دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده کشاورزی

گروه علوم و مهندسی خاک

خاکشناسی عمومی

فیزیک خاک

تهیه و تنظیم

غفاری

فیزیک خاک

خواص فیزیکی مهم خاک که بر روی رشد و نمو گیاه تاثیر می‌گذارند شامل:

- مقاومت مکانیکی خاک
- رطوبت خاک
- هوای خاک
- دمای خاک

اجزاء اصلی تشکیل دهنده خاک

خاک یک سیستم پیچیده است و برای شناخت یک سیستم پیچیده باید جز به جز آن را بشناسیم ولی در هر صورت خاک زراعی را میتوان در سه فاز گوناگون بررسی کرد:

فاز جامد خاک:

فاز جامد شامل مواد معدنی و آلی است. ذرات و اجزای معدنی همانند قلوه سنگ ها، سنگ‌ریزه ها، و شن ها و جز آلی که خود شامل بقایای تجزیه شده جانوری و گیاهی و میکرو ارگانیسم ها میباشد. بخش جامد از تخریب سنگ‌ها حاصل می‌شود.

بخش آلی فاز جامد خاک از تجزیه‌ی مواد آلی توسط میکرو ارگانیسم ها حاصل می شود. هوموس خاک بخشی از ماده آلی خاک محسوب می‌شود که نسبت به تجزیه مقاوم میباشد.

اهمیت هوموس خاک:

۱_در حفظ حاصل‌خیزی خاک نقش بسیار مهمی دارد

۲- در افزایش میزان جذب آب توسط خاک اهمیت دارد

۳-منبع مهمی برای تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه شامل نیتروژن، کربن، گوگرد، فسفر و....

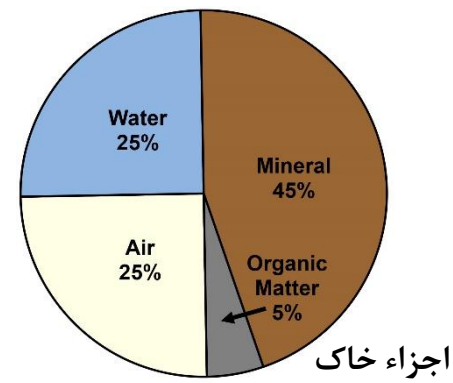
نقش کلی فاز جامد خاک:

۱- تامین عناصر غذایی

۲-تکیه‌گاهی برای استقرار و نگهداری گیاهان

فاز مایع خاک:

عموما از آب تشکیل شده که میتواند دارای املاح معدنی نیز باشد.



اجزاء خاک

نقش:

۱-تامیین کننده ی نیاز آبی گیاه

۲-نقش واسطه به منظور انتقال مواد غذایی از فاز جامد به گیاه (کلیه مواد غذایی باید ابتدا وارد فاز مایع شوند تا بتوانند توسط ریشه جذب شوند)

۳-تعدیل حرارت: یعنی در صورت سرد بودن مانع از یخ زدگی و در هنگام گرم بودن مانع از گرمای بیش از حد خاک میشود.

فاز گازی:

ترکیب عمده ی گاز های اتم سفر شامل ٪۰/۰۳گاز کربن دی اکسید، ٪۲۱ شامل گاز اکسیژن و ٪۷۸ شامل گاز نیتروژن میباشد. ترکیب گازی خاک نیز تقریبا مشابه با ترکیب اتمسفر است با این تفاوت که به دلیل تنفس گیاهان و دیگر میکرو ارگانیسم ها در درون خاک میزان کربن دی اکسید در آن ۱۰برابر بیشتر و اکسیژن کمتر می‌باشد.

نکته: ترکیب گازی هوای اتمسفر و هوای خاک مرتبا در تبادل با همدیگر میباشند.

نکته: هر سه این فازها مستقل از هم دیگر عمل نمی‌کنند و در تبادل با همدیگر هستند. همین تبادل فاز ها است که خاک را پویا میکند.

از دیدگاه کشاورزی خاک ایده‌آل خاکی است که: ۵۰ در صد آن را فاز جامد (۴۵٪ معدنی + ۵٪ آلی) و ۲۵ ٪ فاز مایع و ۲۵٪ فاز گازی داشته باشد.

مواد معدنی خاک:

از نظر فیزیکی خاک مخلوط متخلخلی است از ذرات معدنی، مواد آلی، آب و هوا، ذرات درشت خاک معمولا به وسیله ذرات ریز کلوئیدی پوشیده شده‌اند. در مواقعی که ذرات درشت غالب هستند خاک حالت شنی داشته در صورتی که ذرات ریز بیشتر باشند خاک خصوصات رسی بخود می‌گیرد. و البته بین این دو حد درجات مختلفی از بافت خاک را می‌توان در طبیعت یافت.

بافت خاک (Soil texture): اصطلاحی است که فراوانی نسبی گروه‌های اندازه‌ای خاک را در یک نمونه نشان می‌دهد.

طبقه‌بندی ذرات خاک و تجزیه مکانیکی خاک:

در تجزیه مکانیکی خاک پس از خرد کردن نمونه خاک ابتدا ذرات شن درشت به وسیله الک جدا شده و سپس درصد شن و لای و رس در خاک از سرعت ته‌نشین شدن آنها در آب تعیین می‌گردد.

برحسب سیستم آمریکایی اندازه ذرات تشکیل دهنده خاک عبارتند از:

شن	۲.۰ – ۰/۰۵ mm
لای	۰/۰۵ – ۰/۰۰۲ mm
رس	۰/۰۰۲ > mm

خاک‌هایی که دارای مقدار زیادی شن هستند، حالت نرمی داشته و کار کردن در آنها توسط ادوات شخم آسان است و آنها را اصطلاحا **خاک‌های سبک** گویند. بر عکس خاک‌های رسی به دلیل چسبندگی آنها کار عملیات شخم زمین را مشکل می‌کنند و به همین دلیل به آنها **خاک‌های سنگین** اطلاق می‌شود. بنابر این سبکی و سنگینی خاک مربوط به سهولت کار در آنها است و ارتباطی با وزن مخصوص خاک ندارد.

جدول (۲-۱)- گروه اندازه‌ای ذرات در سیستم‌های مختلف

قطر (mm)	Esss	Isss	USDA	قطر (mm)
۲/۰	شن درشت	شن درشت	شن خیلی ریز	۲/۰
۰/۶	شن متوسط		شن درشت	۱
۰/۲	شن ریز	شن ریز	شن متوسط	۰/۵
۰/۰۶	سیلت درشت		شن ریز	۰/۲۵
۰/۰۲	سیلت متوسط	سیلت	شن خیلی ریز	۰/۱
۰/۰۰۶	سیلت ریز		سیلت	۰/۰۵
۰/۰۰۲	رس درشت	رس	رس	۰/۰۰۲
۰/۰۰۰۶	رس متوسط			
۰/۰۰۰۲	رس ریز			

رس و لای: ذرات رس بسیار کوچک بوده و در حالت مرطوب خاصیت شکل‌پذیری از خود نشان می‌دهند. اگر درصد رطوبت موجود از حدی بیشتر باشد این ذرات منبسط شده و حالت چسبندگی به خود می‌گیرند.

بر خلاف ذرات رس ذرات لای شکل‌های مختلف و نامنظم داشته و این ذرات تا حدی خاصیت شکل‌پذیری چسبندگی و قدرت جذب آب دارند ولی در این موارد به هیچ‌وجه به پای مواد رسی نمی‌رسند. وجود لای و رس در خاک به آن یک بافت ریز داده و سرعت حرکت آب و هوا را کاهش می‌دهد. این خاک‌ها بر عکس خاک‌های شنی بافت سنگین داشته و به علت چسبندگی زیاد در مقابل عمل ماشین‌آلات مقاومت زیادی نشان می‌دهند.

کلاس‌های بافتی خاک:

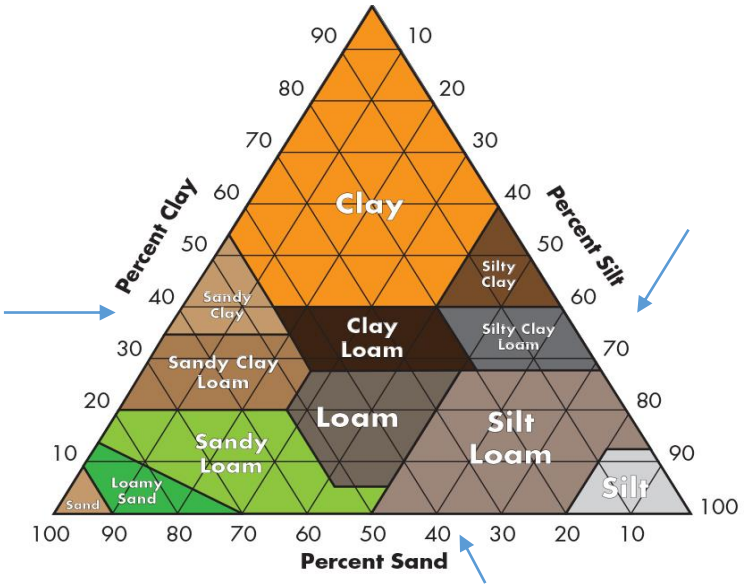
در هر خاک درصدهای مختلفی از ذرات شن و لای و رس بافت شده و برای آگاهی از بافت خاک آنها را به کمک مثلث بافت خاک به ۱۲ کلاس بافتی مختلف طبقه‌بندی می‌کنند.

بر اساس تقسیم‌بندی مثلث بافت خاک، سه کلاس اصلی بافت خاک عبارتند از: **شنی** (خاکهای سبک)، **لومی** (خاکهای **متوسط بافت) و رسی** (خاکهای سنگین) تقسیم می‌شوند.

خاک‌های شنی: این گره از خاک‌ها معمولا دارای ۷۰ درصد یا بیشتر شن بوده و از اینرو خواص آنها کاملا از خاک‌های سنگین متمایز می‌باشد. دو کلاس عمده در این گروه **کلاس شنی و لوم شنی** می‌باشد.

خاک‌های رسی: این خاک‌ها بیش از ۴۰-۳۵ درصد مواد رسی داشته و وجود حداقل همین مقدار درصد کافی است که به خاک خصوصیات رسی بدهد. کلاس‌های عمده این گروه **رسی، رسی‌شنی و رس لایی** می‌باشند.

خاک‌های لومی: خاک‌های لومی به علت داشتن توام خواص شنی و رسی دارای وضعیت فیزیکی مناسبی بوده و در عین حال که حالت چسبندگی و سنگینی ندارند از قدرت کافی برای نگهداری آب و مواد غذائی برخوردارند. کلاس‌های مختلف خاک لومی بر حسب این که مقدار کدام یک از گروه‌ها ذرات غالب باشد نامگذاری می‌شوند. این کلاس‌ها عبارتند از **لوم شنی، لوم رسی، لوم لائی، لوم رسی لائی، لوم شنی رسی.**



جدول: خصوصیات خاک‌های مختلف زراعی

خاک‌های سنگین:	خاک‌های سبک
خاصیت انبساط و انقباظ زیاد	خاصیت انقباظ و انبساط کم
چسبندگی زیاد و در حالت مرطوب خاصیت شکل‌پذیری دارند	بدون چسبندگی، دارای زبری و خاصیت شکل‌پذیری ندارند
قدرت جذب آب زیاد	قدرت جذب آب کم
وزن مخصوص ظاهری کمتر از خاک‌های شنی	وزن مخصوص بیشتر از خاک‌های رسی
در مقابل عمل ماشین‌آلات مقاومت زیادی از خود نشان می-دهند (صرف انرژی زیاد برای شخم)	مقاومت کم در مقابل حرکت ماشین‌آلات
تهویه در این خاک‌ها بخوبی صورت نمی‌گیرد و دارای حاصلخیزی خوبی می‌باشند	تهویه در این خاک‌ها بخوبی صورت می‌گیرد و دارای حاصلخیزی ضعیفی می‌باشند

روش های بهبود بافت خاک

خاک‌های سبک:

این خاک‌ها نرم با تهویه مناسب و زهکشی کافی بوده و عملیات زراعی در آنها به سهولت انجام می‌شود. از طرف دیگر قدرت نگهداری آب و مواد غذایی دراین خاک‌ها کم بوده و دانه‌بندی ذرات نیز به حد کافی صورت نمی‌گیرد. تنها راه عملی برای بهتر ساختن این خاک‌ها اضافه نمودن مواد آلی به آنها است. مواد آلی نه تنها سبب اتصال ذرات می‌شود بلکه قدرت نگهداری آب را نیز در این خاک‌ها بالا می‌برد.

خاک‌های سنگین:

این خاک‌ها به علت داشتن مواد رسی زیاد دارای خاصیت شکل‌پذیری و چسبندگی قابل ملاحظه‌ای می‌باشند. شخم و انجام سایر عملیات زراعی در این خاک‌ها بایستی با دقت و درصد رطوبت مناسب انجام شود. تا از تخریب ساختمان خاک از هم پاشیدن خاکدانه‌ها جلوگیری شود. شخم این خاک‌ها اگر زیاد مرطوب باشد، سبب گل آب شدن آنها و اگر زیاد خشک باشد سبب کلوخه شدن آنها می‌گردد. اضافه نمودن مواد آلی و داشتن پوشش گیاهی کافی برای حفاظت این خاک‌ها ضروری است.

چگونگی تعیین بافت خاک:

- **روش صحرائی:** در این روش کلاس بافت از طریق احساس نرمی و زبری توسط نوک انگشتان دست در صحرا تعیین می‌شود و به تجربه شخصی نیاز دارد.
- **روش آزمایشگاهی:** پس از تجزیه مکانیکی خاک و به دست آوردن درصدهای ذرات شن، رس و لای در یک نمونه مشخص از روی مثلث بافت کلاس بافت تعیین می‌شود. ابتدا درصد هر گروهی روی ضلع مربوطه مشخص می‌شود و سپس از هر نقطه خطی موازات ضلعی که مقابل نقطه ۱۰۰ آن ضلع است کشیده می‌شود.

قانون استوکز:

برای تعیین کلاس بافتی خاک بکمک قانون استوکز مقداری از خاک را در استوانه یک لیتری پر از آبی رها می‌سازیم، ذرات خاک بسته به شکل و اندازه‌ای که دارند، شروع به ته‌نشینی می‌کنند. استوکز (Stokes) فیزیکدان انگلیسی برای چنین پدیده‌ای، معادله‌ای یافته است که در تعیین بافت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. با داشتن سرعت سقوط ذرات خاک و زمان ترسیب آنها می‌توان با اندازه گیری غلظت (توسط هیدرومتر) درصد نسبی ذرات تشکیل دهنده خاک را در یک نمونه تعیین نموده و بافت آنرا بدست آوریم.

اگر یک ذره کروی جامد به شعاع r و وزن مخصوص ρ_s و جرم m را در مایعی که در حال سقوط است در نظر بگیریم، نیروی ثقل که بر آن اعمال می‌شود عبارتست از:

$$F_1 = mg = \left(\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s\right) g$$

که در آن g شتاب ثقل است. این نیرو رو به پایین با نیروی دیگری که مساوی وزن آب جابجا شده است، در مصاف بوده و می‌خواهد مانع افتادن ذره به سطوح پایین‌تر شود. این نیرو عبارتست از:

$$F_2 = -\left(\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_f\right) g$$

که در آن ρ_f وزن مخصوص مایع یا آب است. از طرفی چون ذره در حرکت است. پس نیروئی متناسب با سرعت ذره نیز مقاومتی در برابر سقوط آزاد آن ایجاد می‌کند که مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$F_3 = -6\pi r \eta V$$

که در این معادله سرعت یگنواخت ذره و η گرانروی (Viscosity) مایع است. پس از حصول سرعت یگنواخت، شتابی در کار نبوده و در نتیجه این نیروها بر روی هم مساوی صفر می‌شود. پس

$$F_1 + F_2 + F_3 = 0$$

و یا

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\rho_s - \rho_f)g - 6\pi r\eta V = 0$$

اگر از این رابطه، سرعت سقوط ذره (V) را پیدا کنیم، نتیجه عبارت خواهد بود از:

$$V = \frac{2}{9}\frac{r^2 g}{\eta}(\rho_s - \rho_f)$$

که واحدهای هر جزء عبارت است از:

V : سرعت افتادن ذره (cm/sec)

g : شتاب ثقل (cm/sec^2)

r : قطر ذره (cm)

ρ_s: وزن مخصوص ذره (g/cm^3)

ρ_f: وزن مخصوص مایع (g/cm^3)

η : لزوجت مایع $(dyne.\ Sec/cm^2)$

درکاربرد معادله فوق که به **معادله استوکز** مشهور است محدودیت‌های زیر باید رعایت شوند:

۱- -ذرات باید کروی و سخت و جامد باشند. ذرات غیرکروی با سرعت کمتر یا بیشتر از ذرات کروی سقوط می‌کنند.

۲- -اندازه ذرات نسبت به اندازه مولکول مایه بایستی بزرگ باشد تا بتوان محیط را یک محیط همگن تلقی کرد.

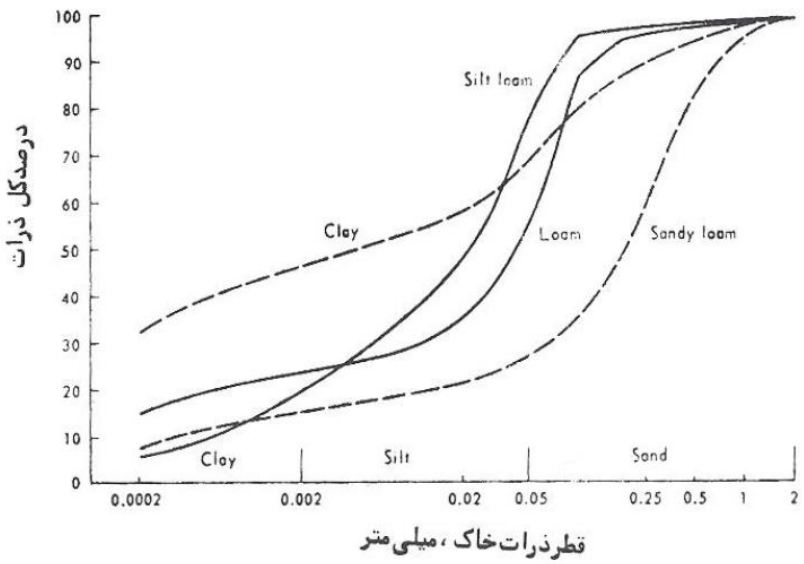
۳- -سقوط ذرات بایستی آزاد باشد و در این سقوط، ذرات مزاحم یگدیگر نگردیده و ذرات بزرگتر مانند قیمی ذرات کوچکتر را با خود انتقال ندهند.

٤- -ذرات بایستی وزن مخصوص یکسانی داشته باشند.

٥- -ظرف محتوی مایع و ذرات معلق در آن، باید در حال سکون باشد.

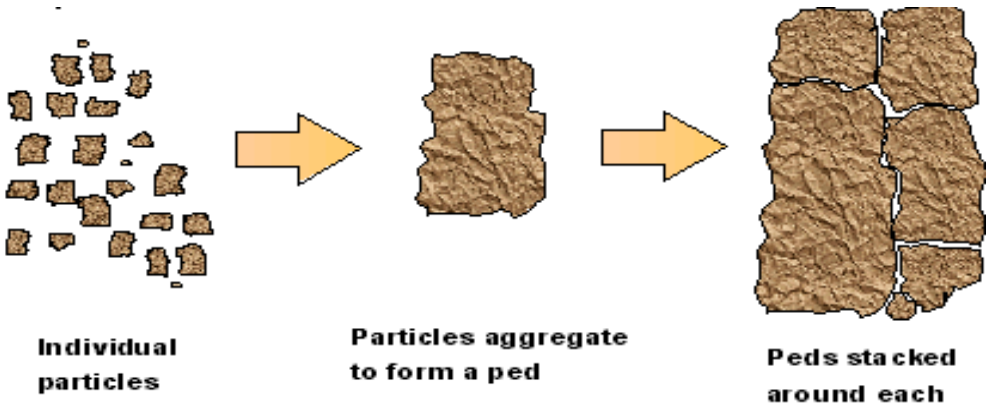
تعیین منحنی دانه بندی خاک PSD

در این روش مطابق شکل زیر بر روی محور ایکس‌ها که لگاریتمی است، اندازه ذرات مختلف و بر روی محور ایگرگها، درصد این ذرات در نمونه خاک بوسیله نقاطی مشخص شده و سپس این نقاط به یگدیگر وصل می‌شوند تا منحنی تجمعی آن خاک را نشان دهند. حسن این روش در این است که به سهولت می‌توان گفت که چند درصد از ذرات خاک، قطری کمتر یا بیشتر از اندازه معینی دارند.



عمق خاک:

یکی دیگر از فاکتورهای مهم فیزیک خاک می‌باشد که با افزایش عمق خاک ریشه نبات می‌تواند از حجم بیشتری از خاک استفاده کند و آب و عناصر غذائی مورد نیاز خود را از خاک تامین کند. افزایش عمق موجب افزایش حاصلخیزی می‌گردد اگر چه گیاه بیشتر آب و مواد غذایی خود را از لایه سطحی خاک جذب می‌کند ولی لایه‌های عمقی در ذخیره سازی آب و مواد غذایی و رساندن آن در شرایط کمبود از طریق لوله‌های موئینه یا کاپیلاری به ریشه نقش مهمی را ایفا می‌نمایند. داشتن یک لایه حداقل ۱/۵ متری از خاک برای رشد مناسب ریشه و استقرار بخش هوایی درختان برای ایجاد باغ شرط لازم و ضروری می‌باشد.



ساختمان خاک:

منظور از ساختمان خاک (Soil structure): طرز قرار گرفتن و آرایش این ذرات در کنار یگدیگر و شکل ثانویه ایجاد شده را خاکدانه می‌نامند. بسیاری از خواص مهم خاک در مورد آب و هوا و مواد غذایی قابل استفاده گیاه با بافت و ساختمان خاک بنحوی ارتباط دارند. گرچه در یک پروفیل خاک ممکن است یک نوع ساختمان بیش از سایرین دیده شود ولی معمولا در افق‌ها یا لایه‌های مختلف ممکن است چند نوع ساختمان یافت شود.

اهمیت ساختمان خاک:

بسیاری ازخواص فیزیکی خاک مانند حرکت آب، تهویه، انتقال حرارت، وزن مخصوص ظاهری و تخلخل به ساختمان خاک بستگی دارد. مثلا خاک رسی که مقدار رس بالائی دارد و دارای ساختمان توده‌ای می‌باشد، هنگام مرطوب شدن نفوذپذیری آن تقریبا به صفر می‌رسد. در موقع خشک شدن درز و ترک‌هایی به عرض حدود ۱۰ سانتی‌متر و به عمق ۱۰۰ سانتی‌متر در سطح آنها پدید می‌آید و مشکلات زیادی از نظر عملیات شخم و رشد گیاه دارند. همچنین خاک ماسه‌های درشت، قدرت نگهداری آب کمی داشته و ظرفیت ذخیره‌های مواد غذایی آنها پایین است. تشکیل ساختمان در خاکهای فوق می‌تواند باعث کاهش مشکلات آنها به حد قابل توجهی شود.

اثر ساختمان خاک بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک:

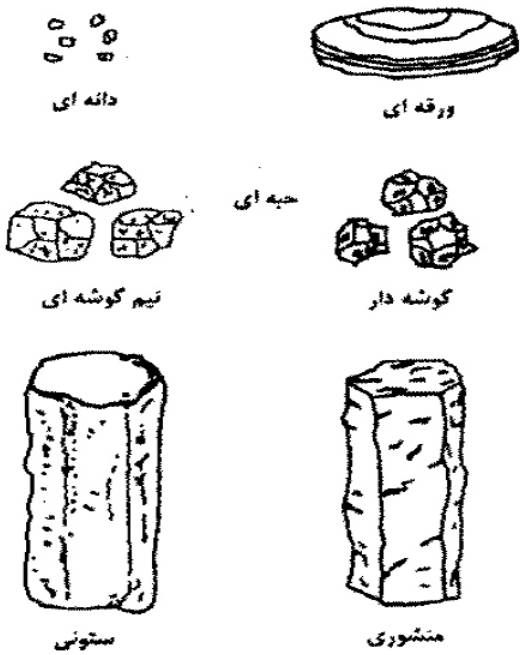
- اثر بر تهویه خاک
- اثر بر تراکم خاک
- اثر بر روابط آب و خاک (مثل آبگذری)
- اثر بر دمای خاک
- فرسایش‌پذیری خاک

انواع ساختمان‌های خاک:

۱- ساختمان بشقابی: توده‌های خاک به صورت لایه‌های نازک افقی روی هم قرار گرفته‌اند بیشتر در لایه‌های سطحی خاک موجودند ولی گاهی در لایه‌های عمیق هم دیده می‌شوند.

۲- ساختمان‌های ستونی و منشوری: توده‌های خاک به طورعمودی روی هم قرارگرفته‌اند ارتفاع ستون‌های حاصل متغیر و

قطر آنها گاهی به ۱۵ سانتی‌متر می‌رسد. بیشتر در لایه‌های عمیق خاک مناطق خشک و نیمه‌خشک دیده می‌شوند.



۳- ساختمان های مکعبی و فندقی: توده‌های خاک بصورت مکعب‌هائی با سطوح نامنظم ولی ابعاد تقریبا مساوی در آمده‌اند این نوع ساختمان نیز معمولا در لایه-های عمیق خاک دیده می‌شوند.

۴- ساختمان‌های کروی (اسفنجی یا دانه‌ای): توده-های خاک شکل گرد داشته و قطر آنها معمولا از یک سانتیمتر کمتر است. این ساختمان‌ها معمولا کاملا متخلخل بوده و اتصال آنها بین ذرات ضعیف است. این ساختمان بیشتر در لایه‌های سطحی خاک یافت می‌شود.

۵- ساختمان فشرده یا Massive:

عوامل موثر بر تشکیل و تخریب خاکدانه‌ها یا ساختمان خاک:

۱) اثر کاتیون‌ها:

نوع کاتیون غالب در خاک در تشکیل و پایداری و یا تخریب خاکدانه‌ها موثر است. کاتیون‌هایی مثل کلسیم باعث هماوری یا فولوکوله شدن (Flocculation) ذرات و تشکیل و پایداری خاکدانه می‌شود، در صورتی که کاتیون‌هایی مثل سدیم باعث پراکنده شدن ذرات خاک (Dispertion) و تخریب ساختمان می‌شوند. هر چه غلظت کاتیون‌ها در خاک بیشتر باشد (خاک شورتر) تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها بیشتر است. کلسیم اثر غیرمستقیم نیز در تشکیل خاکدانه دارد و آن اثر روی تغذیه ریزموجودات است که باعث می‌شود تجزیه مواد آلی و تشکیل هوموس در خاک افزایش یابد.

۲) تاثیر ذرات رس:

ذرات سیلت و شن قدرت چسبیدن بهم و تشکیل خاکدانه را ندارند، بلکه این رسها هستند که دارای قدرت چسبندگی به ذرات دیگر رس و همچنین شن و سیلت می‌باشند نیرویی که باعث چسبیدن این ذرات به یکدیگر می-شوند عمدتا نیروی واندروالس است که وقتی ذرات به اندازه کافی بهم نزدیک می‌شوند موثر واقع شده سبب چسبیدن آنها به یکدیگر می‌شوند. هر چه ذرات سیلت و شن در خاکدانه بیشتر باشند پایداری خاکدانه کمتر است و در مورد مقدار ذرات رس عکس این حالت را داریم.

۳) تاثیر آب یا رطوبت در خاک :

آب خاک به سه صورت بر ساختمان خاک تاثیر دارد:

- تورم و انقباض کلوئیدها یا تر و خشک شدن: سبب ایجاد کشش و فشار گردیده و به تضعیف یا جدا شدن سطوح پیوسته خاک کمک می‌کند. بدین ترتیب سطوح رخ یا شکافهایی که از اثر خشکی پدید می‌آیند درجهت عمودی دیده می‌شوند. خشک شدن باعث انقباض خاک شده، ذرات را به یکدیگر نزدیک می‌سازد. چون خشک شدن بطور یکنواخت صورت نمی‌گیرد، فشارهای انقباضی نامتعادل باعث چسبیدن ذرات به یکدیگر و تشکیل خاکدانه و کلوخه می‌شود. در فصول بسیار خشک در طبقات زیرین خاک، خاکدانه بوجود می‌آید. هنگام خیس شدن فشار تورم ناشی از جذب آب نامتعادل بوده، باعث شکستن کلوخه‌ها و تبدیل آن به اجزا کوچکتر می‌شود. این شکسته شدن ممکن است باعث تخریب ساختمان خاک شود. ولی خاک‌هایی با ساختمان توده‌ای یا یکپارچه ممکن است نهایتا منجر به تشکیل ساختمان به اشکال مختلف شود.

- کشش سطحی: ناشی از وجود سطوح مشترک آب و هواست و نیرویی که توسط آن به ذرات وارد می‌شود سبب پیوند بین ذرات می‌شود. از سوی دیگر، کشش سطحی آب را با فشار به داخل حفره‌هایی که قبلا از هوا پر بوده است رانده و در نتیجه سبب ایجاد انفجار خفیفی به هنگام خروج هوا می‌گردد بدین ترتیب خاکی که دارای ساختمان توده‌ای باشد به خاکدانه‌های کوچکتر تبدیل می‌شود اگر چه معمولا این عمل در موقع جذب آب رخ می‌دهد ولی ادامه آن باعث ریزی بیش از اندازه خاکدانه-ها می‌شود.

- یخ‌زدن آب در خاک: در یخ زدن سریع تعداد زیادی کریستالهای ریز بوجود می‌آید که باعث خردشدن خاکدانه‌ها گردیده و ممکن است به جای خاکدانه‌سازی باعث دیسپرس شدن آنها گردد. علاوه بر سرعت یخ زدن مقدار رطوبت در زمان یخ زدن نیز بر خاکدانه‌سازی مؤثر است. در رطوبت‌هایی که خاک حالت ژل دارد (زیر ۵۰٪ اشباع) یخ زدن کند باعث افزایش خاکدانه‌سازی با افزایش رطوبت می‌گردد (بین ۰ تا ۵۰٪ اشباع). در صورتی که در این رطوبت‌ها با یخ زدن سریع خاک متلاشی می‌گردد. با افزایش بیشتر رطوبت در حالت ژل با بیشتر از ۵۰٪ رطوبت اشباع به تدریج میزان خاکدانه‌سازی در یخ زدن کند، کاهش یافته و حتی در رطوبت های بالاتر از ۶۰٪ اشباع خاکدانه‌سازی کاهش یافته و حتی خاک متلاشی می‌گردد. یخ زدن سریع نیز در رطوبت‌های بالا عامل دیسپرس شدن خاک است. بنابر این بیشترین مقدار خاکدانه‌سازی در ۵۰٪ رطوبت اشباع و سرعت یخ زدن کم صورت می‌گیرد.

۴) اثر مواد آلی در تشکیل خاکدانه:

با افزایش مواد آلی در خاک تشکیل خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد. تحقیقات نشان می‌دهد اثر مواد آلی در خاکهای با رس کم واضح تر است. خاکهایی که در صد رس آنها ۲۵ درصد می‌باشد اثر ماده آلی در تشکیل خاکدانه کاملا واضح و روشن است.

۵) تاثیر موجودات زنده در تشکیل خاکدانه:

مواد آلی توسط موجودات زنده تجزیه شده و هوموس می‌شود که باعث افزایش تولید خاکدانه می‌شود. موجودات زنده نیز برای فعالیت نیاز به ماده آلی دارند پس اثر آنها در تشکیل ساختمان نقش مهمی دارد.

- اتصال مکانیکی ذرات خاک توسط رشته‌ها یا ریسه‌های قارچها و اکتینو میست‌ها. تخمین زده شده که حدود ۵۰ در صد تاثیر قارچها در ساختمان مربوط به اتصال مکانیکی ذرات است.
- اثر مواد سنتز شده چسبنده ذرات خاک مثل پلی ساکاریدها توسط ریزموجودات زنده خاک.
- اثر اصلاح کننده مواد حاصل از تجزیه (هوموس).
- اثر کرمهای خاکی: باعث افزایش و نفوذپذیری و تهویه خاک شده و می‌تواند اثرات مستقیم و غیرمستقیم در تشکیل خاکدانه داشته باشند.

۶) اثر گیاهان بر ساختمان خاک:

- شاخ و برگ گیاهان
- افزایش مواد آلی خاک
- اثرات ریشه شامل فشردن ذرات خاک (آزمایشات نشان داده که خاکدانه‌های تشکیل شده تحت این اثر پایداری کافی را دارند)، جذب آب توسط ریشه، ترشحات ریشه باعث چسباندن ذرات خاک می‌شود.

۷) اثرات شخم و شیار ماشین‌آلات:

تردد زیاد ماشین‌آلات در خاک باعث شکستگی خاکدانه‌ها در سطح خاک شده و در عمق‌های پایین تر خاک را متراکم می‌کند.

احیاء و بهبود ساختمان خاک:

عامل اصلی پایداری و ثبات توده خاک مواد آلی خاک است که نه تنها ذرات را به همدیگر متصل می‌کند بلکه با بوجود آوردن حالت اسفنجی در آنها یک توده متخلخل با فضا و منافذ کافی ایجاد می‌نماید. هوموس تشکیل شده از تجزیه مواد آلی مانند ذرات رس حالت کلوئیدی داشته و از طریق جذب آب و کاتیون‌ها در نگهداری ذرات خاکدانه‌ها اثر کاملا مثبتی دارد. و کلیه

عواملی مختلفی که سبب رشد و نمو بهتر گیاه می‌شود مثل:

- تناسب کشت: گیاهان دارای ریشه‌های افشان باعث بهبود و گیاهانی مثل ذرت می‌تواند اثر سوء داشته باشد زیرا کشت آنها با فواصل مشخص صورت گرفته و عملیات داشت بصورت مکانیکی روی آن زیاد صورت می‌گیرد.
- استفاده بهینه از کودهای آلی و شیمیایی
- اضافه کردن مواد آهکی در خاکهای اسیدی

- جلوگیری از فرسایش خاک
- بهبود وضعیت زهکشی خاک
- مدیریت صحیح شخم و شیار و سایر عوامل مشابه

سله یا Crust:

هنگامی که ساختمان خاک تخریب می‌شود (در نتیجه ضربات قطرات باران، آبیاری و فشارهای مکانیکی ماشین آلات) و. . . ذرات ریز حاصل، همراه با آب در خلل و فرج نفوذ کرده و بویژه خلل و فرج درشت را که در تهویه و نفوذپذیری اهمیت دارند، پر می‌کنند و سبب تشکیل یک قشر غیرقابل نفوذ در سطح خاک می‌گردد. این لایه پس از خشک شدن سفت می‌شود و جوانه-زنی بذر را با اشکال روبرو می‌کند به این لایه سخت **سله** گویند. سله حاصل از قطرات باران دارای یک لایه رویی در حدود ۰/۱ میلی‌متر است که بر اثر ضربات قطره‌های بارانی، کاملا متراکم است که به آن seal می‌گویند. نفوذپذیری این قشر ممکن است به $\frac{1}{2000}$ نفوذپذیری خاک اصلی برسد. در زیر این قشر، لایه دیگری وجود دارد که نفوپذیری آن ممکن است به $\frac{1}{200}$ نفوپذیری خاک اصلی برسد.

مقدار رس و ماده آلی خاک در سختی سله تاثیر مهمی دارد. هر چه مقدار رس بیشتر و ماده آلی کمتر باشد سله تشکیل شده سخت‌تر و جوانه‌زنی مشکل‌تر است.

مصرف مالچها و مواد اصلاحی می تواند سختی سله را کاهش و مشکل جوانه-زنی را بر طرف نماید. تحقیقات نشان داده است که مصرف این مواد در سطوح معینی، سختی سله را بطور معنی‌داری کاهش می‌دهد. بدیهی است که رابطه معکوس بین درصد جوانه‌زدن و سختی سله وجود دارد. تحقیقات اخیر نشان داده که برای تشکیل سله علاوه بر رس مقدار قابل توجهی سیلت و بخصوص سیلت‌ریز اهمیت دارد.

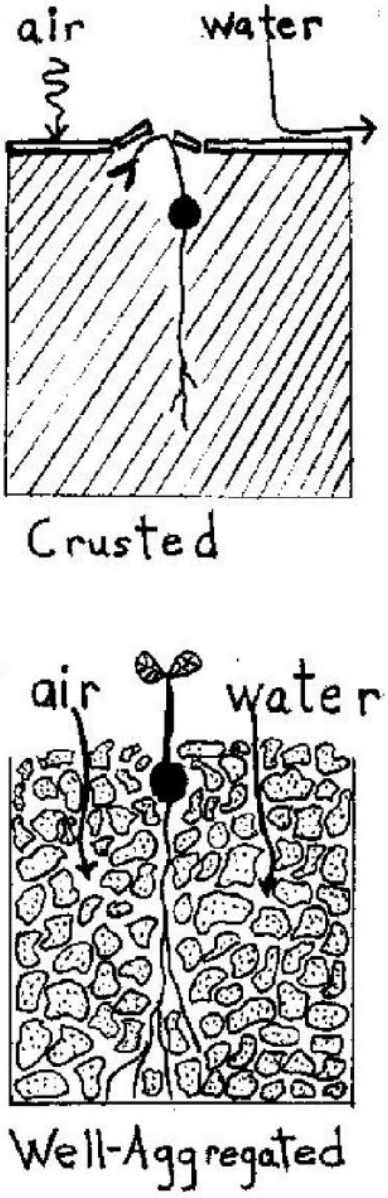


Figure 3. Effects of aggregation on water and air entry into the soil.

سطح ویژه:

سطح ویژه یکی از مشخصه‌های مهم فیزیک خاک است که از اندازه‌گیری ذرات خاک ناشی می‌شود و منظور از آن نسبت سطح به واحد حجم ذرات خاک است. فعالیت‌های فیزیکو شیمیایی که درخاک صورت می‌گیرد بویژه فعل و انفعالات شیمیایی همگی در سطح ذرات بوقوع می‌پیوندد. لذا هر چه سطح یک ذره بیشتر باشد به همان نسبت واکنش‌های شیمیایی نیز در حجم بیشتری صورت خواهد گرفت.

مقدار و سرعت حرکت آب در خاک تا حد زیادی بستگی به نوع خاک دارد. خاک‌های شنی ذرات درشت دارند که قطر ذرات آنها یک میلیمتر تا بیشتر است. سطح ویژه این ذرات بسیار کم و لذا فضاهای موجود در بین ذرات خاک بزرگتر است. حال آنکه خاک‌های رسی ذرات ریز و کوچکتر از ۲ میکرون داشته و سطح ویژه بسیار زیاد آنها باعث می‌شود که منافذ بین ذرات خاک بسیار کوچک باشد.

اندازه قطر ذرات و سطح ویژه آنها

نوع خاک	قطر ذرات (میکرون)	سطح ویژه (مترمربع در هر گرم)
شنی درشت	۲۰۰-۲۰۰۰	<۵
شنی	۲۰-۲۰۰	۵-۱۰
سیلت	۲-۲۰	۱۰-۱۰۰
رسی	<۲	۱۰۰-۱۰۰۰

ذرات ریز رس بواسطه ریز بودن فوق‌العاده سطح وسیعی بوجود می‌آورند. علاوه بر این سطح خارجی مقداری سطح در بین لایه‌ها نیز ایجاد می‌گردد که از آن به اسم سطح داخلی یاد می‌شود. در مقام مقایسه می‌توان گفت که سطح خارجی یک گرم رس اقلا هزار برابر سطح خارجی شن می‌باشد و **واحد آن متر مربع در هر گرم** ذره می‌باشد.

سطح ویژه برخی از کانیهای رسی

کانی	سطح ویژه ($m^2.g^{-1}$)
کائولینیت	۷-۳۰
مونت مورلونیت	۶۰۰-۸۰۰
ورمیکولیت	۶۰۰-۸۰۰
مسکویت	۶۰-۱۰۰
بیوتیت	۴۰-۱۰۰
کلریت	۲۵-۱۵۰
تالک	۶۵-۸۰

تشکیل خاکدانه در خاک‌های زراعی:

از بهم چسبیده سه جزء تشکیل دهنده بافت خاک، تشکیل خاکدانه در خاک‌های زراعی بوقوع می‌پیوندد. در تشکیل خاکدانه عوامل فیزیکی مثل تر و خشک شدن و عوامل شیمیایی مثل وجود عناصر کلسیم و منیزیم و عوامل زیستی مثل ترشحات ریشه ای گیاهان و تولیدات ریزجانداران و کرمهای خاکی همه دست به دست هم داده و خاکدانه (Aggrigate) ایجاد می‌شود که نقش مهمی در نگهداری آب و نفوذ هوا در خاک دارد.

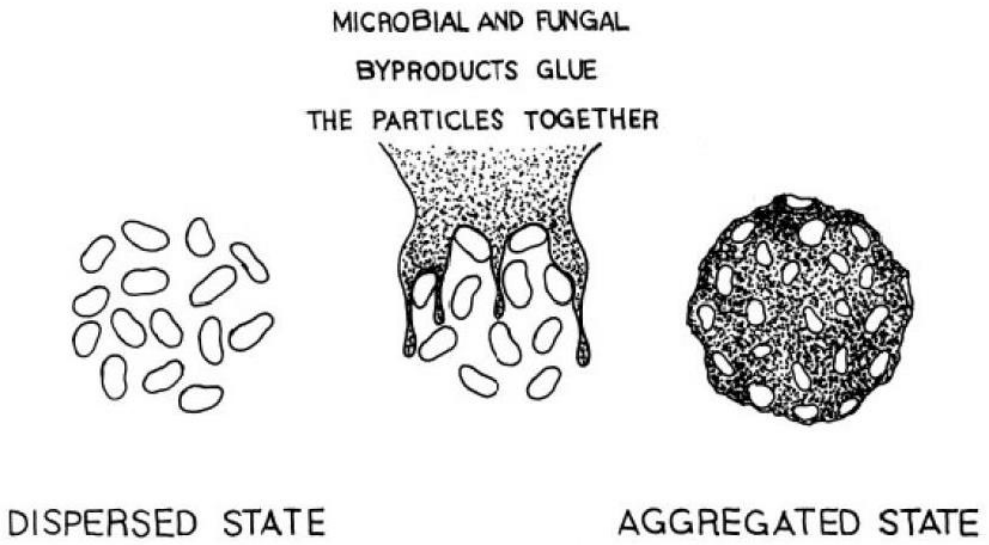


Figure 2. Microbial byproducts glue soil particles into water-stable aggregates.

وزن مخصوص حقیقی خاک (Particel density): وزن مخصوص حقیقی خاک عبارتست از وزن یک سانتی‌متر مکعب از ذرات جامد آن، با وجودیکه وزن مخصوص اجزاء مختلف تشکیل دهنده یک خاک متغیر است ولی معمولا وزن مخصوص خاک بطورکلی ۲/۷۵-۲/۶ گرم در سانتیمتر مکعب است. وزن مخصوص مینرال‌های کوارتز فلدسپار و کلوئیدهای سیلیکاتی که قسمت عمده خاک را تشکیل می‌دهند نیز در همین حدود می‌باشد. باید توجه داشت که درجه ریزی بافت خاک با فشردگی آن ارتباطی با وزن مخصوص حقیقی خاک نخواهد داشت. چون مواد آلی سبکتر از مواد معدنی هستند و وزن مخصوص آنها حدود یک بوده و وجود این مواد بمقدار کافی در وزن مخصوص حقیقی مؤثر بوده و معمولا برای محاسباتی که وزن مخصوص حقیقی مورد نیاز است عدد ۲/۶۵ بکار برده می‌شود.

$$D_p = \frac{m_s}{v_s}$$

وزن مخصوص ظاهری خاک (Bulk density): وزن مخصوص ظاهری وزن یک سانتی‌متر مکعب خاک در حالت طبیعی می‌باشد. در اینجا حجم خاک مجموع حجم مواد جامد و منافذ بین آنها است. بنابر این خاک‌های شنی به واسطه نزدیکتر شدن ذرات آنها به یکدیگر و داشتن مواد آلی کم دارای وزن مخصوص ظاهری بیشتری هستند بر عکس در خاک‌های لوم لای یا لوم رسی ذرات خیلی نزدیک نبوده و به علاوه با داشتن مواد آلی بیشتر توده‌بندی ذرات صورت گرفته و خاک حالت اسفنجی و باز پیدا می‌کند که وزن مخصوص را کاهش داده و معمولا در لایه‌های سطحی خاک بین ۱ تا ۱/۶ گرم در سانتی‌متر مکعب می‌باشد و در عمق از $1/6\text{-}1/8 g/cm^3$ تغییر می‌کند. کشت و زرع و نحوه استفاده از خاک در وزن مخصوص ظاهری آن تاثیر دارد. اضافه نمودن مواد آلی و کودهای حیوانی و کشت مرتع و گیاهان با ریشه افشان وزن مخصوص خاک را کم کرده و بر عکس بکار بردن ماشین‌آلات سنگین سبب افزایش آن می‌شود

$$D_b = \frac{m_s}{v_s + v_a + v_w}$$

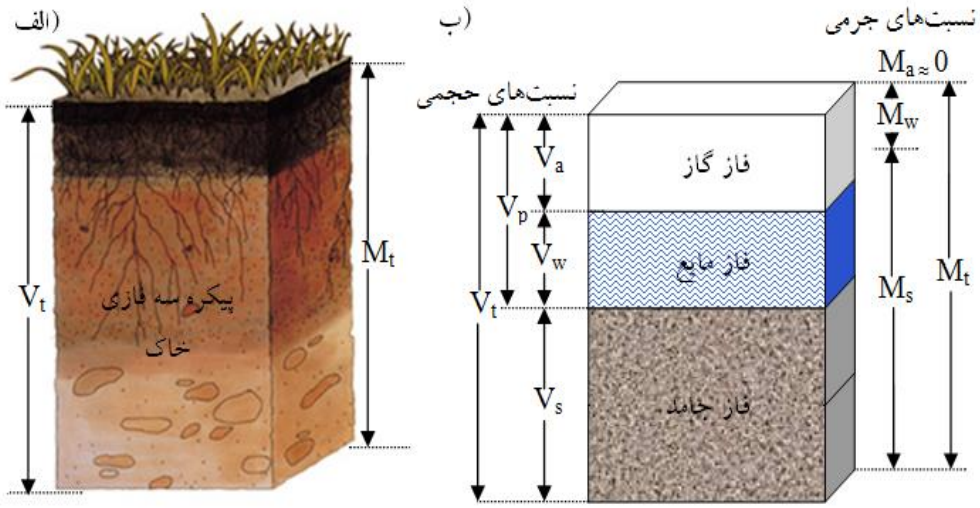
مسئله: وزن یک هکتار خاک به عمق ۱۵ سانتیمتر که وزن مخصوص ظاهری آن ۱/۳ گرم بر سانتیمتر مکعب است را حساب کنید.

تخلخل خاک:

منافذ خاک یا تخلخل خاک (Prosity): شامل آن قسمتی است که توسط آب و هوا اشغال شده است. حجم این فضا به طرز قرارگرفتن ذرات خاک بستگی داشته و در صورتی که مانند شن ذرات به هم نزدیک باشند فضای منافذ حجم کمتری خواهد داشت. برعکس درصورت وجود مواد آلی زیاد و ایجاد دانه‌بندی مناسب فضای منافذ بیشتری در خاک بوجود خواهد آمد.

درصد حجم خاک که شامل منافذ پر از هوا و آب می‌گردد از فرمول زیر بدست می‌آید.

$$n = f = \frac{V_f}{V_t} = \frac{Va + Vw}{Vs + Va + Vw} \times 100$$



اهمیتی که تخلخل در خواص فیزیکی به ویژه در رابطه آب و خاک دارد، می‌توان آن را به دو دسته درشت (جایگاه هوا) و ریز یا تخلخل مویینه‌ای (جایگاه آب) تقسیم کرد. این فضا در خاک‌های شنی ۳۵ تا ۵۰ درصد و در خاک‌های سنگین ۴۰ تا ۶۰ درصد بوده در صورت وجود مواد آلی کافی و دانه‌بندی مناسب از این حد هم بالاتر می‌رود. بدیهی است که فضای منافذ در لایه‌های پایین خاک کمتر است. از فرمول بوضوح می‌توان دید که تمام عواملی که باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری می‌شوند درصد فضای منافذ را بالا می‌برند.

تاثیر بافت، ساختمان و فعالیت زیستی بر روی تخلخل:

تخلخل رابطه‌ای فشرده با بافت، ساختمان و فعالیت زیستی خاک دارد. هر قدر دانه‌های جامد خاک درشت‌تر باشند، خلل و فرج بین آنها نیز از اندازه بزرگتری برخوردارند. خاک‌های حاوی مقدار قابل ملاحظه‌ای سیلت و رس (ریز بافت)، در صورتی که اجزاء کلوئیدی در وضعیت پراکنش باشند، دانه‌های ریز، فضای بین دانه‌های درشت را پر می‌کنند و با وجود درصد تخلخل بالا، قسمت اعظم خلل و فرج از نوع بسیار ریز است که با نگهداری آب بمدت زیاد برای جریان هوا و تنفس ریشه مشکل ایجاد می‌کند.

وقتی که کلوئیدهای رس و هوموس در شرایط اسیدیته و کاتیونی مناسب قرار دارند. حالت تجمع به خود می گیرند و دانه‌های درشت‌تری بوجود می آورند و در نتیجه خاک از درصد تخلخل بالا و نسبتا درشت‌تری برخوردار می‌گردد. بدین ترتیب بافت‌های نسبتا سنگین در وضعیت تجمع کلوئیدها مقدار قابل توجهی خاکدانه با پایداری کافی دارند در عین حال که از قدرت نگهداری زیاد آب و عناصر غذائی برخوردار هستند، محدودیتی برای جریان آب و هوا و توسعه ریشه گیاهان ایجاد نمی‌کنند.

جدول: رابطه بین بافت، وزن مخصوص ظاهری و تخلخل

بافت	وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3)	تخلخل
Sand	۱/۵۵	۴۲
Sandy loam	۱/۴۰	۴۸
Loam	۱/۲۰	۵۵
Silt loam	۱/۱۵	۵۶
Clay loam	۱/۱۰	۵۹
Clay	۱/۰۵	۶۰

همانطور که جدول نشان می‌دهد، وزن مخصوص ظاهری خاک‌های شنی بیشتر از خاک‌های رسی است. در حالی که درصد تخلخل آنها کمتر بوده، بیشتر خلل و فرج خاکهای شنی از نوع درشت است، به طوری که از نفوذ بالائی برخوردارند و آب و هوا به آسانی در آنها جریان می‌یابد. در مقابل، درصد خلل و فرج ریز در خاکهای شنی بسیار اندک است و به همین علت قدرت نگهداری آب در آنها ضعیف می‌باشد.

فعالیت زیستی به ویژه آن چه به جانوران زنده کوچک مربوط می‌شود به افزایش خلل و فرج خاک کمک می‌کند. در واقع این جانوران (کرم خاکی، خرخاکی و حشرات کوچک) با ایجاد حفره‌ها و مراکز هوازی در خاک، به زندگی خود ادامه می‌دهند. در این زمینه باید از تاثیر باکتری‌ها یا به طور عام ریزموجودات یاد کرد. این موجودات زنده ضمن تجزیه و تخریب هوازی مواد آلی، آنها را در جهت هوموسی شدن هدایت می‌کنند و در نتیجه، موجبات بهبود ساختمان خاک نیز فراهم می‌آید.

محاسبه درصد تخلخل خاک بر اساس وزن مخصوص ظاهری و حقیقی:

$$\textbf{Prosity\%} = 1-\frac{D_b}{D_p}\times 100$$

مسئله- هرگاه وزن مخصوص ظاهری و حقیقی خاکی ۱/۳و ۲/۶ گرم بر سانتیمتر مکعب باشد، مقدار درصد تخلخل و حجم مواد جامد خاک را محاسبه کنید.

نسبت پوکی (Void ratio):

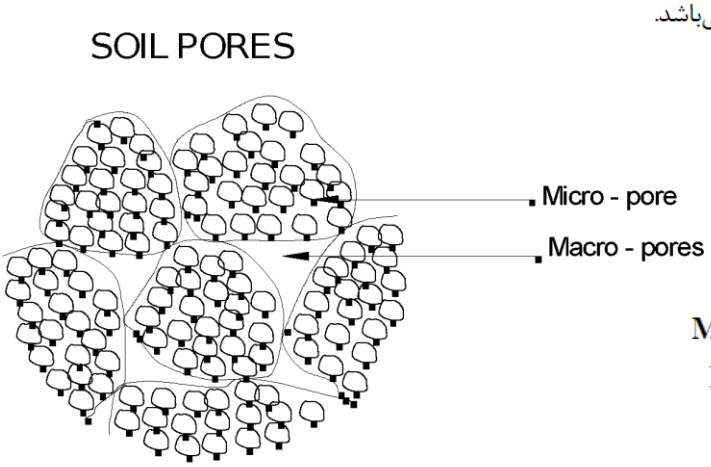
نسبت پوکی نیز شاخصی است از حجم نسبی خلل و فرج خاک، ولی بجای اینکه حجم کلی در نظر گرفته شود، حجم ذرات جامد خاک در محاسبه بکار می‌رود.

$$e = \frac{Va + Vw}{Vs} = \frac{V_f}{V_t - V_f}$$

مزیت این شاخص نسبت به شاخص تخلخل در این است که هر تغییر در حجم خلل و فرج خاک فقط صورت کسر را تغییر می‌دهد. از این نسبت در مهندسی و مکانیک خاک استفاده می‌شود ولی در زمینه خاک و کشاورزی، کاربرد تخلل نسبت به پوکی ترجیح داده می‌شود.

اندازه منافذ:

دو نوع منفذ درشت و ریز در خاک تشخیص داده می‌شوند. حرکت آب و هوا از درون منافذ درشت به سهولت صورت می‌گیرد درحالیکه در منافذ ریز حرکت هوا خیلی کند و حرکت آب فقط از طریق لوله‌های مویینه انجام می‌شود. درخاک های شنی علیرغم کم بودن فضای منافذ حرکت آب و هوا خیلی سریع است زیرا بیشتر منافذ از نوع درشت می‌باشند. برعکس در خاک‌های ریز بافت که حجم فضای منافذ بیش از خاک‌های شنی است بعلت ریز بودن تعداد زیادی از منافذ حرکت آب و هوا کند می باشد. در این خاک‌ها منافذ ریز معمولا پر از آب باقی مانده و تهویه مناسب برای رشد و فعالیت ریشه گیاهان و موجودات ذره بینی فراهم نمی‌گردد. اندازه منافظ خاک به قرار زیر می‌باشد.

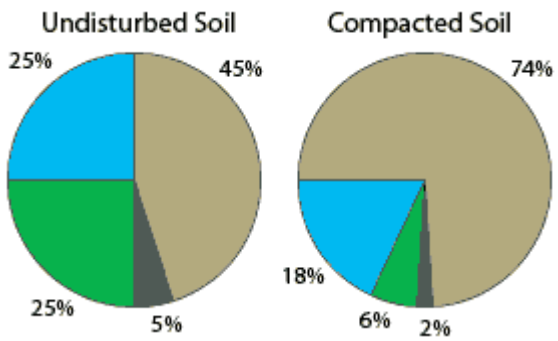


Macroporos > ۱۰۰µm = ۰/۰۱cm = ۰/۱mm
Mesopores = ۳۰-۱۰۰µm = ۰/۰۰۳- ۰/۰۱cm
Micropores < ۳۰µm = ۰/۰۰۳cm

تراکم خاک (Soil compaction):

تراکم فرایندی است که طی آن حجم کل خلل و فرج خاک (بخصوص خلل و فرج درشت یا تهویه‌ای) کم می‌شود. که نتیجه آن سفت شدن خاک (Soil densification) است. این سفت شدن موجب افزایش وزن مخصوص ظاهری، کاهش تخلخل، کاهش نفوذ پذیری خاک، افزایش مقاومت خاک و غیره و نهایتا کاهش نفوذ ریشه و رشد گیاه می‌باشد.

تراکم خاک بدلیل مکانیزه شدن کشاورزی و افزایش وزن ادوات به صورت یک معضل رو به گسترش در آمده است. امروزه با وجود پیشرفت در زمینه تکنولوژی و مکانیزاسیون کشاورزی، بدلیل عبور و مرور بیش از حد ماشین‌های کشاورزی، مدیریت نامناسب مزرعه‌ای، عدم تامین مواد آلی در خاک و بی‌توجهی به کشاورزی پایدار خصوصا در کشورهای در حال توسعه، مشکل تراکم خاک مهم، جدی و توجه به آن نسبت به گذشته زیادتر شده است. ولی با این وجود تراکم خاک ذاتا یک مشکل لاینحل نمی‌باشد بلکه باید تحت کنترل مدیریتی قرار گیرد.



عوامل موثر بر تراکم‌پذیری خاک:

۱)عوامل خارجی:

- بارگذاری: نوع، شدت، مدت و زمان و تعداد دفعات بارگذاری (تردد ماشین‌الات).
- اقلیم: با افزایش رطوبت تراکم افزایش می یابد چون پایداری خاک کم شده و ذرات از هم جدا شده‌اند.

۲)عوامل داخلی:

- بافت خاک: هر چه بافت درشت تر تراکم‌پذیری کمتر می‌شود.
- نوع کانیهای رسی: هر چه انبساط پذیرتر، تراکم پذیرترند.
- ساختمان و استحکام خاک
- مقدار مواد آلی
- رطوبت

راههای جلوگیری از تراکم خاک:

۱) **مدیریت رطوبت خاک:** با افزایش رطوبت تراکم افزایش می‌یابد ولی رطوبت از حدی که گذشت تراکم پذیری خاک کاهش می‌یابد زیرا وقتی آب اغلب خلل و فرج خاک را پر کرد، چون یک ماده تقریبا غیرقابل تراکم است پس تراکم پذیری خاک کاهش می‌یابد.

۲) مدیریت ماشینی:

- کاهش بار یا Load مثلا استفاده از ماشین‌آلات سبکتر در صورت امکان.
- کاهش فشار تماسی استفاده از چرخهای آهنی، افزایش تعداد تایرها، افزایش قطر یا عرض چرخها، کاهش فشار باد تایر که گیرایی افزایش و فشار تماسی کاهش می‌یابد.
- سرعت حرکت: افزایش سرعت حرکت تا یک حدی مفید است، چون مدت زمان تاثیر بارگذاری کاهش می‌یابد، ولی اگر حرکت پرشی در اثر سرعت زیاد ایجاد شود اثر معکوس دارد.
- کاهش تردد ماشین‌آلات در مزرعه.

۳) اعمال زراعی:

- افزودن مواد آلی خاک
- آهک دهی

سایر اعمال مفید:

- شخم مناسب
- استفاده از Subsoiler (زیر شکن)
- کوددهی: باعث افزایش جذب مواد غذایی و پوشش گیاهی بیشتر و افزایش مواد آلی و توسعه ریشه می‌شود.
- انتخاب گونه‌های مقاوم مثلا یونجه و شبدر با ریشه‌های قوی خود قادرند در لایه متراکم شده، رسوخ کنند.

استفاده از عدوات کشت با حداقل خاک‌ورزی:

امروزه بخاطر اهمیت حفظ مواد آلی خاک برای جلوگیری از تجزیه زیستی آنها با بهم خوردن خاک و بیشتر شدن فرایند تجزیه آنها از عدواتی استفاده می‌شود که ضمن ایجاد بستر مناسب برای رشد بذر حداقل بهم خوردن خاک را ایجاد می‌کند