

بررسی خصوصیات بار سطحی برخی از خاک‌های اسیدی ناحیه لاهیجان

سعید محبوب شارمی، اکبر فرقانی* و حسن رمضانپور^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۲/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۱/۱۵)

چکیده

با روش جذب یونی و تیتراسیون پتانسیومتری اندازه‌گیری می‌شود. اکثر مدل‌های شیمیایی بار سطحی خاک‌ها از اطلاعات به دست آمده به وسیله تیتراسیون پتانسیومتری اقتباس شده‌اند. مدل اوهارا و گلمن برای برآورد خصوصیات بار سطحی در محدوده‌ای از pH خاک، برای سه خاک جنگلی از منطقه معتدل لاهیجان به کار رفت. خاک‌های انتخاب شده بر روی سه نوع سنگ مادری متفاوت تشکیل شده بودند و لذا تأثیر سنگ مادر روی خصوصیات بارخاک نیز بررسی شد. کربن آلی، درصد رس، pH در آب مقطر و محلول ۱ مولار KCl، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، نقطه صفر بار خالص (ZPNC)، بار دائمی و منحنی تغییرات بار این خاک‌ها تعیین شد و مورد بررسی قرار گرفت. کلیه خاک‌ها حاوی مقادیر معنی‌دار بار منفی بودند. خاک تیپیک هاپل یودالف دارای کمترین مقدار pH₀ و بیشترین مقدار بار منفی در pH خاک بود. مقدار pH₀ در هر سه خاک درسطح کمتر از عمق بود و مقدار ZPNC در هر سه خاک قابل تفسیر از روی منحنی‌های تغییر بار نبود و کمتر از ۵/۰ تخمین زده شده این خود دلیلی بر وجود بار منفی زیاد در این خاک‌ها می‌باشد. دامنه تغییرات منحنی‌های بار منفی در محدوده pH بین ۳ تا ۶ در افق‌های سطحی بیشتر از افق‌های زیر سطحی بود که علت آن وجود ماده آلی درسطح است. بار دائمی در هر سه خاک، منفی و بالا بود که منطبق با اطلاعات کانی شناسی این خاک‌ها می‌باشد که حاوی مقادیر معنابهی رس‌های ۲:۱ و ۱:۱ هستند. اطلاعات به دست آمده از منحنی تغییر بار خاک‌های مورد مطالعه هم‌چنین نشان داد که (ظرفیت تبادل آنیونی) این خاک‌ها پایین و کمتر از ۱ سانتی‌مول در هر کیلوگرم خاک بود.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات بار سطحی، نقطه صفر بار، بار دائمی، بار متغیر، منحنی تغییرات بار

مقدمه

آنیونی (AEC) و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با تغییر pH ارائه

می‌دهد اگرچه زمانبر است، در حالی که روش دوم سریع‌تر است.^(۶)

اکثر مدل‌های شیمی مربوط به بار سطحی خاک‌ها از اطلاعات به دست آمده از تیتراسیون پتانسیومتریک اقتباس شده‌اند^(۱۲). چنین مدل‌هایی معمولاً به عنوان مدل‌های ترکیبی

یکی از فعال‌ترین عرصه‌های تحقیقاتی علم خاک تبیین مکانیسم‌هایی است که به وسیله آن بار الکتریکی روی سطح ذرات خاک توسعه می‌یابد. بار سطحی خاک‌ها با استفاده از دو روش جذب یونی و تیتراسیون پتانسیومتریک اندازه‌گیری می‌شود. روش جذب یونی اندازه‌گیری خوبی از ظرفیت تبادل

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیاران خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: forghani@guilan.ac.ir

اندازه‌گیری‌های جذب یونی به دست آورند. گیلمن و اوهارا دریافتند که بار سطحی کلوئیدهای خاک شامل دو دسته بار دائمی و متغیر است. بار دائمی ثابت است و می‌تواند مثبت، صفر و یا منفی باشد. بار متغیر وابسته به pH است و در مقادیر متفاوت pH بسته به مقدار ماده آلی و نوع الکتروولیت تفاوت می‌کند^(۹). بر پایه این فرضیات، آنها دریافتند که دو نوع ZPC (Zero Point of Charge) وجود دارد. ZPC کل سیستم اعم از Zero Point of Net (ZPNC) ترکیبات با بار دائمی و متغیر که pH₀ نامیده می‌شود و ZPC ترکیبات بار متغیر که Charge نامیده می‌شود. هم‌چنین بر پایه مدل ارائه شده اگر بار دائمی منفی باشد، ZPNC کوچک‌تر از pH₀ است و بالعکس. اگر در pH₀ جذب کاتیونی از جذب آنیونی بیشتر باشد، بار دائمی خالص منفی بوده ولی اگر جذب آنیونی بیش از جذب کاتیونی باشد، بار دائمی خالص مثبت است^(۱۵).

مقدار بار دائمی محاسبه شده با این روش تحت تأثیر یون‌هایی که به صورت اختصاصی جذب شده‌اند قرار می‌گیرد. بنابراین باید تأثیر چنین یون‌هایی قبل از اندازه‌گیری بار دائمی برطرف شود^(۵).

از آنجا که اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه خصوصیات الکترویکی ذرات خاک در خاک‌های مناطق حاره انجام شده است و تحقیقات در این زمینه در خاک‌های مناطق معتدل تنها محدود به تعیین ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) بوده است، بنابراین این تحقیق به منظور نیل به اهداف زیر انجام شده است:

- تعیین pH₀ در این خاک‌ها به منظور آگاهی یافتن از مقدار و نوع ترکیبات منشاء بار متغیر در این خاک‌ها و تعیین سهم هر کدام از این ترکیبات در روی مقدار بار.

- تعیین منحنی تغییرات بار در محدوده‌ای از pH و متعاقب آن ZPNC که برای هر خاک جزء خصوصیات منحصر بفرد همان خاک بوده و نقش کلیدی برای مدیریت حاصل خیزی خاک دارد.

- بررسی اثر ترکیب کانی شناسی خاک‌های مورد مطالعه بر خصوصیات بار این خاک‌ها.

بار سطحی تعریف می‌شوند و همگی مستلزم فرض‌های خشی بودن الکترویکی، توازن حجمی و خاصیت یون‌ها در محلول هستند^(۶).

مطالعات روی خصوصیات الکتروشیمیایی خاک‌های حاوی بار متغیر (Variable charge soils) در طول ۳۰ سال گذشته در نقاط مختلف جهان صورت گرفته است. در پی مقاله‌ون راج و پیچ که از نظریه لایه دوگانه الکترویکی گوی-چاپمن واشترن (Gouy-Chapman & Stern) برای تعدادی از خاک‌های هوازده بزرگ استفاده کردند، نظریه‌های تکامل یافته‌تری برای تعداد زیادی از خاک‌های اکسیدی مناطق حاره و نیز برای بعضی از افق‌های اسپودیک خاک‌های مناطق معتدل که در آنها کلوئیدهای خاک حاوی مقادیر قابل توجهی بار متغیر هستند، به کار گرفته شده است^(۷). پس از کشف این حقیقت که اکثر خاک‌ها حاوی مخلوطی از کانی‌های با بار متغیر و دائمی هستند، اوهارا و گیلمن مدلی را ارائه دادند که چگالی بارخالص سطحی سیستم‌های مخلوط را به عنوان مجموع هر دو نوع بار مورد بحث و بررسی قرار می‌دهد^(۱۵). در مقاله دیگری گیلمن و اوهارا روش‌های آزمایشگاهی برای بررسی خاک‌های حاوی بار دائمی و متغیر ارائه کردند، به طوری که مقدار بار دائمی در خاک قابل محاسبه بود. در واقع pH₀ در نقطه‌ای از pH که ترکیبات با بار متغیر، مقادیر مساوی بار مثبت و منفی دارند، تعیین می‌شود و سپس مقدار کل بار مثبت و منفی در این pH برآورد می‌شود. زیادی بار منفی در pH₀ حاکی از بار دائمی منفی است و بالعکس^(۱۰). تیسن و زایا استفاده از این روش در خاک‌هایی که هم بار دائمی منفی و هم مثبت دارند را موفق نمی‌دانند و به نظر آنها تنها بار دائمی خالص می‌تواند در این مورد برآورد شود^(۱۴).

اوهارا و گیلمن از تئوری گوی-چاپمن برای توضیح مجموع بار سطحی خاک‌های حاوی بار دائمی و متغیر استفاده کردند^(۱۵). تجزیه و تحلیل این مدل آنها را قادر ساخت تا شرایطی را ارائه دهند که تحت آن آثار و مقادیر بار دائمی و متغیر و سطح ویژه مواد مخلوط را از تیتراسیون پتانسیومتریک و

نرمال عصاره‌گیری شدند. آهن کربستالی نمونه‌های خاک به روش سیترات- بیکربنات - دیتیونات(CBD) در pH ۷/۳ تعیین شد(۱۲).

pH₀ به روش تیتراسیون پتانسیومتریک تعیین شد(۱۵). دو گرم خاک به همراه ۲۰ میلی‌لیتر محلول ۱/۰ مولار KCl در شش ظرف سانتریفوژ(در هر ظرف ۲ گرم) قرار داده شده و به مدت KCl دو ساعت شیک شد. سپس خاک با محلول ۰/۰۰۲ مولار در محدوده‌ای از pH بین ۳ و ۶ به مدت چند روز به تعادل رسید. pH سوسپانسیون پس از حصول تعادل به عنوان pH ۰/۰۰۲ به ثبت رسید. پس از آن ۵/۰ میلی‌لیتر محلول ۲ مولار KCl به خاک افزوده شده و برای مدت ۳ ساعت شیک شد. پس از آن pH سوسپانسیون به عنوان pH ۰/۰۵ به ثبت رسید. ΔpH (تفییرات pH) از (pH ۰/۰۲ - pH ۰/۰۵) محاسبه شده و مقادیر pH₀ نمودار ΔpH در برابر pH ۰/۰۰۲ به دست آمد. pH₀ نقطه‌ای است که pH صفر است یعنی نقطه‌ای که مقدار بار مثبت و منفی روی سطوح بار متغیر برابر است.

منحنی‌های تغییرات بار همانند روش انجام شده برای pH₀ تعیین شدند با این تفاوت که پس از رسیدن به اولین تعادل(pH ۰/۰۰۲)، مایع صاف رویی دور ریخته شده و سپس نمونه‌ها به وسیله محلول ۱ مولار NH₄NO₃ عصاره‌گیری شده و عصاره حاصل جهت تعیین k⁺ و Cl⁻ در آن مورد تجزیه قرار گرفتند. مقدار آنیون و کاتیون تعیین شده به ترتیب برابر منفی و مثبت است.

ZPNC از تفسیر اطلاعات منحنی تغییرات بار در محدوده pH بین ۳ و ۶ تعیین شد(۱۰).

برای تعیین بار دائمی(5p)، ۲ گرم خاک به همراه ۲۰ میلی‌لیتر محلول ۱ مولار KCl در یک لوله سانتریفوژ قرار داده شده و به مدت ۱ ساعت شیک شد. سپس نمونه‌ها ۱ بار با محلول ۱/۰ مولار و ۳ بار با محلول ۰/۰۰۲ مولار KCl شستشو داده شدند و در مرحله آخر، pH نمونه‌ها روی pH₀ تنظیم شد. پس از مدت یک شبانه روز و برقراری حالت تعادل، سوسپانسیون داخل لوله‌ها سانتریفوژ شده و مایع صاف رویی

مواد و روش‌ها

شهرستان لاهیجان با وسعتی حدود ۱۴۷۰ کیلومترمربع در ۴۵ کیلومتری رشت واقع شده و از شمال به دریای خزر، از جنوب به سیاهکل، از غرب به آستانه اشرفیه و از شرق به لنگرود متصل است. چای یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی لاهیجان می‌باشد. رژیم رطوبتی خاک در نواحی مورد مطالعه رژیم یودیک و رژیم حرارتی خاک، ترمیک می‌باشد. خاک‌های این منطقه عمدتاً در رده آلفی‌سول قرار دارند ولی مالی‌سول، انتی‌سول و اینسپتی‌سول هم از جمله خاک‌های موجود در منطقه می‌باشند(۱). این منطقه دارای آب و هوای گرم، معتدل و با میکروکلیماهی مرطوب است.

نمونه‌های مورد مطالعه از دو افق سطحی وزیر سطحی خاک‌های جنگلی اطراف منطقه لاهیجان برداشت شدند. خاک تیپیک هاپل یودالف(Typic Hapludalf) تشکیل شده روی مواد مادری آندزیت- بازالت، خاک اولتیک هاپل یودالف(Ultic Hapludalf) تشکیل شده روی مواد مادری فیلات و خاک تیپیک یوداورنت(Typic Udorthent) تشکیل شده بر روی سنگ مادر گرانیت می‌باشد. اطلاعات حاصل از تجزیه فیزیکی- شیمیابی این خاک‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

نمونه‌های خاک هوا خشک شده پس از کوبیده شدن از الک دو میلی‌متری جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی- شیمیابی عبور داده شده‌اند. قبل از انجام آزمایش‌های مربوط به بار الکتریکی، pH کلیه نمونه‌ها به وسیله محلول اشباع KOH به حدود ۹ رسانده شد تا تمامی آنیون‌هایی که به طور اختصاصی جذب شده بودند از خاک خارج شوند و تأثیری در نتایج به دست آمده برای خصوصیات بار سطحی خاک‌های مورد مطالعه نداشته باشند. pH نمونه‌ها در سوسپانسیون‌های با نسبت ۱:۲/۵ خاک به آب و خاک به محلول یک مولار KCl تعیین شد. کرین آلی به روش والکلی بلاک و CEC نیز به روش سدیم- آمونیوم استات تعیین شد. برای تعیین CEC نمونه‌ها با استات سدیم ۱ نرمال اشباع گردیده و سپس به وسیله استات آمونیوم ۱

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

طبقه‌بندی و عمق خاک (cm)	pH			ΔpH	رس.%	%OC	%/Fe _d
	H ₂ O	KCl	CaCl ₂				
Typic Udorthent							
۴-۲۰	۵/۰۶	۳/۹۷	۴/۵۲	-۱/۰۹	۱۸/۱	۳/۸	۰/۰۳
۲۰-۷۰	۴/۹۵	۳/۵۵	۳/۸	-۱/۴	۱۴/۱	۰/۴۳	۰/۰۹
Typic Hapludalf							
۳-۲۰	۵/۶۲	۴/۴۱	۵/۱۸	-۱/۲۱	۳۲/۳	۴/۴	۰/۶۹
۴۸-۷۲	۶/۵۴	۳/۶۲	۵/۲۵	-۲/۹۲	۴۳/۱	۱/۳	۰/۶۴
Ultic Hapludalf							
۰-۹	۵/۳۳	۴/۰۹	۴/۲۵	-۱/۲۴	۲۹/۷	۴/۳۶	۱/۱۵
۳۵-۵۶	۵/۵۵	۳/۶۹	۴/۵۴	-۱/۸۴	۳۹/۵	۰/۴	۱/۷

pH در نسبت ۱:۲/۵ خاک و آب، خاک و ۱ مولار KCl، خاک و ۰/۰۱ مولار CaCl₂ تعیین شده است.

ΔpH - از تفاوت pH_{KCl} و pH_{H₂O} به دست آمده است.

آهن عصاره‌گیری شده با دیتیونات سدیم (آهن بلوری)-Fe_d

یافت شده در خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است.

pH معمولاً با استفاده از دو پارامتر pH اندازه‌گیری شده در آب مقطر و محلول ۱ مولار KCl می‌توان به درکی از خصوصیات بار الکتریکی خاک‌ها دست یافته. اگر pH اندازه‌گیری شده در آب مقطر بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده در محلول یک مولار KCl باشد، نشان‌دهنده وجود بار منفی در خاک است و بالعکس (۱۵). در همه نمونه‌ها مقدار pH اندازه‌گیری شده در آب مقطر بیشتر از مقدار pH به دست آمده در یک مولار KCl بود که نشان‌دهنده وجود بار منفی در شرایط pH مزرعه در همه نمونه‌های مورد مطالعه است (جدول ۱). نوع و مقدار بار روی سطوح ذرات خاک از روی رابطه (KCl-H₂O) قابل حدس زدن است. بنابراین با توجه به مقدار pH در جدول ۱ معلوم می‌شود که همه نمونه‌ها دارای

جدا گردید. سپس نمونه‌ها با استفاده از محلول ۱ مولار NH₄NO₃ عصاره‌گیری شده و K⁺ و Cl⁻ موجود در عصاره بر حسب سانتی‌مول در صد گرم خاک (cmol/100g) محاسبه شد (۱۰). در نهایت بار دائمی از رابطه زیر به دست آمد: [Cl⁻ جذب شده - K⁺ جذب شده] = ۶p

نتایج و بحث

نتایج کانی‌شناسی بخش رس خاک که توسط حسامی انجام شد نشان داد که هر سه خاک حاوی کانی‌های ۱:۲ می‌باشند و مقداری هم کانی‌های ۱:۱ نظیر کائولینیت در آنها موجود می‌باشد. در واقع ترکیب کانی‌شناسی این خاک‌ها مخلوط (Mixed) می‌باشد. مقدار کائولینیت در خاک گرانیتی از دو خاک دیگر بیشتر است در حالی که مقدار آهن کریستالی در خاک فیلایتی از دو خاک دیگر بیشتر بود (۱). گونه‌های کریستالی

جدول ۲. مقادیر pH_0 , ZPNC و CEC خاک‌های مورد مطالعه

طبقه‌بندی و عمق خاک (cm)	pH_0	ZPNC	$\delta_p(\text{cmol kg})$	CEC(cmol/kg)
Typic Udorthent				
۴-۲۰	۲/۷۹	<۲/۵	۴/۷	۱۰/۲
۲۰-۷۰	۲/۸	<۲/۵	۴/۵	۸
Typic Hapludalf				
۳-۲۰	۲/۷	<۲/۵	۳۱/۴	۴۴/۱
۴۸-۷۲	۳/۰۱	<۲/۵	۳۴/۶	۴۸/۴
Ultic Hapludalf				
۰-۹	۳/۰۵	<۲/۵	۹/۸۷	۱۸/۹
۳۵-۵۶	۳/۲	<۲/۵	۹/۲۴	۱۵/۱

جدول ۳. توزیع کانی‌ها در افق‌های مختلف خاک‌های مورد مطالعه(حسامی، ۱۳۸۴)

طبقه‌بندی خاک	افق خاک	میکا	کوارتز	ورمیکولیت	کلریت	اسمکتیت	کائولینیت
Typic Udorthent	A	—	■	■	—	■	■
Typic Udorthent	Cr ₁	■	■	—	—	■	■
Typic Hapludalf	A	—	■	—	—	■	■
Typic Hapludalf	Bt ₁	■	■	■	—	■	■
Ultic Hapludalf	A	■	■	—	—	—	■
Ultic Hapludalf	Bt ₁	■	—	—	■	—	—

■: کانی‌هایی که در خاک وجود دارند.

■: کانی‌هایی که به میزان کم وجود دارند.

■: کانی‌هایی که به میزان خیلی کم وجود دارند.

—: کانی‌هایی که وجود ندارند.

نمونه‌های خاک با توجه به مقدار ΔpH داشت (۲/۹۲-۱/۲) واحد اختلاف pH.

pH خاک‌ها در محلول ۰/۰۱ مولار CaCl_2 با نسبت ۱:۲/۵ نیز اندازه‌گیری شد که به شرایط مزرعه نزدیکتر است و تمامی

مقدار قابل ملاحظه‌ای بار منفی هستند که این موضوع نشان‌دهنده وجود مقدار قابل ملاحظه‌ای از کانی‌های سیلیکاتی لایه‌ای (Layer silicates) در این خاک‌ها است. افق B₁ خاک تپیک هاپل یودالف بیشترین مقدار بار منفی را در بین

خاک‌های مناطق حاره انجام شده است و تحقیقات در این زمینه در خاک‌های مناطق معتدل تنها محدود به تعیین ظرفیت تبادل pH₀ کاتیونی (CEC) بوده است. تحقیقات اخیر نشان داد که خاک‌های مورد مطالعه کمتر از مقادیر به دست آمده برای خاک‌های مناطق حاره بود که علت اصلی آن وجود رس‌های ۱:۲ و فقدان ترکیبات با pH₀ بالا مانند اکسیدهای آهن و آلومینیوم در این خاک‌هاست.

لاماس و تورس سانچز در بررسی از خاک‌های آلوفی‌سول و مالی‌سول مناطق معتدل آرژانتین گزارش کردند که ZPC به دست آمده برای این خاک‌ها کمتر از خاک‌های مناطق حاره بود که علت آن وجود مقادیر معنی‌دار کانی‌های رسی ۲:۱ در این خاک‌ها بود (۱۱).

ZPNC مقدار ZPNC بر پایه تفسیر منحنی‌های بار هر خاک، کمتر از ۲/۵ تخمین زده شد که علت آن بار منفی فراوان در این خاک‌هاست. در خاک‌های فاقد بار دائمی، ZPNC باید با pH₀ برابر باشد ولی در خاک‌هایی که هم بار دائمی و هم بار متغیر دارند، ZPNC ممکن است متفاوت از pH₀ باشد (۵). مدل اوهارا و گیلمون پیش‌بینی می‌کند که در خاک‌های حاوی بار منفی دائمی، ZPNC کوچک‌تر از pH₀ است و بالعکس (۱۵). منحنی‌های تغییر بار در هیچ نمونه‌ای، ZPNC را در محدوده pH بین ۲/۵ تا ۶ نشان ندادند که علت آن زیادی بار منفی در این محدوده از pH نسبت به بار ثابت است. مقادیر ZPNC تخمینی در همه نمونه‌ها کمتر از pH₀ بود که نشان‌دهنده بار دائمی منفی در این خاک‌هاست. این نتایج با اطلاعات کانی‌شناسی این خاک‌ها که حاوی مقادیر نسبتاً معنی‌داری از سیلیکات‌های لایه‌ای ۲:۱ هستند، مطابقت دارد.

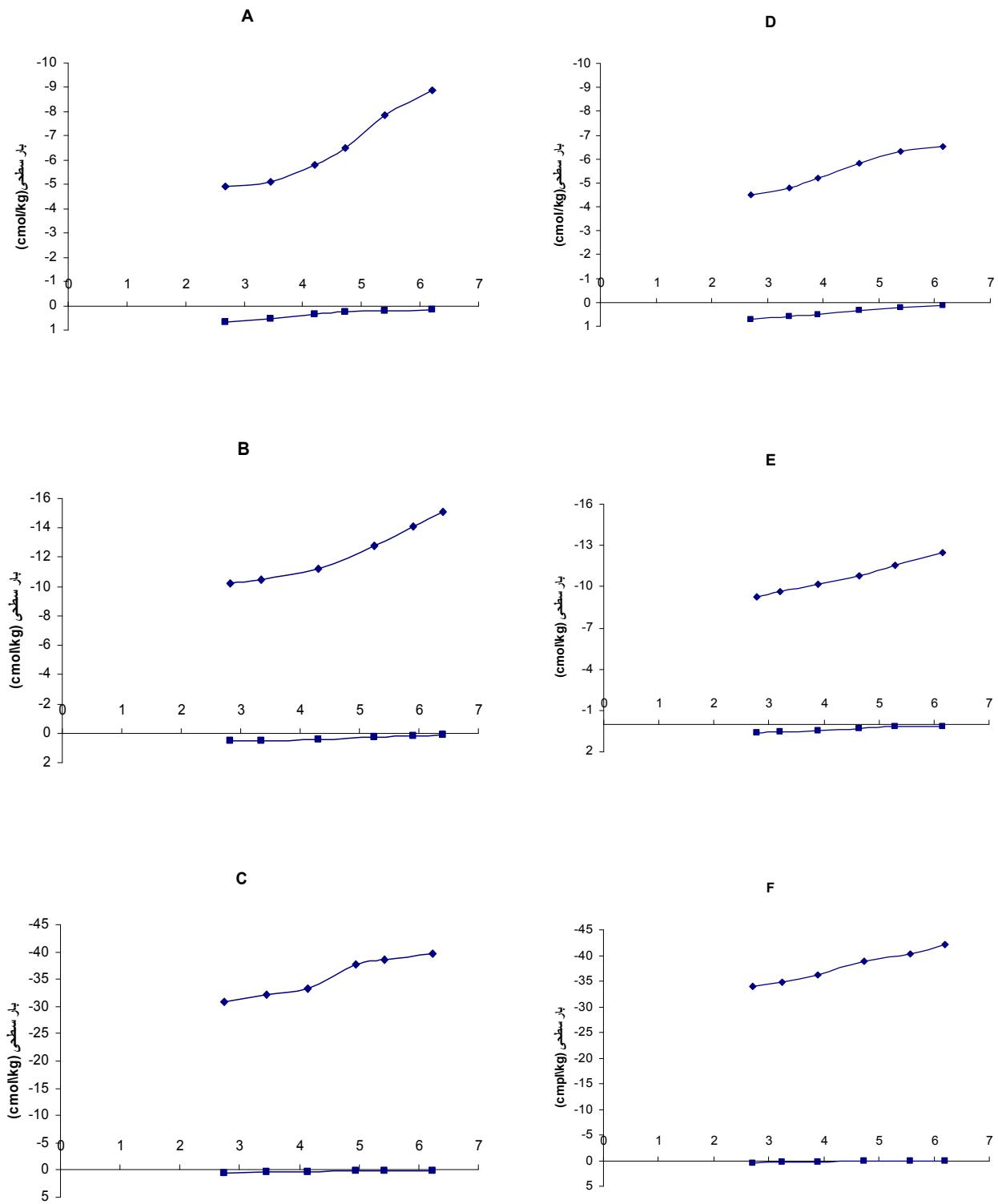
منحنی‌های تغییرات بار: منحنی‌های تغییرات بار ثابت و منفی به همراه pH تعیین شده در محلول ۰/۰۰۲ مولار KCl در شکل ۱ نشان داده شده است. روابط معکوسی بین منحنی‌های تغییرات بار منفی و ثابت هم در افق‌های سطحی و هم در افق‌های زیرسطحی که حاوی مقادیر کمی ترکیبات بار متغیر بودند، وجود داشت. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود،

مقادیر به دست آمده از مقادیر اندازه‌گیری شده در آب مقطع pH₀ بود (جدول ۱). در این مقاله منظور از pH خاک، pH₀: مقادیر به دست آمده برای pH₀ از ۲/۷ در افق A خاک تیپیک هاپل یودالف تا ۳/۲ در افق B، خاک اولتیک هاپل یودالف متغیر بود (جدول ۲). حضور ماده آلی و رس‌های سیلیکاتی لایه‌ای موجب کاهش pH₀ شده در حالیکه رس‌های اکسیدی آهن و آلومینیوم و نیز رس‌های ۱:۱ نظیر کائولینیت موجب افزایش مقدار pH₀ می‌شوند (۴). لذا مقادیر پایین pH₀ در خاک‌های مورد مطالعه به علت وجود مقادیر معنی‌دار سیلیکات‌ها و ماده آلی می‌باشد اگر چه مقداری کائولینیت و آهن کریستالی نیز در این خاک‌ها مشاهده شده است (جدوال ۱ و ۳).

pH₀ در تمامی خاک‌ها از مقادیر pH به دست آمده در شرایط مزرعه کمتر بوده که این دلیلی بر وجود بار متغیر منفی (وابسته به PH) در خاک‌های مورد مطالعه است. از طرفی افزایش pH₀ از سطح به عمق که در تمامی خاک‌های مورد مطالعه کم و بیش دیده می‌شود (جدول ۲)، به علت کاهش ماده آلی در عمق خاک است. گیلمون و برتر-ون رنست علت کاهش pH₀ در سطح خاک‌ها را وفور ماده آلی در سطح خاک می‌دانند (۴ و ۸). اما باید توجه داشت که به دلیل وجود رس‌های سیلیکاتی ۲:۱ و کم بودن نسبی رس‌های ۱:۱ و آهن کریستالی، این افزایش از سطح به عمق زیاد نبوده است. آکسترو و همکاران گزارش کردند که در برخی از خاک‌های انتخابی منطقه آزور پرتغال با مقادیر معنی‌دار کانی‌های سیلیکاتی لایه‌ای، pH₀ پایینی را نشان داد و بار منفی بالایی در pH زراعی خاک داشت. مقادیر pH₀ در افق‌های سطحی کمتر از افق‌های زیرسطحی بود (۲).

گیلمون در بررسی از خاک‌های کوئینزلند شمالی استرالیا، علت پایین بودن pH₀ در افق‌های سطحی را تجمع ماده آلی در سطح دانست (۷).

همان‌طور که در اهداف تحقیق ذکر شد، اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه خصوصیات الکتریکی ذرات خاک در



شکل ۱. منحنی‌های تغییر بار با pH خاک (۰/۰۰۲ مولار KCl) برای افق‌های سطحی (A, B, C) و Typic Hapludalf، Ultic Hapludalf و Typic Udorthent زیر سطحی (D, E, F) به ترتیب، خاک‌های

خاک و در افق B_t این خاک حدود ۱۰/۵ سانتی مول در هر کیلو گرم خاک است.

شکل کلیه منحنی ها نشان می دهد که با تغییر pH، دامنه تغییرات در منحنی های افق های سطحی بیشتر از افق های زیر سطحی است. همچنین عمدۀ تغییرات در محدوده pH ۳/۵ تا ۵ رخ می دهد که شاهد افت محسوسی در روند کاهشی منحنی به سمت pH های پایین تر هستیم و این تغییر در افق های زیر سطحی معتدل تر است. علت این امر وجود ماده آلی در افق های سطحی است که مهم ترین ترکیب بار متغیر کنترل کننده بار در افق های سطحی است. دوکت و هندرشات دریافتند که در pH های پایین (۳-۵) عمدۀ ماده آلی، بار وابسته به pH در همه خاک ها کنترل می کند و در pH حدود ۵ در اکثر گروه های عاملی سطوح مواد آلی واکنش های پروتون (Deprotonation) رخ می دهد^(۶). لذا با کاهش pH، بار منفی روی سطوح ماده آلی به سرعت خشی شده و موجب کاهش بار منفی در منحنی بار افق های سطحی می شود.

مقدار ظرفیت تبادل آنیونی (AEC) با توجه به شکل ۱ در همه خاک ها پایین بود (حدود یک سانتی مول در هر کیلو گرم خاک). علت این امر کمبود ترکیبات با بار متغیر در این خاک ها است که تأثیر زیادی در بالا بردن AEC دارند. اگر چه ماده آلی و کائولینیت در خاک های مورد مطالعه وجود داشت، ولی این ترکیبات تأثیر زیادی در بالا بردن عمدۀ تبادل آنیونی با توجه به خصوصیات ذاتی شان و نیز pH خاک ندارند. عامل دیگر پایین بودن AEC، جذب منفی (دفع) آنیون ها از سطوح ترکیبات با بار متغیر به علت زیادی بار منفی روی سطوح ترکیبات باز دائمی و بار متغیر در این خاک هاست.

باز دائمی (6p): بار دائمی به دست آمده برای تمامی نمونه های مورد مطالعه منفی و بالا بود که از خصوصیات خاک های مناطق معتدل است (جدول ۲). مقدار بار دائمی وابسته به نوع و مقدار کانی های سیلیکاتی لایه ای در خاک ها به خصوص خاک های مناطق معتدل می باشد^(۲). از طرف دیگر چون ترکیب کانی شناسی خاک های مورد مطالعه محلول است

تمامی نمونه های مورد مطالعه بار منفی بالایی را در محدوده pH اعمال شد، نشان می دهند که در بین آنها مقدار بار منفی خاک تیپیک هاپل یودالف چه در افق سطحی و چه در افق زیر سطحی از بقیه بیشتر بود که علت آن وجود ماده آلی بیشتر در افق سطحی و درصد رس بیشتر (عمدتاً از نوع ۲:۱ در افق سطحی و زیر سطحی این خاک است. در محدوده pH خاک بار منفی افق A خاک تیپیک هاپل یودالف حدود ۳۸ سانتی مول در هر کیلو گرم خاک و در افق B_t آن حدود ۴۰ سانتی مول در هر کیلو گرم خاک بود. مقدار بار منفی در سطح عمدتاً تحت کنترل ماده آلی است و با کاهش pH و پروتونه شدن (Protonation) سطوح اجزای ماده آلی، افت منحنی بار و کاهش بار منفی را خواهیم داشت. ولی در افق زیرین به علت وجود رس های ۲:۱ و فقدان ماده آلی، علی رغم وجود مقدار کم کائولینیت، بار منفی تحت کنترل رس های ۲:۱ و عمدتاً از نوع دائمی است. در نتیجه منحنی بار با تغییر pH تغییر چندانی نمی کند. به همین دلیل در pH خاک حدود ۵، مقدار بار منفی در افق زیر سطحی خاک تیپیک هاپل یودالف بیشتر از افق سطحی آن است.

کمترین مقدار بار منفی متعلق به خاک گرانیتی است که علت آن درصد کم رس در افق های سطحی و زیر سطحی و مقدار بیشتر کائولینیت نسبت به رس های ۲:۱ در این خاک است. نتایج به دست آمده از تحقیقات آمپاوان در سوراخ بخش رس خاک های حاصل از سنگ های آذرین نشان داد که کائولینیت کانی اصلی خاک های مشتق شده از گرانیت و آندزیت - بازالت می باشد^(۳). در محدوده pH خاک، مقدار بار منفی در افق A خاک تیپیک یوداورتن تشكیل شده روی گرانیت حدود ۶/۴ سانتی مول در هر کیلو گرم خاک و در افق Cr این خاک حدود ۵/۱ سانتی مول در هر کیلو گرم خاک است که با توجه به مقدار کم ماده آلی و درصد رس در افق زیرین، کمتر از مقدار بار در افق سطحی است.

خاک اولتیک هاپل یودالف از نظر بار منفی در بین دو خاک اشاره شده در بالا قرار می گیرد. در موقعیت pH خاک، مقدار بار منفی در افق A این خاک حدود ۱۱ سانتی مول در هر کیلو گرم

نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام گرفته روی خاک‌های مورد مطالعه نشان داد که مقادیر pH_0 و بار منفی و مثبت خاک‌ها، قویاً متأثر از ساختار کلولئیدی خاک است. مقادیر قابل توجه کانی‌های سیلیکاتی لایه‌ای $2:1$ و $1:1$ و کربن آلی، موجب پایین آمدن pH_0 و بالا رفتن مقدار بار منفی در خاک‌های مورد مطالعه شده است. از مهم‌ترین ترکیبات بار متغیر در این خاک‌ها، ماده آلی، کائولینیت و آهن کریستالی بودند که سهم ماده آلی در افق‌های سطحی بیشتر بود. تأثیر کائولینیت و آهن کریستالی در طول پروفیل یکنواخت بوده است. هم‌چنین این مطالعه نشان داد که در pH زراعی، خاک‌های مورد مطالعه ظرفیت محدودی برای نگهداری آنیون‌ها دارند.

و هرگونه رسی نقش منحصر بفرد خود را روی بار دائمی کل یک خاک ایفا می‌کند، نمی‌توان از این حیث دلیل قانع کننده‌ای برای کاهش یا افزایش بار دائمی در طول پروفیل خاک از افق‌های سطحی به زیرسطحی ارائه نمود. در خاک‌های مناطق حاره و اندی‌سول‌های مناطق نیمه حاره علت کاهش بار دائمی از سطح به عمق، تجمع رس‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن و آلومینیوم در افق‌های زیرین است (۸).

در نمونه‌های مورد مطالعه اگرچه مقدار آهن کریستالی در اکثر آنها از سطح به عمق افزایش یافته اما مقدار آن در مقایسه با مقادیر معنی‌دار کانی‌های سیلیکاتی لایه‌ای و عمده‌تاً از نوع $2:1$ ناچیز و تأثیری روی روند افزایش یا کاهش مقدار بار دائمی در طول پروفیل‌ها ندارد.

منابع مورد استفاده

- حسامی، ر. ۱۳۸۴. مطالعه آبشویی و تکامل خاک در برخی از خاک‌های جنگلی ناحیه لاهیجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان.
- Auxtero, E., M. Madeira and E. Sousa. 2003. Variable charge characteristics of selected Andisols from the Azores, Portugal. *Geoderma* 144:535-544.
- Ampawan, A. 2002. Mineralogy in the clay fraction of soils derived from various parent materials. 17th world congress of soil science, Bangkok 10900, Thailand. Symposium no. 25, paper no. 2328, 15 July 2002.
- Baert, G. and E. Van Ranst. 1998. Exchange properties of highly weathered soils of the Lower Congo. *Malays. J. Soil Sci.* 2:31-44.
- Batista-Gonzales, A.B., J.M. Hernandez, E. Fernandez and A.J. Herbillon. 1982. Influence of silica content on the surface charge characteristics of allophanic clays. *Clays Clay Miner.* 30: 103-110.
- Duquette, M. and W. Hendershat 1993a. Soil surface charge evaluation by back-titration.I. Theory and method development. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1222-1228.
- Gillman, G.P. 1984. Using variable charge characteristics to understand the exchangeable cation status of oxic soils. *Aust. J. Soil Res.* 22: 71-80.
- Gillman, G.P. 1985. Influence of organic matter and phosphate content on point of zero charge of variable charge component in oxide soils. *Aust. J. Soil Res.* 23: 643-646.
- Gillman, G.P. and G. Uehara. 1980. Charge characteristics of soils with variable charge and permanent charge mineralogy. *Aust. J. Soil Res.* 14: 351-360.
- Gillman, G.P. and G. Uehara. 1980. Charge characteristics of soils with variable and permanent charge minerals:II. Experimental. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 252-255.
- Lamas, M. C. and R. M. Torres Sanchez. 1998. Isoelectric point of soils determined by the diffusion potential method. *Geoderma* 85: 371-381.
- Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 1. Chemical and Microbiological Properties. ASA. SSSA. Madison, WI.
- Sposito, G. 1981. The operational definition of the zero point of charge in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:292-297.
- Tessens, E. and S. Zauyah. 1982. Positive permanent charge in oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:1103-1106.
- Uehara, G. and G.P. Gillman. 1980. Charge characteristics of soils with variable and permanent charge minerals: I. Theory. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 250-252.