ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران (کرج)
۲۴ و ۲۵ شهریور ۱۳۸۹

طراحی و ساخت سنسور اندازه‌گیری رطوبت بر اساس ظرفیت خازنی(FDR) برای کنترل یک آبپاش نرخ متغییر در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت

علی رضایی شهرکی[۱]، سید جلیل رضوی[۲] و آرمین گلاره[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد و[۲] استادیار گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان و[۳]کارشناس طراح، شرکت پیشرو کنترل، شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱

چکیده:

آب از عوامل اصلی رشد گیاه است و بسیاری خصوصیات خاک (پایداری، مقاومت، قابلیت تراکم، نفوذپذیری و ....) بستگی به مقدار آب دارد. خاک یک مجموعه سه جزئی است که گیاه برای رشد به هر سه جزء آن نیاز دارد. مقدار آب موجود در هر واحد حجم خاک را رطوبت خاک و حالت فیزیکی-شیمیایی آب در خاک را پتانسیل آن گویند. رطوبت به صورت مزرعه‌ای یا آزمایشگاهی، مستقیم یا غیر مستقیم به صورت کمی یا کیفی اندازه گیری می شود که بعضی از سنسورها هم مزرعه‌ای و هم آزمایشگاهی هستند. در روش مستقیم مقادیر جرمی و حجمی رطوبت به طور مشخص اندازه گیری می‌شود ولی در روش غیر مستقیم ابتدا یک عامل دیگر که درصد رطوبت بر آن مؤثر است اندازه-گیری شده و سپس مقدار رطوبت از روی آن تخمین زده می‌شود. موضوع مقاله معرفی یک سنسور با قابلیت استفاده آسان برای عموم و دقت بالا و همچنین قیمت پایین (ساخته شده در شهرک علمی تحقیقاتی اصفهان و دانشگاه صنعتی اصفهان) در مقایسه با دیگر نمونه‌های مشابه می‌باشد. سنسور ساخته شده بر مبنای ظرفیت خازنی (FDR)[۱] عمل می-کند که همراه با کنترل کننده آن در راستای کشاورزی دقیق و آبیاری به صورت خاص مکانی طراحی شده است. برای ارزیابی سنسور، رطوبت در یک بافت خاک ثابت در سه سطح و با سه تکرار ابتدا توسط سنسور اندازه‌گیری شده و سپس با قرار دادن نمونه‌ها در آون رطوبت آنها بر مبنای خشک بدست آمده که دقت سنسور را در بدترین حالت حدود ٤٪ نشان می‌دهد، که البته با خطی کردن رابطه رطوبت با ظرفیت خازنی توسط فرمول‌های مربوطه می‌توان دقت را تا حد ۱٪ بالا برد

واژه های کلیدی: رطوبت خاک، سنسور FDR ، آبپاش نرخ متغییر.

مقدمه:

1 - Frequency Domain Reflectometry

با توجه به افزایش جمعیت و افزایش نیاز به مواد غذایی و همچنین فرآیند گرم شدن زمین و کاهش بارندگی، مدیریت آب در کشاورزی و شهرنشینی امری لازم و ضروری است، همچنین با توجه به رقابتی شدن استفاده از منابع آب توسط بخشهای مختلف و با در نظر گرفتن این نکته که بخش کشاورزی به عنوان بزرگترین مصرف کننده آب مطرح می باشد، این بخش باید راهکارهای مختلف افزایش بهره وری آب، بخصوص راهکارهای مدیریتی، را مورد آزمایش قرار دهد تا در آینده نه چندان دور برای تامین نیاز غذایی دچار مشکل نشود. یکی از مهمترین راهکارهای مدیریتی برنامه‌ریزی آبیاری می باشد.

زمان‌بندی آبیاری یک روش سیستماتیک، اصولی و منظم است که از طریق آن تولید کننده می‌تواند زمان آبیاری و مقدار آب مورد نیاز را مشخص نماید. هدف یک برنامه زمان‌بندی موثر، فراهم کردن آب لازم و کافی در حداقل زمان برای گیاهان است، درحالیکه بتوان زیان‌های ناشی از هدر رفت آب، عدم ایجاد روان آب و یا تجمع آب اضافی در ناحیه ریشه گیاه را به حداقل رساند. زمان‌بندی کردن آبیاری وابسته به عواملی چون خاک، گیاه، شرایط جوی، سیستم آبیاری و فاکتورهای عملی می باشد. یک برنامه زمان‌بندی آبیاری مناسب مستلزم اطلاعات و تجربیات سازنده وبی‌عیب برای تصمیم‌گیری می‌باشد. سطح این نظرات و تجربیات شامل بازه‌ای است از تجربیات شخصی تا دنبال کردن تکنیک‌ها و راهکارهای دیگران، که بر پایه تجهیزات کامپیوتری گران قیمتی که می‌توانند آب، خاک و پارامترهای آب و هوایی را ارزیابی کنند، بنا شده است. تکنیک‌های زمان بندی کردن آبیاری می توانند براساس، میزان آب موجود در خاک، اطلاعات آب و هوایی ویا زیرنظر داشتن کمبودهای گیاهان، باشند. روش‌های زمان‌بندی معمولی شامل سنجش مقدار آب موجود در خاک یا محاسبه میزان تبخیر و تعرق گیاهان است.

مدیریت آب در کشاورزی و شهرنشینی بدون سنجش محتوای آب موجود در خاک محقق نمی‌شود. در راستای این مهم روش‌های متعددی به صورت مزرعه‌ای و آزمایشگاهی کشف و مورد استفاده قرار گرفته است که در این میان برخی روش‌ها به صورت مستقیم و برخی به صورت غیر مستقیم،کمی و کیفی، رطوبت را اندازه‌گیری می‌کنند.

بررسی منابع:

روش‌های کیفی قدرت حفظ آب توسط خاک را نشان می‌دهند. کشش آب توسط خاک یا مکش آب توسط خاک و یا پتانسیل آب در خاک از انواع انرژی آب خاک هستند. رابطه بین کشش آب و محتوای آب خاک خطی نیست لذا از این روش‌ها برای اندازه‌گیری آب در دسترس گیاه استفاده می‌شود نه برای اندازه‌گیری محتوای رطوبت خاک. ابزار اندازه‌گیری در این روش در یک محل و یک عمق کار گذاشته و عموما جابجا نمی‌شوند. به عنوان مثال بلوک گچی و تانسیومتر را می توان نام برد. در روش‌های کمی مقدار رطوبت خاک تعیین می‌شود و بر خلاف روش کیفی چندین اندازه‌گیری در مکان‌ها و عمق‌های مختلف می‌توان انجام داد (بی‌نام، ۲۰۰۳) .

روش مستقیم یعنی اینکه رطوبت را از روش‌های جرمی یا حجمی بدست می‌آورند ولی در روش‌های غیر مستقیم ابتدا فاکتوری که در ارتباط مستقیم با آب است اندازه‌گیری می‌شود و سپس از روی این فاکتور، رطوبت خاک محاسبه می‌شود که در زیر به مواردی از آنها اشاره می‌شود(علیزاده، ۱۳۸۷).

اندازه‌گیری رطوبت به روش مستقیم:

۱- روش حرارت دادن نمونه در آون: در این روش ابتدا نمونه مرطوب را وزن کرده(W_w)سپس نمونه را به مدت ۲٤ ساعت در آون قرار می‌دهیم و حال نمونه خشک را دوباره وزن می‌کنیم(W_d) که میزان رطوبت از روابط زیر بدست می‌آید.

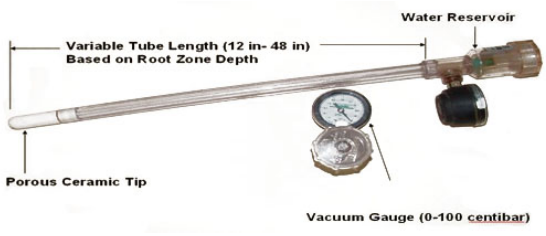
$$\begin{cases} m\% = \dfrac{W_w - W_d}{W_d} * 100 & \text{رطوبت بر مبنای خشک} \\ m\% = \dfrac{W_w - W_d}{W_w} * 100 & \text{رطوبت بر مبنای تر} \end{cases}$$

این روش که یک روش کمی است به صورت آزمایشگاهی انجام شده و محتوای وزنی آب خاک را بدست می‌آورد. زمان پاسخ گویی در این روش ۲٤ ساعت است.

معایب: زمان بر، مشکل، نیاز به ابزار آزمایشگاهی(آون و ترازوی دقیق)

مزایا: ساده، دقت بالا، مستقل از شوری و بافت خاک(علیزاده، ۱۳۸۷و وامر، ۲۰۰۸).

۲- روش تانسیومتر:



شکل ۱- دستگاه تانسیومتر

تانسیومتر لوله ساده پر آبی است که از بالا به در-پوش و از انتها به کلاهک سرامیکی منتهی می‌گردد. قطر لوله تانسیومتر معمولا یک اینچ است اما طول آن بر اساس عمق نصب انتخاب می‌شود(شکل ۱). اندازه‌های استاندارد طول تانسیومتر ٦ ، ۱۲ ، ۱۸ ، ٢٤، ۳٦، ٤٨ و ٦۰ اینچ می‌باشد. این وسیله به یک خلاسنج متصل است که فشار نسبی داخل لوله را نسبت به فشار اتمسفر اندازه‌گیری می‌کند. کلاهک سرامیکی از آب اشباع می‌باشد و هوا از آن عبور نمی‌کند، با قرار دادن لوله در خاک آب از کلاهک خارج شده تا به تعادل برسد در این حالت با قرائت فشار سنج از روی جدول متناسب با بافت خاک میزان رطوبت را بدست می‌آوریم. این روش یک روش کیفی است که کشش آب خاک(پتانسیل کاپیلاری) را اندازه می‌گیرد. زمان پاسخگویی در این

روش ۲–۳ ساعت است. تانسیومتر یک شاخص از آب در دسترس گیاه است. تانسیومتر در کشش کمتر از ۰/۸ بار موثر است و بیشتر از آن یا هوا وارد سرامیک می‌شود یا آب درون لوله به صورت بخار درمی‌آید.

معایب: محدوده رنج اندازه‌گیری بین صفر(اشباع) تا ۰/۸ بار است که برای خاک‌های شنی کافی نیست. اگر فشار داخل لوله از ۰/۸ بار کمتر شود پیوستگی بین ملکولهای آب از دست رفته و آب تبخیر می‌شود. تبدیل داده‌ها به محتوای حجمی آب از طریق جدول مربوطه انجام می‌شود که کار مشکلی است، پدیده هیسترزیس، نیاز به نگهداری مرتب و منظم دارد، امکان شکستن در موقع نصب وجود دارد، سیستم اتوماتیک کردن آن توسط مبدل فشار گران و ناپایدار است.

مزایا: ارزان، ساختار ساده، کاردهی خوب در رنج اشباع، نصب و نگهداری آسان، با اتیلن گلیکل در خاک‌های یخ زده کار می‌کند، تحت تاثیر شوری خاک قرار نمی‌گیرد، دقت قابل قبول (وامر، ۲۰۰۸).

اندازه‌گیری به روش غیر مستقیم:

۱–روش بلوک گچی:

شکل ۲– دستگاه بلوک گچی

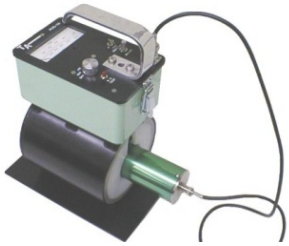
دستگاه شامل یک قطعه قالب مکعبی گچی به ابعاد ۵/۱× ٤× ۳ سانتیمتر است که داخل آن دو الکترود (دو قطعه توری سیمی با مش ۲۰ به ابعاد ۱*۲ سانتیمتر) با فاصله ۱ سانتیمتر از هم قرار دارند و دو سیم از این الکترودها خارج شده است. با تغییر رطوبت بلوک مقاومت بین دو الکترود تغییر می‌کند (شکل ۲). این روش یک روش کیفی است که کشش آب خاک را اندازه می‌گیرد. زمان پاسخ گویی در این روش ۲ تا ۳ ساعت است.

معایب: در خاک‌های شور و اسیدی و بافت‌های درشت با مشکل مواجه می‌شود، در خاک‌های خیلی خشک یا مرطوب حساسیت کمی دارد، دقت پایین، عمر کوتاه(۱–۳ سال)، نیاز به کالیبره دارد و کالیبره با زمان تغییر می‌کند.

مزایا: ساده، ارزان، اغلب رنج‌های آبیاری را پوشش می‌دهد، دقت در رطوبت‌های کم (علیزاده، ۱۳۸۷و وامر، ۲۰۰۸).

۲– دستگاه نوترون متر:

دستگاه نوترون متر از دو قسمت تشکل شده است: ۱– پراب به قطر ۵ سانتیمتر و ارتفاع ٤۰–۳۰ سانتیمتر که به طور عمودی داخل لوله ای که قبلا در خاک قرار داده شده ، قرار می گیرد. ۲– دستگاه شمارش گر برای ثبت شار نوترونهای کند شده.



شکل ۳- دستگاه نوترون متر

غالبا چشمه نوترون از مخلوط رادیوم و برلیم به قدرت ۲ تا ۵ میلی کوری استفاده شده که چنین مخلوطی در هر ثانیه ۱٦۰۰۰ نوترون از هر میلی کوری رادیوم گسیل می‌کند که انرژی آنها ۱ تا ۱۵ ملیون الکترون ولت است و سرعت آنها ۱٦۰۰ کیلومتر بر ثانیه می‌باشد. نوترونهای سریع از چشمه خارج شده و به اتمهای مواد مختلف در خاک برخورد می‌کنند و در فضای اطراف چشمه پراکنده می‌شوند و به تدریج از انرژی آنها کاسته می‌شود تا سرعت آنها به ۷/۲ کیلومتر بر ثانیه برسد که به آنها نوترون‌های کند شده گفته می‌شود. هر چه تشابه جرمی هسته اتم با نوترون بیشتر باشد بیشترین کاهش انرژی روی می‌دهد که از عناصر موجود در خاک، هیدروژن بیشترین شباهت را دارد.برای اینکه نوترون با انرژی ۲mev به سرعت حد خود برسد ۱۸ مرتبه با هسته هیدروژن برخورد می‌کند در حالی که برای رسیدن به این سرعت باید ۱۱٤ مرتبه با هسته کربن یا ۱۵۰ مرتبه با هسته اکسیژن برخورد داشته باشد. هر چه مقدار هیدروژن خاک بیشتر باشد نوترونها در اطراف چشمه سریع کند شده و تولید یک ابر نوترونی می‌کنند . نوترون‌های کند شده به تدریج جذب اتم‌ها شده و نوترون‌های کند نشده وارد میله شده و توسط گیرنده ثبت می‌شوند. برخورد هر نوترون با سلول گیرنده تولید یک پالس کرده که تعداد پالسهای ثبت شده در یک دوره زمانی مشخص با درصد رطوبت خاک رابطه مستقیم دارد. ابتدا برای واسنجی(کالیبراسیون) باید دستگاه را با توجه به نوع خاک منطقه تنظیم کرده و رابطه بین درصد رطوبت و تعداد نبض‌های اندازه‌گیری شده در هر دقیقه را به صورت منحنی یا معادله به دست آورد. منحنی واسنجی دستگاه نوترون متر غالبا به شکل خط مستقیم است. قرائت استاندارد درهمان محل اندازه‌گیری و در وضعیتی که میله نوترون متر هنوز از داخل محفظه خود خارج نشده است به دست می‌آید. بدین ترتیب که با روشن کردن دستگاه و انجام شمارش در همان دوره زمانی استاندارد یک دقیقه صورت گرفته و عدد به دست آمده به عنوان شمارش استاندارد در نظر گرفته می‌شود. توصیه می‌شود قرائت استاندارد، یک بار قبل از آزمایش و بار دیگر پس از آزمایش تعیین و میانگین آنها در محاسبات لحاظ شود. پس از به دست آوردن قرائت استاندارد میله از داخل دستگاه بیرون آورده شده و در داخل خاک در موقعیت مورد نظر، شمارش نوترونی صورت می‌گیرد. در این روش متوسط رطوبت خاک در حجم کره‌ای به شعاع تقریبی ۲۰ سانتیمتر اندازه‌گیری می‌شود. روش نوترون متر یک روش کمی بوده که محتوای حجمی آب را اندازه می‌گیرد و زمان پاسخگویی در این روش ۱- ۲ دقیقه است.

معایب: گران، وابسته به شوری و دانسیته حجمی خاک، خطر اشعه رادیو اکتیو، برای خاک‌های مختلف نیاز به کالیبره شدن دارد، نیاز به نصب لوله، نیاز به آموزش و کسب مجوز.

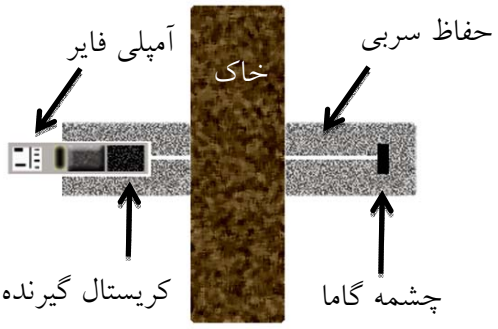
مزایا: نمونه دست نخورده، با کالیبراسیون خوب کاملا دقیق، سریع، قابل تکرار (علیزاده، ۱۳۸۷و وارمر،۲۰۰۸) .

۳- اشعه گاما:

روش میرایی اشعه گاما یک تکنیک رادیواکتیو است که در این روش فرض می‌شود پخش و جذب اشعه گاما به دانسیته مواد موجود در مسیرش و رطوبت خاک و فاصله‌ای که تابش اشعه در خاک طی می‌کند، مربوط می‌شود. تغییرات در دانسیته خاک با تغییر در رطوبت خاک ناچیز بوده که می‌توان از آن صرفنظر کرد پس با ثابت بودن ضخامت خاک میرایی متناسب با رطوبت خاک می‌شود. با این روش می‌توان رطوبت را در هر مقطعی از خاک بدست آورد. در روش رطوبت سنجی گاما معمولا از یک چشمه رادیواکتیو ۲۵ میلی‌کوری سزیوم ۱۳۷ استفاده می‌شود که انرژی آن کم و در حدود ٦٦١/٠ میلیون الکترون ولت است. چشمه رادیواکتیو داخل محفظه سربی قرار گرفته تا در حالت عادی خطرات ناشی از آن به حداقل برسد. این روش در کارهای تحقیقای کاربرد دارد و یک روش کمی است که محتوای حجمی آب را اندازه می‌گیرد و زمان پاسخگویی در این روش ۱ دقیقه است.

معایب: خطر ناشی از اشعه رادیو اکتیو،محدود به ضخامت خاک ۱ اینچ یا کمتر است، تاثیر پذیر از تغییرات دانسیته حجمی خاک(دانسیته حجمی کل نمونه یکنواخت و ثابت فرض می‌شود)، گران قیمت، مشکل، در خاک‌های لایه‌لایه خطای بزرگی دارد.

مزایا: می‌توان متوسط مقدار آب را در عمق بدست آورد، نمونه دست نخورده، اندازه‌گیری و ثبت اتوماتیک، رزولوشن بالا، امکان اندازه‌گیری تغییرات زمانی در آب خاک(زازوئتا و همکاران، ١٩٩٤).



شکل ٤- سیستم اشعه گاما

٤- روش های TDR[۲] و TDT[۳]:

روش انعکاس سنجی زمانی یک روش مزرعه‌ای استاندارد و کارا با دقت بالا می‌باشد که مهمترین عامل محدود کننده آن قیمت بالای دستگاه است. TDR از دو میله فلزی و دستگاه فرستنده و گیرنده سیگنال تشکیل شده است. قطر میله‌ها ۵ میلیمتر و میله‌ها حکم هادی‌های خازن را دارند و خاک بین آنها نقش محیط دی‌الکتریک را بازی می‌کند. نسبت گنجایش یک خازن که در آن از یک ماده به عنوان دی‌الکتریک استفاده شده به گنجایش همان خازن در صورتی که دی‌الکتریک آن هوا باشد، ثابت دی‌الکتریک آن ماده گفته می‌شود که معیاری از تمایل ملکولهای آن ماده در آرایش دادن خود در هنگام قرار گرفتن در میدان الکترواستاتیک است. دستگاه یک تپ ولتاژ الکتریکی را ایجاد کرده و آن را در طول میله‌های موازی منتشر می‌کند. این علائم با سرعت و فرکانس زیاد از میله‌ها خارج شده و سرعت سیگنال طی عبور از خاک کم می‌شود و دوباره توسط میله‌ها به دستگاه برگشت داده می‌شوند. این دستگاه زمان بین فرستادن و دریافت سیگنال را اندزه‌گیری می‌کند. .هر چه رطوبت خاک افزایش یابد ثابت دی‌الکتریک افزایش یافته و سرعت انتشار کاهش می‌یابد. ثابت دی‌الکتریک هوا ۱ و مواد جامد خاک ۲-۹ و آب ۸۱ می‌باشد.

$$\left.\begin{aligned} v &= \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} \\ v &= \frac{2l}{t} \end{aligned}\right\} \rightarrow \varepsilon_r = \left(\frac{ct}{2l}\right)^2$$

r: ثابت دی‌الکتریک l: طول میله v: سرعت موج در میله پراپ c: سرعت موج در خلا

t: زمانی که موج ازفرستنده خارج می‌شود تا به گیرنده برسد θ_v: نسبت حجمی رطوبت خاک

$$\theta_v = -5.3 * 10^{-2} + 2.9 * 10^{-2}(\varepsilon_r) - 5.5 * 10^{-4}(\varepsilon_r)^2 + 4.3 * 10^{-6}(\varepsilon_r)^3$$

این روش یک روش کمی بوده که محتوای حجمی خاک را اندازه‌گیری می‌کند. زمان پاسخگویی این سیستم حدودا ۲۸ ثانیه است.

معایب: گران، باید تماس خوبی با خاک داشته باشد.

مزیت: مستقل از بافت، دما و شوری خاک، امکان انجام آزمایشات بلند مدت، قابلیت اتوماتیک شدن، نیاز به کالیبره کردن مجدد برای خاک‌های مختلف ندارد (بلونگوئست، ۲۰۰۵ و علیزاده، ۱۳۸۷).

برای رفع عیب گرانی TDR به نقل از Blonquist در سال ۲۰۰۱ توسط Topp دستگاه جدید TDT به بازار عرضه شد. TDT علاوه بر داشتن مزایای TDR با حذف کابل رابط و قرار دادن دستگاه فرستنده و گیرنده

2- Time Domain Reflectometer
3 - Time Domain Transmission

سیگنال بر روی خود پراب، علاوه بر بهتر کردن عملکرد دستگاه قیمت آن را به حد قابل توجهی کاهش داد. عیب اصلی TDT اختلال ایجاد شده در خاک طی وارد کردن پراب در خاک به خاطر بزرگ بودن پراپ طراحی شده جدید می باشد (بلونگوئیست، ۲۰۰۵).

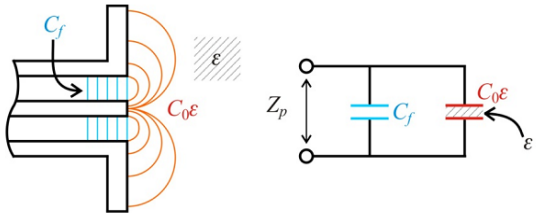
TDR

TDT

شکل ۵- دستگاه اندازه گیری رطوبت TDR و TDT

۵- روش ظرفیت خازنی (FDR):

در این روش از موج فرکانس رادیویی(RF) برای اندازه‌گیری ظرفیت خازنی خاک استفاده می‌شود. خاک به عنوان دی‌الکتریک یک مدار خازنی فرکانس بالا می‌باشد. فرکانس عموما نزدیک ۱۵۰MHz است. ظرفیت خازنی خاک به وسیله میدان الکتریکی ایجاد شده حول الکترودها، به ثابت دی‌الکتریک مربوط می‌شود.



شکل ٦- شماتیک مدار ظرفیت خازنی

این سنسور یک طیف فرکانسی از قسمت حقیقی و موهومی ثابت دی‌الکتریک خاک در تماس با پراپ، تولید می‌کند. سنسور توسط خازن‌های C_fو $C_0\varepsilon$ تشریح می‌شود، در کناره‌های صفحات خازن پدیده ظرفیت خازنی لبه‌ای را داریم. مقدار C_0 برای زمانی است که اطراف خازن هوا باشد. مقادیر C_0 و C_f در طی فرایند کالیبراسیون ماده دی-الکتریک برای هر فرکانس زاویه $\omega = 2\pi f$ تعیین می‌شود.

Z_s امپدانس سنسور با ماده‌ای با دی‌الکتریک ε و Z_c امپدانس مدار متصل به سنسور می‌باشد.

$$Z_s = \frac{1}{j\omega(C_f + C_0\varepsilon)} \qquad (1)$$

$$S = \frac{Z_s - Z_c}{Z_s + Z_c} \qquad (2)$$

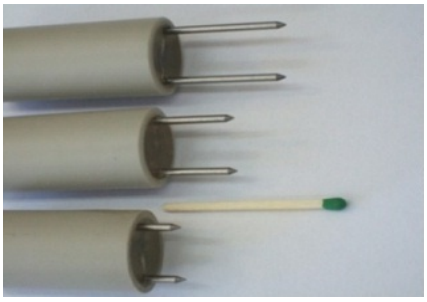
C_0 در مقایسه با C_f بسیار بزرگتر بوده و می‌توان از C_f صرف نظر کرد که Z_0 امپدانس خازنی است بدون در نظر گرفتن C_f و Z_{air} امپدانس خازنی با دی‌الکتریک هواست.

$$Z_0 = \frac{1}{j\omega C_0 \varepsilon} = \frac{Z_{air}}{\varepsilon} \qquad (3)$$

$$Z_0 = Z_c \frac{1+s}{1-s} \qquad (4)$$

با قرار دادن مقادیر معادله (٤) در معادله (٣) ثابت دی‌الکتریک ماده بدست می‌آید. با داشتن ثابت دی‌الکتریک طبق فرمول گفته شده برای TDR می‌توان محتوای حجمی را محاسبه نمود (اسکیروچا، ٢٠١٠).

$$\varepsilon = \frac{(1+S_{air})(1-S_m)}{(1-S_{air})(1+S_m)} \qquad (5)$$



این روش یک روش کمی بوده که محتوای حجمی خاک را اندازه‌گیری می‌کند. زمان پاسخگویی این سیستم آنی است.

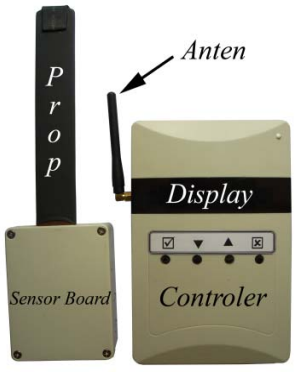
معایب: حساس به بافت خاک در خاک‌های رسی سنگین و شور، نیاز به تماس کامل بین سنسور و خاک، نسبتا گران

مزایا: دقت بالا، قابلیت اتوماتیک شدن و کنترل از راه دور (زازوئتا، ١٩٩٤).

شکل ٧- تصویر سنسور FDR

روشهای دیگری از جمله اندازه‌گیری با اشعه Near-Infrared، نورهای قطبی شده و یا سنجش از راه دور(توسط اشعه میکروویو و ماهواره‌ای) و ... نیز در اندازه‌گیری رطوبت وجود دارد که در کشاورزی کمتر مورد استفاده قرار می گیرند.

مواد و روشها:

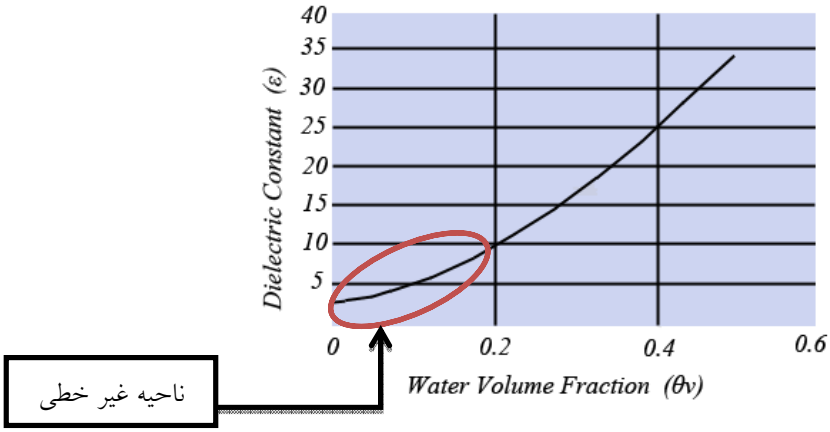


شکل ٨- سنسور FDR

سنسور ساخته شده در شهرک علمی تحقیقاتی اصفهان و دانشگاه صنعتی اصفهان از نوع FDR می باشد. این سنسور با توجه به فرمول‌های ارائه شده در بالا، محتوای حجمی رطوبت خاک را محاسبه می‌کند. این سنسور به صورت بی‌سیم با واحد کنترل خود در ارتباط است که برد فرستنده ١٠ متر می‌باشد. قسمت کنترل کننده متناسب با شرایط زمین و گیاه قابل برنامه‌ریزی بوده که این امر در راستای کشاورزی دقیق و اعمال آب به صورت خاص مکانی در سیستم‌های آبیاری تحت فشار و با استفاده از یک آبپاش نرخ متغییر می‌باشد. سنسور به گونه‌ای طراحی شده

که به صورت افقی در خاک قرار می‌گیرد تا بتوان رطوبت را در عمق مطلوب ریشه اندازه‌گیری کرد.

نحوه عملکرد این سنسور مطابق با سنسورهای FDR رایج گفته شده در بالا می‌باشد با این تفاوت که پراپ این سنسور با یک روکش از محیط اطراف خود ایزوله شده که این امر علاوه بر اینکه از سولفاته شدن صفحات خازن و یونیزه شدن خاک اطراف پراپ جلوگیری می‌کند باعث مستقل شدن داده‌های سنسور از شوری و دمای خاک می‌شود. رابطه بین ثابت دی‌الکتریک با رطوبت خاک در ابتدا به صورت غیر خطی ولی در انتها نسبتا خطی می‌شود که در این سنسور با حذف قسمت اول نمودار قسمت دوم را با خطای کم خطی فرض کرده که با داشتن رطوبت اشباع و خشک برای هر خاک می‌توان رطوبت‌های میانی را با فرمول‌های میان‌یابی محاسبه کرد.



شکل ۹- نمودار رابطه ثابت دی الکتریک و رطوبت خاک

برای ارزیابی این سنسور یک بافت خاک لومی سیلتی(رس ۲۱٪، سیلت ۵۰/۷۵٪، شن ۲۸/۲۵٪) در سه سطح رطوبت انتخاب شده به نحوی که ابتدا خاک را به حالت اشباع رسانده و از آن رطوبت اشباع را گرفته سپس با قرار دادن خاک در فضای آزاد(داخل سوله و در سایه) با فاصله زمانی حدود ۱۲ ساعت، از خاک موجود ۳ نمونه گرفته شد و جهت اندازه‌گیری رطوبت، داخل آون قرار داده شد. سنسور رطوبت حجمی خاک را به تعیین می کند، بنابراین طبق روابط زیر رطوبت بدست آمده از آون به رطوبت حجمی تبدیل گردید.

$$\left.\begin{aligned} \rho_b &= \frac{M_s}{V_t} \\ \theta_m &= \frac{M_w}{M_s} * 100 \end{aligned}\right\} \rightarrow \theta_v = \theta_m * \rho_b$$

ρ_b: دانسیته خاک خشک θ_m: درصد وزنی رطوبت خاک θ_v: درصد حجمی رطوبت خاک

به منظور تصحیح خطای ناشی از اندازه گیری و رساندن دقت از ٤٪ به ١٪ از روابط زیر استفاده گردید.

$$Eror\% = \frac{measured\ value - true\ value}{true\ value} * 100$$

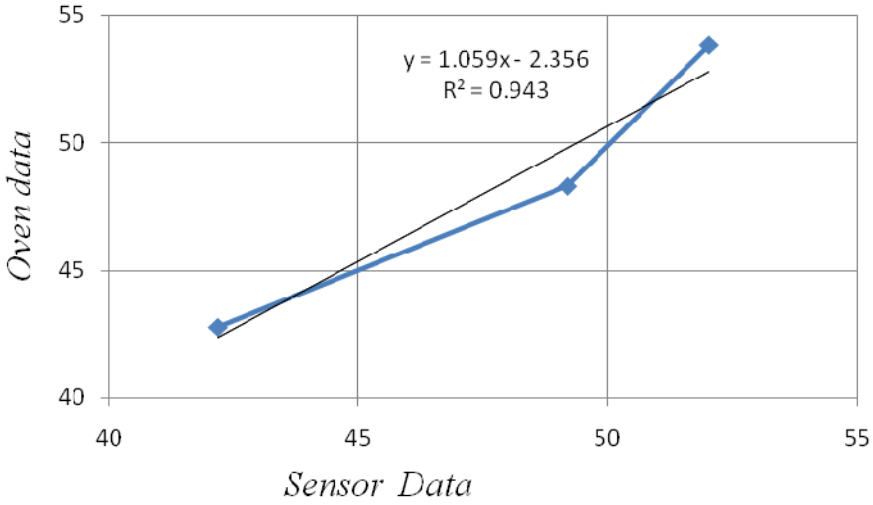
$$Precision\% = \frac{maximum\ deviation\ from\ mean}{true\ value} * 100$$

نتایج و بحث:

جدول ۱ نتایج اولیه از آزمایش سنسور ساخته شده را نشان می دهد. نتایج بدست آمده نشان می دهد که دقت اندازه گیری رطوبت خاک بین ۲/٤۸ تا ۳/۷٤ درصد و خطای حاصله بین ۳/۲ تا ۳/۵ درصد می‌باشد. با توجه به اینکه در شرایط مزرعه ای و برای کنترل میزان پاشش آب توسط یک آبپاش نرخ متغییر تغییرات رطوبتی خاک با خطای موجود مناسب به نظر می رسد، در نتیجه عملکرد سنسور در حد قابل قبول می باشد. شکل ۱۰ نمودار مر بوط به مقایسه عملکرد سنسور ساخته شده را تعیین رطوبت خاک به روش آون با ضریب همبستگی ۹٤/۳ درصد نشان می دهد.

جدول ۱- نتایج ارزیابی اولیه از عملکرد سنسور FDR ساخته شده

	رطوبت بدست آمده از آون θ٪		
	سطح سوم	سطح دوم	سطح اول
	٤۲/۷۸	٤۸/۳	۵۳/۸۲
	رطوبت بدست آمده از سنسور θ٪		
تکرار اول	٤۱	٤۹/۸	۵۳/٤
تکرار دوم	٤۳/۸	۵۰	۵۰/۲
تکرار سوم	٤۲	٤۸	۵۲/۵
واریانس	۱/٤	۰	۱/٦
متوسط	٤۲/۲	٤۹/۲	۵۲/۰۳
اختلاف از آون	۰/۵۸	۱/۷	۱/۷۸
خطا	٪۳/۲	٪۳/۵	٪۳/۳
دقت ٪۳/۷٤	٪۲/٤۸	٪۲/۵٤	



شکل ۱۰- نمودار عملکرد سنسور ساخته شده در مقایسه با اندازه گیری رطوبت به روش آون

نتیجه گیری:

در کشاورزی امروز برای مشاهده شرایط کاری در مزرعه و مدیریت منابع آب و خاک، نیاز به یک سنسور سریع، قابل اطمینان و با قابلیت اتوماتیک شدن وجود دارد. تکنولوژی‌های موجود هر کدام به دلایلی از جمله گرانی TDR ، خطرات ناشی از دستگاه نوترون‌متر، تاخیر زمان پاسخ و دقت پایین بلوک گچی و وابستگی به بافت خاک در خاک‌های سنگین و شور در سنسور FDR، هیچ کدام رضایت‌مندی کاملی را در کشاورزی به خصوص در شرایط ایران ایجاد نمی‌کند. سنسور ساخته شده با ساختمانی ساده و قیمتی بسیار مناسبتر از نمونه‌های مشابه دارای دقت مناسبی بوده(حدود ٤٪) که می‌توان با خطی کردن معادلات آن، دقت را تا ١٪ افزایش داد.

منابع:

١- علیزاده،ا.،١٣٨٧، رابطه آب و خاک و گیاه، انتشارات دانشگاه امام رضا، صفحات٣٩٣-٤١٨.

2- Anonymous.2003. Soil Moisture Measurement Methodology. Department of Civil and Environmental Engineering ,Helsinki University of Technology, *www.water.tkk.fi/wr/kurssit/.../Maavesien_kosteuden_mittaus.pdf*

3- Blonquist Jr, J.M, S.B. Jones, D.A. Robinson. 2005. A Time Domain Transmission Sensor With TDR Performance Characteristics. *Journal of hydrology, 314: 235-245*

4- Prichard, T.L. Soil Moisture Measurement Technology, *Water Management Specialist University of California Davis.* ceeldorado.ucdavis.edu/files/45069.pdf

5- Skierucha, W and A. Wilezek. 2010. A FDR Sensor for Measuring Complex Soil Dielectric Permittivity in the 10-500 MHz Frequency Range. *Sensors 2010. 10(4): 3314-3329*

6- Warner, H. 2008. Measuring Soil Moisture for Irrigation Water Management .*Extension irrigation engineer. agbiopubs.sdstate.edu/articles/FS876.pdf*

7- Zazueta, f. s. and J, Xin. 1994. Soil Moisture Sensors. *University 0f Florida, Extension Service Bulletin 292.*

Design and Development of a Di-Electric Constant Based Moisture Measurement Sensor for Control of a Variable Rate Irrigation Sprinkler

Abstract:

Water is one of the main factors of plant growth. Soil properties (stability, resistance, compress ability, permeability …) depend on quantity of soil water. Soil is a collection of three parts that plant needs them to grow. Water quantity available in unit volume of soil is called soil moisture and state of water physical-chemical in soil is called soil potential. Moisture measurement in the field or in laboratory is performed directly or indirectly on a quantity or quality basis by sensors. In direct method water mass and volumetric moisture quantity is measured, while in indirect method moisture effect on another element is first measured and soil moisture level is estimated on that basis. This paper presents a user friendly sensor with high precision and low cost applicable in precision irrigation. The sensor operates based on Di-electric constant (FDR) principle and is used with its designed controller for site specific precision irrigation. To evaluate the sensor, soil moisture at three levels within a silty clay loam soil texture with three replications was measured. Then soil samples were placed in the oven and moisture level was calculated (DB) to compare with data obtained from the sensor. In worst conditions, precision of the sensor is 4%. However, sensor precision could be raised by linear relationship of moisture with the capacitance up to 1%.

Keywords: Soil moisture, FDR Sensor, Variable Rate Sprinkler