دانشکده کشاورزی

گروه علوم و مهندسی خاک

آزمایشگاه

رابطه آب خاک و گیاه

تعیین نقاط پتانسیلی مهم
FC + PWP

تهیه و تنظیم
حیدر غفاری

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 ۰/۳- و ۱۵- بار قرار دارد و خاک خشک (Dry soil) خاکی است که پتانسیل ماتریک آن کمتر از ۱۵- 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 ثقلی) خود می‌کند. پس از خروج آب ثقلی، مقدار یا درصد آب خاک را ظرفیت زراعی (Field capacity, FC) می‌نامند. چون آب ثقلی 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 ثقلی، پتانسیل ماتریک خاک حدود ۰/۳- بار است. مقدار آب خاک در پتانسیل ماتریک ۱۵- 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 می گویند. 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 ثقلی، ۲ تا ۳ عدد بذر 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 ۰/۳ و ۱۵ 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 ۰/۵ 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 تانسیومتر استفاده نمود و وقتی مکش ماتریک ۳۰ سانتی‌بار توسط تانسیومتر 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 ۰/۱ بار (۱۰۰ سانتی‌متر) تعریف می‌شود و یا برخی از محققین (مثلاً دانشمندان هلندی) بر اساس تجربه دیده‌اند که مکش ۰/۱ 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 ۰ تا ۰/۱ بار یا ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر قرار می‌گیرد. اگر سر ستون آویزان آب نسبت به خاک ۱۰۰ 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 (بالاتر 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.

درمورد اثر وضعیت آب خاک بخصوص ظرفیت زراعی (رطوبت‌های بالا) بر تهویه خاک ذکر یک تکته 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، می‌توان 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 ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب است، تخلخل هوایی خاک در ظرفیت زراعی را محاسبه کنید.

۸- میزان (ارتفاع) آب موجود بر حسب سانتی‌متر در یک متر عمق این خاک در ظرفیت زراعی را محاسبه کنید.

ب) اندازه‌گیری 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 ۰/۳ 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 نمونه‌های 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 ۱۵ بار تنظیم کنید و مراحل ۵ و ۶ 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.