تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۳ | شماره ۳ | خرداد ۱۴۰۱ (ص ۶۳۲-۶۰۳)

DOI:https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.332403.669102

(مقاله مروری)

# Factors and Processes of Soil Formation in Different Climates of Iran (A Review of Research in the Last Two Decades in the Department of Soil Science, University of Tehran)

**AHMAD HEIDARI**[1*]

1. Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resource, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: Oct. 19, 2021- Revised: Nov. 13, 2021- Accepted: Nov. 17, 2021)

## ABSTRACT

Accurate knowledge of soils and their classification plays a decisive role in the application of various management systems. The purpose of this study is to summarize some of the results of studies in the form of dissertations and articles extracted from them on the factors and processes of soil formation in different climates of Iran during the two last decades performed in different climates of the country in the Department of Soil Science and Engineering, University of Tehran. Variety of soil-forming factors including climate, parent materials, topography, vegetation, and time have led to the emergence of various characteristics and classes based on the Soil Taxonomy system. The predominant morphological traits in the studied soils in each study area, including the existing limitations and advantages, have been determined. In addition to soil classes, morphological, micromorphological, physical, chemical, clay mineralogy, organic and inorganic carbon storage, and geochemistry of formed soils are described in detail. Of the 12 soil categories in the American Classification System, at least 7 categories, and of the 32 reference groups of the WRB System, there are at least 16 reference groups in the study areas. The micromorphological results proved the effect of aeolian sediments on the soils formed on the basalt. Illite and chlorite in the clay mineralogy of many soils of the studied areas indicate that the studied soils are young. Smectite was found in slightly more developed soils (Vertisols and Aridisols). The formation of allophanes from pyroclastic materials is also a proof of the predominance of aluminum over silicon in the early stages of their aeration. Almost all soil-forming processes in this research were studied and discussed, and from an educational and research point of view, a clear view of the country's soils was shown.

**Keywords:** Clay Mineralogy, Soil Micromorphology, Geochemical Indices, Soil Organic Carbon, Soil Inorganic Carbon.

*Corresponding Author's Email: aheidari@ut.ac.ir

# عوامل و فرایندهای تشکیل خاک در اقلیم‌های مختلف ایران (مروری بر تحقیقات دو دهه اخیر گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران)

**احمد حیدری**[1*]

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۲۷- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۸/۲۲- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۸/۲۶)

## چکیده

شناخت دقیق خاک‌ها و رده‌بندی آنها در اعمال مدیریت‌های مختلف نقش تعیین‌کننده دارد. هدف از این مطالعه تجمیع بخشی از نتایج حاصل از مطالعات در قالب پایان‌نامه‌ها و رساله‌های انجام شده و مقاله‌های مستخرج از آنها در مورد عوامل و فرایندهای خاک‌سازی در اقلیم‌های مختلف ایران است که در طی دو دهه اخیر در اقلیم‌های مختلف کشور در گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران انجام شده است. تنوع عوامل خاک‌سازی اعم از اقلیم، مواد مادری، توپوگرافی، پوشش گیاهی و زمان تشکیل و فرایندهایی که منجر به ظهور و بروز خصوصیات و عوارض شناسایی مختلف شده است، موردمطالعه و کلاس‌های رده‌بندی خاک‌ها بر اساس سامانه رده‌بندی خاک آمریکایی تا سطح گروه بزرگ تعیین شده است (اطلاعات تمامی خاک‌ها تا سطح فامیلی خاک در منابع ارجاع شده آمده است). صفات مورفولوژیکی غالب در خاک‌رخ‌های موردمطالعه در هر منطقه مطالعاتی اعم از محدودیت‌ها و مزایای موجود تعیین شده‌اند. علاوه بر کلاس‌های خاک، خصوصیات مورفولوژیکی، میکرو مورفولوژیکی، فیزیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی رس، میزان ذخیره کربن آلی و کربن غیرآلی، ژئوشیمی خاک‌های تشکیل شده با جزئیات لازم تشریح شده‌اند. از میان ۱۲ رده خاک در سامانه رده‌بندی آمریکایی حداقل ۷ رده، و از میان ۳۲ گروه مرجع سامانه رده‌بندی WRB حداقل ۱۶ گروه مرجع در مناطق مطالعه شده وجود دارند. نتایج میکرو مورفولوژی تأثیرگذاری رسوبات بادی را بر خاک‌های تشکیل شده بر روی بازالت اثبات نمود. ایلایت و کلرایت در کانی‌شناسی رس بسیاری از خاک‌های مناطق موردمطالعه نشان‌دهنده جوان بودن خاک‌های موردمطالعه است. در خاک‌هایی که قدری تحول بیشتری پیدا کرده‌اند (مانند ورتی‌سول‌ها و اریدی‌سول‌ها) اسمکتایت دیده شد. تشکیل آلوفان‌ها از مواد آذرآواری نیز حاکی از غالبیت آلومینیوم بر سیلیسیم در مراحل اولیه هوادیدگی آنها است. تقریباً همه فرایندهای خاک‌سازی در این مطالعه مورد بررسی و بحث قرار گرفتند و از بعد آموزشی و پژوهشی دیدگاه روشنی از خاک‌های کشور نشان داده شد.

**واژه‌های کلیدی:** کانی‌شناسی رس، میکرو مورفولوژی خاک، شاخص‌های ژئوشیمیایی، کربن آلی خاک، کربن غیرآلی خاک.

### مقدمه

شناخت انسان از خاک قدمتی به‌اندازه تاریخ پیدایش انسان بر روی کره زمین دارد. انسان از بدو پیدایش بر روی خاک قدم نهاده و آن را لمس نموده است؛ در خاک مسکن گزیده است و غذا و مایحتاج خود را از خاک به دست آورده است. شناخت انسان از خاک باعث شده است که در علوم طبیعی و فلسفی یونان باستان و ایران کهن، خاک را یکی از عناصر چهارگانه سازنده طبیعت بشناسند (Buol et al., 2011). تنوع زیاد در عوامل و فرایندهای پیدایش خاک در محیط‌های مختلف منجر به تغییرپذیری زیاد در انواع خاک‌ها در شرایط مختلف اقلیمی، زمین‌شناسی، پستی‌وبلندی، پوشش گیاهی و زمان شده است. کشور ایران به دلیل تنوع اقلیمی زیاد، از نظر خاکشناسی نیز تنوع بسیار زیادی دارد که در این مقاله تا حد ممکن به آن پرداخته شده است.

### بررسی خاک‌های تشکیل شده در اقلیم‌های مختلف ایران

ایران کشوری با تنوع اقلیمی زیاد می‌باشد به‌نحوی‌که از دیدگاه کشاورزی شامل اقلیم‌های شدیداً خشک، خشک، نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب، مرطوب و همواره مرطوب با تغییرات دمایی زیاد می‌باشد (Ghaffari *et al.*, 2015). مطالعات خاکشناسی انجام شده در گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران بخش وسیعی از اقلیم‌های مذکور را شامل می‌شود. مطالعات انجام شده در اقلیم خشک با رژیم رطوبتی خاک یوستیک در گیلان‌غرب استان کرمانشاه و منطقه لار استان فارس توسط Heidari (1995, 2003) انجام شده است. مطالعات متعددی در اقلیم خشک با رژیم رطوبتی خاک اریدیک توسط Moghiseh (2012) در شهرستان بم استان کرمان؛ و توسط Noori, (2010)، Osat. (2010)،

* نویسنده مسئول: aheidari@ut.ac.ir

Faghih (2010)، Moradi (2010)، Mohtasham, (2013)، Monajjem, (2013)، Dolati, (2016)، Hateffard, (2017)، Bakhshi, (2017)، Saeidi, (2017)، Haghi, (2021)، Ebrahimi در استان البرز؛ Asadi Alasvand (2014) در استان تهران؛ Jahanbazi (2021) در استان سمنان انجام شده است. مطالعات در مناطق نیمه‌خشک با رژیم رطوبتی زریک در استان های اردبیل، کرمانشاه، لرستان Heidari (2003)؛ البرز Dezvareh (2007)، Hamzehee (2013)، Sartipi (2013)، مازندران Osat (2016)؛ گلستان Samieifard (2021) انجام گرفت. مطالعات مناطق نیمه‌مرطوب با رژیم رطوبتی خاک زریک در استان‌های مازندران توسط Moghiseh (2012)، Mohebbi Sadegh (2017)، Shiravi Khoozani, (2016)؛ در استان کردستان توسط Nabiollahi (2012)؛ در استان گلستان توسط Ajami (2016)؛ در استان گیلان توسط Raheb (2017) و Karimzadeh (2019) انجام‌گرفته است. در اقلیم مرطوب با رژیم رطوبتی خاک اکوییک یا یودیک مطالعاتی در استان مازندران توسط Mohebbi Sadegh (2012)، Raheb (2008)، Moradi (2010) انجام شده است. در هر یک از اقلیم‌های مذکور تنوع زیادی در مواد مادری، پوشش گیاهی، پستی‌وبلندی و زمان و همچنین فرایندهای خاک‌سازی وجود دارد که در بخش‌های بعدی آمده است.

**کانی‌شناسی رس**

کانی‌شناسی رس یکی از اساسی‌ترین معیارها در شناسایی و طبقه‌بندی خاک‌ها و بهره‌برداری و مدیریت خاک است. حیدری و همکاران (Heidari et al., 2005) و حیدری و همکاران (Heidari *et al.*, 2008a) خصوصیات میکرو مورفولوژیکی ورتی-سول‌های ایران، از جمله ورتی‌سول‌های غیراسمکتایتی را مورد بررسی قرار دادند. حیدری و همکاران (Heidari et al., 2008b) کانی‌شناسی رس در ورتی‌سول‌های ایران در شرایط اقلیمی خشک تا نیمه‌خشک و بر روی مواد مادری متفاوت اعم از رسوبات حاصل از بازالت در اردبیل، رسوبات ریزبافت آهکی در کرمانشاه و لرستان و رسوبات ریزبافت دریایی که در استان فارس تشکیل شده‌اند مورد مقایسه قرار دادند. مهم‌ترین خصوصیات ورتی‌سول‌های موردمطالعه تنوع در کانی‌شناسی رس بود که از مونتموریلونایت غالب در استان اردبیل تا مونتمویلونایت همراه با سایر کانی‌ها در استان‌های کرمانشاه و لرستان و پالی‌گورسکیت غالب در استان فارس متغیر بود (Heidari et al., 2008b). Raheb and Heidari (2011) نقش کانی‌شناسی رس و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های شالیزاری بر قابلیت دسترسی پتاسیم را نیز بررسی نموده و نتیجه گرفتند که قابلیت آزادسازی پتاسیم در خاک‌های با کانی‌شناسی اسمکتایتی بیشتر از خاک‌های با کانی‌شناسی ورمیکولایتی، ورمیکولایت دارای هیدروکسید بین لایه‌ای و ایلایت می‌باشد. نتایج کانی‌شناسی گویای غالبیت اسمکتایت در خاک-های شالیزاری با زهکشی ضعیف بود. درحالی‌که با بهبود وضعیت زه‌کشی از مقدار اسمکتایت کاسته و مقدار ورمی‌کولایت افزوده شده است، زیرا در این شرایط، آب‌شویی ذرات ریز اسمکتایت به اعماق سبب برجای‌ماندن ورمی‌کولایت می‌گردد.

**تهیه و مطالعه مقاطع نازک خاک**

میکرو مورفولوژی خاک با مطالعه مقاطع نازک تهیه شده از نمونه-های دست‌نخورده نتایج ارزشمندی را در شناسایی عوامل و فرایندهای تشکیل خاک ایفا می‌کند. Raheb (2008) خصوصیات خاک‌های شالیزاری مؤسسه تحقیقات برنج کشور در تنکابن را با استفاده از روش‌های آنالیز تصویر موردمطالعه قرار داد. وی نتیجه گرفت که باتوجه‌به اقتصادی نبودن کشت برنج در این مناطق، تبدیل شالیزارها به باغ‌های کیوی اجتناب‌ناپذیر است ولی این تغییر کاربری موجب تغییراتی در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، کانی‌شناسی و میکرو مورفولوژیکی این خاک‌ها می‌شود. Raheb and Heidari (2012a) گزارش کردند که عوارضی مانند پوسیده شدن ریشه‌ها در نتیجه نداشتن زه‌کشی مناسب، کلروز شدید و کاهش عملکرد محصول درختان کیوی از مهم‌ترین نتایج سوء تغییر نادرست کاربری می‌باشد. نتایج نشان داد که مقدار آهن و منگنز قابل‌استفاده در خاک‌های شالیزاری بیشتر و مقدار پتاسیم و فسفر کمتر از خاک‌های زیر کشت کیوی است که از دلایل عمده آن می‌توان به وجود شرایط کاهشی در خاک و تفاوت در مدیریت اراضی در دو کاربری اشاره نمود. نتایج کانی‌شناسی گویای غالبیت اسمکتایت در خاک‌های شالیزاری با زهکشی ضعیف بود. درحالی‌که در باغ‌های کیوی به دلیل بهبود وضعیت زه‌کشی از مقدار اسمکتایت کاسته و مقدار ورمی‌کولایت افزوده شده است، زیرا در این شرایط آب‌شویی ذرات ریز اسمکتایت به اعماق سبب برجای‌ماندن ورمی‌کولایت می‌گردد. نتایج میکرو مورفولوژیکی نیز گویای تخلخل بیش‌تر در خاک باغ‌های کیوی و وجود اشکال تکامل‌یافته‌تر ترکیبات آهن در نتیجه اشباع نشدن از سطح و فعالیت بیشتر ریز موجودات می‌باشد. Raheb and Heidari (2012b) شرایط اکسید و احیاء و برخی خصوصیات الکتروشیمیایی، شیمیایی و کانی‌شناسی رس را در خاک‌های شالیزار و غیر شالیزار بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در شرایط یکسان از نظر بی‌هوازی بودن، وجود مواد آلی بالاتر موجب شرایط احیایی شده است. کانی‌شناسی عوارض اکسید و احیاء در شرایط

شالیزاری و غیر شالیزاری مؤید غالبیت کانی لپیدوکروسایت بود. Bakhshi et al., (2018) ویژگی‌های هندسی خلل و فرج برخی از خاک‌های استان البرز را با استفاده از روش رنگ‌آمیزی فلورسنت مطالعه نمودند. نتایج نشان داد روش میکرومورفولوژی در مطالعات تخلخل و شکل حفرات بسیار توانمند است و فرضیات اعمال شده در مورد شکل حفرات خاک در روابط فیزیکی با واقعیت‌های موجود اختلاف قابل توجهی دارند و باید بر اساس مشاهدات دقیق‌تر و مستقیم اصلاح شوند. Moradi and Heidari (2011) خصوصیات میکرومورفولوژی و کانی‌شناسی کربنات‌ها را در برخی از خاک‌های اریدی‌سول و اینسپتی‌سول استان البرز مطالعه نمودند و نتیجه گرفتند که میکرومورفولوژی و کانی-شناسی شکل‌های مختلف کربنات‌ها شامل گرهک‌ها، بلورهای اسپاریت و میکریت، بلورهای سوزنی‌شکل و لامینارکپ می‌باشند. این تجمعات عمدتاً از نوع کلسیت و در برخی موارد از نوع کربنات‌های کلسیم/منیزیم می‌باشند. کانی‌شناسی رس نیز حاکی از تنوع کانی‌های رسی با غالبیت اسمکتایت است. Shiravi Khoozani, (2016) اجزاء مختلف تشکیل‌دهنده مواد آلی خاک‌های منطقه کلاردشت را بر اساس خصوصیات میکرو مورفولوژیکی مطالعه نمود و درصدهای مواد آلی را بر اساس میزان تجزیه آنها بر اساس آنالیز تصویر تعیین نمود. همچنین شناسایی انواع کربنات‌ها را بر اساس روش رنگ‌آمیزی انجام داده و تشریح کامل میکرو مورفولوژی خاک‌های جنگلی کلاردشت را به انجام رساند.

**بررسی عوارض اکسید و احیایی**

Mohebbi Sadegh (2012) و Moradi (2010) خاک‌های جنگلی منطقه خیرود کنار نوشهر را مطالعه و رده‌بندی کردند. Mohebbi Sadegh et al., (2012a, 2012b, 2012c, 2013) عوارض اکسید و احیایی شناسایی شده در خاکرخ‌های مطالعه شده در جنگل خیرودکنار نوشهر را با روش شیمیایی و استفاده از میکروسکوپ الکترونی و EDAX مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که عناصر سنگینی از قبیل کبالت، نیکل، مس و سرب از طریق هم رسوبی و اکسیدهای آهن و منگنز و انتقال هم‌زمان با رس در گرهک‌های آن و منگنز تمرکز پیدا می‌کنند. نتایج نشان داد که مواد آلی خاک و درصد رس خاک از مهم‌ترین عوامل مؤثر در میزان تجمع عوارض اکسید و احیایی و عناصر سنگین به همراه آنها می‌باشد. آنها یکی از روش‌های اصلاح خاک‌های آلوده به عناصر سنگین را اعمال فرایند اکسید و احیا در محیط‌های آلوده اعلام نمودند. حضور اکسیدهای آهن و منگنز با سطح جذب بالا، ساختارهای غیر بلورین بیشتر، تناوب اکسایش و کاهش و به دام انداختن عناصر، و خواص شیمیایی فلزات سنگین همچون ظرفیت‌های مختلف دربارهٔ کبالت، و ثابت هیدرولیز اول (pK1) کوچک در مورد سرب و مس، از عوامل مؤثر در افزایش مقادیر آنها در تجمعات اکسید و احیایی است.

Raheb and Heidari (2012a) گزارش کردند که عوارضی مانند پوسیده شدن ریشه‌ها در نتیجه نداشتن زه‌کشی مناسب، کلروز شدید و کاهش عملکرد محصول درختان کیوی از مهم‌ترین نتایج سوء تغییر نادرست کاربری می‌باشد. نتایج میکرو مورفولوژیکی نیز گویای تخلخل بیش‌تر در خاک باغ‌های کیوی و وجود اشکال تکامل‌یافته‌تر ترکیبات آهن در نتیجه اشباع نشدن از سطح و فعالیت بیشتر ریز موجودات می‌باشد. Raheb and Heidari (2012b) شرایط اکسید و احیاء و برخی خصوصیات الکتروشیمیایی، شیمیایی و کانی‌شناسی رس را در خاک‌های شالیزار و غیر شالیزار بررسی نمودند.

**تعیین شاخص‌های تکامل خاک**

شاخص‌های تکامل خاک در کمّی کردن رابطه Jenny (1941) نقش مهمی دارند. Osat (2016) تغییرات مکانی شاخص‌های تکامل خاک را در واحدهای نقشه خاک مورد ارزیابی قرار داد. Osat et al., (2016a, 2016b) تأثیر خصوصیات توپوگرافی را بر کلاس‌های تاکسونومیک خاک و شاخص‌های هوادیدگی در شمال ایران بررسی و گزارش نمودند که از میان شاخص‌های توپوگرافی، شیب و شاخص خیسی توپوگرافی (TWI) بیشترین همبستگی را با کلاس‌های تاکسونومی خاک و شاخص‌های هوادیدگی دارند. اغلب شاخص‌های هوادیدگی مطالعه شده در این تحقیق با درجه تکاملی مفروض در سامانه رده‌بندی آمریکایی رابطه منفی داشتند که دلیل آن را می‌توان به وجود شیشه آتشفشانی در مواد مادری توفی و وجود آهک در سنگ بستر آهکی منطقه نسبت داد.

**بررسی پویایی کربن آلی و غیرآلی خاک و اجزاء آن**

Osat et al., (2011a) اجزاء اندازه‌ای و اجزاء شیمیایی مواد آلی خاک را در بخش مرکزی استان البرز به دست آوردند. بر اساس نتایج گزارش شده، محتوای کربن آلی خاک در نمونه‌های موردمطالعه با کاهش اندازه ذرات افزایش‌یافته و در اجزاء اندازه‌ای کوچک‌تر از ۲۵۰ میکرون به حداکثر مقدار خود می‌رسد. همچنین رس‌های ۲:۱ انبساطی توانایی نسبی بیش‌تری در نگهداری کربن آلی ورودی نشان دادند. نتایج آنالیز اجزاء شیمیایی نشان داد که مقدار اسید هیومیک به اسید فولویک با افزایش مواد آلی ورودی به دلیل افزایش فعالیت زیستی و پلیمریزاسیون متوالی مولکول های آلی افزایش پیدا کرده است. Osat et al., (2011b) تأثیر تغییر کاربری اراضی بر دینامیک کربن آلی خاک را در محدوده مرکزی استان البرز مطالعه نمودند و نشان دادند که بیشترین

مقدار کربن آلی در کاربری باغ با ۲/۰۷ درصد دیده می‌شود و کاربری‌های زراعی و مرتعی با ۰/۷۳ و ۰/۵۷ درصد کربن آلی در درجات بعدی قرار دارند. توسعه شهرنشینی و تغییر کاربری اراضی به ترتیب از دینامیک و ذخیره شدن ۷۱۲۷۳ و ۱۹۰۴۰۶ مگاگرم کربن در هکتار در طی ۵۰ سال برآورد شده جلوگیری کرده است. Heidari et al., (2010) ذخیره‌سازی کربن آلی خاک تحت‌تأثیر فیزیوگرافی و شرایط اقلیمی شمال حوزه رودخانه کرج را موردمطالعه قرار دادند و گزارش نمودند که بیشترین مقدار کربن آلی در دامنه‌های شمالی و شمال غربی واقع در ارتفاعات متوسط با بارندگی نسبتاً زیاد و دمای متوسط دیده می‌شود و کمترین مقادیر کربن آلی خاک در دامنه‌های شرقی و جنوبی دیده شد. Moghiseh (2012) اثرات تغییر کاربری اراضی جنگل پهن‌برگ به جنگل سوزنی‌برگ و مرتع را در جنگل‌های کلاردشت مازندران موردمطالعه قرار داد. Moghiseh et al., (2012) اثرات تغییر کاربری جنگل بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، ذخیره کربن آلی و تنفس خاک را در منطقه کلاردشت مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج گزارش شده، واکنش خاک و قابلیت هدایت الکتریکی خاک تحت‌تأثیر تغییر کاربری نبوده، ولی جرم مخصوص ظاهری خاک با بازکاشت گونه سوزنی‌برگ، کاهش، و با جنگل-زدایی، افزایش نشان می‌دهد. میزان کربن آلی خاک در جنگل سوزنی‌برگ نسبت به پهن‌برگ افزایش نشان می‌دهد؛ درصورتی که تغییر جنگل پهن‌برگ به مرتع سبب کاهش شده است. بیشترین مقدار تنفس خاک در تمامی کاربری‌ها، در ماه‌های مرداد تا مهر برآورد شده و رابطه مثبت و معنی‌داری با متوسط درجه حرارت ماهیانه هوا داشت. در مجموع، جنگل سوزنی‌برگ بیشترین کارایی را در ذخیره کربن آلی داشته و می‌تواند در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن از خاک استفاده شود. Moghiseh et al., (2013a) همچنین اثر کاربری اراضی بر تغییرات سن کربن - ۱۴ و کیفیت مواد آلی خاک را با استفاده از طیف‌سنجی تبدیل فوریه زیر قرمز تعیین نمودند. آنها گزارش نمودند که وجود گروه-های عاملی حلقوی به مقدار بیشتر و با تجزیه کمتر در جنگل سوزنی‌برگ سبب افزایش کربن آلی خاک شده است. قطعات مواد آلی آزاد و درون‌خاکدانه‌ای به‌عنوان شاخص حساس به کاربری اراضی شناسایی شدند. نسبت کربن آلیفاتیک به آروماتیک در بقایای گیاهی و بخش درون‌خاکدانه‌ای جنگل پهن‌برگ نسبت به سایر کاربری‌ها بیشتر بود. بررسی پویایی اجزای فیزیکی کربن آلی خاک‌دانه‌های پایدار در انواع مختلف کاربری اراضی نشان داد که با کاهش اندازهٔ خاکدانه، درصد خاک‌دانه‌های پایدار و مقدار کربن آلی آنها افزایش‌یافته است. با مطالعهٔ پایداری خاک دانه‌ها در آب مشخص شد خاک دانه‌های بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر به تغییر کاربری جنگل حساسیت بیشتری دارند. Moghiseh et al.., (2013b) میزان انتشار $CO_2$ را از کاربری‌های مختلف مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که تغییر کاربری اراضی تأثیر معنی‌داری بر میزان انتشار $CO_2$ دارد.

کربن آلی، کربن غیرآلی و کربن کل خاک اساسی‌ترین مسئله در تشکیل و طبقه‌بندی خاک است که تقریباً همه خصوصیات خاک را تحت‌تأثیر خود قرار می‌دهد. موضوع کربن آلی و غیرآلی خاک و نقش آن در تشکیل و طبقه‌بندی خاک‌ها در تحقیقات متعددی توسط Moghiseh (2012)؛ Ajami (2016)؛ Osat (2016)؛ Raheb (2017) و Karimzadeh (2019) مورد بررسی قرار گرفته است. Moghiseh et al., (2012) گزارش کرد که جنگل سوزنی‌برگ در مقایسه با جنگل پهن‌برگ و مرتع بیشترین کارایی را در ذخیره‌سازی کربن آلی خاک دارد و می‌تواند برای کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن از خاک به کار برده شود. Ajami (2016) عوامل محیطی کنترل‌کننده ذخیره کربن آلی خاک را در خاک‌های لسی منطقه نیمه‌مرطوب شمال ایران موردمطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که ذخیره‌سازی کربن آلی خاک در شیب‌های ملایم و در دامنه‌های شمالی بیشتر از شیب-های تند و جنوبی می‌باشد. بیشترین مقدار ذخیره‌سازی کربن آلی در لایه ۳۰ سانتی‌متری سطحی خاک‌های جنگلی دیده شد. این مسئله اهمیت حفاظت از پوشش جنگل را نشان داد. عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک هم دارای ذخیره کربن آلی نزدیک به ذخیره کربن آلی در ۳۰ سانتی‌متر فوقانی است و ازاین‌جهت حایز اهمیت است. عجمی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش نمودند که تغییر کاربری اراضی جنگلی به زراعی و مرتعی موجب تشدید فرسایش شده و با ازبین‌رفتن افق‌های سطحی غنی از مواد آلی و رس، رده‌بندی خاک‌ها را هم از آلفی‌سول و مالی‌سول به اینسپتی‌سول و یا انتی‌سول تغییر داده است. Ajami et al., (2016) تأثیر عوامل محیطی و خصوصیات خاک بر عملکرد گندم دیم در اراضی لسی منطقه توشن را نیز بررسی نموده و نتیجه گرفتند که بیشترین عملکرد کل و بیشترین عملکرد دانه در اراضی با شیب کمتر از ۱۰ درصد به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با طبقه پرشیب نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین عملکرد کل به ترتیب مربوط به موقعیت‌های پنجه شیب و شانه شیب بود. بیشترین عملکرد دانه از موقعیت‌های پای شیب و پنجه شیب به دست آمد. Osat and Heidari (2019) تغییرات مکانی ذخایر کربن آلی و غیرآلی را در چند رده خاک جنگلی و مرتعی شمال ایران مطالعه نمودند. بیشترین میزان ذخایر کربن آلی و غیرآلی خاک در مالی‌سول‌ها و کمترین مقادیر در انتی‌سول‌ها به دست آمد. بیشترین میزان ذخیره کربن کل نیز به طور متوسط در مالی‌سول‌ها و کمترین آن

در انتی‌سول‌ها به دست آمد. خاک‌های جنگلی نسبت به خاک‌های مرتعی که قسمت اعظم کربن آلی آنها در افق‌های زیرسطحی و در ارتباط با جزء رس خاک قرار دارد، در پاسخ به تغییر کاربری و اقدامات مدیریتی شکننده‌تر می‌باشند. Raheb et al, (2017) ذخایر کربن آلی و غیرآلی خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ بستر بازالت را در یک توالی اقلیمی خشک تا نیمه‌مرطوب ایران مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که کربن آلی و غیرآلی خاک با افزایش عمق کاهش می‌یابند. میزان کربن کل خاک (آلی+غیرآلی) با افزایش بارندگی افزایش یافت. در بخش خشک‌تر توالی اقلیمی علی‌رغم پایین بودن ذخیره کربن آلی، مقادیر نسبت ذخیره کربن غیرآلی به کربن آلی بالاتر از مناطق مرطوب‌تر است. مدت‌زمان لازم برای ذخیره کربن غیرآلی موجود در خاک‌های نیمه‌مرطوب، نیمه‌خشک و خشک به ترتیب ۱۵۴۰۰، ۲۳۱۰۰ و ۲۶۰۰۰ سال به دست آمد که نشان‌دهنده ترسیب بیشتر کربن غیرآلی در مناطق مرطوب‌تر در مقایسه با مناطق خشک‌تر است، که دلیل آن هوازدگی سریع‌تر بازالت و تولید بیشتر $CO_2$ به دلیل پوشش گیاهی غنی‌تر است. شواهد میکرو مورفولوژیکی هوازدگی بازالت و شیشه آتشفشان در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک البرز میانی توسط Raheb et al., (2021) نشان داد که پوشش‌های رسی لایه‌لایه رسوب دوره‌ای رس، و تشکیل انواع عوارض خاک ساخت کربناتی مانند گرهک‌ها، پوشش‌ها و پوشش‌های زیرسطحی، پرشدگی حفرات با کریستال‌های میکریتی و اسپاریتی همگی حاکی از وجود دوره‌های متناوب خشک و مرطوب و اثر این دوره‌ها (ورود رسوبات بادی جدید به سطح و نفوذ آنها در اعماق) در پیشرفت فرآیندهای هوازدگی است.

**کاربرد مدل‌های مختلف در تهیه نقشه خصوصیات خاک**

Hateffard (2017) قابلیت مدل‌های درختان تصمیم و شبکه عصبی مصنوعی را برای تهیه نقشه برخی خصوصیات خاک‌های استان البرز مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل درختان تصمیم در مقایسه با روش شبکه عصبی تعداد بیشتری از خصوصیات خاک را با $R^2$ بیشتر از ۰/۷ پیش‌بینی نمود و نقشه‌های تهیه شده با آن از دقت بالاتر برخوردار بود. هرچند مدل شبکه عصبی در مورد پیش‌بینی EC خاک $R^2$ بیش از ۰/۹۵ داشت. Hateffard et al., (2019) نتیجه‌گیری کردند که برای مدل‌سازی خصوصیات خاک ابتدا باید دقت و صحت مدل‌های مختلف را ارزیابی نموده و از مناسب‌ترین مدل‌ها برای پیش‌بینی خصوصیاتی که تطابق بیشتری نشان داده‌اند، استفاده شود. Hateffard et al.., (2021) تأثیرات بالقوه فرسایش خاک و تغییرات اقلیمی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مرکزی (استان البرز) مورد بررسی قرار دادند و سناریوهای ممکن را برای بهره‌برداری پایدار این مناطق خشک و نیمه‌خشک ارائه نمودند.

مقوله بسیار مهم دیگری که مطالعات تشکیل و طبقه‌بندی خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد نحوه تعیین مرز بین واحدهای خاک و تهیه نقشه خاک است. Samieifard (2021) روش ژئوپدولوژی را برای تهیه نقشه خاک‌های تازه توسعه‌یافته در سواحل دریای مازندران مورداستفاده قرار داد. Samieifard et al., (2021) با استفاده از روش ژئوپدولوژی توانستند واحدهای ژئوپدولوژی خاک را با کمک توزیع اندازه ذرات خاک که در واحدهای ژئوپدولوژی تغییرات قابل‌توجهی تغییرات مشخصی را نشان می‌دادند تفکیک نمایند.

**بررسی خاک‌های گچی در برخی نقاط ایران**

Heidari (1995) و Mahmoodi and Heidari (1998) تشکیل و طبقه‌بندی خاک‌های گچی منطقه گیلان‌غرب را که بر روی سنگ بستر گچی توسعه‌یافته‌اند مورد بررسی قرار دادند. آنها ضمن تشریح خصوصیات مورفولوژیکی، میکرو مورفولوژیکی، کانی‌شناسی، فیزیکی و شیمیایی، خاک‌های موردمطالعه را بر اساس سامانه طبقه‌بندی آمریکایی (USDA, 1996) طبقه‌بندی کردند. نتایج نشان داد که جایگاه برخی از خاک‌های موردمطالعه در سامانه طبقه‌بندی آمریکایی مشخص نیست و اشکالات موجود در سامانه طبقه‌بندی این خاک‌ها تا سال ۲۰۲۱ نیز پابرجاست. این مسئله نشان‌دهنده آن است که سامانه آمریکایی طبقه‌بندی خاک بسیاری از شرایط موجود در خاک‌های سایر نقاط جهان از جمله ایران را نادیده می‌گیرد (Heidari, 1995). Mogheiseh and Heidari (2012) خاک‌های پلی ژنتیک گچی و شور منطقه بم استان کرمان، در جنوب شرقی ایران را موردمطالعه قرار داده و گزارش نمودند که در افق‌های سطحی خاک‌های موردمطالعه، گچ بلورین به بازانیت پودری تبدیل شده و به‌صورت سخت لایه بازانیتی حاوی املاح محلول درآمده است. وجود یک افق سخت و سیمانی شده با املاح محلول‌تر از گچ موجب تشکیل افقی غیرقابل‌نفوذ برای ریشه و همچنین مانعی برای نفوذ آب (باتوجه‌به بارندگی کم که قادر به حل کردن کل املاح موجود نیست) شده است. باتوجه‌به عدم تعریف افق پتروسالیک در سامانه رده‌بندی آمریکایی، خاک‌های مطالعه شده تحت عنوان Petrogypsic Haplosalids طبقه‌بندی شدند ولی در سامانه طبقه‌بندی جهانی (WRB) باتوجه‌به تعریف شدن افق پتروسالیک تحت عنوان (Petrosalic Solonchaks) طبقه‌بندی شدند.

**ورتی‌سول‌ها در اقلیم‌های مختلف ایران**

Heidari (2003) تشکیل و طبقه‌بندی ورتی‌سول‌های ایران در استان‌های اردبیل، کرمانشاه، لرستان و فارس را مورد بررسی قرار داد. اختلاف در کانی‌شناسی موجب ایجاد تغییرات شدید در مورفولوژی و میکرو مورفولوژی خاک‌های موردمطالعه شده است که از تشکیل مالچ ضخیم (لایه‌ای با ساختمان گرانولار) در سطح خاک‌های استان‌های اردبیل، کرمانشاه و لرستان تا تشکیل سخت لایه (Crust) در استان فارس متغیر بود. ساختمان میکروسکوپی گوه‌ای و گرهک‌های آهکی قطعه‌قطعه‌شده در اثر انقباض و انبساط شدید و ایجاد نیروهای برشی از عوارض بارز میکرو مورفولوژیکی گزارش شده در این خاک‌ها بود (Heidari et al., 2005، و Heidari et al., 2008a).

**بررسی فراکشن‌های فسفر در برخی رده‌های خاک**

Mohebbi Sadegh (2017) فراکشن‌های مختلف فسفر را در رابطه خصوصیات تشکیل و طبقه‌بندی خاک در خاک‌های منطقه کلاردشت موردمطالعه قرار داد. Mohebbi Sadegh and Heidari, (2017) توزیع شکل‌های فسفر در خاک‌های جنگلی کلاردشت را بررسی نموده و نشان دادند که فرآیندهای خاکسازی اثرات قابل‌توجهی بر توزیع شکل‌های مختلف فسفر دارند. فسفات‌های آهن همبستگی مثبت و معنی‌داری با فسفر وابسته به آلومینیوم (Al-P) و فسفر وابسته به آهن (Fe-P) داشتند که نمایانگر استخراج فسفر هم رسوبی شده با فسفر قابل استخراج با اگزالات آمونیوم (Pox) و اکسیدهای آهن و آلومینیوم دارای تبلور ضعیف و یا فسفر جذب شده توسط این اکسیدها از طریق تبادل لیگاندی و آنیونی باشد. این شکل‌های با تبلور پایین و همچنین اکتا کلسیم فسفات همبستگی مثبت و معنی‌داری را با درصد رس نشان دادند که اتصال این ترکیبات به ذرات رس واکنش این ترکیبات و ذرات رس در طی فرآیند انتقال مکانیکی ذرات ریز (co-migration) و انتقال هم‌زمان آنها را محتمل می‌سازد. بیشترین همبستگی بین فسفر قابل‌دسترس، فسفر آلی و کربن آلی مشاهده شد و هوموسی شدن و فرآیندهای جانبی آن مهم‌ترین فرایند مؤثر بر میزان فسفر قابل جذب است. تشکیلات توف سبز کرج دارای خصوصیات اندیک یا ویتریک می‌باشند و شامل خاک‌های اندی‌سول می‌شوند (Abbasi Gharaei, 2011؛ Saberi Moghadam, 2012؛ Sartipi, 2013؛ Hamzehee, 2013؛ Monajjem, 2013؛ Mohtasham, 2013). Monajjem et al., (2016a) تثبیت فسفر در نانورس‌های آلوفانی و غیرآلوفانی سازند توف کرج را مورد بررسی قرار دادند و نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات SEM در خاک‌های اندی‌سول حاکی از وجود انواع متفاوتی از نانوذرات آلومینوسیلیکاتی با مورفولوژی نانوبال (آلوفان)، و نانوتیوب (ایموگولیت)، و نیز کانی های اسمکتایتی در بخش نانوذرات رس می‌باشد. نانوذرات جدا شده از خاک‌های غیراندیک بر اساس نتایج SEM از نوع فیلوسیلیکات‌ها (احتمالاً مونتموریلونایت) می‌باشند. خاک‌های دارای مقادیر بیشتر آلومینیوم قابل استخراج با پیروفسفات سدیم (Alp) و سیلیس قابل استخراج با اگزالات آمونیوم (Sio) دارای نانورس بیشتر (۲۵/۸ گرم در کیلوگرم) و تثبیت فسفر بالاتری (۵۵ درصد) بودند. با افزایش مقدار آلوفان میزان تثبیت فسفر افزایش پیدا کرد.

Monajjem et al.., (2016b) همچنین قابلیت تثبیت عناصر سنگین را به کمک نانوذرات رس جدا شده از خاک‌ها بررسی نموده و نتیجه گرفتند که میزان نگهداشت عناصر سنگین موردمطالعه بسته به نوع عنصر در خاک‌های اندیک و غیراندیک متفاوت می‌باشد. در همه نمونه‌های اندیک و غیراندیک، با افزایش غلظت عناصر سنگین در محلول، مقدار نگهداشت افزایش یافت، ولی روند افزایش نگهداشت در نانورس شیب تندتری نسبت به رس کل نشان داد.

**مطالعات آلاینده‌های طبیعی و مصنوعی خاک**

آلودگی خاک‌ها در اثر وجود منابع آلاینده طبیعی و مصنوعی بخش دیگری از موضوعات تحقیقاتی مرتبط با عوامل و فرایندهای تشکیل خاک است که موردتوجه بوده است (Nabiollahi, 2012؛ Asadi Alasvand, 2014). Nabiollahi et al.., (2013) رابطه خصوصیات خاک‌های تشکیل شده در سطوح مختلف ژئومورفیک مختلف را با تغییرات مکانی آرسنیک خاک در منطقه بیجار، استان کردستان مطالعه کردند. غلظت آرسنیک خاک سطحی از نظر آماری همبستگی معنی‌داری را با رس، اکسیدهای آهن، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد سیلت، و درصد شن نشان داد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، آرسنیک در اثر فرایندهای فرسایش و رسوب یا به‌صورت محلول از منابع ژئولوژیکی آرسنیک (لندفرم های منشأ آرسنیک با سنگ‌های آذرین غنی از آهن) به مکان‌های پست‌تر منتقل شده است. این مطالعات نشان داد که منشأ آلودگی آرسنیک در منطقه منابع زمین‌شناسی هستند و منشأ انسانی ندارند. Heidari and Asadi (2015) خاک‌های آلوده به نفت در محدوده پالایشگاه نفت تهران را با روش میکرو مورفولوژی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که اگر خاک‌ها در درازمدت در معرض آلودگی نفتی قرار بگیرند عوارض مورفولوژیکی و میکرو مورفولوژیکی خاصی در آنها تشکیل می‌گردد. از جمله خصوصیات پدیدآمده می‌توان به ساختمان میکروسکوپی دانه‌ای قوی، پرشدگی‌های منافذ با مواد نفتی، وجود مواد دفعی مزوفون و

ماکروفون در اعماق مختلف خاک، پوشش‌ها، پوشش‌های زیرسطحی، پوشش‌های در امتداد سطوح، و مناطق تخلیه شده به‌عنوان عوارض بسیار مهم ناشی از آلودگی نفتی اشاره کرد. Asadi Alasvand and Heidari (2015) تشکیل و طبقه‌بندی خاک‌های تکنوسول نفتی را در منطقه جنوب تهران موردمطالعه قرار دادند. مطالعات کانی‌شناسی وجود کانی اسمکتایت را به‌عنوان کانی غالب به همراه سایر کانی‌های رسی به اثبات رساند. این کانی‌ها ترکیبات نفتی را در فضای بین لایه‌ای خود جذب کرده و از تحرک و تجزیه آنها در خاک جلوگیری می‌کنند. انتشار افقی و عمودی ترکیبات نفتی درون خاک مؤید پویایی مواد نفتی در خاک و تأثیر بر فرآیندهای خاکسازی می‌باشند. کاهش pH و افزایش کربن آلی و آهن بی‌شکل خاک تحت‌تأثیر مواد نفتی در مقایسه با خاک‌های غیرآلوده به اثبات رسید. باتوجه‌به وجود مقادیر بالای گچ و آهک این خاک‌ها بر اساس سیستم رده-بندی آمریکایی، Typic Calcigypsids نام‌گذاری شدند ولی در سیستم WRB، به علت وجود لایه‌های نفوذناپذیر و ژئوممبران (Geomembrane) در ۱۰۰ سانتی‌متری بالای خاک در واحد Technosols Linic طبقه‌بندی شدند. Mohseni (2018) نیز اثرات تولید ذرت علوفه‌ای را در طی دوره زندگی بر انتشار آلاینده-های مختلف از خاک و تأثیر آن بر شرایط محیط‌زیست مطالعه نمود.

**بررسی روند شوری خاک**

تخریب اراضی در اثر شوری ناشی از اعمال مدیریت‌های نامناسب از عوامل مهمی است که تشکیل و طبقه‌بندی خاک‌ها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. Jahanbazi (2021) تغییرات مکانی - زمانی شوری خاک را تحت‌تأثیر مدیریت آبیاری شیاری و قطره‌ای مطالعه نمود. نتایج نشان داد که شاخص‌های شوری خاک بین سه تا شش برابر در سامانه آبیاری شیاری نسبت به آبیاری قطره‌ای افزایش داشته است. اراضی باغی رها شده بیشترین میزان افزایش شوری را نشان دادند. تعیین شاخص‌های کیفیت آب‌وخاک نشان داد که نوع کاربری اراضی موجود در منطقه ناپایدار است؛ بنابراین هرگونه تغییر کاربری اراضی به اراضی کشاورزی در منطقه باید ممنوع شود.

**تشکیل پایگاه‌داده خاک استان البرز**

به‌منظور تهیه و تکمیل پایگاه اطلاعات خاک‌های استان البرز تاکنون بیش از ۲۰ عنوان پایان‌نامه یا رساله در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری توسط دزواره (Dezvareh. 2007)، نوری (Noori, 2010)، اوسط (Osat. 2010)، فقیه (Faghih, 2010)، مرادی (Moradi, 2010)، صابری مقدم (Saberi Moghadam, 2012)، حمزه‌ی (Hamzeehee, 2013)، سرتیپی (Sartipi, 2013)، محتشم (Mohtasham, 2013)، منجم (Monajjem, 2013)، دولتی (Dolati, 2016)، هاتف‌فرد (Hateffard, 2017)، بخشی (Bakhshi Khoramdare, 2017)، راهب (Raheb, 2017, 2008)، سعیدی (Saeidi, 2017)، حقی (Haghi Ardehaee, 2017)، کریم‌زاده (Karimzade, 2019)، ابراهیمی (Ebrahimi, 2021)، در خصوص پیدایش و رده‌بندی خاک‌های استان البرز به راهنمایی نویسنده مقاله انجام پذیرفته است. این پایگاه اطلاعاتی در حال حاضر مراحل تکاملی خود را طی می‌کند و به انتشارات متعددی منتهی شده است.

باتوجه‌به مطالعات فوق هدف از این مقاله تجمیع مطالعات انجام شده به‌منظور تکمیل پایگاه اطلاعاتی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک و شناخت دقیق‌تر عوامل و فرایندهای خاکسازی حاکم در منطقه برای استفاده در مدیریت پایدار اراضی و خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است.

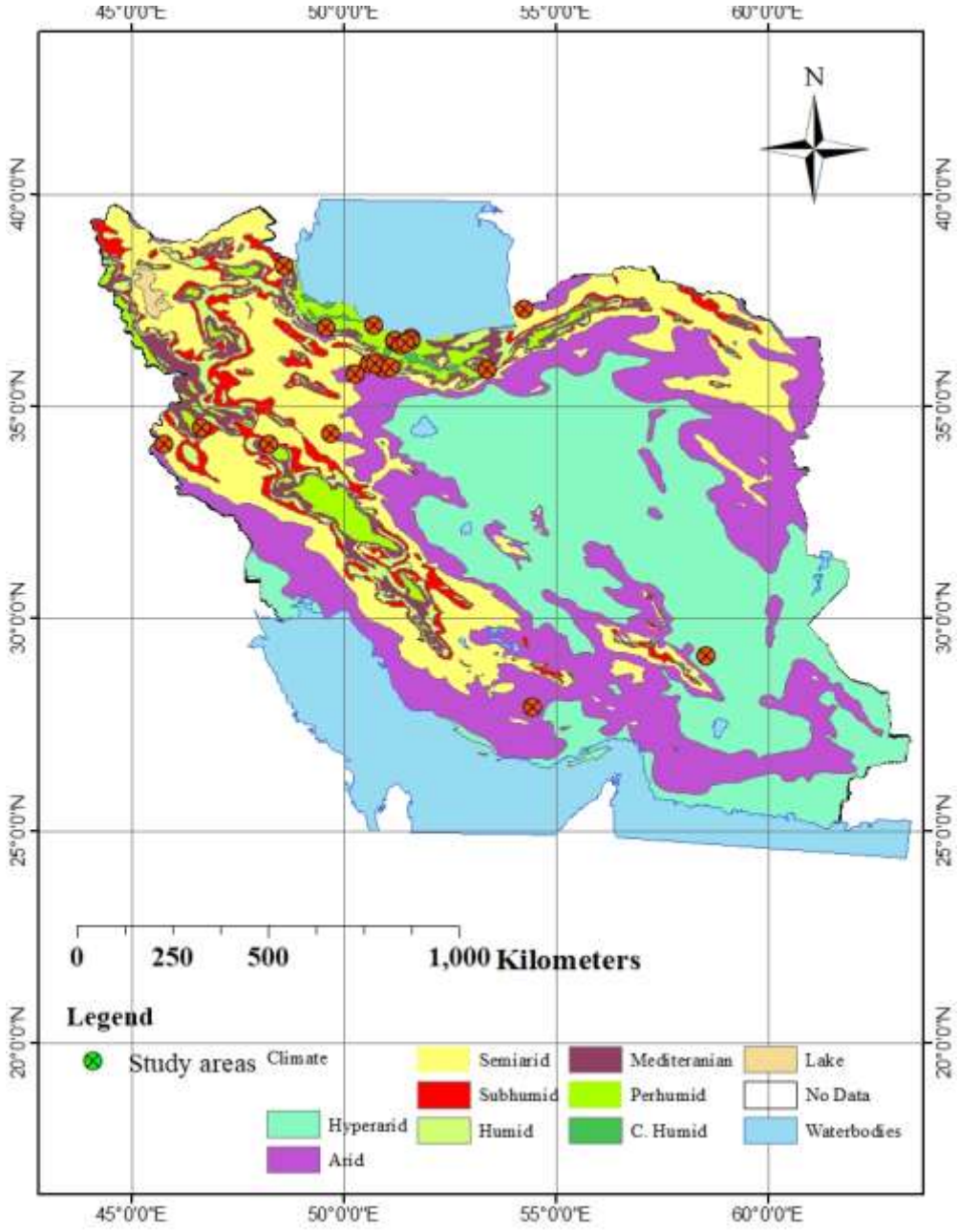
## مواد و روش‌ها

**مناطق موردمطالعه و عوامل خاک‌سازی**

شکل ۱ نقشه اقلیم‌های مختلف کشور ایران را به همراه مناطق موردمطالعه واقع در هر اقلیم نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود مناطق موردمطالعه اقلیم‌های مختلف موجود در کشور اعم از اقلیم‌های بیابانی، نیمه‌خشک، خشک، نیمه‌مرطوب و مرطوب را شامل شده است.

جدول ۱ خلاصه اطلاعات مربوط به مناطق موردمطالعه، مختصات جغرافیایی، وسعت مناطق موردمطالعه بر حسب هکتار (۷۲۲۰۰۰ هکتار)، تعداد ۷۳۶ خاک‌رخ و بیش از ۵۰۰ نمونه سطحی مطالعه شده، سال انجام مطالعه، نام مطالعه‌کننده، گروه-های بزرگ خاک بر اساس سامانه طبقه‌بندی آمریکایی (Soil Survey Staff, 2014) و عوامل پنج‌گانه خاکسازی شامل اقلیم و رژیم رطوبتی خاک، مواد مادری، پوشش گیاهی/کاربری، شیب و توپوگرافی، و زمان و صفات غالب خاک در مناطق موردمطالعه را خلاصه‌سازی کرده است. موقعیت مناطق بر اساس مختصات جغرافیایی در جدول ۱ و شکل ۱ آمده است. اقلیم‌های مناطق موردمطالعه شامل اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب و مرطوب می‌باشد که تقریباً تمام اقلیم‌های ایران را پوشش داده است. مطابق با اقلیم‌های حاکم بر مناطق موردمطالعه، رژیم‌های رطوبتی مختلف اعم از رژیم رطوبتی اکوییک، اریدیک، زریک، یوستیک و یودیک در خاک‌های موردمطالعه شناسایی شدند (جدول ۱). اگرچه رژیم رطوبتی غالب در خاک‌های موردمطالعه رژیم رطوبتی زریک می‌باشد در مرتبه بعدی رژیم رطوبتی اریدیک

قرار دارد (جدول ۱). از نظر تنوع مواد مادری نیز انواع متعددی از تشکیلات زمین‌شناسی اعم از سنگ‌های آذرین، آذرآواری (توف)، آهکی، آبرفتی، کوهرفتی، رسوبات دریایی، دریاچه‌ای، بادی و یخچالی در مناطق موردمطالعه وجود دارند. گرچه مواد مادری غالب در مناطق موردمطالعه مواد آبرفتی مربوط به دوران کواترنر (زمان) با توزیع اندازه متفاوت از رسوبات کاملاً ریزبافت رسی تا رسوبات سنگ‌ریزه دار و فراگمنتال است (جدول ۱). همچنین تنوع زیادی در نوع پوشش گیاهی و کاربری اراضی دیده شد که از پوشش متراکم جنگل‌های هیرکانی در شمال تا مناطق خشک و لم‌یزرع در مناطق بیابانی خشک متغیر بود. هرچند بخش عمده خاک‌های موردمطالعه در مناطق با پوشش مرتعی و زراعی واقع شده‌اند (جدول ۱) با وجود این بخش‌هایی از مناطق موردمطالعه تحت پوشش شالیزار و همچنین وسعت اندکی از آن محل دفع مواد زاید نفتی بوده است. از نظر توپوگرافی، مناطق موردمطالعه از اراضی کاملاً مسطح دشت‌های ساحلی دریای مازندران تا ارتفاعات زیاد با شیب‌های تند رشته‌کوه البرز متغیر بود. این تنوع زیاد در عوامل خاکسازی اعم از اقلیم، مواد مادری، پوشش گیاهی، توپوگرافی و زمان باعث تشکیل خاک‌های با خصوصیات بسیار متنوع شده‌اند (جدول ۱). خاک‌های مطالعه شده باتوجه‌به شرایط فرسایشی و رسوبی و زمان تشکیل از نظر عمق از خاک‌های بسیار کم‌عمق تا خاک‌های بسیار عمیق متغیر هستند.




شکل ۱- مناطق موردمطالعه واقع در اقلیم‌های مختلف (روش UNESCO)

جدول ۱- مختصات، وسعت و تعداد خاک‌رخ‌ها، سال مطالعه، گروه‌های بزرگ خاک و عوامل خاکسازی و صفات غالب در مناطق موردمطالعه

| منطقه، مختصات، تعداد خاک‌رخ، وسعت (هکتار)، نویسنده، سال | طبقه‌بندی خاک USDA (2014) (گروه بزرگ) | اقلیم و رژیم رطوبتی خاک | مواد مادری | پوشش گیاهی/کاربری | شیب و توپوگرافی | صفات غالب خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|
| گیلانغرب (34.1 N, 45.73 E)، ۱۱، ۱۲۰۰۰، Heidari (1995) | Haplustepts | خشک، یوستیک | تشکیلات گچی نئوژن | مرتع و زراعت | اراضی تپه‌ای | عمق کم تا عمیق |
| اردبیل (E 38.30 N, 48.55)، ۱۲، ۱۰۰۰۰، Heidari (2003) | Calcixererts | نیمه‌خشک، زریک | آبرفت‌های بازالتی | مرتع و زراعت | هموار | عمیق، خصوصیات ورتیک |
| | Haploxererts | نیمه‌خشک، زریک | آبرفت‌های بازالتی | مرتع و زراعت | هموار | عمیق، خصوصیات ورتیک |
| کرمانشاه (46.6 E 34.5 N, )، ۲۲، ۲۰۰۰۰، Heidari (2003) | Haploxerets | نیمه‌خشک، زریک | رسوبات ریزآهکی | زراعت | شیب ملایم | عمیق، خصوصیات ورتیک |
| | Calcixererts | نیمه‌خشک، زریک | رسوبات ریزآهکی | زراعت | شیب ملایم | عمیق، خصوصیات ورتیک |
| لرستان (34. 1 N, 48.2 E)، ۱۰، ۱۰۰۰، Heidari (2003) | Haploxerets | نیمه‌خشک، زریک | رسوبات ریزآهکی | زراعت | شیب ملایم | عمیق، خصوصیات ورتیک |
| | Calcixererts | نیمه‌خشک، زریک | رسوبات ریزآهکی | زراعت | شیب ملایم | عمیق، خصوصیات ورتیک |
| فارس (27.9 N, 54.4 E )، ۹، ۱۰۰۰۰، Heidari (2003) | Haplustepts | خشک، یوستیک | مارن آهکی | مرتع و زراعت | شیب ملایم | عمیق، خصوصیات ورتیک |
| | Calciusterts | خشک، یوستیک | مارن آهکی | مرتع و زراعت | شیب ملایم | عمیق، خصوصیات ورتیک |
| | Gypsiustert | خشک، یوستیک | مارن آهکی | مرتع و زراعت | شیب ملایم | عمیق، خصوصیات ورتیک |
| بم (58.50 E 29.1 N,)، ۱۰، ۳۵۰، Mogheiseh (2012) | Haplosalids | خشک، اریدیک | آبرفت | بیابانی | مسطح | عمیق، افق پتروسالیک، پتروجیپسیک |
| البرز (35.80 N, 50.94 E)، ۳۵۰، ۵۸۰۰۰۰، Dezvareh. (2007)، Noori, (2010)، Osat. (2010)، Faghih, (2010)، Dolati, (2016)، Hateffard, (2017)، Bakhshi, (2017)، Saeidi, (2017)، Haghi, (2017)، Ebrahimi, (2021) | Xerorthents | نیمه‌خشک، زریک | توف | مرتع | شیب تند | بسیار کم‌عمق |
| | Haploxerepts | نیمه‌خشک، زریک | توف | مرتع | شیب تند | کم‌عمق، افق کمبیک |
| | Haploxerolls | نیمه‌خشک، زریک | توف | مرتع | شیب تند | کم‌عمق، افق مالیک |
| | Haplocalcids | خشک، اریدیک | کوهرفت | مرتع | شیب‌دار | عمیق، افق کلسیک |
| | Petrocalcids | خشک، اریدیک | تیل یخچالی | مرتع | شیب‌دار | عمیق، افق پتروکلسیک |
| | Haplocambids | خشک، اریدیک | رسوبات ریزبافت | زراعت | هموار | عمیق، افق کمبیک |
| | Natrargids | خشک، اریدیک | رسوبات ریزبافت | مرتع | هموار | عمیق، افق ناتریک |
| | Haploxerands | نیمه‌خشک، زریک | توف | مرتع | شیب تند | کم‌عمق، خاصیت اندیک |
| | Calcixerepts | نیمه‌خشک، زریک | توف | مرتع | شیب تند | عمیق، افق کلسیک |
| | Xeropsamments | نیمه‌خشک، زریک | آبرفت | زراعت | شیب‌دار | عمیق، شنی |
| | Torriorthents | خشک، اریدیک | رسوبات ریزبافت | زراعت | هموار | عمیق، فرسایش یافته |
| خیرودکنار (36.60 N, 51.56 E)، | Endoaqualfs | مرطوب، آکوییک | سنگ آهک | جنگل پهن-برگ | شیب تند | عمیق، ریدوکس، آرجیلیک |

| منطقه، مختصات، تعداد خاک‌رخ، وسعت (هکتار)، نویسنده، سال | طبقه‌بندی خاک USDA (2014) (گروه بزرگ) | اقلیم و رژیم رطوبتی خاک | مواد مادری | پوشش گیاهی/کاربری | شیب و توپوگرافی | صفات غالب خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۲۰، ۱۰۰۰۰، Mohebbi Sadegh (2012) | Hapludalfs | مرطوب، یودیک | سنگ آهک | جنگل پهن-برگ | شیب تند | عمیق، افق آرجیلیک |
| | Paleudalfs | مرطوب، یودیک | سنگ آهک | جنگل پهن-برگ | شیب‌دار | عمیق، افق آرجیلیک |
| رامسر (36.90 N, 50.67 E)، ۸، ۱۰۰، Raheb (2008) | Endoaqualfs | مرطوب، آکوییک | آبرفت ریزبافت | شالیزار | هموار | عمیق، افق-آرجیلیک، احیاء |
| | Hapludalfs | مرطوب، یودیک | آبرفت ریزبافت | باغ | هموار | عمیق، افق آرجیلیک |
| | Endoaquepts | مرطوب، یودیک | آبرفت ریزبافت | شالیزار/باغ | هموار | عمیق، افق کمبیک |
| | Udipsamments | مرطوب، یودیک | شن‌های ساحلی | باغ | هموار | عمیق، شنی |
| کلاردشت (36.53 N, 51.17E)، ۱۰، ۴۰۰، Moghiseh (2012)، Mohebbi Sadegh (2017)، Shiravi Khoozani, (2016) | Haploxeralfs | نیمه‌مرطوب، زریک | سنگ آهک | جنگل پهن-برگ | شیب تند | عمیق، افق آرجیلیک |
| | Palexeralfs | نیمه‌مرطوب، زریک | سنگ آهک | جنگل مخلوط | شیب‌دار | عمیق، افق آرجیلیک |
| | Haploxerolls | نیمه‌مرطوب، زریک | سنگ آهک | جنگل مخلوط | شیب‌دار | عمیق، افق مالیک |
| | Haplrendolls | نیمه‌مرطوب، زریک | سنگ آهک | جنگل مخلوط | شیب‌دار | کم‌عمق، افق مالیک |
| هشتگرد (36 N, 50.7 E)، ۸، ۱۰۰۰، Moradi, (2010) | Petrocalcids | خشک، اریدیک | رسوبات یخچالی | زراعی | شیب دار | عمیق، افق پتروکلسیک |
| | Haploxerepts | نیمه‌خشک، زریک | آذرآواری | مرتع | شیب‌دار | کم‌عمق، افق اکریک |
| | Haplocalcids | خشک، اریدیک | رسوبات آبرفتی | مرتع | شیب دار | عمیق، افق کلسیک |
| خیرودکنار (36.6 N, 51.6 E)، ۸، ۱۰۰۰، Moradi, (2010) | Hapludolls | مرطوب، آکوییک | سنگ آهک | جنگل پهن-برگ | شیب تند | نیمه عمیق، افق مالیک |
| | Hapludalfs | مرطوب، آکوییک | سنگ آهک | جنگل پهن-برگ | شیب تند | نیمه عمیق، افق آرجیلیک |
| جاده‌چالوس (E 35.9 N, 51.05)، ۲۱، ۴۰۰، Saberi Moghadam, 2012 | Haploxerepts | نیمه‌خشک، زریک خشک | توف | مرتع و باغ | پرشیب | خاصیت Vitrandic |
| | Calcixerepts | نیمه‌خشک، زریک خشک | توف | مرتع و باغ | پرشیب | خاصیت Vitrandic |
| | Xerorthents | نیمه‌خشک، زریک خشک | توف | مرتع و باغ | پرشیب | خاصیت Vitrandic |
| بیجار (E۷۱۲۰۰۰ N, ۳۹۷۱۰۷۵)، ۸۳، ۲۰۰۰۰، Nabiollahi, (2012) | Haploxerepts | نیمه‌مرطوب، زریک | سنگ‌های رسوبی | مرتع | ناهموار | افق کمبیک |
| | Calcixerepts | نیمه‌مرطوب، زریک | سنگ‌های رسوبی | مرتع و زراعت | ناهموار | افق کلسیک |
| | Xerorthents | نیمه‌مرطوب، زریک | سنگ‌های رسوبی | مرتع و زراعت | ناهموار | عمیق |
| | Calcixerolls | نیمه‌مرطوب، زریک | سنگ‌های رسوبی | مرتع و زراعت | ناهموار | افق کلسیک |
| | Endoaquolls | نیمه‌مرطوب، زریک | سنگ‌های رسوبی | مرتع و زراعت | ناهموار | شرایط اکوییک |
| جاده‌چالوس (E 35.9 N, 51.05)، ۵، ۵۰۰، Hamzehee, (2013)، Sartipi, (2013) | Xerorthent | نیمه‌خشک، زریک خشک | توف | مرتع و باغ | پرشیب | خاصیت Vitrandic |
| | Haploxerept | نیمه‌خشک، زریک خشک | توف | مرتع و باغ | پرشیب | خاصیت Vitrandic |
| البرز (35.75 N, 50.25 E)، ۸، ۵۰۰۰، Mohtasham, (2013)، Monajjem, (2013) | Haplocalcids | خشک، اریدیک | رسوبات مارنی | مرتع | هموار | عمیق، افق کلسیک |
| | Haplocambids | خشک، اریدیک | رسوبات مارنی | مرتع | هموار | عمیق، افق کمبیک |
| | Petrocalcids | نیمه‌خشک، زریک خشک | رسوبات یخچالی | مرتع | شیب‌دار | عمیق، افق پتروکلسیک |
| | Xerorthents | نیمه‌خشک، زریک خشک | توف | مرتع | پرشیب | کم‌عمق، افق اکریک |

| منطقه، مختصات، تعداد خاک‌رخ، وسعت (هکتار)، نویسنده، سال | طبقه‌بندی خاک USDA (2014) (گروه بزرگ) | اقلیم و رژیم رطوبتی خاک | مواد مادری | پوشش گیاهی/کاربری | شیب و توپوگرافی | صفات غالب خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Haploxerands | نیمه‌خشک، زریک خشک | توف | مرتع | پرشیب | نیمه عمیق، خاصیت اندیک |
| پالایشگاه ری (36 N, 50.75 E)، ۷، ۱۰۰، Asadi Alasvand, (2014) | Calcigypsids | خشک، اریدیک | آبرفت مارنی | محل دفع مواد نفتی | هموار | آلودگی نفتی، جیپسیک |
| | Aquicambids | خشک، اریدیک | آبرفت مارنی | محل دفع مواد نفتی | هموار | آلودگی نفتی، جیپسیک |
| | Haplocalcids | خشک، اریدیک | آبرفت مارنی | محل دفع مواد نفتی | هموار | آلودگی نفتی، جیپسیک |
| توشن (36.79 N, 51.41 E)، ۱۵، ۸۰۰، Ajami (2016) | Calcixerepts | نیمه‌مرطوب، زریک | بادرفت و آبرفت | زراعت | شیب‌دار | عمیق، افق کلسیک |
| | Haploxerepts | نیمه‌مرطوب، زریک | بادرفت و آبرفت | زراعت | شیب‌دار | عمیق، افق کمبیک |
| | Haploxeralfs | نیمه‌مرطوب، زریک | بادرفت (لس) | جنگل | شیب تند | عمیق، افق آرجیلیک |
| | Haploxerepts | نیمه‌مرطوب، زریک | بادرفت (لس) | جنگل | شیب تند | عمیق، افق آرجیلیک |
| مرزن‌آباد (36.43 N, 51.32 E)، ۵۶، ۱۰۰، Osat (2016) | Haploxeralfs | نیمه‌خشک، زریک خشک | سنگ آهک | مرتع و جنگل | شیب‌دار | عمیق، افق آرجیلیک |
| | Argixerolls | نیمه‌خشک، زریک خشک | سنگ‌های آذرین | مرتع و جنگل | شیب تند | عمیق، آرجیلیک، مالیک |
| | Haploxerolls | نیمه‌خشک، زریک خشک | سنگ‌های آذرین | مرتع و جنگل | شیب تند | عمیق، افق مالیک |
| | Calcixerolls | نیمه‌خشک، زریک خشک | سنگ آهک | مرتع و جنگل | شیب‌دار | عمیق، مالیک و کلسیک |
| | Calcixerepts | نیمه‌خشک، زریک خشک | آذرین و سنگ آهک | چراگاه فصلی | متغیر | عمیق، افق کلسیک |
| | Haploxerepts | نیمه‌خشک، زریک خشک | رسوبات ریزبافت | زراعت | متغیر | افق کمبیک |
| | Xerorthents | نیمه‌خشک، زریک خشک | مختلط | مرتع | متغیر | بسیار کم‌عمق |
| گیلان (36.85 N, 49.56 E)، ۲۷، ۱۵۰۰، Raheb (2017)، Karimzadeh (2019) | Calcixerolls | نیمه‌مرطوب، زریک | بازالت | مرتع | شیب تند | افق کلسیک و مالیک |
| | Haploxerepts | نیمه‌مرطوب، زریک | بازالت | مرتع | شیب تند | افق کمبیک |
| | Calcixerepts | نیمه‌مرطوب، زریک | بازالت | مرتع | شیب تند | افق کلسیک |
| مزرعه (36 N, 50.75 E)، ۳۲، ۲۵۰، Mohseni (2018) | Xerorthents | نیمه‌خشک، زریک | رسوبات ریزبافت | زراعت | هموار | عمیق، افق کمبیک |
| | Haploxerepts | نیمه‌خشک، زریک | رسوبات ریزبافت | زراعت | هموار | عمیق، افق کمبیک |
| ایوانکی (51.97 E 35.33 N, ۸، ۲۵۰، Jahanbazi (2021) | Haplosalids | خشک، اریدیک | آبرفت | باغ | هموار | افق سالیک |
| | Torrifluvents | خشک، اریدیک | آبرفت | باغ | هموار | عمیق، قطعات سنگی زیاد |
| | Torriorthents | خشک، اریدیک | آبرفت | باغ | هموار | عمیق، مارنی |
| | Haplocambids | خشک، اریدیک | آبرفت | باغ | هموار | عمیق، مارنی |
| گمیشان (37.30 N,54.23 E)، ۸۰، ۵۰۰۰۰، Samieifard (2021) | Hydraquents | نیمه‌خشک، زریک خشک | رسوبات دریاچه‌ای | چراگاه فصلی | هموار | عمیق، شکاف‌های دایمی |
| | Fluvaquents | نیمه‌خشک، زریک خشک | رسوبات دریاچه‌ای | چراگاه فصلی | هموار | عمیق، با لایه‌بندی |
| | Endoaquents | نیمه‌خشک، زریک | رسوبات دریاچه‌ای | چراگاه فصلی | هموار | عمیق، با لایه‌بندی |

| منطقه، مختصات، تعداد خاک‌رخ، وسعت (هکتار)، نویسنده، سال | طبقه‌بندی خاک USDA (2014) (گروه بزرگ) | اقلیم و رژیم رطوبتی خاک | مواد مادری | پوشش گیاهی/کاربری | شیب و توپوگرافی | صفات غالب خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | خشک | | | | |
| | Endoaquepts | نیمه‌خشک، زریک خشک | رسوبات دریاچه‌ای | زراعت و مرتع | هموار | عمیق، افق کمبیک |
| | Calcixerepts | نیمه‌خشک، زریک خشک | رسوبات دریاچه‌ای | زراعت و مرتع | هموار | عمیق، افق کمبیک |
| | Haploxerepts | نیمه‌خشک، زریک خشک | رسوبات دریاچه‌ای | زراعت و مرتع | هموار | عمیق، افق کمبیک |
| | Haplaquepts | نیمه‌خشک، زریک خشک | رسوبات دریاچه‌ای | زراعت و مرتع | هموار | شور، افق کمبیک |

**تجزیه‌های آزمایشگاهی**

جدول ۲ مواد و روش‌های به‌کاررفته در هر یک از مطالعات انجام شده را ارائه نموده است. در کلیه مطالعات انجام شده، اولین گام تهیه نقشه واحدهای همگن از نظر زمین‌شناسی، اقلیم، پوشش گیاهی، توپوگرافی و زمان با استفاده از روش ژئوپدولوژی بود (Zinck et al., 2016). تشریح مورفولوژی خاک بر اساس روش استاندارد (Soil Survey Staff, 2017) انجام و رده‌بندی خاک‌ها هم بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی خاک (Soil Survey Staff, 2014) انجام و اندازه‌گیری خصوصیات روتین شامل قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، واکنش خاک (pH)، کربنات کلسیم معادل (CCE)، کربن آلی (OC)، توزیع اندازه ذرات (Clay، Silt، Sand) انجام شد. علاوه بر خصوصیات روتین در هر مطالعه متناسب با موضوع تحقیق و اهداف مطالعه از روش‌های اختصاصی نیز استفاده شد (جدول ۲). ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) و مطالعات کانی‌شناسی رس با استفاده از دستگاه XRD از مطالعات اختصاصی انجام شده در اغلب مطالعات بوده است (جدول ۲). تهیه مقاطع نازک بر اساس روش Murphy (19866) و تشریح مقاطع نازک بر اساس روش Stoops (2003) از دیگر مواردی است که در اغلب خاکرخ‌های موردمطالعه برای تکمیل اطلاعات مورفولوژیکی انجام شده است. تکنیک رنگ‌آمیزی در شناسایی کربنات‌ها، استفاده از تکنیک حذف کربنات‌ها، حذف اشکال مختلف آهن با تیمارهای اگزالات آمونیوم، دی‌تیونات سیترات، اسید نیتریک، استفاده از هیپوکلریت سدیم و کمی کردن مقدار ماده آلی با آنالیز تصویر از دیگر روش‌های استفاده شده در مطالعه مقاطع نازک بود. تلقیح با ماده فلورسنت و تصویربرداری با استفاده از روش مقاطع متوالی با نور ماورای بنفش نیز از دیگر روش‌های مورداستفاده در مطالعات میکرو مورفولوژی بود. استفاده از روش‌های اولترا میکروسکوپی TEM، SEM و EDS در موارد ضروری برای شناسایی کانی‌های آلوفانی، پالی‌گورسکایت و همچنین تعیین عناصر تشکیل‌دهنده آنها (Stoops, 2003) استفاده شده است (جدول ۲). اندازه‌گیری فرم‌های مختلف آهن و استفاده از آنالیز تصویر در اندازه‌گیری آنها، مقایسه قابلیت دو نرم‌افزار Image J و AnalySIS در بررسی تخلخل خاک، مورفولوژی حفرات و بررسی عوارض خاک‌ساخت ناشی از شرایط اکوئیک بخش دیگری از مطالعات انجام شده دراین‌رابطه بوده است. تعیین حدود آتربرگ در خاک‌های ورتی‌سول و خاک‌های دارای آلودگی نفتی برای تعیین مقاومت مکانیکی آنها در برابر جریان یافتن و یا لغزش و حرکت توده‌ای از دیگر آزمایش‌هایی بود که بر اساس روش استاندارد صورت گرفت (ASTM, 2000). جزءبه‌جزء کردن کربن آلی خاک با روش‌های فیزیکی و شیمیایی (Gregorich et al., 2006) در مطالعات ذی‌ربط انجام شد. جداسازی عوارض اکسید و احیایی و آنالیز آنها برای تعیین غلظت عناصر سنگین در آنها با روش میکروپروب صورت گرفت. اندازه‌گیری تنفس خاک در صحرا با روش خنثی‌سازی با کلرید باریم، سن‌یابی ایزوتوپ کربن ۱۴ و تعیین تأثیر تغییر کاربری جنگل بر تغییرات کربن آلی خاک از دیگر آزمایش‌های ضروری در این مطالعات بودند. تعیین درصد کربنات فعال و مقایسه آن با کربنات کل خاک به‌منظور تعیین نقش کربنات‌ها در خصوصیات شیمیایی و حاصلخیزی خاک صورت پذیرفت. روش رده‌بندی عددی خاک‌رخ‌ها و محاسبه شاخص اندرسون (Zinck, 1989) و مقایسه روند تکاملی خاک‌ها و تهیه دندروگرام‌های آنها برای شناسایی گروه‌های مختلف خاک انجام شد. تعیین آرسنیک با روش آکوا رژیا (USEPA, 1996) در خاک و آب با کوره گرافیتی برای تعیین آلودگی خاک‌ها و آب‌های موردمطالعه به آرسنیک انجام شد. تیمار خاک‌های دارای خاصیت اندیک و پودر سنگ‌های توف در دوره شش‌ماهه در رطوبت FC و دمای ۲۵ درجه سلسیوس

به‌منظور تعیین قابلیت تثبیت مواد آلی در آنها صورت پذیرفت. تثبیت فسفر که از محدودیت‌های اصلی اندی‌سول‌ها محسوب می‌شود در ۱۵ نمونه از ۸ خاک‌رخ اندیک (بیش از ۵ درصد شیشه آتشفشان، تثبیت فسفر بیش از ۲۵ درصد، pH NaF بیش از ۸/۶ و AlO+1/2FeO <۰/۴) و غیراندیک موردمطالعه قرار گرفت. جزءبندی فسفر قابل‌دسترس، معدنی، آلی و زیستی خاک در کاربری‌های جنگل پهن برگ، جنگل سوزنی برگ و مرتع با عصاره‌گیری متوالی انجام شد. برآورد ذخیره کربن آلی و تأثیر جهت شیب، ارتفاع و درجه شیب بر میزان ذخیره کربن آلی و غیرآلی و کربن کل در برخی مطالعات انجام گردید (عجمی، ۱۳۹۵). تفکیک واحدهای نقشه خاک در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰بر اساس خصوصیات زیرسطحی، تعیین شاخص‌های ژئوشیمیایی و روابط آنها با کلاس‌های طبقه‌بندی خاک، اشکال مختلف آهن، محاسبه شاخص‌های تکامل خاک، پذیرفتاری مغناطیسی، تجزیه عنصری خاک با XRF، تهیه نقشه ژئوپدولوژی، و تعیین تغییرپذیری خاک‌ها توسط Osat (2016) انجام شد. خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و میکرو مورفولوژیکی خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ بستر بازالت در یک ردیف اقلیمی (کلیموسکانس) خشک، نیمه‌خشک تا نیمه-مرطوب و تعیین میزان کربن آلی، غیرآلی و کربن کل ذخیره شده در خاک‌ها توسط Raheb (2017) تعیین گردید. تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک بر اساس روش‌های استاندارد و تهیه نقشه‌های زمانی و مکانی شوری خاک و تعیین شاخص‌های شوری و قلیاییت توسط Jahanbazi (2020) تعیین شد. روش ژئوپدولوژی و تفکیک لندفرم‌ها و فازهای لندفرم در دشت ساحلی و لسی گمیشان بر اساس توزیع اندازه ذرات، و تعیین اشکال مختلف آهن، تهیه تجزیه‌های طیفی NIR-SWI، تهیه نقشه توزیع اندازه ذرات در شش عمق مختلف و تعیین دوره‌های پیش‌روی و پس‌روی آب دریای خزر توسط Samieifard (2021) انجام پذیرفت.

## نتایج

### کلاس‌های خاک

تنوع عوامل خاکسازی (اقلیم، پوشش گیاهی - کاربری اراضی و تغییرات کاربری اراضی، مواد مادری، پستی‌وبلندی، زمان و انسان) در ایران باعث شده است که خاک‌های بسیار متنوعی در کشور شکل بگیرند. بخش عمده عوامل خاکسازی در مناطق موردمطالعه در جدول ۱ خلاصه شده است. بسته به فرایندهای خاک‌سازی موجود در هر منطقه، خصوصیات و افق‌های مشخصه متعددی در خاک‌های موردمطالعه شناسایی شدند. خصوصیات ورتیک، خصوصیات اندیک، خصوصیات ویتراندیک، خصوصیات فلونتیک، افق‌های کمبیک، کلسیک، پتروکلسیک، پتروجیپسیک، جیپسیک، پتروسالیک، آرجیلیک، مالیک، اکریک، عوارض اکسید - احیایی و شرایط احیایی از مشخصات مشاهده شده در خاک‌های موردمطالعه می‌باشند که به‌صورت تکی یا چندتایی و هم‌زمان در خاکرخ‌های مطالعه شده دیده شدند (جدول ۱). طبیعی است که در تشکیل هر یک از خصوصیات و افق‌های مشخصه مذکور فرایندهای خاکسازی متعددی دخالت دارند که در ادامه موردبحث قرار خواهند گرفت. بر اساس خصوصیات و عوارض مشاهده شده، خاک‌های موردمطالعه در ۷ رده مختلف انتی‌سول، اینسپتی‌سول، اریدی‌سول، مالی‌سول، آلفی‌سول، اندی‌سول و ورتی‌سول رده‌بندی شدند. تحت رده‌های Orthents، Psamments، Fluvents و Aquents از رده انتی‌سول شناسایی شده‌اند که از میان آنها Orthents فراوان‌ترین تحت رده است و نشان‌دهنده آن است که انتی‌سول‌های موردمطالعه در سطوح ژئومورفیک فرسایشی واقع شده‌اند. Psamments و Aquents شناسایی شده عمدتاً در سواحل دریای مازندران واقع شده‌اند ولی Fluvents عمدتاً در دشت‌های رسوبی واقع شده‌اند. گروه‌های بزرگ تعیین شده برای آنها در جدول ۱ آورده شده است. از تحت رده‌های اینسپتی‌سول هم Aquepts، Xerepts و Ustepts در خاک‌های موردمطالعه شناسایی شدند که تحت رده Xerepts غالب‌ترین بوده و دو تحت رده دیگر وسعت چندانی نداشتند. از میان تحت رده‌های اریدی‌سول، Salids، Calcids، Cambids، Argids و Gypsids در محدوده موردمطالعه دیده شدند تحت رده‌های Calcids و Cambids فراوان‌ترین پراکنش را دارند. در مالی‌سول‌ها هم تحت رده‌های Xerolls، Aquolls و Rendolls در مناطق وجود دارند که تحت رده Xerolls بیشترین وسعت را دارد. Xerands تنها تحت رده مشاهده شده از رده اندی‌سول‌ها می‌باشند. از رده ورتی‌سول، تحت رده‌های Xererts و Usterts در این مطالعه تشریح و طبقه‌بندی شدند. در نهایت از رده آلفی‌سول هم تحت رده‌های Udalfs، Xeralfs و Aqualfs مشاهده شدند که تحت رده Udalfs وسعت بیشتری داشت. کلاس‌های گروه بزرگ در سامانه رده‌بندی آمریکایی (Soil Survey Staff, 2014) علاوه بر افق‌های مشخصه موجود در این خاک‌ها و رژیم رطوبتی حاکم بر آنها، افق‌های مشخصه و یا خصوصیات در درجه دوم اهمیت مدیریتی خاک‌ها را نیز نشان می‌دهد (جدول ۱). رده‌بندی کامل خاک‌های موردمطالعه تا سطح فامیل در مقاله‌ها، پایان‌نامه‌ها و یا رساله‌های قید شده در جدول ۱ قابل‌دسترسی است.

### مورفولوژی خاک

عوارض مورفولوژیکی متنوعی در خاک‌های مطالعه شده وجود

دارند که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به ضخامت خاک اشاره نمود. باتوجه‌به خصوصیات توپوگرافی و فرسایش و رسوب حاکم در مناطق، خاک‌های کم‌عمق در زیرگروه‌های Lithic (زیرگروه‌ها در این مقاله ارائه نشده‌اند) از وسیع‌ترین خاک‌ها بودند. از میان عوارض مورفولوژیکی افق‌های سطحی می‌توان به افق‌های اکریک و مالیک و همچنین افق آنتروپیک اشاره نمود که افق اکریک غالب‌ترین افق سطح‌الارضی در این مطالعات و در کل ایران است. از افق‌های مشخصه زیرسطحی، افق‌های کمبیک که مراحل اولیه انتقال یا تجمع مواد را نشان می‌دهد و عمدتاً در رده اینسپتی‌سول و اریدی‌سول دیده می‌شود از گسترده‌ترین عوارض است. افق کلسیک که نشان‌دهنده تجمع کربنات‌های ثانویه ناپیوسته به مقدار کافی در اعماق ۱ متری از سطح خاک است، وسیع‌ترین خصوصیت مورفولوژیکی مشاهده شده در همه رده‌های موردمطالعه (اینسپتی‌سول، اریدی‌سول، مالی‌سول، آلفی‌سول، اندی‌سول و ورتی‌سول) به‌غیراز انتی‌سول‌ها، ممکن است دیده شود. افق پتروکلسیک که حاصل تجمع کربنات‌های ثانویه پیوسته و سیمانی شده است، عمدتاً در خاک‌های تشکیل شده بر روی رسوبات یخچالی دیده شدند. افق‌های آرجیلیک در آلفی‌سول‌ها (دارای رژیم رطوبتی یودیک، زریک و اکوییک) و اریدی‌سول‌ها دیده شدند که در واقع دو اقلیم متضاد موجود در منطقه هستند و در مناطق هموار و دشت‌های واقع در مناطق خشک علاوه بر افق آرجیلیک افق ناتریک هم دیده شده است. افق‌های سالیک، پتروسالیک (سامانه WRB) و پتروجیپسک از دیگر خصوصیات مهم مورفولوژیکی موجود در مناطق خشک هستند. افق‌های آرجیلیک موجود در آلفی‌سول‌های واقع در رژیم رطوبتی یودیک و اکوییک دارای عوارض بسیار بارز اکسید احیایی هستند ولی در مناطق دارای رژیم رطوبتی زریک عوارض اکسید احیایی چندان واضح نیستند. خصوصیات اندیک و ویتراندیک منحصراً در خاک‌های توسعه‌یافته بر روی توف و رژیم رطوبتی زریک دیده شدند. خصوصیات ورتیک (درز و شکاف‌های عمیق، اسلیکن‌ساید، ساختمان گوه‌ای و درصد رس بیش از ۳۰ درصد) مشاهده شده در این مطالعه عمدتاً در اقلیم‌های زریک و یوستیک واقع شده‌اند که عمدتاً دارای افق‌های کلسیک و جیپسیک یا کمبیک هستند. آب زیرزمینی بالا و شرایط احیایی و اکسید - احیایی از دیگر عوارض مشاهده شده در خاک‌های دارای رژیم رطوبتی اکوییک و یا دارای شرایط اکوییک هستند. نهشته‌های لسی و مورفولوژی مواد مادری یخچالی از عوارض و خصوصیاتی هستند که در خاک‌های موردمطالعه وجود دارند و در مناطق موردمطالعه گزارش شده‌اند (جدول ۱).

**میکرو مورفولوژی خاک**

تهیه و مطالعه مقاطع نازک در مطالعات پیدایش و رده‌بندی خاک بسیار مهم و حائز اهمیت است و در بسیاری از موارد بدون در اختیار داشتن این نتایج مطالعات میکرو مورفولوژی امکان تفسیر سایر نتایج و رده‌بندی صحیح خاک‌ها میسر نخواهد شد. جدول ۲ نتایج تشریح و رده‌بندی مقاطع نازک خاک را در موارد انجام شده نشان می‌دهد. میکرو مورفولوژی مقاطع نازک خاک‌های گچی (Heidari, 1995; Moghiseh, 2005) نتایج بسیار مهمی را در خصوص نحوه تشکیل و طبقه‌بندی این خاک‌ها و نقش گچ در ظهور و بروز خصوصیات موفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی این خاک‌ها نشان داد. مطالعه مقاطع نازک ورتی‌سول‌های مناطق مختلف اقلیمی (اردبیل، کرمانشاه، لرستان و فارس) ساختمان میکروسکوپی گوه‌ای، اسلیکن‌سایدها، و عوارض توسعه‌یافته ناشی از انقباض و انبساط شدید و توسعه شکاف‌ها، و عوارض اکسید و احیا و تجمعات گچ و کربنات ثانویه را مشخص نمود (Heidari, 2003). Raheb(2010) خصوصیات میکرومورفولوژیکی و خصوصیات اکسایشی و کاهشی اشکال مختلف آهن و منگنز را با استفاده از نرم‌افزارهای آنالیز تصویر Image J و AnalySIS در نمونه‌های دست‌نخورده مطالعه کرد. نتایج میکرو مورفولوژیکی نشان داد که تغییر کاربری از شالیزار به باغ کیوی موجب افزایش تخلخل شده و در نتیجه رفع شرایط اشباع سطحی خاک و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها موجب تشکیل اشکال با تبلور بیشتر آهن می‌شود. نتایج آنالیز تصویر مؤید وجود لایه گلخراب در خاک‌های شالیزاری و وجود تخلخل بالاتر در اراضی زیر کشت کیوی می‌باشد. مطالعات میکرو مورفولوژیکی توسط Moradi (2010) نشان داد که بخش عمده کربنات‌های موجود در خاک‌های اریدی‌سول و اینسپتی‌سول خصوصاً در افق‌های فوقانی از کربنات‌های پدوژنیک بوده و عمدتاً به‌صورت توده‌ها، گرهک های تلقیحی و پوشش‌های کربناته می‌باشند. مطالعات میکرو مورفولوژی اشکال مختلف ترکیبات نفتی در خاک، از جمله مناطق تخلیه شده در حاشیه‌های خاکدانه‌ها، پوشش‌های در امتداد سطح و زیرسطحی و همچنین حرکت افقی و عمودی ترکیبات نفتی در درون خاک را نشان داد (Asadi, 2014). Shiravi (2016) اجزاء مختلف تشکیل‌دهنده مواد آلی را بر اساس خصوصیات میکرو مورفولوژیکی بررسی نمود و درصد مواد آلی تازه، نیمه تجزیه‌یافته و تجزیه یافته را بر اساس آنالیز تصویر تعیین نمود. در بخش دوم کار Shiravi (2016) به شناسایی انواع کربنات‌ها بر اساس رنگ‌آمیزی و تشریح کامل میکرو مورفولوژی خاک‌های موردمطالعه پرداخت. نتایج نشان داد که توسعه و تشکیل پوشش‌های رسی در این خاک‌ها که بر روی سنگ بستر

آهکی تشکیل شده‌اند بعد از انتقال کربنات‌ها صورت‌گرفته است و عوارض مرکب متشکل از پوشش‌های رسی بر روی پوشش‌های آهکی مؤید آن بود. Karimzadeh (2019) در تناقض با نتایج حاصله Shiravi (2016)، عوارض میکرو مورفولوژی مرکبی را گزارش داد که پوشش‌های کربناتی بر روی پوشش‌های رسی قرار دارند که مؤید افزایش رسوبات بادی ثانویه به این خاک‌ها بود که علی‌رغم توسعه درجا، پلی ژنتیک هستند. مطالعه Karimzadeh (2019) نشان داد که هوادیدگی بازالت درصد رس زیادی تولید کرده است و پوشش‌های رسی ضخیم و فراوان در اعماق این خاک‌ها، تکامل سریع خاک بر روی بازالت را تأیید می‌نماید.

**خصوصیات فیزیکی و شیمیایی**

خصوصیات عمومی اندازه‌گیری شده دامنه وسیعی از تغییرات را در بر می‌گیرند که نتایج آنها در جدول ۲ آمده است. قابلیت هدایت الکتریکی در خاک‌های موردمطالعه از ۰/۲ تا ۲۱۰ dS/m متغیر بود. در عمده خاک‌رخ‌ها، EC اندازه‌گیری شده کمتر از ۴ dS/m می‌باشد. در خاک‌های گچی غیر شور EC به بیش از ۳ dS/m نرسیده است (Heidari, 1995) درحالی‌که در خاک‌های گچی حاوی املاح محلول EC بین ۲۵ تا ۱۸۹ dS/m متغیر بود (Moghiseh, 2005). در مورد خاک‌های تشکیل شده بر روی مارن‌های شور منطقه اشتهارد حداکثر EC معادل ۲۱۰ dS/m به دست آمد. خاک‌های مطالعه شده در منطقه ایوانکی با حداکثر ۱۵۴ dS/m (Jahanbazi, 2020) و خاک‌های توسعه‌یافته بر روی دشت ساحلی گمیشان با EC ۱۰۶ dS/m (Samieifard, 2021) در مراتب بعدی قرار دارند. به‌غیراز موارد فوق، مناطق جنگلی و همچنین دشت‌های آبرفتی زیر کشت، عمدتاً دارای EC کمتر از ۴ dS/m بوده و محدودیتی از این نظر ندارند (جدول ۲). pH عصاره اشباع در خاک‌رخ‌ها و نمونه‌های موردمطالعه بین حداقل ۶/۶ در خاک‌های تشکیل شده بر روی توف‌های سبز کرج و خاک‌های جنگلی خیرودکنار تا حداکثر ۸/۶ در خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ بازالت و آهکی متغیر است (جدول ۲). مقدار کربنات کلسیم معادل (CCE) در خاک‌های آلفی‌سول جنگل خیرود کنار و خاک‌های اندی‌سول تشکیل شده بر روی توف‌ها صفر بود ولی درصد CCE در اغلب خاک‌ها در محدوده ۱۰ تا ۳۰ درصد قرار دارد و حداکثر آن ۶۴ درصد (Moradi, 2010) در سنگ آهک هوادیده تعیین شده است. میزان کربن آلی در افق‌های زیرسطحی خاک‌های موردمطالعه عمدتاً زیر ۱ درصد می‌باشد ولی در افق‌های سطحی بسته به نوع پوشش گیاهی و نوع کاربری ۶/۷ درصد (Raheb, 2012) در شالیزارهای رامسر و ۵/۵ درصد (Ajami, 2016) در پوشش جنگلی توشن به دست آمد. مقدار کربن آلی در اندی‌سول‌های موردمطالعه به طور قابل‌توجهی از متوسط خاک‌ها بیشتر بود (جدول ۲). تعیین بافت خاک و توزیع اندازه ذرات در خاک‌های گچی و بسیار شور به روش هیدرومتر معمولی قابل‌اندازه‌گیری نبود ولی در خاک‌هایی که اندازه‌گیری انجام شده است دامنه تغییرات باتوجه‌به تنوع مواد مادری و محیط‌های تشکیل خاک بسیار گسترده بود. درصد رس بین ۲ درصد تا ۸۶ درصد، درصد سیلت از ۲ درصد تا ۸۶ درصد و درصد شن از ۲ درصد تا ۹۰ درصد متغیر بوده است (جدول ۲). در مورد خاک‌های گچی، خاک‌های دارای خاصیت اندیک و خاک‌های دارای آلودگی نفتی از روش پوشش با سولفات باریم و یا روش دیسپرس با دستگاه اولتراسوند استفاده شده است که در صورت لزوم به Heidari (1995)؛ Monajjem (2013)؛ Asadi (2014) مراجعه شود.

**کانی‌شناسی رس**

شناسایی کانی‌های رسی برای مطالعه نحوه تشکیل خاک، تعیین فامیل خاک و بررسی وضعیت حاصلخیزی و تغذیه گیاه ضروری می‌باشد. کانی‌شناسی رس در دو حالت پودری و یا رس خالص و جهت یافته توسط دستگاه XRD و یا به طور اختصاصی برای شناسایی کانی‌های دارای مورفولوژی خاص نظیر پالیگورسکایت (Heidari, 2003)، کائولینایت، اسمکتایت و آلوفان‌ها (Monajjem, 2013) صورت گرفت. مطالعات کانی‌شناسی تنوع زیادی در کانی‌شناسی خاک‌های موردمطالعه نشان داد. کلرایت انبساطی و پالی‌گورسکایت در خاک‌های گچی گیلان‌غرب (Heidari, 1995)؛ اسمکتایت، ورمیکولایت، ایلایت و پالی‌گورسکایت در ورتی‌سول‌های نقاط مختلف کشور (Heidari, 2003)؛ اسمکتایت، ورمیکولایت، ایلایت و کلرایت در خاک‌های استان البرز (Saeidi, 2017) و کلرایت، اسمکتایت، کائولینایت و ورمی‌کولایت در خاک‌های تشکیل شده بر روی توف (Hamzehee, 2013)؛ ایلایت، مونت موریلونایت، کائولینایت و کلرایت و ورمیکولایت (Moghiseh, 2005)؛ کانی رسی اسمکتایت و ایلایت و همچنین کانی‌های حاوی آرسنیک آنارژیت، رآلگار، آرسنوسولوانیت، آرسنولیت و اسفالریت و کبالتیت حاوی آرسنیک در نمونه‌های پودری (Nabiollahi, 2012) شناسایی شدند. آلوفان و فری‌هیدریت از دیگر کانی‌های شناسایی شده در خاک‌های تشکیل شده بر روی توف بودند (Monajjem, 2013). کانی‌های میکا، کلرایت، اسمکتایت و کائولینایت از کانی‌های رسی شناسایی شده در منطقه توشن بودند (Ajami, 2016).

**ذخیره کربن آلی و غیرآلی خاک**

Faghih (2010) و Osat (2010) وضعیت کربن آلی خاک را در

خاک‌های استان البرز مورد بررسی قرار دادند. بیشترین مقادیر ماده آلی در دامنه‌های شمالی و شمال غربی دیده شد، روابط کربنات و بی‌کربنات با ماده آلی بررسی شدند، با افزایش اندازه خاکدانه‌ها نسبت C/N هم افزایش یافت، نسبت C/N از انتهای فصل رشد تا ابتدای فصل رشد بعدی کاهشی بود، بیشترین میزان کربن آلی در کلاس اندازه‌ای کوچک‌تر از ۰/۵ mm مشاهده شد (جدول ۲). Moghiseh (2005) نشان داد که تغییر کاربری جنگل پهن‌برگ به سوزنی‌برگ و مرتع به ترتیب موجب افزایش و کاهش کربن آلی خاک شد. مطالعات FTIR نشان داد که ترکیبات آروماتیک در سوزنی‌برگ زیادتر بوده و موجب کاهش سرعت تجزیه آن می‌شود. مواد آلی کمتر در سطح خاک انتشار $CO_2$ را از مرتع کاهش داد. پایداری خاکدانه‌ها در جنگل پهن‌برگ بیشتر بود. پایداری خاکدانه‌ها با کاهش اندازه و افزایش کربن آلی افزایش یافت. میانگین مدت‌زمان پایداری (MRT) مواد آلی در جنگل پهن‌برگ ۴۴۶۷ – ۸۰۴ سال و سن کربن مدرن ۹۰-۵۷ سال، در جنگل سوزنی‌برگ ۴۴۱۰ – ۴۷۲ سال و سن کربن مدرن ۹۴-۵۷ سال و در مرتع ۱۶۵۹ – ۸۰۷ سال و سن کربن مدرن ۹۰-۸۱ سال بود (Moghiseh, 2005، جدول ۲). Ajami (2016) گزارش نمود که لایه سطحی (۳۰-۰cm) بیش از ۵۴ درصد تراکم کربن آلی را به خود اختصاص داده است. جنگل‌تراشی و کشاورزی بیش از ۴۸ درصد کربن آلی را کاهش داده است. نزدیک به نیمی از ذخیره کربن آلی در عمق ۳۰ تا ۱۰۰ cm قرار دارد. کاربری جنگل بیشترین مقدار ذخیره کربن را در ۱ متر فوقانی داشت (جدول ۲). نتایج Raheb (2017) نشان داد که کربن غیرآلی در هر سه اقلیم خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب بیشترین سهم از کربن کل خاک را دارا می‌باشد. ذخیره بیشتر کربن غیرآلی در منطقه خشک مؤید تأثیر اقلیم خشک در ذخیره کربن به‌صورت غیرآلی در این مناطق است. باتوجه‌به توسعه در جای این خاک‌ها، تنها منبع کربنات‌های آنها، $CO_2$ حاصل از فعالیت زیستی است (جدول ۲).

### ژئوشیمی خاک

Osat (2016) شاخص‌های مختلف تشکیل و رده‌بندی خاک‌ها را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که شاخص‌های توپوگرافی بیشترین همبستگی را با شاخص‌های تکامل و کلاس‌های رده-بندی خاک داشتند. شاخص هاردن از انتی‌سول به مالی‌سول و آلفی‌سول افزایش پیدا کرد. از میان شاخص‌های هوادیدگی ژئوشیمیایی شاخص WR بیشترین ضریب همبستگی را با کلاس-های طبقه‌بندی خاک نشان داد. آنالیز مؤلفه‌های اصلی PCA نشان داد که در تفکیک کلاس‌های طبقه‌بندی خاک، شاخص‌های ژئوشیمیایی تکامل و توپوگرافی عوامل اصلی هستند. نتایج Raheb (2017) و Heidari and Raheb (2020) نشان داد که تغییرات نامنظم نتایج ژئوشیمیایی و عوارض میکرو مورفولوژی مرکبی شامل پوشش‌های کربناتی بر روی پوشش‌های رسی، مؤید افزوده شدن رسوبات بادی ثانویه به این خاک‌ها بود که علی‌رغم توسعه درجا پلی ژنتیک هستند. هوادیدگی بازالت درصد رس زیادی تولید کرده است که آرجیلان‌های ضخیم و فراوان در اعماق این خاک‌ها تکامل سریع خاک بر روی بازالت را تأیید می‌نماید. در این مطالعه شاخص هوادیدگی پارکر (WIP) مناسب‌ترین شاخص برای تفسیر پیدایش خاک‌های موردمطالعه تشخیص داده شد (جدول ۲).

**جدول ۲- مواد و روش‌ها، نتایج کلی به‌دست‌آمده و دامنه تغییرات خصوصیات عمومی خاک**

| نام منطقه، مختصات، تعداد خاک‌رخ، وسعت (هکتار)، نویسنده، سال | نتایج کلی | دامنه تغییرات خصوصیات عمومی | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | EC dS/m | pH | CCE | OC | Clay | Silt | Sand |
| | | | | % | | | | |
| گیلانغرب (34.1 N, 45.73 E)، ۱۱، ۱۲۰۰۰، Heidari (1995) | توزیع ناهمگن گچ پدوژنیک و ژئوژنیک به‌صورت توأم، رژیم رطوبتی یوستیک منطقه خاک‌ها را به رده اینسپتی‌سول برده است که محدودیت‌ها و خصوصیات واقعی این خاک‌ها را نشان نمی‌دهند. به نظر می‌رسد رده‌بندی آمریکایی قابلیت توصیف این خاک‌ها را دارا نمی‌باشد. برخلاف سایر خاک‌ها در خاک‌های گچی رابطه منطقی بین بافت خاک با خصوصیاتی از قبیل وضعیت تغذیه‌ای، رطوبت قابل وصول و غیره برقرار نیست. تعیین بافت خاک با حذف گچ موجب انتقال کلاس بافت به کلاس‌های ریز بافت‌تر شد. تعیین بافت در چنین خاک‌هایی کاربرد مدیریتی ندارد. آستانه تأثیر گچ حدوداً ۳ | ۰/۵-۳ | ۸/۳- ۷/۶ | ۱۵-۴۴ | ۰/۱-۰/۷ | ND | ND | ND |

| نام منطقه، مختصات، تعداد خاک‌رخ، وسعت (هکتار)، نویسنده، سال | نتایج کلی | دامنه تغییرات خصوصیات عمومی | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | EC dS/m | pH | CCE | OC | Clay | Silt | Sand |
| | | | | | % | | | |
| | درصد تعیین شد. روش استون در مقایسه با سایر روش‌ها گچ را کمتر برآورد می‌کند. در مقادیر بیش از ۵ درصد گچ CEC با گچ رابطه منفی داشت. همچنین مقدار کربنات‌ها با افزایش گچ کاهش یافت. کانی‌های رسی عمدتاً از نوع کلریت انبساطی و پالی‌گورسکایت بود. اشکال متعدد گچ پدوژنیک و ژئوژنیک در مقاطع مشاهده شد. | | | | | | | |
| اردبیل (E 38.30 N, 48.55)، ۱۲، ۱۰۰۰۰، Heidari (2003) | دارای خاصیت ورتیک و در برخی موارد مواد مادری لایه لایه است ولی صفت Fluventic در زیرگروه نیامده است. یکی از ویژگی‌های خاک‌های ورتیک است. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها (CECs) بین ۱۳/۶۴ تا ۴۵/۶۵ $cmol_c kg^{-1}$ و ظرفیت تبادل کاتیونی رس‌ها (CECc ) در محدوده ۳۸/۱۳ تا ۷۸/۴۰ $cmol_c kg^{-1}$ است. مینرالوژی اسمکتیتیک و شرایط زهکشی ضعیف. عوارض میکرو مورفولوژیکی مؤید وجود نیروهای برشی نسبتاً قوی در این خاک‌ها می‌باشد. انتقال کربنات‌ها در این خاک‌ها یکی از عمده‌ترین فرایندهای فعال در این خاک‌ها می‌باشد. | ۴/۷- ۰/۳ در یک نیمرخ تا ۱۸ | ۵ | ۰-۳۰ اغلب فاقد CCE | ۵/۴- ۰/۰۳ | ۶۸- ۸ لایه لایه | ۴۱-۵ | ۷۸-۴ |
| کرمانشاه ( 34.5 N, 46.6 E)، ۲۲، ۲۰۰۰۰، Heidari (2003) | دارای خاصیت ورتیک و اغلب در قسمت میانی خاک‌رخ کربن آلی افزایش و سپس کاهش یافته (به علت self swallowing) ولی صفت Fluventic در زیرگروه نیامده است. . یکی از ویژگی‌های خاک‌های ورتیک است. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها (CECs) بین۱۱/۷۱ تا ۳۷/۵۴ $cmol_c kg^{-1}$ و ظرفیت تبادل کاتیونی رس‌ها (CECc ) در محدوده ۳۸/۴۶ تا ۶۵/۴۹ $cmol_c kg^{-1}$ است. عوارض میکرو مورفولوژیکی مؤید وجود نیروهای برشی نسبتاً قوی در این خاک‌ها می باشد. انتقال کربنات‌ها در این خاک‌ها یکی از عمده‌ترین فرایندهای فعال در این خاک‌ها می‌باشد. | کمتر از ۲ در یک مورد تا ۶ | ۸/۲-۷ | ۰-۴۳ عمدتاً بالاتر از ۲۰ | ۱/۹- ۰/۴ | ۸۰- ۲۲ | ۴۷- ۱۴ | ۲۰-۲ در مواردی ۴۴ |
| لرستان ( 34. 1 N, 48.2 E)، ۱۰، ۱۰۰۰، Heidari (2003) | دارای خاصیت ورتیک و اغلب در قسمت میانی خاک‌رخ کربن آلی افزایش و سپس کاهش یافته (به علت self swallowing) ولی صفت Fluventic در زیرگروه نیامده است. یکی از ویژگی‌های خاک‌های ورتیک است. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها (CECs) بین۱۸/۷۱ تا ۳۰/۲۲ $cmol_c kg^{-1}$ و ظرفیت تبادل کاتیونی رس‌ها (CECc ) در محدوده ۴۵/۴۴ تا ۵۶/۲۴ $cmol_c kg^{-1}$ است. عوارض میکرو مورفولوژیکی مؤید وجود نیروهای برشی نسبتاً قوی در این خاک‌ها می‌باشد. انتقال کربنات‌ها در این خاک‌ها یکی از عمده‌ترین فرایندهای فعال در این خاک‌ها می‌باشد. | ۱/۴- ۰/۲ | ۸/۴- ۷/۱ | ۴۵-۷ | ۴/۷- ۰/۴ عمدتاً کمتر از ۱ | ۶۸- ۵۱ | ۳۶- ۱۹ | ۲۱-۷ |
| فارس ( 27.9 N, 54.4 E)، ۹، ۱۰۰۰۰، Heidari (2003) | دارای خاصیت ورتیک ولی صفت Fluventic در زیرگروه نیامده است. یکی از ویژگی‌های خاک‌های ورتیک است. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها | ۲۸- ۰/۳ | ۸-۷ | ۴۲-۲۰ | ۰/۹- ۰/۳ در | ۸۶- ۳۰ | ۵۱- ۱۰ | ۳۵-۳ عمدتاً کمتر از |

| نام منطقه، مختصات، تعداد خاک‌رخ، وسعت (هکتار)، نویسنده، سال | نتایج کلی | دامنه تغییرات خصوصیات عمومی | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | EC dS/m | pH | CCE | OC | Clay | Silt | Sand |
| | | | | | % | | | |
| | (CECs) علی‌رغم مقادیر زیاد رس (جدول۳-۳-۱) بین ۷/۲۷ تا ۱۶/۵۶ $cmol_c kg^{-1}$ می‌باشد که این نکته به خوبی با ظرفیت تبادل کاتیونی پایین رس ها (CECc ) که در محدوده ۲۵/۴۶ تا ۴۴/۵۶ $cmol_c kg^{-1}$ است، ارتباط دارد. عوارض میکرو مورفولوژیکی مؤید وجود نیروهای برشی نسبتاً قوی در این خاک‌ها می‌باشد. انتقال کربنات‌ها در این خاک‌ها یکی از عمده‌ترین فرایندهای فعال در این خاک‌ها می‌باشد. | | | موارد نامنظم است | | | ۱۰ |
| کرمانشاه (46.6 E 34.5 N, )، ۲۲، ۲۰۰۰۰، Heidari (2003) | خاک‌های Petrogypsic Haplosalids و Petrosalic Solonchaks با کراست سطحی آنهیدریت شناسایی شدند. میکرو مورفولوژی و اولترا میکروسکوپی مقاطع نازک و کانی‌شناسی نشان از جریان‌های متناوب رو به پایین و رو به بالا در این خاک‌ها می‌باشد. | -۱۸۹ ۲۵ | -۸/۷ ۷/۷ | ۱-۱۶ | ۰-۰,۱۶ | ۹-۴۳ | -۵۹ ۲ | ۱۸-۷۶ |
| البرز (35.80 N, 50.94 E)، ۳۵۰، ۵۸۰۰۰۰، Dezvareh. (2007)، Noori, (2010)، Osat. (2010)، Faghih, (2010)، Dolati, (2016)، Hateffard, (2017) | شناسایی لندفرم‌های با خصوصیات همگن، استخراج روابط تغییرات دما و بارندگی بر اساس تغییرات ارتفاعی جهت تعیین محدوده گسترش رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک، تهیه نقشه‌های تغییرات خصوصیات خاک (pH،EC ، OC، CCE، رس، سیلت و شن) در منطقه، تهیه نقشه کاربری اراضی، رده‌بندی خاک‌ها تا سطح فامیل (شامل انتی‌سول، اینسپتی‌سول، اریدی‌سول)، بیشترین مقادیر ماده آلی در دامنه‌های شمالی و شمال غربی دیده شد، روابط کربنات و بی‌کربنات با ماده آلی بررسی شدند، با افزایش اندازه خاکدانه‌ها نسبت C/N هم افزایش یافت، نسبت C/N از انتهای فصل رشد تا ابتدای فصل رشد بعدی کاهشی بود، بیشترین میزان کربن آلی در کلاس اندازه‌ای کوچک‌تر از ۰/۵ mm است، کانی‌های رسی در خاک‌های واقع بر روی توف عمدتاً اسمکتایت، ورمیکولایت، ایلایت و کلرایت بودند، میزان اسید هیومیک و اسید فولویک با میزان کل ماده الی رابطه مستقیم دارند و میزان اسید هیومیک همواره بیش از اسید فولویک می‌باشد و حداکثر آن در فراکشن ۰/۱ تا ۱ mm است. تغییر کاربری وسیع اراضی مرتعی، زراعی و باغی به مناطق مسکونی از تثبیت کربن آلی جلوگیری نموده و بر گازهای گلخانه‌ای افزوده است. بعد از لندفرم کوهستان دشت سیلابی و دشت آبرفتی غالب‌ترین لندفرم‌های منطقه هستند. متغیرهای کمکی شامل ارتفاع، شیب، سطوح ژئومورفولوژی، شاخص کربنات، شبکه آبراهه، شاخص خیسی و باندهای دو، سه، چهار و پنج تصویر ماهواره می‌باشند مدل تصمیم گیری درختی برای همه خصوصیات برآورد مناسب ارائه داد. | -۲/۷ ۰/۲<br>-۴۲ ۰/۶<br>۱-۲۱۰ | -۸/۶ ۶/۶<br>-۸/۵ ۶/۷ | <۶<br>۲۵<<br>۳-۱۵ | -۴/۵ ۰/۱<br>-۱/۵ ۰/۱ | ۲-۲۰<br><۴۸<br>۲-۴۴ | -۴۶ ۱۲<br>-۴۴ ۱۶<br>-۵۴ ۸ | ۳۰-۸۶<br>۱۷-۷۷<br>۱۹-۷۷ |

| نام منطقه، مختصات، تعداد خاک‌رخ، وسعت (هکتار)، نویسنده، سال | نتایج کلی | دامنه تغییرات خصوصیات عمومی | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | EC dS/m | pH | CCE | OC | Clay | Silt | Sand |
| | | | | % | | | | |
| خیرودکنار (36.60 N, 51.56 E)، ۲۰، ۱۰۰۰۰، Mohebbi Sadegh (2012) | ضریب غنی شدن آهن و منگنز ، کبالت، مس، سرب، آهن غیر بلورین و اکسیدهای آهن آزاد در تجمعات به ترتیب ۱/۲، ۱۲/۴۱، ۲/۷،۱۳، ۴/۴۷ ، ۲/۱۶ و ۱/۳۳ بود. سطح جذب بالا، ساختار غیر بلورین، تناوب اکسایش و کاهش و به دام انداختن عناصر دلیل غنی شدگی هستند. کانی گوئتایت و لپیدوکروسایت در ندول‌ها غالبند. | ۰/۶- ۰/۳ | ۸/۶- ۶/۹ | - | ۶/۷- ۰/۲ | ۷۵- ۳۸ | ۴۲- ۱۷ | ۲۰-۷ |
| رامسر (36.90 N, 50.67 E)، ۸، ۱۰۰، Raheb (2008) | خصوصیات ویژه میکرومورفولوژیکی آنها اعم از بررسی حفرات و خصوصیات اکسایش و کاهش با استفاده از نرم‌افزارهای آنالیز تصویر Image J و AnalySIS در نمونه‌های دست‌نخورده مطالعه گردید. نتایج میکرو مورفولوژیکی نشان داد که تغییر کاربری از شالیزار به باغ کیوی موجب افزایش تخلخل شده و در نتیجه رفع شرایط اشباع سطحی خاک که موجب فعالیت بیشتر میکروارگانیسم‌ها می‌گردد موجب تشکیل اشکال با تبلور بیشتر آهن می‌شود. نتایج آنالیز تصویر مؤید وجود لایه گلخراب در خاک‌های شالیزاری و وجود تخلخل بالاتر در اراضی زیر کشت کیوی می-باشد. نتایج آنالیز تصویر اشکال مختلف آهن نیز گویای بیشتر بودن مقادیر آهن در اراضی غیر شالیزاری زیر کشت کیوی نسبت به اراضی شالیزاری می‌باشد که از مهمترین دلایل آن می-توان به تغییر نادرست کاربری اشاره نمود. تفاوت در ماهیت و ساختار اشکال مختلف آهن احتمالاً از دلایل اختلاف نتایج آنالیز تصویر و نتایج شیمیایی می باشد. | ۱/۳- ۰/۴ | ۸/۳- ۷/۳ | ۳۶-۹ | ۶,۷-۰,۲ | ۶۳- ۱۵ | ۴۸- ۲۶ | ۵۸-۱۰ |
| کلاردشت (36.53 N, 51.17E)، ۱۰، ۴۰۰، Moghiseh (2012) | ایلایت، مونتموریلونایت، کائولینایت و کلرایت و ورمیکولایت به ترتیب غالب بودند. تغییر کاربری جنگل پهن‌برگ به سوزنی‌برگ و مرتع به ترتیب موجب افزایش و کاهش SOC شد. ترکیبات آروماتیک در سوزنی‌برگ زیادتر بوده و سرعت تجزیه آن کم است. مواد آلی کمتر در سطح خاک انتشار $CO_2$ را از مرتع کاهش داد. پایداری خاکدانه‌ها در جنگل پهن‌برگ بیشتر بود. پایداری خاکدانه‌ها با کاهش اندازه و افزایش کربن آلی افزایش یافت. MRT در پهن‌برگ ۴۴۶۷ – ۸۰۴ سال و سن کربن مدرن ۹۰-۵۷ سال بود. در سوزنی‌برگ ۴۴۱۰ – ۴۷۲ سال و سن کربن مدرن ۹۴-۵۷ سال بود. در مرتع ۱۶۵۹ – ۸۰۷ سال و سن کربن مدرن ۹۰-۸۱ سال بود. | ۱-۰/۴ در جنگل و ۱/۴- ۰/۶ در مرتع | ۷/۹- ۷/۴ در جنگل و ۷/۹- ۸/۲ در مرتع | کمتر از ۱ در جنگل و ۲۸-۹ در مرتع تفسیر شود | ۳/۵- ۰/۳ در جنگل و۲/۷- ۰/۳ در مرتع | ۷۴- ۴۸ | ۳۸- ۹ | ۳۴-۳ |
| خیرودکنار (36.6 N, 51.6 E)، | کربنات‌های غالب از نوع کربنات کلسیم و کربنات کلسیم- منیزیم و عمدتاً از نوع | ۱-۱/۹ | ۸/۲- ۷/۸ | ۱۵-۴ در یک | ۳/۵- ۰/۲ | ۷۲- ۱۷ | ۳۴- ۱۸ | ۵۹-۱ |

| نام منطقه، مختصات، تعداد خاک‌رخ، وسعت (هکتار)، نویسنده، سال | نتایج کلی | دامنه تغییرات خصوصیات عمومی | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | EC dS/m | pH | CCE | OC | Clay | Silt | Sand |
| | | | | % | | | | |
| ۸، ۱۰۰۰، Moradi, (2010) | ژئوژنیک می‌باشند، کربنات‌های فعال تا ۲/۵ درصد با میزان عناصر کم مصرف (قابل وصول) رابطه مستقیم دارند. کانی‌های رسی اسمکتایت، ورمیکولایت و کلرایت در رس. | | | خاک‌رخ تا ۶۴ درصد | | | | |
| هشتگرد (36 N, 50.7 E)، ۸، ۱۰۰۰، Moradi, (2010) | کربنات‌های غالب موجود در نمونه ها از نظر کانی‌شناسی عمدتاً از نوع کربنات کلسیم و کربنات کلسیم، منیزیم بوده و سایر انواع کانی‌ها در نمونه های موردمطالعه دیده نشدند. مطالعات میکرو مورفولوژیکی نشان داد که بخش عمده کربنات‌های موجود در خاک‌های اریدی‌سول و اینسپتی‌سول خصوصاً در افق‌های سطحی از کربنات‌های پدوژنیک بوده و عمدتاً به‌صورت توده‌ها، گرهک های تلقیحی و پوشش‌های کربناته می‌باشند. افزایش کربنات‌های فعال تا ۲/۵ درصد با میزان عناصر کم مصرف (قابل وصول) رابطه مستقیم دارد ولی بالاتر از آن هیچ رابطه‌ای مشاهده نمی‌شود. | ۲/۴- ۱/۴ | ۸/۳- ۷/۷ | ۱۳-۶۲ | ۱/۳- ۰/۱ | ۵۷- ۱۱ | ۳۶- ۱۸ | ۱۷-۶۹ |
| جاده‌چالوس (E 35.9 N, 51.05)، ۲۱، ۴۰۰، Saberi Moghadam, 2012 | دندروگرام شاخص‌های مورفولوژیکی، آبشویی، کمپلکس تبادلی و تاکسونومیکی نشان داد که شکل اراضی در تفکیک واحدهای خاک نقش مهمی را ایفا می‌کند. به عبارت دیگر، شکل اراضی تا سطح پستی‌وبلندی و سنگ‌شناسی باعث افزایش دقت در تفکیک واحدهای خاک منطقه مطالعاتی شده است. به طوری‌که درصد تشابه خاک‌رخ‌ها از سطح رده به سمت فامیل افزایش می‌یابد. بیشترین شاخص‌های وزنی به ترتیب مربوط به خصوصیات مورفولوژیکی، کمپلکس سطحی، تاکسونومی و آبشویی می‌باشد و از روی آن می‌توان استنباط نمود که کم بودن رطوبت منطقه مطالعاتی و آبشویی محدود، عامل اصلی کم بودن تکامل در منطقه می‌باشد. | ۲/۴- ۰/۴ | ۸/۴- ۷/۲ | ۰-۴/۹ | ۳/۸- ۰/۱ | ۶-۳۶ | ۵۴- ۱۲ | ۲۵-۸۰ |
| بیجار (N, ۳۹۷۱۰۷۵ E۷۱۲۰۰۰ )، ۸۳، ۲۰۰۰۰، Nabiollahi, (2012) | تهیه نقشه لندفرم‌ها و مساحت یابی هر یک از لندفرم‌ها، طبقه‌بندی خاک‌های بر اساس سامانه آمریکایی تا سطح فامیل، کانی رسی غالب اسمکتایت و در مرحله بعدی ایلایت شناسایی شدند. کانی‌های حاوی آرسنیک در نمونه‌های پودری آنارژیت، رآلگار، آرسنوسولوانیت، آرسنولیت و اسفالریت و کبالتیت حاوی آرسنیک شناسایی شدند. همچنین کانی‌های حاوی آرسنیک در مواد مادری آرسنوسولوانیت، اسفالریت، آنارژیت، آرسنات مس کلسیم شناسایی شدند. نتایج نشان داد که منشأ آرسنیک زمین‌شناسی منطقه خصوصاً در لندفرم‌های تپه‌ای است. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین رس، ظرفیت تبادل کاتیونی، و اکسیدهای آهن با مقدار | ۲/۹- ۰/۴ | ۷/۹- ۷/۳ | ۶-۴۲ | ۲/۱- ۰/۳ | ۶۳- ۱۳ | ۵۲- ۱۸ | ۱۴-۵۴ |

| نام منطقه، مختصات، تعداد خاک‌رخ، وسعت (هکتار)، نویسنده، سال | نتایج کلی | دامنه تغییرات خصوصیات عمومی | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | EC dS/m | pH | CCE | OC | Clay | Silt | Sand |
| | | | | % | | | | |
| | آرسنیک وجود دارد. در حالیکه با درصد شن و سیلت همبستگی منفی و معنی‌دار دیده شد. غلظت آرسنیک بین ۴۸۰ تا ۱۴۵۰ ppm متغیر بود و منطقه کلاً آلوده می‌باشد. برخی آب‌های منطقه نیز آلوده هستند. | | | | | | | |
| جاده‌چالوس (E 35.9 N, 51.05)، ۵، ۵۰۰، Hamzehee, (2013)، Sartipi, (2013) | رس‌های غالب کلریت، اسمکتیت، کائولینیت و ورمی‌کولیت به دست آمد. قدرت تثبیت کربن آلی در خاک آلوفانی بین ۰/۹ تا ۶ درصد، و در پودر سنگ توف بین ۱/۲ تا ۵ درصد تعیین شد. بیشترین میزان تنفس در خاک آلوفانی و کمترین آن در خاک اشتهارد مشاهده شده است. داشتن خصوصیات اندیک و قابلیت کمپلکس کردن مواد آلی میزان تنفس بیشتری داشته است و خاک اشتهارد به دلیل شوری زیاد و داشتن فعالیت‌های میکروبی محدود میزان تنفس کمتری داشته است. بیشترین میزان ذخیره کربن آلی در خاک‌های با خصوصیات اندیک بوده که نشان‌دهنده توانایی بالای این خاک‌ها در تشکیل کمپلکس‌های پایدار با مواد آلی و قابلیت ذخیره و نگهداشت کربن آلی در این خاک‌ها می‌باشد. اعمال سطوح ماده آلی در اثر گذشت زمان باعث کاهش نسبت C/N خاک‌ها شد. بیشترین میزان آزادسازی دی اکسیدکربن در روز سوم مشاهده شد که به دلیل فراهم آمدن مواد آلی کافی و شرایط دمایی و رطوبتی مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. | ۵/۸- ۰/۸ | ۷/۱-۸ | ۱/۵-۱۲ | ۰/۵-۴ | ۴۳- ۱۹ | ۴۹- ۲۳ | ۲۰-۵۸ |
| البرز (35.75 N, 50.25 E)، ۸، ۵۰۰۰، Mohtasham, (2013)، Monajjem, (2013) | بیشترین میزان تثبیت فسفر در نمونه‌های اندی‌سول با بیشترین درصد آلوفان و فری‌هیدریت و کمترین میزان نیز در نمونه‌های اریدی‌سول با بیشترین میزان اسمکتیت مشاهده شد. در تمامی نمونه‌ها درصد تثبیت در نانورس بیش از رس برآورد شد. تغییرات میزان تثبیت فسفر، قبل و بعد از حذف اشکال مختلف آهن و آلومینیوم در خاک مورد بررسی قرار گرفت. پس از حذف اشکال مختلف اکسیدهای آهن و آلومینیوم، تثبیت فسفر در همه فرم‌ها با اختلاف معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت. حذف اکسیدهای آهن و آلومینیوم قابل استخراج با اگزالات آمونیوم بیشترین میزان کاهش و حذف اکسیدهای آهن و آلومینیوم قابل استخراج با پیروفسفات سدیم کمترین میزان کاهش در تثبیت را نشان داد. میزان جذب در همه نمونه‌های موردمطالعه (اعم از اندیک و غیراندیک) با افزایش غلظت محلول عناصر سنگین، افزایش یافت. در بیشتر نمونه‌های مربوط به خاک‌های غیراندیک میزان جذب مس> سرب> کادمیوم است و در خاک‌های دارای خصوصیات اندیک در بیشتر موارد میزان جذب | ۱/۴- ۰/۵ | ۸/۶- ۷/۵ | ۰-۳۰ در نمونه-های آلوفانی CCE نیست. | ۲/۶- ۰/۷۰ | ۴۰- ۱۴ | ۴۴- ۶ | ۲۹-۶۶ |

| نام منطقه، مختصات، تعداد خاک‌رخ، وسعت (هکتار)، نویسنده، سال | نتایج کلی | دامنه تغییرات خصوصیات عمومی | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | EC dS/m | pH | CCE | OC | Clay | Silt | Sand |
| | | | | % | | | | |
| | سرب>مس>کادمیوم دیده شد. | | | | | | | |
| پالایشگاه ری (36 N, 50.75 E)، ۷، ۱۰۰، Asadi Alasvand, (2014) | نتایج نشان داد که آلودگی‌های نفتی باعث تغییرات زیادی در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله در مواد آلی اندازه‌گیری شده، حدود آتربرگ، آهن بی‌شکل خاک و pH عصاره اشباع شده است. مطالعات مینرالوژی وجود کانی اسمکتایت را به‌عنوان کانی غالب منطقه نشان داد که به همراه سایر کانی‌های رسی، ترکیبات نفتی را در فضای بین لایه‌ای جذب کرده و از تحرک و تجزیه آنها در خاک جلوگیری می‌کنند. مطالعات میکرو مورفولوژی اشکال مختلف ترکیبات نفتی در خاک، از جمله مناطق تخلیه شده در حاشیه‌های خاکدانه‌ها، پوشش‌های در امتداد سطح و زیرسطحی و همچنین حرکت افقی و عمودی ترکیبات نفتی در درون خاک را نشان داد. | ۳-۲۴ | ۷-۸/۶ | ۱۰-۲۱ | -۶/۲ ۰/۰۳ | ۸-۵۸ | ۴-۵۳ | ۲۰-۹۰ |
| کلاردشت (36.53 N, 51.17E)، ۱۰، ۴۰۰، Mohebbi Sadegh (2017) | فسفات‌های کلسیم در هر سه کاربری غالب بودند با این وجود به دلیل pH پایین‌تر و درصد آهک کمتر فسفات‌های آهن و آلومینیوم در جنگل پهن‌برگ و سوزنی‌برگ مقادیر بیشتری داشتند. مواد آلی مهمترین نقش را در دسترسی فسفر در هر سه کاربری دارد. بازکاشت گونه‌های سوزنی برگ در مقایسه با جنگل پهن برگ تأثیر معنی-داری بر ذخایر فسفر ندارد. فسفر آلی نقش مهمی در تأمین فسفر در هر سه کاربری دارد. | ۰/۴-۱ در جنگل و ۰/۶-۱/۴ در مرتع | ۷/۹- ۷/۴ در جنگل و ۷/۹- ۸/۲ در مرتع | کمتر از ۱ در جنگل و ۲۸-۹ در مرتع تفسیر شود | ۳/۵- ۰/۳ در جنگل و ۲/۷- ۰/۳ در مرتع | ۷۴- ۴۸ | ۳۸- ۹ | ۳-۳۴ |
| توشن (36.79 N, 51.41 E)، ۱۵، ۸۰۰، Ajami (2016) | لایه سطحی بیش از ۵۴ درصد تراکم کربن آلی را به خود اختصاص داده است. جنگل‌تراشی و کشاورزی بیش از ۴۸ درصد کربن آلی را کاهش داده است. نزدیک به نیمی از ذخیره کربن آلی در عمق ۳۰ تا ۱۰۰ cm قرار دارد. کاربری جنگل بیشترین مقدار ذخیره کربن را در ۱ متر فوقانی دارد. انحنای نیم‌رخ اراضی و شاخص خیسی بیشترین همبستگی را با تولید گندم نشان دادند. پستی‌وبلندی به خوبی تغییرات مکانی تولید گندم را توجیه کرد. و پنجه شیب بیشترین و شانه شیب کمترین تولید را دارا بودند. کانی‌های رسی غالب شناسایی شده در بخش زراعی عمدتاً میکا، کلریت، اسمکتیت و کائولینیت بودند ولی در جنگل مقادیر قابل‌توجهی ورمیکولیت شناسایی شد. | ۴/۵- ۰/۳ | ۸/۲-۵ | ۴۶-۰ | ۵/۵- ۰/۰۶ | ۶۲-۷ | ۸۷- ۲۵ | ۳۴-۰ |
| کلاردشت (36.53 N, 51.17E)، ۱۰، ۴۰۰، Shiravi Khoozani, (2016) | تعیین اجزاء مختلف تشکیل‌دهنده مواد آلی بر اساس خصوصیات میکرو مورفولوژیکی و تعیین درصد مواد آلی بر اساس آنالیز تصویر، شناسایی انواع کربنات‌ها بر اساس رنگ‌آمیزی، تشریح کامل میکرو مورفولوژی خاک‌های موردمطالعه | ۰/۴-۱ در جنگل و ۰/۶-۱/۴ در مرتع | ۷/۹- ۷/۴ در جنگل و ۷/۹- ۸/۲ در مرتع | کمتر از ۱ در جنگل و ۲۸-۹ در مرتع تفسیر شود | ۳/۵- ۰/۳ در جنگل و ۲/۷- ۰/۳ در مرتع | ۷۴- ۴۸ | ۳۸- ۹ | ۳-۳۴ |

| نام منطقه، مختصات، تعداد خاک‌رخ، وسعت (هکتار)، نویسنده، سال | نتایج کلی | دامنه تغییرات خصوصیات عمومی | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | EC dS/m | pH | CCE | OC | Clay | Silt | Sand |
| | | | | % | | | | |
| مرزن‌آباد (36.43 N, 51.32 E)، ۵۶، ۱۰۰، (2016) Osat | در منطقه موردمطالعه شاخص‌های توپوگرافی بیشترین همبستگی را با شاخص‌های تکامل و کلاس‌های رده‌بندی خاک داشتند. شاخص هاردن از انتی‌سول به مالی‌سول و آلفی‌سول افزایش پیدا کرد. از میان شاخص‌های هوادیگی ژئوشیمیایی شاخص WR بیشترین ضریب همبستگی را با کلاس‌های طبقه‌بندی خاک نشان داد. آنالیز مولفه-های اصلی PCA نشان داد که در تفکیک کلاس-های طبقه‌بندی خاک شاخص‌های تکامل و توپوگرافی عوامل اصلی هستند. دقیق‌ترین نقشه خاک زمانی به دست آمد که از خصوصیات درونی خاک برای تعیین واحدهای نقشه استفاده شد. | ۳/۳- ۰/۲ غالبا کمتر از ۱ | ۸/۳- ۶/۹ | ۴۰-۱۰ در بیش از نیمی از خاک‌رخ-ها صفر است. | در افق-های سطحی ۱/۵ تا ۹ درصد. در لایه-های زیرین از ۰/۱۵ تا ۴/۵ درصد | ۵۴-۱۰ | ۵۳- ۱۲ | ۷۲-۸ |
| البرز، قزوین و گیلان (36.85 N, 49.56 E)، ۲۷، ۱۵۰۰، Raheb (2017)، Karimzadeh (2019) | نتایج نشان داد که کربن غیرآلی در هر سه اقلیم خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب بیشترین سهم از کربن کل را دارا می‌باشد. ذخیره بیشتر کربن غیرآلی در منطقه خشک مؤید تأثیر اقلیم خشک در ذخیره کربن به‌صورت غیرآلی در این مناطق دارد. باتوجه‌به توسعه در جای این خاک‌ها منبع کربنات‌های آنها $CO_2$ حاصل از فعالیت زیستی است. تغییرات نامنظم نتایج ژئوشیمیایی و عوارض میکرو مورفولوژی مرکبی که پوشش‌های کربناتی بر روی پوشش‌های رسی قرار دارند مؤید افزایش رسوبات بادی ثانویه به این خاک‌ها بود که علی‌رغم توسعه درجا پلی ژنتیک هستند. هوادیدگی بازالت درصد رس زیادی تولید کرده است که آرجیلان-های ضخیم و فراوان در اعماق این خاک‌ها تکامل سریع خاک بر روی بازالت را تأیید می‌نماید. شاخص هوادیدگی پارکر (WIP) مناسب‌ترین شاخص برای تفسیر پیدایش این خاک‌ها است. | ۱,۸- ۰/۳ | ۸/۶-۸ | ۳۸-۰ | از ۰/۰۶ در اعماق تا ۱/۹۳ در افق-های سطحی | ۶۰-۸ | ۳۶- ۸ | ۶۸-۱۱ |
| مزرعه (36 N, 50.75 E)، ۳۲، ۲۵۰، Mohseni (2018) | نتایج نشان داد که دقت روش‌های میکرو مورفولوژی در تعیین ناحیه‌ی ساختمانی منحنی رطوبتی بیش‌تر از روش‌های آزمایشگاهی است. کانی غالب عمدتاً اسمکتایت، کلرایت و ایلایت است. دامنه تغییرات تثبیت فسفر در خاک‌های موردمطالعه در تمام تیمارهای pH، از ۳/۰۹ تا ۱۵/۷۸ درصد تغییر می‌کند. مقایسه میزان تثبیت در pH های مختلف نشان داد در pHهای خنثی تا کمی قلیایی بیشترین مقدار تثبیت فسفر صورت می‌گیرد. همبستگی بین کربن آلی با کربنات کلسیم کل و فعال، عدم همبستگی مثبت بین کربن آلی و کربنات کلسیم کل و فعال در اعماق دوم همه‌ی خاک‌رخ‌ها در نظر گرفت، وجود ترشحات اسیدی ریشه‌ها در این اعماق و درنتیجه‌ی آن انحلال و حرکت کربنات‌ها به اعماق زیرین باشد. بین کربنات کلسیم فعال و فسفر در همه افق‌ها همبستگی مثبت مشاهده شد. با | ۲/۴- ۰/۵ | ۸/۵- ۷/۷ | ۱۵-۲ | ۰/۸- ۰/۰۴ | ۵۴-۶ | ۵۰-۸ | ۵۰-۷ |

| نام منطقه، مختصات، تعداد خاک‌رخ، وسعت (هکتار)، نویسنده، سال | نتایج کلی | دامنه تغییرات خصوصیات عمومی | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | EC dS/m | pH | CCE | OC | Clay | Silt | Sand |
| | | | | % | | | | |
| | افزایش کربنات کلسیم فعال عناصر کم مصرف همبستگی مثبت بود (باتوجه‌به پایین بودن کربنات کلسیم فعال)، منشأ کربنات کلسیم از مواد آلی است. تهیه نقشه سری‌های خاک و نقشه واحدهای همگن مدیریت مزرعه. | | | | | | | |
| ایوانکی (51.97 E 35.33 N)، ۸، ۲۵۰، Jahanbazi(2021) | شوری بیش از حد خاک و همچنین قلیاییت بسیار بالا، کمبود ماده آلی و نیتروژن، عناصر کم مصرف مقدار منگنز نسبتاً بهتر از سایر عناصر است ولی در مورد عناصر مس، روی و آهن به نظر می‌رسد کمبود وجود دارد. مسمومیت ناشی از سدیم در این خاک‌ها بسیار محتمل است و اصلاح این وضعیت با افزودن گچ به آب آبیاری و خود خاک میسر خواهد بود. لیکن باید آب کافی برای آبشویی فراهم شود. | ۴-۱۵۴ | ۸/۴- ۷/۲ | ۸-۲۲ | ۰/۱-۰/۷ | ۳-۳۸ | ۹-۶۷ | ۵-۸۵ |
| گمیشان (37.30 N,54.23 E)، ۸۰، ۵۰۰۰۰، Samieifard(2021) | نقشه واحدهای لندفرم بر اساس تلفیق اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی ارتفاع و نتایج توزیع اندازه ذرات در اعماق مختلف با فواصل ۲۰ سانتی‌متری تهیه شد. شناسایی واحدهای لندفرم بدون استفاده از اطلاعات توزیع اندازه ذرات در مناطق پست دشوار است. نوع رسوبات نهشته شده از نوع بادی (لس) بود که توسط آب منتقل شده و با درجات مختلف انرژی رسوب داده شده‌اند. پیشروی و پسروی آب دریا بر اساس تغییرات توزیع اندازه ذرات در لایه‌های مختلف قابل شناسایی بود. عوارض اکسید و احیایی در اعماق و تجمع گچ و نمک در سطح مهم‌ترین عوارض در خاک‌های موردمطالعه بوده است. فاکتور اصلی خاکسازی در منطقه مواد مادری است و سایر عوامل نقش کمکی دارند. | ۱-۱۰۶ | ۸/۵- ۷/۶ | ۶-۲۴ | ۰/۱-۲/۷ توزیع نامنظم | ۵-۴۶ | ۸۶- ۲۸ عمدتاً بیش از ۵۰ | ۰-۵۴ عمدتاً کمتر از ۱۰ |

**طبقه‌بندی خاک‌ها**

اگرچه رده‌بندی خاک‌ها بر اساس سامانه آمریکایی رده‌بندی خاک صورت‌گرفته است ولی هماهنگ‌سازی آنها با سامانه FAO (1986) و پس از توسعه سامانه جهانی رده‌بندی خاک (WRB, 2014) انجام شده است. معادل رده‌های انتی‌سول، اینسپتی‌سول، اریدی‌سول، مالی‌سول، آلفی‌سول، اندی‌سول و ورتی‌سول در سامانه WRB باتوجه‌به خصوصیات تحت رده‌های برخی از رده‌های مذکور در گروه‌های مرجع تکنوسول (Technosols) (خاک‌های حاوی مواد زاید پالایشگاهی) (اسدی، ۱۳۹۲، جدول ۱)، لپتوسول (Leptosols) (انتی‌سول‌های با عمق کمتر از ۲۵ cm)، سولونتز (Solonetz)، ورتی‌سول (Vertisols)، سولونچاک (Solonchaks)، گلی‌سول (Gleysols)، اندوسول (Andosols)، چرنوزم (Chernozems)، کاستانوزم (Kastanozems)، جیپسی‌سول (Gypsisols)، کلسی‌سول (Calcisols)، لوی‌سول (Luvisols)، کمبی‌سول (Cambisols)، آرنوسول (Arenosols)، فلوی‌سول (Fluvisols) و رگوسول (Regosols) قرار می‌گیرند. البته سطوح پایین‌تر رده‌بندی WRB هم می‌تواند اطلاعات کامل‌تری در اختیار قرار دهد.

## بحث

این مقاله تلاش نموده است تا با تجمیع مطالعات انجام شده در دو دهه اخیر، دیدگاهی نسبتاً جامع از خاک‌های تشکیل شده در دامنه وسیعی از شرایط اقلیمی، پوشش گیاهی، پستی‌وبلندی، مواد مادری و زمان در بخش‌هایی از ایران که توسط گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران انجام شده، ارائه نماید. این شناخت گرچه به‌صورت محدود، امتیازها و محدودیت‌های خاک‌های

مطالعه شده را مشخص می‌نماید. با شناخت دقیق فرایندهای حاکم بر این خاک‌ها که به بخش عمده آنها در بخش نتایج پرداخته شد، بایستی مدیریت‌های لازم و مناسب برای بهره‌برداری صحیح، مشخص و اجرا شود. روش‌های به‌کاررفته در مطالعات، فراتر از روش‌های رایج مطالعات خاکشناسی، کمک شایان توجهی به تعیین دقیق فرایندهای حاکم تحت‌تأثیر عوامل خاک‌سازی داشته است. گرچه در مطالعات انجام شده تا حد ممکن از روش‌های پیشرفته تشریح، تجزیه‌های شیمیایی، فیزیکی، کانی‌شناسی، میکرو مورفولوژی و ژئوشیمیایی استفاده شده است، ولی متأسفانه امکان بهره‌مندی از بسیاری از تجهیزات روزآمد صحرایی و آزمایشگاهی میسر نبود. با وجود این یافته‌های تحقیقات فوق قابلیت انتشار در مجلات تخصصی معتبر را داشته است. رده‌بندی خاک‌های مطالعه شده نشان داد که از میان ۱۲ رده خاک در سامانه رده‌بندی آمریکایی حداقل ۷ رده، و از میان ۳۲ گروه مرجع سامانه WRB حداقل ۱۶ گروه مرجع در مناطق مطالعه شده وجود دارند. این مسئله ازآن‌جهت حایز اهمیت است که از یک سو ضرورت شناسایی و رده‌بندی خاک‌ها و تهیه نقشه‌های دقیق آنها را مشخص می‌نماید و از سوی دیگر دیدگاه جهانی به خاک‌های ایران را که گاهی محدود به دو رده اریدی‌سول و انتی‌سول در سامانه آمریکایی (Soil Survey Staff, 2014) و لپتوسول و رگوسول در سامانه رده‌بندی جهانی (WRB, 2014) می‌شود، تغییر می‌دهد.

بنا بر تئوری پیدایش خاک‌ها T کلیه فرایندهای خاک‌سازی در کلیه خاک‌ها فعال هستند ولی عامل تفکیک خاک‌ها از هم غالبیت یک یا چند فرایند در هر خاک است. فرایند انقباض و انبساط ناشی از وجود رس‌های انبساط‌پذیر و تخریب خاک ناشی از آن (Argillipedoturbation) فرایند غالب در ورتی‌سول‌ها و زیرگروه‌های ورتیک سایر رده‌های غیر ورتی‌سول است. توسعه خصوصیات اندیک در طی هوادیدگی مواد آذرآواری و تشکیل آلوفان، ایموگولیت، فری‌هیدریت و همچنین تشکیل کمپلکس‌های فلز - هوموس از فرایندهای غالب در اندیسول‌های شناسایی شده است. انباشت رسوبات در دشت‌های رسوبی فعال (Accumulation) فرایندی بسیار رایج است که موجب تشکیل انتی‌سول‌های Fluventic در سامانه آمریکایی یا Fluvisols در سامانه WRB شده است. بر خلاف دشت‌های رسوبی در دامنه‌های شیب‌دار فرایند غالب فرسایش سطحی Surficial Erosion است که حاصل آن انتی‌سول‌های Orthents سامانه آمریکایی یا Leptosols در سامانه WRB شده است. تشکیل افق‌های کمبیک، کلسیک با انتقال و تجمع کربنات‌های ثانویه یعنی Calcification و Decalcification و تشکیل افق پتروکلسیک با سخت و سیمانی شدن توسط کربنات‌ها با فرایندهای Induration و Cementation در ارتباط است. فرایندهای Gypsification، Salinization با یا بدون فرایند سخت و سیمانی شدن نیز به تشکیل افق‌های جیپسیک و سالیک یا پتروجیپسیک و پتروسالیک انجامیده است. تیره شدن رنگ Melanization توسط هوموس در افق‌های مالیک و کل افق‌های سطحی، و انتقال و تجمع رس Elluviation و Illuviation فرایندهای غالب دخیل در تشکیل افق‌های آرجیلیک و ناتریک هستند که در این مطالعات مشاهده شدند. اکسیداسیون و احیاء از فرایندهای حاکم بر همه خاک‌هاست ولی در خاک‌های با آب زیرزمینی بالا یا دارای نوسان به‌وفور دیده شد.

از دیدگاه مورفولوژیکی، ضخامت خاک واضح‌ترین ویژگی است که با دردست‌داشتن رده‌بندی خاک‌ها و مراجعه به پایگاه‌داده ارائه شده در این مقاله قابل دستیابی است. ضخامت افق‌ها و لایه‌های محدودکننده نفوذ آب و ریشه و درصد تراکم و غیره از خصوصیات مورفولوژیکی ارائه شده قابل استنباط و تفسیر می‌باشد. اطلاعات میکرو مورفولوژی به‌دست‌آمده از مطالعات در تعیین کلاس خاک و همچنین نحوه تشکیل خاک‌ها کمک شایان توجهی کرد. از مهم‌ترین موارد کاربرد نتایج میکرو مورفولوژی تشخیص تأثیرگذاری رسوبات بادی بر خاک‌های تشکیل شده بر روی بازالت بود که بدون وجود مطالعات میکرو مورفولوژیکی قابل اثبات نبود.

ایلایت و کلرایت در کانی‌شناسی رس بسیاری از خاک‌های مناطق موردمطالعه نشان‌دهنده جوان بودن خاک‌های موردمطالعه است. در خاک‌هایی که قدری تحول بیشتری پیدا کرده‌اند (مانند ورتی‌سول‌ها و اریدی‌سول‌ها) اسمکتایت دیده شد. غلظت زیاد املاح و pH بالا در ورتی‌سول‌ها و اریدی‌سول‌های موردمطالعه به تشکیل و پایداری اسمکتایت‌ها کمک شایانی نموده است. ورمیکولایت به‌صورت کانی مغلوب در برخی مناطق می‌باشد که از هوادیدگی کانی‌های میکایی و کلرایتی حاصل شده است. کانی کائولینایت در بسیاری از نمونه‌های موردمطالعه دیده شده است. هرچند عمدتاً عقیده بر این است که کائولینایت به‌صورت موروثی به این خاک‌ها منتقل شده است ولی امکان تشکیل سریع کائولینایت از برخی فلدسپات‌ها نیز وجود دارد. تشکیل آلوفان‌ها از مواد آذرآواری نیز غالبیت آلومینیوم بر سیلیسیم در مراحل اولیه هوادیدگی آنها است. پیچیده بودن تفسیر نتایج کانی‌شناسی رس ضرورت مطالعات دقیق‌تر در این زمینه را نشان می‌دهد. قطعاً بدون دردست‌داشتن نتایج کانی‌شناسی رس اعمال هرگونه مدیریت صحیح از نظر حاصلخیزی، تثبیت خاک در مقابل حرکات توده‌ای و کنترل انقباض و انبساط میسر نخواهد بود.

شوری و قلیاییت موروثی از مواد مادری متناسب با شرایط

اقلیمی مشکل رایج در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است ولی بخش عمده شوری و قلیاییات ناشی از فعالیت‌های انسان Anthropogenic است که به‌سرعت درحال‌توسعه و بلعیدن خاک‌های کشاورزی است. استفاده از آب‌های شور و قلیا بدون اعمال اصلاحات و مدیریت علمی بسیاری از اراضی غیر شور - قلیایی را به اراضی به‌شدت شور - قلیایی تبدیل نموده است که نمونه بارز آن در منطقه ایوانکی توسط Jahanbazi (2020) گزارش شد. تخریب خاک و کاهش کیفیت خاک در اثر شوری و قلیاییت کلیه مناطق خشک جهان را تهدید می‌کند و توجه ویژه می‌طلبد. تخریب فیزیکی خاک‌ها در اثر عملیات زراعی مداوم و کاهش کربن آلی در خاک و تشکیل سخت لایه‌های سطحی و سخت کفه در اعماق معضل جهانی دیگری است که در این مطالعه نیز مشهود بود. پایین بودن کربن آلی در اغلب خاک‌های موردمطالعه (جدول ۲) و قرار داشتن آنها در اقلیم خشک باردهی و تولید را به‌شدت محدود ساخته است، این مسئله آینده زندگی و جوامع انسانی در این مناطق را تهدید می‌کند. ذخایر کربن آلی و کربن غیرآلی خاک‌های موردمطالعه اگرچه به تعدیل محیط‌زیست کمک می‌کنند ولی انباشته شدن کربن غیرآلی در خاک به دلیل دور بازگشت طولانی به چرخه کربن و ایجاد محدودیت‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها خود به یک مشکل در مناطق خشک تبدیل شده است. تشکیل افق پتروکلسیک در خاک‌های موردمطالعه و محدودیت‌های ناشی از آن نمونه بارزی از اثرات منفی ذخیره کربن به شکل غیرآلی است.

تهیه یک پایگاه‌داده معتبر و قابل پایش از دیدگاه‌های ارزشمندی است که در کلیه مطالعات محیط‌زیستی موردتوجه است. با در اختیار داشتن این پایگاه‌داده امکان برنامه‌ریزی فعالیت‌های تحقیقاتی و اجرایی برای توسعه دانش و تدوین سیاست‌های مدیریتی فراهم می‌گردد. تشکیل پایگاه‌داده در مقیاس وسیع‌تر می‌تواند به توسعه سامانه رده‌بندی ملی خاک متناسب با فرهنگ بومی و قابل‌استفاده بهره‌برداران کمک نماید.

شناسایی و تعریف شاخص‌های مورفولوژیکی، کانی‌شناسی و شاخص‌های ژئوشیمیایی متناسب به شرایط اقلیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک از دیگر نتایجی است که از این مطالعات می‌توان به دست آورد. بخشی ازاین‌گونه شاخص‌ها در مطالعات ارائه شده در این مطالعه ارائه شد (جدول ۲).

## نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه تجمیع یافته‌های تحقیقات انجام شده در گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران در دو دهه اخیر بود. این مطالعه نشان داد که دامنه وسیعی از شرایط زیست‌محیطی و عوامل خاکسازی در مناطق موردمطالعه یافت می‌شوند که بینش جامعی را در مورد خاک‌های کشور در اختیار خواننده قرار می‌دهد. بیش از نیمی از انواع خاک‌های شناسایی شده جهان بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی و سامانه رده‌بندی WRB در این مطالعه شناسایی شدند. این در حالی است که در اطلاعات جهانی خاک‌های کشور ایران در سامانه رده‌بندی آمریکایی عمدتاً محدود به دو رده انتی‌سول و اریدی‌سول و در سامانه رده‌بندی WRB عمدتاً محدود به خاک‌های لپتوسول و رگوسول و کلسی‌سول شده است. تقریباً همه فرایندهای خاک‌سازی در این مطالعه مورد بررسی و بحث قرار گرفتند و از بعد آموزشی و پژوهشی دیدگاه روشنی از خاک‌های کشور نشان داده شد. شناخت دقیق خاک‌ها و رده‌بندی آنها در اعمال مدیریت‌های مختلف اعم از بهره‌برداری‌های زراعی، مرتعی، جنگلی، حفاظتی، اقامتی، صنعتی، شهری، روستایی و غیره نقش تعیین‌کننده دارد. اجرای هرگونه پروژه بدون درنظرگرفتن اطلاعات خاکشناسی موفقیت آن پروژه را به‌شدت کاهش می‌دهد. اطلاعات فراهم شده در این مقاله و منابع مذکور در آن برای کلیه بهره‌برداران قابل‌استفاده و مفید است.

**"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"**

## REFERENCES


Abbasi Gharaei, E. (2011). Investigation on soils developed on glacial deposites in central Alborz zone (Iran), MSc. Thesis. University of Tehran.

Ajami, M. (2016). Estimation of soil organic carbon storage and evaluating the spatial variability of wheat production as affected by environmental factors in loess lands of Toshan watershed, Gorgan, PhD. Thesis, University of Tehran.

Ajami, M., Heidari, A., Khormali, F., Gorji, M. and Ayoubi, Sh. (2016). Environmental factors controlling soil organic carbon storage in loess soils of a subhumid region, northern Iran. *Geoderma* 281:1–10.

Asadi Alasvand P., and Heidari, A. (2015). Genesis and classification of petroleum polluted Technosols in south of Tehran. *Journal of Water and Soil Science*. 74: 125-138.

Asadi Alasvand, P. (2014). Comparison the physico-chemical and micromorphlogical and clay mineralogical properties of some polluted and non-polluted soils with petroleum compounds, MSc. Thesis, University of Tehran.

ASTM. 2000a. Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils (D 4318-98). In: *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.08, *Americ*an Society for Testing and

Materials, West Conshohocken, PA, pp. 546–558.
Bakhshi Khoramdare, A. (2017). Assessing the possibility of using micromorphological and pedological characteristics for estimation of soil hydraulic properties, MSc. Thesis, University of Tehran.
Bakhshi, A., Heidari, A. and Mohammadi, M.H. (2018). Quantifying soil pores geometric properties using fluorescent dye method. *Iranian Journal of Water and Soil Researches*. 49(1): 195-206.
Buol, S. W., R. J. Southard, R. C. Graham, and P. A. Mc-Daniel. (2011). *Soil Genesis and Classification*. 6th ed. Wiley-Blackwell, New York, 560 p.
Dezvareh, N. (2007). Preparation of land use database of Karaj city using remote sensing. MSc. Thesis, University of Tehran.
Dolati, P. (2016). Physiographic structure of Alborz province and its relationship with geopedologic properties, MSc. Thesis, University of Tehran.
Ebrahimi, R. (2021). Digital mapping of soil subgroup classes using random forest model in order to provide a framework for their management, MSc. Thesis, University of Tehran.
Ghaffari, A., Ghasemi, V.R., De Pauw E. (2015). Agro-Climatically Zoning of Iran by UNESCO approach. Iranian *Journal of Dryland Agriculture*. 4(1): 63-74.
Gregorich, E.G., Beare, M.H., McKim, U.F., and Skjemstad, J.O. 2006. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J*. 70: 975–985.
Haghi Ardehaee, Sh. (2017). Aassessment of soil organic carbon, total and activate carbonates and their relations with availability of some nutrients (Case of Study at Pardis Botanical Garden), MSc. Thesis, University of Tehran.
Hamzehee, S. (2013). Capability of tuff and its soils drives in carbon stabilization, MSc. Thesis, University of Tehran.
Hateffard, F. (2017). Assessing different soil data processing methods for soil mapping in Alborz Province, MSc. Thesis, University of Tehran.
Hateffard, F., Dolati, P., Heidari, A., & Zolfaghari, A. A. (2019). Assessing the performance of decision tree and neural network models in mapping soil properties. *Journal of Mountain Science*, *16*(8), 1833-1847.
Hateffard, F., Mohammed, S., Alsafadi, K., Enaruvbe, G.O., Heidari, A., Ghassan Abdo, H., and Rodrigo‐Comino, J. (2021). CMIP5 climate projections and RUSLE‐based soil erosion assessment in the central part of Iran. *Scientific Reports* 11:7273 | https://doi.org/10.1038/s41598-021-86618-z.
Heidari, A. (1995). Genesis and classification of gypsiferous soils of southwest of Guilan e Gharb, MSc. Thesis, University of Tehran.
Heidari, A. (2003). Genesis, classification, and characterization of Vertisols in different climates of Iran. PhD. Thesis, University of Tehran.
Heidari, A., and Asadi P. (2015). Micromorphological Characteristics of Polluted Soils in Tehran Petroleum Refinery. *Journal of Agricultural Sciences and Technology*. 17: 1041-1055.
Heidari, A., Faghih, A., and Gorji M. (2010). Carbon sequestration under different physiographic and climatic conditions in north Karaj river basin. *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World.* 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD.
Heidari, A., Mahmoudi Sh., Stoops G., and Mees F. (2004). Micromorphological characteristics of Vertisols of Iran, Including nonsmectitic soils. *Arid Land Research and Management*. 19: (1): 29-46.
Jenny, H. (1941). *Factors of Soil Formation*. McGraw-Hill, New York.
Karimzade, B. (2019). Basaltic & Tuff rocks weathering and relationship with soil organic and inorganic carbon storage, MSc. Thesis, University of Tehran.
Mahmoodi, Sh., and Heidari, A. (1998), Classification and Physicochemical Properties of Gypsiferous Soils in Southwest Gilanegharb Area. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 29: 299-308.
Mogheiseh, E., and Heidari, A. (2012). Polygenetic saline gypsiferous soils of the bam region southeast Iran." *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 12 (4): 729-741.
Moghiseh, E. (2012). Evaluation of the effects of forest use change on the dynamics and isotopic changes of carbon in the soil. PhD. Thesis, University of Tehran.
Moghiseh, E., Ghannadi Maragheh, M. and Heidari, A. (2013a). Impacts of land use on variations of soil $^{14}C$-age and determination of organic matter quality by FTIR spectrometry. *Journal of Nuclear Science and Technology*. 64: 19-27.
Moghiseh, E., Heidari, A. and Ghannadi Maragheh, M. (2013b). Impacts of deforestation and reforestation on soil organic carbon storage and $CO_2$ emission. *Soil Environment.* 32(1): 01-13.
Moghiseh, E., Heidari, A., Ghannadi Maragheh, M., Towfighi, H., Sarmadian, F. and Karimian Eghbal, M. (2012). Effects of forest land use change on physicochemical properties, organic carbon storage and soil respiration In Kelardasht region. *Iranian Journal of Water and Soil Reasearches*. 43(1): 37-46.
Mohebbi Sadegh, M.J. (2012). Redox concentrations and their roles in distribution and accumulation of heavy metals in soil, MSc. Thesis, University of Tehran.
Mohebbi Sadegh, M.J. (2017). Some Phosphorus forms variability affected by different land use (Case study: Kelardasht), PhD. Thesis, University of Tehran.
Mohebbi Sadegh, M.J., Heidari, A., and Sarmadian F. (2012a). The role of pedogenic processes and soil characteristics on nickel distribution in some Oxiaquic Paleudalfs. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 3(5): 1032-1039.

Mohebbi Sadegh, M.J., Heidari, A., Sarmadian F. and Savaghebi, Gh. (2012b). Investigation of Cobalt (Co) distribution in some Alfisols containing iron and manganese concentrations. *Journal of Water and Soil.* 26(5):1171-1180

Mohebbi Sadegh, M.J., Heidari, A., Sarmadian F. and Savaghebi, Gh. (2013). Investigation the ability of iron and manganese concentrations in soil cobalt, copper and lead accumulation. *Iranian Journal of Water and Soil Reasearches.* 44(3): 289-297.

Mohebbi Sadegh, M.J., Heidari, A., Sarmadian F. Savaghebi, Gh. and Raheb, A. (2012c). Different forms of iron and manganese and their distribution in concentrations of some profiles of Alfisoles affected by redox conditions. *Iranian Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences)*. 26(1): 43-53.

Mohebbi, M.J., and Heidari, A. (2017). Distribution of Phosphorus forms in the Kelardasht Forest Soils. *Iranian Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences).* 31(2): 231-246.

Mohseni, P. (2018). Applicability of Life Cycle Assessment (LCA) methodology to study of soil quality in farm scale, MSc. Thesis, University of Tehran.

Mohtasham, S.F. (2013). The role of mineralogical properties of nano- clays on the phosphate retention of Andisols, MSc. Thesis, University of Tehran.

Monajjem, M.A. (2013). An investigation the role of nanoclays on some soil physic- chemical properties, MSc. Thesis, University of Tehran.

Monajjem, M.A., Haidari A. and Bagheri Marandi. Gh. (2016a). Investigation of Phosphate Retention in some Allophanic and Non-Allophanic Nano-Clays from Karaj Formation. *Journal of Water and Soil.* 30(4): 1256-1269.

Monajjem, M.A., Haidari A. and Bagheri Marandi. Gh. (2016b). Comparison the ability of nano-clays and clays separated from different soils in retention of some heavy metals. *Journal of Water and Soil Conservation*, Vol. 23(3): 189-205.

Moradi, Z and Heidari, A. (2011). Micromorphological and mineralogical properties of carbonates in some Aridisols and Inceptisols. *Iranian Journal of Water and Soil Researches*. 42(2): 279-289.

Moradi, Z. (2010). Investigation on active carbonates in calcareous soils and their effect on physical, chemical, mineralogical and micromorphological properties. MSc. Thesis, University of Tehran.

Nabiollahi, K. (2012). The investigation of effect of geoforms' characterics on soil arsenic spatial variability in Bijar, Kordistan province, PhD. Thesis, University of Tehran.

Nabiollahi, K., Haidari, A., Tomanian, N., and Savaghebi. Gh. (2013). Relationship of soil characteristics in different geomorphic surfaces with spatial variability of soil arsenic (Case study: Bijar, Kurdistan Province). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 3(2): 1-27.

Noori Shahrabadi, M. (2010). *Fractionation of Carbon in saline and sodic soils of Eshtehard*. MSc. Thesis, University of Tehran.

Osat, M., (2010). Changes in soil carbon content due to land use change in central area of Karaj County. MSc. Thesis, University of Tehran.

Osat, M., and Heidari, A. (2019). Spatial Variations of Organic and Inorganic Carbon Stocks in Some Forest and Rangeland Soils of Northern Iran. *Iranian Journal of Water and Soil Research.* 50 (7): 1651-1666.

Osat, M., Heidari, A., and Sarmadian, F. (2011a). Investigation of changes in size and chemical fractions of soil organic matter (Case study of the central part of Karaj). *Iranian Journal of Water and Soil Research*. 42 (2): 191-198.

Osat, M., Heidari, A., and Sarmadian, F. (2011b). Investigation of the effect of land use change on soil organic carbon dynamics in the central part of Karaj. *Iranian Journal of Water and Soil Research*. 42 (2): 209-217.

Osat, M., Heidari, A., Karimian Eghbal, M. and Mahmoodi, Sh. (2016a). Impacts of topographic attributes on Soil Taxonomic Classes and weathering indices in a hilly landscape in Northern Iran. *Geoderma* 281: 90–101.

Osat, M., Heidari, A., Karimian Eghbal, M., and Mahmoodi, Sh. (2016b). Spatial variability of soil development indices and their compatibility with soil taxonomic classes in a hilly landscape: a case study at Bandar village, Northern Iran. *Journal of Mountain Science* 13(10): 1746-1759.

Osat, M. (2016). Spatial variability of soil development indices in soil map units: a case study in central Alborz, PhD. Thesis, University of Tehran.

Raheb, A. (2012). Investigation of morphological, physico-chemical, mineralogical and micromorphological properties of paddy and non paddy soils in the north of Iran. MSc. Thesis, University of Tehran.

Raheb, A. (2017). The effects of bioclimatological factors on soil organic and inorganic carbon contents in basaltic geological formations, PhD. Thesis, University of Tehran.

Raheb, A., Heidari A. and Karimzadeh, B. (2017). Micromorphological evidences of basalt and volcanic glass weathering in Ssemi-arid soils of middle Alborz. *Iranian Journal of Water and Soil Research*. 52(2): 379-394.

Raheb, A., Heidari A. and Mahmoodi Sh. (2017). Organic and inorganic carbon storage in soils along an arid to dry sub-humid climosequence in northwest of Iran. *Catena.* 153: 66–74.

Raheb, A., and Heidari, A. (2011). Clay mineralogy and its relationship with potassium forms in some paddy and non-paddy soils of northern Iran. *Australian Journal of Agricultural Engineering*, 2(6): 2(6):169-175.

Raheb, A. and Heidari, A. (2012a). Investigating the soil properties affected by land use change of paddy rice to kiwi plantation in some soils of tonekabon county, northern Iran. *Electronic JournaL of Soil Management and Sustainable Production.* 2(2):1-

25.

Raheb, A. and Heidari, A. (2012b). An investigation of oxidoreduction condition and some electrochemical, chemical and mineralogical characteristics of paddy and nonpaddy soils. *Iranian Journal of Water and Soil Research*. 43(1): 47-54.

Saberi Moghadam, E. (2012). Spatial variability of soil characteristics developed on Karaj green tuff. MSc. Thesis, University of Tehran.

Saeidi, A. (2017). Soil classification, clay mineralogy and its relation with available phosphorus (Case study of Botanic garden and model park of the university College of Agricultural and Natural Resources), MSc. Thesis, University of Tehran.

Samieifard, R., Heidari, A., Konyushkova, M. and Mahmoodi, Sh. (2021). Application of particle size distribution throughout the soil profile as a criterion for recognition of newly developed geoforms in the Southeastern Caspian coast. *Catena 2*03:105362.

Sartipi, S. (2013). Laboratory investigation of soil organic carbon turnover effects on the properties of some arid and semiarid soils, MSc. Thesis, University of Tehran.

Shiravi Khoozani, E. (2016), Investigation soil organic matter changes using micromorphological methods, MSc. Thesis, University of Tehran.

Soil Survey Staff, (2014). *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed. USDA -Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.

Sparks, D.L. (1996). *Methods of soil analysis*. Part 3-Chemical methods. Soil Science Society of America Inc.

USDA (1996). Keys to Soil Taxonomy, 7th edition. USDA.NRCS.

Zinck, J.A., Metternicht, G., Bocco, G. and Francisco Del Valle, H. (2016). Ge*opedology – An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies*. Springer International Publishing, Switzerland.