

رفتار جذبی فسفر در رسوبات پشت بندهای رسوب گیر متوالی

فرخ اسدزاده^{۱*}، سارا ملاعلی عباسیان^۲، عباس صمدی^۳

۱. استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۲. استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه
۳. استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۳۰؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۶/۳۰)

چکیده

جذب فسفر توسط رسوبات نقش مهمی در کنترل غلظت آن در جریان آب رودخانه دارد. هدف از انجام این مطالعه ارزیابی رفتاری جذب فسفر توسط رسوبات پشت بندهای رسوب گیر متوالی بود. برای این منظور دو آبراهه فصلی در منطقه‌ی نوشان و انبی در اطراف شهر ارومیه در شمال غربی ایران انتخاب شد. آبراهه‌ی نوشان دارای سه بند و آبراهه‌ی انبی دارای پنج بند رسوب گیر بودند. آزمایش‌های هم‌دمای جذب فسفر به وسیله‌ی رسوبات پشت این بندها و همچنین نمونه‌ای از خاک دامنه‌ی هر آبراهه انجام شد. نتایج نشان داد که به دلیل وقوع فرآیند ترسیب انتخابی ذرات فرسایش یافته در طول آبراهه، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی رسوبات دارای تغییرات منظمی بوده و با حرکت به سمت بندهای پایین دست بافت رسوبات ریزتر شده و جذب فسفر توسط آن‌ها افزایش می‌یابد. مدل‌های ون‌های و فروندلیچ به ترتیب با میانگین ضریب تبیین ۰/۹۳۲ و ۰/۹۳۵ توانایی بیشتری در توصیف داده‌های جذب فسفر در مقایسه با مدل‌های لنگمویر و تمکین داشتند. داده‌های آزمایشی وجود شباهت ساختاری مدل‌های فروندلیچ و ون‌های را به اثبات رساند. بین ویژگی‌های نمونه‌های رسوب با ضرایب مدل‌های فروندلیچ و ون‌های روابط همبستگی معنی‌داری مشاهده شد. ضریب n معادله‌ی فروندلیچ دارای همبستگی معنی‌داری ($r = -0/748$; $p < 0/05$) با درصد شن نمونه‌ها بود که نشان دهنده‌ی کاهش مکان‌های جذبی با افزایش مقدار شن در نمونه‌های رسوب است.

واژگان کلیدی: به‌پروردگی، رسوب، فسفر، هم‌دمای جذب سطحی، بندهای رسوب گیر

۱. مقدمه

بندهای رسوب‌گیر از روش‌های پرکاربرد کنترل مکانیکی فرسایش خاک هستند. این سازه‌ها در مسیر رودخانه‌های فصلی و خندق‌ها به منظور کاهش سرعت جریان آب، به دام انداختن رسوبات و در نهایت کنترل فرسایش خاک احداث می‌شوند (Abedini *et al.*, ۲۰۱۲). این سازه‌ها در مناطق مختلف دنیا و به ویژه در مناطق نیمه‌خشک که انجام عملیات بیولوژیکی کنترل فرسایش خاک به دلیل محدودیت‌های ناشی از آب قابل استفاده گیاهان به سختی امکان‌پذیر است، مورد استفاده قرار می‌گیرند (Romero-Diaz *et al.*, ۲۰۱۲). به دام انداختن ذرات رسوب جریان‌های سیلابی و جلوگیری از ورود آن‌ها به اراضی پایین دست و مخازن سدها می‌تواند از مهم‌ترین کارکردهای بندهای رسوب‌گیر محسوب شود (Allen & Welch, ۱۹۷۱).

با توجه به نقش بندهای رسوب‌گیر در به دام انداختن ذرات رسوب، مطالعه رسوبات موجود در پشت این بندها از نظر ویژگی‌های شیمیایی اهمیت به‌سزایی دارد چرا که آثار مربوط به آلودگی و نیز تلفات عناصر غذایی خاک در اثر فرسایش در ارتباط مستقیم با ویژگی‌های شیمیایی رسوبات است (Shieh *et al.*, ۲۰۰۷). در بین عناصر غذایی مختلف، ویژگی رسوبات از نظر نگاه‌داشت فسفر اهمیت بسیار زیادی دارد. چرا که فسفر به عنوان عنصر کلیدی در ایجاد پدیده به‌پروردگی^۱ محسوب شده و وجود آن در آب رودخانه‌ها می‌تواند پیامدهای زیست محیطی ناگواری به همراه داشته باشد (Mainstone & Parr, ۲۰۰۲ and Hecky & Kilham, ۱۹۸۸). اگر در یک سامانه اکوسیستم رودخانه‌ای، مقدار غلظت فسفر در اثر عواملی نظیر فرسایش خاک اراضی بالادست افزایش یابد؛ رسوبات می‌توانند با جذب فسفر اضافی به عنوان مخزن فسفر عمل نموده و پس از کاهش غلظت فسفر در آب رودخانه با آزاد کردن فسفر به عنوان منبع فسفر عمل نمایند (Wang *et al.*, ۲۰۰۹). ویژگی-

های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی رسوبات از عوامل اصلی تعیین‌کننده در رهاسازی و نیز جذب فسفر توسط آن‌ها بوده و از این حیث، رسوبات نقش مهمی در کنترل غلظت فسفر محلول موجود در آب رودخانه‌ها از خود نشان می‌دهند (House, ۲۰۰۳). بررسی منابع نشان می‌دهد که جذب فسفر توسط رسوبات به وسیله برهم‌کنش توأم عوامل متعددی نظیر بافت رسوبات، ماده آلی، کربنات کلسیم و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم کنترل می‌گردد (Lopez *et al.*, ۱۹۹۶; Nwokea *et al.*, ۲۰۰۷ and Lake *et al.*, ۲۰۰۷).

مدل‌سازی جذب فسفر در رسوبات، اغلب با استفاده از مدل‌های هم‌دمای جذب سطحی صورت می‌گیرد. برای نمونه Tu و همکاران (۲۰۰۲) معادلات لنگمویر^۲، فروندلیچ^۳ و تمکین^۴ را به منظور مدل‌سازی جذب فسفر در رسوبات به کار برده و معادله لنگمویر را به عنوان مدل برتر معرفی نموده‌اند. Azzouz و همکاران (۲۰۱۲) نیز معادلات فروندلیچ و لنگمویر را به منظور بررسی جذب فسفر در رسوبات رودخانه‌ی بنی‌هارن^۵ در شمال الجزایر مورد بررسی قرار داده و گزارش نمودند که مدل فروندلیچ توانایی بهتری در توصیف رفتار جذبی فسفر توسط رسوبات از خود نشان می‌دهد. Haggard و همکاران (۲۰۰۷) از مدل خطی هم‌دمای جذب به منظور مدل‌سازی رفتار جذبی رسوبات معلق رودخانه‌ای استفاده کرده و توانمندی مدل مذکور را گزارش نموده‌اند. نتایج این پژوهشگران به روشنی نشان می‌دهد که یک رابطه معنی‌دار و مثبت بین شیب خط هم‌دما و مقدار سیلت در نمونه‌های رسوب وجود دارد که حاکی از افزایش ظرفیت بافری رسوبات با افزایش ذرات ریز در آن‌ها است. Tang و همکاران (۲۰۱۴) نیز سه مدل هم‌دمای جذب سطحی

^۱ Eutrophication

^۲ Langmuir

^۳ Freundlich

^۴ Temkin

^۵ Beni-Haroun

میانگین درجه حرارت سالانه نیز برابر با ۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. منطقه دارای پوشش مرتعی به شکل رویشی گندمیان، علفی و بوته‌ای می‌باشد.

آبراهه انبی دارای طول تقریبی ۲۵۰۰ متر بوده و بر روی آن پنج بند سنگی ملاتی با فواصل کم و بیش مساوی احداث شده‌اند. میانگین بارش در این منطقه برابر با ۵۶۶ میلی‌متر بوده و میانگین سالانه دما نیز برابر با ۶/۸ درجه سانتی‌گراد است. بندهای موجود در هر دو آبراهه نیمه‌پر بوده و در طول پنج سال اخیر احداث شده‌اند. در هر دو منطقه، رژیم رطوبتی خاک زریک و رژیم حرارتی آن نیز مزیک است. خاک‌های منطقه بر اساس سیستم Soil Taxonomy به دو رده آنتی‌سول‌ها (Orthent) و اینسپتی‌سول‌ها (Xerepts) طبقه‌بندی شده‌اند. بندهای موجود در هر دو آبراهه به ترتیب از بالادست به سمت پایین دست آبراهه کدگذاری شدند. به طوری که اولین بند واقع در بالادست آبراهه‌های نوشان و انبی به ترتیب با کد CHN۱ و CHA۱ نام‌گذاری شده و آخرین بند موجود در پایین‌دست نیز برای آبراهه نوشان، CHN۳ و برای آبراهه انبی، CHA۵ نامیده شد. موقعیت جغرافیایی و نیز ویژگی‌های بندهای مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

شامل لنگمویر، فروندلیچ و دوبینین-راداشکوویچ^۱ را به منظور مدل‌سازی رسوبات رودخانه‌ای مورد استفاده قرار داده و نشان دادند که مدل لنگمویر و فروندلیچ توانایی بهتری در توصیف داده‌های جذبی فسفر در رسوبات دارند. این پژوهشگران گزارش نمودند که بین مقدار جذب فسفر و ویژگی‌های رسوب از جمله فسفر کل، هیدروکسیدهای آهن و نیز مقدار ماده آلی ارتباط معنی‌داری وجود دارد.

مرور منابع به روشنی نشان می‌دهد که به‌رغم پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه جذب فسفر در رسوبات رودخانه‌های اصلی، تاکنون در زمینه جذب و نگه‌داشت فسفر توسط رسوبات موجود در آبراهه‌های فصلی مناطق بالادست حوزه‌ها توجه چندانی نشده است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی رفتار جذبی فسفر در رسوبات پشت بندهای رسوب‌گیر سنگی ملاتی متوالی انجام شده و طی این پژوهش تلاش شده تا جذب فسفر توسط رسوبات، با استفاده از مدل‌های هم‌دمای جذب سطحی شامل مدل‌های فروندلیچ، لنگمویر، تمکین و ون‌های^۲ توصیف شده و ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات با پارامترهای معادلات جذب مورد بررسی قرار گیرد.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

برای انجام این مطالعه دو آبراهه فصلی یکی در منطقه نوشان و دیگری در منطقه انبی از توابع ارومیه در استان آذربایجان غربی انتخاب گردید که در این مطالعه تحت عنوان آبراهه نوشان و آبراهه انبی نامیده شده‌اند (شکل ۱). آبراهه نوشان دارای طول تقریبی ۱۲۰۰ متر است که بر روی آن سه بند سنگی ملاتی به فواصل تقریباً مساوی و به صورت متوالی احداث شده است. میانگین بارش سالانه در این منطقه برابر با ۶۰۵ میلی‌متر و

۲.۲. نمونه‌برداری و تعیین ویژگی‌های فیزیکی و

شیمیایی

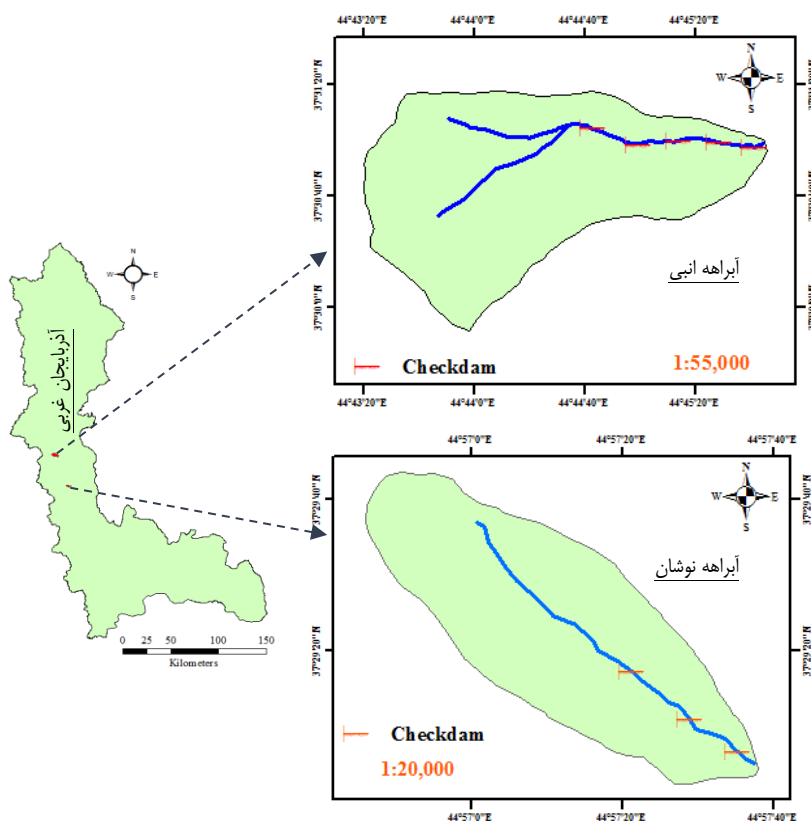
برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات انباشته شده در پشت بندها، از هر بند در مکانی نزدیک به دیواره بند و در امتداد آن یک نمونه مرکب از عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متری تهیه شد. در نمونه‌برداری از بندها دقت شد تا حتی الامکان از مناطق نزدیک به دیواره آبراهه نمونه‌برداری نگردد تا از اختلاط خاک‌های مجاور دیواره با نمونه‌های رسوب جلوگیری شود (Romero-Diaz *et al.*, ۲۰۱۲). به منظور مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات خاک موجود در دامنه‌های مشرف به بندها، یک نمونه از خاک دامنه از

^۱ Dubinin-Radushkevich

^۲ Van-Huay

هدایت الکتریکی و pH نمونه‌ها در عصاره اشباع (Rhoades, ۱۹۸۲) و ماده آلی نیز به روش والکلی و بلک^۱ تعیین شد (Rowell, ۱۹۹۴). ظرفیت تبادل کاتیونی با روش استات سدیم یک مولار (Chapman, ۱۹۶۵) و فسفر قابل استفاده به روش اولسن (Olsen, ۱۹۶۵) تعیین شد.

عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری و به همان شکل تهیه شد. نمونه مذکور به صورت مرکب و از نقاط مختلف دامنه‌های مشرف به بندها تهیه گردید. این نمونه برای آبراهه نشان با کد N(os) و برای آبراهه انبی با کد A(os) نام‌گذاری شد. نمونه‌های رسوب در دمای آزمایشگاه هواخشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. بافت رسوبات به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, ۱۹۸۶) قابلیت



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی بندهای مورد مطالعه در دو منطقه انبی و نوشان

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های فیزیکی بندهای مورد مطالعه^۱

ویژگی‌های فیزیکی بند		موقعیت جغرافیایی محل احداث بند			کد بند	آبراهه
طول دیواره (m)	ارتفاع دیواره (m)	ارتفاع از سطح دریا (m)	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)		
۲۶	۵	۱۵۳۶	۳۷/۴۸۹	۴۴/۹۵۵	CHN۱	نوشان
۲۳	۵	۱۵۴۲	۳۷/۴۸۷	۴۴/۹۵۶	CHN۲	

^۱ Walkley and Black

۳۳/۵	۵	۱۴۹۲	۳۷/۴۸۵	۴۴/۹۶۰	CHN۳
۴۵	۶	۱۹۰۷	۳۷/۵۱۶	۴۴/۷۴۹	CHA۱
۴۱	۶	۱۸۷۵	۳۷/۵۱۶	۴۴/۷۵۱	CHA۲
۶۳	۶	۱۸۶۲	۳۷/۵۱۶	۴۴/۷۵۳	CHA۳
۴۱	۶	۱۸۵۵	۳۷/۵۱۶	۴۴/۷۵۶	CHA۴
۴۹	۶	۱۸۴۹	۳۷/۵۱۶	۴۴/۷۵۸	CHA۵

انبی

است، استفاده شد.

۳.۲. تعیین هم‌دمای جذب فسفر

در این مطالعه به منظور تعیین هم‌دمای جذب فسفر در نمونه‌ها از روش Fox و Kamprath (۱۹۷۰) که به عنوان یک روش مرجع شناخته می‌شود، استفاده گردید. جذب فسفر در رسوبات در سوسپانسیون با غلظت ثابت 100 mg l^{-1} رسوب مورد مطالعه قرار گرفت. از محلول 0.01 M کلرید پتاسیم به عنوان الکترولیت زمینه استفاده شده و دامنه‌ای از غلظت‌های اولیه فسفر در محدوده صفر تا 27 میلی‌گرم در لیتر برای آزمایش‌های جذب مورد استفاده قرار گرفت. تعیین هم‌دمای جذب در pH طبیعی رسوبات صورت گرفت. دامنه غلظتی مورد استفاده در آزمایش‌های جذب با استفاده از نمک منو پتاسیم فسفات (KH_2PO_4) انجام شد.

بر اساس آزمایش‌های مقدماتی، زمان تعادل برابر با 24 ساعت برای تماس رسوبات با محلول‌های حاوی فسفر انتخاب گردید. بعد از اتمام زمان تعادل، نمونه‌ها به مدت 10 دقیقه و با سرعت 2000 دور در دقیقه سانتریفیوژ شده و محلول رویی به دقت جدا گردید. غلظت فسفر در محلول رویی بوسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل نواسپک ۱۲ اندازه‌گیری شده و به عنوان غلظت تعادلی در نظر گرفته شد. مقدار فسفر جذب شده نیز از اختلاف بین غلظت اولیه فسفر اضافه شده به نمونه و غلظت تعادلی محاسبه گردید. تمامی آزمایش‌ها در دمای $25 \pm 1^\circ \text{C}$ انجام شد.

در این تحقیق به منظور مدل‌سازی داده‌های جذب فسفر از مدل‌های فروندلیچ، لنگمویر، تمکین و ون‌های که معادلات مربوط به هر یک به ترتیب به شکل زیر

$$q = kC_e^{1/n} \quad (1)$$

$$q = \frac{q_{\max} b_L C_e}{1 + b_L C_e} \quad (2)$$

$$q = k_1 \times \ln(k_2 C_e) \quad (3)$$

$$q = m + n\sqrt{C_e} \quad (4)$$

در این معادلات q عبارت است از مقدار جذب شده در واحد جرم رسوب (mg kg^{-1}) و C_e نیز نشان دهنده غلظت تعادلی (mg l^{-1}) فسفر است. در معادله (۱) k و n ثابت‌های معادله فروندلیچ می‌باشند. در معادله (۲) q_{\max} حداکثر مقدار جذب با همان واحد q و b_L ثابتی است که می‌توان آن را به عنوان یک پارامتر وابسته به انرژی جذب تفسیر نمود. در معادله (۳) k_1 و k_2 ضرایب مدل تمکین و در معادله (۴) نیز n ضریب جذب ون‌های و m ثابت مدل است.

برازش مدل‌های هم‌دمای جذب سطحی بر داده‌های آزمایشی به روش رگرسیون غیرخطی، با بهینه‌سازی مجموع مربعات خطای مدل با کاربرد نرم‌افزار MATLAB، ۱۱ صورت گرفت. به منظور مقایسه توانایی مدل‌های جذب سطحی در توصیف داده‌های آزمایشی از دو ضریب کارایی شامل ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطای مدل (RMSE) استفاده شد. برای تحلیل همبستگی داده‌ها از نرم‌افزار SPSS ۱۸ استفاده شده و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel انجام شد.

۳. نتایج

۱،۳. ویژگی های فیزیکی شیمیایی رسوبات

ویژگی های فیزیکی و شیمیایی مربوط به رسوبات پشت هر بند و همچنین ویژگی های نمونه خاک اصلی برداشت شده از خاک دامنه در جدول ۲ قابل مشاهده است. همان گونه که در این جدول مشاهده می شود بافت رسوبات در محدوده بافت های درشت بوده و از شنی تا لوم سیلتی متغیر است؛ در حالی که بافت خاک اصلی دامنه در هر دو آبراهه نسبت به رسوبات ریزتر بوده و لوم رسی است. نمونه های رسوب از نظر قابلیت هدایت

الکتریکی به عنوان رسوبات غیرشور محسوب می شوند و pH آنها نیز اغلب در محدوده خنثی است به طوری که میانگین قابلیت هدایت الکتریکی نمونه های رسوب برای آبراهه های نوشان و انبی به ترتیب برابر با ۱/۳۸ و ۱/۲۲ دسی زیمنس بر متر بوده و میانگین pH نمونه های رسوب نیز به ترتیب ۷/۱۹ و ۶/۹۶ است.

محتوای ماده آلی رسوبات نیز به دلیل دارا بودن بافت سبک، اندک است. به گونه ای که میانگین ماده آلی در رسوبات نوشان و انبی به ترتیب برابر با ۰/۶۸ و ۰/۹۱ درصد است. میانگین فسفر اولسن در نمونه های رسوب بندها نیز کم بوده و برای آبراهه های نوشان و انبی به ترتیب ۶/۳۵ و ۵/۸۷ میلی گرم در کیلوگرم رسوب است.

جدول ۲. میانگین پارامترهای شیمیایی اندازه گیری شده در بندها

آبراهه	نمونه	ماده آلی	شن	سیلت	رس	کلاس بافتی	فسفر* mgkg ⁻¹	CEC [§] cmolkg ⁻¹	pH	EC [†] dSm ⁻¹
چابک	N(os)	۰/۸۶	۲۲/۸۰	۵۰/۰۱	۲۷/۱۹	Clay loam	۱۲/۲۶	۱۸/۷۹	۷/۹۲	۱/۳۵
	CHN _۱	۰/۲۷	۵۳/۹۸	۴۹/۰۰	۷/۰۶	Sandy loam	۴/۳۱	۷/۴۵	۷/۴۳	۱/۲۵
	CHN _۲	۰/۶۵	۶۴/۸۰	۲۹/۰۰	۶/۲۰	Sandy loam	۵/۷۰	۱۰/۲۳	۷/۳۲	۱/۲۸
	CHN _۳	۱/۱۳	۲۷/۲۲	۵۴/۰۰	۱۸/۸۰	Silt loam	۹/۰۵	۱۵/۲۲	۶/۸۲	۱/۶۰
	میانگین [#]	۰/۶۸	۴۸/۶۷	۴۴/۰۰	۱۰/۶۹	-	۶/۳۵	۱۰/۹۷	۷/۱۹	۱/۳۸
نوشان	انحراف معیار [#]	۰/۴۳	۱۹/۳۵	۱۳/۲۳	۷/۰۴	-	۲/۴۴	۳/۹۴	۰/۳۳	۰/۱۹
	A(os)	۳/۸۴	۲۲/۳۰	۴۸/۵۲	۲۹/۱۸	Clay loam	۹/۸۹	۲۴/۷۸	۷/۹۷	۰/۹
	CHA _۱	۰/۱۷	۹۷/۹۴	۱/۴۳	۰/۶۳	Sand	۳/۳۸	۲/۱۸	۷/۰۶	۰/۶۲
	CHA _۲	۰/۲۴	۹۴/۳۷	۴/۲۹	۱/۳۴	Sand	۳/۳۸	۳/۷۱	۷/۰۰	۰/۸۵
	CHA _۳	۰/۳۸	۸۹/۳۷	۸/۵۷	۲/۰۶	Sand	۴/۸۶	۷/۶۶	۶/۹۴	۱/۳۴
انبی	CHA _۴	۱/۸۲	۳۷/۹۴	۴۹/۰۰	۱۳/۲۰	Loam	۸/۴۰	۸/۹۴	۶/۹۲	۱/۴۱
	CHA _۵	۱/۹۶	۳۲/۸۴	۵۲/۰۰	۱۵/۲۰	Silt loam	۹/۳۳	۸/۹۴	۶/۸۹	۱/۸۸
	میانگین [#]	۰/۹۱	۷۰/۴۹	۲۳/۰۶	۶/۴۹	-	۵/۸۷	۶/۲۹	۶/۹۶	۱/۲۲
	انحراف معیار [#]	۰/۹	۳۲/۲۴	۲۵/۲	۷/۱۰	-	۲/۸۲	۳/۱۴	۰/۰۷	۰/۵۰

* فسفر عصاره گیری شده به روش Olsen؛ § ظرفیت تبادل کاتیونی؛ † قابلیت هدایت الکتریکی؛ # میانگین و انحراف معیار مربوط به نمونه های رسوب هستند.

۲،۳. هم دماهای جذب فسفر

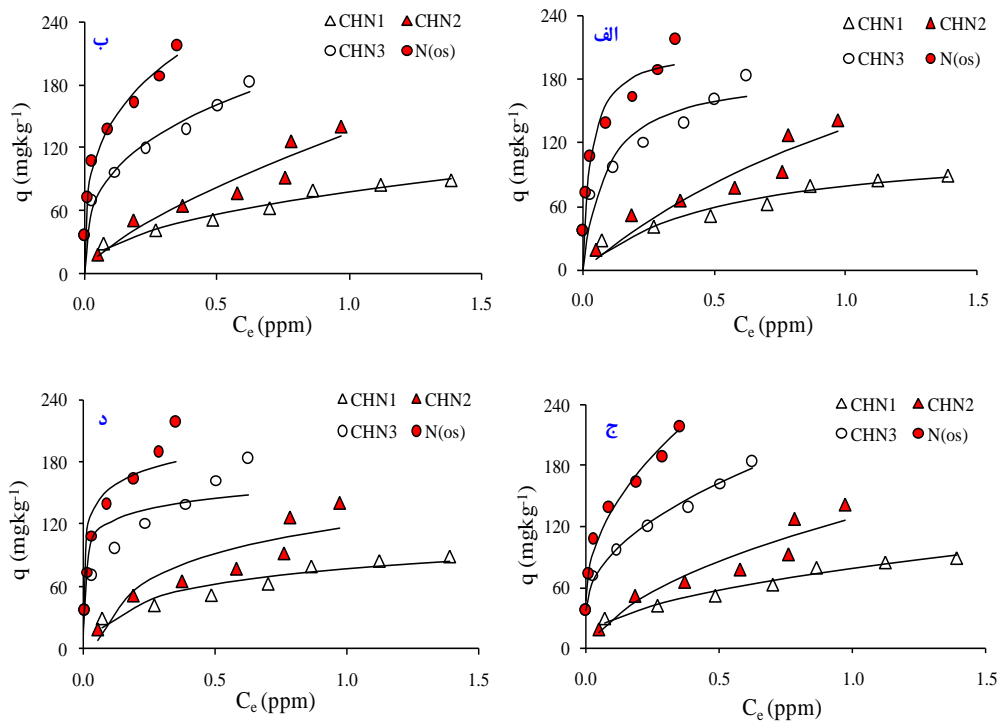
در شکل های ۲ و ۳ نحوه برازش چهار مدل لنگمویر، فروندلیچ، ون های و تمکین بر روی داده های جذب سطحی فسفر توسط رسوبات برای دو آبراهه نوشان و

انبی نشان داده شده است. همچنین در جدول ۳ ضرایب حاصل از برازش مدل های جذب و همچنین ضرایب کارایی مدل ها شامل ضریب تبیین (R^۲) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ارائه شده است. همان گونه که در

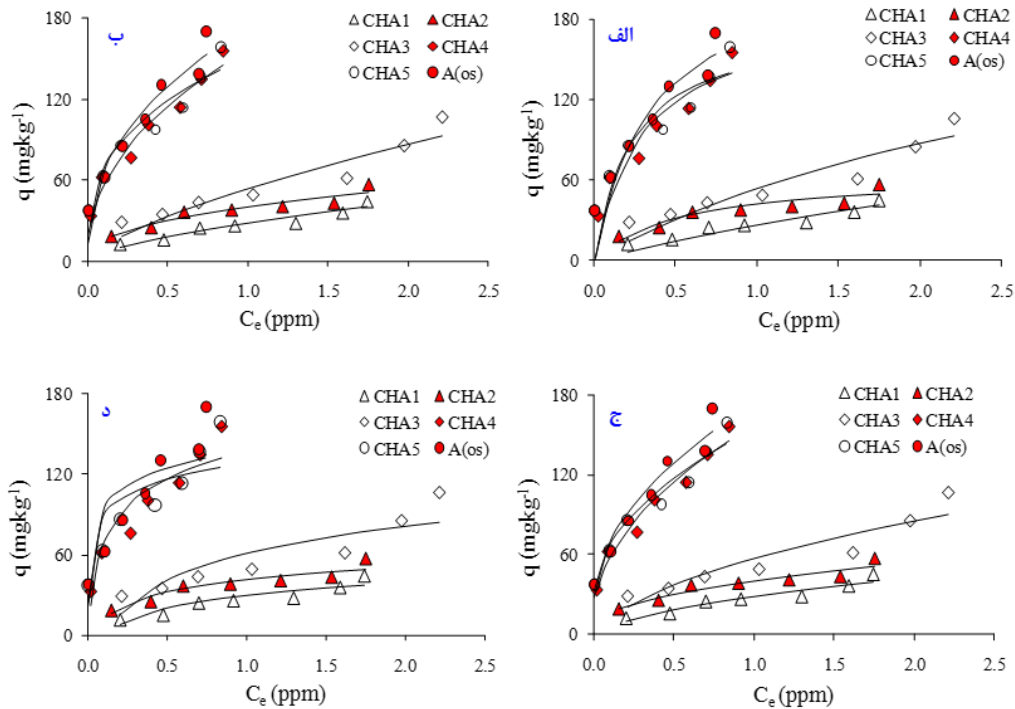
برازش داده شده بر نمونه‌های رسوب و خاک اصلی قابل مشاهده است. میانگین ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطا برای مدل لنگمویر در رسوبات انبی به ترتیب برابر با ۰/۸۹۳ و ۱۰/۰۰ و در رسوبات نوشان به ترتیب برابر با ۰/۹۱۵ و ۱۳/۳۲ به دست آمد.

شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، مقدار فسفر جذب شده توسط رسوبات با افزایش غلظت فسفر در محلول تعادلی افزایش می‌یابد. البته ذکر این نکته ضروری است که شدت افزایش جذب برای نمونه‌های مختلف رسوب متفاوت است.

در جدول ۳ نتایج مربوط به کارایی مدل‌های جذب



شکل ۲. برازش مدل‌های جذب بر نمونه‌های آبراهه نوشان؛ الف: لنگمویر، ب: فروندلیچ، ج: ون‌های، د: تمکین



شکل ۳. برازش مدل‌های جذب بر نمونه‌های آبراهه‌ی انبی؛ الف: لنگمویر، ب: فروندلیچ، ج: ون‌های، د: تمکین

جدول ۳. مقادیر ضرایب مدل‌های هم‌دمای جذب سطحی و ضرایب کارایی برازش مدل‌ها

ضرایب کارایی		ضرایب مدل		نمونه	ضرایب کارایی		ضرایب مدل		نمونه	مدل هم‌دما
RMSE	R ²	k	n		RMSE	R ²	k	n		
۱۵/۷۶	۰/۹۶۷	۲۸۳/۹۱	۳/۳۷	N(os)	۱۲/۷۰	۰/۹۲۷	۱۷۳/۴۳	۲/۳۷	A(os)	فروندلیچ
۴/۰۹	۰/۹۶۴	۷۸/۲۵	۲/۲۰	CHN۱	۲/۹۳	۰/۹۲۰	۲۷/۶۷	۱/۵۳	CHA۱	
۱۱/۵۴	۰/۹۱۵	۱۳۴/۱۸	۱/۴۱	CHN۲	۳/۶۵	۰/۹۰۱	۴۰/۰۶	۲/۳۱	CHA۲	
۱۵/۵۵	۰/۹۵۹	۲۰۴/۵۱	۲/۹۸	CHN۳	۸/۵۴	۰/۸۹۷	۵۳/۹۰	۱/۴۵	CHA۳	
-	-	-	-	-	۷/۶۰	۰/۹۶۴	۱۵۶/۹۰	۲/۲۲	CHA۴	
-	-	-	-	-	۱۲/۱۵	۰/۹۱۲	۱۵۰/۵۷	۲/۸۶	CHA۵	
۱۰/۴۰	۰/۹۴۶	۱۳۸/۹۸	۲/۱۹	میانگین [#]	۶/۹۷	۰/۹۱۹	۸۵/۸۲	۲/۰۸	میانگین [#]	
RMSE	R ²	m	n	نمونه	RMSE	R ²	m	n	نمونه	ون‌های
۸/۳۰	۰/۹۸۱	۴۵/۸۶	۲۸۴/۵۱		N(os)	۹/۹۴	۰/۹۴۶	۲۰/۰۶		
۳/۸۷	۰/۹۶۷	۵/۸۸	۷۲/۱۹	CHN۱	۳/۱۲	۰/۹۰۹	-۵/۴۶	۳۳/۶۵	CHA۱	
۱۲/۵۲	۰/۸۹۸	-۱۷/۹۰	۱۴۶/۵۲	CHN۲	۳/۶۲	۰/۹۰۲	۴/۵۵	۳۵/۳۰۵	CHA۲	
۴/۴۵	۰/۹۹۱	۳۷/۴۴	۱۷۶/۶۴	CHN۳	۹/۴۲	۰/۸۷۰	-۱۱/۸۶	۶۸/۳۹	CHA۳	
-	-	-	-	-	۶/۹۵	۰/۹۶۹	۱۰/۲۳	۱۴۷/۲۴	CHA۴	
-	-	-	-	-	۸/۹۰	۰/۹۴۷	۲۵/۱۴	۱۲۹/۸۷	CHA۵	
۶/۹۵	۰/۹۵۲	۸/۴۷	۱۳۱/۷۸	میانگین	۶/۴۰	۰/۹۱۹	۴/۵۲	۸۲/۹۰	میانگین	
RMSE	R ²	k _۲	k _۱	نمونه	RMSE	R ²	k _۲	k _۱	نمونه	تمکین
۲۴/۹۹	۰/۸۲۳	۱۹۰۶۳/۰۶	۲۰/۴۶		N(os)	۲۲/۷۰	۰/۷۱۷	۱۳۶۰/۱۹		
۷/۱۷	۰/۸۸۸	۳۶/۴۰	۲۱/۴۰	CHN۱	۴/۱۰	۰/۸۴۳	۸/۹۲	۱۳/۴۴	CHA۱	
۱۶/۷۰	۰/۸۲۰	۲۴/۵۵	۳۶/۶۳	CHN۲	۴/۱۷	۰/۸۷۰	۲۰/۹۳	۱۳/۵۴	CHA۲	
۲۳/۳۴	۰/۷۶۰	۴۰۴۴۰/۹۵	۱۴/۵۶	CHN۳	۱۲/۵۰	۰/۷۷۱	۸/۰۹	۲۹/۱۴	CHA۳	
-	-	-	-	-	۱۳/۸۴	۰/۸۷۷	۹۸/۸۸	۲۹/۹۶	CHA۴	

-	-	-	-	-	۱۹/۴۷	۰/۷۴۷	۱۶۰۲/۲۴	۱۷/۴۴	CHA۵	
۱۵/۷۴	۰/۸۲۲	۱۳۵۰۰/۶۳	۲۴/۲۰	میانگین	۱۰/۸۱	۰/۸۲۲	۳۴۷/۸۱	۲۰/۷۰	میانگین	
RMSE	R ^۲	Q _{max}	b _L		RMSE	R ^۲	Q _{max}	b _L		
۱۵/۷۶	۰/۹۶۷	۲۱۰/۶۵	۲۲/۸۱	N(os)	۱۶/۳۸	۰/۹۲۸	۲۲۴/۴۹	۲/۹۱	A(os)	
۶/۶۸	۰/۹۲۹	۱۲۰/۷۲	۱/۹۱	CHN۱	۳/۸۲	۰/۹۲۳	۱۷۱/۲۱	۰/۱۸	CHA۱	
۱۲/۹۱	۰/۹۰۵	۳۶۲/۱۵	۰/۵۸	CHN۲	۴/۳۱	۰/۸۶۵	۶۳/۹۳	۱/۸۷	CHA۲	
۲۰/۳۷	۰/۹۱۱	۱۸۷/۱۷	۱۱/۳۰	CHN۳	۹/۹۵	۰/۸۸۰	۲۴۲/۵۱	۰/۲۸	CHA۳	لنگمویر
-	-	-	-	-	۱۳/۷۶	۰/۹۱۴	۱۸۸/۵۰	۳/۴۲	CHA۴	
-	-	-	-	-	۱۸/۱۲	۰/۸۸۲	۱۷۸/۳۰	۴/۳۱	CHA۵	
۱۳/۳۲	۰/۹۱۵	۲۲۳/۳۵	۴/۶۰۳	میانگین	۱۰/۰۰	۰/۸۹۳	۱۶۸/۹	۲/۰۱	میانگین	

میانگین ضرایب کارایی و همچنین ضرایب مدل‌ها فقط برای داده‌های رسوب محاسبه شده‌اند و خاک اصلی دامنه در آن لحاظ نشده است.

حرکت به سمت پایین دست آبراهه بافت رسوبات ریزتر شده و فعالیت شیمیایی آن‌ها نیز افزایش می‌یابد به نحوی که بافت رسوبات در پایین‌ترین بند هر آبراهه شباهت بیشتری به خاک اصلی دامنه آن آبراهه دارد. دلیل این امر می‌تواند رسوب‌گذاری انتخابی مواد فرسایش یافته در طول مسیر آبراهه باشد. به این شکل که با وقوع فرآیند فرسایش و ایجاد جریان سیلابی، ابتدا ذرات درشت در بندهای بالادست ترسیب یافته و با حرکت به سمت پایین دست رفته رفته مواد ریزتر نیز ترسیب می‌یابند. وقوع فرآیند ترسیب انتخابی به ویژه در بندهای نیمه‌پر که توانایی نگهداشت ذرات رسوب را دارند توسط Hassanli و همکاران (۲۰۰۹) و همچنین Romero-Diaz و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش شده است. هر چند این پژوهشگران در مطالعات خود بیشتر ویژگی‌های بافتی ذرات رسوب را بررسی نموده و کم‌تر به ویژگی‌های شیمیایی رسوبات پرداخته‌اند.

در رابطه با نتایج حاصل از مطالعات جذب فسفر، مشاهده می‌شود که در هر دو آبراهه شدت افزایش جذب فسفر در مقابل غلظت تعادلی برای رسوبات بندهای بالادست کم بوده و برای رسوبات بندهای پایین دست بیشتر است. به طوری که حداکثر مقدار جذب فسفر در بندهای CHN۳ و CHA۵ به عنوان بندهای پایین دست آبراهه‌های نشان و انبی به ترتیب برابر با ۱۸۴/۶۵ و ۱۵۸/۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود در حالی که حداکثر

بیشترین ضریب همبستگی و کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا مدل لنگمویر در هر دو نوع رسوبات انبی و نشان مربوط به رسوبات بند اول یعنی CHA۱ و CHN۱ می‌باشد. در واقع داده‌های حاصل از رسوبات بند CHA۱ و CHN۱ در مقایسه با سایر رسوبات بهتر با معادله لنگمویر برازش می‌یابند. میانگین R^۲ و RMSE مدل فروندلیچ در رسوبات انبی به ترتیب برابر با ۰/۹۱۹ و ۶/۹۷ و در رسوبات نشان به ترتیب برابر با ۰/۹۴۶ و ۱۰/۴۰

به دست آمد. میانگین R^۲ و RMSE مدل ون‌های نیز برای رسوبات نشان برابر با ۰/۹۵۲ و ۶/۹۵ و برای رسوبات انبی ۰/۹۱۹۴ و ۶/۴۰۲ محاسبه شد. در نهایت میانگین R^۲ و RMSE برای مدل تمکین در رسوبات انبی برابر با ۰/۸۲۲ و ۱۰/۸۱ و در رسوبات نشان ۰/۸۲۲ و ۱۵/۷۴ بدست آمد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مربوط به مقایسه ویژگی‌های رسوبات در پشت بندها و خاک دامنه نشان داد که بافت رسوبات در مجموع نسبت به بافت خاک دامنه ریزتر بوده و این امر اغلب ویژگی‌های شیمیایی رسوبات را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. از نکات دیگر در رابطه با ویژگی‌های رسوبات پشت بندها، تغییر منظم ویژگی‌های رسوبات در طول آبراهه است به طوری که در آبراهه‌های نشان و انبی با

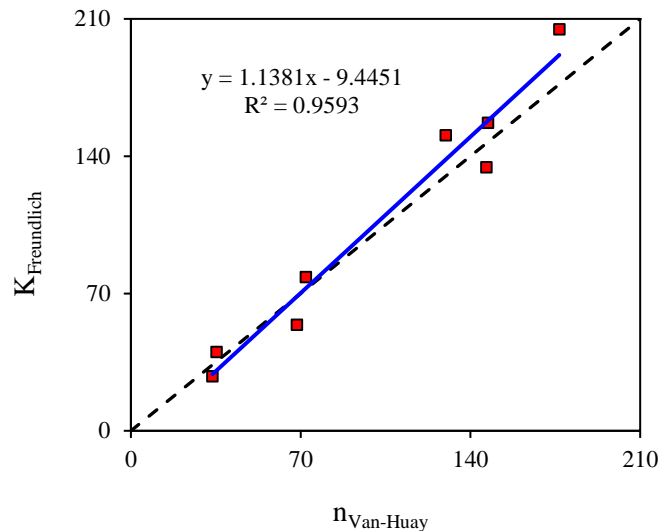
برابر با ۲ باشد، در این صورت پارامتر $kC_e^{1/n}$ از معادله فروندلیچ و پارامتر $n\sqrt{C_e}$ از معادله ون‌های مفهوم ریاضی مشترکی خواهند داشت. مقادیر میانگین n معادله فروندلیچ در نمونه‌های رسوب آبراهه‌های انبی و نوشان به ترتیب برابر با ۲/۰۸ و ۲/۱۹ است که از نظر عددی بسیار نزدیک به ۲ می‌باشند. بنابراین با لحاظ توان تقریبی ۲ برای n معادله فروندلیچ و با در نظر گرفتن این نکته که مقادیر m معادله ون‌های در هر دو آبراهه در مقایسه با مقدار جذب فسفر توسط خاک ناچیز است (به ترتیب ۴/۵۲ و ۸/۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای رسوبات انبی و نوشان) می‌توان گفت که دو مدل مذکور ساختار واحدی داشته و k مدل فروندلیچ از نظر عددی تقریباً برابر با n مدل ون‌های است (شکل ۴).

فرض اساسی در مدل فروندلیچ بر ناهمگنی سطح جذب کننده استوار است که این امر قابلیت آن را در جذب‌های غیرهمگن نظیر خاک و رسوب افزایش می‌دهد (Seungman & Dongsu, ۲۰۰۵). در حالی که در معادلاتی مانند لنگمویر فرض می‌گردد که سطح جذب کننده همگن بوده، انرژی جذب یکنواخت و جذب به صورت تک لایه‌ای است (Zhou et al., ۲۰۰۵) که این فرضیات اغلب با محیط‌های ناهمگنی مانند خاک و رسوب سازگار نبوده و این امر می‌تواند از دلایل اصلی کارایی کمتر این مدل باشد. Sposito (۱۹۸۰) از لحاظ ریاضی نشان داده است که n معادله فروندلیچ (معادله ۱) میزان ناهمگنی سطح را از لحاظ مکان‌های جذبی نشان می‌دهد. افزایش مقدار n نشان دهنده ناهمگنی مکان‌های سطحی بوده و بیانگر این است که طیف وسیعی از مکان‌های جذبی وجود دارد. به عکس، هنگامی که n کاهش یافته و به سمت ۱ میل کند همگنی مکان‌های جذبی افزایش و در نتیجه تنوع مکان‌های جذب سطحی کاهش می‌یابد (Essington, ۲۰۰۴).

مقدار جذب فسفر برای بندهای CHN_۱ و CHA_۱ به عنوان بندهای بالا دست آبراهه‌های نوشان و انبی به ترتیب برابر با ۸۹/۲۱ و ۴۴/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. به نظر می‌رسد که افزایش واکنش‌پذیری شیمیایی رسوبات بندهای پایین که ناشی از بالا بودن رس و نیز ماده آلی در آن‌ها است، عامل اصلی این اختلاف باشد. در این زمینه Lake و همکاران (۲۰۰۷) و همچنین Nwoke و همکاران (۲۰۰۳) نیز به اثر محتوای ماده آلی و رس بر فرآیند جذب فسفر توسط رسوبات اشاره نموده‌اند. نکته دیگر در رابطه با جذب فسفر که در شکل‌های ۲ و ۳ قابل مشاهده است شباهت رفتار جذبی رسوبات واقع در بندهای پایین دست آبراهه‌ها با خاک اصلی دامنه است. به عبارت دیگر با حرکت به سمت پایین دست در هر دو آبراهه رفتار جذبی فسفر توسط رسوبات بیشتر به رفتار خاک اصلی متمایل می‌شود. به نظر می‌رسد دلیل این امر تشابه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات بندهای پایین دست با خاک دامنه (جدول ۲) است که متأثر از فرآیند ترسیب انتخابی ذرات فرسایش یافته در طول آبراهه باشد (Hassanli et al., ۲۰۰۹).

مقایسه نتایج حاصل از برازش مدل‌های جذب سطحی (جدول ۳) نشان می‌دهد که کارایی مدل‌ها به ترتیب ون‌های، فروندلیچ، لنگمویر و در نهایت تمکین است. ذکر این نکته ضروری است که کارایی دو مدل ون‌های و فروندلیچ به رغم تفاوت اندک، تقریباً شبیه به یکدیگر است. کارایی مدل‌های ون‌های و همچنین فروندلیچ در توصیف داده‌های جذبی فسفر توسط Jaszberenyi و Loch (۱۹۹۶) نیز گزارش شده است. Shirvani و Shariatmadari (۲۰۰۲) نیز برتری نسبی مدل ون‌های در مقایسه با سایر مدل‌ها برای توصیف داده‌های جذبی فسفر را گزارش نموده‌اند.

بایستی توجه کرد که ماهیت مدل‌های ون‌های و فروندلیچ از نظر ریاضی تشابه زیادی با هم دارد (معادلات ۱ و ۴). به گونه‌ای که اگر توان n در معادله فروندلیچ



شکل ۴. تشابه عددی مقدار k مدل فروندلیچ و n معادله ون‌های در نمونه‌های رسوب

سطحی است. با توجه به بافت درشت و متمایل به شنی در رسوبات می‌توان گفت که درصد شن به عنوان یک پارامتر تعیین کننده در تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات است (Romero-Diaz *et al.*, ۲۰۱۲). از دیگر نکات قابل ذکر در این جدول وجود همبستگی مثبت بین مقدار فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن با ماده آلی رسوبات است که این امر نشان دهنده اثر مثبت ماده آلی بر روی میزان فسفر قابل استفاده است (Azzouz *et al.*, ۲۰۱۲).

با توجه به توانایی مدل‌های جذب در توصیف داده‌های جذب فسفر، همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات با یکدیگر و نیز پارامترهای مدل‌های جذب مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۴). با توجه به کارایی بهتر معادلات ون‌های و فروندلیچ، در این جدول تنها ضرایب مربوط به این مدل‌ها آورده شده است. از نکات مهم در این جدول وجود همبستگی معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) بین درصد شن با سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و همچنین ضرایب مدل‌های جذب

جدول ۴. ماتریس همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات و ضرایب مدل‌های برگزیده هم‌دمای جذب سطحی

متغیر	شن	سیلت	رس	OM	pH	EC	CEC	P _{olsen}	$n_{\text{Van-Huay}}$	$m_{\text{Van-Huay}}$	$K_{\text{Freundlich}}$	$n_{\text{Freundlich}}$
شن	۱											
سیلت	-۰/۹۸۱**	۱										
رس	-۰/۹۱۸**	۰/۸۲۲**	۱									
OM	-۰/۶۸۵**	۰/۶۱۳	۰/۷۴۹*	۱								
pH	-۰/۴۱۴	۰/۲۸۷	۰/۶۱۹	۰/۳۸۷	۱							
EC	-۰/۵۶۹	۰/۶۶۶*	۰/۳۰۳	۰/۱۳۹	-۰/۲۹۲	۱						
CEC	-۰/۸۰۲**	۰/۶۸۸*	۰/۹۳۳**	۰/۷۴۲*	۰/۷۰۲*	۰/۱۷۴	۱					
P _{olsen}	-۰/۹۰۹**	۰/۸۴۰**	۰/۹۳۷**	۰/۶۴۰*	۰/۴۳۱	۰/۵۲۵	۰/۸۱۳**	۱				
$m_{\text{Van-Huay}}$	-۰/۷۸۵**	۰/۷۲۵*	۰/۸۱۰**	۰/۳۸۸	۰/۲۸۵	۰/۴۱۳	۰/۶۱۰	۰/۸۲۱**	۱			
$n_{\text{Van-Huay}}$	-۰/۸۱۸**	۰/۷۶۰*	۰/۸۳۷**	۰/۳۸۰	۰/۵۰۰	۰/۴۷۵	۰/۷۶۳*	-۰/۹۱۸**	۰/۷۱۹*	۱		

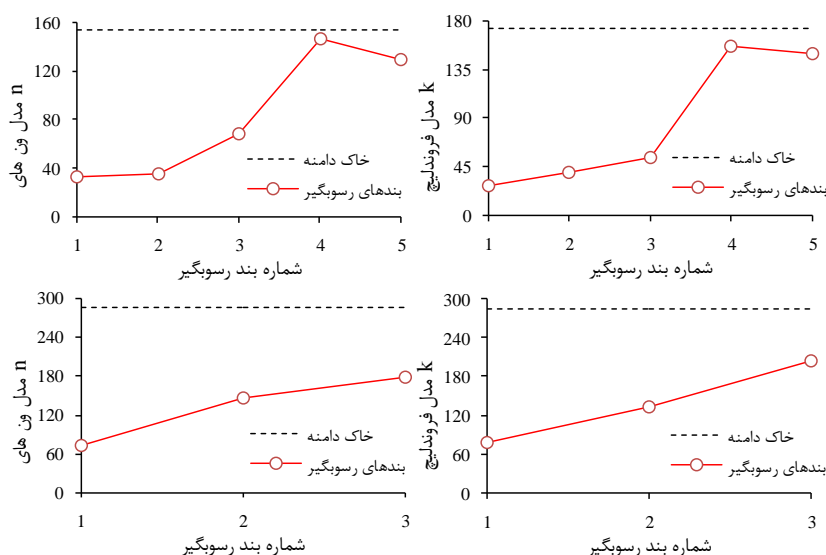
	۱	۰/۹۸۵**	۰/۷۹۹**	-۰/۹۵۲**	۰/۷۹۲**	۰/۵۱۱	۰/۴۶۱	۰/۴۶۵	۰/۸۹۰**	۰/۸۳۵**	-۰/۸۸۹**	$K_{\text{Freundlich}}$
۱	۰/۷۵۹*	۰/۶۷۹*	۰/۹۷۵**	-۰/۷۶۸**	۰/۵۱۹	۰/۴۶۷	۰/۲۴۱	۰/۳۱۸	۰/۷۳۸*	۰/۷۰۷*	-۰/۷۴۸*	$n_{\text{Freundlich}}$

**همبستگی معنی دار در سطح آماری ۱ درصد

*همبستگی معنی دار در سطح آماری ۵ درصد

رسوبات باشد. با توجه به اهمیت دو ضریب k در مدل فروندلیچ و همچنین n در مدل ون‌های، تغییرات این دو ضریب در توالی بندهای رسوب‌گیر دو آبراهه ترسیم شده و مقادیر آن‌ها با خاک اصلی دامنه مورد مقایسه قرار گرفته است (شکل ۵). همان‌گونه که در این شکل قابل مشاهده است با حرکت به سمت پایین دست آبراهه‌ها مقادیر دو ضریب افزایش یافته و به مقدار آن‌ها در خاک اصلی نزدیک می‌شود. که این امر نشان‌دهنده وجود رسوب‌گذاری انتخابی در بندها بوده که سبب تغییرات منظمی از ویژگی‌های جذبی فسفر در طول آبراهه شده است به طوری که با نزدیک شدن به بندهای پایین دست، ترسیب ذرات ریز معلق به وقوع پیوسته و در نتیجه با ریزتر شدن بافت رسوبات، ویژگی‌های آن‌ها رفته رفته متمایل به خاک دامنه می‌گردد.

بین n مدل فروندلیچ و درصد شن نمونه‌ها یک رابطه معکوس و معنی دار وجود دارد. کاهش n نشان دهنده کاهش تنوع مکان‌های جذبی رسوب است (Sposito, 1980 and Essington, 2005). بنابراین می‌توان گفت که با افزایش درصد شن نمونه‌ها به دلیل کاهش واکنش‌پذیری شیمیایی آن‌ها تنوع مکان‌های جذبی نیز کاهش یافته و n فروندلیچ کم می‌شود. مقدار فسفر قابل عصاره‌گیری به روش اولسن دارای رابطه معکوس با k فروندلیچ و n ون‌های است که این امر با گزارش‌های Chorom و Ahmadpour (2007) مطابقت دارد. ضریب k فروندلیچ دارای همبستگی بالایی در سطح یک درصد با درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی است که این امر نیز با نتایج Shirvani و Shariatmadari (2002) روندی مشابه داشته و می‌تواند نشان دهنده نقش افزایش رس در افزایش قابلیت جذب فسفر توسط



شکل ۵. ارتباط بین توالی بندهای رسوب‌گیر با پارامترهای مدل‌های ون‌های و فروندلیچ و مقایسه آن‌ها با خاک دامنه

دست آمده برای ضرایب مدل‌های تمکین و فروندلیچ بیانگر تشابه ساختار ریاضی این دو مدل بود. ضریب k معادله فروندلیچ و n مدل ون‌های مانند ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی معمول رسوبات، در توالی بندهای هر دو آبراهه تغییرات منظمی را نشان دادند که این امر نیز نشانگر اهمیت این دو ضریب در بیان ویژگی‌های رسوبات است. ارتباط معکوس ضریب n معادله فروندلیچ با درصد شن نمونه‌ها حاکی از کاهش مکان‌های جذبی فسفر در رسوبات شنی در مقایسه با رسوبات با بافت ریزتر است.

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که در آبراهه‌های نیمه‌پر در اثر وقوع فرآیند ترسیب انتخابی ذرات فرسایش یافته، تغییرات منظمی از ویژگی‌های رسوبات در توالی بندها مشاهده می‌شود. با حرکت به سمت پایین دست آبراهه، بافت رسوبات ریزتر شده، ماده آلی آن‌ها افزایش یافته و توانایی آن‌ها در جذب فسفر به طور منظم افزایش می‌یابد. از بین مدل‌های هم‌دمای جذب سطحی دو مدل ون‌های و فروندلیچ برتری نسبی در مقایسه با مدل‌های لنگمویر و تمکین داشتند. تحلیل داده‌های به

References

- Abedini, M., Md-Said, M.A., Ahmad, F., ۲۰۱۲. Effectiveness of check dam to control soil erosion in a tropical catchment (The Ulu Kinta Basin). *Catena* ۹۷, ۶۳-۷۰.
- Allen, P.B., Welch, N.H., ۱۹۷۱. Sediment yield reduction on watersheds treated with flood-retarding structures. *Transaction of ASAE* ۱۴(۵), ۸۱۴-۸۱۷.
- Azzouz, S., Meribout, R., Boukhalfa, C., ۲۰۱۲. Characterization of Phosphate Adsorption on Sediments. *Procedia Engineering* ۳۳, ۲۸۵-۲۹۲.
- Chapman, H.D., ۱۹۶۵. Cation exchange capacity. In: Black, C.A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, part ۲. Amer. Soc. Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, EEUU, pp. ۸۹۱-۹۰۰.
- Chorom, M., Ahmadpour, A., ۲۰۰۷. Study of Phosphorus Adsorption Characteristics of Soils under Shoeibieh sugercan farms in Khuzestan. *Agricultural Research (Water, Soil and Plant in Agriculture)* ۷(۳), ۱۰۳-۱۱۴. (In Persian)
- Essington, M. E., ۲۰۰۴. *Soil and water chemistry, an integrative approach*. CRC Press LLC.
- Fox, R.L., Kamprath, E.J., ۱۹۷۰. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc* ۳۴, ۹۰۲-۹۰۷.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., ۱۹۸۶. Particle-size Analysis. In A. Klute (ed): *Methods of soil analysis*, Part ۱, Physical and Mineralogical Methods. Madison, Wis., ۳۹۳-۳۹۴.
- Haggard, B.E., Smith, D.R., Brye, K.R., ۲۰۰۷. Variations in Stream Water and Sediment Phosphorus among Select Ozark Catchments. *Journal of Environmental Quality* ۳۶, ۱۷۲۵-۱۷۳۴.
- Hassanli, A. M., Esmaeli-Nameghi, A., Beecham, S., ۲۰۰۹. Evaluation of the effect of porous check Dam location on fine sediment retention (a case study). *Environ Monit Assess* ۱۵۲, ۳۱۹-۳۲۶.
- Hecky, R.E., Kilham, P., ۱۹۸۸. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: a review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol. Oceanogr.* ۳۳ (۴, ۲), ۷۹۶-۸۲۲.

- House, W.A., ۲۰۰۳. Geochemical cycling of phosphorus in rivers. *Appl. Geochem* ۱۸, ۷۳۹-۷۴۸.
- Lake, A. B., Coolidgea, K.M., Norton, S.A. and Amirbahman, A. ۲۰۰۷. Factors contributing to the internal loading of phosphorus from anoxic sediments in six Maine, USA, lakes. *Science of the Total Environment* ۳۷۳, ۵۳۴-۵۴۱.
- Lopez, P., Lluch, X., Vidal, M., Morgui, J.A., ۱۹۹۶. Adsorption of Phosphorus on sediments of the Balearic Islands (Spain) Related to Their Composition. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* ۴۲, ۱۸۵-۱۹۶.
- Mainstone, C.P., Parr, W., ۲۰۰۲. Phosphorus in rivers-ecology and management. *Sci. Tot. Environ* ۲۸۲/۲۸۳, ۲۵-۴۷.
- Nwokea, O.C., Vanlauwe, B., Diels, J., Sanginga, N., Osonubi, O., Merckx, R., ۲۰۰۳. Assessment of labile phosphorus fractions and adsorption characteristics in relation to soil properties of West African savanna soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment* ۱۰۰, ۲۸۵-۲۹۴.
- Olsen, S.R., Dean, L.A., ۱۹۶۵. Phosphorus. In: Black, C.A. (ed.), *Methods of Soil Analysis, Part ۲*. Amer. Soc. Agronomy, Inc., Madison, Wis., pp. ۱۰۴۴-۱۰۴.
- Rhoades, J.D., ۱۹۸۲. Soluble salts. In: A.L. Page (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part ۲. Chemical and Microbiological properties*. Agronomy monograph no. ۹. ۳rded. SSSA and ASA, Madison, WI, ۱۶۷-۱۷۹.
- Romero-Diaz, A., Marín-Sanleandro, P., Ortiz-Silla, R., ۲۰۱۲. Loss of soil fertility estimate from sediment trapped in check dams. South-eastern Spain. *Catena* ۹۹, ۴۲-۵۳.
- Rowell, D.L., ۱۹۹۴. *Soil Science: Methods and Applications*. Longman Scientific & Technical. ISBN: ۰۵۸۲۰۸۷۸۴ ۸. ۳۵۰ p.
- Seungman, S., Dongsu, K., ۲۰۰۵. Modification of langmuir isotherm in solution systems-definition and utilization of concentration dependent factor. *Chemosphere* ۵۸, ۱۱۵-۱۲۳.
- Shieh, C., Guh, Y. and Wang, S., ۲۰۰۷. The Application of Range of Variability Approach to the Assessment of a Check Dam on Riverine Habitat Alteration. *Environmental Geology* ۵۲(۳), ۴۲۷-۴۳۵.
- Shirvani, M., Shariatmadari, H., ۲۰۰۲. Application of Sorption Isotherms for Determining the Phosphorus Buffering Indices and the Standard P Requirement of Some Calcareous Soils in Isfahan. *JWSS - Isfahan University of Technology* ۶ (۱) ۱۲۱-۱۳۰ (in Persian)
- Sposito, G., ۱۹۸۰. Derivation of the Freundlich equation of ion exchange reactions in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* ۴۳, ۶۵۲-۶۵۴.
- Tang, X., Wu, M., Dai, Chai, P., ۲۰۱۴. Phosphorus storage dynamics and adsorption characteristics for sediment from a drinking water source reservoir and its relation with sediment compositions. *Ecological Engineering* ۶۴, ۲۷۶- ۲۸۴.
- Tu, C., Zheng, C.R., Chen, H.M., ۲۰۰۲. Effect of heavy metals on phosphorus retention by typicudicferrisols: Equilibrium and kinetics. *Pedosphere*. ۱۲ (۱): ۱۵-۲۴.
- Wang, Y., Shen, Z., Niu, J., Liu, R., ۲۰۰۹. Adsorption of phosphorus on sediments from the Three-Gorges Reservoir (China) and the relation with sediment compositions. *Journal of Hazardous Materials* ۱۶۲(۱), ۹۲-۹۸.
- Zhou, A., Tang, H., Wang, D., ۲۰۰۵. Phosphorus adsorption on natural sediments: Modeling and effects of pH and sediment composition. *Water Research* ۳۹, ۱۲۴۵-۱۲۵۴.

Phosphorus Adsorption Behavior of Sediments Trapped Behind Successive Check-dams

Farrokh Asadzadeh^{۱*}, Sara Mola-Ali-Abasiyan^۲, Abbas Samadi^۳

^۱Assistant Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University

^۲Assistant Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Maragheh

^۳Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University

(Received: ; Accepted:)

Abstract

The adsorption of phosphorus on sediments has a vital role in controlling the phosphorus concentration in overlying river water flow. Experiments were conducted to assess the phosphorus adsorption behavior of sediments trapped behind successive check-dams. To characterize phosphorus adsorption, two seasonal waterways from Noshan and Anbi regions of Urmia city, Northwestern Iran, were selected. Noshan and Anbi waterways had three and five check-dams, respectively. Phosphorus adsorption on sediment samples and a sample from original soil of the adjacent hillslope of each waterway were evaluated in batch experiment condition. Results indicated that the sediment characteristics have changed orderly toward waterway direction because of the selective sedimentation processes. Sediments from downstream dams with finer texture had high capacities to P adsorption than upstream dams with coarser texture. Four empirical models, namely, Freundlich, Langmuir, Temkin, and Van-Huay were employed to describe P isotherm data. Results indicated that the Van-Huay and Freundlich models with the coefficient of determination of ۰.۹۳۵ and ۰.۹۳۲ are superior in describing P adsorption data in comparison with Temkin and Langmuir models. The structural similarity of Van-Huay and Freundlich models was proven by experimental data. There were significant correlation between characteristics of sediment samples and coefficients of selected isotherm models. Sediment sand content has significant inverse relationship ($r = -.۷۴۸$; $p < .۰۰۵$) with the n of Freundlich model which illustrates low capacities of P sorption by sand fractions.

Keywords: Eutrophication; Sediment; Phosphorus; Adsorption Isotherm; Check-dam