# PATHOGEN REMOVAL MECHANISMS IN ANOXIC WASTEWATER STABILIZATION PONDS

**A. Almasi (Ph.D)**

*Assist. Prof., Kermanshah University of Medical Sciences*

**ABSTRACT**

*Anoxic wastewater stabilization ponds can reduce land requirements by as much as two-thirds of that required for facultative ponds and can avoid the environmental nuisances of odour and corrosion, compared with anaerobic ponds. When effluent reuse is to be considered, the aim of wastewater treatment is not only to reducse degradable organic matter but also to remove pathogenic microorganisms. There are many pathogenic agents in domestic sewage and determination of all of them is not practically feasible. So, faecal coliform organisms are normally estimated as indicators of health risk.*

*It has been found that the volumetric organic loading on ponds affects pathogen removal inversely and temperature has a positive effect. This was confirmed in the present studies on "anoxic" ponds and, in addition, other environmental factors (light, pH, DO and ORP) were found to have influenced pathogen removal in these ponds, which were loaded in the range between conventional loadings for anaerobic and facultative stabilization ponds. However, pathogen removal in anoxic ponds was not found to be significantly better or worse than anaerobic or primary facultative ponds and, therefore, maturation ponds would be required following anoxic ponds to achieve an effluent quality suitable for unrestricted irrigation.*

# مکانیسم حذف عوامل بیماریزا در برکه‌های تثبیت با فقر اکسیژن

علی الماسی*

## چکیده

*برکه‌های تثبیت با فقر اکسیژن[1] نیاز به زمین را نسبت به برکه‌های اختیاری تقلیل می‌دهند و در مقایسه با برکه‌های تثبیت بیهوازی از مزاحمتهای زیست محیطی، همانند بو و خورندگی کمتری برخوردارند. هنگامی که استفاده مجدد پساب مورد نظر است نه تنها کاهش مواد آلی تجزیه‌پذیر فاضلاب بلکه حذف میکروارگانیسمهای بیماریزا نیز مد نظر قرار می‌گیرد. عوامل بیماریزای زیادی در فاضلاب خانگی وجود دارد که تشخیص همه آنها عملاً امکان‌پذیر نیست. بنابراین میکروارگانیسمهای کلیفرم مدفوعی معمولاً به عنوان شاخص آلودگی مدفوعی معرفی می‌گردند.*

*بار آلی و درجه حرارت در برکه‌های تثبیت به عنوان دو فاکتور مؤثر در حذف عوامل بیماریزا شناخته شده‌اند. مطالعه انجام شده در مورد برکه‌های تثبیت با فقر اکسیژن نشان می‌دهد که علاوه بر فاکتورهای فوق، عوامل محیطی (نور، pH، DO و ORP[2]) در حذف عوامل بیماریزا تأثیر دارند. حذف عوامل بیماریزا در برکه‌های با فقر اکسیژن عمدتاً شبیه حذف در برکه‌های بیهوازی و یا برکه‌های اختیاری اولیه می‌باشد. لذا احداث برکه‌های تکمیلی (هوازی) بعد از برکه‌های با فقر اکسیژن جهت دستیابی به پساب مطلوب برای آبیاری لازم است.*

### مقدمه

حذف باکتریهای مدفوعی در برکه‌های تثبیت بستگی به فاکتورهای مختلفی دارد که به تنهایی و یا با هم عمل می‌نمایند. فاکتورهای اصلی که اثر عمده‌ای بر مرگ و میر باکتری مدفوعی دارند عبارتند از:

### ۱ـ بار آلی

سیلوا[۱] در سال ۱۹۸۲ بر اساس فرضیه "مارا" در سال ۱۹۷۴ برای برکه‌های تثبیت اختیاری اولیه افزایش میزان حذف کلیفرم مدفوعی ($K_b$) از ۲/۷ به $10/4 d^{-1}$ را تابع کاهش بار آلی از ۵۷/۷ به ۱۶/۲ گرم $BOD_5/m^3.d$ نشان داد. ساکار و پسکاد[۲] در سال ۱۹۹۲ در برکه‌های تثبیت ثمرا در اردن دریافتند که میزان حذف کلیفرم مدفوعی ($K_b$) در برکه‌های بیهوازی حداقل و در برکه‌های هوازی به حداکثر خود می‌رسد.

### ۲ـ اشعه خورشید

اشعه ماوراء بنفش خورشید (طول موج بین ۲۸۰ تا ۳۲۰nm) عمدتاً یک گندزدای قوی بوده و اگر در آب نفوذ کند نقش مهمی در حذف کلیفرم مدفوعی خواهد داشت. موله و کالکین (۱۹۸۰)[۳] در یک بررسی نشان دادند که باکتری مدفوعی در ۱۰ سانتیمتری لایه اول سطح برکه تکمیلی کمتر از ۰/۰۰۰۰۲ درصد، در ۱۰ سانتیمتر لایه دوم از سطح کمتر از ۵ درصد و در پایینتر از ۳۰ سانتیمتر ۱۰۰ درصد وجود دارد.

---

*- استادیار دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه

1- Anoxic  2- Oxidation Reduction Potential

### pH ـ۳

اشعه خورشید و فعالیت جلبکها (pH بالاتر از ۹/۸) در مرگ و میر باکتریایی در برکه‌های تثبیت فاضلاب مؤثرند [۴]. افزایش مقدار pH دلالت بر فعالیت جلبکها در حضور نور خورشید دارد. پیرسون و همکاران[۵](۱۹۸۷) هم در مطالعه آزمایشگاهی و هم در مطالعه در کشور پرتقال مشاهده کردند که pH یک فاکتور مؤثر برای کاهش کلیفرم در برکه‌هاست. آنها مقدار pH برابر با ۹ یا بیشتر از آن را به عنوان یک فاکتور تعیین کننده در مرگ و میر کلیفرم برکه‌های تثبیت فاضلاب معرفی کردند.

### ۴ـ اکسیژن محلول

گزارشات مارایز[۶] در سال ۱۹۷۴ و فیچم و همکاران[۷] در سال ۱۹۸۳ حاکی از آن است که تحت شرایط هوازی خصوصاً در جاهایی که DO فوق اشباع است، مرگ و میر کلیفرم افزایش می‌یابد. در مقابل این گزارش پیرسون و همکاران[۵] در سال ۱۹۸۷ بر اساس مطالعات آزمایشگاهی اثر غلظت اکسیژن محلول بالا را در حذف عوامل بیماریزا در pH برابر ۹ نشان دادند.

### ۵ـ ته‌نشینی

اکثر سلولهای باکتریایی در اثر انعقاد ته‌نشین می‌شوند. این عمل به دلیل واکنشهای فیزیکوشیمیایی در برکه‌های تثبیت است. بنابراین ته‌نشینی یک فاکتور مؤثر دیگر در حذف کلیفرم مدفوعی خصوصاً در برکه‌های اولیه محسوب می‌گردد. بر طبق گزارش جیمز[۸] در سال ۱۹۸۷ حدود ۵۰ درصد باکتریهای مدفوعی در عمل ته‌نشینی حذف می‌شوند. همچنین حذف باکتری حدود ۹۰ درصد در استفاده از برکه‌های ته‌نشینی با زمان ماند هیدرولیکی ۲ تا ۳ روز برای تصفیه فاضلاب خانگی توسط سوارز[۹] در سال ۱۹۸۵ گزارش شده است.

### ۶ـ قدرت اکسیداسیون و احیا

کلاک[۱۰] در سال ۱۹۷۴ به یک رابطه معکوس بین مرگ و میر کلیفرم مدفوعی و پتانسیل اکسیداسیون ـ احیا در برکه‌های تثبیت اشاره کرد.

### ۷ـ اثر غلظت پایین مواد غذایی بر مرگ و میر کلیفرمها

تحقیقات زیادی اثر کم غذایی بر مرگ و میر باکتری را به عنوان یکی از فاکتورهای مؤثر در کشتن باکتری در آب دریا و آب شیرین به اثبات رسانده‌اند[۱۱]. جیمز[۸] پیشنهاد کرد که پایین نگهداشتن غلظت مواد آلی ($BOD_5$ کمتر از ۲۰mg/l) در برکه‌های تثبیت باعث کشتن سریع کلیفرم مدفوعی می‌شود. ولی نگهداری مواد آلی در این حد غیر ممکن است. زیرا ممکن است ماده آلی به وسیله جلبک تولید شود. سینکلر و الکساندر[۱۲] مرگ اشریشیاکلی در شرایط مواد آلی کم را ناشی از کاهش سوخت و ساز این میکروب گزارش کردند.

اولیویرا[۱۳] در سال ۱۹۹۰ نشان داد که $BOD_5$ پایین (کمتر از ۲۰mg/l) در پساب یک سری برکه‌های تکمیلی فاکتور مؤثر دیگری همانند دمای زیاد، نور شدید و pH در کشتن سریع باکتری مدفوعی می‌باشد. کرتیس و همکاران[۱۴] در سال ۱۹۹۲ نشان دادند که فاکتورهای محیطی همانند pH، اکسیژن محلول و نفوذ نور بر کلیفرم مدفوعی به صورت فتواکسیداتیو مؤثر است.

### ۸ـ ناسازگاری باکتریهای مدفوعی با فیتوپلانکتون و زئوپلانکتونها

بر اساس نظریه لجندر و همکاران[۱۵] رقابت بین گونه‌های باکتریایی، از بین رفتن باکتری مدفوعی توسط گونه‌های فیتوپلانکتون (احتمالاً بوسیله جذب سطحی) و شکار این نوع باکتری بوسیله زئوپلانکتون شکلهای مختلفی از ناسازگاری است که باعث تعدیل جمعیت باکتریایی در محیطهای آبی و خصوصاً برکه‌های تثبیت می‌شود.

### ۹ـ اثر دما بر مرگ و میر باکتری مدفوعی

رادز و کاتور[۱۶] بیان کردند که مرگ گونه‌های E.coli و سالمونلا در مصب رودخانه‌ها و در دمای بالا اتفاق می‌افتد ولی در درجه حرارت کمتر از $10^{\circ}C$ اینطور نمی‌باشد. آنها نشان دادند که ناسازگاری بر اثر فاکتورهای خارجی فصلی می‌باشد که تعیین کننده رشد فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون است. این موضوع قبلاً توسط لجندر و همکاران[۱۵] توضیح داده شده است.



## روش کار

این مطالعه در دو برکه با فقر اکسیژن با مقیاس آزمایشگاهی دارای مساحت ۱ در ۰/۲ متر با عمق مفید ۰/۹۵ متر و حداکثر حجم ۰/۱۹ مترمکعب انجام شده است. یک برکه با فقر اکسیژن دیگر با عمق ۷۵ سانتیمتر برای بررسی اثر عمق نیز مورد استفاده قرار گرفت. هر برکه به وسیله ۶ لامپ فلورسنت (مهتابی) به مدت ۱۲ ساعت در طول روز در معرض نور قرار می‌گرفت و به طور پیوسته با فاضلاب ته‌نشین شده از تصفیه‌خانه فاضلاب موربت با غلظت مورد نیاز مواد آلی بر حسب BOD mg/l تغذیه می‌شد. با افزودن مقدار کمی (۵ میلی‌گرم در لیتر) فاضلاب آبجوسازی به فاضلاب ته‌نشین شده، غلظت مواد آلی تنظیم شد. فاضلاب شهری ته‌نشین شده که دارای $BOD_5$ برابر با ۳۰۰mg/l و COD برابر با ۶۲۵mg/l بود، برای تغذیه برکه‌های با فقر اکسیژن به کار رفت. علاوه بر این غلظت سولفات بوسیله افزودن محلول یک درصد سولفات منیزیم تأمین می‌گردید. شرح عملیات بهره‌برداری به طور جامع بیان شده است[۱۷ و ۱۸].

E.coli و استرپتوکوکهای مدفوعی به صورت زیر شمارش شدند:

E.coli به وسیله روش فیلتر غشایی با میلی‌پور نوع HAWG۰۴۷۵۱ و محیط کشت لوریل سولفات و با قرار دادن محیط کشت در انکوباتور (دمای $44/5^{\circ}C$) به مدت ۱۸ تا ۲۴ ساعت شمارش شد. استرپتوکوک مدفوعی با کاربرد محیط کشت اسلنت و بارتلی و با استفاده از پلیت و انکوباسیون در دمای $44^{\circ}C$ برای ۴۸ ساعت شمارش شد. روش استفاده از فیلتر غشایی (ممبران فیلتر) به علت هزینه زیاد پس از ۶ ماه کار آزمایشگاهی کنار گذاشته شد و روش شمارش پلیت برای اندازه‌گیری E.coli و استرپتوکوکهای مدفوعی انتخاب شد. محیط EMB (Oxoid) برای E.coli و انکوباسیون در دمای $37^{\circ}C$ به مدت ۱۸ تا ۲۴ ساعت به کار رفت. کلنی‌های سبز رنگ با جلای فلزی بر اثر انعکاس نور و رنگ ارغوانی تیره در مرکز کلنی به خاطر انتقال نور به عنوان کلنی E.coli شمارش شدند.

## نتایج

مطالعه حذف عوامل بیماریزا بر اساس شمارش شاخص عوامل بیماریزای اشریشیاکلی و استرپتوکوکهای مدفوعی بوده است. تعداد این میکروارگانیسمها در برکه‌ها خیلی متغیر است. جدول ۱ داده‌های مربوط به E.coli مشاهده شده در مدت ۲۴ ساعت با بار آلی ۳۰، ۶۵ و ۱۰۰ گرم $BOD_5/m^3.d$ و غلظت سولفات ورودی ۳۲۵mg/l در دمای $25^{\circ}C$ را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که در اکثر آزمایشات حذف E.coli در حدود ۱/۵ تا ۱/۹ log خصوصاً در بار آلی ۳۰ گرم $BOD_5/m^3.d$ تحت دمای گرم $25^{\circ}C$ و سرد $10^{\circ}C$ بوده است. همین میزان حذف E.coli در بار آلی ۶۵ گرم $BOD_5/m^3.d$ تحت شرایط گرم مشاهده گردید. در صورتی که در دمای سرد حذف E.coli به مراتب کمتر بود. چنانکه ملاحظه می‌شود حذف E.coli در بار آلی ۱۰۰ گرم $BOD_5/m^3.d$ و به ویژه در دمای سرد خیلی کمتر می‌باشد.

جدول ۱ شمارش لگاریتمی و درصد حذف اشریشیاکلی و استرپتوکوک مدفوعی در برکه‌های تثبیت با فقر اکسیژن را نشان می‌دهد.

حذف استرپتوکوکهای مدفوعی نیز تقریباً همانند حذف E.coli بوده است. مقادیر میانگین حذف E.coli و استرپتوکوک مدفوعی به طور نسبی برابر ۹۲ و ۹۲/۶ درصد با حدود اطمینان ۹۵٪ ($P \leq 0/05$) بوده است.

میزان حذف E.coli و استرپتوکوک مدفوعی به طور عمده متاثر از بار آلی و دمای برکه می‌باشد. تحت شرایط دمای گرم کاهش E.coli به میزان ۹۵، ۹۲ و ۸۴ درصد در بار آلی ۳۰، ۶۵ و ۱۰۰ گرم $BOD_5/m^3.d$ بوده است. در حالی که تحت همین شرایط کاهش استرپتوکوک مدفوعی به ترتیب ۹۵، ۹۲ و ۸۲ درصد با حدود اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد. این میزانها تحت شرایط دمای گرم و سرد برای E.coli ۹۲ و ۸۶ درصد بوده‌اند.

جدول ۱ : راندمان حذف باکتریهای شاخص آلودگی مدفوعی در برکه‌های با فقر اکسیژن

| تعداداستریتوکوک مدفوعی در ml۱۰۰ بر حسب logمتوسط و نیز درصد حذف | | | تعداد اشریشیاکلی در ml۱۰۰ بر حسب log متوسط و نیز درصد حذف | | |
|---|---|---|---|---|---|
| درصد حذف | F.S خروجی | F.S ورودی | درصد حذف | E.coli خروجی | E.coli ورودی | آزمایشات |
| ۹۷ | ۴/۹۹۱ | ۶/۵۵۰۷ | ۹۸ | ۵/۹۲۳۲ | ۷/۶۲۳۲ | ۱W |
| ۹۷/۹ | ۴/۳۵۶ | ۶/۰۴۲۳ | ۹۸/۰۸ | ۵/۶۶۱۱ | ۷/۳۸۴۵ | ۲W |
| ۹۷/۷ | ۴/۷۵۶ | ۶/۳۸۴۹ | ۹۸/۳۷ | ۵/۴۹۱۷ | ۷/۲۷۱۱ | ۳W |
| ۸۲/۵ | ۴/۳۲۵ | ۶/۰۴۴۵ | ۹۷/۹۴ | ۵/۴۵۲۳ | ۷/۱۶۷۸ | ۴C |
| ۹۶/۵ | ۴/۷۶۷ | ۶/۲۲۰۳ | ۹۷/۸ | ۵/۴۱۲۱ | ۷/۰۸۲۳ | ۵C |
| ۹۸/۳ | ۴/۳۶۷ | ۶/۱۳۴۴ | ۹۸/۹۶ | ۵/۰۱۲۳ | ۶/۹۴۱۲ | ۶C |
| ۹۸ | ۴/۷۴۴ | ۶/۵۴۰۲ | ۹۸/۱۱ | ۵/۵۵۲۴ | ۷/۲۷۴۵ | ۷W |
| ۹۸/۱ | ۴/۶۵۳ | ۶/۳۵۶۳ | ۹۶/۴۶ | ۵/۵۹۲۱ | ۷/۰۳۶۷ | ۸W |
| ۹۲/۹ | ۵/۴۶۷ | ۶/۶۲۰۵ | ۹۳/۹۶ | ۵/۸۶۳۲ | ۷/۰۶۵۲ | ۹W |
| ۹۵/۲ | ۵/۲۱۹ | ۶/۵۳۱۸ | ۹۲/۵ | ۶/۰۶۳۴ | ۷/۳۰۱۹ | ۱۰C |
| ۹۵/۴ | ۵/۱۸۹ | ۶/۵۶۴۵ | ۹۲/۵ | ۶/۰۸۱۵ | ۷/۲۱۱۸ | ۱۱C |
| ۹۶/۷ | ۵/۴۴۵ | ۶/۳۸۹۱ | ۸۷/۶۸ | ۶/۰۳۱۷ | ۶/۹۴۹۸ | ۱۲C |
| ۸۱/۴ | ۶/۱۱۲ | ۶/۸۵۲۱ | ۹۰ | ۶/۸۵۱۱ | ۷/۸۵۰۰ | ۱۳W |
| ۸۹/۹ | ۵/۵۰۱ | ۶/۵۱۰۵ | ۹۲/۵ | ۶/۴۳۵۴ | ۷/۵۶۰۳ | ۱۴W |
| ۸۸/۲ | ۵/۵۸۹ | ۶/۶۱۴۵ | ۷۷/۰۹ | ۶/۸۸۱۲ | ۷/۵۲۱۲ | ۱۵W |
| ۸۴ | ۴/۷۴۵ | ۵/۵۴۰۹ | ۸۴/۷ | ۵/۴۲۰۴ | ۶/۲۷۱۹ | ۱۶C |
| ۸۰/۶ | ۵/۲۶۷ | ۵/۹۷۸۱ | ۷۶/۳ | ۶/۶۵۱۸ | ۷/۲۹۱۳ | ۱۷C |
| ۹۱/۶ | ۵/۶۰۲ | ۶/۷۰۲۳ | ۷۹/۱ | ۶/۸۴۴۶ | ۷/۵۲۰۴ | ۱۸C |

W = شرایط گرم (۲۵°C)  C = شرایط سرد (۱۰°C)  بار حجمی = سری ۶-۱ ، ۳۰ گرم $BOD_5/m^3.d$ - سری ۱۲-۷ ، ۶۵ گرم $BOD_5/m^3.d$ و سری ۱۸-۱۳ ، ۱۰۰ گرم $BOD_5/m^3.d$

فرمول تجربی برای ارزیابی درصد حذف E.coli به صورت زیر به دست آمد :

$$\eta(E.coli\%) = 95/58 - 0/0021\lambda_v^2 + 0/0069\lambda_v T \quad (1)$$

$r = 0/90$

که در آن :

$\eta$ = درصد حذف E.coli

T = درجه حرارت برکه (°C)

$\lambda_v$ = بار حجمی

r = ضریب همبستگی

اثر درجه حرارت بر حذف استرپتوکوک مدفوعی بسیار مشابه است ولی اثر سولفات در معادله ۲ بیان شده است.

$$\xi(S.F.\%) = 95/57 - 0/0014\lambda_v^2 + 0/0007\lambda s \quad (2)$$

$r = 0/664$



که در آن :

ξ = درصد حذف استرپتوکوکهای مدفوعی

s = اثر غلظت گوگرد(سولفات + سولفید) بر حسب mg/l

r = ضریب همبستگی

غلظت سولفات یک اثر تعیین کننده بر حذف E.coli ندارد. معادلات به دست آمده دارای ضریب همبستگی ۰/۹۰ و ۰/۶۶۴ بین درصدهای حذف E.Coli و استرپتوکوک مدفوعی و همچنین پارامترهای به کار رفته می‌باشند. معادلات فوق می‌توانند با حدود اطمینان ۹۵ درصد کارایی داشته باشد.

نتایج مطالعات در برکه‌ها بیانگر حضور لایه‌ای (طبقه‌بندی شده) E.coli در برکه است. این مطالعات طی ۳ دوره آزمایش تحت شرایط بار آلی مختلف (۳۰، ۶۵ و ۱۰۰ گرم $BOD_5/m^3.d$) و غلظت سولفات ورودی ۳۲۵mg/l در دمای گرم انجام شده است. لایه‌بندی در لایه‌های سطحی و در حضور نور انجام شد. این پدیده بیشتر در آزمایشاتی که بار آلی ۳۰ و ۶۵ گرم $BOD_5/m^3.d$ بود (شکلهای ۱ و ۲) مشخص شد ولی لایه‌بندی کمی در بار آلی ۱۰۰ گرم $BOD^5/m^3.d$ نیز مشاهده شد (شکل ۳).

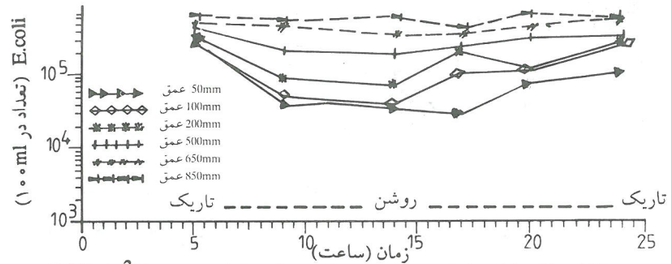
شکلهای ۴ تا ۶ نشان می‌دهند که تعداد E.coli به مقدار کمی با افزایش عمق در برکه‌های با فقر اکسیژن و از سطح به لایه‌های پایین‌تر بیشتر شده است. تجزیه و تحلیل آماری تعداد E.coli در برکه بیانگر این است که رابطه بین فاکتورهای محیطی (دما ، pH و اکسیژن محلول) و عمق وجود دارد. به طوری که غلظتهای E.coli وابسته به pH و اکسیژن محلول در لایه سطحی است ($P \leq 0/003$ و $r = 0/999$).

## شرح چگونگی حذف پاتوژن

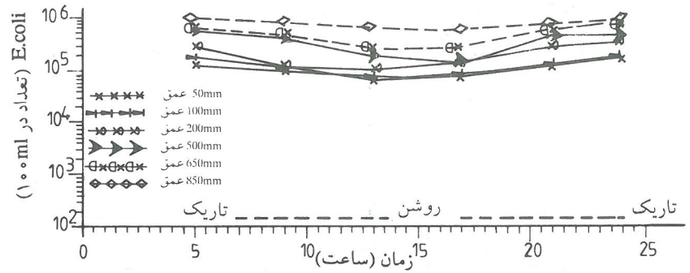
نتایج نشان می‌دهد که برکه‌های تثبیت با فقر اکسیژن فاضلاب برای حذف پاتوژن عملکرد خوبی دارند. احتمالاً حذف پاتوژن ناشی از فاکتورهایی است که بر کشتن باکتری مؤثرند. این فاکتورها شامل pH، اکسیژن محلول، قدرت اکسیداسیون و احیا، درجه حرارت، احتیاجات غذایی، ته‌نشینی، پدیده شکار، اثر نور و زمان ماند هیدرولیکی هستند. حذف بسیار زیاد استرپتوکوکهای مدفوعی و E.coli در بار آلی ۳۰ گرم $BOD_5/m^3.d$ و در حضور تک یاخته‌های شناگر همانند پارامسیوم کلوبودا و ورتیسلا در برکه مشاهده شد. تحقیقات میکروسکوپی نشان می‌دهد که آنها از جلبکها تغذیه می‌کنند و احتمالاً میکروبها را شکار می‌نمایند. در این مطالعه مقادیر pH (۶/۸ تا ۸/۲) بود که هنوز به مقدار بحرانی (۹ یا بیشتر) برای کنترل مرگ و میر باکتری نرسیده است. ولی سرعت در حذف پاتوژن می‌تواند بر اثر افزایش pH در طی زمانهایی که به واسطه حضور نور جلبکها فعال بوده‌اند باشد.

نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان می‌دهد که درجه حرارت در حذف عوامل بیماریزای استرپتوکوکهای مدفوعی و E.coli مؤثر است. تحت دمای گرم ۲۵°C و سرد ۱۰°C میانگین حذف E.coli ۹۲/۴ و ۸۶/۸ درصد بوده است. در حالی که تحت شرایط گرم و سرد حذف استرپتوکوک مدفوعی ۹۱/۶ و حذف E.coli ۸۸/۵ درصد بوده است. علاوه بر این آنالیز همبستگی چندگانه داده‌ها نشان می‌دهد که اثر متقابل درجه حرارت با بار آلی بر حذف E.coli تأثیر مثبت می‌گذارد. این اثرات به وسیله ضرایب پارامتر مربوطه در معادلات همبستگی ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند.

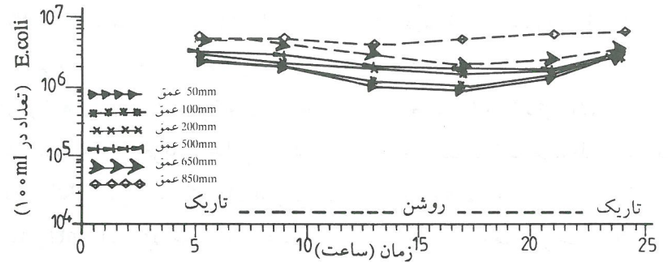
شدت مرگ و میر E.coli و استرپتوکوک مدفوعی با افزایش درجه حرارت احتمالاً به علت افزایش فعالیت متابولیکی و نیز افزایش حساسیت به سموم است. گر چه این اثر برای استرپتوکوک مدفوعی صحت ندارد ($P \geq 0/16$). افزایش میزان ماده آلی و غلظت سولفور بر حذف E.coli مشاهده نشد. ($P \geq 0/23$) در حالی که غلظت گوگرد ورودی با بار آلی تداخل نموده و بر خلاف استرپتوکوکها اثر مثبت داشت. احتمالاً اثر غلظت گوگرد ورودی (سولفات و سولفید) بر خلاف استرپتوکوکهای مدفوعی به خاطر سمیت $H_2S$ بر این پدیده است.



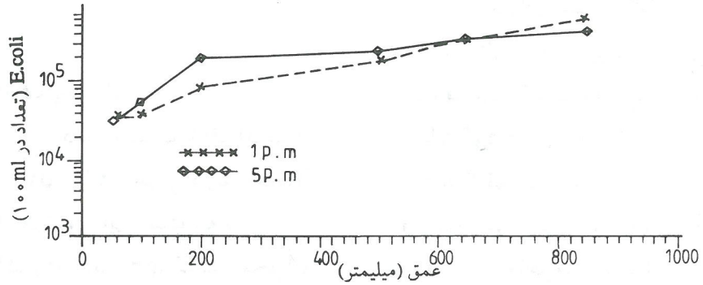

شکل ۱ : تغییر در غلظت E.coli در طول روز و در عمقهای مختلف با بار حجمی ۳۰g $BOD_5/m^3.d$
و غلظت سولفید ۳۲۵mg/L در فاضلاب ورودی در شرایط گرم




شکل ۲ : تغییر در غلظت E.coli در طول روز و در عمقهای مختلف با بار حجمی ۶۵g $BOD_5/m^3.d$
و غلظت سولفید ۳۲۵mg/L در فاضلاب ورودی در شرایط گرم

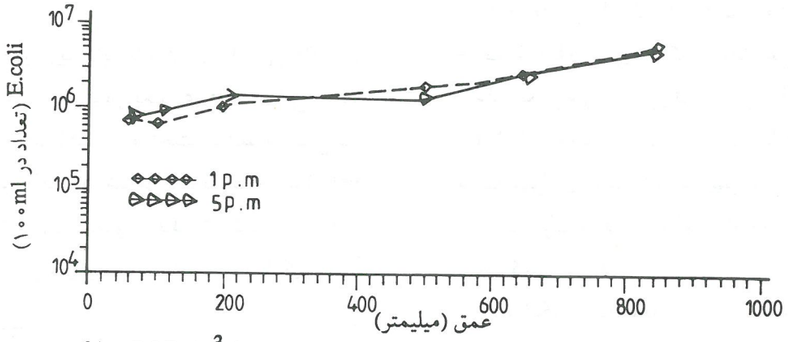



شکل ۳ : تغییر در غلظت E.coli در طول روز و در عمقهای مختلف با بار حجمی ۱۰۰g $BOD_5/m^3.d$
و غلظت سولفید ۳۲۵mg/L در فاضلاب ورودی در شرایط گرم

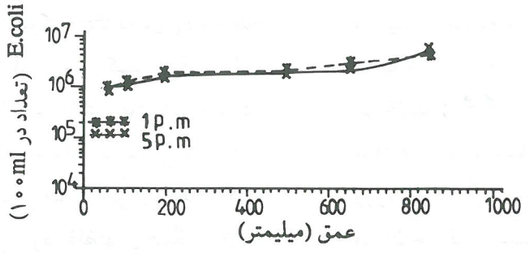



شکل ۴ : تغییر در غلظت E.coli در عمقهای مختلف و با بار حجمی ۳۰g $BOD_5/m^3.d$
و غلظت سولفید ۳۲۵mg/L در فاضلاب ورودی در شرایط گرم






شکل ۵ : تغییر در غلظت E.coli در عمقهای مختلف با بار حجمی ۶۵g $BOD_5/m^3.d$
و غلظت سولفید ۳۲۵mg/L در فاضلاب ورودی در شرایط گرم




شکل ۶ : تغییر در غلظت E.coli در عمقهای مختلف با بار حجمی ۱۰۰g $BOD_5/m^3.d$
و غلظت سولفید ۳۲۵mg/L در فاضلاب ورودی در شرایط گرم

در شرایط تاریک تعداد E.coli و استرپتوکوک در لایه‌های سطحی برکه افزایش داشت. به همین منظور مقایسه‌ای بین پساب خروجی با نتایج حاصله در شرایط نور انجام شد. نتایج این مطالعه در مورد حذف E.coli در اعماق مختلف برکه و زمان بیش از ۲۴ ساعت در شکلهای ۱ تا ۶ نشان داده شده است. این نمودارها نشان می‌دهند که لایه‌بندی باکتریایی در طول دوره‌های روشنایی صورت می‌گیرد. تعداد E.coli در لایه اول ۲۰ سانتیمتری زیر سطح برکه غیر هوازی در زمان روشنایی کم بوده است. در صورتی که در برخی برکه‌های غیرهوازی که شرایط خیلی همگن بود، در غیاب نور اختلاف مشخصی در تعداد E.coli بین لایه‌های سطحی و پایین وجود ندارد. بنابراین تعداد E.coli کم در لایه‌های سطحی برکه‌های غیرهوازی در طول زمانهای روشنایی باید به خاطر اثر فتواکسیداسیون (pH، اکسیژن محلول و نور) بر مرگ و میر باکتری باشد.

شکلهای ۱ تا ۳ نشان می‌دهند که غلظت باکتری شاخص از لایه‌های سطحی به لایه‌های پایین‌تر افزایش یافته است. این پدیده می‌تواند مربوط به اثر مستقیم فیتوپلانکتون باشد که با افزایش pH و تولید اکسیژن محلول در لایه سطحی برکه‌های تثبیت غیرهوازی به وجود می‌آید. جلبک می‌تواند باکتری مدفوعی را حذف کرده و به صورت یک ماده منعقدکننده در حذف پاتوژن عمل کند. شکلهای ۱ تا ۳ تعداد E.coli در طول زمانهای روشنایی با زمانهای تاریکی را مقایسه کرده است.

## نتیجه گیری

۱ـ مـرگ و مـیر زیـاد بـاکـتری در بـار آلی ۳۰ گرم $BOD_5/m^3.d$ احتمالاً به خاطر یکسری فاکتورهایی است که در برکه‌های با فقر اکسیژن و تحت شرایط محیطی بـه وجود می‌آید. این فاکتورها شـامل نـفوذ نـور، مـقدار pH (۷/۵ تا ۸/۲)، اکسیژن مـحلول، قـدرت اکسـیداسـیون ـ احـیا، صـید و صـیادی و زمـان مـاند هـیدرولیکی زیـاد می‌باشند.

۲ـ در همه بارهای آلی، مرگ و میر باکتری در دمـای سرد کمتر از دمای گرم بـوده است. ایـن مـمکن است بـه خاطر تأثیر درجه حرارت بر فاکتورهایی که بر مرگ و میر باکتری مؤثر هستند باشد.

۳ـ حذف E.coli و استرپتوکوک از بالا به پایین (از سطح به ته برکه) که فقر اکسیژن زیاد می‌شود کمتر می‌گردد. این پدیده ممکن است به خاطر ترکیب فاکتورهای ذکر شده در بالا باشد (نور، pH، اکسیژن محلول ، تـه‌نشینی ، صـید و محرکها). لایه سطحی یک محل مناسب برای رشد و تکثیر یا زنده‌ماندن باکتری بیماریزا نبود. غلظتهای همگن E.coli در تعدادی از برکه‌ها در غیاب نور مشاهده شد که بیانگر اثر نور، pH و اکسیژن محلول در منطقه (ناحیه) نورگیر در طی دوره‌های روشنایی است.

۴ـ با افزایش بار آلی از ۳۰ بـه ۱۰۰ گـرم $BOD_5/m^3.d$ حذف E.coli و استرپتوکوکهای مدفوعی کاهش می‌یابد که به علت تغییر شرایط عملیاتی برکه (شرایط محیطی همانند DO, ORP, pH و صیادان) و یا به عبارتی تغییر شرایط به حالت بیهوازی است. شرایط بیهوازی برای بررسی E.coli و استرپتوکوک مدفوعی مناسبترند زیـرا شـرایـط مـحیطی مزاحم کمتر هستند.

۵ـ میانگین تعداد E.coli و استرپتوکوکهای مدفوعی در پساب خروجی برکه غیرهوازی دراکثر موارد $10^5$ و $10^4$ در ۱۰۰ میلی‌لیتر می‌باشد.

۶ـ معادلات تجربی به دست آمده بـر اسـاس درصـد حـذف E.coli و اسـترپتوکوکهای مـدفوعی بـیانگر ایـن واقعیت است که میزان حذف وابسته به بار آلی حـجمی، درجه حرارت و به طور جزیی غلظت گوگرد ورودی است. اثر غلظتهای گوگرد سولفاتی و گوگرد سولفیدی بر حذف E.coli مشاهده نشـد. در صـورتی کـه اثـر مـتقابل گـوگرد ورودی و بار آلی بر حذف استرپتوکوکها مثبت خواهد بود. مـیزان حـذف وابسـته بـه فـاکـتورهایی است کـه ضـریب همبستگی آنها به تـرتیب ۰/۹۰ و ۰/۶۶۴ بـرای E.coli و استرپتوکوکهای مـدفوعی بـاحدود اطـمینان ۹۵ درصـد و $P \leq 0/001$ است.

### REFERENCES


1- Silva, S.A. (1982). "On the Treatment of Domestic Sewage in Waste Stabilization Ponds in Northeast Brazil", Ph.D Thesis, University of Dundee, UK.

2- Saqqar, M. M., and Pescod, M. B. (1992). "Modelling Coliform Reduction in Wastewater Stabilization Ponds", Water Science and Technology, 26(7-8), 1667-1677.

3- Moeller, J. R., and Calkins, J. (1980). "Bactericidal Agents in Wastewater Lagoons and Lagoons Design", J. WPCF, 52 (10), 2442-2451.

4- Mayo, A. W. (1989). "Effect of Pond Depth on Bacterial Mortality Rate", J. Env. Eng., 115(5), 964-977.

5- Pearson, H. W., Mara, D.D., Mills, S.W., and Smallman, D. (1987). "Factors Determining Algae Population in Waste Stabilization Ponds and the Influence of Algae on Pond Performance", Proc. Int. Conf. on Waste Stabilization Ponds, Lisbon.





6- Marais, G.V.R. (1974). "Fecal Bacterial Kinetics in Stabilization Ponds", Journal of Environmental Engineering, Division, ASCE, 100(EEI), 119-139.

7- Feachem, R. G., Bradley, D. J. Gerelick, H., and Mara, D. D. (1983). "Sanitation and Disease. Health Aspects of Excreta and Wastewater Management", World Bank Studies in Water Supply and Sanitation, No.3, John-Wiley & Sons, Chichester.

8- James, A. (1987). "An Alternative Approach to the Design of Waste Stabilization Ponds", Water Science and Technology, 19(21), 213-218.

9- Soares, J. (1985). "Avaliacao do Compormento de um Sistema de Lagoas de Lagoas ed Estavilizacao em Serie (Evaluation of the Behaviour of a Series of Waste Stabilization Ponds)", M. Sc. Dissertation, Federal University of Paraiba, Brazil .

10- Klock, J. W. (1974). "Survival of Coliform Bacteria in Wastewater Treatment Lagoons", J. WPCF, 43 (10), 2071-2083.

11- Gameson, A.L.H., and Gould, P. J. (1985). "Investigation of Sewage Discharges to Some British Coastal Waters", Chapter 8. Part 2 of WRC Technical Report TR201. Water Research Centre, Marlow.

12- Sinclair, J. L., and Alexander, M. (1984). "Role of Resistance to Starvation in Bacterial Survival in Sewage and Lake Water", Applied & Environmental Microbiology, 48(2),410-415.

13- Oliviera, R.D. (1990). "The Performance of Deep Waste Stabilization Ponds in Northeast Brazil", Ph.D. Thesis, University of Leeds, UK.

14- Curtis, T. P., Mara, D.D., and Silva, S. A. (1992). "The Effects of Sunlight on Fecal Coliforms in Ponds; Implication for Research and Design", Water Science and Technology, 26 (7-8), 1729-1738.

15- Legendre, P., Baleux, B., and Trousselier, M. (1984). "Dynamics of Pollution Indicator and Heterotrophic Bacteria in Sewage Treatment Lagoons", Applied & Environmental Microbiology, 48(3), 586-593.

16- Rhodes, M. W., and Kator, H. (1988). "Survival of Escherichia coli and Salmonella Spp. in Estuarine Environments", Applied & Environmental Microbiology, 54(11), 2902-2907.

17- Almasi, A. (1994). "Wastewater Treatment Mechanisms in Anoxic Stabilization Ponds", Ph.D Thesis, University of Newcastle Upon Tyne, U.K.

18- Almasi, A., and Pescod, M. B. (1995). "Wastewater Treatment Mechanisms in anoxic Stabilization Ponds", pressented at 3rd IAWR International Specialist Conference on Waste Stabilization Ponds Technology and Applications, Joao Pesoa, Brazil.