



IDRG

Irrigation & Drainage Research Group

گروه پژوهشی آبیاری و زهکشی

شرکت فن آب گستر البرز

<http://www.SoilWaterPlant.com>

تلفکس: 02923034882

موبایل: 09122530734

IDRG SMS-St

حسگر اندازه گیری رطوبت و دمای خاک



IDRG

IDRG



مقدمه

مانیتورینگ پیوسته رطوبت و دمای خاک در زمینه‌های مختلفی از قبیل هیدرولوژی، خاکشناسی، ژئوتکنیک، اکولوژی، هواشناسی و کشاورزی از اهمیت بسزایی برخوردار است. اما از آنجاییکه تمام سنسورهای موجود در بازار ایران خارجی و گران قیمت می‌باشند، امکان خریداری آنها توسط دانشجویان تقریباً ناممکن می‌باشد. با در نظر گرفتن این مشکل بزرگ، هدف ما توسعه یک حسگر رطوبت و دمای خاک (سنسور رطوبت و دماسنج خاک) بود که با هزینه بسیار پایین و امکانات کافی، مناسب استفاده در پژوهش‌های دانشجویی باشد.

بر این اساس، مهمترین ویژگی‌های حسگر IDRG SMS-St عبارتند از اندازه‌گیری دمای خاک و اصلاح اثر دما، اندازه‌گیری رطوبت در خاک‌های شور، مجهز به ریدر اختصاصی، قابلیت کارگذاری در عمق خاک برای مدت طولانی، عدم نیاز به تعمیر و

نگهداری و بسیاری ویژگی‌های دیگر که آنرا برای کاربردهای پژوهشی ایده‌آل می‌سازد.

از دیدگاه کاربری، دستگاه حاضر از دو بخش اصلی تشکیل شده است که عبارتند از پروب رطوبت و دماسنجی که در داخل خاک دفن می‌گردد و یک ریدر که به پروب متصل شده و امکان مشاهده رطوبت و دمای خاک اندازه‌گیری شده را فراهم می‌کند. در ذیل به شرح جزای دستگاه و نحوه کالیبراسیون آن پرداخته می‌شود.



ریدر

ریدر اختصاصی دستگاه مجهز به یک صفحه نمایش کوچک (LCD) برای قرائت دستی در مزرعه یا آزمایشگاه می‌باشد. قرائت رطوبت خاک به صورت خام می‌باشد (اعداد بین 0 تا 1023) و پس از اعمال ضرایب کالیبراسیون تبدیل به درصد حجمی می‌گردد.

دقت و رزلوشن

رزلوشن (قدرت تفکیک) ریدر برای قرائت رطوبت خاک معادل $0.002 \text{ m}^3/\text{m}^3$ می‌باشد. دقت اندازه‌گیری رطوبت بستگی به ملاحظات بسیاری دارد و در نهایت با توجه به کالیبراسیون انجام شده توسط کاربر تعیین می‌شود.

دمای خاک نیز با دقت ± 0.5 درجه و رزلوشن 0.1 درجه سانتیگراد توسط ریدر اندازه‌گیری می‌شود.

پروب رطوبت و دماسنجی

دسته‌ای از روش‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک به عنوان روش‌های دی‌الکتریک شناخته می‌شوند. این روش‌ها، رطوبت حجمی خاک را بوسیله اندازه‌گیری گذردهی (یا ثابت دی‌الکتریک) توده خاک، Ka_b ، که سرعت یک موج الکترومغناطیس یا پالس از میان خاک را مشخص می‌کند برآورد می‌نمایند. در یک ماده مرکب نظیر خاک که از اجزای متفاوتی نظیر مواد معدنی، هوا و آب تشکیل شده است، مقدار گذردهی به وسیله سهم نسبی هر یک از اجزا مشخص می‌شود. از آنجایی که در دمای یکسان، ثابت دی‌الکتریک آب مایع ($Ka_w = 81$) خیلی زیادتر از سازندهای دیگر خاک ($2-5 = Ka_s$) برای مواد معدنی خاک و 1 برای هوا) است، گذردهی مجموع خاک یا گذردهی حجمی اساساً توسط آب مایع رقم می‌خورد. در روش‌های دی‌الکتریک، روابط کالیبراسیون شده تجربی بین رطوبت حجمی



الکتریکی یک خازن است که محیط متخلخل خاک نقش دی-الکتریک آن را بازی می‌کند. با توجه به بالاتر بودن ثابت دی‌الکتریک آب نسبت به سایر مواد تشکیل دهنده خاک، هرگونه تغییر در رطوبت خاک منجر به تغییر در خروجی سنسور شده و بعد از کالیبراسیون مبنای اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک قرار می‌گیرد.

روش اندازه‌گیری رطوبت

خروجی یک اسیلاتور مولد موج، پس از تقویت، از طریق پروب به خاک اعمال می‌گردد که در این حالت موج بازتاب شده از خاک، منعکس کننده وضعیت رطوبتی خاک خواهد بود (یعنی، انعکاس سنجی حوزه فرکانس). بخش فلت پروب در حقیقت نقش الکترودهای خازن را بازی می‌کنند (شکل 1). موج بازتاب شده با یک فرکانس مرجع مقایسه شده و خروجی آن طی چند مرحله فیلتر

خاک و سیگنال خروجی سنسور (زمان، فرکانس، امپدانس، فاز موج) مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل 1- پروب رطوبت‌سنج خاک

جدیدترین روش‌های دی‌الکتریک که بر پایه بازتاب سنجی حوزه فرکانس کار می‌کنند تحت عنوان سنسورهای FDR شناخته می‌شوند. سنسور رطوبت و دمای خاک حاضر (شکل 1)، بر پایه بازتاب-سنجی حوزه فرکانس طراحی شده و مبنای اندازه‌گیری آن، ظرفیت



پایین گذر برای تقویت به یک تقویت کننده عملیاتی بسیار دقیق فرستاده می‌شود.

اندازه‌گیری دمای خاک

دمای خاک پارامتر بسیار مهمی است که با استفاده از یک سنسور دماسنج فوق‌العاده دقیق که بر روی برد تعبیه شده به صورت بلادرنگ اندازه‌گیری و به دیتالاگر ارسال می‌شود. در واقع اندازه‌گیری دما و رطوبت خاک به صورت همزمان و با نرخ داده‌برداری یکسان انجام می‌گیرد.

(ب) دقت اندازه‌گیری

علیرغم قابلیت‌های دستگاه، فاکتورهای بسیاری دقت نهایی داده‌های رطوبت خاک را محدود می‌کنند. علاوه بر رطوبت خاک، مقدار املاح، درجه حرارت و بافت خاک نیز بر روی قرائت سنسورهای نوع بازتاب‌سنج حوزه فرکانس موثر می‌باشند. جبران اثرات تغییر دما نسبتاً ساده است زیرا اثر خطی آن بر روی پروب، به سادگی با اندازه‌گیری دما قابل اصلاح است. علاوه بر آن بافت خاک، یک خاصیت استاتیکی است. اگر نقشه مزرعه از نظر بافت خاک در دسترس باشد، اثرات بافت خاک بر روی اندازه‌گیری‌های دی‌الکتریک قابل تخمین زدن می‌باشد. با کالیبراسیون ویژه خاک نیز می‌توان اثر بافت خاک را حذف نمود. بنابراین، ملاحظات مربوط به حرارت و بافت خاک به سادگی بر روی داده‌ها انجام می‌شود و فقط تاثیر دو فاکتور رطوبت و شوری (املاح خاک) بر روی قرائت سنسور باقی می‌ماند.



کاهش تاثیر شوری خاک

کلیه قطعات الکترونیکی و الکترودهای خازن بر روی برد مدار چاپی تعبیه و این برد توسط لایه‌ای از یک ماده شیمیایی در برابر رطوبت خاک ایزوله شده‌اند. کل برد نیز در داخل یک محفظه پلاستیکی قرار گرفته و با پوششی از وارنیش حرارتی برای تاثیر ناپذیری از شوری خاک به طور کامل پوشیده شده است. این پوشش‌ها اجازه خواهند داد تا سنسور بدون نگرانی از اثرات محیط خاک و نیاز به تعمیر و نگهداری، برای مدت طولانی در عمق خاک کار گذاشته شود.

تغییرات دمای خاک با فاصله از سطح زمین کم می‌شود. بنابراین، در مواردی که سنسور در عمق خاک نصب می‌گردد، نگرانی از تغییر دمای خاک وجود ندارد. در مواردی که سنسور در نزدیکی سطح خاک نصب می‌گردد، مدل کردن تاثیر نوسانات دما بر داده‌های قرائت شده نیز یک راه موثر برای افزایش دقت اندازه‌گیری رطوبت می‌باشد. در صورتیکه دمای خاک و دمایی که کالیبراسیون در آن صورت گرفته است متفاوت می‌باشند، اعمال ضرایب اصلاح دما کمک شایانی به افزایش دقت اندازه‌گیری‌ها خواهد نمود.

نکته 1: دمای اندازه‌گیری شده توسط دیتالاگر، متوسط دمای خاک در طول پروب می‌باشد.

نکته 2: با توجه به مکانیزم اصلاح اثر دما، به طور تقریبی قرائت رطوبت خاک به ازای هر 10°C تغییر در دمای پیرامون پروب، حدود 1% تغییر می‌کند.

2- کاهش تاثیر تغییرات دما

تغییر دمای خاک به دو طریق بر روی اندازه‌گیری‌ها تاثیرگذار است: نخست، تاثیر بر روی قطعات الکترونیکی و دوم، تغییر مقدار دی‌الکتریک آب خاک. اما، مشاهدات تجربی مشخص نموده است که



کالیبراسیون پروب رطوبت‌سنج

یک رویکرد رایج جهت برقراری رابطه بین ثابت دی‌الکتریک آب Ka_b ، و رطوبت حجمی خاک (VWC) معادله تجربی تاپ و همکاران (1980) است (معادله 1):

$$VWC = -5.3 \times 10^{-2} + 2.29 \times 10^{-2} Ka_b - 5.5 \times 10^{-4} Ka_b^2 + 4.3 \times 10^{-6} Ka_b^3 \quad (1)$$

رابطه 1 برای بیشتر خاک‌های معدنی (مستقل از ترکیب و بافت خاک) و رطوبت خاک کمتر از 50 درصد پاسخگو است. اما، برای رطوبت‌های بیشتر، مواد آلی یا خاک‌های آتشفشانی، یک کالیبراسیون ویژه نیاز است.

از آنجاییکه، قرائت دستگاه حاضر به صورت اعداد خام و تا درصدی وابسته به نوع خاک است، کالیبراسیون ویژه خاک برای حصول دقت بالا امری ضروری است. به این منظور، سه روش برای کالیبراسیون پروب پیشنهاد می‌گردد:

(1) کالیبراسیون در آزمایشگاه با استفاده از ترازو

- (2) استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج TDR
- (3) کالیبراسیون به روش وزنی

(1) کالیبراسیون در آزمایشگاه با استفاده از ترازو

دستورالعمل کالیبراسیون به اینصورت است که سنسور در داخل ظرفی محتوی خاک قرار داده شده، از آب اشباع می‌گردد (ترجیحاً با EC مشابه خاک محل اندازه‌گیری در مزرعه) و تغییرات وزن مجموعه و قرائت خام سنسور به صورت همزمان ثبت می‌گردند.

زمانیکه تغییر قرائت سنسور به سمت یک مقدار مشخص میل نمود (عدم تغییر معنی‌دار)، نمونه خاک ظرف برای تعیین درصد رطوبت به آن منتقل می‌گردد. پس از تکرار آزمایش، بین داده‌های خام قرائت شده توسط سنسور و مقادیر مشخص وزن یک رابطه همبستگی بدست می‌آید.



2) استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج TDR

با توجه به اعتبار و مقبولیت داده‌های دستگاه TDR، می‌توان رطوبت خاک مورد نظر را به صورت همزمان با استفاده از دستگاه TDR و دستگاه حاضر اندازه‌گیری کرده و در نهایت بین داده‌های بدست آمده رابطه همبستگی برقرار نمود.

3) کالیبراسیون به روش وزنی

این روش گرچه مستعد خطای زیادی است، اما معمول‌ترین شیوه کالیبراسیون سنسورهای رطوبت‌سنج است. برای کالیبراسیون به این روش، سنسور رطوبت‌سنج در عمق خاک کار گذاشته شده و در فواصل زمانی مشخص، رطوبت خاک به صورت قرائت خام سنسور برداشت می‌گردد. به صورت همزمان، از خاک نمونه‌برداری شده و برای تعیین درصد رطوبت، وزن تر و خشک آن محاسبه می‌گردد.

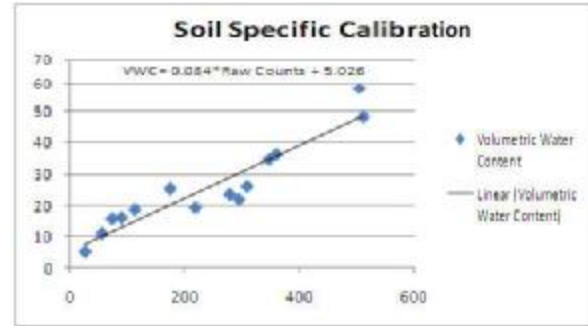
مشابه دو روش پیش، بین قرائت خام سنسور رطوبت‌سنج و داده‌های بدست آمده از روش وزنی رابطه همبستگی برقرار می‌گردد.

محاسبه معادله کالیبراسیون

برای برقراری رابطه همبستگی بین قرائت خام سنسور رطوبت‌سنج و داده‌های بدست آمده به هر یک از سه روش ذکر شده در بالا، یکی از دو رویکرد خطی یا درجه دوم بکار برده می‌شود. پس از داده‌برداری، با انتقال داده‌های بدست آمده به یک نرم‌افزار صفحه گسترده نظیر Excel، یافتن معادله کالیبراسیون بسیار ساده خواهد بود. به این ترتیب که یک scatter plot که داده‌های خروجی سنسور حاضر روی محور X و داده‌های بدست آمده از هر یک از سه روش (مثلاً داده‌های رطوبت حجمی از روش ثقلی) روی محور Y آن قرار گرفته است ایجاد کنید (شکل 2).



زمانیکه تابع کالیبراسیون مورد نیاز را بدست آوردید، می‌توانید ضرایب کالیبراسیون را اعمال و رطوبت را به صورت درصد داشته باشید.



شکل 2: رسم داده‌های کالیبراسیون نمونه. معادله کالیبراسیون ویژه خاک در گوشه چپ، بالای ناحیه گراف قابل مشاهده است.

سپس تابع trendline یا curve fitting را برای ساخت مدل ریاضی رابطه مورد استفاده قرار دهید. این رابطه اغلب خطی است، اما گاهی اوقات، خصوصاً در خاک‌های دارای مواد آلی بالا، با یک رابطه درجه دوم بهتر برازش می‌شود.



حسگر اندازه‌گیری رطوبت و دمای خاک



گروه پژوهشی آبیاری و زهکشی



گروه پژوهشی آبیاری و زهکشی

شرکت فن آب گستر البرز