

تأثیر دو واحد فیزیوگرافی بر منشاء و توزیع شکل‌های قابل استخراج اکسید آهن

در برخی خاک‌های جنوب شهرستان اهر

محمد جواد وحیدی¹، علی اصغر جعفرزاده²، شاهین اوستان³ و فرزین شهبازی⁴

تاریخ دریافت: 89/1/18 تاریخ پذیرش: 89/12/8

1 دانشجوی دکترا، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

2، 3 و 4- استاد، دانشیار و استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبه E-mail: Mohammadjavadvahidi@yahoo.com

چکیده

آهن یکی از مهمترین عناصر مؤثر در فرآیندهای تشکیل خاک است. مقدار و توزیع شکل‌های قابل استخراج آهن در خاکرخ بیانگر مرحله و درجه تکامل خاک می‌باشد. با توجه به اهمیتی که واحد فیزیوگرافی در فرآیندهای خاکساختی دارد، می‌توان از طریق مقدار و توزیع شکل‌های آهن به بررسی تأثیر انواع واحدهای فیزیوگرافی در تشکیل و تکامل خاک پرداخت. این تحقیق تأثیر دو واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای به عنوان پایین‌دست (شیب 2 تا 5 درصد) و تپه به عنوان بالادست (شیب 8 تا 15 درصد) را در جنوب شهرستان اهر واقع در استان آذربایجان شرقی مورد بررسی قرار داده است. به این منظور شکل‌های مختلف آهن در سه خاکرخ از هر واحد (مجموعاً شش خاکرخ) با عصاره‌گیرهای پیروفسفات سدیم، اگزالات آمونیوم و دی‌تیونات سدیم اندازه‌گیری شدند. میانگین مقدار اکسید آهن متبلور در واحد فیزیوگرافی پایین‌دست 2/876 و در واحد فیزیوگرافی بالادست 4/76 گرم بر کیلوگرم به دست آمد که از نظر آماری، مقایسه میانگین معنی‌دار می‌باشد. نتایج به دست آمده مؤید افزایش اکسیدهای آهن متبلور و کاهش اکسیدهای آهن غیرمتبلور و پیوند یافته به مواد آلی در واحد بالادست در مقایسه با واحد پایین‌دست است. همچنین در این تحقیق برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری گردید و همبستگی بین شکل‌های مختلف آهن با آنها بررسی شد. با توجه به ارتباط سن خاک با شکل‌های مختلف آهن، می‌توان نتیجه گرفت که خاک‌های واقع در واحد بالادست در مقایسه با پایین‌دست از درجه تکامل بیشتری برخوردارند و این نتایج با نوع واحد از لحاظ ژئومرفولوژیک، درصد رس، عمق سالوم و مقدار نسبی رس کائولینیت مطابقت دارند.

واژه‌های کلیدی: شکل‌های قابل استخراج آهن، واحدهای فیزیوگرافی، فرآیندهای خاکساختی، اهر

Two Physiographic Units Impact on Origin and Distribution of Extractable Iron Oxide Forms in Some Soils of Southern Ahar

MJ Vahidi^{1*}, AA Jafarzadeh², S Oustan³ and F Shahbazi³

Received: April 7, 2010 Accepted: February 27, 2011

¹PhD Student, Soil Sci. Dept., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran.

^{2,3,4}Prof., Assoc. and Assist. Prof., Soil Sci. Dept. Faculty of Agric. Univ. of Tabriz, Iran.

*Corresponding author: E-mail: Mohammadjavadvahidi@yahoo.com

Abstract

Iron is one of the most essential and effective elements in soil forming processes. The amount and distribution of extractable Fe forms in profile indicate the stage and degree of soil development. Because of the physiographic unit importance in pedogenic processes, the effect of physiographic unit in soil forming and development can be investigated based on the amount and distribution of iron forms. This research has been is done in two different physiographic units of piedmont (slope of %2-5%) and hill (slope of %8-15%) as low and highland, which are located in southern Ahar, East Azerbaijan province. For this purpose, various forms of iron in three profiles of each unit (totally six profiles) were measured by pyrophosphate, oxalate and dithionate extractants. The average amount of crystallized iron was obtained 2.876 g kg^{-1} for downstream physiographic unit and 4.76 g kg^{-1} for upstream physiographic unit which statistically means comparison is significant. The mentioned results confirm increment of crystalline iron oxides and decrease of amorphous forms and bounded with organic matter in highland in comparison with lowland. Also in this research, some of soil physical and chemical characteristics were measured using standard methods and correlation between different forms of iron was evaluated. According to the relationship between soil age and different forms of iron, it can be said that the highland soils are more developed than the lowland soils, and these results are accommodated with geomorphologically unit type, clay percentage, solum depth, and relative amount of kaolinite mineral.

Keywords: Ahar, Extractable iron forms, Pedogenic processes, Physiographic units

مقدمه

فیزیوگرافی (دشت دامنه‌ای²، فلات³، دشت آبرفتی رودخانه‌ای⁴ و دشت آبرفتی-ثقلی⁵) در شمال‌غرب ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در واحد فیزیوگرافی فلات، خاکها از شرایط پویاتری نسبت به دیگر واحدها برخوردارند که این امر به دلیل شرایط پایدارتر ژئومورفولوژیک⁶ و سرعت بالای هوادیدگی درجا (با توجه به مقدار رس) بوده و بیشترین مقدار Fe_d و کمترین مقدار Fe_o/Fe_d نیز این نکته را تأیید کرده است. همچنین در این تحقیق مقدار Fe_d خاکهای حاوی مقادیر کم رس (15 تا 25 درصد) به طور معنی-داری از خاکهایی با مقدار رس بیشتر (25 تا 35 درصد) متفاوت بوده است.

علمداری و همکاران (2010) نیز توزیع شکل‌های اکسیدهای آهن خاکهای دشت تبریز در سه واحد فیزیوگرافی تپه، دشت دامنه‌ای و دشت آبرفتی رودخانه‌ای را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که دشت دامنه‌ای با رژیم رطوبتی اریدیک کمترین مقدار Fe_d و بیشترین مقدار Fe_o/Fe_d را دارد. همچنین در خاکهایی با محدودیت زهکشی، Fe_o مقدار بیشتری داشته و آهن استخراج شده با پیروفسفات (Fe_p) نیز همبستگی مثبت معنی‌داری با کربن آلی نشان داده است. در هر حال اطلاعات خیلی کمی درباره درجه تکامل خاک در راستای فرآیندهای خاکساز آهن در خاکهای جنوب شهرستان اهر در ایران در دسترس است. تحقیق حاضر در نظر دارد شکل‌های مختلف آهن و رابطه درونی بین آن‌ها را با برخی خصوصیات مهم خاک در رابطه با فرآیندهای خاکساز⁷ در خاک‌های انتخاب شده مورد بررسی قرار دهد. اقلیم، مواد مادری، موجودات زنده، توپوگرافی و زمان عوامل اصلی خاکساز هستند. تأثیر آنها بر پیدایش خاک می‌تواند از نتایج خصوصیات خاک مانند کانی‌شناسی، مقدار و نوع آهن، مقدار ماده آلی و درجه هوموسی‌شدن⁸ استنباط

آهن یکی از اجزاء ضروری خاک می‌باشد که به شکل‌های مختلف از جمله ذرات مجزا یا توأم با سطوح دیگر کانی‌ها ظاهر می‌گردد. از این رو، مقدار و توزیع اکسیدهای آهن قابل‌استخراج در خاک‌ها ممکن است به عنوان نشانگرهای مرحله و درجه تکامل خاک عمل نمایند (بلومی و شوارتمن 1969، ماهانی و فاهی 1988). توزیع و شکل‌های اکسیدهای آهن ابزار مناسبی برای تشخیص فرآیندهای پدوژنیک و میزان توسعه خاک می‌باشد که در اغلب خاکهای ایران مطالعه نشده است. بخشی از آهن آزاد برای شناسایی انواع خاک و جداسازی افق‌های خاک استفاده می‌گردد (مک‌کیگو و دی 1966، بلومی و شوارتمن 1969، مک‌کیگو و همکاران 1971). در طول هوادیدگی مواد مادری آهن-دار، آهن آزاد شده و در خاک به صورت اکسیدها یا هیدروکسیدهای آهن متبلور یا به طور ضعیف متبلور مجدداً رسوب می‌کند. از آن مقایسه درصد آهن آزاد در تعیین سن نسبی خاکها استفاده می‌شود (الکساندر 1974). توزیع شکل‌های مختلف آهن در خاک برای درک خواص فیزیوشیمیایی خاک حائز اهمیت می‌باشد. توزیع شکل‌های مختلف اکسیدهای آهن خاک، به ویژه آهن قابل استخراج با دی‌تیونات و اگزالات برای شناسایی تجمع اکسیدهای آهن ثانویه افق (مک‌کیگو و دی 1966) و عمق افق آرچلیک¹ (چاترچی و راقومهان 1982) به کار رفته است. نسبت آهن قابل استخراج با اگزالات به آهن قابل استخراج با دی‌تیونات (Fe_o/Fe_d) به عنوان نسبت آهن فعال، برای کمی نمودن فعالیت آهن استفاده می‌شود (کمپف و همکاران 1999). با افزایش سن خاک، اکسیدهای متبلور آهن نسبت به اشکال غیرمتبلور یا با تبلور ضعیف افزایش می‌یابد یعنی مقدار آهن قابل استخراج با دی‌تیونات (Fe_d) زیادتیر می‌شود، بنابراین نسبت آهن فعال (Fe_o/Fe_d) با افزایش سن خاک، کاهش می‌یابد (الکساندر 1974).

رضاپور و همکاران (2009) توزیع شکل‌های اکسیدهای آهن در خاکهای آهکی چهار واحد

² Piedmont plain

³ Plateau

⁴ River alluvial plain

⁵ Colluvial alluvial plain

⁶ Geomorphologic

⁷ Pedogenic processes

⁸ Humification

¹ Argillic

محل حفر خاکرخ روی نقشه در ارتفاعهای مختلف مشخص گردید. بر این اساس محل سه خاکرخ در ناحیه پایین دست با ارتفاع حدود 1300 متر و سه خاکرخ در ناحیه بالادست با ارتفاع حدود 1550 متر از سطح آزاد دریا انتخاب شد. خاکرخ‌های مورد مطالعه بر اساس کلید رده‌بندی خاک آمریکا (بی‌نام 2010) در رده اینسپتی‌سل³ قرار گرفتند (جدول 1). از خاک‌های هر افق نمونه‌برداری شده و پس از هوا خشک شدن و عبور از غربال 2 میلی‌متری برای تجزیه‌های آزمایشگاهی نگهداری گردید.

مطالعات آزمایشگاهی

مطالعات آزمایشگاهی روی نمونه‌های خاک تهیه شده صورت گرفت. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌ها با روش‌های استاندارد توصیه شده توسط جکسون 1973 و کلوت 1986 تعیین گردید. آزمایشات فیزیکی شامل تعیین بافت خاک و آزمایشات شیمیایی شامل درصد کربنات کلسیم معادل، واکنش خاک، قابلیت هدایت الکتریکی⁴، درصد مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی⁵ بودند. شکل‌های مختلف آهن در خاک با عصاره‌گیرهای مختلف به شرح ذیل اندازه‌گیری شدند:

الف) پیروفسفات سدیم (0/1 مولار)، 12 ساعت در pH برابر با 10 (لاولند و دیگبای 1984); ب) اگزالات آمونیوم (0/2 مولار)، 4 ساعت تکان دادن در pH برابر با 3 در تاریکی (مک‌کیگو و دی 1966) و ج) دی‌تیونات - سیترات - بی‌کربنات، 20 دقیقه حرارت دادن بین 70 تا 80 درجه سانتی‌گراد (مهر و جکسون 1960، هلمگرن 1976). آهن موجود در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی شیماتسو مدل 6200 اندازه‌گیری شد.

گرد (بیول و همکاران 2003). از بین عوامل تشکیل خاک، توپوگرافی (واحد فیزیوگرافی)، از طریق فرآیندهای فرسایش و روان‌آب و همچنین آبشویی و انتقال مواد تأثیرگذار می‌باشد که در این تحقیق، اثر دو واحد فیزیوگرافی بر منشاء و توزیع شکل‌های آهن مرتبط با فرآیندهای خاکساختی مطالعه شده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت و مشخصات منطقه

منطقه مورد مطالعه از اراضی جنوب شهرستان اهر واقع در استان آذربایجان شرقی در طول جغرافیایی بین $47^{\circ} 04' 28/3''$ تا $47^{\circ} 07' 19/2''$ شرقی و عرض جغرافیایی $38^{\circ} 24' 28''$ تا $38^{\circ} 27' 49/7''$ شمالی، با مساحتی در حدود 1665 هکتار انتخاب شده که در ارتفاعی حدود 1300 تا 1550 متر از سطح آزاد دریا قرار گرفته است (وحیدی 1386). طبق نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی در ایران رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه به ترتیب زیریک¹ و مزیک² می‌باشد (بنایی 1377). سازندهای موجود در منطقه از نظر سن زمین‌شناسی متعلق به دوران سنوزوئیک و مزوزوئیک بوده و عمدتاً شامل آبرفت‌های قدیمی، کنگلومرا و مارن هستند. همچنین در برخی مناطق شیل-سیلتی، مارن و آهک نیز مشهود است. واحد فیزیوگرافی بالادست، تپه و حداکثر شیب اصلی آن 8-15 درصد و واحد فیزیوگرافی پایین دست، دشت دامنه‌ای و حداکثر شیب اصلی آن 2-5 درصد است (وحیدی 1386). بر اساس مطالعات نیمه‌تفصیلی ارزیابی اراضی، اقدامات اولیه نسبت به تعیین مکان‌های نمونه‌برداری و طول و عرض جغرافیایی همه نقاط مورد مطالعه قبل از اعزام به منطقه، با استفاده از نرم‌افزار Google Earth انجام شد (شکل 1).

مطالعات صحرائی

به منظور انجام مطالعات صحرائی ابتدا به کمک نقشه توپوگرافی، تپه‌ها و واحدهای اراضی موجود در منطقه تعیین و سپس با بازدیدهای مقدماتی از منطقه،

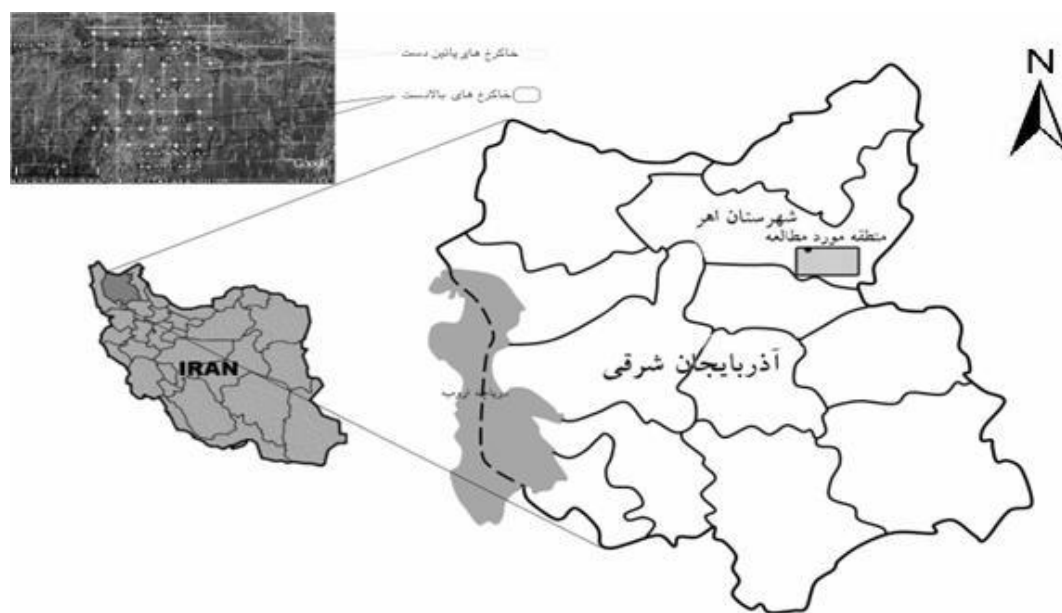
³ Inceptisol

⁴Electrical conductivity (EC)

⁵Cation exchange capacity (CEC)

¹Xeric

²Mesic



شکل 1- موقعیت محدوده مطالعاتی

میانگین 0/128) گرم بر کیلوگرم خاک به دست آمد که روند مشخصی را با عمق نشان نمی‌دهد. بخش آهن استخراج شده با اگزالات آمونیوم از 0/043 تا 0/89 (با میانگین 0/32) گرم بر کیلوگرم خاک متغیر است. همچنین، آهن استخراج شده با دی‌تیونات سدیم، در دامنه 1/805 تا 6/324 (با میانگین 4/181) گرم بر کیلوگرم خاک قرار دارد. جدول 3 نیز نسبت‌های مختلف آهن را نشان می‌دهد. شکل‌های غیرمتبلور¹ آهن (اختلاف بین آهن استخراج شده با عصاره‌گیرهای اگزالات آمونیوم و پیروفسفات سدیم) در خاک‌ها از 0/011 تا 0/575 (با میانگین 0/192) گرم بر کیلوگرم خاک متغیر است که نشان‌دهنده دامنه تغییر زیاد بین خاک‌رخ‌های مختلف است. آهن متبلور (اختلاف بین آهن استخراج شده با دی‌تیونات سدیم و اگزالات آمونیوم) در خاک‌ها، دامنه‌ای بین 1/553 تا 6/022 (با میانگین 3/861) گرم بر کیلوگرم خاک دارا می‌باشد. همبستگی بین شکل‌های مختلف آهن با خواص مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در جدول 4 ارائه شده است.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول 1 ارائه شده است. یافته‌های فیزیکی و شیمیایی، میزان آبشویی بیشتر رس را در خاک‌های دشت دامنه‌ای (خاک‌رخ‌های A، B و C) نسبت به نواحی تپه (خاک‌رخ‌های D، E و F) به دلیل تجمع بیشتر روان‌آب و درصد بیشتر آهک در خاک‌های تپه نسبت به دشت دامنه‌ای را نشان می‌دهد. در نواحی فیزیوگرافی بالادست یا نواحی تپه برخلاف واحد فیزیوگرافی پایین-دست یا دشت دامنه‌ای میزان هدایت الکتریکی از سطح خاک به طرف پایین‌تر خاک‌رخ‌ها کاهش می‌یابد. همچنین در افق‌های خاک‌رخ‌ها در هر دو واحد فیزیوگرافی به ترتیب مقدار pH افزایش و کربن آلی کاهش یافته است. تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی و کربن آلی در خاک‌های دشت دامنه‌ای بیشتر از خاک‌های نواحی تپه می‌باشد. داده‌های مربوط به آهن استخراج شده با عصاره‌گیرهای مختلف در جدول 2 ارائه شده است. مقادیر آهن استخراج شده توسط عصاره‌گیر پیروفسفات سدیم 0/002 تا 0/549 (با

¹ Amorphous

جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

CEC ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	بافت	توزیع اندازه ذرات (g kg^{-1})			CCE (g kg^{-1})	OC (g kg^{-1})	EC (dS m^{-1})	pH (عصاره اشباع)	عمق (سانتی‌متر)	افق
		رس	سیلت	شن						
طول شرقی "20/3 و 05' و 47° و عرض شمالی "49/7 و 27' و 38° خاک‌خا A: <i>Fine, mixed, active, calcareous, mesic, Fluventic Haploxerept</i>										
19/15	SCL	456/67	190/1	353/2	111	19/6	2	7/89	0-19	Ap
18/43	CL	356/70	250	393/3	115/2	4/1	2/77	8/12	20-50	Bk1
15/69	C	316/7	280/2	403/1	147/9	2/1	5/43	8/09	51-85	Bk2
12/48	SCL	476/6	200	323/4	137/5	3	4/47	8/45	>85	C
16/43	CL	401/66	230/07	368/25	127/9	7/2	3/66	8/13	میانگین	
طول شرقی "35/1 و 06' و 47° و عرض شمالی "35/4 و 27' و 38° خاک‌خا B: <i>Fine, mixed, active, calcareous, mesic, Vertic Haploxerept</i>										
12/29	LS	646/7	189/9	163/4	99/5	6	1/23	7/91	0-32	Ap
29/22	C	96/7	303/1	573/2	141/7	7/3	6/17	8/01	33-82	Bk
28/63	C	67/3	299/3	633/4	161/7	0/1	6/78	7/83	>82	C
23/38	C	270/23	273/1	407/66	134/3	4/46	4/72	7/91	میانگین	
طول شرقی "19/2 و 07' و 47° و عرض شمالی "6/4 و 27' و 38° خاک‌خا C: <i>Loamy, mixed, active, calcareous, mesic, Fluventic Haploxerept</i>										
21/33	SCL	383/1	230	386/9	111/2	14	0/14	7/87	0-10	A
7/84	SCL	693/1	90	216/9	90/8	0/2	0/97	8/17	11-40	Bk
13/64	LS	753/1	80/1	166/8	131/1	0/1	0/79	8/67	41-70	C
12/67	CL	233/1	480	286/9	142/2	1/7	1/18	8/18	71-85	Ab
7/93	LS	803/1	50	146/9	128/6	0/1	0/95	8/29	>85	C
12/68	SCL	573/1	186/02	240/88	120/78	3/22	0/8	8/23	میانگین	
طول شرقی "28/3 و 04' و 47° و عرض شمالی "3/5 و 25' و 38° خاک‌خا D: <i>Fine, mixed, active, calcareous, mesic, Typic Haploxerept</i>										
12/96	C	325/8	271/5	402/7	202/5	4	0/87	7/89	0-13	Ap
19/44	CL	363/8	250/1	386/1	203/2	2	0/65	7/98	14-31	Bk1
16/99	CL	354	270	376	209/8	0/5	0/71	8/07	32-68	Bk2
16/39	CL	374	270	356	222/6	1	0/7	8/08	69-110	Bk3
14/61	CL	434/4	219/8	345/8	246/9	1/5	0/64	8/21	>110	C
16/07	CL	307/4	256/2	373/32	217	1/8	0/71	8/04	میانگین	
طول شرقی "29/6 و 05' و 47° و عرض شمالی "54/7 و 24' و 38° خاک‌خا E: <i>Loamy, mixed, superactive, calcareous, mesic, Typic Haploxerept</i>										
20/45	SCL	474	269/9	256/1	199/4	7/5	3/19	7/64	0-20	A
24/73	SCL	543/7	200/1	256/2	169/1	1	0/79	8/03	21-44	Bk1
11/72	CL	424	220	356	257/5	0/5	0/69	8/31	45-94	Bk2
13/93	CL	434/1	240	325/9	250/9	0/5	0/63	8/37	>94	C
17/7	SCL	468/9	232/5	298/55	219/22	2/37	1/32	8/08	میانگین	
طول شرقی "35/4 و 06' و 47° و عرض شمالی "28' و 24' و 38° خاک‌خا F: <i>Fine, mixed, superactive, calcareous, mesic, Typic Calcixerept</i>										
19/15	CL	374/3	229/8	395/9	569/9	19/6	5/65	7/4	0-16	Ap
17/56	C	354	220	426	505/6	8/2	1/02	7/99	17-44	Bk1
18	C	364/2	200	435/8	512/1	4/6	0/9	8/05	45-70	Bk2
11/62	C	244/3	200	555/7	530/6	7/4	1/41	8/12	>70	Bkm
16/58	C	334/2	212/45	453/35	529/55	5/95	2/24	7/89	میانگین	
17/14	CL	403/08	231/73	357	224/79	4/83	2/24	8/04	میانگین کل	

EC: هدایت الکتریکی، OC: کربن آلی، CCE: کربنات کلسیم معادل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی

جدول 2 - آهن استخراج شده (g kg^{-1}) توسط عصاره گیرهای مختلف

Fe_{dith}	Fe_{oxa}	Fe_{pyr}	عمق	افقی
طول شرقی "20/3' و 05° و 47° و عرض شمالی "27' و 38° و 49/7" خاکریز A: <i>Fine, mixed, active, calcareous, mesic, Fluventic Haploxerept</i>				
3/45	0/297	0/139	0-19	Ap
2/02	0/345	0/171	20-50	Bk1
3/78	0/14	0/129	51-85	Bk2
4/513	0/206	0/047	>85	C
3/44	0/247	0/121	میانگین	Ap
طول شرقی "35/1' و 06° و 47° و عرض شمالی "27' و 38° و 35/4" خاکریز B: <i>Fine, mixed, active, calcareous, mesic, Vertic Haploxerept</i>				
3/803	0/46	0/246	0-32	Ap
4/292	0/869	0/294	33-82	Bk
4/005	0/47	0/367	>82	C
4/033	0/6	0/302	میانگین	
طول شرقی "19/2' و 07° و 47° و عرض شمالی "6/4' و 27' و 38° و 6/4" خاکریز C: <i>Loamy, mixed, active, calcareous, mesic, Fluventic Haploxerept</i>				
2/672	0/638	0/228	0-10	A
1/805	0/252	0/106	11-40	Bk
3/327	0/421	0/131	41-70	C
3/188	0/89	0/549	71-85	Ab
2/946	0/301	0/116	>85	C
2/787	0/5	0/226	میانگین	
طول شرقی "28/3' و 04° و 47° و عرض شمالی "3/5' و 25' و 38° و 3/5" خاکریز D: <i>Fine, mixed, active, calcareous, mesic, Typic Haploxerept</i>				
4/493	0/223	0/04	0-13	Ap
4/895	0/21	0/058	14-31	Bk1
5/105	0/159	0/063	32-68	Bk2
5/428	0/178	0/031	69-110	Bk3
5/481	0/108	0/04	>110	C
5/08	0/175	0/046	میانگین	
طول شرقی "29/6' و 05° و 47° و عرض شمالی "54/7' و 24' و 38° و 54/7" خاکریز E: <i>Loamy, mixed, superactive, calcareous, mesic, Typic Haploxerept</i>				
5/119	0/313	0/129	0-20	A
3/902	0/243	0/043	21-44	Bk1
4/082	0/082	0/003	45-94	Bk2
5/907	0/166	0/028	>94	C
4/752	0/201	0/05	میانگین	
طول شرقی "35/4' و 06° و 47° و عرض شمالی "28' و 24' و 38° و 28' و 35/4" خاکریز F: <i>Fine, mixed, superactive, calcareous, mesic, Typic Calcixerept</i>				
6/324	0/332	0/038	0-16	Ap
6/211	0/189	0/03	17-44	Bk1
3/796	0/231	0/024	45-70	Bk2
3/662	0/043	0/002	>70	Bkm
4/998	0/198	0/023	میانگین	
4/181	0/32	0/128	میانگین کل	

Fe_{pyr} : آهن استخراج شده با پیروفسفات Fe_{oxa} : آهن استخراج شده با اگزالات Fe_{dith} : آهن استخراج شده با دی‌تیونات

1984). مقایسه داده‌های به دست آمده برای آهن استخراج شده با پیروفسفات از شش خاکرخ حاکی از آن است که مقدار این شکل از آهن در خاکرخ‌های واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای (به ترتیب خاکرخ‌های C, B و A) بیشتر از واحد فیزیوگرافی تپه است (به ترتیب خاکرخ‌های D, E و F).

آهن قابل استخراج با اگزالات آمونیوم

شکل‌های غیرمتبلور آهن با استفاده از اگزالات آمونیوم از خاکها استخراج گردید، این عصاره‌گیر به طور همزمان هیدروکسیدها و اکسی‌هیدروکسیدهای آهن را استخراج می‌کند (مک‌کیگو و همکاران 1971). اگزالات آمونیوم به استثنای شکل‌های متبلور، هر دو شکل آهن غیرمتبلور و پیوند خورده با ماده آلی را حل می‌کند (پارفیت و چیلدرز 1988). بنابراین اختلاف بین آهن قابل استخراج با پیروفسفات سدیم و اگزالات آمونیوم می‌تواند یک معیار از آهن غیرآلی بی‌شکل باشد (دلوی و چاکرابرتی 1998، دلوی و برا 2001). این شکل آهن در نسبت‌های بزرگتر در افق‌های تجمع‌یافته⁴ در تمام خاکرخ‌ها وجود داشت که این امر نشان‌دهنده انتقال آهن می‌باشد (فارمر و همکاران 1980). با استفاده از عصاره‌های مستخرج توسط پیروفسفات سدیم و اگزالات آمونیوم خاک‌های انتخاب شده، می‌توان یک جداسازی تقریبی بین آهن ترکیب شده با ماده آلی و آهن غیرآلی بی‌شکل انجام داد. از افزایش معنی‌دار اختلاف بین آهن استخراج شده با اگزالات آمونیوم و پیروفسفات سدیم می‌توان به یک تغییر در بخش‌های غیرآلی خاکساختی نسبت به بخشی که با مواد آلی در ارتباط است، پی برد (جرساک و همکاران 1992). به هر حال، آهن غیرمتبلور یک ساختار معین ندارد و فقط به طور ضعیف مشخص می‌گردد، از این رو احتمالاً تفکیک دقیقی بین مواد متبلور و غیر متبلور وجود ندارد. مطالعات نریش و رزیر (1985) نشان داد که اکسیدهای آهن بی‌شکل و ریزبلورین⁵ در خاک‌ها به‌طور غیرمشابه و با ماهیت‌های جداگانه وجود دارند.

کلسیم معادل² همبستگی مثبت و معنی‌داری با آهن - استخراج شده توسط دی‌تیونات سدیم ($r=0/529^{**}$) و پیروفسفات سدیم ($r=0/468^*$) دارد. آهن قابل استخراج با پیروفسفات سدیم همبستگی مثبت و معنی‌داری با آهن قابل استخراج با اگزالات آمونیوم ($r=0/875^{***}$) و دی‌تیونات سدیم ($r=0/4^*$) دارد. همچنین مقدار pH همبستگی منفی و معنی‌داری با کربن آلی ($r=0/649^{***}$) و همبستگی مثبت و معنی‌داری با ظرفیت تبادل کاتیونی ($r=0/495^*$) نشان داد. قابلیت هدایت الکتریکی همبستگی مثبت و معنی‌داری با ظرفیت تبادل کاتیونی ($r=0/509^{**}$) دارد. مقدار رس همبستگی مثبت و معنی‌داری با ظرفیت تبادل کاتیونی ($r=0/58^{**}$) و قابلیت هدایت الکتریکی ($r=0/496^*$) و CCE ($r=0/396^*$) دارد. مقایسات میانگین با آزمون t در جدول 5 نشان داده شده است. میانگین مقدار آهن غیر متبلور در واحد فیزیوگرافی پایین‌دست (دشت دامنه‌ای) 0/2305 گرم بر کیلوگرم خاک و در واحد فیزیوگرافی بالادست (تپه) 0/149846 گرم بر کیلوگرم خاک اندازه‌گیری شد، با این حال این اختلاف معنی‌دار نبود. میانگین مقدار آهن متبلور در واحد فیزیوگرافی پایین‌دست 2/876 گرم بر کیلوگرم خاک و در واحد فیزیوگرافی بالادست 4/76 گرم بر کیلوگرم خاک به دست آمد که از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین مقایسه میانگین با آزمون t برای درجه فعالیت³ (نسبت آهن استخراج شده با اگزالات آمونیوم به دی‌تیونات سدیم) نشان داد که میانگین درجه فعالیت در واحدهای فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای و تپه به ترتیب 0/1385 و 0/038231 بوده و اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین این دو واحد فیزیوگرافی وجود دارد.

آهن قابل استخراج با پیروفسفات سدیم

عصاره‌گیر پیروفسفات سدیم، بخش آهن پیوند خورده با ماده آلی را استخراج می‌کند (لاولند و دیگبای

² Calcium carbonate equivalent (CCE)

³ Degree of activation

⁴ Illuvial

⁵ Microcrystalline

جدول 3 - برخی از اطلاعات آهن خاک‌ها برای مقایسه آهن قابل استخراج با عصاره‌گیرهای مختلف

افق	عمق (سانتی‌متر)	غیر متبلور (g kg ⁻¹) Fe _{oxa} - Fe _{pyr}	متبلور (g kg ⁻¹) Fe _{dith} - Fe _{oxa}	درجه فعالیت Fe _{oxa} / Fe _{dith}
طول شرقی "20/3" و 05' و 47° و عرض شمالی "49/7" و 27' و 38° خاکرخ A: <i>Fine, mixed, active, calcareous, mesic, Fluventic Haploxerept</i>				
Ap	0-19	0/158	3/153	0/086
Bk1	20-50	0/174	1/675	0/17
Bk2	51-85	0/011	3/64	0/037
C	>85	0/159	4/307	0/045
	میانگین	0/126	3/193	0/084
طول شرقی "35/1" و 06' و 47° و عرض شمالی "35/4" و 27' و 38° خاکرخ B: <i>Fine, mixed, active, calcareous, mesic, Vertic Haploxerept</i>				
Ap	0-32	0/214	3/343	0/12
Bk	33-82	0/575	3/423	0/202
C	>82	0/103	3/535	0/117
	میانگین	0/298	3/433	0/146
طول شرقی "19/2" و 07' و 47° و عرض شمالی "6/4" و 27' و 38° خاکرخ C: <i>Loamy, mixed, active, calcareous, mesic, Fluventic Haploxerept</i>				
A	0-10	0/41	2/034	0/238
Bk	11-40	0/146	1/553	0/139
C	41-70	0/29	2/906	0/126
Ab	71-85	0/341	2/298	0/28
C	>85	0/185	2/645	0/102
	میانگین	0/274	2/287	0/177
طول شرقی "28/3" و 04' و 47° و عرض شمالی "3/5" و 25' و 38° خاکرخ D: <i>Fine, mixed, active, calcareous, mesic, Typic Haploxerept</i>				
Ap	0-13	0/183	4/27	0/049
Bk1	14-31	0/152	4/685	0/042
Bk2	32-68	0/096	4/946	0/031
Bk3	69-110	0/147	5/25	0/032
C	>110	0/068	5/373	0/019
	میانگین	0/129	4/905	0/035
طول شرقی "29/6" و 05' و 47° و عرض شمالی "54/7" و 24' و 38° خاکرخ E: <i>Loamy, mixed, superactive, calcareous, mesic, Typic Haploxerept</i>				
A	0-20	0/184	4/806	0/061
Bk1	21-44	0/2	3/659	0/062
Bk2	45-94	0/079	4	0/02
C	>94	0/138	5/741	0/028
	میانگین	0/151	4/551	0/043
طول شرقی "35/4" و 06' و 47° و عرض شمالی "28" و 24' و 38° خاکرخ F: <i>Fine, mixed, superactive, calcareous, mesic, Typic Calcixerept</i>				
Ap	0-16	0/294	5/992	0/052
Bk1	17-44	0/159	6/022	0/03
Bk2	45-70	0/207	3/565	0/06
Bkm	>70	0/041	3/619	0/011
	میانگین	0/175	4/8	0/038
	میانگین کل	0/192	3/861	0/087

Fe_{oxa} - Fe_{pyr}: تفاضل آهن استخراج شده با اگزالات آمونیوم و آهن استخراج شده با پیروفسفات سدیم Fe_{dith} - Fe_{oxa}: تفاضل آهن استخراج شده با دیتینوات سدیم و آهن استخراج شده با اگزالات آمونیوم Fe_{oxa} / Fe_{dith}: نسبت آهن استخراج شده با اگزالات آمونیوم به آهن استخراج شده با دیتینوات سدیم

جدول 4 - ضرایب همبستگی خطی بین شکل‌های مختلف آهن و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

	Fe _{pyr}	Fe _{oxa}	Fe _{dith}	pH	EC	OC	رس	CEC	CCE
Fe _{pyr}									
Fe _{oxa}	0/875***								
Fe _{dith}	0/4*	0/315							
pH	0/098	0/146	0/274						
EC	0/313	0/277	0/103	0/357					
OC	0/002	0/188	0/125	-0/649**	0/227				
رس	0/064	0/045	0/21	0/328	0/496*	0/201			
CEC	0/273	0/386	0/19	0/495*	0/509*	0/279	0/58**		
CCE	0/468*	0/37	0/529**	0/295	0/001	0/315	0/396*	0/002	

Fe_{pyr}: آهن استخراج شده با پیروفسفات سدیم Fe_{oxa}: آهن استخراج شده با اگزالات آمونیوم Fe_{dith}: آهن استخراج شده با دی‌تیونات سدیم
 EC: قابلیت هدایت الکتریکی OC: کربن آلی CCE: کربنات کلسیم معادل CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی
 *: معنی‌دار در سطح احتمال 5% **: معنی‌دار در سطح احتمال 1% ***: معنی‌دار در سطح احتمال 0/1%

جدول 5 - مقایسه میانگین شکل‌های مختلف آهن با آزمون t در دو واحد فیزیوگرافی مورد مطالعه

مقادیر آماری	مقادیر میانگین شکل‌های آهن		واحد‌های فیزیوگرافی و
	متبلور	غیر متبلور	
دشت دامنه‌ای	0/1385	2/876	0/2305
تپه	0/038231	4/76	0/149846
مقدار آماره F	17/9695	1/0943	4/9925
احتمال t	0/0001	0/00	0/1048

Fe_{oxa} / Fe_{dith}: نسبت آهن استخراج شده با اگزالات به آهن استخراج شده با دی‌تیونات

توسط اگزالات آمونیوم باشد. اختلاف بین مقادیر به دست آمده توسط دو روش، مقدار قطعی شکل‌های متبلور آهن را نشان می‌دهد (دلوی و همکاران 1988، دلوی و چاکرابرتی 1998). داخل خاکرخی که تشکیل افق، تثبیت و متوقف شده است، این مقدار با عمق افزایش می‌یابد (دلوی و برا 2001). از این موضوع چنین استنباط می‌شود که حرکت اکسید آهن تا حدودی مستقل از حرکت رس است. انتقال رس همراه با آهن در خاک‌های شرق هندوستان توسط دلوی و برا (2001) و دلوی و مازومدار (2003) گزارش شده است. در همه خاک‌های مورد مطالعه مقادیر آهن عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات - سیترات - بی‌کربنات بیشتر از آهن عصاره‌گیری شده با اگزالات آمونیوم است که نشان

آهن قابل استخراج با دی‌تیونات - سیترات - بی‌کربنات روش دی‌تیونات - سیترات - بی‌کربنات (DCB) (مهر و جکسون 1960) هر دو شکل متبلور و غیرمتبلور اکسیدهای آهن را استخراج می‌کند. به هر حال عصاره‌ها ممکن است شامل آهن ترکیب شده با ماده آلی و مقدار محدود سیلیکات‌های آهن‌دار باشد که دی‌تیونات سدیم، بی‌کربنات سدیم و سیترات سدیم به ترتیب به عنوان احیاکننده³، بافرکننده سیستم (9 تا 7 = pH) و مانعی از رسوب مجدد آهن تلقی می‌شود (برگارد 1988). بنابراین، مقدار آهن آزاد شده توسط دی‌تیونات باید بزرگتر یا مساوی مقدار آزاد شده

³ Reductant

دهنده سن خاکرخ‌های مطالعه شده می‌تواند باشد که نتایج فوق با مقدار کم میانگین آهن متبلور در این خاک-ها تأیید می‌گردد: خاکرخ A < خاکرخ B < خاکرخ C از میانگین کم نسبت فعالیت آهن در واحد فیزیوگرافی تپه در مقایسه با دشت دامنه‌ای استنباط می‌شود که این خاک‌ها می‌توانند مس‌تر و هوازندگی می‌تواند پیشرفت نسبتاً خوبی داشته باشد. بررسی‌های بیشتر مربوط به واحد فیزیوگرافی تپه نشان داد که مقادیر میانگین نسبت فعالیت آهن برای خاکرخ‌های D، E و F به ترتیب 0/035، 0/043 و 0/038 و عملاً نشان دهنده سن خاکرخ‌های مطالعه شده بر اساس ترتیب زیرین می‌باشد:

خاکرخ D < خاکرخ F < خاکرخ E

رابطه شکل‌های مختلف آهن با ویژگی‌های خاک

آهن قابل‌استخراج با دی‌تیونات سدیم همبستگی مثبت و معنی‌داری را با CCE نشان داده است (جدول 4). دلوی و برا (2001) نیز این همبستگی مثبت را نشان-دهنده این دانستند که CCE، انحلال‌پذیری و قابل-دسترس بودن آهن را تحت تأثیر قرار می‌دهد و عنوان کردند این رابطه ممکن است به دلیل تشکیل اکسید و رسوب شکل‌های غیرقابل‌دسترس آهن در مقایسه با شکل‌های قابل‌دسترس‌تر آن‌ها باشد که حاصل افزایش قابلیت‌دسترسی آن در خاک است. همبستگی مثبت مشاهده شده ممکن است به دلیل اکسیدهای آهن آزاد اولیه خاک مشاهده شده باشد (نه اکسیدهای ثانویه)، به عبارت دیگر این همبستگی مثبت ممکن است بین اکسیدهای آهن آزاد و CCE مواد مادری نیز وجود داشته باشد. ظرفیت تبادل کاتیونی یک معیار از کل بارهای منفی کلئید است و در خاک ممکن است از طریق مکان‌های باردار با قابلیت دسترسی آهن همبستگی داشته باشد (هوکس و وب 1963) و در این تحقیق با توجه به ظرفیت تبادل کاتیونی نسبتاً پایین ناشی از جوان بودن خاکها، همبستگی بین ظرفیت تبادل کاتیونی با شکل‌های مختلف آهن مشاهده نگردید.

می‌دهد ممکن است یک بخش قابل‌ملاحظه به شکل متبلور وجود داشته باشد.

نتایج این تحقیق نشان داد که شکل متبلور آهن در واحد فیزیوگرافی تپه بیشتر از واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای است که می‌تواند تکامل بیشتر واحد فیزیوگرافی تپه را نسبت به دشت دامنه‌ای نشان دهد و بالا بودن میانگین درصد رس و عمق سالوم (جدول 1) و مقدار نسبی رس کائولینت بیشتر در واحد فیزیوگرافی تپه نسبت به دشت دامنه‌ای (وحیدی 1386) مؤید این مطلب است. احتمالاً در واحد فیزیوگرافی تپه، خاکها از شرایط پویاتری نسبت به دشت دامنه‌ای برخوردارند که این امر می‌تواند به دلیل شرایط پایدارتر ژئومرفولوژیک و سرعت بالای هوازدگی درجا (با توجه به مقدار رس) باشد. همچنین از لحاظ موقعیت زمین‌شناسی این واحد فیزیوگرافی در تراس‌های قدیمی قرار گرفته در حالی که واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای در رسوبات اخیر تشکیل یافته است. نتایج به دست آمده برای واحد فیزیوگرافی تپه در این تحقیق با نتایج حاصل از تحقیق رضاپور و همکاران (2009) برای واحد فیزیوگرافی فلات در شمال‌غرب ایران تشابه دارد. نسبت آهن استخراج شده با اگزالات آمونیوم به دی‌تیونات سدیم در تمام سالوم‌های خاک کمتر از یک بود و این موضوع، این نظر را که اکسیدهای آهن آزاد در اغلب خاکها در یک مرحله پیشرفته از تبلور¹ هستند را تقویت می‌کند (ماهانی و همکاران 1991). با افزایش سن خاک، اکسیدهای آهن متبلور نسبت به شکل‌های با تبلور ضعیف افزایش می‌یابد. این روند به وسیله نسبت‌های آهن استخراج شده با اگزالات آمونیوم به دی‌تیونات سدیم که با افزایش سن خاک، کاهش یافته است، منعکس می‌گردد (ماهانی و فاهی 1988). بر این اساس ماهانی و همکاران (1991) نشان دادند که در نسبت‌های بالا، خاکها جوانتر و در نسبت‌های پایین، خاکها مس‌تر هستند. مقادیر میانگین نسبت فعالیت آهن در خاکرخ‌های A، B و C به ترتیب 0/084، 0/146 و 0/177 گزارش شد و بر این اساس ترتیب زیر نشان-

¹ Crystallinity

رابطه درونی بین شکل‌های مختلف آهن

نتیجه‌گیری

با توجه به ارتباط بین سن خاک با شکل‌های مختلف آهن، افزایش اکسیدهای آهن متبلور و کاهش اکسیدهای آهن غیرمتبلور و پیوندیافته به مواد آلی در واحد بالادست نسبت به واحد پائین‌دست، نشان‌دهنده تکامل بیشتر خاک‌های واقع در واحد بالادست می‌باشد که این موضوع با نوع واحد از لحاظ ژئومورفولوژیکی، موقعیت زمین‌شناسی، درصد رس، عمق سالوم و مقدار نسبی رس کائولینیت تأیید می‌گردد.

نتایج نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین آهن استخراج شده با اگزالات آمونیوم و پیروفسفات سدیم وجود دارد. این یافته با نتایج گزارش شده برای خاک‌های شرق هندوستان مطابقت دارد (دلوی و برا 2001). از این همبستگی مثبت استنباط می‌شود که آهن استخراج شده توسط پیروفسفات سدیم و اگزالات آمونیوم از عوامل خاکساختی مشابه تبعیت می‌کنند.

منابع مورد استفاده

- بنایی مح، 1377. نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی ایران، موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران.
- وحیدی مح، 1386. تأثیر کاربری‌اراضی و فیزیوگرافی بر ویژگی‌های مینرالوژیک، فیزیکی و شیمیایی خاک‌های جنوب اهر. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد (خاک‌شناسی). دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.
- Alamdari P, Jafarzadeh AA, Oustan S and Toomanian N, 2010. Iron oxide forms and distribution in a transect of Dasht-e-Tabriz soils, northwest Iran. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 8(3&4): 976-979.
- Alexander EB, 1974. Extractable iron in relation to soil age on terraces along the Truckee river, Nevada. *Soil Sci Soc Am J* 38:121-124.
- Anonymous, 2010. Keys to Soil Taxonomy. 11th edition. Soil Survey Staff. Soil Conservation Service, US Dept of Agriculture, Washington DC.
- Blume HP and Schwertmann U, 1969. Genetic evolution of profile distribution of aluminum, iron and manganese oxides. *Soil Sci Soc Am* 33: 438-444.
- Borggard OK, 1988. Phase identification by selective dissolution technique. Pp. 93-98. In: Stucki SW Goodman BA and Schwertmann U (eds). *Iron in Soils and Clay Minerals*. Reidel Publishing Company, Boston, Texas.
- Buol SW, Southard RJ, Graham RC and McDaniel PA, 2003. *Soil Genesis and Classification*, 5th edition. Iowa State Press - Blackwell, Ames, IA.
- Chatterjee Rk and Raghunohan NG, 1982. Micromorphology of some typical soils occurring in a sequence of increasing drainage. *Indian Agriculturist* 26: 19-28.
- Dolui AK Chandran P and Nayek AK, 1988. Nature and profile distribution of iron in some soil series of Jalpaiguri district. *National Academi of Sciences, India* 58: 1-6.

- Dolui AK and Chakraborty N, 1998. Differentiation of forms of extractable aluminum in relation to pedogenic processes in two Alfisols and an Entisol. *International Journal of Tropical Agriculture (IJTA)* 16: 257-266.
- Dolui AK and Bera R, 2001. Relation between iron forms and pedogenic processes in some Alfisols of Orissa, India. *Agrochimica* 45: 161-170.
- Dolui AK and Mazumdar A, 2003. Relation between forms of aluminum and pedogenic processes in some Alfisols of Bihar and west Bengal. *Crop Res* 25: 69-77.
- Farmer VC Russell JD and Berrow ML, 1980. Imogolite and protoimogolite allophane in spodic horizon: evidence for a mobile aluminum silicate complex in podzol formation. *European Journal of Soil Science* 31(4): 673-684.
- Holmgren GG, 1976. A rapid citrate-dithionate extractable iron procedure. *Soil Sci Soc Am Proc* 31: 210-211.
- Howkes HE and Webb JS, 1963. Geochemistry in mineral exploration. *Soil Science* 95(4): 219-290.
- Jackson ML, 1973. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall of India. Private Limited. New Delhi.
- Jersak JM, McColl JG and Hetzel JF, 1992. Changes in extractability of iron, aluminum and silicon and dispersibility by storage of California forest soils. *Commun of Soil Sci Plant Anal* 23: 993-1018.
- Klute A (ed). 1986. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society America. Madison, Wisconsin.
- Kämpf N, Scheinost AC and Schulze DG, 1999. Oxide minerals. Pp. 125-133. In: Malcome S (ed). *Hand book of Soil Science*. CRC Press, Washington.
- Loveland PJ and Digby D, 1984. The extraction of Fe and Al by 0.1 M pyrophosphate solutions: A comparison of some techniques. *European Journal of Soil Science* 35: 243-250.
- Mahaney WC and Fahey BD, 1988. Extractable Fe and Al in late Pleistocene and Holocene paleosols in Niwot Ridge, Colorado Front Range. *Catena* 15: 17-26.
- Mahaney WC Honcock RGV and Sanmugadas K, 1991. Extractable Fe-Al and geochemistry of late Pleistocene Paleosol in the Dalijia Shan, Western China. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences* 6: 75-82.
- Mc Keague JA and Day JH, 1966. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soil. *Canadian Journal of Soil Science* 46: 13-22.
- Mc Keague JA Brydon JE and Miles NM, 1971. Differentiation of forms of extractable iron and aluminum in soils. *Soil Sci Soc of Am Proc* 35: 33-38.
- Mehra OP and Jackson ML, 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals* 7: 317-327.
- Norrish K and Rossier H, 1983. *Mineral Phosphate Soils: An Australian viewpoint*. CSIRO Melbourne/Academic Press, London.

Parfitt RL and Childs CW, 1988. Estimation of forms of Fe and Al: A review and analysis of contrasting soils by dissolution and Moessbauer methods. *Australian Journal of Soil Research* 26: 121-144.

Rezapour S, Jafarzadeh AA, Samadi A and Oustan S, 2010. Distribution of iron oxides forms on a transect of calcareous soils, northwest of Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science* 56:165-182.