

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.*, 2012). 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.*, 2012). 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, 1971).

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.*, 2007). در بین عناصر غذایی مختلف، ویژگی رسوبات از نظر نگه‌داشتن 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, 2002 and Hecky & Kilham, 1988).

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.*, 2009). ویژگی‌های 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, 2003). 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.*, 1996; Nwokea *et al.*, 2003) (and Lake *et al.*, 2007).

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 بفری رسوبات با افزایش ذرات ریز در آن‌ها است. Tang و همکاران (۲۰۱۴) نیز سه مدل هم‌دمای جذب سطحی شامل لنگمویر، فروندلیچ و دوبینین-راداشکوویچ^۶ را به منظور مدل‌سازی رسوبات رودخانه‌ای مورد استفاده قرار داده و نشان دادند که مدل لنگمویر و فروندلیچ توانایی

¹ Eutrophication

² Langmuir

³ Freundlich

⁴ Temkin

⁵ Beni-Haroun

⁶ Dubinin-Radushkevich

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 CHN1 و CHA1 نام‌گذاری شده و آخرین بند موجود در پایین دست نیز برای آبراهه نوشان، CHN3 و برای آبراهه انبی، CHA5 نامیده شد. موقعیت جغرافیایی و نیز ویژگی‌های بندهای مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

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.*, 2012). به منظور مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات خاک موجود در دامنه‌های مشرف به بندها، یک نمونه از خاک دامنه از عمق ۲۰-۳۰ 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 نوشان با کد N(OS) و برای آبراهه انبی با کد A(OS) نام‌گذاری شده. نمونه‌های رسوب در دمای آزمایشگاه هواخشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. بافت رسوبات به

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، لانگمویر، تمکین و ون‌های^۱ 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

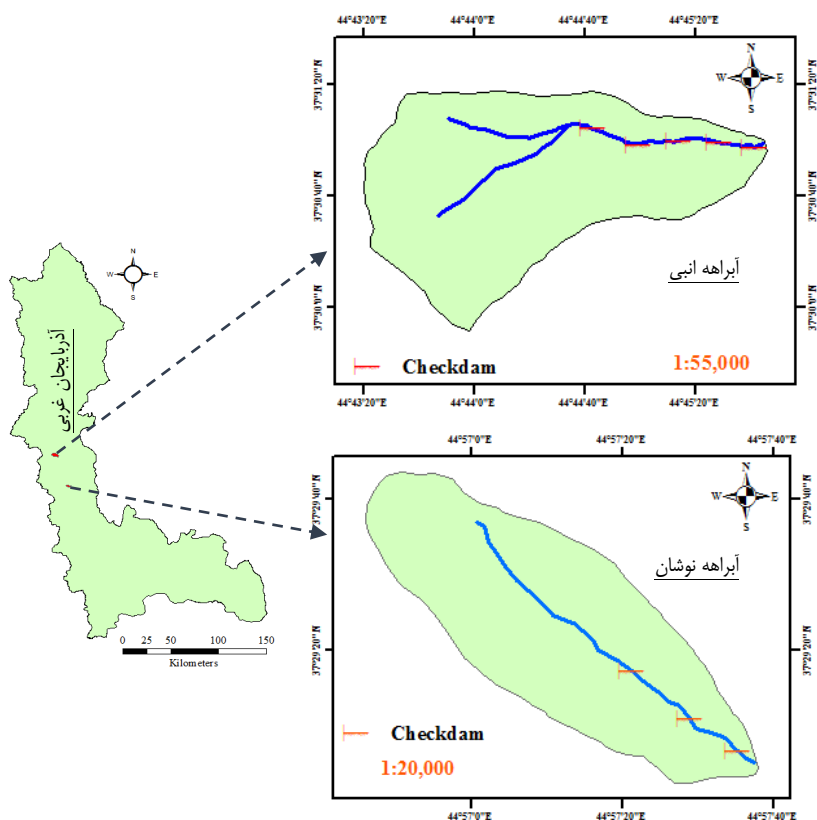
برای انجام این مطالعه دو آبراهه فصلی یکی در منطقه نوشان و دیگری در منطقه انبی از توابع ارومیه در استان آذربایجان غربی انتخاب گردید که در این مطالعه تحت عنوان آبراهه نوشان و آبراهه انبی نامیده شده‌اند (شکل ۱). آبراهه نوشان دارای طول تقریبی ۱۲۰۰ متر است که بر روی آن سه بند سنگی ملاتی به فواصل تقریباً مساوی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

¹ Van-Huay

تعیین شد (Rowell, 1994). ظرفیت تبادل کاتیونی با روش استات سدیم یک مولار (Chapman, 1965) و فسفر قابل استفاده به روش اولسن (Olsen, 1965) تعیین شد.

روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986) قابلیت هدایت الکتریکی و pH نمونه‌ها در عصاره اشباع (Rhoades, 1982) و ماده آلی نیز به روش والکلی و بلک^۱



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

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

آبراهه	کد بند	موقعیت جغرافیایی محل احداث بند			ویژگی‌های فیزیکی بند	
		طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (m)	ارتفاع دیواره (m)	طول دیواره (m)
نوشان	CHN1	۴۴/۹۵۵	۳۷/۴۸۹	۱۵۳۶	۵	۲۶
	CHN2	۴۴/۹۵۶	۳۷/۴۸۷	۱۵۴۲	۵	۲۳
	CHN3	۴۴/۹۶۰	۳۷/۴۸۵	۱۴۹۲	۵	۳۳/۵
انبی	CHA1	۴۴/۷۴۹	۳۷/۵۱۶	۱۹۰۷	۶	۴۵
	CHA2	۴۴/۷۵۱	۳۷/۵۱۶	۱۸۷۵	۶	۴۱
	CHA3	۴۴/۷۵۳	۳۷/۵۱۶	۱۸۶۲	۶	۶۳
	CHA4	۴۴/۷۵۶	۳۷/۵۱۶	۱۸۵۵	۶	۴۱
	CHA5	۴۴/۷۵۸	۳۷/۵۱۶	۱۸۴۹	۶	۴۹

^۱ Walkley and Black

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

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

در این معادلات q عبارت است از مقدار جذب شده در واحد جرم رسوب (mgkg^{-1}) و C_e نیز نشان دهنده غلظت تعادلی (mgL^{-1}) فسفر است. در معادله (۱) n و k 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 و m ثابت مدل است.

برآزش مدل‌های هم‌دمای جذب سطحی بر داده‌های آزمایشی به روش رگرسیون غیرخطی، با بهینه‌سازی مجموع مربعات خطای مدل با کاربرد نرم‌افزار MATLAB7.11 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 SPSS18 استفاده شده و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel انجام شد.

۳. نتایج

۳.۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی رسوبات

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مربوط به رسوبات پشت هر بند و همچنین ویژگی‌های نمونه خاک اصلی برداشت شده از خاک دامنه در جدول ۲ قابل مشاهده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود بافت رسوبات در محدوده بافت‌های 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. نمونه‌های رسوب از نظر قابلیت هدایت

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 سوسپانسیونی با غلظت ثابت 100 gL^{-1} رسوب مورد مطالعه قرار گرفت. از محلول 0.1 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.

براساس 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 ۲^۱ 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 است، استفاده شد.

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

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

^۱ Novaspec II

محتوای ماده آلی رسوبات نیز به دلیل دارا بودن بافت سبک، اندک است. به گونه‌ای که میانگین ماده آلی در رسوبات نوشان و انبی به ترتیب برابر با ۰/۶۸ و ۰/۹۱ درصد است. میانگین فسفر اولسن در نمونه‌های رسوب بندها نیز کم بوده و برای آبراهه‌های نوشان و انبی به ترتیب ۶/۳۵ و ۵/۸۷ میلی‌گرم در کیلوگرم رسوب است.

الکتریکی به عنوان رسوبات غیرشور محسوب می‌شوند و pH آن‌ها نیز اغلب در محدوده خنثی است به طوری که میانگین قابلیت هدایت الکتریکی نمونه‌های رسوب برای آبراهه‌های نوشان و انبی به ترتیب برابر با ۱/۳۸ و ۱/۲۲ دسی‌زیمنس بر متر بوده و میانگین pH نمونه‌های رسوب نیز به ترتیب ۷/۱۹ و ۶/۹۶ است.

جدول ۲. میانگین پارامترهای شیمیایی اندازه‌گیری شده در بندها

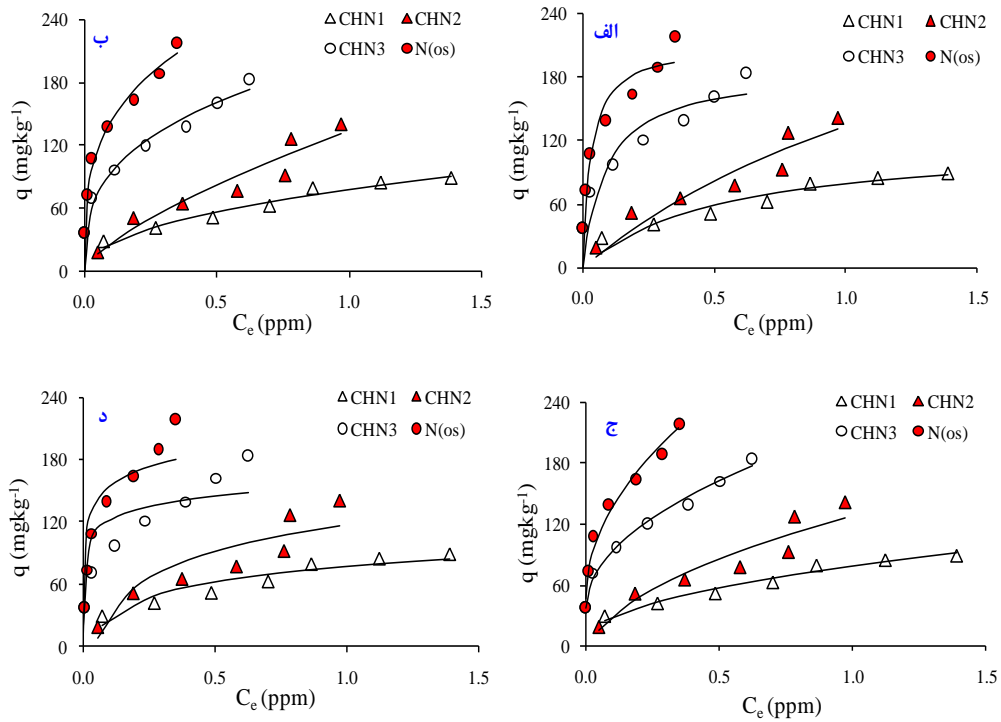
آبراهه	نمونه	ماده آلی	شن	سیلت	رس	کلاس بافتی	فسفر*	CEC [§]	pH	EC [†]	
			%			-	mgkg ⁻¹	cmolkg ⁻¹	-	dSm ⁻¹	
نوشان	N(os)	۰/۸۶	۲۲/۸۰	۵۰/۰۱	۲۷/۱۹	Clay loam	۱۲/۲۶	۱۸/۷۹	۷/۹۲	۱/۳۵	
	CHN1	۰/۲۷	۵۳/۹۸	۴۹/۰۰	۷/۰۶	Sandy loam	۴/۳۱	۷/۴۵	۷/۴۳	۱/۲۵	
	CHN2	۰/۶۵	۶۴/۸۰	۲۹/۰۰	۶/۲۰	Sandy loam	۵/۷۰	۱۰/۲۳	۷/۳۲	۱/۲۸	
	CHN3	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	
	انحراف معیار [#]	۰/۴۳	۱۹/۳۵	۱۳/۲۳	۷/۰۴	-	۲/۴۴	۳/۹۴	۰/۳۳	۰/۱۹	
انبی	A(os)	۳/۸۴	۲۲/۳۰	۴۸/۵۲	۲۹/۱۸	Clay loam	۹/۸۹	۲۴/۷۸	۷/۹۷	۰/۹	
	CHA1	۰/۱۷	۹۷/۹۴	۱/۴۳	۰/۶۳	Sand	۳/۳۸	۲/۱۸	۷/۰۶	۰/۶۲	
	CHA2	۰/۲۴	۹۴/۳۷	۴/۲۹	۱/۳۴	Sand	۳/۳۸	۳/۷۱	۷/۰۰	۰/۸۵	
	CHA3	۰/۳۸	۸۹/۳۷	۸/۵۷	۲/۰۶	Sand	۴/۸۶	۷/۶۶	۶/۹۴	۱/۳۴	
	CHA4	۱/۸۲	۳۷/۹۴	۴۹/۰۰	۱۳/۲۰	Loam	۸/۴۰	۸/۹۴	۶/۹۲	۱/۴۱	
	CHA5	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 عصاره‌گیری شده به روش Olsen؛ § ظرفیت تبادل کاتیونی؛ † قابلیت هدایت الکتریکی؛ # میانگین و انحراف معیار مربوط به نمونه‌های رسوب هستند.

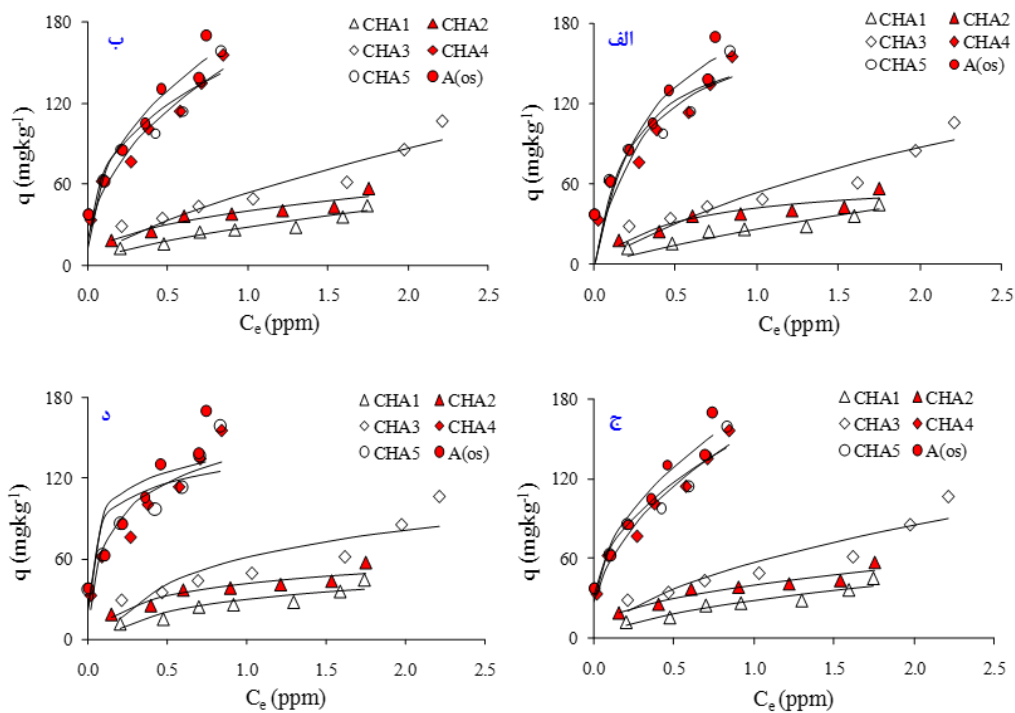
۲.۳. هم‌دماهای جذب فسفر

در شکل‌های ۲ و ۳ نحوه برآزش چهار مدل لنگمویر، فروندلیچ، ون‌های و تمکین بر روی داده‌های جذب سطحی فسفر توسط رسوبات برای دو آبراهه نوشان و انبی نشان داده شده است. همچنین در جدول ۳ ضرایب حاصل از برآزش مدل‌های جذب و همچنین ضرایب کارایی مدل‌ها شامل ضریب تبیین (R²) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ارائه شده است. همان‌گونه که در 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 برآزش 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.



شکل ۲. برازش مدل‌های جذب بر نمونه‌های آبراهه‌نشان؛ 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 برآزش 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	CHN1	۲/۹۳	۰/۹۲۰	۲۷/۶۷	۱/۵۳	CHA1	
۱۱/۵۴	۰/۹۱۵	۱۳۴/۱۸	۱/۴۱	CHN2	۳/۶۵	۰/۹۰۱	۴۰/۰۶	۲/۳۱	CHA2	
۱۵/۵۵	۰/۹۵۹	۲۰۴/۵۱	۲/۹۸	CHN3	۸/۵۴	۰/۸۹۷	۵۳/۹۰	۱/۴۵	CHA3	
-	-	-	-	-	۷/۶۰	۰/۹۶۴	۱۵۶/۹۰	۲/۲۲	CHA4	
-	-	-	-	-	۱۲/۱۵	۰/۹۱۲	۱۵۰/۵۷	۲/۸۶	CHA5	
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	مدل هم‌دما
۸/۳۰	۰/۹۸۱	۴۵/۸۶	۲۸۴/۵۱		N(os)	۹/۹۴	۰/۹۴۶	۲۰/۰۶		
۳/۸۷	۰/۹۶۷	۵/۸۸	۷۲/۱۹	CHN1	۳/۱۲	۰/۹۰۹	-۵/۴۶	۳۳/۶۵	CHA1	ون‌های
۱۲/۵۲	۰/۸۹۸	-۱۷/۹۰	۱۴۶/۵۲	CHN2	۳/۶۲	۰/۹۰۲	۴/۵۵	۳۵/۳۰۵	CHA2	
۴/۴۵	۰/۹۹۱	۳۷/۴۴	۱۷۶/۶۴	CHN3	۹/۴۲	۰/۸۷۰	-۱۱/۸۶	۶۸/۳۹	CHA3	
-	-	-	-	-	۶/۹۵	۰/۹۶۹	۱۰/۲۳	۱۴۷/۲۴	CHA4	
-	-	-	-	-	۸/۹۰	۰/۹۴۷	۲۵/۱۴	۱۲۹/۸۷	CHA5	
۶/۹۵	۰/۹۵۲	۸/۴۷	۱۳۱/۷۸	میانگین	۶/۴۰	۰/۹۱۹	۴/۵۲	۸۲/۹۰	میانگین	
RMSE	R ²	k2	k1	نمونه	RMSE	R ²	k2	k1	نمونه	مدل هم‌دما
۲۴/۹۹	۰/۸۲۳	۱۹۰۶۳/۰۶	۲۰/۴۶		N(os)	۲۲/۷۰	۰/۷۱۷	۱۳۶۰/۱۹		
۷/۱۷	۰/۸۸۸	۳۶/۴۰	۲۱/۴۰	CHN1	۴/۱۰	۰/۸۴۳	۸/۹۲	۱۳/۴۴	CHA1	تمکین
۱۶/۷۰	۰/۸۲۰	۲۴/۵۵	۳۶/۶۳	CHN2	۴/۱۷	۰/۸۷۰	۲۰/۹۳	۱۳/۵۴	CHA2	
۲۳/۳۴	۰/۷۶۰	۴۰۴۴/۹۵	۱۴/۵۶	CHN3	۱۲/۵۰	۰/۷۷۱	۸/۰۹	۲۹/۱۴	CHA3	
-	-	-	-	-	۱۳/۸۴	۰/۸۷۷	۹۸/۸۸	۲۹/۹۶	CHA4	
-	-	-	-	-	۱۹/۴۷	۰/۷۴۷	۱۶۰۲/۲۴	۱۷/۴۴	CHA5	
۱۵/۷۴	۰/۸۲۲	۱۳۵۰۰/۶۳	۲۴/۲۰	میانگین	۱۰/۸۱	۰/۸۲۲	۳۴۷/۸۱	۲۰/۷۰	میانگین	
RMSE	R ²	q _{max}	b _L	نمونه	RMSE	R ²	q _{max}	b _L	نمونه	مدل هم‌دما
۱۵/۷۶	۰/۹۶۷	۲۱۰/۶۵	۳۲/۸۱		N(os)	۱۶/۳۸	۰/۹۲۸	۲۲۴/۴۹		
۶/۶۸	۰/۹۲۹	۱۲۰/۷۲	۱/۹۱	CHN1	۳/۸۲	۰/۹۲۳	۱۷۱/۲۱	۰/۱۸	CHA1	لنگمویر
۱۲/۹۱	۰/۹۰۵	۳۶۲/۱۵	۰/۵۸	CHN2	۴/۳۱	۰/۸۶۵	۶۳/۹۳	۱/۸۷	CHA2	
۲۰/۳۷	۰/۹۱۱	۱۸۷/۱۷	۱۱/۳۰	CHN3	۹/۹۵	۰/۸۸۰	۲۴۲/۵۱	۰/۲۸	CHA3	
-	-	-	-	-	۱۳/۷۶	۰/۹۱۴	۱۸۸/۵۰	۳/۴۲	CHA4	
-	-	-	-	-	۱۸/۱۲	۰/۸۸۲	۱۷۸/۳۰	۴/۳۱	CHA5	
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.

و در رسوبات نوشان به ترتیب برابر با ۰/۹۴۶ و ۱۰/۴۰ به دست آمد. میانگین R² و RMSE مدل ون‌های نیز برای رسوبات نوشان برابر با ۰/۹۵۲ و ۶/۹۵ و برای رسوبات انبی ۰/۹۱۹۴ و ۶/۴۰۲ محاسبه شد. در نهایت میانگین R² و RMSE برای مدل تمکین در رسوبات انبی برابر با ۰/۸۲۲ و ۱۰/۸۱ و در رسوبات نوشان ۰/۸۲۲ و ۱۵/۷۴ بدست آمد.

بیشترین ضریب همبستگی و کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا مدل لنگمویر در هر دو نوع رسوبات انبی و نوشان مربوط به رسوبات بند اول یعنی CHA1 و CHN1 می‌باشد. در واقع داده‌های حاصل از رسوبات بند CHA1 و CHN1 در مقایسه با سایر رسوبات بهتر با معادله لنگمویر برآزش می‌یابند. میانگین R² و RMSE مدل فروندلیچ در رسوبات انبی به ترتیب برابر با ۰/۹۱۹ و ۶/۹۷

۴. بحث و نتیجه گیری

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 نوشان و انبی با 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 رسوب گذاری 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 CHN3 و CHA5 به عنوان بندهای پایین دست آبراهه‌های نوشان و انبی به ترتیب برابر با ۱۸۴/۶۵ و ۱۵۸/۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود در حالی که حداکثر مقدار جذب فسفر برای بندهای CHN1 و CHA1 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 واکنش پذیری 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., 2009).

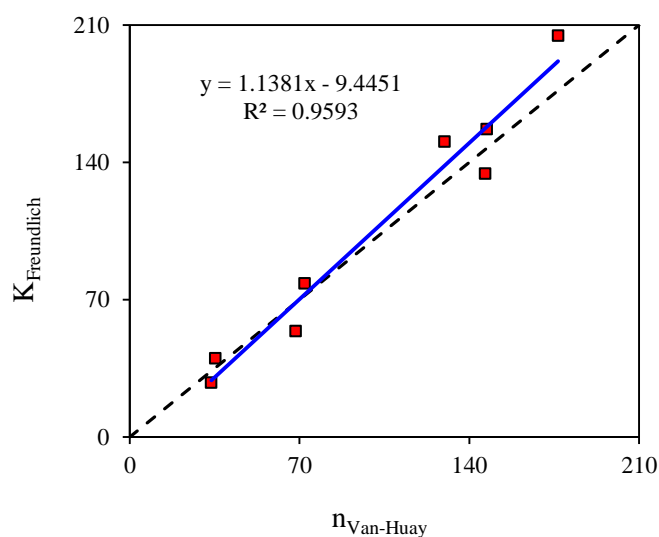
مقایسه نتایج حاصل از برازش مدل‌های جذب سطحی (جدول ۳) نشان می‌دهد که کارایی مدل‌ها به ترتیب ون‌های، فروندلیچ، لنگمویر و در نهایت تمکین است. ذکر این نکته ضروری است که کارایی دو مدل ون‌های و فروندلیچ به رغم تفاوت اندک، تقریباً شبیه به یکدیگر است. کارایی مدل‌های ون‌های و همچنین فروندلیچ در توصیف داده‌های 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 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

معادلاتی مانند لنگمویر فرض می‌گردد که سطح جذب کننده همگن بوده، انرژی جذب یکنواخت و جذب به صورت تک لایه‌ای است (Zhou et al., 2005) 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, 2004).

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, 2005). در حالی که در



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

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 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

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

با ماده آلی رسوبات است که این امر نشان دهنده اثر مثبت ماده آلی بر روی میزان فسفر قابل استفاده است (Azzouz et al., 2012).

شیمیایی رسوبات است (Romero-Diaz et al., 2012). از دیگر نکات قابل ذکر در این جدول وجود همبستگی مثبت بین مقدار فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن

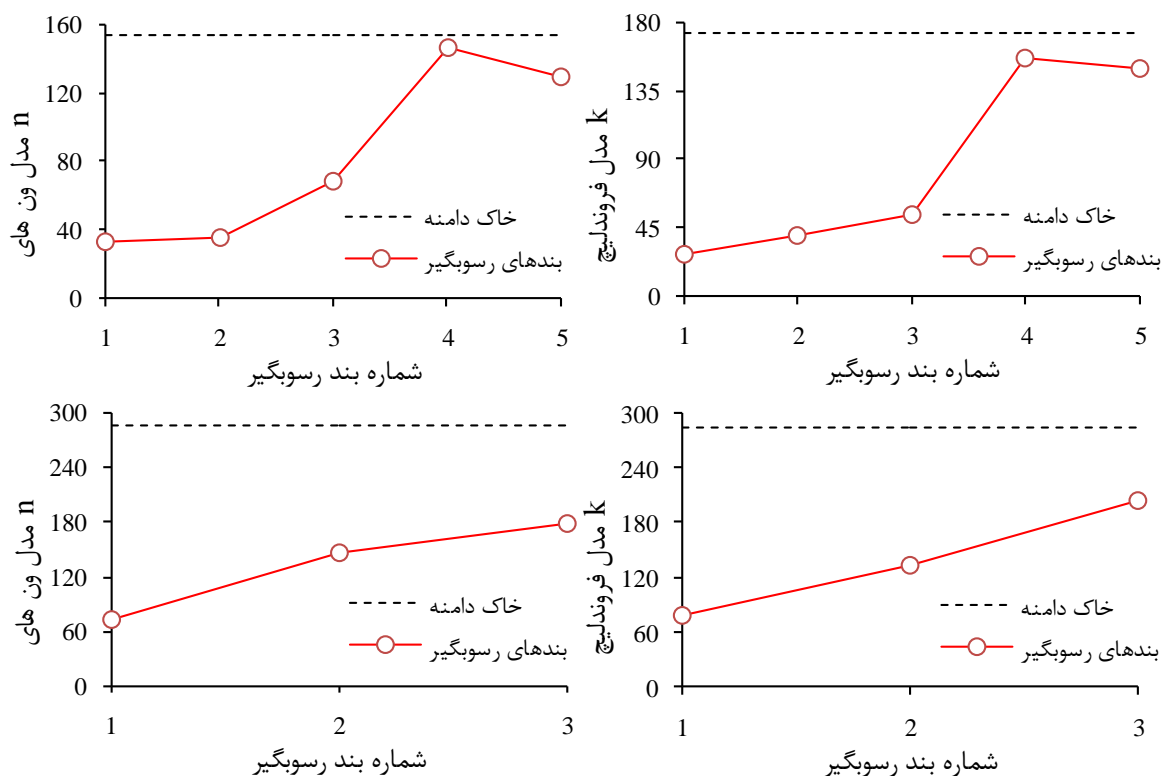
جدول ۴. ماتریس همبستگی پیرسون بین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی رسوبات و ضرایب مدل های برگزیده ی همدمای جذب سطحی

متغیر	شن	سیلت	رس	OM	pH	EC	CEC	Polsen	mVan-Huay	nVan-Huay	KFreundlich	nFreundlich
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	-۰/۸۰۳**	-۰/۶۸۸*	-۰/۹۳۳**	-۰/۷۴۲*	-۰/۷۰۲*	-۰/۱۷۴	۱					
Polsen	-۰/۹۰۹*	-۰/۸۴۰**	-۰/۹۳۷**	-۰/۶۴۰*	-۰/۴۳۱	-۰/۵۲۵	-۰/۸۱۳**	۱				
mVan-Huay	-۰/۷۸۵**	-۰/۷۲۵*	-۰/۸۱۰**	-۰/۳۸۸	-۰/۲۸۵	-۰/۴۱۳	-۰/۶۱۰	-۰/۸۲۱**	۱			
nVan-Huay	-۰/۸۱۸**	-۰/۷۶۰*	-۰/۸۳۷**	-۰/۳۸۰	-۰/۵۰۰	-۰/۴۷۵	-۰/۷۶۳*	-۰/۹۱۸**	-۰/۷۱۹*	۱		
KFreundlich	-۰/۸۸۹**	-۰/۸۳۵**	-۰/۸۹۰**	-۰/۴۶۵	-۰/۴۶۱	-۰/۵۱۱	-۰/۷۹۲**	-۰/۹۵۲**	-۰/۷۹۹**	-۰/۹۸۵**	۱	
nFreundlich	-۰/۷۴۸*	-۰/۷۰۷*	-۰/۷۳۸*	-۰/۳۱۸	-۰/۲۴۱	-۰/۴۶۷	-۰/۵۱۹	-۰/۷۶۸**	-۰/۹۷۵**	-۰/۶۷۹*	-۰/۷۵۹*	۱

* 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 ون های، تغییرات این دو ضریب در توالی بندهای رسوب گیر دو آبراهه ترسیم شده و مقادیر آنها با خاک اصلی دامنه مورد مقایسه قرار گرفته است (شکل ۵). همان گونه که در این شکل قابل مشاهده است با حرکت به سمت پایین دست آبراهه ها مقادیر دو ضریب افزایش یافته و به مقدار آنها در خاک اصلی نزدیک می شود. که این امر نشان دهنده وجود رسوب گذاری انتخابی در بندها بوده که سبب تغییرات منظمی از ویژگی های 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، ویژگی های آنها رفته رفته متمایل به خاک دامنه می گردد.

بین n مدل فروندلیچ و درصد شن نمونه ها یک رابطه معکوس و معنی دار وجود دارد. کاهش n نشان دهنده کاهش تنوع مکان های جذبی رسوب است (Sposito, 1980- and Essington, 2005). بنابراین می توان گفت که با افزایش درصد شن نمونه ها به دلیل کاهش واکنش پذیری شیمیایی آنها تنوع مکان های جذبی نیز کاهش یافته و n فروندلیچ کم می شود. مقدار فسفر قابل عصاره گیری به روش اولسن دارای رابطه معکوس با k فروندلیچ و n ون های است که این امر با گزارش های Chorom و Ahmadpour (۲۰۰۷) 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 Shariatmadari و Shirvani (۲۰۰۲) روندی مشابه داشته و می تواند نشان دهنده نقش افزایش رس در افزایش قابلیت جذب فسفر توسط



شکل ۵. ارتباط بین توالی بندهای رسوبگیر با پارامترهای مدل های ون های و فرودلیج و مقایسه آنها با خاک دامنه

دست آمده برای ضرایب مدل های تمکین و فرودلیج بیانگر تشابه ساختار ریاضی این دو مدل بود. ضریب k معادله فرودلیج و n مدل ون های مانند ویژگی های 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 ویژگی های رسوبات است. ارتباط معکوس ضریب n معادله فرودلیج با درصد شن نمونه ها حاکی از کاهش مکان های جذبی فسفر در رسوبات شنی در مقایسه با رسوبات با بافت ریزتر است.

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که در آبراهه های نیمه پر در اثر وقوع فرآیند ترسیب انتخابی ذرات فرسایش یافته، تغییرات منظمی از ویژگی های رسوبات در توالی بندها مشاهده می شود. 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 می یابد. از بین مدل های همدمای جذب سطحی دو مدل ون های و فرودلیج برتری نسبی در مقایسه با مدل های لنگمویر و تمکین داشتند. تحلیل داده های به

References

- Abedini, M., Md-Said, M.A., Ahmad, F., 2012. Effectiveness of check dam to control soil erosion in a tropical catchment (The Ulu Kinta Basin). *Catena* 97, 63-70.
- Allen, P.B., Welch, N.H., 1971. Sediment yield reduction on watersheds treated with flood-retarding structures. *Transaction of ASAE* 14(5), 814-817.

- Azzouz, S., Meribout, R., Boukhalfa, C., 2012. Characterization of Phosphate Adsorption on Sediments. *Procedia Engineering* 33, 285 – 292.
- Chapman, H.D., 1965. Cation exchange capacity. In: Black, C.A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, part 2. Amer. Soc. Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, EEUU, pp. 891–900.
- Chorom, M., Ahmadpour, A., 2007. Study of Phosphorus Adsorption Characteristics of Soils under Shoeibieh sugercan farms in Khuzestan. *Agricultural Research (Water, Soil and Plant in Agriculture)* 7(3), 103-114. (In Persian)
- Essington, M. E., 2004. *Soil and water chemistry, an integrative approach*. CRC Press LLC.
- Fox, R.L., Kamprath, E.J., 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc* 34, 902-907.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. Particle-size Analysis. In A. Klute (ed): *Methods of soil analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. Madison, Wis., 393-394.
- Haggard, B.E., Smith, D.R., Brye, K.R., 2007. Variations in Stream Water and Sediment Phosphorus among Select Ozark Catchments. *Journal of Environmental Quality* 36, 1725–1734.
- Hassanli, A. M., Esmaeli-Nameghi, A., Beecham, S., 2009. Evaluation of the effect of porous check Dam location on fine sediment retention (a case study). *Environ Monit Assess* 152,319-326.
- Hecky, R.E., Kilham, P., 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: a review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol. Oceanogr.* 33 (4, 2), 796-822.
- House, W.A., 2003. Geochemical cycling of phosphorus in rivers. *Appl. Geochem* 18, 739–748.
- Lake, A. B., Coolidge, K.M., Norton, S.A. and Amirbahman, A. 2007. Factors contributing to the internal loading of phosphorus from anoxic sediments in six Maine, USA, lakes. *Science of the Total Environment* 373, 534–541.
- Lopez, P., Lluch, X., Vidal, M., Morgui, J.A., 1996. Adsorption of Phosphorus on sediments of the Balearic Islands (Spain) Related to Their Composition. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 42, 185–196.
- Mainstone, C.P., Parr, W., 2002. Phosphorus in rivers-ecology and management. *Sci. Tot. Environ* 282/283, 25–47.
- Nwokea, O.C., Vanlauwe, B., Diels, J., Sanginga, N., Osonubi, O., Merckx, R., 2003. Assessment of labile phosphorus fractions and adsorption characteristics in relation to soil properties of West African savanna soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 100, 285–294.
- Olsen, S.R., Dean, L.A., 1965. Phosphorus. In: Black, C.A. (ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2*. Amer. Soc. Agronomy, Inc., Madison, Wis., pp. 1044–104.
- Rhoades, J.D., 1982. Soluble salts. In: A.L. Page (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties*. Agronomy monograph no. 9. 2nded. SSSA and ASA, Madison, WI, 167-179.
- Romero-Diaz, A., Marín-Sanleandro, P., Ortiz-Silla, R., 2012. Loss of soil fertility estimate from sediment trapped in check dams. South-eastern Spain. *Catena* 99, 42-53.
- Rowell, D.L., 1994. *Soil Science: Methods and Applications*. Longman Scientific & Technical. ISBN: 058208784 8. 350 p.
- Seungman, S., Dongsu, K., 2005. Modification of langmuir isotherm in solution systems-definition and utilization of concentration dependent factor. *Chemosphere* 58, 115-123.
- Shieh, C., Guh, Y. and Wang, S., 2007. The Application of Range of Variability Approach to the Assessment of a Check Dam on Riverine Habitat Alteration. *Environmental Geology* 52(3), 427-435.
- Shirvani, M., Shariatmadari, H., 2002. 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* 6 (1) 121-130 (in Persian)
- Sposito, G., 1980. Derivation of the Freundlich equation of ion exchange reactions in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43, 652-654.
- Tang, X., Wu, M., Dai, Chai, P., 2014. Phosphorus storage dynamics and adsorption characteristics for sediment from a drinking water source reservoir and its relation with sediment compositions. *Ecological Engineering* 64, 276– 284.

- Tu, C., Zheng, C.R., Chen, H.M., 2002. Effect of heavy metals on phosphorus retention by typicudicferrisols: Equilibrium and kinetics. *Pedosphere*.12 (1): 15-24.
- Wang. Y., Shen, Z., Niu, J., Liu, R., 2009. Adsorption of phosphorus on sediments from the Three-Gorges Reservoir (China) and the relation with sediment compositions. *Journal of Hazardous Materials* 162(1), 92-98.
- Zhou, A., Tang, H., Wang, D., 2005. Phosphorus adsorption on natural sediments: Modeling and effects of pH and sediment composition. *Water Research* 39, 1245–1254.