

فصل سوم

اندازه‌گیری و کنترل رطوبت خاک

شناخت اهمیت مقدار رطوبت خاک در رابطه بارش گیاه موجب به‌وجود آمدن روندهای مختلف اندازه‌گیری آب خاک شده است. برای تخمین میزان تبخیر و تعرق، اندازه‌گیری تغییرات زمانی ذخیره آب خاک کافی نیست. بلکه در بعضی شرایط اندازه‌گیریهای اختصاصی از عمق‌ها و محل‌های گوناگون نیز الزامی است. هم‌چنین در برخی از شرایط آزمایشی، اگر قرار باشد که نتایج حاصله به‌نحو مطلوبی تجزیه و تحلیل گردند، باید اندازه‌گیری و کنترل رطوبت خاک با دقت انجام گیرد.

هدف از مطالب زیر این است که خوانندگان با مقدمه برخی از روندها آشنا گردند. برای کسب اطلاعات بیشتر می‌توان به منابعی که در متن یاد شده و یا به‌مآخذ دیگر از قبیل هولمز و همکاران^۱، (۱۹۶۷)، روز^۲، (۱۹۶۶)، اسلاچر^۳، (۱۹۶۷)، اسلاچر و مک‌ایل‌روی^۴، (۱۹۶۱) و مجموعه مقالات منتشره پیرامون روشهای اندازه‌گیری رطوبت خاک که به‌وسیله شاو و آربل^۵

1— Holmes et al

2— Rose

3— Slatyer

4— Slatyer and McIlroy

5— Shaw and Arble

(۱۹۵۹) گردآوری شده است مراجعه نمود.

اندازه‌گیری رطوبت خاک در مزرعه :

بیان آبی :

روش معمول در تخمین مقدار تبخیر و تعرق اندازه‌گیری تغییرات ذخیره آب خاک است . معادله بیان آبی به شرح زیر است :

$$(\Delta W = P - O + U + E) \quad (۳-۱)$$

که در آن ΔW تغییرات ذخیره آب خاک (رطوبت ابتدائی منهای رطوبت نهائی) در طی زمان آزمایش و P, O, U به ترتیب مقدار بارندگی ، جریان سطحی و زهاب عمقی می‌باشند . U مقدار آبی است که از لایه نفوذ ریشه خارج می‌شود . در شرایط آزمایش این مقدار عبارت است از میزان آبی که از پائین‌ترین نقطه اندازه‌گیری به طرف پائین حرکت می‌کند . E عبارت است از مقدار تبخیر (شامل تعرق) که از سطح خاک و گیاه صورت می‌گیرد .

این آزمایش در هراشلی از توده عظیم خاک قاره‌ها و حوضه‌های آبگیر گرفته تا يك تك درخت صادق است . در دوران خشکی که بین دو بارندگی یا آبیاری اتفاق می‌افتد اگر از مقدار U صرف نظر شود (در غیر این صورت اندازه‌گیری گردد) $E = \Delta W$ بوده و می‌توان آن را با تعیین تغییرات ذخیره رطوبت خاکی که زیر پوشش گیاهان مورد مطالعه قرار دارد اندازه‌گیری کرد .

دقیق‌ترین اندازه‌گیری ΔW با استفاده از لیسیمترهای وزنی یا

شناور انجام می‌گیرد و آن نیز در صورتی است که لیسیمترها به نحو صحیحی طرح و در مکان مناسبی نصب شده باشند. اختلاط انواع گیاهان، توزیع غیر یکنواخت پوشش گیاهی، عمق و انشعابات سیستم ریشه‌ای، اندازه گیاه و یا عوامل دیگری که باعث شوند نتران شرایط طبیعی را در داخل لیسیمتر ایجاد کرد استفاده آن را غیر عملی می‌سازند. نمونه‌هایی از این محدودیت‌ها را می‌توان در اجتماعات گیاهی مناطق خشک و یا جنگلهای مخلوط طبیعی مشاهده نمود. در چنین شرایطی، اندازه‌گیری مقدار ذخیره آب خاک در نقاط مختلف اجتماع گیاهی تنها روش برای تعیین ΔW است. حتی در این روش نیز تجزیه و تحلیل مشاهدات مشکل بوده و نزدیک بودن سطح آب زیرزمینی به رویه خاک کاربرد آن را محدود می‌سازد مگر آنکه از خود نوسانات سطح آب زیرزمینی استفاده گردد (هولمز^۷، ۱۹۶۰). نمونه‌هایی از روش تعیین ذخیره آبی خاک از طریق اندازه‌گیری رطوبت در کتاب اسلاچر^۸ (۱۹۶۷) ذکر گردیده است.

با در نظر گرفتن مقدار آب قابل توجهی که اغلب از لایه‌های زیر نقطه اندازه‌گیری دریافت و یا به آن لایه داده می‌شود می‌توان نتایج مطلوب‌تری از این اندازه‌گیری‌ها بدست آورد. (پاتریک و همکاران^۹، ۱۹۶۵، رزواشترن^{۱۰}، ۱۹۶۵).

اشکالات نمونه‌گیری:

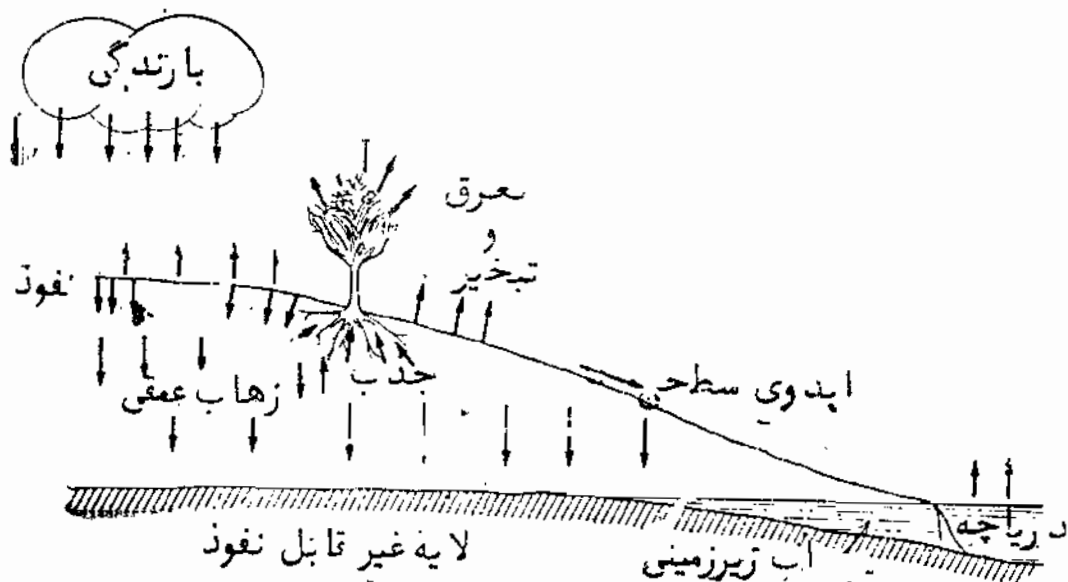
نظر به تغییرات افقی و عمودی زیادی که در توزیع رطوبت خاک در

7— Holmes

8— Slatyer

9— Patric et al

10— Rose and Stern



شکل ۱-۳ دور هیدرولوژیکی . در شکل ورود آب از طریق ریزش ، آبدوی سطحی ، نفوذ و تخلیه عمقی و خروج آن از خاک از طریق تبخیر و عرق نشان داده شده است .

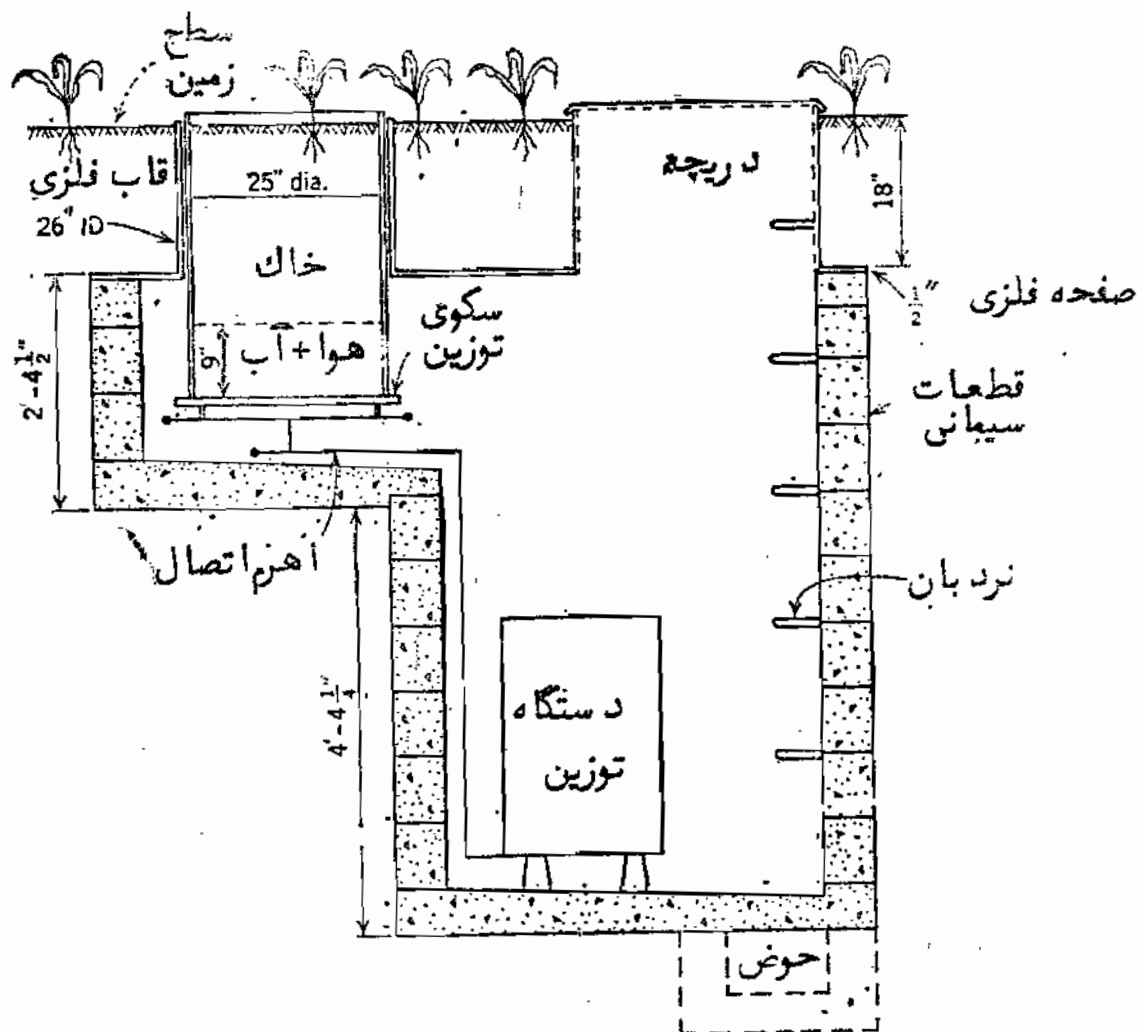
مزرعه وجود دارد به اشکال می توان ارقام قابل اعتمادی در مورد تغییرات مقدار رطوبت خاک در لایه نفوذ ریشه به دست آورد . غالباً مقدار رطوبت خاک در فواصل کوتاه نیز به طور چشمگیری تغییر می کند . دلیل این تغییرات پاره ای به علت توزیع غیر یکنواخت ریشه ها بوده که موجب می شود بعضی قسمت ها سریعتر از قسمت های دیگر از آب تخلیه گردند و پاره ای نیز به علت تغییرات خصوصیات فیزیکی خاک بخصوص مقدار رس آن است که بر قابلیت نگهداری آب مؤثر است . علاوه بر این در بعضی از پتانسیلهای آب مقدار رطوبت نمونه هایی که حتی از فواصل چند سانتی متری یکدیگر گرفته شده باشند بسیار باهم متفاوتند .

به دلیل این تغییرات برای تخمین قابل اعتماد مقدار رطوبت توده خاک لازم است نمونه گیری را چندین بار تکرار نمود . مثلاً اچی سن و همکاران^{۱۱}

(۱۹۵۱) نشان داده‌اند برای آن که در يك خاک معمولی لومی مقدار رطوبت به دست آمده با اختلاف يك درصد (يك گرم آب در صد گرم خاک خشك) در ستون احتمالات پنج درصد ($P = 0.05$) قابل اعتماد باشد لازم است که حداقل ۱- نمونه‌گیری انجام شود. استاپل و لهان^{۱۲} (۱۹۶۲) نیز همین شرایط را در مورد خاکهای لوم رسی یکنواخت پیدا کرده‌اند. هیولت و دوگلاس^{۱۳}، (۱۹۶۱) مسائل نمونه‌گیری را مورد بحث قرار داده‌اند.

تعداد زیاد نمونه‌گیریهای مستقیم غالباً موجب از بین رفتن گیاهان شده و باید در پرکردن سوراخهایی که نمونه‌ها از آن استخراج شده‌اند دقت شود. این کار در خاکهای سنگ‌دار مشکل بوده و نیروی زیادی صرف آن می‌شود. به این دلیل کسانی که در مزرعه کار می‌کنند، اغلب روشهای غیر مستقیم را ترجیح می‌دهند. در این روشها تعدادی وسایل حساس در محل مورد مطالعه نصب شده و می‌توان به وسیله آن از يك نقطه چندین بار اندازه‌گیری به عمل آورد. اگرچه هزینه اولیه نصب وسایل در این روشها بیش از هزینه در نمونه‌گیری مستقیم است ولی صرفه‌جویی در مقدار کار و نیز مزایای اندازه‌گیریهای مکرر از يك نقطه می‌تواند مخارج اولیه آن را جبران نماید.

انتخاب روش مطالعه رطوبت خاک در وهله اول بسته به هدف پژوهشگر است. منظور کلی از اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک عبارت است از تعیین این که در يك زمان و مکان معین چه مقدار آب برای رشد گیاه موجود است. موجودیت رطوبت خاک بدو به پتانسیل آن، ψ_{soil} بستگی دارد و مفیدترین



شکل ۲-۳: تصویری برای نشان دادن اصول لیسیمتروزی . این لیسیمتر دارای محفظه‌ای جهت نگهداری توده خاک بوده و طوری آزادانه هم سطح خاک قرار گرفته که می‌تواند روی یک دستگاه اندازه‌گیری وزن پائین و بالا برود . (تصحیح از انگلاند و لسن^{۱۴} ، ۱۹۶۲) در لیسیمتر تصویری فوق برای اندازه‌گیری تغییرات وزن از یک ترازو استفاده شده است و این کاربرد وسایل اندازه‌گیری الکترونی شبیه آنچه وان باول و مایرز^{۱۵} (۱۹۶۲) به‌کار برده‌اند دارای مزایایی است . اگر قرار باشد نتایج حاصل را در مورد

14— England and Lensen

15— Van Bavel and Myers

محصولات زراعی یا گیاهان دیگر به‌کار برد بهتر است لیست را گیاهانی مشابه احاطه کرده باشند. بعضی اشکالات در کاربرد لیست به‌وسیله هاگن و همکاران^{۱۶} (۱۹۶۷، صفحات ۵۴۴-۵۳۳) مورد بحث قرار گرفته است.

وسيله برای توضیح خصوصیات رطوبتی خاک منحنی تغییرات مقدار رطوبت با پتانسیل آب است (شکل ۸-۲).

اندازه‌گیری مستقیم رطوبت خاک:

اندازه‌گیری رطوبت خاک اساساً بر روی نمونه‌هایی انجام می‌شود که وزن یا حجم آنها مشخص باشد. مقدار رطوبت بر حسب گرم آب در هر گرم خاک خشک شده در گرمخانه یا گرم‌آب در هر سانتی‌متر مکعب خاک خشک شده در گرمخانه توصیف می‌گردد. نمونه‌هایی که برای اندازه‌گیری به‌طریقه حجمی به‌کار می‌روند معمولاً به‌وسیله ظروف مخصوصی که حجم آنها مشخص بوده و مجهز به یک لوله نمونه‌گیر هستند استخراج شده یا از کناره‌های نیم‌رخ حفر شده خاک برداشته می‌شوند (به‌عنوان نمونه به‌کویل^{۱۷} ۱۹۶۳ و لاتز^{۱۸}، ۱۹۴۴ مراجعه شود). وزن مخصوص ظاهری را می‌توان به‌طور جداگانه تعیین کرد (وموسی^{۱۹}، ۱۹۵۴). رطوبت را با قراردادن خاک در گرمخانه‌ای با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت زمانی که وزن آن تثبیت گردد از نمونه خاک خارج می‌سازند. زمان لازم برای خشک‌شدن نمونه را می‌توان با تعبیه نوعی از دستگاه‌های تهویه در داخل

16— Hagan et al

17— Coile

18— Lutz

19— Vomicil

گر مخانه کوتاه کرد.

برای از بین بردن زمان لازم جهت قرار گرفتن نمونه در گر مخانه روند— های گوناگونی پیشنهاد شده است. یکی از این روندها مخلوط کردن نمونه خاک با متیل الکل و سپس اندازه گیری تغییرات وزن مخصوص الکل با هیدرومتر است (بیوکس^{۲۰}، ۱۹۳۱) در روش دیگر آب موجود در خاک مرطوب را با وزن معینی از کاربید کلسیم وارد فعل و انفعال نموده تا تولید گاز استیلن کند (سیبیرسکی^{۲۱}، ۱۹۳۵، ماگی و کالپ فلش^{۲۲}، ۱۹۵۲). مقدار رطوبت نمونه خاک از روی کاهش وزن نمونه به اضافه کاربید کلسیم محاسبه می شود. ولی هیچ یک از این روندها و روشهای دیگری که برای کوتاه کردن زمان به کار رفته اند معمول نگردیده است.

توصیف مقدار رطوبت بر حسب درصد وزن خشک برای متخصصین علوم گیاهی مفید واقع نخواهد شد مگر این که منحنی پتانسیل آب یا ظرفیت نگهداری و درصد پژمردگی دائم نیز در دست باشد. زیرا مقدار درصد رطوبتی که یک خاک ماسه ای اشباع شده از آب دارا است ممکن است پائین تر از درصد پژمردگی دائم در یک خاک ماسه ای باشد (به جدول ۱-۳ مراجعه شود). برای برخی از منظورها لازم است که مقدار رطوبت در واحد وزن را به مقدار رطوبت در واحد حجم تبدیل کرد. زیرا مقدار خاکی که به وسیله سیستم ریشه ای اشغال می شود بر حسب حجم تعیین می گردد نه وزن. هم چنین اضافه شدن یا از دست دادن آب نیز به اینچ یا سانتی متر تعیین می گردد که در مبنای سطح بر حسب حجم خواهد بود. تبدیل واحدهای

20— Bouyoucos

21— Sibirsky

22— Magee and Kalb fleisch

وزنی به واحدهای حجمی با ضرب کردن درصد وزنی در وزن مخصوص^{۲۳} ظاهری خاک مورد مطالعه انجام می شود. در این صورت مقدار رطوبت بر حسب واحدهائی از قبیل اینچ در هر فوت (پا) یا سانتی متر در هر متر خاک توصیف می شود.

جدول ۳-۱ مقدار رطوبت در خاکهای با بافت گوناگون در شرایط پتانسیل ماتریک ۰/۳ و ۱۵ بار و اولین حد پژمردگی دائم (بر طبق روش فور و روی ۴، ۱۹۴۵). مقادیر رطوبت بر حسب درصد وزن خشک تعیین شده اند^{۲۵}
(از ریچاردز و ویور^{۲۵} ۱۹۴۴)

نام خاک	مقدار رطوبت بر حسب وزن خشک در		
	۰/۳ بار	۱۵ بار	اولین حد پژمردگی دائم
ماسه هانفورد ^{۲۶}	۴/۵	۲/۲	۲/۹
لوم ایندیو ^{۲۷}	۴/۶	۱/۶	۲/۶
لوم یو او ^{۲۸}	۸/۴	۱۲/۶	۷/۱
لوم ماسه ای ریز یولو ^{۲۹}	۱۲/۶	۵/۵	۸/۳
لوم چینو ^{۳۰}	۱۹/۷	۸/۰	۱۰/۲
رس سیلتی چینو ^{۳۱}	۴۰/۸	۲۱/۹	۲۳/۲
لوم رس ماسه ای چینو ^{۳۲}	۴۸/۹	۱۵/۰	۲۳/۳
رس یولو ^{۳۳}	۴۵/۱	۲۶/۲	۲۹/۶

23— Bulk density

25— Richards and Weaver

27— Indio loam

29— Yolo fine sandy loam

31— Chino silty clay

33— Yolo loam

24— Furr and Reeve

26— Hanford sand

28— Yolo loam

30— Chino loam

32— Chino silty clay loam

اندازه‌گیری غیر مستقیم رطوبت خاک

اکثر روشهای اندازه‌گیری رطوبت خاک غیر مستقیم می‌باشند. به این معنی که خاصیت اندازه‌گیری شده باید به نحوی با استفاده از روندهای واسنجی با مقدار رطوبت مرتبط گردد.

پخش نوترون: در زمان حاضر روش انتشار نوترون احتمالاً معمولی-ترین روش اندازه‌گیری غیر مستقیم رطوبت خاک است. این روش بر این حقیقت استوار است که توانایی اتمهای هیدروژن در کاهش سرعت نوترونهای سریع بیش از اتمهای دیگر است. بنابراین از روی شمارش نوترونهای کند در حوالی منبع تولید نوترونهای سریع می‌توان مقدار اتمهای هیدروژن را تخمین زد. از جایی که مهمترین منبع هیدروژن در اکثر خاکها آب آنهاست، این روش می‌تواند در تخمین مقدار رطوبت خاک روش مناسبی به شمار آید. در خاکهایی که تراکم ریشه زیاد بوده و یادارای مقدار زیادی بقایای مواد آلی می‌باشند، ممکن است مقدار هیدروژن آلی بر تخمین میزان رطوبت مؤثر واقع گردد. ولی این مقدار هیدروژن در مقایسه با هیدروژن موجود در آب خاک کم بوده و می‌توان از آن صرف نظر کرد.

درباره روش پخش نوترون چندین مقاله مبسوط منتشر شده است (برای نمونه به بلچر و همکاران^{۳۴}، ۱۹۵۰؛ هولمز^{۳۵}، ۱۹۵۶ و استون و همکاران^{۳۶}، ۱۹۵۵ مراجعه شود). در حال حاضر دستگاههای تجاری قابل

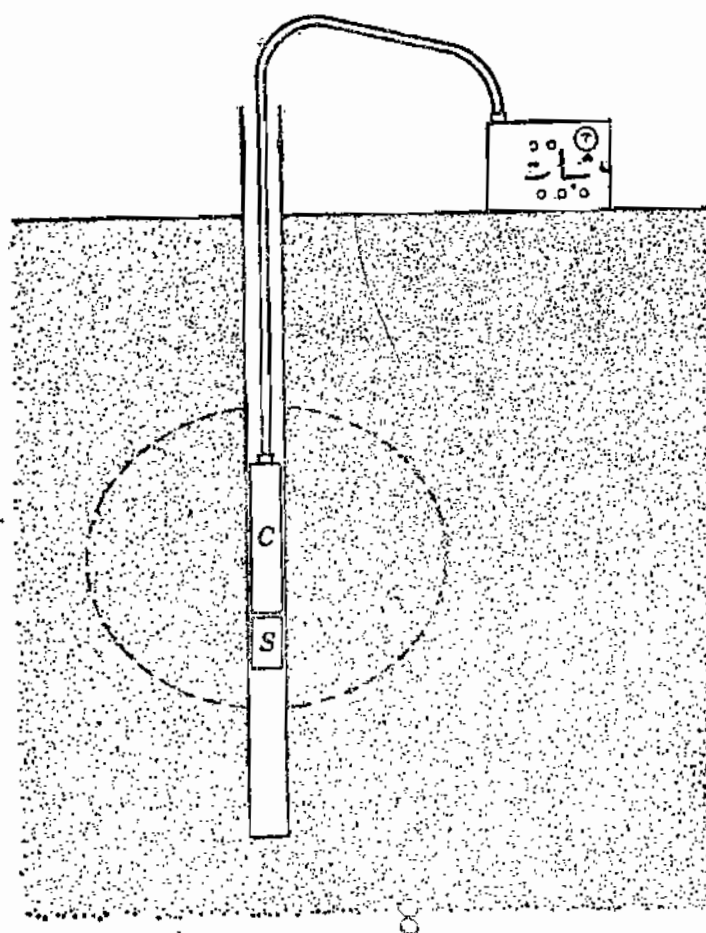
34— Belcher et al

35— Holmes

36— Stone et al

حمل موجود بوده و برای کار در مزرعه نسبتاً مناسب می‌باشند. این دستگاهها تشکیل شده‌اند از يك میله (معمولاً منبع تولید نوترونهای سریع در داخل آن قرار گرفته‌است) و يك لوله شمارش برای دریافت نوترونهای کند که به يك تقویت‌کننده قابل حمل متصل است. در استفاده، میله را داخل لوله‌های اضافی که پوشش پلاستیک دارند فرو برده و شمارش در عمق مورد نظر انجام می‌گیرد. سرعتهای شمارش باید نسبت به آنچه از شرو بردن میله در ظرف پر از آب خالص به دست آمده و سپس با اندازه‌گیریهای مستقیم مقادیر حجمی رطوبت و اسنجی شده است تطبیق و استناد دارد گردد. روشهای و اسنجی نظری نیز به دست آمده‌است (هولمز و جینکینسون^{۳۷}، ۱۹۵۹) و هیولت و همکاران^{۳۸} (۱۹۶۴) مشکلات نمونه‌گیری را مورد بحث قرار داده‌اند. این روش نسبت به روندهای دیگر از مزایای متعدد مهمی برخوردار است. از جمله این که در این روش برای تعادل رطوبت خاک و دستگاه حساس وقتی صرف نشده و نیز حجم زیادی از خاک در عمل دخالت دارد (حدود ۲۰ سانتی‌متر قطر) و می‌توان به این وسیله تغییرات موضعی رطوبت را میانگین کرد. در هر حال در این روش نباید تأثیر بهم‌خوردگی خاک را در اثر فرو کردن لوله‌ها از یاد برد. هم‌چنین حجم زیاد نمونه موجب می‌شود که نتوان يك نقطه مشخص یا نزدیک سطح خاک را نمونه‌گیری کرد مگر آن که اعمال به‌خصوصی انجام گیرد. هم‌چنین سایر منابع اتمهای هیدروژن از قبیل مواد آلی یا مواد دیگری که اهم آنها کالین، آهن و بر است بر نتایج حاصله مؤثرند (هولمز، ۱۹۶۰). این عمل و شکل‌های گوناگون تورم و انقباض موجب می‌گردند که نتوان برای تمام خاکها از

يك نوع واسنجی کلی استفاده کرد .
جذب اشعه گاما : اشتون^{۳۹} (۱۹۵۶) اندازه گیری تغییرات مقدار



شکل ۳-۲ روش تعیین رطوبت در اعماق مختلف خاک بانصب دستگاه
اندازه گیری نوترون در داخل لوله . این دستگاه از يك منبع نوترون سریع
(S) و وسیله شمارش نوترونهای کند (C) تشکیل یافته که میتواند در
داخل لوله پائین رفته و در عمق مورد نظر مقدار رطوبت خاک را تعیین نماید .
نوترونهای کند پس از برخورد با اتمهای هیدروژن موجود در آب خاک به وسیله
يك ثبات که متصل به دستگاه اصلی است اندازه گیری می شود . در این روش

مقدار رطوبت حجم کره‌ای از خاک به قطر تقریبی ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری می‌شود. قطر این کره با کاهش مقدار رطوبت خاک افزایش می‌یابد (از وان باول و همکاران^{۴۰} ۱۹۵۴ باتصحیح).

رطوبت خاک را در رابطه با مقدار تغییرات جذب اشعه گاما مورد بحث قرار داده‌است. مقدار اشعه‌ای که از داخل خاک عبور می‌نماید بستگی به چگالی آن خاک دارد که به نوبه خود تابعی است از تغییرات مقدار رطوبت. اگر چنانچه انقباض و تورم خاک زیاد نباشد از روی تغییرات مقدار اشعه‌ای که از داخل خاک می‌گذرد می‌توان تغییرات مقدار رطوبت آن را تعیین کرد. فرگوسن و گاردنر^{۴۱} (۱۹۶۲) و گور^{۴۲} (۱۹۶۲) دریافتند که این روش در اندازه‌گیری حرکت آب در ستونهای خاک مفید است. ولی در صورتی می‌تواند قابل اعتماد باشد که تغییرات چگالی در مقایسه با تغییرات مقدار رطوبت ناچیز باشد.

این روش مازم به داشتن منبع تشعشع مثل سزیوم، دستگاه گیرنده مثل لوله گایگر یا میله‌های جرقه‌زن و نیز دستگاه ثبات است. آشتون دو لوله پلاستیکی را در دو طرف یک گلدان بزرگ قرار داده در یکی از آنها منبع تولید اشعه و در دیگری دستگاه گیرنده را جایگزاری کرده است. در موقع کار با گلدانهای کوچک یا ستونهای خاک دستگاههای گیرنده و منبع اشعه در دو سمت مخالف گلدان تثبیت می‌شوند تا انتقال اشعه به خوبی انجام یابد.

ذخیره الکتریکی: اساس اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از روش

40— Van Bavel et al

41— Ferguson and Gardner

42— Gurr

ذخیره الکتریکی برایین حقیقت استوار است که ضریب ثابت دین الکتریک آب به مراتب بیشتر از خاک خشک است (نسبت ۸۰ به ۵۰) . از این جهت تغییرات ذخیره الکتریکی بازتابی از تغییرات مقدار رطوبت است .

این روش در اندازه گیری مقدار رطوبت غلات، آرد، مواد غذایی خشک شده و انواع مختلف محصولات صنعتی به کار گرفته می شود . اندرسن و ادلفسن^{۴۳} (۱۹۴۲) ؛ فلچر^{۴۴} (۱۹۳۶) ؛ والی هان^{۴۵} (۱۹۴۶) و دیگران سعی کرده اند که این روش را برای اندازه گیری رطوبت خاک نیز عملی سازند . ولی ، عدم یکنواختی در اتصال الکتریکی باخاک (مگر احتمالاً با استفاده از الکترودهای سطحی) موجب می شود نتوان به مقدار ذخیره الکتریکی اندازه گیری شده اعتماد کرد (دی پلاتر^{۴۶}، ۱۹۵۵) . اندرسن و ادلفسن (۱۹۴۲) و والی هان (۱۹۴۶) گزارش کرده اند اشکال عدم اتصال الکترودها را با محصور کردن آنها در مکعبهائی از گچ پاریس^{۴۷} بر طرف نمایند . مقدار ذخیره الکتریکی با درجه حرارت متغیر بوده و باید نسبت به آن تصحیح شود . ولی ، تأثیر غلظت املاح موجود در محلول خاک بر آن کمتر از روش اندازه گیری باتعین هدایت الکتریکی است . اگرچه این روش از نظر تئوری جالب است ولی هنوز در سطح مزرعه به مرحله عمل در نیامده است .

هدایت حرارتی : چون هدایت حرارتی خاک با کاهش مقدار رطوبت آن تقلیل پیدا می کند شاو و باور^{۴۸} (۱۹۳۹) پیشنهاد نموده اند که تغییر هدایت حرارتی خاک به عنوان معیاری در اندازه گیری رطوبت به کار رود .

43— Anderson and Edlefsen

44— Fletcher

45— Wallihan

46— De Plater

47— Plaster of Paris

48— Shaw and Baver

این روش بعداً توسط دی‌وریز و همکاران^{۴۹} (۱۹۵۵ و ۱۹۵۸) توسعه بیشتری پیدا کرد. عنصر گرم شنونده‌ای را در خاک دفن نموده و با عبور جریان برق به آن حرارت داده می‌شود و سپس میزان حرارتی که از دست می‌دهد اندازه‌گیری می‌شود. این میزان حرارت تابعی است از مقدار رطوبت خاک. این روش مستقل از غلظت املاح خاک بوده و اتصال الکترودها با خاک بسیار مهم است.

این روش در خاکهای بسیار مرطوب و نیز خاکهای ناسدهای که به هنگام خشک شدن منقبض نمی‌شوند بهترین نتیجه را عاید می‌دهد. جانستون^{۵۰} (۱۹۶۲) پیشنهاد کرده است که عناصر حساس به حرارت در داخل مکعبهایی از گچ پاریس گذارده شوند ولی هیزوکی^{۵۱} (۱۹۶۶) گزارش کرده‌اند که کارایی مکعبهای حساس به حرارت کمتر از مکعبهای حساس به الکتریسیته است و دلیل آن را به این نحو ذکر کرده‌اند که در پتانسیالهای کمتر از ۴- بار تغییرات مقدار رطوبت به قدری کم است که بروی هدایت حرارتی بی‌تأثیر می‌باشد ولی تأثیر آن بر هدایت الکتریکی قابل اندازه‌گیری است.

بودورث و پیچ^{۵۲} (۱۹۵۷) نوعی قطعات حساس به هدایت حرارت ساخته‌اند که در آنها یک ترمیستور^{۵۳} داخل مواد متخلخل قرار گرفته و می‌تواند علاوه بر نقش عنصر حساس درجه حرارت را نیز اندازه‌گیری نماید. با این وسیله می‌توان مقدار رطوبتهای سهل‌الوصول را اندازه‌گیری کرد

49— de Veries et al

50— Janston

51— Haise and Kelley

52— Bloodworth and Page

53— thermistor

ولی حساسیت دستگاه در رطوبتهای نزدیک به ظرفیت زراعی بیشتر است .

اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک :

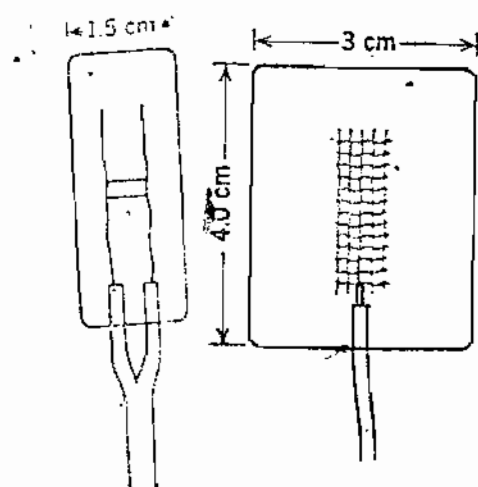
تخمین مقدار رطوبت خاک اکثراً از طریق اندازه‌گیری مستقیم یا غیر مستقیم پتانسیل ماتریک صورت می‌گیرد . مهمترین روشهایی که برای این منظور به کار می‌روند استناد به مقاومت‌های الکتریکی و تانسیمتر^{۵۴} است . قطعات مقاومت‌های الکتریکی : استفاده از تغییرات مقاومت الکتریکی به عنوان معیاری در اندازه‌گیری تغییرات رطوبت خاک از اواخر قرن نوزدهم آغاز شد . اولین کوششها به‌عالی موفقیت آمیز نبود . از این‌حال می‌توان اشکالات مربوط به تماس الکترودها با خاک ، تغییرات مقدار نمکهای خاک و بالا رفتن درجه حرارت مقاومتها را نام برد که هر یک به نحوی بر تغییر مقاومت حاصله از نوسانات رطوبت مؤثرند . بویوکس و مایک^{۵۵} (۱۹۴۰) اشکالات اساسی را با قراردادن الکترودها در داخل قطعات گچ پاریس برطرف نموده‌اند . قطعات گچی که در داخل خاک قرار گرفته‌اند با سیمهای کاملاً عایق کاری شده به دستگاه اندازه‌گیری مقاومت متصل می‌شوند و چون مقدار رطوبت قطعات گچ تابعی از تغییرات رطوبت خاک است ، محذولی که بین دو الکتروود قرار می‌گیرد می‌تواند تغییرات قابل توجهی در هدایت الکتریکی به وجود آورد . قطعات گچ می‌توانند ماهها و حتی سالها در داخل خاک باقی بمانند در صورتی که گچ معمولی یا گچ پاریس در محیطهای اسیدی و مرطوب تجزیه شده و اغلب بیش از یک فصل دوام ندارند . عمر قطعات گچ تجارتي را می‌توان با فرو بردن آنها در صمغ افزایش داد (بویوکس^{۵۶}

54— Tensiometer

55— Bouyoucos and Mike

56— Bouyoucos

۱۹۵۳، ۱۹۵۴، ۱۹۵۴). حساسیت قطعات گچ معمولی بین پتانسیلهای ماتریک ۵/۰ - تا ۱۵ بار بوده و حساسیت آنها در خاکهای خشک بیش از خاکهای مرطوب است. در شکل ۳-۴ تصویری از قطعات گچ و در شکل ۳-۵ رابطه بین مقاومت و مقدار رطوبت نشان داده شده است.



شکل ۳-۴ نمای نیمرخ و بربری قطعات گچ پاریس که با اندازه‌گیری تغییرات مقاومت می‌توان مقدار رطوبت را تعیین نمود. الکترودها از صفحات مشبك فولاد ضد زنگ درست شده‌اند که بالای پلاستیکی از هدیگر مجزا شده و مجموعاً در داخل گچ پاریس قرار دارند (از بویوکس^{۵۷}، ۱۹۵۴).

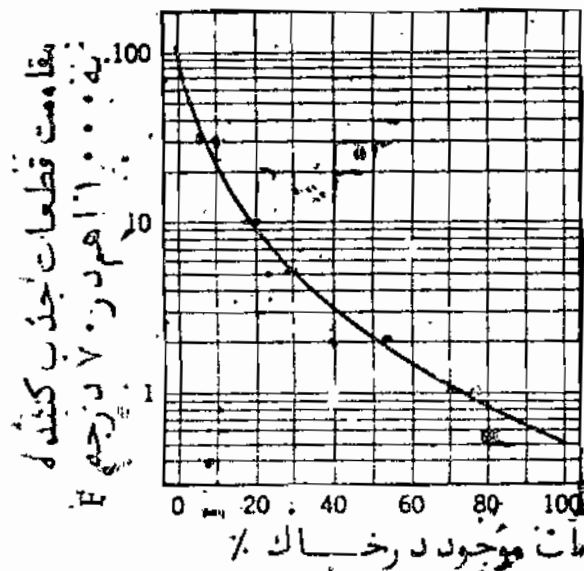
انواعی که در آنها الکترودها داخل نایون (بویوکس^{۵۷}، ۱۹۴۹، ۱۹۵۴) یا پنبه شیشه‌ای (بویوکس و میک^{۵۸}، ۱۹۴۸)؛ کلن و هندریکس^{۵۹}، ۱۹۴۹) قرار گرفته‌اند دارای عمر طولانی بوده و علاوه بر سرعت عمل در پتانسیلهای بالاتر از ۱/۰ - بار حساس‌تر از انواع گچ می‌باشند. ولی حساسیت آنها

57— Bouyoucos

58— Bouyoucos and Mick

59— Colman and Hendrix

نسبت به مقدار نمک خاک بیش از نوع گچی است و در خاکهای خشک نیز حساسیت کمتری دارند. قطعات گچی در برابر نمکها حساسیت کمتری نشان می‌دهند زیرا تأثیر متقابل سولفات کلسیم محلول اثر نمک را خنثی می‌کند و از این نظر کودپاشی تا مقدار ۲۰۰۰ پیوند کود شیمیائی در هراکر نتایج قرائت شده را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند (بریوکس، ۱۹۵۱) اهمیت تأثیر نمکها در خاکهای مختلف متفاوت است (ریچاردز و کمپبل^{۶۰}، ۱۹۵۰). مقاومتی که از پنبه شیشه‌ای یا نایلون پوشیده شده باشند در دوره‌های خشک و مرطوب خاک نتایج متفاوت را عاید می‌دهند (ویور و جامیسون^{۶۱}، ۱۹۵۱). انگلند^{۶۲} (۱۹۶۵) گزارش کرده‌است که واسنجی مقاومتها در د



شکل ۳-۵ مقدار مقاومت گچ پاریس به اهم در رابطه با مقدار رطوبت

خاک لوم سیلنی (بریوکس، ۱۹۵۴).

60— Richards and Campbell

61— Weaver and Jamison

62— England

یا ۶ سال اول ضروری است زیرا نفوذ کلوئیدهای رس یا مواد دیگر به داخل قطعات بر رابطه مقاومت و مقدار رطوبت مؤثر است. نامبرده عمر مقاومتهای نوع پنبه شیشه‌ای را کمتر از ۱۵ سال تخمین زده است. چون مقدار مقاومت با درجه حرارت تغییر می‌کند گاهی اوقات در داخل قطعات گچی ترمیستور جایگزاری می‌شود تا بتوان درجه حرارت را نیز به دست آورد. در کلیه این روشها که از مواد متخلخل استفاده می‌شود اثر «پس ماند»^{۶۳} مشاهده شده و حساسیت آنها در دوران خشکی بیش از دوران مرطوب است. زیرا خشک شدن به کندی انجام شده و برای تعادل بین خاک و قطعه کچ زمان بیشتری در اختیار می‌باشد. خوشبختانه دوران خشکی در رابطه بارش گیاه اهمیت بیشتری دارد.

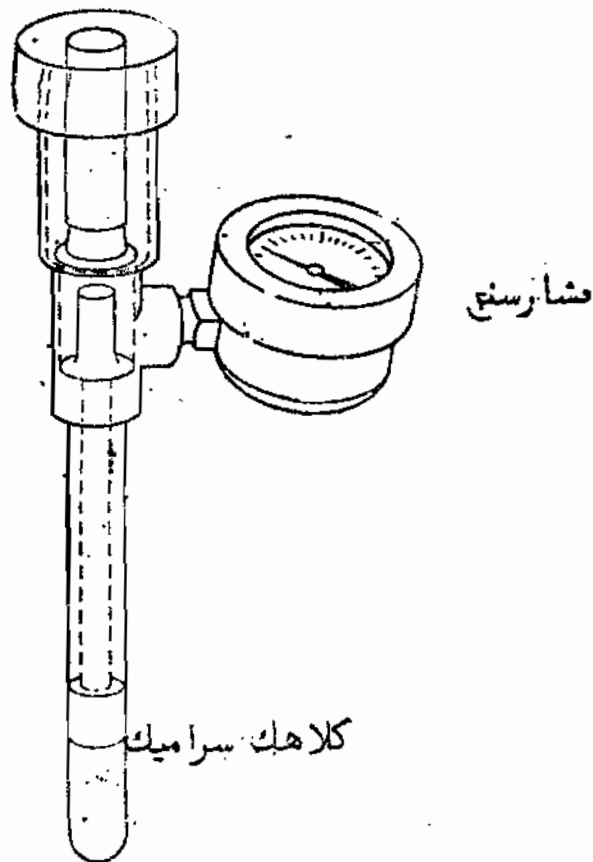
برای واسنجی مقاومتهای گاهی اوقات آنها را داخل صفحات فشاری قرار داده و مقدار مقاومت آنها تحت فشارهای مختلف اندازه‌گیری می‌گردد (هیزو کلی^{۶۴}، ۱۹۴۶). این چنین واسنجی موجب می‌شود بتوان از روی قرائت مقاومت مقدار پتانسیل ماتریک را به دست آورد. مقاومتهای می‌توان با استخراج نمونه خاک از نزدیک قطعات گچ و اندازه‌گیری وزنی رطوبت نسبت به مقدار رطوبت نیز واسنجی نمود. گاهی اوقات نیز واسنجی در آزمایشگاه و با استفاده از نمونه‌های خاک مورد نظر انجام می‌شود (کلی^{۶۵}، ۱۹۴۴). متأسفانه منحنی‌های واسنجی هر چند ماه تغییر کرده و لازم است

63— hysteresis

64— Haise and Kelley

65— Kelley

که دوباره واسنجی تکرار گردد (انگلند^{۶۶}، ۱۹۶۵، هولمز^{۶۷}، ۱۹۵۶). شرح کامل نصب و واسنجی مقاومتهارا می توان در مقالات آچینسون و همکاران^{۶۸} (۱۹۵۱)؛ کئی و همکاران^{۶۹} (۱۹۴۶)؛ نپ و همکاران^{۷۰} (۱۹۵۲) و اسلاچر و مک ایل روی^{۷۱} (۱۹۶۱) مطالعه کرد. برخلاف نکات ضمنی که دارند،



شکل ۶-۲ نوع تجزیتی تانسیومتر که دارای بدنه پلاستیک و کلاهک سرامیک بوده و در قسمت بالا پیچی تعبیه شده است که می توان از آنجا

66— England

67— Holmes

68— Aitchinson et al

69— Kelley et al

70— Knapp et al

71— Slatyer and McIlroy

دستگاه را پُر آب کرد. دستگاه اندازه‌گیری خلاء از نوع بودن نیز در کنار آن نصب شده است.

دفعات مقاومت به‌خصوص در خاکهای خشك (که استعمال تانسیومتر با اشکال صورت می‌گیرد) مورد استفاده وسیعی پیدا کرده‌اند. از قطعات مقاومت به‌خصوص در تعیین تغییرات ناخالص مقدار رطوبت بین دو آبیاری استفاده زیادی می‌شود. همچنین با نصب مقاومتهای در اعماق مختلف می‌توان پیشرفت جبهه رطوبت را از روی تفسیر ناگهانی مقدار مقاومت به‌خوبی تعقیب کرد.

تانسیومتر (مکش‌سنج): تنها راه اندازه‌گیری مستقیم مقدار پتانسیل ماتریک یا موئینه‌ای در مزرعه استفاده از تانسیومتر است. از این وسیله می‌توان در تعیین مقدار رطوبت خاک نیز استفاده نمود. اساس ساختمان آنها تشکیل شده است از يك كلاهك متخلخل پُر از آب که در عمق دلخواه از خاک قرار گرفته و به وسیله يك لوله مرتبط پُر از آب به فشارسنج یا دستگاه اندازه‌گیری خلاء منتهی می‌گردد (به شکل ۶-۳ مراجعه شود).

فشارسنج مقدار افت فشار آب داخل لوله را که با پتانسیل ماتریک رطوبت خاک در حال تعادل است اندازه‌گیری می‌کند. تانسیومتر در خاکهای مرطوب وسیله بسیار عالی اندازه‌گیری است ولی اگر پتانسیل ماتریک از ۰/۸- بار تجاوز کند هوا به داخل كلاهك نفوذ کرده و استفاده از این وسیله را غیر علمی می‌سازد. اگر چه رشد سریع گیاه در حدودی از رطوبت انجام می‌شود که این وسیله به آن حساس است ولی پتانسیلهای پائین‌تر نیز برای متخصصین کشاورزی و اکولوژی حائز اهمیت است. سایر محدودیتهای

دیگر از قبیل پرآب کردن مجدد لوله پس از ورود هوا، تراکم رشد ریشه در اطراف کلاهک، نوسانات اتفاقی روزانه به علت انتقال حرارت از لوله آب نسبتاً جزئی می‌باشند.

گرچه در تانسیمتر واحد منفی فشار قرائت می‌شود ولی می‌توان آن را نسبت به مقدار رطوبت واسنجی نمود تا بشود عدد قرائت شده را به درصد رطوبت تبدیل کرد. ریچاردز^{۷۳} (۱۹۴۹، ۱۹۵۴) و اسکوفیلد^{۷۴} (۱۹۴۵) مطالب زیادی پیرامون واسنجی و استفاده از تانسیمترها انتشار داده‌اند.

اندازه‌گیری پتانسیل رطوبت خاک:

باروشهای صحرایی اندازه‌گیری رطوبت خاک، که در آنها از قطعات گچی و تانسیمتر استفاده می‌شود، فقط می‌توان جزء ماتریک پتانسیل کلی آب خاک را تخمین زد نه جزء اسمتیک را. معمولاً از اجزاء فشار و ثقلی پتانسیل صرف نظر می‌شود. ولی ممکن است پتانسیل اسمتیک به خصوص در نواحی خشک یا در اراضی که زیاد کودپاشی شده (شکل ۸-۳) و نمک در آنها جمع شده باشد با اهمیت باشد. متأسفانه در حال حاضر روش مناسبی که به توان به وسیله آن پتانسیل کلی آب خاک را در مزرعه به دست آورد وجود ندارد.

چنین به نظر می‌رسد که برخی از روشهایی که اخیراً ارائه شده است مفید واقع نگردند. ریچاردز (۱۹۶۵) در روش خود از دو ترمیستور نوع تلاسریید^{۷۵} استفاده کرده است که آنها را به صورت کتابی روی هم سوار

73-- Richards

74-- Scofield

75-- Glass bead

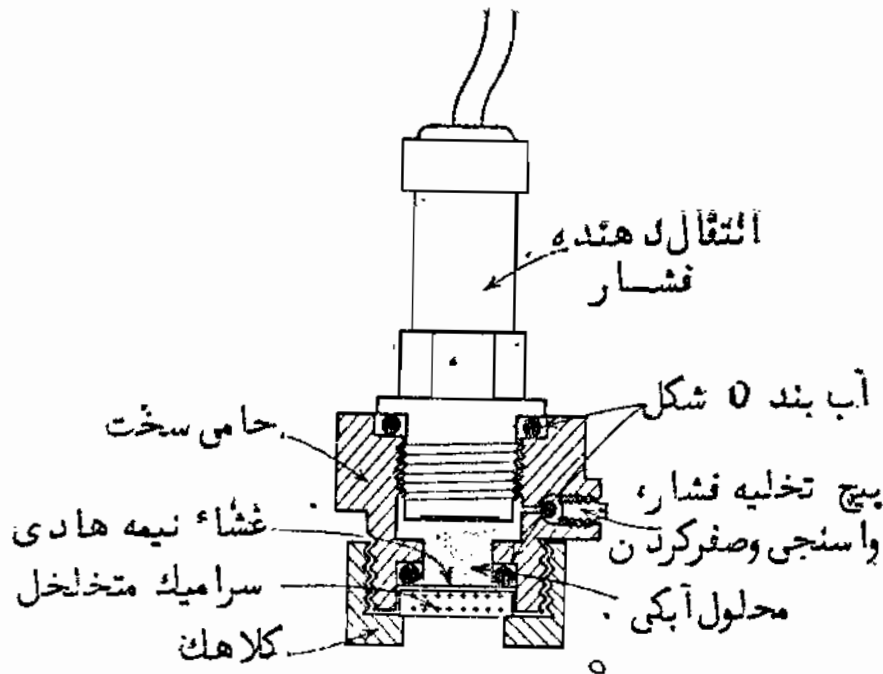
نموده و داخل خاک جایگزاری کرده‌است. یکی از ترمیستورها مواجهه با هوای خاک بوده به‌طوری‌که آب به‌وسیله سطح آن جذب می‌شود. جذب آب تازمانی است که بین آب موجود روی ترمیستور، هوا و خاک اطراف تعادلی از نظر پتانسیل آب برقرار گردد. ترمیستور دیگر داخل محفظه کوچک محتوی سیلیکاژل^{۷۶} قرار گرفته‌است. اگر ترمیستورها بابرقراری جریان الکتریسته گرم شوند، ترمیستوری که داخل سیلیکاژل قرار دارد به‌سرعت گرم شده و به‌درجه حرارت هوا می‌رسد. دراین زمان است که مقدارحرارت داده‌شده به ترمیستور معادل مقدار حرارتی است که ترمیستور از دست می‌دهد. ترمیستور مرطوب نخواهد توانست به‌درجه حرارت ترمیستور خشک به‌رسد مگر با ازدست دادن آب. مدت‌زمان لازم برای آنکه درجه حرارت دو ترمیستور معادل گردد تابعی است از پتانسیل رطوبت خاک.

درروش دیگری که ارائه‌شده‌است (پک و رابیدج^{۷۷}، ۱۹۶۶) اسمومتر^{۷۸} کوچکی در خاک نصب می‌گردد و مقدار فشار داخلی آن به‌وسیله یک مبدل فشار کوچک اندازه‌گیری می‌شود. اگر چنانچه بین غشاء و خاک فضائی پر از هوا باقی بماند پتانسیل کلی آب خاک اندازه‌گیری می‌شود، اگر چنانچه فضائی از هوا باقی نمانده و غشاء نسبت به یونها نفوذپذیر باشد پتانسیل ماتریک اندازه‌گیری می‌گردد. گرچه بر روی هیچ‌کدام از این روشها آزمایش زیادی انجام نشده ولی به‌نظر می‌رسد استفاده هریک از آنها احتمالاً امکان‌پذیر است.

76— Silica gel

77— Peck and Rabbidge

78— Osmometer



شکل ۷-۲ دستگاه اندازه‌گیری مستقیم پتانسیل آب خاک . صفحه متخلخل از غشائی نیمه هادی مثل غشاءهای دیالیز^{۷۹} (غشاءهایی که اجسام را بر حسب اختلاف در قابلیت پخشیدگی مجزا می‌کنند) پوشانده شده و به یک محفظه پر از محلول پلی اتیلن گلی کل^{۸۰} که پتانسیل اسمتیک آن کمتر از خاک است بسته شده است . در قسمت بالا یک مبدل فشار تعبیه شده است . اختلاف بین فشار تعادل و پتانسیل اسمتیک محلول عبارت است از پتانسیل ماتریک خاک . اگر چنانچه بین صفحه متخلخل و خاک هوا پیدا شود جریان مایع قطع شده و می‌توان پتانسیل آب خاک را اندازه‌گیری کرد (از یک و رابیع : ۱۹۶۶)

روش مناسب‌تری که راولین و دالتن^{۸۱} (۱۹۶۷) پیشنهاد کرده‌اند بر این مبناست که اگر حرارت و آب به‌توانند آزادانه بین خاک و محفظه ترموکوپل جریان پیدا کنند می‌توان از تغییرات درجه حرارت صرف‌نظر کرد . نامبردگان با گذاشتن ترموکوپل داخل گویهای چینی متخلخل و قرار دادن

79— dialysis memberane

80— Polyethylene glycol

81— Rawlin and Dalton

آن در داخل خاک توانستند با وجود چنین نوسانات زیاد روزانه درجه حرارت مقدار تغییرات پتانسیل آب را اندازه‌گیری نمایند .

اندازه‌گیری رطوبت خاک در آزمایشگاه :

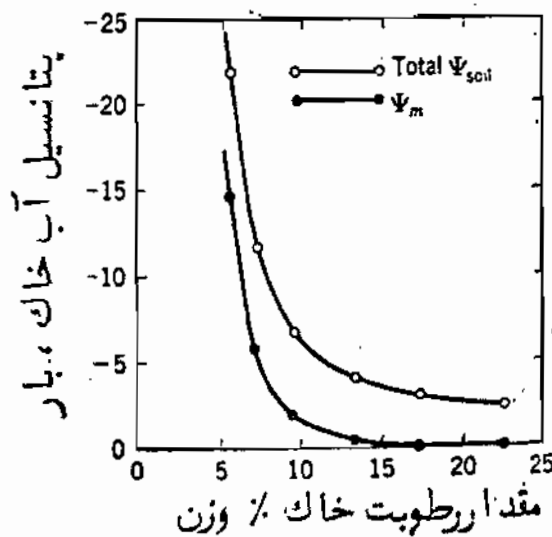
گرچه از روشهایی که قبلاً تشریح شدند نیز می‌توان در آزمایشگاه یا گلخانه استفاده کرد ولی هدف اولیه از توسعه این روشها کاربرد صحرائی آنها بوده است . برای ارزیابی رطوبت خاک در نمونه‌های برداشت شده و یا نمونه‌هایی که در شرایط کنترل شده آزمایشگاه نگهداری می‌شوند کوششهای قابل توجهی انجام شده است . این روشها اکثراً برای واسنجی بین مقدار رطوبت خاک و اجزاء پتانسیل آب خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند .

اندازه‌گیری پتانسیل آب خاک :

در خاکهای با مقدار املاح کم ، پتانسیل آب اساساً معادل پتانسیل ماتریک یا موئینه‌ای است و برای تعیین پتانسیل کلی آب در مزرعه استفاده از تانسیومتر به خصوص در شرایطی که مقدار آن بیش از ۰/۸- بار باشد نتیجه خوبی را عاید می‌دهد. اگر چنانچه منحنی رابطه بین پتانسیل ماتریک و مقدار رطوبت در دست باشد می‌توان از روی آن مقدار پتانسیل آب را اندازه‌گیری کرد . در هر حال اگر مقدار نمک خاک به اندازه‌ای باشد که پتانسیل اسمتیک حاصل از آن قابل اندازه‌گیری به‌شود ، پتانسیل ماتریک به‌تنهایی نمی‌تواند مقدار پتانسیل کلی آب را نشان دهد . این حالت به خصوص در خاکهایی که به مقدار زیاد کودپاشی شده‌اند و نیز در خاکهای شور صادق است (به شکل ۸-۲ مراجعه شود) .

تعادل بخار آب : یکی از اولین کوششهایی که در جهت اندازه‌گیری

پتانسیل آب خاک صورت گرفته توسط شول^{۸۲} (۱۹۱۶) بوده است که مقدار جذب آب را به وسیله بذره‌های خشک کالکلیور^{۸۳} از خاکهای با مقادیر رطوبت گوناگون اندازه‌گیری کرده است. از جایی که وی مقدار جذب آب را توسط بذرها از محلولهای با فشارهای اسمتیک مختلف تعیین کرده بود توانست مقدار تقریبی نیروی نگهداری آب در خاک را محاسبه نماید. گرادم^{۸۴} (۱۹۲۸)؛ هانسن^{۸۵} (۱۹۲۶) و دیگر دانشمندان اروپائی توانسته‌اند با استفاده



شکل ۳-۸ رابطه بین پتانسیل کلی رطوبت خاک و پتانسیل ماتریک با مقدار رطوبت برای خاک گلدانی مرکب از ماسه، لوم و پیت. تفاوت زیادی که بین پتانسیلهای ماتریک و کلی مشاهده می‌شود مربوط به جزء اسمتیک^{۸۶} بوده که نتیجه افزایش کود شیمیائی می‌باشد (از نیومن^{۸۶}، ۱۹۶۶).

82— Shull

83— Cocklebur (*Xanthium pennsylvanicum*)

84— Gradman

85— Hansen

86— Newman

از نوارهای کاغذی اشباع شده از محلولهای باغلظت گوناگون مقدار پتانسیل آب خاک را محاسبه کنند. نوارها قبل و بعد از قرار گرفتن داخل خاک توزین می‌شوند و مقدار پتانسیل آب خاک (ساگرافت^{۸۷}) معادل فشار اسمتیک محلولی است که نوار کاغذ مربوط به آن پس از قرار گرفتن داخل خاک کاهش یا اضافه‌وزنی نداشته باشد. این روش، اگر چنانچه درجه حرارت کنترل می‌شود می‌تواند هم در مزرعه و هم در آزمایشگاه مفید واقع شود.

روش تعادل بخار آب که توسط اسلاچر^{۸۸} (۱۹۵۸) تشریح شده است نیز برای خاکها قابل استفاده است. هرچند که برخی از روشهای آزمایشگاهی اندازه‌گیری پتانسیل آب خاک بر مبنای اندازه‌گیری کاهش نقطه انجماد آب پایه‌گذاری شده‌اند ولی اساس کار در اکثر آنها اندازه‌گیری فشار بخار نسبی است.

روش کریوسکپی^{۸۹}: اساس این روش تعیین مقدار نزول نقطه انجماد آب موجود در نمونه خاک (کمپ بل و همکاران^{۹۰}، ۱۹۴۹) و محاسبه پتانسیل اجسام حل‌شدنی با استفاده از رابطه بین پتانسیل شیمیائی بانزول نقطه انجماد است. البته غلظت کم آب در خاک و نیز طبیعت نیروهای پیوندکننده آب به جزء جامد خاک موجب بروز اشتباهاتی در این روش می‌گردند. در خاکهای خشک به اشکال می‌توان مقدار کافی آب را در نقطه‌ای جمع نموده آن را متبلور ساخت و هرچه از مقدار رطوبت خاک کاسته شود این اشکال بیشتر ظاهر می‌شود. علاوه بر این اگر مقداری از آب خاک منجمد شود

78— Saugkraft

88— Slatyer

89— Cryoscopic method

90— Campbell et al

پتانسیل آب باقی مانده کاهش پیدا می کند . لهذا تعیین دقیق نقطه انجماد در خاکهای خشک دشوار بوده و نتیجتاً در محاسبه مقدار پتانسیل اشتباهاتی بروز خواهد کرد .

روش سایکرومتری^{۹۱} : خوش آتیه ترین روش اندازه گیری پتانسیل و رطوبت خاک که مشتمل بر تعیین مقدار فشار بخار نسبی نیز می باشد استفاده از سایکرومترهای ترموکوپل است . اساس این روش رابطه بین پتانسیل شیمیائی آب و نزول فشار بخار است که در فصل اول معادله (۷-۱) از آن یاد شده است .

معمولی ترین سایکرومترها دو نوع می باشند . نوع اولی توسط اسپانر^{۹۲} (۱۹۵۱) ساخته شده و مونتهیت و اوان^{۹۳} (۱۹۵۸) آن را اصلاح کرده اند . نوع دیگر ساخته ریچاردز و اوگاتا^{۹۴} (۱۹۵۸) است . طرز کار سایکرومترهای ترموکوپل در فصل دهم تشریح شده است . در این جا لازم به تذکر است که علاوه بر اندازه گیریهای آزمایشگاهی در حال حاضر اندازه گیری صحرائی نیز به روش سایکرومتری امکان پذیر است (راولین و دالتن^{۹۵}، ۱۹۶۷) .

اندازه گیری پتانسیل ماتریک :

برای تعیین مقدار پتانسیل اسمتیک یا مؤینه ای در آزمایشگاه غالباً از صفحات فشاری^{۹۶} یا دستگاههای تولید فشار غشائی^{۹۷} استفاده می شود .

91— Psychrometric method

92— Spanner

93— Monteith and Owen

94— Richards and Ogata

95— Rawlin and Daton

96— Pressure plat

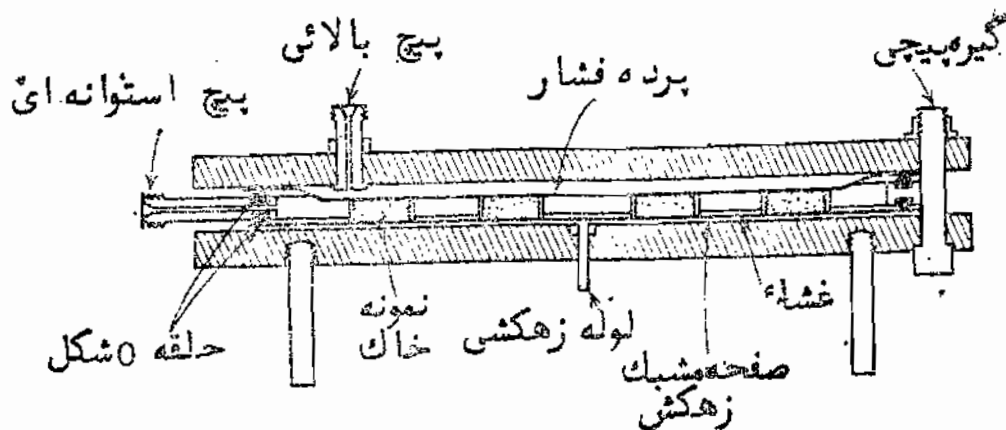
97— Pressure merabrane

این دستگاهها برای اولین بار توسط ریچاردز^{۹۸} (۱۹۴۹ ، ۱۹۵۴) ساخته شده‌اند. در این روش نمونه خاکی که قبلاً خیس شده است روی صفحه‌ای که نسبت به آب و اجسام حل‌شدنی نفوذپذیر است قرار می‌گیرد. خاک و صفحه مجموعاً داخل محفظه‌ای واقع شده و بین دو طرف غشاء اختلاف فشاری برقرار می‌گردد. اختلاف فشار معمولاً به وسیله دستگاه مکش از زیر غشاء یا فشار گاز (معمولاً با استفاده از سیلندرهاى هوای فشرده) از بالای دستگاه داده می‌شود. وقتی جریان آب خروجی متوقف گردید دال این است که بین پتانسیل مؤینه‌ای و فشار وارده تعادل برقرار شده است. در این هنگام نمونه را بیرون آورده و مقدار رطوبت آن به طریق وزنی تعیین می‌گردد. گاهی اوقات در هر يك از مراحل افزایش فشار مقدار آب خروجی اندازه‌گیری می‌شود تا به این وسیله تعیین مقدار رطوبت تکرار گردد.

نمونه معمولی دستگاههای غشاء فشاری در شکل ۳۹ نشان داده شده است. در مکش یا فشارهای کم از سرامیک و در فشارهای زیاد از غشاءهای ساوازی که روی صفحه مشبك فلزی تثبیت شده است استفاده می‌گردد. صفحات سرامیک موجود در بازار می‌توانند فشارهای تا ۱۵- بار را تحمل نمایند.

غالباً اندازه‌گیری بر روی نمونه‌های کوچک خاک که داخل محفظه‌های حلقه‌ای شکل به قطر ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱/۵ سانتی‌متر قرار گرفته‌اند انجام می‌شود. در آن واحد حدوداً ۲۰ نمونه را می‌توان اندازه‌گیری کرد. نمونه‌ها ممکن است طبیعی بوده یا از خاکهایی باشند که سنگریزه‌های آن قبلاً با خرد کردن و الک نمودن آن جدا شده باشند. الریک و تانر^{۹۹} (۱۹۵۵)

پیدا کرده‌اند که اگر نمونه خاک قبلاً الک شده باشد مقدار تخمین رطوبت در پتانسیل‌های کمتر از ۱ بار حدود ۳۰ درصد بیشتر و در پتانسیل‌های بالاتر از ۱ بار ۱۰ درصد کمتر از مقدار واقعی آن می‌باشد. یانگ و دیکسون^{۱۰۰} (۱۹۶۶) نیز گزارش کرده‌اند که اگر نمونه خاک الک شده باشد تخمین مقدار ظرفیت نگهداری بیش از مقدار واقعی خواهد بود. در هنگام کار با نمونه‌های خاک باید همواره احتمال اثرات عواملی را که مربوط به تهیه نمونه قبل از اندازه‌گیری می‌شوند در نظر داشت. در مورد خاک‌هایی که به هنگام خشک شدن متبعض می‌گردند اشکالات مربوط به تماس نمونه خاک با غشاء مشاهده شده است. ریچاردز و ریچاردز^{۱۰۱} (۱۹۶۲) یک نوع محفظه حلقوی شکلی را پیشنهاد نموده‌اند که در آن نمونه خاک به شکل نان شیرینی دونات^{۱۰۲} در



شکل ۹-۳ دستگاه غشاء فشاری برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک در پتانسیل‌های ماتریک گوناگون: خاک در داخل حلقه‌های فلزی به قطر ۵ سانتی‌متر و عمق ۱/۲ سانتی‌متر که روی غشاء گذاشته شده‌اند قرار می‌گیرد. هوای فشرده از پیچ سیلندر و هوای فشرده‌تر از پیچ بالائی وارد می‌شود تا از طریق دیافراگم به نمونه خاک فشار وارد آورده آن را به سختی

100— Young and Dixon

101— Richards and Richards

102— doughnut

به غشاء به چسباند . در بعضی از دستگاه‌ها به جای غشاءهای نوع استات سلولز از صفحات سرامیک استفاده می‌شود .

اطراف غشاء سیلان‌داری قرار می‌گیرد . به این ترتیب تماس نمونه خاک با غشاء در هنگام خشک شدن حفظ می‌گردد .

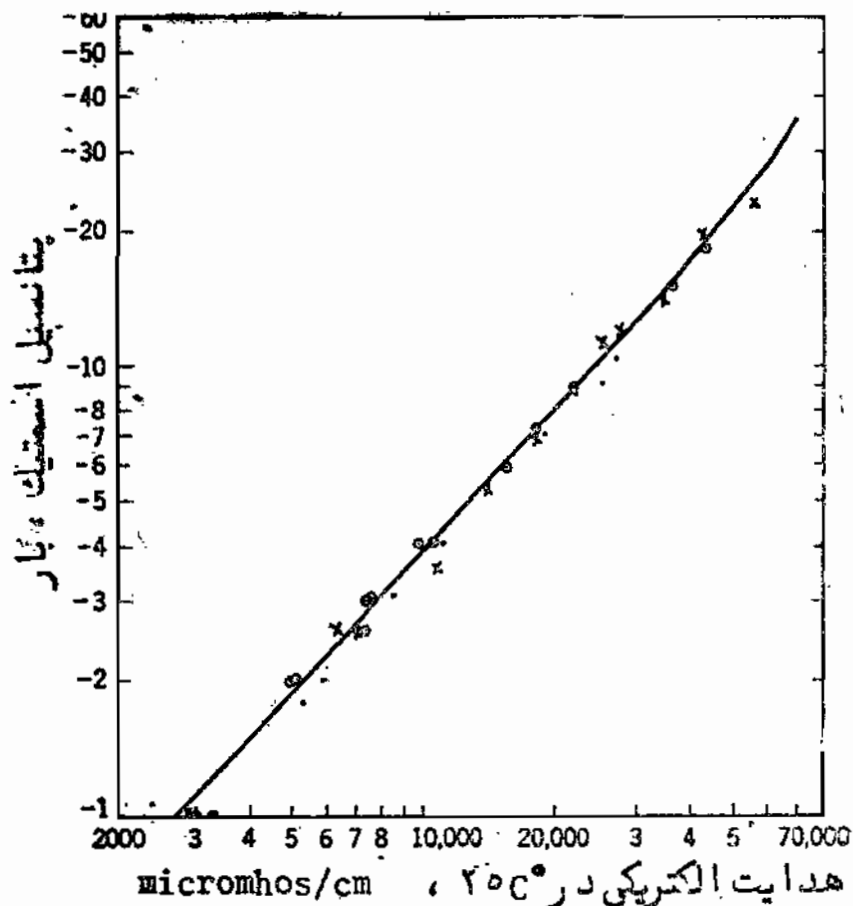
اندازه‌گیری پتانسیل اجسام حل‌شدنی یا اسمتیک :

اندازه‌گیری فشار اسمتیک، یا پتانسیل اجسام حل‌شدنی یا اسمتیک، نقطه بر روی محلولی که از خاک استخراج شده باشد عملی است . برای تهیه عصاره مقداری آب به نمونه خاک اضافه می‌شود تا به حد فوق اشباع برسد، بعد از آن مخلوط صاف می‌گردد تا «عصاره اشباع» به دست آید (ریچاردز^{۱۰۳} ۱۹۵۴) سپس پتانسیل اسمتیک به روش کریوسکپی (که در مورد شیر گیاهی به کار می‌رود) یا به روش سایکرومترهای فشاربخار (که در مورد اندازه‌گیری پتانسیل کل به کار رفته و بعداً تشریح خواهد شد) اندازه‌گیری می‌شود .

هدایت الکتریکی خاک نیز اغلب اندازه‌گیری می‌گردد زیرا معمولاً بین هدایت الکتریکی و پتانسیل اسمتیک عصاره اشباع رابطه نزدیکی وجود دارد (کمپ بل و همکاران^{۱۰۴}، ۱۹۴۹ / ریچاردز، ۱۹۵۴) . این رابطه در شکل ۱۰-۲ نشان داده شده است .

فشار اسمتیک عصاره اشباع با استفاده از ضریب ساده‌ای نسبت به محلول خاک مزرعه که غلظت آن بیشتر از عصاره اشباع است تصحیح می‌گردد . اگرچه این روش برای بسیاری از هدفها قانع‌کننده است ولی باید دانست که آنچه به دست می‌آید تخمینی از مقدار واقعی است زیرا، درجه

یونیزه شدن و ضریب اسمتیک نمکهای مختلف بادرجه حرارت ، غلظت نمکهای دیگر تغییر می کند .



شکل ۱۰-۳ رابطه بین پتانسیل اسمتیک محلول خاک و هدایت الکتریکی آن برحسب میکرواهم در سانتی متر . آمارها به مربوط اندازه گیری روی عصاره های خاک و محلولهای مواد غذایی است . (از ریچاردز ۱۹۵۴ ، جدول ۶) .

روشهای تجربی کنترل رطوبت خاک :

در رابطه با کنترل ذخیره آب برای گیاه دو نوع اشکال وجود دارد .

اشکال اول فراهم آوردن منبعی است که آب را به‌طور یکنواخت در اختیار گیاهانی که برای هدفهای تجربی رشد داده می‌شوند قرار دهد و اشکال دیگر مواجه کردن گیاه بامقادیر مختلف و کنترل‌شده تنش رطوبت خاک است .

فراهم آوردن ذخیره یکنواخت آب :

یکی از بارزترین اشکالات در کنترل محیط رشد گیاه عدم توانایی در فراهم آوردن ذخیره یکنواخت آب است. در داخل گنخانه‌ها، فیتوترونها^{۱۰۵} و یا محفظه‌های رشد معمولاً گیاهان نسبتاً بزرگ در گلدانهای کوچک پر از رومی کولیت^{۱۰۶}، سنگ‌ریزه یا مواد دیگر قرار گرفته و بامقدار ذخیره‌آبی کم رشد می‌کنند. از این نظر نوسانات مقدار ذخیره‌آب غالباً شدید می‌باشد. نوسانات زیاد مقدار رطوبت خاک اکثراً در گنخانه‌هایی اتفاق می‌افتد که آبیاری بی‌قاعده گلدانها در مقدار ذخیره آب هر یک از آنها تفاوت‌های فاحشی را ایجاد می‌کند و برنامه مرتب آبیاری نخواهد توانست اختلاف در میزان تبخیر و تعرق را جبران نماید .

وجود چنین اشکالاتی از مدت‌ها قبل شناخته شده بود. لوینگ استن^{۱۰۷} (۱۹۰۸، ۱۹۱۸) سعی کرد با قراردادن مخروطهای توخالی سفالی به‌نام «مخروطهای آبیاری خودکار»^{۱۰۸} در وسط هر یک از گلدانها و اتصال آنها به منبعی که به‌تواند باتخلیه آب رطوبت را تامین کند این اشکالات را برطرف سازد. در شکل ۱۱-۳ نمونه‌ای از این روش مشاهده می‌شود. متأسفانه

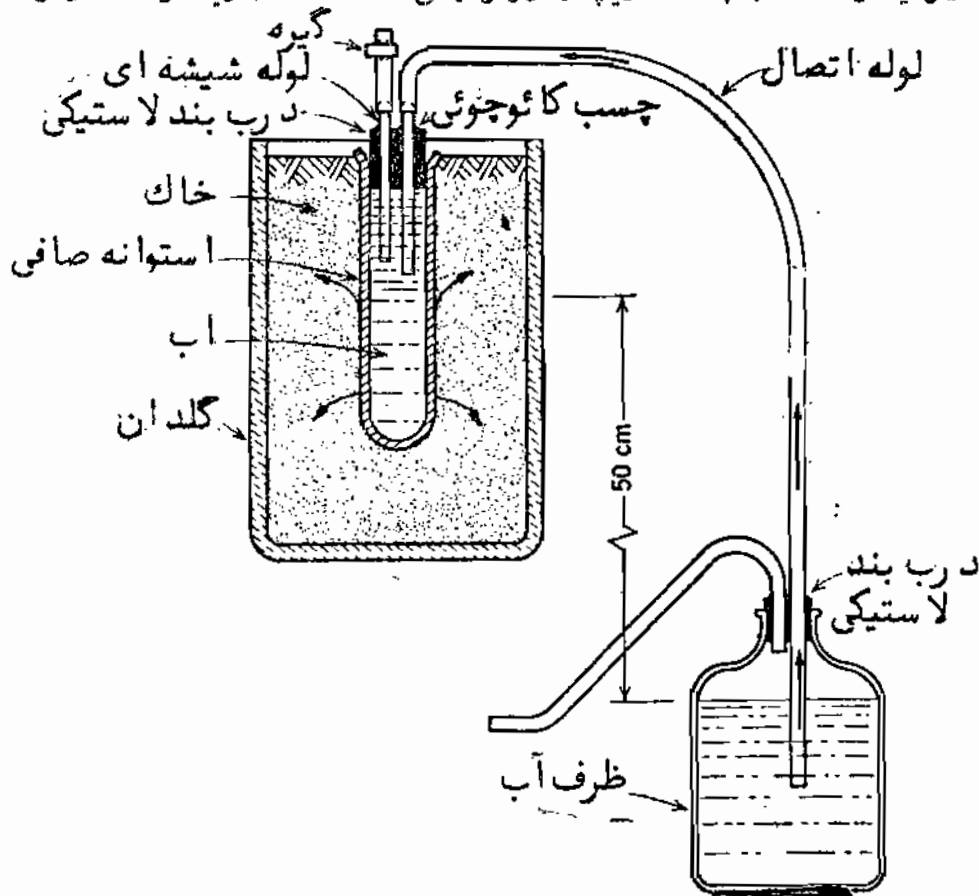
105— Phytotron

106— Vermiculite

107— Livingston

108— autoirrigator cone

در فواصل چند سانتی متری از مخروط خاک خشک شده و تراکم ریشه در اطراف مخروط زیاد می گردد. روش پیشرفته دیگر در توزیع آب استفاده از گلدانهای دوجداره است که جدار داخلی آنها سفالی و جدار خارجی لعابدار می باشد و آب در فضای بین دوجدار قرار می گیرد (ویلسون^{۱۰۹}، ۱۹۱۹، ریچاردز و بلود^{۱۱۰}، ۱۹۳۴). این روش نیز نمی تواند در مورد گیاهان بزرگ که مقدار تعرق سریع دارند روش مناسبی در فراهم آوردن ذخیره یکنواخت آب باشد (ریچاردز و لومیس^{۱۱۱}، ۱۹۴۲). رید و همکاران^{۱۱۲}



شکل ۱۱-۲ سیستم آبیاری خودکار در گلدانها ، با پائین آوردن منبع

109— Wilson

110— Richards and Blood

111— Richards and Loomis

112— Read et al

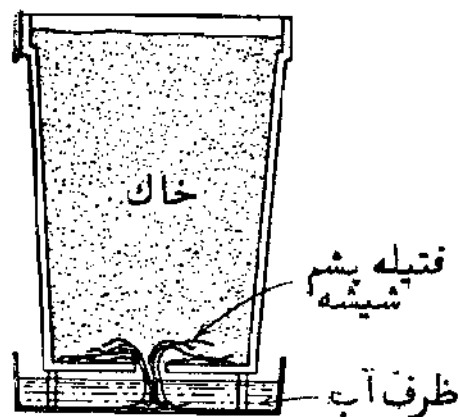
آب به‌زیر خاک پتانسیل ماتریک نیز به‌مقدار کمی کاهش پیدا می‌کند (از رید،

فلك و پلتن^{۱۱۳} ۱۹۶۲).

(۱۹۶۲) اخیراً گزارش کرده‌اند که با استفاده از سیستم آبیاری خودکار توانسته‌اند پتانسیل اسمتیک ثابتی معادل ۰.۵ سانتی‌متر آب را در خاک تثبیت نمایند.

کنترل آب در گلخانه‌ها و خزانه‌ها:

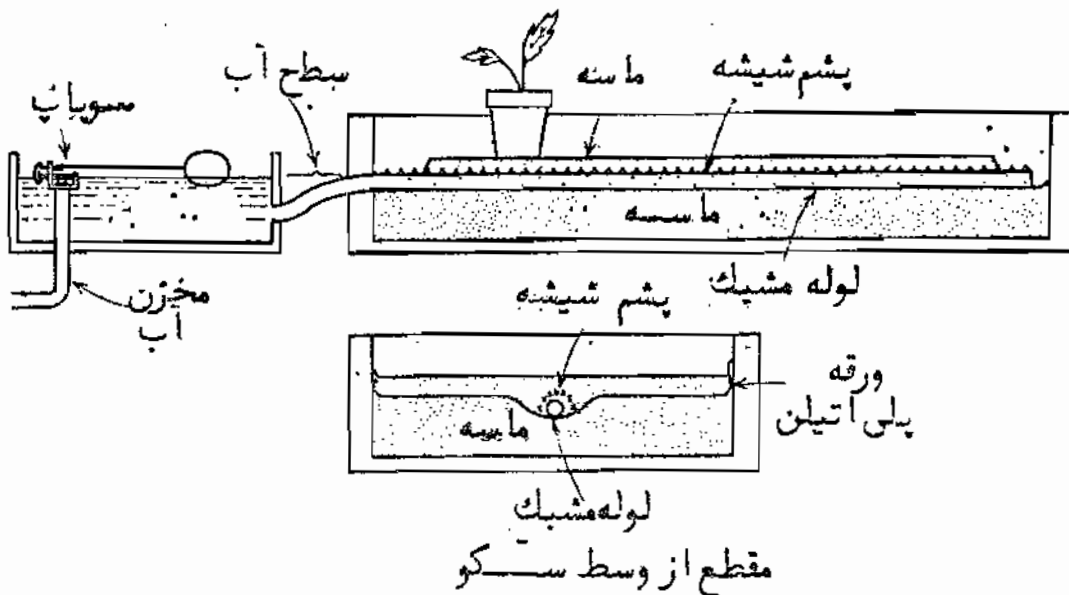
متخصصین گلخانه توجه زیادی به توسعه روشهای آبیاری گلخانه‌ها معطوف داشته‌اند تا علاوه بر صرفه‌جویی در مقدار کار یکنواختی ذخیره‌آب نیز حفظ گردد. پست و سیلی^{۱۱۴} (۱۹۴۳) اکثر روشهای اولیه را تشریح نموده‌اند. يك روش ساده این است که رشته‌هایی از نخ شیشه را از سوراخ



شکل ۱۲-۳ مقطع يك گلدان كوچك خانگی با طرز آبیاری خودکار.

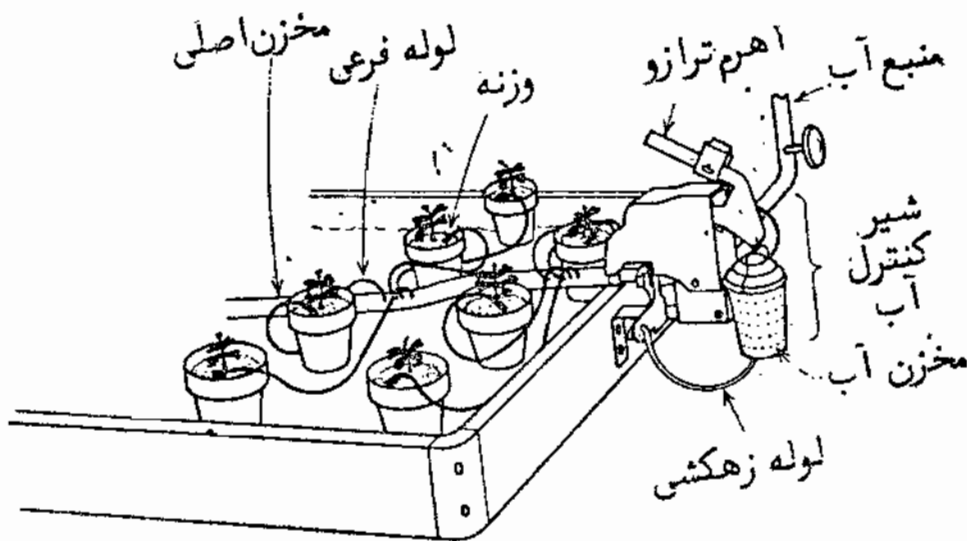
گلدان و ظرف آب از جنس پلاستیک می‌باشند رشته‌هایی از پشم شیشه آب را از ظرف به خاک منتقل می‌کنند.

ته گلدان گذرانیده و در ظرف آبی قرار می‌گیرد تا به این وسیله تماس آب با خاک زیادتر شود (به شکل ۱۲-۳ مراجعه شود). با این روش می‌توان (بخصوص در مورد گیاهان خانگی که اغلب یا با کمبود یا باز یادی آب مواجه هستند) رطوبت خاک را حدوداً در حد ظرفیت نگهداری تثبیت کرد. پست و سیلی (۱۹۴۳) روشهای متعددی برای آبیاری سکوه‌های گلخانه‌ها پیشنهاد کرده‌اند. معمولی‌ترین این روشها استفاده از سکوه‌های نفوذناپذیر V شکل است که عمق آنها ۲ اینچ بوده و قطعات ناودانی شکل یا تنبوشه‌های دونیم شده



شکل ۱۳-۲ روش آبیاری خودکار در سکوی گلخانه ، گلدانها روی شن مرطوب قرار گرفته‌اند . رطوبت شن از طریق لوله سوراخدار سرتاسری از يك منبع آب با سطح ثابت دریافت می‌گردد . ذخیره آب با تغییر ضخامت لایه شن روی سکو تغییر می‌کند . پست و سیلی ^{۱۱۵} (۱۹۴۲) و انستیتوی ملی مهندسی کشاورزی انگلستان روشهای مختلف آبیاری زیر زمینی را تشریح کرده‌اند .

طوری وارونه در کف قرار گرفته‌اند که جریان آب به راحتی انجام پذیرد. داخل V از ماسه و سنگ ریزه پر می‌شود و آب مورد نیاز گلدان‌هایی که روی آن قرار گرفته‌است بانیروی شعریه تأمین می‌گردد. اخیراً دریافته شده‌است که سکوهاى مسطح نیز اگر با ورقه‌های پلاستیک پوشش گردند مفید بوده و می‌تواند شبیه سکوهاى V شکل مورد استفاده قرار گیرند. تأمین آب به وسیله لوله‌هائی سرتاسری که در جدار آنها به فواصل ۶ اینچی سوراخ‌هائی تعبیه شده صورت می‌گیرد. این روش در شکل ۱۳-۳ تصویر شده‌است. تأمین آب در بعضی شرایط بادست و در برخی مواقع باشیره‌ای



شکل ۱۴-۳ دستگاه آبیاری سطحی گلدانها در سکوی گلخانه. لوله پلاستیکی بزرگی به منبع آب متصل و به کمک دریچه مقدار آبی که در اختیار گیاه قرار می‌گیرد کنترل می‌شود. لوله‌های پلاستیکی کوچک از لوله اصلی منشعب شده و در هر يك از گلدانها قرار می‌گیرد. به لوله‌های کوچک وزنه‌هائی بسته شده‌است که در محل تثبیت گردند. وقتی مقدار آب منبع معادل وزن تعیین شده روی ترازو شد با ضربه‌ای دریچه بسته‌شده و جریان آب به گلدانها قطع می‌شود.

خودکار که به کمک تانسومتر یا ساعت به کار می افتند انجام می شود. در برخی از تأسیسات منبعی با سطح آب ثابت در زیر سکو تعبیه شده و به وسیله دریچه شناور به لوله آب رسانی متصل می گردد. گاهی اوقات می توان تأمین آب را با ضخامت مقدار ماسه ای که بالای سطح آب است کنترل کرد. این روش به وسیله انستیتوی مهندسی کشاورزی انگلستان تصحیح شده و می توان آن را در اطافکهای رشد گیاه نیز به کار برد.

روش دیگر آبیاری سطحی است که به وسیله لوله های سرتاسری روی سکو صورت می گیرد در بعضی شرایط برای هریک از گلدانها لوله کوچک پلاستیکی اختصاص داده می شود که مقدار آب دریافتی آنها بسته به مدت زمان تأمین آب در سیستم کنترل می شود (به شکل ۱۴-۳ مراجعه شود) استایس و بوهر^{۱۱۶} (۱۹۶۵) این سیستم را که مجهز به ساعت می باشد تشریح و آن را برای آبیاری گلدانها در خزانه ها به کار برده اند. تمایل به استفاده از تانسومتر و مقاومتهای الکتریکی به عنوان قطعات حساس در باز کردن دریچه به هنگام خشک شدن خاک و رسیدن آن به تنش معین روز-افزون است. گاهی برای کنترل مقدار و مدت زمان آبیاری از ساعت استفاده می شود.

اخیراً الجبوری و همکاران^{۱۱۷} (۱۹۶۵) سیستمی را در کالیفرنیا پیشنهاد کرده اند که در آن تانسومترهایی در عمق حداکثر رشد ریشه نصب شده و می تواند به طور خودکار دستگاههای آب پاش را به کار اندازند. برای هریک از گروههای گیاهان هم نوع و گیاهانی که در یک مرحله از رشد هستند نصب حداقل ۲ تانسومتر لازم است. چون سرعت باد در ساعت

ولی همواره بین خاک خشک و مرطوب مرز مشخصی وجود دارد. هر کس که به هنگام رگبارهای تابستانی زمین را حفر نماید مشاهده خواهد کرد که بین خاک مرطوب روئی و خاک خشک زیرین حد فاصل کاملاً مشخصی دیده می‌شود. از جایی که ظرفیت زراعی مقدار رطوبتی است که خاک برخلاف نیروی ثقل در خود نگه میدارد بنابراین خیس کردن خاک در رطوبتهای باین تر از ظرفیت زراعی غیر ممکن است. اگر ظرفی پر از خاک خشکی که ظرفیت زراعی آن ۳۰ درصد است باشد و به این ظرف آنقدر آب اضافه شود تا ۱۰ درصد تمام توده خاک خیس شود، نصف توده خاک تا حد ظرفیت زراعی خیس شده و نصف دیگر آن خشک باقی خواهد ماند. نتیجه این که پژوهشگران سابق نتوانسته‌اند برای گیاهان خود رطوبت معینی را تأمین کنند بلکه آنها را در معرض توزیع مقادیر گوناگون آب (به نسبت‌های مختلف خاکی که استفاده کرده‌اند) قرار داده‌اند.

با گذاردن گلدانهای مجهز به وسایل آبیاری خودکار در ارتفاعات گوناگون از سطح منبع آب کوشش شده است که پتانسیل ماتریک یا تنش آب کنترل گردد. رید و همکاران^{۱۲۰}، (۱۹۶۲) رطوبت خاک را در تنش ۵۰ سانتی‌متر به خوبی کنترل کرده‌اند ولی در تنش معادل ۲۰۰ سانتی‌متر مقدار تغییرات آن ± 50 درصد بوده است. لوینگ استن^{۱۲۱} (۱۹۱۸) سعی کرده است با گذاردن ستونهای جیوه‌ای در ارتفاعات گوناگون بین مخروطهای آبیاری و گلدانها مقدار تنش را کنترل نماید ولی این روش منجر به توزیع غیر یکنواخت رطوبت در گلدانها گردیده است. مونات^{۱۲۲} (۱۹۴۳) و دیگران طشت پر از آبی را گرفته و در آن ستونهای از شن با ارتفاعات مختلف قرار داده و

120— Read et al

121— Livingstone

221— Moinat

سپس گلدانها را روی این ستونها گذاشته اند. با افزایش ارتفاع ستون شنی از سطح آب، مقدار تنش آب گلدان نیز افزایش می یابد. البته ایجاد تنش بیش از ۱۰۰ یا ۲۰۰ سانتی متر با این روش مشکل است.

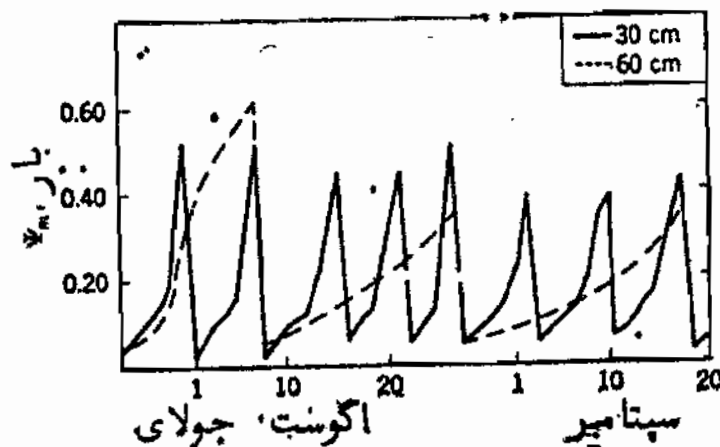
روش دیگر این است که توده خاک را با استفاده از لایه های پارافین، اسفالت یا مواد دیگری که نسبت به آب غیر قابل نفوذ بوده ولی در مقابل نفوذ ریشه مقاوم نباشد به چند طبقه تقسیم گردد. که تاسطح خاک کشیده شده اند آب افزوده می شود. اشکالاتی که در این روش وجود دارد عبارتند از تهویه خاک، نفوذ آب از طبقه ای به طبقه دیگر و عدم یکنواختی توزیع ریشه ها در هر کدام از طبقات. روش بهتر دیگر این است که به جای آبیاری سطحی، در قسمتهای مختلف خاک مقادیر متفاوت آب تزریق گردد.

واک لاویک^{۱۲۳} (۱۹۶۶) از یک سوزن طویل متصل به سرنگ بزرگی استفاده نموده و در نقاط مختلف توده خاک مقادیر کمی آب تزریق نموده است. با تزریق روزانه مقدار آب تخلیه شده وی توانست توزیع یکنواخت آب و ریشه را فراهم نماید. البته در این روش برای تمام توده خاک پتانسیل یکنواختی تامین نمی شود بلکه فقط رطوبت خاک در نقاط تزریق شده در حد ظرفیت نگهداری تثبیت می شود.

به دلیل اشکالاتی که در نهاد هر یک از روشها نهفته است، بیشتر پژوهشگران ذخیره آب گیاه را با تغییر فواصل آبیاری تامین می نمایند. و چون رطوبت خاک به وسیله گیاه تخلیه شده و آن را از حد ظرفیت زراعی به پتانسیل یا مقدار رطوبت مشخصی تقلیل می دهد به اندازه کافی آب به گلدان اضافه می شود تا دوباره تمام توده خاک به حد ظرفیت زراعی برسد.

این روش بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. وادلایت^{۱۲۴} (۱۹۴۶) طریقه محاسبه آن‌چه را او «تنش یگانه رطوبت خاک»^{۱۲۵} نام نهاده است در دوران خشکی و مرطوب خاک تشریح کرده است. اساساً این شرایط در طبیعت اتفاق می‌افتد زیرا پس از آنکه خاک با تعرق و تبخیر به درجات مختلف رطوبت می‌رسد باران یا آبیاریهای متناوب دوباره آن را به ظرفیت زراعی برمی‌گرداند. در هر صورت توزینهای متناوب و افزایش روزانه آب به گلدانهای که رطوبت آنها در حد ظرفیت زراعی است و نیز تفاوت‌های فاحش پتانسیل آب در فواصل افزایش آب (اگر فواصل بیش از یک یا دو روز باشد) از اشکالات این روش به‌شمار می‌آیند (به شکل ۱۵-۳ مراجعه شود).

تثبیت رطوبت خاک در پتانسیلهای کمتر از ظرفیت زراعی از جمله مسائلی است که زیاد به آن توجه می‌شود. یکی از بهترین روشها رویاندن گیاه در لایه‌های نازک خاک در داخل گلدانهای است که جدار آنها از جنس غشاءهای نیمه‌هادی (مثل استات سلولز) درست شده باشد. در شکل ۱۶-۳



شکل ۱۵-۳ تغییرات پتانسیل ماتریک در يك خاک آبیاری شده در مزرعه آوکادو که با استفاده از تانسیمترهای ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شده‌اند. نقاط ماکزیمم مشخص‌کننده زمان آبیاری می‌باشند. از هر سه آبیاری يك بار سعی شده است به قدر کافی آب افزوده گردد تا خاک به عمق ۶۰ سانتی‌متر مرطوب گردد (از ریچاردز و مارش^{۱۲۶}، ۱۹۶۱ با تصحیح تصویر این نوع دستگاه مشاهده می‌شود. گاردنر و همکاران^{۱۲۷} (۱۹۶۴)، پینتر^{۱۲۸} (۱۹۶۶) و زور^{۱۲۹} (۱۹۶۷) طرز کار این نوع دستگاهها را تشریح کرده‌اند. زور اذعان کرده است که بایز دستگاه توانسته است پتانسیل رطوبتی یکنواختی را در ظروف كوچك محتوی گیاه آفتاب‌گردان ایجاد نماید. محدود بودن مقدار خاک و زایل شدن غشاء از جمله مشکلات عمده این روش می‌باشند. به منظور آنکه بین سرعت جذب آب و سرعت حرکت آن به طرف مرکز توده خاک هم‌آهنگی وجود داشته باشد باید ضخامت لایه خاک نسبتاً نازك انتخاب گردد. برای تعیین ضخامت بحرانی خاک که مسلماً به عواملی از قبیل پتانسیل آب، هدایت موئینه‌ای خاک و میزان تعرق گیاه بستگی دارد پژوهشهای بیشتری مورد نیاز است. در بیشتر آزمایشات از غشاءهای نوع استات ساولز استفاده می‌شود ولی این نوع غشاءها پس از يك تا دو هفته کار به وسیله موجودات ذره‌بینی از بین می‌روند. از این جهت مرحله بعدی تکمیل این روش یافتن غشاءهای نیمه‌هادی مناسبی است که بتوانند در مقابل هجوم موجودات ریز مقاومت نمایند.

دربارهی از آزمایشات رویاندن گیاه در داخل محلول و قراردادن آن تحت تنش آب امکان‌پذیر است. این محاولها عبارت از محلولهای غذایی

126— Richards and Marsh

127— Gardner et al

128— Painter

129— Zur

هستند که برای پائین آوردن پتانسیل آب آنها مقداری اجسام حل‌شدنی نیز اضافه شده است. اجسام حل‌شدنی از قبیل کلرورسدیم، نیترات پتاسیم و حتی ساکارز به وسیله ریشه جذب شده و متناسب با کاهش پتانسیل اسمتیک محیط ریشه پتانسیل اسمتیک گیاه را نیز تقلیل می‌دهد (ایتن^{۱۳۰} ۱۹۴۲، اسلاچر^{۱۳۱}، ۱۹۶۱). برای مثال، بویر^{۱۳۲} (۱۹۶۵) گزارش کرده است که به ازاء تقلیل دادن ۱ بار پتانسیل اسمتیک محیط رشد ریشه (با افزودن کلرورسدیم) پتانسیل اسمتیک برگهای پنبه $1/2$ تا $1/5$ بار کاهش می‌یابد.

استفاده از مانیتیل (نوعی الکل متبلور شیرین) به دلایلی رضایت‌بخش نیست زیرا علاوه بر محدودیت جذب (گروان و گن و میلز^{۱۳۳}، ۱۹۶۰) به وسیله موجودات ذره‌بینی نیز از بین می‌رود. هم‌چنین در مواردی از اثرات سمی آن نیز انتقاد شده است (جکسن^{۱۳۴}، ۱۹۶۲) و این شاید به دلیل ناخالصی—هائی باشد که در بعضی انواع پلی اتیلن گلی کل دیده می‌شود. مواد ناخالص را می‌توان باعث دیالیز از محلول جدا نمود (لاگروورف و ایگل^{۱۳۵}، ۱۹۶۱). پژوهشگران دیگر حتی پس از مصرف طولانی آن نیز اثرات سمی مشاهده نکرده‌اند. بعضی گزارشات حکایت از این دارند که پلی اتیلان گلی کل جذب برگها می‌شود (لاگروورف و ایگل، ۱۹۶۱) ولی بعید به نظر می‌رسد که ماده‌ای به وزن مولکولی ۲۰۰۰۰ (که در این آزمایشات به کار رفته) به‌تواند جذب ریشه‌های سالم گردد.

130— Eaton

131— Slatyer

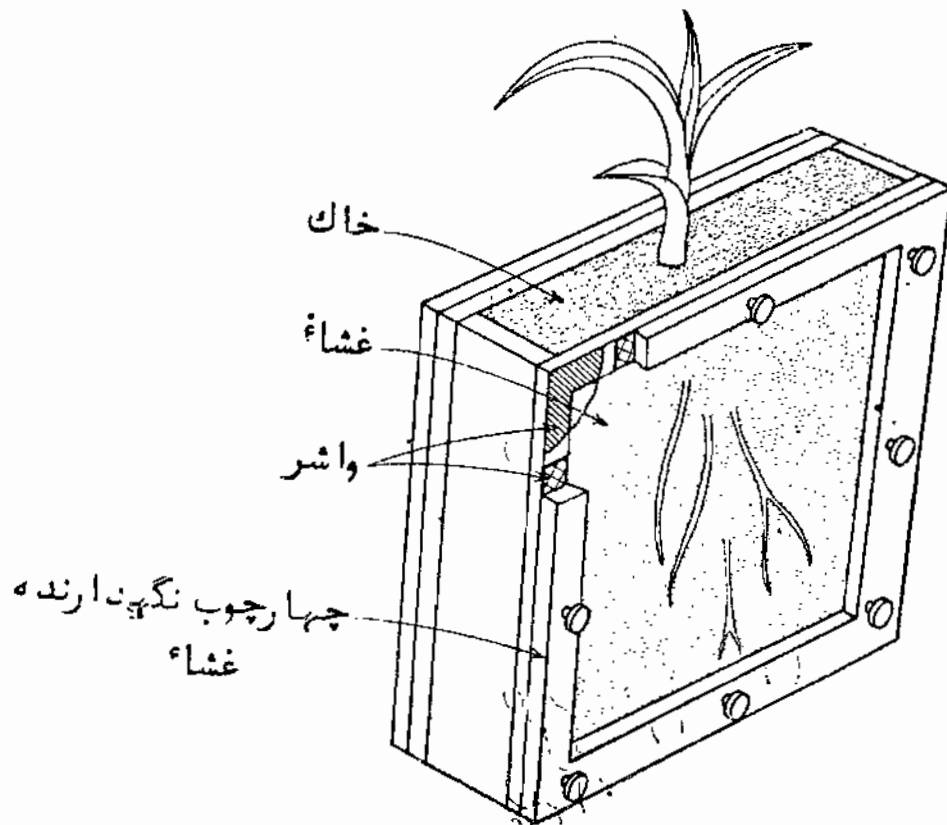
132— Boyer

133— Groenewegen and Mills

134— Jackson

135— Lagerwerff and Eagle

برای کنترل پتانسیل آب در محیط رشد ریشه و اثر مواد مختلف در رشد گیاه پژوهشهای بیشتری مورد نیاز است. مثلاً به نظر می‌رسد استعمال محلولهای باپتانسیل اسمتیک گوناگون بهتر از کنترل پتانسیل رطوبت خاک نتیجه می‌دهد ولی شواهد موجود دال بر این است که رشد ریشه‌های گیاه در محلولهای کشت تهویه شده از نظر ساختمانی باریشه‌هایی که در خاک رشد کرده‌اند متفاوت است و باید دید آیا رشد گیاه در محلولهای کشت حقیقتاً تا چه اندازه قابل مقایسه با گیاهانی است که در خاک تحت تنش قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۶-۳ يك ظرف پلاستیکی برای رویاندن گیاه در پتانسیلهای ماتریک مختلف. دیواره‌های مسطح از جنس سلولز بوده که گاهی اوقات

برای افزایش مقاومت مکانیکی آن از غشاهای پلاستیکی نیز استفاده می‌شود. این ظرف در داخل محلول پلی‌اتیلن گلی‌کل قرار گرفته‌است تا به این وسیله پتانسیل آن تا نقطه مشخصی تقلیل پیدا نماید. به دلیل هدایت کم آب در پتانسیلهای پایین ضخامت خاک نازک انتخاب شده‌است. هم‌چنین غشاهای پس از یک تا دو هفته کار به وسیله موجودات ذره‌بینی از بین می‌روند (طرح از دکتر دیوید لاولر^{۱۳۶}).

مسائل آبیاری:

در یک اشل بزرگ می‌توان آبیاری محصولات زراعی را نمونه‌ای از نحوه کنترل رطوبت خاک دانست. به منظور رفع اشکالات موجود در یک آبیاری موفق و مؤثر داشتن اطلاعاتی در زمینه مهندسی، روابط خاک و گیاه، فیزیولوژی گیاهی و خصوصیات گیاهی که آبیاری می‌شود الزامی است. کایه این مسائل در کتاب «آبیاری اراضی کشاورزی»^{۱۳۷} نگارش هاگن و همکاران^{۱۳۸} (۱۹۶۷) مورد بحث قرار گرفته است. از اهم مسایلی که باهدف این کتاب بستگی دارد می‌توان زمان آبیاری، تهویه و زهکشی و تجمع نمک را ذکر کرد.

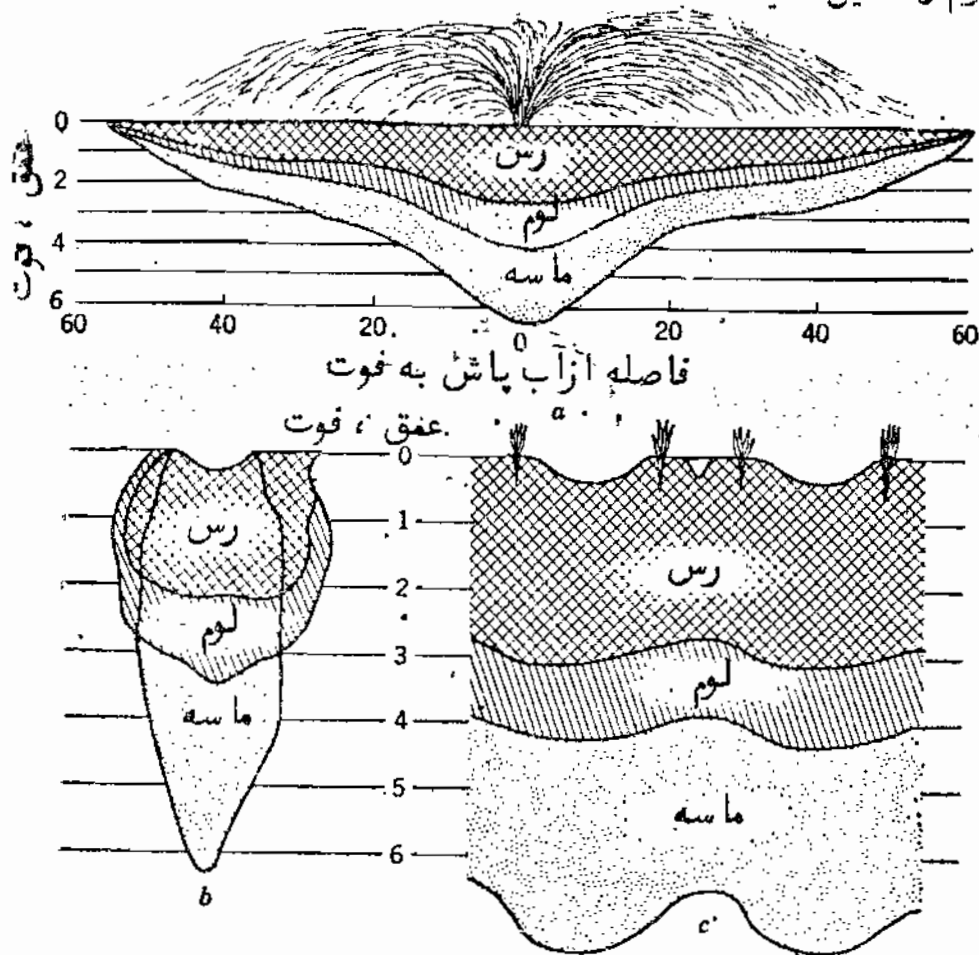
زمان آبیاری:

به دلایل کمبود آب و رقابت در استفاده از منابع محدود آب موجود لازم است که راندمان آبیاری تا سرحد امکان افزایش یابد. این شرایط ایجاب می‌کند در تصمیم‌گیری زمان و مقدار آبیاری محصولات از روشهای عامی استفاده شود. متأسفانه هنوز اغلب آبیاریها به جای آن که برپایه

136— David Lawlor 137— irrigation of Agricultural Land

138— Hagan et al

دانشهای مربوط به روابط خاک، گیاه، اتمسفر، آب استوار باشند باقوانین سرانگشتی صورت می گیرند. برطبق نظر تیلر^{۱۳۹} (۱۹۶۵) آبیاری باید زمانی صورت گیرد که پتانسیل رطوبت خاک به قدر کافی بالا بوده و خاک قادر باشد بدون آنکه گیاه تحت تنش قرار گرفته و از مقدار یا کیفیت محصول کاسته شود بنا به اقتضای شرایط جدی سریعاً مقدار آب مورد لزوم را تأمین نماید.



شکل ۱۷-۳ حجم خیس شده رس، لوم و ماسه با افزایش مقدار

معین آب . چون حرکت نزولی آب بیش از حرکت جانبی آن است باید سعی کرد شیارها (فارو) نزدیک به هم بوده و آب پاشها طوری روی هم دیگر را به پوشانند که خاک بین آنها خیس شود (از دونین و مک گلیوری^{۱۴۰}، ۱۹۴۶)

برای تعیین زمان صحیح آبیاری می توان از سه روش معمولی استفاده کرد . روش نخست اندازه گیری رطوبت خاک ، روش دوم اندازه گیری مقدار آب گیاه یا تنش آب گیاه و طریقه سوم اندازه گیری مقدار تبخیر و تخمین آب مورد نیاز گیاه است . در این جا هر یک از این روشها به اختصار تشریح می شود ولی خوانندگان برای کسب اطلاعات بیشتر می توانند به مقاله هیزوهاگن^{۱۴۱} (۱۹۶۷) مراجعه نمایند .

اندازه گیری رطوبت خاک : حفر خاک و مشاهده ظاهری آن از نظر تصمیم به افزایش یا عدم افزایش آب روش سنتی تعیین زمان آبیاری است . اندازه گیری مقدار رطوبت به روش نمونه گیری وزنی یا استفاده از دستگاههای نوترون متر نتیجه خوبی را عاید نمی دهند زیرا موجودیت آب به مقدار پتانسیل آن بستگی بیشتری دارد تا به درصد وزنی یا حجمی آن . مقدار آب یک خاک ماسه ای در ظرفیت نگهداری (بار $\psi/m = -0.3$) ممکن است از مقدار آب یک خاک رسی در نقطه پژمردگی دائم (بار $\psi/m = -15$) کمتر باشد . (به جدول ۱-۳ مراجعه شود) . بنابراین از نظر رشد گیاه پتانسیل آب تنها علامت وضعیت آب خاک می باشد . پتانسیل ماتریک خاک را می توان مستقیماً به وسیله تانسومتر اندازه گیری کرد . دامنه حساسیت تانسومتر پتانسیلهای کمتر از -0.8 بار است . این دامنه بهترین شرایط رشد را

140— Doneen and MacGillivray

141— Haise and Hagan

برای کشت سبزیجات شامل می‌گردد. در پتانسیلهای کمتر می‌توان از قطعات الکتریکی واسنجی شده که در ابتدای این فصل به آن اشاره شد استفاده کرد. استفاده از مقاومتها در مزارع نیشکر هاوایی (اوارت^{۱۴۲}، ۱۹۵۱)، مراتع اورگان، مزارع ذرت و گندم تکزاس، باغات میوه کالیفرنیا و بعضی شرایط به خصوص دیگر موفقیت آمیز بوده است. در مزارع کشاورزی و باغات جنوب غربی ایالات متحده و برخی شرایط به خصوص مثل زمین‌های گلف از تانسیومتر استفاده می‌شود. استفاده از تانسیومتر و قطعات مقاومت زمانی موفقیت آمیزند که در لایه حداکثر تراکم ریشه (که در آن تخلیه آب به سرعت انجام می‌شود) نصب گردند.

نقش آب گیاه بهترین نشانه زمان آبیاری خود گیاه است. به طوری که در فصل دهم گفته خواهد شد رشد گیاه با تنش داخلی گیاه کنترل می‌شود و بهترین علامت نیاز به آبیاری کاهش پتانسیل آب در بافت‌های گیاه است. چون اندازه‌گیری پتانسیل آب یا کمبود آب در مزرعه و باغات به صورت تجربی به دست می‌آید باید برای تخمین چگونگی حالت آب در گیاه از روشهای دیگر استفاده کرد. کنترل آبیاری مزارع نیشکر از طریق اندازه‌گیری مقدار آب در نیام برگها موفقیت آمیز بوده است (کلمنتز و کوبوتا^{۱۴۳}، ۱۹۴۲، رابینسون و همکاران^{۱۴۴}، ۱۹۶۳) رنگ لوبیا و برخی دیگر از گیاهان در شروع تنش به سبز آبی تند تغییر می‌یابد. استفاده از این تغییر رنگ نیز به عنوان راهنمای زمان آبیاری با موفقیت همراه بوده است (رابینز و دومینگو^{۱۴۵}، ۱۹۵۶).

142— Ewart

143— Clements and Kubota

144— Robinson et al

145— Robins and Domingo

تغییر زاویه برگهای ذرت خوشه‌ای، پیچش و سایر حرکات برگهای بعضی گیاهان علامت شروع تنش در زمان قبل از پژمردگی است (هیز و هاگن^{۱۴۶}، ۱۹۶۷). پیدایش پژمردگی در گیاه نشانه این است که کاهش رطوبت خاک از حد کافی گذشته و گیاه می‌بایست قبلاً آبیاری می‌شد. حساسیت سلولهای محافظ گیاه به تنش آب بسیار زیاد است از این جهت بسته شدن زودرس روزنه‌ها را نیز می‌توان به عنوان نشانه آبیاری انواع مختلف گیاهان دانست (آلین^{۱۴۷}، ۱۹۵۹، اوپن‌هایمر و الز^{۱۴۸}، ۱۹۴۱، شمولی^{۱۴۹}، ۱۹۵۳) به خوبی روشن است که کاهش رطوبت خاک همواره با کاهش فشار ریشه همراه است (به فصل پنجم مراجعه شود). بر طبق نظر هیز و هاگن (۱۹۶۷) از این حقیقت در روسیه به عنوان راهنمای زمان آبیاری استفاده می‌شود ولی این روش منجر به از بین رفتن گیاه مورد آزمایش می‌گردد. کاهش میزان رشد میوه‌ها، برگها، تیه درختان و دیگر قسمت‌های گیاه نیز به عنوان نشانه زمان آبیاری به کار رفته‌اند. متخصصین خزانه‌ها گاهی اوقات از گیاهان بسیار حساس مثل هیدرانژ^{۱۵۱} به عنوان شاخص تعیین کننده زمان آبیاری استفاده کرده‌اند. هاگن و لاورد^{۱۵۲} (۱۹۶۶) استفاده از گیاهان شاخص را مورد مطالعه قرار داده‌اند. گرچه اندازه‌گیری بناسیل آب خاک در مزرعه عملی نیست ولی اندازه‌گیری مستقیم آن در پژوهشهای روابط آب و گیاه الزامی است. به طوری که کرامر^{۱۵۳} (۱۹۶۳)

146— Haise and Hagan

147— Alvin

148— Oppenheimer and Elze

149— Shmueli

150— Haise and Hagan

151— hydrangea

152— Hagan and Laborde

153— Kramer

خاطر نشان ساخته است اکثر اشکالات مربوط به تأثیر ذخیره آب خاک و آبیاری بر روی رشد گیاه ناشی از عدم توانائی در اندازه‌گیری پتانسیل آب گیاه است .

استفاده از آمارهای تبخیر: استفاده از آمار هواشناسی در تعیین زمان آبیاری روزافزون است برای این منظور داشتن آمار ظرفیت ذخیره آب در لایه رشد ریشه‌های گیاه و نیز میزان تبخیر و تعرق و بارندگی در فصل رویش الزامی است . باول^{۱۵۴} (۱۹۵۳) این روش را بر روی تباکو عملی ساخته و شرایط کاربرد آن را تشریح کرده است . در یکی از این شرایط فرض شده است که عمق متوسط ریشه ۲۰ سانتی‌متر ، پتانسیل محدود کننده خاک ۸/۰- بار و رطوبت موجود در لایه نفوذ ریشه بین ظرفیت زراعی و ۸/۰- بار برابر ۴/۲۵ سانتی‌متر باشد . با داشتن مقدار تبخیر و تعرق روزانه ۵/۰ سانتی‌متر اگر بارندگی وجود نداشته باشد کلیه آب موجود پس از ۸ روز تخلیه خواهد شد . اگر ارقام صحیح مقدار ذخیره آب خاک عمق ریشه‌ها، پتانسیل بحرانی رطوبت خاک و تبخیر و تعرق در دست باشد این روش را می‌توان روی گیاهان مختلف نواحی دیگر عملی ساخت . در مورد بهترین روش تعیین میزان تبخیر و تعرق عقاید مختلف است . احتمالاً مطمئن‌ترین روش تعیین آن اندازه‌گیری مقدار تبخیر به کمک طشت‌هایی است که به طرز صحیحی نصب شده باشند . این روش در حال حاضر در سطح وسیعی از ایالت هاوایی جانشین اندازه‌گیری مستقیم رطوبت خاک شده و طرز کار با آن برای زارعین آسان است (چانگ^{۱۵۵} ، ۱۹۶۱) ، هیز و هاگن^{۱۵۶} (۱۹۶۷) نمونه‌های دیگر استفاده این روش را ذکر کرده‌اند .

154— Bavel

155— Chang

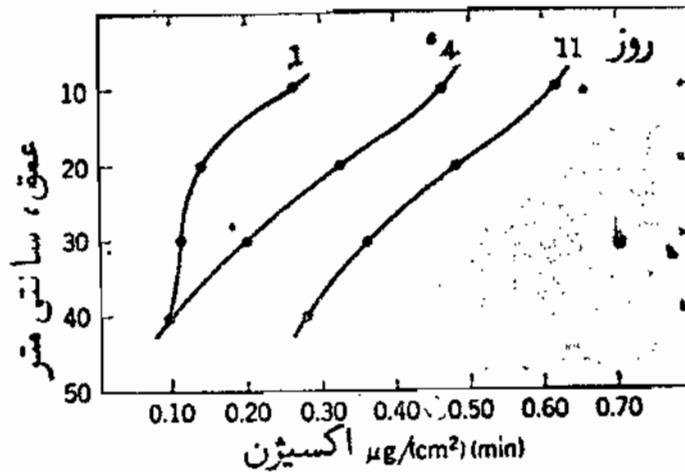
156— Haise and Hagan

احتمالاً مهمترین نقطه ضعف کنترل علمی زمان آبیاری نداشتن اطلاعاتی درمورد دانستن حد مجاز تنش آب برای گیاهان مختلف است. لازم است برای محصولات زیر کشت در هر نوع خاک مشخص مقدار تنش آب در خاک و گیاه قبل از آنکه در میزان محصول کاهشی را موجب شود مشخص گردد. در بعضی شرایط از نظر اقتصادی به صرفه خواهد بود به جای آبیاری مکرر و برداشت حداکثر محصول فواصل آبیاری را افزایش داده و مقدار محصول کمتری برداشت کرد. جنبه های فیزیولوژی تنش آب در فصل دهم این کتاب و جنبه های اساسی و عملی آن در کتاب هاگن و همکاران^{۱۵۷} (۱۹۶۷) مورد بحث قرار گرفته است.

تهویه و زهکشی خاک:

اهمیت تهویه کافی خاک در رابطه با وظایف ریشه ها و رشد مناسب زیاد بارها در این کتاب تذکر داده شده است. آبیاری غرقابی موجب اشباع شدن لایه سطحی خاک شده و حداقل به طور موقت هم که شده ذخیره اکسیژن مورد نیاز ریشه ها را تقلیل می دهد. آبیاری حوضچه ای^{۱۵۸} که اکثراً در مورد درختان میوه عملی می شود از این لحاظ جزء بدترین روشهای آبیاری به شمار می آید. آبیاری شیاری (فارو) نیز به طوری که در شکل ۱۸-۳ نشان داده شده است ذخیره اکسیژن را کاهش می دهد. در آبیاری بارانی، اگر میزان آب پاشها متوسط باشد، معاوضه تبادل گازی به حداقل خود می رسد مگر آن که ادامه آبیاری موجب اشباع شدن لایه سطحی خاک گردد. ظاهراً مقدار آمارهای موجود پیرامون رابطه بین آبیاری

و تهویه خاک بسیار اندک است. شاید بدتر از اشباع موقتی لایه سطحی خاک اشباع مدید لایه‌های عمقی است که برخی اوقات در نتیجه کوتاه بودن فواصل آبیاری یا آبیاریهای سنگین بدون آن که زهکشی داخلی صورت گیرد به وجود می‌آید. لتی و همکاران^{۱۵۹} (۱۹۶۷) یک مورد کلروزه^{۱۶۰} شدن درختان مرکبات را که در آنها منطقه نفوذ ریشه‌ها همواره مرطوب بوده گزارش نموده‌اند. تعیین زمان آبیاری در این مورد با استفاده از تانسیمترهای نصب شده در سطح خاک انجام شده است. در نتیجه این عمل خاک زیرین



شکل ۱۸-۳ سرعت پخشیدگی اکسیژن بر حسب میکروگرم اکسیژن در هرسانتمتر مربع در دقیقه در اعماق مختلف در ۱، ۴ و ۱۱ روز پس از آبیاری. سرعت پخشیدگی اکسیژن در مقادیر کمتر از ۲۰ $\text{mg/cm}^2/\text{mi.}$ برای رشد ریشه کافی نیست. تهویه خاک احتمالاً برای چند روز پس از آبیاری محدود است (از هاگن و همکاران^{۱۶۱}، ۱۹۶۷ صفحه ۹۴۶ ترسیم مجدد).

همواره مرطوب باقی مانده و تهویه کافی ریشه‌ها انجام نشده است . جمع شدن آب در اراضی پست که وجود لایه‌های غیر قابل نفوذ آنها معارض زهکشی خاک است خسارات زیادی به محصول وارد می‌آورد . هم چنین این لایه‌ها تجمع نمک را در سطح خاک موجب می‌گردند . زهکشی صحیح اراضی کشاورزی از اهمیتی معادل داشتن ذخیره آب با کیفیت خوب برخوردار است .

تجمع نمک :

یکی از مسایل عمده مناطق خشک تجمع نمک در خاک است . مناطق وسیعی در سراسر جهان به علت تجمع نمک از طریق آبیاری یا منابع طبیعی بلا استفاده شده‌اند . در نواحی مرطوب که میزان بارندگی بیش از تبخیر است نمکها شکسته می‌شوند ولی در مناطق خشک مقدار آب کافی برای شستشوی نمکها وجود ندارد . آب مورد استفاده در آبیاری محتوی مقدار قابل ملاحظه‌ای املاح است . برای مثال آب مصرفی در نواحی جنوب غربی ایالات متحده محتوی ۱/۰ تا ۵/۰ تن نمک در هراکرفوت است . یعنی بسته به کمیت و کیفیت آب ممکن است سالیانه ۱ تا ۱۰ تن نمک به خاک اضافه شود . بیشتر این نمکها پس از تبخیر و تعرق در خاک باقی می‌مانند . تنها راه جلوگیری از تجمع نمک شستشوی آن با مقدار کافی آب است . ولی این روش اکثراً به دلیل فقدان آب یا عدم وجود زهکش مناسب برای خروج آب امکان پذیر نیست . از این جهت تجمع نمک در اکثر اراضی آبیاری جهان مشکل اساسی است (ریوی و فایرمن^{۱۶۲}، ۱۹۶۷) .

تجمع نمک دومشکل اساسی را به وجود می‌آورد که عبارتند از اثر شوری و اثر قلیائی. زیادی نمک موجب کاهش پتانسیل آب خاک و نیز تقلیل موجودیت آن می‌گردد. گفته می‌شود پتانسیل اسمتیک معادل ۴- بار درحد پژمردگی حتی رشد گیاهان مقاوم به نمک از قبیل یونجه، پنبه و چغندر قند را در خاکهایی که رطوبت آنها نزدیک به ظرفیت زراعی است کاهش می‌دهد (ماجیستادوریت مایر^{۱۶۳}، ۱۹۴۳). مسأله پیچیده چگونگی تأثیر نمک بر رشد گیاه در فصل ششم این کتاب و نیز کتاب اسلاچر^{۱۶۴} (۱۹۶۷) تشریح شده‌است. در بعضی نواحی تجمع مقدار زیادی سدیم قابل تعویض وجود داشته که می‌توانند بایونهای کلسیم و منیزیم تعویض‌گردند. این حالت موجب کاهش نفوذپذیری، بدی زهکشی و پیدایش لایه سیاه رنگی در سطح خاک می‌شود. به همین علت این اراضی را «قلیای سیاه»^{۱۶۵} نام نهاده‌اند. در این اراضی رشد گیاه هیچ یا کم است. مسأله شوری و قلیائی خاکها در رابطه با آبیاری توسط ری وی و فایرمن (۱۹۶۷) مورد مطالعه قرار گرفته‌است. ریچاردز^{۱۶۶} (۱۹۵۴) نیز روشهای تشخیص و اصلاح این گونه اراضی را مورد بحث قرار داده‌است. بویکو^{۱۶۷} (۱۹۶۵) مسأله شوری را بادقت بیشتر مطالعه نموده و گزارش کرده که توانسته است تعداد زیادی از گیاهان را با استفاده از آبهای بسیار شور برویاند ولی تجدید دوباره این آزمایشات موفقیت‌آمیز نبوده‌است. شاید عدم موفقیت وی این بوده‌است که گیاهان کشت شده در ماسه عمیق بوده که در آنها تجمع نمک صورت نگرفته‌است.

163— Magistad and Reitemeier

164— Slatyer

165— Black alkali

166— Richards

167— Boyko

خلاصه

توانائی در اندازه گیری و کنترل ذخیره رطوبت خاک برای گیاه اساس پژوهشهای پیرامون روابط خاک، گیاه، آب را تشکیل می دهد. اندازه گیری و کنترل رطوبت خاک برای بالا بردن راندمان آبیاری محصولات زراعی نیز الزامی است. بهترین روش تعیین مقدار آب قابل دسترسی برای گیاه اندازه گیری پتانسیل آن است. پتانسیل آب از اجزاء اجسام حل شدنی و ماتریک تشکیل شده است. در مناطق مرطوب پتانسیل ماتریک و در اراضی خشک پتانسیل اجسام حل شدنی یا اسمتیک اجزاء اصلی پتانسیل آب می باشند.

در پتانسیلهای کمتر از 0.8 - بار اندازه گیری صحرائی پتانسیل ماتریک مستقیماً باتانسیومتر صورت گرفته و در پتانسیلهای کم از روی قرائت مقاومتهای مدرج (واسنجی شده) انجام می پذیرد. برای اندازه گیری پتانسیل حدود 25 - بار یا کمتر در آزمایشگاه از دستگاههای فشار مجهز به صفحه یا غشاء استفاده می شود. اندازه گیری پتانسیل اجسام حل شدنی بر روی عصاره خاک و به روش کریوسکپی انجام می پذیرد. مجموع پتانسیلهای اسمتیک و ماتریک را می توان مستقیماً به وسیله سایکرومترهای ترموکوپل و یا به طور غیرمستقیم از جمع مقادیر پتانسیل اجسام حل شدنی و ماتریک بدست آورد. مفیدترین روش برای تشریح وضعیت ذخیره آب در خاک استفاده از منحنی رابط بین پتانسیل آب و مقدار رطوبت است. دوحه رطوبت خاک ظرفیت زراعی و درصد پژمردگی نشان دهنده حد بالا و پائین مقدار رطوبت سهل الوصول خاک می باشند. پتانسیل ماتریک در ظرفیت زراعی 0.3 - بار و در حد پژمردگی 15 - بار است. ولی این

مقادیر دقیق نبوده و فقط حدوداً از روی منحنی پتانسیل آب نسبت به مقدار آب به دست می‌آیند .

فراهم آوردن شرایط پتانسیل یکنواخت در پژوهشهای با اشل بزرگ به خصوص برای رطوبتهای کمتر از ظرفیت زراعی غیر عملی است . روش تعیین تنش آب در این گونه پژوهشها به این طریق است که ابتدا برای مدتی از آبیاری خاک خودداری می‌شود تا تنش آب به مقدار معینی برسد . سپس خاک دوباره آبیاری می‌گردد تا به ظرفیت زراعی برسد . با این عمل در هر دوره خشکی تنش متفاوتی حاصل می‌گردد . بعضی گیاهان را می‌توان در لایه‌های نازک خاک که باغشاهای نیمه‌هادی محصور بوده و داخل محلولهای پلی اتیلن گلی کل با پتانسیلهای مختلف قرار گرفته پرورش داد . با رویاندن گیاه در داخل محلولهای مواد غذایی که مقداری املاح نیز به آن اضافه شده باشد می‌توان در یک پتانسیل مشخص تنش یکنواختی را ایجاد کرد . یکی از مزایای پلی اتیلن گلی کل این است که وزن مولکولی آن زیاد بوده و جذب گیاه نمی‌شود یا مقدار جذب آن کم است . علاوه بر آن برای گیاه نیز بدون ضرر بوده و مورد حمله موجودات ذره‌بینی قرار نمی‌گیرد .

در اشل بزرگ آبیاری کنترل ذخیره آب را نیز شامل می‌شود . زمان آبیاری را می‌توان بر اساس مقدار آب موجود یا پتانسیل آب خاک ، پتانسیل آب در بافتهای گیاه یا تخمین مقدار رطوبت خاک از روی اندازه‌گیری مقدار تبخیر و تعرق تعیین کرد . گرچه اندازه‌گیری تنش آب در خاک در برخی از پژوهشها الزامی است ولی این روش در کشاورزی عملی نبوده و روندهای معمولی در جهت تعیین زمان آبیاری بر اساس آمارهای تبخیر است . آبیاری باعث ایجاد مشکلات زهکشی و تهویه نیز شده و اغلب تجمع مقادیر زیان‌آور نمک را نیز سبب می‌گردد .

۳ صبح کم بوده است دستگاههای آب‌پاش با استفاده از ساعت در آن زمان به کار می‌افتادند. گفته می‌شود این سیستم موجب افزایش یکنواختی تأمین آب و در نتیجه رشد گیاه می‌گردد. هم‌چنین از هزینه‌های کار کاسته شده و در مقدار مصرف آب نیز صرفه‌جویی می‌شود. احتمالاً تمایل به استفاده از قطعات حساس در کنترل آبیاری گلخانه‌ها و خزانه‌ها افزایش می‌یابد. زیرا این قطعات در مقایسه با وسایل کنترل دستی یکنواختی زیادی را تولید کرده و مقدار آب مصرفی را نیز تقلیل می‌دهد.

تثبیت مقدار تنش رطوبت خاک در حد معین:

یکی از مشکلات عمده در پژوهشهای روابط آب و گیاه فراهم آوردن شرایط رشد گیاه در خاکهایی است که مقدار پتانسیل رطوبت آن کمتر از ظرفیت زراعی باشد. در کارهای علمی گذشته، غالباً به مطالبی برخورد می‌شود که مثلاً گیاهی در شرایط رطوبتی ۱۰، ۲۰ یا ۳۰ درصد وزن خاک خشک رشد کرده است و یا مقدار رطوبت درصدی از ظرفیت مؤئنه‌ای با نگهداری است.

کسانی که به توزیع رطوبت خاک پس از بارندگی یا به نیروهای فیزیکی مؤثر بر رطوبت خاک آشنائی دارند به عدم امکان به کار گرفتن این روش واقفند. شانتز^{۱۱۸} (۱۹۲۵) و وی‌مایر^{۲۱۹} (۱۹۲۷) به این حقیقت توجه داشته‌اند که اگر به یک توده خاک خشک مقدار کمی آب افزوده شود، لایه سطحی مرطوب شده به ظرفیت زراعی می‌رسد حال آن که دیگر لایه‌های خاک خشک باقی خواهند ماند. گرچه با افزایش مقدار آب عمق زیادتری خیس خواهد شد