اولین کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای
۲۶ مهرماه ۱۳۸۶

مدیریت آبیاری در گلخانه با استفاده از روشهای نوین اندازه‌گیری رطوبت

مرتضی دوستی[1]

چکیده

رطوبت خاک به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم اندازه‌گیری می‌شود. برخی از روشها در مزرعه (محل آزمایش) انجام می‌شوند، اما در بعضی دیگر باید از خاک نمونه برداری کرده و مقدار رطوبت را در آزمایشگاه اندازه‌گیری نمود. در روشهای مستقیم مقادیر جرمی یا حجمی رطوبت بطور مشخص اندازه‌گیری می‌شوند. اما در روشهای غیرمستقیم ابتدا باید یک عامل دیگر (مانند: زمان، مقاومت، فرکانس) که درصد رطوبت بر آن مؤثر است اندازه‌گیری شده و سپس از روی آن مقدار رطوبت خاک تخمین زده شود. اکثر دستگاههای ساخته شده برای اندازه‌گیری رطوبت خاک، غیرمستقیم هستند. در این مقاله چندین روش نوین اندازه‌گیری رطوبت و مزایا و معایب هر کدام ارایه شده‌است. انتخاب و به کارگیری این روشها، از ابزار کاربردی مدیریت آب آبیاری در گلخانه می‌باشد. بدین ترتیب که بخش اعظم رطوبت مورد نیاز در گلخانه توسط آبیاری تامین می‌شود و کنترل آبیاری در گرو تخمین میزان آب در منطقه توسعه ریشه‌ها در هر مرحله از رشد می‌باشد. به منظور ارایه راهکاری در زمینه انتخاب ابزار مناسب مدیریت گلخانه، جدولی برای انتخاب رطوبت‌سنج ارایه شده‌است. با استفاده از این جدول امکان مقایسه چندین روش و انتخاب مناسب‌ترین روش وجود دارد، و با کمی تغییر می‌توان آنرا در انتخاب سایر گزینه‌های مدیریتی نیز بکار برد. بدین ترتیب می‌توان مدیریت بهتر و دقیق‌تری برای آبیاری گلخانه ارایه کرد.

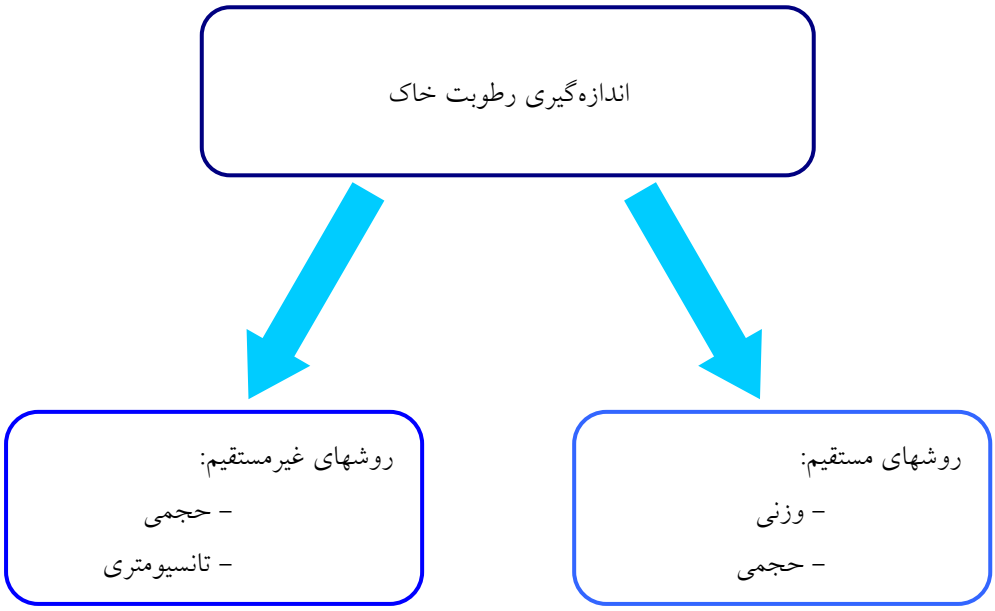
کلمات کلیدی: گلخانه، مدیریت آبیاری، رطوبت‌سنج، ابزارهای مدیریتی گلخانه

مقدمه

در مبحث مدیریت آبیاری، اندازه‌گیری و کنترل رطوبت خاک از مولفه‌های ضروری برای اعمال روشهای مدیریتی بهینه به منظور کاهش مصرف آب و بهبود کیفیت محصول است. رطوبت موجود در خاک را می‌توان بطور مستقیم از طریق اندازه‌گیری اختلاف وزنی، قبل و بعد از خشک کردن نمونه خاک، بدست آورد که به آن روش وزنی می‌گویند. این روش، رطوبت وزنی خاک را بر حسب وزن آب بر وزن خاک خشک بیان می‌کند. نسبت حجم

[1]- دانشجوی کارشناسی مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

آب موجود در نمونه به حجم نمونه خاک پس از خشک شدن در آون در دمای ۱۰۰-۱۱۰ درجه سانتی‌گراد بیانگر رطوبت حجمی خاک است. رطوبت حجمی بیانگر حجم آب موجود در حجم نمونه خاک دست نخورده است. با اینکه روشهای مستقیم از دقت بالایی برخوردار بوده (±۱٪) و با هزینه کم قابل اندازه‌گیری است، خسته کننده، وقت گیر و کاربر هستند. حداقل زمان مورد نیاز برای انجام این روشها ۲ روز بوده، و بعلت بهم خوردن خاک قابلیت تکرار در محل اولیه را ندارند. روشهای غیرمستقیم بسیاری برای اندازه‌گیری رطوبت خاک وجود دارد. این روشها رطوبت را توسط روابط واسنجی موجود با سایر متغیرهای قابل اندازه‌گیری برآورد می‌کنند. انتخاب هر یک از روشهای غیرمستقیم بستگی به هزینه، دقت، زمان پاسخ، نصب، کاربرد مد نظر، مدیریت و دوام آن دارد. بسته به کمیت اندازه‌گیری، روشهای غیرمستقیم به دو دسته حجمی و تانسیومتری طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۱). دسته اول رطوبت حجمی خاک را می‌دهد، و دسته دوم مکش خاک یا پتانسیل آب خاک را نشان می‌دهد. هر دو دسته وابسته به منحنی خصوصیات رطوبتی خاک می‌باشد. منحنی خصوصیات رطوبتی رابطه‌ای است بین پتانسیل آب خاک و درصد رطوبت آن، اگر در یک دستگاه محورهای مختصات مقادیر رطوبت و پتانسیل را نسبت به یکدیگر رسم کنیم منحنی خصوصیات رطوبتی حاصل می‌شود.



شکل ۱: *روشهای اندازه‌گیری رطوبت خاک*

لازم به ذکر است که هر خاک بسته به بافت، ساختمان و میزان مواد آلی موجود در آن دارای منحنی خصوصیات رطوبتی متفاوتی است. بعلاوه، این رابطه ممکن است برای یک نوع خاک ثابت نباشد و در دوره‌های مختلف رطوبت‌گیری و رطوبت‌زدایی خاک تغییر کند[۱]. با توجه به خصوصیات فیزیکی خاک و هدف از اندازه‌گیری رطوبت، دستگاههای اندازه‌گیری انتخاب می‌شوند. رطوبت حجمی خاک کمیت کاربردی‌تری است. در خاکهای با بافت ریز، آب با نیروی زیادی توسط ذرات خاک نگهداشته می‌شود، بنابراین حتی اگر رطوبت حجمی خاک نیز نسبتا زیاد باشد، آب مورد نیاز گیاهان تامین نخواهد شد. در مطالعه روابط گیاه – خاک، اندازه‌گیری مکش خاک با

توجه قدرت مکش گیاه در جذب آب از خاک می‌تواند کمیت مناسب‌تری باشد. مکش خاک می‌تواند عامل مناسبی در محاسبه تنش آبی گیاه نیز باشد. خصوصیات فیزیکی خاک (بافت، تورم، ترک) می‌تواند بر روی عملکرد روش انتخاب شده برای اندازه‌گیری رطوبت تاثیر گذار باشد زیرا برخی از حسگرها نیازمند تماس کامل با ذرات خاک می‌باشند. علاوه بر آن تابع نوع خاک، بارش، تبخیر و تعرق بعضی ابزار اندازه‌گیری نیازمند حفاظت و نگهداری خاصی می‌باشند. مدیریت آب آبیاری بر اساس اندازه‌گیری رطوبت موجود در خاک روش متداولی در تولیدات کشاورزی است. آگاهی از رطوبت خاک در هر مرحله به مدیر مزرعه این امکان را می‌دهد تا رطوبت موجود در خاک را در حد مورد نظر نگه دارد. این کار باعث کاهش هرزآب و آبشویی املاح شده، اما نیازمند انتخاب روش مناسبی برای آبیاری است[۲]. برای محاسبه حجم آبیاری، اعداد بدست آمده از روش تانسیومتری باید از طریق منحنی مشخصه خاک به رطوبت حجمی و یا وزنی تبدیل شوند.

روشهای غیرمستقیم اندازه‌گیری رطوبت

بیشتر روشهای اندازه‌گیری رطوبت خاک در مزرعه و گلخانه غیرمستقیم هستند. مرور کلی بر روشهای موجود با توجه به روش کار، مزایا و معایب هرکدام در ذیل ارایه شده است.

روش حجمی

تمام روشهای موجود در این زمینه به بیان حجم آب موجود در حجم نمونه خاک دست نخورده[$m^3\ m^{-3}$] می‌پردازند. این کمیت به بیان میزان رطوبت خاک بر اساس حجمی از خاک که توسط آب پر شده می‌پردازد. اگر بخواهیم این کمیت را بر حسب عمق بیان کنیم، حجم آب موجود در خاک نسبت به عمق مورد نظر در واحد سطح (میلی‌متر آب)، این کمیت با متغیرهای هیدرولوژیکی بارش، تبخیر، تعرق و زه‌آب می‌تواند مقایسه شود و نتایج حاصله در ارایه برنامه آبیاری در مزرعه بکار رود[۳].

تانسیومتر

اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک خاک با وسایل ساده‌ای بنام تانسیومتر انجام می‌شود. همه انواع تانسیومترها شامل جسم متخلخلی هستند که در تماس با خاک قرار می‌گیرند بطوریکه آب به راحتی می‌تواند از آن عبور کند. در خاک خشک آب از جسم متخلخل خارج می‌شود و در خاک مرطوب آب از محیط خاک وارد جسم متخلخل می‌شود. تانسیومترها نیازمند واسنجی نیستند ولی بعد از نصب تانسیومتر در محل مورد نظر باید مدت زمانی اجازه داد تا بین تانسیومتر و خاک تعادل برقرار گردد[۳].

مواد و روش‌ها

انتخاب و بکارگیری ابزارهای مدیریتی در گلخانه نیازمند شناخت دقیق دستگاهها و آشنایی کامل با روش کار آنها می‌باشد. بدین ترتیب که با شناخت ابزارهای مختلف و اصول بکارگیری آنها و بر اساس نیازسنجی انجام شده در محل مورد نظر چند گزینه مناسب برگزیده می‌شود. انتخاب زمانی امکانپذیر می‌شود که منظورمان از بهترین را

تعریف کنیم. برای به وجود آمدن وضعیت تصمیم‌گیری دست کم دو گزینه باید موجود باشد. مرحله دوم انتخاب بهترین گزینه از جنبه‌های اقتصادی و امکانات موجود می‌باشد. در شرایطی که فقط یک گزینه موجود باشد، در این حالت تنها روش یا جواب دسترسپذیر را می‌توان انتخاب کرد[٤]. رطوبت یکی از مولفه‌های مهم در گلخانه است که تاثیر مستقیم در میزان آب آبیاری در گلخانه دارد. اندازه‌گیری میزان رطوبت در گلخانه از دو منظر مورد توجه است: ۱- رطوبت خاک یا محیط کشت ۲- رطوبت هوای گلخانه (از این پس در مقاله به آن رطوبت می‌گوییم). در این مقاله سعی شده تا بطور کامل به هر دو موضوع پرداخته شود.

اسپر بسیاری از قارچ‌ها برای جوانه زدن احتیاج به رطوبت دارد. رطوبت زیاد باعث عرق کردن پوشش گلخانه شده و قطرات آب حاصله روی شاخ و برگ گیاه می‌ریزد. قارچ‌های بیماری‌زا در این محیط مناسب به سرعت رشد می‌کند و گیاه را مبتلا می‌سازد. نصب گرماسنج مناسب که درجه حرارت صحیح را نشان دهد، نیز در گلخانه ضروری است[۵]. در صورت امکان بهتر است چند رطوبت‌سنج و گرماسنج در نقاط مختلف گلخانه نصب شود تا درجه حرارت و رطوبت در همه جای گلخانه معلوم باشد.

همانگونه که در ابتدا نیز بیان شد در شرایطی که فقط یک گزینه موجود باشد تنها روش یا جواب دسترسپذیر را می‌توان انتخاب کرد. بدین ترتیب به معرفی بهترین و ارزانترین ابزارهای اندازه‌گیری رطوبت و دما در محیط گلخانه می‌پردازیم. لازم به ذکر است که این عوامل نیز تاثیر به سزایی در تبخیر و تعرق گیاه داشته و بر زمان و میزان آب آبیاری نیز تاثیر دارد.

سیستم‌های اندازه‌گیری رطوبت ودمای محیط گلخانه

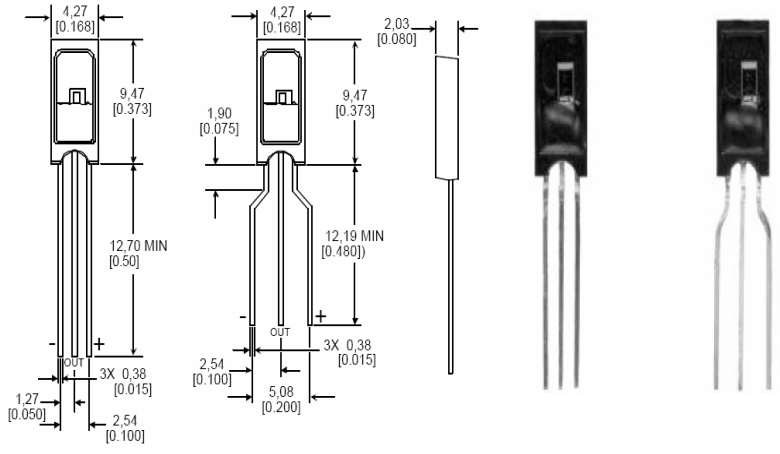
از بهترین و ارزانترین حسگرها می‌توان HIH4000 را برای اندازه‌گیری رطوبت و LM335 را برای اندازه‌گیری دما نام برد. بکارگیری این حسگرها بسیار آسان و ساده بوده و تنها نیازمند یک مدار ساده الکترونیکی هستند.

اندازه‌گیری رطوبت با (HIH4000)

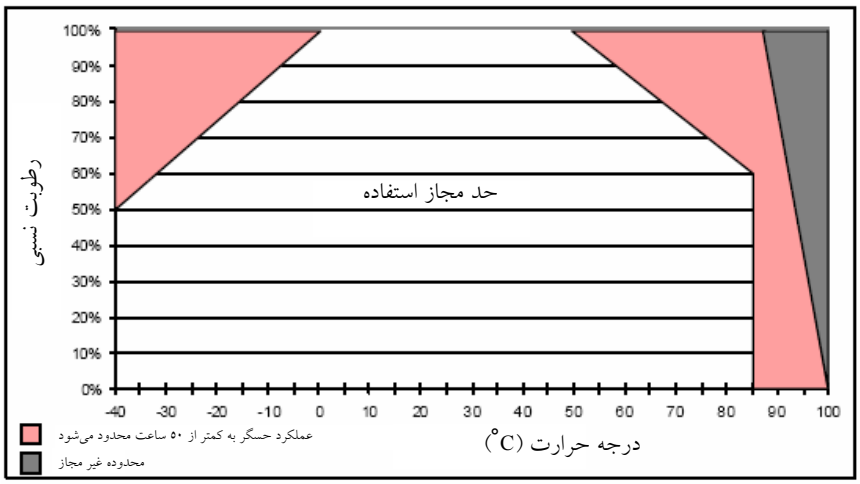
این حسگر از جدیدترین حسگرهای موجود در ایران است که دارای قابلیت اتوکالیبراسیون رطوبت نسبت به دماهای مختلف می‌باشد. رابطه ولتاژ پاسخ حسگر با رطوبت نسبی هوا نیز خطی می‌باشد. این ویژگیها سبب شده تا این حسگر بطور گسترده‌ای در رطوبت‌سنج‌های ساخته شده توسط شرکتهای مختلف برای اندازه‌گیری رطوبت محیطی مورد استفاده قرار گیرد. اغلب این دستگاهها نیز قیمتهای بسیار بالایی دارند. بدین ترتیب با بهره‌گیری از این حسگرها می‌توان هزینه‌های مدیریتی گلخانه را تا حدود زیادی کاهش داد و تعداد حسگرهای نصب شده را افزایش داد تا تخمین جامعی از رطوبت نسبی هوای گلخانه حاصل شود. این حسگر ساخت شرکت Honeywell می‌باشد که مشخصات کامل آن در شکل ۲ ارایه شده است.

حسگر نسبت به نور حساس است و برای انجام قرائت‌های مطمئن حتماً باید پوشش داشته باشد. البته باید توجه کرد که کاور دارای منافذی برای حرکت جریان هوا باشد. ارتباط مکرر حسگر با رطوبت بیش از ۹۰٪ باعث می‌شود تا حسگر بطور معکوس عمل کند و رطوبت نسبی را بسیار پایین‌تر از حد موجود نمایش دهد. همچنین حسگر

مذکور نسبت به ضربه نیز حساس است و منجر به قرائتهای غلط و با اطمینان پایین می‌شود. حد مجاز استفاده از حسگر در شکل ۳ ارایه شده است.



شکل ۲: *حسگر HIH4000 و ابعاد آن*

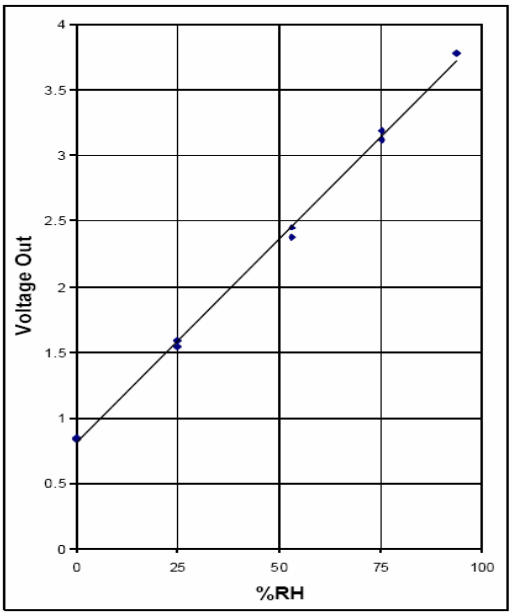


شکل ۳: *شرایط مجاز استفاده از حسگر، پیشنهاد شده توسط شرکت سازنده*

رابطه خطی رطوبت نسبی و ولتاژ در شکل ٤ ارایه شده، و ارتباط بین داده‌ها توسط خط بهترین برازش (Best Fit Line) بهم مرتبط شده است. با استفاده از این رابطه می‌توان با قرائت ولتاژ خروجی حسگر توسط مولتی‌متر، میزان رطوبت نسبی را از نمودار استخراج کرد[٦].

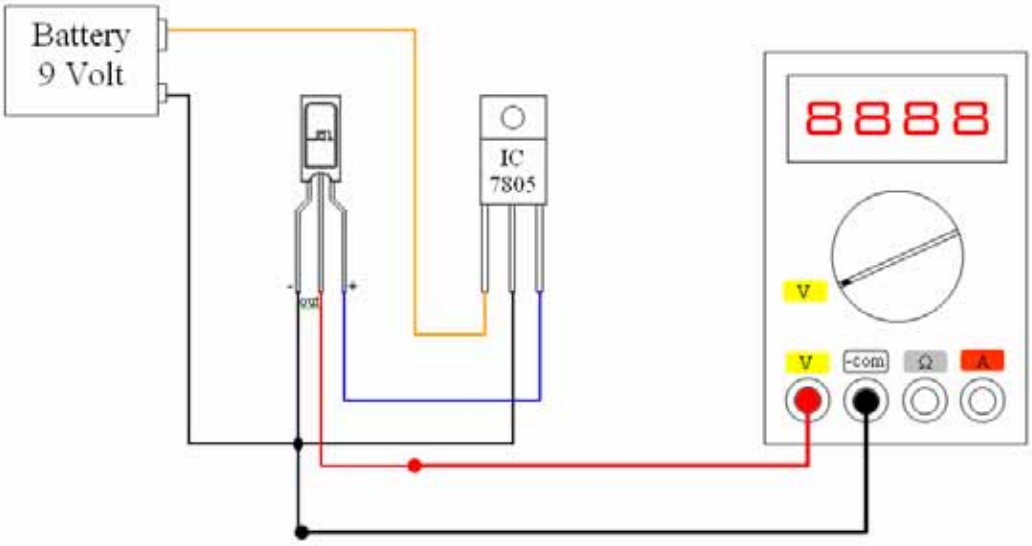
نحوه راه‌اندازی حسگر نیز در شکل ۵ بطور کامل تشریح شده است. مطابق شکل از یک باطری ۹ ولت به عنوان منبع تغذیه استفاده شده، آی‌سی ۷۸۰۵ با استفاده از باطری یک ولتاژ ثابت ۵ ولت برای حسگر مد نظر تولید می‌کند. مولتی‌متر بکار رفته نیز مقدار ولتاژ خروجی از حسگر را، برای تعیین درصد رطوبت نسبی با استفاده از معادله بیان

شده، نشان می‌دهد. این سیستم را می‌توان بطور ساده‌تر و توسط یک ولت‌متر کوچک که دارای صفحه نمایش کریستالی است در ابعاد ۱۲×۱۰ ساخت و در محل مورد نظر در گلخانه نصب کرد.



$$RH = (V_{OUT} - 0.829) / 0.0295$$

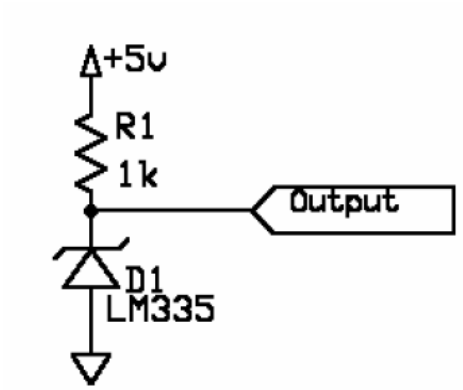
شکل ٤: *معادله واسنجی ارایه شده توسط شرکت سازنده (راست)، نمودار واسنجی ولتاژ خروجی و رطوبت نسبی (چپ)*



شکل ۵: *شمایی از طریقه بکارگیری حسگر HIH4000*

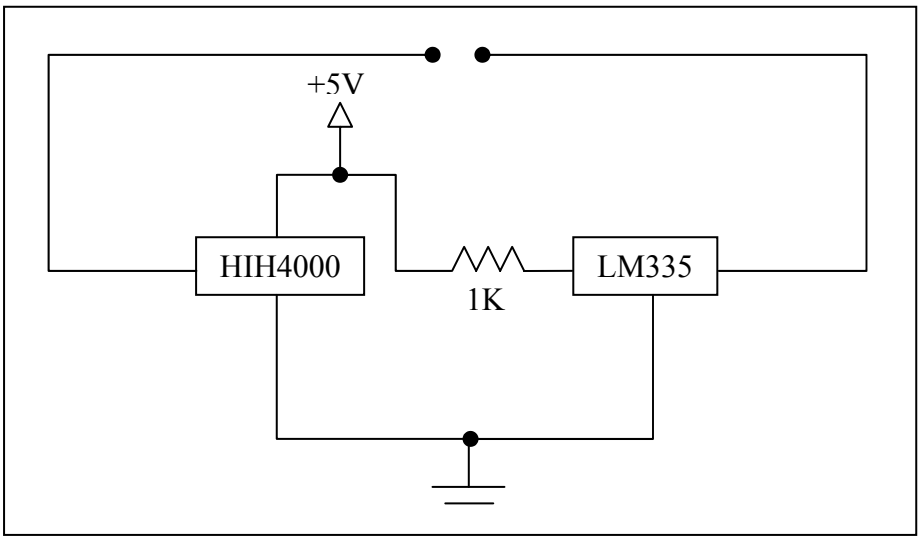
اندازه‌گیری دما با (LM335)

حسگر مد نظر دیود زنری است که برای ضریب حرارتی بهینه‌سازی شده است. این حسگر مطابق شماتیک موجود در شکل ٦ عمل می‌کند.



شکل ٦: *شماتیک حسگر LM335*

برای ساخت یک سیستم اندازه‌گیری توام رطوبت و دما می‌توان هر دو حسگر را در یک قاب پلاستیکی جا داد.



شکل ۷: *طریقه ساخت سیستم رطوبت‌سنج و دماسنج در یک قاب*

جهت بررسی سیستم‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک لازم است تا روشهای مختلف در این زمینه معرفی گردد. بیشتر این روش‌ها به طور غیرمستقیم رطوبت خاک را اندازه‌گیری می‌کنند و در دو مبحث: ۱- حجمی ۲- تانسیومتری قابل بررسی هستند که در قسمت مقدمه بطور جداگانه تشریح شده و در اینجا به معرفی چند روش برگزیده از هر مبحث پرداخته شده است..

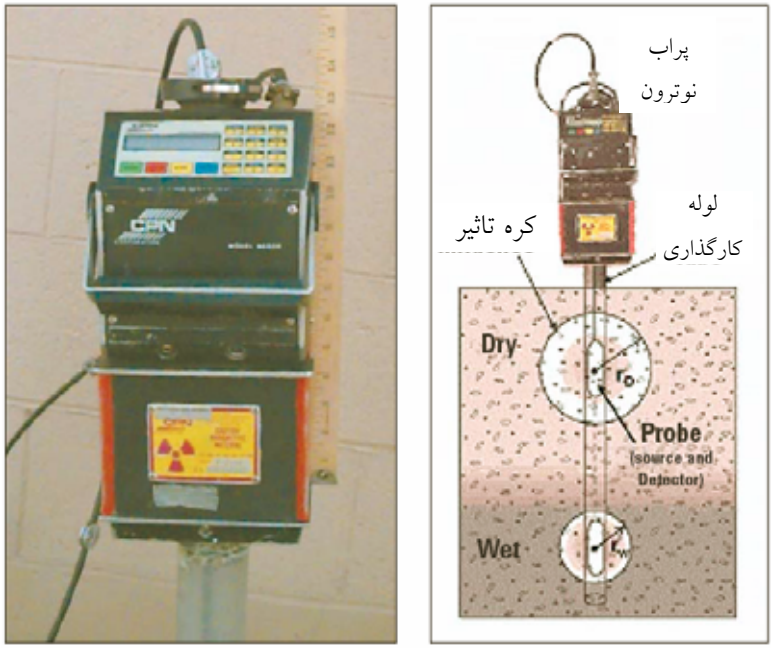
روش حجمی

.نوترون متر

روش کار: نوترونهای سریع از چشمه رادیواکتیو (^{241}Am, ^{9}Be) به داخل خاک ساتع می‌شود. وقتی آنها با ذراتی با جرم مساوی خودشان تصادم می‌کنند (H^{+})، سرعتشان به شدت کاهش می‌یابد و توده‌ای از نوترونهای کند شده را

تشکیل می‌دهند. تا زمانی که آب به عنوان منبع اصلی هیدروژن در خاک باشد، تراکم نوترونهای کند شده در اطراف میله تا اندازه زیادی بستگی به میزان آب موجود در خاک خواهد داشت.

شرح دستگاه: پیکربندی پراب (Probe) به شکل یک سیلندر باریک و طولانی است که شامل منبع نوترون و حسگر می‌باشد. اندازه‌گیری توسط جاگذاری پراب در داخل لوله‌ای که قبلا در خاک جاگذاری شده صورت می‌گیرد. رطوبت خاک را می‌توان در عمق‌های مختلف اندازه‌گیری کرد[۸]. رطوبت خاک توسط نمودار واسنجی حاصله از تعداد نوترونهای کند شده و نمونه‌های برداشت شده از منطقه کره تاثیر پراب بدست می‌آید (شکل ۸).



شکل ۸: *دستگاه نوترون‌متر و اجزای تشکیل دهنده آن*

مزایا: مزیت این روش نسبت به روشهای مستقیم آن است که اولاً به سرعت انجام شده و نیازی به صرف وقت ۱ تا ۲ روزه ندارد و ثانیاً اندازه‌گیری بطور مستقیم در صحرا و در شرایط طبیعی صورت می‌گیرد، علاوه بر آن می‌توان یک آزمایش را چندین بار تکرار نمود تا از نتایج حاصله اطمینان حاصل شود.

معایب: گران بودن دستگاه، نیاز به نیروی متخصص برای کار با دستگاه، خطرات ناشی از تابش نوترون و عدم امکان اندازه‌گیری رطوبت در لایه سطحی خاک، و در خاکهای محتوی مواد آلی نیازمند توجه و دقت زیاد در واسنجی می‌باشد، چون این خاکها حاوی مقادیر زیادی اتم هیدروژن هستند.

دی‌الکتریک

یکی دیگر از روشهای اندازه‌گیری حجمی رطوبت فن دی‌الکتریکی است. این فن رطوبت موجود در خاک را با اندازه‌گیری ثابت دی‌الکتریک خاک (K_a)، که سرعت حرکت امواج یا تپ‌های الکترومغناطیسی در خاک است، نشان می‌دهد. در خاکهای مرکب مانند خاک متشکل از مواد معدنی، آب و هوا، ثابت دی‌الکتریک با در نظر گرفتن سهم هر کدام از اجزای تشکیل دهنده حاصل می‌شود. بطوریکه ثابت دی‌الکتریک آب (۸۱) بسیار بزرگتر از ثابت سایر

اجزای تشکیل دهنده می‌باشد (K= 2 – 5 برای مواد تشکیل دهنده خاک و ۱ برای هوا)، در حالت کلی ثابت دی‌الکتریک خاک بیشتر تحت تاثیر میزان آب موجود است.

یک رابطه تجربی توسط Topp در سال ۱۹۸۰ برای محاسبه رطوبت حجمی بر اساس ثابت دی‌الکتریک بصورت زیر ارایه شده است[۹]:

$$\theta_V = -5.3\times10^{-2} + 2.92\times10^{-2}\kappa - 5.5\times10^{-4}\kappa^2 + 4.3\times10^{-6}\kappa^3 \qquad (۱)$$

این رابطه برای اکثر خاکها مستقل از ساختمان و بافت بوده، و تا رطوبت حجمی ۵۰٪ قابل استفاده است. در رطوبتهای بالاتر مانند خاکهای آلی، خاکهای با منشا آتشفشانی، نیازمند واسنجی خواهد بود. رابطه فوق تحت تاثیر امواج الکترومغانطیسی ارسال شده می‌باشد، و در فرکانسهای پایین‌تر از ۱۰۰ مگاهرتز ثابت دی‌الکتریک از مواد تشکیل دهنده خاک نیز تا حد قابل توجهی تاثیر می‌پزیرد.

روشهای دی‌الکتریکی که در زیر به بیان آنها می‌پردازیم عموماً از یک رابطه خاص بین رطوبت حجمی و سیگنال خروجی حسگر (زمان، فرکانس، امپدانس) تبعیت می‌کند. امروزه این تکنیک‌ها بدلیل سرعت در اندازه‌گیری، حداقل نیاز به حفاظت و نگهداری ملزومات و قابلیت ارایه چندین قرائت بطور اتوماتیک، بطور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند.

. انعکاس سنجی حوزه زمانی (TDR)

روش کار: ثابت دی‌الکتریک خاک توسط اندازه‌گیری زمان لازم برای عبور پالس الکترومغناطیسی (موج) در طول خط انتقال که توسط ذرات خاک احاطه شده بدست می‌آید. از آنجایی که سرعت انتشار تابعی از ثابت دی‌الکتریک می‌باشد بنابراین رابطه زیر برای بیان ارتباط این دو پارامتر ارایه شده است:

$$\kappa = \kappa(\theta) = \left(\frac{c}{v}\right)^2 = \left(\frac{c\times t}{2\times L}\right)^2 \qquad (۲)$$

بطوریکه c سرعت انتشار امواج الکترومغناطیسی در خلا (۳×۱۰^۸ متر بر ثانیه)، L طول خط انتقال امواج در خاک بر حسب متر می‌باشد.

شرح دستگاه: دستگاه TDR مطابق شکل ۹ نیازمند ابزاری برای تولید امواج الکتریکی در بازه زمانی ثابت و در محدوده فرکانسی (0.02 – 3 GHz)، برای عبور در طول کابل کواکسیال و پراب می‌باشد. این امواج، بدون ارتباط با مشخصات فیزیکی خاک نظیر ساختمان، بافت و دما، فرکانس پاسخی را تولید می‌کنند. پراب TDR عموماً شامل ۲ یا ۳ میله موازی فلزی است که به داخل خاک فرو برده می‌شود و همانند آنتن تلویزیون برای دریافت امواج و هدایت آنها بکار می‌رود. از سوی دیگر TDR ابزار دیگری را برای اندازه‌گیری انرژی (ولتاژ) خطوط انتقال در فواصل ۱۰۰ پیکو ثانیه بکار می‌گیرد. زمانیکه موج الکترومغناطیسی در طول خطوط انتقال منتقل می‌شود، یک ناپیوستگی پیدا می‌کند، قسمتی از پالس که بازتابیده شده، در سطح انرژی خط انتقال تغییر ایجاد می‌کند. زمان انتقال (t) توسط آنالیز عددی سطوح انرژی تعیین می‌شود.

شوری خاک و یا رسانایی بالای خاکهای رسی می‌تواند بر اندازه‌گیری TDR موثر باشد، بطوریکه این عوامل باعث تضعیف امواج برگشتی به سیستم می‌شوند. در خاکهای خیلی شور، از پراب روکش شده با پلاستیک اپوکسی

بهره می‌گیریم. بهرحال مسئله شوری باعث کاهش دقت اندازه‌گیری و واسنجی می‌شود. علاوه بر زمان انتقال، سایر مشخصات پالس‌های بازتابیده شده از خاک (نظیر بسامد و طول) نیز می‌تواند تحت تاثیر هدایت الکتریکی خاک قرار گیرد. در بعضی از ابزارآلات اندازه‌گیری تجاری نیز افت پالس برای اندازه‌گیری همزمان رطوبت و هدایت الکتریکی خاک بکار می‌رود[۱۰].

شکل ۹: *دستگاه انعکاس سنجی حوزه زمانی (TDR) شامل انواع پراب و دستگاه اندازه‌گیری*

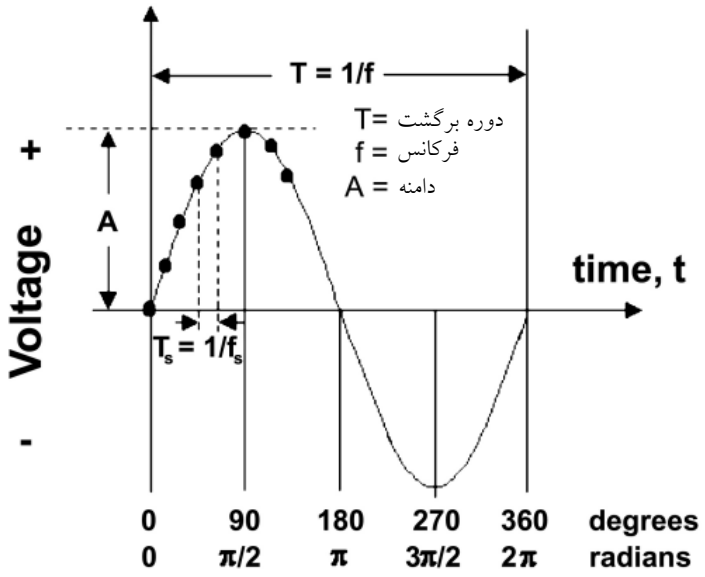
مزایا: خطای پایین این سیستم در اندازه‌گیری رطوبت (٪۱± بجز خاکهای شور)، نیاز به واسنجی ویژه در خاکهای مختلف ندارد، قابلیت اندازه‌گیری در اعماق مختلف، حداقل تخریب خاک، حساسیت کم نسبت به خاکهای با شوری نرمال، قابلیت اندازه‌گیری همزمان رطوبت و هدایت الکتریکی خاک.

معایب: گران‌بها بودن سیستم به علت پیچیدگی آن، اختلال در اندازه‌گیری در خاکهای خیلی شور و خاکهای رسی با هدایت الکتریکی بالا، نیاز به کالیبراسیون ویژه برای خاکهای شامل مقادیر زیاد مواد آلی، کره تاثیر کوچک.

انعکاس سنجی دامنه امپدانس (ADR)

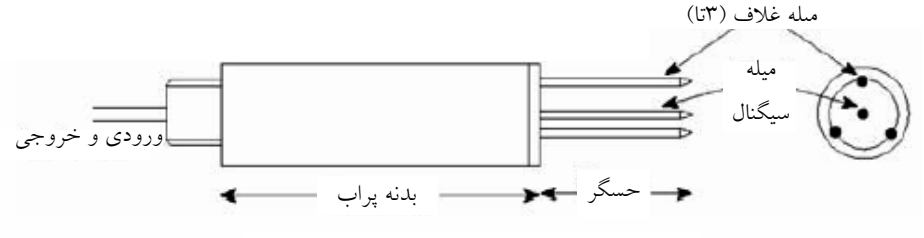
روش کار: زمانیکه یک موج الکترومغناطیسی (انرژی) در امتداد خطوط انتقال ارسال می‌شود مقطعی با امپدانس‌های مختلف حاصل می‌شود که شامل دو جز هدایت الکتریکی و ثابت دی‌الکتریک است، قسمتی از انرژی ارسال شده به فرستنده برگشت داده می‌شود. موج انعکاس یافته با موج تابشی تداخل یافته و باعث تولید ولتاژ ثابتی در طول خط انتقال می‌شود، دامنه موج در طول خطوط انتقال تغییر می‌کند. اگر مجموعه خاک – پراب باعث تغییر در امپدانس در خطوط انتقال شود، اندازه‌گیری اختلاف دامنه، امپدانس موجود در پراب را به ما خواهد داد. تاثیر هدایت الکتریکی خاک با انتخاب مناسب بسامد سیگنال ارسالی کاهش می‌یابد. بنابراین رطوبت موجود در خاک با اندازه‌گیری امپدانس پراب تعیین می‌شود.

شرح دستگاه: حسگرهای امپدانس از یک اوسیلاتور برای تولید سیگنال سینوسی مطابق شکل ۱۰ (موج الکترومغناطیسی با فرکانس ثابت معادل 100MHz) استفاده می‌کنند که به یک کابل کواکسیال بعنوان خط انتقال تزریق می‌شود.



شکل ۱۰: *مشخصات موج سینوسی*

خط انتقال توسط دو میله فلزی موازی تا داخل خاک نیز امتداد می‌یابد، میله بیرونی غلاف الکتریکی را اطراف میله سیگنال مرکزی تشکیل می‌دهد (شکل ۱۱). طرح میله‌ها همانند مقطع افزوده شده به خط انتقال عمل می‌کند، و دارای امپدانسی است که تحت تاثیر ثابت دی‌الکتریک خاک موجود در فاصله بین میله‌ها قرار می‌گیرد[۱۱].



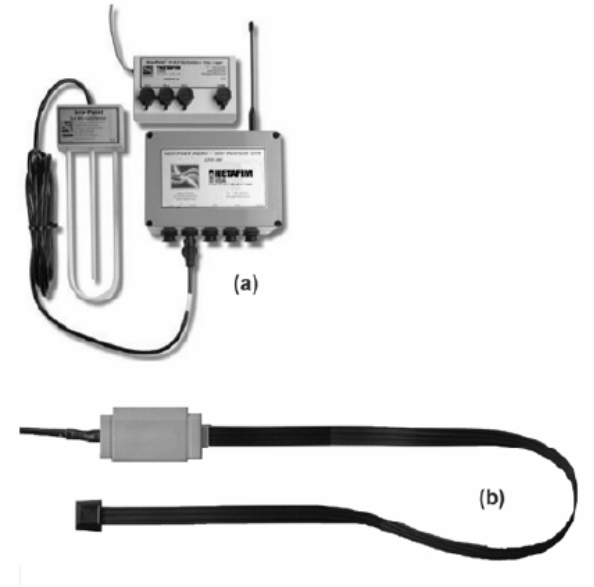
شکل ۱۱: *پراب انعکاس سنجی دامنه*

مزایا: خطای ٪۱± برای خاک با واسنجی ویژه و ٪۵± بدون واسنجی، امکان اندازه‌گیری رطوبت در خاکهای شور تا غلظت ۲۰ دسی‌زیمنس در متر، کمترین تخریب ذرات خاک، غیر حساس به دما، اندازه‌گیری رطوبت در محل.
معایب: نیاز به واسنجی سیستم برای اندازه‌گیری با اطمینان رطوبت، تاثیر بر اندازه‌گیری توسط شکافهای هوا، سنگها و ارتباط مستقیم پراب با آب، محدوده کم تاثیر دستگاه.

انتقال سنجی حوزه زمانی (TDT)

روش کار: این متد زمان عبور پالس الکترومغناطیسی را از یکسوی خط انتقال به سوی دیگر اندازه‌گیری می‌کند. بنابراین این روش نیز همانند TDR عمل می‌کند با این تفاوت که نیازمند ارتباط الکتریکی بین ابتدا و انتهای خط انتقال هست. با این حال سیستم مذکور بسیار ساده‌تر از TDR می‌باشد[۳].

شرح دستگاه: پراب شامل میله خمیده است، بنابراین ابتدا و انتهای خط انتقال وارد یک مدار الکترونیکی می‌شود. همچنین حسگر شامل باند طولانی و یک مدار الکترونیکی در دو سر می‌باشد.



شکل ۱۲: *پراب اندازه‌گیری زمان انتقال (TDT)*

مزایا: خطای ٪۲±، محدوده تاثیر وسیع‌تر نسبت به سایر روشهای دی‌الکتریکی، ارزانتر از سایر سیستمهای دی‌الکتریکی.

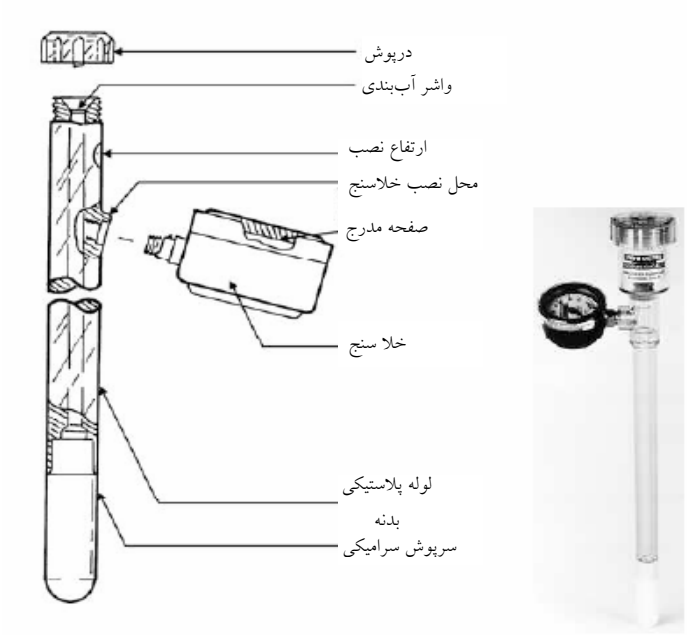
معایب: کاهش دقت در زمان ایجاد اغتشاش در پالس منتشر شده در طول خط انتقال، تخریب خاک در زمان نصب، ثابت بودن حسگر نصب شده در محل مورد نظر.

تانسیومتر

تانسیومتر فلزی

روش کار: کلاهک سرامیکی در داخل خاک قرار می‌گیرد و با خروج یا ورود آب به تانسیومتر تعادل پتانسیلی بین آب داخل و خارج تانسیومتر برقرار می‌شود. بنابراین با تعادل پتانسیل رطوبتی بین آب داخل وخارج کلاهک ممکن است مقداری آب از لوله تانسیومتر خارج شود که این عمل باعث ایجاد خلا و کاهش فشار در لوله می‌شود[۱].

شرح دستگاه: تانسیومتر متشکل از لوله‌ای است که در یک انتهای آن کلاهک سرامیکی و در قسمت فوقانی آن خلاسنج نصب شده است (شکل ۱۳). کلاهک سرامیکی بر حسب نوع استفاده در شکل و اندازه‌های مختلفی ساخته می‌شود و درصد خطای آن وابسته به دقت خلاسنج می‌باشد (حدود ۱± سانتی‌بار). بطور معمول دامنه عمل تانسیومترها ۸۰ – ۰ سانتی‌بار است، البته تانسیومترهای با دامنه ٤٠ – ۰ سانتی‌بار برای استفاده در خاکهای با بافت درشت نیز ساخته می‌شود.



شکل ۱۳: *تانسیومتر فلزی*

مزایا: امکان انجام چندین قرائت متوالی (تانسیومتر فلزی)، عدم نیاز به جریان الکتریکی، ابزار بسیار مناسب برای برنامه‌ریزی آبیاری، عدم نیاز به آموزش ویژه توسط کاربر، غیرحساس به شوری.

معایب: دامنه اندازه‌گیری محدود (کمتر از ۱۰۰ سانتی‌بار)، نیاز به زمان برای اندازه‌گیری، تماس کامل سرامیک و خاک برای قرائت دقیق، تماس ناقص سرامیک با خاک در خاکهای دانه درشت، نیاز به نگهداری ویژه و تامین آب لوله تانسیومتر.

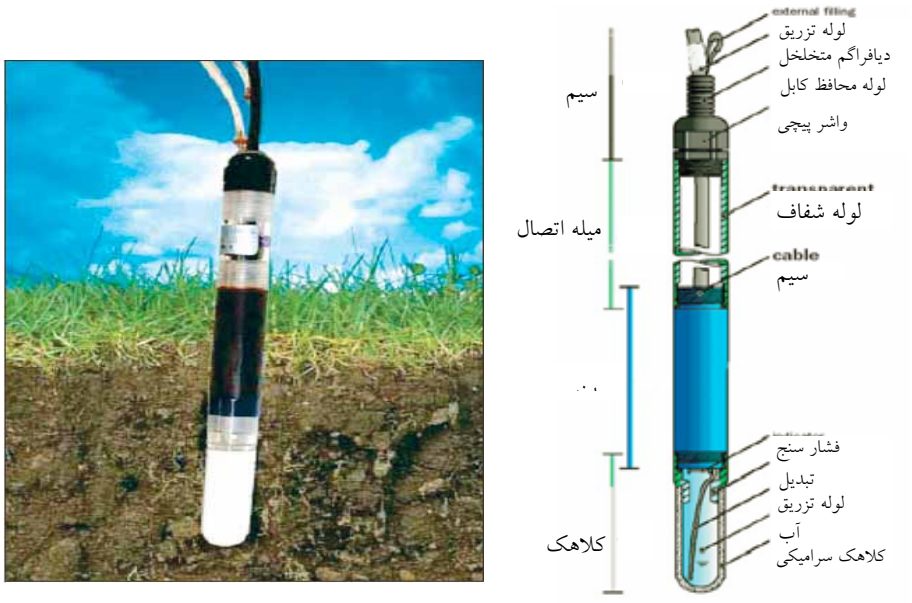
تانسیومتر UMS

روش کار: عملکرد این تانسیومتر مشابه سایر انواع آن می‌باشد. تانسیومتر UMS برای نصب بطور ثابت در مزرعه ساخته شده است. حسگر فشار زمان نیاز به پر کردن مجدد لوله و حسگر IR زمان پیدایش حبابها را در تانسیومتر نشان می‌دهد. UMS از لوله‌های نصب شده بر روی آن برای پر کردن لوله داخلی بهره می‌گیرد و در عین حال دمای خاک را نیز نشان می‌دهد (شکل ١٤).

شرح دستگاه: قسمتهای مختلف تشکیل دهنده UMS در شکل نشان داده شده است. این سیستم از چند بخش مجزا بترتیب: سیم و لوله تزریق آب، میله اتصال، بدنه فلزی، کلاهک سرامیکی تشکیل شده است. لوله تزریق در مواقعی که حسگر فشار نیاز به پر کردن دوباره را حس کند اقدام به تزریق آب به داخل دستگاه می‌کند[۳].

مزایا: کنترل اتوماتیک سیستم هنگام نیاز به تزریق آب به داخل تانسیومتر و تشکیل حباب، حداقل نیاز به نگهداری و حفاظت نسبت به سایر انواع تانسیومتر، نمایش همزمان پتانسیل ماتریک و دما.

معایب: دامنه اندازه‌گیری محدود (کمتر از ۱۰۰ سانتی‌بار)، تماس کامل سرامیک و خاک برای قرائت دقیق، تماس ناقص سرامیک با خاک در خاکهای دانه درشت، نیاز به جریان الکتریکی، مختل شدن سیستم در صورت اختلال در هر کدام از اجزا.



شکل ۱٤: *تانسیومتر UMS*

مقایسه گزینه‌ها و انتخاب بهترین گزینه

پس از معرفی سیستم‌های اندازه‌گیری نوبت به انتخاب بهترین، با توجه به شرایط موجود از نظر کارگر ورزیده، نو و فرسوده بودن گلخانه، و سایر موارد، از میان گزینه‌های ذکر شده می‌باشد. واضح است که انتخاب یک متد اندازه‌گیری رطوبت تا حد زیادی وابسته به ارزیابی اقتصادی متدهای انتخاب شده می‌باشد. بدین منظور روشی ارایه شده که بر حسب سلیقه کارفرما می‌تواند تغییر کند. بنابراین جا برای یک تحقیق جامع در این زمینه وجود دارد تا یک راهکار کلی برای انتخاب گزینه‌های مدیریتی ارایه شود.

مراحل زیر در فرآیند ارزیابی استفاده شده است:

۱- در ستون «ب» برای هر جواب بله امتیاز «۱» و هر جواب نه امتیاز «۰» منظور می‌شود. در قسمت راه‌اندازی و نگهداری، تا زمانیکه از چهار منظر بررسی شود، برای هر جواب امتیاز «۰,۲۵» منظور می‌کنیم.

۲- برای هر ویژگی مورد بررسی امتیاز ستون «ب» را با نسبت وزنی منظور شده در ستون «الف» ضرب می‌کنیم تا اعتبار نسبی ویژگی مورد مطالعه در ستون «پ» حاصل شود.

۳- جمع تمام امتیازهای بدست آمده در ستون «پ»، اعتبار نسبی کل (T) نامیده می‌شود.

٤- محاسبه هزینه‌ها توسط برآورد سرمایه مورد نیاز، هزینه نصب، هزینه‌های راه‌اندازی و نگهداری سیستم در طول عمر مفیدش و محاسبه عمر مفید سیستم مورد نظر.

۵- برای محاسبه هزینه سالانه سیستم، هزینه‌ها را بر عمر مفید سیستم تقسیم می‌کنیم.

$$Annual\cos t = \frac{COST}{LIFE(YEAR)}$$

٦- برای محاسبه ارزش سیستم (V)، اعتبار نسبی کلی را بر هزینه سالانه تقسیم می‌کنیم.

$$V = \frac{T}{A}$$

۷- سیستمی که دارای کمترین V محاسبه شده باشد، بهترین گزینه برای ارزیابی تعیین شده خواهد بود.

جدول ۱ شامل نمونه سوالات و امتیازهای وزنی داده شده به هر سوال می‌باشد. و جدول ۲ یک مثال حل شده برای گزینش رطوبت‌سنج است. مقایسه صورت گرفته بین دو سیستم A وB بیانگر این نیست که گزینه برگزیده شده در حالت کلی و برای هر شرایطی مناسب‌ترین است. بلکه برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه باید شرایط بطور کامل مورد بررسی قرار گیرند[۱۲].

جدول ارایه شده بر اساس سلیقه و نیاز کارفرما نیز می‌تواند تنظیم شود و اعتبارهای وزنی متفاوتی به هر ویژگی داده شود و یا ویژگیهای دیگری جایگزین ویژگیهای ذکر شده شود. بهرحال همانطور که بیان شد زمینه برای اجرای یک تحقیق جامع در مورد ویژگیهای مدیریتی گلخانه و مزرعه بطور جامع وجود دارد و نیازمند بحث‌های تحقیقاتی متعددی است.

ویژگی مورد مطالعه	درجه وزنی«الف»	امتیاز «ب»	نمره کل «پ»
دامنه موثر اندازه‌گیری	**۸**		
آیا سیستم مورد نظر قابلیت اندازه‌گیری محدوده رطوبتی مدنظر شما را دارد؟ (بله «۱» خیر «۰»)			.
خطا	**۱٤**		
آیا خطای سیستم قابل قبول هست؟ (بله «۱» خیر«۰»)			.
بافت خاک	**۱۱**		
آیا سیستم مورد نظر تحت تاثیر بافت خاک قرار می‌گیرد؟ (بله «۰» خیر «۱»)			.
قابلیت اطمینان	**۱۳**		
آیا اطلاعات کافی در زمینه عملکرد سیستم و سوابق آن دارید، و آیا آنها برای شما قابل قبول هستند؟ (بله «۱» خیر«۰»)			.
تناوب عمل و تکرار/بهم‌زدن خاک	**۸**		
آیا سیستم قابلیت قرائت سریع و متناوب را بدون بهم‌زدن خاک در محل مورد نظر دارد؟ (بله «۱» خیر«۰»)			.
ذخیره و انتقال اطلاعات	**۸**		
آیا قرائت داده‌ها و تفسیر آنها برای شما دشوار هست؟ (بله «۰» خیر«۱»)			.
امکان مخابره اطلاعات	**۱۰**		
آیا سیستم دارای ثبات اطلاعات هست و یا نرم‌افزاری برای تحلیل و تفسیر داده‌ها دارد؟ (بله «۱» خیر«۰»)			.
راه‌اندازی و نگهداری	**۱۰**		
آیا سیستم دارای روابط واسنجی جامع هست؟			
آیا سیستم دارای عمر مفید طولانی هست؟ (بیش از ۵ سال)			
آیا نگهداری از سیستم رایگان است؟			
آیا نصب و راه‌اندازی سیستم آسان هست؟			
برای هر جواب بله «۰,۲۵» منظور کنید.			
جمع کل			.
ایمنی سیستم	**۸**		
آیا بکارگیری سیستم خطری در بردارد؟ (بله «۰» خیر «۱»)			.
جمع کل			.

ویژگی مورد مطالعه	درجه وزنی«الف»	سیستم (A) امتیاز «ب»	سیستم (A) نمره کل «پ»	سیستم(B) امتیاز «ب»	سیستم(B) نمره کل «پ»	.
دامنه موثر اندازه‌گیری	۸					
آیا سیستم مورد نظر قابلیت اندازه‌گیری محدوده رطوبتی مدنظر شما را دارد؟ (بله «۱» خیر «۰»)		۰	۰	۱	۸	۰
خطا	۱٤					
آیا خطای سیستم قابل قبول هست؟ (بله «۱» خیر«۰»)		۰	۰	۱	۱٤	۰
بافت خاک	۱۱					
آیا سیستم مورد نظر تحت تاثیر بافت خاک قرار می‌گیرد؟ (بله «۰» خیر «۱»)		۱	۱۱	۰	۰	۰
قابلیت اطمینان	۱۳					
آیا اطلاعات کافی در زمینه عملکرد سیستم و سوابق آن دارید، و آیا آنها برای شما قابل قبول هستند؟ (بله «۱» خیر«۰»)		۰	۰	۱	۱۳	۰
تناوب عمل و تکرار/بهم‌زدن خاک	۸					
آیا سیستم قابلیت قرائت سریع و متناوب را بدون بهم‌زدن خاک در محل مورد نظر دارد؟ (بله «۱» خیر«۰»)		۱	۸	۰	۰	۰
ذخیره و انتقال اطلاعات	۸					
آیا قرائت داده‌ها و تفسیر آنها برای شما دشوار هست؟ (بله «۰» خیر«۱»)		۱	۸	۱	۸	۰
امکان مخابره اطلاعات	۱۰					
آیا سیستم دارای ثبات اطلاعات هست و یا نرم‌افزاری برای تحلیل و تفسیر داده‌ها دارد؟ (بله «۱» خیر«۰»)		۰	۰	۱	۱۰	۰
راه‌اندازی و نگهداری	۱۰					
آیا سیستم دارای روابط واسنجی جامع هست؟		۱/٤		۱/٤		
آیا سیستم دارای عمر مفید طولانی هست؟ (بیش از ۵ سال)		۱/٤		۰		
آیا نگهداری از سیستم رایگان است؟		۰		۱/٤		
آیا نصب و راه‌اندازی سیستم آسان هست؟		۱/٤		۰		
برای هر جواب بله «۰,۲۵» منظور کنید.						
جمع کل		۳/٤	۷,۵	۱/۲	۵	۰
ایمنی سیستم	۸					
آیا بکارگیری سیستم خطری در بردارد؟ (بله «۰» خیر «۱»)		۱	۸	۰	۰	۰

بحث و نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری رطوبت در گلخانه یکی از مهمترین گزینه‌های مدیریتی است که می‌تواند باعث صرفه‌جویی زیاد در هزینه‌ها و انرژی مصرفی شود. اتوماسیون گلخانه نیز سبب کاهش نیاز به نیروی کار و افزایش دقت در کنترل گلخانه می‌شود. انتخاب سیستم‌های مورد نیاز در گلخانه نیز نیاز به بررسی دقیق توسط کارفرما و یا مهندس مشاور دارد. متدهای متعددی برای ارزیابی رطوبت خاک وجود دارد بنابراین انتخاب یک متد مناسب نیازمند شناخت دقیق ابزار و مزایا و معایب آن است. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که بهترین روش کنترل دما و رطوبت محیط گلخانه استفاده از حسگرهای HIH4000 و LM335 می‌باشد. سیستم‌های تعیین رطوبت خاک نیز بسته به سلیقه و نیاز کارفرما داشته و با تشکیل جدول امتیاز وزنی ویژگیها نیز می‌توان تا حدود زیادی فرآیند انتخاب را ساده‌تر کرد. بر اساس تحقیقات صورت گرفته تعیین پتانسیل ماتریک خاک با استفاده از روشهای الکترونیکی موثرتر و مفیدتر از سایر روشهای اندازه‌گیری است. بدین ترتیب باید حرکت در جهت تولید ابزارهای ارزان و قابل اطمینان اندازه‌گیری رطوبت با این متد ادامه یابد.

ایجاد استاندارد وارداتی برای سیستمهای اندازه‌گیری بدلیل عدم تولید آنها در داخل می‌تواند باعث کاهش هزینه‌های وارداتی شده و مانع از ورود سیستمهای نامناسب با شرایط داخل نیز شود. این استاندارد می‌تواند راهنمایی برای خریداران داخلی نیز باشد. و تولیدکنندگان خارجی را در مسیر تولید مطابق با این استانداردها وادارد. البته خرید قطعات خام و مونتاژ آنها مطابق نیاز داخلی نیز می‌تواند بهترین و با کفایت‌ترین حالت باشد. در این حالت می‌توان از بروزترین قطعات بهره گرفته و کیفیت محصولات تولید شده را نیز بالا برد. در این راستا وجود موسسات تحقیقاتی و تولیدی الزامی خواهد بود.

منابع

۱-بیدریغ سیروس ۱۳۷۷. کشت گلخانه‌ای خیار، گوجه فرنگی و توت فرنگی، ۱۰۰ص.

۲-علیزاده،امین. ۱۳۸۳. رابطه آب و خاک و گیاه، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، ٤٧٢ص.

۳-غیور ژوبین، کثیرزاده مجتبی ۱۳۸۲. اقتصاد مهندسی، موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۹۹ ص.

4- Cape J., 1997. Development of value selection method for choosing between alternative soil moisture sensors. Land and water resources research and development corporation project No.AIT2, Canberra, ACT. 4p.

5- Charlesworth, P. 2005. Soil water monitoring. National program for irrigation research and development. CSIRO land and water. 101 p.

6- Honeywell. 2003. Humidity/Moisture sensor HIH4000 series. 4p.

7- Munoz-Carpena R., Li Y. & Olczyk T. 2002. Alternatives for low cost soil moisture monitoring devices for vegetable production in the south Miami-Dade County agricultural area. Fact Sheet ABE 333, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 6 p.

8- MunozCarpena R., Shukla S. and Morgan K. 2004. Field devices for monitoring soil water content, 24p.

9- Nakashima, M., M. Inoue, K. Sawada and C. Nicholl. 1998. Measurement of soil water content by amplitude domain reflectometry (ADR) method and its calibrations. Chikasui Gakkaishi (Bulletin of the Japanese Association of Groundwater Hydrology) 40: 509-519.

10- Paulson D. 2006. Chapter 8. Near space experiments parallax inc. rev 1.1, http://parallaxinc.com/dl/docs/cusapps/NearSpaceCh8-v1.1.pdf

11- Topp G.C., Davis J.L. & Annan A.P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. Water Resources Research 16: 574-582.
12- Topp G.c., Davis, J.L. 1985. Time Domain Reflectometry (TDR) and it's application to irrigation scheduling, Advances in irrigation, Vol.3: 127-197.