

مطالعه شکل‌های شیمیایی آهن و منگنز در خاک یک کاتنا در منطقه یاسوج

حمیدرضا اولیایی^{*۱}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۷/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۳/۲۲)

چکیده

اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز از ترکیبات بسیار فعال در خاک هستند. این ترکیبات نسبت به تغییر شرایط محیطی خاک حساس بوده و اغلب در طول خاکرخ حرکت می‌نمایند. از این رو مقدار شکل‌های مختلف شیمیایی این ترکیبات و نسبت میان آنها به عنوان شاخصی در مطالعات تکامل خاک به کار می‌رود. این مطالعه به منظور بررسی آثار پستی و بلندی و شرایط زه‌کشی بر شکل‌های شیمیایی آهن و منگنز در طول یک کاتنا در منطقه دشت روم در استان کهگیلویه صورت گرفت. نتایج نشان داد که حداکثر مقدار آهن و منگنز پدوژنیک (Mn_d و Fe_d) در سطوح پایدارتر ژئومورفیک بوده و میزان آن با افزایش عمق عمدتاً کاهش می‌یابد. هم‌چنین خاکرخ‌های دارای شرایط اکوئیک دارای مقادیر بیشتر آهن با تبلور ضعیف (Fe_o و Mn_o) و مقادیر کمتر Fe_d و Mn_d هستند. روابط مثبت و معنی‌داری میان Mn_o ، Fe_o ، Mn_d/Fe_d و Mn_o/Mn_d ، Fe_o/Fe_d ، Fe_d/Fe_d و Mn_d/Fe_d مشاهده شد. نتایج نشان داد که شرایط اکوئیک موجب افزایش نسبت‌های Fe_o/Fe_d ، Fe_d/Fe_d و Mn_d/Fe_d در خاک به ترتیب به میزان ۳/۱، ۴/۳ و ۱/۹ برابر و کاهش ۲/۶ برابری در شاخص تبلور آهن گردید. بالاتر بودن مقدار میانگین Mn_d/Fe_d در خاک اکوئیک نسبت به خاک غیر اکوئیک احتمالاً نشان‌دهنده افزایش بیشتر میزان منگنز پدوژنیک نسبت به آهن پدوژنیک در شرایط اکوئیک بوده است.

واژه‌های کلیدی: اکسید آهن و منگنز، پستی و بلندی، خاک، شرایط زه‌کشی، شکل شیمیایی

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h_owliaie@yahoo.com

مقدمه

ترکیب شیمیایی خاک‌ها به عوامل پنج‌گانه تشکیل‌دهنده خاک مرتبط می‌باشد. اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز از ترکیبات بسیار فعال در خاک به شمار می‌روند، چرا که این ترکیبات نسبت به تغییر شرایط محیطی بسیار حساس بوده و اغلب در طول شکاف‌ها یا حفرات حرکت نموده و بر روی خاکدانه‌ها رسوب می‌نمایند (۶ و ۱۴). اکسیدهای آهن متداول در خاک‌ها عمدتاً به صورت ترکیبات مگنتیت، مگهمیت، هماتیت و یا گوئیت و اکسیدهای منگنز به صورت پیرولوسیت با ساختار شعاعی و رشته‌ای، پسیلوملان، اکسید هیدراته منگنز به رنگ سیاه آهنی تا خاکستری تیره، رودوکروسیت، منگنیت و رودونیت می‌باشند. اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز در دامنه‌ای از ترکیبات بی‌شکل تا ترکیبات کاملاً متبلور وجود دارند (۲۳). در خاک، میزان اکسید آهن و منگنز بی‌شکل و آلی (غیربلورین) به وسیله اگزالات آمونیم اسیدی (Mn_0 و Fe_0) عصاره‌گیری می‌شود و مقدار کل ترکیبات پدوژنیک شامل آهن و منگنز بی‌شکل، آلی و بلورین (Mn_d و Fe_d) به وسیله سیترات-بی‌کربنات-دی‌تیونات (CBD) عصاره‌گیری می‌شود. بنابراین تفاضل این دو مقدار معیاری از میزان آهن و منگنز بلورین و نسبت‌های Mn_0/Mn_d و Fe_0/Fe_d شاخصی از اکسیدهای آهن و منگنز فعال می‌باشند (۱۶).

این نسبت‌ها و مقادیر، علاوه بر این که معیاری از وضعیت اکسایش-کاهش خاک است، شاخصی از میزان تکامل خاک نیز می‌باشند. در مراحل اولیه هوادیدگی و تکامل خاک، آزادسازی آهن و منگنز غیربلورین از کانی‌ها، از میزان فرآیند تشکیل بلور بیشتر می‌گردد و موجب می‌شود که این نسبت افزایش یابد، ولی با افزایش سن و تکامل خاک، مقدار Fe_d و Mn_d بیشتر شده و نسبت‌های Fe_0/Fe_d و Mn_0/Mn_d کاهش می‌یابند. اولیایی (۱) در مطالعه خاک‌های مناطق مختلف اقلیمی استان کهگیلویه و بویراحمد، مقادیر بیشتر نسبت $(\text{Fe}_d-\text{Fe}_0)/\text{Fe}_d$ را در خاک‌ها و افق‌های با تکامل بیشتر مشاهده نمود. این شاخص تحت عنوان شاخص تبلور آهن مطرح می‌باشد.

پتانسیل رداکس استاندارد (Eh) سیستم منگنز به‌طور معمول بیشتر از سیستم آهن ($1/23$ در برابر $0/77$ ولت) است (۱۲). بنابراین منگنز سریع‌تر از آهن به فرم کاهشی درآمده و دشوارتر از آهن اکسید می‌گردد (۱۴). دامنه pH و Eh برای حضور Mn^{+2} در خاک وسیع‌تر از Fe^{+2} است. در شرایط هوازی، اکسیژن به‌عنوان گیرنده نهایی الکترون در خاک عمل می‌نماید، در حالی که در شرایط بی‌هوازی، سایر الکترون‌گیرنده‌ها در صورت تداوم اکسایش ترکیبات آلی توسط باکتری‌ها وارد عمل می‌شوند. سایر الکترون‌گیرنده‌های اصلی در شرایط بی‌هوازی به ترتیب NO_3^- ، MnO_2 ، $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ، SO_4^{2-} و CO_2 هستند (۱۸). منگنز دو ظرفیتی به دلیل پتانسیل اکسایش بالاتر نسبت به آهن دو ظرفیتی دارای تحرک بیشتری در خاک است (۷). بر این اساس احیا (کاهش) منگنز پس از آن صورت می‌گیرد که مقدار عمده نیتрат موجود در خاک کاهش یابد.

تغییر در شرایط تهویه‌ای خاک موجب تغییراتی در ویژگی‌های خاک از جمله تجمع ماده آلی در سطح خاک، تغییر رنگ افق‌های زیرین خاک به خاکستری و تولید گازهایی مانند سولفید هیدروژن و آمونیاک می‌گردد (۱۸). خان و فنتون (۹ و ۱۰) گزارش نمودند که با افزایش دوره اشباع خاک میزان آهن کل کاهش یافته است. هم‌چنین میزان Fe_d و Mn_d در حالت اشباع دائمی کاهش در حالی که مقدار Mn_d در شرایط اشباع تناوبی افزایش یافته است. نامبردگان نسبت Mn_d/Fe_d را مبنایی برای جداسازی خاک‌های اکوییک از غیر اکوییک در مقایسه با آزمون‌های معمول رنگ‌سنجی اعلام نمودند.

مطالعه تغییرات غلظت شکل‌های مختلف آهن و منگنز در توالی‌های پستی و بلندی که همراه با اثر آب زیرزمینی (کاتنا) باشند، به درک اثر ویژگی‌های ژئومورفیک و شرایط اکسایشی-کاهشی بر موارد مذکور کمک مهمی می‌نماید. منطقه دشت‌روم یاسوج در جنوب شرق استان کهگیلویه و بویراحمد دارای شرایط یاد شده می‌باشد. مطالعات اندکی پیرامون تغییر غلظت شکل‌های شیمیایی آهن و منگنز در ارتباط با پستی و بلندی و شرایط زه‌کشی به‌ویژه در خاک‌های آهکی جنوب ایران صورت

منگنز موجود توسط دستگاه جذب اتمی شیمادزو مدل AA 670 اندازه‌گیری گردید.

نتایج

جدول ۱ مشخصات عمومی خاک‌های خاک‌مطالعه شده در منطقه دشت‌روم را نشان می‌دهد. براساس طبقه‌بندی تاکسونومی (۲۱) این خاک‌ها در چهار رده مالی‌سولز، آلفی‌سولز، انتی‌سولز و اینسپتی‌سولز و براساس طبقه‌بندی WRB (۲۵) در پنج گروه مرجع گلی‌سولز، کاستانوزمز، رگوسولز، لووی‌سولز و کلسی‌سولز قرار می‌گیرند. جدول ۲ خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک‌های مطالعه‌شده در منطقه دشت‌روم را نشان می‌دهد. دامنه نسبتاً وسیع خصوصیات فیزیکوشیمیایی، با توجه به یکسان بودن نسبی مواد مادری بیانگر تفاوت نسبتاً زیاد در خاک‌های مطالعه شده در نتیجه تفاوت اثر عوامل خاک‌ساز به‌ویژه پستی و بلندی می‌باشد. جدول ۳ غلظت شکل‌های مختلف شیمیایی عناصر اندازه‌گیری شده و نسبت بین آنها را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به داده‌های جدول ۳ مشخص می‌گردد که میزان Fe_0 در همه خاک‌ها به‌جز خاک‌های ۵ و ۶ از سطح به عمق کاهش می‌یابد. این روند تقریباً با تغییرات میزان ماده آلی خاک همخوانی دارد. کمبود مقدار ماده آلی به همراه کمبود فعالیت میکروبی در عمق خاک از دلایل کاهش میزان تبدیل Fe^{3+} به Fe^{2+} می‌باشد (۳). در خاک اکوییک میزان Fe_0 افزایش یافت که احتمالاً در نتیجه عدم تشکیل ریزیلورهای اکسید آهن در این شرایط می‌باشد. روند مشابهی نیز برای Mn_0 مشاهده گردید. هم‌بستگی میزان Fe_0 با میزان رس خاک یک رابطه مثبت و معنی‌دار می‌باشد ($r^2=0.56$, $P<0.05$). حداکثر میزان Fe_0 در افق‌های خاک‌های ۵ و ۶ (در موقعیت اراضی پست و حاشیه آن) دیده شد که ضمن بالا بودن میزان رس در آنها، دارای شرایط اکوییک نیز بوده که در این شرایط امکان تبدیل اکسیدها

گرفته است. هدف از این مطالعه: (۱) بررسی ارتباط میان تغییرات غلظت شکل‌های شیمیایی آهن و منگنز در ارتباط با عامل پستی و بلندی و عمق خاک و (۲) بررسی اثرات شرایط اکسایشی-کاهش بر غلظت شکل‌های شیمیایی آهن و منگنز و نسبت‌های میان آنها بود.

مواد و روش‌ها

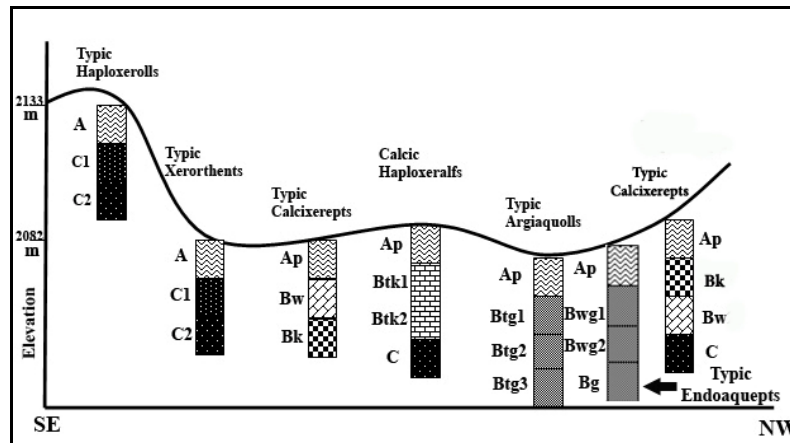
مشخصات کلی منطقه

منطقه دشت‌روم، دشتی مرتفع با ارتفاع متوسط ۲۰۸۰ متر از سطح دریا در ۱۵ کیلومتری جنوب‌غرب شهر یاسوج در استان کهگیلویه و بویراحمد قرار گرفته است. متوسط بارندگی و درجه حرارت سالانه منطقه به‌ترتیب ۹۲۰ میلی‌متر و ۱۲/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک منطقه نیز به‌ترتیب زیریک (در بخش مرکزی دشت، رژیم اکوئیک) و مزیک می‌باشند. سازندهای تشکیل‌دهنده تپه‌های اطراف منطقه دشت‌روم همگی آهکی و شامل سازندهای پابده‌گورپی، آسماری‌جهرم و سازند سروک است (۲).

مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

۷ خاک‌بر روی یک ردیف پستی و بلندی با طول حدود ۲ کیلومتر با مواد مادری کاملاً مشابه که دارای اختلاف در وضعیت زه‌کشی بودند، در منطقه دشت‌روم حفر گردید (شکل ۱). توزیع اندازه‌های ذرات با روش پی‌پت (۵) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش چاپمن (۴) اندازه‌گیری شد. تعیین میزان کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی انجام یافت (۱۷). کربن آلی به روش جکسون (۸) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری ترکیبات بی‌شکل و آلی آهن و منگنز (Fe_0 و Mn_0) توسط عصاره‌گیری با آمونیوم اگزالات اسیدی در $pH=3$ در تاریکی صورت گرفت (۱۳). اکسیدهای آهن و منگنز پدورژنیک (Fe_d و Mn_d) با عصاره‌گیری توسط سیترات-بی‌کربنات-دی‌تیونات استخراج گردید (۱۵). آهن و منگنز کل با اسید نیتریک ۴ نرمال عصاره‌گیری شد (۲۲). میزان آهن و



شکل ۱. موقعیت خاک‌های مطالعه شده در طول کاتنا دشت روم

جدول ۱. مشخصات عمومی خاک‌های مطالعه شده در منطقه دشت روم

شماره	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	فیزیوگرافی	شیب (%)	زه‌کشی	کاربری	طبقه‌بندی طبقه‌بندی (2010) Taxonomy	طبقه‌بندی طبقه‌بندی (2006) WRB
۱	۳۰° ۳۳' ۲۸"	۵۱° ۳۲' ۵۰"	۲۱۳۳	مخروط افکنه آبرفتی	۷	نسبتاً مناسب	مرتع	Typic Haploxerolls	Haplic Kastanozems
۲	۳۰° ۳۳' ۲۷"	۵۱° ۳۲' ۴۰"	۲۱۱۰	دشت دامنه‌ای آبرفتی	۵	مناسب	مرتع	Typic Xerorthents	Haplic Regosols
۳	۳۰° ۳۳' ۱۹"	۵۱° ۳۲' ۲۲"	۲۰۹۳	دشت دامنه‌ای آبرفتی	۱-۲	مناسب	کشت دیم	Typic Calcixerepts	Haplic Calcisols
۴	۳۰° ۳۳' ۳۹"	۵۱° ۳۱' ۲۰"	۲۰۸۴	دشت مرتفع	۱-۲	نسبتاً مناسب	کشت دیم	Calcic Haploxeralfs	Calcic Luvisols
۵	۳۰° ۳۳' ۱۷"	۵۱° ۳۱' ۰۳"	۲۰۸۲	اراضی پست	۰/۵	بسیار ضعیف	مرتع	Typic Argiaquolls	Mollic Gleysols
۶	۳۰° ۳۳' ۱۸"	۵۱° ۳۰' ۵۷"	۲۰۸۳	حاشیه اراضی پست	۱	بسیار ضعیف	مرتع	Typic Endoaquepts	Haplic Gleysols
۷	۳۰° ۳۳' ۲۵"	۵۱° ۳۰' ۴۷"	۲۰۸۸	دشت دامنه‌ای آبرفتی	۲-۳	نسبتاً مناسب	نسبتاً مناسب	Typic Calcixerepts	Haplic Calcisols

میزان رس (با میانگین ۵۱ درصد) در بین ۷ خاک‌های مطالعه شده نیز بوده‌اند. در غیر این صورت با توجه به اختلاف زیاد میزان Fe_0 در خاک اکوییک نسبت به خاک‌های غیراکوییک (حدود ۲/۸ برابر)، این ارتباط احتمالاً معنی‌دار نمی‌گردد (جدول ۴)، آنگونه که برای Fe_d و Mn_d مشاهده گردید. این در حالی است

و هیدروکسیدهای آهن غیر بلورین به اشکال بلورین به حداقل می‌رسد (۱۹ و ۲۰). رابطه مشابهی میان مقدار رس و Mn_0 نیز مشاهده گردید ($r^2=0.61$, $P<0.05$). ارتباط‌های معنی‌دار یاد شده به این دلیل برقرار گردیده‌است که خاک‌های دارای شرایط اکوییک (با حداکثر مقدار Fe_0 و Mn_0) دارای بیشترین

جدول ۲. ویژگی های فیزیکی - شیمیایی خاک های مطالعه شده در منطقه دشت روم

CEC نسبت	هدایت الکتریکی	ظرفیت تبادل کاتیونی	رطوبت اشباع	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	pH (خمیر اشباع)	رنگ مرطوب	رس	سیلت	شن	عمق	افق
		cmol kg ⁻¹							----- %	-----	(cm)	
خاکرخ ۱، مخروط افکنه آبرفتی (Typic Haploxerolls)												
۰/۴۳	۱/۱	۱۳/۴	۵۱/۲	۲۴/۶	۳/۲	۷/۳	7.5YR3/3	۳۰/۹	۳۵/۷	۳۳/۴	۰-۲۵	A
۰/۳۸	۰/۸	۹/۷	۴۴/۵	۶۹/۳	۰/۴	۷/۷	7.5YR4/4	۲۵/۵	۳۵/۵	۳۹/۰	۲۵-۷۰	C1
۰/۳۴	۰/۹	۸/۲	۴۱/۲	۷۸/۱	۰/۲	۷/۹	7.5YR4/4	۲۴/۳	۳۶/۸	۳۸/۹	۷۰-۱۲۰	C2
خاکرخ ۲، دشت دامنه ای آبرفتی (Typic Xerorthents)												
۰/۳۹	۱/۵	۱۵/۶	۴۰/۲	۳۰/۶	۰/۸	۷/۷	7.5YR4/3	۳۹/۹	۳۳/۷	۲۶/۴	۰-۲۵	A
۰/۳۸	۰/۷	۱۳/۳	۴۳/۱	۴۸/۳	۰/۳	۸/۰	7.5YR4/4	۳۴/۶	۴۰/۶	۲۴/۸	۲۵-۵۰	C1
۰/۳۶	۰/۶	۱۳/۷	۳۹/۶	۵۵/۶	۰/۱	۷/۹	7.5YR5/4	۳۸/۵	۳۶/۵	۲۵/۰	۵۰-۱۰۰	C2
خاکرخ ۳، دشت دامنه ای آبرفتی (Typic Calcixeraps)												
۰/۵۲	۰/۸	۱۳/۹	۴۴/۰	۳۵/۲	۰/۹	۷/۳	10YR4/3	۲۶/۹	۴۳/۲	۳۰/۹	۰-۲۰	A
۰/۵۳	۰/۷	۱۸/۳	۴۱/۲	۳۶/۱	۰/۳	۷/۵	10YR4/4	۳۴/۵	۴۰/۳	۲۵/۲	۲۰-۷۵	Bw
۰/۵۴	۰/۹	۱۲/۴	۴۰/۶	۳۸/۱	۰/۱	۷/۵	7.5YR4/3	۲۳/۱	۴۰/۶	۳۶/۳	۷۵-۱۳۵	Bk
خاکرخ ۴، دشت مرتفع (Calcic Haploxeralfs)												
۰/۵۲	۰/۷	۱۳/۱	۳۳/۸	۲۰/۵	۱/۱	۷/۴	10YR3.5/3	۳۱/۲	۳۶/۰	۳۲/۸	۰-۲۵	Ap
۰/۵۸	۰/۵	۲۳/۲	۳۱/۰	۲۸/۰	۰/۷	۷/۶	7.5YR4/3	۴۰/۰	۳۷/۰	۲۳/۰	۲۵-۸۵	Btk1
۰/۴۷	۰/۴	۲۰/۴	۳۲/۷	۳۲/۰	۰/۳	۷/۶	7.5YR4/3	۲۳/۰	۲۹/۴	۲۷/۶	۸۵-۱۳۵	Btk2
۰/۴۶	۰/۴	۱۳/۳	۲۸/۹	۴۸/۰	۰/۳	۷/۷	7.5YR5/3	۲۶/۷	۲۴/۰	۴۹/۳	۱۳۵-۱۶۵	C
خاکرخ ۵، اراضی پست (Typic Argiaquolls)												
۰/۵۲	۰/۲	۳۳/۲	۴۷/۲	۱۲/۳	۳/۲	۷/۱	10YR3/1.5	۶۳/۵	۲۸/۰	۸/۵	۰-۳۰	Ap
۰/۵۱	۰/۴	۳۵/۴	۴۲/۰	۱۰/۰	۱/۰	۷/۲	10YR3.5/2	۶۹/۸	۲۴/۰	۶/۲	۳۰-۷۵	Big1
۰/۴۷	۰/۴	۳۰/۸	۳۹/۳	۱۵/۵	۰/۸	۷/۱	10YR4/2	۶۵/۱	۲۸/۰	۶/۹	۷۵-۱۰۰	Big2
۰/۴۶	۰/۳	۲۷/۷	۳۸/۰	۱۸/۰	۰/۴	۷/۲	10YR5/2	۵۹/۶	۲۶/۴	۱۴/۰	۱۰۰-۱۳۵	Big3
خاکرخ ۶، حاشیه اراضی پست (Typic Endoaquepts)												
۰/۵۵	۰/۵	۲۱/۱	۴۰/۴	۱۵/۳	۱/۹	۷/۲	10YR3.5/3	۳۸/۲	۳۲/۳	۲۹/۵	۰-۲۵	Ap
۰/۵۴	۰/۴	۲۵/۴	۴۲/۳	۲۰/۲	۰/۸	۷/۲	10YR3/2	۴۶/۳	۲۹/۲	۲۴/۵	۲۵-۶۵	Bwg1
۰/۵۲	۰/۴	۲۳/۷	۳۸/۸	۱۸/۳	۰/۶	۷/۳	10YR4/1	۴۵/۳	۳۲/۶	۲۲/۱	۶۵-۹۰	Bwg2
۰/۴۹	۰/۵	۲۰/۴	۳۵/۶	۳۰/۶	۰/۳	۷/۴	10YR4/1	۴۱/۴	۳۴/۴	۲۴/۲	۹۰-۱۳۰	Bg

ادامه جدول ۲.

CEC محت	هدایت الکتریکی	ظرفیت تبادل کاتیونی	رطوبت اشباع	کربن آلی	pH (خمیر اشباع)	رنگ مرطوب	رس	سیلت	شن	عمق	افق
	dSm^{-1}	cmol kg^{-1}								(cm)	
خاکرخ ۷، دشت دامنه‌ای آبرفتی (Typic Calcixerepts)											
۰/۴۵	۰/۸	۱۶/۵	۳۹/۶	۱/۳	۷/۳	7.5YR4/3	۳۹/۶	۴۰/۱	۲۰/۳	۰-۲۵	Ap
۰/۳۷	۰/۸	۱۴/۲	۳۵/۷	۰/۸	۷/۵	10YR5/3	۴۱/۶	۳۷/۰	۲۱/۴	۲۵-۵۰	Bk
۰/۳۹	۰/۶	۱۲/۹	۳۲/۴	۰/۴	۷/۶	10YR5/3	۳۵/۷	۳۸/۲	۲۶/۱	۵۰-۸۵	Bw
۰/۳۶	۰/۶	۱۰/۲	۳۰/۳	۰/۴	۷/۹	105YR6/3	۳۱/۴	۴۰/۰	۲۸/۶	۸۵-۱۲۵	C

جدول ۳. غلظت شکل‌های مختلف شیمیایی عناصر اندازه‌گیری شده و نسبت بین آنها											
$(\text{Fe}_d - \text{Fe}_o)/\text{Fe}_i$	Mn_d/Fe_d	Mn_o/Mn_d	Fe_o/Fe_d	Mn_t	Mn_d	Mn_o	Fe_t	Fe_d	Fe_o	خاکرخ / افق	
۰/۴۰	۰/۱۰	۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۴۷	۰/۳۷	۰/۰۷	۸/۸	۳/۸	۰/۳۴	A۱-	
۰/۳۷	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۳۲	۰/۶۵	۰/۰۳	۶/۳	۲/۵	۰/۱۷	C1۱-	
۰/۳۰	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۰۷	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۰۲	۴/۷	۱/۵	۰/۱۱	C2۱-	
۰/۵۲	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۱۰	۰/۴۰	۰/۵۵	۰/۱۲	۹/۰	۵/۲	۰/۵۱	A۲-	
۰/۵۱	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۰۵	۶/۹	۳/۸	۰/۲۶	C1۲-	
۰/۳۰	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۰۲	۶/۳	۲/۰	۰/۱۲	C2۲-	
۰/۴۸	۰/۰۹	۰/۲۵	۰/۱۳	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۱۱	۹/۲	۵/۱	۰/۶۸	Ap۳-	
۰/۳۷	۰/۰۹	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۳۶	۰/۳۱	۰/۰۷	۸/۴	۳/۶	۰/۵۱	Bw۳-	
۰/۳۷	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۰۶	۷/۰	۳/۰	۰/۴۳	Bk۳-	
۰/۶۳	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۶۶	۱/۰۹	۰/۱۳	۱۳/۷	۹/۱	۰/۵۱	Ap۴-	
۰/۷۷	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۶۱	۰/۹۷	۰/۰۹	۱۲/۴	۹/۹	۰/۴۳	Btk1۴-	
۰/۶۷	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۶۰	۰/۸۹	۰/۱۲	۱۲/۳	۱۰/۲	۰/۵۱	Btk2۴-	
۰/۵۵	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۴۱	۰/۳۲	۰/۰۳	۹/۱	۵/۲	۰/۱۷	C۴-	
۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۶۷	۰/۲۷	۰/۷۶	۰/۵۵	۰/۳۷	۱۵/۲	۳/۵	۰/۹۴	Ap۵-	

ادامه جدول ۳.

$(Fe_t-Fe_o)/Fe_t$	Mn_d/Fe_d	Mn_o/Mn_d	Fe_o/Fe_d	Mn_t	Mn_d	Mn_o	Fe_t	Fe_d	Fe_o	نوع خاک / افق
۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۸۱	۰/۳۹	۰/۷۹	۰/۵۲	۰/۴۲	۱۷/۳	۳/۶	۱/۳۲	Btg1۵-
۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۶۸	۰/۳۰	۰/۸۹	۰/۵۷	۰/۳۹	۱۹/۱	۴/۵	۱/۲۶	Btg2۵-
۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۷۷	۰/۳۲	۰/۸۳	۰/۴۴	۰/۳۴	۱۸/۵	۳/۲	۱/۰۲	Btg3۵-
۰/۲۶	۰/۱۲	۰/۶۳	۰/۲۱	۰/۶۵	۰/۴۹	۰/۳۱	۱۲/۴	۴/۱	۰/۸۵	Ap۶-
۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۶۷	۰/۳۳	۰/۶۹	۰/۵۱	۰/۳۴	۱۴/۷	۳/۶	۱/۱۷	Bwg1۶-
۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۶۸	۰/۳۱	۰/۶۱	۰/۴۷	۰/۳۲	۱۴/۲	۳/۵	۱/۰۸	Bwg2۶-
۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۶۶	۰/۲۷	۰/۵۳	۰/۴۱	۰/۲۷	۱۲/۱	۳/۱	۰/۸۵	Bg۶-
۰/۳۱	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۵۰	۰/۳۰	۰/۰۷	۱۱/۷	۳/۸	۰/۳۴	Ap۷-
۰/۳۵	۰/۰۷	۰/۱۷	۰/۰۶	۰/۵۵	۰/۳۰	۰/۰۵	۱۱/۳	۴/۲	۰/۲۶	Bk۷-
۰/۳۰	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۴۶	۰/۱۹	۰/۰۳	۹/۱	۲/۹	۰/۲۳	Bw۷-
۰/۲۶	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۲۷	۰/۰۷	۰/۰۱	۶/۷	۱/۸	۰/۰۹	CV-

جدول ۴. میانگین غلظت شکل های مختلف شیمیایی عناصر اندازه گیری شده و نسبت بین آنها در خاک های اکویک و غیراکویک

$(Fe_d-Fe_o)/Fe_t$	Mn_d/Fe_d	Mn_o/Mn_d	Fe_o/Fe_d	Mn_t	Mn_d	Mn_o	Fe_t	Fe_d	Fe_o	نوع خاک
۰/۴۴	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۴۱	۰/۵۰	۰/۰۶	۹/۰۸	۴/۵۷	۰/۳۳	غیراکویک
۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۶۳	۰/۲۵	۰/۷۲	۰/۴۰	۰/۳۵	۱۵/۴	۳/۶۴	۰/۹۱	اکویک
۰/۳۸	۱/۸۵	۴/۳۴	۳/۱۰	۱/۷۲	۰/۸۰	۵/۵۵	۱۷/۰	۰/۷۹	۲/۷۸	نسبت اکویک به غیراکویک

که خان و فنتون (۱۰) هم‌بستگی میان تغییرات مقدار رس و Fe_d را به حرکت همزمان این دو عامل در طول خاکرخ نسبت می‌دهند. در خاک‌های مطالعه شده این هم‌بستگی زمانی برقرار می‌گردد که خاک‌های غیراکوئیک به‌صورت مجزا بررسی گردند چرا که خاک‌های اکوئیک به دلیل موقعیت ژئومورفولوژیک خود دارای سنگین‌ترین بافت بوده‌اند و در مقابل شرایط برای افزایش آهن پدوژنیک نیز فراهم نبوده‌است.

حداکثر میزان Fe_d در افق Btk2 خاکرخ ۴ اندازه‌گیری شد. خاکرخ ۴ از نظر موقعیت ژئومورفولوژیکی در پایدارترین فیزیوگرافی موجود در دشت قرار گرفته‌است. این امر موجب افزایش تکامل نسبی این خاکرخ از نظر عمق سولوم، آبشویی آهک، انتقال رس و سایر عوامل شده‌است. در این شرایط شاخص تبلور یا $(Fe_d - Fe_o)/Fe_t$ به حداکثر میزان خود (۰/۷۷) در میان خاک‌های مطالعه‌شده، رسیده‌است که معیاری از میزان تکامل خاک می‌باشد (جدول ۳). میزان آهن کل (Fe_t) نیز تابعی از عمق خاک بوده‌است و در تمام خاکرخ‌ها با افزایش عمق کاهش یافته‌است (به جز خاکرخ‌های اکوئیک ۵ و ۶). به نظر می‌رسد که بافت سنگین‌تر و شرایط اکوئیک در این خاکرخ‌ها مانع آبشویی متداول در خاک‌های غیراکوئیک گردیده و در نتیجه توزیع کربنات کلسیم روند مشخصی نداشته که این امر بر مقدار آهن کل نیز تأثیر داشته‌است (جدول ۲ و ۳). روند نسبتاً مشابهی میان Mn_t و عمق خاک مشاهده گردید. تغییرات میزان Fe_t نیز با میزان رس خاک یک رابطه مثبت و معنی‌دار داشته‌است ($r^2=0.63$, $P<0.05$). رابطه مشابهی میان Mn_t و میزان رس نیز مشاهده گردید ($r^2=0.62$, $P<0.05$).

به نظر می‌رسد که شرایط زه‌کشی تفاوت‌های چشمگیری بر غلظت و نسبت میان شکل‌های شیمیایی آهن و منگنز در مقایسه با عامل پستی و بلندی و عمق خاک ایجاد نموده‌است. جدول ۴ مقایسه غلظت شکل‌های مختلف شیمیایی عناصر اندازه‌گیری شده و نسبت بین آنها را در خاکرخ‌های با شرایط اکوئیک (خاکرخ‌های ۵ و ۶) و سایر خاکرخ‌ها با شرایط غیراکوئیک نشان می‌دهد. نسبت Fe_o/Fe_d به‌طور معمول در همه

خاکرخ‌های غیراکوئیک از سطح به عمق کاهش یافته‌است. در حالی که روند خاصی از تغییرات این نسبت در خاک‌های اکوئیک مشاهده نشد. براساس نظر اسکارسیگلیا و همکاران (۱۹) این نسبت که شاخصی از آهن بی‌شکل به آهن بلورین می‌باشد، شاخص مفیدی برای مقایسه تکامل خاک در خاک‌های با زه‌کشی خوب بوده و با افزایش تکامل خاک کاهش یافته در حالی که مقدار Fe_d در نتیجه هوادیدگی کانی‌های حاوی آهن افزایش می‌یابد. این شاخص توسط بسیاری از محققان به‌عنوان یک شاخص مناسب در مطالعات توالی زمانی خاک‌ها و تعیین سن آنها به‌کار رفته‌است (۱۱ و ۲۴). ژانگ و گونگ (۲۶) نیز روند مشخصی از تغییرات Fe_d و Fe_d/Fe_t با عمق در زمین‌نماهای مختلف تحت کشت برنج با شرایط اکوئیک مشاهده نکردند، گرچه هر دوی این مقادیر با افزایش سن زمین‌نما افزایش یافتند.

میانگین نسبت Fe_o/Fe_d در خاک‌های غیراکوئیک ۰/۰۸ و در خاک‌های اکوئیک ۰/۲۵ بوده‌است (جدول ۴). در شرایط بی‌هوای ضمن این‌که آزادسازی ترکیبات آهن از درون کانی‌های حاوی آهن به دلیل کاهش اکسیداسیون کاهش می‌یابد، امکان رسوب اکسیدهای آهن به‌صورت ترکیبات بلورین نیز محدود می‌گردد. شورتمن (۲۰) اظهار نمودند که مقادیر بالاتر نسبت Fe_o/Fe_d در شرایط اکوئیک احتمالاً مربوط به هوادیدگی کمتر در سطح کانی‌ها و تأخیر در تبلور اکسیدهای آهن در حضور ماده آلی می‌باشد.

با توجه به اثر نسبتاً مشابه شرایط اکوئیک بر تغییر شکل اکسیدهای آهن و منگنز، نتایج نسبتاً مشابهی اما با شدت‌های متفاوت در ارتباط با تغییرات نسبت Mn_o/Mn_d در خاک‌های اکوئیک و غیراکوئیک به‌دست آمد. براساس داده‌های جدول ۴ شرایط اکوئیک موجب گردیده‌است که میزان Mn_o به میزان بیشتری نسبت به میزان Fe_o افزایش یابد (۵/۵ برابر در مقابل ۲/۸ برابر). فقدان اکسیژن، منگنز سریع‌تر از آهن به فرم کاهشی درآمده و در شرایط حضور اکسیژن نیز دیرتر از آهن به فرم اکسایشی (Mn^{3+}) در می‌آید. این عامل موجب گردیده‌است که

برای Mn_d/Fe_d برای خاک‌های این مطالعه می‌تواند بیانگر دوره اشباع طولانی برای خاک‌رخ‌های ۵ و ۶ با شرایط اکوییک باشد.

جمع‌بندی نهایی

به‌عنوان یک جمع‌بندی نهایی می‌توان اظهار نمود که احتمالاً شرایط زه‌کشی به میزان بیشتری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک به‌ویژه اشکال مختلف آهن و منگنز و نسبت‌های تعریف‌شده میان آنها در مقایسه با تغییرات پستی و بلندی تأثیر داشته‌است. بر این اساس شرایط اکوییک موجب افزایش ۵/۵ برابری مقدار Mn_o و Fe_o برابری مقدار Fe_o گردیده و در مقابل این شرایط، موجب کاهش حدود ۲۰ درصدی در مقادیر Mn_d و Fe_d گردیده است. روابط مثبت و معنی‌داری میان Fe_o ، Mn_o ، Fe_d ، Mn_d و Mn_t و میزان رس خاک‌ها مشاهده گردید. هم‌چنین نتایج نشان داد که نسبت‌های Fe_o/Fe_d ، Mn_o/Mn_d و Mn_d/Fe_d در شرایط اکوییک با افزایش ۳/۱، ۴/۳۴ و ۱/۹ برابری مواجه شدند. شرایط اکوییک موجب کاهش ۲/۵۷ برابری در شاخص تبلور آهن گردید. بالاتر بودن مقدار میانگین Mn_d/Fe_d در خاک اکوییک نسبت به خاک غیراکوییک نشان‌دهنده بیشتر بودن میزان منگنز پدوژنیک نسبت به آهن پدوژنیک در شرایط اکوییک بوده‌است.

مقدار میانگین Fe_o/Fe_d نسبت به مقدار میانگین Mn_o/Mn_d در خاک اکوییک به خاک غیراکوییک کمتر باشد (۳/۱۰ برابر نسبت به ۴/۳۴ برابر، جدول ۴). این امر نشان می‌دهد که در شرایط اکوییک مجموع غلظت منگنز بی‌شکل و آلی (Mn_o) بیشتر از مجموع غلظت آهن بی‌شکل و آلی (Fe_o) تحت تأثیر قرار گرفته است. هم‌چنین براساس نتایج جدول ۴ مقدار میانگین نسبت Mn_d/Fe_d در خاک اکوییک ۱/۸۵ برابر مقدار میانگین آن در خاک غیراکوییک بوده‌است (۱۵/۰ در مقابل ۰/۰۸) که نشان‌دهنده بیشتر بودن میزان منگنز پدوژنیک در خاک اکوییک نسبت به خاک غیراکوییک در مقایسه با آهن پدوژنیک می‌باشد. به عبارت دیگر شرایط کاهشی بر تبدیل شکل‌های آلی و غیربلورین منگنز به شکل بلورین منگنز نسبت به آهن کمتر مؤثر بوده‌است.

خان و فتنون (۱۰) در مطالعه توزیع آهن و منگنز در شرایط اکوییک در یک کاتنا مالی‌سول در آیوای امریکا اظهار نمودند که با افزایش دوره‌ای که خاک با شرایط اکوییک مواجه است، نسبت Mn_d/Fe_d نیز افزایش می‌یابد. نامبردگان این امر را در نتیجه کاهش بیشتر میزان Fe_d نسبت به Mn_d در شرایط اکوییک اعلام نمودند. آنها مقادیر ۰/۰۵ تا ۰/۰۸ را برای خاک‌هایی با دوره اشباع کوتاه و مقادیر ۰/۱۵ تا ۰/۱۷ را برای خاک‌هایی با دوره اشباع طولانی گزارش نمودند. نسبت ۰/۱۵ به‌دست آمده

منابع مورد استفاده

۱. اولیایی، ح. ر. ۱۳۸۴. مطالعه کانی‌شناسی رس، میکرومورفولوژی و تکامل خاک‌های استان کهگیلویه و بویراحمد، جنوب غرب ایران. پایان‌نامه دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. ۲۳۲ صفحه.
۲. درویش زاده، ع. ۱۳۷۰. زمین‌شناسی ایران. نشر دانش‌آموز وابسته به مؤسسه انتشارات امیرکبیر، تهران.
3. Bouma, J. 1990. Classification and Management of Wet Soils. Report of ICOMAQ. Circular 10. In: Eighth International Soil. Correlation Meeting, U.S.D.A., Soil Service, Soil Management Support Services, USDA, Washington.
4. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. PP. 891-901. In: C. A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis, part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI.
5. Day, P. R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. PP. 545-567. In: C. A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis, part 1. American Society of Agronomy, Madison, WI.
6. Dixon J. B. and H. C. W. Skinner. 1992. Manganese minerals in surface environments. PP. 31-50. In: Skinner HC, Itzpatrick R.W. (Eds.), Biomineralization Processes of Iron and Manganese Modern and Ancient Environments. Catena Verlag, Cremlingen.
7. Huang, L., J. Hong, W. F. Tan, H. Q. Hu, F. Liu and M. K. Wang. 2008. Characteristics of micromorphology and element distribution of iron-manganese cutans in typical soils of subtropical China. Geoderma 146: 40-47.

8. Jackson, M. L. 1975. Soil chemical analysis-advanced course. Univ. of Wisconsin, College of Agric., Dept. of Soil Sci., Madison, WI.
9. Khan, F. A. and T. E. Fenton. 1994. Saturated zones and soil morphology in a Mollisol catena of central Iowa. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 58:1457-1464.
10. Khan, F. A. and T. E. Fenton. 1996. Secondary iron and manganese distributions and aquic conditions in a Mollisol catena of Central Iowa. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 60: 546-551.
11. Lair, G. J., F. Zehetner, M. Hrachowitz, N. Franz, F. J. Maringer, and M. H. Gerzabek. 2009. Dating of soil layers in a young flood plain using iron oxide crystallinity. *Quaternary Geochronol.* 4:260-266.
12. Lindsay, W. A. 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. John Wiley and Sons, New York.
13. McKeague, J. A., J. E. Brydon and N. M. Miles. 1971. Differentiation of form of extractable iron and aluminum in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35: 33-38.
14. McKenzie, R. M. 1989. Manganese oxides and hydroxides, PP. 439-465. *In: Dixon, J.B. and S. B. Weed, (Eds.), Minerals in Soil Environments*, 2nd ed. Soil Science Society of America, Madison, WI.
15. Mehra, O. P. and M. L. Jackson 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite citrate system with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.* 7: 317-327.
16. Munch, J. C. and J. C. G. Ottow. 1983. Reductive transformation mechanism of ferric oxides in hydromorphic soils. *Environ. Biogeochem. Ecol. Bull.* 35: 383-394.
17. Richards, L. A. (Ed.). 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Handbook No. 60. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
18. Richardson, J. L. and M. J. Vepraskas (Eds.) *Wetland Soils Genesis, Hydrology, Landscapes, and Classification*. CRC Press., USA.
19. Scarciglia, F., P. Tuccimei, A. Vacca, D. Barca, I. Pulice, R. Salzano and M. Soligo. 2011. Soil genesis, morphodynamic processes and chronological implications in two soil transects of SE Sardinia, Italy: Traditional pedological study coupled with laser ablation ICP-MS and radionuclide analyses. *Geoderma* 162: 39-64.
20. Schwertmann, U. 1985. The effect of pedogenic environment on iron oxide minerals. *Adv. Soil Sci.* 1:172-200.
21. Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*, U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
22. Sposito, G., L. J. Lund and A. C. Chang. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 46: 260-264.
23. Thomasson, A. J. and P. Bullock. 1975. Pedology and hydrology of some surface water gley soils. *Soil Sci.* 119: 339-348.
24. Wagner, S., E. A. C. Costantini, D. Sauer and K. Stahr. 2007. Soil genesis in a marine terrace sequence of Sicily, Italy. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24(2): 247-260.
25. WRB. IUSS Working Group. 2006. *World reference base for soil resources*. World Soil Resources Reports No. 103. Rome, FAO.
26. Zhang, G. L. and Z. T. Gong. 2003. Pedogenic evolution of paddy soils in different soil landscapes. *Geoderma* 115: 15-29.