دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره دوم، ۱۳۹۳
http://jwsc.gau.ac.ir

# تغییرات کانی‌شناسی و میکرومورفولوژی در کاربری‌های طبیعی و زراعی در یک ردیف اقلیمی در خاک‌های لسی استان گلستان

***ناژین کاویانی[۱]، فرهاد خرمالی[۲]، حسن مسیح‌آبادی[۳] و حسین تازیکه[۴]**

[۱]دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، [۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]استادیار مرکز تحقیقات خاک و آب تهران، [۴]دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۵/۲۲

## چکیده

این پژوهش به بررسی تأثیر تغییر کاربری بر خصوصیات میکرومورفولوژی و پراکنش کانی‌های رسی خاک‌هایی می‌پردازد که بر روی مواد مادری لسی در یک ردیف اقلیمی- در شرق استان گلستان تشکیل شده‌اند. به این منظور ۱۲ خاکرخ در رژیم‌های رطوبتی یودیک، زریک و آریدیک در موقعیت ژئومورفیک یکسان (همگی در قسمت قله شیب) در هر رژیم (شامل کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعی) حفر، تشریح و مطالعه گردید. آماده‌سازی و مطالعه مقاطع نازک و نیز مطالعه کانی‌های رسی به روش استاندارد صورت پذیرفت. نتایج نشان می‌دهد که در رژیم اریدیک خاک‌هایی با تکامل کم شامل آنتی‌سول‌ها و در رژیم رطوبتی زریک راسته‌های اینسپتی‌سول و مالی‌سول و در رژیم رطوبتی یودیک آلفی‌سول‌ها تشکیل شده‌اند. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که با پیشروی از رژیم اریدیک به‌سمت رژیم یودیک با افزایش بارندگی و افزایش پوشش گیاهی، فعالیت بیولوژیکی زیاد می‌شود که به موجب آن ویژگی‌های میکرومورفولوژیک مانند نوع و میزان حفرات، ریزساختمان‌ها، بی‌فابریک و عوارض خاکساز نیز تغییر می‌کند. مقایسه کاربری‌های متفاوت در اقلیم‌های مشابه نشان می‌دهد که تغییر نوع کاربری نیز سبب تغییر ویژگی‌های میکرومورفولوژیک مانند حفرات و ریزساختمان و عوارض خاکساز می‌شود به‌گونه‌ای که با تغییر کاربری از جنگل به مرتع و از مرتع به زراعی تعداد حفرات کانالی، بی‌شکل و همچنین ریزساختمان‌های اسفنجی و کروی به‌تدریج کاهش یافته و به تعداد

* مسئول مکاتبه: n_pedologyst@yahoo.com

حفرات انقباضی افزوده می‌شود. نتایج به‌دست آمده از مطالعه منشا و پراکنش کانی‌های رسی نشان می‌دهد که ایلیت کانی غالب خاک در هر سه کاربری است. منشا ایلیت، کلریت و کائولینیت به ارث رسیده از مواد مادری و ورمی‌کولیت و اسمکتیت تبدیل شده از سایر کانی‌ها می‌باشد. مطالعه توزیع کانی‌ها نشان می‌دهد که با حرکت از رژیم اریدیک به‌سمت یودیک از مقدار کانی‌هایی مانند ایلیت و کلریت کاسته و به مقدار کانی‌هایی با منشا خاکساز شامل اسمکتیت و ورمی‌کولیت افزوده می‌شود. بنابراین نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که تغییر کاربری در این منطقه به سبب حساسیت ویژه مواد لسی نسبت به فرسایش موجب تغییرات شگرفی در پراکنش کانی‌ها، ویژگی‌های مورفولوژیک، رده خاک، نوع و مقدار حفرات که از پارامترهای کیفیت خاک به‌شمار می‌روند گردیده و بر لزوم برنامه‌ریزی و کنترل برای این فرایند تغییر کاربری در این منطقه تأکید می‌نماید.

***واژه‌های کلیدی:*** میکرومورفولوژی، کانی‌شناسی رس، ردیف اقلیمی، لس، تغییر کاربری

**مقدمه**

خاک‌ها محصول رابطه‌های متقابل و پیچیده فرآیند فیزیکی و شیمیایی هستند که تغییر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بیولوژیکی و به پیروی آن تحول خاک به‌شدت تحت‌تأثیر عوامل محیطی، توپوگرافی، تغییرات اقلیم و فعالیت‌های بشری بوده است. تغییر کاربری اراضی ناشی از فعالیت‌های انسانی در بیش‌تر موارد سبب تخریب خاک گردیده و کشاورزی پایدار را با تهدید مواجه نموده است. استان گلستان دارای گستره وسیعی از خاک‌های لسی حساس به فرسایش است که تغییر کاربری و جنگل‌تراشی از دلیل‌های اصلی وقوع سیلاب‌های اخیر و فرسایش شدید خاک در سالیان اخیر به‌شمار می‌روند (هادیانی، ۲۰۰۷). بسیاری از پژوهشگران برای مطالعه تغییرات به‌وجود آمده در خاک به سبب تغییر کاربری از مطالعه مقاطع نازک خاک بهره می‌جویند. به‌عنوان مثال بررسی‌های میکرومورفولوژی نشان می‌دهد که قرار گرفتن خاک تحت پوشش طبیعی جنگل موجب تشکیل ساختمان‌های مکعبی و دانه‌ای در سطح خاک می‌شود و حفرات غالب از نوع کانال می‌باشد ولی در کاربری زراعی حفرات از نوع صفحه‌ای است (استوپس، ۲۰۰۳).

به‌طورکلی هدف از مطالعه میکرومورفولوژی خاک‌ها شناسایی فرایند مؤثر در تشکیل و تغییر شکل آن است. استوپس (۲۰۰۳) بیان می‌کند که هیچ روش دیگری مانند "میکرومورفولوژی" وجود ندارد که

بتواند ماهیت و پیچیدگی پلی‌ژنز خاک‌ها را بیان نموده و قابلیت تشریح چگونگی تشکیل خاک را داشته باشد. امروزه میکرومورفولوژی به‌عنوان ابزاری قدرتمند در تشریح فرایند حاکم بر خاک و تغییرات ناشی از فرایندهای گوناگون مانند تغییر اقلیم و کاربری می‌باشد.

مطالعات کاتسوواریو و همکاران (۲۰۰۲) نشان می‌دهد که تغییر پوشش گیاهی و کاربری اراضی سبب تغییر بسیاری از خصوصیات فیزیکی خاک مانند تخلخل، نفوذپذیری و دانه‌بندی می‌شود. همچنین ژورورویک و همکاران (۲۰۰٦) نشان دادند که تغییر کاربری از پوشش طبیعی به زراعی به‌دلیل تراکم وارد شده به خاک ناشی از عملیات کشت و کار سبب افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شود. علاوه‌بر این عملیات کشاورزی موجب کاهش اندازه حفره‌های خاک می‌شود (وایرلو و لال، ۲۰۰٦). علاوه‌بر خصوصیات فیزیکی، بسیاری از خصوصیات بیولوژیک خاک نیز تحت‌تأثیر تغییر کاربری قرار می‌گیرند به‌عنوان مثال مطالعات نشان می‌دهد که عملیات کشاورزی سبب کاهش جمعیت جانوران خاکزی خاک می‌شود که این کاهش جمعیت در مواردی تا ۷۰ درصد نیز گزارش شده است (باستروم، ۱۹۹۵). مقدار و اندازه کانال‌های ناشی از فعالیت جانوران خاکزی که نقش مهمی در نفوذپذیری، تهویه و توسعه ریشه دارند به‌دلیل کاهش فعالیت بیولوژیکی ناشی از تغییر کاربری کاهش می‌یابد (فرانسیس و فراسر، ۱۹۹۸).

ترکیبات کانی‌شناسی کنترل‌کننده بسیاری از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مورفولوژیکی خاک‌ها می‌باشند. بنابراین مطالعه آن‌ها ضمن این‌که نحوه استفاده از خاک را از دیدگاه حاصل‌خیزی و کیفیت آن بیان می‌کند، می‌تواند روند تکامل خاک و کانی‌های رسی را برای دانشمندان علوم خاک روشن سازد (دیکسون و وید، ۱۹۹۲). مطالعات پژوهشگران نشان می‌دهد که ترکیب کانی‌های رسی خاک و توزیع آن در افق‌های مختلف علاوه‌بر این‌که تحت‌تأثیر مواد مادری، درجه هوازدگی و تحول خاک قرار می‌گیرد، می‌تواند به سبب تغییر کاربری نیز تغییر یابد. از این‌رو بسیاری از پژوهشگران به تأثیر کاربری اراضی بر توزیع کانی‌های رسی نیز پرداخته‌اند. (عجمی و خرمالی، ۲۰۰۹).

خرمالی و کهل (۲۰۱۱) در مطالعه پراکنش کانی‌های رسی تحت‌تأثیر رژیم‌های رطوبتی مختلف در استان گلستان نتیجه گرفتند که در مناطق شمالی با رژیم رطوبتی اریدیک کانی غالب خاک کلریت و میکا بوده در حالی‌که در مناطق دارای رژیم رطوبتی زریک با میزان بارندگی ٦۵۰–٤۰۰ میلی‌متر و pH خاک در حدود ۷/۸–۷، پس از ایلیت کانی‌های خانواده اسمکتیت کانی غالب بخش رس خاک‌های

لسی می‌باشد. حال آن‌که در مناطق جنوبی استان با افزایش بارندگی (حدود ۹۰۰-۷۰۰ میلی‌متر)، pH خاک‌ها در افق‌های سطحی و زیرسطحی به ٦ می‌رسد که در این شرایط مقدار ورمی‌کولیت افزایش یافته و در مواردی به‌عنوان کانی غالب بخش رس خاک‌ها مشاهده می‌گردد.

علاوه‌بر تغییر اقلیم، تغییر کاربری اراضی نیز می‌تواند بر تحول و پراکنش کانی‌های رسی تأثیر بگذارد در راستای پژوهش‌های انجام گرفته در رابطه با تأثیر کاربری اراضی بر تحول و توزیع کانی‌های رسی میرکریمی و همکاران (۲۰۱۱) نیز توزیع کانی‌های رسی را در خاک‌های مشتق شده از مواد مادری لسی در استان گلستان در چهار کاربری جنگل، مرتع، باغ و زراعی با هم مقایسه نمودند. نتایج آن‌ها نیز نشان می‌دهد که افزایش درصد اسمکتیت و ورمی‌کولیت در کاربری‌های طبیعی جنگل و مرتع نسبت به کاربری‌های باغ و زراعی، به سبب وجود رطوبت بیش‌تر در این کاربری‌ها و ایجاد شرایط بهتر برای هوادیدگی می‌باشد.

عجمی و خرمالی (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای تأثیر تغییر کاربری جنگل به زراعی بر روی پراکنش خاک‌های تشکیل شده از لس‌ها را در قسمت‌های مختلف شیب در شرق استان گلستان مطالعه نمودند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که جنگل‌تراشی و فرسایش خاک موجب شده تا مقدار ایلیت و کلریت در تمامی موقعیت‌های شیب ناحیه زراعی افزایش یابد. آن‌ها عمده‌ترین دلیل برای ایجاد چنین وضعیتی را به برون‌زد مواد مادری سرشار از ایلیت و کلریت نسبت دادند.

البته باید در نظر داشت که تأثیر تغییر کاربری بر توزیع کانی‌های رسی همیشه محسوس نمی‌باشد زیرا شرایط هر منطقه مانند سابقه تغییر کاربری، اقلیم، تأثیر تغییر کاربری بر شدت فرسایش و مواد مادری خاک در مناطق گوناگون با هم متفاوت بوده و باید این عوامل با هم در نظر گرفته شوند به‌عنوان مثال نبی‌اللهی و همکاران (۲۰۰۹) با مقایسه ترکیب کانی‌های رسی بین مالی‌سول‌های طبیعی و مالی‌سول‌های تخریب‌یافته در اثر عملیات کشت و کار در استان کردستان دریافتند که ترکیب کانی‌های رسی تغییر چندانی نکرده است. ترکیب کانی‌های رسی و خصوصیات فیزیکی خاک به‌ویژه مقدار، نوع حفرات و ریزساختمان از پارامترهای مهم کیفیت خاک می‌باشند در این پژوهش علاوه‌بر بررسی تغییرات کانی‌شناسی، سعی شده است تا با مطالعات میکرومورفولوژی و بررسی مقاطع نازک تغییرات نوع و مقدار حفرات، ریزساختمان و نیز عوارض خاکساز ناشی از تغییر اقلیم و کاربری در اراضی لسی استان گلستان بررسی گردد.

## مواد و روش‌ها

**مشخصات عمومی منطقه:** محدوده مورد مطالعه شامل یک ردیف ارضی- اقلیمی[1] است که از ارتفاعات مرطوب شرق استان (رامیان) تا منطقه خشک شمال استان (اینچه‌برون) ادامه دارد. محدوده به‌صورتی انتخاب شده که بتواند اثر اقلیم، مجموعه‌ای از عوامل محیطی مؤثر بر فرآیند خاکساز و تحول خاک‌ها را در برگیرد. منطقه از نظر مختصات جغرافیایی UTM شامل ترانسکت شمالی- جنوبی از نقطه ۷ واقع در قلعه ماران تا نقطه ۵ واقع در اینچه‌برون از ۳٦ درجه و ۵۵ دقیقه و ٦ ثانیه تا ۳۷ درجه و ٥٤ دقیقه و ٤۲ ثانیه عرض جغرافیایی و از ۵۵ درجه و ٦ دقیقه و ٤۰ ثانیه تا ۵۵ درجه و ۱۸ دقیقه و ۳۰ ثانیه در طول جغرافیایی محدود شده است. ارتفاع از سطح دریا از ۱۵۷متر در اینچه‌برون تا ۱۷۳۵ متر در قلعه ماران می‌باشد.

میانگین دمای سالانه محدوده مورد مطالعه از ۱۹/٤-۱۲/٤ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده و متوسط بارش سالانه بین ۱۸۰ در منطقه اینچه‌برون تا ۸۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات قلعه ماران می‌باشد. مقدار تبخیر و تعرق نیز در محدوده مورد مطالعه بین ۲۳۳۵-۸٦٤ میلی‌متر است. نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق (P/ET)[2] نیز در جدول ۱ آورده شده است که بین ۰/۸-۰/۱۷ می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی سطح منطقه مورد مطالعه از رسوبات دوران چهارم زمین‌شناسی شامل لس‌ها پوشانیده شده است. بنابراین لس‌ها مواد مادری خاک‌های مورد مطالعه می‌باشند. پوشش گیاهی و کاربری پروفیل‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

**مشخصات خاکرخ‌های مورد مطالعه:** ردیف ارضی- اقلیمی مورد مطالعه شامل سه رژیم رطوبتی یودیک، زریک و اریدیک می‌باشد. رژیم‌های یودیک- مزیک و رژیم زریک- ترمیک شامل کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعی بوده و سایر رژیم‌ها دارای کاربری‌های مرتع و زراعی می‌باشد. در هر یک از این رژیم‌ها در کاربری‌های مختلف، یک خاکرخ در محل قله شیب[3] حفر گردید. انتخاب محل خاکرخ‌ها به‌گونه‌ای انجام گرفت که همه عوامل پنج‌گانه تشکیل‌دهنده خاک به‌جز کاربری و پوشش گیاهی با یکدیگر یکسان می‌باشند. بنابراین تفاوت مشاهده شده در بین کاربری‌ها در یک رژیم تنها مربوط به تغییر پوشش گیاهی ناشی از تغییر کاربری می‌باشد. همه پروفیل‌های حفر شده براساس

1- Climotoposequence
2- Precipitation & Evapotranspiration Ratio
3- Summit

راهنمای رده‌بندی خاک آمریکایی (Soil Survey Staff، ۲۰۱۰) تشریح، طبقه‌بندی و نمونه‌برداری شدند و اطلاعات هواشناسی از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی محدوده مورد مطالعه در استان گلستان اخذ گردیده است (جدول ۱).

**جدول ۱- موقعیت، کاربری، بارندگی، شاخص اقلیمی (براساس داده‌های ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کشوری) و طبقه‌بندی خاک‌های مورد مطالعه براساس راهنمای رده‌بندی خاک آمریکایی (Soil Survey Staff، ۲۰۱۰).**

| پروفیل | موقعیت | کاربری | بارندگی (میلی‌متر) | نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق (P/ET) | رژیم رطوبتی- حرارتی | طبقه‌بندی |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | کلاله | مرتع | ٤٠٠-٤٥٠ | ۰/۳۵ | زریک تیپیک- ترمیک | Calcixerolls |
| ۲ | کلاله | زراعت | ٤٠٠-٤٥٠ | ۰/۳۵ | زریک تیپیک- ترمیک | Calcixerpts |
| ۳ | خالد نبی | مرتع | ۲۵۰ | ۰/۲ | زریک خشک- ترمیک | Haploxerepts |
| ٤ | خالد نبی | زراعت | ۲۵۰ | ۰/۲ | زریک خشک- ترمیک | Haploxerepts |
| ۵ | مرز اینچه‌برون | مرتع | ۱۸۰ | ۰/۱٤ | آریدیک- ترمیک | Torriorthents |
| ٦ | مرز اینچه‌برون | زراعت | ۱۸۰ | ۰/۱٤ | آریدیک- ترمیک | Torriorthents |
| ۷ | قلعه ماران | زراعت | ۸۰۰ | ۰/۸ | یودیک- مزیک | Hapludalfs |
| ۸ | قلعه ماران | مرتع | ۸۰۰ | ۰/۸ | یودیک- مزیک | Hapludalfs |
| ۹ | قلعه ماران | جنگل | ۸۰۰ | ۰/۸ | یودیک- مزیک | Hapludalfs |
| ۱۰ | رامیان | جنگل | ٦۵۰ | ۰/٦ | زریک مرطوب- ترمیک | Calcixerolls |
| ۱۱ | رامیان | مرتع | ٦۵۰ | ۰/٦ | زریک مرطوب- ترمیک | Calcixerolls |
| ۱۲ | رامیان | زراعت | ٦۵۰ | ۰/٦ | زریک مرطوب- ترمیک | Calcixerepts |

**مطالعات میکرومورفولوژی:** نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن توسط رزین پتروپاکسی اشباع شده و بعد از خشک شدن مقاطع برش داده شده تا حد ۳۰ میکرون ساییده شدند. مقاطع به‌دست آمده توسط میکروسکوپ پلاریزان با استفاده از دو نور ساده (PPL)[1] و متقاطع (XPL)[2] در بزرگنمایی‌های مختلف با استفاده از روش بولاک و همکاران (۱۹۸۵) تشریح گردیدند.

**جداسازی و مطالعه کانی‌های رسی:** در این مرحله خالص‌سازی کانی‌های رسی به روش کیتریک و هوپ (۱۹٦۳) انجام گرفت. بر این اساس نمونه‌های خاک بعد از کربنات‌زدایی، اکسیداسیون مواد آلی

1- Plane Polarized Light
2- Cross Polarized Light

و جداسازی آهن آزاد در یک سیلندر ۱ لیتری برای جداسازی بخش رس (کم‌تر از ۲ میکرون) به روش ترسیب قرار گرفتند. سپس از هر نمونه رس به‌دست آمده ٤ تیمار شامل منیزیم، منیزیم و گلیسرول، پتاسیم در دمای معمولی و پتاسیم در حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد تهیه گردیده و با دستگاه اشعه ایکس بروکر مدل D8-ADVANCE با لامپ منبع تولید اشعه از نوع مس با طول موج λ=۱/٥٤ نانومتر از $2\theta=2^{\circ}$ تا $2\theta=30^{\circ}$ اسکن گردیدند.

**مطالعات آزمایشگاهی:** pH خاک در عصاره گل اشباع به‌وسیله دستگاه pH متر و هدایت الکتریکی عصاره اشباع با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی اندازه‌گیری شد. درصد کربن آلی به روش سوزاندن تر و درصد آهک به روش خنثی کردن مواد خنثی‌شونده با اسیدکلریدریک و عمل تیتراسیون اسید اضافی با سود تعیین گردید (نلسون و سامرز، ۱۹۸۲). بافت خاک و درصد ذرات رس، سیلت و شن براساس قانون استوکس و باروش هیدرومتری بایکاس تعیین شد (بایکاس، ۱۹٦۲). مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی به روش اشباع با استات سدیم (چاپمن، ۱۹٦۵) اندازه‌گیری و محاسبه گردید.

## نتایج و بحث

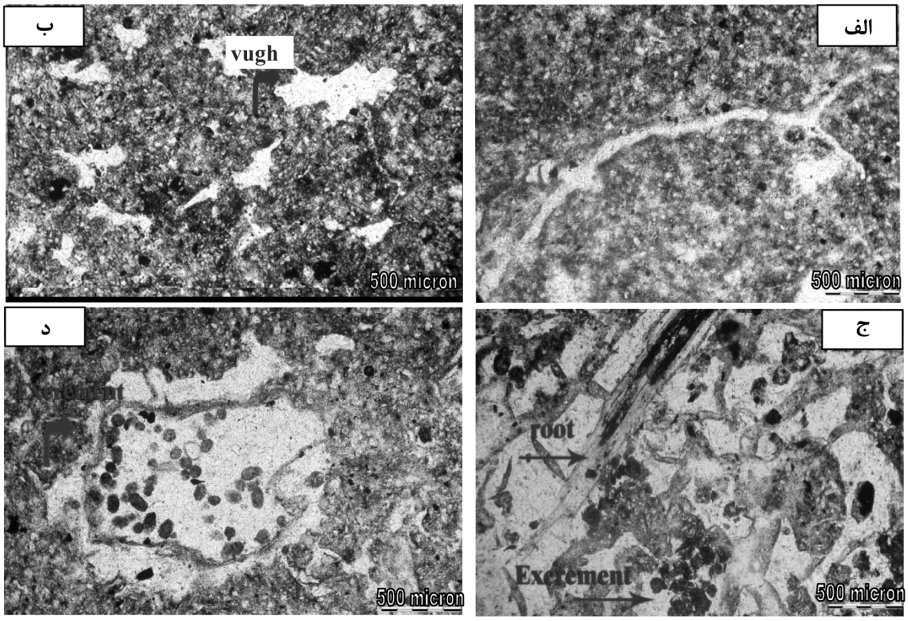
**تأثیر تغییر کاربری بر روند تحول و تکامل خاک در اقلیم‌های مختلف:** بررسی چگونگی تکامل خاک در کاربری‌های طبیعی ردیف ارضی- اقلیمی مورد مطالعه نشان می‌دهد که در رژیم رطوبتی اریدیک به‌دلیل بارندگی اندک، خاک‌های آنتی‌سول تشکیل شده در حالی‌که با افزایش رطوبت و تراکم پوشش گیاهی در رژیم‌های رطوبتی زریک اپی‌پدون مالیک تشکیل و توسعه‌یافته و به همین سبب مالی‌سول‌ها خاک‌های غالب این مناطق می‌باشند. با افزایش رطوبت و تحت‌تأثیر پوشش جنگلی در رژیم رطوبتی یودیک، فرایند آهک‌زدایی و آبشویی رس در پروفیل خاک به وقوع پیوسته و بنابراین خاک‌های آلفی‌سول در این ناحیه تکامل یافته‌اند. خرمالی و کهل (۲۰۱۱) نیز در بررسی روند تکاملی خاک‌های لسی در ردیف ارضی- اقلیمی در استان گلستان به نتایج مشابهی دست یافتند. مقایسه تأثیر تغییر کاربری بر تغییر افق‌های شناسایی خاکرخ‌ها نشان می‌دهد که در رژیم‌های رطوبتی اریدیک، زریک خشک و یودیک تغییر کاربری تأثیری بر خصوصیات خاکرخ خاک نداشته است. زیرا نوع افق‌های شناسایی در خاک‌های آنتی‌سول (رژیم اریدیک) و نیز اینسپتی‌سول (رژیم زریک خشک)

به‌گونه‌ای نیست که تحت‌تأثیر فرسایش ناشی از تغییر کاربری تغییر نماید. بررسی‌های مشابه برای رژیم رطوبتی یودیک نیز نشان می‌دهد که اگرچه تغییر کاربری‌های طبیعی جنگل و مرتع به زراعی سبب تخریب خاک سطحی گردیده اما میزان تخریب به اندازه‌ای نیست که افق زیرسطحی آرجیلیک از بین برود و شریط شناسایی خاک‌های آلفی‌سول فراهم نگردد بنابراین در ناحیه یودیک نیز با تغییر رده خاک ناشی از تغییر کاربری مواجه نیستیم. در مطالعه مقاطع نازک وجود تکه‌هایی از پوشش‌های رسی در افق سطحی کاربری زراعی در این رژیم نشان‌دهنده تخریب افق سطحی و رخنمون شدن افق آرجیلیک در سطح است (شکل ۲- الف). اما نتایج به‌دست آمده از بررسی‌های مشابه در رژیم‌های زریک تیپیک و زریک مرطوب متفاوت است در این رژیم‌ها در اثر تغییر کاربری از پوشش‌های طبیعی جنگل و مرتع به زراعی، خاک‌های مالی‌سول (پروفیل‌های ۱، ۱۰، ۱۱) به اینسپتی‌سول تغییر یافته‌اند (پروفیل‌های ۲ و ۱۲). از آن‌جایی‌که درصد مواد آلی افق سطحی یکی از پارامترهای اصلی شناسایی اپی‌پدون مالیک می‌باشد، کاهش مواد آلی افق سطحی در اثر تغییر کاربری می‌تواند به دو علت باشد، اول این‌که عملیات خاک‌ورزی موجب افزایش تجزیه مواد آلی و در نهایت کاهش درصد مواد آلی خاک‌هایی می‌شود که از کاربری جنگل به زراعی تغییر یافته‌اند (لل، ۱۹۹۷). کیانی و همکاران (۲۰۰٤) نیز در مطالعه تأثیر جنگل‌تراشی بر پارامترهای کیفی خاک‌های لسی در استان گلستان دریافتند که عملیات جنگل‌تراشی و تغییر کاربری تا حد قابل‌ملاحظه‌ای سبب کاهش درصد مواد آلی در این خاک‌ها گردیده است. دلیل دوم این که اپی‌پدون‌های مالیک چون در معرض مستقیم فرسایش ناشی از تغییر کاربری می‌باشند، به همین سبب به راحتی تخریب شده و به اپی‌پدون اکریک تغییر می‌یابند و موجبات تغییر خاک‌های مالی‌سول به اینسپتی‌سول را فراهم می‌آورند. یافته‌های سایر پژوهشگران نیز نشان می‌دهد که تغییر کاربری و عملیات کشت و کار می‌تواند موجب کاهش درصد مواد آلی اپی‌پدون مالیک و تخریب آن گردد به‌عنوان مثال خرمالی و نبی‌اللهی (۲۰۰۹) در بررسی تخریب خاک‌های مالی‌سول‌های کردستان و عجمی و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی تخریب خاک‌های لسی شرق استان گلستان عامل تغییر کاربری را مهم‌ترین دلیل تخریب اپی‌پدون مالیک و تبدیل آن به افق آکریک می‌دانند.

**تأثیر تغییر کاربری بر ویژگی‌های میکرومورفولوژیک خاک**

**رژیم یودیک:** بررسی مقاطع نازک افق سطحی کاربری جنگل و مقایسه آن با کاربری‌های مرتع و زراعی نشان می‌دهد که بسیاری از ویژگی‌های خاک تحت‌تأثیر عملیات کشت و کار قرار گرفته است (شکل ۱- الف و ب). به‌عنوان مثال نوع غالب حفرات در کاربری‌های جنگل و مرتع به‌صورت کانال می‌باشد وجود این نوع حفرات به‌دلیل فعالیت بیولوژیک قابل‌توجه در این دو کاربری است پژوهشگران وجود این نوع حفرات در خاک را به‌دلیل رشد و نفوذ ریشه گیاهان و فعالیت موجودات زنده خاک می‌دانند (کمپ و همکاران، ۲۰۰٤؛ کویسترا، ۱۹۷۸) همچنین ریزساختمان‌های تشکیل شده در کاربری‌های مرتع و جنگل مانند تشکیل ریزساختمان اسفنجی[1] در کاربری مرتع نیز متأثر از فعالیت بیولوژیک قابل‌توجه است. وجود اشکال خاکساز[2] ناشی از فعالیت جانداران[3] در کاربری مرتع وجود فعالیت بیولوژیک قابل‌توجه در این خاک‌ها را نشان می‌دهد (شکل ۱- ج و د). در مقایسه با دو کاربری جنگل و مرتع، نوع غالب حفرات در کاربری زراعی به‌صورت بی‌شکل[4] بوده و ریزساختمان آن نیز به‌صورت توده‌ای[5] است (شکل ۱- ب). مطالعات نشان می‌دهد که عملیات به‌هم‌خوردگی خاک ناشی از عملیات کشت و کار موجب پیدایش این نوع حفرات می‌شود به‌عنوان مثال میرکریمی و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی میکرومورفولوژیک تخلخل افق مالیک خاک‌های مالی‌سول در جنوب گرگان‌رود نشان دادند که با تغییر کاربری از مرتع به زراعی تعداد حفرات بی‌شکل و انقباضی افزایش یافته و برعکس تعداد حفرات ناشی از فعالیت بیولوژیک مانند کانال‌ها کاهش می‌یابد. ورا و همکاران (۲۰۰۷) با شواهد ماکرو و میکرومورفولوژی نحوه تأثیر تغییر کاربری بر ساختمان خاک را بررسی نموده و نشان دادند که عملیات تغییر کاربری از جنگل به زراعی سبب از بین رفتن خاکدانه‌هایی با منشا بیولوژیک (مانند خاکدانه‌های کروی) به همراه افزایش تعداد خاکدانه‌های مکعبی می‌شود ضمن این‌که درجه وضوح ساختمان خاک[6] کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده تأثیر پوشش گیاهی و فعالیت بیولوژیک بر نوع خاکدانه‌ها و نیز حفرات می‌باشد.

1- Crumb
2- Pedofeatures
3- Excrements
4- Vugh
5- Massive
6- Degree of Pedality



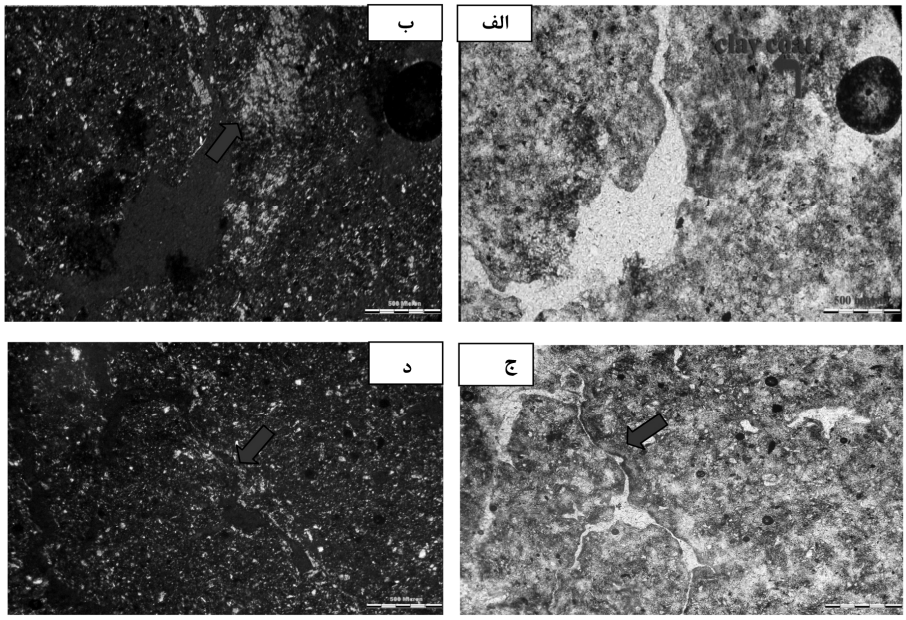

**شکل ۱- تصاویر مقاطع نازک (PPL) از کاربری‌های مختلف رژیم رطوبتی یودیک، الف: حفرات نوع کانالی مشاهده شده در افق Bt کاربری جنگل، ب: حفرات بی‌شکل (واگ) در افق A کاربری زراعی، ج و د: به‌ترتیب عوارض خاکساز ناشی از فعالیت جانوری در افق Bt و افق A کاربری مرتع.**

ضمن این‌که تأثیرات ناشی از عملیات زراعی بر روی تجزیه مواد آلی و کاهش فعالیت بیولوژیک به همراه تراکم فیزیکی خاک سبب از بین رفتن ریزساختمان گردیده به‌گونه‌ای که ریزساختمان غالب مشاهده شده به‌صورت توده‌ای است.

یکی از عوارض پدوژنیک مشاهده شده در این خاک‌ها شستشو و انتقال رس می‌باشد که به‌صورت پوشش‌های رسی[1] در مقاطع نازک افق آرجیلیک در کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعی دیده می‌شود (شکل ۲). مقایسه توزیع پوشش‌های رسی در پروفیل خاک‌های این سه نوع کاربری نشان می‌دهد که در خاک‌های جنگلی پوشش‌های رسی فقط در افق آرجیلیک دیده می‌شوند در حالی‌که در خاک‌های مرتعی و به‌ویژه خاک‌های زراعی این پوشش‌ها در افق سطحی خاک نیز وجود دارند. این نتایج نشان می‌دهد که به سبب عملیات جنگل‌تراشی و تغییر کاربری افق سطحی تا حدود زیادی تخریب‌یافته

1- Clay Coatings

به‌گونه‌ای که تخریب و فرسایش خاک موجب نزدیکی و حتی قرار گرفتن افق آرجیلیک در سطح خاک گردیده و در حقیقت افق A کنونی در کاربری‌های مرتع و زراعی بر روی افق آرجیلیک تشکیل شده‌اند.

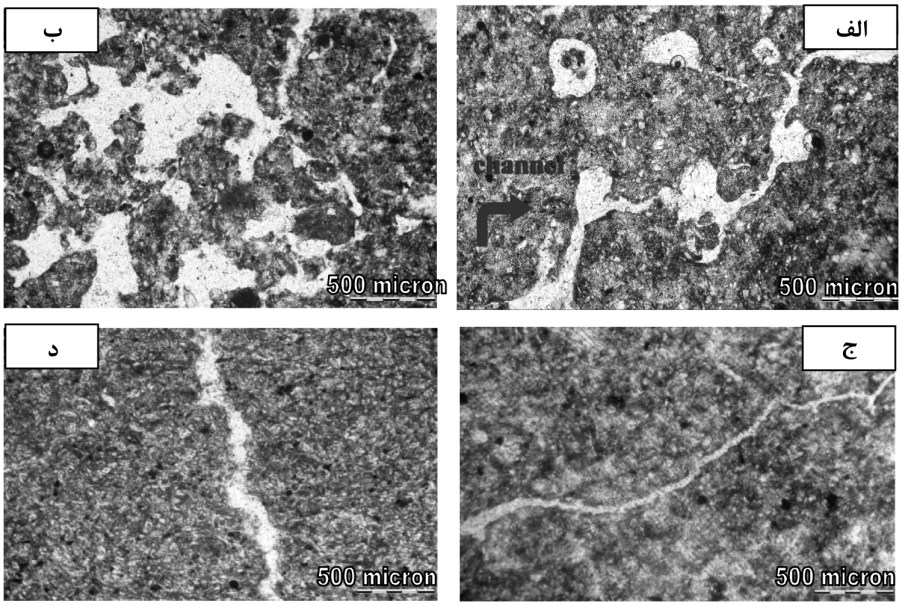



**شکل ۲: تصاویر مقاطع نازک از پوشش‌های رسی کاربری‌های مختلف رژیم رطوبتی یودیک، الف و ب پوشش‌های رسی در افق Ap کاربری زراعی الف: PPL، ب: XPL، ج و د: افق Bt کاربری جنگل: ج: PPL و د: XPL.**

**رژیم زریک:** بررسی مقاطع نازک خاک‌های تشکیل شده در رژیم رطوبتی زریک مرطوب شامل کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعی نشان‌دهنده تغییر خصوصیات خاک به سبب تغییر کاربری می‌باشد. مقایسه مقاطع نازک افق‌های سطحی کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعی نشان می‌دهد که به موجب تغییر کاربری از جنگل به مرتع و زراعی ضمن این‌که مقدار مواد آلی کاهش یافته است، به سبب کاهش مواد آلی و کاهش فعالیت بیولوژیک نوع حفرات و ریزساختمان نیز تحت‌تأثیر قرار گرفته است به‌طوری‌که از کاربری جنگل به مرتع و از مرتع به زراعی حفرات کانالی، بی‌شکل و همچنین ریزساختمان‌های اسفنجی و کروی[1] به‌تدریج کاهش یافته و به تعداد حفرات انقباضی[2] افزوده می‌شود

1- Granular
2- Plane

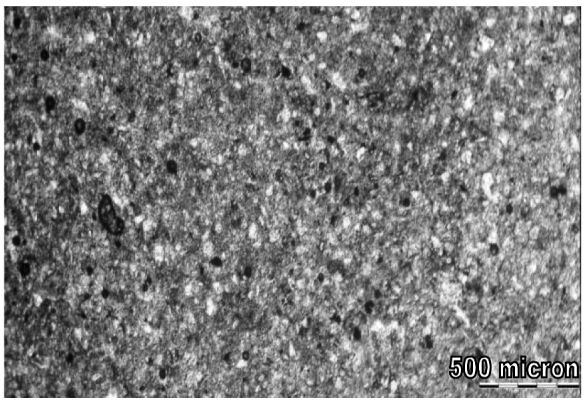
(شکل ۳). خرمالی و عجمی (۲۰۱۱) نیز در مطالعه پارامترهای کیفی خاک‌های لسی در استان گلستان، تغییر کاربری اراضی از جنگل به زراعی را دلیل اصلی تغییر ریزساختمان افق سطحی از کروی به بی‌شکل می‌دانند. همچنین نتایج به‌دست آمده از مطالعه مشابه توسط شمسی و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان می‌دهد که با تغییر کاربری از مرتع به زراعی حفرات کانالی کاهش یافته و برعکس تعداد حفرات صفحه‌ای افزایش می‌یابد. در رژیم‌های رطوبتی زریک تیپیک و زریک خشک کاربری جنگل وجود ندارد و در بررسی‌های مشابه برای این رژیم‌ها نیز تغییرات قابل‌توجهی از نظر مقدار مواد آلی و ریزساختمان در اثر تغییر کاربری از مرتع به زراعی به چشم می‌خورد به‌عنوان مثال در کاربری زراعی اقلیم زریک خشک، ساختمان خاک به‌شدت تحت‌تأثیر عملیات کشت و کار قرار گرفته و به‌صورت توده‌ای در آمده است و در مقایسه مقاطع نازک آن با کاربری مرتع آثار فعالیت بیولوژیک (عوارض خاکساز ناشی از فعالیت جانوری) مشاهده نمی‌شود.




**شکل ۳- تصاویر (PPL) مقاطع نازک از کاربری‌های مختلف رژیم رطوبتی زریک، الف: حفرات نوع کانالی در افق Bw کاربری مرتع، ب: حفرات نوع واگ و ریزساختمان واگی در افق A کاربری جنگل، ج و د: حفرات انقباضی و ریزساختمان توده‌ای در افق Ap کاریری زراعی اقلیم زریک خشک.**

در همین راستا نتایج به‌دست آمده از مطالعه عجمی و همکاران (۲۰۰۹) بر روی تأثیر تغییر کاربری بر خصوصیات خاک‌های لسی در حوزه آبخیز آق‌سو در استان گلستان نشان می‌دهد که در اثر تغییر کاربری طبیعی به زراعی ریزساختمان نیز به‌شدت تحت‌تأثیر قرار گرفته و به‌صورت توده‌ای درآمده است. همچنین مطالعه بی- فابریک[1] خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که به‌دلیل وفور مواد آلی در کاربری جنگل درصدی از بی- فابریک خاک به‌صورت نامشخص[2] است در حالی‌که در کاربری‌های مرتع و زراعی به‌دلیل کاهش مواد آلی این نوع بی- فابریک دیگر مشاهده نمی‌شود (استوپس، ۲۰۰۳).

**رژیم اریدیک**: از ویژگی‌های خاک‌های تشکیل شده در این رژیم رطوبتی آن است که به‌دلیل رطوبت اندک، فقر پوشش گیاهی و هوادیدگی کم، بسیاری از ویژگی‌های خاک مشابه مواد مادری لسی می‌باشد. این خاک‌ها فعالیت بیولوژیک قابل‌توجهی ندارند به‌گونه‌ای که در مطالعه مقاطع نازک خاک در زیر پوشش طبیعی گیاهان مرتعی ساختمان خاک به‌صورت توده‌ای بوده و آثاری از فعالیت بیولوژیک قابل‌توجه به چشم نمی‌خورد. بنابراین تغییرات ناشی از تغییر کاربری در این خاک‌ها در مقایسه با اقلیم یودیک و زریک به روشنی مشاهده نمی‌شود.




**شکل ٤- تصویر (PPL) مقاطع نازک ریزساختمان توده‌ای در کاربری مرتع رژیم رطوبتی اریدیک افق Bk پروفیل ٥.**

1- B- Fabric
2- Undifferentiated

**حفرات و ریزساختمان:** در رژیم اریدیک حفرات به‌صورت بی‌شکل دیده شده و بقایای ریشه و فضولات جانوری در آن به‌دلیل کم بودن فعالیت بیولوژیک دیده نمی‌شود. ریزساختمان مشاهده شده در رژیم اریدیک به‌دلیل مواد آلی کم، میزان سیلت بالا، کمبود رطوبت، فعالیت بیولوژیکی کم به‌صورت توده‌ای، مکعبی بدون زاویه با درجه وضوح ضعیف می‌باشد.

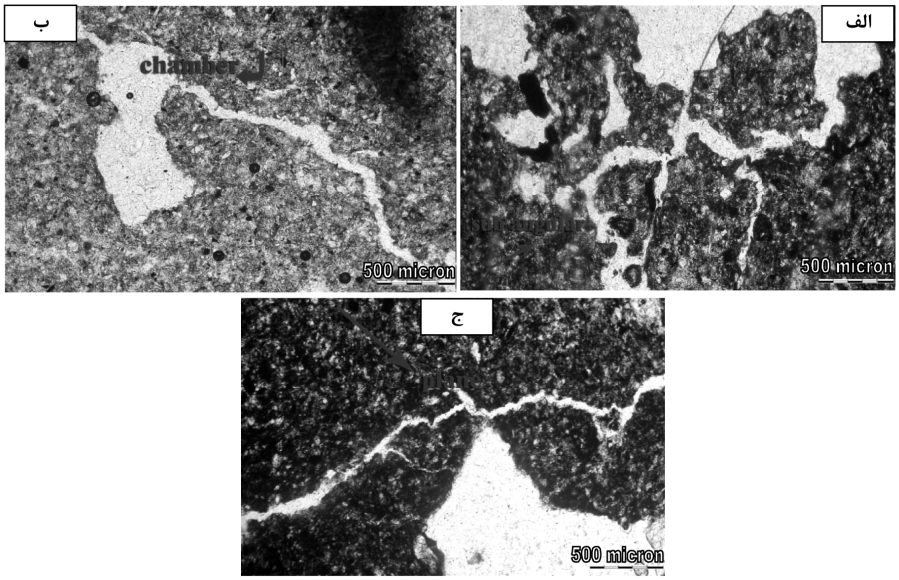
در رژیم زریک تنوع نوع حفرات بیش‌تر از رژیم اریدیک بوده و بیش‌تر حفرات به‌صورت صفحه‌ای و مقدار کمی از نوع کانال و بی‌شکل بوده و با افزایش عمق خاک تعداد حفرات صفحه‌ای بیش‌تر و حفرات کانالی کم‌تر می‌شود. در این رژیم ریزساختمان مکعبی بیش‌ترین فراوانی را دارد ضمن این‌که در مقایسه با رژیم اریدیک توسعه ریزساختمان بهتر بوده و از وضوح بیش‌تری برخوردار می‌باشد. شکل غالب حفرات در رژیم زریک بیش‌تر به‌صورت صفحه‌ای است (شکل ۵- ج). وجود حفرات صفحه‌ای و نیز ریزساختمان مکعبی به‌طور عمده بر اثر خاصیت انقباض و انبساط دوره‌ای به‌وجود می‌آید (فانینگ و همکاران، ۱۹۸۹). وجود دوره‌های خشک و مرطوب متناوب در اقلیم زریک، یودیک و مقدار رس فراوان از نوع انبساط‌پذیر در این خاک‌ها، باعث پدیده انبساط و انقباض می‌گردد. جدول ۲ رابطه شاخص اقلیمی و ریزساختمان خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد که با افزایش بارندگی، پوشش گیاهی و فعالیت بیولوژیک افزایش یافته و شرایط بهتری برای ساختمان‌سازی فراهم می‌آید. به همین سبب مقدار توسعه‌یافتگی[1] و نیز درجه تمایز[2] واحدهای ساختمانی افزایش می‌یابد.

بررسی حفرات در رژیم یودیک نشان می‌دهد که شکل حفرات در این رژیم رطوبتی از تنوع بیش‌تری نسبت به رژیم‌های اریدیک و زریک برخوردار بوده و کانال‌ها شکل غالب حفرات می‌باشند. همچنین قطر کانال‌ها و حفرات بی‌شکل در این خاک‌ها بیش‌تر از خاک‌های رژیم زریک می‌باشد. از خصوصیات بازر کانال‌ها، وجود بقایای ریشه و مواد آلی در داخل آن‌ها می‌باشد که نشانه فعالیت بیولوژی قابل‌توجه می‌باشد. همچنین به سبب فرایند شستشوی آهک و انتقال رس، پوشش‌های آهکی و نیز پوشش‌های رسی در افق‌های تجمع این مواد در مرز بین حفره‌های کانالی قابل رؤیت بوده و از خصوصیات بارز حفرات می‌باشد (شکل ۵). کودسودا و همکاران (۲۰۰۷) با تکیه بر مطالعه میکرومورفولوژیک خاک‌های لسی نشان دادند که پوشش‌های رسی ناشی از انتقال و تجمع ذرات ریز رس و تجمع آهک می‌تواند در بهبود و پایداری ساختمان خاک مؤثر باشد.

1- Development
2- Separation

**جدول ۲- رابطه بین ریزساختمان غالب با رژیم رطوبتی در افق‌های مورد مطالعه.**

| ریزساختمان غالب | رژیم رطوبتی | P/ET |
|---|---|---|
| توده‌ای، مکعبی بدون زاویه با تمایز ضعیف | اریدیک | ۰/۱۸-۰/۲۵ |
| مکعبی زاویه‌دار و بدون زاویه با تمایز ضعیف تا متوسط | زریک | ۰/۲۵-۰/۷۵ |
| مکعبی زاویه‌دار و بدون زاویه با تمایز خوب | یودیک | ۰/۷۵-۰/۹ |

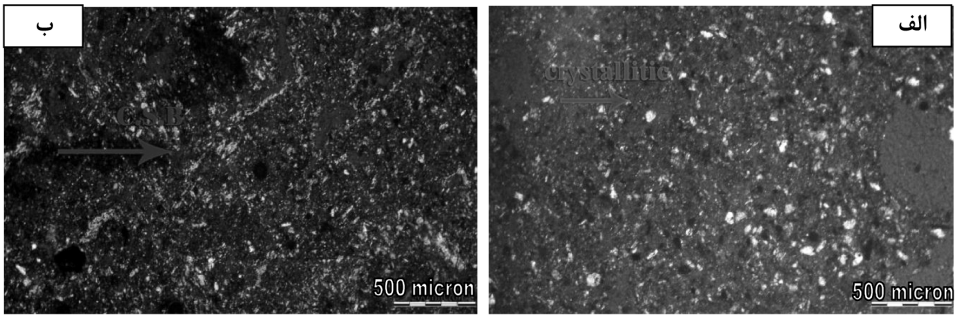



**شکل ۵- تصاویر (PPL) مقاطع نازک از اقلیم‌های مختلف الف: ریزساختمان مکعبی زاویه‌دار افق A جنگل رژیم یودیک. ب: حفرات ناشی از فعالیت بیولوژیک در کاربری مرتع رژیم یودیک. ج: حفرات صفحه‌ای افق A رژیم زریک.**

**بی‌فابریک:** از آن‌جایی‌که مواد مادری لسی تشکیل‌دهنده همه خاک‌های مورد مطالعه دارای درصد قابل‌توجهی آهک است، بنابراین همان‌گونه که از مطالعه مقاطع نازک بر می‌آید افق C همه خاک‌ها دارای بی‌فابریک کریستالی ناشی از وجود کربنات کلسیم فراوان در زمینه خاک می‌باشد. بررسی بی‌فابریک خاک‌های تشکیل شده در رژیم اریدیک نشان می‌دهد که به‌دلیل کمبود بارندگی و نبود آبشویی قابل‌توجه آهک از زمینه خاک خارج نگردیده و بنابراین بی‌فابریک مشاهده شده در سولوم این خاک‌ها نیز مانند مواد مادری به‌صورت کریستالی می‌باشد (شکل ٦- الف).

در رژیم زریک به‌دلیل افزایش میزان بارندگی و افزایش تراکم پوشش گیاهی مقداری از آهک از زمینه خاک شسته شده است و به موجب آن قسمت‌هایی از سولوم خاک‌های تشکیل شده در این نواحی از آهک تهی شده و بی‌فابریک لکه‌ای پدیدار گشته است. با افزایش رطوبت از رژیم زریک خشک به‌سمت رژیم زریک مرطوب به مساحت نواحی تهی شده از آهک افزوده می‌شود. با افزایش بارندگی و آبشویی در رژیم یودیک بخش زیادی از آهک به اعماق تحتانی رفته و تخلیه کامل آهک از افقهای سطحی سبب ایجاد بی‌فابریک لکه‌ای شده است. علاوه‌بر نتایج به‌دست آمده از مطالعه مقاطع نازک که فرایند شستشوی آهک را تأیید می‌کند، نتایج به‌دست آمده از اندازه گیری شیمیایی آهک کل خاک نیز این نتایج را تأیید می‌کند. بررسی مقدار کل آهک در بین رژیم‌ها نشان می‌دهد که با افزایش رطوبت و آبشویی آهک، شستشو و مهاجرت آن به افق‌های تحتانی نیز افزایش می‌یابد (جدول ۵).

در برخی از افق‌های سطحی به‌دلیل تجمع مقدار زیادی از موادآلی بی‌فابریک نامشخص نیز دیده می‌شود. نتایج به‌دست آمده با نتایج به‌دست آمده از مطالعه قرقره‌چی و همکاران (۲۰۰۹) نیز مطابقت دارد. ایشان در مطالعه میکرومورفولوژی خاک‌های لسی نشان دادند که در خاک‌هایی که نسبت تبخیر و تعرق به بارندگی کم‌تر از ۰/٦ است بی‌فابریک غالب به‌صورت کریستالی می‌باشد در حالی‌که با با افزایش این نسبت به بیش از ۰/٦ بی‌فابریک غالب به‌صورت ترکیبی کریستالی- لکه‌ای در می‌آید.




**شکل ٦- تصاویر (XPL) مقاطع نازک بی‌فابریک خاک‌های مورد مطالعه. الف: بی‌فابریک کریستالی افق C رژیم اریدیک و ب: بی‌فابریک لکه‌ای- کریستالی در افق آرجیلیک رژیم زریک.**

**عوارض خاکساز**

**عوارض خاکساز آهکی**: در مطالعه مقاطع نازک خاک‌های مورد مطالعه شکل‌های متنوعی از کربنات کلسیم خاک‌ساز مانند انواع پوشش‌ها[1]، سخت‌دانه[2]، پرشدگی[3] و کلسیت سوزنی‌شکل[4] دیده شده است. (شکل ۷- الف و ب) مقایسه فراوانی این عوارض بین رژیم‌های مختلف رطوبتی نشان‌دهنده افزایش مقدار آن‌ها از رژیم اریدیک به‌سمت رژیم‌های زریک مرطوب‌تر می‌باشد. مقدار بسیار کم سخت‌دانه در مناطق اریدیک را می‌توان به‌وسیله بارش کم‌تر، کندی انحلال- رسوب و به پیروی از آن محدودیت تشکیل این عوارض تفسیر نمود. بیش‌ترین تنوع شکل‌های آهکی در رژیم زریک مشاهده شده است که در میان اشکال مختلف، فراوانی سخت دانه‌های آهکی از همه بیش‌تر است (شکل ۷- الف)

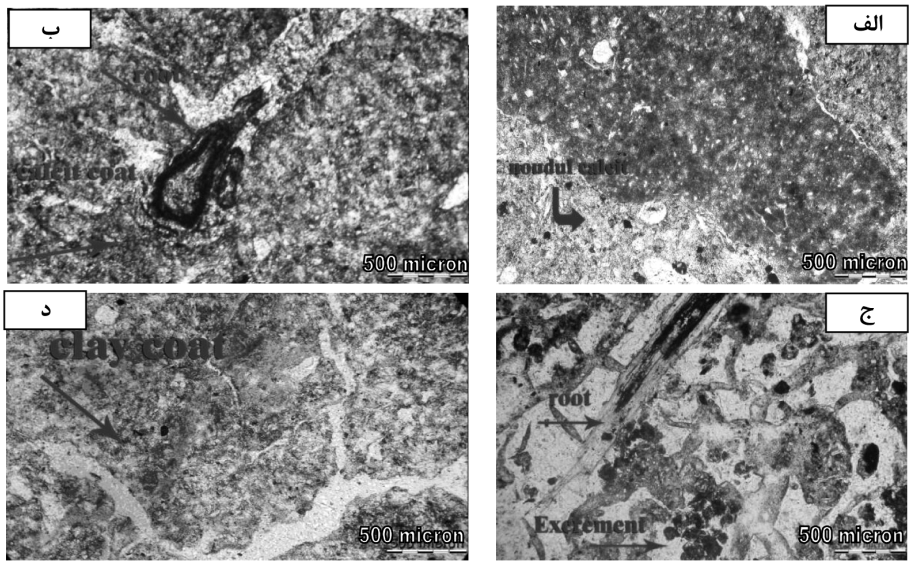
در رژیم یودیک نیز، سخت‌دانه فراوان‌ترین شکل عوارض خاکساز آهکی می‌باشند (شکل ۷- الف). عمق آبشویی بیش‌تر در این رژیم نسبت به رژیم اریدیک سبب شستشوی کامل آهک از افق‌های سطحی و ظهور بی‌فابریک غالب لکه‌ای در این خاک‌ها شده است (شکل ۷- د). مناطق تخلیه شده از آهک در این رژیم بیش‌ترین است. در برخی از موارد سخت دانه آهکی به‌صورت عوارض خاکساز مرکب همراه با با عوارض رسی دیده می‌شوند. در این حالت شکل‌های مرکب پوشش رسی بر روی عوارض آهکی قرار گرفته‌اند (شکل ۷- د). این پدیده بیان‌کننده تقدم آهک‌زدایی لایه فوقانی و حرکت کربنات‌ها نسبت به آبشویی رس و تشکیل پوشش‌های رسی است.

**عوارض خاکساز رسی**[5]: در رژیم اریدیک به‌دلیل کمبود بارندگی و آبشویی دیده نمی‌شود. در رژیم زریک به‌دلیل بارندگی و آبشویی ذرات رس در طول پروفیل حرکت کرده و در طول کانال‌ها و حفرات آرایش می‌یابد. بررسی مقدار و ضخامت پوشش‌های رسی در کاربری‌های طبیعی رژیم‌های زریک و یودیک نشان می‌دهد که با افزایش بارندگی از رژیم زریک به رژیم یودیک مقدار و ضخامت پوشش‌های رسی افزایش می‌یابد. گونال و رانسوم (۲۰۰۶) نیز نتایج مشابه‌ای را در بررسی میکرومورفولوژیک خاک‌های مشتق شده از لس در یک گرادیان بارندگی در منطقه کانزاس ایالات متحده به‌دست آورده‌اند. در مقایسه با رژیم یودیک نوع کانی ورمی‌کولیت با خاصیت انبساط، انقباض

1- Calcite Coatings
2- Calcite Nodules
3- Calcite Infillings
4- Needle-Shaped Calcite
5- Clayey Pedofeatures

کم‌تر در رژیم یودیک سبب کاهش فرایند انبساط و انقباض و حفظ پوشش‌های رسی در این رژیم نسبت به رژیم زریک گردیده است. در رژیم زریک به سبب حضور قابل‌توجه کانی اسمکتیت فرایند انبساط و انقباض با شدت بیش‌تری وجود داشته که به موجب آن شرایط نامساعدتری را برای حفظ و پایداری پوشش‌های رسی نسبت به رژیم یودیک فراهم می‌کند.

**عوارض خاکساز ناشی از فعالیت بیولوژیک:** نتایج پژوهشگران نشان می‌دهد که با افزایش فعالیت بیولوژی، عوارض خاکساز ناشی از فعالیت جانداران نیز افزایش می‌یابد (ادوسودون و همکاران، ۲۰۰۵) از این‌رو به‌دلیل کمبود فعالیت بیولوژیکی در رژیم اریدیک این عوارض دیده نمی‌شوند ولی در رژیم‌های زریک و یودیک به‌دلیل افزایش فعالیت جانوران خاکزی، این عوارض مانند فضولات جانوری به‌ویژه در افق‌های سطحی خاک به فراوانی دیده می‌شوند (شکل ۷). توزیع این عوارض به‌گونه‌ای است که معمولاً در مکان‌هایی که جانداران در حال فعالیت هستند مانند کانال‌ها و در مجاورت بقایای آلی دیده می‌شوند.




**شکل ۷- تصاویر مقاطع نازک (PPL) از عوارض خاکساز مختلف در رژیم رطوبتی یودیک، الف: سخت‌دانه، ب: پرشدگی آهک، ج: فضولات جانوری و د: پوشش رسی.**

**پراکنش کانی‌های رسی**

**ایلیت و کلریت:** مواد مادری لسی در منطقه مورد مطالعه غنی از کانی ایلیت و کلریت بوده و بنابراین وجود این کانی‌ها در این خاک‌ها منشا توارثی دارد (شکل ۸). در رژیم رطوبتی اریدیک میزان این کانی‌ها حداکثر است ولی هرچه به‌سمت رژیم یودیک پیش می‌رویم، مقدار آن‌ها کاهش می‌یابد در حقیقت افزایش بارندگی و رطوبت سبب هوادیدگی ایلیت، کلریت و تبدیل آن به کانی‌های دیگر از جمله اسمکتیت و ورمی‌کولیت می‌شود.

**کائولینیت:** همان‌گونه که بررسی پرتونگاشت‌های اشعه ایکس مواد مادری (شکل ۸- الف) و خاک‌های منطقه نشان می‌دهد، کائولینیت نیز همانند کلریت و ایلیت در این خاک‌ها منشا توارثی دارد زیرا تشکیل کائولینیت به‌صورت خاکساز نیازمند شرایط اسیدی، فعالیت سیلیس کم و اندک بودن کاتیون‌های قلیایی است. نبود این شرایط در منطقه مورد مطالعه نیز تأییدی بر منشا توارثی کائولینیت در این خاک‌ها می‌باشد.

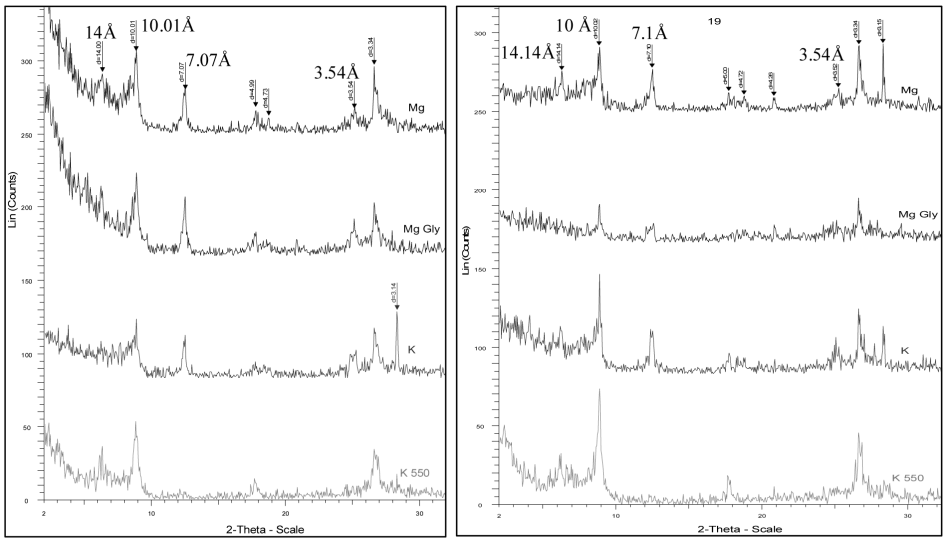
**اسمکتیت و ورمی‌کولیت:** از آن‌جایی‌که مواد مادری لسی تشکیل‌دهنده این خاک‌ها دارای مقداری اسمکتیت می‌باشد، بنابراین وجود مقداری اسمکتیت که کمابیش در الگوی پراکنش پراش اشعه ایکس دیده می‌شود به‌صورت ارثی است اما بررسی ترکیب کانی‌های رسی خاک‌های رژیم یودیک و زریک نشان می‌دهد که این خاک‌ها نسبت به مواد مادری و نیز خاک‌های رژیم اریدیک دارای اسمکتیت بیش‌تری می‌باشند. در توضیح این پدیده می‌توان گفت که با افزایش شدت هوادیدگی از رژیم اریدیک به رژیم‌های زریک و یودیک، کانی‌هایی مانند ایلیت و کلریت هوازده شده و به اسمکتیت و ورمی‌کولیت تبدیل می‌شوند (شکل ۹). بررسی پراکنش اسمکتیت و ورمی‌کولیت نشان می‌دهد که با افزایش شاخص اقلیمی P/ET از مقدار کانی‌های ایلیت و کلریت کاسته شده و به مقدار کانی‌های رسی خاکساز اسمکتیت و ورمی‌کولیت افزوده می‌شود (جدول ٤) (خرمالی و همکاران، ۲۰۱۲). بررسی پراکنش ورمی‌کولیت نیز نشان می‌دهد که این کانی فقط در خاک‌های رژیم یودیک دیده می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که با هوادیدگی میکا چنان‌چه شرایط محیط اسیدی (pH کم‌تر از ٦) باشد، ورمی‌کولیت به‌دست آمده پایدار مانده و اگر pH بیش‌تر از ٦ باشد ناپایدار بوده و به اسمکتیت تبدیل می‌شود (بورچارت، ۱۹۸۹؛ خرمالی و کهل، ۲۰۱۱). بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که خاک‌های تکامل‌یافته در رژیم یودیک به‌دلیل آبشویی بیش‌تر و اسیدیته بیش‌تری که نسبت به

خاک‌های رژیم زریک دارند، شرایط تشکیل و پایداری ورمی‌کولیت در آن‌ها مهیا می‌باشد (شکل ۹- الف). وجود شرایط قلیایی‌تر در رژیم زریک موجب می‌شود که ورمی‌کولیت به‌دست آمده از هوادیدگی ایلیت و کلریت ناپایدار بوده و به اسمکتیت تبدیل شود (شکل ۹- ب).

**جدول ۳- مقدار کانی‌های رسی در بخش رس خاک‌های مورد مطالعه.**

| پروفیل | کاربری | رژیم رطوبتی | توالی کانی‌ها | کانی‌های رسی | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ورمی‌کولیت | کلریت | کائولینیت | ایلیت | اسمکتیت |
| پروفیل ۱ | | | | | | | | |
| A | مرتع | زریک تیپیک | I>C>K | - | ** | * | *** | - |
| BK | مرتع | زریک تیپیک | I≥C>K | - | *** | * | *** | * |
| پروفیل ۲ | | | | | | | | |
| AP | زراعی | زریک تیپیک | I>C>K | - | ** | * | *** | - |
| BK1 | زراعی | زریک تیپیک | I>C>S>K | - | ** | * | *** | ** |
| پروفیل ۵ | | | | | | | | |
| AP | مرتع | اریدیک | I>C>K | - | ** | * | *** | - |
| C | مرتع | اریدیک | I>C>K>S | - | ** | * | *** | * |
| پروفیل ٦ | | | | | | | | |
| Bt | زراعی | اریدیک | I>C>K | - | ** | * | *** | - |
| Ck | زراعی | اریدیک | I>C>K | - | ** | * | *** | - |
| پروفیل ۷ | | | | | | | | |
| Bt | جنگل | یودیک | I>S≥V>K>C | ** | * | * | *** | ** |
| Ck | جنگل | یودیک | I>C≥S>K | - | ** | * | *** | ** |
| پروفیل ۸ | | | | | | | | |
| Bt | زراعی | یودیک | I>S>C>K | - | * | * | *** | ** |
| Cg | زراعی | یودیک | I>C>S≥K | - | ** | ** | *** | ** |
| پروفیل ۹ | | | | | | | | |
| Bt | مرتع | یودیک | I>S≥C>K | - | * | ** | *** | ** |
| Ck | مرتع | یودیک | I>C≥S≥K | - | ** | * | *** | ** |

- جزیی یا وجود ندارد، * کم‌تر از ۱۵ درصد، ** ۲۵-۱۵ درصد و *** ۵۰-۲۵ درصد.

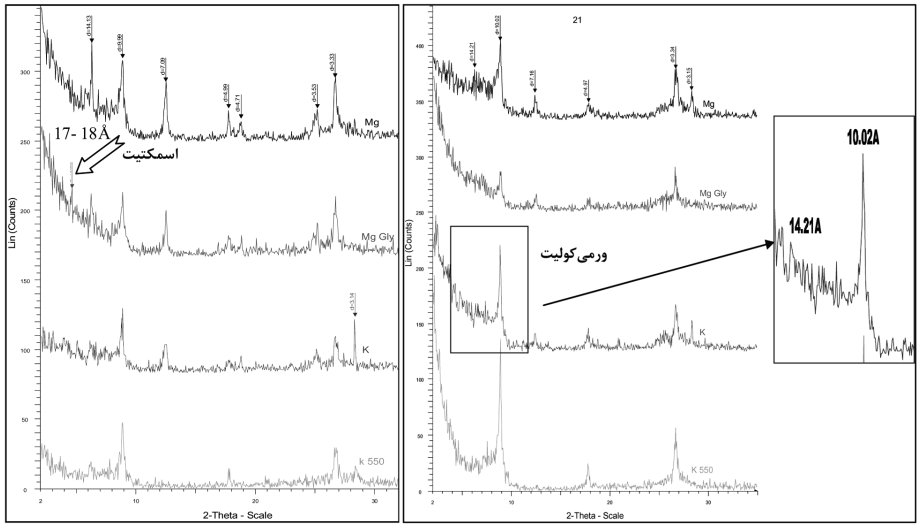



**شکل ۸- الگوی پراش اشعه ایکس بخش رس: الف: مواد مادری لسی ب: افق C، کاربری مرتع رژیم رطوبتی اریدیک.**

**جدول ٤- رابطه کانی غالب با رژیم رطوبتی و شاخص اقلیمی.**

| رژیم رطوبتی | P/ET | کانی‌های غالب |
|---|---|---|
| آریدیک | کم‌تر از ۰/۲۵ | ایلیت |
| زریک | ۰/٤۵-۰/۷ | ایلیت، اسمکتیت |
| یودیک | بیش از ۰/۷ | ایلیت، اسمکتیت، ورمی‌کولیت |

نتایج کانی‌شناسی بخش رس خاک‌های منطقه نشان می‌دهد که تغییر کاربری تأثیر چندانی بر روی نوع و فراوانی کانی‌ها نداشته ولی تغییر اقلیم به‌خصوص میزان بارندگی بر روی نوع کانی‌ها تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای داشته است (جدول ۲). کانی‌شناسی مواد مادری لسی نشان‌دهنده وجود کانی‌های ایلیت، کلریت، کائولینیت، اسمکتیت می‌باشد. ایلیت کانی رسی غالب مواد مادری لسی بوده و سایر کانی‌ها به‌ترتیب فراوانی شامل کلریت،کائولینیت و اسمکتیت می‌باشند.




(ب) (الف)

**شکل ۹- الگوی پراش اشعه ایکس بخش رس الف: افق آرجیلیک خاک‌های آلفی‌سول تکامل‌یافته در رژیم رطوبتی یودیک با کاربری جنگل ب: افق Ap، رژیم رطوبتی زریک با کاربری زراعی.**

## نتیجه‌گیری

از مطالعه مقاطع میکروسکوپی خاک‌های لسی تشکیل شده در ردیف ارضی-اقلیمی مورد مطالعه چنین بر می‌آید که به سبب حساسیت زیاد مواد لسی نسبت به فرسایش تغییر کاربری علاوه‌بر این‌که می‌تواند سبب تخریب اراضی، کاهش ضخامت و از بین رفتن افق تیره سطحی شود. نتایج به‌دست آمده از مطالعه مقاطع نازک نشان می‌دهد که تغییر نوع، اندازه و توزیع حفراتی که نشان‌دهنده فعالیت بیولوژی است مانند کانال‌ها و نیز از بین رفتن ریزساختمان‌هایی که مطلوب‌ترین تخلخل را دارند مانند ریزساختمان گرانوله و تبدیل آن‌ها به انواع دیگر مانند مکعبی و در برخی موارد ایجاد حالت توده‌ای همگی بیانگر این واقعیت است که عملیات تغییر کاربری بر روی مواد لسی در ناحیه مطالعاتی به‌شدت موجب تخریب و کاهش شدید کیفیت خاک گردیده و کاهش شدید نفوذپذیری خاک ناشی از تغییر ساختمان و حفرات بیش از پیش مقدمات وقوع سیلاب و فرسایش خاک را فراهم آورده است و با توجه به این‌که بیش‌ترین تأثیرات این تغییر کاربری در رژیم‌های مرطوب‌تر زریک و یودیک بیش‌تر بوده و با در نظرگرفتن این موضوع که عمده عملیات جنگل‌تراشی و تغییر کاربری غیراصولی نیز به‌طور عمده در این نواحی انجام می‌گیرد، نتایج این پژوهش بیش از پیش بر ضرورت حفظ پوشش طبیعی مراتع و جنگل‌ها تأکید می‌نماید.

**جدول ۵- برخی از نتایج فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.**

| افق | عمق (سانتی‌متر) | pH | EC | توزیع اندازه ذرات | | | کربن آلی | ظرفیت تبادل کاتیونی | کربنات کلسیم معادل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | سیلت (درصد) | رس (درصد) | شن (درصد) | | (درصد) | |
| پروفیل ۱: مرتع Xeric- Thermic | | | | | | | | | |
| A | ۲۷-۰ | ۷/۹ | ۰/۷۷۱ | ۷۰/۲۳ | ۱۱/۶۳ | ۱۸/۱۵ | ۲/۰۴ | ۱۶/۵۲ | ۱۱/۵ |
| Bw | ۶۵-۲۷ | ۸/۱۵ | ۰/۳۸۴ | ۶۶/۰۷ | ۲۷/۷۳ | ۶/۲ | ۱/۶۷ | ۱۰/۱ | ۲۲/۵ |
| Bk | ۱۳۰-۶۵ | ۸/۲ | ۱/۰۷۸ | ۶۲/۶۴ | ۲۹/۲۶ | ۸/۱ | ۰/۵۵ | ۱۰/۶۵ | ۲۷/۵ |
| پروفیل ۲: زراعی Xeric- Thermic | | | | | | | | | |
| Ap | ۲۰-۰ | ۷/۹۲ | ۱/۳۵۱ | ۵۵/۴۳ | ۳۶/۷۸ | ۷/۷۹ | ۱/۲۶ | ۱۱/۹۵ | ۱ |
| Bk 1 | ۵۵-۲۰ | ۸/۲۶ | ۰/۵۳۱ | ۶۷/۳۳ | ۲۸/۲۸ | ۴/۳۵ | ۰/۵۳ | ۱۵ | ۱۶/۵ |
| Bk 2 | ۱۰۰-۵۵ | ۷/۹۲ | ۳/۱۲ | ۵۵/۶۸ | ۳۹/۸۴ | ۴/۴۸ | ۰/۵۳ | ۱۷/۳۹ | ۱۱ |
| Byk | ۱۲۵-۱۰۰ | ۷/۸۹ | ۵/۹۴ | ۶۸/۹۵ | ۲۲/۳۴ | ۷/۷۱ | ۰/۴۴ | ۱۲/۸۲ | ۱۷ |
| پروفیل ۳: مرتع Aridic - Xeric | | | | | | | | | |
| A | ۲۷-۰ | ۷/۹۲ | ۱/۴۲۶ | ۶۳/۶۴ | ۱۱/۵۲ | ۲۴/۸۴ | ۱/۶۵ | ۱۰/۸۶ | ۲۲/۷ |
| Bw | ۷۰-۲۷ | ۱۸,۸ | ۰/۶۴۷ | ۶۵/۶۹ | ۲۴/۷۵ | ۹/۵۶ | ۰/۸۸ | ۹/۷۸ | ۲۱/۵ |
| C | ۱۲۰-۷۰ | ۷/۷۲ | ۶/۱۸ | ۶۰/۵۹ | ۲۳/۱۱ | ۱۶/۳ | ۰/۴۸ | ۹/۲۳ | ۲۰/۱۵ |
| پروفیل ۴: زراعی Aridic - Xeric | | | | | | | | | |
| A | ۲۵-۰ | ۷/۶۲ | ۱/۷۷۵ | ۷۳/۵۹ | ۲۱/۵۲ | ۴/۸۹ | ۱/۱۸ | ۹/۷۸ | ۲۱ |
| Bw | ۷۰-۲۵ | ۷/۹۶ | ۳/۵۸ | ۶۵/۵۸ | ۲۴/۷۱ | ۹/۷۱ | ۰/۵ | ۹/۶۹ | ۲۱/۷ |
| C | ۱۲۰-۷۰ | ۷/۸۱ | ۹/۰۸ | ۷۴/۵۹ | ۱۱/۹۹ | ۱۳/۲۴ | ۰/۳۴ | ۸/۱۵ | ۱۹ |
| پروفیل ۵: مرتع Aridic - Thermic | | | | | | | | | |
| A | ۲۳-۰ | ۷/۶۸ | ۶/۰۸ | ۶۵/۶۶ | ۱۶/۶۶ | ۱۷/۶۸ | ۰/۷۸ | ۷/۰۶ | ۱۶/۵ |
| C1 | ۷۰-۲۳ | ۸/۰۱ | ۱۲/۵۳ | ۶۱/۲۴ | ۱۸/۵۷ | ۲۰/۱۹ | ۰/۵۱ | ۷/۸۲ | ۱۹ |
| C2 | ۱۱۰-۷۰ | ۸/۳۲ | ۱۲/۲۴ | ۶۸/۵۸ | ۱۰/۵۹ | ۲۳/۸۳ | ۰/۴۳ | ۷/۸۲ | ۱۴ |
| پروفیل ۶: زراعی Aridic - Thermic | | | | | | | | | |
| Ap | ۳۰-۰ | ۷/۷۵ | ۱/۱۸ | ۵۵/۲۵ | ۲۶/۶۱ | ۱۸/۱۴ | ۰/۹ | ۷/۵۷ | ۱۷/۵ |
| Cy | ۷۰-۳۰ | ۷/۹۳ | ۳۱ | ۵۴/۹۹ | ۲۳/۳۴ | ۲۱/۶۷ | ۰/۵ | ۹/۷۸ | ۱۹ |
| C | ۱۱۰-۷۰ | ۷/۹۹ | ۲۶/۶ | ۷۸ | ۱۸/۰۷ | ۳/۹۳ | ۰/۳۳ | ۷/۶ | ۱۶ |
| پروفیل ۷: جنگل Udic - mesic | | | | | | | | | |
| A | ۲۵-۰ | ۷/۰۱ | ۱/۵۱ | ۵۵/۸۳ | ۴۰/۸۳ | ۳/۳۴ | ۳/۳۱ | ۳۵/۲۱ | ۰/۵ |
| Bt | ۵۰-۲۵ | ۶/۷۳ | ۰/۹۴ | ۴۴/۸۹ | ۵۲/۷۲ | ۲/۳۹ | ۱/۰۷ | ۳۰/۲ | ۲/۵ |
| Btk | ۱۰۰-۵۰ | ۷/۶۴ | ۰/۵۸ | ۵۱/۳۸ | ۴۵/۱۵ | ۳/۴۷ | ۱/۷ | ۲۷/۷۱ | ۱۹ |
| Bk | ۲۰۰-۱۰۰ | ۸/۰۳ | ۰/۴۱ | ۵۶/۳۷ | ۳۱/۲۵ | ۱۲/۳۸ | ۰/۹۸ | ۱۷/۱۷ | ۲۵/۵ |
| Ck | ۲۵۰-۲۰۰ | ۸/۱۴ | ۰/۴۳ | ۵۴/۳ | ۴۱/۴۹ | ۴/۲۱ | ۰/۶۸ | ۱۵/۲۴ | ۱۵/۵ |

**ادامه جدول ۵-**

| افق | عمق (سانتی‌متر) | pH | EC | توزیع اندازه ذرات | | | کربن آلی | ظرفیت تبادل کاتیونی | کربنات کلسیم معادل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | سیلت (درصد) | رس (درصد) | شن (درصد) | | (درصد) | |
| پروفیل ۸: زراعی Udic - mesic | | | | | | | | | |
| Ap | ۱۲-۰ | ۷/۷۳ | ۰/۵۵ | ۵۸/۳۱ | ۳۳/۲۵ | ۸/۴۴ | ۱/۲۴ | ۲۱/۷۳ | ۲ |
| Bt | ۳۰-۱۲ | ۶/۵۷ | ۰/۵۳ | ۵۲/۵۳ | ۳۹/۶۴ | ۷/۸۳ | ۱/۳ | ۲۰/۴۳ | ۰/۵ |
| Btk 1 | ۶۰-۳۰ | ۷/۸۹ | ۰/۵۲ | ۶۲/۲۸ | ۳۰/۳۳ | ۴/۳۹ | ۰/۹۱ | ۲۲/۰۶ | ۶ |
| Btk 2 | ۹۰-۶۰ | ۸/۱۳ | ۰/۶۷ | ۴۷/۹۶ | ۴۱/۶۴ | ۱۰/۴ | ۰/۵۳ | ۲۰/۵۶ | ۱۶ |
| Cg | ۱۳۰-۹۰ | ۸/۲ | ۰/۴۳ | ۵۱/۴۱ | ۳۷/۷۳ | ۱۰/۸۶ | ۰/۳۷ | ۱۵/۲۱ | ۲۲ |
| پروفیل ۹: مرتع Udic - mesic | | | | | | | | | |
| A | ۱۰-۰ | ۷/۵۹ | ۰/۹۳ | ۷۱/۱۵ | ۲۶/۱ | ۲/۷۵ | ۱ | ۲۸/۲۶ | ۳/۵ |
| Bt | ۲۵-۱۰ | ۷/۵۵ | ۰/۵۲ | ۵۵/۵۴ | ۴۰/۳۳ | ۴/۱۳ | ۱/۲۶ | ۲۸/۲۶ | ۲ |
| Btk | ۷۰-۲۵ | ۷/۹۲ | ۰/۵۳ | ۵۳/۵ | ۴۱/۰۳ | ۵/۴۷ | ۰/۶۲ | ۲۷/۲۸ | ۱۱/۵ |
| Ck | ۱۱۰-۷۰ | ۸/۲۵ | ۰/۳۷ | ۵۴/۷۴ | ۳۲/۲۲ | ۱۳/۰۴ | ۰/۴۸ | ۱۴/۱۳ | ۲۰/۷ |
| پروفیل ۱۰: جنگل Xeric- Thermic | | | | | | | | | |
| A | ۲۰-۰ | ۷/۰۳ | ۰/۸۸۵ | ۵۲/۹۳ | ۳۷/۸۷ | ۹/۲ | ۲/۹۲ | ۳۶/۹۵ | ۱/۵ |
| Bw1 | ۶۰-۲۰ | ۶/۷۹ | ۰/۷۸ | ۴۵/۸۳ | ۴۷/۵ | ۶/۶۷ | ۲/۷۳ | ۲۸/۸ | ۲ |
| Bw2 | ۹۰-۶۰ | ۷/۶۱ | ۰/۴۷ | ۶۷/۵ | ۳۰/۸۳ | ۱/۶۷ | ۲/۷۳ | ۲۷/۱۷ | ۵/۵ |
| Bk | ۱۱۵-۹۰ | ۷/۷۹ | ۰/۴۲ | ۴۸/۲۵ | ۳۸/۰۹ | ۱۳/۶۶ | ۱/۳ | ۱۹/۵۶ | ۲۶/۵ |
| Ck | ۱۵۰-۱۱۵ | ۷/۹ | ۰/۶۲ | ۵۲ | ۳۵/۸۴ | ۱۲/۱۶ | ۱/۲ | ۲۴/۰۶ | ۱۶ |
| پروفیل ۱۱: مرتع Xeric- Thermic | | | | | | | | | |
| A | ۱۸-۰ | ۷/۳۵ | ۱/۰۲ | ۵۸/۲۴ | ۴۱/۳۷ | ۰/۳۹ | ۲/۶۳ | ۳۰/۴۳ | ۵ |
| Bw1 | ۴۷-۱۸ | ۷/۴۳ | ۰/۶۶ | ۵۰/۹۵ | ۴۸/۳۴ | ۰/۷۱ | ۲/۵ | ۳۱/۳ | ۲ |
| Bw2 | ۸۳-۴۷ | ۷/۴۲ | ۰/۵۳ | ۵۹/۰۸ | ۳۹/۰۹ | ۱/۰۲ | ۱/۵۹ | ۲۵ | ۲/۵ |
| Bk | ۱۲۰-۸۳ | ۷/۹۵ | ۰/۶۲ | ۴۹/۳ | ۴۵/۰۷ | ۵/۷ | ۱/۰۱ | ۳۰/۷۶ | ۲۴/۵ |
| پروفیل ۱۲: زراعی Xeric- Thermic | | | | | | | | | |
| Ap | ۳۰-۰ | ۷/۵ | ۰/۷۲ | ۵۲/۴۹ | ۴۴/۳۳ | ۳/۱۸ | ۱/۶۸ | ۳۰/۵۴ | ۴ |
| AB | ۵۰-۳۰ | ۷/۴۳ | ۰/۹۵ | ۵۲/۶۶ | ۴۵/۸۷ | ۳/۷۴ | ۱/۳۷ | ۲۸/۲۶ | ۲/۵ |
| Bk | ۹۰-۵۰ | ۸/۰۶ | ۰/۴۲ | ۵۸/۰۷ | ۳۷/۱۸ | ۴/۷۵ | ۱/۱۴ | ۲۰/۶۵ | ۱۵/۵ |
| Ck | ۱۱۰-۹۰ | ۸/۱ | ۰/۳۴ | ۵۰/۵۴ | ۳۸/۲۸ | ۱۱/۱۸ | ۰/۸۲ | ۲۱/۵۲ | ۱۲ |

## منابع

1.Adesodun, J.K., Davidson, D.A., and Hopkins, D.W. 2005. Micromorphological evidence for faunal activity following application of sewage and biocide. Appl. Soil Ecol. 29: 39-45.
2.Ajami, M., and Khormali, F. 2009. Clay mineralogy, evidence of loess slope land degradation, J. Agric. Sci. Natur. Resour. 16: 2. 61-84.
3.Ajami, M., Khormali, F., and Ayoubi, Sh. 2009. Variation of some selected soil quality indicators on loess hilslopes affected by land use change in Golestan Province. Iran. J. Agric. Sci. 39: 1. 15-30.
4.Bastrom, U. 1995. Earthworm population (Lumbricidae) in ploughed and undisturbed soils. Soil Tillage Research. 35: 125-133.
5.Borchardt, G. 1989. Smectite, P 675-727, In: Dixon, J.B., and Weed, S.B, (eds.), Minerals in Soil Environment, Soil scince society of America, Madison, Wisconsin, USA.
6.Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54: 464-465.
7.Bullock, P., Federoff, N., Jongerius, A., Stoops, C., Tursina, T., and Babel, U. 1985. Handbook for soil thin section Description. Wainer research Publication, wolver Hampton, U.K. 157p.
8.Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, P 891-901. In: Black, C.A, (eds.), Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI, Part 2.
9.Dixon, J.B., and Weed, S.B. 1992. Minerals in soil environments. 2nd ed. SSSA. Madison, Wisconsin, U.S.A. 1244p.
10.Djurovic, N., Dugalic, G., and Gajic, B. 2006. Comparsion of soil organic matter content, aggregate composition and water stability of Gleyic Fluvisol from adjacent forest and cultivated areas. Agron. Res. 4: 2. 499-508.
11.Fanning, D.S., Keramidas, V.S., and El-Desoky, M.A. 1989. Micas, P 551-634. In: Dixon, J.B. and S. B. Weed (Eds.) Minerals in Soil Environments, 2nd ed. SSSA Book Ser. Madison, WI.
12.Francis, G.S., and Fraser, P.M. 1998. The effects of three earthworm species on soil macroporosity and hydraulic conductivity. Soil Eco. 10: 11-19.
13.Ghergherechi, Sh., Khormali, F., Mahmoodi, S.H., and Ayoubi, Sh. 2009. Micromorphology of argillic horizon development in loess derived soils of humid and subhumid regions of Golestan Province, Iran. J. Soil Water Res. 40p.
14.Gunal, H., and Ransom, M.D., 2006. Genesis and micromorphology of loess-derived soils from central Kansas. Catena. 65: 222-236.
15.Hadiani, M.O. 2007. Role of land use change on the local floods volume (a case study in Madar Su watershed, Golestan Province, Iran). Environmentology. 33: 42. 9-16.

16. Kemp, R.A., Toms P.S., King, M., and Krohling, D.M. 2004. The pedosedimentry evolution and chronology of Tortugas, a Late Quaternary type-site of northern Pampa, Argentina. Quarter. Intl. 114: 101-112.
17. Khormali, F., and Ghergherechi, S.H. 2012. Soil formation in loess-derived soils along subhumid to humid climate gradient, northeastern Iran. Geoderma. 179-180: 113-122.
18. Kiani, F., Jalalian, A., Pashaee, A., and Khademi, H. 2004. Effect of deforestation on selected soil quality attributes in loess-derived landforms of Golestan province, northern Iran. Proceedings of the Fourth International Iran & Russia Conference."Agriculture and Natural Resources", September 8-10, 2004, Shahrekord, Iran. Pp: 546-550.
19. Kittrick, J.A., and Hope, E.W. 1963. A procedure for particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. Soil Science. 96: 312-325.
20. Katswario, T., Cox, J.W., and van Es, H. 2002. Tillage and rotation effects on soil physical properties. Agron. J. 94: 299-304.
21. Khormali, F., and Ajami, M. 2011. Pedogenetic investigation of soil degradation on a deforested loess hillslope of Golestan Province, Northern Iran. Geodrema. 167-168: 274-283.
22. Khormali, F., and Nabiallahi, K. 2009. Degradation of Mollisols as affected by land use change. J. Agric. Sci. Technol. 11: 363-374.
23. Khormali, F., and Kehl, M. 2011. Micromorphology and development of loess-derived surface and buried soils along a precipitation gradient in Northern Iran. Quaternary International. 234: 109-123.
24. Kodesov, R., Pavlu, L., Kodes, V., Zigova, A., and Nikidem, A. 2007. Impact of spruce forest and grass vegetation cover on soil micromorphology and soil Hydraulic properties. Biologia, Bratislava, 62: 5. 565-568.
25. Koiistra, M.J. 1978. Soil development in recent marine sediments of the interdal zone in the Oosterschelde, Netherlands: a soil micromorphological approach. Soil survey papers 14, Netherlands Soil Survey Institute, Wagenibgen. 423p.
26. Lal, R. 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigation greenhouse effects by $CO_2$-enrichment. Soil Tillage Research. 81: 81-107.
27. Mirkarimi, M., Khormali, F., Kiani, F., and Akef, M. 2011. Study of porosity Micromorphology of molic horizon in Mollisols soils of south gorganrood as affected by land use change, J. Agric. Sci. Natur. Resour. 18: 1. 181-198.
28. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. P 539-579. In: Page, A.L., (Ed.), Methods of soil Analysis, Part 2, American Society of Agronomy: Madison, WI.
29. Shamsi, S., Khormali, F., Ghorbani R., and Pahlevani, H. 2010. Effect of vegetation cover and the type of land use on the soil Quality indicators in loess derived soils in Agh-Su area (Golestan province). J. Agric. Sci. Natur. Resour. Gor. Univ. 4: 25-62.

30. Stoops, G. 2003. Guidelines for the Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections. SSSA. Madison, WI. 466p.
31. Vera, M., Sierra, M., Díez, M., Sierra, C., Martínez, A., Martínez, F.J., and Aguilar, J. 2007 Deforestation and land use effects on micromorphological and fertility changes in acidic rainforest soils in Venezuelan Andes. Soil and Tillage Research. 97: 184-194.
32. Wairiu, M., and Lal, R. 2006. Tillage and land use effects on soil microporosity in Ohio, USA and Kolombangara, Solomon Islands. Soil and Tillage Research. 88: 80-84.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(2), 2014*
*http://jwsc.gau.ac.ir*

# Micromorphology and clay mineralogy of loess-derived soils of natural and cultivated land uses along a climosequence in Golestan Province

***N. Kaviani[1], F. Khormali[2], H. Masihabadi[3] and H. Tazikeh[4]**

[1]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Islamic Azad University, Khorasgan Branch, [2]Professor, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Assistant Prof., Soil and Water Research Institute of Tehran, [4]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 11/23/2012; Accepted: 08/13/2013

## Abstract

To study the effects of land use change and climate on micromorphological properties and clay minerals distribution in loess derived soils of Golestan Province, 12 soil profiles in summit geomorphic position consisting of aridic, xeric and udic moisture regimes with cultivated, pasture and forest land uses were studied. The results showed that in aridic moisture regimes weakly developed Entisols, in the xeric soils moisture regime, Inceptisols, Mollisols were dominant, and in udic moisture regime, the most developed Hapludalfs were formed. Micromorphological studies revealed that there was a good positive correlation between soil development and climate index (evapotranspiration ratio). Environmental conditions such as land use and climate consequently affected micromorphological properties such as voids, microstructure, b-fabric, and pedofeatures. In the udic moisture regime, thick clay coatings were observed in speckled b- fabric matrix. However, in the soil with aridic moisture regimes, massive microstructure, and crystallitic b- fabric can be seen. Microscopic observations showed granular microstructure in forest surface horizons has been transformed to massive microstructure in cultivated land use. Results obtained from mineralogical studies showed that there were differences in type and distribution of clay minerals in different climate. Illite was found as the main clay mineral of loess parent materials and soils of the three land uses. The origin of illite, kaolinite and chlorite clay minerals are mainly inheritance while smectite and vermiculite are pedogenic. With increasing precipitation and weathering intensity from xeric zones toward udic zone, illite and chlorite have transformed to smectite and vermiculite. Amount of smectite and vermiculite are mainly affected by climate. It can be concluded that conversion of natural land resources into croplands causes serious soil degradation in loess derived soils in Golestan province.

***Keywords:*** Micromorphology, Clay mineralogy, Climosequence, Loess, Land use change

* Corresponding Author; Email: n_pedologyst@yahoo.com