

Comparing Soil Development in Two Topo-sequences with Different Parent Materials in Part of Karoon 3 Basin, East of Khuzestan Province

VAHID MORADI NASAB¹, SAEID HOJATI^{1*}, AHMAD LANDI¹, ANGEL FAZ CANO²

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

2. Department of Agrarian Science and Technology, Technical University of Cartagena, Cartagena, Murcia, Spain.

(Received: Sep. 29, 2020- Revised: Nov. 1, 2020- Accepted: Dec. 14, 2020)

ABSTRACT

Soil evolution is affected by both parent material and topography as the two main factors of soil formation. This study was conducted to compare the effect of marl and calcareous parent materials in different slope positions, including the summit, back-slope, foot- and toe-slopes on soil development using evolutionary indicators along two topo-sequences in the Karoon 3 Basin, east of Khuzestan Province. Accordingly, four soil profiles in each of the two topo-sequences were dug and sampled based on their genetic horizons and properties including Fed, Feo, Fep and the magnetic susceptibility at 0.46, and 4.6 kHz frequencies were measured. The results showed that pedogenic iron (Fed) was higher for both parent materials in all slope positions at subsurface horizons as compared to those at the surface horizons. The results also showed that with increasing soil depth, especially in developed horizons such as Btk, the Fed-Feo index increased. In addition, the Feo/Fed ratio in all slope positions showed a decreasing trend with depth. The results also showed that the lowest χ_{LF} value corresponds to the C horizon in all slope positions in both the parent materials. The amount of χ_{LF} showed a positive and significant relationship with the clay contents of the soils. Still, no meaningful relationship was observed with the calcium carbonate content of the soils. The higher value of χ_{fd} index at the soils developed on the marl parent materials (in all slope positions) compared to those of the calcareous parent materials indicates more weathering in these soils than their corresponding soils in calcareous parent materials.

Keywords: Slope Position, Pedogenic Iron, Magnetic Susceptibility, Weathering.

مقایسه تکامل خاک در دو ردیف پستی و بلندی با مواد مادری متفاوت در بخشی از حوضه آبخیز سد کارون ۳، شرق استان خوزستان

وحید مرادی نسب^۱، سعید حجتی^{۱*}، احمد لندی^۱، آنجل فازکانو^۲

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

۲. گروه علوم و فناوری زراعی، دانشگاه پلی تکنیک کارتاخنا، مورسیا، اسپانیا.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۸/۱۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۹/۲۴)

چکیده

ماده مادری و پستی و بلندی از عوامل تشکیل دهنده خاک بوده که با تاثیر بر پارامترهای مختلف، تکامل خاک را تحت تاثیر قرار می دهند. این مطالعه با هدف مقایسه اثر مواد مادری مارنی و آهکی در موقعیت های مختلف شیب شامل قله شیب، شیب پستی، پای شیب و پنجه شیب بر برخی شاخص های تکاملی خاک در بخشی از حوضه آبخیز سد کارون ۳ انجام شد. بر این اساس، از لایه های مختلف چهار خاکرخ مختلف در هر یک از دو ردیف پستی و بلندی حفر شد و بر اساس نوع افق های ژنتیکی از آن ها نمونه برداری و ویژگی های Fep ، Feo ، Fed و پذیرفتاری مغناطیسی آن ها در دو فرکانس ۰/۴۶ و ۴/۶ کیلوهرتز اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که مقادیر آهن پدوژنیک (Fe_d) برای هر دو مواد مادری در همه موقعیت های شیب در افق های زیرسطحی بیشتر از افق های سطحی بود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش عمق خاک، شاخص Fe_d-Fe_o افزایش یافته و در افق های تکامل یافته مثل Btk بیشتر از سایر افق ها است. به علاوه، نسبت Fe_o/Fe_d در تمامی موقعیت های شیب با عمق روند کاهشی نشان داد. همچنین نتایج نشان داد که کمترین مقدار Lf در هر دو نوع مواد مادری مربوط به افق C در تمامی موقعیت های شیب از قله تا پای شیب است. مقدار Lf با بخش رس خاک ها رابطه مثبت و معنی داری را نشان داد، ولی بین این شاخص و کربنات کلسیم خاک ها ارتباط معنی داری دیده نشد. بیشتر بودن مقدار شاخص x_{fd} در مواد مادری مارنی (در تمامی موقعیت های شیب) نسبت به مواد مادری آهکی حاکی از هوادیدگی بیشتر این خاک ها نسبت به خاک های متناظر آن ها در مواد مادری آهکی است.

واژه های کلیدی: موقعیت شیب، آهن پدوژنیک، پذیرفتاری مغناطیسی، هوادیدگی.

مقدمه

تکامل خاک متأثر از عوامل ۵ گانه تشکیل دهنده خاک است. Jenny برای اولین بار در سال ۱۹۴۱ مواد مادری را به عنوان حالت اولیه سیستم خاک تعریف کرد. مواد مادری یکی از اجزای اصلی تشکیل دهنده خاک است و بخش جدایی ناپذیر از معادله ینی یا هر معادله ای که در مورد تشکیل خاک معرفی شده است. مطالعات زیادی وجود دارد که اثر مواد مادری را بر توزیع خاک مشخص می کنند (Gray et al., 2016). از آن جمله می توان به مطالعه Norouzfard et al. (2010) اشاره نمود. نامبردگان با بررسی اثر مواد مادری آذرین، دگرگون و رسوبی در استان چهار محال و بختیاری، گزارش کردند که تنوع مواد مادری تاثیر قابل توجهی بر ویژگی های فیزیکی، شیمیایی، نوع و مقدار کانی های رسی و رده بندی خاک ها ایجاد نموده است. Tazikeh et al. (2017) در بررسی اثر بین مواد مادری خاک در شمال غرب ایران گزارش

نمودند که خاک هایی با درجه تکامل ضعیف بر روی مواد مادری ماسه سنگ، لای سنگ و سنگ آهک تشکیل شده در رده انتی سولز قرار می گیرند. این خاک ها مشابه به مواد مادری خود بوده و دارای بافت درشت و متوسط هستند. خاک هایی با تکامل بیشتر بر روی شیل و مارن تشکیل یافته و در سیستم طبقه بندی در رده اریدیسولز قرار می گیرند. خاک هایی که بر روی مواد مادری شیل تشکیل یافته در تحت رده کلسیدز قرار گرفته و دارای بافت شدیداً رسی، ساختمان مناسب و اختلاف رنگ معناداری با مواد مادری خود می باشد.

پستی و بلندی از دیگر فاکتورهای خاکسازي است که با اثرگذاری بر مقدار دریافت نزولات و نفوذ در خاک، میزان روان آب و فرسایش، انتقال مواد و همچنین اختلاف در شرایط زهکشی بر تکامل خاک اثرگذار می باشد (Schaetzl and Anderson, 2005). پستی و بلندی در ارتباط با شکل ظاهری سطح زمین بوده و با

به‌وسیله پیروفسفات سدیم (Fe_0-Fe_p) می‌توان به مقدار آهن موجود به‌شکل آمورف یا غیربلوری پی برد (Alexander and Holowaychuk, 1983). Torabi and Moradinasab (2015) در بررسی اشکال مختلف آهن و منگنز به‌عنوان شاخصی از تکامل در تراس‌های رودخانه کرج دریافتند که با افزایش روند تکاملی خاک تراس‌ها، مقدار آهن آزاد (پدوژنیک) افزایش یافته است و این روند افزایشی در رابطه با مقادیر Fe_0-Fe_p و Fe_d-Fe_0 نیز وجود دارد. Hosseini *et al.*, (2015) در مقایسه شاخص‌های تکامل خاک در منطقه کرمان- بافت بیان نمودند که افزایش تکامل خاک‌ها (مقایسه خاک‌های اقلیم خشک با اقلیم مرطوب) سبب افزایش اکسیدهای آهن متبلور شده است. لازم به ذکر است که بر اساس منابع موجود اشکال مختلف آهن در خاک‌ها بسیار متأثر از نوع مواد مادری و شرایطی مانند رطوبت خاک، دما، Eh، pH، ماده آلی و شرایط آزادسازی آهن از کانی‌های حاوی آهن است. رهاسازی آهن از کانی‌های سیلیکاتی حاوی آهن و تبدیل آن به اکسیدهای آهن به فعال بودن فرآیندهای خاکسازی در زمان تشکیل خاک‌ها اشاره دارد (Hu *et al.*, 2009).

پذیرفتاری مغناطیسی ویژگی است که میزان مغناطیسی شدن یک جسم را در یک میدان مغناطیسی نشان می‌دهد (Dearing, 1994). پذیرفتاری مغناطیسی روشی سریع، غیر مخرب، ساده و ارزان می‌باشد که در دامنه گسترده‌ای از مطالعات خاکشناسی دارای کاربرد است (Jordanova, 2016). پذیرفتاری مغناطیسی در دو فرکانس پایین (χ_{lf}) و بالا (χ_{hf}) اندازه‌گیری می‌شود. این فرکانس‌ها بسته به شدت میدان مغناطیسی قابل اندازه‌گیری می‌باشد. پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (χ_{fd}) ویژگی است که با تشکیل کانی‌های فرومغناطیس ثانویه (مگنتیت و مگهمیت) کنترل می‌شود که به‌دنبال پدیده افزایش خاصیت مغناطیسی پدید می‌آیند (Dearing, 1996).

پذیرفتاری مغناطیسی خاک عمدتاً توسط کانی‌های مگنتیت و مگهمیت ایجاد می‌شود (Jordanova, 2016). این کانی‌ها ایجاد کننده پذیرفتاری مغناطیسی در خاک هستند و اکسیدهای آهن هیدراته مانند گئوتیت و هماتیت نقش کمتری در ایجاد این ویژگی خاک‌ها دارند (Jordanova, 2016). از آن-جایی که متغیرهای محیطی متعددی مانند نوع لندفرم، مواد مادری، فعالیت‌های بیولوژیکی، ویژگی‌های هیدرولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی و فعالیت انسانی با پذیرفتاری مغناطیسی دارای برهمکنش هستند (Spasov *et al.*, 2004)، از این‌رو، خاکشناس‌ها از پذیرفتاری مغناطیسی برای درک فرآیندهای خاکسازی و پدوژئومورفولوژیکی استفاده می‌کنند (McFadden and Scott, 2013). Magiera *et al.* (2019) در مطالعه پذیرفتاری

واژه‌هایی مانند اختلاف ارتفاع، شیب و موقعیت در زمین‌نما تشریح می‌گردد. پستی و بلندی می‌تواند سبب تسریع و یا کندی تاثیر عوامل اقلیمی بر تشکیل و تکامل خاک‌ها گردد (Daniels, 2016). Etedali Dehkordi *et al.* (2018) در مطالعه ردیف پستی و بلندی در منطقه چلگرد استان چهار محال و بختیاری بیان داشتند که پستی و بلندی با اثر بر شرایط رطوبتی خاک، جابجایی مواد در موقعیت‌های متفاوت شیب را تحت تاثیر قرار داده است. Maranhão *et al.* (2016) در بررسی یک ردیف پستی و بلندی با مواد مادری آهکی بیان داشتند که در ابتدا تغییرات خاک به ویژه عمق خاک و تشکیل و تکامل افق‌ها تحت تاثیر توپوگرافی قرار دارد. مواد مادری که ویژگی‌های مورفولوژی، بافت و خصوصیات شیمیایی خاک‌ها تحت تاثیر را قرار می‌دهند، در درجه دوم اهمیت قرار می‌گیرند.

شاخص‌ها و معیارهای متنوعی در رابطه با ارزیابی وضعیت تکاملی خاک‌ها توسط محققان مختلف استفاده و پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به فراوانی و نوع کانی‌های رسی (Khosravani *et al.*, 2019)، رنگ خاک و میزان شستشوی رس (Koop *et al.*, 2020) و درجه تبلور اکسیدهای آهن پدوژنیک (Torabi and Moradinasab, 2015؛ Jiao *et al.*, 2011) اشاره نمود.

با اندازه‌گیری اشکال مختلف آهن می‌توان تا حدود زیادی به سن نسبی خاک‌ها پی برد. بدین‌منظور از عصاره‌گیرهای مختلفی برای استخراج شکل‌های مختلف آهن استفاده می‌شود که از متداول‌ترین آن‌ها می‌توان به پیروفسفات سدیم (برای استخراج آهن پیوند یافته با مواد آلی)، اکسالات آمونیوم (برای استخراج آهن آمورف) و مخلوط تیمارهای سترات-بی‌کربنات-دی‌تیونیت اشاره نمود که علاوه بر آهن متبلور پدوژنیک، قادر است آهن آمورف و آهن پیوند یافته با مواد آلی را نیز استخراج نماید بر این اساس، تفاضل آهن استخراج شده به‌وسیله اکسالات آمونیوم از آهن استخراج شده به‌وسیله سترات-بی‌کربنات-دی‌تیونیت (Fe_d-Fe_0) نشان‌دهنده اکسیدهای آهن متبلور آزاد است که به‌صورت پدوژنیک در خاک تشکیل شده و مطالعات مختلف حاکی از آن است که با افزایش سن خاک، مقدار آن افزایش می‌یابد. Torabi and Moradinasab (2015) و Sarmast *et al.* (2017) در بررسی‌های خود این شاخص را برای بررسی تکامل مورد استفاده قرار داده‌اند و مشاهده نمودند که با افزایش تکامل خاک، این شاخص افزایش یافته است. هم‌چنین نسبت (Fe_0/Fe_d) نیز با افزایش سن خاک، کاهش می‌یابد (Alexander and Holowaychuk, 1983؛ Tsai *et al.*, 2007). از تفاضل آهن استخراج شده به‌وسیله اکسالات آمونیوم از آهن استخراج شده

جغرافیایی $31^{\circ} 34' 34''$ تا $31^{\circ} 50' 60''$ شمالی در ۵۵ کیلومتری شرق شهرستان ایذه، در محدوده شهر دهمذ واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع منطقه از سطح دریاهای آزاد ۸۰۰ تا ۳۰۰۰ متر می‌باشد. از لحاظ شرایط آب و هوایی به‌استناد آمار نزدیک-ترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک (ایذه)، میانگین بارندگی سالیانه (۱۰ ساله) حدود ۶۰۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه‌ی هوا ۱۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میزان رطوبت نسبی از $29/6$ تا $63/3$ درصد در طول سال متغیر است. بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی رژیم‌های حرارتی و رطوبتی خاک‌ها در حوضه مورد مطالعه به ترتیب ترمیک و زریک می‌باشد.

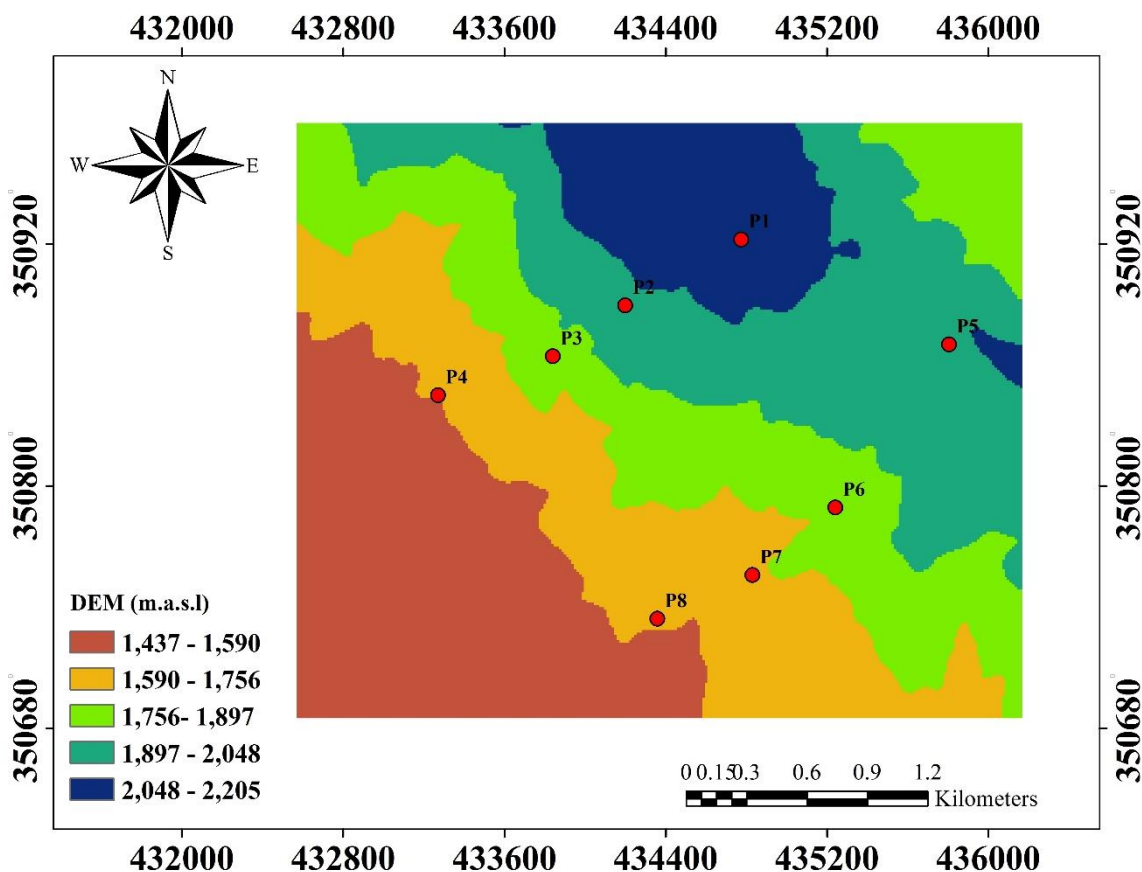
از لحاظ وضعیت زمین‌شناسی نیز سازندهای متنوعی در حوزه‌ی آبخیز سد کارون ۳ شناسایی شده است که عمدتاً متعلق به دوران دوم و سوم زمین‌شناسی یا میانه زیستی (Mesozoic) و نوزیستی (Cenozoic) می‌باشند. سازند آسماری - جهرم به-عنوان قدیمی‌ترین سازند، گچساران، آغاچاری، بختیاری و رسوبات دوران چهارم به‌عنوان جوانترین سازند در بخش‌های مختلف حوزه مشاهده می‌شود (شکل ۲). سازندهای موجود در ردیف‌های پستی و بلندی، سازند آسماری- جهرم می‌باشد (Talebian et al., 1999).

اراضی جنگلی بیان داشتند که علاوه بر مواد مادری، فرآیندهای خاکساز نیز بر پذیرفتاری مغناطیسی تاثیرگذار می‌باشند. با توجه به استفاده روزافزون از منابع خاک و بهره‌برداری صحیح از آن به‌منظور نیل به توسعه پایدار، شناسایی خاک‌ها و نحوه تشکیل و پراکنش آن‌ها می‌تواند اطلاعات اساسی را برای استفاده صحیح از خاک‌ها مشخص نماید. با این حال، در شرق استان خوزستان علیرغم تنوع اقلیمی، مواد مادری، پستی و بلندی و پوشش‌های گیاهی، مطالعات اندکی برای بررسی تکامل خاک‌ها انجام شده است. با این توضیح، این مطالعه با هدف بررسی برخی شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی تکامل خاک، به‌ویژه اشکال مختلف آهن و پذیرفتاری مغناطیسی در ارزیابی وضعیت تکاملی خاک در دو ردیف پستی و بلندی با مواد مادری متفاوت در بخشی از حوضه آبخیز سد کارون ۳ در استان خوزستان انجام گردید.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سد کارون ۳ با مساحت حدود ۱۷۰۰۰ هکتار بین طول جغرافیایی $50^{\circ} 08' 06''$ تا $50^{\circ} 20' 03''$ شرقی و عرض

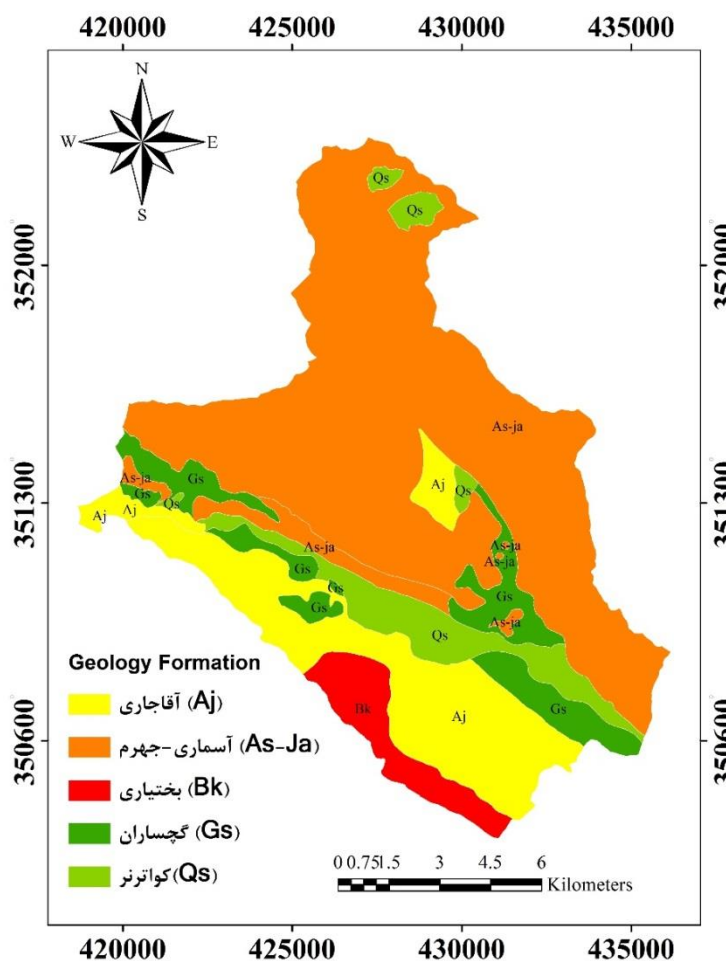


شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پروفیل‌ها در ردیف‌های پستی و بلندی

نمونه برداری

صحرائی تشریح صحرائی خاکها (Schoeneberger et al., 2012) در کارت‌های تشریح پروفیل ثبت شدند. سپس از افق‌های ژنتیکی هر خاکرخ نمونه‌هایی تهیه و برای مطالعات دقیق‌تر به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌ها در آزمایشگاه در هوای آزاد خشک و پس از کوبیدن، از الک دو میلی متری عبور داده شده و برای انجام تجزیه‌های فیزیکی، شیمیایی و پذیرفتاری مغناطیسی مورد استفاده قرار گرفتند. کاربری ارضی در این دو ردیف پستی و بلندی شامل جنگل بلوط، جنگل با اشکوب کشاورزی و کشاورزی به‌صورت دیم می‌باشد.

با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، دو ترانسکت بر اساس اهداف تعیین شده با مواد مادری مارنی (Marl) و آهکی (Lime) در موقعیت‌های مختلف شیب (قله، شیب پستی، پای شیب و پنجه شیب) مشخص گردید. خاکرخ‌ها حفر و به روش ارائه شده توسط ستاد مطالعات خاکشناسی امریکا (Soil Survey staff, 2014) تشریح گردیدند. بر این اساس، ابتدا افق‌های مختلف هر خاکرخ شناسایی و خصوصیت هر افق از قبیل ضخامت، مرز افق، رنگ، ساختمان، پایداری خاکدانه‌ها، وضعیت ریشه‌ها و جوشش خاک با اسید کلریدریک بر اساس راهنمای



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی حوضه آبخیز و موقعیت نقاط نمونه برداری

گیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) به روش استات سدیم در pH=8.2 (Sumner and Miller, 1996) انجام گرفت. عصاره-گیری آهن پدوژنیک (آزاد) به وسیله ترکیب سترات-بی کربنات-دی تیونات (Mehra and Jackson, 1960)، آهن بی شکل (تاریکی) با استفاده از اکسالات آمونیم و اسید اکسالیکی (Schwertmann et al., 1989) و آهن پیوند یافته با مواد آلی به وسیله پیروفسفات سدیم (McKeague et al., 1971) انجام گردید. غلظت آهن با

مطالعات آزمایشگاهی

تعیین بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، اندازه گیری pH در گل اشباع به وسیله الکترود شیشه‌ای، اندازه گیری میزان شوری خاک (ECe) در عصاره گل اشباع، اندازه گیری آهک با روش تیتراسیون برگشتی، اندازه گیری مقدار گچ به روش استن (Nelson, 1983)، اندازه گیری درصد کربن آلی به روش والکی و بلاک (Walkley and Black, 1934) و اندازه

نسخه‌های ۲۰۱۶ و ۱۸ انجام شدند.

استفاده از دستگاه ICP-MS مدل Agilent 7900 اندازه‌گیری شد. پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های خاک به وسیله دستگاه Bartington Dual Frequency, MS2 Meter در دو فرکانس پایین ۰/۴۶ (χLF) و ۴/۶ فرکانس بالا (χHF) کیلوهرتز در ۳ تکرار اندازه‌گیری شد (Dearing et al., 1996). پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (χfd) نیز بر اساس فرمول (۱) محاسبه شد.

$$\chi_{fd} = 100 \frac{(\chi_{LF} - \chi_{HF})}{\chi_{LF}} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

ترسیم نمودارها و بررسی آماری ارتباط بین خصوصیات مورد مطالعه به ترتیب با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SPSS

نتایج و بحث

نتایج برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها به ترتیب در جداول (۱) و (۲) نشان داده شده است. در تمامی خاک‌ها و موقعیت‌های شیب، pH خاک‌ها در محدوده خاک‌های قلیایی و غیر شور ($EC < 4 \text{ dS/m}$) و بر اساس مقادیر کربنات کلسیم معادل، پروفیل‌های حفرشده در موقعیت‌های مختلف شیب در کلاس شدیداً آهکی (بیش از ۴۰ درصد) قرار دارند.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های مورفولوژیک خاک‌های مطالعه شده

شماره خاک‌رخ / موقعیت شیب	افق	عمق (cm)	رنگ خاک		ساختمان ^a	پوسته رسی ^b	کاربری
			مرطوب	خشک			
خاک‌های توسعه یافته بر روی مواد مادری مارنی							
(۱) / قله شیب	A	۰-۳۵	7.5YR3/3	7.5YR4/2	2,m,gr	-	
	Bw	۳۵-۷۴	5YR3.5/4	5YR4.5/4	3,m,abk	-	
	Btk1	۷۴-۱۱۳	2.5YR4/3.5	2.5YR5/5	3,m,abk	c,D,P,PF	جنگل بلوط
	Btk2	۱۶۵-۱۱۳	2.5YR3/6	2.5YR4/6	3,m,abk	c,D,D,PF	
C	> ۱۶۵	5YR5/4	5YR6/4	-	-	-	
(۲) / شیب پستی	A	۰-۷/۵	7.5YR5/6	7.5YR7/5	1,f,gr	-	
	Bw	۷/۵-۲۹	10YR4/5	10YR5/3	2,f,sbk	-	جنگل بلوط
	C	> ۲۹	5YR5/4	5YR6/3	-	-	
(۳) / پای شیب	Ap	۰-۲۸	5YR3/4	5YR5/2	1,f,gr	-	
	Bk1	۲۸-۷۶	7.5YR4/6	7.5YR5/4	2,m,sbk	-	کشاورزی (دیم)
	Bk2	۷۶-۱۰۹	7.5YR4/4	7.5YR4/4	3,m,abk	-	
	Bk3	۱۰۹-۱۶۴	5YR4/4	5YR5/3	3,m,abk	-	
C	> ۱۶۴	5YR5/4	5YR6/3	-	-		
(۴) / پنجه شیب	Ap	۰-۳۳	7.5YR3/4	10YR4/4	1,f,gr	-	
	Bw	۳۳-۷۵	7.5YR4/4	10YR4.5/3	3,m,sbk	-	کشاورزی (دیم)
	Bk1	۷۵-۹۷	5YR3/3	7.5YR5/3	3,m,abk	-	
	Bk2	۹۷-۱۳۷	5YR4/3	7.5YR6/3	3,m,abk	-	
خاک‌های توسعه یافته بر روی مواد مادری آهکی							
(۵) / قله شیب	Ap	۰-۲۹	10YR3/3	7.5YR5/4	1,m,gr	-	
	Bk1	۲۹-۶۳	10YR4/3	10YR6/4	3,m,abk	-	
	Bk2	۶۳-۹۸	7.5YR4/3	7.5YR5/4	3,m,abk	-	جنگل بلوط با اشکوب زراعی
	Btk1	۱۳۱-۹۸	5YR4/5	5YR5/6	3,m,abk	f,D,D,PF	
	Btk2	۱۳۱-۱۸۵	5YR4/5	5YR5/3	3,m,abk	c,D,D,PF	
C	> ۱۸۵	5Y7/2	2.5Y8/3	-	-	-	
(۶) / شیب پستی	A	۰-۱۰	7.5YR4/4	10YR5/3	1,vf,gr	-	جنگل بلوط
	C	> ۱۰	10YR7/3	10YR8/2.5	-	-	
(۷) / پای شیب	Ap	۰-۳۰	7.5YR4/3	7.5YR5/3	1,f,gr	-	
	Bk1	۳۰-۶۳	7.5YR4/4	7.5YR6/3	2,m,sbk	-	کشاورزی (دیم)
	Bk2	۶۳-۱۰۷	7.5YR5/3	7.5YR6/5	3,m,abk	-	
	Bk3	۱۰۷-۱۵۲	10YR5/4	10YR6/4	3,m,abk	-	
C	> ۱۵۲	5Y6/3	5Y8/2	-	-		
(۸) / پنجه شیب	Ap	۰-۳۰	5YR4/2	7.5YR4/2	1,f,gr	-	
	Bw	۳۰-۶۷	5YR4/3	5YR5/4	3,m,sbk	-	کشاورزی (دیم)
	Bky1	۶۷-۱۱۵	7.5YR5/4	7.5YR6/4	3,m,abk	-	
	Bky2	۱۱۵-۱۳۷	7.5YR5/4	7.5YR6/4	3,m,abk	-	

^a 1: Weak, 2: Moderate, 3: Strong; vf: Very Fine, f: Fine, m: Medium, co: Coarse; gr: Granular, abk: Angular Blocky, sbk: Subangular Blocky

^b F: Few, C: Commn, D: Discontinuous, D: Distinct, P: Prominents, PF: On all ped faces

یک پروفیل قله شیب تشکیل یافته با ضخامت سولوم ۱۶۵ سانتی‌متر، دارای

پروفیل قله شیب تشکیل یافته بر روی مواد مادری مارن،

مواد مادری مارنی (یک افق A و یک افق Bw بر روی افق C)، از تکامل کمتری برخوردار می‌باشد. تکامل کمتر پروفیلی در این موقعیت را می‌توان در وهله‌ی اول به شیب زیاد آن نسبت داد. شیب‌های تند معمولاً سبب فرسایش لایه سطحی گردیده و امکان نفوذ کمتری به آب باران قبل از بروز رواناب می‌دهد، بنابراین از تشکیل خاک به میزان خیلی بیشتر مانع می‌شود. بنابراین خاک‌ها در اراضی پرشیب دارای خاک‌رخ نسبتاً کم عمق با تفکیک ضعیف افق‌ها در مقایسه با خاک‌های مجاور بر روی شیب‌های آرام می‌باشند (Daniels, 2016).

در پنجه شیب پروفیل با مواد مادری مارن، دارای کاربری کشاورزی در اشکوب جنگل می‌باشد. ضخامت سولوم این پروفیل ۱۶۴ سانتی‌متر، دارای اپی‌پدون اکریک و افق زیرسطحی کلسیک می‌باشد. میزان کربنات کلسیم معادل از ۳۷۹ گرم بر کیلوگرم در افق سطحی به ۵۵۹ گرم بر کیلوگرم در افق کلسیک افزایش یافته که نشان‌دهنده شستشو و تجمع آهک ثانویه بوده و تایید کننده وقوع تغییرات پدوژنیکی در این افق با وجود ساختمان مکعبی می‌باشد. همچنین، با توجه به موقعیت مکانی این پروفیل در ردیف پستی و بلندی که باعث دریافت رسوبات از نقاط بالاتر به این نواحی می‌گردد و تناوب رسوب‌گذاری‌های متعدد مانع از توسعه‌ی پروفیلی بیشتر شده است. پروفیل متناظر برای مواد مادری آهکی، دارای کاربری کشاورزی دیم، سولومی با ضخامت ۱۵۲ سانتی‌متری، با اپی‌پدون اکریک و افق‌های زیرسطحی کلسیک، یک خاک در حال تکامل محسوب می‌گردد.

پروفیل پای شیب تشکیل شده بر روی مواد مادری مارن، ضخامت سولوم بیش از ۱۴۰ سانتی‌متر، با اپی‌پدون اکریک و افق‌های زیرسطحی کمبیک و کلسیک می‌باشد. درصد کربنات کلسیم معادل از سطح به عمق دارای روند افزایشی است، که این افزایش در افق‌های کلسیک به ۵۳۶ گرم در هر کیلوگرم می‌رسد. دیگر پروفیل پای شیب با مواد مادری آهکی، دارای ضخامت ۱۳۷ سانتی‌متری سولوم است که دارای اپی‌پدون اکریک و افق‌های زیرسطحی کمبیک و کلسیک می‌باشد. این پروفیل دارای درصد رس ثابت بوده ولی درصد سیلت از سطح به عمق ۱۴ درصد کاهش یافته است، حال آن‌که درصد شن، ۱۸ درصد افزایش را نشان می‌دهد. روند افزایش کربنات کلسیم معادل با عمق با توجه به ماهیت آهکی بودن مواد مادری مشهود می‌باشد که این انتقال به عمق‌های پایین‌تر نشان‌دهنده وقوع پدیده پدوژنیکی است. در لایه‌های تحت‌الارضی گچ ثانویه شناسایی گردیده که با افزایش عمق دارای روند صعودی بوده و این افزایش به گونه‌ای بوده است که سبب تشکیل افق جیبسیک گردیده است.

ساختمان لایه سطحی در تمامی پروفیل‌ها برای هر دو مواد

افق سطحی غنی از کربن آلی و افق‌های زیر سطحی کمبیک و کلسیک می‌باشند. مقدار کربن آلی خاک در این نیم‌رخ از ۳۸/۳ در لایه سطحی تا ۶/۵ گرم بر کیلوگرم در لایه‌های زیرسطحی نوسان دارد، که دلیل این تفاوت در میزان مواد آلی به نوع کاربری جنگلی که سبب افزوده شدن بقایای گیاهی به لایه سطحی شده، ارتباط پیدا می‌کند. شستشوی آهک و تجمع آن در افق‌های زیرسطحی نیز افزایش یافته که این فرآیند با افزایش تجمع رس در افق‌های زیرین نیز همراه می‌باشد.

حضور همزمان افق‌های تجمع رس و کلسیک، یک ترکیب غیرمنتظره است که بیان‌گر پدوژنز چند مرحله‌ای (پلی‌ژنز) می‌باشد (Khademi and Mermut, 2003).

افق کلسیک حاوی رس انتقال یافته معمولاً عدم تطابق رطوبتی را نشان می‌دهد (Reheis, 1987). از دیدگاه نظری وقوع همزمان فرآیند ایلوویشن رس (تجمع) و تجمع کربنات کلسیم ثانویه با همدیگر در تناقض می‌باشد. زیرا ایلوویشن کربنات و ایلوویشن رس فرآیندهایی هستند که نمی‌توانند در یک افق همزمان انجام بگیرند (Gunal and Ransom, 2006).

پروفیل دیگر قله شیب با مواد مادری آهکی است که دارای کاربری زراعی در اشکوب جنگل بلوط است. این پروفیل دارای ضخامت سولوم ۱۸۵ سانتی‌متری با یک اپی‌پدون مالیک (غنی از کربن آلی) و افق زیرسطحی کلسیک می‌باشد. درصد کربن آلی خاک نیز از ۲۸/۱ در لایه سطحی به ۳/۳ گرم بر کیلوگرم در افق C کاهش یافته است. افزایش درصد کربنات کلسیم معادل بر اساس تعریف سیستم طبقه‌بندی خاک امریکایی که باید حداقل ۵ درصد بیش از افق‌های زیرین خود باشد، در این پروفیل مشاهده شده که به‌عنوان افق کلسیک شناسایی گردیده است.

پروفیل شیب پستی مواد مادری مارنی با پوشش جنگل طبیعی، نسبت به پروفیل سامیت (ضخامت سولوم بیشتر و وجود افق‌های زیرسطحی کلسیک) از تکامل کمتری برخوردار است. این پروفیل دارای ضخامت سولوم ۲۹ سانتی‌متر، دارای اپی‌پدون اکریک و افق زیر سطحی کمبیک می‌باشد. تشکیل افق کمبیک در این پروفیل نشان‌دهنده تغییرات پدوژنیکی است. اما با توجه به عدم ثبات لندفرم و فعال بودن فرآیندهای فرسایشی به‌دلیل افزایش درصد شیب، مانع تکامل بیشتر این پروفیل می‌گردد. میزان مواد آلی خاک نیز روند کاهشی از سطح به عمق را نشان می‌دهد.

پروفیل تشکیل یافته از مواد مادری آهکی در شیب پستی، دارای کاربری جنگلی و افق A با ضخامت ۱۰ سانتی‌متری بر روی یک افق C است. این پروفیل در مقایسه با موقعیت متناظر در

پروفیل‌ها می‌باشد. در افق‌های زیرسطحی، ساختمان بلوکی با درجه وضوح متوسط تا قوی و اندازه خیلی ریز تا متوسط با سطوح زاویه‌دار و کمی مدور و فاقد زوایای تیز مشاهده می‌گردد.

مادری، به صورت گرانولار با اندازه و درجه‌های وضوح متفاوت می‌باشد که در پروفیل ۱، به واسطه پوشش جنگل طبیعی و مواد آلی بیشتر دارای اندازه و درجه وضوح بالاتری نسبت به سایر

جدول ۲- نتایج برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده

افق	عمق (cm)	بافت خاک			کلاس بافت	pH	ECe (dS/m)	کربن آلی		کربنات کلسیم (گرم بر کیلوگرم)	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol(+).kg ⁻¹ -)
		رس	سیلت	شن				گچ	کربن آلی		
خاک‌های توسعه یافته بر روی مواد مادری مارن											
Calcic Argixerolls						خاک‌رخ ۱- قله شیب					
A	۰-۳۵	۳۲	۴۷	۲۱	L	۷/۷۹	۰/۷۶	۳۸/۳	-	۳۸۶	۴۱
Bw	۳۵-۷۴	۲۸	۵۴	۱۸	SiL	۷/۶۵	۰/۹۱	۱۴/۶	-	۳۹۵	۳۵
Btk1	۷۴-۱۱۳	۲۴	۴۳	۳۳	CL	۷/۹۱	۱/۰۶	۱۱	-	۵۳۸	۴۸
Btk2	۱۶۵-۱۱۳	۲۲	۴۳	۳۵	CL	۷/۸۲	۰/۹۵	۶/۹	-	۵۶۹	۵۱
C	> ۱۶۵	۱۶	۵۸	۲۶	SiL	۷/۹	۱/۳۲	۶/۵	-	۴۹۸	۳۱
Lithic Haploxerepts						خاک‌رخ ۲- شیب پستی					
A	۰-۷/۵	۵۰	۳۵	۱۵	L	۷/۸۳	۱/۰۳	۱۴/۷	-	۴۱۲	۲۱
Bw	۷/۵-۲۹	۳۸/۵	۴۱	۲۰/۵	L	۷/۸۱	۱/۱۹	۶/۶	-	۴۲۹	۳۷
C	> ۲۹	۱۸	۵۶	۲۶	SiL	۷/۹۴	۱/۷۷	۴/۳	-	۴۹۱	۳۲
Typic Calcixerpts						خاک‌رخ ۳- پای شیب					
Ap	۰-۲۸	۱۳	۶۵	۲۲	SiL	۷/۹۵	۲/۱۹	۲۰/۲	-	۳۷۹	۴۲
Bk1	۲۸-۷۶	۲۶	۵۱	۲۳	SiL	۸/۰۳	۲/۸۸	۱۱/۵	-	۵۳۶	۴۶
Bk2	۷۶-۱۰۹	۲۳	۵۳	۲۴	SiL	۷/۹	۲/۳۳	۱۰/۷	-	۵۵۱	۴۲
Bk3	۱۰۹-۱۶۴	۱۸	۵۷	۲۵	SiL	۸/۰۱	۲/۶۷	۸/۶	-	۵۵۹	۴۴
C	> ۱۶۴	۲۱	۵۷	۲۲	SiL	۷/۹۴	۲/۴۴	۵/۱	-	۴۸۶	۳۲
Typic Calcixerpts						خاک‌رخ ۴- پنجه شیب					
Ap	۰-۳۳	۱۶/۲	۵۴/۳	۲۹/۵	SiCL	۸/۱۱	۲/۵۸	۲۳/۹	-	۳۹۸	۴۷
Bw	۳۳-۷۵	۱۶	۵۲	۳۲	SiCL	۸/۰۳	۳/۱۷	۱۴/۱	-	۴۲۴	۴۲
Bk1	۷۵-۹۷	۱۷/۵	۵۱/۵	۳۱	SiCL	۷/۹۶	۳/۴۱	۸/۵	-	۴۹۹	۴۱
Bk2	۹۷-۱۳۷	۱۷/۵	۵۰/۵	۳۲	SiCL	۷/۸۸	۳/۵۹	۷/۱	-	۵۳۶	۴۱
خاک‌های توسعه یافته بر روی مواد مادری آهکی											
Calcic Argixerolls						خاک‌رخ ۵- قله شیب					
Ap	۰-۲۹	۳۳	۴۱	۲۶	L	۷/۹۳	۰/۸۳	۲۸/۱	-	۳۵۹	۳۶
Bk1	۲۹-۶۳	۲۹	۴۵	۲۶	L	۷/۸۱	۰/۹۱	۱۰/۳	-	۴۷۴	۳۲
Bk2	۶۳-۹۸	۳۲/۵	۳۹/۵	۲۸	CL	۷/۸۸	۰/۸۷	۱۱/۱	۲/۹	۵۹۹	۳۵
Btk1	۱۳۱-۹۸	۲۸	۳۵/۵	۳۶/۵	CL	۷/۷۶	۰/۹۵	۶/۱	۱/۸	۵۰۵	۴۳
Btk2	۱۳۱-۱۸۵	۲۶	۳۹	۳۵	CL	۷/۶۹	۱/۴۹	۴/۹	-	۵۳۸	۴۲
C	> ۱۸۵	۱۶	۶۵	۱۹	SiL	۸/۰۳	۱/۹۴	۳/۳	-	۷۸۳	۳۱
Typic Xerorthents						خاک‌رخ ۶- شیب پستی					
A	۰-۱۰	۶۰	۲۸	۱۲	SL	۷/۷۴	۱/۳۸	۱۲/۴	-	۶۱۵	۲۲
C	> ۱۰	۲۷	۴۹	۲۴	L	۷/۹۷	۱/۷۱	۵/۷	-	۷۶۹	۳۲
Typic Calcixerpts						خاک‌رخ ۷- پای شیب					
Ap	۰-۳۰	۱۲	۵۸/۵	۲۹/۵	SiCL	۷/۷۹	۱/۲۹	۱۶/۵	-	۴۰۳	۴۱
Bk1	۶۳-۳۰	۲۱	۴۷/۵	۳۱/۵	CL	۷/۹۳	۱/۴۴	۱۳/۲	۲/۲	۴۳۴	۳۹
Bk2	۱۰۷-۶۳	۲۳	۴۷	۳۰	CL	۷/۸۲	۱/۳۹	۸/۵	۲	۴۹۵	۴۰
Bk3	۱۵۲-۱۰۷	۲۴	۴۸	۲۸	CL	۷/۹۱	۱/۶۵	۶/۳	۱/۹	۵۴۱	۳۷
C	> ۱۵۲	۸	۷۰	۲۲	SiL	۷/۹۳	۱/۷۸	۴/۱	-	۷۴۱	۳۲
Typic Calcixerpts						خاک‌رخ ۸- پنجه شیب					
Ap	۰-۳۰	۱۴	۵۵	۳۱	SiLC	۷/۹۴	۱/۶۹	۲۴/۵	۳/۱	۳۹۵	۳۵
Bw	۳۰-۶۷	۲۵	۴۷	۲۸	CL	۸/۰۷	۱/۷۸	۱۳/۹	۱/۹	۴۱۳	۳۹
Bky1	۶۷-۱۱۵	۲۸	۴۲/۵	۲۹/۵	CL	۷/۹۱	۲/۰۵	۷/۷	۸/۱	۵۰۷	۴۰
Bky2	۱۱۵-۱۳۷	۳۲	۴۰	۲۸	CL	۷/۸۸	۲/۲۸	۵/۹	۶/۵	۵۷۳	۳۸

L: Loamy; SiL: Silty loam; CL: Clay loam; SiCL: Silty clay loam; ECe: Electrical conductivity (saturation extracts).

سه رده در مواد مادری آهکی (مالی سولز، انتی سولز و اینسپتی-سولز) شده است. در سطح گروه بزرگ، موقعیت قله شیب در هر دو مواد مادری با توجه به حضور اپی‌پدون مالیک، یکسان بوده

تاثیر موقعیت‌های شیب بر کلاس رده‌بندی خاک‌های توسعه یافته بر روی مواد مادری مورد مطالعه، سبب تشکیل دو رده متفاوت در مواد مادری مارنی (مالی سولز و اینسپتی سولز) و

پدوژنیک در خاک رسوب پیدا می‌کنند (Cornell and Schwertmann, 2003). میزان Fe_d با تکامل خاک افزایش پیدا می‌کند که دلیل آن به واسطه آزاد شدن آهن از کانی‌های اولیه است. میزان بالای Fed در افق‌های تجمع رس به دلیل هودایدگی و آزاد شدن آهنی است که از افق‌های بالایی شسته (خارج) شده و در افق Bt تجمع می‌یابد (Mehmood et al., 2015). بالارفتن غلظت آهن پدوژنیک با افزایش عمق در افق‌های مشخصه، ارتباط زیادی با آزاد شدن آهن از کانی‌های رس از طریق جابجایی ذرات دارد (Corrêa de Medeiros et al., 2020). تغییرات آهن آمورف (بی شکل) استخراج شده به وسیله آمونیم اکسلات در قله و شیب پستی مشابه آهن پدوژنیک است. اما در پنجه و پای شیب، افق-های سطحی دارای بیشترین مقدار در خاکرخ می‌باشند.

دلیل این موضوع فاکتورهای pH، دما، وجود آهن فرو و انواع آنیون‌ها مانند سولفات کلر و اکسی آنیون‌ها) می‌توانند باشند که مانع از کریستالی شدن آهن اکسلاتی می‌گردد. اکسیدهای آهن آمورف در طی فرآیند هودایدگی آزاد شده و به مرور زمان کریستالی می‌شوند. روند آن به طور قابل توجهی به شرایط تشکیل خاک بستگی دارد (Schwertmann, 1988). اما Corrêa de Medeiros et al. (2020) تشکیل اکسیدهای کریستالی با درجه تبلور ضعیف در لایه سطحی را به موقعیت مکانی آن در لنداسکیپ ارتباط داده‌اند. بیشتر بودن مقدار آهن آمورف بر اکسیدهای آهن کریستالی (پدوژنیک) نشانگر جوان بودن خاک و تکامل کم آن است.

به‌طور کلی، هر چه اختلاف آهن آمورف از آهن آزاد بیشتر باشد، نشان دهنده تکامل پروفیلی بیشتر خاک است. افزایش این پارامتر با افزایش عمق خاک در افق‌های تکامل یافته نیز قابل مشاهده می‌باشد. به‌گونه‌ای که مقدار این شاخص، در افق‌های زیر سطحی تکامل مانند کلسیک بیشتر از سایر افق‌ها تشخیص داده شد. از نسبت آهن آمورف به آهن آزاد (Fe_o/Fe_d) نیز می‌توان به عنوان معیاری برای ارزیابی وضعیت تکاملی خاک استفاده نمود، به‌گونه‌ای که کاهش این نسبت نشان‌دهنده افزایش تکامل خاک است. Layzell and Eppes (2013) بیان داشتند که این شاخص نشان‌دهنده میزان هودایدگی و تکامل خاک است و شاخصی است که به طور نسبی می‌تواند سن خاک را نشان دهد. تغییرات عمودی این پارامتر نیز بر روی هر موقعیت شیب از افق سطحی به سمت افق‌های زیرسطحی تکامل یافته کاهش می‌یابد. مقدار بالای Fe_o/Fe_d را در افق‌های سطحی می‌توان به افزایش نگهداری رطوبت به‌وسیله مواد آلی، بر تبلور اکسیدهای آهن اثر گذاشته و در نتیجه مقدار آهن اگزالاتی را افزایش می‌دهد که در لایه‌های سطحی مشهودتر است. میزان این شاخص در خاک مورد

ولی برای شیب پستی در مواد مارنی (Calcic Argixerolls) و برای مواد آهکی (Lithic Haploxerepts) و برای مواد آهکی (Typic Xerorthents) می‌باشند. حال آن‌که، در پای شیب و پنجه شیب، تفاوتی در رده‌بندی خاک‌ها (Typic Calcixerrepts) برای هر دو مواد مادری مشاهده نمی‌شود. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که عامل تاثیرگذار در تنوع کلاس رده‌بندی، موقعیت مکانی لندفرم با توجه به درصد شیب است که این موضوع در قله و شیب پستی مشهودتر می‌باشند. Etedali Dehkordi et al. (2018) نیز تغییرپذیری کلاس رده‌بندی خاک را در موقعیت‌های متفاوت یک ردیف پستی و بلندی در منطقه‌ی چلگرد استان چهارمحال و بختیاری گزارش نموده‌اند. Osat et al. (2016) هم در بررسی خود در شمال ایران بیان داشتند که موقعیت توپوگرافی تاثیر قابل توجهی بر تنوع کلاس رده‌بندی خاک‌ها داشته است؛ به‌گونه‌ای که خاک‌های تکامل یافته در قسمت‌های پایدار با رطوبت قابل دسترس بالا تشکیل و تکامل یافته‌اند. Badía et al. (2013) در تاثیر مواد مادری و شیب بر پیدایش و رده‌بندی خاک در منطقه نیمه خشک زاراگوزا، اسپانیا بیان داشتند که مواد مادری عامل اصلی برای تفسیر گروه‌های خاک موجود است، اما توپوگرافی با تاثیر بر برخی از ویژگی‌ها خاک مانند عمق و رطوبت موثر در ایجاد طبقه‌های جدید خاک اثرگذار هستند. با توجه به ماهیت مواد مادری (Calcareous Marl, Argillaceous Lime)، تاثیر کربنات کلسیم را می‌توان در زیرگروه‌های بزرگ مشاهده نمود.

اشکال مختلف آهن

مقدار اکسیدهای آهن آزاد (پدوژنیک) قابل استخراج به وسیله سیترات- بی کربنات- دی تیونیت (CBD) از ۸۵۵ تا ۱۹۷۸ میلی‌گرم در کیلوگرم برای خاک‌های تشکیل یافته بر روی مواد مادری مارن رسیده و برای مواد مادری آهکی ۶۵۹ تا ۱۶۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری گردید. در افق‌های Btk قله شیب در هر دو مواد مادری به حداکثر مقدار در بین موقعیت‌های شیب می‌رسد که توسط (Blume, 1988) نیز این افزایش در افق-های تجمع رس گزارش شده است. در افق‌های زیرسطحی برای هر دو مواد مادری، در تمام موقعیت‌های ردیف پستی و بلندی مقدار آهن پدوژنیک (Fe_d) بیشتر از افق‌های سطحی و C می‌باشند. روند پروفیلی و میزان تغییرات آهن پدوژنیک عمدتاً به میزان هودایدگی و مواد مادری بستگی دارد (Okuda et al., 1995). اکسیدهای آهن موجود در خاک‌ها اغلب از نظر اندازه بسیار کوچک است که این اندازه بستگی به مقدار آهن موجود در مواد مادری و درجه تکامل آن خاک دارد. با تکامل خاک، بخش عمده کانی‌های حاوی آهن تجزیه شده و اغلب به صورت اکسیدهای

مغناطیسی در فرکانس پایین و بالا در اثر حضور کانی‌های فرو مغناطیس (مگنمیت و مگنتیت) در خاک تغییر پیدا می‌کند (Dearing, 1994). بیشترین میزان χ_{LF} در افق کلسیک برای مواد مادری مارنی در پروفیل یک و پنج برای مواد مادری آهکی به- ترتیب ۷۰/۹ و ۳۶/۲ ($SI \times 10^{-8}$) بوده است. کمترین میزان پذیرفتاری مغناطیسی در افق C پروفیل‌های مطالعه شده از قله تا پنجه شیب تعیین گردید. در این ارتباط آهکی بودن مواد مادری را می‌توان عامل اصلی پایین بودن پذیرفتاری مغناطیسی در این افق‌ها ذکر نمود. Shenggao (2000) بیان داشت که افزایش χ_{LF} به دلیل افزایش آزاد شدن کانی‌های فریمگنتیک طی فرآیند هواپدگی مواد مادری می‌باشد. در تمام پروفیل‌ها (به جز پروفیل ۳) در هر دو ردیف پستی و بلندی مقدار χ_{LF} در افق‌های سطحی کمتر از افق‌های زیرین است. Owliaie et al. (2009) نیز بیان داشتند که تغییر شکل در جای اکسیدها و اکسی هیدروکسیدهای آهن به میکروکریستال‌های فری‌مگنتیک از عواملی است که سبب کاهش مقدار χ_{LF} در لایه سطحی خاک‌ها گردیده است. Sarmast et al. (2017) هم مقدار χ_{LF} را در یک ردیف ماده مادری-پستی و بلندی در جنوب شرق کشور، متاثر از مواد مادری و سنگ‌شناسی سنگ بستر است. ایشان همچنین بیان داشتند که روند تغییرات χ_{LF} برای پروفیل‌هایی با مواد مادری مشابه، تحت تاثیر فرآیندهای خاکسازی می‌باشد. لازم به ذکر است که نوع کاربری اراضی نیز بر مقدار پذیرفتاری مغناطیسی اثر دارد. در اراضی کشاورزی فعالیت‌های زراعی و آمیختگی لایه‌های سطحی با زیرسطحی سبب کاهش مقدار پذیرفتاری مغناطیسی می‌گردد (Hanesch et al., 2007). از سوی دیگر، تغییر کاربری اراضی به دلیل هدر رفت رس و احتمالاً ذرات مغناطیسی همراه با آن، سبب کاهش معنی‌دار مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در اراضی زراعی شده است (Rahimi and Ayoubi, 2013). Bouhsane and Bouhlassa (2018) نیز اظهار داشتند که مقدار χ_{LF} در اراضی کشاورزی کمتر از اراضی مرتعی و جنگلی است. ایشان دلیل افزایش χ_{LF} در اراضی جنگلی را پایدار بودن لندفرم، و کاهش مقدار این شاخص را در اراضی زراعی رقیق شدن (کاهش غلظت) مواد مغناطیسی با ترکیبات آهکی و فرسایش لایه سطحی می‌دانند. Owliaie et al. (2009) در بررسی پذیرفتاری مغناطیسی در استان فارس در منطقه‌ای با کاربری جنگلی بیان داشتند که افزایش بارندگی و تراکم پوشش گیاهی سبب بالا رفتن فعالیت‌های میکروارگانیسم‌ها و تشکیل بیشتر کانی‌های فریمگنتیک و در نتیجه افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در آن خاک‌ها گردیده است.

همبستگی بین χ_{LF} با برخی ویژگی‌های خاک نیز در شکل

مطالعه ممکن است نشان دهنده ترکیب کانی شناسی مشابه (آهن‌دار) به مواد مادری در طول زمان تشکیل خاک باشد (Jaworska et al., 2016).

آهن پیوند شده با مواد آلی (قابل استخراج به وسیله پیروفسفات سدیم)، به میزان مواد آلی موجود در افق‌ها نیز بستگی دارد (Torabi and Moradinasab, 2015). مواد آلی خاک در افق-های سطحی در تمام موقعیت‌های شیب بیشتر از افق‌های زیرسطحی است. به گونه‌ای که در پروفیل‌های واقع در قله شیب با اپی‌دون مالیک به حداکثر مقدار می‌رسد. با کاهش مواد آلی خاک (به دلیل تغییر کاربری اراضی) و پایدار نبودن لنداسکیپ، مقدار Fe_p کاهش می‌یابد. با فرض این که Fe_p حاوی کمپلکس‌های حاوی آهن باشد و آمونیم اکسلات همه آهن آمورف یا غیر کریستاله و آهن همراه هوموس را در خود حل نماید، بنابراین تفاضل آهن استخراج شده به وسیله سدیم پیروفسفات از آهن استخراج شده به وسیله آمونیم اکسلات (Fe_o-Fe_p) نشان دهنده میزان آهن آمورف است که این پارامتر نیز با افزایش تکامل خاک افزایش یافته است. از جمله عللی که می‌توان برای آن برشمرد، افزایش هواپدگی کانی‌های اولیه و ثانویه دارای آهن ساختمانی و افزایش مقدار آهن آمورف (فعال) در محیط خاک می‌باشد. از آنجایی که گنجایش ترکیبات آلی برای کلات کردن آهن، محدود و مشخص می‌باشد، از این رو، با افزایش شدت هواپدگی، نرخ افزایش آهن آمورف بیشتر از آهن آلی خواهد بود، ضمن این که تبدیل آهن آمورف به آهن متبلور نیاز به زمان طولانی‌تری دارد (Torabi and Moradinasab, 2015).

مقدار فری هیدرات با فرض این که Fe_p کمپلکس‌های حاوی آهن باشد، در این صورت براساس فرمول پیشنهادی (Kassim et al., 1984; Childs et al., 1991; Dahlgren, 1994)، $Ferrihydrate = 1.7(Fe_o-Fe_p)$ نیز محاسبه و در جدول (۲) نشان داده شده است. هم‌چنین مقدار اکسی-هیدروکسیدهای آهن از قبیل گوتیت و همتایت نیز براساس رابطه پیشنهادی (Nieuwenhuys et al., 2000)، $Fe-hydr(oxide) = 1.5(Fe_o-Fe_p)$ محاسبه گردید. نتایج نشان داد که ترکیبات مختلف اکسی-هیدروکسیدهای آهن به ترتیب در قله و پای شیب دارای بیشترین مقادیر و در شیب پستی و پنجه با توجه به پایدار نبودن موقعیت شیب دارای مقادیر کاهشی است. همچنین، نتایج این شاخص تأییدکننده یافته‌های شاخص‌های Fe_o-Fe_p ، Fe_o/Fe_d ، Fe_d-Fe_o می‌باشد.

پذیرفتاری مغناطیسی

مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی اندازه‌گیری شده در هر دو ردیف پستی و بلندی در جدول (۲) آورده شده است. پذیرفتاری

(۳) نشان داده شده است. بر این اساس، از بین اجزای بافت خاک، این ارتباط در بخش رس برای هر دو مواد مادری دارای رابطه مثبت است. در مقابل، جز سیلت برای هر دو مواد مادری رابطه منفی با χ_{LF} نشان داد. حال آن که، ذرات شن برای مواد مادری آهکی دارای همبستگی مثبت بوده اما مواد مادری مارنی با χ_{LF} رابطه منفی ($r=0/4$) نشان دادند. César de Mello et al. (2020) دلیل رابطه منفی بین پذیرفتاری مغناطیسی با ذرات شن را پایین بودن مقدار کانی‌های فری‌مگنتیک در این بخش گزارش نموده‌اند. مواد آلی خاک نیز با خواص دیامگنتیک، سبب ایجاد رابطه منفی برای هر دو مواد مادری گردیده است. Schwertmann (1988) ایجاد رابطه‌ی منفی بین پذیرفتاری مغناطیسی با مواد آلی را ناشی از تشکیل کمپلکس آهن با مواد آلی دانسته که از تشکیل کانی‌های فری‌مگنتیک جلوگیری می‌کند و حتی در صورت وجود شرایط مطلوب (بالا بودن مواد آلی) امکان تشکیل کانی‌های آنتی-فرمگنتیک وجود دارد (Schaeztl and Anderson, 2005). کربنات کلسیم معادل برای مواد مادری مارنی دارای ($r=0/49$) با χ_{LF} داشته ولی مواد مادری آهکی رابطه منفی مشاهده گردید. Enjavinejad et al (2017) در مطالعه پذیرفتاری مغناطیسی در یک ردیف پستی و بلندی در استان کهگیلویه و بویراحمد ارتباط منفی بین χ_{LF} با کربنات کلسیم را نیز گزارش نموده‌اند. Sarmast et al., (2017) در مطالعه خود که بر روی خاک‌های توسعه یافته بر روی مواد مادری آذرین در جنوب شرق کشور انجام دادند، دریافتند که اجزای سیلت ($r=0/081$)، رس ($r=0/054$)، کربن آلی ($r=0/009$) و کربنات کلسیم ($r=0/217$) سبب کاهش (رابطه‌ی منفی) و بخش شن سبب افزایش (رابطه‌ی مثبت) مقدار χ_{LF} در خاک‌های مزبور گردیده است.

تغییرات عمودی پذیرفتاری مغناطیسی در طول یک پروفیل را می‌توان به تبدیل درجای اکسیدهای غیر مغناطیسی آهن به کانی‌های فری‌مگنتیک نسبت داد. Magiera et al. (2019) بیان داشتند که علاوه بر مواد مادری، فرآیندهای خاکساز نیز بر پذیرفتاری مغناطیسی تاثیرگذار هستند. اکسیدهای آهن ثانویه و هیدروکسیدهای تشکیل یافته در طول فرآیندهای خاکساز و تکامل خاک، نقش مهمی بر پذیرفتاری در لایه سطحی داشته‌اند. توپوگرافی سبب تغییر در مقدار پذیرفتاری مغناطیسی می‌گردد. در یک مدل پستی و بلندی، در نواحی بالایی و پایین دست شیب، میزان پذیرفتاری مغناطیسی اعداد بالاتری را نشان می‌دهد (Hanesch et al., 2007). یکی از علل کاهش پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس در لایه‌های سطحی وجود مواد آلی است که به سبب خاصیت دیامگناطیس بودن سبب کاهش مقدار پذیرفتاری مغناطیسی نسبت به لایه‌های زیر سطحی گردیده است. در مقابل، بیشتر بودن میزان پذیرفتاری مغناطیسی در لایه‌های زیرین را می‌توان به فرآیندهای خاکساز، مانند کانی‌ها و اکسیدهای آهن و آلومینیوم از افق‌های سطحی به زیرسطحی نسبت داد که باعث افزایش در مقدار این شاخص می‌گردد. تغییرات در خاک می‌تواند میزان پذیرفتاری مغناطیسی را در یک افق نسبت به افق‌های دیگر تغییر دهد که می‌تواند به کاهش یا افزایش میزان ترکیبات مغناطیسی در خاک‌ها مرتبط گردد (Jordanova, 2016).

شکل (۴) نشان داده شده است. بر این اساس، همبستگی بین آهن پدوژنیک و χ_{LF} برای مواد مادری مارنی ($r=0/79$) و آهکی ($r=0/62$) می‌باشد. آهن آمورف نیز ارتباط فزاینده با χ_{LF} داشته که برای مواد مادری آهکی این ضریب به ($r=0/53$) بدست آمده است. F_{ep} که دارای پیوند با مواد آلی بوده، برای مواد مارن دارای ارتباط منفی بوده است که با توجه به خواص دیامگنتیک بودن مواد آلی چنین روندی قابل انتظار می‌باشد. اما این روندی در مواد مادری آهکی دارای ارتباط مثبت می‌باشد. در خصوص دیگر شاخص‌ها به جز (Fe_0/Fe_d) برای هر دو مواد مادری ارتباط مثبت با χ_{LF} مشاهده می‌شود که در تمام شاخص‌ها این رابطه برای مواد مادری مارنی مشهودتر می‌باشد. Enjavinejad et al (2017) ارتباط مثبت بین Fe_d با χ_{LF} در مطالعه خود گزارش نموده‌اند.

جدول ۳- پذیرفتاری مغناطیسی، اشکال مختلف آهن و شاخص‌های تشخیص تکامل خاک‌ها

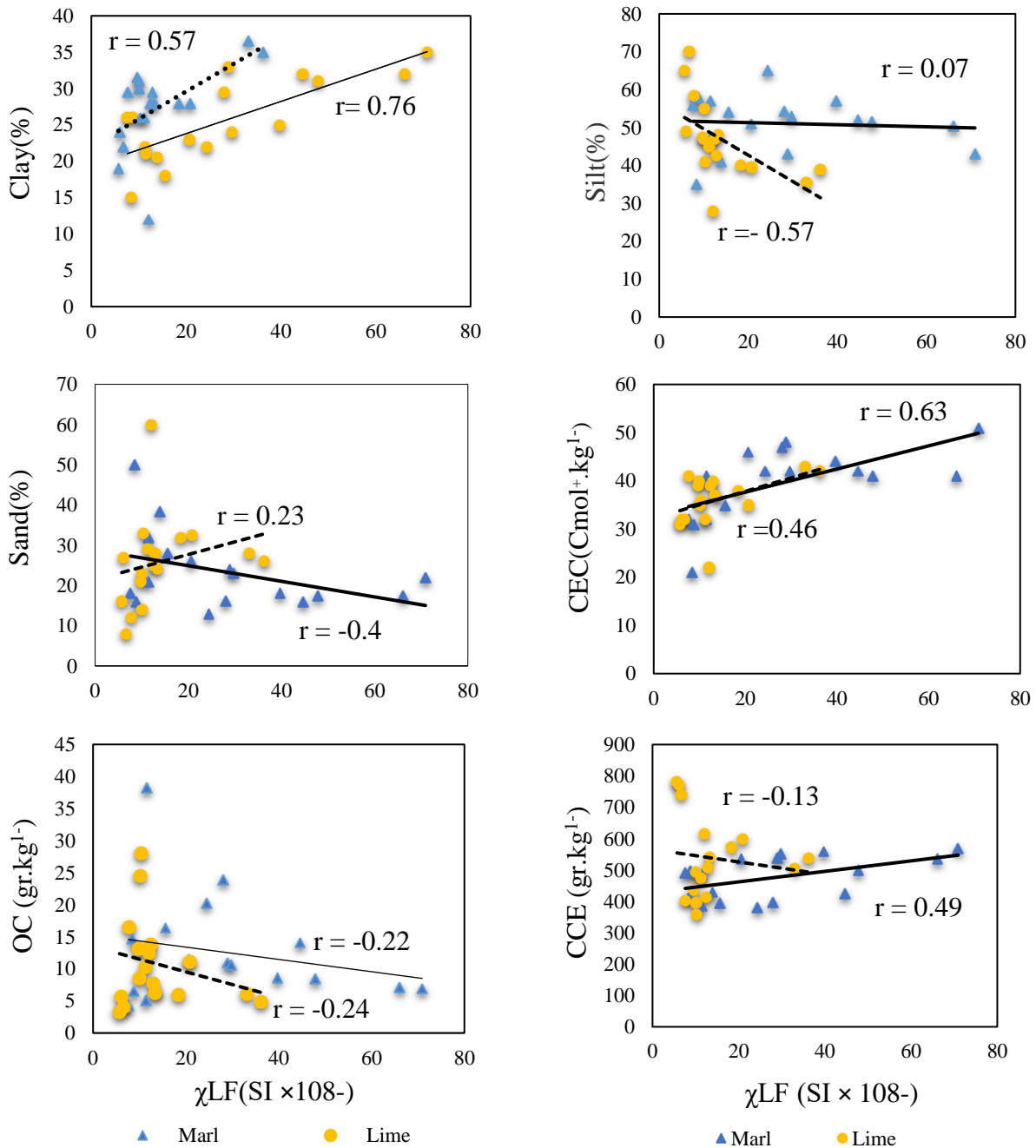
افق	Fed	Feo	Fep	(Fed-Feo)	(Feo/Fd)	Ferrihydrite	Fe hydro(oxide)	χ_{LF}	χ_{HF}	χ_{fd}
	(mg/kg)					(SI $\times 10^8$)				
	خاک‌های توسعه یافته بر روی مواد مادری مارنی									
Calcic Argixerolls						خاکرخ ۱- قله شیب				
A	۱۵۰۴	۴۴۱	۴۱۸	۱۰۶۳	۰/۳۹	۳۹	۱۵۹۵	۱۱/۵	۱۰/۴	۹/۵
Bw	۱۳۰۸	۳۶۹	۳۰۹	۹۳۹	۰/۳۸	۱۰۲	۱۴۰۹	۱۵/۶	۱۳/۷	۱۲/۱
Btk1	۱۷۴۹	۴۷۳	۲۳۷	۱۲۷۶	۰/۳۷	۴۰۱	۱۹۱۴	۲۸/۹	۲۴/۸	۱۴/۱
Btk2	۱۹۷۸	۴۴۸	۲۱۶	۱۵۳۰	۰/۳۳	۳۹۴	۲۲۹۵	۷۰/۹	۵۷/۵	۱۸/۹
C	۸۷۹	۳۰۷	۱۸۲	۵۷۲	۰/۳۵	۲۱۳	۸۵۸	۸/۸	۸/۵	۳/۴
Lithic Haploxerepts						خاکرخ ۲- شیب پستی				
A	۹۸۰	۳۴۰	۱۷۵	۶۴۰	۰/۳۵	۲۸۱	۹۶۰	۸/۴	۷/۷	۸/۳
Bw	۱۰۵۸	۴۶۷	۱۶۹	۵۹۱	۰/۴۴	۵۰۷	۸۷۷	۱۳/۹	۱۲/۶	۹/۳
C	۷۹۴	۳۱۷	۱۴۹	۴۷۷	۰/۴	۲۸۶	۷۱۶	۷/۶	۷/۳	۳/۹
Typic Calcixerpts						خاکرخ ۳- پای شیب				
Ap	۱۳۱۹	۴۷۷	۲۶۰	۷۴۲	۰/۳۹	۳۶۹	۱۱۱۳	۲۴/۴	۲۳/۱	۵/۳
Bk1	۱۴۸۳	۴۰۵	۲۵۱	۱۰۷۸	۰/۳۷	۲۶۲	۱۶۱۷	۲۰/۶	۱۹	۷/۷
Bk2	۱۴۱۰	۳۹۰	۲۴۰	۱۰۲۰	۰/۳۸	۲۵۵	۱۵۳۰	۲۹/۷	۲۶/۵	۱۰/۷
Bk3	۱۴۷۰	۳۰۴	۲۰۷	۱۱۶۶	۰/۳۱	۱۶۵	۱۷۴۹	۳۹/۷	۳۵/۱	۱۱/۵
C	۸۵۵	۳۰۰	۱۶۵	۵۵۵	۰/۳۵	۲۳۰	۸۳۳	۱۱/۴	۱۰/۷	۶/۱
Typic Calcixerpts						خاکرخ ۴- پنجه شیب				
Ap	۱۳۶۱	۵۳۸	۲۲۷	۸۲۳	۰/۴	۵۲۹	۱۲۳۵	۲۸	۲۶/۳	۶/۰۷
Bw	۱۴۲۷	۴۰۶	۲۰۱	۱۰۲۱	۰/۳۸	۳۴۹	۱۵۳۲	۴۴/۶	۴۱/۱	۷/۸
Bk1	۱۵۹۰	۴۴۰	۲۲۵	۱۱۵۰	۰/۳۸	۳۶۶	۱۷۲۷	۴۷/۸	۴۲/۹	۱۰/۳۵
Bk2	۱۶۶۳	۴۳۲	۱۸۰	۱۲۳۱	۰/۳۶	۴۲۸	۱۸۴۷	۶۶/۱	۵۹/۳	۱۰/۳۸
Calcic Argixerolls						خاکرخ ۵- قله شیب				
Ap	۱۴۲۳	۴۵۵	۳۲۳	۹۶۸	۰/۳۲	۲۲۴	۱۴۵۲	۱۰/۳	۹/۵	۷/۷
Bk1	۱۲۰۵	۳۸۰	۲۲۹	۸۲۵	۰/۳۲	۲۵۷	۱۲۳۸	۱۱/۲	۱۰	۱۰/۷
Bk2	۱۲۸۲	۳۴۱	۲۰۰	۹۴۱	۰/۳۷	۲۴۰	۱۴۱۲	۲۰/۸	۱۹	۸/۵
Btk1	۱۶۰۳	۵۵۹	۳۲۵	۱۰۴۴	۰/۳۵	۳۹۸	۱۵۶۶	۳۳/۱	۲۸/۷	۱۳/۲
Btk2	۱۵۴۸	۴۸۹	۲۷۰	۱۰۵۹	۰/۳۲	۳۷۲	۱۵۸۹	۳۶/۲	۳۱	۱۴/۳
C	۶۸۰	۲۷۷	۲۰۹	۴۰۳	۰/۴۱	۱۱۶	۶۰۵	۵/۷	۵/۵	۳/۵
Typic Xerorthents						خاکرخ ۶- شیب پستی				
A	۹۳۱	۳۳۵	۱۸۰	۵۹۶	۰/۳۶	۲۶۴	۸۹۴	۱۲/۱	۱۱/۴	۵/۷
C	۷۱۸	۳۴۵	۱۴۹	۳۷۳	۰/۴۸	۳۳۳	۵۶۰	۶/۱	۵/۹	۳/۲
Calcic Argixerolls						خاکرخ ۷- پای شیب				
Ap	۱۱۸۶	۴۸۳	۲۶۶	۷۰۳	۰/۴۱	۲۶۹	۱۰۵۵	۷/۷	۷/۲	۶/۵
Bk1	۱۳۹۰	۴۲۰	۲۴۰	۹۶۰	۰/۳۱	۳۲۳	۱۴۴۰	۹/۷	۹	۷/۲
Bk2	۱۳۵۷	۳۸۱	۲۱۱	۹۷۶	۰/۳۸	۲۸۹	۱۴۶۴	۱۰	۹/۲	۸
Bk3	۱۴۰۹	۳۵۸	۲۴۰	۱۰۵۱	۰/۳۵	۲۰۱	۱۵۷۷	۱۳/۳	۱۲/۲	۸/۲
C	۶۹۵	۳۳۲	۱۷۰	۳۲۷	۰/۵	۲۷۴	۴۹۱	۶/۷	۶/۴	۴/۴
Typic Calcixerpts						خاکرخ ۸- پنجه شیب				
Ap	۱۲۵۰	۵۰۱	۲۶۰	۷۴۹	۰/۴	۴۱۰	۱۱۲۴	۱۰/۱	۹/۹	۱/۹
Bw	۱۳۲۸	۴۵۰	۲۴۰	۸۷۸	۰/۳۴	۳۵۷	۱۳۱۷	۱۲/۵	۱۱/۷	۶/۴
Bky1	۱۴۹۴	۴۷۸	۲۱۳	۱۰۱۶	۰/۳۲	۴۵۱	۱۵۲۴	۱۲/۹	۱۱/۵	۱۰/۸
Bky2	۱۵۰۷	۵۰۰	۲۷۱	۱۰۰۷	۰/۳۳	۳۸۹	۱۵۱۱	۱۸/۴	۱۶/۳	۱۱/۴

گردید که این مقدار برای مواد مادری مارن با توجه به پوشش جنگل طبیعی بیشتر است. حال آن که در خاکرخ حفر شده در قله شیب مواد مادری آهکی، با توجه به تبدیل جنگل بلوط به اراضی دیم (جنگل با اشکوب زراعی)، مقدار χ_{fd} کاهش یافته است که دلیل آن را می‌توان به هم خوردگی لایه‌های سطحی و زیرسطحی در اثر عملیات خاک‌ورزی مطرح نمود. از نظر توزیع

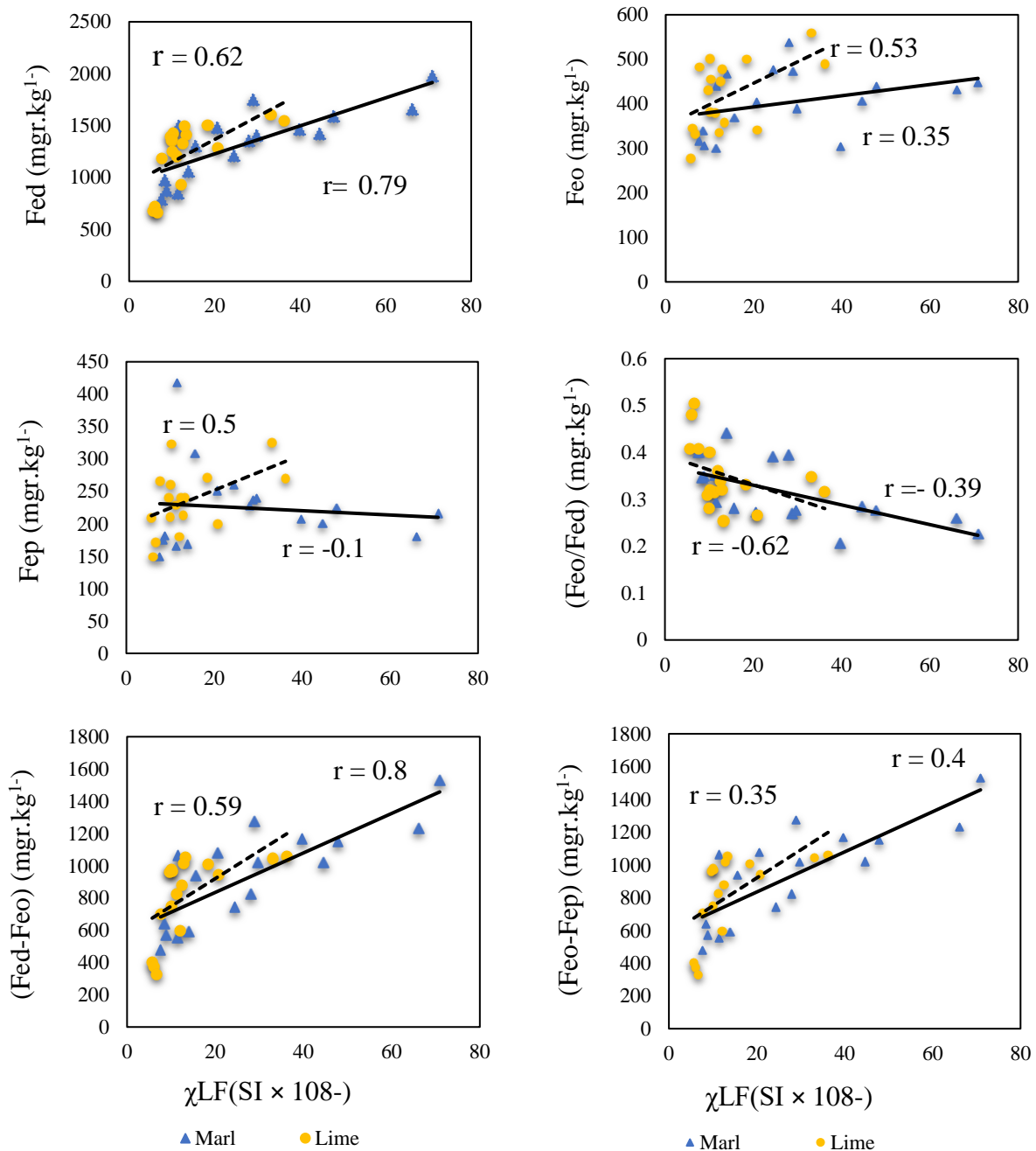
بر اساس طبقه‌بندی (Dearing, 1994) اگر میزان χ_{fd} کمتر از ۵ درصد باشد، نمونه فاقد مواد سوپر پارامگنتک است. نکته‌ی قابل توجه اینکه مقادیر χ_{fd} در تمامی افق‌های سطحی بالاتر از ۵ و در افق‌های C تمام خاکرخ‌های مورد بررسی مقدار این شاخص کمتر از ۵ است. به‌گونه‌ای که حداکثر پذیرفتاری مغناطیسی در افق‌های زیرسطحی در افق‌های تجمع رس قله شیب مشاهده

مغناطیس پذیری بالا در نتیجه فرآیندهای خاکسازی در شرایط زهکش مناسب می باشد. اما Sarmast *et al.* (2017) در مطالعه خود بیان داشتند که تغییری در ذرات مغناطیسی که به صورت پدوژنیک در خاک تشکیل می شوند، در طی فرآیندهای خاکسازی صورت نگرفته است.

پذیرفتاری مغناطیسی نیز مقادیر χ_{fd} در پروفیل ها، به نظر می رسد که در هر دو ماده مادری مورد مطالعه روند تغییرات χ_{fd} تحت تاثیر حضور کربنات کلسیم و خاصیت دیامگنتیک بودن آن قرار گرفته است. Enjavinejad *et al.* (2017) بیان نمودند که بالا بودن این شاخص نشان دهنده هوادیدگی خاکها و تشکیل بیشتر ذرات مغناطیسی مگمیت و مگنتیت با خاصیت



شکل ۳- رابطه بین χ_{LF} و برخی ویژگی های خاک در منطقه‌ی مطالعاتی. در نمودارهای ارائه شده خطوط مشکی پیوسته و منقطع به ترتیب برازش داده‌ها در خاک های توسعه یافته بر روی مواد مادری مارنی و آهکی را نشان می دهند.



شکل ۴- رابطه بین χ_{LF} و شکل‌های مختلف آهن در منطقه‌ی مطالعاتی. در نمودارهای ارائه شده خطوط مشکی پیوسته و منقطع به ترتیب برآزش داده‌ها در خاک‌های توسعه یافته بر روی مواد مادری مارنی و آهکی را نشان می‌دهند.

مقایسه‌ی تکامل خاک‌ها با استفاده از شکل‌های مختلف آهن و شاخص‌های متناسب با آن‌ها حاکی از آن است که با افزایش پایداری در ردیف‌های پستی و بلندی مطالعه شده میزان آهن متبلور (پدوژنیک) در خاک‌های تشکیل شده بر روی موقعیت‌های مخلف شیب افزایش می‌یابد. به‌علاوه، نتایج نشان دادند که پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها متأثر از موقعیت شیب و محتوای مواد آلی و کربنات کلسیم آن‌ها قرار گرفته است. پذیرفتاری مغناطیسی نشان داد که تاثیر فعالیت‌های انسانی سبب گردیده

نتیجه‌گیری کلی

نتایج بررسی‌های صحرایی و داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که تحول و تکامل خاک‌ها در این مطالعه، تحت تاثیر موقعیت مکانی بر روی ردیف پستی و بلندی، بیش از تاثیر مواد مادری به‌عنوان فاکتورهای خاکساز مورد مطالعه است. نتایج نشان داد که ضخامت سولوم و محتوای ماده‌ی آلی خاک‌های مورد مطالعه در هر دو نوع مواد مادری و در هر دو ردیف توپوگرافی متأثر از موقعیت آن‌ها بر روی شیب و احتمالاً نوع کاربری اراضی است.

پایدارتر (مانند قله‌ی شیب) دیده می‌شود. بر این اساس، به نظر می‌رسد که خاک‌های توسعه یافته بر روی مواد مادری مارنی در مقایسه با مواد مادری آهکی از درجه تکاملی تقریباً بالاتری برخوردار هستند. با این حال پیشنهاد می‌گردد که برای فهم بهتر و دقیق‌تر این موضوع در مطالعات آتی از روش‌ها دیگر مانند روش‌های ایزوتوپی و تاریخ‌نگاری کربن استفاده گردد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Alexander, E. B., & Holowaychuk, N. (1983). Soils on terraces along the Cauca River, Colombia: I. Chronosequence characteristics. *Soil Science Society of America Journal*, 47(4), 715–721.
- Badía, D., Martí, C., Aznar, J. M., & León, J. (2013). Influence of slope and parent rock on soil genesis and classification in semiarid mountainous environments. *Geoderma*, 193, 13–21.
- Blume, H.P. (1988). The fate of iron during soil formation in humid-temperate environments. In *Iron in soils and clay minerals*, 749–777.
- Bouhsane, N., & Bouhlassa, S. (2018). Assessing Magnetic Susceptibility Profiles of Topsoils under Different Occupations. *International Journal of Geophysics*, 2018, 9481405.
- César de Mello, D., Demattê, J.A.M., Silvero, N.E.Q., Di Raimo, L. A.D.L., Poppiel, R.R., Mello, F.A.O., Souza, A.B., Safanelli, J.L., Resende, M.E.B., & Rizzo, R. (2020). Soil magnetic susceptibility and its relationship with naturally occurring processes and soil attributes in pedosphere, in a tropical environment. *Geoderma*, 372, 114364.
- Cornell, R. M. and Schwertmann, U. (2003) The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses. John Wiley & Sons.
- Corrêa de Medeiros, P. S., do Nascimento, P. C., Inda, A. V., & da Silva, L. F. (2020). Genesis and classification of soils from granitic hills in southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 98, 102494.
- Daniels, W.L. (2016). The nature and properties of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 80(5), 1428.
- Dearing, J.A. (1994). Environmental magnetic susceptibility: using the Bartington MS2 system. *Chi Pub. Kenilworth*, 0–3
- Dearing, J.A, Hay, K. L., Baban, S.M.J., Huddleston, A.S., Wellington, E.M.H., & Loveland, P.J. (1996). Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set. *Geophysical Journal International*, 127(3), 728–734.
- Enjavinejad, M., Owliaie, H. R., & Adhami, E. (2017). Study of Magnetic Susceptibility of the Soils of a Toposequence Case Study: Beshar Plain, Kohgilouye Province. *Journal of Water and Soil*, 31(2), 478-489
- Etedali Dehkordi, S., Abtahi, S.A., Salehi, M.H., Givi, J., Farpoor, M., & Baghernejad, M. (2018). Studying of the Formation and Development of Soils in a Toposequence in Chelgerd Region, Chaharmahal-va- Bakhtiari Province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 7(4), 45–64.
- Gray, J.M., Bishop, T.F.A. and Wilford, J.R. (2016) 'Lithology and soil relationships for soil modelling and mapping', *Catena*, 147, pp. 429–440.
- Gee, G.W. and Bauder., J.W. (1986). Particle size analysis. In: Klute A (Ed.), *Methods of soil analysis: Physical and Mineralogical Properties*. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, pp. 383–411
- Gunal, H., & Ransom, M. D. (2006). Clay illuviation and calcium carbonate accumulation along a precipitation gradient in Kansas. *Catena*, 68(1), 59–69.
- Hanesch, M., Rantitsch, G., Hemetsberger, S., & Scholger, R. (2007). Lithological and pedological influences on the magnetic susceptibility of soil: Their consideration in magnetic pollution mapping. *Science of the Total Environment*, 382(2–3), 351–363.
- Hosseini, S. S., Esfandiarpour, B. I., Farpoor, M. H., & Karimi, A. R. (2015). Comparison of different soil development indices along Kerman-Baft transect. *Soil Management and Sustainable Production*, 5(2), 1-23.
- Hu, X.-F., Xu, L.-F., Pan, Y., & Shen, M.-N. (2009). Influence of the aging of Fe oxides on the decline of magnetic susceptibility of the Tertiary red clay in the Chinese Loess Plateau. *Quaternary International*, 209(1–2), 22–30.
- Jaworska, H., Dąbkowska-Naskręć, H., Kobierski, M. (2016). Iron oxides as weathering indicator and the origin of Luvisols from the Vistula glaciation region in Poland. *Journal of Soils and Sediments*, 16(2), 396–404.
- Jordanova, N. (2016) *Soil Magnetism: Applications in Pedology, Environmental Science and Agriculture*, Elsevier, Netherlands, 445 p.
- Kassim, J. K., Gafoor, S. N., & Adams, W. A. (1984). Ferrihydrite in pyrophosphate extracts of podzol B horizons. *Clay Minerals*, 19(1), 99–106.
- Khademi, H., & Mermut, A.R. (2003).

- Micromorphology and classification of Argids and associated gypsiferous Aridisols from central Iran. *Catena*, 54(3), 439–455.
- Khosravani, P., Baghernejad, M., Abtahi, S.A., & Ghasemi, R. (2019). Soil Genesis and Classification of Available Soils Along a Toposequence in Farsarood Region of Darab City, Fars Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(10), 2539-2553.
- Koop, A. N., Hirmas, D. R., Sullivan, P. L., & Mohammed, A. K. (2020). A generalizable index of soil development. *Geoderma*, 360, 113898.
- Layzell, A. L., & Eppes, M. C. (2013). Holocene pedogenesis in fluvial deposits of the Conejos River valley, southern Colorado. *The Compass: Earth Science Journal of Sigma Gamma Epsilon*, 84(4), 4.
- Magiera, T., Łukasik, A., Zawadzki, J., & Rösler, W. (2019). Magnetic susceptibility as indicator of anthropogenic disturbances in forest topsoil: A review of magnetic studies carried out in Central European forests. *Ecological Indicators*, 106, 105518.
- Maranhão, D.D.C., Pereira, M.G., Collier, L.S., Anjos, L.H.C., Azevedo, A.C., & Cavassani, R.S. (2016). Genesis and classification of soils containing carbonates in a toposequence of the Bambuí Group. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 40, e0150295
- McFadden, M., & Scott Jr, W. R. (2013). Broadband soil susceptibility measurements for EMI applications. *Journal of Applied Geophysics*, 90, 119–125.
- McKeague, J.A., Brydon, J.E., & Miles, N. M. (1971). Differentiation of forms of extractable iron and aluminum in soils 1. *Soil Science Society of America Journal*, 35(1), 33–38.
- Mehmood, A., Akhtar, M. S., Imran, M., Rukh, S. %J J. of B., & Sciences, E. (2015). *Iron oxides forms quantification in relation with soil genesis in soil parent material*. 6, 383–390.
- Mehra, O.P., & Jackson, M.L. (1960). Iron oxide removal from soils and clays by a citrate–dithionite system buffered by sodium carbonate: Clays and Clay Mineralogy, v. 7.
- Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degetiareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
- Nelson, R.E. (1983). Carbonate and gypsum. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.). *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, pp. 181–197.
- Nieuwenhuys, A., Verburg, P.S.J., & Jongmans, A.G. (2000). Mineralogy of a soil chronosequence on andesitic lava in humid tropical Costa Rica. *Geoderma*, 98(1–2), 61–82.
- Okuda, I., Okazaki, M. and Hashitani, T. (1995). Spatial and temporal variations in the chemical weathering of basaltic pyroclastic materials. *Soil Science Society of America Journal*, 59(3), pp. 887–894.
- Osat, M., Heidari, A., Eghbal, M. K., & Mahmoodi, S. (2016). Impacts of topographic attributes on Soil Taxonomic Classes and weathering indices in a hilly landscape in Northern Iran. *Geoderma*, 281, 90–101.
- Owliaie, H., Adhami, E., Chakerhosseini, M., Rajaei, M., & Kasraian, A. (2009). Evaluation of magnetic susceptibility source using CBD treatment and micro CT-scan images in some soils of Fars Province. *Journal of Crop Production and Processing*, 12(46), 773–788.
- Rahimi, A.M.R., & Ayoubi, S.H. (2013). Impacts of land use change and slope positions on some soil properties and magnetic susceptibility in Ferydunshahr district, Isfahan province. *Journal of Water and Soil*, 27(5), 882-892.
- Sarmast, M., Farpoor, M. H., & Esfandiarpour Boroujeni, I. (2017). Magnetic susceptibility of soils along a lithotoposequence in southeast Iran. *Catena*, 156, 252–262.
- Schaetzl, R. J., & Anderson, S. (2005). *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press.
- Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., & Benham, E.C. (2012). *Field book for describing and sampling soils*. Government Printing Office.
- Schwertmann, U., Taylor, R.M., Dixon, J.B., & Weed, S.B. (1989). Minerals in soil environments. *Soil Science Society of America Book Series, Eds.: JB Dixon, SB Weed, Madison, Wisconsin, EUA*, 379.
- Schwertmann, U. (1988). Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments. In *Iron in soils and clay minerals*, pp. 267–308. Springer.
- Shenggao, L. (2000). Lithological factors affecting magnetic susceptibility of subtropical soils, Zhejiang Province, China. *Catena*, 40(4), 359–373.
- Soil Survey Staff. (2014) *Keys to Soil Taxonomy* (12th ed.). NRCS, USDA, USA
- Spasov, S., Egli, R., Heller, F., Nourgaliev, D. K., & Hannam, J. (2004). Magnetic quantification of urban pollution sources in atmospheric particulate matter. *Geophysical Journal International*, 159(2), 555–564.
- Sumner, M. E. and Miller, W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of soil analysis, part 3—chemical methods, Am Soc Agron, Madison*, pp 1201-1229.
- Talebian, M., Raisossadat, S.N., & Rahimzadeh, F. (1999). Dehdez geological quadrangle map of Iran, no. 6052. Scale 1:100000. Ministry of Industry and Mines and Geological Survey of Iran.
- Tazikeh, H., Khormali, F., Amini, A., Motlagh, M. B., & Ayoubi, S. (2017). Soil-parent material relationship in a mountainous arid area of Kopet Dagh basin, North East Iran. *Catena*, 152, 252–267.
- Torabi, H., & Moradinasab, V. (2015). Different Forms of Iron and Some Physico-Chemical Properties as Soil Development Parameters in a Chronosequence on Karaj River Terraces in

Hassan-Abad, Southern Tehran. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 18(70), 269–281.

Tsai, C.-C., Tsai, H., Hseu, Z.-Y., & Chen, Z.-S. (2007).

Soil genesis along a chronosequence on marine terraces in eastern Taiwan. *Catena*, 71(3), 394–405. the Pakua tableland in central Taiwan. *Soil Science*, 171(2), 167–179.