

ارزیابی توزیع عمقی آلودگی میکروبی در مخازن (مطالعه موردی: سد سبلان)

صادق پرتانی^{۱*}، روح‌اله نوری^۲، سید هادی ابطحی^۳

۱. استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد، بجنورد

۲. استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران

۳. دکترای تخصصی علوم و مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۶/۱۵؛ تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۱۲/۱۹)

چکیده

هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی ارتباط کلیفرم کل (TC) و کلیفرم مدفوعی (FC) با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب در اعماق مختلف مخزن سد سبلان در شرایط لایه‌بندی حرارتی تابستانه است. به این منظور، نمونه‌برداری از اعماق مختلف سد در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد که سد در شرایط لایه‌بندی شدید حرارتی بود، انجام شد. سپس، در هر نمونه پارامترهای pH، FC، TC، هدایت الکتریکی (EC)، فشار (P)، فسفر کل (TP)، کل جامدات محلول (TDS)، اکسیژن محلول (DO) و دمای آب (T) اندازه‌گیری شد. نتایج بررسی‌های اولیه نشان داد با افزایش عمق در ستون آب پارامترهای pH، DO و T کاهش یافته و از طرف دیگر EC، TDS و TP افزایش می‌یابند. نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های تحلیل آماری چندمتغیره مانند خوشه‌بندی، همبستگی زوجی و رگرسیون چندمتغیره خطی بیانگر تأثیرپذیری TC و FC از تغییرات P و TDS بود. از طرفی، با حرکت از سطح به سمت کف مخزن سد، پراکنش کلیفرم‌ها کاهش یافت، که افزایش و کاهش کلیفرم به‌صورت نامتوازن است و نمی‌توان الگوی خاصی برای پراکنش آنها در نظر گرفت. با توجه به آنالیز روابط به‌دست‌آمده مشخص شد ۵۸ درصد از تغییرات TC و ۵۹ درصد از تغییرات FC در صورت اطلاع از مقادیر TDS و P، قابل پیش‌بینی هستند. همچنین، نتایج تحقیق حاضر مشخص کرد که FC و TC با T، Do و pH رابطه مستقیم دارند و رابطه آنها با EC، TDS و P معکوس است.

کلیدواژگان: حفاظت کیفی، دریاچه سد، کلیفرم‌های کل، کلیفرم‌های مدفوعی، لایه‌بندی بیولوژیکی.

مقدمه

سنجش متغیرهای فیزیکوشیمیایی در آب، برای مقایسه وضعیت سلامتی آن با استانداردهای بهداشتی انجام می‌گیرد [۱]. آلودگی آب توسط میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا یک مشکل بهداشتی جهانی است، چرا که آلودگی سواحل، جمعیت بشر را در معرض سطوح بالای عوامل بیماری‌زا قرار می‌دهد [۲]. از طرف دیگر، آلودگی آب‌های سطحی استفاده‌شده برای آبیاری و تولید محصولات غذایی، یا برای مصرف انسان، موجب شیوع بیماری‌های ناشی از مصرف مواد غذایی و آب‌های آلوده می‌شود [۳]. اهمیت پایش پیوسته منابع آبی از نظر چنین آلودگی‌هایی به اندازه‌ای است که باید میزان باکتری‌های کلیفرم مدفوعی (Fecal Coliform, FC)، ماهانه بررسی شود [۴]. سابقه مطالعات انجام‌شده روی متغیرهای بیولوژیکی در منابع آب، بیشتر در زمینه آب‌های سطحی همچون رودخانه‌ها بوده است. با توجه به این پژوهش‌ها، شاخص میکروارگانیسم کلیفرم‌ها، طی فصول مختلف متفاوت‌اند و در فصل پاییز نسبت به سایر فصل‌ها بیشتر می‌شوند [۵]. این در حالی است که مطالعه میکروارگانیسم‌های شاخص (کلیفرم‌های کل، کلیفرم مدفوعی، استرپتوکوک مدفوع) در رودخانه گنگتیک، توسط باگل و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد بیشترین آلودگی میکروبی در فصل زمستان به علت کم شدن دمای آب و تراکم بیشتر آلودگی در رودخانه بروز می‌کند [۶]. پژوهش دیگری نیز توسط عبدالستار و همکاران (۲۰۱۷) روی کیفیت آب رودخانه نیل، به‌عنوان منبع ارزشمند طبیعی و منحصربه‌فردی از آب شیرین در مصر، و نمونه‌برداری آب از ۲۴ محل بین اسوان و قاهره در امتداد رودخانه نیل انجام شد. نتایج پژوهش آنها نشان داد رودخانه نیل با توجه به ورود فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی زیستگاه مناسبی را برای آبیان فراهم نکرده است [۷]. در بررسی دیگری، عوامل محیطی مؤثر بر توزیع کلیفرم کل (Total Coliform, TC) و مدفوعی، در شش مخزن ذخیره‌سازی آب رودخانه در منطقه‌ای دلتایی نشان داد غلظت باکتریایی در فصول پاییز بیشتر از فصل تابستان است. از طرفی، سطح کلیفرم در مخازن نزدیک مناطق شهری و صنعتی به‌طور درخور توجهی بالا بود و همچنین تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد روابط نزدیکی بین pH، دما،

مواد آلی و مغذی معلق در آب و کلیفرم وجود دارد. همچنین، تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد کلیفرم مدفوعی با ورودی رواناب فصلی مرتبط است [۸]. از طرف دیگر، پژوهش‌های ماربیتو و بارتلت (۲۰۱۴) نیز بیانگر زیاد بودن میزان کلیفرم در نواحی شهری نسبت به مناطق غیرشهری است [۹]. در پژوهش دیگری که توسط ویگنش و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد، با نمونه‌برداری از ۲۲ نقطه رودخانه تمیراپارانی، در فواصل زمانی دوماهه و طی یک سال و همچنین تجزیه و تحلیل آزمایشگاه حضور کلیفرم مدفوعی در آب رودخانه اثبات شد و فرضیه تخلیه فاضلاب شهری در این رودخانه را تقویت کرد [۱۰]. در پژوهش گاتم و همکاران (۲۰۰۶) نیز به منظور تحقیق روی کیفیت آب و مقدار بار کلیفرم مدفوعی رودخانه و با استفاده از تجزیه و تحلیل نمونه‌ها و داده‌ها مشخص شد که غلظت زیاد کلیفرم در رودخانه، مربوط به رواناب‌های حاصل از بارش باران در نواحی شهری است. همچنین، فاضلاب بهداشتی به‌عنوان منبع بالقوه غلظت زیاد کلیفرم در رودخانه شناسایی شد [۱۱]. کلیفرم‌ها یکی از راه‌های تشخیص آلودگی بیولوژیکی هستند. کلیفرم به‌عنوان شاخص بیولوژیکی میکروارگانیسمی در آب شرب مناسب، نباید وجود داشته باشد و در صورت وجود، تصفیه تکمیل نیست و یا آلودگی به‌گونه‌ای طی تصفیه وارد آب شده است. کلیفرم‌ها هنگام ورود به آب، به پاتوژن‌های خطرناکی تبدیل می‌شوند. در بیشتر مواقع نوع این پاتوژن قابل تشخیص نیست، و یکی از عوامل آلوده‌کننده مواد غذایی دریایی است [۱۲].

در زمینه بررسی متغیرهای بیولوژیکی و لایه‌بندی‌های عمقی منابع مخزنی همچون دریاچه‌ها و سدها در مقایسه با مطالعات لایه سطحی منابع آب، تعداد پژوهش‌های کمتری، حتی به‌طور غیرمستقیم انجام گرفته است. حسینی و چگینی (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای که روی آب دریا در شبه‌جزیره بوشهر انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که در منطقه مطالعه‌شده میزان pH با دما رابطه عکس دارد. یعنی در راستای قائم با کاهش دما، میزان pH افزایش می‌یابد. همچنین، با توجه به بررسی‌ها مشخص شد که در ماه‌های سرد سال میزان pH بیشتر از ماه‌های گرم سال بوده و در لایه‌های سطحی از مقدار حدود ۷/۷ در ماه جولای به مقدار حدود ۸/۲ در ماه دسامبر در لایه بستری

کلیفرم مدفوعی پرداخته شده است. استخراج مدلی برای ارتباط بین متغیرهای کیفی میکروبیولوژیکی با محوریت کلیفرم‌ها و متغیرهای فیزیکی کیفیت و پارامترهای هیدرولیکی، مخزن برای کاهش هزینه‌های تصفیه آب انتقالی از سد و ارزیابی کیفیت بیولوژیکی در اعماق مختلف از دیگر اهداف تحلیل‌های پژوهش حاضر است. مخزن سد سبلان، به عنوان یک مخزن چندمنظوره که کاربری شرب نیز در آن منظور شده است و اهمیت کیفیت آب مخزن را دوچندان می‌کند، در استان اردبیل به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. در نهایت، جایگاه پژوهش حاضر، تحلیل و استخراج الگوی توزیع شاخص آلودگی میکروبی در ستون آب (لایه‌بندی میکروبی بیولوژیکی) است که جزء شاخص‌ترین مطالعات است.

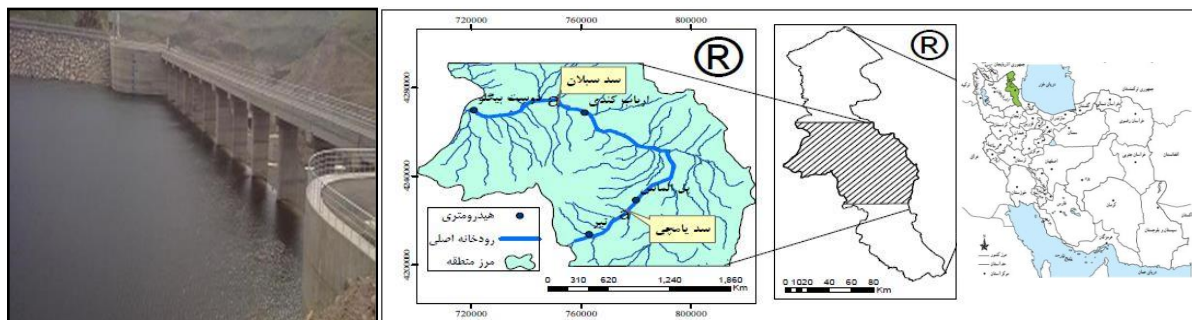
مواد و روش‌ها

محدوده مطالعه شده

مطالعات میدانی پژوهش حاضر در مخزن سد سبلان واقع در استان اردبیل است (شکل ۱). سد سبلان نوعی سد خاکریزه‌ای به ارتفاع ۷۷ متر از کف دره و ارتفاع از پی ۸۹ متر و طول تاج ۳۰۴ متر است، که حجم کل مخزن ۱۰۵ میلیون مترمکعب و حجم مرده ۱۱ میلیون مترمکعب و حجم مفید ۹۴ میلیون مترمکعب است. هدف عمده از احداث سد سبلان، ذخیره‌سازی و تنظیم حدود ۱۱۵ میلیون مترمکعب رواناب رودخانه قره‌سو در محل طرح و آبیاری اراضی دشت مشکین‌شهر در طرفین رودخانه و اختصاص ۹/۵ میلیون مترمکعب آب برای استفاده شرب مشکین‌شهر است [۱۶].

افزایش یافته است [۱۳]. در دریای ساردینا واقع در شمال غرب مدیترانه نیز از عمق‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ متری توسط همینگ و همکاران (۲۰۱۷) نمونه‌هایی برداشت شد. پژوهشگران یادشده دریافتند که با افزایش دما، pH زیاد شد [۱۴]. همچنین، کیفیت رودخانه بوریو در کاستاریکا، با استفاده از ۱۱۲ نمونه از اکتبر ۲۰۰۵ تا دسامبر ۲۰۱۰ از ۸ ایستگاه، توسط ریورا و همکاران (۲۰۱۷) آزمایش شد. پژوهشگران یادشده مشاهده کردند که ارتباط مستقیمی بین دما و pH است و با افزایش دما، pH افزایش می‌یابد. در نهایت، همان‌طور که در ادامه پژوهش حاضر نیز مشخص می‌شود، پارامترهای بررسی شده با کلیفرم تأثیرپذیری زیادی دارند [۱۵].

با توجه به پیشینه تحقیق ارائه‌شده، بیشتر مطالعات انجام‌شده بین‌المللی و ملی، به بررسی آلودگی بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی، با استفاده از دستگاه‌های پایش، در ایستگاه‌های سطح آب پرداخته شده و تعداد محدودی عمق‌های مختلف منابع آب را نیز مورد توجه قرار داده‌اند. همچنین، در بیشتر مطالعات، لایه‌بندی بیولوژیکی در سواحل و رودخانه‌ها بررسی شده و پژوهش‌های عمیق و تخصصی در زمینه آنالیز کیفی، در اعماق مختلف مخازن سدها محدود است. ولی هیچ‌یک از مطالعات آلودگی میکروبی (شاخص بیولوژیکی آب-کلیفرم) را بررسی نکرده‌اند. در نتیجه در پژوهش حاضر، با هدف بررسی الگوی لایه‌بندی و تغییرات عمقی میزان متغیرهای میکروبیولوژیکی آب در مخازن با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره به بررسی روند تغییرات عمقی شاخص‌ها و متغیرهای مهمی، همچون کلیفرم کل و



شکل ۱. موقعیت و تصویر مخزن مطالعه‌شده روی رودخانه قره‌سو

نمونه برداری و آنالیز نمونه‌ها

در مطالعه میدانی سد مد نظر، نقاط نمونه برداری، روش برداشت نمونه، سنجش درجا و سنجش آزمایشگاهی برای انجام پژوهش ارزیابی شد. سپس بعد از جمع بندی کلی، پژوهش وارد فاز اجرایی شده و مطابق با مطالعات میدانی، مرحله به مرحله انجام شد. در تحقیق حاضر، متغیرهای فیزیکی (EC, TSS, TDS, Turbidity)، متغیرهای شیمیایی (DO)، متغیر غیر آلی (pH)، متغیر بیولوژیکی (کلیفرم مدفوعی و کلیفرم کل) در عمق های ۰، ۳، ۶، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۵ متری بررسی شدند (تجهیزات نمونه برداری شامل دستکش سترون شده، داماسنج، ظروف شیشه‌ای یا پلی اتیلنی، رطوبت سنج، pH سنج، یخ خشک یا یخچال زنبیلی، دستگاه نمونه برداری، بشر، فندک و کبریت، آچار، آچار پیچ گوشتی، چاقو، انبردست، چکمه ضد آب، نقشه محل، GPS، DO سنج، بودند). نمونه برداری به وسیله دستگاه مکانیکی هیدرولیکی مدل 440060-hand-winch-hidro-bioshanw انجام شد. همچنین، نمونه برداری در وسط مخزن سد سبلان به مختصات Y:4270067, X:758808 توسط دستگاه GPS و به دلیل اینکه این ایستگاه بیشترین عمق را داشته، انجام گرفته است. با توجه به اینکه دقت اندازه گیری پارامترهای دما، DO، Ph با انتقال به آزمایشگاه، کاهش می یابد، ترجیح داده شد پارامترهای DO، pH و دما در محل با دستگاه Handheld IP67Combop/COND/DO اندازه گیری شوند، که pH با دقت ± 0.1 و DO با دقت ± 0.1 میلی گرم بر لیتر اندازه گیری شدند. همچنین، دما نیز با داماسنج معمولی متصل به ظرف برداشت نمونه‌ها از عمق، بر حسب سلسیوس، آزمایش شد. متغیرهای کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی، شوری، EC، TDS و کدورت نیز با توجه به نبود امکانات آزمایشگاهی در آزمایشگاه شرکت پایش صنعت آسیانوپن آزمایش شدند. سپس، نمونه‌های فیزیکوشیمیایی در ظروف پلاستیکی از جنس پلی اتیلن و نمونه‌های بیولوژیکی (کلیفرم مدفوعی و کل) در

بطری‌هایی از جنس شیشه ریخته شد (شکل ۲). سپس، نمونه‌ها داخل جعبه پلاستیکی حاوی تعدادی یخ خشک (دمای جعبه کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد باقی می‌ماند) گذاشته شده، و با اتومبیل و در مدت کمتر از پنج ساعت، نمونه‌ها به آزمایشگاه رسانده شد. همچنین، نیازی به هیچ‌گونه ماده تثبیت کننده‌ای نبود (طبق استاندارد ۴۲۰۸ و سازمان استاندارد حفاظت محیط زیست، کلیفرم‌ها تا قبل از ۵ ساعت و شوری، EC، TDS و کدورت تا ۲۴ ساعت تغییری نمی‌یابند).

نمونه‌ها از اعماق مختلف، با استفاده از دستگاه هیدرولیکی مکانیکی، در یک ستون برای متغیرهای فیزیکوشیمیایی، و ستون دیگر برای متغیرهای بیولوژیکی (کلیفرم کل و مدفوعی) هر کدام یکبار و در سه ماه مختلف، از عمق‌های ۰، ۳، ۶، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۵ متری برای متغیرهای فیزیکوشیمیایی، و اعماق ۰، ۳، ۶، ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۳۵ برای متغیرهای بیولوژیکی (کلیفرم کل و مدفوعی) برداشت شد. اعماق با اساس محدودیت تجهیزات (تعداد محدود بطری‌های مکش و نمونه برداری هم‌زمان در عمق) و مطالعات مشابه عمقی [۲۸، ۳۰ و ۳۱] انتخاب شد. سپس، نمونه‌های برداشت شده، در ظروفی از جنس پلی اتیلن برای پارامترهای فیزیکوشیمیایی و بطری‌های شیشه‌ای برای کلیفرم کل و مدفوعی قرار داده شد. در ادامه، لایه‌های مختلف در قالب سه ستون آب، در ماه‌های متوالی برای متغیرهای فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی آزمایش و بررسی شدند، که دو ستون اول در خرداد و تیر، برای مقایسه تغییر پارامترها و ستون سوم در شهریورماه (با توجه به شرایط بحرانی دارای دمای بیشینه و آبدهی کمینه و مصرف زیاد) برای اعتبارسنجی ارزیابی شدند. شایان یادآوری است نمونه برداری‌ها در تاریخ‌های ۱۳۹۶/۰۳/۰۷، ۱۳۹۶/۰۴/۰۷، ۱۳۹۶/۰۵/۰۷ از ساعت ۷ صبح تا ۵ بعدازظهر داخل مخزن سد سبلان انجام گرفت. در ضمن، نمونه‌های آزمایش شده از ۵ تا ۴۸ ساعت باید به آزمایشگاه رسانده می‌شد.



شکل ۲. نمونه فعالیت‌های تثبیت، نگهداری و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه

در ادامه، پس از تحلیل رگرسیون داده‌ها برای pH در هر سه دوره خرداد، تیر و مرداد، معادله رگرسیون و مقدار R^2 ارائه شد. سپس، با ملاحظه نتایج در هر سه دوره، مشخص شد که مقدار R^2 برای مدل درجه دوم بیشتر از دو مدل دیگر است. بنابراین، برای توصیف رابطه عمق و pH، مدل درجه دوم مناسب‌تری است (معادله ۱).

$$(R^2 = 0.867) \text{ pH} = 0.0032D^2 - 0.165D + 9.5446 \quad (1)$$

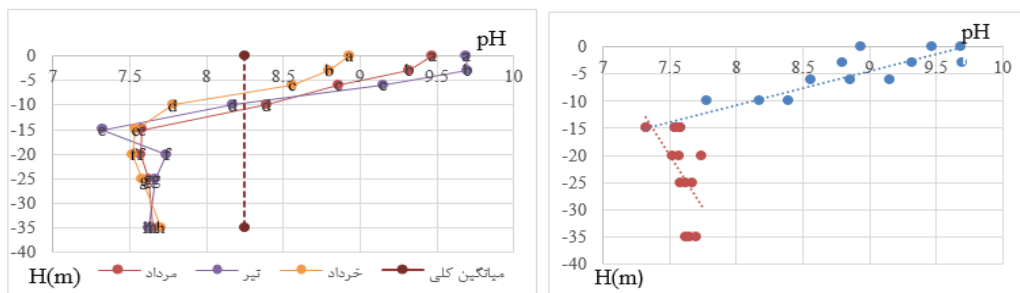
در بخش دیگر از تحقیق حاضر، در سه ماه خرداد، تیر، مرداد، با توجه به شکل ۴ مشاهده شد که ضمن افزایش عمق، EC با شیب یکنواخت افزایش می‌یابد. نتایج یادشده با نتایج پژوهش حسینی و چگینی (۲۰۱۴) که با استفاده از دستگاه CTD، پارامترهای فیزیکوشیمیایی را از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۱ یک بار در ماه، و از نیم‌رخ قائم (عمق ۸ تا ۳۵ متر) آب دریا در محدوده شبه‌جزیره بوشهر اندازه‌گیری کردند و متوجه شدند با افزایش عمق، شوری زیاد می‌شود، مطابقت دارد [۱۳]. در پژوهش دیگری نیز ضمن برداشت ۴۲ نمونه از سطح و کف رودخانه کلمبیا و آزمایش آنها توسط هرفورت و همکاران (۲۰۱۷) مشخص شد در کف رودخانه، شوری بسیار بیشتر از سطح است [۱۸]. همچنین، در تحقیق نوروزی و همکاران (۲۰۱۷) که ۴۸ نمونه از ژوئن تا سپتامبر ۲۰۱۴ از ۸ ایستگاه (هر محل ۶ بار با فاصله زمانی دو هفته) از عمق‌های ۰، ۴، ۷، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متری در امتداد خلیج فارس در مناطق ساحلی بوشهر برداشت کردند نیز نتایج نشان داد با افزایش عمق، شوری زیاد می‌شود [۱۹]. همین نتیجه، در پژوهش همینگ و همکاران (۲۰۱۷) در دریای ساردینا، بر عمق‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری نیز تکرار شد [۱۴].

در تحقیق حاضر، تغییرات پارامترها در عمق‌های مختلف در ماه‌های متوالی خرداد، تیر و مرداد در نمودارهای هم‌ارز عمقی ترسیم شد. پس از انجام تحلیل‌های آماری اولیه چندمتغیره برای یافتن ارتباط منطقی و آماری بین متغیرها، به استخراج معادلات همبستگی (رگرسیون) بین متغیرها و پارامترها نسبت به عمق پرداخته شد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS همبستگی، نمودار همبستگی و تحلیل خوشه‌ای درختی انجام شد و معادلات تخمینی و ارتباطی کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی، بر اساس داده‌های نرمال و حذف متغیرهای غیر مؤثر به دست آمد. در ادامه آنالیز نتایج، ماتریس همبستگی متغیرها را از روش پیرسون^۱ که ضریب همبستگی قوی‌تر و قابل اعتمادتر برای پارامترهاست، توسط نرم‌افزار SPSS محاسبه شد.

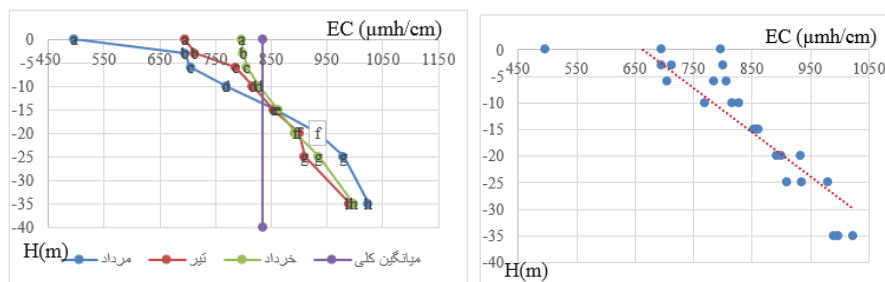
نتایج و بحث

تغییرات عمقی پارامترهای کیفی آب

پارامتر pH در سه ماه مطالعه شده (خرداد، تیر و مرداد) با افزایش عمق نسبت به سطح کاهش می‌یابد (شکل ۳) که به‌طور کلی، با نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق همینگ و همکاران (۲۰۱۷) روی اعماق مختلف، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ متری دریای ساردینا در شمال غربی مدیترانه و نتایج به‌دست‌آمده در زمینه کاهش pH با افزایش عمق مطابقت نشان می‌دهد [۱۴]. همچنین، در مطالعه مشابه دیگری، کیفیت آب مخزن سد هیدروالکتریکی رودخانه باکون در مالزی، توسط لینگ و همکاران (۲۰۱۷) در ۵ ایستگاه در اعماق صفر، ۱۰، ۲۰ متری و یک ایستگاه پایین‌دست در فوریه و سپتامبر ۲۰۱۴ نمونه‌برداری و بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد با افزایش عمق، pH کاهش می‌یابد که با نتایج پژوهش حاضر مطابق است [۱۷].



شکل ۳. تغییرات pH نسبت به عمق در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد



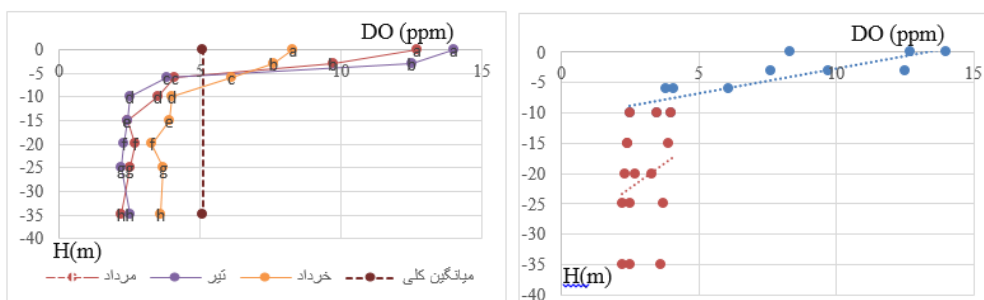
شکل ۴. تغییرات EC نسبت به عمق در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد

یکنواخت تغییر کرده است و در نتیجه، معادله ۲ برای سه ماه یادشده به دست آمد.

$$EC = -0.1517D^2 + 14.573D + 676.99 \quad (R^2 = 0.802) \quad (۲)$$

با توجه به شکل ۵، میزان DO در سه ماه متوالی (خرداد، تیر و مرداد) با افزایش عمق، کاهش می‌یابد. به طوری که از سطح تا عمق ۱۰ متر DO با شیب یکنواخت نسبت به عمق در حال کاهش و از عمق ۱۰ تا ۳۵ متری با شیب تند نسبت به عمق کاهش می‌یابد.

در ادامه کار، نتایج تحلیل رگرسیون داده‌ها، شامل معادله رگرسیون و مقدار R^2 ، برای EC در سه دوره (خرداد، تیر و مرداد) بررسی شد و در هر سه دوره، مقدار R^2 برای مدل درجه دوم، بیشتر از دو مدل دیگر حاصل شد. بنابراین، برای توصیف رابطه عمق و EC، مدل درجه دوم مناسب‌تر است. همچنین، متغیر وابسته و مستقل ارتباط مستقیمی با هم دارند و با افزایش عمق، EC افزایش می‌یابد. پس مشخص شد که شیب EC به صورت



شکل ۵. تغییرات DO نسبت به عمق در سه ماه خرداد، تیر، مرداد

$$DO = 0.0162D^2 - 0.7774D + 10.881 \quad (R^2 = 0.7626) \quad (۶)$$

همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، دما در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد، با افزایش عمق با شیب یکنواخت کاهش می‌یابد. یافته‌های یادشده با نتایج پژوهش چیگبو و همکاران (۲۰۰۵) در رودخانه می‌سی‌سی‌پی در زمینه معرفی دما به عنوان مهم‌ترین عامل غیر زنده در مرگ کلیفرم مدفوعی‌ها ارتباط دارد، به طوری که هر چه دما افزایش می‌یابد، کلیفرم‌ها افزایش می‌یابند [۲۰]. همچنین نتایج اخیر، در تحقیقات اسلام و همکاران (۲۰۱۷) رودخانه بتنا در جنوب غربی بنگلادش [۲۱]، و نوروزی و همکاران (۲۰۱۷) که با ۴۸ نمونه‌برداری از ۸ ایستگاه و از

همان‌طور که در معادلات ۳-۶ دیده می‌شود، در ماه‌های خرداد و تیر مقدار R^2 برای مدل درجه دوم بیشتر از دو مدل دیگر است. بنابراین، برای توصیف رابطه عمق و DO، در دوره خرداد و تیر مدل درجه دوم و برای دوره مرداد مدل لگاریتمی، مناسب‌ترند. با توجه به معادلات یادشده، متغیر وابسته و مستقل رابطه عکس دارند، و هر چه به عمق می‌رویم، DO کاهش می‌یابد.

$$DO = 0.007D^2 - 0.42D + 8.33 \quad (R^2 = 0.941) \quad (۳)$$

$$DO = 0.022D^2 + 1.07x + 13.05 \quad (R^2 = 0.819) \quad (۴)$$

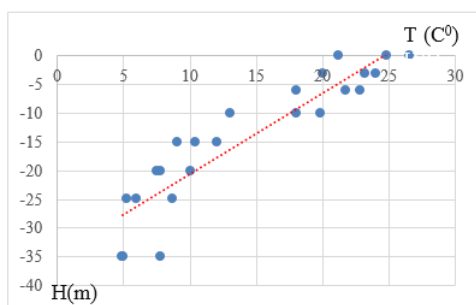
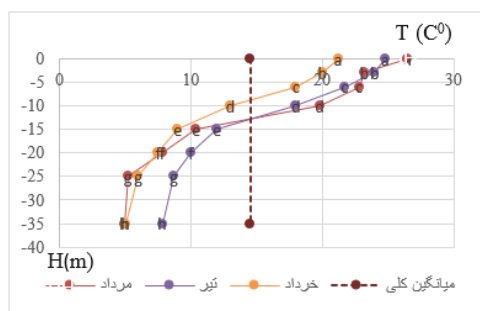
$$DO = -1.98 \log(D) + 8.78 \quad (R^2 = 0.882) \quad (۵)$$

دوره (خرداد، تیر، مرداد)، با استفاده از معادله رگرسیون و مقدار R^2 ، ملاحظه شد در هر سه دوره (خرداد، تیر، مرداد) مقدار R^2 برای مدل درجه دوم بیشتر از دو مدل دیگر است. بنابراین، برای توصیف رابطه عمق و دما، مدل درجه دوم مناسبتر است.

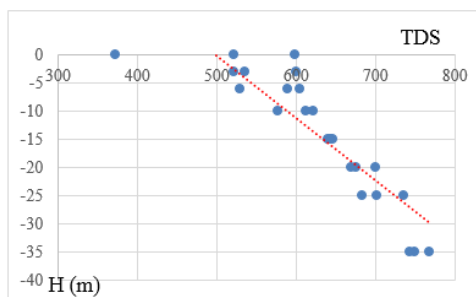
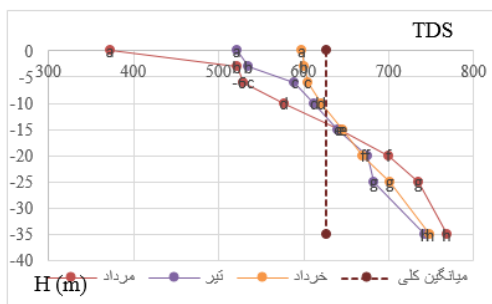
$$T = 0.0179D^2 - 1.1955D + 25.698 \quad (R^2 = 0.9129) \quad (7)$$

همچنین، با مشاهده نتایج پژوهش مشخص شد که با افزایش عمق، میزان TDS با شیب یکنواخت افزایش می‌یابد (شکل ۷).

اعماق ۰، ۴، ۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰ سانتی‌متری در امتداد خلیج فارس در مناطق ساحلی بوشهر به آن دست یافتند [۱۹]، مطابقت دارد. در نتیجه، با افزایش عمق و کاهش دما، کلیفرم‌ها کاهش می‌یابند. از طرف دیگر، در پژوهش حسینی و چگینی (۲۰۱۴) و همینگ و همکاران (۲۰۱۷) مشخص شد میزان pH با دما رابطه عکس دارد [۱۳] و [۱۴]. یعنی در راستای قائم با کاهش دما، میزان pH افزایش می‌یابد. در نتیجه، در ماه‌های سرد سال میزان pH بیشتر از ماه‌های گرم سال است. با توجه به نتایج تحلیل رگرسیون داده‌های دما در سه



شکل ۶. تغییرات T نسبت به عمق در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد



شکل ۷. تغییرات TDS نسبت به عمق در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد

در ادامه تحقیق، با بررسی تغییرات پارامتر فشار در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد نیز مشخص شد فشار با افزایش عمق، با شیب یکنواختی در حال افزایش است. مطالعات شمسایی و همکاران (۲۰۱۲) نیز نتایج تأثیرگذاری فشار متأثر از عمق، بر باکتری‌ها را اثبات کرد. به طوری که آنها طی تحقیقات خود روی ۵ تصفیه‌خانه‌ی اهواز مشاهده کردند که فشار با رشد باکتری‌ها رابطه معکوس دارد [۲۲]. همچنین، ماریتو و بارتلت (۲۰۱۴) با جمع‌آوری نمونه‌ی آب سواحل جنوبی کالیفرنیا، از عمق ۵ متر زیر سطح دریا و نگهداری آنها

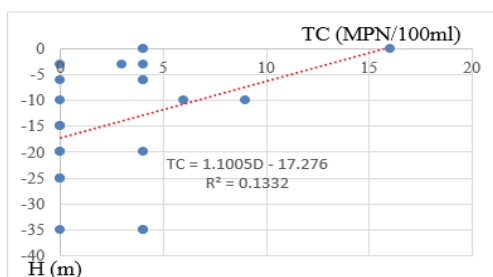
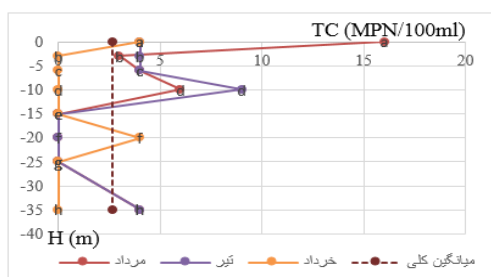
همان‌طور که در معادله ۸ دیده می‌شود، در هر سه دوره (خرداد، تیر و مرداد) مقدار R^2 برای مدل درجه دوم بیشتر از دو مدل دیگر است. بنابراین، برای توصیف رابطه عمق و TDS، مدل درجه دوم مناسبتر است. همچنین، شیب به صورت یکنواخت کاهش می‌یابد و نشان می‌دهد متغیر وابسته (کل جامدات محلول) و مستقل (عمق) ارتباط مستقیمی با هم دارند.

$$TDS = -0.1138D^2 + 10.93D + 507.74 \quad (R^2 = 0.8025) \quad (8)$$

ارزیابی آنها متوجه شدند که با افزایش شوری، کلیفرم کاهش می‌یابد [۲۱]. نتایج مشابه نیز در مطالعات باسین و همکاران (۲۰۱۲) در زمینه کاهش مقاومت میکروارگانیسم‌ها با افزایش شوری فاضلاب، که در قالب دو راکتور آزمایشگاهی به حجم ۴ لیتر به صورت موازی در یک چرخه ۲۴ ساعته و تغذیه پساب فاضلاب به مدت ۳ دقیقه و هوادهی به مدت ۲۳ ساعت و خروج پساب به مدت ۵ دقیقه، انجام شده و سپس تکرار شد [۲۳]. همچنین، در مطالعه‌ای که روی رودخانه گئوم کره جنوبی، به وسیله کیم و همکاران (۲۰۰۵) با نمونه‌برداری‌های ماهانه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۲، توسط ۶ دستگاه پایش در مکان‌های مختلف رودخانه گئوم، انجام شد، کاهش کلیفرم کل همراه با افزایش غلظت نمک را نشان داد [۲۴]. طی نمونه‌گیری و اندازه‌گیری دیگر، در تابستان ۲۰۱۰ در رودخانه چانگ، توسط یان و همکاران (۲۰۱۵) از ۹ ناحیه از عمق ۱/۵ متری، نشان داد کل جامعه میکروبی رودخانه مطالعه شده به طور معناداری همبستگی با شوری رودخانه دارد، که با افزایش شوری، باکتری‌ها کاهش می‌یابند [۲۵]. در نهایت، می‌توان گفت که با توجه به افزایش شوری متناسب با افزایش عمق در مخزن سد سبلان، و همچنین کاهش کلیفرم در برابر افزایش شوری، کاهش پارامتر یادشده در تحقیق حاضر نیز توجیه می‌شود. از طرف دیگر، نتایج پژوهش چیگبو و همکاران (۲۰۰۵) که از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۰ به صورت ماهانه در قالب نمونه‌برداری‌هایی در رودخانه می‌سی‌سی‌پی انجام شد نیز بیانگر آن بود که میزان نمک در زمستان به ۱-۸ ppt و در پاییز به ۱۳-۲۴ ppt می‌رسد، که مشاهدات صورت گرفته نشان می‌دهد کلیفرم‌ها در پاییز و با کاهش دما نسبت به تابستان، به کمترین حد خود می‌رسند که تا حدی با کاهش کلیفرم کل، همراه با کاهش دما در عمق نتایج پژوهش حاضر، با نتایج پژوهش‌های مشابه [۲۰] مطابقت دارد.

در تاریکی، به مدت ۱۴ روز در دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد متوجه شدند هنگامی که فشار هیدرواستاتیکی افزایش یابد، رشد باکتری‌ها کم می‌شود و در مواقعی باکتری‌ها از بین می‌روند [۹]. پژوهش اخیر نوروزی و همکاران (۲۰۱۷) نیز رابطه معکوس عمق با میزان کلیفرم را مشخص کرد [۱۹]. همچنین، میزان فشار از عمق صفر تا ۱۵ متری از میانگین فشار کمتر و از عمق ۱۵ تا ۳۵ متری بیشتر بوده است.

همچنین، نمودار تغییرات کلیفرم کل در پژوهش حاضر، با توجه به شکل ۸ نشان‌دهنده تغییرات غیریکنواخت پارامتر اشاره شده در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد و شیب‌های غیریکنواخت افزایشی یا کاهش آن است. به طوری که مقدار آن در خردادماه در عمق صفر و ۲۰ متری افزایش یافته، و در بقیه اعماق، کلیفرم کل صفر است. همچنین، میزان کلیفرم کل در عمق صفر و ۲۰ متری، از میانگین کل فاکتور کلیفرم کل در خردادماه بیشتر است. همچنین، در تیرماه از عمق صفر تا ۶ متری، میزان کلیفرم کل به طور یکنواخت افزایش می‌یابد و در عمق ۱۰ متری به بیشترین مقدار خود می‌رسد. همچنین، در عمق‌های ۱۵ تا ۲۵ متری، کلیفرم کل صفر است و در عمق ۳۵ متری، افزایش نشان می‌دهد. در ادامه و در تیرماه، مشاهدات نشان می‌دهد از عمق‌های صفر تا ۱۰ و ۳۵ متری پارامتر کلیفرم کل، از میانگین کل آن بیشتر، و در عمق ۱۵ تا ۲۵ متری از میانگین کل پارامتر بررسی شده کمتر است. در دوره سوم (مرداد) پژوهش، پارامتر کلیفرم کل، در سطح به بیشترین مقدار خود رسیده و در اعماق صفر تا ۱۰ متری و ۳۵ متری از میانگین کل پارامتر تحقیق، بیشتر و در بقیه اعماق کوچک‌تر است. اسلام و همکاران (۲۰۱۷) نیز در مطالعه‌ای در رودخانه بتنا، در جنوب غربی بنگلادش که تقریباً هرساله با وقوع سیل همراه بوده است، با استفاده از نمونه‌های برداشت شده از سطح به صورت ماهانه از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵ از ۱۵ ایستگاه در کنار رودخانه و آزمایش و



شکل ۸. تغییرات کلیفرم کل نسبت به عمق در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد

در ادامه پژوهش نیز چرخه هیدرواکولوژیکی کلیفرم مدفوعی را می‌توان با تجزیه و تحلیل متغیرهای مهم، در مدل‌های پیش‌بینی و شناسایی عوامل تأثیرگذار از طریق پایش میدانی توضیح داد [۲۶]. به طوری که با آنالیز رگرسیون خطی، مشخص شد بین پارامتر یادشده، یعنی آلودگی مدفوعی غیرنقطه‌ای، کیفیت آب‌های ساحلی و وضعیت جمعیت صخره‌های مرجانی، ارتباط معناداری وجود دارد [۲۷]. همچنین، آلودگی مدفوعی تهدیدکننده منابع آب زیرزمینی است [۲۸]. با توجه به تحقیق حاضر در زمینه کلیفرم مدفوعی، در یکی از منابع آب سطحی کشور، یعنی سد سبلان، در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد و مشاهده نمودار شیب غیریکنواخت افزایش یا کاهش پارامتر یادشده در عمق‌های مختلف نتایج مختلفی به دست آمد (شکل ۹). در خردادماه از عمق صفر تا ۳۵ متر کلیفرم مدفوعی صفر و از میانگین کل کلیفرم مدفوعی کمتر است. کلیفرم مدفوعی در ماه‌های تیر و مرداد در عمق صفر و ۱۰ متری بیشترین مقدار و در بقیه اعماق، صفر است. همچنین، کلیفرم مدفوعی در عمق صفر و ۱۰ متری از مقدار میانگین کل کلیفرم مدفوعی بیشتر و در بقیه اعماق، کمتر است.

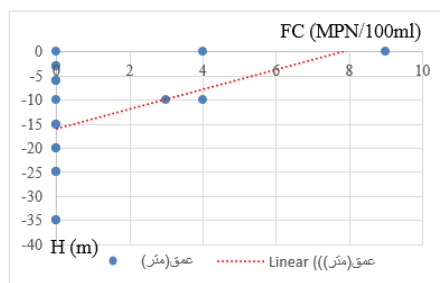
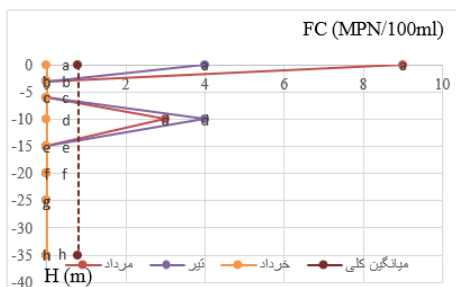
سپس در بررسی نتایج، تحلیل رگرسیون داده‌ها برای کلیفرم کل در سه دوره (خرداد، تیر، مرداد) بررسی شده، شامل معادله رگرسیون و مقدار R^2 ارائه شد و همان‌طور که ملاحظه شد، برای توصیف رابطه عمق و کلیفرم کل، در بازه اول و سوم، مدل لگاریتمی و در بازه دوم، مدل درجه دوم مناسب‌تر است. همچنین، به‌رغم شیب غیریکنواخت افزایش و کاهش مقدار پارامتر کلیفرم، با توجه به معادلات ۹-۱۲، متغیر مستقل و وابسته ارتباط معکوس با هم دارند، یعنی هر چه به عمق می‌روند، کلیفرم کل کاهش می‌یابد. در ادامه، معادله رگرسیون کلیفرم کل، نسبت به عمق مخزن سد سبلان به طور کلی در کل سه ماه، قابل مشاهده است (معادلات ۹-۱۲).

$$TC = -508 \log(D) + 1.98 \quad (R^2=0.267) \quad (9)$$

$$TC = 0.008D^2 - 0.362D + 5.67 \quad (R^2=0.225) \quad (10)$$

$$TC = -2.489 \log(D) + 8.91 \quad (R^2=0.780) \quad (11)$$

$$TC = -1.143 \ln(D) + 4.9457 \quad (R^2 = 0.296) \quad (12)$$



شکل ۹. تغییرات FC نسبت به عمق در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد

(۲۰۱۷) در امتداد خلیج فارس در مناطق ساحلی بوشهر و با ۴۸ نمونه‌های آب استخراج‌شده از ۸ ایستگاه، و از عمق‌های ۰، ۴، ۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰ متری، از ژوئن تا سپتامبر ۲۰۱۴ نیز مشخص شد که با کاهش شوری، میزان کلیفرم افزایش می‌یابد [۱۹]. همچنین، طی پژوهشی توسط پین‌چاود و همکاران (۱۹۹۴) تأثیر شوری بر باکتری‌ها از سپتامبر ۱۹۰۱ تا آگوست ۱۹۹۲ به صورت ماهانه در رودخانه سن لارنس بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد بر اساس شوری ۰/۰۲، رشد باکتری‌ها افزایش یافت، که دلیل آن ناشناخته است. همچنین، نتایج نشان داد

در ادامه، برای بررسی بیشتر نتایج، با استفاده از تحلیل رگرسیون داده‌ها برای FC در سه دوره (خرداد، تیر، مرداد)، معادله رگرسیون و مقدار R^2 در این فواصل ارائه شد. به طوری که ملاحظه شد در هر دوره مقدار R^2 برای مدل لگاریتمی بیشتر از دو مدل دیگر است (معادله‌های ۱۳-۱۵). بنابراین، برای توصیف رابطه عمق و FC، مدل لگاریتمی مناسب‌تر است. همچنین، با توجه به معادله‌های ۱۳-۱۵، متغیر مستقل و وابسته ارتباط معکوس با هم دارند، یعنی با افزایش عمق، کلیفرم مدفوعی کاهش می‌یابد. البته، با بررسی پژوهش نوروژی و همکاران

نشان می‌دهد. به این صورت که اعماق ۰، ۳، ۶ و ۱۰ متر در یک خوشه، و اعماق ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۵ متر در خوشه دیگر قرار می‌گیرند. به بیان دیگر، داده‌ها در دو خوشه کلی دسته‌بندی می‌شوند، که این دو خوشه عبارت‌اند از: عمق‌های کمتر از ۱۰ متر و عمق‌های بیشتر از ۱۰ متر، که محور افقی مقیاس ثابت صفر تا ۲۵ در SPSS است، که هرچه شاخه‌ها مشابه‌تر باشند، به مقیاس صفر نزدیک‌تر و ابعاد شاخه‌ها کوچک‌تر، و هرچه تشابه اعماق کمتر باشد، به مقیاس ۲۵ نزدیک‌تر می‌شوند و ابعاد شاخه بزرگ‌تر می‌شود. در این بخش درصد تشابه با عدد بیشترین تشابه در مقیاس صدواحدی در نظر گرفته شده است، که با درصد اعتمادپذیری ۹۸ درصد متناظر است. همچنین، دندروگرام بین متغیرهای مختلف، در شکل ۱۱ (ب) قابل مشاهده است. با توجه به این نمودار، دیده می‌شود که متغیرها در دو خوشه دسته‌بندی می‌شوند، به این صورت که فشار در یک خوشه و سایر متغیرها شامل دما، کلیفرم مدفوعی، کلیفرم کل، pH، اکسیژن محلول، EC و TDS در خوشه دیگر قرار می‌گیرند.

رگرسیون چندگانه

با توجه به اینکه، تحلیل رگرسیون به منظور سنجش تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته به کار می‌رود و به طور کلی، در روش‌های آماری برای بررسی تأثیر چند متغیر مستقل بر یک متغیر وابسته، از تحلیل رگرسیون چندمتغیره استفاده می‌شود، در جدول ۱، خلاصه توصیفی از متغیرهای پژوهش، در همین قالب، ارائه شده است.

شوری ۰/۱۰ تغییر در رشد باکتری‌ها ایجاد نمی‌کند. همچنین، در ادامه مشخص شد شوری ۰/۲۰ سبب از بین رفتن باکتری‌ها شده است [۲۹]. در تحقیق حاضر، معادلات رگرسیون کلیفرم مدفوعی نسبت به عمق مخزن سد سبلان در دو دوره تیر و مرداد و بازه کلی، به شکل زیر به دست آمدند (معادلات ۱۳-۱۵). شکل معادلات برای استفاده خطی، لگاریتمی انتخاب شد تا قابل ارزیابی و مقایسه با منابع مشابه باشد.

$$Fc = -0.62 \log(D) + 2.19 \quad (R^2=0.397) \quad (13)$$

$$Fc = -1.486 \log(D) + 4.335 \quad (R^2=0.761) \quad (14)$$

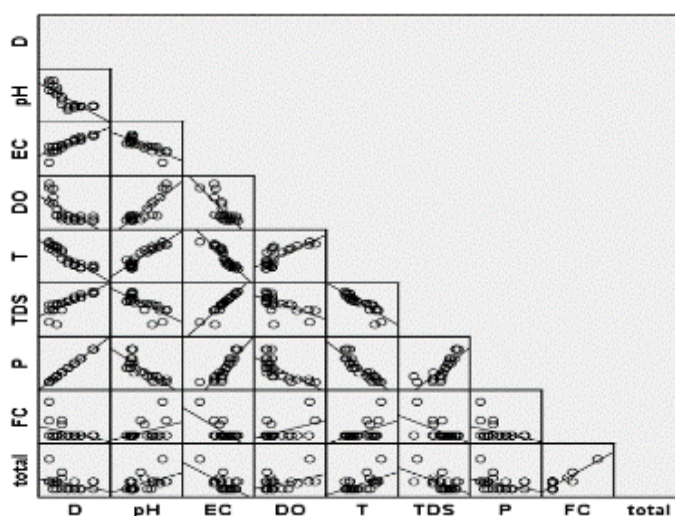
$$Fc = -0.702 \ln(D) + 2.1817 \quad (R^2 = 0.3481) \quad (15)$$

نتایج تحلیل همبستگی داده‌ها

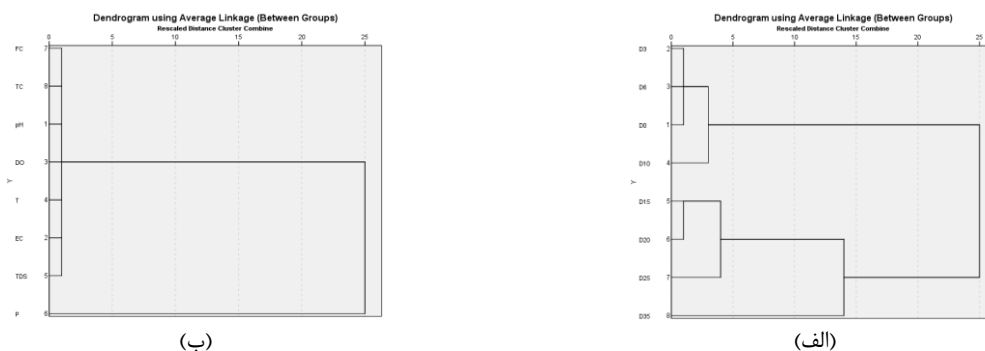
داده‌های دوره‌های خرداد، تیر و مرداد، با استفاده از روش تحلیل همبستگی پیرسون آنالیز شدند. همچنین، شکل ۱۰ نشان دهنده ارتباط بین متغیرهاست. به طوری که ارتباط بین متغیرهای عمق با EC، TDS، pH، P و DO با pH؛ T و EC با TDS و فشار؛ DO با TDS؛ T با فشار؛ و FC با کلیفرم کل، مستقیم بوده؛ و عمق با pH؛ T، pH با EC و TDS و فشار؛ EC با DO، T؛ و T با TDS و فشار معکوس است.

تحلیل خوشه‌ای

در پژوهش حاضر، برای تحلیل خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی از نرم‌افزار SPSS و روش Agglomeration استفاده شده است. شکل ۱۱ (الف) دندروگرام بین اعماق مختلف را



شکل ۱۰. ماتریس نمودارهای پراکنش متغیرهای بررسی‌شده در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد



شکل ۱۱. تحلیل خوشه‌ای بین (الف) اعماق (ب) متغیرها

جدول ۱. خلاصه توصیفی متغیرهای پژوهش

TC	FC	P	TDS	T	DO	EC	pH	D	
۲/۷۵	۰/۸۳	۱۴۲۵۰۰/۰۰	۶۲۶/۳۸	۱۴/۵۱	۵/۱۰	۸۳۵/۱۷	۸/۲۵	۱۴/۲۵	میانگین
۳/۷۸	۲/۱۴	۱۱۳۹۵۰/۷۹	۹۰/۹۶	۷/۳۳	۳/۶۸	۱۲۱/۲۸	۰/۷۹	۱۱/۴۰	انحراف معیار
.	.	.	۳۷۲	۴/۹	۲/۲	۴۹۶	۷/۳۲	.	کمترین
۱۶	۹	۳۵۰۰۰۰	۷۶۸	۲۶/۵	۱۴	۱۰۲۴	۹/۷	۳۵	بیشترین
۱/۳۷	۲/۵۷	۰/۸۰	۰/۱۵	۰/۵۱	۰/۷۲	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۸۰	ضریب تغییرات

$$FC_m = 0.4756 \ln(FC_c) - 0.3084 \quad (R^2 = 0.0365) \quad (۱۹)$$

در ادامه، به منظور شناسایی و حذف متغیرهای کم‌اثر، از تحلیل رگرسیون به روش Backward استفاده شد. نتایج تحلیل رگرسیون به روش Backward کلیفرم کل روی سایر متغیرها نیز نشان داد متغیرهای مؤثر عبارت‌اند از: جامد محلول و فشار. بنابراین، معادله رگرسیون برای کلیفرم کل به صورت معادله ۲۰ است:

$$TC = 85.453 - 1.480TDS + 0.658P \quad (R^2 = 0.586) \quad (۲۰)$$

در ادامه با برازش معادلات خطی (۲۱)، درجه دو (۲۲) و لگاریتمی (۲۳) ارتباط نتایج محاسباتی و سنجیده‌شده مشخص شد.

$$TC_M = 0.1123TC_C + 1.18 \quad (R^2 = 0.0488) \quad (۲۱)$$

$$TC_M = -0.019TC_C^2 + 0.6051TC_C - 1.0374 \quad (R^2 = 0.1064) \quad (۲۲)$$

$$TC_M = 1.1249 \ln(TC_C) + 0.0301 \quad (R^2 = 0.063) \quad (۲۳)$$

در نهایت، نتایج اندازه‌گیری شده و محاسباتی کلیفرم مدفوعی و کلیفرم کل در قالب نمودار ذیل ارائه شد (شکل ۱۲).

کلیفرم‌های مدفوعی و کل

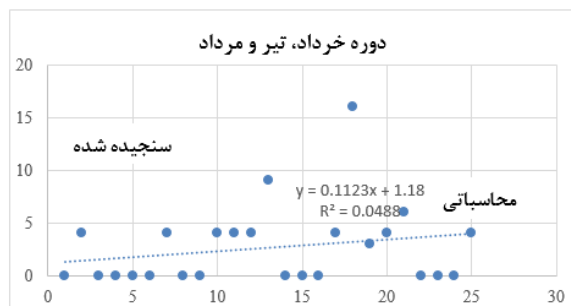
با بررسی نتایج تحلیل رگرسیون کلیفرم مدفوعی روی سایر متغیرها، مشخص شد که اگر مقدار معناداری کوچک‌تر از ۰/۰۵ باشد، متغیر مربوطه در سطح خطای ۵ درصد و اگر مقدار معناداری کوچک‌تر از ۰/۱ باشد، متغیر مربوطه در سطح خطای ۱۰ درصد معنادار است. همچنین، بیشتر متغیرها در مدل معنادار نیستند. بنابراین در ادامه، به منظور شناسایی و حذف متغیرهای کم‌اثر، از تحلیل رگرسیون به روش Backward استفاده شده است. با توجه به نتایج تحلیل رگرسیون به روش Backward تأثیر کلیفرم مدفوعی بر سایر متغیرها ملاحظه شد (متغیرهای مؤثر: جامد محلول و فشار). پس، معادله رگرسیون برای کلیفرم مدفوعی به صورت معادله ۱۶ است:

$$FC = 77.958 - 1.475TDS + 0.640P \quad (R^2 = 0.592) \quad (۱۶)$$

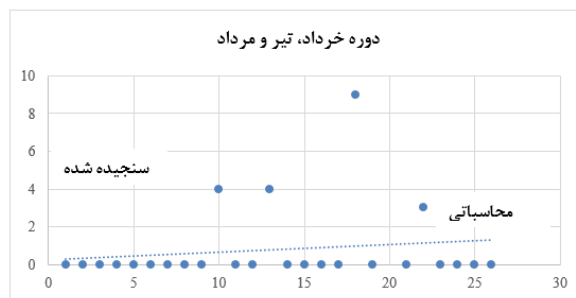
سپس، ارتباط نتایج محاسباتی و سنجیده‌شده، با برازش معادلات خطی (۱۷)، درجه دو (۱۸) و لگاریتمی (۱۹) ارائه شد.

$$FC_m = 0.0389FC_c + 0.2848 \quad (R^2 = 0.0203) \quad (۱۷)$$

$$FC_m = -0.0106FC_c^2 + 0.3252FC_c - 1.0515 \quad (R^2 = 0.0892) \quad (۱۸)$$



(ب)



(الف)

شکل ۱۲. مقایسه نتایج اندازه‌گیری شده و محاسباتی (الف) کلیفرم مدفوعی و (ب) کل

نتیجه‌گیری

در عمق نیز مؤید این مطلب است [۱۸، ۳۰ و ۳۱]. هدایت الکتریکی نیز طی بررسی‌های حاضر و پژوهش‌های هرفورت و همکاران (۲۰۱۷)، نوروزی و همکاران (۲۰۱۷)، یان و همکاران (۲۰۱۵) با عمق ارتباط مستقیم دارد [۱۸، ۱۹ و ۲۵]، اما با افزایش شوری، باکتری‌ها با توجه به خروجی تحقیقات باسین و همکاران (۲۰۱۲) و بینگهام و همکاران (۲۰۱۴) کاهش می‌یابند [۲۳ و ۳۲]. همچنین، رابطه دما با pH نیز با توجه به خروجی تحقیقات ریورا و همکاران (۲۰۱۷) نیز معکوس بوده است [۱۷]. در مقابل، پارامترهای کل جامدات محلول و عمق نیز با توجه به نتایج پژوهش اخیر، و نتایج پژوهش نوروزی و همکاران (۲۰۱۷)، هرفورت و همکاران (۲۰۱۷) و یان و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان داد ارتباط مستقیمی بین عمق و کل مواد جامد محلول وجود دارد [۱۸، ۱۹ و ۲۵]. فشار هم با توجه به رابطه مستقیم و معروف آن با عمق، و نتایج اخیر با افزایش عمق افزایش می‌یابد، که این افزایش فشار هیدرواستاتیکی موجب از بین رفتن یا کاهش [۱۹] جمعیت باکتری‌ها می‌شود. در نهایت، متغیرهای کلیفرم کل و مدفوعی با بررسی دقیق نمودارها، آنالیز معادلات رگرسیون و تحلیل همبستگی به روش Backward در قالب معادلات به‌دست‌آمده $TC=85.453-1.480TDS+0.658P$ $R^2 = 0.586$ و $FC=77.958-1.475TDS+0.640P$ با متغیرها و پارامترهای کیفی آب ارائه شد. در پایان، با تحلیل مطالعه و نیز مقایسه نتایج آزمایشگاهی پژوهش‌های گذشته مشخص شد که روند تغییرات از سطح به کف مخزن برای پراکنش کلیفرم‌ها کاهش یافته است، ولی این افزایش و کاهش کلیفرم به صورت نامتوازن بوده است.

تجزیه و تحلیل نتایج تحقیق حاضر به منظور شناسایی روابط بین متغیرهای بیولوژیکی کیفی آب با محوریت کلیفرم‌های مدفوعی [۲۷] با سایر متغیرهای فیزیکی و پارامترهای هیدرولیکی در پروفیل عمودی مخازن آب شرب در قالب یک مطالعه میدانی با ۳ نوبت برداشت ماهانه منظم انجام شد. یافتن الگوی توزیع عمودی یا لایه‌بندی بیولوژیکی متغیر شاخص آلودگی میکروبیولوژیکی نیز به عنوان یکی دیگر از محورهای پژوهش حاضر بررسی شد. فرضیات اولیه، مبنی بر ارتباطات یادشده بر اساس مطالعات پیشین شکل گرفت و نتایج تا حدی ارتباط بین متغیرهای مؤثر بر رشد و جمعیت میکروبی را با عمق تأیید کردند. در تحقیق حاضر، پس از ارزیابی مشخصات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب، در مخزن سد سبلان، در قالب مطالعه متغیرهای فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی، به یافتن ارتباط بین متغیرها و هدف اصلی پژوهش، یعنی پراکنش کلیفرم‌ها در لایه‌های مختلف آب پرداخته شد. با توجه به نتایج یادشده، معادلات رگرسیون و تحلیل‌های همبستگی، ضمن مقایسه نتایج پژوهش انجام‌شده با یافته‌های محققان دیگری همچون همینگ و همکاران (۲۰۱۷) و لینگ و همکاران (۲۰۱۷) نیز مشخص شد که در این مخزن عمق با pH رابطه معکوس دارد [۱۴ و ۱۷]. نتایج مشابه در مورد رابطه معکوس اکسیژن محلول و عمق، و دما با عمق نیز به دست آمده است، که در مورد کاهش دما با افزایش عمق، نتایج لونبورگ و همکاران (۲۰۱۷)، هرفورت و همکاران (۲۰۱۷) و دورای بابو و همکاران (۲۰۱۷) با توجه به عدم نفوذ نور خورشید به عنوان منبع اولیه انرژی حرارتی و شاخص دما

- study of Kenya, Africa. *Sci African*. 2019; 2:e00018.
- [2]. Aguilera R, Gershunov A, Benmarhnia T. Atmospheric rivers impact California's coastal water quality via extreme precipitation. *Sci Total Environ*. 2019; 671:488–94 .
- [3]. Canizalez-Roman A, Velazquez-Roman J, Valdez-Flores MA, Flores-Villaseñor H, Vidal JE, Muro-Amador S, et al. Detection of antimicrobial-resistance diarrheagenic *Escherichia coli* strains in surface water used to irrigate food products in the northwest of Mexico. *Int J Food Microbiol*. 2019; 304:1–10 .
- [4]. Wang J, Deng Z. Modeling and predicting fecal coliform bacteria levels in oyster harvest waters along Louisiana Gulf coast. *Ecol Indic*. 2019; 101:212–20 .
- [5]. Buckley R, Clough E, Warnken W, Wild C. Coliform bacteria in streambed sediments in a subtropical rainforest conservation reserve. *Water Res*. 1998; 32(6):1852–6 .
- [6]. Baghel VS, Gopal K, Dwivedi S, Tripathi RD. Bacterial indicators of faecal contamination of the Gangetic river system right at its source. *Ecol Indic*. 2005; 5(1):49–56 .
- [7]. Abdel-satar AM, Ali MH, Goher ME. Indices of water quality and metal pollution of Nile, River, Egypt. 2017; 21–9 .
- [8]. Huachang H, Qiu J-W, Liang Y. Environmental factors influencing the distribution of total and fecal coliform bacteria in six water storage reservoirs in the Pearl River Delta Region, China. *J Environ Sci (China)*. 2010; 22:663–8 .
- [9]. Marietou A, Bartlett DH. Effects of High Hydrostatic Pressure on Coastal Bacterial Community Abundance and Diversity. Kostka JE, editor. *Appl Environ Microbiol*. 2014; 80(19):5992–6003 .
- [10]. Vignesh S, Dahms H, Kim B, James RA. Microbial Effects on Geochemical Parameters in a Tropical River Basin. 2015; 100:125–44 .
- [11]. Gautam B, Kasi M, Lin W. Determination of Fecal Coliform Loading and its Impact on River. *Dep Civ Eng North Dakota Stte Univ Fargo*. 2006; 3851–74 .
- [12]. Molina F, López-Acedo E, Tabla R, Roa I, Gómez A, Rebollo JE. Improved detection of *Escherichia coli* and coliform bacteria by multiplex PCR. *BMC Biotechnol*. 2015; 15(1):48 .
- [13]. Hosseini ST, Chegini V. Seasonal Variation of Physicochemical Parameters in the Coastal

در نتیجه، نمی‌توان الگوی خطی خاصی برای پراکنش کلیفرم‌ها در نظر گرفت، اما کلیفرم مدفوعی و کلیفرم کل با T به عنوان مهم‌ترین عامل غیر زنده در مرگ کلیفرم مدفوعی، Do و pH رابطه مستقیم و با EC، TDS و فشار رابطه‌ای معکوس دارند و می‌توان در اخذ خروجی متناسب با کارکرد تصفیه آب، از نتایج پژوهش حاضر استفاده و به منظور مدیریت بهینه از آن استفاده کرد. برای مثال، کلیفرم‌ها تا حدی، در پاییز و با کاهش دما نسبت به تابستان، به کمترین حد خود می‌رسند. از طرف دیگر، ردیابی و مطالعه منبع آلودگی مدفوعی (FST)، و اقدام به از بین بردن آن، برای بهبود سلامت انسان و پایداری محیط زیست اهمیت دارد [۳۳]. در جمع‌بندی کاربردی پیشنهاد میشود با توجه به تأثیرات فصول مختلف روی لایه‌های مختلف ستون آب، آثار دما در کلیه فصول سال بررسی شود. همچنین، تدوین دستورالعمل‌های بیولوژیکی برای تلاش به منظور حذف آلودگی شاخص میکروبی (کلیفرم)؛ ارزیابی آثار تجمع فلزات سنگین در اعماق مختلف و مقایسه آن با متغیرهای بیولوژیکی در تحقیقات مشابه دیگر؛ و تحقیق در مورد کلیه سدهای ایران از نظر بیولوژیکی، عوامل فیزیکی، شیمیایی و فلزات سنگین، برای شناخت خصوصیات آب و تأثیرات آنها روی کارکرد زیست‌محیطی مخازن، از جمله موارد مرتبط برای پژوهش در این زمینه است که با اضافه کردن برنامه پایش عمقی در ارزیابی پراکنش این دسته از متغیرها می‌توان مناسب‌ترین اعماق را از نظر آلاینده‌های میکروبیولوژیکی به معیارهای تراز آبگیری اضافه کرد.

تشکر و قدردانی

تحقیق حاضر برگرفته از طرح پژوهشی مصوب آب منطقه‌ای اردبیل تحت عنوان "مدل‌سازی رتبه کاسته تغذیه‌گرایی و کیفی سدهای مهم استان) مطالعه موردی: سد سبلان" به قرارداد شماره ۹۶/۲/۷۳۳/۹۰۰ مورخ ۱۳۹۶/۰۲/۰۴ می‌باشد. بنابراین نگارندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از آب منطقه‌ای اردبیل جهت تامین مالی این تحقیق ابراز می‌دارند.

منابع

- [1]. Sila ON. Physico-chemical and bacteriological quality of water sources in rural settings, a case

- [24]. Kim G, Choi E, Lee D. Diffuse and point pollution impacts on the pathogen indicator organism level in the Geum River, Korea. *Sci Total Environ*. 2005; 350:94–105 .
- [25]. Yan S, Yu S-E, Wu Y, Pan D, She D, Ji J. Seasonal Variations in Groundwater Level and Salinity in Coastal Plain of Eastern China Influenced by Climate. *J Chem*. 2015; 2015:1–8.
- [26]. Choi SY, Seo IW. Prediction of fecal coliform using logistic regression and tree-based classification models in the North Han River, South Korea. *J Hydro-environment Res*. 2018; 21:96–108 .
- [27]. Norat-Ramírez J, Méndez-Lázaro P, Hernández-Delgado EA, Mattei-Torres H, Cordero-Rivera L. A septic waste index model to measure the impact of septic tanks on coastal water quality and coral reef communities in Rincon, Puerto Rico. *Ocean Coast Manag*. 2019; 169:201–13 .
- [28]. Díaz-Alcaide S, Martínez-Santos P. Mapping fecal pollution in rural groundwater supplies by means of artificial intelligence classifiers. *J Hydrol*. 2019; 577:124006 .
- [29]. Painchaud J, Therriault J, Legendre L. Assessment of salinity-related mortality of freshwater bacteria in the saint lawrence estuary. *Appl Environ Microbiol*. 1995; 61(1):205–8 .
- [30]. Lønborg C, Cuevas L, Reinthaler T, Herndl G, Gasol J, Morán XA, et al. Depth Dependent Relationships between Temperature and Ocean Heterotrophic Prokaryotic Production. *Front Mar Sci*. 2016; 3 .
- [31]. Duraibabu DB, Leen G, Toal D, Newe T, Lewis E, Dooly G. Underwater Depth and Temperature Sensing Based on Fiber Optic Technology for Marine and Fresh Water Applications. *Sensors*. 2017; 17:1228 .
- [32]. Bingham FM, Busecke J, Gordon AL, Giulivi CF, Li Z. The North Atlantic subtropical surface salinity maximum as observed by Aquarius. *J Geophys Res Ocean*. 2014; 119(11):7741–55 .
- [33]. González-Saldía RR, Pino-Maureira NL, Muñoz C, Soto L, Durán E, Barra MJ, et al. Fecal pollution source tracking and thalassogenic diseases: The temporal-spatial concordance between maximum concentrations of human mitochondrial DNA in seawater and Hepatitis A outbreaks among a coastal population. *Sci Total Environ*. 2019; 686:158–70.
- Water around the Bushehr Peninsula. *J Oceanogr*. 2014; 5(17). [Persian.]
- [14]. Hemming MP, Kaiser J, Heywood KJ, Bakker DCE, Boutin J, Shitashima K, et al. Measuring pH variability using an experimental sensor on an underwater glider. *Ocean Sci*. 2017; 427–42 .
- [15]. Mena-Rivera L, Salgado-Silva V, Benavides-Benavides C, Coto-Campos JM, Swinscoe THA. Spatial and Seasonal Surface Water Quality Assessment in a Tropical Urban Catchment: Burío River, Costa Rica. *Water*. 2017; 9(8).
- [16]. Company ACE. Studies of the second phase of Sabalan Dam Project .
- [17]. Ling T, Gerunsin N, Soo C, Nyanti L, Sim S, Grinang J. Seasonal Changes and Spatial Variation in Water Quality of a Large Young Tropical Reservoir and Its Downstream River. 2017 .
- [18]. Herfort L, Crump BC, Fortunato CS, Mccue LA, Campbell V, Simon HM, et al. Factors affecting the bacterial community composition and heterotrophic production of Columbia River estuarine turbidity maxima. 2017;(February):1–15 .
- [19]. Noroozi Karbasdehi V, Dobaradaran S, Nabipour I, Ostovar A, Arfaenia H, Vazirizadeh A, et al. Indicator bacteria community in seawater and coastal sediment : the Persian Gulf as a case. *J Environ Heal Sci Eng*. 2017; 1–15 .
- [20]. Chigbu P, Gordon S, Tchounwou PB. The Seasonality of Fecal Coliform Bacteria Pollution and its Influence on Closures of Shellfish Harvesting Areas in Mississippi Sound. *Int J Environ Res Public Health*. 2005; 2(2):362–73 .
- [21]. Islam MMM, Hofstra N, Islam A. The Impact of Environmental Variables on Faecal Indicator Bacteria in the Betna River Basin , Bangladesh. *Cross Mark*. 2017; 319–32 .
- [22]. Shamsaei H, Jaafar O, Basri N. Disadvantage Pressure Changes on the Decline of Water Quality in Water Distribution Systems. *Engineering*. 2013; 05:97–105 .
- [23]. Bassin JP, Kleerebezem R, Muyzer G, Rosado AS, van Loosdrecht MCM, Dezotti M. Effect of different salt adaptation strategies on the microbial diversity, activity, and settling of nitrifying sludge in sequencing batch reactors. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2012; 93(3):1281–94.