فلزات سنگین در بررسی غلظت این مواد با مروری بر نتایج اندازه گیری این فلز در سال های ۱۳۶۳ و ۱۳۶۶ در شورابه ی بالا (۲ ppb و ۲ ppb) رسوبات بالا (۶۰۰ ppb و ۸۰۰۰ ppb) و رسوبات پایین دریاچه (۲۴۰۰ ppb و ۲۲۰۰ ppb) به خوبی نشان داده شد (اوجی ۱۳۷۳، به نقل از گزارشی از پتروشیمی فارس، بدون نشانی).

۲-۱۴-۴- کبالت

بررسی های پیشین غلظت کبالت را در نمونه های رودخانه خشک ۱۷۰۰ ppb، خاک های کشاورزی اطراف رودخانه ۸۴۰۰ ppb، و در ابتدای اتصال رودخانه خشک به دریاچه در سال های ۱۳۶۲ و ۱۳۶۳ ۶۶۰ ppb و ۴۰ (اوجی ۱۳۷۳، به نقل از گزارشی از محیط زیست ۱۳۶۹) نشان می داد. این مقدار در پس آب کارخانه های دشت شیراز شامل کارخانه فلزپوشان و واحد آب فلزکاری صنایع قطعات الکترونیک نیز اندازه گیری و به ترتیب غلظت های ۵۳۰ppb و ۱۱۰ ppb ثبت شد (مددی و دیگران ۱۳۸۲). نوسان غلظت کبالت آب دریاچه در این بررسی میان ۱۵۲ ppb تا ۳۰۳ ppb بود، که در ترازهای مشابه گذشته است. کاهش ناگهانی مشاهده شده در مورد ارسنیک در کبالت دیده نشد. دلیل این تفاوت را می توان در مقدار بسیار کم این فلز نسبت به ارسنیک جست. از آنجاییکه دلیل وارد شدن فلزات به رسوبات را به کاهش حجم آب و افزایش غلظت نسبت دادیم، ناچیز بودن کبالت باعث شده است چیزی از آن وارد رسوبات نشود.

۳-۱۴-۴-کادمیوم

غلظت فلز کادمیوم در سال‌های گذشته در نمونه‌های رودخانه خشک ۲۶۰ ppb (محیط زیست ۱۳۶۹)، در ابتدای اتصال رودخانه خشک به دریاچه در سال‌های ۱۳۶۲ و ۱۳۶۳ به ترتیب ۱۱۰ ppb و ۳۰ ppb (اوجی ۱۳۷۳)، به نقل از گزارشی از محیط زیست ۱۳۶۹، دریاچه ۲ppb (اوجی ۱۳۷۳)، و در خاک‌های کشاورزی اطراف رودخانه ۲۵۷۰ ppb (اوجی ۱۳۷۳)، به نقل از گزارشی از محیط زیست ۱۳۶۹) گزارش شده است. هم‌چنین مقدار این فلز در پس آب کارخانه‌های دشت شیراز شامل کارخانه همایون ۲۶۵ ppb، کارخانه فلز پوشان ۱۴۷ ppb، نرگس شیراز ۲۲ ppb، و صنایع الکترونیک ۵۱ ppb گزارش شده است (مددی و دیگران ۱۳۸۲). در دوره مورد بررسی در این پژوهش غلظت کادمیوم در ماه‌های نخست (زمستان و بهار) اندازه‌های تا ۹۷۰ ppb را نشان داد، اما پس از آن از حد قابل تشخیص ابزار موجود کم‌تر شد. این کاهش در فصل کم‌آبی نیز می‌تواند نشان‌دهنده وارد شدن این آلوده کننده به درون رسوبات باشد.

۴-۱۴-۴-سرب

اندازه‌گیری غلظت سرب در مطالعات گذشته مقدار آن را در نمونه‌های رودخانه خشک ۴۰ ppb، در ابتدای اتصال رودخانه خشک به دریاچه ۱۰۰۰ ppb و ۱۰۰ ppb در سال‌های ۱۳۶۲ و ۱۳۶۳ (اوجی ۱۳۷۳)، به نقل از گزارشی از محیط زیست ۱۳۶۹، آب دریاچه ۱۳۰۰ ppb (اوجی ۱۳۷۳)، خاک‌های کشاورزی اطراف رودخانه خشک ۱۳۳۰۰ ppb (اوجی ۱۳۷۳)، به نقل از گزارشی از محیط زیست ۱۳۶۹)، و در آب دریاچه در سال‌های ۱۳۶۳، ۱۳۶۶، ۱۳۶۷، ۱۳۷۰، و ۱۳۷۱ به ترتیب ۱۰۰۰ ppb، ۱۰۰۰ ppb، ۳۰ ppb، ۱۰۰۰ ppb و ۹۲۰ ppb (اوجی ۱۳۷۳)، به نقل از گزارشی از پتروشیمی فارس)، گزارش می‌کند. بررسی‌های پس آب کارخانه‌های دشت شیراز مقدار سرب موجود در آب را در کارخانه همایون ۹۱۰ ppb، کارخانه فلز پوشان ۲۲۵۰ ppb و صنایع الکترونیک ۶۵۰ ppb نشان داد (مددی و دیگران ۱۳۸۲). مقدار این فلز در آب دریاچه در دوره بررسی با طرحی یک‌سان با کادمیوم از دی تا فروردین به حداکثر ۸۵۰۰ ppb رسید اما پس از آن افت کرد. توجه به گزارش پتروشیمی فارس از مقدار سرب در شورابه، و مقایسه آن با رسوبات بالا و رسوبات پایین دریاچه (۱۰۰۰ ppb، ۶۰۰۰ ppb،

۶۰۰۰ ppb در سال ۱۳۶۳، و ۱۰۰۰ ppb، ۵۰۰۰ ppb و ۵۵۰۰ ppb در سال ۱۳۶۶) فرض وارد شدن این فلز را به رسوبات و انباشته شدن در آن تایید می کند (اوجی ۱۳۷۳، به نقل از گزارشی از پتروشیمی فارس، بدون نشانی).

۵-۱۴-۴- جیوه

مقدار جیوه نیز در این دوره در دریاچه‌ی مهارلو تغییرات افزایشی را از دی تا بهمن نشان داد و به ۲,۹ppb رسید، و از آن پس کاهش یافت تا به حد غیر قابل تشخیص برسد. غلظت این فلز در دریاچه در دوره مورد بررسی تفاوت زیادی با نتایج اوجی ۱۳۷۳ (۱ ppb) نشان نداد. در حالی که مددی و دیگران ۱۳۸۲ مقدار آن را در پس آب کارخانه‌های دشت شیراز شامل مخبرات راه دور ۱۵ ppb، کارخانه همایون ۰,۰۵ ppb، کارخانه فلز پوشان ۰,۰۵ ppb، لاستیک دنا ۰,۰۴ ppb، نرگس شیراز ۰,۰۶ ppb، زیمنس ۰,۱۳ ppb، صنایع الکترونیک ۰,۰۴ ppb و واحد آب‌فلزکاری صنایع قطعات الکترونیک ۰,۰۲ ppb گزارش کرده اند. این اندازه‌ها نسبت به گزارش اوجی و نتایج گزارش حاضر در ترازهای بسیار کمتری است، اگرچه با توجه به توانایی دستگاه‌های اندازه‌گیری جذب اتمی و دقت آن‌ها (به ویژه آن که دقت دستگاه خود می باید ۰,۱ عدد خوانده باشد)، سنجش غلظت‌هایی در حد ۰,۰۲ ppb (۰,۰۰۰۰۲ میلی گرم در لیتر) درستی این اعداد را با پرسش مواجه می‌سازد.

پیشنهادها

این بررسی چونان که پیش تر گفته شد به سالی برخوردار که در میانه یک خشک سالی فراگیر چندساله قرار داشت. بدیهی است که نتایج به دست آمده در این پژوهش نمی تواند شاخصی برای وضعیت طبیعی دریاچه مهارلو باشد. با این حال، نتایج آن می تواند اطلاعاتی استثنایی برای آگاهی از چگونگی دریاچه در موقعیت های خشکی فراهم آورد. از این روی، انجام پژوهش های جدید در وضعیت طبیعی و پرآب دریاچه و پس از آن مطالعات پایش مستمر عوامل مهم برای بررسی رفتار فیزیکی و شیمیایی دریاچه و مقدار و تاثیر آلاینده ها بر وضعیت اکولوژیایی آن ضروری است.

نتایج به دست آمده در این پژوهش لزوم بذل توجه ویژه ای را به ورود بسیاری از مواد آلاینده به رسوبات کف دریاچه نشان داد. بخصوص، کم بودن عمق آب و تلاطم بسیار زیادی که نتیجه آن است موجب شده است که تبادل میان رسوب-آب بسیار بالا باشد. این نرخ بالای تبادل می تواند در سنجش و ثبت عوامل مختلف، بویژه در محیط آبی اختلال ایجاد کند. بنا براین به نظر می رسد بررسی وجود و تغییرات این آلاینده ها در رسوبات، به صورت طرحی مستقل یا در کنار سنجش ها و پایش های پیش نهاد شده در بالا، امری لازم است. سرانجام، سنجش و ردگیری این آلاینده ها در موجودات زنده ای که در این محیط زندگی می کنند، مانند آرتمیا، دونالیلا، و پرندگان موجود در دریاچه می تواند به شناخت مسیر حرکت مواد آلوده در چرخه های غذایی کمک کند.

تشکر و قدردانی

نویسنده‌ی گزارش بدین وسیله از همه‌ی کسانی که به هر شکل موجب اجرا شدن این پژوهش و پیشرفت آن شدند سپاس‌گذاری می‌کند:

- موسسه تحقیقات شیلات ایران، بخش اکولوژی آبزیان برای پیشنهاد و تصویب این طرح، و تامین منابع مالی برای اجرای آن،
- آقای دکتر محمدرضا دارمی‌پوران همکار سابق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس که مجری نخستین طرح بودند و مراحل آغازین کار را شامل راه‌اندازی آزمایشگاه شیمی آب و نمونه‌برداری چهار ماه نخست کار به پیش بردند،
- آقای دکتر فرامرز حسینی، استاد محترم لیمنولوژی دانشگاه شیراز، برای مشاوره طرح در همه‌ی مراحل اجرا و تفسیر نتایج،
- آقایان محمدرضا قاید عبدی و احسان نصر و خانم نرگس احمدی تکنسین‌های طرح برای زحمات بی‌دریغ‌شان در نمونه‌برداری و انجام سنجش‌های آزمایشگاهی،
- مسوولان محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس برای همکاری‌های همه‌جانبه، بویژه در برنامه‌ریزی تهیه خودرو و انجام امور مالی هزینه‌های طرح.

منابع

- اداره کل حفاظت محیط زیست فارس. ۱۳۶۴. بررسی منابع آلوده کننده آب و خاک: رودخانه خشک شیراز. گزارش طرح تحقیقاتی. اداره کل حفاظت محیط زیست فارس. ۷۰ ص.
- اوجی رحیم. ۱۳۷۳. بررسی جوانب زیست محیطی دریاچه مهارلو شبراز. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.
- بهرامی محمد. ۱۳۶۹. بررسی زمین شناسی و رسوبات دریاچه مهارلو و نواحی اطراف. پایان نامه کارشناسی ارشد. بخش زمین شناسی دانشگاه تهران.
- جعفرزاده حقیقی، نعمت الله، و مروی، کیومرث. ۱۳۷۴. ردیابی و تعیین مقدار فلزات سنگین در حوضه آب ریز رودخانه کارون. گزارش طرح پژوهشی. دانشگاه علوم پزشکی و اداره کل حفاظت محیط زیست خوزستان. اهواز.
- حافظیه، محمود. ۱۳۷۸. بررسی بیولوژی و تراکم آرتمیا در دریاچه مهارلو (شیراز، فارس) گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. موسسه تحقیقات شیلات ایران. ۷۰ ص.
- سازمان برنامه و بودجه فارس. ۱۳۶۸. چشم انداز توسعه: گزارش اول.
- سازمان برنامه و بودجه فارس ۱۳۷۶. آمارنامه.
- صفوی افسانه. ۱۳۷۸. مطالعه آلودگی آب دشت شیراز (دریاچه مهارلو) به فلزات سنگین. گزارش طرح تحقیقاتی. اداره کل حفاظت محیط زیست فارس.
- کوچ مشکیان منصور. ۱۳۷۳. بررسی و مدیریت زیست محیطی منابع آب و خاک؛ مطالعه آلودگی ها و منابع آلوده کننده آب. گزارش طرح تحقیقاتی. اداره کل حفاظت محیط زیست فارس. ۱۲۳ ص.
- مبشری فریدون، قدرت نما قهرمان. ۱۳۵۳. بررسی منابع آب منطقه فارس. سازمان برنامه و بودجه. فروردین ۱۳۵۳.
- مددی معراج، ابدی مجید، ولوی حمزه. ۱۳۸۲. بررسی و مطالعه آلودگی دشت شیراز. گزارش طرح تحقیقاتی. اداره کل حفاظت محیط زیست فارس. ۱۱۲ ص.

- مسلمی ابراهیم. ۱۳۶۸. رودخانه خشک شیراز و ردیابی فلزات سنگین در محصولات کشاورزی اطراف آن.

گزارش طرح تحقیقاتی. اداره کل حفاظت محیط زیست فارس. ۹۶ ص.

- وزارت نیرو ۱۳۷۸. آمار هواشناسی منطقه فارس.

- Greenberg, A. E.; Clesceri, L. S. and Eaton, A. D. (ed). 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 8th edition. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, USA.

- IPSC. 1991. Environmental Health Criteria. 108. Finland. WHO.

پیوست

پیوست - نتایج اندازه گیری فلزات سنگین در دریاچه مهارلو از دی ۱۳۸۰ تا آذر ۱۳۸۱.

As (ppb)	Co (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Hg (ppb)	نمونه	
۱۸ ± ۱	۱,۵۲ ± ۰,۰۸	۰,۲۲ ± ۰,۰۴	۳,۷۵ ± ۰,۱	غیر قابل تشخیص	ایستگاه ۱	دی
۲۰ ± ۱,۵	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	ایستگاه ۲	
۲۳ ± ۲	۲,۳۷ ± ۰,۲۸	۰,۲۶ ± ۰,۰۸	۴,۵۶ ± ۰,۶۰	غیر قابل تشخیص	ایستگاه ۳	
غیر قابل تشخیص	۱,۷۲ ± ۰,۳۰	۰,۷۰ ± ۰,۲۰	۶,۱۱ ± ۰,۲۲	۲,۲	ایستگاه ۱	بهمن
غیر قابل تشخیص	۲,۸۹ ± ۰,۲۲	۰,۴۹ ± ۰,۲۴	۶,۱۲ ± ۰,۲۴	۱,۰	ایستگاه ۲	
غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	۵,۵	ایستگاه ۳	
غیر قابل تشخیص	۲,۹۵ ± ۰,۶۴	۰,۶۰ ± ۰,۰۲	۸,۵۱ ± ۱,۲۴	۰,۸۴	ایستگاه ۱	اسفند
غیر قابل تشخیص	۲,۰۳ ± ۰,۴۰	۰,۷۴ ± ۰,۲۸	۸,۱۲ ± ۰,۰۶	۲,۹	ایستگاه ۲	
غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	۲,۹	ایستگاه ۳	
غیر قابل تشخیص	۱,۹۴ ± ۰,۰۶	۰,۷۷ ± ۰,۱۲	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	ایستگاه ۱	فروردین
غیر قابل تشخیص	۳,۰۳ ± ۰,۳۴	۰,۹۷ ± ۰,۲۲	غیر قابل تشخیص	۱,۱۶	ایستگاه ۲	
غیر قابل تشخیص	۲,۷۲ ± ۰,۱۶	۰,۵۳ ± ۰,۱۶	غیر قابل تشخیص	۱,۶۴	ایستگاه ۳	
غیر قابل تشخیص	۲,۹۰	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	ایستگاه ۱	اردی بهشت
غیر قابل تشخیص	۲,۶۰	غیر قابل تشخیص	۰,۴۷	۰,۸۷	ایستگاه ۲	
غیر قابل تشخیص	۲,۳۰	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	ایستگاه ۳	
غیر قابل تشخیص	۱,۶۴	غیر قابل تشخیص	۱,۲۵	۰,۱۱۶	ایستگاه ۱	خرداد
غیر قابل تشخیص	۲,۰۰	غیر قابل تشخیص	۱,۲۵	۰,۰۷۳	ایستگاه ۲	
غیر قابل تشخیص	۲,۰۰	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	۰,۰۸۷	ایستگاه ۳	
غیر قابل تشخیص	۱,۹۷	غیر قابل تشخیص	۱,۴	۰,۰۵۷	ایستگاه ۱	تیر
غیر قابل تشخیص	۲,۰۰	غیر قابل تشخیص	۰,۶	۰,۰۲۹	ایستگاه ۲	
غیر قابل تشخیص	۱,۶۲	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	۰,۱۱۶	ایستگاه ۳	
غیر قابل تشخیص	۱,۸۷	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	۰,۰۸۷	ایستگاه ۱	مرداد
غیر قابل تشخیص	۱,۷۹	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	۰,۰۸۷	ایستگاه ۲	
غیر قابل تشخیص	۱,۵۹	غیر قابل تشخیص	۰,۹۴	۰,۰۸۷	ایستگاه ۲	شهریور
غیر قابل تشخیص	۱,۹۰	غیر قابل تشخیص	۰,۷۸	۰,۰۵۸	ایستگاه ۲	مهر
غیر قابل تشخیص	۲,۴۰	غیر قابل تشخیص	۰,۷۸	۰,۰۵۸	ایستگاه ۲	آبان
غیر قابل تشخیص	۲,۱۰	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	۰,۰۴۴	ایستگاه ۱	آذر
غیر قابل تشخیص	۲,۴	غیر قابل تشخیص	غیر قابل تشخیص	۰,۰۵۸	ایستگاه ۲	

Abstract

The ecological situation of Maharloo Lake is of a great importance in the province, especially in relation with continuous addition of a reasonable volume of municipal and industrial effluents to it; one major point being a source for different life cycle stages of the crustacean *Artemia*, which is used in aquaculture as natural food. In order to improve our knowledge about lake's pollution, we investigate mineral nutrients and heavy metal concentration, among some other physical and chemical characteristics. Three stations were selected in the lake, sampling trips were made, and the concentration of selected factors were measured monthly from January 2000 to December 2001. Using ANOVA, results were used to compare means of monthly factors between three stations, and means of three stations between 12 months. The yearly means for pH, dissolved oxygen, salinity, electrical conductivity, water temperature, nitrite, nitrate, free ammonia, carbonate, bicarbonate, dissolved CO₂, phosphate, alkalinity, chloride, calcium, magnesium, total hardness, total dissolved solids, and total particulate matter were 7.95 (SD=0.558), 2.92ppm (SD=2.11), 290.73ppt (SD=168.08), 375.52ms/cm (SD=232.72), 20.8 °C (SD=7.4), 0.051ppm (SD=0.058), 0.111ppm (SD=0.089), 3.342ppm (SD=2.894), 67.75ppm (SD=66.84), 270.88ppm (SD=190.91), 63.57ppm (SD=37.94), 0.018ppm (SD=0.026), 328.97ppm (SD=216.14), 128.05ppt (SD=76.65), 3334.90ppm (SD=4769.87), 22719.22ppm (SD=45204.82), 18059.73ppm (SD=12513.54), 203.20ppt (SD=132.40), and 8.65ppm (SD=5.49), respectively. Heavy metals' highest concentrations were as: As=23ppb, Co=303ppb, Cd=970ppb, Pb=8510ppb and Hg=25ppb, while no value was recorded in several months. Our results showed no significant differences between stations' means for most of the factors, but different months were significantly different in many factors (P<0.05). Maharloo Lake demonstrated various levels of pollution regarding to nutrient minerals and heavy metals, but special attention to the relations of water-precipitations is needed for a more concise understanding of its pollution. Results of this investigation can serve as a good record of the lake situation in drought conditions.

Key words: Saline lakes, Maharloo, pollution, nutrients, heavy metals, *Artemia*.

Ministry of Jihad – e – Agriculture
AGRICULTURAL RESEARCH, EDUCATION & EXTENTION ORGANIZATION
IRANIAN FISHERIES RESEARCH ORGANIZATION – Natural Resource & Agriculture Research
Center of Kerman province

Title : A study of polluting agents in Maharloo salt lake

Apprpved Number: 79-0710214000-03

Author: Mehrdad Zamanpoore

Executor : Mehrdad Zamanpoore

Collaborator : M.Hafezyeh

Advisor(s): F.Hossini

Supervisor: -

Location of execution : Fars province

Date of Beginning : 2000

Period of execution : *1 year & 2 Months*

Publisher : *Iranian Fisheries Research Organization*

Circulation : *20*

Date of publishing : *2012*

**All Right Reserved . No Part of this Publication May be Reproduced or Transmitted
without indicating the Original Reference**

MINISTRY OF JIHAD - E - AGRICULTURE
AGRICULTURAL RESEARCH, EDUCATION & EXTENTION ORGANIZATION
IRANIAN FISHERIES RESEARCH ORGANIZATION- Natural Resource & Agriculture
Research Center of Kerman province

Title:

A study of polluting agents in Maharloo salt lake

Executor :

Mehrdad Zamanpoore

Registration Number

2010.1036