تأثیر انواع کاربری زراعی بر تکامل خاک در منطقهٔ شورگل بناب

بهزاد محمدحسینی سقایش*: *دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز*
علی‌اصغر جعفرزاده: *استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز*
حسین رضائی: *استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۶)
20.1001.1.22517812.1401.12.3.10.9

چکیده

بررسی تکامل خاک‌ها می‌تواند تأثیرپذیری خاک را از عوامل محیطی از جمله نوع کاربری نشان دهد تا با شناخت و تفسیر سیر تکاملی آن، پایه و اساس تصمیم‌های مدیریت آتی اراضی حاصل شود. در این پژوهش خاک‌های تحت کشت چهار تیپ بهره‌وری یونجه، ذرت، پیاز و گندم از مزارع منتخب منطقهٔ شورگل شهرستان بناب به‌همراه اراضی بایر مجاور، با سایر شرایط محیطی یکسان انتخاب و میزان تکامل آنها برمبنای شاخص‌های هاردن، تجمع رس و ظرفیت تبادل کاتیونی همراه با شاخص‌های میکرومورفولوژیکی MISODI، MISECA و revised MISECA تعیین شد. همچنین براساس نتایج، خانواده‌های مختلفی از خاک‌های اینسپتی‌سول با افق‌های مشخصهٔ کمبیک و کلسیک در منطقه شناسایی شد. هر چند رده‌بندی خاک‌ها تا حدودی تفاوت‌های ناشی از تیپ بهره‌وری را نشان داد، اما بررسی شاخص‌های کمّی تکامل خاک جزئیات بیشتری را گزارش و تأثیرپذیری ویژگی‌های مرتبط با فابریک خاک از تیپ بهره‌وری را بیش از سایر ویژگی‌ها مشخص کرد. ترتیب تکاملی خاک‌ها نیز برمبنای همهٔ شاخص‌های بررسی شده به استثنای ظرفیت تبادل کاتیونی به ترتیب برای تیپ‌های بهره‌وری یونجه، ذرت، پیاز، گندم و اراضی بایر مشاهده شد که نمودهای خاک‌ساختی آهکی و رسی تشکیل شده در خاک‌ها از عوامل اصلی تکامل است. ناتوانی شاخص تکامل ظرفیت تبادل کاتیونی در تمییز معنی‌دار خاک‌ها، ممکن است به‌دلیل فقدان تأثیرپذیری ماهیت شیمیایی رس از تیپ بهره‌وری و نوع کانی رس باشد؛ بنابراین، عملیات کشاورزی بهینه و استفادهٔ پایدار از اراضی می‌تواند به تسریع سیر تکاملی خاک‌ها در مقایسه با اراضی بایر منجر شود و میزان تأثیرپذیری خاک‌ها از محصول کشت شده نیز به ویژگی‌های گیاه و عملیات زراعی آنها وابسته باشد. بنابراین، در نواحی خشک و نیمه‌خشک همچون منطقهٔ مورد مطالعه که خاک‌ها جوان و در ابتدای مسیر تکاملی خود است، متکامل‌تر شدن خاک‌ها همسو با افزایش کیفیت آنها است و این امر مانع از تخریب اراضی خواهد شد.

واژگان کلیدی: بناب، تخریب اراضی، تکامل خاک، تیپ بهره‌وری، میکرومورفولوژی.

* نویسنده مسئول: Behzadmohammadhosseini@gmail.com

۱ـ مقدمه

بررسی تأثیر کاربری زراعی بر توسعه و تکامل خاک می‌تواند در حفظ و بهبود کیفیت منابع اراضی و جلوگیری از فرسایش و تخریب خاک مفید باشد. ارگانیسم‌ها یکی از شاخص‌های خاک‌سازی است که در طول زمان به تحول و تکامل خاک منجر می‌شود. پوشش گیاهی به‌عنوان جزئی از شاخص ارگانیسم‌ها ضمن ایجاد تحولات مستقیم در خاک، به افزایش فعالیت ریزجانداران خاک‌زی و به تسریع تحول و تکامل خاک منجر می‌شود (Buol et al, 2011). از سوی دیگر، حضور پوشش گیاهی در یک منطقه نیز به‌طور مستقیم به ویژگی‌های خاک و شرایط لازم برای رشد و پراکنش موفق آنها وابسته است که این امر در مطالعات متعددی از جمله تحقیقات Mi و همکاران (1996)، Fairchild and Brotherson (2001) و Maghsoudi و همکاران (2013) به اثبات رسیده‌است. انواع کاربری‌های زراعی یا به‌عبارتی تیپ‌های بهره‌وری و عملیات خاک‌ورزی، می‌تواند ویژگی‌های خاک و کیفیت آن را تحت‌تأثیر قرار دهد (Lipiec et al, 2012 & Da costa et al, 2014). بررسی اثر سیستم‌های تناوب زراعی شاهدی بر این امر است و مطالعات متعددی همچون تحقیقات Rahmati و همکاران (2009) ضمن تأیید این امر، به اثر تغییر تیپ بهره‌وری در فرسایش و تخریب خاک اشاره دارد. Rezaei و همکاران (2015) و Mulat و همکاران (2021) نیز با بررسی کیفیت خاک در کاربری‌ها و تیپ‌های بهره‌وری مختلف، تأثیر نوع استفاده از زمین را بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و میکرومورفولوژیکی خاک نشان دادند.

از آنجایی‌که تحول و تکامل خاک نتیجهٔ تغییر مجموع ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی، مورفولوژیکی، میکرومورفولوژیکی و کانی‌شناسی آن است، می‌توان بیان کرد که بررسی شاخص‌های تکامل خاک خود مبین تأثیرپذیری خاک از عوامل محیطی است (Buol et al, 2011). با توجه به این امر، Pirzadeh و همکاران (2021) در تحقیقات خود از طریق بررسی میزان تکامل خاک، اثر تغییر کاربری یا نوع پوشش گیاهی را بر فرسایش خاک و تخریب اراضی بیان کردند؛ از این‌رو بررسی توسعه و تکامل خاک‌های تحت انواع کاربری اراضی می‌تواند ضمن ارائه تصویری از سیر تکاملی و تحول خاک، در مدیریت آتی اراضی به‌منظور حفظ و جلوگیری از تخریب خاک‌ها مفید باشد (Schaetzl and Anderson, 2005 & Fatehi et al, 2018). بررسی توسعه و تکامل خاک‌ها با روش‌های متعددی صورت می‌گیرد که از جمله آنها، مطالعهٔ توسعه و تکامل خاک برمبنای شاخص‌های مورفولوژیکی، فیزیکوشیمیایی و میکرومورفولوژیکی است. گرچه بررسی شاخص‌های کیفی تکامل خاک، اطلاعات ارزشمندی را نشان می‌دهد، توصیف دقیقی از تفاوت خاک‌ها ارائه نمی‌کند؛ بنابراین کمّی‌سازی درجهٔ توسعه و تکامل خاک، گامی مهم است که به استفاده‌های بیشتر از میزان تکامل‌یافتگی و توسعهٔ خاک به‌خصوص در عرصهٔ مدیریت منجر می‌شود (Montakhabi kalajahi et al, 2017 & Mohammadi et al, 2019).

در بررسی سیر تکاملی خاک، انواع شاخص‌ها به‌دلیل ماهیت خاص خود جنبه‌های متفاوتی از تأثیرپذیری خاک‌ها را از عوامل محیطی نشان می‌دهد. شاخص‌های مورفولوژیکی از ابتدایی‌ترین گروه شاخص‌های بررسی تکامل خاک است که بر پایهٔ تشریح خاکرخ و مشخصات مورفولوژیکی آن استوار است (Follmer, 1998) و شاخص هاردن[1]، جامع‌ترین شاخص مورفولوژیکی است (Harden, 1982) که طبق نظر Haugland and Owen Haugland (2008)، مقیاس

[1] Profile Development Index (PDI)

دقیقی را از تحولات خاک‌ها تحت‌تأثیر عوامل محیطی ارائه می‌کند و امکان مقایسهٔ خاک‌ها را فراهم می‌سازد. در این راستا، Rezaei و همکاران (2017) تکامل ژنتیکی خاک‌ها در اثر پوشش گیاهی را توسط شاخص هاردن بررسی کردند و تمایزیافتگی و تفاوت افق‌های مختلف را به‌صورت کمّی نشان دادند. گروه دیگری از شاخص‌های بررسی تحول و تکامل خاک، شاخص‌های فیزیکوشیمیایی است که از جمله مهم‌ترین آنها، شاخص‌های تجمع رس[1] و ظرفیت تبادل کاتیونی ظاهری[2] است (Levine and Ciolkosz, 1983 & Martini, 1970). در مطالعه‌ای Khormali and Shamsi (2009) با بررسی شاخص تجمع رس، به نقش نوع کاربری و پوشش گیاهی در تحول و تکامل خاک‌ها به‌واسطهٔ روی دادن فرایند خاک‌سازی انتقال رس اشاره کردند. همچنین Montakhabi Kalajahi و همکاران (2017)، شاخص تجمع رس را در کاربری‌های متفاوت بررسی و بیشترین مقدار این شاخص را مربوط به کاربری گندم ذکر کردند. Kashi و همکاران (2014) نیز طی مطالعهٔ خود به این نتیجه رسیدند که در خاک‌های تحت زراعت نسبت به خاک بکر، ظرفیت تبادل کاتیونی ظاهری به‌علت بیشتر بودن مقادیر ذرات رس و سیلت نسبت به شن بیشتر است.

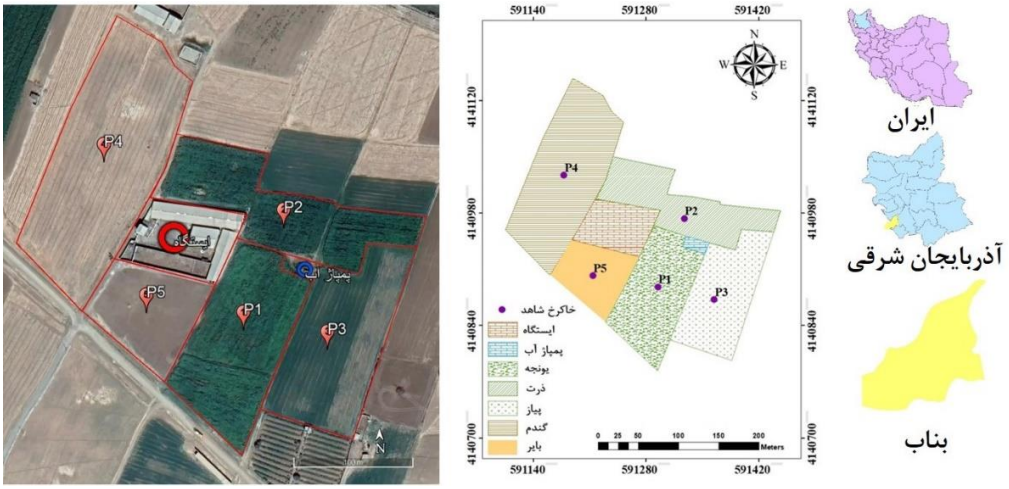
مطالعات میکرومورفولوژیکی خاک ــ که تحولات فابریک آن توسط فرایندهای خاک‌سازی و طی فرایندهای خاک‌سازی بررسی می‌شود ــ ابزاری مفید در بررسی تکامل، رده‌بندی و مدیریت خاک است (Stoops, 2003). اگرچه میکرومورفولوژی مطالعهٔ کیفی از وضعیت فابریک خاک است، استفاده از شاخص‌های MISODI[3]، MISECA[4] و revised MISECA[5] نتایج کمّی را از این مطالعات ارائه می‌دهد (Magaldi and Talini, 2000 & Khormali et al, 2003 & Montakhabikalajahi and jafarzdeh, 2014). در مطالعات متعددی از میکرومورفولوژی خاک برای درک تأثیر کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر خاک استفاده شد و نتیجهٔ کلی آنها بیانگر این امر بود که ریزساختار خاک بیش از سایر ویژگی‌ها، متأثر از نوع پوشش گیاهی است هر چند عوارض خاک‌ساخت دیگر نیز در رتبه‌های بعدی قرار دارد (Servati et al, 2011 & Rezaei et al, 2013). استفاده از شاخص‌های MISODI و MISECA در تحقیقات Montakhabi Kalajahi و همکاران (2017)، ترتیب تکاملی خاک‌ها را به‌ترتیب برای اراضی تحت کاربری‌های جنگل، زراعت گندم و مرتع ضعیف نشان داد.

ویژگی‌های خاک و کاربرد آن دربارهٔ میزان تکامل خاک است (Schaetzl and Anderson, 2005)؛ از این‌رو، بررسی میزان تکامل خاک ــ که نتیجهٔ شرایط محیطی تشکیل و تحول آن است ــ می‌تواند چشم‌اندازی مناسب برای ادامه یا لزوم تغییر مدیریت فعلی برای حفظ یا بهبود کیفیت اراضی ارائه کند. اگرچه مطالعات پیشین تکامل خاک عموماً به جنبه‌های تخصصی از تشکیل خاک توجه دارند، این تحقیق برآن است تا شاخص‌های متنوع تکامل خاک را ــ که هر یک جنبه‌ای از تحولات خاک را مدنظر دارند ــ در زمینهٔ مدیریت اراضی بررسی کند تا اقدامی بنیادین برای مدیریت پایدار اراضی کشاورزی باشد.

[1] Clay Accumulation Indices (CAI)
[2] Appearance Cation Exchange Capacity Indices (ACEC)
[3] Micromorphological soil development index (MISODI)
[4] Micromorphological index of soil evolution calcareous arid condition (MISECA)
[5] Revised Micromorphological index of soil evolution calcareous arid condition (revised MISECA)

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه، مزارع منتخب از اراضی زراعی بخش شورگل شهرستان بناب در استان آذربایجان‌شرقی، با ارتفاع متوسط ۱۲۸۴ متر از سطح آزاد دریاها است. زمین‌شناسی منطقه از سازندهای ژوراسیک، کرتاسه و سنوزوییک است که رخنمون سازندهای پرکامبرین در محدوده، شامل ماسه‌سنگ‌های قرمز رنگ سازند لالون، شیل، دولومیت و آهک‌های سازند میلا و لایه‌هایی از آهک‌های پرمین (سازند روته) در ارتفاعات می‌باشد (Darvishzadeh, 1991 & GSI, 2006). مطابق آمار پانزده سالهٔ ایستگاه هواشناسی شهرستان بناب، محدودهٔ مورد مطالعه جزو مناطق با زمستان‌های نسبتاً سرد، تابستان‌های نسبتاً گرم با متوسط بارندگی ۲۶۴/۱ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه هوای ۱۳/۷ درجهٔ سانتی‌گراد است (IRIMO, 2018). همچنین رژیم‌های حرارتی و رطوبتی حاکم بر خاک‌های منطقه نیز به‌ترتیب مزیک و زریک است (Banaei, 1998). شکل ۱، موقعیت جغرافیایی منطقه و نقاط مطالعاتی شاهد را نمایش می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه و نقاط مطالعاتی شاهد

۳ـ مواد و روش

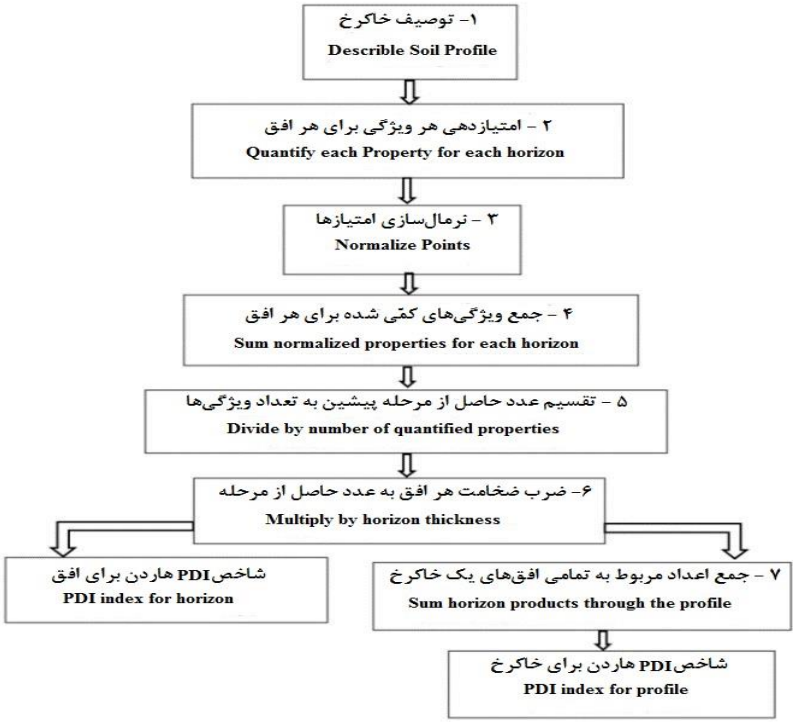
۳ـ۱ـ نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

پس از موقعیت‌یابی نقاط مورد مطالعه بر مبنای مطالعات مقدماتی و هدف تحقیق، خاکرخ‌های مربوطه در کاربری‌های زراعی یونجه، ذرت، پیاز و گندم از مزارع شاهد تحت مدیریت ثابت و یکسان، در بازهٔ زمانی متوسط پانزده ساله و اراضی بایر مجاور انتخاب، حفر و تشریح شد. پس از تشریح خاکرخ‌ها، نمونه‌برداری از افق‌های ژنتیکی انجام و نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده برای تجزیه‌های فیزیکوشیمیایی و مطالعات میکرومورفولوژیکی به آزمایشگاه منتقل شد. در مرحلهٔ تجزیه‌های آزمایشگاهی، ویژگی‌های مرسوم خاک از قبیل بافت، هدایت الکتریکی، واکنش خاک، کربنات کلسیم معادل خاک، کربن‌آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و ذرات درشت‌تر از دو میلی‌متر، مطابق با روش‌های استاندارد مؤسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد (MSA, 1996). شناسایی خاک‌ها، با توجه به نتایج تجزیه‌های آزمایشگاهی و مطالعات صحرایی براساس نسخهٔ دوازده کلید رده‌بندی خاک آمریکایی صورت گرفت (USDA, 2014). برای تکمیل مطالعات میکرومورفولوژیکی نیز مقاطع نازک تهیه شده از نمونه خاک‌های دست-

نخورده طبق روش ارائه شده توسط Murphy (1986)، با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان و براساس نظام واژگان Bullock و همکاران (1985)، Stoops (2003) و Stoops و همکاران (2010) تشریح و تفسیر شد.

۳ـ۲ـ محاسبهٔ شاخص‌های تکامل خاک

در این مطالعه از شاخص‌های تکامل خاک هاردن، تجمع رس، ظرفیت تبادل کاتیونی ظاهری، MISODI، MISECA و revised MISECA استفاده شد. سپس شاخص هاردن مطابق با فلوچارت ارائه شده در شکل ۲ و براساس نتایج بررسی ویژگی‌های مختلف خاک شامل کلاس بافتی، شکل‌پذیری، چسبندگی، نوع و درجهٔ توسعهٔ ساختمان، پایداری خشک و مرطوب خاکدانه‌ها، پوشش‌های رسی، تیره‌رنگ شدن، روشن شدن رنگ و اسیدیتی خاک محاسبه شد (Harden, 1982 & Harden and Taylor, 1983).



شکل ۲: فلوچارت محاسبهٔ شاخص تکامل خاک هاردن (Harden, 1982 & Harden and Taylor, 1983)

شاخص تجمع‌رس (CAI) ارائه شده توسط Levine and Ciolkosz (1983)، به‌صورت رابطهٔ ۱ محاسبه شد که در آن، B_c مقدار رس برحسب درصد در افق B، C_c مقدار رس برحسب درصد در افق C و T ضخامت افق B برحسب سانتی‌متر است.

$$CAI=(B_C-C_C)\times T$$ رابطهٔ ۱

سومین شاخص تکامل خاک مورد استفاده در این تحقیق، شاخص ظرفیت تبادل‌کاتیونی ظاهری (ACEC) است که به‌صورت رابطهٔ ۲ است (Martini, 1970). در این رابطه، ACEC ظرفیت تبادل کاتیونی ظاهری خاک، CEC صرفاً

بیانگر ظرفیت تبادل کاتیونی رس خاک و حاصل کسر ۲/۶۵ واحد از ظرفیت تبادل کاتیونی کل خاک به ازای هر درصد از ماده آلی است (Sys et al, 1993) و C درصد رس آن افق است.

$$ACEC=\frac{CEC}{C}$$ رابطهٔ ۲

برای محاسبهٔ شاخص‌های تکامل خاک MISODI، MISECA و revised MISECA ارائه شده توسط Magaldi and Talini (2000)، Khormali و همکاران (2003) و Montakhabikalajahi and jafarzdeh (2014)، از نمودهای مطالعه شده طی مطالعات میکرومورفولوژیک شامل ریزساختار، بی‌فابریک، پوشش، ندول و درجهٔ تغییر و توسعه ذرات معدنی استفاده شد. بدین منظور، به هر یک از ویژگی‌های مذکور از نظر کیفی و کمّی براساس جداول امتیازدهی مربوطه، وزنی اختصاص داده شد و با در نظر گرفتن محدوده‌ای از مقدار تجمعی شاخص مذکور، درجهٔ توسعهٔ خاک‌ها تعیین شد. برای امتیازدهی نهایی ویژگی‌های ترکیبی در خاک مانند بی‌فابریک که امکان مشاهدهٔ دو حالت به‌صورت همزمان در بخش‌های مختلف برش نازک مورد مطالعه وجود دارد از مقدار متوسط وزنی آنها، بر مبنای سطح اشغال شده (٪) طبق رابطهٔ ۳ استفاده شد. در این رابطه $b-fabric_{Raiting}$ وزن هر بی‌فابریک، $\overline{b-fabric_{Raiting}}$ متوسط وزنی محاسباتی برای بی‌فابریک‌ها در مقطع نازک، i شمارنده برای بی‌فابریک‌های دیده شده، n تعداد بی‌فابریک‌ها، a سطح اشغال شده توسط هر بی‌فابریک و A سطح کل مقطع است.

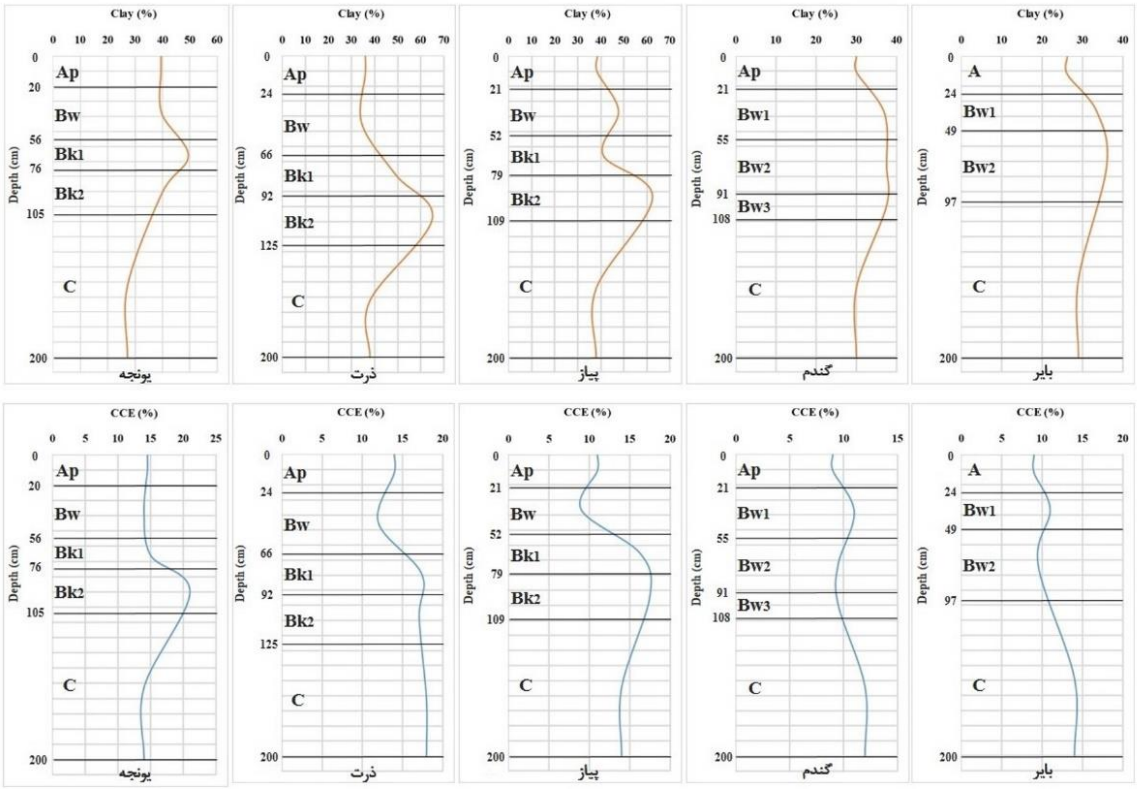
$$\overline{b-fabric_{Raiting}}=\frac{\sum_{i=1}^{i=n} b-fabric_{Raiting}\ .a}{A}$$ رابطهٔ ۳

۴ـ یافته‌ها (نتایج)

براساس نتایج حاصل از تجزیهٔ خاک‌های مورد مطالعه که توصیف آماری آنها در جدول ۱ نشان داده شده‌است، خاک‌های منطقه فاقد شوری و از نظر pH خنثی بود. خاک‌های مورد مطالعه از نوع آهکی بود و برخی افق‌ها به عنوان افق کلسیک شناخته شد. بافت خاک در منطقه، لوم رسی تا رسی بود و در اراضی مربوط به خاکرخ‌های دو و سه، خواص ورتیک به شرح درز و شکاف‌هایی به عرض دو تا شش سانتی‌متر و عمق بیست تا پنجاه سانتی‌متر در سطح خاک طی مطالعات صحرایی مشاهده شد. مقادیر متفاوتی از کربن آلی با توزیع عمقی نامنظم نیز در خاک‌های تحت هر تیپ بهره‌وری مشاهده شد. تغییرات عمقی رس و آهک خاک‌های مطالعه شده ــ که از مهم‌ترین ویژگی‌های دخیل در شناسایی و بررسی تنوع تکاملی آنها بود ــ در شکل ۳ نشان داده شد. جمع‌بندی مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، بیانگر شناسایی افق‌های مشخصهٔ کمبیک و کلسیک و خواص ورتیک در برخی موارد است که از حضور خاک‌های اینسپتی‌سول با خانواده‌های مختلف در این منطقه حکایت دارد و گزارش مربوط به آن در جدول ۲ ارائه شده‌است.

جدول۱: توصیف آماری ویژگی‌های خاک منطقهٔ مورد مطالعه

خصوصیات خاک	واحد	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
شن	٪	۱۵	۵۸/۵	۳۵/۸۸	۱۰/۳۸	۰/۲۸
سیلت	٪	۴۰/۴	۱۵/۲۵	۲۴/۷۲	۶/۶	۰/۲۶
رس	٪	۲۶/۲۵	۶۵	۳۹/۴	۹/۷۲	۰/۲۴
اسیدیته	–	۷/۴۲	۸/۰۲	۷/۶۸	۰/۱۵	۰/۰۲
هدایت الکتریکی	$dS.m^{-1}$	۰/۵۶	۴/۳۴	۱/۲	۰/۸۸	۰/۷۳
کربن آلی	٪	۰/۲۹	۲/۰۲	۰/۸۱	۰/۴۲	۰/۵۲
ظرفیت تبادل کاتیونی	$Cmol^{+}.Kg^{-1}$	۱۷/۲۷	۴۹/۹۹	۲۹/۲۶	۷/۵	۰/۲۵
آهک	٪	۱۲	۲۴	۱۶/۴	۳/۲۷	۰/۱۹
ذرات درشت‌تر از دو میلی‌متر	٪	۰ /۱۹	۳/۸۳	۱/۶۲	۱/۰۵	۰/۶۴



شکل ۳: تغییرات عمقی مقادیر الف) رس و ب) آهک در خاکرخ‌های شاهد مطالعه شده

جدول۲: رده‌بندی خاک‌های منطقهٔ مورد مطالعه تا سطح خانواده (USDA, 2014)

خاکرخ	توزیع افق‌ها و لایه‌های خاک	خانواده خاک
۱	Ap-Bw-Bk1-Bk2-C	Fine, mixed, superactive, mesic Typic Calcixerepts
۲	Ap-Bw-Bk1-Bk2-C	Fine, mixed, superactive, mesic Vertic Calcixerepts
۳	Ap-Bw-Bk1-Bk2-C	Fine, mixed, superactive, mesic Vertic Calcixerepts
۴	Ap-Bw1-Bw2-Bw3-C	Fine-loamy, mixed, superactive, mesic Typic Haploxerepts
۵	A-Bw1-Bw2 -C	Fine-loamy, mixed, superactive, mesic Typic Haploxerepts

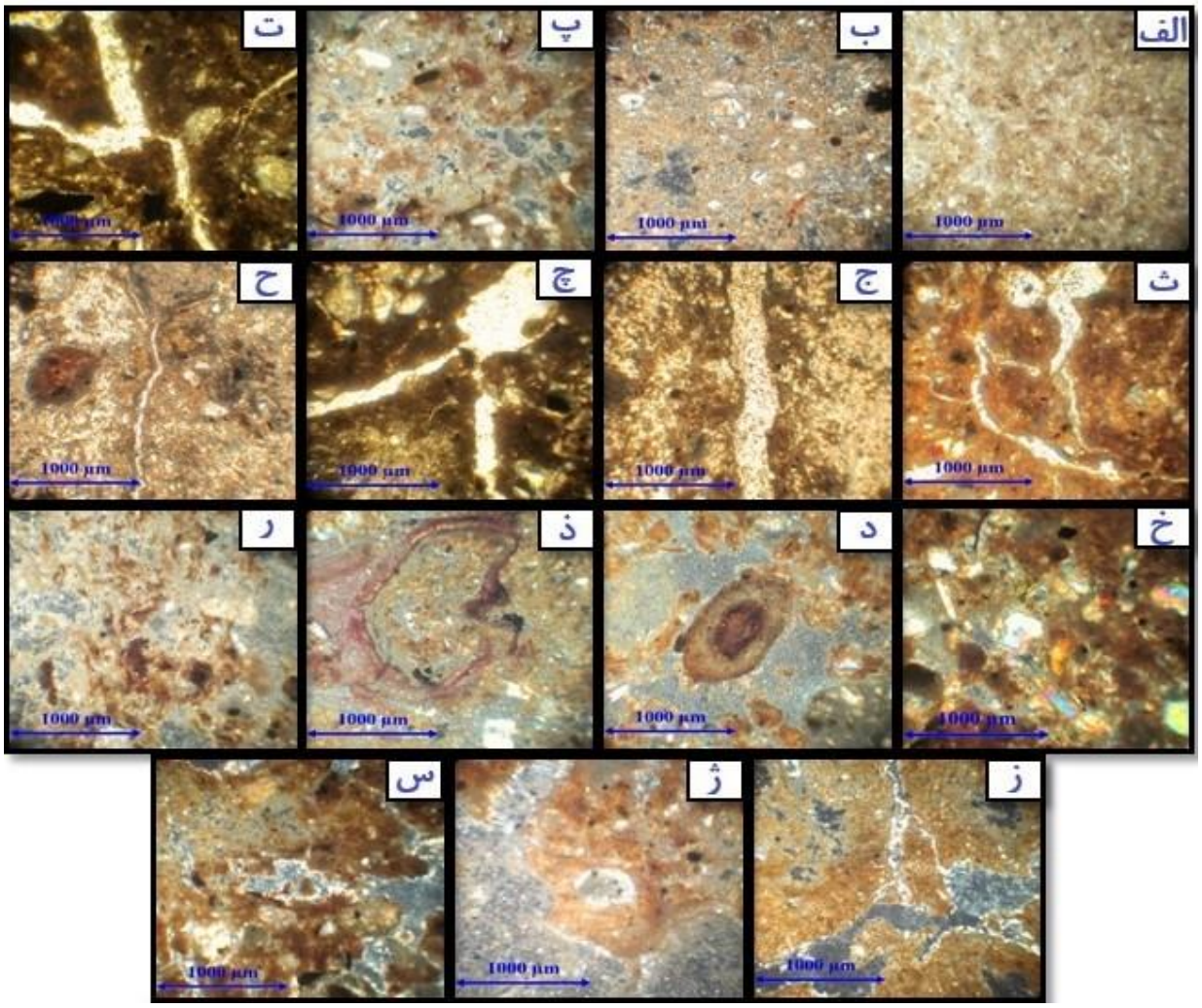
بررسی‌های میکرومورفولوژیک خاک‌ها که خلاصهٔ آنها در جدول ۳ ارائه شده‌است، بیانگر منافذ از نوع به‌هم خوردهٔ بستهٔ ساده[۱]، مرکب[۲] و کانال[۳] در افق‌های سطحی و چمبر[۴] و گاهاً وگ[۵] به‌همراه موارد قبل در افق‌های زیرین است (شکل ۴- ت، ج، چ، ح، ز و ژ). ریزساختار در افق‌های سطحی از نوع کروی[۶] و مکعبی[۷]، در افق‌های میانی نوع مکعبی‌بدون زاویه و زاویه‌دار و در پایین‌ترین افق از نوع توده‌ای[۸] است (شکل ۴- الف، ت، ث، چ و ح). با توجه به فرض مرز بین ذرات ریز و درشت به ابعاد بیست میکرون، نسبت ذرات درشت به ریز در تمامی خاکرخ‌ها از سطح به عمق افزایش یافت. بخش درشت شامل کانی‌های پیروکسن، پلاژیوکلاز، کانی‌های اوپک، کوارتز و آمفیبول و بخش ریز شامل رس و آهک است (شکل ۴- خ). بی‌فابریک و الگوی پراکنش وابسته و ارتباطی بین ذرات درشت غالب از نوع کریستالیتیک[۹] و پورفیریک[۱۰] بود که در مواردی برای ویژگی‌های ذکر شده به‌ترتیب حالت‌های لکه‌ای[۱۱] و مونیک[۱۲] نیز دیده شد (شکل ۴- الف، ب و پ). نمودهای خاک‌ساختی مشاهده شده در خاک‌های منطقه شامل بقایای آلی سالم، نیمه تجزیه‌شده و کاملاً تجزیه‌شده، جزئی پوشش‌های رس و پوشش‌ها و پرشدگی‌های ممتد و ناقص آهک در کانال بود (شکل ۴- د، ذ، ر، ز، ژ و س).

[1] Simple Packing
[2] Compound Packing
[3] Channel
[4] Chamber
[5] Vugh
[6] Granule
[7] Blocky
[8] Massive
[9] Crystallitic
[10] Porphyric
[11] Speckled
[12] Monic

جدول۳: توصیف کلی ویژگی‌های میکرومورفولوژیک خاک‌های منطقهٔ مورد مطالعه

خاکرخ	ریز ساختار	منافذ	C/F (20µm)	الگوی پراکنش ارتباطی	بی‌فابریک	بخش ریز	کانی‌های معدنی درشت	نمودهای خاک- ساختی
۱	Gr- Sb- Ab- Ma	Sp- Chn	۲/۳ تا ۷/۸	Po- Mo	Cr-Ss	رس- آهک	Py-Pl-Op- Qu-Cal- Am	قطعات آلی سالم، نیمه‌تجزیه شده و کاملاً تجزیه‌شده – پوشش رس و آهک
۲	Sb- Ab- Ma	Sp- Chn- Chm- Vu	۳/۳ تا ۷/۷	Po- Mo	Cr-Ss	رس- آهک	Py-Pl-Op- Qu- Cal- Am	قطعات آلی سالم، نیمه‌تجزیه شده و کاملاً تجزیه‌شده – پوشش رس – پوشش و پرشدگی آهک در کانال
۳	Sb- Ab- Ma	Sp- Chn- Chm- Vu	۳/۳ تا ۷/۷	Po- Mo	Cr-Ss	رس- آهک	Py-Pl-Op- Qu- Cal- Am	قطعات آلی سالم، نیمه‌تجزیه شده و کاملاً تجزیه‌شده – پوشش رس و آهک
۴	Sb- Ab- Ma	Sp- Chn- Chm- Vu	۳/۷ تا ۸/۲	Po- Mo	Cr	رس	Py-Pl-Op- Qu-Am- Rf	قطعات آلی سالم، نیمه‌تجزیه شده و کاملاً تجزیه‌شده
۵	Sb- Ab- Ma	Sp- Chn- Chm- Vu	۳/۷ تا ۸/۲	Mo- Po	Cr	رس	Py-Pl-Op- Qu-Am- Rf	قطعات آلی سالم و نیمه‌تجزیه شده

ریزساختار: Granular – Gr (کروی)، Subangular blocky – Sb (مکعبی بدون زاویه)، Angular – Ab (مکعبی زاویه‌دار) و Massive – Ma (توده‌ای). منافذ: Simple Packing – Sp (بسته ساده)، Chn – Channel (کانال)، Chamber – Chm (چمبر) و Vughs - Vu (ووگ). الگوی پراکنش ارتباطی: Po – Porphyric (پورفیریک) و Monic – Mo (مونیک). بی‌فابریک: Crystallitic – Cr (کریستالیتیک) و Ss – Stiple speckled (لکه‌ای). کانی‌های معدنی درشت: Plagioclase – Pl (پلاژیوکلاز)، Quartz – Qu (کوارتز)، Opaques – Op (اوپک)، Calcit – Cal (کلسیت)، Amphibole – Am (آمفیبول)، Pyrxenes – Py (پیروکسن) و Rock fragment – Rf (قطعات سنگی).



شکل ۴: تصاویر میکروسکوپی خاک‌های مطالعه شده: الف: ریزساختار توده‌ای، الگوی پراکنش وابسته مونیک و افق C خاکرخ ۵. ب: بی‌فابریک کریستالیتیک و افق Bk2 خاکرخ۲. پ: الگوی پراکنش وابسته پورفیریک و افق Bk1 خاکرخ۳. ت: ریزساختار مکعبی زاویه‌دار و افق Bw2 خاکرخ۵. ث: ریزساختار مکعبی بدون زاویه و افق Bw1 خاکرخ۱. ج: منفذ کانالی و افقBk1 خاکرخ۲. چ: منفذ چمبر و افق Bk2 خاکرخ۲. ح: منفذ کانالی و افق Bk1 خاکرخ۳. خ: قطعات کانی و افق Bw2 خاکرخ۱. د: بقایای آلی سالم و افق Ap خاکرخ۱. ذ: بقایای آلی نیمه‌تجزیه شده و افق Bw1 خاکرخ۱. ر: بقایای آلی کاملاً تجزیه شده و افق Ap خاکرخ۳. ز: پرشدگی ناقص آهک در کانال و افق Bk1 خاکرخ۲. ژ: پوشش آهک در یک منفذ بسته ساده و افق Bk2 خاکرخ۳. س: پوشش آهک اطراف منفذ چمبر و افق Bk1 خاکرخ۳.

براساس یافته‌های مورفولوژیکی، فیزیکی، شیمیایی و میکرومورفولوژیکی که شرح آنها پیش‌تر ارائه شد، شاخص‌های تکامل خاک مورد بحث در این مطالعه برای خاکرخ‌های شاهد واقع در هر تیپ بهره‌وری محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده‌است.

جدول۴: شاخص‌های تکامل خاک‌های منطقهٔ مورد مطالعه

خاکرخ	تیپ بهره‌وری	PDI	CAI	ACEC	MISODI	MISECA	Revised MISECA
۱	یونجه	۲۶/۹۸	۱۳۴۵/۸۳	۰/۶۷	۱۳	۱۵	۱۶
۲	ذرت	۲۵/۹۶	۱۱۶۹/۹۱	۰/۶۸	۱۳	۱۵	۱۵
۳	پیاز	۲۱/۰۲	۱۰۹۲/۶۶	۰/۶۸	۱۱	۱۲	۱۲
۴	گندم	۱۸/۶۳	۶۳۷/۹۹	۰/۷۰	۹	۱۰	۱۱
۵	زمین بایر	۱۵/۵۲	۴۱۹/۷۵	۰/۷۰	۷	۸	۸

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به شرایط محدودهٔ مورد مطالعه، از مجموعه شاخص‌های خاک‌سازی معرفی شده توسط Jenny (2011) تنها شاخص ارگانیسم‌ها به‌واسطهٔ تفاوت در نوع تیپ بهره‌وری در خاکرخ‌های شاهد مورد مطالعه متفاوت بود؛ از این‌رو، می‌توان بیان کرد که تفاوت‌های مشاهده شده در خاک‌های مورد بحث، متأثر از نوع کشت در اراضی است. رده‌بندی خاک‌ها که حاصل جمع‌بندی ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیکی و شیمیایی آنها است، اگرچه تفاوت خاک‌ها را نشان می‌دهد، در این مطالعه حتی در سطح خانواده نیز نمی‌تواند به بیان تفاوت بین خاک‌های تحت تیپ‌های بهره‌وری ذرت و پیاز یا گندم و اراضی بایر بپردازد (جدول ۲). در چنین مواردی که برخلاف نظر Lal (1994)، تفاوت خاک‌ها تنها با استناد به رده‌بندی آنها مشخص نمی‌شود، توجه به شاخص‌های تکامل خاک ــ که به‌صورت کاملاً کمّی ویژگی‌های خاک‌ها را بررسی و تفاوت‌های آنها را بیان می‌کند ــ می‌تواند مفید باشد. در این راستا هر یک از شاخص‌های تکامل خاک بحث شده در این مطالعه (جدول ۴)، ابعادی از تحولات خاک تحت‌تأثیر تیپ‌های بهره‌وری مختلف را بیان می‌کند.

وجه تشابه شاخص‌های بررسی شده در رتبه‌بندی تکامل خاک‌های مطالعه شده براساس نتایج جدول ۴، رتبهٔ آخر خاکرخ شاهد اراضی بایر است. این امر مؤید نقش مثبت عملیات کشاورزی در سطح و کیفیت اعمال شده در تکامل خاک‌ها است که Cornu و همکاران (2020) نیز بدان اشاره کرده‌اند. با توجه به نتایج جمع‌بندی شده در جدول ۲، از مشاهدهٔ چهار افق ژنتیکی در خاکرخ شاهد اراضی بایر در مقابل پنج افق ژنتیکی شناسایی‌شده در سایر خاکرخ‌ها با ضخامت‌های متفاوت، چنین استنباط می‌شود که عملیات کشاورزی بهینه به‌واسطهٔ توسعهٔ پوشش گیاهی و اثر آن بر ویژگی‌های مختلف خاک می‌تواند یکی از علل افق‌زایی ــ که از شواهد تکامل خاک‌ها است ــ باشد (Timlin and Ahuja, 2013). در کنار تعداد و ضخامت افق‌های ژنتیکی، تنوع و توالی افق‌های مشخصه در خاک‌های تحت تیپ‌های بهره‌وری مختلف (جدول ۲) می‌تواند به نقش پوشش گیاهی در ایجاد انواع افق‌های شناسایی اشاره داشته باشد. توسعهٔ ریشه در خاک و تشکیل ساختمان، از عوامل تشکیل افق مشخصهٔ کمبیک شناخته شده‌است که در همهٔ خاکرخ‌های مورد بررسی وجود دارد (Buol et al, 2011). در خاکرخ‌های تحت تیپ‌های بهره‌وری یونجه، ذرت و پیاز، افق کلسیک نیز در کنار افق کمبیک به‌واسطهٔ تغییرات عمقی مقدار آهک (شکل ۳- ب) و شواهد مورفولوژیک و میکرومورفولوژیک (جدول ۳ و شکل ۴- ز، ژ، س) شناسایی شد. حضور افق کلسیک می‌تواند دلیلی بر تکامل‌یافتگی

خاکرخ‌های تحت یونجه، ذرت و پیاز نسبت به سایر موارد باشد که یافته‌های Khormali و همکاران (2003) و Montakhabikalajahi and jafarzdeh (2014) به‌ترتیب در تطابق با نتایج شاخص MISECA و MISECA Revised ارائه شده در جدول ۴ نیز این امر را تأیید می‌کند. این تکامل‌یافتگی حاصل نقش تنفس ریشه، رسوب مجدد آهک به شکل ثانویه و تشکیل این افق طبق مکانیسم بیان شده توسط Rostad and Arnad (1970) است که در تحقیقات Rezaei و همکاران (2017) نیز اثبات شده‌است.

با توجه به مقدار شاخص تکامل خاک هاردن که بر پایهٔ اختلاف ویژگی‌های سالوم[1] خاک با افق C است، ترتیب تکاملی خاک برای تیپ‌های بهره‌وری مختلف به‌صورت یونجه، ذرت، پیاز، گندم و بایر است. بررسی اجزای این شاخص، ترتیب تکاملی به‌دست آمده را توجیه می‌کند. عموماً خاک‌های ریز بافت نسبت به سایر خاک‌ها تکامل بیشتری دارد (Catt, 1985). توجه به بافت خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که خاک‌هایی با بافت ریزتر که در خانوادهٔ با کلاس بافتی Fine قرار گرفته‌اند (جدول ۲ و شکل ۳- الف)، متکامل‌تر از خاک‌های تحت تیپ‌های بهره‌وری گندم و بایر است. نتایج بررسی نسبت بخش درشت به ریز در مطالعات میکرومورفولوژیک نیز این امر را تأیید می‌کند (جدول ۳). نقش عملیات کشاورزی در ریز شدن بافت خاک در مطالعهٔ He و همکاران (2020) شناخته شده‌است و Deng و همکاران (2016) نیز تفاوت‌های بافتی مشاهده شده در خاک‌های تحت انواع تیپ‌های بهره‌وری و معنی‌داری اختلاف آن با بافت خاک اراضی بایر را در یک منطقهٔ محدود بیان کرده‌اند.

نوع و درجهٔ توسعهٔ ساختمان، از جمله ویژگی‌های دخیل در شاخص تکامل خاک است که تنوع آنها برای انواع تیپ‌های بهره‌وری در جدول ۳ بیان و شواهد آنها در شکل ۴ نشان داده شده‌است. تعداد دفعات و سطح عملیات خاک‌ورزی همچون شخم و تردد ادوات در اراضی، چند ساله یا یکساله بودن و سیستم ریشهٔ محصول کشت شده، عوامل دخیل در توسعه یا تخریب ساختمان خاک‌ها است (Kautz et al, 2010 & Rezaei et al, 2013 & He et al, 2020). در این مطالعه تیپ بهره‌وری یونجه با توجه به چند ساله بودن، کاهش عملیات خاک‌ورزی، سیستم ریشهٔ عمیق و پوشش سطحی متراکم، بهترین شرایط ساختمانی خاک را پدید آورده‌است؛ در حالی‌که ساختمان در سایر تیپ‌های بهره‌وری به فراخور ماهیت عملیات کاشت، داشت و برداشت آنها درجه‌های پایین‌تری از تکامل را نشان می‌دهد و این مورد در خصوص اراضی بایر ــ که فاقد پوشش گیاهی است و از سویی تحت فرسایش محیطی قرار دارد ــ بدترین شرایط را دارد. از آنجایی‌که خاکدانه‌ها واحدهای ساختمان خاک است (Foth, 1991)، دلایل ذکر شده برای تفاوت ساختمان در خاک‌های انواع تیپ‌های بهره‌وری، در مورد پایداری خاکدانه‌ها که از اجزای شاخص هاردن است نیز برقرار می‌باشد و در تحقیقات زیادی همچون مطالعهٔ Liu و همکاران (2010) گزارش شده‌است.

ماده آلی خاک، یکی از عوامل ایجادکنندهٔ رنگ خاک است که بسته به مقدار، کیفیت و درجه تخریب بقایای آلی، شدت‌های متفاوتی از رنگ در خاک ایجاد می‌شود (Foth, 1991 & Schulze et al, 1993). مقدار بالای بقایای آلی یونجه و توزیع عمقی مناسب آن، بالاترین امتیاز تیره رنگ شدن خاک را در محاسبهٔ شاخص تکامل هاردن برای خاک‌های تحت آن به‌همراه داشته‌است. ترتیب تکامل شاخص هاردن مشاهده شده در انواع تیپ‌های بهره‌وری نیز عموماً با تغییرات امتیاز تیره‌رنگ شدن ناشی از ماده آلی خاک انطباق دارد که در این راستا، اراضی بایر با کمترین

[1] Solum

مقدار ماده آلی خاک حداقل امتیاز مربوطه را دریافت کرده‌است. بررسی ضریب تغییرات واکنش خاک در خاک‌های مربوط به انواع تیپ‌های بهره‌وری (جدول ۱) نیز به این نکته اشاره دارد که محصولات مورد نظر، تغییر چندانی در میزان واکنش خاک ایجاد نکرده‌اند و از این‌رو، این ویژگی در تفاوت تکاملی مشاهده شده براساس شاخص هاردن نقشی نداشته‌است.

تغییر و تحولات رس، یکی از نشانه‌های تأثیرپذیری خاک از عوامل محیطی است (and velde, 2021 Churchman). ترتیب تکاملی یونجه، ذرت، پیاز، گندم و بایر حاصل شده از شاخص تجمع رس ـ که برمبنای تغییرات عمقی مقدار رس نشان داده شده در شکل ۳ است ـ نیز به تأثیرپذیری تغییرات مقدار رس خاک از تیپ بهره‌وری اشاره دارد. یکی از علل تغییرات عمقی رس که به درجات تکاملی ذکر شده منجر شده‌است، سیستم ریشهٔ گیاهان و ایجاد کانال‌های ریشه‌ای با ابعاد متفاوت در اعماق مختلف است (Lyford and Wilson, 1964 & Blazejewski et al, 2005). توجه به شاخص ظرفیت تبادل کاتیونی ظاهری خاک‌ها در جدول ۴ که به تفاوت نوع رس خاک‌ها اشاره داشت، تفاوت چندان معنی‌داری را برای خاک‌های مطالعه شده نشان نداد و کلاس کانی‌شناسی mixed گزارش‌شده برای رده‌بندی خاک‌ها در جدول ۲ نیز این امر را تأیید کرد؛ از این‌رو، می‌توان نتیجه گرفت که محصولات مورد مطالعه به‌واسطهٔ تغییرات شیمیایی و نوع رس، تأثیری بر تحولات خاک ندارند.

ترتیب تکاملی حاصل برمبنای شاخص‌های میکرومورفولوژیکی برای خاک‌های مطالعه شده، دقیقاً منطبق بر روند حاصل شده از شاخص‌های هاردن و تجمع رس است. مشاهدهٔ وضعیت ریزساختار، منافذ، نسبت ذرات درشت به ریز و غالبیت الگوی پراکنش پورفیریک نسبت به مونیک در اراضی تحت کشت در مقابل اراضی بایر در مطالعات میکرومورفولوژیکی خاک، به دلایل بحث شدهٔ قبلی در انطباق با یافته‌های Nakatsuka and Tamura (2016) و Jafarzadeh و همکاران (2018) است که به تأثیرپذیری فابریک خاک از عملیات زراعی اشاره دارد. رویت بی‌فابریک لکه‌ای در کنار کریستالیتیک در برش‌های نازک مربوط به خاک‌های تیپ‌های بهره‌وری یونجه، ذرت و پیاز، بیانگر تفاوت خاک‌های ناشی از نقل و انتقال رس به‌واسطهٔ نقش پوشش گیاهی در ایجاد کانال‌های انتقالی است. نمودهای خاک‌ساختی پوشش رس و آهک نیز که نقش آنها در تنوع افق‌ها بیان شد، از روی دادن فرایندهای خاک‌سازی متنوع در خاک‌های مختلف حکایت دارد. در خصوص مقدار و تنوع نمودهای خاک‌ساختی آلی یا به‌عبارتی شکل‌های تجزیه‌ای بقایای آلی، بایستی به ماهیت و حجم بقایای گیاهی هر یک از تیپ‌های بهره‌وری توجه کرد. جمع‌بندی مطالعات میکرومورفولوژیکی خاک‌ها که در قالب شاخص‌های MISODI، MISECA و MISECA revised صورت گرفته‌است، تفاوت خاک‌های تحت انواع تیپ‌های بهره‌وری به‌دلیل نقش آنها در تحولات خاک‌ها را بیان می‌کند. بر مبنای این سه شاخص، طبق استاندارد ارائه شده توسط Magaldi and Talini (2000)، Khormali و همکاران (2003) و Montakhabikalajahi and jafarzdeh (2014)، خاک‌های اراضی بایر دارای تکامل ضعیف و اراضی تحت کاربری زراعی دارای کلاس تکاملی متوسط بود. هر چند براساس هر دو شاخص یاد شده، روند تکاملی خاک‌ها به‌ترتیب برای یونجه، ذرت، پیاز و گندم به بایر است (جدول ۴).

به‌طور کلی، نتیجه گرفته شد که ویژگی‌های خاک‌ها و در نتیجه سیر تحول و تکامل آنها، تحت‌تأثیر نوع تیپ بهره‌وری در کاربری‌های زراعی است و در این بین، ویژگی‌های مرتبط با فابریک خاک بیش از سایر ویژگی‌ها

تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. مشاهدهٔ ترتیب تکاملی غالب خاک‌ها برمبنای شاخص‌های بررسی شده به ترتیب برای تیپ‌های بهره‌وری یونجه، ذرت، پیاز، گندم و اراضی بایر، به این نکته اشاره دارد که عملیات کشاورزی بهینه و استفادهٔ پایدار از اراضی به تسریع در سیر تکاملی خاک‌ها منجر می‌شود. با توجه به مقادیر کمّی حاصل برای شاخص‌های مختلف در انواع تیپ‌های بهره‌وری نیز می‌توان بیان کرد که میزان تأثیرپذیری خاک‌ها از محصول کشت‌شده، به ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه و عملیات کاشت، داشت و برداشت آنها وابسته است. بنابراین، در نواحی خشک و نیمه‌خشک همچون منطقهٔ مورد مطالعه که خاک‌ها جوان و در ابتدای مسیر تکاملی خود است، متکامل‌تر شدن خاک‌ها همسو با افزایش کیفیت آنها خواهد بود و از تخریب اراضی ممانعت به‌عمل خواهد آورد. بنابراین، تشخیص داده شد که عملیات کشاورزی در این منطقه در کنار تولید محصول، گامی در راستای حفاظت خاک است. بی‌شک اجرای تناوب زراعی در کنار تأمین منابع تغذیهٔ مناسب برای محصولات کشت شده، گامی ارزنده در راستای ارتقای کیفیت خاک‌های محدودهٔ مورد مطالعه است و بررسی سیر تکاملی خاک‌های تحت تناوب اجرایی، هدفی ارزشمند برای پژوهش‌های آتی به منظور تشخیص مدیریت پایدار اراضی از دیدگاهی متفاوت نسبت به روش‌های مرسوم است.

منابع

1. Banaei, M. H., 1998. Soil Moisture and Temperature Regime Map of Iran, *Soil and Water Research Institute, Ministry of Agriculture*, Iran. (In persian).
2. Blazejewski, G. A.; Stolt, M. H.; Gold, A. J.; & P. M. Groffman, 2005. Macro-and micromorphology of subsurface carbon in riparian zone soils, *Soil Science Society of America Journal*, 69, 1320-1329.
3. Bullock, P.; Fedoroff, N.; Jongerius, A.; Stoops, G.; & T. Tursina, 1985. Handbook for Thin Section Description, *Waine Research*, England.
4. Buol, S. W.; Southard, R. J.; Graham, R. C.; & P. A. McDaniel, 2011. Soil Genesis and Classification, *Wiley*, Oxford, UK.
5. Catt, J. A., 1985. Soil particle size distribution and mineralogy as indicators of pedogenic and geomorphic history: examples from the loessial soils of England and Wales. in: Ellis, S., Richards, K. S. & Arnett, R. R. (ed.) *Geomorphology and soils George Allen & Unwin London*, 202-218.
6. Churchman, G. J., & B. Velde., (2021). Soil Clays, Linking Geology, Biology, Agriculture, and the Environment. *Earth Sciences, Environment and Sustainability*. Boca Raton.
7. Cornu, S.; Montagne, D.; Bogner, C.; & L. Montanarella, 2020. Soil Evolution and Sustainability, *Frontiers, Environmental Science*, 8 (23), 1-2.
8. Da Costa, P. A.; Mota, J. C. A.; Romero, R. E.; Freire, A. G.; & T. O. Ferreira, 2014. Changes in soil pore network in response to twenty-three years of irrigation in a tropical semiarid pasture from northeast Brazil, *Soil and Tillage Research*, 137, 23-32.
9. Darvishzadeh, A., 1991. Geology of Iran, *Pub: Amir Kabir- Iran.* (In persian).
10. Deng, Y. S.; Dong, X.; Cai, C. F.; & S. W. Ding, 2016. Effects of land uses on soil physic-chemical properties and erodibility in collapsing - gully alluvial fan of Anxi county china, *Journal of Integrative Agriculture*, 15(8), 1863-1873.
11. Fairchild, J. A., & J. D. Brotherson., (2001). Microhabital relationship of six major shrubs in Navajo National Monument, Arizona. *Journal of Range Management*. 33(17), 150-156.

12. Fatehi, H.; Abtahi, S. M.; Hashemolhosseini, H.; & S. M. Hejazi, 2018. A novel study on using protein based biopolymers in in soil strengthening, *Construction and Building Materials*, 167, 813-821.
13. Follmer, L. R., 1998. A scale for judging degree of soil and paleosol development, *geology research, Catena*, 41(4), 261-276.
14. Foth, H. D., 1991. Fundamentals of Soil Science, *Wiley*, 8th edition.
15. Geological Survey of Iran (GSI)., 2006. The Tectonic lineament map of Iran, 1:5000000.
16. Harden, J.W., (1982). A quantitative index of soil development from field description: Example from a chronosequence in central California, *Geomderma*, 28, 1-28.
17. Harden, J. W., & E. M. Taylor., (1983). A quantitative comparison of soil development in four climatic regimes. *Quaternary Research*. 20, 342-359.
18. Haugland, J. E., & B. S. Owen Haugland., (2008). Cryogenic disturbance and pedogenic lag effects as determined by the profile developmental index: The Styggedalsbreen glacier chronosequence, Norway. *Geomorphology* .96(1), 212-220.
19. He, M.; Ji, X.; Bu, D.; & J. Zhi, 2020. Cultivation effects on soil texture and fertility in an arid desert region of northwestern China, *Journal of Arid Land*, 12, 701-715.
20. Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO)., 2018. First International Conference on Numerical Weather and Climate Prediction, *19-20 November*, Iran, Tehran.
21. Jafarzadeh, A. A.; Norouzi, M.; & H. Rezaei, 2018. Assessment of land use type effect on soil porosity by image processing, *Jornal of Water and Soil science, University of Tabriz*, 28 (2), 219-233. (In Persian).
22. Jenny, H., 2011. Factors of Soil Formation-A System of Quantitative Pedology, *Dover Inc*, New York.
23. Kashi, H.; Gorbani, H.; Emamgholizadeh, S.; & S. A. A. Hashemi, 2014. The Effects of Land Use Change on Chemical and Physical Soil Properties (Case Study: Ghoshe Spread Flow and Contiguous Agriculture Land), *Journal of Hydrology and Soil Science*, 18, 187-199. (In Persian).
24. Kautz, T.; Stumm, C. H.; Kösters, R.; & U. Köpke, 2010. Effects of perennial fodder crops on soil structure in agricultural headlands, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173 (4), 490-501.
25. Khormali, F.; Abtahi, A.; Mahmoodi, S.; & G. Stoops, 2003. Argillic horizon developmentin calcareous soils of arid and semiarid regions of southern Iran, *Catena*, 53, 273-301.
26. Khormali, F., & S. Shamsi., (2009). Micromorphology and quality attributes of the loess drived soils affected by land use change: A case study in Ghapan watershed Northern iran, *Journal of mountain science*, 6, 197-204.
27. Lal, R., 1994. Methods and Guidelines for assessing sustainable Use of Soil and Water resources in the tropics, *Soil Management Support Services Technical Monograph*, 21, 1-78.
28. Levine, E. R., & E. J. Ciolkosz., (1983). Soil development in till of various ages in northeast Pennsylvania. *Quaternary International journal* .19, 85-99.
29. Liu, X.; Qiu, HE, Y.; Zhang, H. L.; Schroder, J. K.; Liang Li, C. H.; Zhou, J.; & Z. H. Y. Zhang, 2010. Impact of Land Use and Soil Fertility on Distributions of Soil Aggregate Fractions and Some Nutrients, *Elsevier, Pedospher*, 20 (5), 666-673.
30. Lipiec, J.; Hajnos, M.; & R. Ewieboda, 2012. Estimating effects of compaction on pore size distribution of soil aggregates by mercury porosimeter, *Geoderma*, 179, 20-27.
31. Lyford, W. H., & B. F. Wilson., (1964). Development of the root system of Acer Rubrum L. *Harvard Forest Paper*. 10, 1-17.
32. Magaldi, D., & M. Tallini., (2000). A Micromorphological index of soil development for the quaternary geology research. *Catena*. 41(4), 261-276.

33. Maghsoudi, M.; Goorabi, A.; & S. darabi shahmari, 2013. The Study of Effect of Vegetation Cover Factor on the Water Erosion, Case Study: Rasin Basin, *Quarterly Journal of Environmental Erosion Researches*, 12, 43-57. (In persian).
34. Martini, J. A., 1970. Allocation of cation exchange capacity to soil fractions in seven surface soils from Panama and the application of a cation exchange factor as a weathering index, *Journal of Soil Science*, 109(5), 324-33.
35. Methods of Soil Analysis (MSA), 1996. Part 3 Chemical Methods. Editor(s): Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., & M. E. Sumner, *Soil Science Society of America.*
36. Mi, X. C.; Zhange J. T.; & T. L. Shangguan, 1996. Analysis of relationship between vegetation and climate in Shanxi plateau, *Phytoene, Sinica*, 20, 549-560.
37. Mohammadi, S.; Jafarzadeh, A. A.; Shahbazi, F.; & H. Rezaei, 2019. Semi Quantative Review of Soil Evolution Based on Morphological and Micromorphological Studies in Goharan Khoy Region, *Jornal of Water and Soil science, University of Tabriz*, 29(3), 1-11. (In Persian).
38. MontakhabiKalajahi, V., & A. A. Jafarzadeh., (2014). Investigation of soil evolution based on micromorphological properties using two indicators MISODI and MISECA. 13th Iranian soil science congress, *28-30 january, ahvaz, iran*. (In persian).
39. MontakhabiKalajahi,V.; Jafarzadeh, A. A.; & H. Rezaei, 2017. Comparsion of different soils evolution based on Argillic horizon development, *Jornal of Water and Soil science, University of Tabriz*, 27 (1), 253-265. (In Persian).
40. Mulat, Y.; Kibret, K.; Bedadi, B.; & M. Mohammed, 2021. Soil quality evaluation under diferent land use types in Kersa sub-watershed, eastern Ethiopia, *Enviromental Systems Research*, 10 (19), 1-11.
41. Murphy, C. P., 1986. Thin section preparation of soils and sediments. A and B Academic, Berkhamsted, of arid and semiarid regions of southern Iran, *Catena*, 53(3), 273-301.
42. Nakatsuka, H., & K. Tamura., (2016). Characterisation of soils under long-term crop cultivation without fertilisers: a case study in Japan. *Springer Plus.* 5 (283), 1-22.
43. Pirzadeh, S. S.; Pazira, E.; Ahmadi, A.; Mohammadi Torkashvand, A.; & A. Moeini, 2021. Factors Influencing Soil Formation and Evolution in Banaft, Region "Kasilian Mazandaran Watershed", *Environmental Erosion Research Journal*, 40 (10:4), 1-17. (In Persian).
44. Rahmati, M.; Neyshabouri, M. A.; Oustan, S.; & V. Feiziasl, 2009. Crop Rotation Effects on Soil Physico-chemical Properties and Rain Fed Wheat Crop Yield, *Jornal of Water and Soil science, University of Tabriz*, 20 (1), 73-86. (In Persian).
45. Rezaei, H.; Jafarzadeh, A. A.; & F. Shahbazi, 2013. Effect of Vegetation on soil Micromorphological Properties (Case Study: Karkaj research station), *Jornal of Water and Soil science, University of Tabriz*, 23(1), 83-94. (In Persian).
46. Rezaei, H.; Jafarzadeh, A. A.; Alijanpour, A.; Shahbazi, F.; & K. H. ValizadehKamran, 2015. Effect of slope position on soil properties and types along an elevation gradient of Arasbaran Forest, Iran, *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information*, 5(6), 449-456.
47. Rezaei, H.; Jafarzadeh, A. A.; Alijanpour, A.; Shahbazi, F.; & K. H. ValizadehKamran, 2017. Genetically evolution of Arasbaran forests soils along altitudinal transects of Kaleybar Chai Sofla Sub-Basin, *Jornal of Water and Soil science, University of Tabriz*, 26 (4/1), 151-166. (In Persian).
48. Rostad, H. P. W., & R. J. Arnaud., (1970). Nature of Carbonate Minerals in Two Saskatchewan soils. *Canadian Journal of Soils Science.* 50(1), 65-70.
49. Schaetzl, R. J., & S. H. Anderson., (2005). Soils: Genesis and Geomorphology. *Pub: Cambridge University*, Cambridge.

50. Schulze, D. G.; Nagel, J. L.; Van Scoyoc, G. E.; Henderson, T. L.; Baumgardner, M. F.; & D. E. Stott, 1993. Significance of organic matter in determining soil colors, *Soil Science Society of America, Inc*, 31, 71-90.
51. Servati, M.; Jafarzadeh, A. A.; Heydari, A.; & F. Shahbazi, 2011. Impact of Geomorphology on Carbonate Pedofeatures in the Soils from South of Ahar, *Jornal of Water and Soil science, University of Tabriz*, 21(1), 43-55. (In Persian).
52. Stoops, G., 2003. Guidelines for analysis and description of soil and regolit thin section. *Pub: Soil Science Society of America, Madison*, Wisconsin, USA.
53. Stoops, G.; Marcelino, V.; & F. Mees, 2010. Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths, *Elsevier's Science and Technology*, Oxford, UK.
54. Sys, C.; Van rast, E.; Debaveye, Ir. J.; & F. Beernaert, 1993. Land evaluation. Part III. *Agricultural publications*.
55. Timlin, D., & L. R. Ahuja., (2013). Enhancing Understanding and Quantification of Soil-Root Growth Interactions. *ACSESS*. USA.
56. United States Department of Agriculture (USDA), 2014. Keys to Soil Taxonomy (12th ed.). *Naturaral Resources Conservation Service, Soil Survey Staff*, Washington, DC.

The Different Agricultural Use Effect on Soil Evolution in Shurgol Region of Bonab

Behzad MohammadHosseini Sagayesh[1]: *PhD. Student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*
Ali Asghar Jafarzadeh: *Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*
Hossein Rezaei: *Assistant professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz*

Article History (Received: 2022/03/12 Accepted: 2022/4/ 26)

20.1001.1.22517812.1401.12.3.10.9

Extended abstract

1- Introduction

Soil characteristics and development are influenced by environmental factors such as land use. Investigating the agricultural use effect on soil development and evolution can be useful in maintaining and improving the quality of land resources and preventing soil erosion and degradation. Soil development and evolution are the result of changes in its physical, chemical, biological, morphological, micromorphological and mineralogical characteristics, so the study of soil evolution indices indicates the impact of soil on environmental factors. Various morphological, physicochemical, and micromorphological indices of soil evolution due to their special nature show different aspects of soil impact from environmental factors. Therefore, the study of soil evolution as a result of environmental conditions of its formation and development can provide a suitable perspective for the continuation or the need to change the current management to maintain or improve land quality. This research study intends to examine the various indices of soil evolution that consider each aspect of soil development and evolution in relation to land management to be a fundamental step for the sustainable management of agricultural land.

2- Methodology

The study area is the cultivated lands of alfalfa, corn, onion and wheat, and the adjacent barren lands in the Shurgol section of Bonab city of East Azerbaijan province, which is the site of selected control soil profiles under constant and uniform management over an average period of 15 years. After selection, the soil profiles were dug and described, and disturbed and undisturbed samples were taken from genetic horizons for physicochemical and micromorphological analyses and were transferred to the laboratory. Soils were identified and classified according to field studies and the results of laboratory analysis based on 12th edition of the Keys to Soil Taxonomy.

Micromorphological studies of thin sections prepared from undisturbed soil samples were performed using a polarizing microscope based on a standard terminology system. In this study, a set of soil evolution indices, including harden, clay accumulation, appearance cation exchange capacity, MISODI, MISECA, and revised MISECA were used. Harden index is obtained by comparing the characteristics of texture class, plasticity, adhesion, type and degree of structure development, dry and wet stability of aggregates, clay coatings, darkening, lightening color and acidity of soil solum with C horizon. Clay aggregation and the apparent cation exchange capacity indices have been calculated based on the differences between the amount of soil clay in horizons B and C and the ratio of soil CEC to the percentage of clay, respectively.

[1] **Corresponding Author: Behzadmohammadhosseini@gmail.com**

To calculate the MISODI, MISECA and revised MISECA indices, the studied pedofeatures during micromorphological analyses, including microstructure, b- fabric, coating, nodule and degree of weathering and evolution of mineral particles were used. For this purpose, each of the mentioned characteristics, in terms of quality and quantity, was assigned a weight based on the relevant scoring tables, and the final evolution index was calculated from all of them.

3- Results

The results showed that the soils of the region are non-saline and pH neutral; their texture is clay loam to clay and different amounts of organic carbon with irregular depth distribution are observed in soils under each type of productivity. Based on a complete study of the characteristics, different families of Inceptisols were identified with cambic and calcic horizons characteristic as well as Vertic properties in the soils of the region. Micromorphological studies revealed that the voids are simple and compound packing and include channels with granular and blocky microstructure in the surface horizons as well as chamber and sometimes vugh with massive microstructure in the lower horizons, while in the middle horizons angular blocky and subangular blocky microstructure were observed. According to the boundary between fine and coarse particles with 20 microns dimensions, the c/f particles in all soils have increased from surface to depth and the coarse part includes a variety of minerals. The b-fabric and related distribution pattern between the predominant coarse particles are of the crystalline and porphyric types, which in some cases are observed in speckled and monic forms, respectively. Pedofeatures observed in the soils of the region include intact, semi-decomposed and fully-decomposed organic residues, partial clay coatings and continuous and incomplete lime coatings and infillings in the channel. Soils under alfalfa productivity type with values of 26.98, 1345.83, 13, 15 and 16 were identified as the most complete soils for harden, clay accumulation, MISODI, MISECA and revised MISECA soil evolution indices, respectively, while barren soils with 15.52, 419.75, 7,8 and 8 were identified as the least developed soils for the mentioned indices and the evolutionary order between these two groups is based on the mentioned indices for the productivity types of corn, onion and wheat. The values for the appearance cation exchange capacity index were 0.7 for wheat and barren soils, 0.68 for corn and onion and 0.67 for alfalfa.

4- Discussion & Conclusions

As for soil classification, although differences exist at different categories or levels, but in this study, even at the family category or level, it is not possible to express the differences between soils under the productivity types of corn, onion, wheat and barren lands. In such cases, it can be useful to consider the soil evolution indices that quantitatively examine soil properties and determine their differences. Soil properties and, consequently, their evolution are affected by the productivity type in agricultural uses, and among these properties, the ones related to soil fabric are affected more than the others. Observing the evolutionary order of the majority of soils based on the studied indices for the productivity types of alfalfa, corn, onion, wheat and barren lands indicates that optimal agricultural operations and sustainable land use lead to accelerated evolution. Based on the quantitative values obtained for different indices in different types of productivity, it can be stated that the effectiveness of soils from the cultivated crop depends on the morphological and physiological characteristics of the plant and their planting, holding, and harvesting operations. Therefore, in arid and semi-arid areas, such as the studied area, where the soils are young and at the beginning of their evolution, the existence of more complete soils will be in line with increasing their quality and will prevent land degradation.

Key Words: Bonab, Land degradation, Micromorphology, Soil evolution, Utilization type.