



دانشکده کشاورزی
گروه خاک‌شناسی

دستور کار آزمایشگاه رابطه آب و خاک و گیاه

توسط: دکتر محمد رضا مصدقی
دانشیار گروه خاک‌شناسی

پاییز ۱۳۸۹

دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی
دستور کار آزمایشگاه رابطه آب و خاک و گیاه مدرس: دکتر محمد رضا مصدقی

سرفصل آزمایشگاه:

آزمایش اول: اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش آون

آزمایش دوم: اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از روش فلاسک یا سریع

آزمایش سوم: اندازه‌گیری مقدار آب گیاه (برگ)

آزمایش چهارم: اندازه‌گیری آماس نسبی (درصد اشباع نسبی) و کمبود آماس (کمبود اشباع) در گیاه (برگ)

آزمایش پنجم: اندازه‌گیری پتانسیل آب در بافت‌های گیاهی به روش تعادل در مایع

آزمایش ششم: اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک خاک به کمک تانسیومتر

آزمایش هفتم: اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش بلوک گچی

آزمایش هشتم: بررسی اثر پتانسیل آب بر جوانه‌زنی بذر

آزمایش نهم: اندازه‌گیری ضرایب هیدرودینامیکی خاک

آزمایش اول: اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش آون

مقدمه:

اندازه‌گیری میزان رطوبت (Soil moisture/water content یا Soil wetness) در خاک‌های کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. رطوبت خاک به خصوص در کشاورزی فاریاب یا آبی (Irrigation farming/agriculture) در تعیین زمان مناسب آبیاری و میزان آبی که در هر آبیاری برای مرطوب نمودن عمق معینی از خاک مورد نیاز است، استفاده می‌شود.

روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری رطوبت خاک مورد استفاده قرار گرفته است که به دو گروه کلی روش‌های مستقیم (Direct methods) و روش‌های غیرمستقیم (Indirect methods) تقسیم می‌شوند. از روش‌های مستقیم می‌توان روش فلاسک یا سریع (Quick or flask method) و روش وزنی یا آون (Gravimetric or oven method) را نام برد. از جمله روش‌های غیرمستقیم روش نوترون متر (Neutron meter)، روش بلوک گچی (Gypsum block)، روش TDR، روش اشعه گاما و ... را می‌توان نام برد.

در روش آون، یک نمونه خاک مرطوب دست خورده (Disturbed sample) یا دست نخورده (Undisturbed sample) بسته به هدف از مزرعه برداشت شده و در آون الکتریکی خشک (آون-خشک یا Oven-dry) می‌شود و سپس بر اساس وزن مرطوب و وزن آون-خشک، رطوبت خاک محاسبه می‌شود. دمای معمول مورد استفاده در خشک نمودن نمونه‌های خاک ۱۰۵ تا ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد است که به عنوان استاندارد پذیرفته شده است ولی به هر حال انتخاب این دما تا حدودی اختیاری است زیرا که در این دما تمام آب موجود در خاک خارج نمی‌شود. باید توجه داشت که دماهای بیشتر از این دامنه سبب شکسته شدن مولکول‌های آلی و کربنات‌ها می‌شود که می‌تواند بر نتایج اثر بگذارد. در خاک‌های آلی یا پیتی (Organic or peaty soils) دماهای پایین‌تر (حدود ۶۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد) بایستی استفاده شود تا مواد آلی نسوزد. برای اطمینان از درست کار کردن آون و یا اطمینان به دمای اعمال شده بر نمونه‌های خاک بهتر است که یک دماسنج در داخل آون قرار داده شود تا دمای واقعی مشخص شود و یا در صورت وجود اختلاف بین دمای اسمی و دمای واقعی، تنظیمات لازم صورت گیرد. در برخی از آون‌ها یک دماسنج در داخل آنها تعبیه شده است.

مولکول‌های آب تحت انرژی‌های متفاوت جذب ذرات خاک می‌شود. در هر دمایی انرژی جذب هر مولکول بر حسب واحد انرژی (ژول) برابر $0.5KT$ است که K ثابت بولتزمن و T دمای مطلق است. به عبارت دیگر می‌توان گفت این انرژی بیان دیگری از مکش ماتریک خاک است. لذا خاک‌های مختلف، نیاز به زمان‌های متفاوتی برای خشک شدن در آون دارند. در کارهای تحقیقاتی و دقیق بایستی با گذشت زمان پس از قرار گرفتن نمونه‌ها در آون، آنها را وزن نموده و وقتی تغییرات وزن با زمان به حداقل رسید، خاک به حالت آون-خشک رسیده است. بر اساس تجربه زمان ۲۴ تا ۴۸ ساعت برای اکثر خاک‌ها مناسب است. به نظر می‌رسد

زمان ۲۴ ساعت برای خاک‌های شنی و زمان ۴۸ ساعت برای خاک‌های رسی مناسب است. برای خاک‌های با بافت متوسط، مقادیر بینابینی مناسب خواهد بود.

این روش که به طور وسیعی در آزمایشگاه‌های خاک‌شناسی مورد استفاده قرار گرفته است بسیار دقیق بوده و با وسایلی که معمولاً در همه آزمایشگاه‌های خاک‌شناسی و آبیاری موجود است، انجام می‌پذیرد. این روش به عنوان روش مرجع یا استاندارد برای مقایسه بسیاری از روش‌های دیگر اندازه‌گیری رطوبت خاک استفاده می‌شود.

تعاریف:

۱- درصد یا نسبت رطوبت وزنی یا جرمی (Gravimetric water content):

از نظر تعریف، نسبت رطوبت جرمی عبارت است از نسبت جرم آب موجود در خاک به جرم خاک خشک که در اینجا منظور جرم خاک آون-خشک است:

$$GWC = \theta_m = w = \frac{M_w}{M_s} = \frac{M_{wet} - M_{dry}}{M_{dry}}$$

که در این فرمول، θ_m یا GWC یا w نسبت رطوبت جرمی، M_w و M_s به ترتیب جرم آب موجود در خاک و جرم بخش جامد خاک می‌باشد که در صورتی که جرم هوای خاک ناچیز فرض شود برابر جرم خاک آون-خشک (M_{dry}) است. M_{wet} بیانگر جرم خاک مرطوب است.

گاهی اوقات درصد رطوبت وزنی را به دو پارامتر تفکیک می‌کنند: الف) درصد رطوبت وزنی بر مبنای وزن خشک که همان تعریف بالا را دارد و ب) درصد رطوبت وزنی بر مبنای وزن مرطوب که در مخرج فرمول مذکور از جرم خاک مرطوب (M_{wet}) استفاده می‌شود. البته استفاده از مبنای وزن مرطوب برای درصد وزنی رطوبت چندان مرسوم نیست چراکه مخرج کسر آن نیز با تغییر مقدار آب خاک، تغییر می‌کند.

۲- درصد یا نسبت رطوبت حجمی (Volumetric water content):

از نظر تعریف، نسبت رطوبت حجمی عبارت است از نسبت حجم آب موجود در خاک به حجم کل خاک:

$$VWC = \theta_v = \frac{V_w}{V_t} = \theta_m \times \frac{\rho_b}{\rho_w}$$

که در این فرمول، θ_v یا VWC نسبت رطوبت حجمی، V_w و V_t به ترتیب حجم آب موجود در خاک و حجم کل خاک می‌باشد.

ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک (Bulk/apparent density) می‌باشد که برابر نسبت جرم بخش جامد یا خاک آون-خشک (M_{dry}) به حجم کل خاک (V_t) است. ρ_w بیانگر چگالی یا جرم مخصوص آب است که معمولاً برابر ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب فرض می‌شود.

۳- نسبت حجم آب (Water volume ratio):

نسبت حجم آب بیانگر نسبت حجم آب موجود در خاک به حجم بخش جامد خاک است:

$$v = \frac{V_w}{V_s} = \theta_m \times \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

که در این فرمول، v نسبت حجم آب خاک، ρ_s جرم مخصوص حقیقی خاک (Real/particle density) می‌باشد که بیانگر نسبت جرم بخش جامد به حجم بخش جامد خاک است و بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند. در خاک‌های منبسط و منقبض شونده (Swelling/shrinking soils) به دلیل اینکه حجم خاک با تغییر رطوبت خاک تغییر می‌کند، استفاده از نسبت رطوبت حجمی ممکن است گنج‌کننده باشد. لذا استفاده از نسبت حجم آب در این خاک‌ها توصیه می‌شود چرا که مخرج کسر آن مستقل از تغییرات حجم یا رطوبت خاک است. در کارهای صحرایی گاهی اوقات اتفاق می‌افتد که نمونه خاک دست نخورده برداشت شده دارای حجم زیادی بوده و خشک نمودن تمامی این نمونه در آن ممکن نیست و یا سبب می‌شود که تعداد نمونه‌های قرار داده شده در آن کاهش یابد. در این شرایط بهتر است که جرم مرطوب خاک (M_{wet}) یادداشت شود و سپس یک نمونه کوچک (Subsample) از نمونه اصلی گرفته شود و رطوبت آن تعیین شود. حال با استفاده از نسبت رطوبت وزنی تعیین شده (θ_m) و جرم مرطوب کل خاک (M_{wet})، جرم خاک خشک (M_s) در نمونه اصلی قابل محاسبه است:

$$M_{wet} = M_s + M_w \rightarrow \frac{M_{wet}}{M_s} = \frac{M_s}{M_s} + \frac{M_w}{M_s} \rightarrow \frac{M_{wet}}{M_s} = 1 + \theta_m \rightarrow M_s = \frac{M_{wet}}{1 + \theta_m}$$

و حال با داشتن جرم خاک خشک در نمونه اصلی می‌توان جرم مخصوص ظاهری و درصد رطوبت حجمی خاک را محاسبه کرد.

روش کار:

- ۱- با استفاده از دستگاه نمونه‌گیری خاک دست نخورده (Core sampler) از عمق خاک مورد نظر یک نمونه استوانه‌ای بگیرید. سپس به دقت دو انتهای استوانه خاک (Soil core) را صاف کرده و جرم خاک مرطوب به همراه سیلندر فلزی را یادداشت کنید. در صورتی که جرم سیلندر مشخص باشد، تفاوت جرم آن و جرم ذکر شده بیانگر جرم خاک مرطوب (M_{wet}) است. حجم سیلندر (که با اندازه‌گیری ابعاد آن با کولیس قابل محاسبه است) بیانگر حجم کل خاک است.
- ۲- نمونه خاک مرطوب را در آون الکتریکی قرار داده و درجه حرارت آون را روی ۱۰۵ تا ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد میزان کنید. برای اطمینان یک دماسنج نیز در داخل آون قرار دهید.
- ۳- پس از ۲۴ تا ۴۸ ساعت، نمونه خاک را از آون بیرون آورده و بلافاصله وزن کنید. می‌توانید پس از خاموش کردن آون مدت کوتاهی صبر کرده تا نمونه‌ها خنک شده و سپس اقدام به توزین آنها بنمایید. پس از کسر

جرم سیلندر نمونه گیری، جرم حاصله جرم خاک آون-خشک (M_{dry}) یا جرم بخش جامد (M_s) خواهد بود.

- ۴- درصد رطوبت وزنی خاک بر مبنای وزن خشک و مرطوب را محاسبه کنید. درصد رطوبت حجمی، جرم مخصوص ظاهری و نسبت حجم آب خاک را نیز محاسبه کنید (جرم مخصوص حقیقی خاک را $2/65$ گرم بر سانتی متر مکعب فرض کنید).
- ۵- نتایج را بطور مختصر و کامل گزارش کنید.

آزمایش دوم: اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از روش فلاسک یا سریع

مقدمه:

اندازه‌گیری میزان رطوبت در نمونه‌های خاک از اهمیت بسزایی برخوردار است. رطوبت خاک به خصوص در کشاورزی فاریاب یا آبی (Irrigation farming/agriculture) در تعیین زمان مناسب آبیاری و میزان آبی که در هر آبیاری برای مرطوب نمودن عمق معینی از خاک مورد نیاز است، استفاده می‌شود. معمولی‌ترین روش تعیین رطوبت خاک روش نمونه‌گیری از خاک، خشک کردن آن در آون‌های الکتریکی و بالاخره محاسبه درصد رطوبت موجود در نمونه خاک از روی اختلاف وزن مرطوب و وزن خشک است. این روش که به طور وسیعی در آزمایشگاه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است دارای مشکلاتی به شرح ذیل می‌باشد:

- ۱- نیاز به آون الکتریکی یا الکتریسته دارد
- ۲- نیاز به زمان کافی جهت خشک نمودن نمونه در آون دارد که معمولاً ۲۴ تا ۴۸ ساعت می‌باشد. لذا روش آون یک روش در جا نیست و در همان روز یا زمان نمونه‌برداری نمی‌تواند میزان رطوبت خاک را تعیین کند. به عبارت دیگر اندازه‌گیری آن Real-time نیست چون یک تا دو روز طول می‌کشد تا اطلاع در رابطه با رطوبت خاک بدست آوریم.

داهیا و همکاران (Dahiya et al. 1979) روش فلاسک یا سریع (Flask or quick method) را پیشنهاد کردند که معایب گفته شده را ندارد و در عین حال ساده نیز می‌باشد. با استفاده از این روش می‌توان تعداد زیادی نمونه خاک را در مدت کوتاهی مورد آزمایش قرار داد. این روش توسط دکتر حاج‌رسولیه‌ها و همکاران در خاک‌های ایران در برابر روش آون مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج خوبی به دست داده است. در این روش نیاز به الکتریسته و صرف وقت نیست و تنها با استفاده از یک پیکنومتر و ترازوی دقیق می‌توان رطوبت خاک را تعیین کرد.

Dahiya, I.S., Hajrasuliha, S. and Lamba, P.S. 1979. A quick method of soil moisture determination. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 10 (5): 195-205.

حاج‌رسولیه‌ها، شاپور، شکوه، بهران و علی‌اکبر مختارزاده محمدی. ۱۳۶۱. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۱۲، شماره‌های ۱-۴، صفحات: ۳۱-۳۹.

روش فلاسک در واقع مانند روش اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی خاک است (روش پیکنومتر) با این تفاوت که در اینجا به جای خاک خشک از خاک مرطوب مورد نظر استفاده می‌شود که قصد تعیین رطوبت آن را داریم. در این روش از ظرفی با حجم مشخص و دقیق (پیکنومتر) استفاده می‌شود.

روش کار:

- ۱- ثلث حجم پیکنومتر به حجم ۱۰۰ میلی لیتر را با خاک مورد نظر (۲۰ تا ۳۰ گرم) پر کرده و جرم خاک مرطوب را با A نشان دهید.
- ۲- سپس روی خاک حدود ۴۰ میلی لیتر آب مقطر جوشیده ریخته و با تکان دادن و حرارت ملایم سعی کنید تمامی منافذ هوایی بین ذرات جامد خاک توسط آب جایگزین شود. پس از آن، پیکنومتر را به مدت یک دقیقه روی میز آزمایشگاه قرار داده تا ذرات خاک ته نشین شود و محتویات آن سرد شوند.
- ۳- سپس پیکنومتر را به آرامی با آب مقطر جوشیده به حجم رسانده و در صورتی که بخش خارجی فلاسک تر باشد، آن را خشک کرده و پیکنومتر را در این حالت توزین کرده و این وزن را با H بیان کنید.
- ۴- سپس پیکنومتر را خالی و خوب تمیز کرده و با همان آب مقطر جوشیده سرد شده پر کرده و پس از خشک کردن سطح خارجی آن وزن کنید. این اندازه گیری را با G نشان دهید.
- ۵- تمامی این اندازه گیری ها بایستی با دقت ۰/۰۱ گرم صورت گیرد.
- ۶- با همین سه اندازه گیری ساده طبق روابط زیر خواهید دید که چگونه رطوبت وزنی نمونه خاک محاسبه می شود. برای محاسبه رطوبت وزنی طبق فرمول زیر، جرم مرطوب مشخص است ($M_{wet}=A$). بنابراین اگر وزن خشک یا ذرات جامد خاک نیز تعیین شود، می توان رطوبت وزنی را محاسبه کرد:

$$\theta_m = \frac{M_{wet} - M_{dry}}{M_{dry}}$$

$$H - G = M_s - V_s \times \rho_w = M_s - \frac{M_s}{\rho_s} \times \rho_w = M_s \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right) \Rightarrow M_s = \frac{H - G}{\left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_s}\right)}$$

$$\theta_m = \frac{A - \frac{\rho_s(H - G)}{\rho_s - \rho_w}}{\frac{\rho_s(H - G)}{\rho_s - \rho_w}} \Rightarrow \% \theta_m = \left[\frac{A(\rho_s - \rho_w)}{\rho_s(H - G)} - 1 \right] \times 100$$

که در این روابط، ρ_s و ρ_w به ترتیب چگالی آب و چگالی حقیقی خاک می باشد. هرگاه چگالی ذرات خاک در دسترس نباشد و برای منظورهای عملی چند درصد اختلاف در میزان رطوبت مهم نباشد، می توان از رقم ۲/۶۷ گرم بر سانتی متر مکعب برای چگالی حقیقی خاک و رقم ۱ گرم بر سانتی متر مکعب برای چگالی آب استفاده کرد و از فرمول ساده تر زیر استفاده نمود:

$$\% \theta_m = \frac{62.55A}{H - G} - 100$$

چون معمولاً تمامی منافذ هوایی توسط آب جایگزین نمی شود، H کمتر از میزان واقعی تعیین خواهد شد و طبق فرمول بالا، رطوبت خاک بالاتر از میزان واقعی خواهد شد. لذا انتظار می رود که روش فلاسک رطوبت بالاتری نسبت به روش آون بدست دهد.

۷- برای نمونه خاک مذکور، رطوبت وزنی را به روش آون نیز اندازه گیری کرده و نتایج را با یکدیگر مقایسه کنید.

چون در روش فلاسک مقدار کمی خاک مصرف می شود، در کارهای صحرائی گاهی اوقات اتفاق می افتد که نمونه خاک دست نخورده برداشت شده دارای حجم زیادی بوده و استفاده از تمامی این نمونه در فلاسک ممکن نیست. در این شرایط بهتر است که جرم مرطوب کل خاک (M_{wet}) یادداشت شود و سپس یک نمونه کوچک (Subsample) از نمونه اصلی گرفته شود و رطوبت آن تعیین شود، حال با استفاده از نسبت رطوبت وزنی تعیین شده (θ_m) و جرم مرطوب کل خاک (M_{wet})، جرم خاک خشک (M_s) در نمونه اصلی قابل محاسبه است:

$$M_{wet} = M_s + M_w \rightarrow \frac{M_{wet}}{M_s} = \frac{M_s}{M_s} + \frac{M_w}{M_s} \rightarrow \frac{M_{wet}}{M_s} = 1 + \theta_m \rightarrow M_s = \frac{M_{wet}}{1 + \theta_m}$$

و حال با داشتن جرم خاک خشک در نمونه اصلی می توان جرم مخصوص ظاهری و درصد رطوبت حجمی خاک را محاسبه کرد.

آزمایش سوم: اندازه‌گیری مقدار آب گیاه (برگ)

مقدمه:

در آزمایش‌های قبل گفته شد که مقدار آب خاک شاخص خوبی برای تعیین نیاز آبیاری می‌باشد. چون اندازه‌گیری مقدار آب خاک آسان است، از این روش استفاده می‌کنیم. اما اگر بتوانیم پتانسیل آب خاک را تعیین کنیم، برای تعیین زمان یا نیاز آبیاری بهتر و دقیق‌تر خواهد بود. به هر حال تعیین وضعیت آب در خاک روشی غیر مستقیم در بررسی نیاز آبی گیاهان است. لذا برای تعیین وضعیت آب در گیاه یا تنش آب در گیاه (Plant water stress) بهتر است که از روش‌های مستقیم استفاده شود به این معنی که وضعیت آب در گیاه مستقیماً مورد بررسی قرار گیرد. روش‌های مستقیم قابل اعتمادتر و دقیق‌تر هستند.

آب در کلیه فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نقش اساسی دارد به طوری که بدون وجود آب به مقدار کافی در بافت‌های گیاهی، این فرآیندها با اشکال روبرو شده و در مراحل بحرانی قطع می‌گردند. بیش از ۸۰ تا ۹۰ درصد وزن تازه گیاهان علفی و حدود ۵۰ درصد وزن گیاهان خشبی (چوبی) از آب تشکیل شده است. آب به عنوان ماده اصلی تشکیل دهنده پروتوپلاسم سلول گیاهی، به عنوان حلال و انتقال دهنده بسیاری از مواد در گیاه می‌باشد. همچنین آب به عنوان ماده‌ای است که در ترکیبات شیمیایی بسیاری از فرآیندهای مهم بیوشیمیایی (نظیر فتوسنتز و یا هیدرولیز نشاسته به قند و غیره) وارد می‌شود. آب به عنوان عامل ایجاد آماس (Turgidity) در سلول‌های گیاهی نقش اساسی و حیاتی دارد. بنابراین تعیین وضعیت آب در گیاه می‌تواند به عنوان یک راهنما، در تعیین زمان آبیاری و نیاز آبی گیاه مهم باشد.

برای تعیین وضعیت آب در گیاه می‌توانیم از مقدار یا پتانسیل آب در گیاه استفاده کنیم. بدیهی است که تعیین پتانسیل آب در گیاه قابل اعتمادتر و بهتر است ولی چون اندازه‌گیری پتانسیل آب نیاز به دستگاه‌های پیچیده، دقیق و گاه گران قیمت دارد، برخی از دانشمندان ترجیح می‌دهند که از روش‌های ساده اندازه‌گیری مقدار آب گیاه برای تعیین وضعیت یا تنش آب در گیاه استفاده کنند.

برای نمونه‌گیری از گیاه جهت تعیین وضعیت آب گیاه چند نکته قابل ذکر است:

- ۱- از چه اندامی نمونه‌گیری صورت گیرد که بهتر بیانگر وضعیت آب در گیاه باشد؟
محققین بیشتر استفاده از برگ را توصیه می‌کنند چون اولاً برگ اندامی در دسترس (Accessible) است، به عنوان مثال مانند ریشه نیست که در دسترس نباشد. ثانیاً نمونه‌گیری از آن در مقایسه با بسیاری از اندام‌های دیگر آسان است. ثالثاً برگ از نظر فیزیولوژیکی مهم است چرا که بیشتر از اندام‌های دیگر در معرض عوامل محیطی (Exposed) است یعنی اینکه اگر تنش آبی به گیاه وارد شود، معمولاً برگ‌ها اولین اندام‌هایی هستند که علائم

تنش آبی را بروز می‌دهند. لذا برگ شاخص حساس و خوبی از تنش آبی است. البته در برخی شرایط، ممکن است اندام‌های دیگر مهم باشند.

۲- از چه محلی نمونه‌گیری صورت گیرد؟

این مورد بخصوص در درختان مهم است که از چه موقعیتی روی درخت جهت نمونه‌گیری برگ استفاده کنیم. برگ‌های جوان معمولاً درصد آب بیشتری دارند و لذا به سمت نوک گیاه مقدار آب برگ زیاد می‌شود. برگ‌های سایه‌دار رطوبت بیشتری نسبت به برگ‌هایی دارند که در آفتاب قرار دارند. لذا از بیرون به سمت تنه درخت، برگ‌ها معمولاً آبدارتر می‌شوند. توصیه می‌شود از برگ‌های شاداب و سالم با سن متوسط نمونه‌گیری انجام شود. معمولاً از پهنک برگ نمونه‌گیری صورت می‌گیرد.

برای تعیین مقدار آب اندام گیاهی معمولاً از روش آون یا وزنی استفاده می‌شود. نمونه برداشت شده از برگ توزین شده و این وزن به عنوان وزن تر یا وزن تازه یا وزن مزرعه (Fresh weight, FW) بین می‌شود. برای خشک کردن نمونه گیاهی از یک آون هواکش دار (Ventilator oven) استفاده می‌شود. چون ماده خشک گیاهی بیشتر ماده آلی است، از دمای کمتری برای خشک کردن آن در مقایسه با نمونه خاک استفاده می‌شود. معمولاً از دمای ۶۵ تا ۷۰ درجه سلیسیوس به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت استفاده می‌شود. برخی از محققین دمای بالاتر (۸۰ درجه) را پیشنهاد کرده‌اند. وزن خشک یا آون-خشک اندام گیاهی را Dry weight یا DW می‌نامند. ذکر یک نکته ضروری است که طی فرآیند خشک کردن، تمامی آب گیاه خارج نمی‌شود. برای درک بهتر موضوع مفید است که آب گیاه را به دو بخش تقسیم کنیم:

الف) آب آزاد یا غیرپیوندی (Free or non-bound water)

ب) آب پیوندی یا پیوسته (Bound water)

آب آزاد آبی است که به طور آزاد در سیتوپلاسم و منافذ درشت دیواره سلولی و فضای بین سلولی قرار گرفته و طی فرآیند خشک شدن از اندام گیاهی خارج می‌شود. ولی آب پیوندی بخشی از آب گیاه است که با نیروی خیلی زیادی (مکش ماتریک بسیار زیاد) در منافذ موینه بسیار ریز دیواره سلولی سلول‌های گیاهی نگهداری می‌شود و حتی دماهای ۱۰۰ درجه و بالاتر نیز قادر به خارج کردن این آب از گیاه نیست. لذا وقتی صحبت از خشک کردن اندام گیاهی و تعیین مقدار آب آن می‌شود، منظور آب آزاد است.

برای بیان مقدار آب گیاه از دو واژه استفاده می‌شود:

۱- درصد یا نسبت رطوبت بر اساس وزن تر (تازه):

$$\% \theta_m (\text{wet basis}) = \frac{FW - DW}{FW} \times 100$$

۲- درصد یا نسبت رطوبت بر اساس وزن خشک:

$$\% \theta_m (\text{dry basis}) = \frac{FW - DW}{DW} \times 100$$

و بدیهی است که درصد ماده خشک در نمونه تازه (% Biomass) برابر است با:

$$\%Biomass = \frac{DW}{FW} \times 100$$

$$\% \theta_m (\text{wet basis}) + \%Biomass = 100$$

چون گیاه یک موجود زنده و در حال رشد است، FW حتی در کوتاه مدت نیز در حال تغییر است. لذا از شاخص درصد رطوبت بر اساس وزن تر در بررسی وضعیت آب در گیاه کمتر استفاده می‌شود. از این شاخص بیشتر برای مقایسه مقدار آب اندام‌های مختلف گیاه و یا برای مقایسه مقدار آب بین گونه‌های مختلف گیاهی استفاده می‌شود. به عنوان مثال مقدار آب بر اساس وزن تر در گیاهان گوشتی بیش از ۹۰ درصد نیز ممکن است باشد در صورتی که مقدار آن برای گیاهان کویری معمولاً کمتر از ۲۰ درصد می‌باشد.

چون وزن خشک (DW) نمونه‌های گیاهی در کوتاه مدت تقریباً ثابت است، از درصد رطوبت بر اساس وزن خشک می‌توان برای بیان وضعیت آب گیاه در کوتاه مدت استفاده نمود. ولی در مورد برگ‌ها و اندام‌های جوان و مریستمی، وزن خشک در کوتاه مدت نیز به دلیل فتوسنتز در حال افزایش است. به هر حال چون تغییرات وزن خشک برگ طی چند ساعت تا یک روز چندان قابل توجه نیست، درصد رطوبت بر اساس وزن خشک برای بیان وضعیت آب در گیاه در کوتاه مدت و سنجش کمبود آب گیاه در طول روز و شب مفید است.

روش کار:

۱- مقداری (بین ۲۰ تا ۵۰ گرم) از پهنک برگ یک گیاه علفی و یک گیاه خشبی (درخت) را با رعایت نکات گفته شده در مورد نمونه‌گیری برداشت کرده، جداگانه وزن نموده و به عنوان وزن تر (FW) نمونه گیاهی یادداشت کنید.

۲- نمونه‌های تازه را در پاکت‌های کاغذی ریخته و در آون هواکش دار قرار داده و در دمای بین ۶۵ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار دهید تا کاملاً خشک شده و به وزن ثابت برسند.

۳- سپس نمونه‌های آون-خشک را بیرون آورده و بدقت وزن کنید و آن را وزن خشک (DW) بنامید.

۴- درصد رطوبت بر اساس وزن تر و خشک و درصد ماده خشک یا بیوماس نمونه‌های گیاهی مذکور را محاسبه کرده و با یکدیگر مقایسه کنید. نتایج را بطور مختصر و کامل گزارش کنید.

کاربرد میزان آب گیاه:

امروزه با استفاده از اندازه‌گیری میزان آب گیاه، نیاز گیاه به آبیاری تعیین می‌شود. در طرح‌های نیشکر هفت تپه و کارون واقع در خوزستان از این روش استفاده کرده و برنامه‌ریزی آبیاری مزارع نیشکر را بر اساس اطلاعات حاصل از تجزیه بافت‌های گیاهی (غلاف برگ) و میزان رطوبت موجود در آن تعیین می‌نمایند. این روش برای

تعیین نیاز آبی یا نیاز غذایی گیاه را روش تجزیه گیاه یا Crop logging می‌نامند. در روش تجزیه گیاه، از یک منحنی استاندارد یا مرجع استفاده می‌شود که تغییرات درصد آب یا غلظت عنصر غذایی مورد نظر در گیاه را برای مزارع پرمحصول که کمبود رطوبتی و یا نیاز تغذیه‌ای ندارند با زمان در طول فصل رشد نشان می‌دهد. این منحنی یک منحنی تجربی است که برای منطقه مورد نظر و گیاه مورد نظر تعیین می‌شود (شکل ۱). سپس وضعیت آب یا عنصر غذایی در گیاه در مزرعه مورد نظر و در زمان مورد بررسی تعیین می‌شود و با منحنی مرجع مقایسه می‌شود. در صورتی که وضعیت گیاه از نظر آب یا عنصر غذایی بالاتر یا روی منحنی قرار گرفت، این مزرعه مشکل کمبود رطوبتی یا تغذیه‌ای ندارد. ولی اگر مقدار آن پایین‌تر از منحنی مرجع باشد، کمبود آب یا عنصر غذایی وجود دارد و بایستی آبیاری یا کوددهی صورت گیرد. این روش توسط دکتر کلیمنت (Dr. Clement) که یکی از پیش‌قراولان تغذیه گیاه می‌باشند، پیشنهاد شد.

آزمایش چهارم: اندازه‌گیری آماس نسبی (درصد اشباع نسبی) و کمبود آماس (کمبود اشباع) در گیاه (برگ)

مقدمه:

همچنانکه در آزمایش قبل ذکر شد، در برخی مواقع به کار گرفتن درصد آب موجود در بافت‌های گیاهی بدون رعایت مقدمات لازم با اشکال روبرو می‌شود. لذا برخی از محققین ترجیح می‌دهند که از واژه‌های دیگری برای بیان وضعیت آب در گیاه استفاده کنند. این واژه‌ها عبارتند از: مقدار نسبی آب (Relative water content, RWC) یا آماس نسبی (Relative turgidity, RT) و کمبود آب یا کمبود نسبی آب (Relative water deficit, RWD) یا کمبود اشباع یا آماس (Saturation deficit, SD). تعیین آماس نسبی روش خوبی جهت بیان مقدار آب گیاه است بدون اینکه خطاهای حاصل از تغییرات وزن خشک یا تر بر آن اثر معنی‌داری بگذارد. می‌توان گفت معنی‌دارترین روش اندازه‌گیری مقدار آب در بافت‌های گیاهی، استفاده از مقدار نسبی آب یا آماس نسبی است.

از نظر تعریف، RWC یا RT عبارت است از نسبت تفاوت وزن تازه نمونه گیاهی (FW) و وزن خشک آن (DW) به تفاوت وزن آماس (Turgid weight, TW) و DW یعنی:

$$\%RWC = \%RT = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$

این رابطه اولین بار توسط Weatherley (1950) پیشنهاد شد. وزن آماس (TW) بیانگر وزن گیاه یا اندام گیاهی در حالتی است که کمبود آب در گیاه وجود نداشته باشد یا گیاه در آماس کامل (Full turgor) باشد. به عبارت دیگر در این حالت پتانسیل آب در اندام گیاهی برابر صفر است. برای تعیین وزن آماس بایستی برگ یا اندام گیاهی را در محیطی با پتانسیل آب صفر (آب مقطر در فشار اتمسفر) قرار داد. لذا چون اغلب پتانسیل گیاه در حالت تازه یا طبیعی کمتر از آب خالص است، آب از خارج نمونه گیاهی به داخل آن حرکت می‌کند. اگر فرصت کافی به این فرآیند داده شود، پتانسیل آب درون سلول با برون سلول (صفر) برابر خواهد شد. در این حالت وزن اندام گیاهی بیانگر وزن آماس خواهد بود.

چند نکته در مورد تعیین وزن آماس بایستی رعایت شود:

۱- دمای محیط (آب مقطر) تقریباً مساوی دمای محیط طبیعی اندام گیاهی (برگ) باشد. معمولاً دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد مناسب است. برخی از محققین معتقدند که بایستی دمای محیط کاهش یابد (قرار دادن در یخچال) تا فرآیندهای سوخت و ساز در برگ به حداقل برسد و وزن خشک اندام در طول آزمایش تغییر نکند. ولی چون با کاهش دما تراوایی غشاء پلاسمایی نسبت به آب کاهش می‌یابد، کاهش دما سبب افزایش زمان تعادل می‌شود.

۲- بایستی فرصت کافی جهت تعادل نمونه گیاهی با محیط (آب مقطر) داده شود تا اینکه مولکول‌های آب بتوانند به داخلی‌ترین سلول‌های گیاهی برسند. اگر زمان تعادل کافی نباشد، TW کمتر از مقدار واقعی بدست آمده و در نتیجه آماس نسبی بیشتر از مقدار واقعی تعیین می‌شود. بر اساس تجربه زمان ۲ تا ۶ ساعت زمان مناسبی است. احتمالاً برای برگ‌های نازک و علفی زمان کمتر و برای برگ‌های خشبی و ضخیم زمان بیشتری لازم است. (Weatherly 1950) پیشنهاد کرد که چون زمان تعادل بخصوص برای گیاهان خشبی طولانی است، از قطعات برگ آنها استفاده شود. قابل ذکر است که این عمل هر چند زمان تعادل را کاهش می‌دهد ولی سبب ایجاد خطا در وزن آماس می‌شود چرا که در محل‌های بریدگی فضاهای بین سلولی بیشتری در معرض محیط بیرون قرار گرفته و آب وارد این فضاها شده و در نتیجه وزن آماس بیش از میزان واقعی تعیین می‌شود. این خطا سبب می‌شود که آماس نسبی تعیین شده کمتر از مقدار واقعی باشد. لذا (Kramer and Hewlett 1963) معتقدند که برای تعیین آماس نسبی بهتر است از برگ کامل استفاده نمود. به عنوان مثال در سوزنی‌برگان (Conifers) برگ‌های سوزنی کامل (Needles) بایستی استفاده شود.

به طور کلی فرآیند جذب آب توسط گیاه یا سلول‌های گیاهی به دو مرحله تقسیم می‌شود:

۱- مرحله اول: جذب آب جهت رفع کمبود آب است که این مرحله سریع بوده و در ۴ الی ۵ ساعت کامل می‌شود.

۲- مرحله دوم: جذب آب برای رشد گیاه (افزایش وزن خشک) که معمولاً روزها به طول می‌انجامد. لذا به نظر می‌رسد زمانی که جهت تعادل برای تعیین وزن آماس استفاده می‌شود، این اطمینان را به ما می‌دهد که تنفس و فتوسنتز و به طور کلی سوخت و ساز در این زمان کوتاه ناچیز بوده و وزن خشک اندام تقریباً ثابت است. لذا نیازی به نمونه‌گیری مجدد برای تعیین کاهش وزن خشک در اثر تنفس یا افزایش وزن در اثر فتوسنتز وجود ندارد.

مفهوم کمبود اشباع یا کمبود آماس (RWD یا SD) توسط (Stocker 1929) پیشنهاد شده است. لذا مشاهده می‌شود که این مفهوم از نظر زمانی قبل از آماس نسبی تعریف شده است. از نظر تعریف، RWD یا SD عبارت است از نسبت تفاوت وزن آماس (TW) و وزن تازه (FW) به تفاوت TW و DW یعنی:

$$\%RWD = \%SD = \frac{TW - FW}{TW - DW} \times 100$$

با مشاهده دو فرمول آماس نسبی و کمبود آماس متوجه می‌شویم که این دو مکمل یکدیگر هستند یعنی:

$$\%RWD + \%RWC = 100 \quad \text{یا} \quad \%RWD = 100 - \%RWC$$

به عبارت دیگر هر چقدر آماس نسبی یک اندام گیاهی بالاتر باشد، کمبود آماس آن کمتر است. در حالت آماس کامل (پس از بارندگی یا موقع شبنم که هوا اشباع از بخار آب است) یعنی حالتی که گیاه کمبود آب ندارد، آماس نسبی ۱۰۰ درصد و کمبود آماس صفر است. بنابراین آماس نسبی کمتر از ۱۰۰ درصد بیانگر

کمبود آب در گیاه است. در حالت خشک، آماس نسبی صفر و کمبود آماس ۱۰۰ درصد است. چون گیاهان در حالت طبیعی معمولاً در آماس کامل نیستند، بسته به میزان کمبود آب در آنها آماس نسبی و کمبود نسبی مقادیری بین صفر تا ۱۰۰ درصد دارند که مکمل یکدیگرند. در واقع می‌توان گفت که RWC مفهومی شبیه مفهوم اشباع نسبی یا درجه اشباع خاک (Relative saturation/Degree of saturation, S_r) می‌باشد که مقدار رطوبت گیاه را در شرایط واقعی نسبت به شرایط آماس کامل می‌سنجد:

$$\frac{\frac{FW - DW}{DW}}{\frac{TW - DW}{DW}} \times 100 = \%RWC$$

روش کار:

- ۱- تعدادی برگ سالم دو گیاه علفی و خشبی را انتخاب کنید (سعی کنید از انتخاب برگ‌های خیلی پیر و خیلی جوان اجتناب نمایید).
- ۲- برگ‌ها را به آزمایشگاه انتقال داده و از هر کدام ۳ تا ۵ برگ سالم را انتخاب و بلافاصله وزن نمایید (این وزن را وزن در مزرعه یا تازه بنامید). بهتر است در حین انتقال نمونه‌های گیاهی به آزمایشگاه، آنها را در پاکت‌های نایلونی قرار دهیم تا وزن تازه گیاه تغییری نکند. بدیهی است از دست رفتن آب از نمونه در حین انتقال به آزمایشگاه سبب کاهش FW و در نتیجه کاهش آماس نسبی می‌شود.
- ۳- برگ‌ها را داخل آب مقطر قرار داده و سرپوشی روی آن بگذارید و بمدت لازم (۲ ساعت) به همین حالت رها کنید تا برگ‌ها به حالت آماس کامل در آیند. سپس برگ‌ها را از داخل آب بیرون آورده و پس از خشک کردن آب روی سطح آنها بلافاصله توزین نمایید. مجدداً برگ‌ها را برای مدتی در آب قرار داده و پس از خشک کردن سطح آنها، توزین کنید. اینقدر این کار را ادامه دهید تا به وزن ثابت برسید (این وزن را وزن آماس بنامید).
- ۴- برگ‌های فوق را در پاکت‌های کاغذی قرار داده و در آون هواکش دار به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد حرارت دهید تا خشک شود. سپس نمونه‌های فوق را وزن کرده و این وزن را وزن خشک بنامید.
- ۵- با استفاده از روابط ذکر شده، آماس نسبی و کمبود آماس هر کدام از نمونه‌های گیاهی را محاسبه و مقایسه کنید.

کاربرد آماس نسبی و کمبود آماس:

- ۱- از آماس نسبی یا مقدار نسبی آب گیاه در روابط مقدار آب-پتانسیل آب گیاه استفاده می‌شود چرا که بین آماس نسبی و پتانسیل آب در گیاه رابطه نزدیکی وجود دارد. یعنی هر چه پتانسیل آب گیاه کاهش یابد،

آماس نسبی نیز کاهش می‌یابد. ولی این رابطه خطی نیست. هر چقدر شیب تغییرات آماس نسبی در برابر پتانسیل آب بیشتر باشد، بیانگر حساسیت بیشتر گیاه به خشکی است. آماس نسبی ۱۰۰ درصد بیانگر آماس یا تورژسانس کامل (Full turgor) و پتانسیل آب صفر است. می‌توان گفت تقریباً به عنوان یک عدد سرانگشتی در آماس نسبی ۸۰ درصد در یک گیاه معمولی شروع پژمردگی یا پلاسمولیز (Incipient plasmolysis) صورت می‌گیرد یعنی در این حالت پتانسیل فشاری یا فشار آماس (Turgor pressure) در گیاه صفر می‌شود. البته این رابطه (پتانسیل آب-مقدار نسبی آب) یک رابطه یکتا (Unique) نیست و برای گونه‌های مختلف گیاهی، اندام‌های با سن متفاوت و حتی اندام‌های یک گونه در محیط‌های مختلف ممکن است متفاوت باشد. به عبارت دیگر در یک مقدار مشخص آماس نسبی می‌توان بسته به گونه یا اندام گیاهی یا سن اندام، مقادیر مختلف پتانسیل آب وجود داشته باشد. لذا مقایسه مقادیر آماس نسبی در گونه‌ها یا بافت‌های مختلف قابل اعتماد نیست. به همین دلیل است که با وجودی که آماس نسبی و کمبود آماس شاخص‌های بهتری نسبت به درصد آب گیاه هستند ولی بهترین شاخص وضعیت آب در گیاه، پتانسیل آب است.

۲- اگر حد بحرانی آماس نسبی برای گیاه مورد نظر تعیین شده باشد (مثلاً ۸۵ درصد)، می‌توان در برنامه‌ریزی زمان آبیاری از آن استفاده نمود.

آزمایش پنجم: اندازه‌گیری پتانسیل آب در بافت‌های گیاهی به روش تعادل در مایع

مقدمه:

بهترین و مفیدترین روش برای تعیین وضعیت آب و تنش آب (Water stress) در گیاه، تعیین پتانسیل آب می‌باشد چرا که پتانسیل آب بهترین شاخص وضعیت آب در یک سیستم است. پتانسیل آب بیان‌کننده وضعیت آب از نظر انرژی آزاد بوده و از نظر واحد و بررسی ارتباط بر خلاف مقدار آب یا مقدار نسبی آب در تمامی سیستم‌ها (آب، خاک، گیاه، هوا و...) یکسان می‌باشد.

پتانسیل آب (Water potential) در یک سیستم (سلول گیاهی) توسط فرمول زیر بیان می‌شود:

$$\psi_w^{\text{cell}} = \psi_s^{\text{cell}} + \psi_p^{\text{cell}} + \psi_m^{\text{cell}} + \psi_g^{\text{cell}}$$

منظور از پتانسیل آب در سلول، پتانسیل آب در بخشی از سلول است که توسط غشاء سیتوپلاسمی احاطه شده است (بخش سیمپلاست، Symplast). پتانسیل ماتریک در اثر کلویدهای داخل سلول یا فشار منفی کمتر از اتمسفر (خلأ) در آوندهای چوبی گیاهان سریع‌التعرق ایجاد می‌شود. در سلول‌های گیاهی بجز در بافت‌های بسیار خشک (که شرایط غیر اشباع دارند) یا سلول‌های دارای واکوئل‌های کوچک و یا در بخش آپوپلاست (Apoplast)، پتانسیل ماتریک در مقایسه با بقیه مؤلفه‌های پتانسیل آب ناچیز می‌باشد. پتانسیل ثقلی نیز بر پتانسیل شیمیایی (Chemical potential) آب اثر ندارد و یا به عبارت دیگر تعیین آن نیاز به وسیله خاصی ندارد. لذا مؤلفه‌های اسمزی و فشاری غالب پتانسیل آب سلول را تشکیل می‌دهند. برای آب داخل سلول (فضای سیمپلاست) می‌توان رابطه فوق را به صورت زیر ساده نمود:

$$\psi_w^{\text{cell}} = \psi_s^{\text{cell}} + \psi_p^{\text{cell}}$$

برای اندازه‌گیری پتانسیل آب در اندام‌های گیاهی روش‌های متعددی پیشنهاد شده است:

- ۱- روش تعادل در مایع (Liquid equilibration)
- ۲- روش تعادل در بخار (Vapor equilibration)
- ۳- روش سایکرومتر ترموکوپل (رطوبت‌سنج دماجفت) (Thermocouple psychrometer)
- ۴- روش تعادل در فشار یا محفظه یا بمب فشاری (Pressure equilibration or pressure chamber/bomb)
- ۵- روش غیرمستقیم: تخمین پتانسیل آب سلول با داشتن مقدار آماس نسبی و رابطه آن با پتانسیل آب سلول

روش تعادل در مایع:

روش تعادل در مایع، قدیمی‌ترین روش اندازه‌گیری پتانسیل آب گیاه می‌باشد. در این روش بافت گیاهی با محلول‌های بیرونی (Bathing solution) با پتانسیل‌های آب مختلف به تعادل می‌رسد. اگر پتانسیل آب بافت بیشتر از محلول بیرونی باشد، آب از بافت به سمت محلول بیرونی حرکت کرده و در صورتی که پتانسیل آب بافت کمتر از محلول بیرونی باشد، آب از محلول بیرونی به داخل بافت حرکت می‌کند. اگر تبادل آبی بین بافت و محلول بیرونی صورت نگیرد، پتانسیل آب گیاه مساوی پتانسیل آب محلول است. چون سلول گیاهی دارای غشاء سیتوپلاسمی است، لذا می‌توان گفت پتانسیل اسمزی نیز در اینجا مهم است. به بیان دیگر برای ساخت محلول بیرونی با پتانسیل‌های مشخص، می‌توان از یک ماده حل‌شونده استفاده کرد.

با توجه به مقدار پتانسیل آب محلول بیرونی در مقایسه با بافت گیاهی، سه واژه تعریف شده است:

۱- اگر پتانسیل آب محلول بیرونی مساوی پتانسیل آب سلول باشد، این محلول بیرونی را Isotonic solution گویند.

۲- اگر پتانسیل آب محلول بیرونی کمتر از پتانسیل آب سلول باشد، این محلول را Hypertonic solution گویند.

۳- اگر پتانسیل آب محلول بیشتر از پتانسیل آب سلول باشد، این محلول بیرونی را Hypotonic solution گویند.

برای ساخت محلول بیرونی می‌توان از حل‌شونده‌های (Solutes) مختلفی استفاده کرد. در بیشتر موارد از موادی همچون ساکارز (Sucrose)، مانیتول (Mannitol) (نوعی الکل متبلور شیرین) و پلی اتیلن گلیکول (Poly Ethylene Glycol, PEG) استفاده می‌شود.

سه ویژگی در انتخاب محلول بیرونی یا ماده حل‌شونده (Solute or Osmoticum) مهم است:

الف) نایستی برای سلول‌های زنده گیاه ضرر داشته یا سمی باشد چرا که تراوایی غشاء پلاسمایی بستگی نزدیکی به انرژی متابولیکی دارد. موادی مانند اسیدها هر چند سبب خاصیت اسمزی می‌شوند ولی به دلیل اثر مضر بر سلول‌های گیاهی نایستی مورد استفاده قرار گیرند. مواد بازدارنده تنفس که سبب کمبود اکسیژن و افزایش دی‌اکسید کربن می‌شوند و دیگر مواد سمی که بر متابولیسم اثر دارند، سبب تغییر تراوایی غشاء شده و به عنوان اسموتیکوم نایستی استفاده شوند.

ب) بایستی غشاء سلولی تقریباً نسبت به آن ماده ناتراوا باشد. در این رابطه تعریف واژه‌ای به نام ضریب انعکاس یا انتخاب (Reflection/selectivity coefficient) غشاء ضروری است. این واژه توسط Staverman (1951) پیشنهاد شده است و بیانگر نفوذپذیری یا تراوایی (Permeability) غشاء سلولی نسبت به مواد محلول می‌باشد.

مقدار آن عبارت است از نسبت اختلاف فشار مشاهده شده در دو طرف غشاء به مقدار تئوریک یا اسمی فشار اسمزی محلول. اگر این ضریب مساوی ۱ باشد، غشاء نسبت به مواد محلول کاملاً ناتراواست. اگر مقدار آن مساوی صفر باشد، کاملاً تراوا و مقادیر بین ۰-۱ بیانگر تراوایی انتخابی غشاء می‌باشد. بافت گیاهی یک اسمزسنج (Osmometer) کامل نیست. به بیان دیگر، غشاء نیمه‌تراوا در اسمزسنج کامل آب را از خود عبور داده ولی املاح را عبور نمی‌دهد. ولی غشاء پلاسمایی علاوه بر آب، مقداری املاح را نیز از خود عبور می‌دهد. لذا غشاء سلولی یا هر غشایی که به برخی مواد (آب) اجازه عبور سریع‌تر از مواد دیگر (مواد محلول) را می‌دهد، غشاءهای با تراوایی افتراقی یا انتخابی (Differentially permeable membranes) یا به نادرست نیمه-تراوا (Semi-permeable membranes) گفته می‌شود. لذا باید ماده‌ای انتخاب شود که به میزان عبور آن از غشاء پلاسمایی کم باشد (ضریب انعکاس آن نزدیک یک باشد).

ج) توسط گیاه یا ریزجانداران جذب و وارد فرآیندهای سوخت و ساز نشود.

تمامی مواد ذکر شده دارای نقایصی در این رابطه هستند. ساکارز برای گیاه سمی نیست ولی ضریب انعکاس آن کمتر (۰/۷-۰/۶) از مانیتول (۰/۸-۰/۹) است. عیب دیگر ساکارز آن است که توسط موجودات زنده هیدرولیز می‌شود. مانیتول با وجودی که کمتر از غشاء پلاسمایی عبور می‌کند ولی توسط ریزجانداران تجزیه می‌شود و توسط گیاه نیز جذب و در گیاه جابجا می‌شود. از معایب دیگر آن، حلالیت کم آن در آب است که امکان ساخت محلول غلیظ آن را سلب می‌کند. پلی اتیلن گلایکول چون یک پلیمر است، جرم مولکولی بالایی دارد (200-20,000 gr/mol) لذا جذب گیاه نشده یا کم جذب می‌شود. مورد حمله ریزجانداران قرار نمی‌گیرد و در مورد سمیت آن برای گیاه نظر قطعی وجود ندارد. در این آزمایش از ساکارز استفاده می‌شود.

تغییرات ایجاد شده در بافت گیاهی در محلول‌های با پتانسیل‌های مختلف را می‌توان با اندازه‌گیری تغییر وزن، حجم، طول، سطح و ضخامت نمونه یا تغییر غلظت محلول بیرونی به روش‌های انکسارسنجی (Refractometric method) مورد بررسی قرار داد. روش وزنی (Gravimetric method) بیشتر برای بافت‌های توده‌ای و گوشتی گیاهانی مانند هویج، سیب زمینی و چغندر مناسب است. روش حجمی (Volumetric method) در برخی مواقع مناسب است. برای تعیین پتانسیل آب در نقطه شروع پلاسمولیز (جایی که پتانسیل فشاری صفر و پتانسیل اسمزی تقریباً برابر پتانسیل آب است) از روش حجمی یا اندازه‌گیری طول استفاده می‌شود. از تغییر غلظت محلول بیرونی نیز می‌توان برای بیان جذب آب توسط بافت یا از دست دادن آب استفاده نمود. وقتی آب از بافت گیاهی خارج می‌شود، محلول بیرونی رقیق‌تر می‌شود و اگر بافت آب جذب کند، محلول بیرونی غلیظ‌تر می‌شود. در این آزمایش از روش وزنی استفاده می‌شود.

در روش تعادل در مایع، تغییرات ایجاد شده در بافت گیاهی در برابر مقادیر پتانسیل آب محلول‌های بیرونی رسم می‌شود. پتانسیلی که تغییرات ایجاد شده در بافت گیاهی ناچیز باشد، بیانگر پتانسیل آب بافت گیاهی است.

در روش تعادل در مایع به دلیل برخی خطاهایی که وجود دارد، دقت اندازه‌گیری پتانسیل آب زیاد نیست. در این روش، ورود محلول بیرونی به فضای بین سلولی و دیواره سلولی (فضای آزاد، Free space) که حدود ۱۰ تا ۲۵ درصد آب بافت را در خود جای می‌دهد، سبب می‌شود که منحنی تغییرات وزن در مقابل پتانسیل به سمت جلو جابجا شود و پتانسیل آب بافت را منفی‌تر از میزان واقعی نشان دهد. چون غشاء پلاسمایی نسبت به مواد محلول کاملاً تراوا نیست، ورود ماده حل‌شونده به درون بافت گیاهی نیز سبب کاهش پتانسیل آن نسبت به مقدار واقعی می‌شود. از دیگر منابع خطا در این روش آن است که در محل بریدگی بافت، به دلیل آسیب‌دیدگی دیواره سلولی پتانسیل فشاری کاهش می‌یابد، در نتیجه سلول‌های حاشیه‌ای از سلول‌های مجاور یا داخلی‌تر آب جذب کرده و پتانسیل آب بافت در کل کمتر از مقدار واقعی خواهد شد.

روش کار:

- ۱- ۶۸۶ گرم ساکاروز ($C_{12}H_{22}O_{11}$) را در مقداری آب مقطر حل نموده و به حجم نهایی یک لیتر برسانید. این محلول دارای غلظتی برابر ۲ مولار است و فشار اسمزی آن حدود ۴۱/۶ بار می‌باشد. با استفاده از این محلول، محلول‌های دیگری به غلظت‌های ۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵، ۱/۰، ۱/۲۵، ۱/۵۰ و ۱/۷۵ مولار تهیه کرده و دمای آنها را نیز یادداشت کنید. فشار و پتانسیل اسمزی آنها را با استفاده از فرمول وانت هوف (Vant Hoff) محاسبه کنید.
- ۲- محلول‌های فوق را در پتری‌دیش‌های مجزا ریخته و آنها را علامت‌گذاری کنید.
- ۳- تعدادی سیب زمینی را به قطعات مکعبی شکل با ابعاد ۵ میلی‌متر بریده و ۱۰ تا ۱۰ تا وزن (وزن اولیه) نمایید. به تعداد پتری‌دیش‌ها، قطعات ده‌تایی تهیه کنید. هر گروه ده‌تایی از قطعات سیب زمینی را داخل پتری‌دیش‌های حاوی محلول‌ها قرار دهید و اجازه دهید برای مدت دو ساعت تعادل پتانسیل آب بین بافت‌ها و محلول‌ها برقرار گردد.
- ۴- پس از گذشت زمان مذکور، قطعات بافت سیب زمینی را از پتری‌دیش‌ها خارج کرده و پس از خشک کردن آب سطحی، آنها را وزن (وزن نهایی) نمایید.
- ۵- مشخصات محلول‌های ساکارز، وزن اولیه هر ۱۰ قطعه، وزن نهایی هر ۱۰ قطعه و تغییرات وزن را در جدول زیر تنظیم کنید.
- ۶- با ترسیم تغییرات وزن بافت گیاهی در برابر پتانسیل آب محلول بیرونی، پتانسیل آب بافت گیاهی را در جایی که تغییرات وزن بافت گیاهی صفر است بدست آورید. گزارشی مختصر و کامل ارائه کنید و در مورد منابع ایجاد خطا بحث کنید.

تغییرات وزن (گرم) افزایش (+) و کاهش (-)	وزن نهایی بافت (گرم)	وزن اولیه بافت (گرم)	پتانسیل اسمزی محللول (بار)	فشار اسمزی محللول (بار)	غلظت ساکارز (مولار)
					۰
					۰/۲۵
					۰/۵۰
					۰/۷۵
					۱/۰
					۱/۲۵
					۱/۵۰
					۱/۷۵
					۲/۰

آزمایش ششم: اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک خاک به کمک تانسیومتر

مقدمه:

بهترین شاخص وضعیت آب در خاک، پتانسیل آب است. خاک‌های کشاورزی اکثراً غیراشباع‌اند یا به بیان دیگر اکثر گیاهان زراعی تنها قادرند در خاک غیراشباع رشد کنند. لذا پتانسیل فشاری در خاک‌های غیراشباع صفر است. اندازه‌گیری پتانسیل ثقلی نیز آسان بوده و اهمیت نسبی آن در انرژی آزاد آب عمدتاً ناچیز است. اگر خاک کشاورزی غیر شور نیز باشد (پتانسیل اسمزی ناچیز)، می‌توان گفت پتانسیل ماتریک (Matric potential) مؤلفه مهم و عمده پتانسیل آب خاک را تشکیل می‌دهد. لذا اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک در خاک‌های کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

یکی از وسایل ساده و رایج در اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک خاک و تعیین زمان آبیاری، تانسیومتر یا تنش سنج (Tensiometer) است. تانسیومتر عبارتست از یک لوله غیر موین پر از آب جوشیده که از یک طرف به یک کلاهک متخلخل سرامیکی بدون لعاب (Ceramic cup/tip) و از طرف دیگر به یک خلاءسنج یا فشارسنج ختم می‌شود. در ساخت کلاهک سرامیکی از خاک چینی یا رس کائولین (Kaolin) پخته استفاده می‌شود که خاصیت انقباض و انبساط اندکی دارد. برای اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک خاک، کلاهک سرامیکی تانسیومتر در خاک قرار می‌گیرد. چون کلاهک به آب و املاح تراواست، لذا تنها عامل انتقال آب به بیرون، پتانسیل ماتریک خاک و پتانسیل ثقلی ستون آب داخل تانسیومتر است. با خروج آب از تانسیومتر، خلاء در بالای لوله تانسیومتر ایجاد می‌شود که توسط فشارسنج یا خلاءسنج اندازه‌گیری می‌شود. اگر تانسیومتر کوتاه باشد، اثر پتانسیل ثقلی آب داخل تانسیومتر در مقایسه با پتانسیل ماتریک خاک برای خروج آب از تانسیومتر ناچیز است. ولی اگر طول تانسیومتر زیاد باشد، بایستی اثر پتانسیل ثقلی از اثر پتانسیل ماتریک خاک در ایجاد مکش یا خلاء در تانسیومتر معجزا شود.

۱- آماده‌سازی تانسیومتر:

برای آماده‌سازی تانسیومتر، ابتدا بایستی لوله تانسیومتر توسط آب مقطر جوشیده سرد شده پر شود. برای خروج تمامی حباب‌های هوای موجود در کلاهک سرامیکی و ستون آب داخل تانسیومتر، کلاهک سرامیکی را در داخل یک سطل آب قرار داده و با استفاده از پمپ دستی مکش (که در بالای تانسیومتر قرار داده می‌شود) شروع به ایجاد مکش یا خلاء مصنوعی تا حدود ۰/۷ بار می‌کنیم. ایجاد این خلاء توأم با تکان دادن تانسیومتر سبب می‌شود که حباب‌های هوای موجود در سیستم خارج شود. پس از اینکه اکثر حباب‌های هوا خارج شدند، لوله تانسیومتر را کاملاً از آب مقطر جوشیده پر کرده و درب آن را می‌بندیم. یکی از روش‌های آزمون سالم بودن تانسیومتر نیز به همین طریق است. یعنی اگر با ایجاد مکش‌های حدود ۰/۷ بار، پس از مدتی حباب‌های هوا

در سیستم ناپدید شد، تانسئومتر سالم است. ولی اگر به طور پیوسته حباب هوا در سیستم مشاهده شد، کلاهک سرامیکی یا محل دیگری در تانسئومتر آسیب دیده است که سبب انتقال ممتد حباب‌های هوا می‌شود. یکی دیگر از روش‌های آزمون سالم بودن تانسئومتر بدین صورت است که تانسئومتر را پر از آب کرده و در هوای آزاد آویزان کنیم. به دلیل تبخیر آب از طریق کلاهک سرامیکی، پس از مدتی خلاء در تانسئومتر ایجاد می‌شود. اگر این خلاء تا فشار $0/8-0/7$ بار ادامه یافت (یعنی اینکه حباب هوای چندانی در لوله تانسئومتر ایجاد نشده است)، می‌توان گفت این تانسئومتر سالم است. این روش توسط Richards (1965) پیشنهاد شده است. البته بایستی توجه داشت که این روش چند ساعت طول می‌کشد.

۲- طریقه نصب تانسئومتر در مزرعه:

پس از آماده‌سازی تانسئومتر، بهتر است نصب آن در مزرعه در رطوبت حدود ظرفیت زراعی (FC) صورت گیرد و به نکات زیر توجه شود:

الف) برای نصب آن در خاک‌های نرم، با استفاده از فشار دست تانسئومتر را به طور عمودی در خاک فرو می‌بریم تا کلاهک سرامیکی به عمق مورد نظر که قصد تعیین پتانسیل آن را داریم، برسد. در حین فرو کردن تانسئومتر در خاک ممکن است در کنار تانسئومتر شیاری در خاک ایجاد شود. این شیاری سبب می‌شود که موقع آبیاری، آب اطراف تانسئومتر جمع شده و به سرعت وارد آن شده و پیش از آنکه کل خاک خیس شود، اطراف کلاهک را اشباع کند. لذا پس از فرو کردن تانسئومتر در خاک، اطراف آن را توسط خاک پر و محکم کرده تا کمی بالاتر از سطح زمین باشد.

ب) برای نصب تانسئومتر در خاک‌های سخت و متراکم، ابتدا توسط یک لوله توخالی پلیکا یا فلزی (با قطر اندکی کمتر از قطر لوله تانسئومتر) که سر آن تیز و بصورت مورب در آمده است، خاک را تا عمق مورد نظر برش داده و آن را خالی می‌کنیم. سپس برای تماس بهتر کلاهک سرامیکی و خاک، مقداری خاک نرم در کف گودال ریخته و تانسئومتر در داخل آن نصب می‌شود.

ج) در آبیاری کرتی، تانسئومتر به صورت عمودی در خاک نصب می‌شود. در آبیاری شیاری یا جوی-پشته (Furrow irrigation)، توصیه می‌شود تانسئومتر با زاویه ۴۵ تا ۹۰ درجه نسبت به افق و به فاصله عمودی ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر از کف جوی در خاک پشته نصب شود.

تانسیومترها اندازه‌های (طول‌های) مختلفی دارند. از نظر تئوری دامنه اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک با تانسئومتر ۰ تا ۱۰۰- سانتی‌بار است ولی در عمل این وسیله تنها قادر است پتانسیل ماتریک خاک بین ۰ تا ۸۵- یا ۸۰- سانتی‌بار را اندازه‌گیری کند. می‌دانیم که این دامنه بخش کوچکی از آب قابل استفاده بین FC و PWP را تشکیل می‌دهد. ولی خوشبختانه برای تولید بهینه اکثر گیاهان زراعی، بایستی آبیاری در پتانسیل ماتریک بیشتر از

۸۵- سانتی بار صورت گیرد. در جدول زیر پتانسیل ماتریک خاک برای شروع آبیاری جهت تولید بهینه محصول در گیاهان زراعی مختلف نشان داده شده است:

پتانسیل ماتریک (سانتی متر)	گیاه
-۱۵۰۰	یونجه
-۳۰۰ تا -۱۰۰۰	علف‌ها (Grasses)
-۵۰۰ تا -۱۰۰۰	ذرت علوفه‌ای
-۴۰۰ تا -۶۰۰	چغندر قند
-۴۰۰ تا -۵۰۰	غلات دانه‌ریز - رشد رویشی (سبزینه‌ای)
-۸۰۰۰ تا -۱۲۰۰۰	غلات دانه‌ریز - رشد زایشی (تولید دانه)

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ cbar} = 100 \text{ kPa} = 1000 \text{ cm H}_2\text{O}$$

۳- تعیین زمان آبیاری به کمک تانسیومتر:

برای تعیین زمان آبیاری، توصیه می‌شود از دو تانسیومتر استفاده شود: اولی در منطقه حداکثر فعالیت ریشه و دومی نزدیک پایین‌ترین عمق فعالیت ریشه نصب شود. برای اغلب گیاهان زمان مناسب آبیاری وقتی است که تانسیومتر فوقانی پتانسیل ماتریک ۳۰۰- تا ۵۰۰- سانتی‌متر و تانسیومتر تحتانی شروع کاهش پتانسیل را نشان داد. در سیستم آبیاری خودکار، خلاء سنج تانسیومتر به یک شیر حساس به خلاء وصل می‌شود که وقتی پتانسیل ماتریک به مقدار مورد نظر رسید، این شیر سبب فعال شدن سیستم آبیاری می‌شود. بر اساس تجربه ثابت شده است که اگر پتانسیل ماتریک خاک بیش از ۲۰۰- سانتی‌متر (یا ۰/۲- بار) باشد، انتقال آب به اطراف ریشه محدود کننده نیست. به عبارت دیگر در چنین وضعیتی، هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک قادر است نیاز آبی گیاه را تأمین کند.

روش کار:

- ۱- در این آزمایش یک خاک با بافت متوسط را در سطل بزرگی بریزید. برای تأمین زهکشی خاک، در کف سطل مقداری سنگریزه قرار دهید.
- ۲- سه عدد بذر گیاه ذرت را در وسط این سطل کاشته و خاک را آبیاری کنید.
- ۳- تانسیومتری به طول ۳۰ سانتی‌متر در داخل خاک نصب کنید.
- ۴- عدد خلاء سنج تانسیومتر را با فواصل یک روز به مدت ۱۰ روز در جدول زیر یادداشت کنید.
- ۵- پتانسیل ماتریک خاک را برای زمان‌های یاد شده محاسبه (تصحیح مربوط به طول تانسیومتر (پتانسیل ثقلی) را انجام داده) و در جدول زیر یادداشت کنید.

۶- زمان آبیاری مجدد را مشخص کنید.

۷- روند تغییرات پتانسیل ماتریک با زمان پس از اشباع شدن خاک را رسم کرده و گزارشی مختصر و کامل ارائه کنید.

پتانسیل ماتریک خاک		عدد خلاء سنج (سانتی بار)	روز پس از آبیاری
بر حسب سانتی متر	بر حسب سانتی بار		
			۰
			۱
			۲
			۳
			۴
			۵
			۶
			۷
			۸
			۹
			۱۰

آزمایش هفتم: اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش بلوک گچی

مقدمه:

از روش‌های ساده و ارزان برای اندازه‌گیری مقدار و پتانسیل آب خاک، استفاده از بلوک‌های گچی (Gypsum blocks) یا بلوک‌های مقاومتی (Resistance blocks) یا بلوک‌های مقاومت الکتریکی (Electrical resistance blocks) است. یک بلوک گچی از دو الکتروود تشکیل شده است که این الکتروودها در داخل گچ قرار می‌گیرند. گچ شکسته‌بندی برای ساخت بلوک گچی مناسب است چون دارای منافذ ریزی است که مانند لوله‌های موئین می‌تواند به سرعت آب را جذب کند و با آب خاک به تعادل برسد. برای افزایش دوام بلوک گچی در برابر انحلال و خوردگی، گاهی از گچ دندانپزشکی نیز استفاده می‌شود. دو سر الکتروودها به یک مقاومت سنج یا اهم‌تر وصل می‌شود که از یک پل و تسون تشکیل شده است. بنابراین تغییرات مقاومت یا هدایت الکتریکی این مدار که بیشتر ناشی از مقاومت بین دو الکتروود است توسط این اهم‌تر اندازه‌گیری می‌شود. الکتروودها و بلوک گچی‌های به شکل‌های مختلف ساخته می‌شوند. معمولاً برای افزایش سطح تماس، الکتروودها به صورت توری سیمی گالوانیزه یا مسی ساخته می‌شوند. امروزه به منظور افزایش طول عمر الکتروودها، به جای الکتروودهای مسی از میله‌های زغالی استفاده می‌شود. گاهی اوقات الکتروودها به صورت سیلندره‌ای متحدالمرکز می‌باشند. شکل بلوک گچی ممکن است مکعبی یا استوانه‌ای باشد. در بلوک‌هایی که اندازه بزرگی دارند، تعادل آبی بین بلوک و خاک با تأخیر بیشتری صورت می‌گیرد. از این نظر بلوک‌های کوچک عملکرد بهتری دارند. لذا اندازه بلوک‌های گچی (مکعبی) تقریباً به ابعاد یک قوطی کبریت است. هدایت یا مقاومت الکتریکی بلوک گچی تابعی از وجود آب و املاح در آن و دمای محیط است. افزایش دما سبب کاهش مقاومت الکتریکی بلوک گچی می‌شود. لذا در کارهای تحقیقاتی لازم است از روابطی جهت تصحیح اثر دما استفاده شود. بلوک گچی مانند یک جسم (محیط) متخلخل (Porous medium) است. لذا وقتی که در خاک قرار می‌گیرد پس از مدتی پتانسیل آب درون آن با خارج آن (خاک) برابر خواهد شد. چون بلوک گچی به آب و املاح تراواست، لذا پتانسیل اسمزی از جهت تبادل رطوبتی اثری بر این تعادل ندارد. منافذ درون بلوک گچی به دلیل حلالیت گچ اشباع از یون‌های کلسیم و سولفات است. بنابراین اگر شوری آب خاک کمتر از شوری محلول داخل بلوک گچی باشد، می‌توان مطمئن بود که مقاومت الکتریکی بلوک تنها تابعی از میزان آب آن است که این نیز وابسته به مقدار آب خاک می‌باشد. ولی اگر غلظت املاح خاک بیشتر از غلظت املاح درون بلوک باشد (خاک خیلی شور باشد)، مقاومت الکتریکی بلوک تابعی از مقدار آب و املاح خاک است.

برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک یا پتانسیل آب خاک بایستی منحنی واسنجی یا کالیبراسیون (رابطه بین مقاومت الکتریکی بلوک و مقدار رطوبت یا پتانسیل آب خاک) تهیه شود. برای تهیه این منحنی، رطوبت یا

پتانسیل آب خاک در مقادیر مختلف توسط یک روش دیگر تعیین می‌شود و مقاومت الکتریکی نظیر آن توسط بلوک گچی قرائت می‌شود. منحنی واسنجی مقاومت-مقدار رطوبت تنها برای بلوک مورد نظر و خاک مورد بررسی قابل استفاده است. ولی منحنی واسنجی مقاومت-پتانسیل آب تقریباً مستقل از نوع خاک است و برای همان بلوک گچی (با ابعاد مشخص) در دامنه‌ای از خاک‌ها قابل کاربرد است. این منحنی بدین دلیل مستقل از نوع خاک است که تعادل آبی بین بلوک و خاک تنها به پتانسیل آب بستگی دارد نه به ویژگی‌های خاک. به همین دلیل است که تجربه نشان داده است رطوبت‌های ظرفیت زراعی (FC) و پژمردگی دائمی (PWP) که بر اساس مقادیر مشخصی از پتانسیل آب تعریف شده‌اند، در اکثر خاک‌ها به ترتیب معادل مقاومت‌های الکتریکی ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰۰ اهم می‌باشند.

یکی از روش‌های ساده برای تعیین منحنی واسنجی مقاومت-پتانسیل ماتریک بر این اساس است که چون بلوک گچی جسمی متخلخل است، لذا دارای منحنی مشخصه رطوبتی (Water characteristics curve) است. در این روش بلوک گچی را از آب اشباع کرده و سپس آن را در دستگاه صفحه فشاری (Pressure plate) تحت فشارهای مختلف پنوماتیک (مکش ماتریک) قرار داده و پس از تعادل مقاومت الکتریکی بلوک قرائت می‌شود. به این طریقه می‌توان منحنی واسنجی مقاومت-پتانسیل ماتریک بلوک گچی را به راحتی رسم نمود.

۱- طریقه نصب بلوک گچی در خاک:

برای نصب بلوک گچی در خاک احتمالاً مانند تانسومتر به دو یا سه عدد بلوک نیاز است تا در عمق‌های مختلف توسعه ریشه قرار گیرد. برای جلوگیری از اشباع بلوک گچی خشک توسط محلول خاک، قبل از نصب در خاک آن را با آب مقطر مرطوب می‌کنند. پس از نصب بلوک گچی، دو سر سیم‌های الکتروود آن از خاک بیرون گذاشته می‌شود. گاهی اوقات چون خاک اطراف بلوک به هم می‌خورد، لازم است که روی سطح خاک چند بار آب اضافه شود تا مرطوب و خشک شدن سبب شود شرایط طبیعی خاک حاصل شود. بر اساس تجربه، زمان لازم برای تعادل بین خاک و بلوک گچی حدود ۲ ساعت است. این زمان تعادل بخصوص برای وقتی لازم است که رطوبت خاک توسط بارندگی یا آبیاری افزایش می‌یابد. ولی طی فرآیند خشک شدن خاک (که به صورت کند و بطئی است)، این تعادل تقریباً در هر لحظه برقرار شده است. طول عمر بلوک گچی در خاک‌های شور و مرطوب حدود یک فصل زراعی و در خاک‌های نسبتاً خشک و غیرشور تا ۵ سال هم می‌رسد.

۲- معایب روش بلوک گچی:

الف) در خاک‌های شور نمی‌توان از آن استفاده نمود چرا که در این خاک‌ها مقاومت الکتریکی تنها بستگی به مقدار آب خاک ندارد.

ب) دقت و حساسیت این روش در رطوبت‌های کم و زیاد خاک، اندک است چون در رطوبت‌های بالا، مقادیر مقاومت الکتریکی نزدیک صفر و تغییرات آن با رطوبت ناچیز است و در رطوبت‌های خیلی پایین کاهش اندکی در رطوبت با افزایش شدید مقاومت همراه است. لذا توصیه می‌شود از این روش برای دامنه رطوبتی بینابینی (متوسط) استفاده شود.

ج) وجود پدیده پسماند (Hysteresis): سبب می‌شود که شاخه مرطوب شدن و خشک شدن برای بلوک گچی وجود داشته باشد. لذا اگر منحنی واسنجی بر اساس فرآیند خشک شدن خاک تهیه شده است، نمی‌توان از این منحنی برای فرآیند مرطوب شدن خاک استفاده نمود. به هر حال از نظر فیزیولوژی گیاهی، تعیین تغییرات مقدار آب خاک در حین خشک شدن (شاخه خشک شدن) مهم‌تر است. اثر پدیده پسماند بیشتر برای منحنی واسنجی مقاومت الکتریکی-مقدار رطوبت وجود دارد.

روش کار:

- ۱- گلدانی را با یک خاک با بافت متوسط پر کرده و بلوک گچی را در وسط گلدان به طور مناسب تعبیه کنید.
- ۲- در صورت امکان تانسیمتری نیز در خاک گلدان قرار دهید.
- ۳- گلدان را آبیاری کرده و چگونگی تغییرات مقاومت بلوک گچی و عدد تانسیمتر با زمان را یادداشت کنید.
- ۴- مقاومت بلوک گچی پس از آبیاری را به مدت ۱۰ روز با فواصل یک روز در جدول صفحه بعد یادداشت کرده و منحنی تغییرات آن با زمان را رسم کنید.
- ۵- در زمان‌های قرائت بلوک گچی، نمونه کوچکی از خاک جهت اندازه‌گیری رطوبت به روش آون برداشت کنید. در زمان‌های مذکور، خلاءسنج تانسیمتر را نیز قرائت کنید.
- ۶- منحنی واسنجی مقاومت الکتریکی-درصد رطوبت و مقاومت الکتریکی-پتانسیل ماتریک خاک را رسم کنید. نتایج را به طور مختصر ولی کامل گزارش کنید.

روز پس از آبیاری	مقاومت الکتریکی بلوک گچی (اهم)	درصد رطوبت وزنی خاک	عدد خلاء سنج (سانتی بار)	پتانسیل ماتریک خاک (سانتی بار)
۰				
۱				
۲				
۳				
۴				
۵				
۶				
۷				
۸				
۹				
۱۰				

آزمایش هشتم: بررسی اثر پتانسیل آب بر جوانه‌زنی بذر

مقدمه:

پتانسیل آب خاک در جذب آب بوسیله بذر، جوانه زدن آن و رشد گیاه تاثیر زیادی دارد. عوامل (مؤلفه‌های) مهم کاهش پتانسیل آب در خاک‌های کشاورزی، نیروی مکش ذرات خاک (پتانسیل ماتریک) و نمک‌های موجود در محلول خاک (پتانسیل اسمزی) است. چون در مسیر جذب آب توسط بذور یا گیاهان غشاء نیمه‌تراوا (غشاء سیتوپلاسمی) وجود دارد، لذا پتانسیل اسمزی نیز در این رابطه اهمیت دارد. به عبارت دیگر نیرویی که بذر یا گیاه صرف می‌کند تا آب را از یک خاک خشک با پتانسیل ماتریک مثلاً ۵- بار جذب کند تقریباً برابر با نیروی صرف شده برای جذب آب از یک محلول با پتانسیل اسمزی ۵- بار است. لذا بررسی اثر پتانسیل اسمزی بر رشد گیاهان مهم است. در خاکهای شور و یا مزارعی که به علت تاخیر در بارندگی یا آبیاری، پتانسیل آب خاک به دلیل کاهش پتانسیل اسمزی نقصان یافته و در حد بحرانی قرار گیرد، جوانه زدن و سر از خاک در آوردن جوانه (سبز شدن، Seedling) با مشکل روبرو خواهد شد. این پدیده در مزارعی که شوری به صورت لکه لکه بوده و یا به سبب تسطیح ناقص دارای پستی و بلندی موضعی می‌باشد، از روی لکه‌های سبز نشده بخوبی نمایان می‌گردد. بنابراین هرگاه بخواهیم بذور افشاندن شده در خاک به طور کامل و یکنواخت سبز گردیده و محصولی قابل قبول تولید کند، بایستی در موقع جوانه زدن بذر پتانسیل آب خاک در حد قابل قبولی نگهداشته شود.

ماس و هوفمن (Maas and Hoffman, 1977) که دو تن از پژوهشگران برجسته در رابطه با تحمل به شوری در گیاهان هستند، نشان دادند که رابطه بین شوری و کاهش محصول گیاهان معنی‌دار است. با افزایش شوری خاک یا محیط تا حدی، محصول یا جوانه‌زنی کاهش نیافته و پس از این حد بحرانی میزان محصول به طور خطی با افزایش شوری کاسته می‌شود. رابطه بین شوری محلول خاک و درصد محصول نسبی یا درصد جوانه‌زنی به صورت زیر است:

$$Y_r = 100 - b(EC_e - a)$$

در این رابطه: Y_r درصد محصول نسبی یا درصد جوانه‌زنی نسبت به شرایطی که اثر محدود کننده شوری وجود ندارد، EC_e هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، a حد آستانه شوری (Salinity threshold value) و b درصد کاهش محصول نسبی یا جوانه‌زنی به ازای یک واحد افزایش شوری است. ضرایب تجربی a و b برای برخی گیاهان برای جوانه‌زنی یا مراحل مختلف رشد تعیین شده‌اند و در کتاب‌ها و مقالات مربوط به کیفیت آب برای آبیاری موجود است. گاهی اوقات به جای EC_e از فشار اسمزی (Osmotic pressure, OP) در این روابط استفاده می‌شود چرا که رابطه این دو ویژگی برای آب‌های کم‌شور دنیا (چه آب خاک و چه آب آبیاری) خطی و معنی‌دار است. تنها ضرایب تجربی این روابط متفاوت خواهند بود. پس می‌توان نوشت:

$$Y_r = 100 - B(OP - A)$$

که در این فرمول: A حد آستانه فشار اسمزی و B درصد کاهش محصول نسبی یا جوانه‌زنی به ازای یک واحد افزایش فشار اسمزی بوده و بقیه پارامترها همان مفهوم قبلی را دارند.

در این آزمایش درصد جوانه زنی دو رقم بذر در پتانسیل‌های مختلفی که به طور مصنوعی ایجاد شده است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای تهیه محیط‌های با پتانسیل آب مختلف، از نمک‌های محلول استفاده می‌شود تا بتوان پتانسیل اسمزی و بالتبع آن پتانسیل آب را تغییر داد. اگر محلولی با ترکیب مشخص و رقیق بسازیم، پتانسیل اسمزی (پتانسیل آب) را می‌توان با استفاده از فرمول وانت هوف محاسبه نمود. فرمول وانت هوف برای محاسبه پتانسیل اسمزی به صورت زیر است:

$$\psi_s = -imRT$$

که در این فرمول ψ_s پتانسیل اسمزی محلول، i فاکتور یا ضریب وانت هوف، m غلظت (مولاریته یا فرمالیته) ماده حل شده، R ثابت گازها و T دما مطلق یا کلوین محلول می‌باشد.

روش کار:

- ۱- برای تهیه محیط‌های با پتانسیل آب مختلف از نمک کلرید سدیم (NaCl) استفاده می‌شود. چون سدیم یک عنصر غیر ضروری است و توسط گیاه زیاد جذب نمی‌شود، می‌توان فرض کرد که غشاء پلاسمایی نسبت به آن ناتراوا بوده و ضریب انعکاس آن نزدیک یک است. البته می‌توان از موادی مانند ساکارز نیز در این رابطه استفاده نمود ولی بایستی توجه داشت که چون آزمایش یک تا دو هفته طول می‌کشد، ساکارز سبب آلوده شدن محیط و رشد ریزجانداران (میکروب‌ها و قارچ‌ها) شده و توسط آنها تجزیه می‌شود. شوری حاصل از کلرید سدیم خود عاملی در جهت جلوگیری از رشد این جانداران است.
- ۲- مقدار ۱۱۶/۹ گرم کلرید سدیم را در بالن یک لیتری ریخته و در مقداری آب مقطر حل نموده و سپس به حجم برسانید. این محلول نمک را که غلظت آن ۲ مولار است، محلول ذخیره (Stock solution) می‌نامیم.
- ۳- با استفاده از آب مقطر و محلول ذخیره، محلول‌هایی با پتانسیل‌های اسمزی (پتانسیل‌های آب) ۰، -۱، -۲، -۴، -۷، -۹ بار تهیه نمایید. برای این کار از فرمول وانت هوف استفاده کنید و غلظت نمک در آنها را محاسبه کنید.
- ۴- مقداری بذر جو و مقداری بذر آفتابگردان را انتخاب کنید.
- ۵- با استفاده از روش زیر بذور را ضدعفونی کنید.
- ۶- سه عدد بشر ۵۰۰ میلی‌لیتری را به مدت نیم ساعت یا بیشتر در آون در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد استریل کرده و در هر یک از آنها به ترتیب محلول هیپوکلریت سدیم (وایتکس ۱۰ درصد)، آب مقطر و قارچ کش بن‌لیت (Benlate) ۲ در هزار بریزید.
- ۷- میز کار، دستها و کلیه وسایلی که با آنها سروکار دارید را بوسیله الکل ضدعفونی نمایید.

- ۸- بذور را در پارچه صافی یا توری سیمی (چای صاف کن) ریخته و به ترتیب به مدت ۳۰ ثانیه در محلول وایتکس، ۱۵ دقیقه در ظرف محتوی آب مقطر و ۳۰ ثانیه در محلول بن لیت فرو برده و سپس با آب مقطر آنها را بشویید.
- ۹- چهارده پتری دیش که در آون به مدت نیم ساعت در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد استریل شده است را انتخاب و پس از قرار دادن یک کاغذ صافی در هر یک، آنها را به دو دسته ۷ تایی تقسیم کنید. اگر بخواهیم چگونگی رشد جوانه‌ها را نیز بررسی کنیم، بهتر است به جای کاغذ صافی از ذرات سیلیس برای اتکای جوانه‌ها استفاده شود. ۲۰ میلی لیتر از محلول‌های ساخته شده (۷ محلول) را در هر سری ۷ تایی پتری دیش‌ها بریزید.
- ۱۰- در یک سری ۷ تایی پتری دیش تعداد ۱۰ تا ۱۵ عدد بذور ضد عفونی شده جو و در سری دیگر ۱۰ تا ۱۵ عدد بذور ضد عفونی شده آفتابگردان قرار دهید.
- ۱۱- روی هر پتری دیش، مشخصات محلول و نوع بذری که کاشته‌اید را یادداشت نمایید.
- ۱۲- پتری دیش‌ها را در اتاقک‌های مخصوص جوانه‌زنی (Germinator) و یا در مکانی امن که به اندازه کافی گرم باشد، به مدت دو هفته قرار دهید.
- ۱۳- در طول مدت مذکور، هر دو روز یکبار، تعداد بذور جوانه زده را بدقت شمارش کرده و در جدول زیر یادداشت نمایید.
- ۱۴- در طول آزمایش به دلیل تبخیر آب و جذب آب توسط بذرها، محلول‌ها غلیظ شده و فشار اسمزی آنها نسبت به مقدار اسمی اولیه افزایش می‌یابد. لذا برای جلوگیری از تغییرات زیاد پتانسیل آب محلول‌ها در طول آزمایش، هر روز پتری دیش‌ها را وزن نموده و کاهش وزن را با افزودن آب مقطر جبران کنید.
- ۱۵- درصد نسبی جوانه‌زنی را نسبت به محلول با غلظت صفر (آب مقطر) محاسبه کرده و منحنی تغییرات آن را برای هر یک از محلول‌ها و بذرها با زمان پس از شروع آزمایش رسم کنید.
- ۱۶- در پایان کار (دو هفته) پس از شمارش نهایی بذور جوانه زده، درصد نسبی بذور جوانه زده نهایی را در برابر فشار اسمزی محلول‌ها رسم نموده و ضرایب A و B را برای هر یک از بذرها بدست آورید.
- ۱۷- نتایج را برای محلول‌ها و بذرها، مختلف مقایسه و بطور مختصر ولی کامل گزارش کنید.

آزمایش نهم: اندازه‌گیری ضرایب هیدرودینامیکی خاک

مقدمه:

مقدار آب در حالات مختلف اشباع، مرطوب و خشک بیانگر مفهوم کلی وضعیت آب در خاک می‌باشد. در صورتی که وضعیت رطوبتی خاک در ارتباط با رشد و نمو گیاه بایستی دارای اساس علمی، کاربردی و مقایسه‌ای باشد. به عبارت دیگر وقتی می‌خواهیم مقدار آب خاک را در رابطه با رشد گیاه و وضعیت آب در گیاه بیان کنیم، باید از مفهوم پتانسیل آب استفاده کنیم. لذا بر اساس یک طبقه‌بندی کلی، خاک اشباع (Saturated soil) خاکی است که پتانسیل ماتریک آن صفر باشد. خاک مرطوب (Moist soil) خاکی است که پتانسیل ماتریک آن بین $0/3$ و 15 - بار قرار دارد و خاک خشک (Dry soil) خاکی است که پتانسیل ماتریک آن کمتر از 15 - بار است. این طبقه‌بندی در ارتباط با رشد گیاه است یعنی اینکه امکان رشد گیاهان زراعی در خاک خشک وجود ندارد. ذکر یک نکته ضروری است که این طبقه‌بندی برای خاک غیرشور (پتانسیل اسمزی ناچیز) صادق است. طبیعی است که اگر خاک شور باشد، این طبقه‌بندی بر اساس پتانسیل آب (مجموع پتانسیل‌های ماتریک و اسمزی) خواهد بود. همه آب در حالت اشباع نیز مورد مصرف گیاه قرار نمی‌گیرد. یعنی خاک اشباع بلافاصله شروع به از دست دادن آب موجود در منافذ درشت (آب ثقیلی) خود می‌کند. پس از خروج آب ثقیلی، مقدار یا درصد آب خاک را ظرفیت زراعی (Field capacity, FC) می‌نامند. چون آب ثقیلی به سرعت از خاک خارج می‌شود، معمولاً مقدار آبی که خاک قادر است در خود نگه دارد معادل FC است. لذا به FC، ظرفیت نگهداری (نگهداشت) آب خاک (Water holding capacity, WHC) نیز گفته می‌شود. بر اساس تجربه در اکثر خاک‌های زراعی پس از خروج آب ثقیلی، پتانسیل ماتریک خاک حدود $0/3$ - بار است. مقدار آب خاک در پتانسیل ماتریک 15 - بار تقریباً معادل نقطه پژمردگی دائمی (Permanent wilting point, PWP) برای اکثر گیاهان زراعی است. بنابراین از نظر تئوری، گیاهان زراعی تنها قادرند در خاک مرطوب (بین FC و PWP) رشد کنند. لذا مقدار یا درصد رطوبت بین FC و PWP را آب قابل استفاده از نظر تئوری (Available water, AW) یا حداکثر آب قابل استفاده گیاه می‌نامند. گاهی اوقات به آب قابل استفاده نیز WHC می‌گویند. به ضرایب FC، PWP و WHC که در رابطه با رشد گیاه و برنامه‌ریزی‌های آبیاری مهم‌اند، ضرایب هیدرودینامیکی (Hydrodynamic coefficients) خاک گفته می‌شود.

روش‌های اندازه‌گیری FC و PWP:

بهترین روش برای تعیین FC یک خاک روش مزرعه‌ای است. در این روش قسمتی از خاک مزرعه را آبیاری کرده تا اشباع شود. سپس برای جلوگیری از تبخیر، سطح خاک با یک پلاستیک مشکی پوشیده می‌شود. با گذشت زمان تنها نیروی ثقل سبب خروج آب از خاک می‌شود. با اندازه‌گیری رطوبت خاک در زمان‌های

مختلف تغییرات آن با زمان را رسم می‌کنیم. وقتی که تغییرات رطوبت خاک با زمان تقریباً ثابت و ناچیز شد، آن رطوبت بیانگر FC خاک است. این روش را می‌توان در آزمایشگاه نیز بر روی خاک دست خورده بکار برد. زمان تعادل برای خاک‌های شنی حدود ۱ روز و برای خاک‌های رسی حدود ۲ روز است. ولی حصول تعادل در این روش بستگی کامل به لایه‌بندی خاک، سطح آب زیرزمینی، میزان رطوبت لایه‌های زیرین و بسیاری از عوامل دیگر دارد. مثلاً اگر خاک دارای لایه عمقی با نفوذپذیری اندک باشد، ممکن است پس از هفته‌ها نیز تعادل حاصل نشود. به همین دلیل است که معمولاً از مفهوم رطوبت معادل خاک (Soil moisture equivalent) به جای FC استفاده می‌شود. رطوبت معادل خاک بیانگر مقدار رطوبت خاک در پتانسیل ماتریک ۰/۳- بار است. اگر به روشی پتانسیل ماتریک خاک را در ۰/۳- بار تنظیم کنیم، مقدار آب در این پتانسیل بیانگر FC خواهد بود.

برای تعیین PWP دو روش وجود دارد. روش اول دقیق ولی مشکل و زمان‌بر است. در این روش گلدان یا گلدان‌هایی از خاک مورد نظر پر شده و با آب اشباع می‌شوند. پس از خروج آب ثقیلی، ۲ تا ۳ عدد بذریه گیاه مورد نظر در گلدان کاشته می‌شود. برای تعیین PWP برای گیاهان زراعی، معمولاً از گیاه آفتابگردان یا ذرت استفاده می‌شود. پس از کاشت بذرها، گلدان را در شرایط مطلوب گلخانه‌ای از نظر نور، حرارت و رطوبت قرار داده تا بذرها جوانه بزنند. در مرحله ۳ تا ۴ برگی تنها یکی از گیاهان که رشد کامل‌تر و بهتر دارد، نگه داشته و بقیه از سطح خاک بریده می‌شوند. سپس گلدان را برای آخرین بار آبیاری کرده و برای اینکه تنها هدررفت آب از طریق گیاه (تعرق) صورت گیرد، سطح گلدان با فویل آلومینیومی پوشانده می‌شود. سپس گلدان در شرایط بهینه نور و دما قرار داده می‌شود. با گذشت زمان در اثر تعرق گیاه، رطوبت خاک کاهش می‌یابد. پس از مدتی علائم پژمردگی در گیاه ظاهر می‌شود. ابتدا این پژمردگی به طور موقتی است یعنی اینکه اگر گلدان را به یک مکان تاریک انتقال دهیم، پس از مدتی شادابی به برگ‌ها بر می‌گردد. این عمل تا جایی ادامه می‌یابد تا اینکه گیاه پس از انتقال به یک مکان تاریک شادابی خود را به دست نیاورد. در این زمان، خاک به PWP رسیده است. برای تعیین PWP یک نمونه از خاک داخل گلدان برداشته و رطوبت آن اندازه‌گیری می‌شود. این روش دقیق نیاز به حدود یک ماه صرف وقت دارد. لذا در اکثر آزمایشگاه‌های خاک‌شناسی برای اندازه‌گیری PWP از درصد رطوبت خاک در پتانسیل ماتریک ۱۵- بار استفاده می‌شود. این روش اگر چه ممکن است دقت روش اول را نداشته باشد چرا که مفهوم PWP را بیان نمی‌کند ولی روشی آسان و سریع است. لذا در روش دوم نیز بایستی به طریقی پتانسیل ماتریک خاک به ۱۵- بار برسد تا بتوان درصد رطوبت خاک در این پتانسیل را تعیین نمود.

برای اعمال پتانسیل‌های ماتریک گفته شده برای تعیین سریع FC و PWP در آزمایشگاه از دستگاه‌های مختلفی استفاده می‌شود. به عنوان مثال برای اعمال مکش‌های ماتریک ۰ تا ۱۵ بار بر خاک از دستگاه صفحه فشاری (Pressure plate) و برای اعمال مکش‌های ۰ تا ۳۰ بار از دستگاه غشاء فشاری (Pressure membrane) استفاده می‌شود. این دستگاه‌ها از یک محفظه بسته تشکیل شده‌اند که خاک روی صفحه سرامیکی یا غشاء

لاستیکی داخل آن قرار می‌گیرد. دستگاه صفحه فشاری برای مکش‌های ماتریک کمتر دقت بیشتری دارد ولی غشاء فشاری با وجودی که دامنه عمل بیشتری دارد، برای مکش‌های ماتریک بالاتر (۱۵ تا ۳۰ بار) مناسب‌تر است. لذا در اندازه‌گیری آب هیگروسکوپی (Hygroscopic coefficient, HC) و بررسی آب جذب سطحی شده توسط ذرات خاک از دستگاه غشاء فشاری استفاده می‌شود. دستگاه‌های صفحه فشاری و غشاء فشاری، فشار پنوماتیک (Pneumatic pressure) روی نمونه خاک اعمال کرده تا آب نمونه‌ها خارج شود و پس از تعادل، آب خاک تحت مکش ماتریک معادل آن فشار قرار می‌گیرد. لذا اگر فشار پنوماتیک $0.3/15$ و $0.5/15$ بار باشد، رطوبت خاک پس از تعادل با این فشارها به ترتیب معادل FC و PWP خواهد بود. هر قدر مکش ماتریک خاک بیشتر می‌شود (خاک خشک‌تر می‌شود)، زمان تعادل بیشتری باید صرف شود تا خاک به مکش اسمی اعمال شده برسد. در رطوبت‌های پایین (مکش‌های بالا) نه تنها هدایت هیدرولیکی خاک کم است بلکه به دلیل خشک شدن و انقباض خاک، تماس هیدرولیکی خاک با صفحه سرامیکی یا غشاء لاستیکی نیز کاهش می‌یابد. لذا برای اعمال مکش‌های ماتریک بالا بر نمونه‌های خاک توصیه می‌شود روی نمونه‌ها وزنه‌های کوچکی (حدود $0.5/5$ کیلوگرم) قرار داده تا تماس هیدرولیکی خاک با صفحه یا غشاء بهتر شود. همچنین برای جبران کند بودن خروج آب در نمونه‌های تحت فشار پنوماتیک بالا، بهتر است ارتفاع نمونه‌ها کوتاه‌تر باشد تا مسیر خروج آب کوتاه‌تر شود.

در مزرعه یا آزمایشگاه می‌توان از تانسومتر استفاده نمود و وقتی مکش ماتریک 30 سانتی‌بار توسط تانسومتر نشان داده شد، یک نمونه از خاک برای تعیین رطوبت ظرفیت زراعی گرفته شود. گاهی اوقات برای خاک‌های شنی، FC به عنوان رطوبت خاک در مکش ماتریک $0.1/100$ بار (۱۰۰ سانتی‌متر) تعریف می‌شود و یا برخی از محققین (مثلاً دانشمندان هلندی) بر اساس تجربه دیده‌اند که مکش $0.1/100$ بار بهتر بیانگر حد رطوبتی FC در خاک‌های آن منطقه یا کشور است. برای اعمال چنین مکشی روی خاک دستگاه صفحه فشاری دقت خوبی ندارد. بهترین روش در این رابطه استفاده از روشی است که به ستون آویزان آب (Hanging water column) مشهور است و بسته به اندازه و نوع دستگاه‌های کاربردی نام‌های متفاوتی دارد. ستون آویزان آب از یک صفحه سرامیکی یا شن با منافذ موئینه تشکیل شده است که از یک طرف در تماس با خاک و از طرف دیگر متصل به یک ستون آویزان آب است. با پایین بردن سر ستون آویزان آب نسبت به نمونه خاک، مکش ماتریک بر خاک اعمال می‌شود که معمولاً در دامنه 0 تا $0.1/100$ بار یا 0 تا 100 سانتی‌متر قرار می‌گیرد. اگر سر ستون آویزان آب نسبت به خاک 100 سانتی‌متر پایین برده شود، پس از تعادل رطوبت خاک معادل FC خواهد بود. فردی به نام هنز برای اولین بار این روش را پیشنهاد کرد. به همین دلیل گاهی اوقات به آن قیف هینز (Haines' funnel) یا قیف بوخنر (Buchner funnel) یا (Sintered glass funnel) گفته می‌شود. برای اینکه بتوان به طور همزمان تعداد زیادی نمونه روی این دستگاه قرار داد، گاهی اوقات از صفحات سرامیکی بزرگ یا پارچه‌های با منافذ موئینه یکنواخت استفاده می‌شود که در این حالت به این دستگاه، میز تنش (Tension table) گفته می‌شود. اگر

به جای صفحه سرامیکی از یک شن با ابعاد یکنواخت و منافذ ریز و مویینه استفاده شود، به آن دستگاه جعبه شن (Sand box) گفته می‌شود. ولی اصول تمامی این دستگاه‌ها همچنانکه گفته شد، یکسان است.

ذکر یک نکته ضروری است که چگونگی نگهداری آب در خاک و منحنی مشخصه آب خاک در مکش‌های پایین (تقریباً بین ۰ تا ۱ بار) بیشتر بستگی به منافذ درشت و آرایش ذرات ثانویه (ساختمان) خاک دارد. ولی در مکش‌های بالا (بالتر از ۱ بار) بافت خاک در نگهداری آب در خاک مهم‌تر است. لذا در تعیین حد FC به روش‌های سریع ذکر شده بهتر است از نمونه‌های دست نخورده (Undisturbed samples) استفاده شود. ولی در تعیین PWP اگر از نمونه‌های دست خورده (Disturbed samples) هم استفاده شود، خطای چندانی رخ نخواهد داد.

در مورد اثر وضعیت آب خاک بخصوص ظرفیت زراعی (رطوبت‌های بالا) بر تهویه خاک ذکر یک نکته ضروری است. برای رشد بهینه گیاهان در خاک، وجود همزمان و متناسب آب و هوا الزامی است. لذا تخلخل خاک بایستی شامل مقدار کافی آب و هوا باشد. به عبارت دیگر می‌توان تخلخل خاک (Soil porosity) را به دو بخش تقسیم کرد: تخلخل پر از آب (Water-filled porosity) یا رطوبت حجمی و تخلخل پر از هوا (Air-filled porosity, AFP) یا تخلخل هوایی (Aeration porosity, E_a). به عنوان مثال، گفته می‌شود که اگر تخلخل هوایی در خاک کمتر از ۱۰ درصد حجمی باشد، رشد ریشه اکثر گیاهان زراعی در اثر کمبود تهویه کاهش می‌یابد. برای رشد مطلوب ریشه بایستی تخلخل هوایی بیشتر از ۱۰ تا ۱۲ درصد باشد. خاک‌های شنی و خاک‌هایی که ساختمان مناسب دارند، به دلیل وجود منافذ درشت از نظر تهویه مشکلی ندارند. خاک‌های رسی و خاک‌های متراکم معمولاً دارای مشکل تهویه‌ای بخصوص در رطوبت‌های بالا (FC) و بالاتر) می‌باشند.

روش کار:

الف) اندازه‌گیری ظرفیت زراعی:

- ۱- یک نمونه دست نخورده یا دست خورده از خاکی با بافت متوسط تهیه کنید. نمونه خاک دست خورده را در داخل لیوان شفاف یا بشر یک لیتری بریزید. سعی شود حجم خاک ۶۰۰ سی‌سی باشد. چون جرم و حجم خاک مشخص است، می‌توان چگالی ظاهری تقریبی خاک را محاسبه کرد.
- ۲- به آرامی به خاک آب اضافه کرده تا جبهه رطوبتی به نصف طول خاک برسد. لازم است دقت شود که جبهه رطوبتی به انتهای خاک نرسد.
- ۳- انتهای باز بشر را با نایلون پوشانده و چند سوراخ ریز بوسیله سنجاق در آن ایجاد کنید.
- ۴- اگر توده خاک زیر جبهه رطوبتی خشک باشد، مکش ماتریک آن به خروج سریع آب ثقلی از توده خاک اشباع بالایی کمک می‌کند. اگر فرض کنیم برای خاک با بافت متوسط درصد اشباع دو برابر درصد

- رطوبت در ظرفیت زراعی باشد، می توان گفت وقتی جبهه رطوبتی به انتهای توده خاک رسیده و تعادل برقرار شود، خاک در ظرفیت زراعی قرار دارد.
- ۵- پس از تعادل، خاک درون بشر را وارون کرده، از وسط توده خاک مرطوب یک نمونه کوچک برداشته و به روش وزنی (آون) رطوبت ظرفیت زراعی را تعیین کنید.
- ۶- با استفاده از جرم مخصوص ظاهری و رطوبت وزنی، رطوبت حجمی ظرفیت زراعی خاک را محاسبه کنید.
- ۷- با فرض اینکه چگالی حقیقی ذرات خاک $2/65$ گرم بر سانتی متر مکعب است، تخلخل هوایی خاک در ظرفیت زراعی را محاسبه کنید.
- ۸- میزان (ارتفاع) آب موجود بر حسب سانتی متر در یک متر عمق این خاک در ظرفیت زراعی را محاسبه کنید.

ب) اندازه گیری ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائمی با استفاده از دستگاه صفحه فشاری:

- ۱- مقداری از خاک مورد نظر را در حلقه مخصوص دستگاه صفحه فشاری ریخته و آنها را از زیر اشباع کنید.
- ۳- نمونه خاک اشباع را روی صفحه سرامیکی دستگاه قرار داده و درب دستگاه را ببندید.
- ۴- به آهستگی شروع به افزایش فشار هوای محفظه نموده و در نهایت فشار پنوماتیکی $0/3$ بار روی نمونه خاک اعمال کنید.
- ۵- خروج آب با فشار از نمونه خاک شروع خواهد شد. هنگامی که خروج آب از نمونه خاک در آن فشار قطع شد، یعنی پتانسیل آب (ماتریک) خاک با آن فشار پنوماتیک به تعادل رسیده است.
- ۶- توسط شیر تخلیه، فشار پنوماتیک روی نمونه های خاک را تخلیه کرده و وقتی فشارسنج دستگاه روی صفر قرار گرفت، درب دستگاه را باز کرده و نمونه خاک را وزن کنید. دقت کنید بخصوص برای فشارهای پنوماتیک بالا، عمل تخلیه فشار کامل شود تا از آسیب به خود و دیگران جلوگیری شود.
- ۷- نمونه خاک مذکور را دوباره روی صفحه سرامیکی دستگاه قرار داده و درب دستگاه را به دقت ببندید.
- ۸- این بار فشار پنوماتیک را به آرامی روی 15 بار تنظیم کنید و مراحل 5 و 6 را برای آن تکرار کنید.
- ۹- نمونه خاک را در آون خشک نموده و درصد رطوبت در FC و PWP را بدست آورید.
- ۱۰- درصد آب قابل استفاده و تخلخل هوایی در حد FC را محاسبه کنید و گزارشی کامل و مختصر ارائه کنید.