



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره دوم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.14152.2888

ارزیابی تراس‌های مسیر کنونی رودخانه زاینده‌رود با استفاده از شاخص تکامل خاک‌رخ هاردن (PDI)

*شقایق هوایی^۱، اردوان کمالی^۲، نورایر تومانیان^۳ و محمدرضا مصدقی^۴

^۱دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، آستادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان،

^۲دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، ^۳استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: یکی از مهم‌ترین اهداف علم خاک‌شناسی بررسی و شناخت تغییر و تحول محیط سطحی زمین در گذشته و استفاده از الگوی کشف‌شده برای پیش‌بینی تغییر و تحولات محیطی در آینده، به‌منظور بهبود مدیریت سرزمین است. از این‌رو و به‌منظور درک چگونگی تکوین و تکامل اراضی دشت آبرفتی رودخانه زاینده‌رود، پژوهش پیش‌رو در بخشی از اراضی مسیر کنونی رودخانه در مقیاس مطالعاتی نیمه‌تفضیلی طراحی شد.

مواد و روش‌ها: سطوح زمین‌ریختی با استفاده از تفسیر استریوسکوپی عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و بر اساس سیستم طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی زینک تعیین شدند. تعداد ۴۸ خاک‌رخ با فواصل ۱ کیلومتر در یک کیلومتر بر اساس شیوه رایج مطالعات نیمه‌تفضیلی خاک و طبق الگوی نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم در واحدهای زمین‌ریختی تفکیک‌شده، حفر گردید. بر اساس نتایج آزمایشگاهی، رده‌بندی خاک‌ها مطابق با کلید رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴) نهایی شد. درجه تکامل خاک‌ها طبق شاخص تکامل خاک‌رخ هاردن (PDI) برای هشت خاک‌رخ شاهد مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: طبق مطالعات پیشین، مسیر رودخانه زاینده‌رود در طول زمان جریان آن، یک مسیر واحد و تعداد تراس‌های مربوطه در دشت زاینده‌رود تنها سه مورد فرض می‌شد. در آخرین پژوهش انجام شده، مشخص شد که رودخانه زاینده‌رود در طول زمان، سه مسیر جداگانه را طی نموده است. اما تاکنون هیچ‌گونه مطالعه‌ای پیرامون تفکیک تراس‌های آن در مسیرهای سه‌گانه انجام نشده است. در این پژوهش، تفسیر استریوسکوپی عکس‌های هوایی و بازدیدهای صحرائی نشان داد که مسیر کنونی رودخانه زاینده‌رود خود شامل یک مجموعه با سه تراس است که هر یک از این سه تراس نیز شامل زیرتراس‌هایی می‌باشند. همچنین بررسی‌های صحرائی و آزمایشگاهی نشان داد که ۴۸ خاک‌رخ حفرشده در این پژوهش در قالب چهار تحت رده *calcids*، *argids* و *orthents* قرار دارند که در نهایت شامل هشت فامیل خاک متفاوت شده‌اند. خاک‌رخ‌های مذکور بر اساس حضور، عدم حضور و عمق و سایر ویژگی‌های ژئومورفیک افق‌های مشخصه آرجیلیک، کلسیک و کمبیک متفاوت بوده و بر اساس مقادیر محاسبه‌شده شاخص PDI، برای خاک‌رخ‌های شاهد درجه تکامل آن‌ها مشخص شده و به اثبات رسید.

* مسئول مکاتبه: sh.havayi@yahoo.com

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که پوشش خاکی در سطح سه تراس مسیر کنونی رودخانه زاینده‌رود، دارای تنوعی بیش‌تر از آنچه پیش از این گزارش شده، می‌باشد و این تنوع نشان‌دهنده تفاوت در سن تراس‌های مذکور است. مطالعات خاک‌شناسی نیز مشخص کرد که خاک‌های تراس اول مجموعه مسیر کنونی رودخانه، دارای بیشترین مقدار PDI و تکامل نسبت به خاک‌های دو تراس دیگر می‌باشند. در پوشش خاکی تراس اول وجود افق‌های مشخصه آرجیلیک و کلسیک بیانگر این نتیجه است. از سوی دیگر خاک‌های موجود در تراس دوم نیز نسبت به خاک‌های تراس اول میزان شاخص PDI و درجه تکامل کم‌تر و نسبت به خاک‌های مربوط به تراس سوم درجه تکامل بیش‌تری داشتند. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اراضی آبرفتی رودخانه‌ای در مسیر کنونی زاینده‌رود مستقلاً دارای سه تراس سنی متفاوت هستند؛ در حقیقت تراس‌های سه‌گانه خود شامل چند تراس حد واسط می‌باشند. از نتایج این مطالعه می‌توان پیش‌بینی نمود که تعدادی تراس در مسیرهای قبلی رودخانه وجود دارد که برای اثبات آن‌ها احتیاج به پژوهش بیش‌تری است.

واژه‌های کلیدی: سطوح زمین‌ریختی، مسیرهای زاینده‌رود، زیرتراس، شاخص PDI

مقدمه

حوضه رودخانه زاینده‌رود یکی از مهم‌ترین حوضه‌های آبی ایران مرکزی محسوب می‌گردد. خرده‌قاره ایران مرکزی بخش مثلث‌شکلی است که در مرکز ایران قرار دارد (۲۲). در اواخر کرتاسه و شروع ائوسن، دره زاینده‌رود تحت فرآیندهای کوه‌زائی لارامین قرار می‌گیرد که چین‌خوردگی، بالاآمدن رسوبات و فرسایش‌های بعدی از مشخصه‌های این دوره است (۳۳). با شروع فعالیت‌های کوه‌زائی آلیپی، رشته‌کوه زاگرس شروع به بالاآمدن و تشکیل شدن نموده است. به این ترتیب شیب هیدرولیکی قابل‌ملاحظه‌ای بین ارتفاعات زاگرس و گودی گاوخونی ایجاد شد (۳۳). در نتیجه ادامه جریان آب طی فرآیند توصیف‌شده، رودخانه زاینده‌رود در ابعاد کنونی تشکیل شد. سپس تراس‌های رودخانه زاینده‌رود به مرور و توسط خود رودخانه در اطراف مسیرهای چندگانه آن تشکیل گردید. در حقیقت تراس‌های زاینده‌رود از جمله لندفرم‌های رسوبی آبرفتی محسوب می‌گردند (۳۳) و این به معنی وجود شرایط آغازین متعدد در چنین سیستمی است، که نتیجه آن امکان تشکیل و تکامل خاک‌ها و سطوح زمین‌ریختی متنوع در تراس‌های

مختلف را به شدت افزایش می‌دهد. این امر مدیریت اراضی مذکور را پیچیده و نیازمند به شناخت دقیق منابع زمین‌ریختی و خاکی نموده است.

با وجود اهمیت اقتصادی، کشاورزی، منابع طبیعی و زیست‌محیطی، اجتماعی و سیاسی رودخانه زاینده‌رود و اراضی مجاور آن، مطالعه‌های محدودی پیرامون تاریخچه تکامل و تکوین خاک‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی آن انجام شده است. جعفریان (۱۹۸۶)، خادمی و همکاران (۱۹۹۷) و ایوبی (۲۰۰۲)، در مطالعاتی جغرافیای گذشته و مراحل تکوین دره زاینده‌رود را مورد بررسی قرار داده‌اند (۲، ۱۶ و ۱۸). همچنین وزارت کشاورزی و منابع طبیعی (۱۹۷۴) گزارش خاک‌شناسی نیمه‌تفضیلی از منطقه رودشت واقع در دره زاینده‌رود را ارائه داده است (۱۵). رامشت (۱۹۹۲) و نوربخش (۲۰۰۲) مطالعه‌های اجمالی پیرامون وضعیت تکامل و تکوین خاک و زمین‌نما در منطقه اصفهان انجام داده‌اند (۲۵ و ۲۷). نتیجه تمامی تلاش‌های مذکور گردآوری اطلاعاتی پراکنده و بعضاً بسیار اجمالی و در نتیجه متناقض از وضعیت خاک‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی منطقه دره زاینده‌رود اصفهان با واقعیت طبیعت است. در حقیقت

زمین‌ریختی^۱، حافظه‌ای برای ذخیره اطلاعات گذشته این سطوح بوده (۲۶) و به درک چگونگی تکامل و تکوین زمین‌نما، سن و فرآیندهای زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناختی و خاک‌شناختی کمک شایان می‌نمایند (۲۰). بدین‌وسیله می‌توان تقدم و تأخر تشکیل شدن واحدهای اراضی را تعیین کرده و با توجه به سن آن‌ها، فرآیندهای بعدی قابل انتظار و نوع تغییرات احتمالی را در گستره مورد نیاز پیش‌بینی نمود. اکثر فرآیندهای خاک‌سازی از جمله تجمع رس، کربنات‌کلسیم، اکسیدهای آهن نیازمند به گذر زمان بوده (۸ و ۱۷)، و این موضوع خاک را به شاخصی مناسب برای تشخیص توالی‌های زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی تبدیل نموده است (۶، ۲۱، ۲۳، ۲۴ و ۳۵).

در این رابطه بلیز و کیولکوز (۱۹۷۷)؛ تورنت و همکاران (۱۹۸۰) و هاردن (۱۹۸۲) شاخص‌های کمی^۳ برای ارزیابی درجه تکامل خاک تهیه نمودند (۵، ۱۳ و ۳۴). هاردن (۱۹۸۲) با استفاده از ویژگی‌های صحرایی خاک‌ها شامل: ۱- قرمزی^۴ که مربوط به رنگ خاک و شامل مجموعه هیو^۵ و کروما^۶ است، ۲- ملانیزه‌شدن مربوط به بخش ولیو^۷ رنگ خاک، ۳- بافت خاک^۸، ۴- ساختمان خاک^۹، ۵- پوشش‌های رسی^{۱۰}، ۶- پایداری خشک^{۱۱}، ۷- پایداری مرطوب^{۱۲} و ۸- pH خاک، شاخصی کمی از تکامل خاک‌رخ^{۱۳} (PDI) ارائه نمود (۱۳). در این روش داده‌ها و اطلاعات صحرایی جمع‌آوری شده از خاک‌رخ، به

نتایج مطالعه‌های پیشین نشان می‌دهد که، در مسیر زاینده‌رود از سرآب تا پایاب سه تراس واحد بوجود آمده است (شکل ۱).

تومانیان (۲۰۰۶) به بررسی و تشریح چگونگی تکوین دره زاینده‌رود پرداخت. وی به نتایج ارزشمندی در مورد تاریخچه ژئومورفیک این دره دست یافته است که به‌عنوان پایه پژوهش پیش‌رو قرار گرفت (۳۳). بر این اساس همان‌گونه که شکل ۱ نشان می‌دهد، زاینده‌رود از ابتدای تشکیل تاکنون به‌دلیل تغییر شرایط محیطی و اقلیمی و در نتیجه تغییر در نیروی محرکه، مسیر حرکتش را در منطقه اطراف شهر اصفهان سه بار تغییر داده، و پس از هر تغییر مسیر، تراس‌های جدیدی نهشته است (۳۳). با وجود ارائه اطلاعات ارزشمند از تاریخچه تکاملی و تکوینی دره زاینده‌رود، مطالعه تومانیان (۳۳) همچنان در مقیاس اکتشافی انجام شده است. از طرف دیگر در نشریه شماره ۳۹۱ وزارت کشاورزی و منابع طبیعی نیز خاک‌های زمین‌های مربوط به تراس‌های کنونی رودخانه زاینده‌رود تنها در دو سری اصفهان و سری زاینده‌رود طبقه‌بندی شده‌اند که مشاهده‌های صحرایی تنوع بیشتری در پوشش‌های خاکی این اراضی را نشان می‌دهد (۱۵).

به این ترتیب می‌توان بیان نمود که اطلاعات دقیقی پیرامون تمایز تراس‌های مختلف زاینده‌رود در دست نیست و در نتیجه تشخیص و مدیریت تنوع سطوح زمین‌ریختی و خاک‌شناختی در تراس‌های مختلف رودخانه نیز امکان‌پذیر نیست.

در سال‌های اخیر در کشورهای توسعه‌یافته، مطالعه‌های سیستماتیک انجام شده در رابطه با منابع طبیعی و برهم‌کنش‌های موجود بین آن‌ها نشان داد که میراث پدولوژیک به‌دلیل ارتباط مشهود با سطوح

- 1- Geomorphic Surfaces
- 2- Landscape
- 3- Quantitative Indices
- 4- Rubification
- 5- Hue
- 6- Chroma
- 7- Value
- 8- Soil Texture
- 9- Soil Structure
- 10- Clay Film
- 11- Dry Consistence
- 12- Moist Consistence
- 13- Profile Development Index

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: برای اجرای اهداف مورد نظر، منطقه‌ای از تراس رودخانه زاینده‌رود به طول و عرض جغرافیایی $51^{\circ}50' - 52^{\circ}2'$ شرقی و $32^{\circ}33' - 32^{\circ}30'$ شمالی انتخاب شد. منطقه مورد مطالعه به‌گونه‌ای انتخاب گردید که بخش‌هایی از اراضی هر سه تراس مسیر جدید را در دو سوی رودخانه زاینده‌رود پوشش دهد (شکل ۱). در این منطقه میانگین تبخیر و تعرق مرجع، دما و بارندگی سالانه به‌ترتیب برابر ۱۵۷۵ میلی‌متر، ۱۶ درجه سلسیوس و ۱۱۰ میلی‌متر است (۱۹) و بر اساس معیارهای سیستم آمریکایی دارای رژیم رطوبتی اریدیک^۲ و رژیم حرارتی ترمیک^۳ است. ساختار زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه عمدتاً از رسوبات آهکی کرتاسه که روی شیل و ماسه‌سنگ‌های مزوزوئیک قرار گرفته‌اند، تشکیل یافته است (۳۳). با توجه به هدف اجرای مطالعه به شیوه رایج مطالعات نیمه‌تفصیلی خاک (۲۹) از الگوی نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم در واحدهای زمین‌ریختی تفکیک‌شده، استفاده شد.

تعیین سطوح زمین‌ریختی: سطوح زمین‌ریختی با استفاده از تفسیر استریوسکوپیک عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و بر اساس سیستم طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی زینک (۱۹۸۸) تعیین شد (۳۷). لازم به توضیح است که با توجه به مساحت منطقه مطالعاتی سطوح زمین‌ریختی تنها در چهار سطح پایینی این سیستم (به‌ترتیب زمین‌نما، پستی و بلندی، سنگ‌شناسی و شکل زمین) تفکیک شدند (۳۷). پس از تفسیر عکس‌های هوایی و رده‌بندی سطوح زمین‌ریختی آن‌ها، برای تهیه نقشه زمین‌ریختی نتایج وارد محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3.1 شد.

داده‌های کمی تبدیل شده و در نهایت معیاری با دسترسی آسان و قابل استناد برای تکامل خاک ارائه می‌نماید. در حقیقت این شاخص، روشی کاربردی در زمینه بررسی تکامل خاک‌رخ در طول ردیف‌های زمانی^۱ است. ینی (۱۹۴۱) عنوان کرد که در یک سیستم خاک، زمان نیز مانند سایر فاکتورهای خاک‌سازی باید مورد بررسی قرار گیرد و ردیف‌های زمانی موقعیتی ممتاز در مطالعه تکامل خاک در طول گذر زمان فراهم می‌آورند (۱۷).

طبق نظریه هاردن تغییراتی که در یک ویژگی خاکی درون یک ردیف زمانی رخ می‌دهد، نشان‌دهنده پیش‌روی یک یا مجموعه‌ای از فرآیندهای خاک‌سازی در گذر زمان است (۹، ۱۳ و ۱۴). بوخیم و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند که استفاده از شاخص PDI و ویژگی‌های صحرایی خاک‌ها، روشی مناسب برای تعیین تراس‌های مختلف دریایی Oregon بوده است (۷). تسای و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از PDI به‌عنوان یک روش خاک‌شناسی، به چگونگی تکامل و تکوین زمین‌ریخت‌شناختی تراس‌های رودخانه Pakua واقع در تایوان دست یافتند (۳۶).

این پژوهش با هدف کلی ارزیابی تراس‌های زاینده‌رود، با استفاده از وضعیت تکامل خاک در اراضی مذکور اجرا گردید؛ که به‌منظور انجام آن اهداف جزئی زیر مدنظر بود:

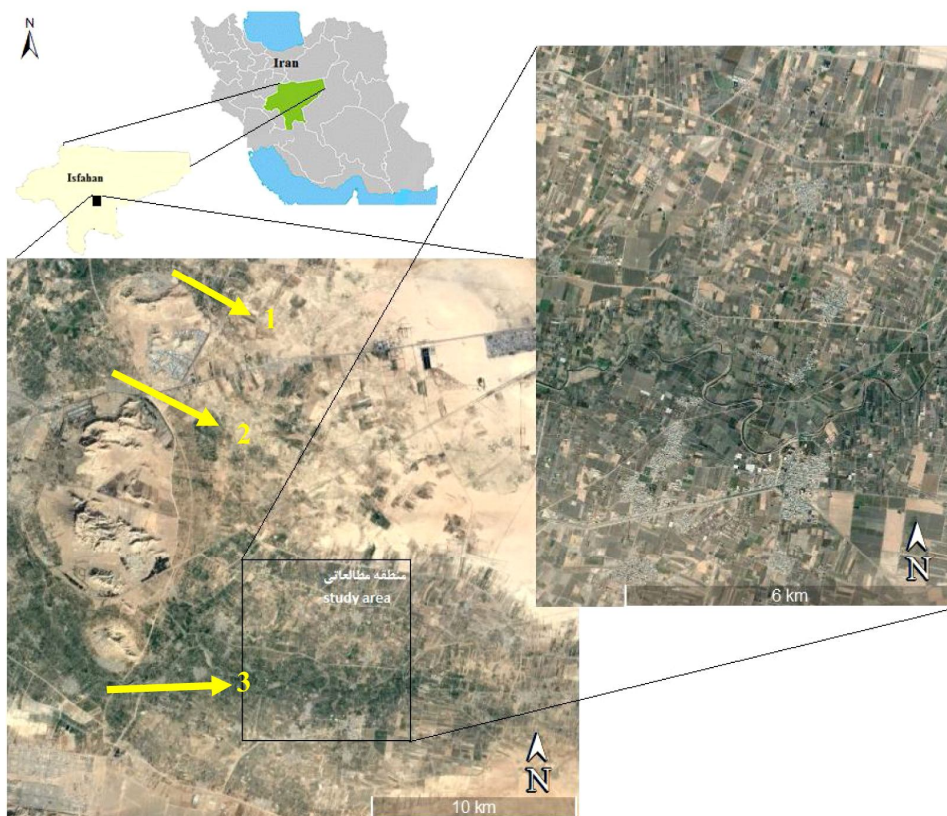
- ۱) تهیه نقشه ژئومورفیک اراضی آبرفتی رودخانه،
- ۲) مطالعه و رده‌بندی خاک‌های آن، ۳) بررسی کمی وضعیت تکاملی خاک‌ها با استفاده از شاخص PDI هاردن، ۴) بررسی مطابقت وضعیت تکاملی خاک‌ها با نقشه ژئومورفیک اراضی مذکور دنبال شد. بر کسی پوشیده نیست که درک وضعیت اراضی آبرفتی رودخانه زاینده‌رود در طول تاریخ به پیش‌بینی وضعیت آن در آینده و مدیریت صحیح این اراضی کمک شایانی خواهد نمود.

2- Aridic Moisture Regime
3- Thermic Temperature Regime

1- Chronosequences

حجمی محاسبه گردید (۳۱). pH و رسانایی الکتریکی به ترتیب در گل اشباع و عصاره گل اشباع نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه pH متر inoLAB مدل pH7110 و دستگاه EC متر ELMEIRON مدل CC-501 اندازه‌گیری شدند بافت خاک و اجزای آن به روش پیپت، کربنات کلسیم معادل و ماده آلی طبق دستورالعمل تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک و آب نشریه شماره ۴۶۷ اندازه‌گیری شد (۱۲).

مطالعه‌های صحرائی و آزمایشگاهی: پس از تهیه نقشه زمین‌ریختی منطقه مورد مطالعه، تعداد ۴۸ خاک‌رخ با فاصله کم‌تر از یک کیلومتر طبق الگوی نمونه‌برداری شبکه‌ای حفر گردید. داده‌های صحرائی برای هر خاک‌رخ براساس راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک جمع‌آوری شد (۲۶). تمامی افق‌های ژنتیکی این خاک‌رخ‌ها نمونه‌برداری شده و پس از هواخشک‌نمودن نمونه‌ها و عبور آن‌ها از الک دو میلی‌متری، درصد ذرات درشت آن‌ها به روش



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و سه مسیر رودخانه زاینده‌رود.

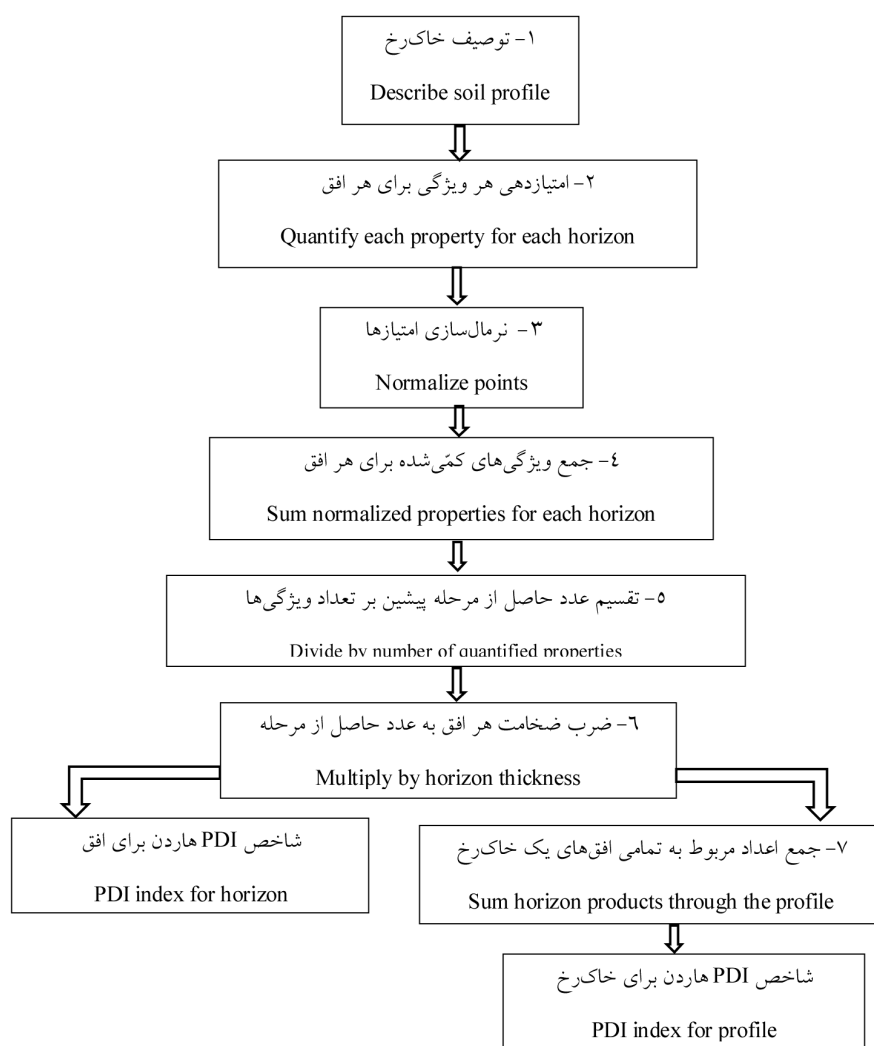
Figure 1. The study area and three path ways of Zayandeh-rud River.

این ترتیب برای هر فامیل خاک، یک خاک‌رخ شاهد انتخاب و محاسبات مربوط به شاخص PDI هاردن برای خاک‌رخ‌ها به شرح زیر انجام شد. به منظور محاسبه شاخص PDI هاردن، نه ویژگی ریخت‌شناختی قرمزی، ملانیزه‌شدن، بافت خاک، خاک، پوشش رسی،

بر اساس نتایج آزمایشگاهی، رده‌بندی خاک‌ها مطابق با کلید رده‌بندی آمریکایی ۲۰۱۴ نهایی شد (۲۷). شاخص PDI: پس از بررسی‌های صحرائی و آزمایشگاهی ۴۸ خاک‌رخ حفر شده در این پژوهش در قالب هشت فامیل خاک متفاوت طبقه‌بندی شدند. به

خاک‌سازی مهمی از جمله فرآیندهای آهک‌زدایی بوده که خود شاخصی از سن نسبی خاک است. به این ترتیب، در این پژوهش به منظور کالیبره نمودن شاخص هاردن برای بررسی تکامل خاک در منطقه خشک دره زاینده‌رود، ویژگی‌های تجمع‌ها به شاخص هاردن افزوده شد.

تجمع‌ها، ساختمان خاک، پایداری خشک و مرطوب و pH خاک مورد استفاده قرار گرفت. طبق نمودار موجود در شکل ۲، برای خاک‌رخ‌ها دقیقاً طبق روش توصیف‌شده توسط هاردن انجام شد (۱۳ و ۱۴). البته لازم به ذکر است که به دلیل aridic بودن رژیم رطوبتی منطقه مطالعاتی، تشکیل و تجمع ترکیباتی چون کربنات کلسیم ثانویه نشان‌دهنده وقوع فرآیندهای



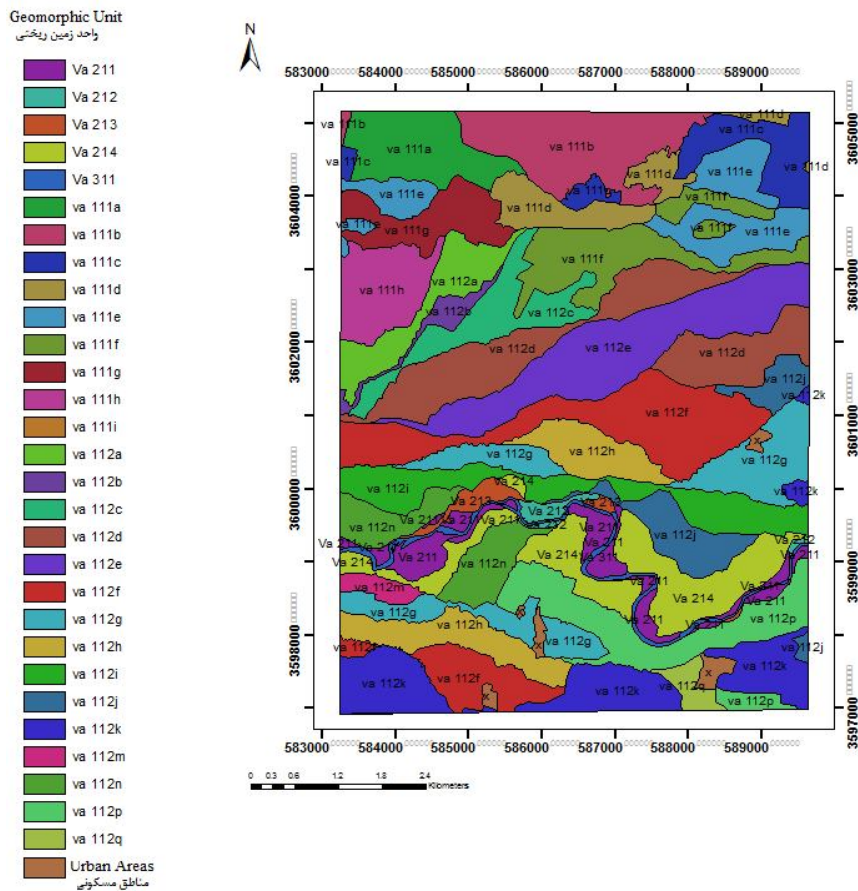
شکل ۲- مراحل تعیین شاخص PDI هاردن.

Figure 2. Determination of the PDI index.

کنونی رودخانه زاینده‌رود خود شامل یک مجموعه با سه تراس است.

نتایج و بحث

تفسیر استریوسکوپي عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و بازدیدهای صحرایی نشان داد که مسیر



شکل ۳- سطوح زمین ریختنی تفکیک شده در منطقه مورد مطالعه.

Figure 3. Delineated geomorphic surfaces of the study area.

جدول ۱- راهنمای واحدهای زمین ریخت شناختی سلسله مراتبی تفکیک شده در منطقه مورد مطالعه.

Table 1. Guideline for hierarchical geomorphologic units in the study area.

زمین نما landscape	پستی و بلندی Relief	سنگ شناسی Lithology	شکل زمین Landform
دره Valley	۱- دشت آبرفتی Alluvial plain	۱- رسوبات رودخانه‌ای زاینده رود Zayandeh-rud river alluviums	Va 111a, Va 111b ¹ دشت آبرفتی، زیر تراس درون تراس اول، کشت شده Alluvial plain, sub terrace of first terrace, cultivated
			Va 111c, Va 111d, Va 111e, Va 111f, Va 111g, Va 111h, Va 111i ² دشت آبرفتی، زیر تراس درون مجموعه تراس اول Alluvial plain, , sub terrace of first terrace
			Va 112a, Va 112b, Va 112c, Va 112d, Va 112e, Va 112f, Va 112g, Va 112h, Va 112i ³ دشت آبرفتی، زیر تراس درون تراس دوم، کشت شده Alluvial plain, sub terrace of second terrace, cultivated
			Va 112k, Va 112m, Va 112n, Va 112p, Va 112q ⁴ دشت آبرفتی، زیر تراس درون تراس دوم Alluvial plain, sub terrace of second terrace

ادامه جدول ۱-

Continue Table 1.

زمین‌نما landscape	پستی و بلندی Relief	سنگ‌شناسی Lithology	شکل زمین Landform
	۲- دشت سیلابی Flood plain	۱- رسوبات رودخانه‌ای Recent alluviums	Va 211 دشت سیلابی، تراس سوم، رسوبات Point bar Flood plain, third terrace, point bar deposit
			Va 212 دشت سیلابی، تراس سوم، دریاچه نعل اسبی Flood plain, third terrace, Oxbow lake
			Va 213 رسوبات جانبی کانال انتقالی Lateral accretion deposit of the channel margin
			Va 214 رسوبات جانبی کانال انتقالی بدون کانال‌های عمیق Lateral accretion deposit of the channel margin without deep channels
			Va 215 رسوبات جانبی کانال انتقالی همراه کانال‌های عمیق Lateral accretion deposit of the channel margin with deep channels
	۳- رودخانه River	۱- رسوبات سنگ‌ریزه‌ای رودخانه‌ای Recent gravelly alluviums	Va 311 بستر رودخانه River's bed

Height difference: Va 111a>Va 111b:

Height difference: 111c>Va 111d> Va 111e>Va 111f>Va 111g>Va 111h>Va 111i :

Height difference: 112a>Va 112b> Va 112c>Va 112d>Va 112e>Va 112f>Va 112g > Va 112h>Va 112i

Height difference: 112k>Va 112m> Va 112n>Va 112p>Va 112q

منطقه و جدول ۱ نشان داده شده‌اند (شکل ۳). تراس اول این مسیر (قدیمی‌ترین تراس) شامل نه زیرتراس بوده که مرتفع‌ترین آن‌ها واحد Va 111a و کم‌ارتفاع‌ترین آن‌ها نیز واحد Va 111i است. برای تراس دوم نیز چهارده زیرتراس تشخیص داده شد. واحد زمین‌ریختی Va 112a بیش‌ترین و واحد Va 112e کم‌ترین ارتفاع را بین زیرتراس‌های دومین تراس مسیر

هم‌چنین طی تفسیر عکس‌های هوایی مشخص شد که هر یک از سه تراس مذکور، بر اساس اختلاف ارتفاع، خود شامل زیرتراس‌هایی هستند. این در حالی است که مطالعات پیشین به دلیل کوچک‌مقیاس بودن، کل تراس‌های مذکور را به‌عنوان یک تراس (جدیدترین تراس) در نظر می‌گرفتند. سه تراس اصلی و زیرتراس‌های تشخیص داده شده برای آن‌ها در نقشه زمین‌ریختی

پیش از این گزارش شده است (۱۵). در حقیقت این تنوع نشان‌دهنده تفاوت در سن تراس‌های مذکور می‌باشد. با توجه به این موضوع که در تراس‌های قدیمی‌تر زمان کافی برای وقوع فرآیندهای خاک‌سازی مختلف و متناسب با شرایط محیطی فراهم بوده، در این تراس‌ها تنوع پوشش خاکی افزایش یافته است (جدول ۲). این در حالی است که جدیدترین تراس با وجود تشابه در ماده مادری، اقلیم، پوشش گیاهی و توپوگرافی با دو تراس قدیمی‌تر، تنوع کم‌تری در پوشش خاکی خود نشان داده است. دقت به نوع فامیل خاک و میزان تکامل خاک‌رخ‌های موجود در هر یک از تراس‌ها نتایج قابل تأملی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان عنوان نمود که خاک‌های تراس اول (اراضی با رنگ سبز) دارای بیش‌ترین تکامل نسبت به خاک‌های دو تراس دیگر می‌باشند.

سالدانا و ایباز (۲۰۰۴) با بررسی تنوع پوشش خاکی تراس‌های رودخانه‌ای Henares در اسپانیای مرکزی، به نتایج مشابهی دست یافتند (۲۸). نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش ارتفاع و سن تراس‌ها، تنوع پوشش خاکی تراس‌ها نیز افزایش یافته است. بر اساس نتایج این پژوهش، با توجه به این‌که با افزایش سن، زمان کافی برای وقوع انواع فرآیندهای خاک‌سازی متناسب با شرایط محیطی فراهم شده، تنوع پوشش خاکی تراس‌ها نیز با گذر زمان افزایش یافته است.

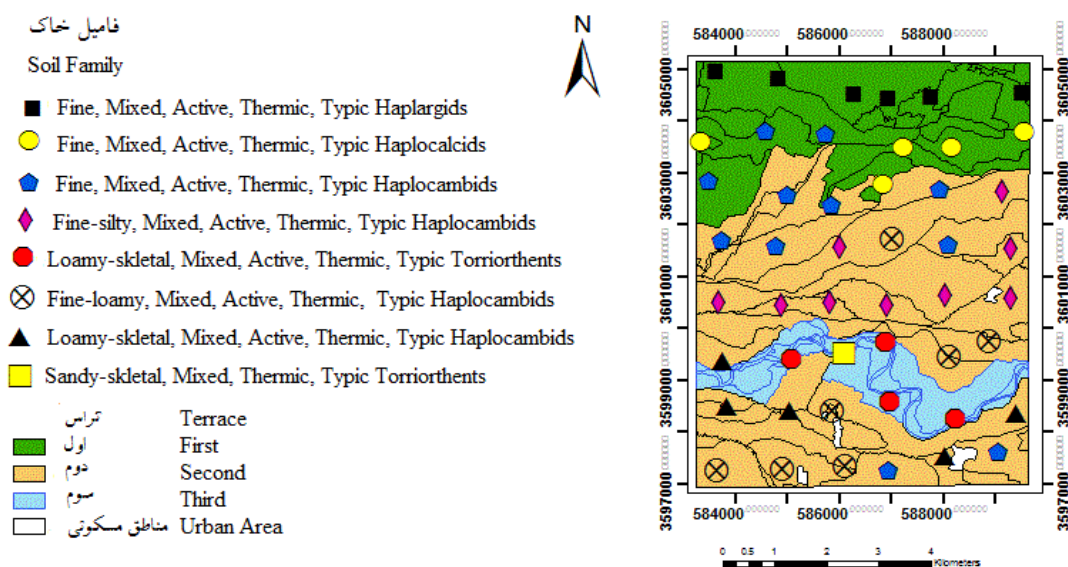
جدید به خود اختصاص داده‌اند. واحدهای Va 211، Va 212، Va 213، Va 214 و Va 215 مربوط به دشت سیلابی و Va 311 نیز بستر رودخانه می‌باشند، که در مجموع جوان‌ترین تراس مسیر جدید محسوب می‌گردند. وجود زیرتراس‌ها این حقیقت را آشکار می‌سازد که طی زمان تشکیل هر یک از تراس‌ها، نوسانات اقلیمی جزئی رخ داده است که موجب تغییر در نیروی حمل رودخانه و در نتیجه شدت رسوب‌گذاری شده است. این نوسانات جزئی، منجر به تغییر در شدت رسوب‌گذاری و در نهایت اختلاف ارتفاع زیرتراس‌ها شده‌اند.

مطالعه خاکشناسی منطقه مطالعاتی: بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی نشان داد که ۴۸ خاک‌رخ حفرشده در این پژوهش در قالب هشت فامیل خاک متفاوت قرار می‌گیرند (جدول ۱). سپس هشت خاک‌رخ شاهد برای هر یک از هشت فامیل مذکور انتخاب گردید. برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و ریخت‌شناختی هشت خاک‌رخ شاهد در جدول‌های ۳ و ۴ نمایش داده شده است. شکل ۴ محدوده هر یک از تراس‌ها، پراکنش خاک‌رخ‌های حفرشده و نوع سطح فامیل هر یک را نشان می‌دهد. همچنین در جدول ۲ نوع فامیل‌های موجود در محدوده هر تراس ارائه شده است. به این ترتیب می‌توان عنوان نمود که پوشش خاکی در سطح سه تراس مسیر کنونی رودخانه زاینده‌رود، دارای تنوعی بیش‌تر از آنچه

جدول ۲- فامیل‌های خاک موجود در هر تراس و تعداد خاک‌رخ‌های طبقه‌بندی شده در قالب آن‌ها.

Table 2. Soil families in each terrace and their number of pedons.

تعداد خاک‌رخ The number of pedons	فامیل خاک Soil family	تراس Terrace
6	Fine, Mixed, Active, Thermic, Typic Haplargids	اول First
5	Fine, Mixed, Active, Thermic, Typic Haplocalcids	
3	Fine, Mixed, Active, Thermic, Typic Haplocambids	
9	Fine-silty, Mixed, Active, Thermic, Typic Haplocambids	دوم Second
8	Fine, Mixed, Active, Thermic, Typic Haplocambids	
7	Fine-loamy, Mixed, Active, Thermic, Typic Haplocambids	
5	Loamy-skletal, Mixed, Active, Thermic, Typic Haplocambids	
4	Loamy-skletal, Mixed, Active, Calcareous, Thermic, Typic Torriorthents	سوم Third
1	Sandy-skletal, Mixed, Calcareous, Thermic, Typic Torriorthents	



شکل ۴- نقشه پراکنش نقاط نمونه‌برداری خاک در محدوده سه تراس مسیر کنونی زاینده‌رود در منطقه مورد مطالعه.

Figure 4. Distribution map of soil sampling points in the area of three terraces of the Zayandeh-rud's current pathway in the study area.

جدول ۳- برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک‌رخ‌های شاهد برای هر نوع فامیل خاک مورد مطالعه.

شماره شاهد Control pedon	تراس	فامیل خاک Soil family	افق Horizon	عمق Depth (cm)	pH	EC (dS m ⁻¹)	کربن آلی (%) Organic carbon	کربنات کلسیم معادل (%) Calcium carbonate equivalent	CEC (cmol/kg)	بافت Texture
1	دوم	Fine-silty, Mixed, Active, Thermic, Typic Haplocambids	Ap	0-15	7.7	5.4	0.62	27	29.7	silty clay loam
			Bw1	15-34	7.7	6.2	0.24	29	26.1	silty clay loam
			Bw2	34-51	7.7	4.3	0.33	30	24.4	silty clay
			Bw3	51-150	7.7	2.0	0.06	31	22.0	silty clay
2	اول	Fine, Mixed, Active, Thermic, Typic Haplocambids	Ap	0-40	7.6	15.8	0.90	23	33.7	clay
			Bw1	40-54	7.4	7.2	0.53	24	27.0	silty clay
			Bw2	54-70	7.5	10.6	0.49	26	26.0	silty clay
			2Bw3	70-90	7.4	6.0	0.38	25	24.0	silty clay
2Bw4	90-150	7.4	5.2	0.26	21.5	21.7	silty clay			
3	اول	Fine, Mixed, Active, Thermic, Typic Haplocalcids	Ap	0-34	7.5	8.2	0.95	25	34.4	silty clay
			Bw	34-60	7.5	12.0	0.75	26	31.1	silty clay
			Bk	60-100	7.5	6.1	0.44	28	25.5	silty clay
			Bw1	100-125	7.4	4.2	0.19	24	20.7	silty clay
Bw2	125-160	7.4	2.9	0.06	22	17.9	silty clay			
4	اول	Fine, Mixed, Active, Thermic, Typic Haplargids	Ap	0-36	7.4	5.4	0.81	21	31.1	silty clay loam
			Bt1	36-70	7.4	4.7	0.64	14	28.9	silty clay
			Bt2	70-140	7.4	5.1	0.55	15	28.4	clay
5	دوم	Fine-loamy, Mixed, Active, Thermic, Typic Haplocambids	A	0-20	7.7	3.4	0.23	30	19.3	clay loam
			Bw	20-114	7.6	5.2	0.11	25	14.1	loam
			C	114-135	7.7	5.2	0.04	23	12.6	sandy loam

خاک‌های مورد بررسی گچ نداشتند.

Studied soils did not have gypsum.

ادامه جدول ۳- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مشاهده شده برای هر نوع فامیل خاک مورد مطالعه.

Continue Table 3. The physical and chemical properties of the control soil profiles

شماره شاهد Control pedon	تراس	فامیل خاک Soil family	افق Horizon	عمق Depth (cm)	pH	EC (dS m ⁻¹)	کربن آلی (%) Organic carbon	کربنات کلسیم معادل (%) Calcium carbonate equivalent	CEC (cmol/kg)	بافت Texture
6	دوم	Loamy-skletal, Mixed, Active, Thermic, Typic Haplocambids	Ap	0-40	7.4	3.1	1.02	32	15.6	clay loam
			Bw	40-56	7.4	4.9	0.59	28	13.5	silty clay loam
			C1	56-93	7.5	6.6	0.37	31	12.1	sandy loam
			C2	93-150	7.6	4.5	0.23	28	10.2	sandy loam
7	سوم	Loamy-skletal, Mixed, Active, Calcareous, Thermic, Typic Torriorthents	AC	0-58	7.4	4.6	0.34	29	14.7	clay loam
			C1	58-98	7.5	6.1	0	26	11.1	loam
			2C2	98-130	7.3	5.8	0	23	10.2	loam
8	سوم	Sandy-skletal, Mixed, Calcareous, Thermic, Typic Torriorthents	Ap	0-30	7.4	2.9	0.52	34	11.6	clay loam
			C	30-140	7.7	5.1	0.12	26	10.4	loamy sand

خاک‌های مورد بررسی گچ نداشتند.

Studied soils did not have gypsum.

جدول ۴- برخی از ویژگی‌های ریخت‌شناسی خاک‌های شاهد برای هر نوع فامیل خاک مورد مطالعه.

Table 4. Morphological characteristics of control pedons for each species of soil families.

خاک‌ریخت شاهد Control pedon	افق Horizon	عمق Depth (cm)	مرز افق Boundary	رنگ Color		ساختار ^a Structure	جوشش Effervescence	پوشش‌ها یا تجمع‌ها Clay film or Concentration	سنگ‌ریزه (%)/Gravel
				خشک Dry	مرطوب Moist				
				افق Horizon	عمق Depth (cm)				
1	Ap	0-15	CI	10YR 6/4	10YR 5/6	1, co, abk	ST	-	-
	Bw1	15-34	GI	10YR 6/4	10YR 5/6	1, co, abk	ST	-	-
	Bw2	34-51	GW	10YR 6/6	10YR 4/6	2, co, abk	SL	-	-
	Bw3	51-150	-	10YR 5/6	10YR 4/4	3, m, abk	SL	-	-
2	Ap	0-40	GS	10 YR 5/3	10 YR 5/4	1, co, abk	ST	-	2
	Bw1	40-54	GS	10 YR 4/4	10YR 3/4	2, co, abk	ST	-	4
	Bw2	54-70	GS	10 YR 4/4	7.5 YR 3/4	2, m, abk	ST	-	5
	2Bw3	70-90	CS	7.5YR 5/4	7.5YR 4/6	3, m, abk	SL	-	-
2Bw4	90-150	-	7.5YR 4/3	7.5YR 3/3	3, m, abk	SL	-	-	
3	Ap	0-34	CW	10YR 5/3	10YR 4/4	2, m, abk	SL	-	-
	Bw	34-60	CW	10YR 5/3	10YR 4/4	2, m, abk	SL	-	-
	Bk	60-100	CS	7.5YR 4/6	7.5YR 4/3	3, m, abk	VS	C, 1, d, 10yr8/1, moist, m, can, mat, clear	-
	Bw1	100-125	CS	7.5YR 4/6	7.5YR 4/3	3, m, abk	VS	-	-
Bw2	125-160	-	7.5YR 4/6	7.5YR 4/3	m	VS	-	-	

a (abk-angular blocky, sbk-subangular blocky, sgr-single grain m-massive), gr-granular, m-massive, Structure: grade (1-weak); size (m-medium); type.

ادامه جدول ۴- برخی از ویژگی‌های ریخت‌شناختی خاک‌ریخ‌های شاهد برای هر نوع فامیل خاک مورد مطالعه.

Continue Table 4. Morphological characteristics of control pedons for each species of soil families.

خاک‌ریخ شاهد Control pedon	افق Horizon	عمق Depth (cm)	رنگ Color		مرز افق Boundary	ساختار Structure	جوشش Effervescence	پوشش‌ها یا تجمع‌ها Clay film or Concentration	سنگ ریزه Gravel (%)
			خشک Dry	مرطوب Moist					
4	Ap	0-36	10YR 5/3	10YR 4/4	CW	3, co, gr	ST	-	-
	Bt1	36-70	7.5YR 4/6	7.5YR 4/3	AW	3, co, sbk	ST	m, f, 7.5YR 4/3, clf, pf	-
	Bt2	70-140	7.5YR 4/6	7.5YR 4/3	-	3, co, abk	SL	m, f, 7.5YR 4/3, clf, pf	-
5	A	0-20	10 YR 5/3	10 YR 4/6	AS	1, f, abk	ST	-	10
	Bw	20-114	10 YR 5/4	10 YR 4/4	GW	sgr	ST	-	20
	C	114-135	2.5YR 5/4	2.5YR 5/6	-	sgr	ST	-	45
6	Ap	0-40	10YR 7/4	10YR 5/4	GW	2, f, abk	SL	-	10
	Bw	40-56	10YR 7/4	10YR 5/4	AW	sgr	ST	-	35
	C1	56-93	2.5Y 5/4	2.5YR 5/6	AW	sgr	ST	-	45
	C2	93-150	-	2.5YR 4/3	-	sgr	ST	-	60
7	AC	0-58	2.5Y 6/4	2.5Y 5/6	GW	sgr	ST	-	40
	C1	58-98	-	2.5Y 5/6	GW	sgr	ST	-	70
	2C2	98-130	-	2.5Y 5/6	-	sgr	ST	-	85
8	Ap	0-30	2.5Y 6/4	2.5Y 5/6	GW	1, f, abk	ST	-	35
	C	30-140	-	2.5Y 4/4	-	sgr	ST	-	80

a (abk-angular blocky, sbk-subangular blocky, sgr-single grain m-massive), gr-granular, m-massive, Structure: grade (l-weak), size (m-medium); type.

سوم با دو فامیل Active, Mixed, Loamy-skletal و Typic Torriorthents, Thermic, Calcareous و Typic Torriorthents, Thermic, Calcareous, Mixed, Sandy-skletal هیچ نوع افق مشخصه‌ای ندارند که نشان‌دهنده سن کم‌تر خاک‌های این تراس نسبت به دو تراس مرتفع‌تر است. بادیا و همکاران (۲۰۱۵) نیز در پژوهشی به بررسی خاک‌های تراس رودخانه‌ای Alcanadre در اسپانیا پرداختند. آن‌ها دریافتند که بین تشکیل برخی افق‌های خاک و سن رسوبات یک ردیف زمانی، رابطه قابل‌قبولی وجود دارد (۳). هم‌چنین با افزایش سن در یک ردیف زمانی، میزان تجمعات کربنات کلسیم ثانویه افزایش یافته، به‌گونه‌ای که منجر به تولید افق کلسیک در خاک‌های تراس‌های میانی و افق پتروکلسیک در خاک‌های تراس‌های مسن‌تر شده است. این در حالی است که در خاک‌های تراس جوان رودخانه Alcanadre، هیچ‌یک از افق‌های مذکور دیده نشد.

شاخص PDI: جدول ۵، نتایج محاسبه شاخص PDI برای هشت خاک‌رخ شاهد را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که ویژگی‌های ریخت‌شناختی خاک‌های مورد بررسی نیز تفاوت در میزان تکامل پوشش خاکی در سطح تراس‌های مختلف رودخانه زاینده‌رود را تأیید می‌نماید. شکل ۵ با رتبه‌بندی کل زیرتراس‌های اول و دوم و واحدهای زمین‌نمای تراس سوم منطقه مورد مطالعه بر اساس اختلاف ارتفاع تفکیک‌شده در تفسیر استریوسکوپی، از ۱ تا ۲۴، امکان مقایسه روند تغییر درجه تکامل با افزایش ارتفاع را فراهم آورده است. لازم به ذکر است که از این بین، دو زیر تراس دارای دو نوع فامیل خاک متفاوت بوده‌اند و در نتیجه در شکل ۲۶ نقطه ملاحظه می‌گردد. همان‌گونه که شکل ۵ نشان می‌دهد، با افزایش ارتفاع زیرتراس‌ها، درجه تکامل پوشش خاکی آن‌ها نیز افزایش یافته است، که این موضوع وجود تفاوت سنی بین تراس‌ها و حتی زیرتراس‌های تفکیک‌شده را تأیید می‌نماید.

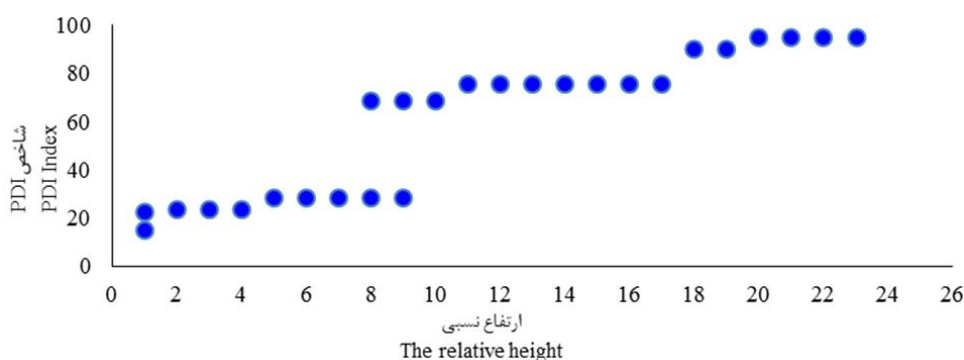
شش خاک‌رخ موجود در تراس اول دارای افق مشخصه آرچیلیک بوده‌اند. یکی از مهم‌ترین شرایط لازم برای تجمع (ته‌نشستی) ذرات رس در یک افق و تشکیل افق مشخصه آرچیلیک، حذف و شستشوی اولیه نمک‌ها و آهک از افق مذکور است (۱۰). با توجه به این موضوع که ساختار زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه عمدتاً از رسوبات آهکی کرتاسه بوده (۳۳) و هم‌چنین حاکم‌بودن رژیم رطوبتی خشک و نیمه‌خشک طی دوران تشکیل مسیر جدید رودخانه (۳۳)، چنین استنباط می‌شود که برای تشکیل افق آرچیلیک در این اراضی نیاز به مدت زمان قابل‌توجهی برای شستشوی و حذف نمک‌ها و آهک موجود در ماده مادری بوده است. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که، تکامل افق‌های رسی در مقطع‌های خاک مذکور بیانگر سن بیش‌تر این تراس نسبت به دو تراس پایین‌تر است.

به‌علاوه پنج خاک‌رخ دیگر در محدوده تراس اول که دارای افق کلسیک هستند، نشان‌دهنده وجود زمان کافی برای انحلال کربنات‌های موجود در ماده مادری و رسوب مجدد آن‌ها در قالب کربنات کلسیم ثانویه و ایجاد افق مشخصه کلسیک در این خاک‌ها است (۱۰). این در حالی است که افق‌های مشخصه آرچیلیک و کلسیک در خاک‌رخ‌های مطالعه‌شده در تراس‌های دوم و سوم دیده نشد. از سوی دیگر خاک‌های موجود در تراس دوم نیز همگی در زیر گروه Typic Haplocambids طبقه‌بندی شدند. ویژگی مشترک بین تمامی خاک‌های تراس دوم وجود افق مشخصه کمبیک^۱ است. طبق تعریف ارائه‌شده در کلید رده‌بندی آمریکایی، افق کمبیک افق مشخصه با کم‌ترین تغییرات خاک‌سازی است (۳۲). به این ترتیب این خاک‌ها نسبت به خاک‌های تراس اول با زیرگروه‌های Typic Haplocalcids و Typic Haplargids تکامل کم‌تری داشته‌اند. خاک‌های مربوط به تراس

و این مسأله بیانگر سن بیشتر خاک‌های تراس‌های مرتفع‌تر در منطقه مطالعاتی است. از طرف دیگر بافت خاک نیز با افزایش سن به سمت افزایش میزان ذرات رس مایل شده و ریزش آن نماد افزایش درجه تکامل خاک خواهد بود (۱). هم‌چنین درجه ساختمان‌سازی خاک‌های مورد مطالعه با افزایش ارتفاع افزایش یافته است.

با توجه به این‌که ریزش بافت خاک، افزایش تجمع ماده آلی در خاک، تغییر در وضعیت جمعیت گیاهی و جانوری خاک در گذر زمان، درجه ساختمان‌سازی خاک را افزایش می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت که در این منطقه خاک‌های تراس‌های مرتفع‌تر ساختمان قوی‌تر و متکامل‌تری داشته‌اند.

نتایج ارائه‌شده در جدول ۵ و شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع، میزان قرمزی، ملانیزه‌شدن، پایداری خشک و مرطوب، درجه ساختمان خاک افزایش و pH کاهش یافته است. هم‌چنین بافت خاک نیز در تراس‌های بالاتر، ریزتر بوده است. هم‌چنین در بالاترین زیرتراس‌ها تجمع پوشش رسی و کربنات کلسیم ثانویه نیز دیده شده است. طبق تعریف هاردن، افزایش قرمزی رنگ خاک نسبت به ماده مادری، مربوط به تولید رس، اکسیدهای آهن و سایر ترکیبات رنگی طی گذر زمان بوده و افزایش آن بیانگر افزایش درجه تکامل است (۱۳). هم‌چنین افزایش ملانیزه‌شدن نیز مربوط به افزایش تجمع ماده آلی گیاهی و جانوری در خاک همراه با افزایش سن آن بوده (۱۳)



شکل ۵- رابطه شاخص تکامل خاک هاردن (PDI) و ارتفاع نسبی خاک‌رخ‌ها در منطقه مورد مطالعه.

Figure 5. The Relationship between Harden's Index (PDI) and relative height of pedons in the study area.

خاک‌رخ‌های آن نیز در مرتفع‌ترین زیرتراس‌های تراس اول واقع شده‌اند (شکل ۳) دارای بزرگ‌ترین مقدار شاخص PDI بوده است. نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که، علاوه بر حضور افق آرچیلیک، امتیاز بالای خاک‌رخ ۴ در مورد سایر ویژگی‌های ریخت‌شناختی بررسی‌شده نیز، تکامل بالای این خاک‌رخ را تأیید می‌نمایند. خاک‌رخ ۳ با فامیل Fine, Typic Haplargids و Thermic, Active, Mixed با PDI برابر ۹۰/۳۱ دومین خاک‌رخ تکامل تراس‌های مسیر جدید زاینده‌رود است.

هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که خاک‌های زیرتراس‌های مرتفع‌تر زمان کافی برای تولید رس، ماده آلی و ترکیبات اکسیدی و ترکیب آن‌ها در فرآیند خاکدانه‌سازی داشته و دارای پایداری خشک و مرطوب بیشتری بوده‌اند، که نشان‌دهنده سن بیشتر این خاک‌ها است. به‌علاوه چنین به‌نظر می‌رسد که با افزایش ارتفاع، خاک‌های موجود در زیرتراس‌ها، زمان بیشتری برای آب‌شویی و حذف کاتیون‌های بازی و در نتیجه کاهش pH داشته‌اند. خاک‌رخ ۴ متعلق به فامیل Mixed, Fine, Active, Thermic و Typic Haplargids که سایر

جدول ۵- امتیازهای نرمال شده ویژگی‌های خاکی و شاخص PDI برای هشت خاکریخ شاهد.
 Table 5. Normalized scale of soil properties and PDI Index for eight control pedons.

خاکریخ شاهد Control pedon	افق Horizon	عمق Depth (cm)	قرمزی Rubification	ملانیزه شدن Melanization	پایداری خشک Dry consistence	پایداری مرطوب Moist Consistence	بافت Texture	پوشش رسی Clay film	تجمع‌ها concentration	pH	ساختار Structure	ضخامت افق Thickness (cm)	شاخص افق Horizon index
1	Ap	0-15	0.78	0.2	0.5	0	1	0	0	0.31	0.5	15	5.48
	Bw1	15-34	0.78	0.2	0.5	0	1	0	0	0.32	0.5	19	6.97
	Bw2	34-51	1	0.4	0.5	0.5	0.5	0	0	0.25	0.75	17	7.37
	Bw3	51-150	0.78	0.6	0.75	0.5	0.5	0	0	0.32	1	99	48.95
شاخص خاکریخ Profile index													68.77
2	Ap	0-40	0.44	0.4	0.5	0	1	0	0	0.39	0.5	40	14.36
	Bw1	40-54	0.56	1	0.5	0	1	0	0	0.78	0.75	14	7.14
	Bw2	70-54	0.67	1	0.75	0	0.5	0	0	0.73	0.75	16	7.82
	2Bw3	90-70	1	0.6	0.75	1	0.5	0	0	0.76	1	20	12.47
	2Bw4	90-150	0.56	1	0.75	1	0	0	0	0.8	1	60	34.07
شاخص خاکریخ													75.86
3	Ap	0-34	0.44	0.6	0.25	0	1	0	0	0.53	0.75	34	13.45
	Bw	34-60	0.44	0.6	0.25	0	1	0	0	0.59	0.75	26	10.49
	Bk	100-60	0.89	0.8	1	0.5	1	0	1	0.64	1	40	30.36
	Bw2	125-100	0.89	0.8	1	0.5	1	0	0	0.8	1	25	16.61
	Bw3	125-160	0.89	0.8	1	0.5	1	0	0	0.78	0	35	19.29
شاخص خاکریخ													90.20
4	Ap	0-36	0.44	0.6	0.25	0	0.5	0	0	0.85	1	36	14.56
	Bt1	36-70	0.89	0.8	0.75	0.5	1	1	0	0.85	1	34	25.65
	Bt2	70-140	0.89	0.8	1	0.5	1	1	0	0.85	1	70	54.76
شاخص خاکریخ													94.97

ادامه جدول ۵ - امتیازهای نرمال‌شده ویژگی‌های خاکی و شاخص PDI برای هشت خاکریخ شاهد.

Continue Table 5. Normalized scale of soil properties and PDI Index for eight control pedons.

خاکریخ شاهد Control pedon	افق Horizon	عمق Depth (cm)	قرمزی Rubification	ملانیزه‌شدن Melanization	پایداری خشک Dry consistence	پایداری مرطوب Moist Consistence	بافت Texture	پوشش رسی Clay film	تجمع‌ها concentration	pH	ساختار Structure	ضخامت افق Thickness (cm)	شاخص افق Horizon index
5	A	20-0	0.67	0.6	0.25	0	0.33	0	0	0.36	0.5	20	6.02
	Bw	114-20	0.56	0.6	0	0	0.16	0	0	0.56	0	94	19.64
	C	135-114	0.56	0.4	0	0	0	0	0	0.36	0	21	3.08
شاخص خاکریخ 28.72													
6	Ap	40-0	0.56	0	0.25	0	0.16	0	0	0.78	0.75	40	11.11
	Bw	56-40	0.56	0	0.25	0	0.16	0	0	0.8	0	16	3.15
	C1	93-56	0.44	0.4	0	0	0	0	0	0.54	0	37	5.67
	C2	150-93	0	0.2	0	0	0	0	0	0.41	0	57	3.86
شاخص خاکریخ 23.79													
7	AC	58-0	0.56	0.2	0	0	0.33	0	0	0.81	0	58	12.24
	C1	98-58	0.33	0	0	0	0.16	0	0	0.58	0	40	4.76
	2C2	130-98	0.33	0	0	0	0.16	0	0	1	0	32	5.3
شاخص خاکریخ 22.30													
8	Ap	30-0	0.56	0.2	0	0	0.33	0	0	0.85	0.50	30	8.13
	C	140-30	0.11	0.2	0	0	0	0	0	0.31	0	110	7.58
شاخص خاکریخ 15.71													

اراضی آبرفتی رودخانه‌ای در مسیر کنونی زاینده‌رود بیانگر وجود سه تراس سنی متفاوت در این محدوده است و تکامل خاک در طول سه تراس تفکیک شده بر اساس شاخص PDI، متفاوت بوده و نتایج تفکیک زمین‌ریختی را تأیید می‌نماید. هم‌چنین مشخص شد که تنوع پوشش خاک در منطقه مورد مطالعه بسیار بیش‌تر از نتیجه ارائه شده در گزارش نشریه شماره ۳۹۱ وزارت کشاورزی و منابع طبیعی بوده و قطعاً باید بیش از دو سری خاک برای نقشه‌برداری خاک‌های آبرفتی رودخانه‌ای مسیر کنونی زاینده‌رود تعریف گردد (۱۵).

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه زمین‌ریخت‌شناسی نشان می‌دهد که رودخانه زاینده‌رود در مسیر کنونی خود دارای دشت آبرفتی رودخانه‌ای شامل سه تراس سنی متفاوت است. بررسی وضعیت تکامل خاک توسط شاخص PDI، در تراس‌های مذکور نیز نتایج تفکیک زمین‌ریختی را تأیید نمود. مطالعه خاک‌شناسی مشخص کرد که خاک‌های تراس اول دارای بیش‌ترین مقدار PDI و تکامل نسبت به خاک‌های دو تراس دیگر می‌باشند. حضور یا عدم حضور افق‌های مشخصه، عمق تشکیل و سایر ویژگی‌های آن‌ها، ارتباطی تنگاتنگ با سن و تکامل خاک دارد (۳۰). در پوشش خاکی تراس اول وجود افق‌های مشخصه آرجیلیک و کلسیک بیانگر این نتیجه است. با توجه به اقلیم خشک منطقه و ماده مادری آهکی، انتظار می‌رود که در خاک‌های مورد مطالعه آبشویی و انتقال ترکیبات آهکی و ذرات رس بسیار کند بوده و تشکیل افق‌های آرجیلیک و کلسیک در بخشی از محدوده دشت آبرفتی، حاکی از گذشت زمان نسبتاً طولانی برای خاک‌های آن بخش است (۴ و ۱۱). از سوی دیگر خاک‌های موجود در تراس دوم نیز نسبت به

در این خاک‌رخ نیز علاوه بر حضور افق تجمع کربنات کلسیم ثانویه، سایر ویژگی‌های صحرائی نشان‌دهنده وجود درجه تکامل بالای آن نسبت به شش خاک‌رخ دیگر است. خاک‌رخ ۳ نیز در محدوده زیرتراس‌های Va 111g, Va 111f, Va 111e واقع شده است. خاک‌رخ ۲، سومین خاک‌رخ متکامل با شاخص PDI برابر ۷۵/۸۰ مربوط به فامیل Fine, Typic Haplargids و Thermic, Active, Mixed است. خاک‌رخ‌های این فامیل نیز کم‌ارتفاع‌ترین زیرتراس‌های تراس اول (Va 111h و Va 111i) و مرتفع‌ترین زیرتراس‌های تراس دوم (Va 112a, Va 112b, Va 112c, Va 112d, Va 112k) را پوشش می‌دهند. خاک‌رخ‌های ۱، ۵ و ۶ نیز با PDI به ترتیب برابر با ۶۸/۷۶، ۲۸/۷۲ و ۲۳/۸۰ چهارمین، پنجمین و ششمین درجه تکامل خاک را داشته و جزء تراس دوم می‌باشند. نتایج ارائه شده در جدول ۵ و شکل ۴ نشان می‌دهد که خاک‌رخ‌های متعلق به جوان‌ترین تراس رودخانه (خاک‌رخ‌های ۷ و ۸) دارای کم‌ترین مقادیر شاخص PDI بوده‌اند.

خاک‌رخ ۸ متعلق به فامیل Mixed, Sandy-skletal است. کم‌ترین امتیاز در ویژگی‌های قرمزی و پایداری خشک و مرطوب و هم‌چنین امتیازات پایین در سایر ویژگی‌ها، در پایین‌ترین سطح تکامل خاک‌های دشت آبرفتی رودخانه زاینده‌رود قرار گرفته است. هم‌چنین نکته مهم در مورد کاربرد عملی شاخص PDI در این مطالعه و پژوهش‌های مشابه، مربوط به مواردی است که یک نوع رده‌بندی خاک مشابه در دو تراس متفاوت مشاهده گردد. در چنین مواردی شاخص PDI با توجه دقیق و کمی‌سازی ویژگی‌های ریخت‌شناختی صحرائی، امکان تفکیک و مقایسه بهتر تکامل خاک‌رخ‌ها را فراهم می‌آورد. به این ترتیب می‌توان نتیجه‌گیری کرد که میزان تکامل پوشش خاک در

محدوده نقشه زمین‌ریختی دو تراس دشوار بود، اما شاخص PDI به‌عنوان ابزاری ارزشمند در تعیین درجه تکامل، تفاوت تکامل خاک‌رخ‌های متعلق به فامیل مشترک در دو تراس را به خوبی نشان داد. خاک‌رخ‌های متعلق به تراس سوم نیز دارای کم‌ترین درجه تکامل (۲۲/۳۰ و ۱۵/۷۱) بوده‌اند. به این ترتیب می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اراضی آبرفتی رودخانه‌ای در مسیر کنونی زاینده‌رود بیش از یک تراس بوده و خود مستقلاً دارای سه تراس سنی متفاوت هستند؛ در حقیقت این اراضی مجموعه‌ای تراسی محسوب می‌گردند. از نتایج این مطالعه می‌توان پیش‌بینی نمود که تعدادی تراس در مسیرهای قبلی رودخانه وجود دارد که برای اثبات آن‌ها احتیاج به پژوهش بیشتری می‌باشد.

خاک‌های تراس اول میزان شاخص PDI و درجه تکامل کم‌تر و نسبت به خاک‌های مربوط به تراس سوم درجه تکامل بیش‌تری داشتند. خاک‌های تراس دوم فاقد افق‌های مشخصه آرجیلیک یا کلسیک بودند که بیانگر تکامل و سن کمتر آن‌ها نسبت به تراس اول است. از طرفی در تراس دوم افق مشخصه کمبیک در تمامی خاک‌رخ‌ها دیده شد که نشان‌دهنده تکامل متوسط خاک در چنین شرایط محیطی است (۱۱ و ۳۰). نتایج این پژوهش نشان داد در مواردی که طبقه‌بندی خاک توانایی بیان تفاوت در تکامل و سن خاک‌رخ‌ها را نداشته باشد، شاخص PDI با کمی‌سازی ویژگی‌های ریخت‌شناختی صحرائی این کمبود را برطرف می‌نماید. اگر مطالعه تنها بر پایه طبقه‌بندی خاک صورت می‌گرفت تعیین و اصلاح

منابع

1. Alonso, P.C., Sierra, E., Ortega, C., and Dorronsoro. 1994. Soil development indices of soils developed on fluvial terraces (Peñaranda de Bracamonte, Sala manca, Spain). *Catena*. 23: 295-308.
2. Ayoubi, S. 2002. Pedogenic evidence of climate change in the quaternary period in the paleosols of Isfahan and Imam Khayes. Doctoral dissertation, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology.
3. Badia, D., Martí, C., Casanova, J., Gillot, T., Cuchí, J.A., Palacio, J., and Andrés, R., 2015. A Quaternary soil chronosequence study on the terraces of the Alcanadre River (semiarid Ebro Basin, NE Spain). *Geoderma*. 241-242: 158-167.
4. Barshad, I. 1959. Factors affecting clay formation. *Clays Clay Miner.* 6: 110-132.
5. Bilzi, A.F., and Ciolkosz, E.J. 1977. A field morphology rating scale for evaluating pedological development. *Soil Sci.* 124: 45-48.
6. Birkeland, P.W. 1984. Holocene soil chronofunctions, Southern Alps, New Zealand. *Geoderma*. 34: 115-134.
7. Bockheim, J.G., Kelsey, H.M., and Marshall III, J.G. 1992. Soil development, relative dating and correlation of late Quaternary marine terraces in southwestern Oregon. *Quat. Res.* 37: 60-74.
8. Bull, W.B. 1990. Stream-terrace genesis: implications for soil development. *Geomorphology* 3: 351-367.
9. Bull, W.B. 1991. *Geomorphic responses to climatic change*. Oxford University Press, New York, 336p.
10. Buol, S.W., Hole, F.D., and McCracken, R.J. 1973. *Soil Genesis and Classification*. Iowa State Univ. Press, Ames, IO, 2nd ed., 404p.
11. Cohen, S., Willgoose, G., Svoray, T., Hancock, G., and Sela, S. 2015. The effects of sediment transport, weathering and aeolian mechanisms on soil evolution. *J. Geophys. Res.* F: EarthSurf. 120: 2. 260-274.

12. Dolatshahi, A.R., Esfandiari, K., Momeni, A., and Hajmolana, N. 2000. Instructions for laboratory analysis of soil and water samples. No. 467, Soil and Water Research Institute, Ministry of Agriculture and Natural Resources, Tehran, Iran.
13. Harden, J.W. 1982. A quantitative index of soil development from field descriptions, examples from a chronosequence in Central California. *Geoderma*. 28: 1-28.
14. Harden, J.W., and Taylor, E.M. 1983. A quantitative comparison of soil development in four climatic regimes. *Quat. Res.* 20: 342-359.
15. Ibáñez, J.J., Vargas, R.J., and Vázquez-Hoehne, A. 2013. Pedodiversity State of the Art and Future Challenges. In: J.J. Ibáñez, and J. Bockheim (Ed.), *Pedodiversity*. Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA, Pp: 133-152.
16. Isadpanah, B., Farmanara, M., and Eskandarzadeh, I. 1974. Final Report on Semi-Sedimentary Soil Science in Vardoush Region, Isfahan Province. No. 391, Soil Science and Fertility Institute, Ministry of Agriculture and Natural Resources, Tehran, Iran.
17. Jafarian, M.A. 1986. Geography of the past and the developmental stages of the Zayandehrud valley. *Res. J. Isf. Univ.* 1: 31-15.
18. Jenny, H. 1941. *Factors in Soil Formation*. McGraw-Hill, New York. Kao, H., Chen, W.P., 2000. The Chi-chi earthquake sequence: active out-of-sequence thrust faulting in Taiwan. *Science*. 288: 2346-2349.
19. Khademi, H., Mermut, A.R., and Krouse, H.R. 1997. Sulfur isotope geochemistry of gypsiferous Aridisols from central Iran. *Geoderma*. 80: 195-209.
20. Khanaamani, A., Jafari, R., Sangouni, H., and Shahbazi, A. 2011. Evaluation of Soil Status Using Remote Sensing Technology and Geographic Information System (Case study: Segzi Plain of Isfahan). *J. Rem. Sens. App. GIS Natur. Resour. Sci.* 3: 37-25.
21. Leamy, M.L., Milne, J.D.G., Pullar, W.A., and Bruce, J.G. 1973. Paleopedology and stratigraphy in the New Zealand Quaternary succession. *N. Z. J. Geol. Geophys.* 16: 723-744.
22. Makarian, M., Pourkermani, M., Sherkati, S., and Motamedi, H. 2011. Structural analysis of Chinese carpets in part of central Iran basin. *Monthly Exploration and Production*, 78: 55-48.
23. Morrison, R.B. 1968. Means of time-stratigraphic division and longdistance correlation of Quaternary successions. In: Morrison, R.B., and Wright Jr. Jr., H.E. (Eds.), *Means of Correlation of Quaternary Successions*. Int. Assoc. Quat. Res., VII Congress, Proc. 8: 1-113.
24. Mulcahy, M.J., and Churchward, H.M. 1973. Quaternary environments and soils in Australia. *Soil Sci.* 116: 156-169.
25. Nourbakhsh, F. 2002. A Study on the Soils of Zarrin Shahr, Talekhoncheh and Kharmhine. *Soil Water Res. Center J. No.* 1143.
26. Phillips, J.D. 1999. *Earth surface systems: complexity, order and scale*. Oxford: Blackwell.
27. Ramesht, M.H. 1992. Zayandeh-Rud River and its Impact on Spatial Image of Isfahan. Thesis of Doctor, Department of Geography, Tarbiat Modares University, Tehran.
28. Saldana, A., and Ibanez, J.J., 2004. Pedodiversity analysis at large scales: an example of three fluvial terrain of the Henares River (central Spain). *Geoderma*. 62: 123-138.
29. Salehi, M.H., and Khademi, H. 2007. *Fundamentals of soil mapping*. Isfahan University of Technology Press. (In Persian)
30. Schaetzl, R.J., and Anderson, S. 2005. *Soils: genesis and geomorphology*. Cambridge University Press.
31. Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., and Staff, S.S. 2012. *Field book for describing and sampling soils*. Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Center, Lincoln, NE, USA.
32. *Soil Taxonomy*. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
33. Toomanian, N. 2006. How to develop land, soil diversity and quantitative mapping of some pedogenic characteristics in some parts of Central Iran, Ph.D. Soil college, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology.

34. Torrent, J., Schwertmann, U., and Schulze, D.J. 1980. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain. *Geoderma*. 23: 191-208.
35. Tsai, H., Huang, W.S., Hseu, Z.Y., and Chen, Z.S. 2006. A river terrace soil chronosequence of the Pakua tableland in Taiwan. *Soil Sci.* 171: 167-179.
36. Tsai, H., Huang, W.S., Hseu, Z.Y., and Chen, Z.S. 2007. Pedogenic approach to resolving the geomorphic evolution of the Pakua river terraces in central Taiwan. *Geomorphology*. 83: 14-28.
37. Zinck, J.A. 1988. *Physiography and soils. Lecture Notes for Soil Students. Soil Science Division. Soil Survey Courses Subject Matter: K6 ITC, Enschede, Netherlands.*



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(2), 2018

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.14152.2888

Investigation of the Terraces of the Zayandeh–rud River’s Current Pathway Using the Harden’s Profile Development Index (PDI)

***Sh. Havaee¹, A. Kamali², N. Toomanian³ and M.R. Mosaddeghi⁴**

¹Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafasnjan, ²Assistant Prof.,
Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafasnjan, ³Associate Prof., Soil and Water Research
Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Isfahan,

⁴Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology

Received: 11.02.2017; Accepted: 05.09.2018

Abstract

Background and Objectives: One of the most important goals of the soil science is to investigate the changes in the earth surface systems in the past and using their patterns to predict environmental changes in the future in order to improve land management. Therefore, this study was conducted on the current Zayandeh–rud River’s pathway in a semi-detailed scale in order to understand the development of alluvial plain of the river.

Materials and Methods: Geomorphic surfaces were determined using a stereoscopic interpretation of aerial photos with a scale of 1:20000 and based on the Zinck’s hierarchical classification system. Forty eight profiles were drilled at 1 km/km network, according to the common method of semi-detailed soil studies in a grid survey pattern. Soil classification was finalized in accordance with the Soil Survey Staff. The degree of soil evolution was studied according to Harden’s soil development index (PDI) for eight control pedons.

Results: According to previous studies, the Zayandeh-e-Rud River during its flow time have had a single pathway three terraces in the Zayandeh-rud plain. The last research showed that the Zayandeh-rud River runs through three separate way over time. In this study, the interpretation of aerial photos and field study cleared that the current pathway of the Zayandeh–rud River includes a series of three terraces, which each terrace consists of sub-terraces. Also it was found that Forty eight profiles in this research were classified in four suborder (including argids, calcids, cambids and orthents) with eight soil families. On the other hands, the calculated PDI values for the control pedons of these eight families also were different. This indicated difference of degree of soil evolution in the current river’s pathway.

Conclusion: Therefore, it can be concluded that the soil of three terraces of the current the Zayandeh–rud River’s way is more diverse than previously reported and this variation indicates the difference in the age of these terraces. Pedologic study also revealed that the soils of the first terrace had the highest PDI and evolution. Presence of argillic and calcic horizons in these profiles confirms this conclusion. On the other hand, the soils in the second terrace also had a lower PDI index and less degree of development than the first terrace and were more developed than third terrace’s soils. Therefore, it can be stated the current pathway has three independent age terraces with multi-interior terraces. From the results of this study, it can be anticipated that also there are terraces on previous river pathway, which require more research to prove them.

Keywords: Geomorphic surfaces, Zayandeh–rud River’s Pathways, Sub Terraces, PDI index

* Corresponding Author; Email: sh.havayi@yahoo.com

