

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

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

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.

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{حجم نمونه} &= v = \pi r^2 h \\ &= 3.14(3)^2(10) \\ &= 282.6 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$W_1 = 537.6 \text{ gr}$$

$$W_2 = 496.8 \text{ gr}$$

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

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

چون اندازه گیری حجم نمونه های خاک مشکل و غالباً با اشتباه صورت میگیرد در عمل ترجیح داده می شود که رطوبت جرمی خاک اندازه گیری و سپس با استفاده از چگالی ظاهری و فرمول هایی که قبلاً گفته شده رطوبت جرمی به رطوبت حجمی تبدیل گردد.

مگر آنکه از دستگاه هایی مانند نوترون متر استفاده شود که مستقیماً رطوبت حجمی را اندازه گیری می کنند.

اندازه گیری رطوبت با دستگاه نوترون متر

مزیت این روش نسبت به روش جرمی آن است که اولاً اندازه گیری به سرعت انجام شده و نیازی به صرف وقت ۲۴ ساعته برای خشک کردن نمونه ها نیست. ثانیاً اندازه گیری مستقیماً در صحرا و در شرایط طبیعی صورت میگیرد. علاوه بر آن می توان یک آزمایش را چندین بار تکرار نمود تا از نتایج حاصله اطمینان حاصل

شود در عین حال این روش معایبی نیز دارد که از آن 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 ۲ قسمت اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: (الف) میله (probe) که قطر آن حدود ۵ سانتی متر و ارتفاع آن ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر است و به طور عمودی داخل لوله‌ای که قبلاً در خاک کار گذاشته شده است قرار می‌گیرد. چشمه نوترون‌های سریع و گیرنده نوترون‌های 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.

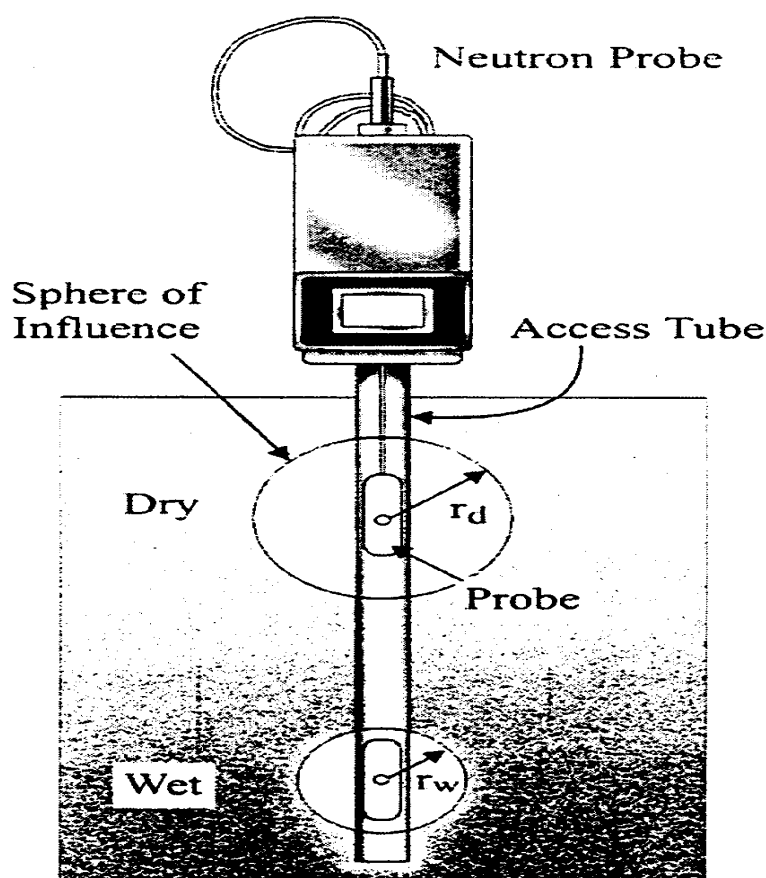
کاهش سرعت نوترون‌ها ادامه پیدا می‌کند تا سرانجام مقدار آن به حدی که از خصوصیات هر ذره است برسد مثلاً برای نوترون؛ سرعت حد کند شده در حدود ۲/۷ کیلومتر در ثانیه بوده و مقدار انرژی آن در این سرعت ۰/۰۳ الکترون ولت (eV) می‌باشد. نوترون‌هایی را که به این سرعت رسیده باشند به اصطلاح نوترون کند شده (thermalized) می‌گویند. نوترون‌های کند شده با اجزای خاک برخورد کرده و به تدریج جذب هسته‌های موجود در آن‌ها میشوند. هسته‌های 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 از چشمه خارج می‌شوند به سرعت حد و کند شده خود رسیده و به صورت نامنظم در اطراف میله دستگاه پراکنده میشوند. در این وضعیت نوترون‌های کند شده سریعاً یک ابر نوترونی (cloud of neutrons) را با تراکم ثابت در فضای اطراف میله بوجود می‌آورند. تراکم نوترون‌های کند شده در اطراف میله، بستگی به غلظت هیدروژن موجود در خاک و در نتیجه بستگی به حجم آب موجود در خاک دارد. زیرا در خاک‌هایی که مواد آلی کمی دارند، مهمترین منبع وجود هیدروژن آب می‌باشد.

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.

هرچه نوترون‌های کنده شده ثبت شده توسط سلول گیرنده بیشتر باشد نشان دهنده بالا بودن رطوبت خاک است.

در این روش حجم خاکی که مقدار رطوبت آن اندازه گیری می‌شود بستگی به انرژی نوترون‌ها و غلظت هسته‌های هیدروژن دارد. مثلاً 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. بر عکس در خاک مرطوب تراکم این نوترون‌ها زیاد و فضای مربوطه که به آن 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 ۱۰ سانتی متر در خاکهای مرطوب تا ۲۵ سانتی 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 شود که بخواهیم رطوبت را در عمق ۲۰ سانتی متری یا بیشتر اندازه گیری کنیم. تعیین رطوبت با دستگاه نوترون متر در نقاط نزدیک به سطح ایستابی نیز با خطا مواجه است؛ بنابراین توصیه می شود اندازه گیری رطوبت نقاطی که فاصله آن ها با سطح آب زیرزمینی کمتر از ۲۵ سانتی متر است با این دستگاه صورت نگیرد. در اندازه گیری رطوبت توسط دستگاه نوترون متر لازم است ابتدا دستگاه واسنجی شود. البته دستگاه ها در کارخانه سازنده واسنجی می شوند.



دستگاه نوترون متر

دستگاه تابش گاما

یکی دیگر از روشهای تابشی برای تعیین رطوبت خاک استفاده از دستگاههایی 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 می شود که از شدت تابش کاسته شود. اگر در طرف دیگر نمونه خاک، 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 برخلاف روش نوترونی که در آن متوسط رطوبت خاک در حجم کره ای به شعاع تقریبی ۲۰ سانتی 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 و کاربرد آن در کارهای صحرایی کم است.

اندازه گیری رطوبت باروش انعکاس سنجی حوزه زمان

یکی از روش های نسبتاً جدید در اندازه گیری رطوبت، روش انعکاس سنجی (شکست سنجی) حوزه زمان (Time-Domain Reflectometry) است که اصطلاحاً روش TDR نام گرفته است.

اساس کار TDR همان اصول رادار می باشد. به این صورت که یک پالس انرژی الکترومغناطیسی توسط دستگاه TDR وارد 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 دو میله فلزی موازی که معمولاً 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 ۵ میلی متر است بعنوان هادی عمل کرده و خاکی که بین میله و اطراف آن ها واقع شده است نقش محیط دی الکتریک را ایفا می نماید. حال اگر دستگاه TDR پالس های ولتاژ الکتریکی (voltage pulses) و یا علائمی (signals) را ایجاد و آن را در طول میله های موازی منتشر نماییم، سرعت این علائم که با فرکانس زیاد خارج شده اند توسط موادی مانند خاک مرطوب که ثابت دی الکتریک آن ها زیاد است کاهش پیدا می کند. سیگنال هایی که سرعت آن ها 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 علائم، با سرعت انتشار علائم (v) در خاک نسبت عکس دارد.

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

مزیت دستگاه TDR در این است که منحنی یا رابطه واسنجی آن برای تمام خاک ها یکسان بوده و می توان در تمام موارد از یک رابطه واحد استفاده کرد. درجه دقت دستگاه TDR تا ۲ درصد 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 TDR فاصله میله هایی که در خاک فرو برده می شود حدود ۵ سانتی متر می باشد



دستگاه TDR

اندازه گیری رطوبت با قالب (بلوک) گچی:

یکی دیگر از روش های ساده برای اندازه 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 و می توان تعداد زیادی از آن ها 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 الکتروود 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 می شود. 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 قرائت 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 خاک قرار داده می شوند و معمولاً در تمام فصل رشد در خاک باقی مانده و فقط سیم های متصل شده به الکتروود ها خارج از خاک می باشد که در موقع اندازه گیری به دو سر مقاومت سنج متصل شوند. گرچه 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 در نظر گرفته شود.



بلوک گچی و دستگاه اهم متر