دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده کشاورزی

گروه علوم و مهندسی خاک

رابطه آب خاک و گیاه

تهیه و تنظیم

حیدر غفاری

آب در خاک

در این فصل می‌خوانیم:

۶-۱ ویژگی‌های مهم خاک دررابطه‌با آب
۶-۲ نگهداری آب در خاک
۶-۳ حرکت آب در خاک

مقدمه

گیاه آب مورد نیاز خود را از طریق ریشــه ها از آب نگهداری شــده در خاک جذب میکند. آب علاوه بر اینکه خود به عنوان یک ماده غذایی محـ سوب میـ شود، به عنوان عامل و مـ سیر انتقال سایر مواد غذایی نیز ا ست. همچنین بسـیاری از خصـوصـیات خاک در ارتباط با رشـد گیاه، مانند تهویه و مقاومت در برابر نفوذ ریشـه، توانایی انتقال آب و اغلب واکنش های زیســتی و شــیمیایی درون خاک نیز به مقدار رطوبت خاک بســتگی دارد. بنابراین، موجودیت و مهیایی آب در خاک عامل کلیدی در رشــد گیاه بوده و آگاهی از وضــعیت آن و قوانین حاکم بر رفتار آن از مهمترین مـسائل در علم رابطه آب و خاک و گیاه محـسوب میـشود. و ضعیت آب در خاک از دو جنبه مقدار "رطوبت خاک" و "مقدار پتانسیل آب" قابل بررسی است که هر کدام به طور جدا گانه ارائه می شوند. مقدار رطوبت تنها بیان کننده این ا ست که چه مقدار آب در خاک وجود دارد و توجهی به نیروهای نگهدارنده آن ندارد. در حالیکه پتانـسیل آب مقدار انرژی و توانایی انجام دادن کار تو سط رطوبت موجود در خاک را بیان می کند.

ویژگی‌های مهم خاک دررابطه‌با آب

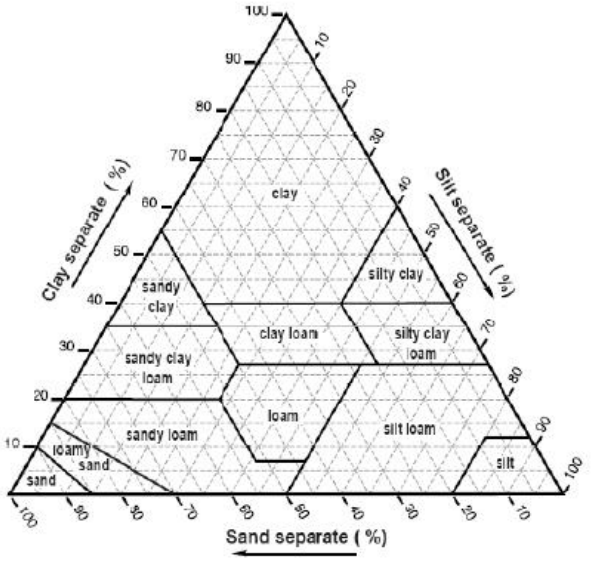
به‌طورکلی، خاک از سه قسمت جامد، مایع و گاز تشکیل شده است (شکل ۱-۶). مقدار و نسبت هرکدام از این سه جزء در خاک‌های مختلف متفاوت بوده و سبب ایجاد خصوصیات مختلفی برای خاک‌های گوناگون می‌گردد. برای درک بهتر روابط آب و خاک، شناخت این خصوصیات ضروری است. مهم‌ترین خصوصیات و پارامترهای خاک عبارت‌اند از: بافت، ساختمان، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل

بافت خاک

بافت خاک، معرف نسبت اختلاط و حضور هر یک از ذرات رس، لای و شن در نمونهٔ مورد نظر است. به خاک‌هایی که دارای بافت ریز هستند خاک سنگین و به خاک‌هایی که دارای بافت درشت هستند، خاک سبک اطلاق می‌گردد. همچنین به خاک‌هایی که لومی هستند از نظر کشاورزان، بافت متوسط اطلاق می‌شود. بافت خاک، دائمی است و کشاورز نمی‌تواند آن را اصلاح یا تغییر دهد.

به‌منظور یافتن نسبت ذرات خاک، نمونهٔ خاک در آزمایشگاه مورد تجزیهٔ مکانیکی قرار می‌گیرد و سپس برای تعیین بافت خاک، از مثلث بافت خاک (شکل ۳-۲) استفاده می‌شود.

شناسایی بافت خاک اهمیت زیادی در ارزیابی زمین دارد. معمولاً بهترین خاک‌های مزروعی دارای ۱۰ تا ۲۰ درصد رس، ۵ تا ۱۰ درصد مادهٔ آلی و به مقدار مساوی لای و شن می‌باشند. در مطالعات تشکیل و طبقه‌بندی خاک، تعیین بافت الزامی است و بایستی از سطح خاک تا سنگ بستر، تغییرات و نوع آن مشخص گردد.



شکل ۳-۲. مثلث بافت خاک

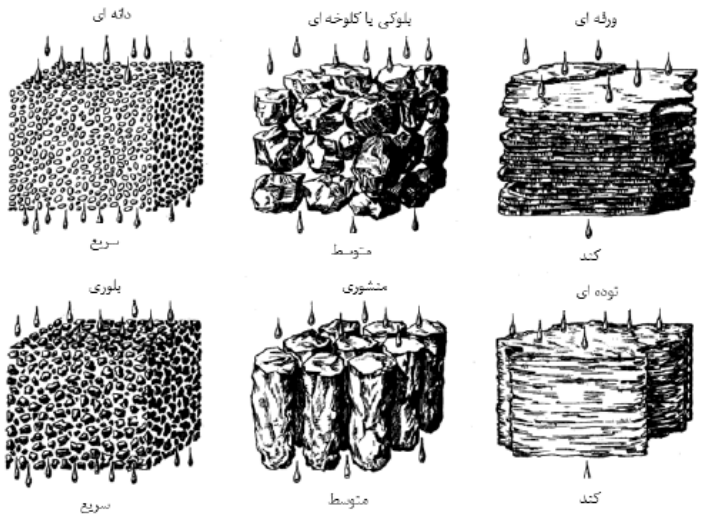
ساختمان خاک

به نحوهٔ قرار گرفتن ذرات خاک در واحدهای طبیعی تودهٔ خاک که خاکشناسان به آن خاکه (peds) می‌گویند، ساختمان خاک اطلاق می‌گردد. ساختمان خاک بر ورود آب و هوا به

درون خاک و حرکت در داخل خاک، نفوذ ریشه و منبع غذایی خاک تأثیر می‌گذارد.

نوع ساختمان (شکل ۳-۳) بر شکل خاص گروه‌بندی ذرات خاک که در افق خاک غالب است، دلالت دارد. خاک‌های دانه‌دانه (single grained) و خاک‌های توده‌ای (massive soils)، فاقد ساختمان می‌باشند. در خاک‌های دانه‌دانه، مانند شن خشک، آب به‌سرعت نفوذ می‌کند. درحالیکه در داخل خاک‌های توده‌ای مانند برخی رس‌ها، حرکت آب به‌کندی صورت می‌گیرد. نفوذ آب در خاک‌های دارای ساختمان منشوری، بلوکی و بلوری یا دانه‌ای، بهتر از خاک‌های دارای ساختمان ورقه‌ای می‌باشد که از حرکت رو به پایین آب ممانعت می‌کنند.

ساختمان خاک برخلاف بافت، آن در اثر عملیات زراعی تغییر می‌کند. اهمیت ساختمان خاک از این نظر مهم است که روی عوامل رشد و نمو گیاه مثل تهویه، ظرفیت نگهداری آب، دمای محیط ریشه، حرکت املاح، فعالیت‌های بیولوژیک و نفوذ ریشه اثر می‌گذارد. در لایه‌های سطحی خاک‌های دارای مقدار زیاد مواد آلی و در خاک‌هایی که گیاهان علوفه‌ای دائمی رشد می‌کنند، بهترین ساختمان شکل می‌گیرد. چرخه‌های خشک و مرطوب شدن یا یخ‌زدگی و ذوب یخ، ساختمان لایهٔ شخم را بهبود می‌بخشد. به عبارت دیگر، زراعت در خاک متوسط یا ریز بافت در شرایط رطوبت زیاد، عامل مخرب ساختمان می‌باشد. آبیاری با آب شور باعث تغییر ساختمان خاک می‌شود. آب‌های آبیاری دارای سدیم زیاد از طریق جدا کردن خاکدانه‌ها، بر ساختمان خاک تأثیر منفی بجا می‌گذارند.



شکل ۳-۳. انواع ساختمان خاک و تأثیر آن‌ها بر حرکت روبه پایین آب

بهترین خاک از نظر کشاورزی، خاکی است که ذرات آن به‌صورت خاکدانه باشند. فرآیندهایی که سبب تخریب خاکدانه‌ها می گردند عبارتند از:

- خشک و مرطوب شدن خاک
- از بین رفتن مواد آلی
- فعالیت ریشه‌ها و جانوران ریز
- جذب نیتروژن
- یخ زدن آب بین ذرات خاک و ذوب شدن یخ
- شخم خاک

گاهی اوقات ممکن است خاک فاقد ساختمان باشد در این حالت ذرات خاک به‌طور مستقل و بدون هر نوع اتصال و شکل ساختمانی کنار یکدیگر قرار گرفته و یا ممکن است همگی یکپارچه شده و تشکیل یک بلوک سیمانی را بدهند. مثلاً شن‌های روان در کویرها، نمونه‌ای از خاک‌های بدون ساختمان می‌باشد.

تخلخل خاک

حجم منافذ خالی به حجم کل خاک را تخلخل می‌نامند. میزان تخلخل خاک های معدنی عموماً بین ۳۰ تا ۶۰ درصد حجم کل خاک (به‌طور متوسط حدود ۵۰ درصد) می‌باشد. تخلخل خاک تحت تأثیر دانه‌بندی خاک، بافت، فعالیت ریشه، گازهای محبوس و حشرات، کرم‌ها و سایر حیوانات نقب‌زن می‌باشد. خاک‌های درشت بافت، تخلخل کمتری نسبت به خاک‌های ریزبافت دارند اما اندازهٔ متوسط منافذ در خاک‌های شنی معمولاً بزرگ‌تر است. تخلخل خاک‌های رسی به‌دلیل پتانسیل آماس و انقباض در طول دوره‌های خشک و مرطوب شدن و توانایی بیشتر در جهت تجمع یا پراکندگی دانه‌ها، تغییرپذیرتر است.

فضای خالی خاک‌ها را می‌توان به‌صورت شبکهٔ وسیع متصل به هم از خلل و فرج دانست که در جهات مختلف توسعه می‌یابند. این خلل و فرج علاوه‌بر اینکه محل نگهداری مایعات و گازها را بوده و جابه‌جایی آن‌ها را تنظیم می‌کنند، به‌عنوان زیستگاه موجودات زندهٔ ریز و نیز معابر ورود ریشه‌ها و رشد و توسعهٔ آن‌ها می‌باشند. کل تخلخل یک نمونه خاک را می‌توان با استفاده از معادلهٔ زیر به‌دست آورد:

$$\text{تخلخل کل} = ۱ - \frac{\text{جرم مخصوص ظاهری}}{\text{جرم مخصوص حقیقی}} \qquad (۱-۳)$$

درصورتی‌که خاکدانه‌ها کاملاً مجزا باشند، می‌توان توزیع اندازهٔ منافذ را به خلل و فرج درشت یا ماکروپورها و خلل و فرج ریز یا میکروپورها تقسیم نمود. ماکروپورها، عمدتاً فضاهای خالی بین خاکدانه‌ها هستند که به‌عنوان مسیرهای اصلی نفوذ آب، زهکشی و تهویه می‌باشند. میکروپورها، منافذ کوچک‌تر داخل خاکدانه‌ها می‌باشند که غالباً به‌عنوان نگهدارندهٔ آب و املاح عمل می‌نمایند.

۶ ۰ ۰ وزن مخصوص ظاهری[۱] خاک

ورن مخصوص ظاهری خاک (ρ_b) عبارت‌است از نسبت وزن ذرات جامد خاک به حجم کل خاک (رابطه۱-۶). معمولاً خاک‌های شنی و دارای خلل‌وفرج کمتر به‌دلیل دارابودن نسبت ذرات جامد بیشتر، دارای وزن مخصوص ظاهری بیشتری هستند. وزن مخصوص ظاهری خاک‌های زراعی بین ۱٫۱ تا ۱٫۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب می‌باشد. برای رشد مناسب گیاه باید وزن مخصوص ظاهری در خاک‌های شنی کمتر از ۱٫۶ و در خاک‌های رسی کمتر از ۱٫۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب باشد.

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_a + V_w + V_s} \ \text{g cm}^{-۳} \qquad (۶-۱)$$

در اینجا، ρ_b وزن مخصوص ظاهری و V_s، V_w و V_a به‌ترتیب حجم ذرات جامد، آب و هوای خاک هستند.

۶-۱-۲ وزن مخصوص حقیقی[۱] خاک

وزن مخصوص حقیقی خاک (ρ_p) عبارت از نسبت وزن ذرات جامد خاک به حجم ذرات جامد است (رابطه۲-۶). به‌طور معمول وزن مخصوص حقیقی خاک‌های زراعی حدود ۲٫۶۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب می‌باشد.

$$\rho_p = \frac{m_s}{V_s} \ \text{g cm}^{-۳} \qquad (۶-۲)$$

دراین رابطه ρ_p وزن‌مخصوص حقیقی خاک و m_s و V_s به‌ترتیب وزن و حجم ذرات جامد خاک هستند.

نگهداری آب در خاک

نیروهای جذب سطحی و کاپیلاری مکانیسم‌های اصلی نگهداری آب در خاک می‌باشند (شکل۷-۶). درواقع، پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های آب، نیروی چسبندگی بین مولکول‌های آب و مولکول‌های آب با دیواره‌های منافذ خاک و نیروی کشش سطحی آب توجیه‌کننده دلایل نگهداری و حرکت آب در خاک هستند. منافذ ریز کمتر از ۰/۰۱ میلی‌متر برای ذخیره آب بسیار مفید هستند. دیواره‌های این منافذ با قدرت بالایی مولکول‌های آب را نگه داشته و از خروج آن‌ها جلوگیری می‌کنند. فاصله بین مولکول آب با دیواره منفذ، نشان‌دهنده قدرت نگهداری آب توسط دیواره است. هرچه این فاصله بیشتر باشد آب با قدرت کمتری توسط دیواره نگه داشته شده و آسان‌تر از خاک خارج می‌شود (کوچکی و سلطانی، ۱۳۷۷).

شکل‌های آب در خاک

آب در خاک به شکلهای مختلفی دیده میشود که انواع آن در زیر آمده است:

آب آزاد یا آب ثقلی: آبی اســت که منافذ درشــت و متوســط خاک را پر میکند و تحت تأثیر نیروی وزن در خاک حرکت میکند. این نوع آب برای رشد گیاه مفید نیست زیرا به سرعت از دسترس گیاه خارج و ریشه گیاه نمیتواند آن را جذب کند. از طرفی عناصـر غذایی پس از محلول شـدن در آب همراه آن از خاک خارج میشـود. در شـرایط زهکشی نامناسب نیز باعث کاهش اکسیژن خاک میشود که برای ریشه گیاهان و موجودات زندهٔ هوازی خاک مضر است.

آب موئینه یا آب کاپیلاری: مقدار آبی اســت که در روزنه ها و منافذ ریز خاک نگهداری میشــود. این نوع آب مورد استفاده گیاه میبا شد. خاک های سنگین که روزن ههای ریز زیادی دارند مقدار آب موئینه بیشتری در خود جای میدهند. روزنه های ریز خاک مانند لوله های مویین عمل میکنند. هر چه قطر این لوله ها کمتر با شد ارتفاع صعود آب بیشتر است.

آب هیگروسـکوپی یا آب پوسـته ای: مقدار آبی اسـت که ب هصـورت غشـایی نازک در اطراف ذرات خاک با نیروی بسـیار زیاد قرار دارد و فاقد تحرک اسـت و فقط ب هصـورت گاز حرکت میکند. این نوع آب نیز برای گیاه غیرقابل استفاده است.

آب ساختاری یا آب ترکیبی: آبی است که در ساختمان کانی های سنگ ها قرار دارد؛ به طور مثال در کانی گچ یا ژیپس با فرمول شیمیایی $CaSO_4\ 2H_2O$ مقداری آب وجود دارد که غیرقابل استفاده گیاهان است؛ زیرا این نوع آب با نیروی زیادی به کانی پیوسته است و در دمای حدود ۵۰۰ درجه سانتیگراد از کانی یا سنگ میتواند خارج شود.

رطوبت خاک Soil Water or Soil Moisture

طبق تعریف مقدار آبی که در شرایط معین در منافذ خاک نگهداری شده است را رطوبت خاک گویند. که به دو شکل جرمی و حجمی قابل بیان است.

رطوبت جرمی (وزنی θ_m) و حجمی خاک: برحسب تعریف مقدار جرمی رطوبت()خاک عبارت است از نسبت جرم اب موجود در خاک (M_w)به جرم جزءجامد خاک(M_s) و رطوبت حجمی (θ_V) نسبت حجم اب(Vw)به حجم کل خاک (Vt)میباشد.به عبارت دیگر:

$$P_W = \theta_m = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$

$$P_V = \theta_V = \frac{V_W or M_w}{V_t} \times 100$$

به طوری که مشاهده میشود این فرمولها به جای اینکه مقادیر رطوبت را نشان دهد نسبت جرم یا حجم آب به جرم یا حجم خاک را نشان میدهد. به همین دلیل مقادیر فوق را به ترتیب نسبت های جرمی و حجمی رطوبت میگویند. اگر طرفین این معادله ها را بر هم تقسیم کنیم خواهیم داشت:

$$\frac{\theta_m}{\theta_v} = \frac{M_w \,.\, V_t}{M_s \,.\, V_w}$$

ازطرف دیگربادرنظر گرفتن چگالی ظاهری(جرم مخصوص ظاهری)خاک خشک(Pb)که مقدار آن برابر بودبا:

$$\rho_b = \frac{\text{جرم خاک}}{\text{حجم کل خاک}} = \frac{M_s}{V_t}$$

$$M_s = (\rho_b) V_t$$

حال اگرمقدار Ms را درمعادله $\frac{\theta_m}{\theta_v} = \frac{M_w \,.\, V_t}{M_s \,.\, V_w}$ قرار دهیم خواهیم داشت:

$$\frac{\theta_m}{\theta_v} = \frac{M_w \,.\, V_t}{(\rho_b) V_t . V_w} = \frac{M_w}{(\rho_b) V_w}$$

وچون جرم آب (Mw) با حجم آن (Vw) از نظر عددی برابراست، لذا Mw=Vw بوده و در نتیجه خواهیم داشت:

$$\frac{\theta_m}{\theta_v} = \frac{1}{\rho_b}$$

$$\theta_v = \rho_b \,.\, \theta_m$$

بنابراین نسبت رطوبت حجمی خاک برابراست باحاصلضرب نسبت جرمی رطوبت درجرم مخصوص ظاهری خاک خشک

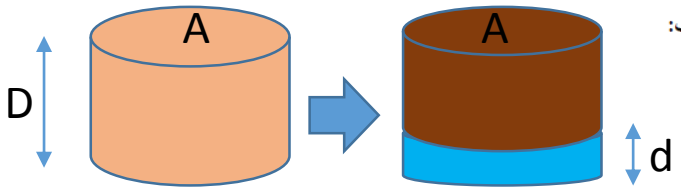
با در نظر گرفتن فرمولهای محاسبه رطوبت متوجه می شویم که وقتی صحبت از درصد رطوبت خاک می کنیم و مثلا گفته می شود که خاکی ۳۴ درصد رطوبت دارد به این معنی نیست که ازهر ۱۰۰ گرم خاک ۳۴ گرم آن آب است، بلکه معنی آن این است که در کنار هر۱۰۰ گرم خاک خشک ۳۴ گرم آب با آن مخلوط شده و از این مجموعه ۱۳۴ گرمی، ۳۴ گرم آن آب می باشد.

اگر مکعبی از یک خاک به سطح مقطع A و ارتفاع D متر را در نظر بگیریم و فرض کنیم که نسبت حجمی رطوبت درآن θ_V باشد، دراین صورت خواهیم داشت:

$$\theta_v = \frac{\text{حجم آب}}{\text{حجم کل خاک}} = \frac{\text{ارتفاع آب} \times \text{سطح مقطع آب}}{\text{ارتفاع خاک} \times \text{سطح مقطع خاک}}$$

با این فرض که اگربتوان آب موجود درخاک راروی هم انباشته کرد تا ارتفاع آن معادلdشود،در این صورت می توان نوشت:

$$\theta_v = \frac{(A)(d)}{(A)(D)} = d/D$$



بدیهی است چنانچهِ D برابر یک متر θ_V =dخواهد شد. لذا نسبت حجمی رطوبت همان ارتفاع آب موجوددرخاک در هر متر عمق خاک می باشد. دربسیاری ازمسائل آبیاری وبخصوص کارهای عملی،رطوبت معمولا برحسب درصد حجمی ویا ارتفاع آب موجود درهرمترعمق خاک توصیف میشود.

مثال: نسبت جرمی رطوبت دریک خاک ۰/۲۵ و جرم مخصوص ظاهری خاک ۱/۴ گرم برسانتی متروکعب است. ارتفاع رطوبت درهر متر خاک چقدراست؟

$$\theta_v = (\theta_m)(\rho_b)$$

$$\theta_v = (0.25)(1.4) = 0.35$$

$$d = 0.35 \text{ m/m} = 350 \text{ mm/m}$$

لذا رطوبت خاک ۰/۳۵ متر (۳۵سانتی متریا۳۵۰میلی متر) در هر متر از عمق می باشد.

حال اگر بخواهیم با داشتن جرم مخصوص ظاهری (ρ_b) و درصد جرمی رطوبت خاک θ_m، ارتفاع اب موجود در لایه ای به ضخامت D متر از خاک را بدست اوریم، می‌توان از فرمول کلی زیر استفاده کرد

$$d = (\rho_b)(\theta_m)(D) = (\theta_v)(D)$$

اندازه گیری رطوبت خاک:

رطوبت خاک به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم اندازه گیری می شود. برخی از روشها در مزرعه انجام می شود. اما در بعضی دیگر، باید ازخاک نمونه برداری کرده و مقدار رطوبت را در آزمایشگاه اندازه گیری نمود. در روشهای مستقیم مقادیر جرمی یا حجمی رطوبت به طور مشخص اندازه گیری می شوند. اما در روشهای غیرمستقیم باید ابتدا باید یک عامل دیگر که درصد رطوبت برآن موثر است اندازه گیری شده و سپس از روی آن مقداری رطوبت خاک تخمین زده شود.

الف-اندازه گیری رطوبت به روش وزنی (روش مستقیم):

در روش وزنی(thermo-gravimetric method) از عمق مورد نظر خاک، نمونه ای با مته برداشت نموده و پس از توزین، آن را به مدت ۲۴ساعت در گرمخانه ای که دمای آن ۱۰۵درجه سانتی گراد باشد قرار می-دهیم تا خشک شود. دلیل این که حرارت نباید از ۱۰۵درجه تجاوز کند این است که در دماهای بالاتر، مواد آلی خاک ممکن است سوخته و از بین برود. پس از خشک شدن و توزین مجدد، میتوان مقدار رطوبت را از روی فرمولهای زیر بدست اورد بطوری که اگرW_1جرم نمونه مرطوب و W_2 جرم همان نمونه پس از خشک شدن باشد، نسبت جرمی و درصد جرمی رطوبت عبارت خواهد بود از:

$$\text{نسبت جرمی رطوبت} = \theta_m = \frac{W_1 - W_2}{W_2}$$

$$\text{درصد جرمی رطوبت} = \%\theta_m = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

مثال: جرم یک نمونه خاک مرطوب ۲۰۰گرم و جرم خشک شده ان پس از قرار گرفتن در گرم خانه ۱۸۰گرم بوده است حساب کنید نسبت جرمی رطوبت و درصد جرمی ان را.

W1=200gr

W2=180gr

$$\theta_m = \frac{200 - 180}{180} = 0.11 \quad \text{(نسبت جرمی)}$$

$$\%\theta_m = 0.11 \times 100 = 11 \quad \text{(درصد جرمی)}$$

چنانچه نمونه خاک را با مته مغزه گیر(core sampler) برداشت کرده باشیم، قسمتی از خاک که داخل مته قرار میگیرد نمونه ای است دست نخورده (undisturbed) با حجم مشخص. حال اگر حجم نمونه (V) را که برابر حجم استوانه مته میباشد اندازه گیری کنیم در این صورت نسبت حجمی یا درصد حجمی رطوبت نیز قابل محاسبه است.

$$\text{نسبت حجمی رطوبت} = \theta_v = \frac{W_1 - W_2}{V}$$

$$\text{درصد حجمی رطوبت} = \%\theta_v = \frac{W_1 - W_2}{V} \times 100$$

نمونه ای از خاک مرطوب با مته مغز گیر که شعاع(r) استوانه آن ۳سانتی متر و ارتفاع (h) آن ۱۰سانتی متر می‌باشد تهیه شده است. جرم مرطوب(W_1)وخشک شده نمونه(W_2)به ترتیب ۵۳۷/۶ و ۴۹۶/۸ گرم بوده است.حساب کنید نسبت حجمی و درصد حجمی رطوبت را.

$$\text{حجم نمونه} = v = \pi r^2 h$$

$$= 3.14(3)^2(10)$$

$$= 282.6\ cm^3$$

$$W_1 = 537.6\ \ gr$$

$$W_2 = 496.8\ \ gr$$

$$\text{نسبت حجمی رطوبت} = \theta_v = \frac{W_1 - W_2}{V} = \frac{537.6 - 496.8}{282.6} = 0.144$$

$$\text{درصد حجمی رطوبت} = \%\theta_v = 0.144 \times 100 = 14.4$$

چون اندازه گیری حجم نمونه های خاک مشکل و غالبا با اشتباه صورت میگیرد در عمل ترجیح داده میشود که رطوبت جرمی خاک اندازه گیری وسپس با استفاده از چگالی ظاهری و فرمولهایی که قبلا گفته شده رطوبت جرمی به رطوبت حجمی تبدیل گردد.

مگر انکه از دستگاههایی مانند نوترون متر استفاده شود که مستقیما رطوبت حجمی را اندازه گیری میکنند.

اندازه گیری رطوبت با دستگاه نوترون متر

مزیت این روش نسبت به روش جرمی ان است که اولا اندازه گیری به سرعت انجام شده و نیازی به صرف وقت ۲۴ساعته برای خشک کردن نمونها نیست. ثانیا اندازه گیری مستقیما در صحرا و در شرایط طبیعی صورت میگیرد. علاوه بر ان میتوان یک ازمایش را چندین بار تکرا نمود تا از نتایج حاصله اطمینان حاصل شود در عین حال این روش معایبی نیز دارد که از ان جمله گران بودن دستگاه نوترون متر، خطرات ناشی از تابش نوترون و عدم امکان اندازه گیری رطوبت در لایه سطحی خاک است.

دستگاه رطوبت سنجی نوترون متر(neutron probe) از ۲قسمت اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: (الف)میله (probe) که قطر ان حدود ۵ سانتی متر و ارتفاع ان ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر است و به طور عمودی داخل لوله‌ای که قبلا در خاک کار گذاشته شده است قرار میگیرد. چشمه نوترون های سریع و گیرنده نوتورنهای کند در داخل این میله قرار دارند و (ب)دستگاه شمارش گر(scaler) برای ثبت شار نوترونهای کند شده.

نوترونهای سریع که از چشمه خارج میشوند وارد خاک شده و همانند توپهای بیلیارد به صورت الاستیک با هسته اتمهای مختلف موجود در خاک برخورد میکنند.در اثر برخوردهای متعدد نوترونها از مسیر اولیه خود منحرف شده و در فضای اطراف پراکنده میشوند که البته به تدریج مقداری از انرژی جنبشی خود را نیز از دست میدهند.

کاهش سرعت نوترونها ادامه پیدا میکند تا سرنجام مقدار آن به حدی که از خصوصیات هر ذره است برسد مثلا برای نوترون؛سرعت حد کند شده در حدود۲/۷کیلومتر در ثانیه بوده و مقدار انرژی ان در این سرعت ۰/۰۳الکترون ولت(eV) میباشد. نوترونهایی را که به این سرعت رسیده باشند به اصطلاح نوترون کند شده(thermalized)میگویند. نوترونهای کند شده با اجزای خاک برخورد کرده و به تدریج جذب هسته های موجود در انها میشوند. هسته های هیدروژن موجود در خاک بیشترین تاثیر را در کند کردن سرعت نوترونها دارند. اگر خاک محتوی مقدار زیادی هیدروژن باشد، نوترونهای سریع در همان محدوده‌ای که ازچشمه خارج می شوند به سرعت حد وکند شده خود رسیده و به صورت نامنظم دراطراف میله دستگاه پراکنده میشوند. در این وضعیت نوترونهای کند شده سریعاً یک ابر نوترونی (cloud of neutrons) را با تراکم ثابت درفضای اطراف میله بوجودمی آورند. تراکم نوترونهای کند شده در اطراف میله تا اندازه‌گیری بستگی به غلظت هیدروژن موجود درخاک و در نتیجه بستگی به حجم آب موجود درخاک دارد. زیرا در خاکهایی که مواد آلی کمی دارند، مهمترین منبع وجود هیدروژن آب می باشد.

نوترونهای کند شده چون بصورت یکنواخت در اطراف میله پراکنده اند؛ بخشی از آنها نیز وارد میله شده و در آنجا توسط یک سلول گیرنده (detector cell)ثبت میشوند .

سلول گیرنده محفظه ایست که از گاز تری فلورید بر($^{10}BF3$)پر شده است. هنگامی که نوترون کند شده به هسته ^{10}B برخورد میکند جذب ان شده و ذره الفا گسیل میشود. ذرات الفا به نوبه خود ایجاد پالس یا تپ های الکتریکی را مینمایند که میتوان تعداد این تپ ها را توسط گیرندهای مخصوص ثبت نمود. تعداد تپهای ثبت شده در یک دوره زمانی(مثلا یک دقیقه)با درصد حجمی رطوبت خاک رابطه مستقیم و خطی دارد.

در این روش حجم خاکی که مقدار رطوبت ان انازه گیری میشود بسنگی به انرژی نوترونها و غلظت هسته ای هیدروژن دارد. مثلا اگر رطوبت خاک کم باشد؛ تراکم نوترونهای کند شده در اطراف میله کم خواهد بود و لذا فضای بیشتری را در اطراف میله در بر میگیرند. برعکس در خاک مرطوب تراکم این نوترونها زیاد و فضای مربوطه که به ان منطقه موثر (sphere of influence) گفته میشود کوچک خواهد بود. بنابراین دقت این دستگاه برای اندازه گیری رطوبت در خاکهای مرطوب بیشتر از خاکهای خشک است. در هر صورت شعاع این کره از ۱۰سانتی متر در خاکهای مرطوب تا ۲۵سانتی متر در خاکهای خشک متغیر است.گرچه امکان اندازه گیری رطوبت خاک در لایه سطحی نیز بستگی به درجه رطوبت دارد؛ ولی توصیه می شود از این روش فقط برای وضعیت هایی استفاده میشود که بخواهیم رطوبت را در عمق۲۰سانتی متر یا بیشتر اندازه گیری کنیم. تعیین رطوبت با دستگاه نوترون متر در نقاط نزدیک به سطح ایستابی نیز با خطا مواجه است؛ بنابراین توصیه میشود اندازه گیری رطوبت نقاطی که فاصله انها با سطح اب زیرزمینی کمتر از ۲۵سانتی متر است با این دستگاه صورت نگیرد. در اندازه گیری رطوبت توسط دستگاه نوترون متر لازم است ابتدا دستگاه واسنجی شود. البته دستگاهها در کارخانه سازنده واسنجی می شوند.

دستگاه تابش گاما

یکی دیگر از روش های تابشی برای تعیین رطوبت خاک استفاده از دستگاههائی است که تابش گاما را به داخل خاک گسیل می کند. اگر نمونه ای از خاک را انتخاب و از یک طرف تابش گاما وارد آن کنیم، خاک باعث می‌شود که از شدت تابش کاسته شود. اگر در طرف دیگر نمونه شدت تابش را اندازه گیری کنیم، ملاحظه خواهد شد که از مقدار آن کاسته شده است. کاهش شدت تابش بستگی به دانسیته و رطوبت خاک و فاصله ای دارد که تابش در خاک طی می کند (ضخامت نمونه خاک که تابش از آن عبور کرده است) و اگر دانسیته خاک ثابت باقی بماند می توان گفت که تغییرات شدت تابش بستگی به رطوبت خاک دارد. از مزایای روش رطوبت سنجی با تابش گاما این است که بر خلاف روش نوترونی که در آن متوسط رطوبت خاک در حجم کره ای به شعاع تقریبی ۲۰سانتی متر اندازه گیری می شد، با این روش می توان رطوبت را در هر مقطعی از خاک تعیین کرد. البته این روش بیشتر در کارهای تحقیقاتی استفاده شده وکاربرد آن در کارهای صحرایی کم است.

اندازه گیری رطوبت باروش انعکاس سنجی حوزه زمان

یکی از روش های نسبتا جدید در اندازه گیری رطوبت ،روش انعکاس سنجی (شکست سنجی)حوزه زمان (Time –Domain Reflectometry)است که اصطلاحا روشTDRنام گرفته است.

اساس کار TDR همان اصول رادار می باشد. به این صورت که یک پالس انرژی الکترومغناطیسی توسط دستگاه TDRوارد کابل می شود،این پالس هنگامی که به انتهای کابل یا قسمت صدمه دیده آن رسید به دلیل تغییر در مقاومت مسیر،تمام یا قسمتی از آن دوباره به داخل دستگاه منعکس می گردد. با اندازه گیری زمان رفت و برگشت پالس می توان محاسبه کرد که قسمت قطع شده یا صدمه دیده در کجا قرار دارد. متخصصان خاکشناسی از این ایده استفاده کرده و وسیله ای را برای اندازه گیری رطوبت خاک طراحی کردند که امروزه به نام TDR معروف است

در این روش میله فلزی موازی که معمولا از جنس مس یا فولاد انتخاب می شوند به یک دستگاه گیرنده علائم متصل می باشند.این دو میله سپس به داخل خاک فرو برده می شوند.میله ها که قطرشان حدود ۵میلی متر است بعنوان هادی عمل کرده و خاکی که بین میله واطراف آنها واقع شده است نقش محیط دی الکتریک را ایفا می نماید. حال اگر دستگاهTDR پالس های ولتاژ الکتریکی (voltage pulses)ویا علائمی(signals)را ایجاد و آن را در طول میله های موازی منتشر نمایید، سرعت این علائم که با فرکانس زیاد خارج شده اند توسط موادی مانند خاک مرطوب که ثابت دی الکتریک آنها زیاد است کاهش پیدا می کند. سیگنال هائی که سرعت آنها کم شده است به انتهای میله منعکس شده و وارد دستگاه می شود. این دستگاه زمان بین فرستادن و دریافت علائم منعکس شده را اندازه گیری می کند.

به ازاء طول ثابت میله، فاصله زمانی بین رفت و برگشت علایم، با سرعت انتشار علایم (v) در خاک نسبت عکس دارد.

از طرف دیگر سرعت انتشار علایم نیز بستگی (نسبت عکس) به مقدار ثابت دی الکتریک خاک که تابعی از رطوبت می باشد دارد.بدین ترتیب که هرچه رطوبت خاک افزایش یابد، ثابت دی الکتریک افزایش یافته و لذا سرعت انتشار علایم کاهش می یابد.با کاهش سرعت انتشار، فاصله زمانی بین رفت و برگشت علایم افزایش پیدا می کند.

مزیت دستگاهTDRدر این است که منحنی یا رابطه واسنجی آن برای تمام خاک ها یکسان بوده و می توان در تمام موارد از یک رابطه واحد(معادله۵-۳۶) استفاده کرد.درجه دقت دستگاه TDRتا۲درصد و تغییرات مقدار اندازه گیری شده در یک خاک در تکرارهای مختلف یک درصد است. بنابراین از این دستگاه بخوبی می توان در اندازه گیری رطوبت خاک برای اهداف آبیاری و مطالعات آب و خاک استفاده کرد. در دستگاه TDRفاصله میله هایی که در خاک فرو برده می شود حدود۵سانتی متر می باشد

اندازه گیری رطوبت با قالب(بلوک) گچی:

یکی دیگر از روش های ساده برای انداه گیری رطوبت خاک استفاده از بلوک های گچی(gypsum block) است که به نام بلوک های مقاومت (resistance block) نیز معروف اند.

بلوک های آماده شده داخل خاک گلدان قرار داده و پس از آبیاری مقاومت را در زمان های مختلف اندازه گیری کرده و همزمان با برداشت نمونه رطوبت خاک را بدست آورید.با رسم منحنی تغییرات مقاومت بلوک و درصد رطوبت خاک،بلوک ها واسنجی می شوند.حال اگر این بلوک ها را در خاک نصب کنیم کافی است فقط مقاومت را اندازه گیری کرده و از روی این منحنی ها می توان درصد رطوبت خاک را بدست آورد.

مهمترین مزیت بلوک های گچی علاوه بر سرعت اندازه گیری،درجه دقت آن ها در رطوبت های کم است.علاوه بر این، بلوک ها ارزان بوده ومی توان تعداد زیادی از آنها را با هزینه کم در داخل خاک نصب کرد.

بزرگ ترین مشکل در استفاده از بلوک های گچی حساسیت آن ها به شوری محلول خاک است .وجود نمک در آب باعث می شود که هدایت الکتریکی بلوک افزایش یافته و این امر باعث اشتباه در تخمین رطوبت گردد.زیرا اساس اندازه گیری رطوبت با بلوک گچی این است که وقتی یک بلوک خشک در خاک قرار می گیرد، به دلیل خشک بودن بلوک، هدایت الکتریکی بین دو سر الکترود صفر یا بسیار اندک است.اما چون

بلوک از گچ با دانه های ریز درست شده است، بلافاصله به لحاظ پتانسیلی با خاک تبادل رطوبت کرده و از این نظر با آن متعادل می شود.جذب آب توسط بلوک باعث افزایش هدایت الکتریکی میشود.حال اگر خاک شور باشد، آبی که جذب بلوک می شود حاوی نمک بوده لذا هدایت الکتریکی بیشتر افزایش می یابد.به طوری که در دو خاک مشابه با رطوبت یکسان، اگر یکی شور بوده و دیگری شور نباشد، عدد قرایت شده با بلوک، یکسان نخواهد بود با توجه به نیاز تعادل پتانسیلی بین بلوک و خاک لازم است که پس از نصب بلوک به مدت چندین ساعت صبر کرد تا این تعادل برقرار شود. برای این منظور بلوک ها قبل از آبیاری در خاکقرار داده می شوند و معمولا در تمام فصل رشد در خاک باقی مانده و فقط سیم های متصل شده به الکترود ها خارج از خاک می باشد ت در موقع اندازه گیری به دو سر مقاومت سنج متصل شوند.گرپه در خاک های معمولی بلوک می تواند تا ۵ سال مورد استفاده واقع شود،ولی در خاک های شور یا آلی و خاک های مرطوب، بیش از یک سال عمر نخواهد کرد.در استفاده از بلوک های گچی توصیه می شود فاصله آن ها از یکدیگر در خاک کمتر از ۳۰ سانتی متر نباشد. بلوک ها نسبت به درجه حرارت حساس بوده و در هنگام واسنجی آن ها باید این مساله درنظر گرفته شود.

بلوک گچی

TDR