دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده کشاورزی

گروه علوم و مهندسی خاک

خاکشناسی عمومی

تهیه و تنظیم
دکتر حیدر غفاری

هوای خاک:

تقریبا نصف حجم خاک از مواد جامد تشکیل شده و نصف دیگر آن از منافذ بزرگ و کوچک تشکیل شده که بوسیله آب و هوا پر می شود. مقدار آب و هوا با هم مرتبط بوده و با خالی شدن تخلخل ریز از آب جای آن را هوا پر می‌کند. مقدار هوای خاک برای تبادلات گازی ریشه و رشد مطلوب آن دارای اهمیت می‌باشد.

تهویه خاک (Soil aeration):

خاکی دارای تهویه مناسب است که در آن خاک مقدار اکسیژن کافی جهت تنفس و انجام اعمال متابولیکی برای ریشه گیاه مهیا باشد. بر اثر تردد ادوات کشاورزی فشردگی خاکها و کاهش تبادلات گازی صورت می‌گیرد.

مشخصه خاک دارای تهویه مناسب:

۱- وجود فضای خالی کافی برای نفوذ هوا

۲- وقوع تبادلات گازی در خاک

بنابراین نه تنها وجود فضای مناسب برای ذخیره هوا در خاک لازم می‌باشد، بلکه تبادلات گازی بایستی بسرعت در خاک صورت گیرد، یعنی CO_2 بتواند از خاک خارج و بجای آن اکسیژن وارد گردد. بنابر این وجود تخلخل درشت و پایین بودن سطح ایستابی (عدم غرقاب) و خروج آب اضافی از خاک پس از آبیاری باعث تامین تهویه مناسب برای رشد گیاه می‌گردد.

مهمترین عوامل موثر بر ترکیب جو خاک:

۱- منافذ خاک

۲- سرعت فعل و انفعالات بیوشیمیایی

۳- سرعت تبادلات گازی

ترکیب جو خاک:

هوای اتمسفر از ۷۹ درصد نیتروژن، ۲۱ درصد اکسیژن ۰/۰۳ درصد CO_2 تشکیل شده است. هوای خاک بدلیل تنفس ریشه گیاهان و سایر موجودات زنده دارای مقدار کمتری اکسیژن و مقدار دی‌اکسیدکربن آن ۱۰ تا ۱۰۰ برابر می‌باشد.

جدول: مقایسه فاز گازی خاک نسبت به اتمسفر

فاز گازی خاک (٪)	اتمسفر (٪)	گازها
۷۸-۸۶	۷۸	N_2
۱۰-۲۰	۲۱	O_2
۰/۱-۱۵	۰/۰۳	CO_2
>۹۵	<۹۵	H_2O

تهویه خاک:

تهویه خاک عموما با واژه‌های پتانسیل اکسیداسیون و احیاء اندازه‌گیری می‌شود. پتانسیل اکسیداسیون و احیاء تمایل یک ترکیب را برای قبول کردن و یا از دست دادن الکترون نشان می‌دهد. زمانی که الکترونها جا به جا می‌شوند اختلاف پتانسیل تولید می‌شود که این اختلاف با واحد میلی ولت (mv) اندازه‌گیری می‌شود. پتانسیل را به صورت مخفف با Eh نشان می‌دهند. وقتی یک ماده الکترون از دست می‌دهد (مثلا $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$)، دارای بار الکتریکی مثبت بیشتری می‌شود و اکسید شدن بیشتر میلی ولت بیشتری را موجب می‌شود. خاکهای غرقابی، به ویژه اگر دارای یک منبع کربن قابل‌استفاده باشند، پتانسیل اکسیداسیون و احیاء پایین‌تری خواهند داشت و در این محیط فرایندهای غیرهوازی مثل تولید متان و احیاء سولفات رخ می دهد. به طور کلی، خاک‌های هوازی محیط‌های اکسید کننده و عناصری مثل آهن و منگنز اکسید می‌شوند و رنگهای قرمز، زرد و قهوه‌ای مایل به قرمز در خاک غالب می‌شوند. درخاکهای غیرهوازی محیط‌های احیاء کننده غالب می‌باشند و این عناصر احیاء شده و رنگهای آبی، خاکستری را در خاک نشان می‌دهند.

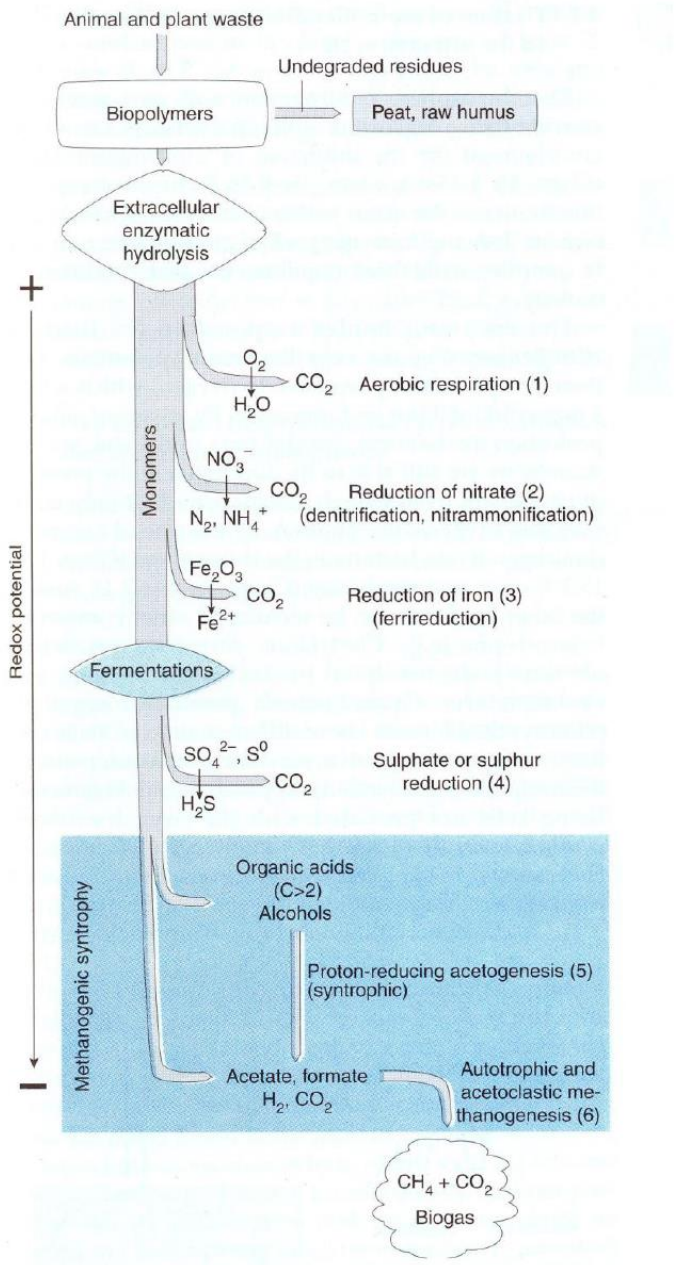
پتانسیل اکسیداسیون و احیاء (Eh or Redox potential): یکی از خصوصیات مهم شیمیائی در خاک که بستگی به تنفس خاک دارد، وجود فرمهای شیمیائی مختلف عناصر در پتانسیل‌های اکسیداسیون و احیاء مختلف در خاک می‌باشند. در شرایط اکسیداسیون مطلوب فرمهای اکسید عناصر مثل آهن (Fe^{3+})، منیزیم (Mn^{4+})، نیترات (NO_3^-)، سولفات (SO_4^{2-}) مشاهده می‌شود. ولی در شرایط غرقاب و فقدان زهکشی و عدم تهویه مناسب فرمهای احیائی عناصر مشاهده می‌شود. مثل آهن (Fe^{2+})، منگنز (Mn^{2+}) ، آمونیوم (NH_4^+)، سولفید (S^{2-}) و این‌ها نتیجه عدم تهویه و نبود وجود اکسیژن در خاک غرقاب می‌باشد. اگر Eh مثبت باشد و زیاد شرایط اکسید حاکم است و اگر منفی باشد شرایط احیاء حاکم می‌باشد.

۸۰۰-۴۵۰ mv: اکسیژن کافی در خاک وجود دارد و فعالیتهای هوازی و تجزیه مواد آلی بخوبی صورت می‌گیرد.

۴۵۰ -۰mv: کمبود اکسیژن در خاک وجود دارد و تجزیه مواد آلی کند شده و واکنشهای احیائی شروع می‌شود.

۰ :-(۲۰۰)mv شرایط بی‌هوازی حاکم می‌باشد و تجزیه مواد آلی در شرایط بی‌هوازی صورت می‌گیرد که خیلی کندتر از شرایط هوازی می‌باشد (Ferementation) کانیهای آهن‌دار به فرم احیاء و به رنگ خاکستری در خاک مشاهده می‌شوند (Gley horizon).

-(۲۰۰) -(۳۰۰)mv: شرایط بی‌هوازی کاملا حاکم است. مواد آلی احیاء شده و گازهای سولفید هیدروژن و متان آزاد می گردد. شکل پتانسیل‌های اکسیداسیون و احیاء مختلف در خاک را نشان می‌دهد.



دمای خاک:

درجه حرارت خاک یکی از خصوصیات مهم خاک بوده که بر روی رشد محصولات مختلف تاثیر دارد. منبع اصلی حرارت، خورشید بوده و همچنین انرژی آزاد شده بوسیله واکنشهای شیمیائی و بیوشیمیائی در خاک. بررسی تغییرات دما تا عمقی از خاک که در آن پدیده‌های پدوژنز کم و بیش در حال فعالیت باشند همواره در خاک شناسی مورد توجه قرار می‌گیرند. در حقیقت، تجزیه و تخریب مواد آلی در افقهای سطحی و مواد معدنی در تمامی پروفیل خاک به ویژه در آنجا که سنگ مادر تخریب می‌یابد، به میزان قابل توجهی تحت تاثیر دما قرار دارد.

تعادل حرارتی خاک شامل انرژی حرارتی دریافت شده و انرژی حرارتی از دست رفته می‌باشد. در اثر برخورد اشعه خورشید به سطح خاک، مقداری از آن جذب شده و مابقی آن در فضا انعکاس می‌یابد. اشعه بازتاب **آلبدو** نامیده می‌شود که مقدار آن از

سطح آب کمتر از ۱۰٪، از سطح خاک حدود ۲۰٪ و از سطح برف بیش از ۵۰٪ می‌باشد.

انرژی حرارتی که جذب خاک می‌شود به طرق مختلف از دست می‌رود :۱- تبخیر آب، ۲- انعکاس مجدد در اتمسفر به صورت اشعه با طول موج بلندتر، ۳- گرم کردن هوای بالای سطح خاک، ۴- گرم کردن توده خاک. به طور کلی در دراز مدت دفع و جذب انرژی حرارتی با یکدیگر به حالت تعادل در می‌آیند. هنگامی که درجه حرارت خاک کاهش می‌یابد و به نقطه یخبندان و پایین‌تر می‌رسد، فعالیتهای زیستی و حرکت آب در خاک متوقف می‌شود. در واقع در این زمان زندگی و تحول در خاک متوقف می‌گردد.

- اثر روی رشد و نمو ریشه
- اثر روی جوانه زدن بذرها و لزوما حرارت باید در یک حد بخصوصی باشد تا این عمل صورت گیرد.
- اثر روی جذب آب و مواد غذائی توسط گیاه
- اثر روی تجزیه مواد آلی و تبدیل آنها به فرمهای معدنی قابل جذب ریشه گیاه

تغییر درجه حرارت خاک در اعماق مختلف بستگی به هدایت حرارتی خاک دارد و با افزایش میزان آب در خاک و افزایش تخلخل میزان هدایت آن کاهش می یابد.

گرمای ویژه هر ماده عبارت است از کالری لازم برای اینکه یک گرم از آن ماده یک درجه سانتی‌گراد گرمتر شود. بدیهی است که هر چه گرمای ویژه حرارتی خاک بیشتر باشد، تغییرات حرارتی آن کندتر صورت می گیرد. مقدار گرمای ویژه خاک حدود یک پنجم گرمای ویژه آب می‌باشد.

خاک شنی خاک گرم است و خاک رسی خاک سرد است، به این علت که خاک شنی گرمای‌ویژه کمتری دارد و بر اثر حرارت کمتری درجه حرارت آن بالا می‌رود و خاکهای رسی رطوبت بیشتری در خود نگه می‌دارند تا خاکهای شنی، در نتیجه خاکهای رسی حرارت بیشتری جهت گرم شدن نیاز دارند تا خاک شنی و به همین دلیل خاک رسی را خاک سرد گویند. از طرفی چون گرمای ویژه حجمی هوا خیلی کمتر از گرمای ویژه ظاهری خاک کاهش می‌یابد. در واقع، گرمای‌ویژه برای بافت معینی با جرم حجمی ظاهری خاک، تناسب مستقیم دارد.

تاثیر رطوبت خاک:

گرمای‌ویژه آب، یک کالری برای هر گرم یا سانتی مترمکعب است. این مقدار به طور میانگین حدود ۵ برابر رقم مربوط به دانه-های جامد خاک است. به عبارت دیگر، هر قدر رطوبت یک توده خاک بیشتر باشد، با مقدار معینی کالری دمای خاک کمتر افزایش می‌یابد. به علاوه، در خاک‌های مرطوب قسمت اعظم گرمای حاصله از اشعه خورشید قبل از این که در خاک نفوذ کند، صرف تبخیر آب قشر سطحی خاک می‌شود. در واقع، گرمای ویژه و گرمای نهان تبخیر آب موجب می‌گردند که خاک‌های مرطوب به خاکهای سرد معروف باشند. این مسئله در اوائل فصل زراعی که زمین خیس بوده و رطوبت لازم برای جوانه‌زنی بذر تامین بوده ولی گرمای لازم در خاک موجود نیست حائز اهمیت می‌باشد. متوسط درجه حرارت برای جوانه‌زنی بذرهای محصولات زراعی متفاوت می‌باشد، غلات ۱۸-۱۵، ذرت ۳۲، سورگوم و نیشکر و پنبه ۳۰ و خردل ۲۳-۱۸ درجه سانتی‌گراد می باشد. فعالیت میکروبی در درجه حرارت زیر ۵ و بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. بهترین درجه حرارت برای فعالیت میکروبها ۳۵-۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. تجزیه مواد آلی، تثبیت زیستی نیتروژن در لگومها و قابلیت دسترسی به مواد غذائی توسط ریشه در خاک و تمامی فعالیتهای زیستی و خاکدانه‌سازی به درجه حرارت خاک بستگی دارد.

در خاک‌های مرطوب، تغییر درجه حرارت از سطح به عمق کاهش می‌یابد و شخم زدن با افزایش تخلخل میزان هدایت گرمائی را کاهش می‌دهد.

جزء خاک	گرمای ویژه (Cal/g)
شن	۰/۱۹
رس	۰/۲۷
هوموس	۰/۴۷
آب	۱/۰

تاثیر رنگ خاک:

مقدار کالری جذب شده از اشعه خورشیدی به میزان قابل ملاحظه‌ای به رنگ خاک بستگی دارد. وقتی اشعه کالری‌زا به خاک می‌تابد. خاک روشن درصد قابل‌توجهی از این اشعه را به بازتاب می‌دهد. در حالی که خاک تیره بخش اعظم آن را جذب می‌کند. در این زمینه حداکثر جذب اشعه خورشیدی برای خاک‌های تیره تا ٪۸۰ و حداقل آن را برای خاک‌های روشن تا ٪۳۰ ذکر می‌کنند وجود مواد آلی در خاک به تیرگی خاک می افزاید.

تاثیر پوشش خاک:

موانعی که بین اشعه خورشید و زمین قرار می‌گیرند، در سرد و گرم شدن خاک تاثیر دارند. در میان این موانع می‌توان از پوشش‌ها، برف و بقایای مرده گیاهان نام برد.

سوالات:

۱- پتانسیل اکسیداسیون و احیاء در خاک را بنویسید.
۲- مقایسه هوای خاک با اتمسفر را بنویسید.
۳- تاثیر دمای خاک در رشد و نمو گیاه بنویسید.
۴- چگونگی انتقال حرارت در خاک را بنویسید.
۵- تاثیر رطوبت خاک بر روی دمای خاک در اوائل جوانه زنی بذر را بنویسید.

رنگ خاک:

رنگ هر جسمی مربوط به نوع اشعه‌ای است که از آن منعکس و به چشم برخورد می‌کند و خاک مانند دیگر اجسام طول موجهای مختلفی را منعکس می‌کند. رنگ خاک یکی از ویژگی‌های ظاهری و فیزیکی خاک است که در طبقه‌بندی آن، بعنوان یک شاخص مهم بکار گرفته می‌شود. مهمترین عواملی که باعث رنگی بودن خاک می‌شود، عبارتند از هوموس و ترکیبات معدنی مانند اکسیدها، سولفورها، سولفاتها و کربناتها.

رنگهای روشن و متمایل به سفید، معلول فراوانی مواد با تمایل به سفیدی است که از آن میان می‌توان سیلیس، آهک (کربنات کلسیم)، گچ (سولفات کلسیم)، نمک (کلرور سدیم) و رس خالص (آلومینیوم سیلیکات) را نام برد. رنگ های تیره و متمایل به سیاه (قهوه‌ای تیره، خاکستری تیره) اغلب بر اثر فراوانی موادی مانند هوموس، سولفور آهن، اکسید منگنز و سدیم کربنات است. در حالی که رنگ‌های متمایل به قرمز (با عبور از قهوه‌ای، نارنجی و زرد) از فراوانی ترکیبات آهن در درجات مختلف اکسیداسیون ناشی می‌شود. به نظر می‌رسد که سنگ مادر تشکیل دهنده خاک اولین منبع تعیین کننده رنگ خاک باشد.

حرکت سفره و تغییر سطح آن تناوبی از پدیده‌های اکسیداسیون و احیاء را موجب می‌گردد. به طوری که تنوعی از رنگ‌های روشن زرد و نارنجی در ضخامتی که در بالای سفره آب قرار دارد (اکسیداسیون و تشکیل سولفات آهن) و رنگ‌های تیره متمایل به آبی در قسمت اشباع از آب (احیاء و تشکیل سولفور آهن) تظاهر می‌نماید.

گاهی رنگ عمومی خاک در رابطه با تیپ ژنتیکی آن است. مثلا مناطق خشک معمولا از هوموس فقیرند و در نتیجه بیرنگ، خاکستری روشن و یا کرم رنگ هستند. خاکهای مناطق حاره اغلب قرمزند. خاک‌های مناطق معتدله، بیشتر به رنگ‌های قهوه‌ایی دیده می‌شوند. خاکهای مرطوب و ماندابی (هیدرومورف) اغلب حالت تیره به خود می‌گیرند. سرانجام خاکهای آلی و هوموسی رنگ سیاه یا قهوه‌ایی مایل به سیاه دارند.

اهمیت رنگ خاک:

اگر چه رنگ خاک مستقیما بر رشد گیاه و نبات تاثیر ندارد ولی بطور غیرمستقیم میزان دما و رطوبت خاک را در کنترل دارد، زیرا خاکهای تیره زودتر گرم شده و تبخیر و تعرق بیشتر در آنها صورت می‌گیرد. رنگ خاک می‌تواند بیانگر شرایط اقلیمی باشد که خاک تحت حاکمیت آن تشکیل یافته است از این رو در بسیاری از موارد می‌توان استعداد و حاصلخیزی خاک‌ها را با توجه به رنگ آنها مشخص کرد، خاک‌های روشن معمولا بواسطه عدم تراکم مواد آلی از نظر مواد غذائی فقیر می‌باشند. زهکشی و تهویه مناسب در لایه‌های مختلف پروفیل خاک و همچنین نوع سنگ مادری تشکیل دهنده آن از روی رنگ خاک قابل تشخیص می‌باشد.

تعیین و تشخیص رنگ خاک‌ها:

رنگ خاک را در دو حالت مرطوب و خاک تازه تعیین می‌کنند. رنگ خاک به کمک **دفترچه مانسل** (Muncel Soil Color Chart) تعیین می‌نمایند که تلفیقی از سه پارامتر **هیو (Hue)**، **والیو (Value)** و **کروما (Chroma)** است.

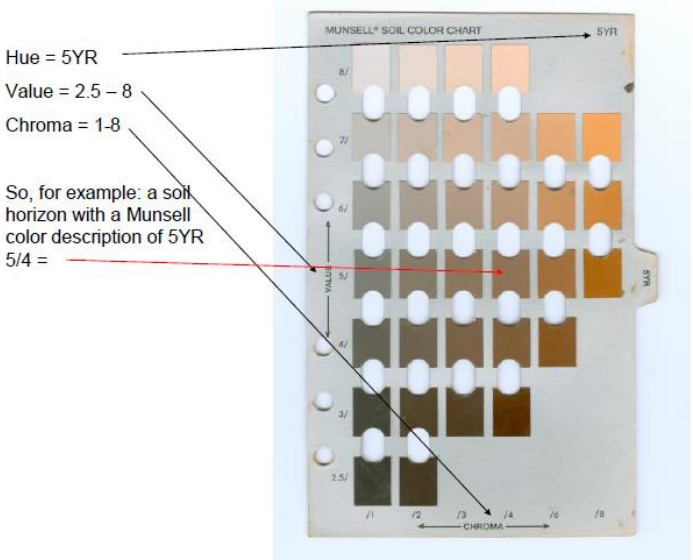
۱- **هیو:** عبارت است از رنگ اصلی یا غالب که طیف آن از قرمز تا زرد شامل می‌شود و در بعضی از شرایط در خاکهای هیدرومورف (غرقاب) رنگ شامل سبز یا آبی می‌گردد. مشخصات رنگ غالب از قرمز شروع شده و به رنگ زرد ختم می‌شود. کلمه قرمز با حرف R (مخفف Red) و زرد Y (مخفف Yellow) مشخص می‌شود. بنابر این طیف رنگ خاک معمولا در قسمتهای زیر قرار خواهد داشت.

۱۰R- قرمز، ۲/۵YR- قرمز + زرد، ۵YR، ۷/۵YR، ۱۰YR ، ۲/۵Y -رنگ زرد غالب، ۵Y

۲- والیو: شدت طول موج غالب یا تیرگی و روشنی رنگ را بیان می‌کند. هر چه والیو بیشتر باشد، شدت طول موج بیشتر است. شفافیت هیو را با ارقام مشخصی تعیین می‌نمایند. این ارقام از کمترین آن یعنی صفر تا بزرگترین آن یعنی عدد ۱۰ در نوسان است، که از صفر به سمت ۱۰، رنگ روشن‌تر می‌شود. ارقام والیو در دفترچه رنگ خاک بصورت ستون عمودی در سمت چپ هر ورقه رنگ تعیین گردیده است. مثلا شماره ۲ محور رنگ خاکستری تیره و ۸ رنگ خاکستری روشن یا سفید است. والیو در دفترچه مانسل از۸-۲ تغییر می‌کند، چون در طبیعت سیاه و سفید مطلق نیست.

۳- کروما: تغییرات خلوص رنگ را تعیین می‌نماید و تغییرات و درجه بندی آن شامل محور xهاست. صفر کروما ناخالص‌ترین رنگ و ۱۰ آن خالص‌ترین رنگ را نشان می‌دهد. مقدار کروما در دفترچه مانسل از ۸-۰ است، زیرا در طبیعت خاک خالص نیست.

بنابر این بطور خلاصه در هنگام تشریح نیمرخ خاک لازم است، دفترچه رنگ همیشه همراه مطالعه کننده باشد. از آنجائی که رنگ خاک بطور کلی نشان دهنده صفات ژنتیکی خاک است و ترکیبات موجود در خاک در شرایط آب و هوائی را نشان می‌دهد، بررسی آن اهمیت شایانی دارد.



برای تعیین رنگ **از دفترچه مانسل** استفاده می‌شود. پس از تهیه نمونه مرطوب خاک دفترچه را روی آن گذاشته و مشخصات رنگی که تطابق دارد، یاداشت می‌گردد که یک قاعده بین‌المللی است. نحوه بیان این مشخصات بصورت زیر است:

$$Hue\frac{Value}{Chroma}$$

مقدار والیو در اثر افزایش رطوبت ۳-۲ واحد کاهش می‌یابد و بنابر این رنگ تیره‌تر می‌شود. کروما در اثر افزودن آب ممکن است ۲-۱ واحد بیشتر شود.

مقاومت مکانیکی خاک

یکی از خصوصیات مهم خاک که در بحث رابطه بین خاک، گیاه و همچنین مطالعه اثر متقابل خاک- ماشین مطرح می با شد، ا ستحکام خاک یا به عبارت دیگر مقاومت مکانیکی خاک می با شد. مقاومت مکانیکی خاک به صورت مقاومت در برابر تغییر شکل خاک تو صیف می گردد و معمولا از دو جنبه قابل برر سی ا ست: ۱) مقاومت خاک در برابر نیروی فروروی (soil resistance to penetration) و ۲) مقاومت خاک در برابر نیروی برشی (soil shear strength). مقاومت برشی اصطلاحی است که در مکانیک خاک برای توصیف مقدار تنش برشی که خاک می تواند تحمل کند استفاده می شود. مقاومت برشی خاک در نتیجه اصطکاک و به هم قفل شدن ذرات و احتمالاً سیمان شدن یا پیوند ذرات است. در حالی که مقاومت فروری عبارتست از مقدار نیروی مورد نیاز در واحد سطح برای فروبردن جسمی در خاک و ناشی از چسبندگی ذرات به یکدیگر است.

در مورد مقاومت خاک، حفظ نسبت های مناسب بین فازهای جامد، مایع و گاز خاک از اهمیت ویژه ای برخوردار ا ست. زیرا کاهش فاز آب و هوا (تخلخل)، باعث افزایش مقاومت مکانیکی خاک شده و به دنبال آن رشد و توسعه ریشه گیاهان در داخل خاک کاهش می یابد. به همین دلیل ارتباط تنگاتنگی بین تراکم خاک و مقاومت خاک وجود دارد. نتایج تحقیقات نشان میدهد مقاومت خاک در برابر نفوذ تابعی از میزان فشردگی، مقدار رس، مقدار ماده آلی و رطوبت خاک ا ست. هرچه ف شردگی خاک بی شتر با شد، مقاومت خاک افزایش می یابد و هر چه رطوبت بیشتر باشد، مقاومت کمتر است. مقاومت خاک به نفوذ یکی از عوامل اصلی محدود کننده رشد ریشه است. نتایج نشان داده که مقاومت فروروی بیش از ۲,۵ مگاپاسکال رشد ریشه را با محدودیت مواجهه می کند. مهم ترین اثرات تراکم خاک بر محصول را می توان به صورت حساسیت بیش از حد گیاه به خشکی، تهویه ناکافی، کاهش جذب آب توسط گیاه، کاهش بازده عناصر غذایی، رشد غیر یکنواخت گیاهان، کند شدن جوانه زنی، سیستم ریشه ای بد شکل و در نهایت کاهش محصول بیان کرد.

از دیدگاه مهندسین ماشین های کشاورزی، تراکم خاک باعث افزایش مقاومت مکانیکی خاک شده و به دنبال آن افزایش نیروی مقاوم کششی، افزایش مصرف سوخت، افزایش زمان انجام کار و افزایش سائیدگی ادوات کشاورزی را به دنبال خواهد داشت. بر طبق پژوهش های انجام شده در حدود ۶۰ درصد از انرژی مکانیکی مورد مصرف در کشاورزی مکانیزه صرف عملیات خاک ورزی و تهیه بستر بذر می گردد.

اندازه گیری مقاومت مکانیکی خاک

معیارها و روش های مختلفی به منظور مقاومت مکانیکی خاک در داخل یک زمین زراعی وجود دارد و پژوهش گران مختلف، شـــاخص ها و روش های متفاوتی را برای این کار ارایه کرده اند که از آن جمله می توان اندازه گیری جرم مخصوص ظاهری، رادارهای نفوذکننده در داخل زمین (GPR) و اندازه گیری شاخص مخروطی (Cone Index) خاک را نام برد. در بین این روش ها از آن جا که نفوذســـنج های مخروطی داده های به نسـبت دقیق‌تری را ارایه می کنند و همچنین کارکردن با آن ها راحت و سـریع می باشـد، بیش تر مورد پذیرش می باشـــند. به علاوه با اســـتفاده از این روش می توان تغییرات مقاومت مکانیکی خاک را در ارتباط با عمق در مقایسه با سایر روش ها در اختیار بگذارد (مولکوئین و همکاران، ۱۹۷۷ ؛ کلارک، ۱۹۹۹). ولی باید توجه نمود یافتن روش هایی که بتواند با کم ترین هزینه و با اســـتفاده از داده های قابل دســـترس مانند جرم مخصـوص ظاهری، رطوبت خاک و... مناسـب ترین تابع را برای تخمین شـاخص مخروطی خاک ایجاد کند، بسیار دارای اهمیت می باشد (مانند مدل بوسچر).

شاخص مخروطی خاک

یکی از ساده ترین و پرکاربردترین و در عین حال سریعترین روش ها در تعیین مقاومت خاک در سرتا سر جهان آزمایش نفوذسـنج مخروطی (Cone penetration test) CTP می باشـد که میتواند شـاخص مقاومت خاک را تعیین کند. به مقدار نیرو در واحد سطح که برای فروبردن نفوذ سنج در خاک لازم ا ست، شاخص مخروط (CI) گفته شود. مقدار مقاومت اندازه گیری شده به مشخصات د ستگاه فرو سنج (penetrometer) شـامل زاویه نوک، قطر قاعده مخروط آن و سـرعت فرو کردن دسـتگاه در خاک بسـتگی دارد. زاویه نوک مخروط ها معمولا ۳۰ درجه می باشد. سرعت توصیه شده برای مطالعات خاک در نوع صحرایی ۲ سانتی متر در ثانیه است. قطر مخروط بستگی به نوع خاک و دامنه دستگاه متفاوت است. بر اساس تقسیم بندی صورت گرفته توسط استاندارد ASAE فروسنج های مخروطی به دو دسته تقسیم می شوند:

فرو سنج مخروطی دستی: این نوع فروسنج ها توسط کاربر به درون خاک هدایت می شوند. این نوع فروسنج ها خود بر اســـاس نحوه ثبت داده ها به دو نوع دیجیتال ثبات (ثبت کننده) و نوع غیر ثبات. در نوع ثبات، داده ها شامل نیرو و فشار توسط دیتا لاگر ثبت می شود و کاربر فقط وظیفه هدایت مخروط به داخل خاک را دارد. در نوع دوم داده ها توسط کاربرد یادداشت و ثبت می شوند. به لحاظ ابعاد نیز به سه نوع صحرایی، آزمایشگاهی و جیبی تقسیم می شوند. نکته مهم در این نوع پنترومترها این است که کنترل سرعت نفوذ دشـوار اسـت. دقت شـود در نوع جیبی، برای تعیین مقدار مقاومت خاک، لازم اسـت با اسـتفاده از دفترچه راهنما و ضرایب دستگاه قرائت ها را به مقاومت تبدیل کرد.

فروسـنج مخروطی مکانیکی: این نوع فروسـنج ها معمولا توسـط نیروی مکانیکی، هیدرولیکی و یا الکتریکی انواع وســـایل نقلیه مانند تراکتور یا هر وســـیله نقلیه دیگر به داخل خاک هدایت می شـــود. مقدار نیرو و جابجایی توسط ابزار دقیق سنجیده شده و توسط یارانه ثبت می شود. نفوذ سنج مخروطی مکانیکی امکان جمع آوری اطلاعات با سرعت نفوذ ثابت را فراهم می کند. به همین دلیل، نتایج دقیق تری را ارائه می دهند. این نوع فروسنج ها برای خاک های سخت تا اعماق زیاد استفاده می شوند.