

## حذف فسفات از محیط مایه توسط رزین نانو ذرات آهن (لیواتیت FO36)

لیدا رفتی<sup>۱</sup>، امیرحسین محوی<sup>۲</sup>، رامین نبی زاده<sup>۳</sup>، محمد هادی دهقانی<sup>۳</sup>، کاظم ندافی<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران. ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران. ایران. (مؤلف مسؤول) تلفن: ۰۲۱-۸۹۵۴۹۱۴-۲۱. ahmahvi@yahoo.com

۳- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران. ایران.

### چکیده

**زمینه و هدف:** ورود فسفر به دریاچه‌ها سبب رشد جلبک‌ها و ایجاد پدیده اوتریفیکاسیون می‌شود. هدف از این مطالعه ایجاد یک روش مناسب، قابل کاربرد و بررسی کارایی رزین نانو ذرات آهن به عنوان یک روش جدید برای حذف فسفات می‌باشد.

**روش بررسی:** از رزین تبادل‌کننده لیواتیت FO36 در حذف فسفات برای انجام آزمایشات استفاده گردید. کل آزمایشات در ستون بستر ثابت با سرعت جریان ۹ ml/min و زمان تماس بستر خالی ۲/۱ min در ۱۱ مرحله انجام گرفت (۶ مرحله از آزمایشات در غلظتهای ۱ تا ۱۶ mg/l راه اندازی شد که در pH خنثی ۷ تهیه شده‌اند). در مرحله دوم، عملیات احیاء رزین توسط ترکیبی از محلولهای NaOH و NaCl صورت گرفت، سپس تأثیر آنیونهای رقابت کننده کلراید، سولفات، بی کربنات و ترکیب کل آنیونهای مذکور بر عملکرد رزین مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت کارایی رزین در حذف فسفات بر روی نمونه پساب تصفیه‌خانه شهرک قدس تهران انجام شد و داده‌ها در نرم افزار SPSS ۱۳ مورد آنالیز قرار گرفت.

**یافته‌ها:** ظرفیت جذب برای غلظتهای ۱ تا ۶ mg/l فسفات بترتیب ۱/۳۱، ۱/۳۵، ۱/۵۳، ۱/۶۴، ۱/۷ و ۱/۷۵ mg به ازاء هر گرم رزین محاسبه گردید و ظرفیت جذب رزین بعد از عملیات احیا برای غلظت ۶ mg/l فسفات محاسبه شد که با ۸/۵٪ کاهش به ۱/۶ mg به ازاء هر گرم رسید.

**نتیجه گیری:** نتایج مطالعه نشان داد که با افزایش غلظت فسفات ظرفیت جذب رزین افزایش یافت و همچنین یونهای کلراید، سولفات، بی کربنات و مجموع آنیونهای مذکور تأثیری بر عملکرد رزین در حذف فسفات نداشتند.

**کلید واژه‌ها:** حذف فسفات، لیواتیت FO36، آنیونهای رقابت کننده، جذب

وصول مقاله: ۸۹/۱/۳۰ اصلاحیه نهایی: ۸۹/۴/۹ پذیرش مقاله: ۸۹/۴/۱۳

### مقدمه

می‌شود و در نهایت این آنیون در اثر نشست از طریق مواد معدنی و یا سنگهای معادن در پروسه‌های طبیعی، تجزیه محصولات پاک کننده، فاضلاب صنایع و به عنوان یک عنصر مهم در فاضلاب خانگی به آبهای زیر زمینی و یا آبهای سطحی وارد می‌شود (۲). فسفر به عنوان ماده ضروری برای رشد گیاهان در خاک و به عنوان عنصر محدودکننده در رشد جلبک‌ها و ایجاد اوتریفیکاسیون در پیکره آبهای سطحی نقش مهمی دارد (۳). برای بوجود آمدن پدیده اوتریفیکاسیون غلظت

فسفات یکی از اصلی‌ترین مواد برای کارخانجات و صنایع است که به میزان خیلی زیادی در ساخت کودها، دترجنت‌ها، نرم کننده‌های آب و فراورده‌های غذایی و نوشیدنی و دیگر فرایندهایی که پایه اصلی آنها فسفات است به کار می‌رود (۱). اکثر کشورها در دنیا به فسفات بعنوان یک ماده اولیه برای استفاده در پروسه‌های صنعتی خود وابسته هستند (۱). فسفات در اثر کاربردهای بهداشتی گوناگون ناشی از فعالیت انسان وارد آب

قادر به حذف فسفات می‌باشند (۲۹ و ۲۸). اکسی هیدروکسی‌های آهن به صورت فری هیدرات‌ها هستند و به صورت طبیعی به اشکال ۲ و یا ۳ ظرفیتی وجود دارند که از قبیل: آکاجنیت، هماتیت و جوتیت وجود دارند. در این مطالعه عملکرد نوعی رزین جاذب Lewatit FO36 که بانانو ذرات اکسی هیدروکسی‌های آهن پوشش داده شده است را در حذف فسفات از محیط‌های آبی با استفاده از تکنیک پیوسته، بررسی کرده‌ایم سپس حضور آنیون‌های کلراید، سولفات، بی‌کربنات و مجموع کل آنیون‌های مذکور را در حضور یون فسفات مورد بررسی قرار دادیم و از تکنیک اسپکتروفتومتریک غلظت فسفات را با استفاده از مولیدات و انادات تعیین کردیم. این مطالعه از فروردین ماه ۱۳۸۸ لغایت آذر ماه ۱۳۸۸ در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام گردید.

### روش بررسی

در این مطالعه که از مطالعات تجربی- کاربردی است و از رزین لیواتیت FO36 که از شرکت Laxness آلمان خریداری گردید برای کلیه آزمایشات و راه اندازی ستون مورد استفاده قرار گرفت. این رزین، نوعی جاذب جدید است که ترکیبی از رزین آنیونی پلیمری و اکسیدهای آهن با ساختار جوتیت ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ) دارد. منافذ این رزین آنیونی ضعیف با پروسه‌ها و فرآیندهای خاص توسط اکسیدهای آهن در مقیاس نانومتر پوشش داده شده‌اند. این لایه نازک و بسیار فعال اکسیدهای آهن به صورت انتخابی عمل کرده و فسفات را از محیط آبی حذف می‌نماید. ساختار پلی‌استایرن رزین به این ماده، پایداری مکانیکی بالا و شکل‌پذیری خاصی می‌دهد. به دلیل یکنواختی

۰/۰۰۵ تا ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر فسفات بر حسب سفر مورد نیاز است (۴). استاندارد فسفات در آبهای آشامیدنی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر بوده (۵) و استاندارد تخلیه پساب به آبهای سطحی برابر ۶ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (۶). پروسه‌های مختلفی برای حذف فسفات از محیط‌های مایه وجود دارد از جمله ترسیب شیمیایی (۸ و ۷) جذب (۹ و ۱۰) روشهای بیولوژیکی (۱۱ و ۱۲) کریستالیزاسیون (۱۳) و اسمز معکوس (۱۴)، که اکثر روشهای فیزیکی از جمله اسمز معکوس گران هستند (۱۴) و با استفاده از روشهای بیولوژیکی درصد حذف فسفات بیشتر است (۱۵) اما روش شیمیایی به عنوان کامل‌کننده و برای وضعیت‌های قابل اجرا مورد نیاز است (۱۶). در این بین این روش ترسیب شیمیایی با آهن، آلوم، آهک و منیزیم از رایج‌ترین روشها برای حذف فسفات از فاضلاب‌اند (۱۷). فرایند جذب یک روش مناسب برای حذف فسفات از محیط‌های مایه است که ظرفیت جذب مواد با استفاده از فعال سازی سطح افزایش می‌یابد (۱۹ و ۱۸). امروزه استفاده از رزین‌های شلاتینگ، روند رو به افزایش دارد و بدلیل داشتن ظرفیت بالای جذب، پایداری و قابلیت انتخابی بودن از آنها در حذف عناصر استفاده می‌گردد (۲۱ و ۲۰). این رزین‌ها ساختار پلیمری دارند و با گروههای عمل‌کننده که قدرت انتخاب یونها را دارند کمپلکس تشکیل می‌دهند (۲۵-۲۲). رزین Lewatit FO36 از جمله رزین‌هایی است با ساختار پلی‌استایرن که همانند جوتیت با گروههای سطحی  $\text{FeO(OH)}$  پوشش داده شده است (۲۶) این کار برای از بین بردن افت فشارهای بالا در هنگام استفاده از نانو ذرات در ستون‌های بستر ثابت یا هر سیستم مشابه به کار می‌رود (۲۷). مطالعات نشان می‌دهد که نانو ذراتی چون آهن، آلومینیوم، زیرکونیم، تیتانیوم

اندازه‌های ذرات رزین، هنگام استفاده از آن به صورت فیلتر، مایع به صورت جریانی یکنواخت از رزین عبور می‌کند و میزان انرژی پمپ برای بهره‌برداری یکسان به دلیل شکل یکنواخت (هموزن) ذرات کاهش می‌یابد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی رزین در جدول (۱) آورده شده است.

برای تهیه محلول استوک فسفات طبق کتاب استاندارد متد دستورالعمل شماره P-۴۵۰۰ (۳۰) از نمک کاملاً محلول پتاسیم هیدروژن فسفات ( $KH_2PO_4$ ) به صورت روزانه و با استفاده از آب مقطر دو بار تقطیر، استفاده گردید و سپس محلولهای فسفات در غلظت‌های مشخص ۱ تا ۶ میلی‌گرم بر لیتر به صورت جداگانه در ظروف ۱ لیتری از محلول استوک فسفات تهیه شد و برای حضور آنیونها، محلول‌های ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر کلراید از نمک کلرور سدیم، ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بی‌کربنات از نمک بی‌کربنات سدیم و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات از نمک سولفات سدیم با رقیق‌سازی محلولهای استوک تهیه گردید. PH اولیه کلیه محلولهای تهیه شده برای آزمایشات توسط NaOH و HCL نرمال در حدود ۷ تنظیم گردید. آزمایشات در ستونهای بستر ثابت با قطر ۱ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و با سرعت جریان ۹ میلی‌لیتر در دقیقه که بر اساس معادله شماره ۱ باعث ایجاد یک زمان تماس بستر خالی ۲/۱ دقیقه‌ای می‌گردد، انجام شد.

معادله شماره ۱:

$$V_{empty}=19.6 \quad Q=\frac{9ml}{min} \rightarrow EBCT=\frac{V_{empty}}{Q}=\frac{19.6}{9}=2.1 \text{ min}$$

ستون (شکل ۱ ب) با مقدار ۲ گرم رزین که حجمی معادل ۱/۶ میلی‌لیتر از ستون را اشغال می‌کند پر شده، به منظور جلوگیری از خروج رزین از ستون،

انتهای ستون توسط پشم شیشه پوشانده شد و برای تنظیم دبی جریان از یک شناور استفاده گردید، نمای کلی پایلوت (شکل ۱ الف). در این مطالعه ۱۱ ستون به صورت مجزا راه اندازی گردید، در ابتدا ستون در ۶ مرحله و به طور مجزا برای غلظت‌های ۱ تا ۶ میلی‌گرم بر لیتر راه اندازی شد و در مرحله بعد غلظت ۶ میلی‌گرم بر لیتر برای احیاء رزین در نظر گرفته شد، سپس ۴ مرحله در حضور یونهای کلراید، بی‌کربنات، سولفات و مجموع آنیونها راه اندازی و بعد از این مراحل برای نمونه پساب تصفیه خانه شهرک قدس تهران، ستون راه اندازی گردید. در ۶ مرحله اول برای تعیین ظرفیت جذب رزین محلول فسفات را از بستر رزین عبور داده و نمونه برداری تا رسیدن غلظت خروجی به غلظت اولیه ۱-۶ میلی‌گرم بر لیتر که بصورت جداگانه راه اندازی شد، ادامه یافت. برای محاسبه ظرفیت جذب رزین از نرم افزار Data Studio استفاده شد. در مرحله بعد که برای انجام عملیات احیاء رزین، ستون راه اندازی گردید، رزینی را که غلظت ۶ میلی‌گرم بر لیتر فسفات را از آن عبور دادیم برای عملیات احیاء در نظر گرفته و عملیات احیاء رزین را با کمک محلولهای کلرور سدیم و هیدروکسید سدیم به نسبت وزنی ۱:۱ انجام گردید و مجدداً غلظت ۶ میلی‌گرم بر لیتر را از رزین اشباع شده عبور دادیم. داده‌ها توسط نرم افزار Data Studio مورد تحلیل قرار گرفت.

برای حضور آنیونهای رقابت کننده در حضور یون فسفات، غلظت ۳ میلی‌گرم بر لیتر فسفات را به صورت جداگانه در حضور آنیونهای کلراید، بی‌کربنات، سولفات و سپس مجموع کل آنیونهای مذکور مورد بررسی قرار داده شد و برای تحلیل داده‌ها از نرم افزار اکسل استفاده شد و در نهایت نمونه پساب تصفیه خانه

توسط نرم افزار Data Studio محاسبه گردید (نمودار ۲)، ظرفیت رزین با ۸/۵٪ کاهش به ۱/۶ میلی گرم به ازاء هر گرم رزین رسید.

#### تأثیر آنیونهای رقابت کننده: آنیون کلراید:

نمودار (۳) رفتار جذب فسفات در حضور یون کلراید را نمایش می‌دهد. در حضور یون کلراید برای رسیدن غلظت فسفات به میزان ۳ میلی گرم بر لیتر بعد از BVs ۱۳۷۵ حجم بستر آب رخ می‌دهد و در حالت عدم حضور یون کلراید در غلظت ۳ میلی گرم بر لیتر میزان BVs ۲۹۵۰ حجم بستر بدست آمد. بر اساس آنالیز Two-Sample T Test میزان  $p=0/۸۵$  برای مقایسه قبل و بعد از مداخله آنیون کلراید بدست آمد.

#### آنیون بی کربنات:

نمودار (۴) رفتار جذب فسفات در حضور یون بی کربنات را نمایش می‌دهد. در حضور یون بی کربنات برای رسیدن غلظت فسفات به میزان ۳ میلی گرم بر لیتر بعد از BVs ۱۲۸۱/۲۵ حجم بستر آب رخ می‌دهد و در حالت عدم حضور یون بی کربنات در غلظت ۳ میلی گرم بر لیتر میزان BVs ۲۹۵۰ حجم بستر بدست آمد. بر اساس آنالیز Two-Sample T Test میزان  $p=0/۸۸$  برای مقایسه قبل و بعد از مداخله آنیون بی کربنات بدست آمد.

#### آنیون سولفات:

نمودار (۵) رفتار جذب فسفات در حضور یون سولفات را نمایش می‌دهد. در حضور یون سولفات برای رسیدن فسفات به میزان ۳ میلی گرم بر لیتر بعد از BVs ۱۴۶۸/۷۵ حجم بستر آب رخ می‌دهد و در حالت عدم حضور یون سولفات در غلظت ۳ میلی گرم بر لیتر میزان BVs ۲۹۵۰ حجم بستر بدست آمد. بر اساس

شهرک قدس تهران که میزان فسفات آن ۳ میلی گرم بر لیتر بود مورد بررسی قرار گرفت. میزان فسفات توسط دستگاه اسپکترو فتومتر مدل SHIMUDZU – UV 1700 و در محدوده ۴۲۰ نانومتر توسط معرف مولیبدات وانادیم بر اساس کتاب استاندارد متد اندازه‌گیری شد. pH نمونه‌ها توسط دستگاه pH سنج Methrom مدل E 520 مورد سنجش واقع شد. به دلیل اینکه آزمایشات به صورت دینامیک انجام شد و نمونه‌برداری تا رسیدن به نقطه اشباع ادامه یافت، تعداد دقیق نمونه‌ها در حین آزمایش مشخص و بر اساس حجم بستر محاسبه گردید. تعداد کل نمونه‌های انجام شده در این مطالعه بر اساس حجم بستر ۱۷۶ نمونه بود.

#### یافته‌ها

##### محاسبه ظرفیت جذب رزین:

(غلظت ۱ میلی گرم بر لیتر فسفات): میزان ۴/۷۲۵ لیتر آب مقطر حاوی ۱ میلی گرم بر لیتر فسفات از ستون عبور داده شد و نمونه‌برداری تا رسیدن غلظت فسفات به غلظت ورودی ۱ میلی گرم بر لیتر ادامه پیدا کرد نمودار ۱ (typically) سطح زیر منحنی مقدار فسفاتی را نشان می‌دهد که توسط رزین جذب نشده و از ستون عبور کرده، بنابراین از کل فسفات وارد شده به ستون ۲/۶۲۷ میلی گرم آن جذب ۲ گرم رزین شده است که ظرفیت جذب برای هر گرم رزین ۱/۳۱ میلی گرم می‌باشد. برای غلظت‌های ۲ تا ۶ میلی گرم بر لیتر به ترتیب ۱/۳۵، ۱/۵۳، ۱/۶۴، ۱/۷ و ۱/۷۵ میلی گرم به ازای هر گرم رزین بدست آمد. آنالیز آماری رگرسیون خطی برای ۶ غلظت مجزا بدست آورده شد.

##### محاسبه ظرفیت جذب رزین پس از عملیات احیاء:

پس از عملیات احیاء و عبور غلظت ۶ میلی گرم بر لیتر از ستون حاوی رزین احیا شده ظرفیت جذب رزین

Two-Sample T Test میزان  $p=0/89$ ، برای مقایسه قبل و بعد از مداخله مجموع آنیونها بدست آمد. نمونه پساب تصفیه خانه شهرک قدس تهران نمودار (۷) رفتار رزین بر روی نمونه پساب تصفیه خانه شهرک قدس تهران را به نمایش می گذارد. مقایسه آن با غلظت ۳ میلی گرم بر لیتر نمونه سنتتیک نشان داد میزان آب عبوری از بستر رزین برای رسیدن به غلظت اولیه ۳ میلی گرم بر لیتر به BVS ۱۱۸۷/۵ کاهش می یابد.

آنالیز Two-Sample T Test میزان  $p=0/88$  برای مقایسه قبل و بعد از مداخله آنیون سولفات بدست آمد. مجموع آنیونها ( کلراید، بی کربنات، سولفات): نمودار (۶) رفتار جذب فسفات در حضور مجموع آنیونها را نمایش می دهد. در حضور مجموع آنیونها برای رسیدن فسفات به میزان ۳ میلی گرم بر لیتر بعد از ۲۹۵۰ BVS حجم بستر آب رخ می دهد و در حالت عدم حضور یون سولفات در غلظت ۳ میلی گرم بر لیتر میزان ۱۰۹۳/۷۵ BVS حجم بستر بدست آمد. بر اساس آنالیز

جدول ۱: مشخصات فیزیکی و شیمیایی لیوانیت FO 36

|                           |                                  |
|---------------------------|----------------------------------|
| ۱/۱                       | ضریب یکنواختی                    |
| ۱/۲۵ g/ml                 | دانسیته                          |
| ۰/۷۶۵ g/L                 | دانسیته حجمی                     |
| ۴-۱۴                      | pH فعالیت                        |
| ۴-۱۱                      | pH بهینه راهبری                  |
| ۴۰ تا -۲۰ درجه سانتی گراد | گستره دمایی فعالیت               |
| ۲ سال                     | حداکثر مدت زمان نگهداری در انبار |
| $\geq 40$ min.g/L         | ظرفیت کل جذب                     |
| NaOH+NaCl (نسبت ۱ به ۱)   | نحوه احیاء                       |

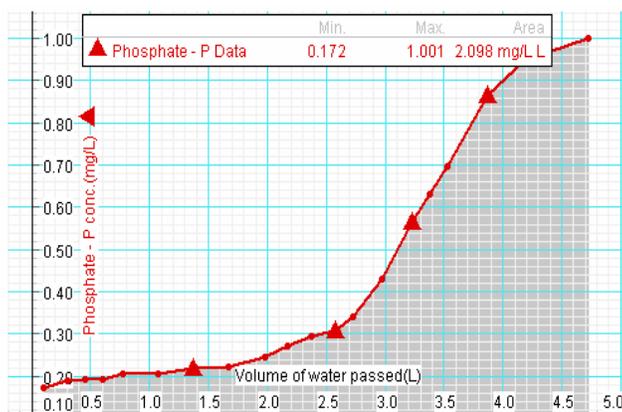


الف

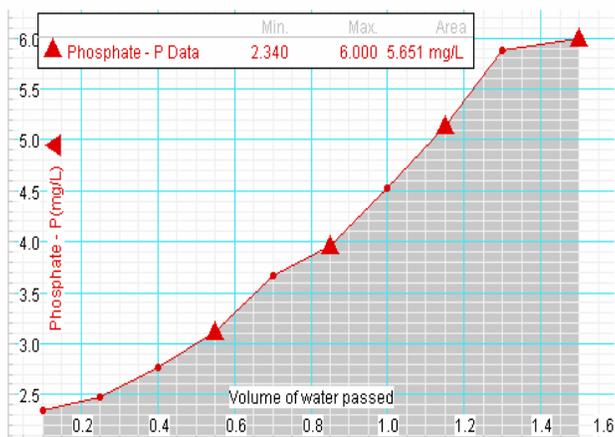


ب

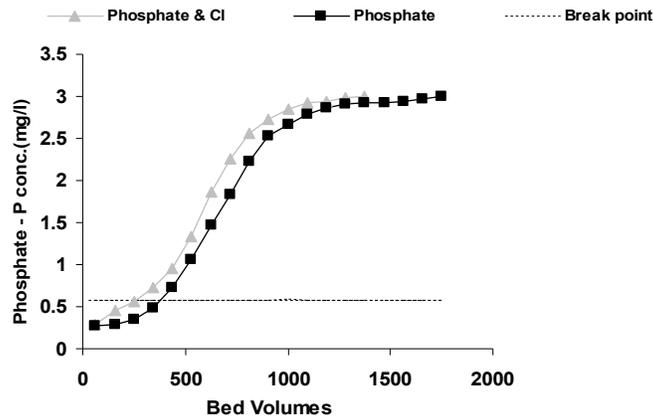
تصویر ۱: الف - نمای کلی پایلوت ب- ستون حاوی رزین



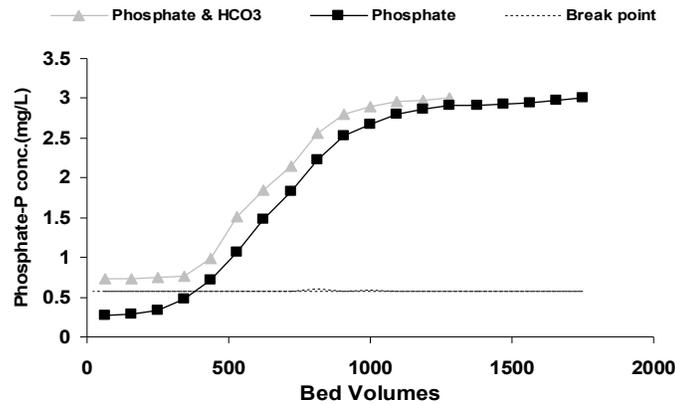
نمودار ۱: نتایج حاصل از ظرفیت جذب رزین توسط نرم افزار Data studio. غلظت فسفات (mg/l) (typically)



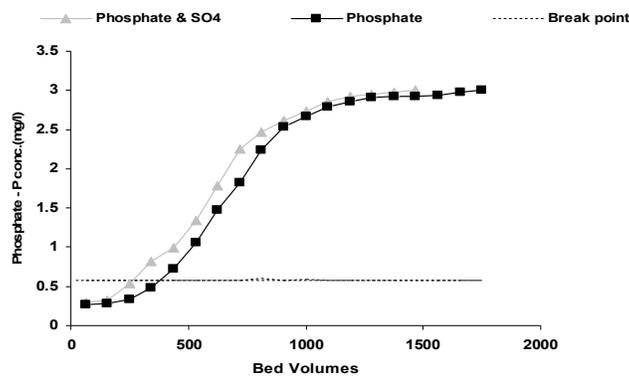
نمودار ۲: نتایج حاصل از ظرفیت جذب رزین پس از احیاء توسط نرم افزار DataStudio



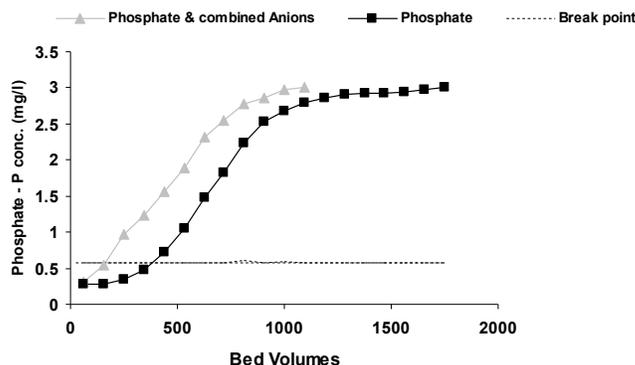
نمودار ۳: نتایج حاصل از تأثیر یون کلراید بر عملکرد رزین در حذف فسفات (غلظت فسفات ۳ mg/l، کلراید: ۷۰ میلی گرم بر لیتر، زمان تماس بستر خالی: ۲/۱ min)



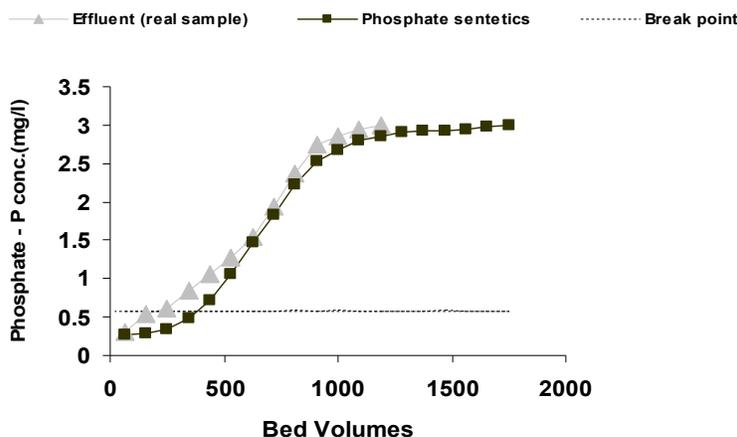
نمودار ۴: نتایج حاصل از تأثیر یون بی کربنات بر عملکرد رزین در حذف فسفات (غلظت فسفات ۳ mg/l، بی کربنات = ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر، زمان تماس بستر خالی = ۲/۱ min)



نمودار ۵: نتایج حاصل از تأثیر یون سولفات بر عملکرد رزین در حذف فسفات (غلظت فسفات ۳ mg/l، سولفات: ۶۰ میلی گرم بر لیتر، زمان تماس بستر خالی: ۲/۱ دقیقه)



نمودار ۶: نتایج حاصل از تأثیر ترکیب کل آنیون‌ها بر عملکرد رزین در حذف فسفات (فسفات = ۳ میلی‌گرم بر لیتر، کلراید = ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر، سولفات = ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر، بی‌کربنات = ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر زمان تماس بستر خالی = ۲/۱ دقیقه)



نمودار ۷: نتایج حاصل از پساب تصفیه خانه شهرک قدس تهران (فسفات = ۳ میلی‌گرم بر لیتر، کلراید = ۷۵ میلی‌گرم بر لیتر، سولفات = ۶۲ میلی‌گرم بر لیتر، بی‌کربنات = ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر، زمان تماس بستر خالی = ۲/۱ min)

### بحث

در شرایط سیستم را بی‌اثر سازد و با اعمال نیرویی بر یک طرف واکنش، واکنش به سمت دیگر تمایل پیدا می‌کند، از این رو با افزایش غلظت مثلاً جذب شونده تعادل به هم می‌خورد و در سیستم واکنش صورت می‌گیرد تا حالت تعادل تازه‌ای برقرار شود، واکنش مستقیم به سمت تعدیل آنها و جذب بیشتر پیش خواهد

بر اساس نمودار ۱ فرایند جذب یک فرآیند تعادلی است، طبق اصل لوشاتولیه تغییر در هر یک از شرایطی که معین‌کننده حالت یک سیستم در حال تعادل است موجب می‌شود که وضع تعادل تغییر کند، این تغییر وضع به طریقی صورت می‌گیرد که تغییر بوجود آمده

(HAIX)<sup>1</sup> انجام دادند آنیونهای رقابت کننده سولفات، کلراید و بی کربنات تأثیری بر عملکرد جذب فسفات نداشتند (۳۲). همچنین Jeanine و همکاران در سال ۱۹۹۷ مقایسه‌ای جهت فسفات و سولفات بر روی جوئیت داشتند. این مطالعه نشان داد که یون سولفات تأثیری در جذب فسفات بر روی جوئیت ندارد (۳۳).

### نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده توسط این مطالعه تصفیه محلولهای حاوی فسفات توسط لیواتیت FO36 می‌تواند یک گزینه مناسب برای حذف فسفات باشد چرا که جاذب مورد نظر دارای قابلیت احیاء و استفاده مجدد می‌باشد. بر اساس آنالیز آماری بر روی ۶ غلظت اولیه ۱ تا ۶ میلی گرم بر لیتر فسفات برای ظرفیت جذب رزین و بدست آوردن  $p=0/04$ ، ارتباط سطح غلظت با میزان جذب رزین نشان داد که با افزایش غلظت، میزان جذب رزین افزایش می‌یابد و نیز با توجه به آنالیز آماری، آنیونهای مداخله گر تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی حذف فسفات نداشتند.

قابلیت احیاء پذیری رزین مورد نظر، توانایی استفاده مجدد از آن را تصدیق خواهد کرد و انجام یا عدم انجام عملیات احیاء بستگی به محل کاربرد آن و مسائل اقتصادی دارد، اما لازم به ذکر است که استفاده از عملیات احیاء در سیستم‌های کوچک مقرون به صرفه نخواهد بود. هر چند که توصیه می‌شود یک مطالعه در مقیاس راهنما در این زمینه انجام شود و برآورد هزینه تصفیه ۱ متر مکعب محلول حاوی فسفات از لحاظ فنی و اقتصادی تهیه و سپس در مورد استفاده از این جاذب تصمیم گیری شود.

رفت و در یک حد از غلظت سیستم به جایی می‌رسد که جایی ندارد و به نقطه اشباع می‌رسد. با توجه به ظرفیتهای جذب بدست آمده برای ۶ غلظت اولیه فسفات نشان داده شد که با افزایش غلظت، میزان جذب افزایش می‌یابد.

همانطور که از نمودار ۲ مشاهده می‌گردد فرایند احیاء، باعث کاهش توانایی جذب رزین می‌شود و به تبعیت از آن میزان جذب فسفات کاهش می‌یابد. میزان تجمع فسفات بر روی رزین برای بار اول برابر (mg/g) ۱/۷۵ که پس از احیاء به (mg/g) ۱/۶ می‌رسد که نشان دهنده کاهش به میزان ۸/۵ درصد می‌باشد. بر اساس مطالعه Genz و همکاران در سال ۲۰۰۴ احیاء جاذب گرانولهای اکسید آهن که دارای ساختاری مشابه با رزین مورد استفاده در این تحقیق است و توسط محلول سود سوزآور احیاء گردید را بسیار مؤثر دانستند (۳۱). Blaney و همکاران در سال ۲۰۰۷ نشان دادند که تا ۹۰٪ از ظرفیت بستر رزین جاذب تعویض یونی هیبریدی که دارای ساختاری مشابه با رزین مورد استفاده در این تحقیق است، توسط محلول سود سوزآور و سدیم کلراید احیاء گردید (۳۲).

نمودارهای ۳ الی ۶ نشان می‌دهند که آنیونهای کلراید، بی کربنات، سولفات و مجموع آنیونها، تأثیری بر روی عملکرد رزین در حذف فسفات نخواهد داشت که این امر حاکی از آن است در محیط‌های رقابت کننده با آنیون‌ها، گرایش رزین به آنیون فسفات نسبت به سایر آنیونهای رقابت کننده بیشتر است و به این دلیل در رقابت با فسفات، آنیونهای مداخله گر تأثیری بر جذب فسفات نداشتند.

بر اساس تحقیقات Blaney و همکاران در سال ۲۰۰۷ که بر روی رزین تعویض یونی هیبریدی

1. Hybrid anion exchanger

کلیه حمایت‌های فنی و مالی این مطالعه از سوی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران تامین شده است.

### References

1. Hrioyuki Y, Wilmer AG. Equilibria for adsorption of phosphates on OH-Type strongly basic ion exchanger. *Aiche Journal* 2002; 48: 2193-2202.
2. McGhee Terence J. *Water supply and sewerage*. Singapore: McGraw-Hill, 1991. p. 70-75.
3. Antelo J, Avena M, Fiol S, Lopez R, Arce F. Effects of pH and ionic strength on the adsorption of phosphate and arsenate at the goethite-water interface. *Journal of Colloid and Interface Science* 2005; 285: 476-486.
4. United Nations Environment Program. *Water quality monitoring*. 2nd ed. New York: Chapman & Hall, 1996. p. 12-14.
5. Chapra SC. *Surface water-quality modeling*. 2nd ed. Singapore: McGraw-Hill. 1997. p. 83.
6. Park JK. *Wastewater characterization for evaluation of biological phosphorus removal*. Wisconsin department of natural resources. Research Report 1994; 174: 29.
7. Penetra RG, Reali M A P, Foresti E, Campos J.R. Post-treatment of effluents from anaerobic reactor treating domestic sewage by dissolved-air flotation. *Water Sci Technol* 1999; 40: 137-143.
8. Ruixia L, Jinlong G, Hongxiao TJ. Adsorption of fluoride, phosphate, and arsenate ions on a new type of ion exchange fiber. *J Colloid Interface Sci* 2002; 248: 268-274.
9. Ugurlu A, Salman B. Phosphorus removal by fly ash. *Environ Int* 1998; 24: 911-918.
10. Chitrakar R, Tezuka S, Sonoda A, Sakane K, Ooi K, Hirotsu T. Selective adsorption of phosphate from seawater and wastewater by amorphous Zirconium hydroxide. *J Colloid Interface Sci* 2006; 297: 426-433.
11. Patureau D, Helloin E, Rustrian E, Bouchez T, Delgenes J P, Moletta R. Combined phosphate and nitrogen removal in a sequencing batch reactor using the aerobic denitrifier, *microvirgula aerodenitrificans* *Water Res* 2001; 35:189-197.
12. Gieseke A, Arnz P, Amann R, Schramm A. Simultaneous P and N removal in a sequencing batch biofilm reactor: insights from reactor and microscale investigations. *Water Res* 2002; 6: 501-509.
13. Eggers E, Dirkzwager A H, Van der Honing H. Full-scale experiences with phosphate crystallisation in a crystalactor. *Ter Sci Technol* 1991; 4: 333-334
14. Adin A. Soffer Y, Ben Aim R. Effluent pretreatment by iron coagulation applying various dose-pH combinations for optimum particle separation. *Water Sci Technol* 1998; 38: 27-34.
15. Blouin GM, Rindt DW, Moore O E. Sulfurcoated fertilizers for controlled release: pilot plant production. *J Agric Food Chem* 1971; 9: 801-808.
16. de-Bashan L E, Bashan Y. Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as fertilizer (1997-2003). *Water Res* 2004; 38: 4222-4246.
17. Erik H. *Stability constants of metal-ion complexes part A: Inorganic Ligands*. 1nd ed. Pergamon Press: Oxford, 1982. p. 128.
18. Namasivayam C, Sangeetha D. Equilibrium and kinetic studies of adsorption of phosphate onto ZnCl<sub>2</sub> activated coir pith carbon. *J Colloid Interface Sci* 2004; 80: 359-365.
19. Kasama T, Watanabe Y, Yamada H, Murakami T. Sorption of phosphates on Al-pillared smectites and mica at acidic to neutral pH. *Appl Clay Sci* 2004; 5: 67-177.
20. Zhang C, Li X, Ng J. Synthesis and adsorption properties of magnetic resin microbeads with amine and mercaptan as chelating groups. *Journal of Applied Polymer Science* 2001; 82: 1587-92.
21. Cumbal L, Greenleaf J, Leun D, SenGupta AK. Polymer supported inorganic nanoparticles: characterization and environmental applications. *Reactive and Functional Polymers* 2003; 4: 167-80.
22. Reddy KH, Reddy AR. Removal of heavy metal ions using the chelating polymers derived by the condensation of poly (3-hydroxy-4-acetylphenyl methacrylate) with different diamines. *Journal of Applied Polymer Science* 2003; 8: 414-21.

23. Jeon C, Holl WH. Chemical modification of chitosan and equilibrium study for mercury ion removal. *Water Research* 2003; 37: 4770-80.
24. Llosa Tanco MA, Pacheco Tanaka DA, Flores VC, Nagase T, Suzuki TM. Preparation of porous chelating resin containing linear polymer ligand and the adsorption characteristics for harmful metal ions. *Reactive and Functional Polymers* 2002; 53: 91-101.
25. rafati L, Asgari AA, Hosini SS, Mhvi AH. Evaluating the performance of iron nano particle resin (Lewatit FO36) in removing Cr (VI) from aqueous solutions. *Int J Environ Sci Tech* 2010; 7: 147-156.
26. Antelo J, Avena M, Fiol S, Lopez R, Arce F. Effects of pH and ionic strength on the adsorption of phosphate and arsenate at the goethite-water interface. *Journal of Colloid and Interface Science* 2005; 285: 476-486.
27. Habuda S, Kalajdi B, Kule M, Veli N. Arsenite and arsenate sorption by hydrous ferric oxide/polymeric material. *Desalination* 2008; 229: 1-9.
28. Honglei L, Chengqing Y, Chun H. Removal of phosphate by mesoporous ZrO<sub>2</sub>. *Journal of Hazardous Materials* 2008; 151: 616-622.
29. Cundy AB, Hopkinson L, Whitby RLD. Use of iron-based technologies in contaminated land and groundwater remediation: A review. *Science of the Total Environment* 2008; 400: 42-51.
30. Apha, Awwa and Wpcf: Standard Methods for the Examination of water and wastewater. 20<sup>th</sup> ed. American Public Health Association. Washington D.C, 2005. p. 4-111
31. Genz A, kornmuller A, Jekel M. Advanced phosphorus removal from membrane filtrates by adsorption on activated aluminium oxide and granulated ferric hydroxide. *Water Research*. 2004; 38: 3523-3530.
32. Blaney Lee M, Cinar S, SenGupta Arup K. Hybrid anion exchanger for trace phosphate removal from water and wastewater. *Water Research* 2007; 41: 1603-1613.
33. Jeanine S, Geelhoed Tjisse, Hiemstra, Van Riemsdijk WH. Phosphate and sulfate adsorption on goethite: Single anion and competitive adsorption. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1997; 61: 2389-2396.