

## بررسی کارایی حذف فسفر توسط ژئولیت اصلاح شده در شرایط جریان زهاب در زهکش

فرشته زادجانعلی چوبری<sup>۱</sup> - مریم نوایان<sup>۲\*</sup> - مجید وظیفه دوست<sup>۳</sup> - مهدی اسمعیلی ورکی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱

### چکیده

فسفر یکی از آلاینده‌های زهاب زهکش‌های سطحی بخش کشاورزی محسوب می‌شود که حد غیر مجاز این ماده باعث خوراک‌وری منابع آب سطحی می‌شود. در این تحقیق کارایی ژئولیت طبیعی سمنان که توسط سورفاکتانت هگزادسیل تری متیل آمونیوم بروماید اصلاح شد، در حذف فسفر زهاب در شرایط جریان در زهکش‌های کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا بعد از اصلاح ژئولیت طبیعی ابتدا آزمایش‌های سینتیک جذب، ایزوترم جذب، اثرگذاری pH و دما بر میزان حذف فسفر توسط ژئولیت اصلاح شده در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. آزمایش‌ها بر روی ژئولیت با اندازه ۳-۵ میلی‌متر برای حذف اثر اندازه ذرات بر حذف فسفر انجام شد. برای ارزیابی شرایط جریان بر فرآیند حذف فسفر، مدل فیزیکی زهکش و حوضچه فیلتر ژئولیت اصلاح شده در طول‌های ۳، ۲ و ۵ سانتیمتر ساخته شد. دو دبی ۰/۵ و ۰/۱ لیتر بر ثانیه در زهکش اعمال و تغییرات غلظت فسفر پس از عبور از حوضچه‌های فیلتری در زمان‌های مختلفی اندازه‌گیری گردید. آزمایش سینتیک جذب فسفر نشان داد ژئولیت اصلاح شده در ۲ ساعت اول بیشترین درصد حذف فسفر را داشت. به علاوه درصد حذف فسفر، با افزایش pH از ۳ به ۸، کاهش و از ۸ تا ۱۲، افزایش یافت. همچنین درصد حذف با افزایش دما در بازه ۱۷ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. تحقیقات نشان داد، ایزوترم لنگمویر تطابق خوبی برای بیان حذف فسفر توسط ژئولیت اصلاح شده دارد. نتایج مدل فیزیکی نشان داد که درصد حذف فسفر در دبی بالاتر و طول کمتر حوضچه‌های فیلتری به دلیل تماس بیشتر ژئولیت اصلاح شده با زهاب زیادتر بود.

واژه‌های کلیدی: ارتوفسفات، ایزوترم، ژئولیت اصلاح شده، زهکش، هگزادسیل تری متیل آمونیوم

### مقدمه

برای استفاده از جاذب‌های با کاربری آسان و سازگار با شرایط مختلف کیفیت زهاب، درجه حرارت و سرعت جریان زهاب انجام شده است (۲، ۴ و ۲۴). از جمله جاذب‌های مقرون به صرفه برای حذف فسفر می‌توان به ژئولیت اشاره کرد (۱۹، ۲۵ و ۲۸). چارچوب ساختار ژئولیت طبیعی، ماده معدنی آلومینوسیلیکات است که به طور عمده با سدیم و کلسیم و مقدار کمی استرونیوم، باریم، پتاسیم، منیزیم و یون‌های فلزی دیگر همراه است. ژئولیت یک جاذب قوی، تبادلگر یون با ظرفیت تبادل کاتیونی بالا<sup>۵</sup>، گزینش‌پذیری کاتیون و راندمان بالای جذب است (۱۴). با این حال ژئولیت طبیعی میل ترکیبی ناچیزی با آنیون‌هایی مانند فسفر دارد (۷). تحقیقات نشان داده است که با اصلاح ژئولیت توسط سورفاکتانت‌های<sup>۶</sup> کاتیونی مانند هگزادسیل تری متیل آمونیوم بروماید<sup>۸</sup>، بارمنفی سطح ژئولیت به بار مثبت تغییر

فسفر یکی از آلاینده‌های موجود در زهاب زهکش کشاورزی به‌خصوص زهکش سطحی است که به دلیل استفاده از کود فسفاتی ایجاد می‌شود. فسفر اضافی از علل اصلی پدیده اوتروفیکاسیون منابع آبی محسوب شده و منجر به کاهش کیفیت منبع می‌گردد (۲۱). امروزه با توجه به کاهش شدید منابع آب در دسترس، حذف فسفر فسفاتی در جهت استفاده مجدد از زهاب امری اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد. راهکارهای بسیاری برای حذف فسفر از زهاب با توجه به مقررات مربوط به تخلیه فسفر به منابع آبی مورد استفاده و بررسی قرار گرفته است (۶ و ۲۹). از جمله راهکارهای حذف فسفر از زهاب یا آب‌های آلوده، استفاده از مواد شیمیایی، روش‌های بیولوژیکی و استفاده از جاذب است (۲۲ و ۲۷). در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی

5- Cation exchange capacity (CEC)

6 -Modify

7- Surfactant modified zeolite (SMZ)

8- HDTMA- Br

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران گروه مهندسی آب،

دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

(Email: Navabian@guilan.ac.ir

\*) نویسنده مسئول:

اثرگذار بر میزان حذف فسفر در جهت دستیابی به اهداف تحقیق؛ نحوه آزمایش سینتیک جذب، اثرگذاری pH و دما و بررسی ایزوترم جذب بر میزان حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مقیاس آزمایشگاهی و همچنین مدل فیزیکی زهکش و حوضچه‌های فیلتر زئولیت اصلاح شده انجام شد که به تفکیک در ادامه توضیح داده می‌شوند.

### مشخصات زئولیت

زئولیت مورد استفاده در این تحقیق از معادن سمنان تهیه شده است که خواص شیمیایی آن به نقل از شرکت افردتوسکا در جدول ۱ آمده است. به منظور حذف اثر اندازه زئولیت بر کارایی حذف فسفر، اندازه ذرات در ۳ تا ۵ میلی‌متر توسط الک استاندارد جدا و در آزمایشگاه بکار گرفته شد.

### آماده‌سازی و اصلاح زئولیت

برای آماده سازی زئولیت ابتدا ۱۰۰ گرم زئولیت با ۳۰۰ میلی گرم آب مقطر، ۱۰ بار شستشو و به مدت ۱۶ ساعت در آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک شد. اصلاح زئولیت با استفاده از سورفکتانت هگزادسیل تری متیل آمونیوم- بروماید (شرکت Merck) انجام شد. برای این کار زئولیت خشک شده به نسبت ۱:۱۰۰ (محلول: جامد) با محلول HDTMA با غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر (۳) به مدت ۸-۷ ساعت با سرعت ۱۵۰ دور بر دقیقه شیکر شد. بعد از مرحله شیکر، بخش جامد با صافی ۰/۴۵ میکرون متر جدا و نظیر مرحله ابتدایی آماده سازی زئولیت، با آب مقطر شستشو و به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت در هوای آزاد خشک شد.

### بررسی سینتیک جذب فسفر توسط زئولیت اصلاح شده

برای بررسی نحوه تغییرات زمانی جذب فسفر توسط زئولیت اصلاح شده و تعیین زمان رسیدن به تعادل، آزمایش سینتیک صورت گرفت. آزمایش سینتیک بر روی محلول حاوی ۱/۵۶ میلی گرم فسفر بر لیتر (برای ساخت محلول از نمک  $KH_2PO_4$  استفاده شد)، انجام شد به طوری که فلاسک‌های حاوی ۱۰۰ میلی لیتر از محلول پس از اضافه شدن یک گرم زئولیت اصلاح شده، در داخل شیکر با سرعت ۲۰۰ دور بر دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند (۱۲).

می‌یابد (۱۷) و به این ترتیب با تغییر شیمی سطح آن اجازه می‌دهد تا آنیون‌ها با روش جایجایی یونی جذب زئولیت شوند (۱۱). استفاده از زئولیت‌های اصلاح شده با سورفکتانت‌های کاتیونی برای حذف آلاینده‌ها از آب به وسیله برخی محققان مطالعه شده است (۱۵ و ۱۶). پژوهش‌های متعددی در زمینه ظرفیت تبادل یونی و جذب زئولیت‌های اصلاح شده گزارش شده است (۵ و ۲۳). هرونوویک و همکاران (۱۲) در سال ۲۰۰۸، اثر متقابل دو اندازه از زئولیت اصلاح شده و توده باکتری ارتوفسفات در فرایند حذف فسفر را مورد ارزیابی قرار دادند و نشان دادند که به دلیل اصلاح سطح زئولیت طبیعی توسط هگزادسیل تری متیل آمونیوم بروماید، ظرفیت جذب فسفر در اندازه بزرگتر ذرات به صورت قابل توجهی افزایش می‌یابد. تحقیقات وانچون و همکاران (۲۶) نیز نشان داد که با افزایش سایز ذرات زئولیت، درجه تاثیر جذب سطحی فسفر توسط زئولیت افزایش می‌یابد. بانسیوال و همکاران (۳) از سورفکتانت‌های کاتیونی، به منظور اصلاح زئولیت در جهت تغییر سطح و افزایش ظرفیت آن برای نگهداشت آنیون فسفات استفاده کردند. پس از بارگذاری فسفر توسط کود فسفردار بر روی زئولیت اصلاح شده و زئولیت طبیعی، میزان بارپذیری فسفر بر روی آن‌ها مقایسه و سپس میزان رهاسازی فسفر با استفاده از روش راکتور نفوذ جریان ثابت بررسی شد. نتایج نشان داد که زئولیت اصلاح شده یک جاذب خوب برای فسفات و همچنین آزاد ساز تدریجی فسفر در خاک محسوب می‌شود. هرونوویک و همکاران (۱۳) نشان دادند که اصلاح زئولیت طبیعی باعث تغییر پتانسیل زتا سطح و تبدیل آن از منفی به مثبت می‌شود. در نتیجه، ظرفیت جذب فسفر در زئولیت اصلاح شده افزایش می‌یابد.

همانطور که بیان گردید مطالعات گسترده‌ای در زمینه شناخت رفتار زئولیت اصلاح شده در فرایند حذف فسفر در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده، اما تحقیقاتی در زمینه استفاده کاربردی از این جاذب در شرایط حاکم بر جریان زهاب در زهکش‌های کشاورزی انجام نشده است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی کارایی زئولیت اصلاح شده سمنان برای کاهش غلظت فسفر در زهکش کشاورزی در مقیاس آزمایشگاهی و مدل فیزیکی زهکش سطحی و قابلیت تعمیم نتایج آزمایشگاهی به زهکش‌های مزرعه است.

### مواد و روش‌ها

به منظور شناخت ویژگی‌های زئولیت اصلاح شده و عوامل

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی زئولیت سمنان به درصد (به نقل از شرکت افردتوسکا)

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	AlO <sub>2</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> O	L <sub>۲</sub> O.I <sub>*</sub>	ترکیبات
۱/۳۰	۰/۸۰	۰/۳۰	۰/۰۴	۰/۰۱	۶۶	۱۱/۸	۳/۱۰	۲/۱۰	۲	۱۲	مقدار(%)

\*Loss on ignition

که در آن  $q_e$  غلظت ماده جذب‌شونده در واحد جرم زئولیت پس از رسیدن به تعادل (mg/g)،  $C_e$  غلظت تعادلی ماده جذب‌شونده (mg/L)،  $V$  حجم مایع داخل فلاسک (لیتر) و  $M$  جرم زئولیت (گرم) هستند.

در این پژوهش به منظور بررسی رفتار جذب فسفر بر روی سطح جاذب از دو مدل ایزوترم لنگمویر و فرندلیچ استفاده شد (۱۸). شکل غیر خطی مدل ایزوترم لنگمویر به صورت معادله ۳ تعریف می‌شود.

$$q_e = \frac{abC_e}{1 + bC_e} \quad (3)$$

که در آن  $a$  مقدار ظرفیت جذب تک لایه‌ای در مدل لنگمویر (mg/g) و  $b$  مقدار ثابت لنگمویر (l/mg) هستند. رابطه غیرخطی ایزوترم فرندلیچ ۴ به شکل زیر می‌باشد. در این معادله  $K_f$  فاکتور ظرفیت فرندلیچ و  $n$  فاکتور شدت فرندلیچ هستند.

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (4)$$

مناسب‌ترین مدل ایزوترم جذب با محاسبه آماره ضریب تبیین ( $R^2$ ) و مجموع مربعات خطا (SSE) با استفاده از رابطه ۵ تعیین شد. که در آن  $q_{i,cal}$  و  $q_{i,mean}$  به ترتیب مقادیر جذب اندازه‌گیری شده و محاسبه شده می‌باشند.

$$SSE = (q_{i,mean} - q_{i,cal})^2 \quad (5)$$

### مدل فیزیکی

به منظور کاربردی نمودن استفاده از زئولیت اصلاح شده در حذف فسفر، عملکرد و رفتار زئولیت در شرایط حاکم بر جریان در زهکش باید مورد بررسی قرار می‌گرفت. در این راستا مدل فیزیکی کانال زهکش سطحی با ابعاد  $15 \times 15 \times 20$  (طول  $\times$  ارتفاع  $\times$  عرض) سانتی‌متر از جنس پلاستیکی گلاس<sup>۱</sup> ساخته شد.

جهت بررسی تاثیر زمان، اثر طول مسیر حرکت زهاب و نحوه تماس زئولیت اصلاح شده با، حوضچه‌هایی با عرض ۱۵ سانتی‌متر (هم‌عرض کانال زهکش) و طول‌های ۲، ۳ و ۵ سانتی‌متر طراحی و در داخل کانال زهکش تعبیه شد. زهاب به طور چرخشی توسط پمپ از مخزن حاوی محلول فسفر به کانال زهکش منتقل و بعد از عبور از محفظه زئولیت اصلاح شده (حوضچه فیلتر) مجدد به مخزن تخلیه می‌شد (شکل ۱). به منظور بررسی اثر دبی زهاب بر عملکرد زئولیت اصلاح شده، دو دبی ۰/۱ و ۰/۰۵ لیتر بر ثانیه بر اساس هدایت هیدرولیکی زئولیت‌های اصلاح شده (برای جلوگیری از پس‌زدگی زهاب در حوضچه فیلتر)، انتخاب شدند. هدایت هیدرولیکی زئولیت به روش بار ثابت (۸) در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد.

هر فلاسک در بازه زمانی ۲ تا ۵۳ ساعت، در زمان‌های مشخص و در سه تکرار از شیکر خارج شده و پس از عبور نمونه‌ها از صافی واتمن ۴۵ میکرومتر، میزان فسفر آن با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل 6705 UV/ VIS - JENWAY) در طول موج ۸۸۰ نانومتر تعیین شد (۱). برای به دست آوردن درصد حذف در هر زمان از معادله ۱ استفاده شد (۱۸).

$$R = \frac{(C_0 - C_t) \times 100}{C_0} \quad (1)$$

که در آن  $R$  درصد حذف ارتوفسفات در فاز جامد،  $C_0$  غلظت اولیه ارتوفسفات در محلول (میلی‌گرم بر لیتر)،  $C_t$  غلظت ارتوفسفات در زمان  $t$  (میلی‌گرم بر لیتر) هستند. آزمایش سینتیک بدون تنظیم pH و در مقدار ۶/۸۵ انجام شد.

### بررسی اثر pH بر حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده

مشابه شرایط آزمایش سینتیک، اثر pH بر میزان حذف فسفر به شکل ارتوفسفات بررسی شد. pH اولیه محلول با کمک محلول ۰/۱ نرمال NaOH و HCl (۸ و ۱۱) در pH های ۳، ۶، ۸/۵ و ۱۱/۵ تنظیم شد. دمای آزمایش ۲۶ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان آزمایش با توجه به نتیجه آزمایش سینتیک جذب، ۲ ساعت در نظر گرفته شد.

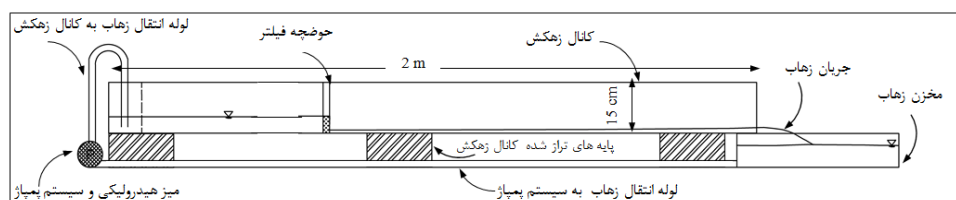
### بررسی اثر تغییر دما بر حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده

به منظور بررسی اثر تغییرات دما بر میزان حذف فسفر به شکل ارتوفسفات، محلولی با غلظت ۳ میلی‌گرم بر لیتر فسفر با نمک  $KH_2PO_4$  ساخته شد (pH برابر ۶/۹۴). سپس در شرایطی مشابه آزمایش سینتیک و در مدت زمان ۲ ساعت، اثر تغییرات دما در ۵ دمای مختلف ۱۷، ۲۲، ۲۵، ۲۷، ۳۰ سانتی‌گراد بر اساس دامنه تغییرات دمای آب رودخانه‌های منطقه انتخاب و بررسی شد.

### مطالعه ایزوترم جذب زئولیت اصلاح شده

به منظور بررسی شدت جذب فسفر توسط زئولیت اصلاح شده، آزمایش ایزوترم جذب در ۵ غلظت اولیه شامل بازه ۰/۴۴ تا ۵/۸۶ میلی‌گرم فسفر بر لیتر، در pH برابر ۷/۵ و دمای ۲۵ درجه انجام گرفت. مدت زمان آزمایش با توجه به نتایج آزمایش سینتیک، ۲ ساعت در نظر گرفته شد. روش انجام آزمایش، مطابق آزمایش سینتیک جذب صورت گرفت. از معادله ۲ به منظور تعیین جرم جذب‌شده به ازای واحد جرم جاذب (ایزوترم جذب) استفاده شد (۱۸).

$$q_e = \frac{(C_e - C_0) \times V}{M} \quad (2)$$



شکل ۱- دید از جانب کانال زهکش و حوضچه فیلتری ژئولیت اصلاح شده

جدول ۲- نام گذاری آزمایش های مدل فیزیکی کانال زهکش و حوضچه فیلتر

کد مدل	دبی (لیتر بر ثانیه)	طول حوضچه فیلتر (سانتی متر)
Q <sub>1</sub> H <sub>5</sub>	۰/۱	۵
Q <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	۰/۰۵	۵
Q <sub>1</sub> H <sub>3</sub>	۰/۱	۳
Q <sub>2</sub> H <sub>3</sub>	۰/۰۵	۳
Q <sub>1</sub> H <sub>2</sub>	۰/۱	۲
Q <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	۰/۰۵	۲

جدول ۳- آنالیز شیمیایی نمونه زهاب استفاده شده در بخش آزمایش مدل فیزیکی

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/L)	NO <sub>3</sub> -N (ppm)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (ppm)	K (meq/L)	Cl (meq/L)	Mg (meq/L)	Ca (meq/L)	Na (meq/L)	TDS (mg/l)	EC (μs)	pH
۱۵	۳	۸	۵/۲	۳/۴	۴	۵	۷۶	۴۲۸	۷۱۸	۷/۵

اندازه گیری شد. لازم به ذکر است که به منظور بررسی تاثیر عوامل غیر قابل پیش بینی در روند حذف فسفر زهاب در کانال زهکش (مانند تلاطم جریان زهاب و هواگیری زهاب در کانال)، آزمایشی به عنوان شاهد و بدون حضور ژئولیت اصلاح شده در حوضچه فیلتر و مشابه با شرایط سایر آزمایش های انجام شد.

### تجزیه و تحلیل داده ها

تجزیه و تحلیل داده ها با نرم افزار SPSS و پس از بررسی نرمال بودن داده ها با آزمون شپرو<sup>۱</sup> و آزمون یکسان بودن واریانس بین گروه ها براساس آزمون لون<sup>۲</sup>، با توجه به هدف آزمایش آزمون مقایسه میانگین مناسب انجام شد. مقایسه میانگین دوتایی داده ها با استفاده از گزینه POST HOC و آزمون های LSD، دانکن و توکی انجام شد.

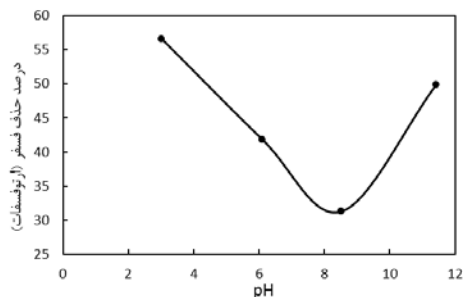
### نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمایش ها در مقیاس آزمایشگاهی شامل تاثیر زمان ماند، pH و دما بر میزان حذف فسفر توسط ژئولیت اصلاح

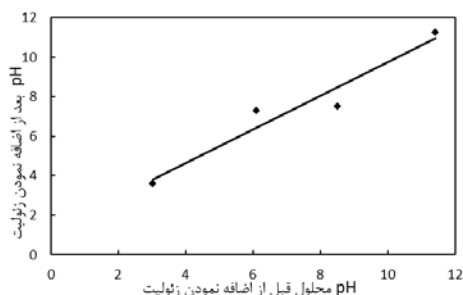
با آزمایش طول های مختلف حوضچه فیلتر در دو دبی، اثر هیدرولیکی جریان و ساختار هندسی حوضچه فیلتری بر میزان جذب فسفر توسط ژئولیت اصلاح شده در مدل کانال زهکش بررسی شد. دبی های مورد نظر به روش حجمی تنظیم شدند. نام گذاری آزمایش های مختلف بر روی مدل فیزیکی در جدول ۲ آمده است. در این سری آزمایشات به منظور نزدیک تر شدن به شرایط کیفی زهکش مزرعه، با توجه به مقدار استاندارد فسفر قابل تخلیه به منابع آب سطحی (۵ میلی گرم بر لیتر فسفر فسفات) (۲۰) و با توجه به نوع کود فسفردار متداول در منطقه، از کود سوپر فسفات تریپل برای تهیه زهاب مورد نیاز آزمایش ها استفاده شد. جدول ۳ خصوصیت شیمیایی زهاب تهیه شده را نشان می دهد. هدف کاهش فسفر زهاب از غلظت اولیه ۸ به ۵ میلی گرم بر لیتر فسفات در نظر گرفته شد. در این راستا، با توجه به نتایج ایزوترم جذب و حجم زهاب انتخابی ۲۰ لیتر، ۲۳۰ گرم ژئولیت اصلاح شده در حوضچه های فیلتر بکار گرفته و عملکرد آن در مدل فیزیکی بررسی شد. مدت زمان آزمایشات با توجه به مطالعات آزمایشگاهی ۲ ساعت در نظر گرفته شد. در طول مدت آزمایش، در زمان های مشخص و همچنین در زمان های قبل و بعد از اتمام آزمایش از زهاب داخل مخزن نمونه برداری به عمل آمد. pH قبل و بعد از آزمایش و همچنین دما در زمان انجام آزمایش

1- Shapiro  
2- Levene

$Ca^{2+}$  موجود در ساختار زئولیت ترکیب شده و رسوب فسفات را تولید می‌کند، بنابراین نسبت حذف فسفر بطور قابل توجه افزایش می‌یابد. شکل ۴ تغییرات pH قبل و بعد از اضافه نمودن زئولیت اصلاح شده در محلول حاوی فسفر را نشان می‌دهد.



شکل ۳- اثر تغییر pH در میزان حذف فسفر به شکل ارتوفسفات توسط زئولیت اصلاح شده



شکل ۴- تغییرات pH در روند جذب فسفر به شکل ارتوفسفات توسط زئولیت اصلاح شده

مطابق شکل ۴، pH سیستم (جامد: مایع) بعد از فرآیند جذب وقتی pH اولیه اسیدی است تمایل به افزایش و وقتی pH اولیه بازی است تمایل به کاهش داشت. اوپانگو و همکاران (۱۹) نشان دادند که این امر به دلیل اثر بافری زئولیت است.

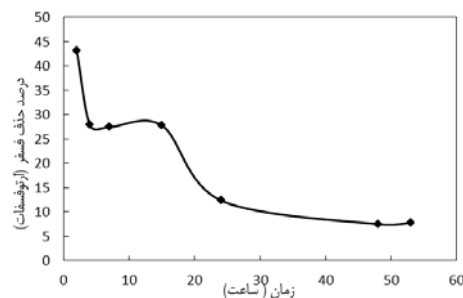
#### اثر تغییر دما بر حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده

با توجه به شکل ۵ افزایش دما موجب کاهش شدید درصد حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده شد، به طوریکه با افزایش دما از ۱۷ به ۳۰ درجه سانتی‌گراد، میزان حذف فسفر ۴۷ درصد کاهش یافت. آزمون One Way Anova نیز اختلاف معنی‌دار میانگین بین دماها را در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که تاییدی بر کاهش درصد حذف فسفر با افزایش دما و گرمای بودن روند جذب است. داس و همکاران (۶) نیز نشان دادند که کاهش هر دو مقدار b و q (ثابت‌های لنگمویر) با افزایش دما، حاصل کاهش ظرفیت جذب جاذب برای فسفات بوده و طبیعت گرمای این روند را نشان می‌دهد.

شده و همچنین بررسی ایزوترم جذب در شکل‌های ۲ تا ۶ آمده است. نتایج حاصل از مدل فیزیکی در شکل‌های ۷ تا ۱۲ ارائه شده است.

#### تأثیر زمان ماند در میزان حذف فسفر

شکل ۲ درصد حذف ارتوفسفات نسبت به زمان را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود با افزایش زمان، ابتدا درصد حذف کاهش یافت و سپس شکل ثابتی به خود گرفت.



شکل ۲- درصد حذف فسفر (ارتوفسفات) در اندازه ۵-۳ میلی‌متر نسبت به زمان توسط زئولیت اصلاح شده

روند کاهشی حذف فسفر نسبت به زمان را می‌توان ناشی از پرشدن سایت‌های ایجاد شده بر روی زئولیت اصلاح شده که بر جذب سطحی موثر هستند، دانست. با کمک آزمون One Way Anova و با سه آزمون متداول توکی و LSD و دانکن، زمان رسیدن به تعادل ۲۴ ساعت و حداکثر حذف در ۲ ساعت اول تعیین شد. وانچون و همکاران (۲۶) نشان دادند که زئولیت طبیعی در حذف فسفر بعد از ۴۵ دقیقه به تعادل می‌رسد.

#### اثر pH بر حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده

شکل ۳ به وضوح اثر تغییرات pH بر روی میزان حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده را نشان می‌دهد. با مقایسه واریانس بین گروه‌ها؛ نتایج، برابری واریانس بین گروه‌ها را نشان داد (سطح معنی داری = ۰/۴۶۱). سپس با آزمون One Way Anova (سطح معنی داری = ۰/۰۰۳) و مقایسه میانگین دوتایی داده‌ها، اختلاف معنی‌دار pH مساوی ۸/۵، pH های بالاتر و پایین‌تر در سطح احتمال ۵ درصد بدست آمد. همانطور که در شکل دیده می‌شود، درصد حذف فسفر با افزایش pH از ۳ به ۸، کاهش و از ۸ تا حدود ۱۲ افزایش یافت. تحقیقات نشان داده است که در pH کمتر از ۵ این امکان به وجود می‌آید که بار مثبت زئولیت اصلاح شده، فسفر موجود در محلول را به شکل  $H_2PO_4^-$  و  $HPO_4^{2-}$  جذب سطحی می‌کند (۲۸). همچنین در pH های بیشتر از ۸،  $PO_4^{3-}$  محلول با  $Ba^{2+}$  یا

۱- مقایسه میانگین یک متغیر در چندین گروه

بنابراین کسر جذب وابسته به غلظت اولیه است. برای انتخاب بهترین ایزوترم جذبی، با توجه به روش‌های خطی‌سازی، پارامتر هر یک از ایزوترم‌ها برآورد شد که در جدول ۴ آمده است.

مقایسه ضرایب تبیین و مجموع مربعات خطا (فرمول ۶) ارائه شده در جدول ۵ نشان می‌دهد که معادله لنگمویر تطابق بهتری نسبت به فرندلیچ دارد. وانچون و همکاران (۲۶) در تحقیقات آزمایشگاهی ایزوترم لنگمویر ( $b=0/1961$  و  $a=0/0125$ ) را مناسب برای توصیف ویژگی‌های جذب ژئولیت در جذب فسفر گزارش دادند. همانطور که مشخص شد در ژئولیت‌های با خصوصیات متفاوت، هرچند جذب از ایزوترم لنگمویر تبعیت می‌کند اما ثابت‌های ایزوترم جذب لنگمویر یکسان نیستند.

### بررسی مدل فیزیکی

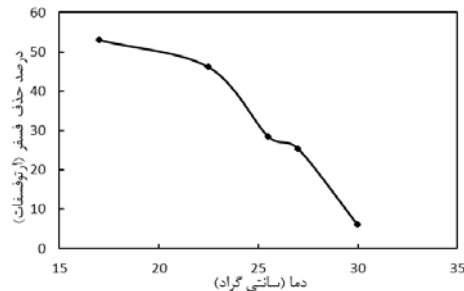
نتایج حاصل از آزمایش شاهد نشان داد که سیستم کانال زهکش و فرآیند هوادهی احتمالی ناشی از تلاطم و ریزش زهاب در ورودی کانال تأثیری در میزان حذف فسفر زهاب نداشت. در نتیجه حذف فسفر در سایر آزمایش‌های، حاصل ژئولیت اصلاح شده در حوضچه فیلتری بود. روند تغییرات حذف فسفر توسط ژئولیت اصلاح شده در دو دبی ۰/۰۵ و ۰/۱ لیتر بر ثانیه در حوضچه‌های با طول ۲، ۳ و ۵ سانتی‌متر به ترتیب در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ ارائه شده است.

جدول ۴- پارامترهای برآورد شده هریک از ایزوترم‌های فرندلیچ و لنگمویر

معادله خطی فرندلیچ	ثابت‌های فرندلیچ		$r^2$	SSE(mg/g)
	F	n		
$0/9093X - 0/9101 Y =$	۰/۰۵۱۸	۰/۹۱۰۱	۰/۷۳۵۳	۰/۰۹۰۳
معادله خطی لنگمویر	ثابت‌های لنگمویر		$r^2$	SSE(mg/g)
	a	b		
$3/4660X + 2/5105 Y =$	۰/۳۹۸۳	۰/۷۲۴۲	۰/۸۱۱۵	۰/۰۲۸۱

از آنجا که سیستم عبور زهاب در مدل فیزیکی کانال زهکش و حوضچه ژئولیت چرخشی بود، نتایج در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ بصورت درصد حذف فسفر از محلول زهاب اولیه نسبت به تعداد دور عبوری محلول زهاب از حوضچه ژئولیت اصلاح شده بیان شد. مدت زمان هر دور از تقسیم حجم زهاب به دبی تنظیم شده بدست آمد. pH قبل و بعد از آزمایش در مخزن زهاب به ترتیب ۷/۵ و ۸/۶ اندازه‌گیری شد. تغییرات دما در مدت ۲ ساعت بطور متوسط ۱۵/۶ تا ۲۲/۶ درجه سانتی‌گراد بود.

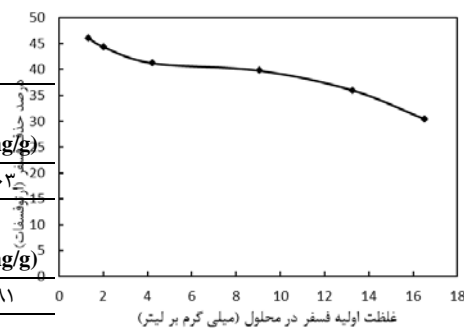
با توجه به شکل‌های ۷، ۸ و ۹ در هر سه طول، دبی ۰/۱ لیتر بر



شکل ۵- اثر تغییر دما در میزان حذف فسفر به شکل ارتوفسفات توسط ژئولیت اصلاح شده

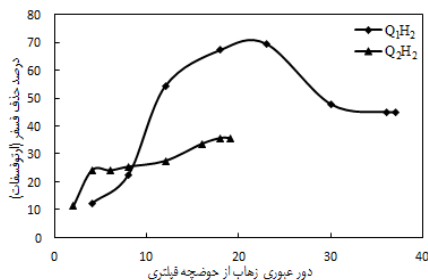
### بررسی ایزوترم‌های جذب

مطابق با نتایج شکل (۶- الف) و (۶- ب) به ازای افزایش غلظت اولیه فسفر، میزان جذب افزایش اما درصد حذف کاهش می‌یابد این بدان معنی است که شیب افزایش میزان جذب از شیب میزان افزایش غلظت کمتر است یعنی با دو برابر شدن غلظت اولیه میزان جذب کمتر از دو برابر افزایش می‌یابد. به ازای افزایش واحد غلظت، ۱/۳۸ درصد کاهش حذف فسفر روی خواهد داد، به‌طوریکه با افزایش غلظت فسفر از ۰/۴۴ به ۵/۳۷ میلی‌گرم بر لیتر، درصد حذف فسفر از ۴۵ به ۱۹ کاهش یافت. دلیل کاهش جذب در غلظت‌های بالاتر، افزایش نسبت تعداد اولیه مول فسفر به سطح قابل دسترس است.

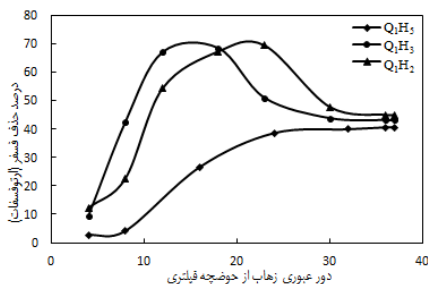


شکل ۶- اثر غلظت اولیه فسفر به شکل ارتوفسفات بر روی الف) میزان جذب ب) درصد حذف فسفر توسط ژئولیت اصلاح شده

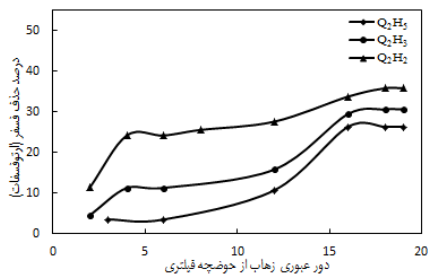
شرایط هیدرولیکی و هندسی جریان (سرعت و سطح مقطع جریان) دارد.



شکل ۹- درصد حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده در حوضچه با طول ۲ سانتی‌متر و دو دبی  $0/1$  و  $0/05$  لیتر بر ثانیه



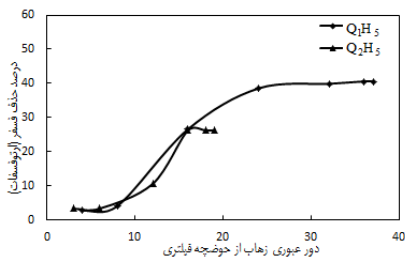
شکل ۱۰- درصد حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده در حوضچه با طول مختلف در دبی  $0/1$  لیتر بر ثانیه



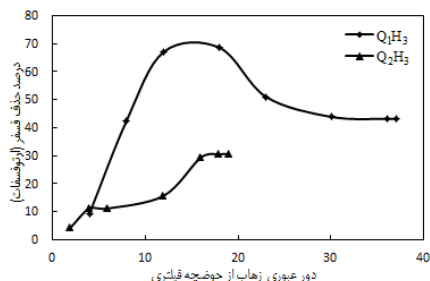
شکل ۱۱- درصد حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده در حوضچه با طول مختلف در دبی  $0/05$  لیتر بر ثانیه

با در نظر گرفتن خصوصیت فرآیند حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده (تبادل یونی) و نیاز به تماس بیشتر زهاب با زئولیت اصلاح شده و با توجه به اینکه در طول‌های ۲، ۳ و ۵ سانتی‌متر به ازای گرم یکسان زئولیت اصلاح شده، ارتفاع زئولیت اصلاح شده در حوضچه‌ها به ترتیب  $7/5$ ، ۵ و ۳ سانتی‌متر بود، می‌توان دلیل افزایش درصد حذف در طول ۲ سانتی‌متر را توضیح داد. در طول ۲ سانتی‌متر چون ارتفاع زئولیت اصلاح شده در حوضچه بیشتر از طولش است در نتیجه زهاب پس از ورود به حوضچه، برای خروج از آن مجبور بود تماس بیشتری با زئولیت اصلاح شده داشته و سپس رها شود.

ثانیه نتایج بهتری را نسبت به دبی  $0/05$  لیتر بر ثانیه نشان داد. با توجه به این حقیقت که فرآیند حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده تبادل یونی است و از الزامات این فرآیند نیاز به تماس و هم‌خوردگی بیشتر زهاب با زئولیت اصلاح شده می‌باشد، می‌توان نتیجه حاصل از آزمایش را تفسیر نمود. به بیان دیگر؛ در طول‌های یکسان حوضچه فیلتر، دبی بیشتر منجر به سرعت بیشتر زهاب در حوضچه فیلتر شده و در نتیجه با افزایش آشفته‌گی جریان در طولانی مدت احتمال جذب فسفر بر سطح زئولیت اصلاح شده بیشتر می‌شود.



شکل ۷- درصد حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده در حوضچه با طول ۵ سانتی‌متر و دو دبی  $0/1$  و  $0/05$  لیتر بر ثانیه



شکل ۸- درصد حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده در حوضچه با طول ۳ سانتی‌متر و دو دبی  $0/1$  و  $0/05$  لیتر بر ثانیه

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ درصد حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده در طول‌های مختلف مدل حوضچه، در دبی  $0/1$  لیتر بر ثانیه و دبی  $0/05$  لیتر بر ثانیه را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۱۰ با توجه به مقایسه هر ۳ طول در دبی  $0/1$  لیتر بر ثانیه، طول ۲ سانتی‌متر بیشترین درصد حذف را دارا بود. اگرچه طول ۳ سانتی‌متر تا ۱۸ دور، درصد حذف بیشتری نسبت به طول ۲ سانتی‌متر داشت اما به دلیل کاهش آن تا ۳۶ دور، طول ۲ سانتی‌متر به عنوان طول مناسب‌تر در نظر گرفته شد. همچنین مطابق شکل ۱۱ طول ۲ سانتی‌متر در دبی  $0/05$  لیتر بر ثانیه نیز بیشترین درصد حذف را دارا بود. در نتیجه طول ۲ سانتی‌متر به عنوان طول مناسب در هر دو دبی به‌دست آمد. یکسان نبودن عملکرد زئولیت اصلاح شده در حوضچه‌های با طول متفاوت نشان از اهمیت اثر نوع جریان (جریان آرام یا آشفته) و در نتیجه

مختلف مدل فیزیکی زهکش بعد از ۲ ساعت با درصد حذف مورد انتظار (۳۷/۴۲) مقایسه شد که نتایج فقط غیرمعنی دار بودن ساختار  $Q_1H_2$  در سطح احتمال ۵٪ را نشان داد. علت این امر را می‌توان تشابه سرعت چرخش آب در شیکر (آزمایشگاه) و عبور آب از میان زئولیت اصلاح شده (در مدل فیزیکی) دانست. بنابراین نوع و هیدرولیک جریان بر عملکرد زئولیت اصلاح شده در حوضچه جذب تاثیرگذار بوده و جهت طراحی این حوضچه‌ها (تعیین ابعاد حوضچه و مقدار گرم مورد نیاز جاذب)، نمی‌توان به نتایج آزمایشگاهی بسند است.

### نتیجه‌گیری

بررسی نتایج آزمایشگاهی نشان داد که زمان تعادل زئولیت اصلاح شده برای حذف فسفر زهاب ۲۴ ساعت و حداکثر جذب در ۲ ساعت اول بود. در شرایط کلیایی، حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده افزایش یافت. با افزایش دما و به دلیل گرمازا بودن فرآیند، میزان حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده کاهش یافت. مقایسه ایزوترم‌های جذبی نشان داد که جذب فسفر برای زئولیت‌های اصلاح شده از ایزوترم لنگمویر پیروی کرد. از طرفی نتایج حاصل از مدل فیزیکی، درصد حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده در دبی بالاتر در طول‌های ۲، ۳ و ۵ سانتی‌متر به ترتیب ۴۵، ۴۳ و ۴۰ و در دبی پایین‌تر به ترتیب ۳۶، ۳۱ و ۲۶ را نشان داد. به این ترتیب زئولیت اصلاح شده در شرایطی که دبی بالاتر و ضخامت کمتر است به دلیل فشردگی بیشتر ذرات نسبت به هم، کارایی بهتری داشت.

مطابق شکل ۱۰، در دبی ۰/۱ لیتر بر ثانیه و طول کوچک‌تر (یعنی ۲ و ۳ سانتی‌متر) برخلاف دبی ۰/۰۵ لیتر بر ثانیه در شکل ۱۱، تقریباً از دور ۱۸ به بعد درصد حذف کاهش یافته است. با توجه به اینکه در مدت زمان ۲ ساعت، تعداد دور عبوری زهاب از زئولیت اصلاح شده، در دبی ۰/۱ نسبت به دبی ۰/۰۵ لیتر بر ثانیه دو برابر بود، لذا می‌توان نتیجه گرفت که تا دور ۱۸، بیشترین درصد حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده صورت گرفت. اما با افزایش تعداد دور عبور زهاب از زئولیت اصلاح شده (در دبی ۰/۱ لیتر بر ثانیه)، هم‌زمان با کاهش توانایی زئولیت اصلاح شده برای حذف بیشتر فسفر، مقداری از فسفر که جذب سطح زئولیت اصلاح شده بود به زهاب پس داده شد و در حقیقت عمل واجذب صورت گرفت. در واقع با افزایش تعداد دور عبور زهاب از زئولیت اصلاح شده، ظرفیت زئولیت اصلاح شده برای جذب فسفر کاهش یافت.

با کمک داده‌های حاصل از آزمایش مدل فیزیکی در طول‌های مختلف حوضچه و روش آماری One way anova، بررسی زمان تعادل در مدل فیزیکی انجام شد (جدول ۵). همانطور که جدول ۵ نشان می‌دهد هر ۶ ساختار مدل حوضچه فیلتر، زئولیت اصلاح شده بعد از حدود ۱/۵ ساعت در میزان جذب فسفر به تعادل رسیدند.

### مقایسه درصد حذف فسفر توسط زئولیت اصلاح شده در

#### مقیاس آزمایشگاهی و مدل فیزیکی

مطابق شکل‌های ۵ و ۶؛ براساس آزمایش اثر دما و ایزوترم جذب، میزان حذف فسفر (ارتوفسفات) در غلظت اولیه ۸ میلی‌گرم بر لیتر زهاب، حدود ۳۷/۴۲ درصد برآورد شد. در شرایط مشابه غلظت اولیه فسفر، pH و دما، نتایج آزمایش ایزوترم جذب با ساختارهای

جدول ۵- زمان تعادل ساختارهای مختلف مدل فیزیکی زهکش و حوضچه فیلتری

کد مدل	$Q_1H_5$	$Q_2H_5$	$Q_1H_3$	$Q_2H_3$	$Q_1H_2$	$Q_2H_2$
دور عبوری زهاب از حوضچه فیلتری	۳۶	۱۶	۳۶	۱۶	۳۰	۱۶
مدت زمان (دقیقه)	۱۲۰	۱۰۷	۱۲۰	۱۰۷	۱۰۰	۱۰۷

### منابع

- مخبری ف. ۱۳۷۷. روش‌های آزمایش آب، فاضلاب و خاک. انتشار دانشگاه مازندران. بابلسر، صفحه: ۲۱۴-۲۱۵.
- Balaji T., and Matsunaga H. 2002. Sorption characteristics of As (III) and As (V) with titanium dioxide loaded Amberlite XAD-7 resin. *Anal Science*, 18(12): 1345-1349.
- Bansiwal A.M., Rayalu S.S., Labhasetwar N.K., Juwarkar A.A. and Devotta S. 2006. Surfactant-modified zeolite as a slow release fertilizer for phosphorus. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (54): 4773-4779.
- Cengeloglu Y., Mercimek B H., and Ersoz M. 1998. Sorption of target anion by ligand exchange. *Journal of Applied Polymer Science*, 69: 771-774.
- Chen Y.B., Ning P., Chen Y.H., and Zhang A.M. 2006. Phosphorus removal from slightly polluted water through rare earth. *Journal of Rare Earths*, 24: 328-331.
- Das J., Patra B.S., Baliarsingh N., and Parida K.M. 2006. Adsorption of phosphate by layered double hydroxides in aqueous solutions. *Applied Clay Science*, 32: 252-260.
- Dao T.H. 2003. Competitive anion sorption effects on dairy wastewater dissolved phosphorus extraction with zeolite-based sorbents. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 1: 263-269.



- 8- Drizo A., Frost C.A, Grace J. and Smith K.A. 1999. Physico- chemical screening of phosphate- removing substrates for use in constructed wetland systems. *Water Researcher*. Vol. 33, No. 17, pp. 3595-3602.
- 9- Hoffman D., Srinivasan R. and Wolfe J. 2007. Demonstration of an above-ground permeable reactive barrier system for removing nutrients from rainfall Runoff in the north bosque river watershed. Final report. Texas Agricultural Experiment Station / Blackland Research and Extension Center 720 East Blackland Road Temple, Texas 76502.
- 10- Goto Y., Matsumoto T. and Iso F. 1994. Adsorption of phosphate ion of natural zeolites. *Journal of the Clay Science Society of Japan*, 34: 102-107.
- 11- Haggerty G.M., Bowman R.S. 1994. Sorption of chromate and other inorganic anions by organo-zeolite. *Environmental Science & Technology*, 28: 452-458.
- 12- Hrenovic J., Rozic M., Sekovanic L., Anic- Vucinic A. 2008. Interaction of surfactant-modified zeolites and phosphate accumulating bacteria. *Journal of Hazardous Materials*, 156: 576-582.
- 13- Hrenovic J., Rozic M., Sekovanic L., Anic- Vucinic, A. 2010. P. 15- 18. Phosphate removal from waste water by surfactant- modified clinoptilolite. *Proceedings of the 3rd Croatian-Slovenian Symposium on Zeolites*. Trogir, Croatia.
- 14- Jiang X., Xie H., Wang Y. 2008. Application of zeolite water treatment. *Journal of Water Science, Technology and Economy*, 14(9). 215-231.
- 15- Li Z. and Bowman R.S. 1997. Counterion effects on the sorption of cationic surfactant and chromate on natural clinoptilolite. *Environmental Science & Technology*, 31: 2407-2412.
- 16- Li Z., Willms A.C., and Kniola K. 2003. Removal of anionic contaminants using surfactant-modified palygorskite and sepiolite. *Clays Clay Minerals Journal*, 5:445-51.
- 17- Li Z., Willms A.C. and Roy S. 2003. Desorption of hexadecyl trimethyl ammonium from charged surface. *Environmental Geosciences Journal*, 10(1): 37-45.
- 18- Nizam nik malek N.A. 2007. Surfactant modified zeolite Y as a sorbent for some chromium and arsenic species in water. Degree of Master of Science (Chemistry). Faculty of Science University Teknologi Malaysia.
- 19- Onyango M.S., Masukume M., Ochieng A. and Otieno F. 2010. Functionalised natural zeolite and its potential for treating drinking water containing excess amount of nitrate. *Water SA Vol. 36 No. 5. P. 655-662*. Available on website <http://www.wrc.org.za>.
- 20- Park J.K., Wang J., and Novotny G. 1997. Wastewater characterization for evaluation of biological phosphorus removal. Final report. WI: Department of Natural Resources; 1997 Aug. Report No.: 174.
- 21- Schindler D.W. 1977. Evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science, New Series*, Vol. 195, No. 4275. (Jan. 21, 1977), pp. 260-262.
- 22- Philip A.M., Bachand PH.D. 2003. Potential application of adsorptive media to enhance phosphorus uptake in storm water basins and wetlands at Lake Tahoe. Submitted to the University of California Davis Tahoe Research Group In fulfillment of Deliverable 1a of Contract No. 02-00700ICR.
- 23- Tokunaga S., Wasay S.A., Park S.W. 1997. Removal of arsenic (V) ion from aqueous solutions by lanthanum compounds. *Water Science and Technology*, 35: 71-78.
- 24- Urano K., and Tachikawa H. 1991. Process development for removal and recovery of phosphorus from wastewater by a new adsorbent. 1. Preparation method and sorption capacity of a new adsorbent. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 30: 1893-1896.
- 25- Vujakovic A.D., Tomasevic-canovic M.R., Dakovic A.D. and Dondur V.T. 2000. The adsorption of sulphate, hydrogenchromate and dihydrogenphosphate anions on surfactant-modified clinoptilolite. *Applied Clay Science*, 17: 265-277.
- 26- Wanchun T., Wang Q., Wang Y. and Zhengke P. 2011. Adsorption of nitrogen and phosphorus on natural zeolite and its influencing factors. p. 1949-1952. International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring. 19-20 February 2011, Changsha, Hunan, China.
- 27- Zhao Y., Wang J., Luan Z., Peng X., Liang Z., and Shi L. 2009. Removal of phosphate from aqueous solution by red mud using a factorial design. *Journal of Hazardous Materials*, 165:1193-1199.
- 28- Zengying Zh., and Chenghua H. 2005. Adsorption of phosphorus pollutants in wastewater. *J. Industrial Safety and Environmental Protection*, 31(12): 52-67.
- 29- Zhu X.P. and Jyo A. 2005. Column-mode phosphate removal by a novel highly selective adsorbent. *Water Researcher*, 39: 2301-2308.



## Efficiency of Phosphorus Removal by Modified Zeolite in Drain Flow Conditions in Agricultural Drainage

F. Zadjanali Choubari<sup>1</sup>- M. Navabian<sup>2\*</sup>- M. Vazifehdust<sup>3</sup>- M. Esmaeili Varaki<sup>4</sup>

Received:26-02-2013

Accepted:22-12-2013

### Abstract

Phosphorus is one of the main pollutants of agricultural surface drainage; that over standard doze of it cause eutrophication in surface water resource. This study investigates evaluation the ability of Semnan's zeolite, that modified by hexadecyltrimethylammonium, to removal phosphorus under flow conditions in agricultural drainage. In this regard, after modifying natural zeolite, at first was absorption kinetics, adsorption isotherms, affecting of pH and temperature experiments on phosphorus removal conducted by modified zeolite in laboratory scale. The experiments were done in 3-5 mm size of zeolite for investigating effect of zeolite size on phosphorus removal. In order to assess the flow conditions on phosphorus removal physical model of agricultural drainage and the modified zeolite filter ponds were constructed in length of 2, 3 and 5 cm. The both discharge 0.05 and 0.1 lit/s were applied in drainage and changes of phosphorus concentrations were measured at various times after passing through the filter ponds. The sorption kinetic experiments showed maximum phosphorus removal by modified zeolite occurred in the first 2 hours. Moreover, percent phosphorus removal with increasing the pH from 3 to 8 decreased and increased from 8 to 12. Also percent removal with increasing temperature in the range of 17 to 30 °C decreased. The results showed Langmuir isotherm had good agreement for explan phosphorus removal by modified zeolite. The results of physical model showed that higher percent phosphorus removal occurred in higher discharge and lower length of filter pond due to more contact drain water with the modified zeolite.

**Keywords:** Drainage, Hexa decyl trimethyl ammonium, Isotherm, Modified zeolite, Orthophosphate

---

1,2,3,4- MSc Student and Assistant Professors, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Respectively

(\* - Corresponding Author Email: Navabian@guilan.ac.ir)