

حذف فسفر در لاگونهای هوازی

با استفاده از آلوم، کلروفریک و آهک

ترجمه: علی ظفر زاده*



خلاصه

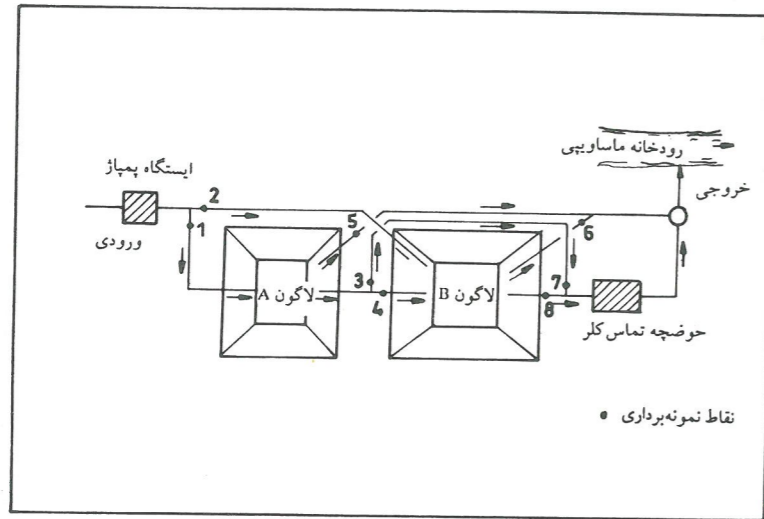
در این تحقیق مطالعات آزمایشگاهی و نیز مطالعات در دو تصفیه‌خانه فاضلاب در حال بهره‌برداری به مدت ۱۸ ماه انجام شد. هدف اصلی این تحقیق حذف فسفر از فاضلاب بود و به این منظور سه نوع منعقدکننده آلوم، کلروفریک و آهک مورد استفاده قرار گرفتند. در فرایند رسوبدهی، آلوم ابتدا با پلی فسفات‌ها وارد عمل می‌شود نه با ارتوفسفات‌ها. تغییرات درجه حرارت فاضلاب، در فرایند کواگولاسیون و فلوکولاسیون مؤثر و تعیین کننده نبوده و ظرفیت مولار آلوم جهت رسوبدهی بخشی از ارتوفسفات‌ها در ته‌نشینی ثانویه بیشتر از اولیه بود. کلیه منعقدکننده‌های مصرف شده در این تحقیق تقریباً قادر به حذف ۹۵٪-۹۰٪ فسفر بودند اما میزان آهک مورد استفاده برای حذف فسفر موجود در فاضلاب نسبتاً زیاد بوده و در نتیجه مقدار لجن تولیدی افزایش یافت. عمده لجن تولیدی در لاگون هوادهی ناشی از آهک است.

مقدمه

ادارات حفاظت محیط زیست در تمام دنیا، در مورد زیانهای پدیده اتریفیکاسیون ناشی از تخلیه فاضلابهای خانگی و صنعتی حاوی فسفر به رودخانه‌ها و دریاچه‌ها بیش از همیشه احساس نگرانی می‌کنند. طبق نظر آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (۱۹۸۷) حداکثر غلظت فسفات کل (TP) در پساب فاضلابهای تصفیه شده باید ۱ mg/L باشد. اگر مقدار فسفر موجود در پساب خروجی از این حد بیشتر شود باید با حذف و کنترل غلظت فسفات و نترات مقدار آن را به حد معین رسانند. در حال حاضر، برای حذف فسفر روشهای فیزیوشیمیایی و بیولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگر چه روش بیولوژیکی در حال گسترش است، اما روش

فیزیوشیمیایی برای کنترل غلظت فسفر به طور گسترده‌ای مورد توجه است. این روش از نظر انرژی و هزینه نیز مقرون به صرفه می‌باشد (ویلیام و کالپ ۱۹۸۵). مطالعه حاضر در سطح آزمایشگاهی و نیز در مقیاس کامل در دو تصفیه‌خانه که عمدتاً حاوی فاضلابهای خانگی می‌باشد، انجام شده است. هدف اصلی تعیین ارتباط بین غلظت منعقدکننده و غلظت فسفات موجود در فاضلاب و به عبارت دیگر قادر نمودن اپراتورها در تشخیص و برآورد مقدار مناسب منعقدکننده و نیز فسفر کل حذف شده می‌باشد. در این مطالعه ارتباط بین فسفات نامحلول، BOD و مواد معلق نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

* - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط اصفهان



شکل ۱ - طرح تصفیه‌خانه کوبک، هاتلی شمالی

روشها و تکنیکها

جهت مقایسه دو تصفیه‌خانه کوبک^۱ و شربروک^۲ در دو شهر مختلف انتخاب شدند. تصفیه‌خانه‌ها تقریباً به فاصله ۳۰ کیلومتری از یکدیگر قرار دارند و شدت جریان، ویژگی فاضلاب و شیوه عملکرد آنها یکسان و از نوع لاگون هوادهی و تصفیه بیولوژیکی می‌باشد. تصفیه‌خانه اول دارای ظرفیت ۶۰۰ m^۳/d و لوزی شکل بود که با سیستم لاگون هوادهی با اختلاط کامل طراحی شد.

تصفیه‌خانه دوم دارای ظرفیت ۵۷۰ m^۳/d و حوضچه‌ها به اشکال مربع و مستطیل طراحی شده بود. بررسیهای انجام شده در تصفیه‌خانه اول قبل از زمان اصلاح تصفیه‌خانه بوده و اکثر نتایج موجود در این مقاله از این تصفیه‌خانه بدست آمده است. شکل ۱ ترتیب و طرح عمومی آن را نشان می‌دهد. دو لاگون هوادهی واقع در آن توسط هواده‌های مکانیکی با شناور، هوادهی می‌شوند که توان و قدرت آن حدود ۳/۵ W/m^۳ می‌باشد. عمق متوسط لاگون ۳/۲۵ متر و دارای شیب کناره ۲ به ۱ است. ضمناً دارای حوض تماس کلر با زمان ماند حدود ۲۰ دقیقه بوده و پساب خروجی به رودخانه ماساویپی^۳ تخلیه می‌گردد. غلظت فسفر موجود در فاضلاب در جدول ۱ نشان داده شده است.

وجود مقدار زیاد فسفر در فاضلاب نشان دهنده فاضلابهایی از نوع خانگی می‌باشد. ویژگی فاضلاب

تصفیه‌خانه شهر دوم نیز مشابه قبلی بوده و به همین دلیل در اینجا گزارش نشده است.

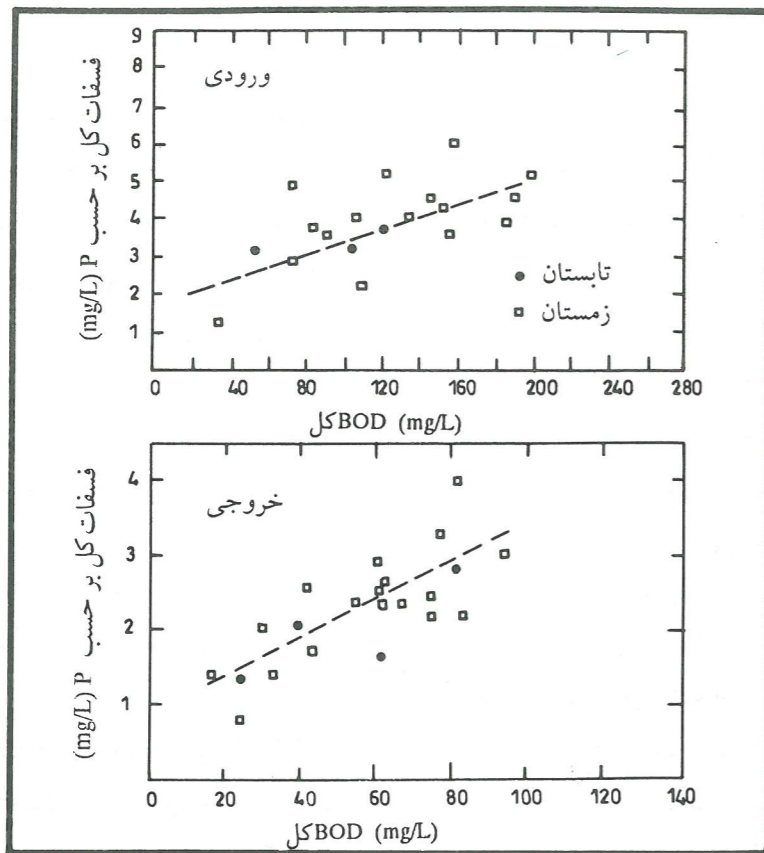
نمونه‌های فاضلاب جمع‌آوری شده از هر یک از تصفیه‌خانه‌ها از محل ورودی، لاگون B و پساب خروجی گرفته شده است.

نمونه‌ها به صورت گرب^۴ و ترکیبی جمع‌آوری شده است و جهت انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه از ظروف ۲۰ لیتری از جنس پلی‌اورتان استفاده شد. تمام نمونه‌های فاضلاب توسط همزن نوع استریزر^۵ هم زده شده و هموژنیزه شدند. مطالعات و تحقیقات بروی آنها از ژوئن تا سپتامبر و از ژانویه تا آوریل بطول انجامید.

آنالیزهای رایج انجام شده روی نمونه‌های فاضلاب در مورد تغییر و تبدیل انواع فسفات انجام شد که در جدول ۱ نشان داده شده است. تستهای انعقاد و فلوکولاسیون با استفاده از آلوم، کلروفریک و آهک به عنوان منعقدکننده صورت گرفت. آزمایش جار طبق روش ذیل انجام شده است:

فاضلاب گرفته شده از لاگون هوادهی در ظروف آزمایشگاهی یک لیتری مخصوص دستگاه جار Phipps-Bird ریخته شد و به آنها ماده منعقدکننده افزوده

- | | |
|---------------|---------------|
| 1- Quebec | 2- Sherbrooke |
| 3- Massawippi | 4- Grap |
| 5- Osterizer | |



شکل ۳- ارتباط بین فسفات کل و BOD کل در فاضلاب

با استفاده از شکل ۴ آشکار می‌شود که بین مقدار منعقدکننده و مواد مغذی حذف شده رابطه خطی وجود دارد. طبق مشاهدات به عمل آمده به نظر نمی‌رسد که تغییرات فصلی درجه حرارت در فرایند ته‌نشینی فسفر محلول مؤثر باشد. مطالعات قبلی نیز این مطلب را تأیید می‌کند (ناراشیا و همکاران، ۱۹۸۴).

رابطه شکل ۴ می‌تواند بوسیله معادله زیر شرح داده شود:

$$\ln[(P_r)_f / (P_o)_f] = -1/43Al / (P_o)_f + \ln 118/14 \quad (2)$$

$(P_r)_f$ = باقیمانده غلظت فسفات محلول (mg/L,p)

$(P_o)_f$ = غلظت اولیه فسفات محلول (mg/L,p)

Al = دوز آلوم mg/L

ضریب همبستگی بر اساس داده‌های فوق ۰/۹۲ بوده است که نشان دهنده ارتباط بالا و کافی داده‌ها می‌باشد. می‌توان گفت که این نتایج با دستاوردهای کسانی همچون بارث (۱۹۷۶) که روی سیستمهای مشابه تصفیه لجن فعال تحقیقات نموده‌اند مطابقت داشته است.

جدول ۲ نتایج این مطالعه را با نتایج سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا مقایسه نموده است (۱۹۷۴). این

بین مقدار ماده منعقدکننده و فسفر حذف شده ارائه‌گردیده است. این رابطه در زیر نشان داده شده است (دانیلز، ۱۹۷۳):

$$\ln(P_r / P_o) = K_p \cdot M / P_o \quad (1)$$

P_r = غلظت فسفر باقیمانده (mg/L)

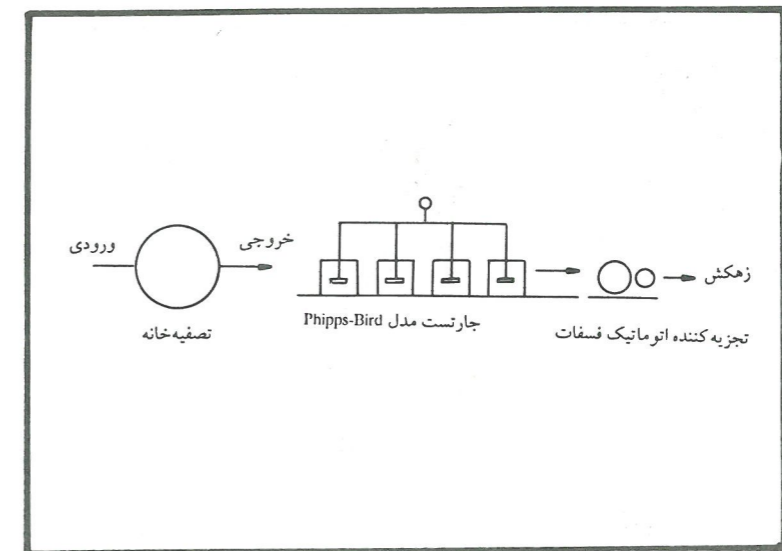
P_o = غلظت فسفر اولیه (mg/L)

K_p = ثابت تناسب

M = مقدار منعقدکننده بر حسب یون فلزی (mg/L)

حذف فسفر در تصفیه اولیه با استفاده از آلوم

جهت مطالعه این موضوع، نمونه‌هایی از فاضلاب ورودی (ایستگاه پمپاژ) گرفته شد تا بوسیله انعقاد و رسوبدهی با سولفات آلومینیم میزان حذف فسفر تعیین شود. جهت تعیین اثر pH در فرایند ابتدا pH تنظیم نشد تا بتوان نتایج حاصل را با نتایج بعد از تنظیم pH مقایسه نمود. نتایج آزمایشات انجام شده در یک دوره یک ساله در شکل ۴ خلاصه شده است. به‌طور متوسط هر نقطه در شکل حدود ۱۰ بار آزمایش در طی هر دوره را نشان می‌دهد.



شکل ۲: طرح شماتیک مراحل آزمایش در تصفیه‌خانه

جدول ۱ - مقایسه ورودی و خروجی فاضلاب در تصفیه‌خانه هاتلی شمالی بر حسب mg/L

| SS | BOD ₅ | TP | FP | TOP | FOP | |
|-------|------------------|------|------|------|------|-----------------|
| ۷۴/۳۰ | ۱۱۲/۰۰ | ۴/۴۶ | ۲/۵۹ | ۲/۶۸ | ۲/۲۱ | ورودی - تابستان |
| ۴۶/۸۰ | ۲۰/۸۰ | ۲/۴۲ | ۱/۹۵ | ۲/۳۱ | ۱/۸۰ | خروجی - تابستان |
| ۷۹/۸۰ | ۱۰۳/۵۰ | ۴/۷۵ | ۲/۷۷ | ۲/۸۲ | ۱/۹۷ | ورودی - زمستان |
| ۲۵/۱۰ | ۲۴/۵۰ | ۲/۲۸ | ۱/۶۹ | ۱/۵۱ | ۱/۰۸ | خروجی - زمستان |

FOP = ارتوفسفات محلول TOP = کل ارتوفسفات FP = فسفات محلول TP = فسفات کل

شکل شماره ۲ طرح شماتیک مراحل آزمایش را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث:

ابتدا سعی شد رابطه بین غلظت فسفر کل و BOD کل موجود در فاضلاب مشخص گردد. شکل ۳ نتایج به‌دست آمده روی نمونه‌های ورودی و خروجی را نشان می‌دهد. اگر چه با توجه به پراکندگی داده‌ها رابطه ریاضی و ارائه مدل دقیق برای آن مشکل است اما می‌توان رابطه خطی بین BOD کل و فسفر کل را در نظر گرفت. ضمناً میزان نسبت فسفر کل به BOD کل باقیمانده برای ورودی و خروجی فاضلاب تقریباً ثابت است.

در دو دهه گذشته توسط چند محقق روی حذف فسفر موجود در فاضلاب مطالعاتی صورت گرفته و رابطه خطی

گردید. پس از ۲ دقیقه اختلاط کامل اجازه داده شد تا رسوب کند. در هر یک از حالات pH در حد بهینه تنظیم شده بود.

با استفاده از شرح روش آزمایشی موجود در استاندارد متد (۱۹۹۲) در خصوص آب و فاضلاب، مایع قسمت فوقانی جهت تعیین و آنالیز پارامترهای مورد نظر برداشته شد. به‌طور معمول از ورودی و خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نمونه‌برداری شد و تا رسیدن به میزان حذف فسفر مورد نظر، در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گرفت. منظور از میزان حذف مطلوب کاهش غلظت فسفات کل تا حد کمتر از یک میلی‌گرم در لیتر در پساب خروجی می‌باشد. مقدار منعقدکننده لازم جهت حذف فسفر در پساب خروجی در آزمایشگاه تعیین گردید ولی هیچگونه آزمایشی در مقیاس کامل انجام نشده است.

جدول ۲ - مقایسه نسبت Al/P حاصله با توجه به توصیه‌های سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (U.S.EPA)

| نسبت Al/P | درصد کاهش | |
|-----------|------------------|--------------------------|
| | مقدار مشاهده شده | مقدار توصیه شده توسط EPA |
| ۱/۲۰ | ۱/۱۰ | ۷۵ |
| ۱/۵۰ | ۱/۴۵ | ۸۵ |
| ۲/۰۰ | ۲/۲۰ | ۹۵ |

جدول ۳ - مقایسه حذف فسفات کل و فسفات محلول توسط آلوم

| نسبت Al/p | کارایی (%) | |
|-----------|-------------|----------|
| | فسفات محلول | فسفات کل |
| ۲/۰۵ | ۱/۷۰ | ۹۰ |
| ۲/۵۵ | ۲/۲۰ | ۹۵ |
| ۳/۷۵ | ۳/۳۵ | ۹۹ |

مطابقت داشته باشد. روش مذکور توسط براتی (۱۹۸۰) نیز تشریح شده است.

کاربرد عملی شکل ۵ در تعیین مقدار منعقدکننده مورد نیاز در ارتباط با درصد حذف فسفات مورد نظر می‌باشد. برای مثال برای حذف ۹۰٪ فسفات کل (TP) مقدار آلوم مورد نیاز مساوی دو برابر غلظت فسفات کل موجود در فاضلاب می‌باشد.

در این تصفیه‌خانه متوسط سالیانه غلظت فسفات کل ۴/۸۰ mg/L است که بطور متوسط ۱۰۵/۶۶ mg/L آلوم مورد نیاز است.

$$(4/80) \times (2/00) = 9/60 \text{ mg/L}$$

$$11/11 \times 105/66 = 17/11 \text{ mg/L (آلومینیم)}$$

به عبارت دیگر برای هر ۱ mg/L از فسفات کل در خروجی، مقدار ۸۴/۴۴ mg/L (۱۱/۱۱) × ۲ × (۳/۸۰) آلوم مورد نیاز است. آزمایشات فوق بعد از تنظیم مناسب pH بین ۵/۷۵ و ۶/۵ انجام شده و نتایج مربوطه در شکل ۶ منعکس شده است. به دست آمدن ضریب همبستگی بالا تاییدی بر نتایج به دست آمده می‌باشد.

براتی (۱۹۸۰) توضیح می‌دهد که افزایش مقدار منعقدکننده جهت حذف بیشتر ترکیبات فسفر در دامنه وسیعتری از pH صورت می‌گیرد و این امر به علت رقابت بین پیوندی صورت می‌گیرد. مکانیسم حذف فسفر توسط منعقدکننده شامل چند مرحله از جمله خنثی سازی، رسوبدهی و جذب سطحی می‌باشد. تامبو (۱۹۹۰) چگونگی بدام افتادن فسفات‌ها را در فلاکها توسط هیدروکسیدهای فلزی به این شرح توضیح می‌دهد: یک واکنش رقابتی بین فسفات‌ها و گیرنده‌های یون هیدروکسید در طول انعقاد و فرایندهای رسوبدهی برقرار است و در pH بهینه مقادیر زیادی از ترکیبات فسفره در منعقدکننده فلزی فرم و شکل می‌گیرد و اگر مقدار منعقدکننده بیشتر از حد استوکیومتری باشد ترکیبات فسفری در pH وسیعتری قادر به ترسیب هستند. باید توجه داشت که اگر مقدار منعقدکننده بیش از حد افزایش یابد حذف فسفر افزایش نمی‌یابد.

به نظر می‌رسد که نتایج بدست آمده از این مطالعه با مکانیسم حذف فسفر بوسیله انعقاد و فلوکولاسیون

$$\ln(P_f/P_0) = -1/36 Al/P_0 + \ln 164/13 \quad (3)$$

$$P_f = \text{غلظت فسفر کل باقیمانده (mg/L,p)(TP)}$$

$$P_0 = \text{غلظت فسفر کل در ابتدا (mg/L,p) (TP)}$$

$$Al = \text{غلظت کاتیون فلزی (mg/L)}$$

جدول ۳ مقدار عملی استفاده از آلوم جهت حذف فسفات محلول و فسفات کل را نشان می‌دهد. از نتایج در می‌یابیم که آلوم ابتدا با فسفات محلول وارد واکنش می‌شود و نسبت وزنی Al/P معادل ۰/۱ جهت شروع عمل انعقاد و فرایند ته‌نشینی برای فسفات محلول کیفیت می‌کند. به عبارت دیگر، برای حذف فسفات کل یک حداقل نسبت Al/p معادل ۰/۵ برای آمادگی محیط جهت انعقاد و رسوبدهی لازم است. علاوه بر آن ممکن است یک رابطه استوکیومتری بین جرم آلومینیم و جرم فسفر ته‌نشین شده وجود داشته باشد.

بر حسب مول نسبت Al/P بین ۳/۴۴-۱/۴ توسط بایلود و همکاران (۱۹۷۷) گزارش شده است.

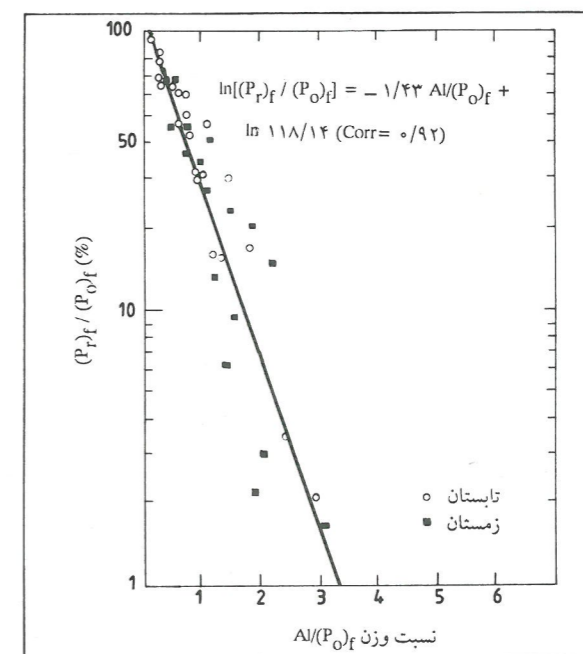
در این تحقیق مشخص شد که اگر مقدار منعقدکننده تحت شرایط استوکیومتری افزایش یابد باعث حذف ۹۰٪ فسفر موجود شده و حذف بیشتر با افزایش مقدار منعقدکننده حاصل می‌گردد.

جدول نشان می‌دهد که در مطالعات به عمل آمده روی لاگ‌های هوادهی نسبتها و مقادیر نزدیک به مقادیری است که توسط آژانس توصیه شده است. همچنین مشخص شده است که وقتی از آلوم به عنوان منعقدکننده استفاده می‌شود فسفات محلول (FP) بیشتر از ارتوفسفات محلول (FOP) رسوب می‌کند. یا به عبارت دیگر پلی فسفات (که تفاوت بین ارتوفسفات و فسفات محلول می‌باشد) بیشتر با منعقدکننده وارد واکنش می‌شود.

نتایج حاصله نشان می‌دهد که ارتوفسفات محلول فقط در نسبت Al/p حدود ۰/۷ و بیشتر رسوب می‌نماید و در کمتر از این نسبت حذف فسفات صرفاً منحصر به پلی فسفات‌ها می‌باشد.

همچنین در شرایط معین از نظر مقدار جریان و کیفیت فاضلاب مقدار فسفر کل حذف شده برآورد شده است. شکل ۵ نمودار نتایج بدست آمده آزمایشگاهی و کامل را در این قسمت از تحقیق نشان می‌دهد.

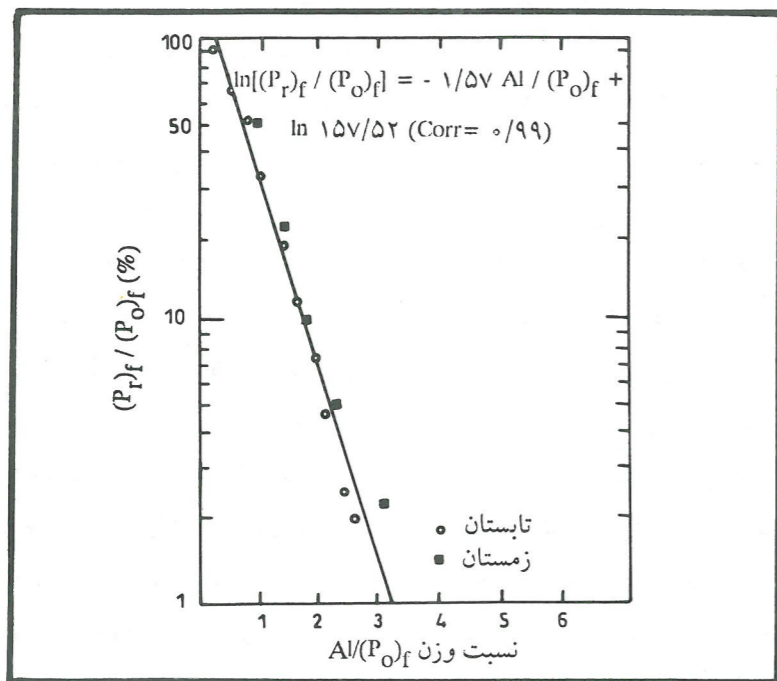
مانند مورد قبلی (شکل ۴) به نظر نمی‌رسد که نوسانات درجه حرارت فصلی در کارایی منعقدکننده‌ها اثری داشته باشد. رابطه زیر ارتباط داده‌ها را به صورت ریاضی نشان می‌دهد:



شکل ۴ - حذف فسفات کل بوسیله آلوم در تصفیه اولیه

جدول ۵ مقایسه دو مقدار pH آزمایش شده را در فرایند رسوبدهی نشان می دهد. از این جدول دیده می شود که با کاهش pH از ۷/۵ به ۶/۵ برای حذف ۹۹٪ فسفر کل، نسبت Al/P از ۷/۶ به ۳/۵ کاهش می یابد. این حالت ممکن است زمانی ایجاد شود که همه فاکتورها ثابت و مقدار pH بهینه ۶/۵ باشد تا موجبات حذف سریع فسفر را فراهم نماید. همانگونه که قبلاً توضیح داده شد این حذف ناشی از

جدول ۴ تاثیر pH بر کاهش فسفات کل به وسیله آلوم در مراحل اولیه تصفیه نشان می دهد. ملاحظه گردید که کاهش pH مقدار قابل توجهی انعقاد را اصلاح می کند. جهت کاهش ۹۰٪ فسفات کل در pH حدود ۶/۵، نسبت Al/P در حدود ۱/۳۰ کافی می باشد. در صورتی که برای کاهش همین مقدار فسفات بدون تنظیم pH نسبت Al/p می بایست ۲/۰۵ باشد. به عبارت دیگر با تنظیم pH، ۳۵٪ آلوم مصرفی نسبت به زمانی که غلظت اولیه فسفر ۴/۴۰ mg/l باشد صرفه جویی خواهد شد. زمانی که pH تنظیم شده باشد افزایش Al/p به بالاتر از ۱/۷۰، مشکل افزایش میزان آلوم مصرفی و در نتیجه کاهش حذف فسفر را به دنبال خواهد داشت.



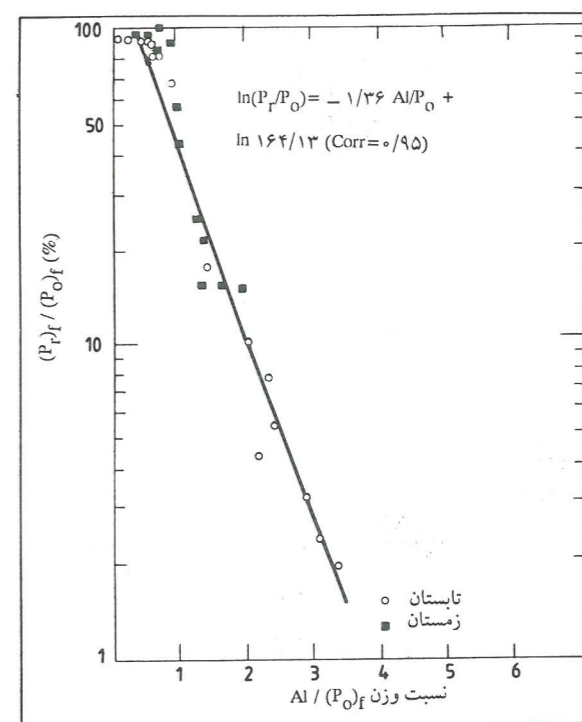
شکل ۴ - حذف فسفات محلول بوسیله آلوم در pH برابر با ۶/۵ در تصفیه اولیه

جدول ۴ - تاثیر pH بر کاهش فسفات کل به وسیله آلوم

| نسبت Al/p در فاضلاب خام | | درصد حذف |
|-------------------------|---------|----------|
| pH=۶/۵ | pH=۷/۸۰ | ۹۰ |
| ۱/۳۰ | ۲/۰۵ | |
| ۱/۵۰ | ۲/۵۵ | |
| ۱/۸۵ | ۳/۷۵ | ۹۹ |

جدول ۵ - تاثیر pH بر ته نشینی فسفات در تصفیه ثانویه

| نسبت Al/p در تصفیه ثانویه | | | کارایی (%) |
|---------------------------|--------|------------------------------|------------|
| pH=۵/۵ | pH=۶/۵ | پساب تصفیه شده بدون تنظیم pH | ۹۰ |
| ۱/۶۹ | ۱/۸۰ | ۲/۱۵ | |
| ۲/۱۱ | ۱/۳۰ | ۲/۸۰ | |
| ۳/۱۵ | ۳/۵۰ | ۷/۶۰ | ۹۹ |



شکل ۵ - حذف فسفات کل بوسیله آلوم در تصفیه اولیه

دو رابطه زیر حذف فسفات محلول را در دو مقدار pH مورد مطالعه نشان می دهد:

pH = ۶/۵

$$\ln[(P_T)_f / (P_O)_f] = 1/57 Al / (P_O)_f + \ln 157/52 \quad (4)$$

(ضریب همبستگی = ۰/۹۹)

pH = ۵/۷۵

$$\ln[(P_T)_f / (P_O)_f] = 1/55 Al / (P_O)_f + \ln 132/11 \quad (5)$$

(ضریب همبستگی = ۰/۹۵)

همچنین مشاهده گردیده است که برای حذف ۹۹٪ فسفر محلول، کاهش pH تا ۶/۵ فقط نسبت Al/P را از ۳/۳۵ به ۳/۲۳ کاهش می دهد که قابل چشم پوشی است و در صورتی که pH به ۵/۵۷ برسد، نسبت Al/P فقط از ۳/۲۳ به ۳/۲۰ می رسد. از نقطه نظر عملی و اقتصادی کاهش مقدار pH به آن حد ممکن نیست زیرا این امر موجب خوردگی و مشکلات دیگر می شود. در شرایط مشابه نیز کل فسفر حذف شده با pH تصحیح شده ارزیابی شد و نتایج به دست آمده می تواند به صورت رابطه زیر بیان گردد:

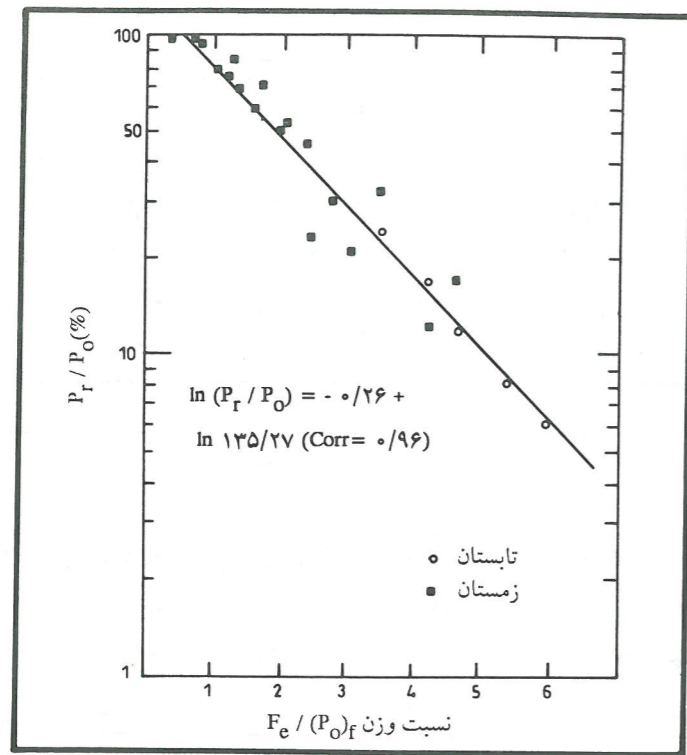
شکل ۴ - حذف فسفات کل بوسیله آلوم در pH برابر با ۶/۵ در تصفیه اولیه

شکل ۵ - حذف فسفات کل بوسیله آلوم در تصفیه اولیه

حذف فسفر در تصفیه ثانویه

با در نظر گرفتن اینکه تنظیم pH هم ضروری و هم سودمند است، مطالعه عمل انعقاد بعد از تنظیم pH ادامه داده شد. در قسمت تصفیه ثانویه فاضلاب، از انتهای تانک هوادهی لاگون ثانویه نمونه برداری شد. بعد از تنظیم pH به ۶/۵۰، دوز منعقد کننده نتایج بهینه ای به دست داد.

$$\ln[(P_T)_f / (P_O)_f] = -3/17 Al / (P_O)_f + \ln 654/09 \quad (6)$$



شکل ۷- حذف فسفات کل بوسیله کلرورفریک در pH برابر با ۶ در تصفیه ثانویه

به طور قابل ملاحظه‌ای روی سرعت حذف فسفر اثری داشته باشد. شکل ۸ حذف فسفر محلول را با استفاده از آهک در تصفیه اولیه و ثانویه نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود ارتباط غلظت فسفر باقیمانده با توجه به مقدار حذف آن چنان که برای دو منعقدکننده دیگر نشان داده شده در مورد آهک میسر نشد. علت آن در وهله اول ناشی از این است که یون کلسیم با یون فسفات نمی‌تواند واکنش دهد. بنابراین می‌توان گفت که در رسوبدهی توسط آهک، کنترل pH فاکتور مهمتری از نسبت Ca/P می‌باشد. همچنین مشاهده شد که در تصفیه اولیه، حذف فسفر محلول در اغلب موارد با افزایش pH از ۹/۵-۱۰ انجام می‌شود. همچنین حذف فسفر محلول (FP) قبل از فسفر کل (TP) انجام می‌گیرد.

جهت حذف بیش از ۹۰٪ فسفر کل می‌بایست بیشتر از ۵۰۰ mg/L آهک بر حسب $Ca(OH)_2$ افزوده شود. بنابراین در این روش حذف فسفر، تجمع لجن تولیدی مشکل ساز است.

نهایتاً تأثیر حذف فسفر کل در تصفیه اولیه بیشتر از تصفیه ثانویه است و همین مطلب در مورد آلوم و کلرورفریک نیز صادق است.

نتایج ناشی از این مطالعات در ذیل آمده است:

- ۱- در صورتی که pH فاضلاب بین ۹/۵-۱۰ باشد فسفات محلول به میزان ۹۹٪ حذف می‌شود.
- ۲- زمانی که pH فاضلاب ۹/۵ و کمتر از آن است، فسفر کل حذف شده از ۵۰٪ بیشتر نمی‌باشد.
- ۳- برای حذف کامل فسفر، مقدار آهک مورد نیاز جهت افزایش pH بین ۱۱/۵-۱۱ خیلی زیاد می‌باشد. متکالف و ادی (۱۹۹۱) گزارش کرده‌اند که برای کاهش غلظت فسفر باقیمانده به ۱ mg/L باید مقدار آهک افزوده شونده به فاضلاب در حوضچه ته‌نشینی اولیه تا رسیدن pH به حدود ۱۱ افزایش یابد.

۴- مقدار آهک مورد نیاز برای حذف کامل فسفر معادل ۴۰۰ mg/L بر حسب هیدروکسید کلسیم $Ca(OH)_2$ می‌باشد.

۵- مانند آلوم و کلرورفریک، تست‌های به عمل آمده بر روی آهک ثابت نمود که ارتوفسفات‌ها (OP) نیز تمایل به حذف شدن ندارند و در حقیقت پلی‌فسفات‌ها هستند که توسط دیگر منعقدکننده‌ها به نحو ساده‌تر و بیشتری حذف می‌شوند.

۶- به نظر نمی‌رسد نوسانات درجه حرارت در تابستان

حذف فسفر در تصفیه ثانویه با استفاده از کلرورفریک در این قسمت آزمایش، محل انعقاد در شرایط بهینه pH حدود ۶ و با استفاده از کلرورفریک بر روی خروجی لاگون هوادهی صورت گرفت. شکل ۷ نتایج فسفر کل حذف شده را نشان می‌دهد. معادله زیر با توجه به داده‌های شکل ۷ به صورت رابطه خطی به دست آمده است:

$$\ln[(P_f)/(P_o)] = -0.26 Fe/P_o + \ln 135/27 \quad (8)$$

(ضریب همبستگی = ۰/۹۶)

ضمناً می‌بایست تذکر داده شود که هنگامی که pH تا ۴/۷۵ کاهش یابد حذف فسفر محلول (FP) و همچنین فسفات کل (TP) در حد بهینه خواهد بود. همچنین در pH بهینه استفاده از کلرورفریک جهت حذف فسفر مؤثرتر از آلوم در تصفیه اولیه و ثانویه می‌باشد.

جدول ۶ نسبت مولار Al/p و Fe/p را برای حذف فسفر کل در تصفیه اولیه و ثانویه نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول ۶ می‌توان نتیجه‌گیری نمود که آلوم یک منعقدکننده مؤثر، خصوصاً در pH بهینه می‌باشد.

پلی‌الکترولیت (کالگون) در دوز ۳ mg/L نسبت به زمانی که دوز ۶ mg/L استفاده می‌شود، فلوکهای با کیفیت‌تری ایجاد می‌نماید. فلوک بهتر به این معنی است که با زمان ماند کمتر و با سرعت بیشتری در حوضچه ته‌نشینی می‌شود. اگر در تصفیه ثانویه نسبت Al/p، ۲/۴۱ و مقدار پلی‌الکترولیت ۶ mg/L باشد ۹۰٪ فسفر حذف می‌شود.

برای کلرورفریک در تصفیه اولیه نسبت بهینه Fe/p، ۳/۱۱ است. زمانی که از یک پلی‌الکترولیت نیز همزمان با آن استفاده شود همین نسبت برای حذف ۹۰٪ فسفر در تصفیه ثانویه خیلی بیشتر و در حدود ۴/۳۳ بدست می‌آید.

حذف فسفر توسط آهک

آهک نیز مانند آلوم و کلرورفریک به عنوان منعقدکننده برای حذف فسفر در شرایط ممکن از نظر pH، مقدار منعقدکننده و پلی‌الکترولیت در تصفیه اولیه و ثانویه فاضلاب آزمایش شد.

تشکیل کمپلکس فسفر و فلز (آلومینیم) می‌باشد. کاهش یک درجه pH از pH بهینه به دست آمده باعث توقف حذف فسفر شده و علت آن احتمالاً اسیدی شدن محیط است که مانع تشکیل کمپلکس یون فلز با ترکیبات فسفر است.

با مقایسه نتایج حذف فسفر کل در تصفیه اولیه و ثانویه مشاهده می‌شود که تأثیر تصفیه ثانویه کمتر از تصفیه اولیه است. برای مثال، با نسبت Al/p برابر ۱/۵ در تصفیه اولیه و ثانویه مشاهده می‌شود که تأثیر تصفیه ثانویه کمتر از تصفیه اولیه است. برای همان سطح از حذف فسفر در تصفیه ثانویه، نسبت Al/p باید بیشتر از ۴/۵۰ باشد که تقریباً ۳ برابر مقدار آلوم مصرفی در تصفیه اولیه می‌باشد. علت این امر این است که در تصفیه اولیه غلظت فسفر کل موجود در فاضلاب تقریباً بیش از دو برابر مقدار آن در تصفیه ثانویه است. در طول تصفیه ثانویه بخشی از ارتوفسفات موجود در فاضلاب بوسیله باکتریهای هوازی کاهش می‌یابد و بخشی از پلی‌فسفات‌ها یا بخش غیرآلی فسفات‌ها که نیاز به مقدار بیشتری از مواد منعقدکننده دارند باقی می‌مانند.

حذف فسفر بوسیله کلرورفریک

کلرورفریک به عنوان یک منعقدکننده مؤثر جهت حذف عناصر مغذی، شناخته شده است. در این مطالعات کلرورفریک نیز مشابه آلوم در تصفیه اولیه و ثانویه مورد استفاده قرار گرفت. در اینجا صرفاً روی نتایج حذف ارتوفسفات محلول پس از تنظیم pH بحث خواهد شد. مانند فرایند قبلی، برای کلرورفریک نیز در نمونه‌های فاضلاب pH بهینه به دست آمد که در حدود ۴/۷۵ در شرایط آزمایشگاهی بود.

برنارد (۱۹۸۲) همین مقدار را برای تصفیه فاضلاب شهری نیز گزارش کرده است. نتایج به دست آمده رابطه خطی زیر را بین نسبت $Fe/(P_o)_f$ و حذف فسفر نشان می‌دهد.

$$\ln[(P_f)/(P_o)_f] = -0.71 Fe/(P_o)_f + \ln 138/74 \quad (7)$$

جدول ۶ - مقایسه کارایی آلوم و کلرورفریک برای حذف فسفات کل در تصفیه اولیه و ثانویه

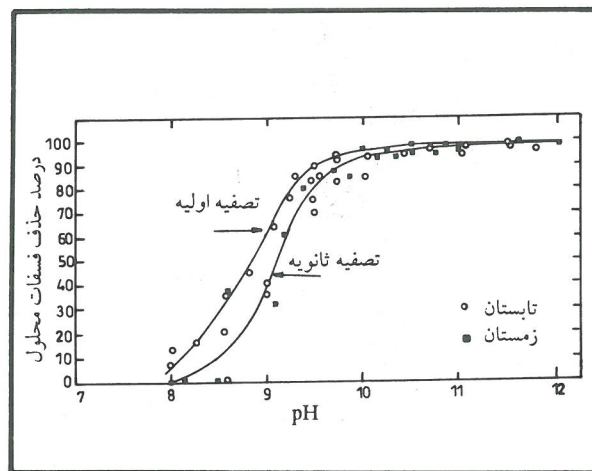
نسبت مولار Al/P

| تصفیه ثانویه | | | | تصفیه اولیه | | | | حذف (%) |
|--------------|--------|--------|---------------|-------------|--------|--------|---------------|---------|
| ۰/۹ppm | ۰/۶ppm | pH=۶/۵ | pH تنظیم نشده | ۰/۶ppm | ۰/۳ppm | pH=۶/۵ | pH تنظیم نشده | |
| ۲/۴۷ | ۲/۴۱ | ۲/۸۲ | ۳/۲۲ | ۲/۵۳ | ۲/۳ | ۱/۴۹ | ۲/۳۶ | ۹۰ |
| ۵/۵۲ | ۲/۹۳ | ۳/۱۶ | ۷/۱۳ | ۳/۲۸ | ۲/۸۲ | ۱/۷۲ | ۲/۹۳ | ۹۵ |
| * | ۵/۴۶ | * | * | ۵/۰۶ | ۴/۱۴ | * | ۴/۳۱ | ۹۹ |

نسبت مولار Fe/P

| تصفیه ثانویه | | | | تصفیه اولیه | | | | حذف (%) | |
|--------------|--------|---------|---------------|-------------|--------|---------|---------|---------|---------------|
| ۰/۶ppm | ۰/۳ppm | pH=۴/۷۵ | pH تنظیم نشده | ۰/۶ppm | ۰/۳ppm | ۰/۱۵ppm | pH=۴/۷۵ | | pH تنظیم نشده |
| ۴/۵۶ | ۴/۳۳ | * | ۵/۶۷ | ۵/۳۹ | ۳/۱۱ | ۳/۶۷ | ۱/۴۴ | ۲/۹۴ | ۹۰ |
| ۶/۰ | ۵/۶۱ | * | ۷/۱۱ | * | ۴/۰ | ۵/۰۳ | * | ۳/۷۸ | ۹۵ |
| * | * | * | * | * | ۶/۰ | * | * | ۵/۶۷ | ۹۹ |

* محاسبه امکان پذیر نبود.



شکل ۸ - حذف فسفات محلول در تصفیه اولیه و ثانویه

نتیجه گیری

برای غلظت‌های کم فسفر محلول (FP)، استفاده از کلرورفریک به عنوان منعقدکننده بهتر از آلوم است که به دلیل ظرفیت جرمی بیشتر آن می‌باشد. حذف فسفر محلول و فسفر کل توسط آهک عملی است اما تولید مقدار زیاد لجن مانع استفاده از آن می‌شود. لذا استفاده از آهک جهت حذف شیمیایی فسفر مقرون به صرفه نیست.

در این تحقیق روابط ساده ریاضی، بین مقدار منعقدکننده مصرفی و فسفر حذف شده که از نتایج آزمایشگاهی و مطالعات عملی بر روی تصفیه‌خانه‌ها می‌باشد ارائه گردید.

این معادلات می‌توانند در لاگون‌های هوادهی که یکی از اهداف آنها حذف فسفر به روش فیزیکی و شیمیایی است مورد استفاده قرار گیرد. در تصفیه ثانویه جهت حذف فسفر کل مقدار منعقدکننده بیشتری نسبت به تصفیه اولیه جهت دستیابی به همان درجه از حذف مورد نیاز است.

☆ Subba Naraslah, K., Morasse, C., and Lemay, J., (1994)
"Phosphorus Removal from Aerated Lagoons
Using Alum, Ferric Chloride and Lime"
Water Poll. Res. J. Canada, Volume 29, No. 1, 1-18