مقاله مروری

اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک

آرش محمدزاده[1] و یاسر عظیم‌زاده[2*]

۱) استادیار اگرواکولوژی، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مراغه، ایران.
۲) استادیار خاکشناسی، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مراغه، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: yaser.azimzadeh@gmail.com

چکیده:
پدیده تغییر اقلیم را می‌توان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهانی بشر در تأمین امنیت غذایی حال حاضر، آینده نزدیک و دور برشمرد. این موضوع بیشتر به صورت افزایش دما، تغییر الگوهای بارش و افزایش فراوانی و شدت رخدادهای حدی جوی اتفاق می‌افتد. شواهد موجود بیانگر این است که تغییر اقلیم بخش کشاورزی را به‌ویژه در بوم‌نظام‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک با شدت بیشتری تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. این اثرات می‌تواند مستقیماً بر رشد و تولید گیاهان زراعی و یا به صورت غیرمستقیم بر محیط تولید آن‌ها نظیر خاک اثر بگذارد. پتانسیل خاک برای تولید محصول به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن وابسته بوده و این ویژگی‌ها به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تحت‌تأثیر عوامل اقلیمی ازجمله دما و بارندگی قرار می‌گیرد. اغلب پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک ازجمله در بسیاری از مناطق ایران، تغییر اقلیم منجر به افزایش دما و کاهش بارندگی خواهد شد. بنابراین، با توجه به اهمیت و نقش دما و رطوبت در شاخص‌های کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک و پایداری تولید، به نظر می‌رسد پدیده تغییر اقلیم اثرات نامطلوبی بر خاک و به دنبال آن بر تولید محصول خواهد گذاشت. لذا بکارگیری راهکارهای لازم در خصوص تخفیف این اثرات نامطلوب و سازگاری با شرایط پیش‌رو از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. در این مقاله، با بررسی و جمع‌بندی پژوهش‌های انجام شده در مورد اثرات تغییر اقلیم بر ویژگی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، تلاش شده است تا نوعی پیش‌آگاهی از تغییرات احتمالی ایجاد شده در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ناشی از بروز تغییرات اقلیمی ارائه شود. با توجه به این که پدیده تغییر اقلیم امری اجتناب‌ناپذیر بوده و آثار و نتایج آن در زندگی بشر روزبه‌روز بیشتر و شدیدتر احساس می‌شود، لازم است در مدیریت منابع خاک، پیش‌آگاهی‌های لازم درخصوص نتایج این پدیده بر ویژگی‌های خاک و پتانسیل تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه در دیم‌زارها در نظر گرفته شود.

کلیدواژه‌ها: بارندگی، کیفیت خاک، گازهای گلخانه‌ای، گرمایش جهانی

شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

پست الکترونیک:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال دوازدهم
شماره سه (۴۷)
بهار ۱۴۰۲

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۱۱/۰۵

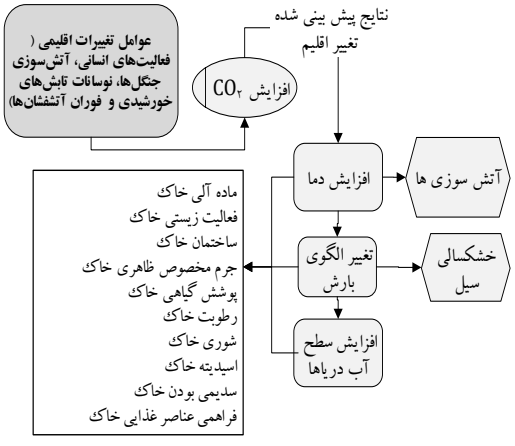
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۱/۱۷

صفحات: ۱۵۲-۱۳۹

10.30495/WSRCJ.2023.71490.11347

مقدمه

بیشترین ارتباط بین سلامت خاک و اقلیم جهانی، به ذخیره و انتشار ترکیبات کربن‌دار (کربن دی‌اکسید، متان و دود)، نیتروژن‌دار (دی‌اکسید نیتروژن، نیتروز اکسید و مونواکسید نیتروژن) و سایر ترکیبات آلی و غیرآلی مربوط می‌شود. در بررسی سلامت خاک باید به اثر عوامل پیش‌برنده تغییر اقلیم مانند افزایش سطح غلظت دی‌اکسیدکربن هوا، افزایش دما، تغییر در الگوهای بارش و بالا آمدن سطح آب دریاها بر کارکردهای شیمیایی و فیزیکی خاک توجه نمود (French et al., 2009). رابطه بالقوه بین سلامت خاک، مدیریت سرزمین و تغییر اقلیم به طور خلاصه در شکل ۱ نشان داده شده است. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، افزایش دما، تثبیت نیتروژن اتمسفری و تغییر در توزیع کلی و فصلی بارش و وقوع حوادثی نظیر خشکسالی و سیل‌ها بر چرخه نیتروژن و کربن و در نهایت بر ساختار و فرسایش خاک، فراهمی عناصر غذایی و بیماری‌های گیاهی و در نهایت بر عملکرد اکوسیستم و تولید کشاورزی اثر خواهد گذاشت (Singh et al., 2011).



شکل ۱. برخی از نتایج پیش‌بینی شده ناشی از تغییر اقلیم

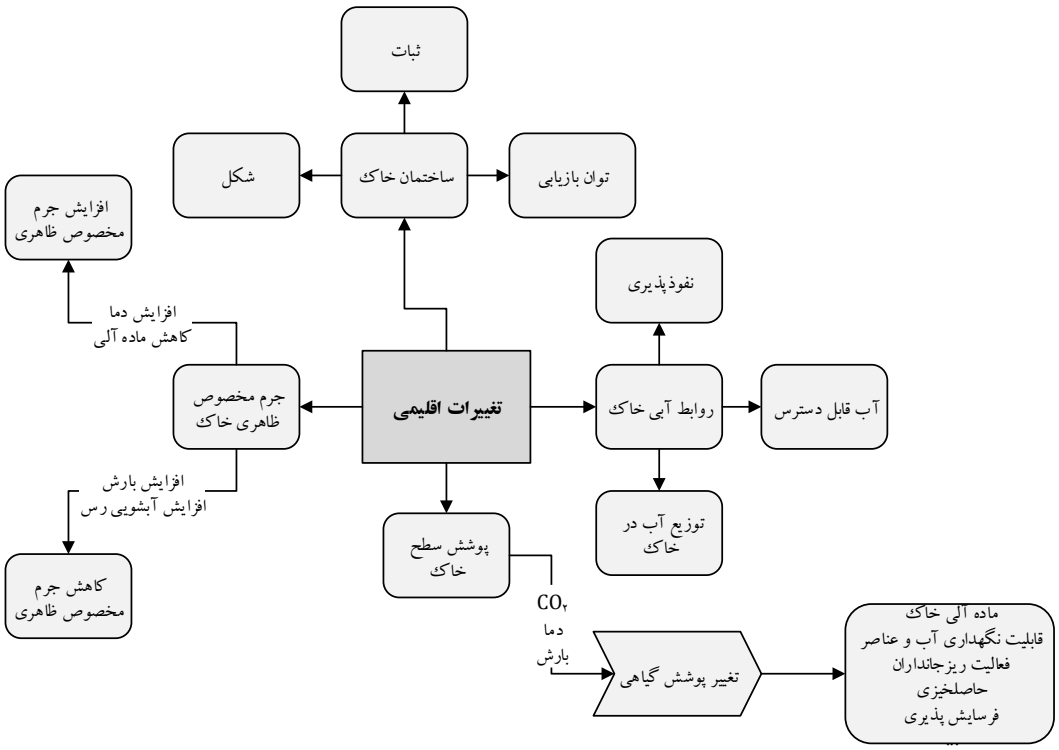
آگاهی از اثرات ناشی از پدیده تغییر اقلیم بر ویژگی‌ها و کارکردهای خاک می‌تواند بشر را در رویارویی با اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر کشاورزی و امنیت غذایی آماده سازد. این موضوع به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران با توجه به شرایط جغرافیایی آن اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک بخش وسیعی از مساحت ایران و تأثیرپذیری شدید این مناطق از عناصر اقلیمی و پدیده تغییر اقلیم، در این مقاله به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر ویژگی‌های خاک‌های کشاورزی با تأکید بر مناطق خشک و نیمه‌خشک پرداخته می‌شود.

اثر تغییر اقلیم بر شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک

ساختمان، جرم مخصوص ظاهری، روابط آبی و پوشش گیاهی سطح خاک از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک هستند که تحت‌تأثیرات تغییر اقلیم قرار می‌گیرند (شکل ۲) و هر یک در ادامه به اختصار توضیح داده می‌شود.

ساختمان خاک

ساختمان خاک به نحوه قرارگیری ذرات اولیه خاک شامل شن، سیلت و رس در کنار یکدیگر و فضای خالی بین آن‌ها گفته می‌شود. موادی که این ذرات را به هم چسبانده و در کنار هم نگه می‌دارد ممکن است از جنس آهک، مواد آلی، اکسیدهای فلزات و یا مواد دیگر باشد. ساختمان خاک یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت خاک بوده و بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. در اکوسیستم‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ساختمان خاک باروری فیزیکی خاک را تعیین می‌کند و توانایی خاک در تولید پایدار محصول را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. هرچه ثبات خاکدانه‌ها بیشتر باشد، خاک از ساختمان خوب و مناسبی برخوردار است. بنابراین، ساختمان خاک به میزان پایداری و ثبات خاک‌دانه‌ها وابسته بوده و ثبات خاکدانه‌های خاک به میزان مقاومت آن‌ها در برابر انرژی‌های وارد شده توسط عوامل خارجی نظیر بارش شدید باران و یا خاک‌ورزی بستگی دارد و به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تحت‌تأثیر برخی از ویژگی‌های شیمیایی و زیستی و همچنین عملیات مدیریتی خاک قرار می‌گیرد (Moebius et al., 2007). ثبات خاکدانه‌ها یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت و سلامت خاک است؛ زیرا در بسیاری از کارکردهای مهم و اساسی خاک مانند تجمع ماده آلی در خاک، ظرفیت نفوذ آب



شکل ۲. اثر تغییرات اقلیمی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک

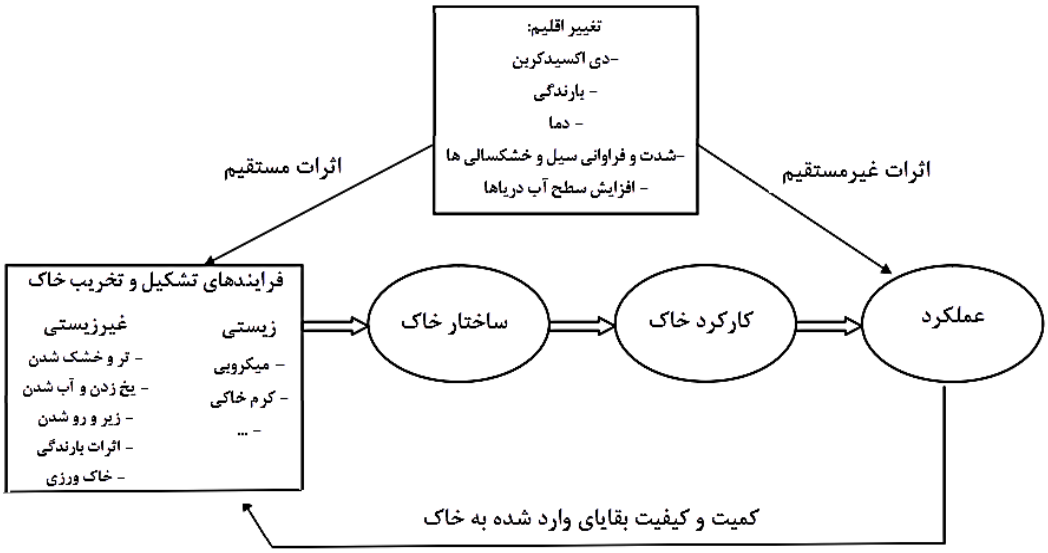
به خاک، حرکت و نگه‌داشت آب در خاک و فعالیت جوامع میکروبی و ریشه نقش اساسی داشته و در میزان مقاومت خاک در برابر فرسایش آبی و بادی و تغییرات مدیریتی بسیار تأثیرگذار است (Moebius, et al., 2007).

از آنجایی که ساختمان خاک به میزان مواد آلی خاک وابستگی زیادی دارد و خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ازجمله خاک‌های دیم‌زارهای ایران از نظر مواد آلی فقیر هستند (Omidi and Abdolmohammadi, 2020)، این خاک‌ها از نظر ساختمان ضعیف بوده و مستعد فرسایش و تخریب می‌باشند. به‌طورکلی، تغییرات اقلیمی می‌تواند به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر سه وجه ساختمان خاک یعنی شکل[1]، ثبات[2] و توان مقاومت و انعطاف‌پذیری[3] اثرگذار باشد (Singh et al., 2011) (شکل ۳).

اثرات مستقیم تغییر اقلیم بر ساختمان خاک

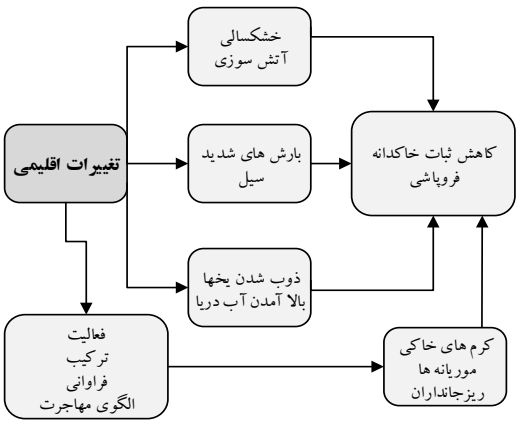
در مناطق گرم و خشک که کاهش میزان بارندگی در آن‌ها پیش‌بینی شده است، وقوع خشکسالی‌ها و آتش‌سوزی‌ها، خاک را در معرض فرایندهایی قرار می‌دهد که سبب تخریب ساختار آن می‌شود (Singh et al., 2011). با توجه به پیش‌بینی‌ها، انتظار می‌رود این خاک‌ها در بلندمدت در معرض خشکی قرار گیرند و از طرف دیگر، احتمال بارش‌های ناگهانی، شدید و سیل‌آسا نیز وجود دارد که در این شرایط، ساختمان خاک به‌دلیل فرآیندهای فروپاشی[4] و پخش‌شدن[5] ذرات، مستعد شکستگی و تخریب می‌شوند و پخش‌شدن ذرات خاک با اثرات مکانیکی بارندگی و افزایش شدت بارندگی تشدید می‌شود. همچنین، بر اثر بروز نتایج ناشی از تغییر اقلیم، احتمال انجام عملیات خاک‌ورزی در رطوبت نامطلوب خاک وجود دارد که می‌تواند سبب فشردگی بیش از حد خاک (در خاک خیلی مرطوب) و یا پودر شدن خاک (در خاک خیلی خشک) شود. در چنین شرایطی، جایگزینی سیستم کشاورزی سنتی با سیستم کشاورزی حفاظتی می‌تواند از پیامدهای منفی ناشی از تغییر اقلیم بر ثبات خاک‌دانه‌ها بکاهد.

[1] form
[2] stability
[3] resilience
[4] slaking
[5] dispersion



شکل ۳. رابطه بین ساختمان خاک و عملکرد محصول تحت شرایط تغییر اقلیم

سیل‌گرفتگی خاک‌ها نیز اغلب به دلیل وقوع طوفان‌های شدید و افزایش سطح آب دریاها اتفاق خواهد افتاد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که سطح آب دریاها می‌تواند به‌میزان ۲۶ الی ۵۹ سانتی‌متر افزایش پیدا کند (IPCC, 2007). سیل‌گرفتگی‌های دوره‌ای می‌تواند شدیداً ساختمان و بسیاری از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک را با فروپاشی و پخش شدن ذرات تغییر دهد و یا به‌طور غیرمستقیم بر جانوران خاک مانند کرم‌های خاکی اثر منفی بگذارد. علاوه‌برآن، سیل‌گرفتگی با آب دریا می‌تواند با ایجاد مشکلات شوری و سدیمی در خاک‌ها سبب تخریب ساختمان خاک و کاهش عملکرد محصول شود (Singh et al., 2011) (شکل ٤).



شکل۴. اثرات مستقیم و غیرمستقیم تغییر اقلیم بر ثبات خاکدانه‌ها

اثرات غیرمستقیم تغییر اقلیم بر ساختمان خاک

تغییر اقلیم می‌تواند با تحت‌تأثیر قرار دادن برخی از ویژگی‌های زیستی خاک، به‌طور غیرمستقیم بر ساختمان خاک اثر بگذارد. موجودات زندهٔ خاک مانند کرم‌های خاکی و موریانه‌ها می‌توانند اثر قابل‌توجهی بر ساختمان خاک و ویژگی‌های فیزیکی مربوط به آن مانند هدایت هیدرولیکی خاک بگذارند (Lavelle et al., 1997) (شکل ٤). کرم‌های خاکی و موریانه‌ها می‌توانند با ۱) بلعیدن ذران معدنی و آلی؛ ۲) دفع آن‌ها به‌صورت ذرات ریزشده؛ ۳) فرایندهای هضم که بر خاصیت کلوئیدی مواد آلی اثر می‌گذارد؛ و ٤) ایجاد منافذ و مسیرهای پایدار در خاک بر ساختمان خاک اثر بگذارند (Lavelle et al., 1997). تغییر در فعالیت، ترکیب، فراوانی و الگوهای مهاجرتی موجودات خاک ازجمله واکنش‌های آن‌ها به تغییر اقلیم است. در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک که بارندگی تنها منبع اصلی تأمین رطوبت است، وقوع خشکسالی‌های بلندمدت ناشی از تغییر اقلیم می‌تواند قابلیت زنده‌مانی و طول دوره زندگی این موجودات را تحت‌تأثیر قرار دهد. نتایج تحقیقات نشان داده است که با افزایش دمای خاک تا ۲۰ درجه سلسیوس، مصرف غذا توسط کرم خاکی (*Lumbricus terrestris*) افزایش می‌یابد ولی با افزایش دما به بیش از این مقدار، میزان

مصرف غذا توسط این کرم خاکی کاهش می‌یابد. همچنین با کاهش پتانسیل آب خاک به کمتر از ۷- کیلوپاسکال مصرف غذایی کرم خاکی کاهش می‌یابد (Singh et al., 2011).

نفوذپذیری، آب قابل‌دسترس و توزیع آن در خاک

نفوذپذیری خاک نسبت به آب عبارت است از سرعتی که آب از سطح وارد خاک شده و در عمق خاک حرکت می‌کند. از آنجا که سرعت نفوذ آب به خاک تحت‌تأثیر عواملی نظیر کاربری، مدیریت و زمان قرار می‌گیرد، این شاخص در ارزیابی اثرات تغییر کاربری زمین به‌عنوان یکی از شاخص‌های سلامت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (Arias et al., 2005). مقدار آب قابل‌دسترس خاک برای رشد گیاهان و انجام فرایندهای مهم خاک از طیف گسترده‌ای از ویژگی‌های خاک مانند تخلخل، ظرفیت زراعی، حد پایین آب قابل‌دسترس گیاه، پیوستگی منافذ، بافت و ساختمان خاک تأثیر می‌پذیرد (Jarvis, 2007). آب قابل‌دسترس خاک و توزیع آن می‌تواند واکنش سریعی به تغییر اقلیم به‌ویژه به وقوع بارندگی‌های شدید و خشکسالی نشان داده و بنابراین به استراتژی‌های مدیریتی مانند کشت گیاهان پوششی، شخم حفاظتی و افزودن ماده آلی که سبب حفظ و حتی افزایش قابلیت نفوذ خاک نسبت به آب و کاهش اثرات نامطلوب بارندگی و خشکسالی می‌شود، نیاز دارد (Sanchis et al., 2008). مطالعات محققین نشان می‌دهد که اثر تغییر اقلیم بر محتوی آب خاک به عوامل مختلفی نظیر تغییرات دمایی، تبخیر و تعرق و میزان و الگوی بارش‌ها بستگی دارد. به‌عنوان مثال، مطالعه Zare et al., (2022) در کانادا نشان داد که علی‌رغم پیش‌بینی افزایش ۱۰ تا ۱۱/۲ درصدی بارش همزمان با افزایش دمای بین ۲/۱ (تا ۲۰۵۰) تا ۳/۴ (تا ۲۰۸۰) درجه سلسیوس، پیش‌بینی شد که به دلیل افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل، محتوی رطوبت خاک بین ۳/۶ تا ۴ درصد کاهش خواهد یافت. (Jasper et al., 2006) اثر تغییر اقلیم بر میزان رطوبت خاک را در کشور سوئیس مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که به طور کلی، پدیده تغییر اقلیم در این کشور سبب کاهش محتوی رطوبت خاک خواهد شد که شدت آن به عواملی نظیر سناریو تغییر اقلیم، نوع کاربری اراضی (در اراضی جنگلی بیشتر از اراضی زراعی)، بافت خاک و توپوگرافی زمین (بیشترین کاهش در خاک‌های با شیب زیاد و قابلیت نگه‌داری آب کمتر) بستگی خواهد داشت. نتایج مطالعه شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر رطوبت خاک در حوضه‌های آبریز مختلف در استرالیا نشان داد که تغییر در میزان بارندگی تأثیر اندکی بر رطوبت خاک در حوضه‌های مناطق مرطوب دارد، اما در حوضه‌های خشک‌تر، درصد تغییر میزان رطوبت خاک می‌تواند بیشتر از درصد تغییر در بارندگی باشد. همچنین، بیان شد که در مقایسه با بارندگی، افزایش دما به تنهایی تأثیرات ناچیزی بر رطوبت خاک دارد (Chiew et al., 1995).

جرم مخصوص ظاهری خاک

جرم مخصوص ظاهری خاک معمولاً برای تعیین فشردگی خاک در برابر کاربری زمین و اقدامات مدیریتی آن به کار می‌رود؛ بنابراین، می‌تواند به‌عنوان شاخصی از سلامت خاک در رابطه با کارکردهایی مانند تهویه و نفوذپذیری مورد استفاده قرار گیرد (Pattison et al., 2008; Reynolds et al., 2009). دماهای بالا باعث افزایش سرعت تجزیه مواد آلی شده و کربن آلی خاک کاهش می‌یابد (Davidson and Janssens, 2006) و از آنجا که به‌طورکلی یک همبستگی منفی بین جرم مخصوص ظاهری و ماده آلی (کربن آلی) خاک وجود دارد (Azimzadeh and Najafi, 2017b)، با کاهش کربن آلی خاک ممکن است جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش یافته و خاک در شرایط خشکسالی و یا بارندگی‌های شدید بیشتر در معرض فشردگی قرار گیرد (Birka´s et al., 2009). خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران معمولاً دارای میزان مواد آلی کم و جرم مخصوص ظاهری زیادی است؛ در نتیجه، این خاک‌ها نسبت به تراکم و فشردگی و کاهش تخلخل و نفوذپذیری حساس می‌باشند.

تغییر اقلیم با تغییر در الگوی دما و بارش می‌تواند بر پدیده آبشویی نیز اثر بگذارد. همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، افزایش همزمان رطوبت و دما سبب شستشوی ذرات رسی و نشست آن‌ها در پروفیل‌های عمیق‌تر خاک می‌شود که باعث می شود لایه‌های عمیق‌تر خاک دارای جرم مخصوص ظاهری بیشتری شوند (Scharpenseel and Shoemaker, 1990).

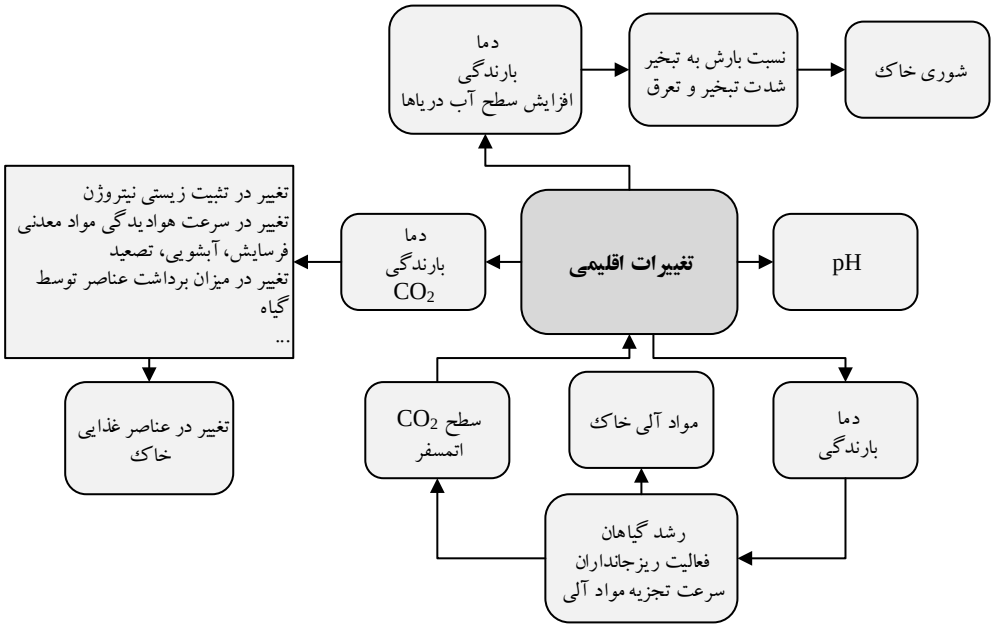
شکل ۵. اثر دما و رطوبت بر تمایز و شستشوی رس در پروفیل خاک (Scharpenseel and Shoemaker, 1990).

اثر تغییر اقلیم بر شاخص‌های کیفیت شیمیایی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک

ازجمله مهم‌ترین تأثیرات تغییر اقلیم بر ویژگی‌های شیمیایی خاک می‌توان به تحت‌تأثیر قرار دادن اسیدیته، شوری، مواد آلی و عناصر غذایی خاک اشاره کرد (شکل ٦) که هر یک در ادامه به اختصار توضیح داده می‌شود.

اسیدیته (pH)

نزدیک به ٤ میلیارد هکتار از زمین‌های موجود در جهان (حدود ۳۰٪ از زمین‌های بدون یخ) اسیدی هستند. با این که خاک‌های ایران غالباً آهکی و دارای pH قلیایی می‌باشند اما از آنجایی که پدیده تغییر اقلیم می‌تواند pH خاک‌ها را تحت‌تأثیر قرار دهد، اثر تغییر اقلیم بر pH خاک باید بررسی و روشن شود تا اقدامات مدیریتی لازم برای جلوگیری از بروز تغییرات شدید در pH خاک اتخاذ شود. عوامل پیش‌برنده تغییر اقلیم مانند افزایش دما، میزان ماده آلی خاک، چرخه کربن و عناصر غذایی، آب قابل دسترس گیاهان و در نهایت تولید محصول را تحت‌تأثیر قرار دهد که خود این عوامل بر میزان اسیدیته خاک تأثیر خواهند گذاشت (Reth et al., 2005). اسیدیته خاک می‌تواند از فصلی به فصل دیگر تغییر کند. با تغییر اقلیم که با افزایش دما و افزایش یا کاهش بارندگی همراه است،



شکل ۶. اثر تغییرات اقلیمی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

اسیدیته خاک نیز دچار تغییر می‌شود. افزایش بارندگی می‌تواند با آبشویی کاتیون‌های اصلی سبب تشدید اسیدی‌شدن خاک شود. همچنین، بر اثر افزایش دما و فشار جزئی دی‌اکسیدکربن اتمسفر، تولید زیست‌توده گیاهی افزایش خواهد یافت که به نوبه خود باعث تغییر در pH خاک خواهد شد. به‌طوری که ریشه گیاهان علاوه‌بر این که با جذب کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول خاک تعادل یون‌های H^+ و OH^- را با محلول و بخش جامد خاک تغییر می‌دهد، به ازای جذب کاتیون‌ها، یون H^+ به ازای جذب آنیون‌ها یون‌های OH^- و HCO_3^- به محلول خاک آزاد می‌کنند. در مناطقی که تغییرات اقلیمی به صورت افزایش دما و بارندگی باشد، فعالیت‌های میکروبی افزایش خواهد یافت و به دنبال آن، غلظت دی‌اکسیدکربن هوای خاک نیز افزایش خواهد یافت (Reth et al, 2005). همچنین، در این شرایط به دلیل افزایش بارندگی، آبشویی کاتیون‌ها از خاک افزایش یافته و همه این عوامل منجر به کاهش pH خاک خواهد شد. از نظر Tóth et al., (2013) در شرایط بوم نظام‌های طبیعی نظیر مناطق جنگلی، کاهش تولید زیست‌توده گیاهی در نتیجه تغییر اقلیم می‌تواند منجر به کاهش pH خاک گردد که در نتیجه کاهش ورودی Mg^{2+} و Ca^{2+} به خاک و در نتیجه کاهش ظرفیت بافری خاک در برابر اثرات اسیدی‌کنندگی مواد حدواسط ناشی از تجزیه بقایا و ترکیبات هوموسی می‌شود. در بوم‌نظام‌های تحت مدیریت نظیر بوم‌نظام‌های زراعی، عقیده بر این است که اگر تغییر اقلیم با افزایش دما و بارندگی همراه باشد، افزایش زیست‌توده تولید شده می‌تواند به واسطه جذب بیشتر کاتیون‌های بازی و برداشت آن در محصول تولید شده مقدار این کاتیون‌ها را در خاک کاهش داده و میزان اسیدیته خاک نیز کاهش یابد. علاوه‌بر این، افزایش بارندگی با افزایش آبشویی کاتیون‌های بازی از مجموعه تبادلات خاکی شرایط را به سمت اسیدی‌شدن خاک خواهد برد (Rengel et al., 2011).

قابلیت هدایت الکتریکی (EC)

قابلیت هدایت الکتریکی خاک که معیاری از غلظت نمک در محلول خاک بوده و به سادگی قابل‌اندازه‌گیری است، شاخص قابل‌اعتمادی از کیفیت و سلامت خاک به شمار می‌رود (Arnold et al., 2005). بسیاری از محققان فرآیندهای شور شدن خاک را در ارتباط نزدیک با برخی مشخصه‌های اقلیمی نظیر نسبت بارندگی به تبخیر، تبخیر و تعرق و یا دمای هوا دانسته‌اند (Rahimian et al., 2013). همانطور که قبلاً بحث شد، یکی از پیامدهای مهم تغییر اقلیم افزایش سطح آب دریاها است. همچنین در نتیجه تغییر اقلیم، میزان بارندگی یک منطقه ممکن است تشدید شود و یا از میزان بارندگی منطقه‌ای کاسته شود. به‌عنوان مثال، Ramezani Etedali et al., (2022) در یک مطالعه موردی با مدلسازی اثرات تغییر اقلیم بر میانگین دمای هوا و میزان بارندگی در منطقه ایلام، پیش‌بینی کردند که برای دوره زمانی ۲۱۰۰-۲۰۲۰، میانگین دمای هوا ۳/۸ درجه سلسیوس افزایش و میزان بارندگی به میزان ۶/۸ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین نشان دادند که منطقه مطالعاتی در آینده خشکسالی‌های شدیدتر و طولانی‌تری را تجربه خواهد کرد. چنانچه نتیجه تغییر اقلیم در یک منطقه به صورت افزایش دما و کاهش میزان بارندگی‌ها باشد، در این شرایط فرایند شور و سدیمی شدن خاک‌های آن منطقه به وقوع خواهد پیوست (Arnold et al., 2005).

تغییر اقلیم می‌تواند از طریق سه ساز و کار اصلی سبب شور شدن خاک‌ها شود که شامل تجمع نمک[1]، رسوب بادی نمک[2] و نفوذ[3] نمک است. تجمع زمانی رخ می‌دهد که آبشویی نمک کاهش یافته و نمک در سطح و نزدیکی سطح خاک تجمع یابد (West et al., 1994). شور شدن خاک همچنین زمانی به وقوع می‌پیوندد که نمک به سفره آب زیرزمینی کم‌عمق آبشویی شده باشد و سپس به نقاط پست‌تر نفوذ پیدا کند (Ballantyne, 1963). شور

[1] salt accumulation
[2] wind deposition
[3] seepage

شدن با رسوب بادی نیز به منبع نهشته‌های نمکی بستگی دارد. در مناطق گرم و خشک افزایش تبخیر و تعرق منجر به افزایش غلظت نمک در محلول خاک خواهد شد. در چنین شرایطی، اگر سطح آب زیرزمینی بالا باشد، صعود مویینه[1] آب از سفره آب زیرزمینی به طرف سطح خاک سبب ادامه فرآیند تبخیر و تجمع نمک در سطح خاک می‌شود. در برخی از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مانند دیم‌زارها به‌علت این که معمولاً سطح سفره آب زیرزمینی پایین است، احتمال شور شدن خاک توسط سازوکار صعود مویینه نمک از سفره آب زیرزمینی کم است. همچنین، به علت بارندگی کم و بافت نسبتاً سنگین و شیب خاک، نفوذ آب به خاک و درنتیجه آبشویی[2] نمک به سفره آب زیرزمینی و نفوذ آن به نقاط پست‌تر نیز به ندرت رخ می‌دهد. یکی از منابع دیگر شور شدن خاک، استفاده از آب آبیاری شور است که در دیم‌زارها این نوع شور شدن خاک مطرح نمی‌باشد اما نهشته‌ها و رسوبات بادی و یا آبی دارای نمک به‌ویژه در مناطق مستعد فرسایش ممکن است منجر به شور شدن تدریجی خاک سطحی شود.

دمای بالا در زمستان تأثیر ناچیزی بر شور شدن خاک‌ها دارد. تغییر نسبت بارش باران به بارش برف و دوره کوتاه یخبندان سبب بهتر شدن نفوذ آب به خاک و آبشویی خواهد شد. زمانی که افزایش دما با افزایش قابل‌توجه بارندگی‌ها همراه باشد، غلظت نمک در محلول خاک کاهش خواهد یافت. تجمع نمک در خاک می‌تواند بر سایر ویژگی‌های خاک مانند ظرفیت نگه‌داری عناصر غذایی، پویایی عناصر غذایی، جرم مخصوص ظاهری، ساختمان و تخلخل خاک اثر منفی داشته باشد (Robert et al., 1995; Varalyay, 2007). بنابراین، خاک‌های شور عموماً در مناطقی وجود دارند که اقلیم گرم و خشک در آن‌ها حاکم و سطح سفره آب زیرزمینی بالا است. (Smith et al., 2002) در بررسی اثر افزایش شیب دما و کاهش بارندگی در سناریوهای تغییر اقلیم، گزارش کردند که در شرایط خشک و نیمه‌خشک، میزان قابلیت هدایت الکتریکی خاک کاهش و میزان اسیدیته خاک افزایش یافت. (Pariente, (2001 نیز با مطالعه غلظت نمک‌های محلول در چهار منطقه اقلیمی (مدیترانه‌ای، نیمه‌خشک، خشک معتدل و خشک) گزارش کرد که یک رابطه غیرخطی بین نمک‌های محلول خاک و بارندگی در مکان‌هایی که میزان بارندگی در آن‌ها کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر است، وجود دارد؛ به‌طوری که هر چه میزان بارندگی کمتر باشد میزان نمک‌های محلول بیشتر خواهد بود و برعکس.

با توجه به وضعیت جغرافیایی ایران که میزان بارندگی در اکثر نقاط آن پایین است و جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود، اثر تغییر اقلیم بر میزان شور شدن خاک‌های آن در آینده بسیار محتمل است. در حال حاضر حدود ۳٤٪ از وسعت زمین‌های کشور (معادل ۵۵/٦ میلیون هکتار) را خاک‌های با درجات مختلف شوری تشکیل می‌دهد که عدد قابل‌توجهی است. پیش‌بینی‌های صورت گرفته در ایران (Rahimian et al., 2013) تحت دو سناریو مختلف نیز نشان داده است که در سایه تغییرات اقلیمی محتمل در طی ۳۰ سال آینده، میزان شوری خاک بین ۱/۵ تا ۱/۹ دسی‌زیمنس بر متر و در طی ۹۰ سال آینده بین ۳/۲ الی ٤/۷ دسی‌زیمنس بر متر افزایش خواهد یافت. بنابراین، احتمال افزایش شوری خاک در بسیاری از نقاط دنیا از جمله ایران در نتیجه تغییر اقلیم وجود دارد و نیاز است تا اقداماتی برای مدیریت خاک و جلوگیری از شور شدن اراضی زراعی صورت گیرد. ازجمله مهم‌ترین اقدامات کنترل و مدیریت کوتاه‌مدت و بلندمدت شوری خاک در مزارع آبی می‌توان به مدیریت بهینه آبیاری در مزرعه، افزایش راندمان مصرف آب، آبشویی مکانی خاک‌های شور، انجام اقدامات زهکشی مناسب، توجه به تکنیک‌های شوری‌زدایی و استفاده بهینه از منابع آب شور در کشاورزی و در اراضی دیم به استفاده از ارقام زراعی مناسب و علوفه مقاوم به شوری، توجه به زمان کوددهی محصول و توجه به روش‌های بهینه کاشت اشاره کرد (Weil and Magdoff, 2004).

[1] Capillary rise
[2] Eluviation

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC)

رس‌ها و مواد آلی خاک غالباً دارای بار الکتریکی منفی هستند و می‌توانند کاتیون‌ها را جذب و نگهداری کنند. به این توانایی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک گفته می‌شود که با میزان رس‌ها و مواد آلی خاک همبستگی مثبت و مستقیم دارد؛ به طوری که با افزایش میزان رس و مواد آلی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نیز افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال، Solly et al., (2020) همبستگی مثبت معنی‌دار بین میزان مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را در عمق‌های مختلف و در خاک‌های با pHهای متفاوت گزارش کردند که نشان می‌دهد مواد آلی خاک از ویژگی‌های مهم تأثیرگذار بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک است. از آنجایی که عوامل اقلیمی ازجمله دما و رطوبت (بارندگی) از مهم‌ترین عواملی هستند که مقدار مواد آلی موجود در خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نیز تحت‌تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرد؛ به طوری که با افزایش بارندگی و رطوبت خاک، ورودی مواد آلی به خاک از خروجی مواد آلی از خاک پیشی گرفته و میزان مواد آلی و در نتیجه، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش دمای خاک، تجزیه و تخریب مواد آلی خاک تشدید شده و خروجی مواد آلی از خاک بر ورودی مواد آلی به خاک غلبه کرده و میزان مواد آلی خاک و در نتیجه ظرفیت تبادل کاتیونی خاک کاهش می‌یابد (Davidson and Janssens 2006). از طرف دیگر، میزان رس‌های خاک تحت‌تأثیر نوع مواد مادری و درجه تکامل پروفیلی خاک قرار می‌گیرد و دما و رطوبت از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تکامل پروفیلی خاک به شمار می‌روند. بنابراین، هر عاملی که بتواند میزان رس خاک را تحت‌تأثیر قرار دهد، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را نیز تحت‌تأثیر قرار خواهد داد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان تکامل پروفیلی خاک با افزایش دما و رطوبت افزایش می‌یابد. درنتیجه، می‌توان انتظار داشت که با افزایش دما و بارندگی، میزان رس خاک و در نتیجه ظرفیت تبادل کاتیونی خاک افزایش یابد (Percival et al., 2000).

عناصر غذایی خاک

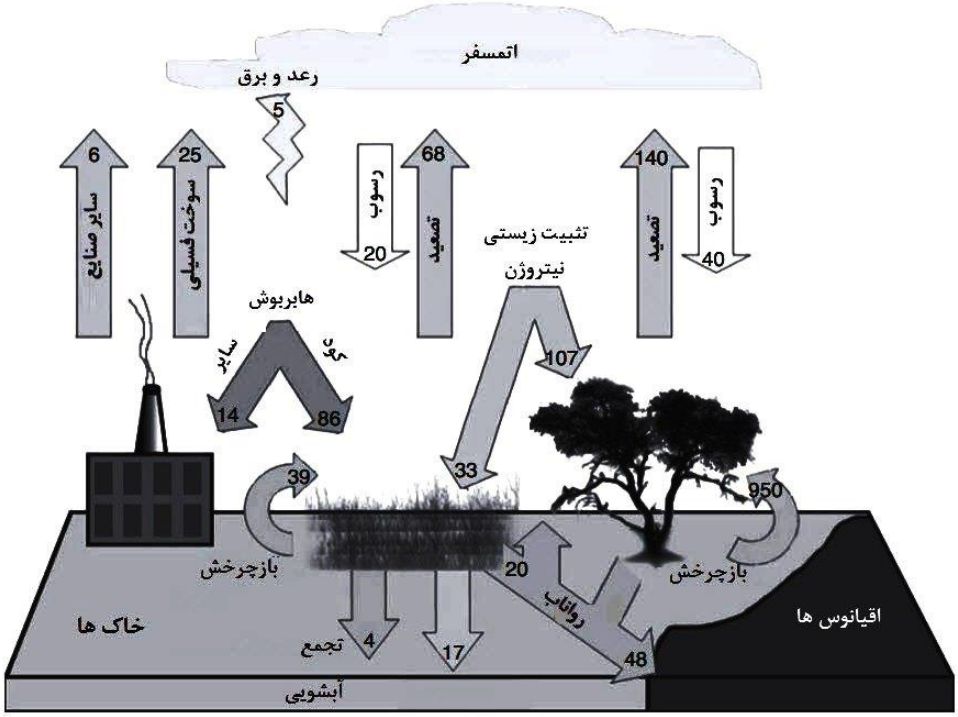
مقدار کل و قابل‌جذب عناصر غذایی موجود در خاک ازجمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی خاک می‌باشد که ظرفیت خاک برای تولید محصول و میزان مصرف کود را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. به‌طورکلی، مطالعات اندکی در مورد اثرات تغییر اقلیم بر چرخه عناصر غذایی خاک انجام شده است. چرخه عناصر غذایی، به‌ویژه نیتروژن رابطه نزدیکی با چرخه کربن آلی خاک دارد و بنابراین، عوامل پیش‌برنده تغییر اقلیم مانند افزایش دما، تغییر در بارندگی و تثبیت نیتروژن اتمسفری می‌تواند به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر چرخه نیتروژن و احتمالاً بر چرخه عناصری مانند فسفر و گوگرد اثرگذار باشد (Singh et al., 2011). تغییرات اقلیمی به چند طریق می‌تواند توازن عناصر غذایی را در خاک تحت‌تأثیر قرار دهد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Newton et al., 2006):

- فرایند رسوب عناصر غذایی موجود در اتمسفر از طریق تغییر الگوهای بارندگی
- تغییر در تثبیت زیستی نیتروژن اتمسفری در خاک
- تغییر در سرعت هوادیدگی مواد معدنی خاک
- تغییر فرسایش و آبشویی عناصر غذایی با تأثیر بر چرخه‌های عناصر غذایی
- تغییر در میزان برداشت عناصر غذایی توسط گیاه و خروج عناصر غذایی از خاک به دلیل تغییر در میزان و ترکیب عناصر مواد گیاهی.

پدیده تغییر اقلیم سرعت معدنی‌شدن مواد آلی را به صورت‌های مختلف دگرگون خواهد کرد. به‌طور مثال، کمیت و کیفیت مواد آلی تولیدی در شرایط تغییر اقلیم تحت‌تأثیر قرار گرفته و در پی آن، فعالیت‌های میکروبی و فرایند تجزیه و تخریب مواد آلی نیز تغییر می‌یابد. همچنین، عوامل غیرزنده نظیر دما و رطوبت سرعت تجزیه مواد آلی در خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند

(Azimzadeh and Najafi, 2017b). زیست‌توده میکروبی خاک ذخایر پویایی از مواد آلی در خاک بوده و محتوای عناصر غذایی آن‌ها اغلب بیشتر از گیاهان است. بنابراین، تغییر جریان‌های کربن ناشی از تغییر اقلیم می‌تواند با اثرگذاری بر زیست‌توده میکروبی خاک، معدنی‌شدن مواد آلی، هوادیدگی مواد معدنی، فرسایش، آبشویی و سایر سازوکارهای چرخه عناصر غذایی در خاک، توزیع عناصر غذایی در خاک را تحت‌تأثیر قرار دهد. فرایندهای آبشویی و تصعید از جمله فرایندهای مهمی هستند که می‌توانند توازن عناصر غذایی خاک را تغییر دهند. در فرایند آبشویی، مقدار قابل‌ملاحظه‌ای از عناصر غذایی از پروفیل خاک شسته شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود که در مورد نیتروژن، علاوه‌بر آبشویی، تصعید آن به شکل‌های آمونیاک، نیتروز اکسید و مونوکسید نیتروژن نیز منجر به خروج آن از خاک می‌شود (شکل ۱۰). عناصر و ترکیبات مختلف، واکنش‌های مختلفی در برابر فرآیند آبشویی دارند، به‌طور مثال، ترکیباتی مانند یون‌های نیترات و پتاسیم که حلالیت بالایی دارند و جذب سطحی آن‌ها به ذرات کلوئیدی خاک با نیروی کمتری صورت می‌گیرد، تلفات آبشویی بسیار بالایی دارند. بنابراین چنانچه تغییرات اقلیمی به‌صورت افزایش میزان و شدت بارندگی باشد، خطر آبشویی عناصر غذایی به‌ویژه در خاک‌های با بافت سبک بسیار بالا خواهد بود (Tamm, 2012). در برخی از اراضی خشک و نیمه‌خشک ایران ازجمله در دیمزارها شیب زیاد و بافت نسبتاً سنگین خاک از یک طرف و وجود سخت‌لایه شخم در عمق ۲۵-۲۰ سانتی‌متری خاک از طرف دیگر مانع از وقوع پدیده آبشویی عناصر از پروفیل خاک خواهد شد. با این حال، در این مناطق در صورتی که بارش‌های رگباری تشدید شود، ممکن است منجر به افزایش فرسایش خاک شود.

افزایش غلظت گاز دی‌اکسیدکربن اتمسفر می‌تواند سبب افزایش باروری گیاهان و افزایش ورود ماده آلی به خاک شود که این افزایش کربن در خاک نیز می‌تواند زیست‌توده میکروبی خاک را افزایش دهد (Azimzadeh and Najafi, 2017a). افزایش زیست‌توده میکروبی خاک می‌تواند از طریق ساکن‌سازی (تثبیت) عناصر غذایی روی گیاه اثر بگذارد اما نهایتاً تجزیه مواد آلی می‌تواند سبب آزاد شدن عناصر غذایی و ورود آن‌ها به داخل محلول خاک شود (Zhang et al., 2013).



شکل ۱۰. جریان نیتروژن در اکوسیستم خشکی با تأکید بر سیستم کشاورزی. اعداد، میانگین برآوردها از منابع مختلف هستند. واحدها بر اساس تریلیون گرم ($1\ Tg = 10^{12}g$) (Tamm, 2012).

افزایش دما بسته به عوامل دیگری نظیر نوع خاک و مقدار رطوبت و محتوی ماده آلی خاک می‌تواند اثرات مختلفی بر میزان عناصر غذایی موجود در خاک بگذارد. چنانچه تغییر اقلیم با افزایش دما و در منطقه‌ای با میزان بارش کم همراه باشد، افزایش دما می‌تواند با افزایش میزان تبخیر و تعرق، سبب کاهش رطوبت خاک و فراهمی آب برای گیاه شود. در چنین شرایطی، طبیعتاً میزان مواد آلی تولیدی و فعالیت میکروبی خاک تحت‌تأثیر قرار خواهد گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که ذخایر کربنی خاک با افزایش دما رابطه عکس و با بارندگی رابطه مستقیم دارد. بنابراین، اثر متقابل دما و رطوبت، عامل اصلی تجزیه و یا انباشت کربن و عناصر غذایی در خاک است. به طورکلی، افزایش دما در شرایط رطوبت مناسب می‌تواند سبب افزایش سرعت تجزیه مواد آلی و افزایش فراهمی عناصر غذایی شود. هر چند که پیش‌بینی اثرات گرم شدن زمین بر ماده آلی خاک و عناصر غذایی آن کار ساده‌ای نبوده و به عوامل متعددی بستگی دارد (Singh et al., 2011).

نتیجه‌گیری کلی

تولید محصولات کشاورزی ارتباط مستقیمی با عوامل اقلیمی دارد. از این رو تغییرات اقلیمی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم، تولیدات کشاورزی را در سرتاسر زمین تحت‌تأثیر قرار داده است و شدت این تأثیرات با گذشت زمان افزایش می‌یابد. با توجه به وابستگی شدید تولیدات گیاهی به سلامت و کیفیت خاک، یکی از حوزه‌های مهم تأثیر تغییرات اقلیمی بر کشاورزی، تأثیر بر ویژگی‌های خاک است. عوامل تغییر اقلیم ازجمله افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر به‌طور مستقیم و غیرمستقیم ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. با شناخت این تأثیرات می‌توان راه‌کارهای مدیریتی لازم برای به حداقل رساندن آسیب‌های ناشی از آن را ارائه داد. اولین و مهم‌ترین راه‌حل عملی که اجماع جهانی را به همراه دارد، اقدامات لازم برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است و تثبیت کربن در خاک یکی از مؤثرترین راه‌کارهای جلوگیری از افزایش غلظت گاز دی‌اکسیدکربن اتمسفر است. علاوه‌برآن، کربن آلی خاک به‌عنوان کلید حاصلخیزی خاک شناخته می‌شود و با افزایش کربن آلی خاک علاوه‌بر تثبیت کربن در خاک، ویژگی‌های

کیفی خاک نیز بهبود یافته و حاصلخیزی آن افزایش می‌یابد. با افزایش کربن آلی خاک، سایر ویژگی‌های خاک نیز بهبود یافته و آسیب‌پذیری خاک در مقابل اثرات منفی ناشی از تغییر اقلیم کاهش می‌یابد. یکی دیگر راه‌کارها اصلاح کیفیت خاک‌های مشکل‌دار و دارای محدودیت مانند خاک‌های شور، شور-سدیمی، قلیا، آهکی، گچی و شنی است. با اصلاح کیفیت این خاک‌ها علاوه‌بر افزایش سطح تولید، می‌توان از غیرقابل‌استفاده شدن این خاک‌ها در آینده بر اثر تغییرات اقلیمی جلوگیری کرد. محدود بودن خاک‌های حاصلخیز برای تولید محصول سبب شده است تا بسیاری از خاک‌های حاشیه‌ای و کم‌توان به منظور تولید محصول مورد کشت قرار گیرند. عملیات مدیریتی مناسب می‌تواند از میزان حساسیت این مناطق در برابر اثرات منفی تغییر اقلیم بکاهد که اصول و مفاهیم کشاورزی حفاظتی برای این منظور باید مورد توجه جدی قرار گیرد. به حداقل رساندن عملیات خاک‌ورزی (بی‌خاک‌ورزی) و پوشش دائمی سطح خاک (خاکپوش) به همراه رعایت تناوب زراعی از جمله این اقدامات مؤثر است.

Reference:

Arias, M. E., Gonza´lez-Pe ´rez, F. J., & Gonza ´lez-Vila, A. S. B. (2005). Soil health – a new challenge for microbiologists and chemists. *International Microbiology*, 8, 13–21.

Arnold, S. L., Doran, J. W., Schepers, J., & Wienhold, B. (2005). Portable probes to measure electrical conductivity and soil quality in the field. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36, 2271–2287.

Azimzadeh, Y., & Najafi, N. (2017a). Effects of Biochar on Soil Physical, Chemical, and Biological Properties. *Land Management Journal*, 4(2),161-173 [in Persian].

Azimzadeh, Y., & Najafi, N. (2017b). Biochar: the Material with Unique Properties for Carbon Sequestration and Global Warming Mitigation. *Land Management Journal*, *5*(1), 51-63 [in Persian].

Chiew, F. H. S., Whetton, P. H., McMahon, T. A. & Pittock, A. B. (1995). Simulation of the impacts of climate change on runoff and soil moisture in Australian catchments. *Journal of hydrology*, 167(1-4), 121-147.

Davidson, E. A., & Janssens, I. A. (2006). Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440, 165–173.

French, S., Levy-Booth, D., Samarajeewa, A., Shannon, K. E., Smith, J., & Trevors, J. T. (2009). Elevated temperatures and carbon dioxide concentrations: effects on selected microbial activities in temperate agricultural soils. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25, 1887–1900.

IPCC. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Jarvis, N. J. (2007). A review of non-equilibrium water flow and solute transport in soil macropores: principles, controlling factors and consequences for water quality. *European Journal of Soil Science*, 58, 523–546.

Jasper, K., Calanca, P. & Fuhrer, J. (2006). Changes in summertime soil water patterns in complex terrain due to climatic change. *Journal of Hydrology*, 327(3-4), 550-563.

Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O. W., & Dhillion, S. (1997). Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Science*, 33,159–193.

Moebius, B. N., Van Es, H. M., Schindelbeck, R. R., Idowu, O. J., Clune, D. J., & Thies, J. E. (2007). Evaluation of laboratory-measured soil properties as indicators of soil physical quality. *Soil Science*, 172, 895–912.

Newton, P. C., Carran, R. A., Edwards, G. R., & Niklaus, P. A. (2006). Agroecosystems in a changing climate. CRC Press.

Omidi, J., & Abdolmohammadi, S. (2020). Review of Research on Vermicompost Applications in Agriculture. *Land Management Journal*, 8(1), 69-81 [in Persian].

Pariente, S. (2001). Soluble salts dynamics in the soil under different climatic conditions. *Catena*, 43, 307–321.

Pattison, A. B., Moody, P. W., Badcock, K. A., Smith, L. J., Armour, J. A., Rasiah, V., Cobon, J. A., Gulino, L. M., & Mayer, R. (2008). Development of key soil health indicators for the Australian banana industry. *Applied Soil Ecology*, 40, 155–164.

Percival, H. J., Parfitt, R. L., & Scott, N. A. (2000). Factors controlling soil carbon levels in New Zealand grasslands is clay content important? *Soil Science Society of America Journal*, 64(5), 1623–1630.

Rahimian, M. H., Poormohammadi, S., Hasheminejhad, Y. & Meshkat, M.A. (2013). Impact of climate change on salinization in Iran. *Iranian journal of soil research*, 27(1), 1-11 [in Persian].

Ramezani Etedali, H., Khodabakhshi, F., & Kanani, E. (2022). Effects of climate change on drought according to IPCC AR5 (case study: Ilam). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 12(45), 87-107 [in Persian].

Rengel, Z. (2011). Soil pH, soil health and climate change. In Soil health and climate change (pp. 69-85). Springer, Berlin, Heidelberg.

Reth, S., Reichstein, M., & Falge, E. (2005). The effect of soil water content, soil temperature, soil pH value and root mass on soil CO_2 efflux. *Plant and Soil*, 268, 21–33.

Reynolds, W. D., Drury, C. F., Tan, C. S., Fox, C. A., & Yang, X. M. (2009). Use of indicators and pore volume function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*, 152, 252–263.

Robert, T., Watson, M., Richard, C., & Moss, H. (1995). IPCC Second Assessment Report. Working Group II Report "Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses".

Scharpenseel, H. W., & Shoemaker, M. (1990). Soils on a Warmer Earth. Elsevier Science. 296 pages.

Singh, B. P., Cowie, A. L., & Chan, K. Y. (2011). Soil Health and Climate Change. Springer Heidelberg, Dordrecht, London, New York. 403 pages.

Smith, J. L., Halvoson, J. J., & Bolton, H. J. (2002). Soil properties and microbial activity across a 500 melevation gradient in a semi-arid environment. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 1749–1757.

Solly, E. F., Weber, V., Zimmermann, S., Walthert, L., Hagedorn, F., & Schmidt, M. W. I. (2020). A critical evaluation of the relationship between the effective cation exchange capacity and soil organic carbon content in Swiss forest soils. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3, 98-110.

Tamm, C. O. (2012). Nitrogen in terrestrial ecosystems: questions of productivity, vegetational changes, and ecosystem stability (Vol. 81). Springer Science & Business Media.

Tóth, J. A., Nagy, P. T., Krakomperger, Z., Veres, Z., Kotroczó, Z., Kincses, S., Fekete, I., Papp, M., Mészáros, I., & Oláh, V. (2013). The effects of climate change on element content and soil pH (Síkfőkút DIRT Project, Northern Hungary). In The Carpathians: integrating nature and society towards sustainability (pp. 77-88). Springer, Berlin, Heidelberg.

Weil, R. R., & Magdoff, F. (2004). Significance of soil organic matter to soil quality and health. In: Weil RR, Magdoff F (eds.) Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC press, Florida, pp:1–43.

Zare, M., Azam, S., & Sauchyn, D. (2022). Impact of climate change on soil water content in southern Saskatchewan, Canada. *Water*, 14(12), 1920-1931.

Zhang, W., Parker, K. M., Luo, Y., Wan, S., Wallace, L. L., & Hu, S. (2005). Soil microbial responses to experimental warming and clipping in a tallgrass prairie. *Global Change Biology*, 11, 266–277.

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)

Web site:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 12
No. 3 (47)
Spring 2023

Received:
2023-02-25

Accepted:
2023-04-06

Pages: 139-152

The Effect of Climate Change on the Physical and Chemical Properties of Arid and Semi-Arid Soils

Arash Mohammadzadeh[1] and Yaser Azimzadeh[2]

1) Assistant Professor of Agroecology, Dryland Agricultural Research Institute, Maragheh.
2) Assistant Professor of Soil Science, Dryland Agricultural Research Institute, Maragheh.
*Corresponding author email: yaser.azimzadeh@gmail.com

Abstract:
Climate change is one of the most significant global challenges threatening food security now, in the near and far future. This mainly occurs in the form of increasing temperature, change in rainfall pattern, and increase in extreme weather events. There are strong evidences demonstrating the vulnerability of agriculture sector in arid and semi-arid regions to climate change. This may directly impact on crops growth and production or indirectly impact on their environments. The ability of soil to produce a crop depends on its physical and chemical properties and these properties are directly and indirectly affected by climatic factors such as temperature and rainfall. Most predictions show that in arid and semi-arid regions, including many regions of Iran, climate change will lead to an increase in temperature and a decrease in rainfall. Therefore, considering the importance and role of temperature and humidity in physical and chemical quality indicators of soil and production stability, it seems that the phenomenon of climate change will have adverse effects on soil and then on crop production. Therefore, it is very important to use the necessary solutions to mitigate these adverse effects and adapt to the upcoming conditions. In this article, by reviewing and summarizing the research on the effects of climate change on the characteristics of arid and semi-arid soils, an attempt has been made to provide some kind of foresight of possible changes in the physical, chemical, and biological properties of soil due to climate change.
Keywords: Greenhouse gases, Global warming, Rainfall, Soil quality

10.30495/WSRCJ.2023.71490.11347