

## بررسی تکامل خاک با استفاده از شاخص‌های مقادیر رس، آهن، آلومینیوم و منگنز

### در یک ردیف اقلیمی استان ایلام

فوزیه کوهنی<sup>۱</sup>، محمود رستمی‌نیا<sup>۲\*</sup>، فاطمه ولی‌زاده کاخکی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۰۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

۲- استادیار، گروه مهندسی آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

۳- استادیار، گروه مهندسی آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

\* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: m.rostamina@ilam.ac.ir

### چکیده

در بین عوامل خاک‌سازی، اقلیم با تأثیر بر شدت هوازدگی و تخریب مواد مادری نقش اساسی را در تکامل خاک بازی می‌کند. به منظور بررسی اثرات اقلیم بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و تکامل خاک‌ها در استان ایلام، دو منطقه از یک ردیف اقلیمی انتخاب شد. هدف این پژوهش مقایسه میزان تکامل خاک در ردیف اقلیمی مدنظر بر اساس شاخص‌های مقادیر رس، آهن، آلومینیوم و منگنز خاک بوده و خاکرخ در هر یک از واحدهای اراضی دشت‌های صالح‌آباد و ایلام حفر، تشریح و نمونه‌برداری شد. نتایج آنالیز ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاکرخ‌ها در دو منطقه، متفاوت بوده و تفاوت معنی‌دار در تمام پارامترهای فیزیکوشیمیایی بغیر از pH و سیلت مشاهده گردید. بعلاوه، افزایش قابلیت هدایت الکتریکی در خاک‌های صالح‌آباد با رژیم رطوبتی یوستیک و رژیم حرارتی هایپرترمیک نسبت به اراضی منطقه ایلام با رژیم رطوبتی زیریک و رژیم حرارتی ترمیک بیانگر تأثیر اقلیم بوده و تغییر رده خاک از اینسپتی‌سول‌ها در صالح‌آباد به مالی‌سول‌ها در ایلام مرتبط با تغییر رژیم‌های رطوبتی و حرارتی می‌باشد. رده‌بندی خاک‌ها نشان داد که خاک‌های منطقه صالح‌آباد و ایلام به ترتیب در زیرگروه‌های Gypsic Calcixerolls، Typic Calcixerolls و Typic Calcixerolls قرار می‌گیرند. بر اساس نتایج حاصله مقادیر آهن، آلومینیوم و منگنز در خاکرخ‌های ایلام نسبت به صالح‌آباد بیشتر بوده و هوازدگی کمتر در منطقه صالح‌آباد به دلیل اقلیم خشک‌تر، رطوبت کمتر و درجه حرارت بیشتر صورت گرفته است. علاوه بر این نتایج نشان دادند که افق‌های حاوی ژیبسم یا گچ، پتانسیل نگهداری رس و اکسیدهای فلزی را نداشته و تکامل خاک‌ها بر اساس توزیع و مقادیر آهن، آلومینیوم و منگنز، درک بهتری از خاک‌ها و تشکیل آن‌ها را ارائه می‌دهد و خاک‌های منطقه ایلام تکامل بیشتری را نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: آهن پدوژنیک، افق جیبسیک، رژیم‌های رطوبتی و حرارتی، شاخص‌های تکامل خاک، هوازدگی

## Soil Evolution Investigation Using Clay, Iron, Aluminum and Manganese Indices in a Climosequence of Ilam Province

F Kohani<sup>1</sup>, M Rostaminia<sup>2\*</sup>, F Valizadeh Kakhki<sup>3</sup>

Received: July 22, 2018

Accepted: December 24, 2019

1M.Sc. Graduate of Soil Science, Depart. of Water and Soil Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2Assist. Prof., Depart. of Water and Soil Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

3Assist. Prof., Depart. of Water and Soil Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

\* Corresponding Author, Email: m.rostaminia@ilam.ac.ir

### Abstract

Among the soil forming factors, climate by effect on weathering severity and parent material degradation plays a basic role on soil evolution. In order to investigate the effects of climate on soil physicochemical properties and evolution in Ilam province, two regions from a climosequence were selected. The purpose of this study was to compare soil evolution in a climosequence according to the soil indices of clay, iron, aluminum, manganese, and 5 profiles in each land units of Salehabad and Ilam plains were dug, described and sampled. The results of physicochemical analysis of Salehabad and Ilam soil profiles in two regions were different and significant difference were observed within the all parameters except pH and silt. In addition, electrical conductivity increases in Salehabad soils with ustic moisture regime and hyperthermic temperature regime comparing to Ilam soils with xeric moisture and thermic temperature regimes revealed the climate effect on them and changes in soil orders from Inceptisols in Salehabad to Mollisols in Ilam were related to the changes in moisture and temperature regimes. Soil classification showed that Salehabad soils were placed in Gypsic Haplustepts and Ilam soils were placed in Gypsic Calcixerolls, Typic Calcixerolls and Typic Haploxerolls subgroups. Based on obtained results the iron, aluminum and manganese amounts in Ilam soil profiles were higher than those in Salehabad ones and less weathering in Salehabad region were happened by drier climate, lower humidity and higher temperature. Additionally, the results showed that the horizons with gypsum did not have potential to store clay and metal oxides, and the soil evolution according to the distribution and amount of iron, aluminum and manganese offered a better understanding of the soils and their forming conditions and the Ilam soils showed further evolution.

**Keywords:** Pedogenic iron, Gypsic horizon, Moisture and temperature regimes, Soil evolution indices, Weathering

### مقدمه

تکاملی خاک اثر بگذارد (بیول ۱۹۹۱). شدت هواپدیدی سنگها و نوع محصولات ناشی از آن در اقلیمهای مختلف، متفاوت است (کانر و همکاران ۲۰۱۴). کربن آلی، مقدار و نوع رس، رنگ، وجود یا عدم وجود کربنات کلسیم، حلالیت بیشتر نمکها و عمق آبشویی در خاکها، تغییرات پدوژنیکی تجمع آهن و آلومینیم ارتباط تنگاتنگی با اقلیم و زمان دارد (بیرکلند و همکاران

در بین عوامل خاکساز، اقلیم با تأثیر بر شدت هواپدیدی و تخریب مواد مادری نقش اساسی را در روند پیدایش و تکامل خاک بازی می‌کند (نژادزمانی و همکاران ۲۰۱۷). اقلیم، عامل فعال در پدیده خاکساز است و تغییر آن موجب می‌شود که ویژگی‌های خاک و دیگر اجزای اکوسیستم، بیشتر تغییر کند و در سرعت

اکسی هیدروکسیدهای آهن با درجه تبلور متفاوت و آهن پیوند شده با مواد آلی اشاره نمود. اکسی هیدروکسیدهای آهن در دامنه‌ای از ترکیبات بی‌شکل تا بلورین وجود دارند. اکسیدهای آهن غیربلورین توسط اگزالات آمونیوم اسیدی و کل ترکیبات آهن پدوژنیک ( $Fe_d$ ) توسط سیترات بی‌کربنات دی‌تیونات استخراج می‌شوند. تفاضل این دو شکل آهن و همچنین نسبت آن‌ها در بررسی تشکیل و تکامل خاک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (فیلدر و سومر ۲۰۰۴). دتیر و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که مهم‌ترین شکل آهن که در بررسی میزان تکامل خاک جلب توجه کرده‌است آهن کل، آهن پدوژنیک و آهن بی‌شکل یا فعال می‌باشد. آن‌ها از آهن قابل استخراج با سیترات بی‌کربنات دی‌تیونات و میزان رس برای تخمین سن خاک‌های تشکیل شده روی سطوح مختلف استفاده کردند. با افزایش سن خاک و تبدیل ماده مادری به فازهای پایدار در اثر هوادیدگی، غلظت  $Fe_d$  و رس افزایش می‌یابد. رضاپور و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی خاک‌های آهکی شمال غرب ایران، ضمن بررسی ارتباط بین مقادیر اکسیدهای آهن و شرایط تشکیل خاک‌ها، گزارش کردند که مقدار  $Fe_d$  در خاک‌های با میزان رس کمتر، به‌طور معنی‌داری متفاوت از خاک‌های دارای رس بیشتر بوده است.

پراکنندگی و مقادیر ترکیبات گوناگون آهن و منگنز در خاک تا حد زیادی به وسیله ماهیت مواد مادری، شرایط اقلیمی، فرآیندهای خاک‌سازی، چرخه‌های زیستی، نوسانات فصلی آب‌های زیرزمینی، پتانسیل اکسایش و کاهش، مواد آلی و برهم‌کنش سایر عناصر غذایی تعیین می‌گردد (اولیایی و همکاران ۲۰۰۹). منگنز در خاک عمدتاً در شکل‌های با تبلور کم و در پیوند با ماده آلی وجود دارد (توکاشیکی و همکاران ۱۹۸۶). امیری و همکاران (۲۰۱۸) روند تکاملی خاک‌های پالئوسول را با استفاده از شاخص‌های تکاملی آهن و منگنز در منطقه نکا بررسی نمودند. در این

۱۹۸۹). دانکین و فی (۱۹۹۳) در مطالعات انجام گرفته در منطقه ناتال جنوبی آفریقا ارتباط نزدیکی بین ویژگی‌های خاک و شرایط آب و هوا به‌ویژه میانگین بارندگی سالانه یافتند. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش مقدار بارندگی از ۲۰۰ میلی‌متر به ۱۲۰۰ میلی‌متر نسبت رس از ۵ درصد در مواد مادری به ۳۰ درصد در افق B افزایش یافته است. همچنین رابطه بین ویژگی‌های خاک و اقلیم وابستگی قابل ملاحظه‌ای را به نوع مواد مادری در تشکیل خاک، به طور محسوس نشان نمی‌دهد. در ضمن رابطه‌ای معکوس بین بارندگی و ظرفیت تبادل کاتیونی مؤثر مشاهده نمودند. خرمالی و همکاران (۲۰۰۳) تخریب پوشش‌های رسی در خاک‌های قدیمی را به خاصیت انقباض و انبساط ناشی از شرایط خشک و مرطوب نسبت دادند و عنوان کردند که آهک‌زدایی عامل اصلی در تکامل خاک‌های دارای افق آرچلیک می‌باشد.

برای تعریف درجه تکامل خاک معمولاً از صفاتی استفاده می‌شود که در اثر هوادیدگی ایجاد شده یا تغییر می‌کنند. برخی از این ویژگی‌ها عبارتند از: شاخص تجمع رس (سینگ و همکاران ۱۹۹۸)، شاخص تجمع پدوژنیک اکسیدهای آهن (ریمن و همکاران ۲۰۰۰، ایندا و همکاران ۲۰۱۸)، افزایش مقدار رس و آهن پدوژنیک در افق‌های B (تورنت و همکاران ۲۰۱۰، دتیر و همکاران ۲۰۱۲) و تجمع و افزایش مقادیر آهن، آلومینیوم، سیلیس و منگنز در افق‌های A و B نسبت به افق‌های C (دامس و همکاران ۲۰۱۲، ترابی گوسفیدی و مرادی نسب ۲۰۱۵). در اغلب خاک‌ها خصوصیات مورفولوژیکی، آهن پدوژنیک و میزان رس اساس تخمین سن خاک‌ها می‌باشد (کاستانتینی و دامیانی ۲۰۰۴). آهن یکی از مهم‌ترین عناصر مؤثر در فرآیندهای تشکیل خاک است و حدود ۵ درصد از پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. فازهای مختلفی از آهن در خاک وجود دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به آهن موجود در کانی‌های سیلیکاتی اولیه، رس‌ها و

ورود آن به فاز محلول خاک می‌باشد (بیگلری و همکاران ۲۰۱۱).

هدف از این پژوهش تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و بررسی درجه تکامل خاک‌ها در دو منطقه‌ی ایلام و صالح‌آباد واقع در استان ایلام، با دو اقلیم متفاوت می‌باشد. برای دستیابی به این هدف مقادیر رس، آهن، آلومینیوم و منگنز خاک در افق‌های خاک‌رخی‌های مورد مطالعه اندازه‌گیری و ارتباط این مقادیر با اقلیم و تکامل خاک سنجیده شد.

### مواد و روش‌ها

#### مناطق مورد مطالعه

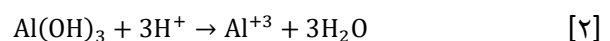
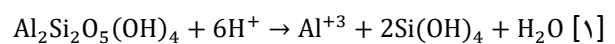
این تحقیق در دو منطقه از استان ایلام شامل دشت‌های صالح‌آباد و ایلام انجام شد (شکل ۱). حوزه آبخیز صالح‌آباد با مساحت ۱۴۹۲۳/۶۲ هکتار و شهر صالح‌آباد در ۳۷ کیلومتری جنوب غربی ایلام و ۴۵ کیلومتری شمال مهران واقع شده که از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۲° ۷' ۴۶ تا ۲۰° ۱۸' ۴۶ طول شرقی و ۱۹° ۳۵' ۳۳ تا ۲۵° ۲۴' ۳۳ عرض شمالی واقع گردیده‌است. دیگر گستره منطقه مورد مطالعه در شهرستان ایلام واقع شده که با مساحت حدوداً ۲۰۰۰ هکتار یکی از شهرهای شمالی استان بوده و بین ۴۴° ۴۵ تا ۵۱° ۴۶ طول شرقی و ۱۲° ۳۳ تا ۲۴° ۳۴ عرض شمالی واقع گردیده است.

#### اقلیم مناطق مورد مطالعه

دشت صالح‌آباد در شهرستان مهران با ارتفاع متوسط ۶۳۰ متر از سطح آزاد دریا، بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم گرم بیابانی میانی با تابستان‌های گرم و نسبتاً طولانی و زمستان‌های کوتاه و معتدل می‌باشد. طبق آمار هواشناسی میانگین دمای سالیانه و بیشینه به ترتیب ۲۱ و ۲۹ درجه سلسیوس و نزولات جوی به صورت باران و میانگین بارندگی سالیانه ۳۷۵ میلی‌متر می‌باشد. رژیم حرارتی خاک منطقه صالح‌آباد هایپرترمیک و رژیم رطوبتی آن

تحقیق آهن و منگنز پدوژنیک با سیترات بی‌کربنات دی‌تیونات استخراج گردید. نتایج نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری شده منگنز پدوژنیک (Mnd) تغییراتی بسیار مشابه با آهن پدوژنیک دارد و افزایش مقدار آن در افق‌های آرچلیک بیانگر تکامل بالای خاک در این افق‌ها است. در ضمن شاخص  $Mn_o/Mn_d$  همانند شاخص  $Fe_o/Fe_d$  بیانگر تغییرات تکامل خاک است. اولیایی و رضایی (۲۰۱۴) در تحقیقی نتیجه گرفتند که سرعت رها شدن آهن و منگنز غیربلورین از کانی‌ها در مراحل اولیه هوادیدگی، بیشتر از شدت فرآیند تشکیل آهن و منگنز بلوری (Fe<sub>d</sub> و Mn<sub>d</sub>) است، ولی با افزایش سن و تکامل خاک مقادیر آهن و منگنز پدوژنیک بیشتر می‌شود و میزان آنها با درجه تکامل خاک رابطه مستقیم دارد.

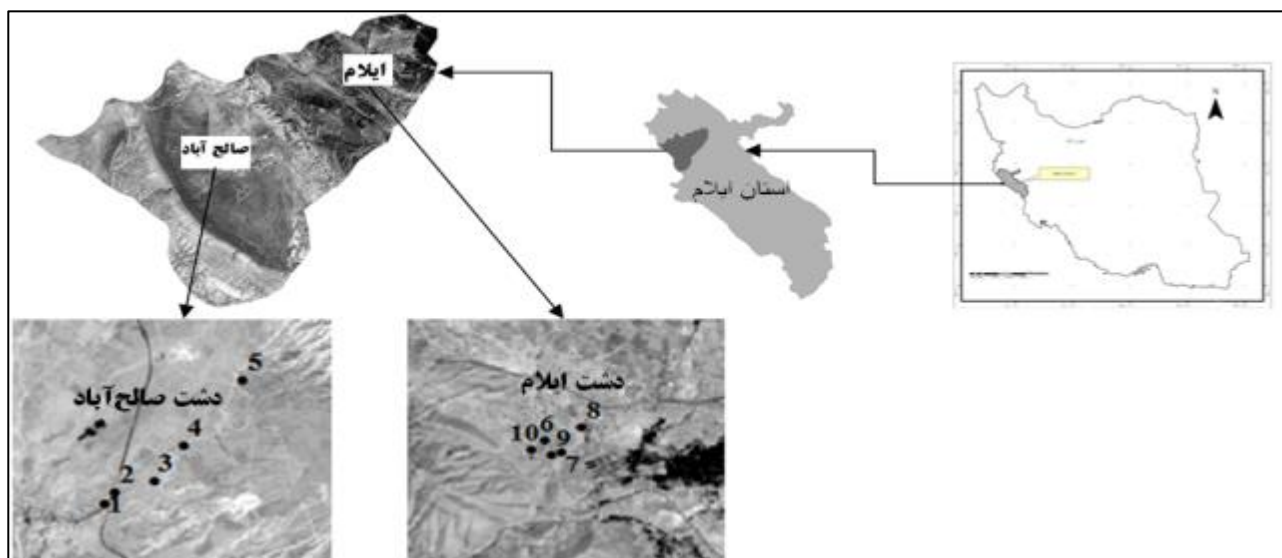
آلومینیوم از جمله فراوان‌ترین عناصر فلزی موجود در کره زمین بوده و سومین عنصر فراوان بعد از اکسیژن و سیلیس در پوسته زمین می‌باشد. این عنصر ۸ درصد از لایه سطحی زمین را می‌سازد. عنصر مذکور در طبیعت با عناصر سیلیس، اکسیژن و فلور واکنش می‌دهد (یاماگوچی و همکاران ۲۰۰۴). آلومینیوم در ساختار بسیاری از کانی‌ها وجود دارد و تنها در شرایط بسیار اسیدی در pHهای بسیار کم با تخریب کانی وارد فاز محلول می‌گردد. بر اساس معادله ۱ در شرایط بسیار اسیدی کانی کائولینایت با  $H^+$  ترکیب شده و منجر به بروز حالت بافری می‌گردد، علاوه بر کائولینایت، کانی گیبسایت (معادله ۲) نیز از این قابلیت برخوردار است (کریمی ۲۰۰۸).



اصولاً در pH بالاتر از ۶ سیستم بافری بی‌کربناته اهمیت دارد و در pH زیر ۶ سایر ترکیبات از جمله آلومینیوم اهمیت می‌یابند. در این شرایط آلومینیوم قابلیت بافری خاک را به خود اختصاص می‌دهد و آنچه مهم‌تر می‌باشد آزاد شدن عنصر سمی آلومینیوم و

میانگین دمای سالانه و بیشینه به ترتیب ۱۶/۹ و ۲۲/۸ درجه سلسیوس می باشد. با استناد به نقشه رژیم های رطوبتی و حرارتی ایران (بنایی ۱۳۷۷) خاک های منطقه ایلام دارای رژیم رطوبتی زیرک و رژیم حرارتی ترمیک می باشد.

یوستیک می باشد. منطقه ایلام با ارتفاع متوسط ۱۳۵۰ متر از سطح دریا، بر اساس روش طبقه بندی اقلیمی آمبرژه جزء مناطق نیمه مرطوب معتدل است که دارای زمستان های سرد و مرطوب و تابستان های گرم و خشک می باشد. بر اساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک ایلام میانگین بارندگی سالانه ۵۸۵ میلی متر،



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه و محل حفر خاکرها در کشور و استان ایلام.

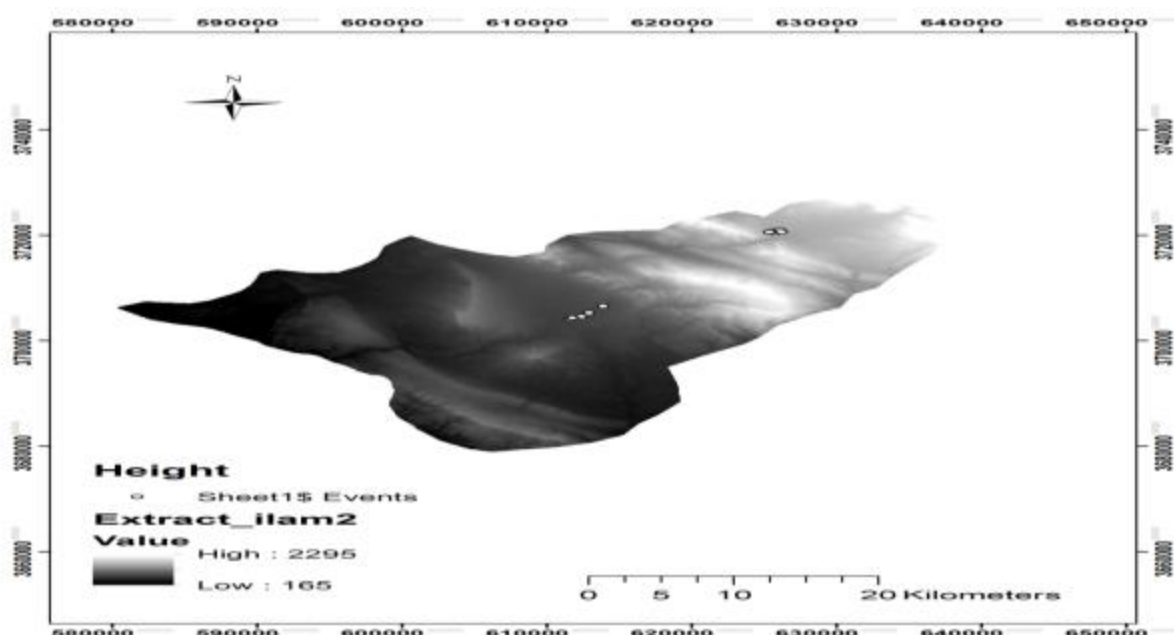
گوری و آسماری در اطراف دشت ایلام و رسوبات عهد حاضر در مرکز هر دو دشت سازندهای اصلی می باشند.

#### تجزیه های آزمایشگاهی

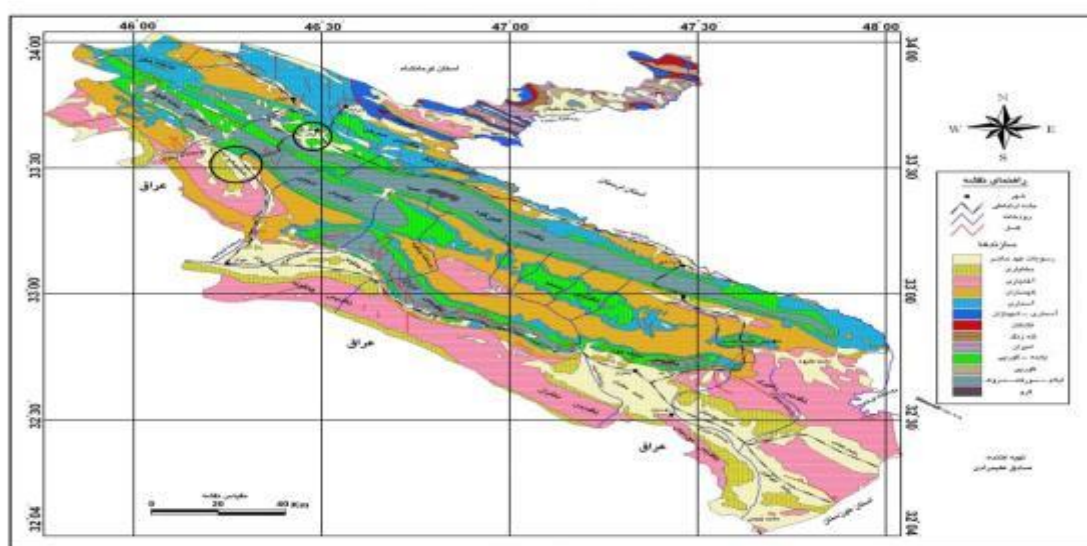
نمونه های خاک در آزمایشگاه هوا خشک شده و پس از عبور از الک دو میلی متری، برخی ویژگی های فیزیکیوشیمیایی آنها شامل بافت خاک، pH گل اشباع و هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (ECe)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، کربنات کلسیم معادل (CCE) و کربن آلی با روش های استاندارد اندازه گیری شد (بی نام ۲۰۰۸). مقادیر آهن، آلومینیوم و منگنز پدوژنیک با استفاده از روش عصاره گیری سیترات بی کربنات دی تیونات (CBD) (مهر و جکسون ۱۹۶۰) جداسازی و مقادیر آنها توسط دستگاه جذب اتمی مدل (Analyticaljena nova 400p) قرائت گردید.

#### مطالعات صحرایی و نمونه برداری

خاکرخی های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ در دشت صالح آباد و خاکرخی های ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ در اراضی ایلام حفر (شکل ۱) و بر اساس روش آمریکایی (شوینبرگر و همکاران ۲۰۱۲) تشریح و افق های ژنتیکی و ویژگی های مورفولوژیکی آنها تعیین و از همه ی افقها نمونه خاک تهیه شد. پس از انجام آزمایش های فیزیکیوشیمیایی، خاک های مورد مطالعه بر اساس سامانه رده بندی خاک آمریکایی (بی نام ۲۰۱۴) تا سطح فامیل رده بندی شد. شکل ۲ مدل رقومی ارتفاعی محدوده مورد مطالعه را نشان می دهد. اختلاف ارتفاع نقاط طبق راهنمای نقشه و اختلاف رنگ کاملاً مشهود است و اختلاف ارتفاع یک پارامتر بسیار مهم برای ایجاد اقلیم های متفاوت است. در شکل ۳ نقشه سازندهای زمین شناسی مناطق مورد مطالعه ارائه شده است. سازندهای گچساران و بختیاری در اطراف دشت صالح آباد و سازند پابده-



شکل ۲- نقشه DEM مناطق مورد مطالعه و موقعیت خاکرخی‌های حفر شده.



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی استان ایلام

## نتایج و بحث

### ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رده‌بندی خاک‌ها

نتایج برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رده‌بندی خاک‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌است. خاکرخ شماره ۱ واقع در دشت صالح‌آباد با رژیم رطوبتی یوستیک و رژیم حرارتی هایپرترمیک، دارای مقادیر EC و کربن آلی بالا و بافت لومی است و نسبت به سایر

خاکرخ‌ها دارای مقدار رس کمتر و به تبع آن CEC هم کمتر است. مشخصه بارز این خاکرخ تشکیل افق کلسیک در عمق کم خاک است که وجود افق کلسیک نشان دهنده تکامل رنگ و ساختمان خاک است. در تشریح صحرائی این خاکرخ ۲ تا ۵ درصد آهک رشته‌ای در افق کلسیک مشاهده شد و پس از آن افق Bky با مقدار ۲۰ درصد کریستال‌های ریز گچی و ۲۵ درصد



آهک پودری قرار گرفته است. رده بندی این خاکرخ بر اساس سامانه آمریکایی (۲۰۱۴) زیرگروه Gypsic Calciustepts می باشد. خاکرخ شماره ۲ نیز در دشت صالح آباد واقع شده و طبق نتایج ارائه شده در جدول ۲ مقدار EC در افق های Ap و Bky ناچیز، اما در افق By افزایش چشمگیری داشته است. کربن آلی بسیار کم و منحصر به افق سطحی است. بافت خاک لوم رسی شنی (SCL)، مقدار رس نسبتاً کم و CEC آن نسبت به سایر خاکرخ ها کمترین مقدار را دارد. این خاکرخ به طور کلی دارای بیشترین مقادیر آهک بوده و در افق Bky، ۱۵ درصد آهک پودری و افق By دارای ۳۰ تا ۴۰ درصد کریستال های ریز گچ است. زیرگروه رده بندی خاکرخ ۲، Gypsic Calciustepts می باشد. خاکرخ شماره ۳ در منطقه صالح آباد نیز دارای مقادیر EC پایین و کربن آلی بالا نسبت به بقیه ی خاکرخ های واقع در منطقه صالح آباد است. بافت خاک لومی رسی شنی و مقدار رس آن با عمق افزایش یافته است. در این خاکرخ افق کمبیک در عمق کم شکل گرفته و مقدار آهک با عمق به صورت نامنظم تغییر کرده است و کمترین مقدار آهک آن مربوط به افق Bw می باشد. با توجه به نبود افق کلسیک، زیرگروه رده بندی آن Gypsic Haplustepts می باشد. ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاکرخ های شماره ۴ و ۵ واقع در دشت صالح آباد، دارای وضعیتی مشابه هستند (جدول ۱). کلاس بافت خاک در این دو خاکرخ در همه ی افق ها لوم رسی شنی (SCL) و در خاکرخ شماره ۴، متوسط وزنی درصد ذرات درشت تر از شن در بخش کنترلی اندازه ذرات بیشتر از ۳۵ درصد و کلاس اندازه ذرات Loamy-skeletal می باشد (جدول ۱).

خاکرخ شماره ۶ در منطقه ایلام با رژیم رطوبتی زیریک و رژیم حرارتی ترمیک، دارای مقدار EC پایین بوده که از سطح به عمق کاهش داشته است. نژاد زمانی و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی با هدف بررسی رابطه اقلیم با خاک، کاهش میزان قابلیت هدایت الکتریکی خاک را به دلیل تأثیر نوع اقلیم و تغییر رژیم رطوبتی از

اریدیک به زیریک ذکر می کنند. میزان کربن آلی نسبت به سایر خاکرخ ها بیشتر بوده و با افزایش عمق کاهش یافته است. مقادیر رس بالا و در نتیجه CEC آن نیز بالا است. این خاکرخ دارای افق های مشخصه کمبیک و کلسیک می باشد و دارای بافت و قابلیت نفوذ عمقی متوسط است. ویژگی های کلی خاکرخ ۷ بسیار مشابه خاکرخ ۶ بوده و دارای ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار رس بالا و بافت سنگین است. در خاکرخ ۸ مقادیر EC و کربن آلی در افق سطحی زیاد و با افزایش عمق کاهش یافته اند. درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی آن در افق Ap بالا و در افق کلسیک واقع در عمق ۱۲۰-۷۰ کاهش یافته است. در تشریح صحرایی این خاکرخ حدود ۲۰ درصد آهک رشته ای و توده ای مشاهده شده است. خاکرخ های ۹ و ۱۰ واقع در دشت ایلام نیز وضعیتی بسیار مشابه با خاکرخ ۸ دارند و تفاوت های چشمگیری در آن ها مشاهده نشده است. رامشنی و ابطی (۱۹۹۵) در بررسی اقلیم در تحول خاک ها نتیجه گرفتند که با افزایش بارندگی و کاهش درجه حرارت، خاک ها از تکامل و تنوع افق های بیشتری برخوردار می شوند که نتایج به دست آمده مؤید این امر است. همه خاکرخ های واقع در اراضی ایلام در رده مالی سولز و خاکرخ های ۶، ۷، ۸، و ۹ در زیرگروه Typic Calcixerolls و خاکرخ ۱۰ در زیرگروه Typic Haploxerolls رده بندی می شود. زراعت پیشه و همکاران (۲۰۱۱) با مطالعه یک ردیف اقلیمی در شرق استان گلستان گزارش نمودند که در منطقه با رژیم رطوبتی یودیک و رژیم حرارتی مزیک، خاک های مالی سولز با افق های زیرسطحی آرجیلیک و کلسیک تکامل یافته، تشکیل شده اند، درحالی که در منطقه با رژیم رطوبتی زیریک و رژیم حرارتی ترمیک خاک های مالی سولز تنها دارای افق کمبیک و خاک های اینسپتی سولز شامل افق های سطحی اکریک و زیرسطحی کمبیک و کلسیک می باشند.

بررسی نتایج ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک ها (جدول ۱) نشان می دهد که بیشترین مقدار کربن آلی در

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌ها شده است. از رژیم رطوبتی اریدیک به سمت رژیم رطوبتی یودیک، خاک‌ها از درجه تکامل خاکرخی، تنوع افق‌ها و افزایش مواد آلی برخوردار می‌باشند.

### شاخص‌های تکاملی آهن، آلومینیوم و منگنز

جدول ۳ مقادیر آهن و آلومینیوم و منگنز پدوژنیک در خاکرخی‌های انتخابی را نشان می‌دهد. مقدار آهن پدوژنیک از ۲۶/۳۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در افق Bky خاکرخی ۱ تا ۳۸/۱۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در افق Ap خاکرخی ۶ متغیر است. جدول ۴ نیز نشان دهنده ضرایب همبستگی خطی بین مقادیر آهن و آلومینیوم و رس خاک است. در همه‌ی خاکرخی‌ها میزان آهن پدوژنیک افق‌های B بیشتر از سایر افق‌ها بوده، به غیر از افق‌های B با مقادیر بالای گچ که دارای میزان رس کمتر هستند. ارتباط بین میزان رس و آهن پدوژنیک را می‌توان با مقایسه مقادیر این دو پارامتر، در افق‌های کمبیک و کلسیک خاک‌های مطالعه شده دریافت و این مقادیر در افق‌های جیپسیک به دلیل کمتر بودن میزان رس متفاوت است. میزان آهن پدوژنیک (Fe<sub>d</sub>) در افق‌های A و B خاک‌ها با پیشرفت هوادیدگی افزایش می‌یابد (سیمون و همکاران ۲۰۰۰). در اغلب خاک‌های مناطق مدیترانه‌ای فرآیند آزادسازی و تجمع آهن از آبشویی و تجمع رس تبعیت نموده و میزان بالای Fe<sub>d</sub> در افق‌های B با میزان رس در این افق‌ها (تورنت و همکاران ۲۰۱۰) و افزوده شدن اکسیدهای آهن در اثر هوادیدگی کانی‌های رسی حاوی آهن در افق‌های B (دیتز و همکاران ۲۰۱۲) مرتبط می‌باشد. بررسی روند تغییر آهن پدوژنیک با میزان رس افق‌ها (جدول ۴) نشان دهنده وجود ارتباط مثبت بین این دو پارامتر می‌باشد.

همه خاکرخی‌ها مربوط به افق سطحی بوده و با روندی نامنظم با عمق رو به کاهش است. بیشترین مقدار کربن آلی ۴/۰۳ درصد در افق سطحی خاکرخی شماره ۶ واقع در منطقه ایلام و حداقل مقدار آن در حد صفر در افق‌های کلسیک و جیپسیک خاکرخی شماره ۲ واقع در صالح‌آباد اندازه‌گیری شد. دامنه تغییرات pH زیاد نبوده (۷/۳۲ تا ۷/۷۹) و این مقادیر در خاک‌های آهکی هر دو منطقه قابل انتظار است. افق کلسیک در خاکرخی‌های ۶ و ۷ دارای بیشترین مقدار رس (۳۸ درصد) و افق Bky1 خاکرخی ۱ دارای کمترین مقدار رس، (۱۸ درصد) می‌باشد و به تبع مقدار رس، ظرفیت تبادل کاتیونی تغییر کرده است. خاکرخی‌های ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ منطقه ایلام نسبت به خاکرخی‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ واقع در دشت صالح‌آباد دارای میزان رس و ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر و ریزبافت تر هستند. همه‌ی خاک‌های مورد مطالعه عمیق و با میزان تکامل خاکرخی متفاوت می‌باشند.

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس عامل‌های اصلی شامل منطقه مورد مطالعه با اقلیم متفاوت و خاکرخی و اثرات آن‌ها را بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده خاک در دو منطقه انتخابی را نشان می‌دهد. در سطح منطقه‌ای تفاوت‌های معنی‌دار بین پارامترهای اندازه‌گیری شده به جز مقادیر pH، درصد کربنات کلسیم معادل و سیلت مشاهده می‌شود، اما در سطح خاکرخی تفاوت‌ها بی‌معنی شده است. مقدار زیاد کربنات کلسیم معادل در مواد مادری این خاک‌ها نیز عاملی در جهت معنی‌دار نشدن اختلاف این پارامتر در دو منطقه بوده است. والایی و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی ویژگی‌های خاک در رژیم‌های مختلف رطوبتی در استان گلستان به این نتیجه رسیدند که تغییر رژیم رطوبتی خاک باعث تفاوت‌های قابل توجهی در



جدول ۱- نتایج برخی ویژگی های فیزیکوشیمیایی و رده بندی خاک های مورد مطالعه

کلاس بافت	Rock Fragments (%)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O (%)	CCE (%)	OC (%)	EC (dS/m)	CEC (Cmol(+)/kg)	pH <sub>paste</sub>	عمق (cm)	افق
صالح آباد ۱- خاکرخ Fine-silty, Carbonatic, Hyperthermic Gypsic Calciustepts												
L	۵	۵۰/۰۰	۲۸/۰۰	۲۲/۰۰	۱۰/۹۸	۲۹/۲۵	۱/۳۸	۲/۶۲	۱۵/۷۹	۷/۳۸	۱۵-۰	Ap
L	۳	۴۸/۰۰	۳۴/۰۰	۱۸/۰۰	۱۸/۱۲	۳۷/۲۵	۱/۳۵	۲/۷۶	۱۳/۶۷	۷/۳۹	۶۰-۱۵	Bky <sub>1</sub>
L	.	۳۸/۵۰	۳۹/۵۰	۲۲/۰۰	۲۵/۱۹	۳۴/۵۰	۰/۷۷	۲/۹۶	۱۳/۶۸	۷/۳۹	۱۰۰-۶۰	Bky <sub>2</sub>
صالح آباد ۲- خاکرخ Fine-silty, Carbonatic, Hyperthermic Gypsic Calciustepts												
SL	۳۰	۵۹/۵۰	۱۸/۰۰	۲۲/۵۰	۴/۵۰	۵۹/۲۵	۰/۱۶	۰/۶۰	۱۱/۸۳	۷/۵۴	۱۵-۰	Ap
SCL	۵	۵۴/۰۰	۲۵/۰۰	۲۱/۰۰	۵/۴۵	۵۹/۷۵	.	۰/۸۹	۱۹/۳۵	۷/۶۲	۱۰۰-۱۵	Bky
SCL	۵	۵۲/۵۰	۲۵/۵۰	۲۲/۰۰	۳۰/۷۴	۵۸/۷۵	.	۲/۷۱	۱۱/۳۵	۷/۵۲	۱۵۰-۱۰۰	By
صالح آباد ۳- خاکرخ Loamy-skeletal, Carbonatic, Hyperthermic Gypsic Haplustepts												
SL	۱۰	۵۸/۵۰	۲۳/۵۰	۱۸/۰۰	۶/۳۷	۴۸/۷۵	۱/۸۳	۰/۵۹	۱۵/۳۱	۷/۳۲	۱۵-۰	Ap
SCL	۳۰	۵۸/۰۰	۱۸/۰۰	۲۴/۰۰	۵/۸۳	۳۴	۱/۱۵	۰/۵۱	۱۵/۹۷	۷/۳۷	۴۵-۱۵	Bw
SCL	۶۰	۵۰/۰۰	۲۰/۰۰	۳۰/۰۰	۹/۰۵	۵۹/۲۵	۰/۷۴	۰/۹۸	۱۷/۵۷	۷/۷۹	۷۰-۴۵	By
صالح آباد ۴- خاکرخ Loamy-skeletal, Carbonatic, Hyperthermic Gypsic Calciustepts												
SCL	۱۰	۵۵/۵۰	۲۲/۰۰	۲۲/۵۰	۹/۱۵	۴۲/۰۰	۰/۹۱	۰/۹۹	۱۴/۴۰	۷/۶۴	۱۸-۰	Ap
SCL	۵	۵۴/۰۰	۱۸/۰۰	۲۸/۰۰	۱۲/۷۷	۴۷/۷۵	۰/۵۴	۱/۵۱	۱۵/۸۷	۷/۵۶	۵۰-۱۸	Bky
SCL	۶۰	۵۶/۰۰	۱۶/۰۰	۲۸/۰۰	۶/۵۳	۶۲/۵۰	.	۰/۶۲	۱۴/۴۶	۷/۳۲	۹۰-۵۰	CB
صالح آباد ۵- خاکرخ Fine-loamy, Carbonatic, Hyperthermic Gypsic Haplustepts												
SCL	۱۰	۵۴/۰۰	۲۶/۰۰	۲۰/۰۰	۷/۰۸	۴۹/۲۵	۱/۹۶	۰/۶۹	۱۶/۷۷	۷/۴۰	۲۰-۰	Ap
SCL	۱۵	۵۳/۰۰	۱۷/۰۰	۳۰/۰۰	۱۴/۱۷	۵۴/۵۰	۱/۱۸	۱/۷۱	۱۹/۰۹	۷/۵۶	۵۰-۲۰	By
SCL	۴۰	۵۰/۵۰	۲۳/۵۰	۲۶/۰۰	۷/۱۰	۵۳/۷۵	۱/۱۵	۰/۶۹	۱۶/۹۷	۷/۲۹	۱۰۰-۵۰	BC
صالح آباد ۶- خاکرخ Fine-silty, Carbonatic, Thermic Typic Calcixerolls												
L	۵	۴۷/۵۰	۲۹/۵۰	۲۲/۰۰	۳/۸۶	۴۸/۷۵	۴/۰۳	۰/۳۹	۲۵/۳۹	۷/۳۷	۲۵-۰	Ap
CL	۳	۴۵/۵۰	۲۲/۰۰	۲۲/۵۰	۴/۳۸	۵۰/۰۰	۱/۲۲	۰/۱۴	۲۰/۴۵	۷/۶۵	۶۵-۲۵	Bw
CL	.	۴۱/۰۰	۲۲/۰۰	۳۷/۰۰	۴/۸۴	۵۵/۲۵	۰/۶۴	۰/۱۵	۲۰/۷۰	۷/۷۳	۱۱۰-۶۵	Bk
صالح آباد ۷- خاکرخ Fine, Carbonatic, Thermic Typic Calcixerolls												
CL	۵	۴۳/۰۰	۲۶/۰۰	۳۱/۰۰	۴/۷۳	۴۸/۰۰	۲/۰۳	۰/۳۳	۱۸/۵۰	۷/۳۹	۲۵-۰	Ap
SC	۳	۴۵/۵۰	۱۷/۵۰	۳۷/۰۰	۵/۲۶	۴۹/۵۰	۱/۰۸	۰/۱۸	۱۸/۰۰	۷/۶۲	۵۰-۲۵	Bk
SC	.	۴۹/۵۰	۱۳/۵۰	۳۷/۰۰	۴/۷۷	۵۵/۰۰	۰/۵۴	۰/۱۶	۱۷/۵۰	۷/۶۴	۱۰۰-۵۰	Bkt
صالح آباد ۸- خاکرخ Fine-silty, Carbonatic, Thermic Typic Calcixerolls												
L	۳	۴۳/۵۰	۳۳/۵۰	۲۳/۰۰	۵/۱۵	۴۷/۷۵	۳/۱۸	۰/۳۹	۲۲/۴۶	۷/۳۹	۲۵-۰	Ap
SCL	.	۴۷/۵۰	۱۹/۵۰	۳۳/۰۰	۳/۱۴	۴۹/۵۰	۰/۹۸	۰/۱۳	۱۹/۸۷	۷/۷۱	۷۰-۲۵	Bw
SCL	.	۴۷/۵۰	۲۱/۵۰	۳۱/۰۰	۴/۵۵	۳۸/۷۵	۰/۲۳	۰/۱۷	۱۶/۲۹	۷/۷۳	۱۲۰-۷۰	Bk1
صالح آباد ۹- خاکرخ Fine-silty, Carbonatic, Thermic Typic Calcixerolls												
L	۱۵	۴۳	۳۴	۲۳	۵/۰۴	۵۴/۵۰	۲/۵۷	۰/۴۰۵	۲۰/۳۶	۷/۲۷	۳۰-۰	Ap
SCL	۵	۴۷/۵۰	۱۸/۵۰	۳۴	۳/۳۴	۵۱/۲۵	۰/۹۸	۰/۱۶۱	۲۰/۳۷	۷/۵۱	۶۵-۳۰	Bw
SCL	۳	۴۷	۲۱	۳۲	۳/۱۹	۵۳/۲۵	۰/۷۱	۰/۱۴	۱۸/۴۴	۷/۵۲	۹۰-۶۵	Bk1
صالح آباد ۱۰- خاکرخ Fine-silty, Carbonatic, Thermic Typic Haploxerolls												
L	۱۵	۴۳/۵۰	۳۳/۵۰	۲۳	۵/۳۳	۳۰	۲/۶۴	۰/۴۴۸	۲۰/۶	۷/۴۵	۲۵-۰	Ap
SCL	۵	۴۷/۵۰	۲۰	۳۲/۵۰	۵/۵	۵۱/۵۰	۱/۳۸	۰/۴۷۲	۲۱	۷/۴۲	۸۰-۲۵	Bw1
SCL	۱۰	۴۷/۵۰	۲۱	۳۱/۵۰	۵/۴۹	۵۱	۰/۸۱	۰/۴۷	۱۸/۵۴	۷/۵۳	۱۵۰-۸۰	Bw2

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس عامل‌های اصلی و اثرات آن‌ها بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		pH	OC	EC	CEC	CCE	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Clay	Silt	Sand	Rock Fragments
منطقه ۱	۱	۰/۰۲ <sup>NS</sup>	۳/۲۰ <sup>**</sup>	۹/۰۴ <sup>**</sup>	۱۴۶/۹۲ <sup>**</sup>	۱/۵۱ <sup>NS</sup>	۳۶۳/۶۹ <sup>**</sup>	۲۶۷/۰۰ <sup>**</sup>	۰/۵۳ <sup>NS</sup>	۲۹۱/۴۰ <sup>**</sup>	۱۵۵۵/۲۰ <sup>*</sup>
خاکرخ ۹	۹	۰/۰۱ <sup>NS</sup>	۰/۹۷ <sup>*</sup>	۰/۸۷ <sup>NS</sup>	۶/۵۹ <sup>NS</sup>	۱۱۲/۶۳ <sup>NS</sup>	۲۹/۰۹ <sup>NS</sup>	۲۷/۲۶ <sup>NS</sup>	۷۲/۱۵ <sup>NS</sup>	۳۱/۶۵ <sup>NS</sup>	۲۴۴/۹۱ <sup>NS</sup>
خطا ۲۲	۲۲	۰/۳۱	۰/۷۳	۰/۶۱	۰/۶۶	۰/۲۷	۰/۴۶	۰/۷۰	۰/۴۶	۰/۵۰	۰/۴۰

\*\* و \* به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و NS عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

میزان عناصر افزایش و در افق جیپسیک کاهش میزان عناصر مشاهده می‌شود. بیشتر بودن مقادیر Fe<sub>d</sub> و Al<sub>d</sub> و Mn<sub>d</sub> در خاکرخ‌های منطقه ایلام (۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰) را می‌توان به اقلیم مرطوب‌تر و تکامل بیشتر مربوط دانست. با تغییر رژیم رطوبتی و افزایش بارندگی علاوه بر زیاد شدن میزان سرعت هوادیدگی، موجب آزادسازی بیشتر ترکیبات آهن و افزایش نسبی آنها در خاکرخ می‌گردد (والایی و همکاران ۲۰۱۵).

### نتیجه‌گیری کلی

بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاکرخ‌ها نشان می‌دهد که روند تغییر این ویژگی‌ها به طور کامل تابع اقلیم نبوده و به همین دلیل مقادیر آهن و آلومینیوم و منگنز افق‌های مشخصه خاک که متأثر از درجه تکامل خاک‌ها هستند اندازه‌گیری شد. به‌طورکلی نتایج نشان داد که ارتباط بسیار نزدیکی بین مقادیر و نحوه تجمع آهن و منگنز و مقادیر و نحوه تجمع رس و عناصر وجود دارد. این ارتباط می‌تواند نشان دهنده‌ی درجه‌ی تکامل خاک باشد. در افق‌های کلسیک به‌طور کلی افزایش مقادیر رس و عناصر وجود داشته، اما در افق‌های جیپسیک کاهش چشمگیر مقادیر رس و عناصر مشاهده شده‌است که نشان می‌دهد افق‌های حاوی ژپسم پتانسیل نگهداری رس و عناصر را ندارند. در نتیجه می‌توان گفت که افزایش میزان کربنات کلسیم معادل در یک افق، باعث نگهداری بیشتر رس و به تبع آن نگهداری بیشتر عناصر آهن، آلومینیوم و منگنز می‌شود.

مقدار آلومینیوم از ۷/۸۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در افق Bky خاکرخ ۱ در منطقه صالح‌آباد تا ۳۵/۴۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در افق کلسیک خاکرخ ۷ در ایلام تغییر می‌کند. مقادیر آلومینیوم در اکثر افق‌های Bw بیشترین مقادیر را داشته و تقریباً در همگی خاکرخ‌ها از سطح به عمق افزایش نشان داده، به غیر از خاکرخ‌های دارای افق جیپسیک که روند افزایش عکس شده و کاهش ناگهانی در مقدار آلومینیوم در افق‌های جیپسیک مشاهده می‌شود. مقادیر منگنز موجود در خاکرخ‌ها به‌طور کلی نسبت به آهن و آلومینیوم کمتر بوده، اما روند کاهش و افزایش مشابه آن‌ها می‌باشد. یعنی روند افزایش مقدار منگنز با افزایش عمق، وجود دارد و مقادیر به طور کلی در افق‌های B بیشتر بوده، به غیر از افق‌های B حاوی گچ که بازهم کاهش مشاهده شده است. مقادیر منگنز پدوژنیک (Mn<sub>d</sub>) تغییراتی بسیار مشابه با آهن پدوژنیک دارد و افزایش مقدار آن در افق‌ها با درصد بالای رس بیانگر تکامل خاک در این افق‌ها است (امیری و همکاران ۲۰۱۸). در افق‌های Bw و Bk خاکرخ‌های ۶ و ۷ در منطقه ایلام که درصد رس زیاد است میزان منگنز نیز بیشترین بوده و خاک‌ها با بافت رسی نسبت به خاک‌ها با بافت سبکتر حاوی مقادیر بیشتری منگنز هستند (هان ۲۰۰۷).

به‌طور کلی مقادیر آهن و آلومینیوم و منگنز خاکرخ‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ واقع در دشت صالح‌آباد نسبت به خاکرخ‌های ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ واقع در ایلام کمتر می‌باشد. همچنین ارتباط نزدیکی بین نوع افق‌ها و عناصر مشاهده شده موجود است و در افق کلسیک

جدول ۳- مقادیر آهن، آلومینیوم و منگنز خاکهای مورد مطالعه

Mn <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub> (meq.L <sup>-1</sup> )	Fe <sub>d</sub>	افق	خاکرخ
۸/۳۷	۲۵/۲۶	۳۷/۶۵	Ap	۱
۱۵/۲۱	۲۶/۴۴	۳۷/۹۵	Bky1	
۱/۳۰	۷/۸۱	۲۶/۳۱	Bky1	
۵/۱۸	۱۸/۹۵	۳۷/۲۸	Ap	۲
۶/۶۰	۲۳/۹۷	۳۷/۵۷	Bky	
۲/۱۹	۱۵/۸۹	۳۵/۴۴	By	
۷/۶۷	۱۹/۹۶	۳۵/۴۱	Ap	۳
۸/۷۵	۲۳/۷۴	۳۵/۸۳	Bw	
۹/۸۳	۲۷/۵۲	۳۶/۲۵	By	
۸/۴۸	۲۲/۷۹	۳۵/۷۲	Ap	۴
۹/۴۷	۲۶/۲۶	۳۶/۱۵	Bky	
۹/۴۰	۲۶/۲۰	۳۶/۱۱	CB	
۸/۰۳	۲۱/۲۲	۳۵/۵۵	Ap	۵
۹/۸۳	۲۷/۵۲	۳۶/۲۵	Bw	
۹/۱۱	۲۵	۳۵/۹۷	BC	
۸/۴۱	۳۰/۱۸	۳۸/۱۶	Ap	۶
۱۸/۷۵	۳۴/۱۲	۳۷/۹۵	Bw	
۹	۳۵/۲۱	۳۶	Bk	
۱۰	۲۸	۳۶/۳۲	Ap	۷
۱۸/۷۹	۳۵/۴۱	۳۶/۶۹	Bk	
۱۱/۰۹	۳۱/۹۳	۳۶/۷۴	Bkt	
۱۷/۱۷	۲۹	۳۷/۳۲	Ap	۸
۱۲/۷۳	۲۸/۳۱	۳۷/۴۹	Bw	
۹/۹۰	۲۸/۱۵	۳۶/۳۲	Bk <sub>1</sub>	
۸/۵۷	۲۳/۱۱	۳۵/۷۶	Ap	۹
۱۰/۵۵	۳۰/۰۴	۳۶/۵۳	Bw	
۱۰/۱۹	۲۸/۷۸	۳۶/۳۹	Bk <sub>1</sub>	
۸/۵۷	۲۳/۱۱	۳۵/۷۶	Ap	۱۰
۱۰/۲۸	۲۹/۰۹	۳۶/۴۲	Bw <sub>1</sub>	
۱۰/۱	۲۸/۴۶	۳۶/۳۵	Bw <sub>2</sub>	

Al<sub>d</sub>, Mn<sub>d</sub>, Fe<sub>d</sub> آهن، آلومینیوم و منگنز آزاد پدوژنیک استخراج شده به وسیله سیترات بی کربنات دی تیونیت

جدول ۵- ضرایب همبستگی خطی بین مقادیر آهن، آلومینیوم و منگنز و رس خاک

	Fe <sub>d</sub>	Al <sub>d</sub>	Mn <sub>d</sub>
Fe <sub>d</sub>			
Al <sub>d</sub>	۰/۴۹۱		
Mn <sub>d</sub>	۰/۲۰۵	۰/۵۱۷*	
Clay	۰/۰۳۰	۰/۳۰۱	۰/۰۴۲

\*\* و \* به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ را نشان می دهد

حرارتی به ترتیب از یوستیک به زیریک و هایپرترمیک به ترمیک منجر به تغییر رده خاک از اینسپتی سولز در منطقه صالح آباد به رده مالی سولز در منطقه ایلام گردیده است. قضاوت در مورد تکامل خاکها بر اساس نحوه توزیع مقادیر آهن، آلومینیوم و منگنز، درک بهتری از خاکها و شرایط خاکسازای حاکم بر آنها را ارائه می دهد. همچنین با بررسی خواص فیزیکوشیمیایی این نتیجه حاصل می شود که نمی توان گفت خاکها با افقهای بیشتری متکامل ترند، زیرا تقریباً تعداد افقهای تشکیل شده در دو اقلیم به هم نزدیک هستند. اما اگر قضاوت بر اساس مقادیر آهن، آلومینیوم، منگنز و رس در افقهای مختلف خاک باشد، کاملاً واضح است که خاکهای منطقه ایلام تکامل بیشتری دارند.

به طور کلی وجود و پراکنش کربناتها در خاک به شدت وابسته به اقلیم (آبشویی مؤثر) بوده و در اقلیم خشک کربنات در خاک باقی می ماند و کربنات ثانویه نیز نزدیک به سطح خاک تجمع می یابد. اگر سایر فاکتورها ثابت در نظر گرفته شوند، افزایش بارندگی به معنی افزایش خروج کربناتها از افقهای فوقانی و رسوب در افقهای تحتانی است. با توجه به شرایط خاکها می توان نتیجه گرفت که هوادیدگی کمتری در خاکهای منطقه صالح آباد به دلیل اقلیم خشکتر صورت گرفته است. رطوبت کمتر و درجه حرارت بیشتر در منطقه صالح آباد را می توان عامل ممانعت از پیشرفت فرآیندهای خاکسازای و آبشویی دانست. در ضمن نتایج حاکی از آن است که تغییر رژیم رطوبتی و

#### منابع مورد استفاده

- Amiri B, Delavar M, Alamdari P and Naderi A. 2018. Characterizing and study of clay minerals in a loess- paleosol sequence, (case study: Neka area). *Water and Soil Science-University of Tabriz* 28(4): 225-249 (In Persian).
- Anonymous. 2014. *Keys to Soil Taxonomy* (12th ed.). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Soil Survey Staff, Washington, DC.
- Anonymous, 2008. *Laboratory analysis Instructions of water and soil samples*. Soil and Water Research Institute. No. 467. Ministry of Agriculture, Iran. (In Persian)
- Banaei HM. 1998. *Soil Moisture and Temperature Regimes Map of Iran* (1:2500000). Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran.
- Biglari H, Bazrafshan E and Dehshibi AR. 2011. Investigation of dispersion of aluminum concentration in groundwater resources and distribution network of drinking water in Sistan and Baluchestan province using GIS geographic information system. 14th National Conference on Environmental Health; Yazd (In Persian).
- Birkeland PW, Burke RM, and Benedict JB. 1989. Pedogenic gradients for iron and aluminum accumulation and phosphorus depletion in arctic and alpine soils as a function of time and climate. *Quaternary Research* 32: 193-204.
- Bull WB. 1991. *Geomorphic Responses to Climatic Change*: New York, Oxford University Press, 326 p.
- Caner L, Radtke LM, Vignol-Lelarge ML, Inda AV, Bortoluzzi EC and Mexias AS. 2014. Basalt and rhyodacite weathering and soil clay formation under subtropical climate in southern Brazil. *Geoderma* 235-236: 100-112.
- Costantini AC and Damiani D. 2004. Clay minerals and the development of Quaternary soils in central Italy. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 21: 144-159.
- Dahms D, Favilli F, Krebs R and Egli M. 2012. Soil weathering and accumulation rates of oxalate-extractable phases rived from alpine chronosequences of up to 1 Ma in age. *Geomorphology* 151-152: 99-1131.

- Dethier DP, Birkeland PW and McCarth JA. 2012. Using the accumulation of CBD extractable iron and clay content to estimate soil age on stable surfaces and nearby slopes, Front Range, Colorado. *Geomorphology* 173-174: 17-29.
- Donkin MJ and Fey MV. 1993. Relationships between soil properties and climatic indices in southern Natal. *Geoderma* 59: 197-212.
- Fiedler S and Sommer M. 2004. Water and redox conditions in wetland soils-their influence on pedogenic oxides and morphology. *Soil Science Society of America Journal* 68: 335-326.
- Han, FX. 2007. Biogeochemistry of Trace Elements in Arid Environments. In: Han, editor. P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands; p. 131.
- Inda AV, Fink J R and Santos TFD. 2018. Pedogenic iron oxides in soils of the Acre State, Brazil. *Ciência Rural*, 48(8): [art.] e20180209.
- Karimi M. 2008. Environmental effects of aluminum in atmosphere and water resources. Meteorological Office of Isfahan Province - Applied Meteorological Research Center.
- Khormali F, Abtahi A, Mahmood S and Stoops G. 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semiarid regions of southern Iran. *Catena* 53: 273-301.
- Mehra OP and Jackson ML. 1960. Iron oxides removed from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Minerals* 7: 317-327.
- Neghadzamani L, Farpoor MH and Jafari A. 2017. Soil genesis as affected by climate and geomorphic surface in Rayen area, Kerman Province. *Journal of Water and Soil*, 31(6): 1724-1739 (In Persian).
- Owliaie HR, Adhami A, Jafari S, Ghasemi R and Rajaiie M. 2009. Magnetic acceptability distribution in relation to iron compounds in some selected soils of Fars province. *Soil Research (Soil and Water Sciences)* 23(2): 191-204 (In Persian)
- Owliaie HR and Rezaei S. 2014. Effect of topography and land use on genesis, chemical forms of Fe, Mn and clay mineralogy of soils of Yasouj western plain. *Journal of Water and Soil Conservation* 21(2): 109-129 (In Persian).
- Ramshani KH and Abtahi A. 1995. The effect of climate and topography on formation, development and morphological characteristics of soils in Kohkiluyeh region in Fars province. The 4<sup>th</sup> Iranian Soil Sciences Congress. Isfahan University of Technology. (In Persian).
- Reimann CU, Siewers T, Tarvainen L, Bityukova J, Eriksson A, Gilucis V, Gregorauskiene V, Lukashev NN, Matinian and Pasieczna A. 2000. Baltic soil survey: total concentrations of major and selected trace elements in arable soils from 10 countries around the Baltic Sea. *Science of the Total Environment* 257(2-3): 155-170.
- Rezapour S, Jafarzadeh AA, Samadi A and Oustan S. 2010. Distribution of iron oxides forms on a transect of calcareous soils, north-west of Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science* 56(2): 165-182.
- Schoeneberger PJ, Wysocki DA and Benham EC. 2012. Soil Survey Staff. Field Book for Describing and Sampling Soils. Version 3.0. Natl. Soil Survey. Ctr., Lincoln, NE.
- Simon M, Sanchez S and Garcia I. 2000. Soil-landscape evolution on a Mediterranean high mountain. *Catena* 39: 211-231.
- Singh LP, Parkash B and Singhvi AK. 1998. Evolution of the Lower Gangetic Plain landforms and soils in West Bengal, India. *Catena* 33: 75-104.
- Tokashiki Y, Dixon JB and Golden DC. 1986. Manganese oxide analysis in soils by combined X-ray diffraction and selective dissolution methods. *Soil Science Society of America Journal* 50: 1079-1084.
- Torabi H and 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 Water and Soil Science-Isfahan University of Technology* 18 (70): 269-281 (In Persian).
- Torrent J, Liu QS and Barron V. 2010. Magnetic minerals in Calcic Luvisols (Chromic) developed in a warm Mediterranean region of Spain: Origin and paleoenvironmental significance. *Geoderma* 154: 465-472.
- Valaee M, Ayoubi Sh, Khademi H, and Khormali F. 2015. Relationships between some soil physical and chemical properties with magnetic properties in different soil moisture regimes in Golestan province. *Journal of Water and Soil*, 29(6): 1567-1577 (In Persian).
- Yamaguchi N, Hiradate S, Mizoguchi M and Miyazaki T. 2004. Disappearance of aluminum tridecamer from hydroxyaluminum solution in the presence of humic acid. *Soil Science Society of America Journal* 68: 1838-1843.

Zeraatpishe M and Khormali F. 2011. The investigation of soil formation and evolution of losses derived soils in a climosequence, case study: eastern of Golestan Province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 18(2): 45-64 (In Persian).