

تأثیر اسید هومیک بر رفتار جذبی فسفر در یک خاک آهکی

ابراهیم سپهر^{۱*} - رویا زبردست^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۲۴

چکیده

به منظور بررسی اثر اسید هومیک روی رفتار جذبی فسفر، آزمایشی در سه سطح اسید هومیک (۰، ۲۰۰، ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در غلظت‌های مختلف فسفر (۰ تا ۳۰ میلی‌گرم در لیتر) و در دو قدرت یونی ۰/۱ و ۰/۰۱ مولار بررسی شد؛ داده‌های جذب با معادلات لانگمویر، فروندلیچ و تمکین برازش داده شدند و بر اساس ضریب تبیین (R^2) معادله لانگمویر بهتر برازش یافت ($R^2=0/91-0/98$). نتایج نشان داد که مصرف اسید هومیک جذب فسفر را به طور قابل توجهی پایین آورد و حداکثر جذب تک لایه‌ای لانگمویر (q_{max})، را بیش از ۵۰٪ در مقایسه با نمونه شاهد کاهش داد. همچنین پارامترهای جذب شامل انرژی جذب لانگمویر (K_L)، فاکتورهای ظرفیت و شدت جذب فروندلیچ (n, K_F) و ضریب تمکین (K_T) با افزودن اسید هومیک در هر دو قدرت یونی کاهش یافتند. حداکثر ظرفیت بافری (MBC)، ظرفیت بافری تعادلی (EBC) و ظرفیت بافری استاندارد خاک (SBC) در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هومیک، بیش از ۵۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. کاربرد اسید هومیک غلظت تعادلی فسفر (EPC) را در هر دو قدرت یونی افزایش داد، به طوری که مقدار EPC از ۰/۲۸ تا ۰/۴۰ (در قدرت یونی ۰/۰۱ مولار) و از ۰/۲۱ تا ۰/۳۹ (در قدرت یونی ۰/۱ مولار) میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که جذب رقابتی اسید هومیک با فسفر موجب کاهش جذب فسفر شده و در نتیجه می‌تواند موجب افزایش فراهمی فسفر برای گیاهان شود.

واژه‌های کلیدی: فسفر، اسید هومیک، قدرت یونی، همدماهای جذب

مقدمه

فسفات طی ۶۰ تا ۸۰ سال آینده تمام شود (۳۵). امروزه برای افزایش قابلیت استفاده گیاه از کودهای شیمیایی فسفره، که مصرف بلند مدت از این کودها منجر به تجمع فسفر در خاک و افزایش آلودگی آب‌های سطحی و زیر سطحی می‌شود، از راهکارهایی همچون کاشت گونه‌های کارا، افزودن اسیدهای آلی و هوموس استفاده می‌گردد (۱۱). اسیدهای آلی مثل اسید هومیک جزء مواد هوموسی هستند که منشأ طبیعی داشته و در نتیجه فرایندهای زیستی به وجود آمده‌اند و در نقل و انتقالات و فراهمی عناصر به ویژه فسفر بسیار مهم می‌باشند (۸). به دلیل جذب رقابتی که بین اسیدهای آلی و فسفات وجود دارد جذب فسفر روی سطوح فعال کمتر می‌شود که دلیلی برای افزایش بازده کود فسفره در خاک‌های اصلاح شده با مواد آلی است (۳۴ و ۴۰). اسید هومیک می‌تواند پیوندهای Al-P یا Fe-P را در خاک‌های اسیدی و Ca-P را در خاک‌های قلیایی بشکند و فسفر را داخل محلول خاک آزاد سازد (۲۱). در خاک‌های آهکی رسوب فسفات‌های کلسیم نامحلول فاکتور اصلی در کاهش قابلیت استفاده فسفر می‌باشد (۳۱) با این حال سهم نسبی فرایندهای رسوب و جذب سطحی برای تثبیت فسفر در خاک‌های آهکی به نسبت مقدار

فسفر یکی از عناصر غذایی ضروری برای تغذیه گیاه است و پس از نیتروژن بیشترین مصرف کود را در دنیا دارد. بطوری که سالانه بیش از ۳۹ میلیون تن کودهای فسفاته در دنیا (۱۴) و ۸۰۰ هزار تن در ایران مصرف می‌شود (۵). فسفر بخاطر شیمی پیچیده‌اش، هم در خاک‌های آهکی (بخاطر Ca^{2+} و Mg^{2+}) و هم در خاک‌های اسیدی (بخاطر Al^{3+} و Fe^{3+}) مشکل جذب دارد و کمتر از ۲۰ درصد کود مصرفی آن جذب گیاه شده و بقیه در خاک انباشته و تثبیت می‌شود. لذا، بخاطر نسبتاً غیرقابل دسترس شدن باقیمانده فسفر در خاک، کودهای حاوی آن همه ساله مصرف می‌شوند و با زیر کشت رفتن اراضی کم بازده، سال به سال بر مصرف کودهای فسفره افزوده شده و پیش بینی می‌شود مصرف این کودها در سال ۲۰۴۰ به ۶۰ میلیون تن برسد این در حالی است که تخمین زده می‌شود منابع سنگ

۱ و ۲- به ترتیب استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*- نویسنده مسئول: e.sepehr@urmia.ac.ir (Email:)

به روش اسنات سدیم نرمال (۲۷) و فسفر قابل جذب به روش اولسن (۲۵) اندازه‌گیری شدند. آزمایش به روش تعادلی در سه سطح اسید هومیک (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) و با هشت سطح فسفر (۰ تا ۳۰ میلی گرم در لیتر) در دو قدرت یونی (۰/۱ و ۰/۰۱ مولار کلرید پتاسیم) و در ۳ تکرار انجام شد. محلول‌های اسید هومیک از محلول مادر ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هومیک (Sigma-Aldrich) در محلول زمینه کلرید پتاسیم تهیه گردید. ۲/۵ گرم از نمونه خاک در داخل لوله ساترفیوژ ریخته و به هر یک از لوله‌ها ۲۵ میلی لیتر محلول حاوی اسید هومیک و فسفر در سری غلظتی تعیین شده و در قدرت یونی مشخص افزوده شد و به مدت ۱ شبانه روز تکان داده شد. سپس فاز محلول با ساترفیوژ در دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه جدا گردید و از کاغذ صافی واتمن ۴۲ نیز عبور داده شد. غلظت فسفر با استفاده از روش رنگ سنتی مولبیدات آمونیوم (۲۳) و با دستگاه اسپکتروفتومتری در طول موج ۸۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و از تفاوت غلظت اولیه و نهایی مقدار جذب فسفر تعیین گردید.

$$q_p = \frac{(P_i - P_f) \times V}{m} \quad (1)$$

q_e : مقدار جذب فسفر (میلی گرم در کیلوگرم)؛ P_i : غلظت اولیه فسفر (میلی گرم در لیتر)؛ P_f : غلظت نهایی فسفر (میلی گرم در لیتر)؛ V : حجم محلول (میلی لیتر)؛ m : وزن خاک (گرم)

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی خاک

pH	%CaCO ₃	%OC	%Clay	CEC(cmol/kg)	Olsen-P(mg/kg)
۷/۶	۶/۷	۱/۱	۱۷	۲۵	۴/۶

برای توصیف همدماهای جذب فسفر از معادلات لانگمویر، فروندلیچ و تمکین استفاده گردید (۴۱).

$$q = q_{\max} K_L C_e / (1 + K_L C_e) \quad (2) \text{ معادله لانگمویر}$$

$$q = K_F C_e^{1/n} \quad (3) \text{ معادله فروندلیچ}$$

$$q = A + K_T \ln C_e \quad (4) \text{ معادله تمکین}$$

در هر سه معادله q میزان ماده جذب شده در حالت تعادل (میلی گرم در کیلوگرم) و C_e غلظت تعادلی جذب شونده (میلی گرم در لیتر) بوده و به ترتیب K_L و q_{\max} ثابت‌های معادله لانگمویر، K_F و n ثابت‌های معادله فروندلیچ و K_T و A ثابت‌های معادله تمکین می‌باشند.

پس از برآزش معادلات جذب روی داده‌های آزمایشی، پارامترهای SPR (نیاز استاندارد فسفر) برای فسفر تعادلی ۰/۴ (۳۰)، پارامترهای ظرفیت بافری خاک شامل EBC (ظرفیت بافری تعادلی) و SBC (ظرفیت بافری استاندارد) از طریق شیب معادلات جذب محاسبه گردید (۱۷) و از حاصلضرب ثابت متناسب با انرژی پیوند (K_L) و حداکثر جذب فسفر (q_{\max})، حداکثر ظرفیت بافری (MBC) بدست

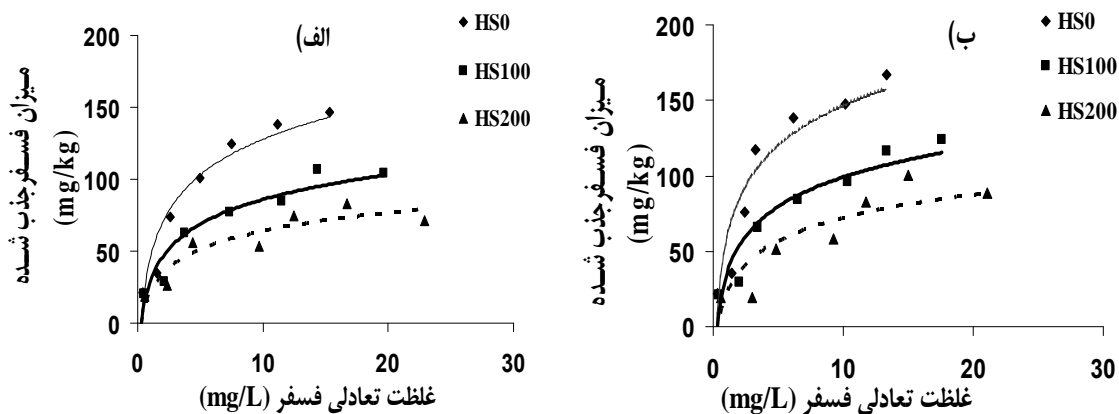
فسفر استفاده شده بستگی دارد (۶). مطالعات بر روی مواد هومیکی نشان داده است که این مواد همچنین نگهداری فسفر را بر روی اکسیدهای آبدار آلومینیوم و ترکیبات بی‌شکل آلومینوسیلیکاتی کاهش می‌دهد (۲۸)، این مواد به دلیل تشکیل پوشش محافظی در سطح سزکویی اکسیدها، تثبیت فسفر را کاهش داده و آن را قابل استفاده می‌سازد (۳۶). کاهش جذب یون فسفات ممکن است به دلیل افزایش پتانسیل الکتریکی منفی سطوح به واسطه بار منفی حاصل از مولکول‌های اسید هومیک جذب شده و یا به دلیل مسدود شدن سطوح به واسطه اندازه نسبتاً بزرگ مولکول‌های اسید هومیک باشد (۳۳). هووا کووان- زیان و همکاران (۱۸) گزارش کردند در تیمار حاوی اسید هومیک میزان فسفر محلول بیش از ۷۰ درصد افزایش یافت که نشان‌دهنده کاهش جذب فسفر توسط خاک در حضور اسید هومیک می‌باشد. وانگ و همکاران (۳۹) در مطالعه خاک‌های قلیایی حاوی آلومینیوم دی‌هیدروژن فسفات، افزایش فسفر محلول را با افزودن اسید هومیک گزارش کردند که این نشان می‌دهد اسید هومیک مسدود شدن و نامتحرک شدن فسفات را به شدت به تاخیر می‌اندازد. مطالعات بر روی قسمتی از خاک‌های چین نیز نشان داده است که در مقادیر کم فسفر محلول، ۰/۵ گرم اسید هومیک، فسفر محلول را به اندازه ۳/۶ برابر و افزودن ۲/۵ گرم، فسفر محلول را ۵ برابر افزایش می‌دهد. ولی در سطوح بالای فسفر، افزودن ۰/۵ گرم اسید هومیک، فسفر محلول را به اندازه ۷۰ درصد و میزان بالای اسید هومیک، فسفر محلول را به اندازه ۹۰ درصد افزایش می‌دهد (۱۸).

تحقیقات در مورد تأثیر اسیدهای آلی با وزن مولکولی پایین بر روی رفتار جذبی فسفر، نشان داده است که این اسیدها موجب کاهش جذب فسفات توسط ذرات خاک و افزایش میزان فسفر محلول و قابل استفاده توسط گیاه می‌گردد (۲۲). اما در مورد تأثیر اسیدهای آلی با وزن مولکولی بالا از جمله اسید هومیک روی جذب فسفر، تحقیقات اندکی صورت گرفته است. بنابراین در این مطالعه تأثیر اسید آلی هومیک روی جذب فسفر توسط ذرات خاک در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت.

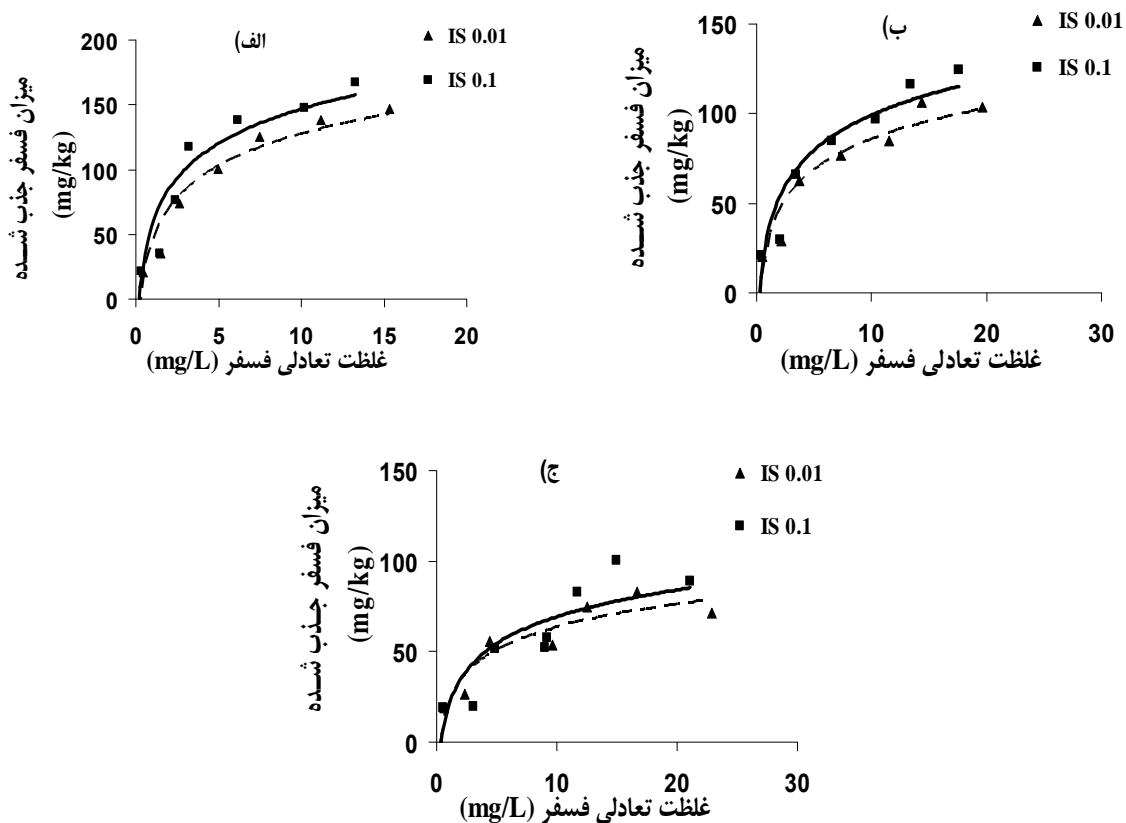
مواد و روش‌ها

نمونه خاک مورد مطالعه از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر تهیه و پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش، در جدول شماره ۱ گزارش شده که این ویژگی‌ها نظیر درصد رس به روش هیدرومتری (۱۶)، pH با استفاده از عصاره گل اشباع، کربن آلی به روش والکی و بلک (۳۷)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (۲۹)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)

آمد (۴ و ۱۷). در نهایت نتایج با نرم افزار SAS تجزیه گردید و نمودارها در Excel تهیه گردید.



شکل ۱- تأثیر اسید هومیک روی مقدار جذب فسفر، (الف) قدرت یونی ۰/۱ مولار (ب) قدرت یونی ۰/۱ مولار



شکل ۲- تأثیر قدرت یونی روی مقدار جذب فسفر، (الف) غلظت ۰ میلی گرم در لیتر اسید هومیک (ب) غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هومیک (ج) غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هومیک

جدول ۲- تأثیر سطوح مختلف اسید (HS) و قدرت یونی (IS) بر روی غلظت تعادلی فسفر (EPC)، ظرفیت بافری تعادلی (EBC) و ظرفیت بافری استاندارد (SBC)

SBC(L/kg)		EBC(L/kg)		EPC(mg/L)		اسید هومیک (mg/L)
۰/۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱	
۹۵/۸ a,a	۸۹/۷ a,b	۱۷۶/۷ a,a	۱۲۶/۶ a,b	۰/۲۱ c,b	۰/۲۸ b,a	۰
۷۰/۸ b,a	۶۱/۹ b,b	۹۴/۳ b,a	۷۹/۸ b,b	۰/۳۰ b,a	۰/۳۱ b,a	۱۰۰
۵۵/۲ c,a	۴۵/۸ c,b	۵۷/۱ c,a	۵۹/۳ c,a	۰/۳۹ a,a	۰/۴۰ a,a	۲۰۰

میانگین ها با حروف غیر مشابه از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی دار دارند (از سمت چپ حروف اول، مقایسات میانگین ستونی برای سطوح اسید هومیک و حروف دوم، مقایسات ردیفی برای قدرت یونی می باشد)

نتایج و بحث

تاثیر اسید هومیک و قدرت یونی بر جذب فسفر

نتایج نشان داد که با افزودن اسید منحنی ایزوترمی جذب در دو قدرت یونی بطور قابل توجهی کاهش یافت و مقدار جذب در قسمت پلاتو منحنی ها به حدود نصف مقدار اولیه کاهش یافت (شکل ۱). از سوی دیگر، تغییرات جذب در دو قدرت یونی ۰/۰۱ و ۰/۱ مولار روند مشابهی نشان داده و با افزایش قدرت یونی از ۰/۰۱ به ۰/۱ مولار منحنی های ایزوترمی تا حدودی روند افزایشی نشان دادند (شکل ۲). مصرف اسید هومیک غلظت تعادلی فسفر را در قدرت های یونی ۰/۰۱ و ۰/۱ مولار، به ترتیب از ۰/۲۸ به ۰/۴۰ و از ۰/۳۱ به ۰/۳۹ میلی گرم در لیتر افزایش داد (جدول ۲) که این مقادیر در محدوده کفایت فسفر (۰/۲ - ۰/۴ میلی گرم در لیتر) برای اغلب گیاهان قرار دارد (۱۵). همچنین افزودن سطوح مختلف اسید هومیک، ظرفیت بافری تعادلی (EBC) و ظرفیت بافری استاندارد خاک (SBC) را به میزان قابل توجهی کاهش داد. مقدار ظرفیت بافری تعادلی از ۱۲۶/۶ به ۵۹/۳ در قدرت یونی ۰/۰۱ مولار و از ۱۷۶/۷ به ۵۷/۱ لیتر بر کیلوگرم در قدرت یونی ۰/۱ مولار کاهش یافت و ظرفیت بافری استاندارد خاک در قدرت های یونی ۰/۰۱ و ۰/۱ مولار به ترتیب ۴۹ درصد و ۴۴ درصد کاهش نشان داد (جدول ۲).

آنتلو و همکاران نیز (۹) در تحقیقی که اثر سطوح مختلف اسید هومیک روی جذب فسفات بررسی کرده و گزارش کردند زمانیکه غلظت هومیک اسید افزایش می یابد جذب فسفات توسط مکان های سطحی کاهش یافته و به طور کلی رقابت بر سر مکان های سطحی، جذب فسفات توسط خاک را کاهش می دهد. همچنین در مطالعات بازیافت کود فسفات از خاک های آهکی اصلاح شده با اسید هومیک و فلوویک، دلگادو و همکاران (۱۲) گزارش کردند که میزان فسفر بازیافت شده در شرایط بدون اسید هومیک از ۱۵ درصد به بیش از ۴۰ درصد در شرایط استفاده از اسید هومیک افزایش یافت. همچنین مطالعات اکسی سول های تانزانیا که دارای مواد هومیکی از جمله اسید

هومیک و فلوویک بودند ۲۷ درصد تا ۶۳ درصد کاهش جذب فسفر توسط خاک را در حضور این مواد نشان داد (۲۰).

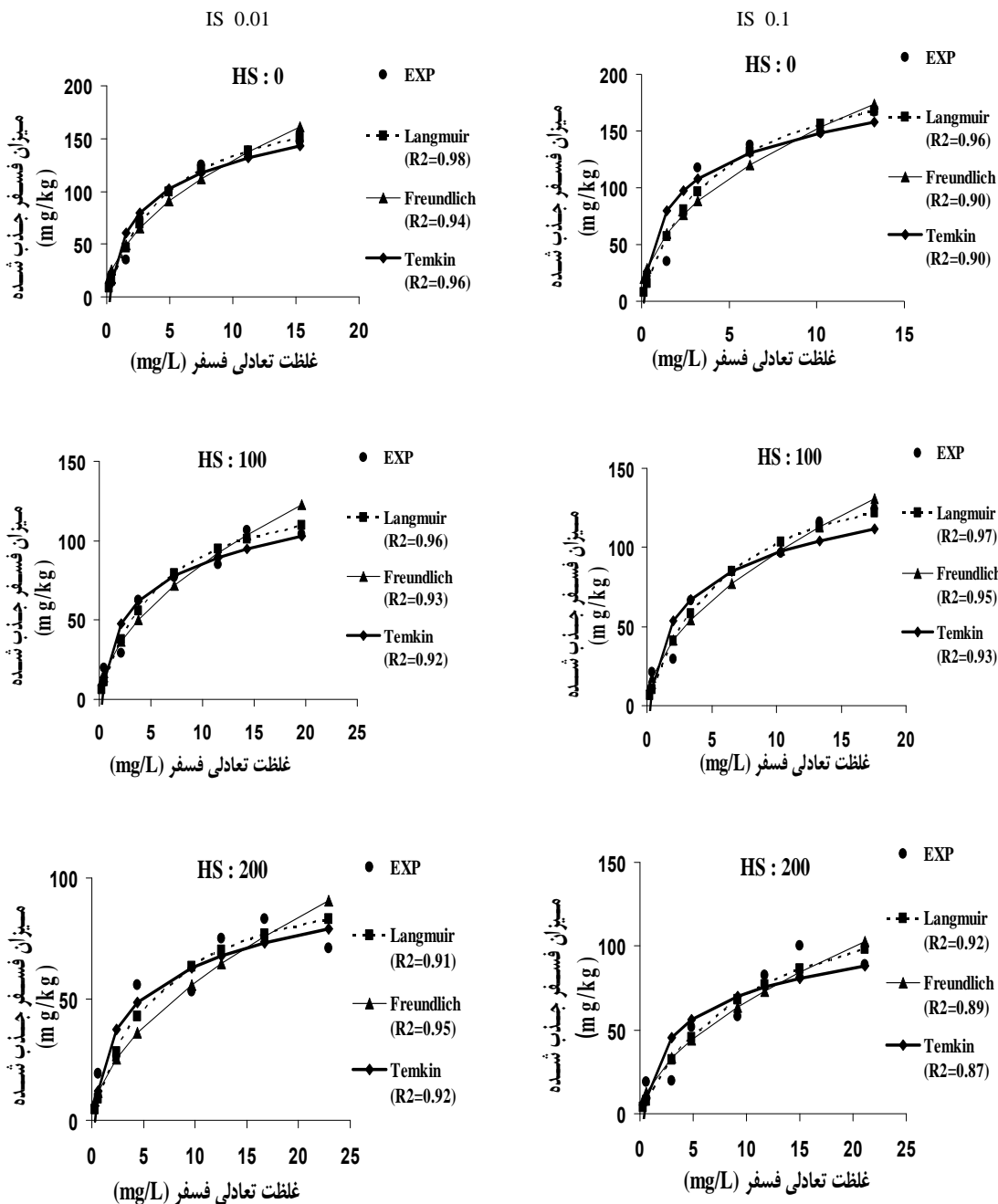
همچنین مقادیر ظرفیت بافری تعادلی و ظرفیت بافری استاندارد خاک با افزایش قدرت یونی افزایش نشان داد (جدول ۲). به طور کلی در pH های بالاتر از نقطه PZC، پتانسیل سطحی ذرات خاک منفی بوده و یون مخالف در لایه دو گانه پخشیده کاتیون ها می باشد. با افزایش قدرت یونی مقدار بار سطحی منفی و به دنبال آن تعداد کاتیون ها در لایه پخشیده افزایش می یابد که این مسئله موجب افزایش پتانسیل جذب سطحی و در نهایت افزایش جذب فسفات می گردد (۳۸) اما در حضور اسید هومیک، در قدرت یونی کم به دلیل اینکه مولکول های اسید هومیک دارای ساختار گسترده و منبسطی هستند فضای بیشتری از سطوح را اشغال می کنند در نتیجه جذب سطحی فسفات کم می باشد ولی با افزایش قدرت یونی، با ایجاد برخی تغییرات در ساختار فضایی اسید هومیک جذب فسفات افزایش می یابد اما این تغییرات نامحسوس و قابل چشم پوشی است (۹). نتایج مطالعات ایرنانی (۱۳) نشان داد که افزایش قدرت یونی سبب افزایش جذب فسفات می گردد ولی این افزایش ناچیز و قابل چشم پوشی است که دلیل آن جذب ویژه فسفات بر روی سطوح و ایجاد کمپلکس های درون کره ای می باشد به طوری که تغییرات قدرت یونی تأثیر قابل توجهی در جذب فسفات ایجاد نمی کند. اما مطالعات یانگ وانگ و همکاران (۳۸) نشان داد که علاوه بر این که افزایش غلظت الکترولیت سبب افزایش میزان جذب فسفر می شود، نوع الکترولیت نیز در میزان جذب فسفر موثر است بطوریکه استفاده از الکترولیت CaCl_2 نسبت به NaCl جذب فسفر را به میزان بیشتری افزایش می دهد که دلیل آن جذب بیشتر فسفر به همراه یون های کلسیم بر روی سطوح ذرات خاک و رس ها می باشد.

ایزوترم های جذب

ایزوترم های جذب لانگمویر، فروندلیچ و تمکین روی داده های حاصل از آزمایش برازش داده شد (شکل ۳). نتایج حاصل از بررسی

نداشت. همان طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود افزایش سطوح مختلف اسید هومیک، q_{max} را از ۲۰۹ به ۱۲۸ (mg/kg) و کاهش قدرت یونی از ۰/۱ به ۰/۰۱ مولار این پارامتر را از ۱۷۷ به ۱۵۰ (mg/kg) کاهش داد.

ضرایب رگرسیونی (R^2) لانگمویر (۰/۹۸-۰/۸۸)، فروندلیچ (۰/۹۳-۰/۹۹) و تمکین (۰/۹۹-۰/۸۸) نشان داد که این مدل‌ها واکنش جذب فسفر را به خوبی توصیف می‌کنند (جداول ۳، ۴ و ۵). اثر اسید هومیک و قدرت یونی روی مقدار حداکثر جذب (q_{max}) معنی‌دار بوده اما تأثیر متقابل این دو فاکتور روی مقدار این پارامتر اثر معنی‌داری

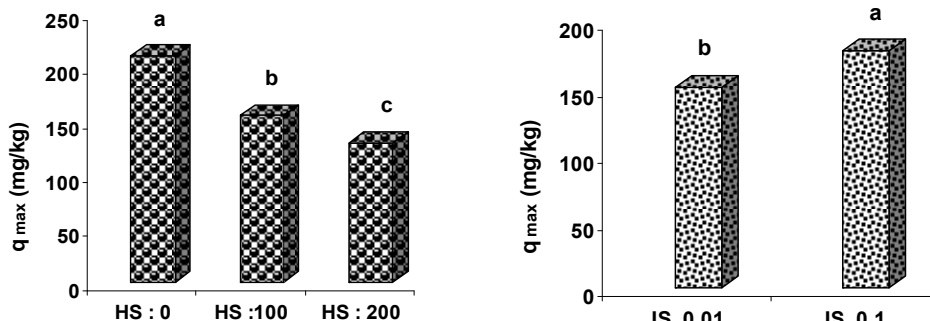


شکل ۳- برازش غیرخطی داده‌های جذب فسفر، روی معادلات لانگمویر، فروندلیچ و تمکین

جدول ۳ - مقایسات میانگین تأثیر متقابل اسید هومیک (HS) و قدرت یونی (IS) روی انرژی جذب (KL)

R ²		K _L		اسید هومیک
+ / ۱	+ / ۰.۱	+ / ۱	+ / ۰.۱	(mg/L)
۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۲۵ a	۰/۲۰ a	۰
۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۱۶ b	۰/۱۷ a	۱۰۰
۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۰۹ c	۰/۱۵ a	۲۰۰

میانگین ها با حروف غیر مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی دار دارند



شکل ۴ - مقایسه میانگین اثر اسید هومیک (HS) و قدرت یونی (IS) روی حداکثر جذب فسفر (q_{max})

با افزودن اسید هومیک، نشان می‌دهد تمایل به جذب یون‌های فسفر کاهش یافته و مقدار زیادی از فسفر موجود در سیستم وارد فاز محلول شده است (۲). مرادی و همکاران (۲۲) در مطالعات تأثیر اسیدهای آلی سیتریک، اگزالیک و مالیک روی جذب فسفر در خاک‌های آهکی نیز گزارش کردند افزودن اسیدهای آلی، ضرایب K_f و n معادله فروندلیچ را کاهش داد و در این مطالعه معادله لانگمویر با داده‌های جذب در خاک‌های تیمار شده با اسید مالیک برازش خوبی نشان نداد. همچنین در بررسی تأثیر لجن فاضلاب بر جذب فسفر در برخی از خاک‌های آهکی (۱) نتایج مشابهی گزارش شد. در این بررسی پارامتر حداکثر جذب فسفر به طور معنی‌داری در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به خاک شاهد کاهش یافت و ثابت وابسته به انرژی پیوند (K_L) نیز در اثر کاربرد لجن فاضلاب کاهش معنی‌داری نشان داد. همچنین در این مطالعه افزودن لجن فاضلاب، پارامتر n و K_f معادله فروندلیچ را به میزان قابل توجهی کاهش داد. معادله تمکین شکل نیمه لگاریتمی معادله جذب می‌باشد، K_T ضریب تمکین بوده و شیب این معادله می‌باشد و رابطه بین غلظت تعادلی و میزان جذب را نشان می‌دهد.

مصرف اسید هومیک روی مقدار پارامتر K_L (انرژی جذب) تأثیر معنی‌داری داشت اما تأثیر قدرت یونی روی مقدار آن معنی‌دار نبود. همچنین اثر متقابل این دو فاکتور موجب ایجاد تغییرات معنی‌دار در مقدار K_L گردید (جدول ۳). با مصرف اسید هومیک و در قدرت‌های یونی ۰/۰۱ و ۰/۱ مولار مقدار این پارامتر به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۱۶ واحد کاهش یافت (جدول ۳).

خورشید و همکاران (۱ و ۲) در بررسی‌های خود نیز نتایج مشابهی مبنی بر کاهش انرژی جذب (K_L) با افزودن لجن فاضلاب و کود مرغی به عنوان اصلاح کننده آلی به خاک گزارش کردند. مطالعات سیدیکیو و روبینسون (۳۲) نیز نشان داد که افزودن کود مرغی به خاک موجب کاهش معنی‌دار مقدار حداکثر جذب فسفر شده و مقدار این پارامتر را به میزان ۶۸ درصد کاهش می‌دهد.

همچنین نتایج نشان داد که اسید هومیک، قدرت یونی و اثر متقابل آن‌ها روی پارامترهای معادله فروندلیچ معنی‌دار بوده بطوری که با افزایش غلظت اسید پارامترهای مدل فروندلیچ، 1/n (شدت جذب) به ترتیب از ۰/۵۱ به ۰/۷۰ در قدرت یونی ۰/۰۱ مولار و از ۰/۴۸ به ۰/۵۸ در قدرت یونی ۰/۱ مولار رسید و K_f (ظرفیت جذب) از ۴۰/۱ به ۱۱/۴ و از ۵۰/۲ به ۱۷/۶ به ترتیب در قدرت‌های یونی ۰/۰۱ و ۰/۱ مولار کاهش یافت (جدول ۴) که کاهش مقدار K_f

جدول ۴ - تأثیر متقابل اسید هومیک (HS) و قدرت یونی (IS) بر روی پارامترهای معادله فروندلیچ (K_f , $1/n$)

R ²		1/n		K _f		اسید هومیک (mg/L)
+/1	+/0.1	+/1	+/0.1	+/1	+/0.1	
۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۴۸b,a	۰/۵۱b,a	۵۰/۲a,a	۴۰/۱ a,b	۰
۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۵۷a,a	۰/۵۴ b,a	۲۷/۱b,a	۲۴/۷b,a	۱۰۰
۰/۹۹	۰/۹۳	۰/۵۸a,a	۰/۷۰ a,b	۱۷/۶c,a	۱۱/۴c,b	۲۰۰

میانگین‌ها با حروف غیر مشابه از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی دار دارند (از سمت چپ حروف اول، مقایسات میانگین ستونی برای سطوح اسید هومیک و حروف دوم، مقایسات ردیفی برای قدرت یونی می باشد)

جدول ۵ - تأثیر اسید هومیک (HS) و قدرت یونی (IS) روی پارامترهای معادله تمکین (KT و A)

R ²		K _T		A		اسید هومیک (mg/L)
+/1	+/0.1	+/1	+/0.1	+/1	+/0.1	
۰/۹۹	۰/۹۹	۳۵/۴ a,a	۳۶/۳ a,a	۶۶/۴a	۵۰/۸ a	۰
۰/۹۳	۰/۹۴	۲۷/۱ b,a	۲۴/۵ b,a	۳۴/۲b	۲۹/۱b	۱۰۰
۰/۹	۰/۹	۲۴/۳ b,a	۱۶/۷ c,b	۱۶/۳c	۲۵/۳b	۲۰۰

میانگین‌ها با حروف غیر مشابه از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی دار دارند (از سمت چپ حروف اول، مقایسات میانگین ستونی برای سطوح اسید هومیک و حروف دوم، مقایسات ردیفی برای قدرت یونی می باشد)

۰/۱، از ۵۴ به ۱۳ رسید. در خاک‌های دارای فسفر قابل استفاده برابر (Labile P)، در خاک با MBC کم نسبت به خاک با MBC بالا، شدت بیشتری از فسفر را در محلول خاک شاهد خواهیم بود. بنابراین پس از خارج شدن فسفر از فاز محلول، جایگزینی فسفر خارج شده و افزایش فسفر در فاز محلول به مقدار اولیه در خاک‌های با MBC کمتر آسان‌تر انجام می‌شود (۲). همچنین با افزایش اسید هومیک پارامتر EBC_L که شیب شکل خطی معادله لانگمویر در غلظت تعادلی مورد نظر می‌باشد (۱۷) در قدرت یونی ۰/۰۱ M، از ۳۶ به ۱۴ و در قدرت یونی ۰/۱ M، از ۴۹ به ۱۳ کاهش یافت. SBC_L که شیب شکل خطی معادله لانگمویر در غلظت تعادلی استاندارد می‌باشد (۲۶)، از ۳۴ به ۱۴ در قدرت یونی ۰/۰۱ M و از ۴۵ به ۱۳ در قدرت یونی ۰/۱ M کاهش یافت.

PBC₁ (شیب شکل خطی معادله فروندلیچ در غلظت تعادلی واحد)، EBC_F (شیب شکل خطی معادله فروندلیچ در غلظت تعادلی مورد نظر) و SBC_F (شیب شکل خطی معادله فروندلیچ در غلظت تعادلی استاندارد) در هر دو قدرت یونی با افزایش اسید هومیک کاهش یافت. همچنین افزودن اسید هومیک در هر دو غلظت پارامترهای EBC_T و SBC_T را که به ترتیب بیانگر شیب شکل خطی معادله تمکین در غلظت تعادلی مورد نظر و غلظت تعادلی استاندارد می‌باشد کاهش داد. مطالعات مرادی و همکاران (۲۲) نشان داد که افزودن اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم از جمله اسید اگزالیک، سیتریک و مالیک نیز موجب کاهش EBC می‌گردد. همچنین نتایج

معامات سطوح مختلف اسید و قدرت یونی و همچنین اثر متقابل آنها بر روی مقدار این پارامتر تأثیر معنی‌داری داشت، بطوری که با افزایش اسید هومیک در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر از ۳۶/۳ به ترتیب به ۲۴/۵ و ۱۶/۷ در قدرت یونی ۰/۰۱ مولار و از ۳۵/۴ به ۲۷/۱ و ۲۴/۳ در قدرت یونی ۰/۱ مولار کاهش یافت و A عرض از مبدأ معادله می‌باشد که مصرف اسید هومیک بر روی مقدار آن تأثیر معنی‌داری نشان داد اما تغییر قدرت یونی در مقدار این پارامتر اثر معنی‌داری نداشت. همچنین اثر متقابل این دو فاکتور بر روی مقدار A معنی‌دار بود به طوری که مقدار آن را از ۵۱ به ۲۵ و از ۶۶ به ۱۶ به ترتیب در قدرت‌های یونی ۰/۰۱ و ۰/۱ مولار کاهش داد (جدول ۵).

تأثیر اسید هومیک روی خصوصیات بافری خاک

ظرفیت بافری یک خاک پایداری آن خاک در برابر تغییرات غلظت فسفر محلول بوده و یکی از عوامل مهم کنترل‌کننده جذب فسفر به وسیله گیاه می‌باشد (۲۴ و ۲۸). بررسی نتایج نشان داد که افزودن اسید هومیک پارامترهای EBC، SBC و MBC را کاهش داده است. اسید هومیک و قدرت یونی روی مقدار خصوصیات بافری خاک اثر معنی‌داری داشت و اثر متقابل این دو فاکتور نیز به جز در پارامترهای PBC₁ و SBC_F روی همه ویژگی‌های بافری خاک تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۶ و ۷). MBC_L که از طریق شدت و حداکثر جذب محاسبه می‌شود (۱۷) با افزایش غلظت‌های اسید هومیک در قدرت یونی ۰/۰۱ M، از ۴۰ به ۱۶ و در قدرت یونی M

شاخص استاندارد فسفر بر اساس آن و با استفاده از مدل‌های نمایی، لانگمویر، فروندلیچ و تمکین صورت گرفت و به طور کلی ملاحظه شد که نیاز استاندارد فسفر، با افزوده شدن اسید هومیک کاهش یافت (جدول ۸). بررسی نتایج نشان داد که مقادیر SPR محاسبه شده از طریق معادله لانگمویر به مقادیر SPR محاسبه شده از طریق معادله نمایی (SPR_P) نزدیکتر بوده و معادلات تمکین و فروندلیچ مقدار این پارامتر را به ترتیب بیشتر و کمتر از مقدار SPR_P برآورد کردند، اما با افزایش اسید هومیک شیب کاهشی نیاز استاندارد فسفر محاسبه شده از طریق معادله تمکین بیشتر بوده بطوری که در غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید هومیک نیازی به مصرف کود وجود نداشت. مطالعات خورشید و همکاران (۱) نشان داد که افزودن لجن فاضلاب به عنوان اصلاح‌کننده به خاک نیز موجب کاهش نیاز استاندارد فسفر می‌گردد و در مطالعه مرادی و همکاران (۲۲) اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم نیز، نیاز استاندارد فسفر را به طور معنی‌داری کاهش دادند.

تحقیقات خورشید و همکاران (۱) نشان داد که افزودن لجن فاضلاب به خاک به عنوان اصلاح‌کننده خاک پارامترهای MBC و EBC را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد.

تأثیر اسید هومیک روی نیاز استاندارد فسفر (SPR)

نیاز استاندارد فسفر (SPR)، مقدار فسفری که به وسیله یک خاک در غلظت تعادلی ۰/۳ mg/L جذب می‌شود و مقدار این شاخص به شدت تحت تأثیر میزان رس و آهک و ظرفیت بافری خاک می‌باشد و خاک‌های با درصد رس و آهک بالاتر، به منظور نگهداری غلظت فسفر محلول در یک حد مطلوب برای تغذیه گیاه، نیاز به افزودن فسفر بیشتری به ازای واحد وزن خاک دارند (۴). اما بر اساس مطالعات انجام شده، صمدی (۳۰) غلظت ۰/۴ mg/L را به عنوان مناسب‌ترین غلظت برای خاک‌های آهکی شمال غرب ایران گزارش کرده است. در این مطالعه نیز غلظت ۰/۴ میلی گرم بر لیتر به عنوان شدت مناسب فسفر در محلول خاک در نظر گرفته شد و محاسبه

جدول ۶ - تأثیر متقابل اسید هومیک (HS) و قدرت یونی (IS) بر روی خصوصیات بافری خاک

خصوصیات بافری خاک	قدرت یونی (M)	اسید هومیک (mg/L)		
		۲۰۰	۱۰۰	۰
MBC _L (L/kg)	۰/۰۱	۱۵/۹ c,a	۲۳/۶ b,a	۳۹/۹ a,b
	۰/۱	۱۳/۵ c,a	۲۶/۶ b,a	۵۴/۵ a,a
EBC _L (L/kg)	۰/۰۱	۱۴/۵ c,a	۲۱/۴ b,a	۳۵/۹ a,b
	۰/۱	۱۲/۶ c,a	۲۴/۲ b,a	۴۹/۲ a,a
SBC _L (L/kg)	۰/۰۱	۱۴/۱ c,a	۲۰/۷ b,a	۳۴/۲ a,b
	۰/۱	۱۲/۶ c,a	۲۳/۴ b,a	۴۵/۰ a,a
EBC _F (L/kg)	۰/۰۱	۱۱/۴ c,b	۲۳/۱ b,a	۳۶/۸ a,b
	۰/۱	۱۶/۹ c,a	۲۵/۹ b,a	۴۵/۱ a,a
EBC _T (L/kg)	۰/۰۱	۵۵/۷ c,a	۸۰/۴ b,a	۱۱۱/۹ a,b
	۰/۱	۶۲/۹ b,a	۹۰/۸ b,a	۱۶۹/۱ a,a
SBC _T (L/kg)	۰/۰۱	۴۱/۷ c,b	۶۱/۳ b,a	۹۰/۷ a,a
	۰/۱	۶۰/۸ b,a	۶۷/۷ b,a	۸۸/۴ a,a

میانگین‌ها با حروف غیر مشابه از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی دار دارند (از سمت چپ حروف اول، مقایسات میانگین ستونی برای سطوح اسید هومیک و حروف دوم، مقایسات ردیفی برای قدرت یونی می‌باشد)

جدول ۷ - تأثیر اسید هومیک (HS) و قدرت یونی (IS) روی PBC₁ و SBC_F

خصوصیات بافری خاک	قدرت یونی (M)	اسید هومیک (mg/L)		
		۲۰۰	۱۰۰	۰
PBC ₁ (L/kg)	۰/۱	۱۶/۶ a	۱۳/۹ b	۸/۹ c
SBC _F (L/kg)	۰/۰۱	۲۶/۱ a	۲۱/۴ b	۱۳/۳ c

میانگین‌ها با حروف غیر مشابه در هر ردیف از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی دار دارند

جدول ۸ - تأثیر اسید هومیک (HS) روی نیاز استاندارد فسفر (SPR) محاسبه شده از طریق معادلات نمای (SPRp) لانگمویر (SPRL)، فروندلیچ (SPRT) و تمکین (SPRF) در دو قدرت یونی

SPR _F (mg/kg)		SPR _T (mg/kg)		SPR _L (mg/kg)		SPRp (mg/kg)		اسید هومیک (mg/L)
۰/۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱	
۷/۵ a	۷/۰۳ a	۳۳/۹ a	۱۷/۵ a	۱۹/۸ a	۱۴/۸ a	۲۴/۶ a	۱۳/۷ a	۰
۵/۴ b	۴/۹ b	۹/۴ b	۹/۹ ab	۹/۹ b	۸/۸ b	۸/۵ b	۶/۴ ab	۱۰۰
۳/۵ c	۳/۳ c	-۵/۹ c	۶/۶ b	۵/۲ c	۶/۰ c	-۰/۹ c	۵/۰ b	۲۰۰

میانگین ها با حروف غیر مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی دار دارند

نتیجه گیری

فروندلیچ و تمکین روی داده‌های حاصل از آزمایش به خوبی برآزش یافتند و می‌توان از این معادلات برای توجیه رفتار جذب استفاده کرده و پارامترهای حداکثر جذب، ظرفیت و انرژی جذب را محاسبه نمود. بنابراین مصرف مواد آلی و هومیکی به همراه کودهای فسفاته از طریق رقابت بر سر مکان‌های جذب و در نتیجه کاهش تثبیت فسفر در خاک، می‌تواند گامی مهم در کاهش مصرف کودهای فسفاته و در نتیجه کاهش اثرات زیست محیطی باشد.

بطور کلی کاربرد اسید هومیک باعث تغییر در ویژگی‌های جذب فسفر شد. با افزودن اسید هومیک، میزان جذب فسفر توسط ذرات خاک به طور معنی‌داری کاهش یافت. در نتیجه افزودن اسید هومیک، کاهش معنی‌داری در مقادیر نیاز استاندارد فسفر، حداکثر ظرفیت بافری خاک، ظرفیت بافری تعادلی و ظرفیت بافری استاندارد ملاحظه شد. همچنین میزان جذب، با کاهش قدرت یونی در مقادیر مختلف اسید هومیک کاهش معنی‌داری نشان داد. معادلات جذب لانگمویر،

منابع

- ۱- خورشید م.، حسین پور ع. و اوستان ش. ۱۳۸۷. تأثیر لجن فاضلاب بر جذب فسفر و فسفر قابل استفاده در برخی از خاک‌های آهکی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره ۴۶.
- ۲- خورشید م.، حسین پور ع. و اوستان ش. ۱۳۸۸. تأثیر کود مرغی بر ویژگی‌های جذب و نیاز استاندارد فسفر در برخی از خاک‌های آهکی استان همدان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. شماره ۲.
- ۳- فکری کوهبانی م.، کلباسی م. و حاج رسولیها ش. ۱۳۷۳. مقایسه معادلات لانگمویر یک سطحی و دو سطحی، فروندلیچ و تمکین به منظور توصیف هم‌دماهای جذب سطحی فسفر در بعضی خاک‌های منطقه اصفهان. خلاصه مقالات چهارمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۴- شیروانی م. و شریعتمداری ح. ۱۳۸۱. استفاده از هم‌دماهای جذب سطحی در تعیین شاخص‌های ظرفیت بافری و نیاز استاندارد فسفر برخی خاک‌های آهکی استان اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره ۱.
- ۵- ملکوتی م.ج. ۱۳۸۴. کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه‌سازی مصرف کود در ایران. چاپ سوم با بازنگری کامل، انتشارات سنا. تهران، ایران.
- 6- Afif E., Matar A. and Torrent J. 1993 Availability of phosphate applied to calcareous soils of West Asia and North Africa, Soil Sci. Soc. Am. J. 57, 756-760.
- 7- Agbenin J.O. and Tissen H. 1994. The nature of phosphorus-rich particles in particle-size fractions in lithosols and cambisols from northeast Brazil, Geoderma 62: 345-362.
- 8- Aiken G.R., McKnight D.M., Wershaw R.L., and MacCarthy P. 1985. An introduction to humic substances in soil, and water. In Humic Substances in Soil, Sediments and Water (G. R. Aiken, D. M. McKnight, R. L. Wershaw, eds.), pp. 1-9. Wiley (Interscience), New York.
- 9- Antelo F., Arce M., Avena S., Fiol Lopez F. 2007. Macias. Adsorption of a soil humic acid at the surface of goethite and its competitive interaction with phosphate, Geoderma 138: 12-19.
- 10- Bohn H.L., McNeal B.L. and O Conner G.A. 1985. Soil Chemistry. 2nd ed. Wiley, New York.
- 11- Carpenter S.R., Caraco N.F., Correll D.I., Howarth R.W., Sharpley A.N., Smith V.H. 2002. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen, Ecological Application 8:559-568.
- 12- Delgado A., Madrid A., Kassem S., Andreu L. and Del Campillo M.C. 2002. Phosphorus fertilize recovery from

- calcareous soils amended with humic and fulvic acids, *Plant Soil*. 245: 277–286.
- 13- Ernani P.R. 1996. The effect of ionic strength on soil P reactions is negligible. Faculty of Agronomy, Santa Catarina State University, C. P. 281, CEP 88520-000, Lages (SC), Brazil. *Fertilizer Research* 45: 193-197
 - 14- FAO. 2008. Current world fertilizer trends and outlook to 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
 - 15- Fox R.L. and Kamprath E.J. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirement of soils, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 902- 907.
 - 16- Gee G.H. and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. In: A. Klute. (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Physical Properties*. SSSA. Madison. WI.
 - 17- Holford I.C.R. 1979. Evaluation of Soil Phosphate Buffering Indices. *Aust. J. Soil Res.*, 17, 495-504.
 - 18- Hua Quan-Xian, Li Jian-Yun, Zhou Jian-Min, Wang Huo-Yan, Du Chang-Wen and Chen Xiao-Qin. 2008. Enhancement of phosphorus solubility by humic substances in ferrosols, *Soil Science Society of China*, 18(4): 533-538.
 - 19- Lawton L.A., Codd G.A. 1991. Cyanobacterial (blue- green algae) toxins and their significance in UK and European waters, *Journal of the Institute of Water and Environment Management*, 5: 460-465.
 - 20- Leaver J.P. and Russell E.W. 1957. The reaction between phosphate and phosphate-fixing soils. *J. Soil Sci.* 8: 113-126. Lobartini, J. C., Tan, K. H. and Pape, C. 1998. Dissolution of aluminum and iron phosphate by humic acids. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29(5&6): 535-544.
 - 21- Malcolm R.E. and Vaughan D. 1979. humic substances and phosphatase activities in plant tissues. *Soil Biol. Biochem.* 11: 253-259.
 - 22- Moradi N., Rasouli-Sadaghiani Mir.H., Sepehr E. and Abdolahi-Mandoulakani B. 2012. Effect of low molecular weight organic acids on phosphorus sorption characteristics in some calcareous soils, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36: 1106-38.
 - 23- Murphy J., Riley J.P. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters, 27:31-36.
 - 24- Nair K.P.P. and Mengel K. 1984. Importance of phosphate buffer power for phosphate uptake by rye. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 92-95.
 - 25- Olsen S.R., Cole C.V., Watanable F.S. and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Cir. No 939. USDA. US. Government Printing Office. Washington DC.
 - 26- Ozanne P.G. and Show T.C. 1968. Advantages of the recently developed phosphate sorption test over the older extractant methods for soil phosphate. *Int. Cong. Soil Sci. Trans.* 2:273-280.
 - 27- Page A.L., Miller R.H. and Keeney D.R. (ed) 1982. *Methods of soil analysis. Part. 2. Chemical and microbiological methods*. Agronomy No 9. Am. Soil Sci. publisher Madison, Wisconsin. U.S.A.
 - 28- Perrott K.W. 1978. The influence of organic matter extracted from humified clover on the properties of amorphous aluminosilicates. II. Phosphate retention. *Aust. J. Soil Res.* 16: 341-346.
 - 29- Rayment G.E. and Higginson F.R. 1992. Oxalate-extractable Fe and Al. In: *Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods*. Inkata Press, Melbourne.
 - 30- Samadi A. 2003. Predicting phosphate fertilizer requirement using sorption isotherms in selected calcareous soils of western Azarbaigan province. *Iran. Commun Soil Sci. Plant Anal.* 34: 2885-2899.
 - 31- Sample E.C., Soper R.J. and Racz G.J. 1980. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In *The Role of Phosphorus in Agriculture*. Eds. F E Khassawneh, E C Sample and E J Kamprath. Pp 263-310. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
 - 32- Siddique M.T. and Robinson J.S. 2003. Phosphorus sorption and availability in soils amended with animal manures and sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 32: 1114- 1121.
 - 33- Simeoni M.A., Batts B.D., McRae C. 2003. Effect of groundwater fulvic acid on the adsorption of arsenate by ferrihydrite and gibbsite. *Appl. Geochem.* 18: 1507-1515.
 - 34- Sui Y. and Thompson M.L. 2000. Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in a biosolids-amended Mollisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 164-169.
 - 35- Vance C.P., Uhde-Stone C., and Allan D.L. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytol.*, 157:423-447.
 - 36- Vaughan D. and Ord B.G. 1995. Soil organic matter-a perspective on its nature, extraction, turn over and role in soil fertility. *Soil organic matter and biological activity*, pp. 4-18. Junk Publishers, Werterland.
 - 37- Walky A. and Black I.A. 1934. An examination of Degtareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. 1. Experimental. *Soil Sci. Am. J.* 79:459-465.
 - 38- Wang Y., Jiang J., Xu R. and Tiwari D. 2009. Phosphate adsorption at variable charge soil/water interfaces as influenced by ionic strength. *Australian Journal of Soil Research*, 47(5): 529–536.

- 39- Wang X.J., Wang Z.Q. and Li S.G. 1995. The effect of humic acids on the availability of phosphorus fertilizers in alkaline soils. *Soil Use Manage.* 11: 99-102.
- 40- Xie R.J., OHalloran I.P., Mackenzie A.F. and Fyles J.W. 1993. Phosphate sorption and desorption as effected by addition sequences on ammonium lignosulphonate and diammonium phosphate in a clay soil. *Can. J. Soil Sci.* 73: 275-285.
- 41- Zeng L., Xiaomei L. and Jindun L. 2004. Adsorptive removal of phosphate from aqueous solutions using iron oxide tailings. *Water Research*, 38: 1318-1326.



Effect of Humic Acid on Adsorption Behavior of Phosphorus in a Calcareous Soil

E. Sepehr^{1*}- R. Zebardast²

Received: 04-12-2012

Accepted: 15-09-2013

Abstract

In order to investigate the effect of humic acid (HS) on P adsorption behavior, an experiment carried out with three levels of HS (0, 100, 200 mg/L) and various P concentration (0 to 30 mg/L) at two ionic strengths (IS) of 0.1 and 0.01 M. Adsorption data were fitted to Langmuir, Freundlich and Temkin equations, and Langmuir was better fitted than others ($R^2=0.91$ to 0.98). Results indicated that HS application significantly lowered the adsorption isotherm curves and Langmuir maximum mono layer adsorption (q_{max}) decreased up to %50 in comparison to control. Also sorption parameters including Langmuir bonding energy parameter (KL), Freundlich capacity and intensity factors (KF, n), and Temkin retention parameter (KT) decreased significantly by adding HS. Maximum buffering capacity (MBC), equilibrium buffering capacity (EBC) and standard buffering capacity (SBC) decreased more than %50 in HS200. Application of HS increased equilibrium phosphorus concentration (EPC) in both ionic strength, as EPC increased from 0.28 to 0.40 mg/L (IS=0.01 M) and 0.21 to 0.39 mg/L (IS=0.1 M). Finally, it was concluded that HS reduced P sorption due to competition on sorption sites and resulted in increasing P availability to plants.

Keywords: Phosphorus, Humic acid, Ionic strength, Adsorption Isotherms

1,2 - Assistant Professor and MSc Student of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Urmia University, Respectively

(*Corresponding Author Email: e.sepehr@urmia.ac.ir)