Archive of SID

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد۹، فروردین -اردیبهشت ۱۳۹۴، ص. ۴۳-۳۲

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 9, Mar.-Apr. 2015, p. 32-43

طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری داده‌های محیطی خاک به ویژه رطوبت، دما و شوری با نام تجاری REC-P55

حسین انصاری*[۱]، محمد حسن پور[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۳

چکیده

در دهه های آتی، عمده کشور های جهان به جهت رشد لجام گسیخته جمعیت و نیاز بیش‌تر به تولیدات کشاورزی و نیز رشد سریع سطح استاندارد زندگی در کشورهای در حال توسعه و جهان سوم و به تبع آن رشد نیاز به محصولات صنعتی و کشاورزی، با بحران شدید آب مواجه خواهند شد. بنابراین استفاده مطلوب و بهینه از منابع آب از یک سو و از سوی دیگر افزایش سطح تولیدات کشاورزی و افزایش بهره‌وری در کشاورزی امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. در این ارتباط، طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری رطوبت و دمای خاک و نیز تعیین عصاره اشباع خاک به طور همزمان مدنظر قرار گرفت که نهایتاً تلاش سه ساله و ارتقای سطح کیفی سنسورها و دیتالاگر ساخته شده، این امر را در سال ۱۳۹۱ میسر ساخت. کاربرد دستگاه اندازه‌گیری داده‌های محیطی مذکور با نام تجاری REC-P55، در آزمایش‌های میدانی نشان داد که این دستگاه می‌تواند با دقت ۰/۰۵ درصد و صحت ۰/۵ درصد در خاک‌های با بافت متفاوت و نیز در اعماق مختلف داده‌های رطوبت وزنی خاک را ثبت نماید. به طوری که مقایسه رطوبت ثبت شده توسط دستگاه و روش وزنی دارای همبستگی حدود ۹۹٪ بود. هم‌چنین با عنایت به قابلیت های دستگاه، مشخص شد که امکان ایجاد پروفیل رطوبتی خاک به راحتی با این دستگاه وجود دارد و دستگاه در مقایسه با بلوک‌های گچی و دستگاه PR2 نتایج دقیق‌تری را بدست می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، اندازه‌گیری، رطوبت خاک، دما، شوری

مقدمه

امروزه کمبود آب به‌عنوان بزرگ‌ترین چالش قرن در جهان و به ویژه در منطقه خاورمیانه به‌حساب می‌آید، به طوریکه در حال حاضر حدود ۵۰۰ میلیون نفر در حدود ۳۱ کشور جهان با کمبود آب مواجه بوده و این رقم در سال ۱۴۰۴ به حدود ۲/۸ میلیارد نفر خواهد رسید. البته در سال های اخیر، کشورهای بیش‌تری از جمله کشورهای خاورمیانه تحت تأثیر بحران آب قرار گرفته اند که این امر موجب بحران در تأمین مواد غذایی برای جمعیت رو به رشد اکثر این کشورها گردیده است. لذا اولین و مهم‌ترین عامل محدودیت افزایش سطح و میزان تولیدات کشاورزی، میزان آب قابل وصول از منابع محدودیتی که کیفیت آن نیز به شدت رو به زوال است. از سوی دیگر تغییرات اقلیمی و روند رو به رشد گرم شدن هوا نیز موجبات افزایش مصرف آب به خصوص در کشاورزی را به همراه داشته و عملاً دست‌یابی به کشاورزی پایدار را دشوار نموده است. لذا امروزه سعی بر آن است تا با استفاده از تمام توان و پتانسیل علم و دانش بشری، امکانات پیاده-سازی کشاورزی پایدار را که اساس آن بر مصرف بهینه و به اندازه آب و متعاقب آن افزایش بهره‌وری آب محصول استوار است، مهیا سازند.

درسال ۱۹۹۶ سران ایالتی و مقامات رسمی دولتی در نشستی که به دستور فائو پیرامون مسایل تأمین غذا و امنیت غذائی در رم برگزار شده بود، گرد هم آمدند. در بخشی از این جلسه، این مقامات «بیانیه رم پیرامون امنیت غذایی جهان» را صادر کردند که شامل عبارت ذیل بود: «حق هر شخصی است که از غذای کافی برخوردار بوده و گرسنه نماند.» در همین نشست، در خصوص روابط بین امنیت غذایی و امنیت آبی نیز عنوان شد که «امنیت پایدار ذخایر غذایی در قرن آتی کاملاً به موفقیت در امر کنترل آب مرتبط می‌باشد. کنترل رطوبت در سطح منطقه ریشه منجر به بیشینه‌سازی و پایداری تولید می‌گردد، البته با این تضمین که نوسانات موجود در رژیم بارندگی باعث تنش در محصول نگردد و شناخت کاملی از منافع حاصل از تغذیه گیاه و سیستم‌های حفاظتی گونه‌ها یا واریته‌های مربوط به محصولات پربازده وجود داشته باشد.» (FAO, 1996). به عنوان یک اصل کلی، کاملاً واضح است که تأمین غذا با توجه به رشد آتی جمعیت نمی‌تواند

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانش آموخته کارشناسی علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: Ansariran@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

با همان استراتژی‌های رشد جمعیت در طی نیم قرن گذشته، ارضاء شوند. مسئله و مشکل اصلی از نظر سکلر و همکارانش (Seckler et al., 1998) همان کمبود یا فقدان آب است. آن‌ها وجود منابع آبی برای ۲۵ سال اول قرن ۲۱ را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تنها ۵۰ درصد تقاضای جدید می‌تواند از طریق مداخلات فنی و پروژه های جدید برآورده شود. ۵۰ درصد باقی‌مانده نیز مجبورند تا از طریق ابزار فنی مانند مدیریت بهتر و کارآمدتر منابع آبی برآورده شوند که این موضوع نیز به نوبه خود به استفاده از برخی از مداخلات و ابزار فنی تکیه دارد. بنابراین نقش استراتژی‌های مدیریت آب کشاورزی در استراتژی های امنیت غذایی ۲۵ سال‌های آتی بسیار مهم و ضروری به نظر می رسد. هزینه و نیز فقدان آب جهت توسعه اراضی جدید به این مفهوم است که آبیاری اراضی موجود باید با سیستم‌های حاضر و از طریق منابع آبی موجود، انجام شود لذا باید تولید بیش‌تری جهت رفع نیازها ایجاد کنند. این امر تنها در صورتی رخ می‌دهد که اراضی، منابع آبی و سیستم ها به طور کاراتری مدیریت، حفاظت، تقویت و نگهداری شوند. علاوه براین مدیریت آبیاری اغلب برای حداکثر سازی راندمان و حداقل کردن نیازهای سرمایه ای و کارگری یک سیستم ویژه آبیاری، با حفظ یک محیط رشد مورد علاقه و مناسب برای گیاه طراحی می‌شوند و برخی از نهاده‌های مدیریتی به نوع سیستم آبیاری و طراحی سیستم وابسته‌اند. برای مثال، درجه اتوماسیون، نوع سیستم (بارانی، قطره‌ای، یا سطحی)، یا استفاده مجدد از پساب مزرعه، نوع خاک، تغییرات توپوگرافی در مزرعه یا دشت زراعی و وجود و جایگاه ابزار مدیریتی از قبیل سازه‌های کنترل آب و مدیریت جریان می‌تواند مراحل تصمیم‌گیری مدیریتی را تحت تأثیر قرار دهد. از این رو، مهم-ترین «منابعی» که باید برای رشد آتی «توسعه یافته» و «حمایت شوند » منابع انسانی و نهادهایی هستند که به مدیریت و کنترل سیستم های منابع آب می پردازند. در همین راستا و به‌منظور دست‌یابی به اهداف کلیدی مدیریت آب آبیاری که دو هدف مهم را دنبال می-کند یعنی تأمین رطوبت مورد نیاز برای رشد گیاه، که انتقال مواد مغذی ضروری را نیز شامل می شود و شستشو یا رقیق‌سازی نمک ها در خاک، ساخت دستگاه اندازه گیری رطوبت با دقت و صحت بالا مدنظر قرار گرفت.

شناخت هر مرحله از رشد محصول و برآورد نیاز دقیق رطوبتی هر مرحله، باعث افزایش قابل توجه میزان عملکرد محصول خواهد شد. از طرفی هم برای هر محصول، رطوبت رکن اصلی بقای آن محصول می‌باشد که باید در برآورد دقیق آن نهایت سعی و تلاش را به کار بست. روش‌های متفاوتی برای تعیین رطوبت خاک وجود دارد که به دو گروه کلی تقسیم پذیر می‌باشند: ۱) روش‌های مستقیم، که به کمک آن‌ها مقادیر جرمی و حجمی مستقیم اندازه‌گیری می‌شود. ۲) روش های غیر مستقیم، در روش های غیر مستقیم با توجه به پارامترهای به‌دست آمده می توان درصد رطوبت خاک را محاسبه و گزارش کرد. هم‌چنین برای تشریح رطوبت در خاک عمدتاً سه روش کلی شامل روش وزنی، روش حجمی و روش پتانسیل رطوبت خاک وجود دارد که در تمام تجهیزات اندازه گیری رطوبت خاک از این روش‌ها استفاده می‌شود (Erbach, 1983) . حجم آب خاک یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی است که رشد گیاه و انتقال نمک در سیستم‌های آبیاری را تعیین می‌کنند. در کنار گیاه، اقلیم، خصوصیات نگهداری آب در خاک و خصوصیات هیدرولیکی خاک، نیازهای برنامه ریزی بهینه آبیاری، نیاز به اطلاعات به هنگام و واقعی از حجم رطوبتی خاک دارد، لذا در کشاورزی مدرن، ابزار و روش‌های زیادی برای کنترل اندازه‌گیری رطوبت خاک ارائه شده است. بیش‌تر روش‌های موجود برای اندازه گیری رطوبت خاک بر مبنای روش‌های وزنی هستند (Gardner, 1986).

از جمله تجهیزاتی که در اندازه گیری رطوبت خاک مورد استفاده قرار می گیرد، می‌توان به تانسیومتر، بلوک‌های گچی، نوترون متر، و روش پرتوهای گاما و ... اشاره کرد که هر کدام مزایا و معایب مخصوص به خود را دارا می باشند. قطعاً، دستگاه های اندازه‌گیری رطوبت بهتر است به گونه‌ای باشند که علاوه بر دقت و صحت بالا، سریع و آسان بوده و قابلیت ثبت حجم زیاد اطلاعات تولید شده، را نیز داشته باشد. امروزه استفاده از سنسورهای اندازه‌گیری رطوبت به شدت رو به گسترش است (Leib et al, 2002). قطعاً شناخت سنسورهای در دسترس ما کمک قابل توجهی در پایش رطوبت خاک خواهد داشت. از ساده‌ترین این سنسورها می‌توان به بلوک‌های گچی یا تجهیزات مشابه که برمبنای مقاومت الکتریکی کار می کنند، اشاره کرد (Spaans and Baker, 1992; Seyfried, 1993). بلوک گچی یا بلوکه‌های مقاومت (Resistance Block) از گچ و یا مخلوطی از گچ و سیمان ساخته شده اند که با داشتن دو الکترود باعث اختلاف جریان الکتریکی می‌شوند (Hanks, et al., 1980). فاصله الکترودها حدود یک سانتی‌متر است و به‌طور موازی در داخل قالب گچی قرار می گیرند. دلیل استفاده ازگچ میزان تخلخل و حالت کریستالی بودن آن است زیرا نسبت به مواد دیگری همچون سیمان، تخلخل بالاتری دارد و در انتقال رطوبت مؤثرتر می‌باشد (Colman and Hendrix, 1949). بلوک گچی حدود بیش از شش دهه است که در کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است (Bouyoucos et al, 1940). اما عوامل متعددی بر قرائت بلوکه‌ها تأثیر دارند مانند: دمای خاک، میزان شوری خاک، پدیده پسماند، اندازه بلوکه‌ها، و عمقی که هر بلوکه در آن قرار می‌گیرد. علاوه براین محدودیت‌های دیگری هم در استفاده از بلوک‌ها وجود دارد، از جمله از اینکه به تغییرات مکش در خاک مرطوب در کم‌تر از ۳۰ کیلوپاسکال حساس نیستند، باید به‌طور دستی قرائت شوند، بتدریج در خاک حل می شوند و در خاک‌های شنی به-درستی کار نمی‌کنند (قنادزاده و همکاران، ۱۳۸۷ Muñoz-Carpena et al., 2004; Seyfried, 2001; Newman and Hummel,

www.SID.ir

Archive of SID

1999; Aggellids et al., 1998; Hayes et al., 1995; White and Zegelin, 1995; McCann et al., 1992; Thomson et al., 1987; Campbell et al., 1986; Campbell, 1974; Thomas, 1966; Bourget et al., 1958; Perrier and Marsh, 1958; Cloman and Hendrix, 1949).

به هرحال در چند دهه گذشته، روش‌های غیرمخربی برای پایش موجودیت رطوبت خاک (Greacen, 1981) ارائه شده است. علاوه بر این برای غلبه بر مشکلات استفاده از بلوک های گچی، عمدتاً وسایلی در دهه‌های اخیر به بازار عرضه شده‌اند که از تعادل حرارتی نوترونی، ثابت دی الکتریک خاک خشک و تغییر سریع آن با تغییر موجودیت آب در خاک و مواردی از این قبیل استفاده شده است. از جمله این دستگاه‌ها می‌توان به نوترون متر (neutron moisture meter; NMM)، انعکاس سنجی زمانی (TDR)، انعکاس سنجی فرکانسی (FDR)، ظرفیت سنجی الکتریکی و پروب اندازه‌گیری عمقی رطوبت خاک (Profile Probe; PR2) اشاره کرد (Evett et al, 2009; Mazahrih et al, 2008; Evett et al, 2007; Fares et al, 2007; Xin et al, 2007; Fares and Polyakov, 2006; Sun et al, 2005; Adamchuk et al, 2004; Mouazen et al, 2004; Slaughter et al, 2001; Evett et al, 2002; Noborioa et al, 1999; Or and Wraith, 1999; Nadler and Lapid, 1996; Noborio et al, 1994; Cassel et al, 1994; Robinson and Dean, 1993; Topp et al, 1988; Topp et al, 1980). این وسایل اگرچه در برخی مواقع اندازه‌گیری رطوبت را با دقت بالایی به‌دست می‌دهند، اما در برخی مواقع هم علاوه براین که کاربرد آن‌ها مشکلات زیادی دارد، از دقت بسیار پایینی هم برخوردارند، به‌عنوان مثال کاربرد این دستگا ها در خاک‌های شور و قلیا و خاک‌های با درز و ترک و ... می توان اشاره کرد. از جمله اشکلات دیگر این تجهیزات می‌توان به خطاهای به‌وجود آمده در اثر جابجایی‌های زیاد سنسورهای این دستگاه‌ها اشاره کرد، در این حال اینکه این دستگاه‌ها بسیار گران می‌باشند و خدمات پس از فروش بسیار ضعیفی دارند. استفاده از برخی از این دستگاه‌ها مانند نوترون متر تأثیرات نامطلوبی بر روی انسان دارند. علاوه بر تمام مشکلات و معضلات بیان شده برای دستگاه‌های اندازه گیری فوق، مشکلات دیگری هم که برای تمام دستگاه‌های موجود عمومیت دارد نیز وجود دارد، از جمله این موارد می توان به عدم امکان اندازه‌گیری همزمان رطوبت خاک در نقاط مختلف (هم در سطح و هم در عمق)، عدم امکان اندازه‌گیری در عمق بیش از دو متر، امکان ثبت اطلاعات براساس موقعیت مکانی و زمانی اندازه گیری ها و عدم امکان ثبت داده های تولیدی با حجم زیاد در فایل های با فرمت مناسب بر روی دیتالاگر، عدم امکان همزمان اندازه گیری پارامترهای تأثیرگذار بر ثبت داده‌های رطوبت خاک مانند دما و شوری و موارد بسیار دیگر اشاره کرد (Evett, et al, 2006; Chung et al, 2005; Andrade et al, 2004; McMichael et al, 2003; Campbell, 2002; Seyfried and Murdock, 2001; Baumhardt et al, 2000; Mead et al, 1995; Pepin et al., 1995; Cassel, et al, 1994; White et al, 1994). لذا در راستای کاهش مشکلات و خطاهای موجود برای ثبت داده‌های رطوبت خاک از یک سو و از سوی دیگر امکان ثبت داده‌های اندازه‌گیری رطوبت، دما و شوری خاک با هر فرمت و قالب و متناسب با هر خواسته کاربر برای اعمال سناریوهای مختلف برنامه‌ریزی آبیاری و نیز امکان استفاده از دستگاه ها و تجهیزات اندازه گیری رطوبت خاک با دقت و صحت بالا که امکان بروز حداقل خطا در تحقیقات بسیار زیاد که در حطیه علوم آب و خاک وجود دارد و عمدتاً نتایج خروجی تحقیقات مذکور به شدت متاثر از دقت دستگاه مذکور بوده، که تاکنون هم نمونه مناسبی در کشور تولید نشده و یا وارد نشده است، طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری رطوبت با دقت بالا به عنوان هدف و نوآوری این مطالعه تحقیقاتی مدنظر قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

معرفی دستگاه REC_P55

با توجه به هدف مورد نظر در این تحقیق، ساخت دستگاه اندازه‌گیری رطوبت با هدف مشخص برطرف نمودن اشکالات دستگاه‌های موجود در سال ۱۳۸۸ در گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد مدنظر قرار گرفت. در ابتدا با توجه به سوابق مطالعاتی و تحقیقاتی و نیز شناسائی انجام شده بر روی تجهیزات موجود، در ابتدا ایده اصلی در برطرف نمودن اشکالات بلوکه‌های گچی بود و لذا مدت زیادی صرف اصلاح بلوکه‌های مذکور شد و با تغییر شکل و ساختمان داخلی بلوک‌ها و با اضافه کردن قابلیت‌های جدید و نیز با تغییر ساختار اندازه‌گیری پارامتر مرتبط با رطوبت خاک یعنی اندازه‌گیری مقاومت و هدایت الکتریکی بلوک به اندازه‌گیری زمان ارسال و برگشت فرکانس ارسالی از دیتالاگر ساخته شده و نتایج بسیار مناسبی عاید شد. اما با دست‌یابی به این مهم و نیز وسوسه برای ساخت تجهیزات کاملاً جدید و با مدنظر قراردادن اهداف جدید و نیز با توجه به خطاهای بلوک گچی در اندازه‌گیری رطوبت خاک در اراضی که با آب شور آبیاری می‌شوند و نیز با توجه به مشکل تاخیر زمانی به تعادل رسیدن بلوک گچی با خاک، که البته بعد از تحقیق و بررسی‌های زیاد و استفاده از یک نوع گچ مقاوم بسیار متخلخل این زمان به شدت کاهش یافته بود، نسبت به طراحی و ساخت دیتالاگر و سنسورهای جدید و کاملاً متفاوت از بلوک گچی اقدام شد و دیتالاگر و سنسورهای جدید در نیمه دوم سال ۱۳۹۰ برای اولین بار ارائه گردید (شکل ۱).

مشخصات کلی دستگاه

دستگاه اندازه گیری پارامترهای محیطی خاک شامل رطوبت، شوری و دمای خاک که مختصراً با نام تجاری REC-P55 شناخته می‌شود، شامل دو مجموعه تجهیزاتی مجزا است: ۱) دیتاگر و ۲) سنسورها.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱- نمایی از دیتالاگر و سنسورهای یک متری

این مجموعه که کلیه مراحل طراحی و ساخت آن در داخل کشور و در گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده، هیچ گونه مشابه خارجی و داخلی نیز ندارد. این دستگاه توانایی اندازه‌گیری همزمان پارامترهای رطوبت، شوری و دما را با دقت و صحت بالا دارد. ضمناً هر یک از قسمت‌های دستگاه دارای مشخصات منحصر به فردی هستند.

فرآیند دستیابی به فناوری و نوع محافظت از آن

با توجه به مطالعات و آزمایشات انجام شده، عمده مشکل سیستم‌های موجود این است که نمی‌توانند ساختار دقیق فیزیکی و شیمیایی خاک را شبیه‌سازی کنند، چرا که بعد از مطالعات فراوان در مورد اصول کاری سیستم‌های موجود، به این نتیجه رسیدیم که این سیستم‌ها فقط یک مشخصه از خاک را مورد اندازه گیری و بررسی قرار می‌دهند. برخی از این دستگاه‌ها مقاومت خاک را مورد اندازه گیری قرار می‌دهند در حالی که در واقعیت خاک همانند مقاومت عمل نمی کند و و با کوچک‌ترین تغییری در شوری خاک و یا دما، مقاومت به میزان قابل توجهی تغییر می‌کند. برخی دیگر از این سیستم‌ها ظرفیت خازنی خاک را اندازه گیری می‌کنند در حالی که خاک یک مقاومت دارد و این باعث نشتی بین صفحات خازن می شود که باعث اختلال در سیستم اندازه‌گیری می‌شود و مشکل دیگر عدم توانایی کار در شوری‌ها و دمای متوسط به بالا است. برخی دیگر از خاصیت الکترومغناطیسی خاک استفاده می‌کنند در حالی که این سیستم نیز تمامی ضعف‌های بالا را دارد. بعضی دیگر از این سیستم‌ها فقط با خواص آب موجود در خاک و آن هم اندازه‌گیری میزان هیدروژن موجود کار می کنند در حالی که همه‌ی خاک‌ها مواد آلی دارند که سرشار از هیدروژن است و میزان این مواد در خاک همیشه در حال تغییر است به طوری که بعد از برداشت محصولات، باقی‌مانده محصولات که به خاک بر می‌گردند خود مواد آلی هستند که به تدریج در خاک می‌سوزند و یا استفاده از کودها و دیگر مواد میزان مواد آلی خاک را به شدت تغییر می دهند لذا این نوع سیستم نیز کارایی لازم را نخواهد داشت.

لذا بعد از مطالعات دقیق خاک و آزمایشات گوناگون و شناخت رفتار آن، مداری الکترونیکی که متشکل از تمامی خاصیت های بالا و برخی خواص دیگر باشد و بتواند در تمامی شرایط، رفتاری همانند خاک داشته باشد، طراحی شد. سپس سنسورهایی بر اساس این مدار طراحی و مداری اندازه‌گیری که توانایی اندازه گیری کوچک‌ترین تغییری در هر کدام از این قسمت ها را داشته باشد، طراحی و ساخته شد و بعد از آزمایشات گسترده در تمامی شرایط خاک نسبت به رفع عیوب باقی‌مانده اقدام گردید (شکل ۲).

شکل ۲- نمایی از مدار طراحی شده برای دستگاه اندازه‌گیری REC-P55

برای محافظت از دستگاه و مدارات آن اولاً سعی شده که قابل کپی برداری نباشد و ثانیاً برنامه‌ی اجرایی پردازنده اصلی قفل شده است و ثالثاً یک سیستم الکترونیکی به همراه یک باتری درون دستگاه فعال است که به محض باز کردن قاب دستگاه ولتاژی بسیار بالاتر از ولتاژ کار دستگاه تولید می‌کند و باعث از بین رفتن دائمی ۴ پردازنده اصلی دستگاه می‌شود. لازم به ذکر است که باتری داخل دستگاه با هر بار روشن شدن دستگاه شارژ می‌شود و با هر بار شارژ شدن چندین سال می تواند این سیستم را فعال نگه دارد. برای تعمیرات و سرویس دستگاه، سیستم محافظتی فقط با یک نرم افزار خاص طراحی شده به‌وسیله سازنده و با کامپیوتر غیر فعال می‌شود.

تست آزمایشگاهی برای ارزیابی دستگاه

برای انجام تست های آزمایشگاهی دستگاه از تجهیزات و امکانات موجود در آزمایشگاه گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد و سایت هواشناسی واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد استفاده شد. برای تست دستگاه آزمایشات بسیار متقاوتی تعریف شده که ارائه همه آن‌ها در قالب این مقاله ممکن نبوده و در این مقاله تنها به ارائه نتایج دو مجموعه آزمایش مربوط به اندازه گیری رطوبت که یکی به صورت آزمایشگاهی و دیگری میدانی بوده، اکتفا شده است:

www.SID.ir

Archive of SID

۱) داده‌بردای از ظروف استوانه‌ای متخلخل پلاستیکی

به‌منظور بررسی اثر مشخصات خاک بر عملکرد و دقت دستگاه برای اندازه‌گیری رطوبت خاک از ۸ نمونه خاک در سال ۱۳۹۰ استفاده شد (جدول ۱). در این آزمایش خاک مورد استفاده از اراضی محدود پردیس دانشگاه فردوسی مشهد انتخاب شد و هیچ گونه اقدامی در خصوص تعیین مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک صورت نگرفته است. ضمناً سعی شد از خاک به صورت کاملاً تصافی از مناطق متفاوتی در محدوده‌ی پردیس دانشگاه انتخاب شود. هم‌چنین اندازه‌گیری رطوبت خاک به دو صورت وزنی و با استفاده از دستگاه صورت گرفت. برای ثبت اطلاعات دقیق تغییرات رطوبت خاک، از ظروف استوانه ای سوراخ‌دار به قطر ۱۵ سانتی‌متر و عمق ۳۰ سانتی‌متر که در داخل آن‌ها سنسور اندازه‌گیری رطوبت خاک نصب شده بود، استفاده شد. لازم به ذکر است که بعد از پر کردن استوانه‌ها با خاک، برای تهیه خاک اشباع، استوانه ها ۳ مرتبه با آب مقطر، اشباع شدند. بعد از آخرین اشباع کامل به مدت ۲۴ ساعت و بلافاصله بعد از خروج آب، اندازه گیری ها آغاز شد و داده های وزنی رطوبت خاک با ترازوی با دقت ۰/۱ گرم و نیز پارامتری که دیتالاگر بر اساس آن ثبت داده می‌کرد، در یک نوبت در هر روز برای مدت ۱۹ روز یادداشت شد. این داده برداری در نهایت منجر به تولید ۱۵۲ رکورد اطلاعاتی گردید. لازم به توضیح است که برای تسریع در خشک شدن خاک‌ها از وسایل گرمایشی در محیط بسته استفاده شده است.

۲) داده بردای از کرت آزمایشی در عملیات میدانی

در این آزمایش اندازه گیری رطوبت خاک به کمک دستگاه PR2، بلوک‌های گچی معمولی و سنسورهای جدید REC-P55 و روش وزنی انجام شد. در ابتدا سه کرت به ابعاد ۳×۳ متر ایجاد شد. درهر کرت قبل از شروع اندازه‌گیری رطوبت خاک، مشخصات کلی پروفیل خاک مشخص شد (جدول ۲) و سپس چندین بار آبیاری سنگین انجام شد تا رطوبت به اعماق پایین‌تر نیز نفوذ کند. برای داده‌برداری، میله PR2 درون لوله دسترسی قرار گرفت و در هر نقطه همزمان داده های شش عمق (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی متر) در ۵ تکرار قرائت گردید. همزمان با قرائت PR2، نمونه گیری های وزنی از اعماق مربوطه توسط آگری با قطر ۵ سانتی‌متر برداشت شدند. نمونه‌ها بلافاصله در پلاستیک‌های مخصوص نمونه‌برداری ریخته می شدند تا از تبخیر رطوبت آن‌ها جلوگیری شود و سپس به آزمایشگاه انتقال داده می‌شدند و ابتدا توسط ترازو با دقت ۰/۱ گرم وزن می‌شدند، بعد از آن در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار می گرفتند و بعد از ۴۸ ساعت وزن خشک آن‌ها و نیز رطوبت وزنی محاسبه شد. داده‌ها به‌صورت روزانه و به مدت ۱۴ روز برداشت شد که شش روز ابتدایی در حالتی بود که سطح خاک خشک بود و در روز هفتم یک آبیاری ۲۰۰ میلی‌متری انجام شده و تا هفت روز پس از آبیاری هم داده‌برداری‌ها ادامه داشت. ضمناً برای تبدیل رطوبت وزنی به حجمی، نیاز به اندازه‌گیری چگالی ظاهری خاک بود. برای این کار در زمان نمونه برداری از عمق‌های مربوطه کلوخه برداشت شد. این کلوخه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار گرفتند تا کامل خشک شدند. از روش کلوخه و نخ و با استفاده از ترازوی ارشمیدسی مقادیر چگالی ظاهری برای هر عمق محاسبه شد. با ضرب این مقادیر در رطوبت‌های وزنی، رطوبت حجمی به دست آمد.

جدول ۱- مشخصات کلی نمونه خاک‌های مورد آزمایش

مشخصات نمونه	نمونه ۱	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۵	نمونه ۵	نمونه۶	نمونه ۷	نمونه ۸
وزن گلدان	۳۵/۲	۳۲/۴	۳۳/۵	۳۲/۱	۳۴/۴	۳۳/۳	۳۵/۱	۳۴/۰
وزن خاک اولیه	۱۶۳۵/۴	۱۵۶۴/۵	۱۶۸۵/۴	۱۴۷۶/۸	۱۶۲۲/۴	۱۶۴۷/۴	۱۶۶۴/۳	۱۷۱۲/۴
وزن بلوک	۲۱/۷	۲۱/۷	۲۱/۷	۲۱/۷	۲۱/۷	۲۱/۷	۲۱/۷	۲۱/۷
وزن کل	۱۶۹۲/۳	۱۶۱۸/۶	۱۷۴۰/۶	۱۵۳۰/۶	۱۶۷۸/۵	۱۷۰۲/۴	۱۷۲۱/۱	۱۷۶۸/۱
وزن اشباع کل	۲۴۵۳/۴	۲۳۴۱/۶	۲۵۲۳/۱	۲۲۱۷/۳	۲۴۳۰/۱	۲۴۷۲/۲	۲۵۰۱/۱	۲۵۶۲/۳

جدول ۲- بافت و چگالی ظاهری خاک کرت در عمق‌های مختلف

عمق(cm)	بافت خاک	شن درصد	سیلت درصد	رس درصد	چگالی ظاهری gr/cm^3
۰-۵۰	لوم	۴۷	۳۳	۲۰	۱/۴۲
۵۰-۱۰۰	شنی لومی	۶۰	۲۷	۱۳	۱/۵۱
۱۰۰-۱۵۰	شنی لومی	۵۵	۳۵	۱۰	۱/۵۴
۱۵۰-۲۰۰	لوم	۴۰	۴۰	۲۰	۱/۴۱

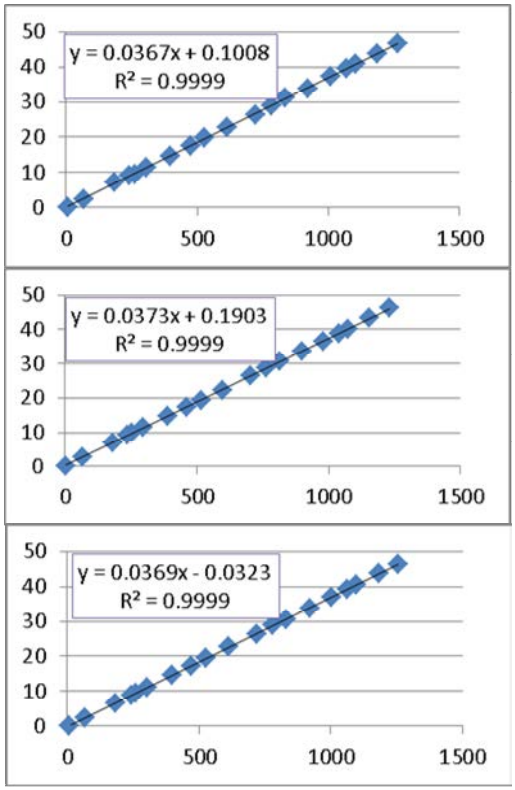
www.SID.ir

Archive of SID

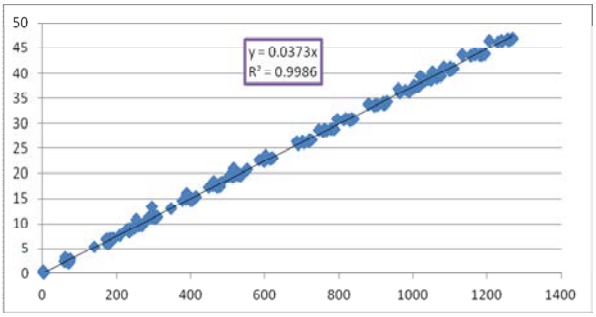
نتایج و بحث

با عنایت به روش‌های برداشت اطلاعات در بخش‌های زیر تحلیل اطلاعات برداشت شده آمده است.

نتایج استوانه های آزمایشی: در استوانه مورد استفاده برای اندازه گیری رطوبت، در ابتدا تغییرات رطوبتی خاک مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که تغییرات رطوبت استوانه ها در بازه ۰/۲ درصد تا ۴۶ درصد وزنی تغییر کرده و میانگین رطوبت در بین ۱۵۲ نمونه معادل ۲۳/۲ درصد وزنی بوده است. بررسی روند تغییرات رطوبت وزنی خاک در مقابل داده‌های قرائت شده توسط دستگاه نشان داد که دستگاه به خوبی توانسته روند تغییرات رطوبتی در خاک را به تصویر کشد (شکل‌های ۳ و ۴). همانطور که در اشکال ۳ و ۴ مشخص شده است معادلات برازش داده شده بر داده‌های مورد بررسی دارای ضریب تبیین بالای ۰/۹۹ است و این امر نشان می‌دهد که دستگاه توانسته به خوبی روند تغییرات رطوبتی خاک را برای هر یک از نمونه‌ها به‌صورت مجزا و زمانی که همه داده‌ها روی هم ریخته شده‌اند را به تصویر بکشد که این امر نشان از دقت بالای دستگاه در اندازه‌گیری‌ها دارد.

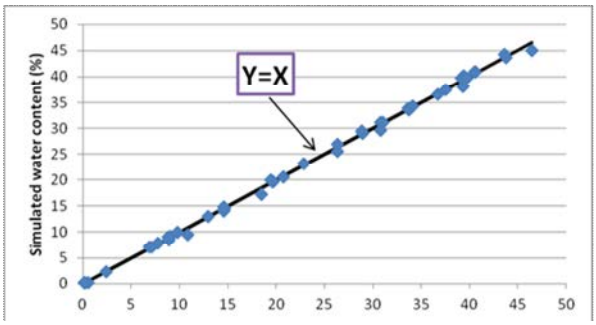


شکل ۳- قرائت دستگاه اندازه‌گیری REC-P55 (محور عمودی) در مقابل داده‌های واقعی رطوبت وزنی (محور افقی) برای ۳ نمونه خاک



شکل ٤- قرائت دستگاه اندازه‌گیری REC-P55 (محور عمودی) در مقابل داده‌های واقعی رطوبت وزنی برای کل داده‌های اندازه‌گیری

لازم به توضیح است برای بررسی صحت ثبت داده ها توسط دستگاه، داده‌های نمونه‌برداری به دو گروه داده‌های مورد استفاده برای کالیبراسیون دستگاه (۷۰٪ داده ها) و داده های مورد استفاده برای صحت سنجی (۳۰٪ داده ها) به صورت تصادفی تقسیم شدند. بعد از این تقسیم، معادله برازش شده بر ۷۰٪ داده ها برای بررسی رطوبت تخمین زده شده از معادله برای ۳۰٪ دیگر داده ها مورد استفاده قرار گرفت و داده های رطوبت خاک از معادله مربوطه ((: رطوبت وزنی به درصد و R: قرائت دستگاه)) استخراج شد. بررسی ها نشان داد که ضریب همبستگی بین دو مجموعه داده های واقعی اندازه گیری شده و داده های شبیه سازی شده از معادله برابر ۰/۹۹۹۳ بوده که مقدار بسیار بالایی است (شکل ۵).



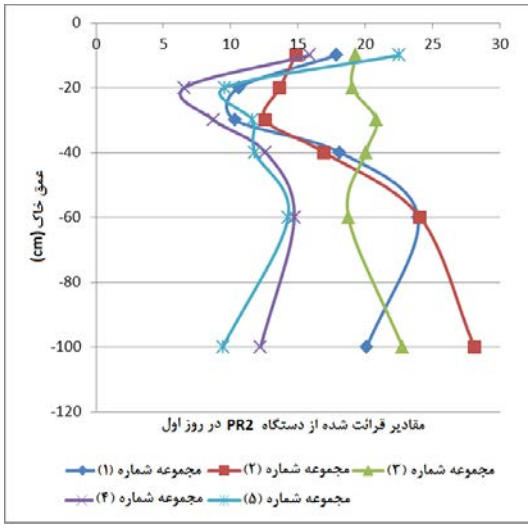
شکل ۵- مقایسه داده‌های رطوبت وزنی واقعی و شبیه‌سازی شده (محور عمودی)

نتایج کرت آزمایشی: در یک کرت کوچک انتظار می‌رفت که توزیع رطوبت در اعماق خاک برای تمام سطح کرت یکسان باشد، لذا در ابتدا پروفیل‌های رطوبتی حاصل در هر نقطه از کرت با هم مقایسه شدند. پروفیل‌های به‌دست آمده از ۵ نقطه اندازه‌گیری شده توسط دستگاه PR2 در تمامی نقاط تقریباً روند مشخصی را نشان نداد (شکل ۶). این عدم یکنواختی در مورد دو نقطه اندازه‌گیری توسط

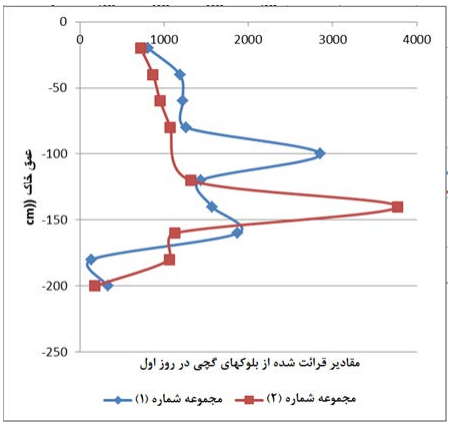
www.SID.ir

Archive of SID

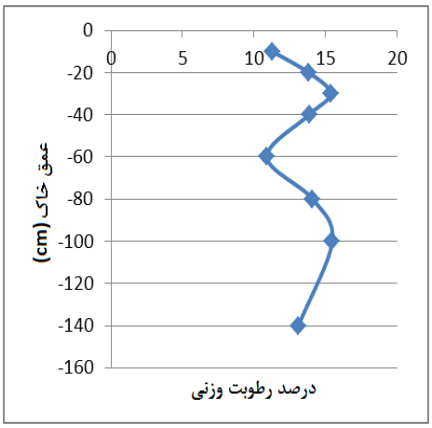
بلوک‌های گچی معمولی هم وجود داشت (شکل ۷)، در صورتی که انتظار این بود که دو مجموعه حاصل از بلوک های معمولی یا PR2 یک پروفیل را نشان دهند و با هم هماهنگ بوده و متناسب با پروفیل رطوبتی وزنی خاک که با اندازه‌گیری مستقیم و با آگر به‌دست آمده بود (شکل ۸)، باشند. بررسی‌ها نشان داد که همبستگی بین دو مجموعه داده حاصل از بلوک های گچی برای روز اول در حدود ۰/۳۵ بوده که مقدار کمی است (شکل ۹). اما در مورد سنسورهای REC-P55 نتایج متفاوتی حاصل شد (شکل ۱۰). طبق بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که روند تغییرات رطوبتی اندازه‌گیری شده در بین دو سنسور REC از همبستگی خوبی در حدود ۰/۸۳ برخوردار است (شکل ۱۱). از آنجائی که داده های حاصل از پروفیل های رطوبتی PR2 و بلوک های گچی مناسب نبودند، از طرفی هم مقایسه این داده ها با داده های حاصل از روش وزنی نتایج بسیار نامناسبی داشت، لذا عملاً استفاده از دستگاه PR2 و بلوک‌های گچی از دستور کار خارج شد و تنها به استفاده از سنسورهای جدید برای ۱۴ روز اندازه-گیری رطوبت خاک اکتفا شد. از طرفی پس از انتخاب سنسورها به عنوان وسیله اندازه گیری رطوبت، معادله کالیبراسیون سنسورها با توجه به اعداد قرائت شده از دیتالاگر سنسورها و رطوبت وزنی حاصل از حفر آگر برای اعماق مختلف خاک نیز به‌دست آمد که میزان ضریب تبیین بالای معادلات به‌دست آمده (بالای ۰/۹۸)، نشان از دقت و صحت بالای سنسورهای جدید REC-P55 در اندازه‌گیری رطوبت خاک دارد. در نتیجه برای بررسی روند تغییرات رطوبت خاک در طی دوره اندازه‌گیری از معادلات کالیبراسیون فوق استفاده شد و روند تغییرات رطوبت در طول انجام این تحقیق به صورت شکل ۱۲ به‌دست آمد.



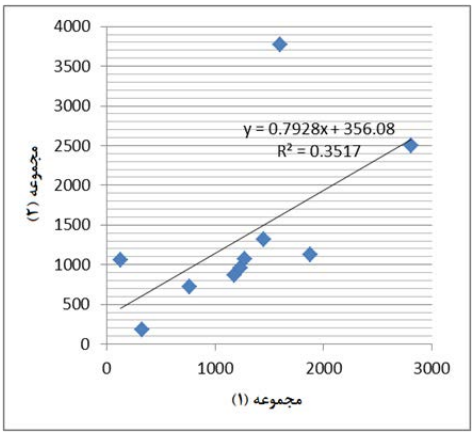
شکل ٦- مقادیر قرائت شده از دستگاه PR2 در روز اول



شکل ۷-مقادیر قرائت شده از بلوکهای گچی در روز اول



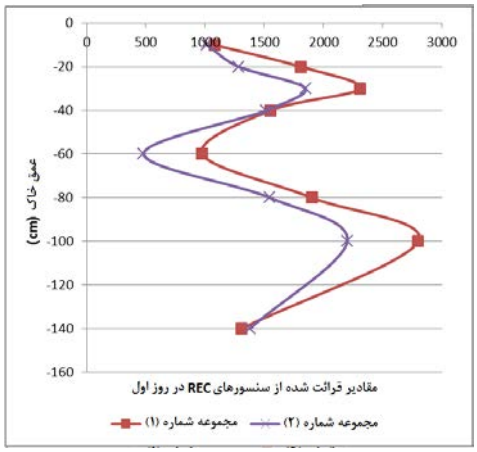
شکل ۸- رطوبت وزنی با نمونه برداری توسط اوگر در روز اول



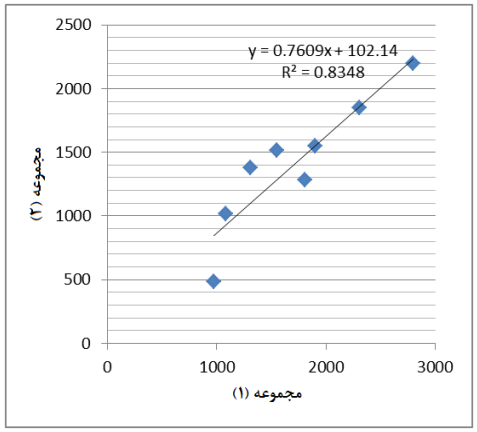
شکل ۹- همبستگی بین دو مجموعه بلوک گچی

www.SID.ir

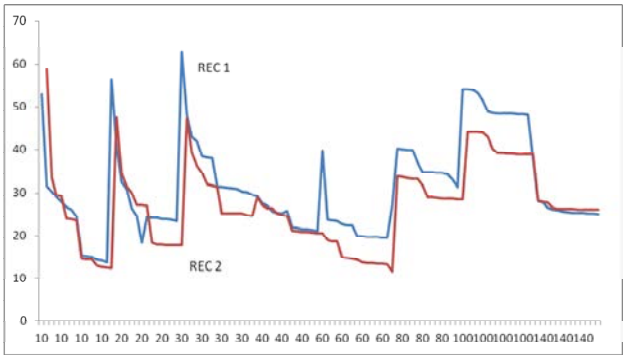
Archive of SID



شکل ۱۰-مقادیر قرائت شده از سنسورهای REC در روز اول



شکل ۱۱-همبستگی بین دو مجموعه سنسورهای REC در روز اول



شکل ۱۲-روند تغییرات رطوبت حجمی (محور عمودی) در طول دوره داده برداری و همبستگی بین دو مجموعه سنسور REC

نتیجه‌گیری

همانطور که عنوان شد در راستای کاهش مشکلات و خطاهای موجود برای ثبت داده‌های رطوبت خاک، در گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد اقدام به طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری رطوبت REC-P55 شد، نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های میدانی کاربرد دستگاه فوق نشان داد، که این دستگاه می‌تواند با دقت مناسبی داده‌های رطوبت وزنی خاک را در اختیار محققین قرار دهد. به طوری که رطوبت ثبت شده در استوانه‌های آزمایشی توسط دستگاه و به روش وزنی دارای همبستگی بالایی در حدود ۹۹٪ بوده و دستگاه REC-P55 توانسته روند تغییرات رطوبتی در خاک را به خوبی به تصویر بکشد. ضمناً نتایج نشان داد که دستگاه مذکور برای طیف وسیعی از خاک‌ها قابلیت کاربرد مناسبی دارد. هم‌چنین نتایج حاصله از کرت آزمایشی مربوط به اندازه‌گیری رطوبت در اعماق خاک نیز نشان داد که دستگاه در ایجاد پروفیل رطوبتی خاک به خوبی عمل کرده و در مقایسه با بلوک‌های گچی معمولی و دستگاه PR2 نتایج مناسب و یکنواخت‌تری را به‌دست داد که این امر نشان از دقت بالای دستگاه در اندازه‌گیری‌ها داشت.

مشخصات دستگاه

علاوه بر مشخصات ارائه شده، دستگاه REC-P55 دارای مشخصات منحصر به‌فردی است که این مشخصات به صورت مجزا برای سنسورها و دیتالاگر در زیر آمده است:

مشخصات منحصر به فرد سنسورها: سنسورهای ساخته شده علاوه بر مشخصات عمومی سنسورهای اندازه‌گیری، مشخصات منحصر به فرد زیر را دارا می باشد:

- ✓ قابلیت اندازه‌گیری رطوبت با دقت ۰/۰۵ درصد و صحت ۰/۵ درصد در خاک‌های با بافت متفاوت (در صورت کالیبره کردن سنسور در خاک‌های با بافت مشخص، می‌توان صحت اندازه-گیری را بالا برد).
- ✓ توانایی اندازه گیری EC خاک بادقت وصحت بالا (دقت و صحت اندازه‌گیری EC خاک به مواردی از قبیل بازه شوری و Ph بستگی دارد لذا با کالیبره کردن دستگاه می‌توان دقت وصحت اندازه گیری را بسیار بالا برد)
- ✓ توانایی اندازه‌گیری دمای خاک بادقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد و صحت ۰/۵ درجه سانتی‌گراد در بازه ۲۵- تا ۱۰۰ درجه سانتی-گراد (می‌توان دماسنج ها را نیز با دماسنج‌های استاندارد کالیبره کرد و صحت آن‌را به ۰/۱ درجه افزایش داد).
- ✓ توانایی تخمین مکش خاک با دقت بالا با استفاده از پارامترهای فوق.
- ✓ توانایی اندازه‌گیری در عمق بسیار کم تا بسیار زیاد.
- ✓ توانایی اندازه‌گیری پارامترهای یادشده تا عمق ۲۰ متری بدون کاهش دقت (دستگاه‌های موجود تنها توانایی اندازه‌گیری رطوبت را تا عمق ۱/۵ متری دارند در حالی که دستگاه مذکور می‌تواند

www.SID.ir

Archive of SID

پارامترهای مورد اندازه‌گیری را تا عمق بیش از ۲۰ متر بدون کاهش دقت و صحت اندازه‌گیری کند).

- ✓ قابلیت‌های ایمنی سنسورها بسیار بالا است (به طوری که با فعال نمودن قفل سنسورکه یک رمز ۵ رقمی است، می‌توان از دسترسی به تمامی امکانات سنسور از قبیل اندازه‌گیری، ذخیره و بازیابی اطلاعات توسط افراد ناشناس جلوگیری کرد).
- ✓ هر سنسور دارای حافظه مجزایی است که برای ثبت اطلاعات زیر مدنظر قرار گرفته است:
  - ذخیره نام، مشخصات و توضیحات سنسور (که دستگاه سنسور را با این نام می‌شناسد و قابل تغییر است)
  - ذخیره نام و مشخصات خریدار و شماره سریال سنسور
  - دارای ۵۰ مکان برای ذخیره کردن ضرایب ۵۰ نوع خاک مختلف که با انتخاب نوع خاک توسط دستگاه، سنسور به صورت خودکار عدد کالیبراسیون مربوطه را اعمال می‌کند.
  - توانایی ذخیره و بازیابی اطلاعات کامل ۵۰۰ قرائت اخیر (این اطلاعات شامل اعداد قرائت شده به همراه تاریخ و ساعت قرائت است).

مشخصات منحصربه فرد دیتالاگر: دیتالاگر ساخته شده علاوه بر مشخصات عمومی دیتالاگرها، مشخصات منحصر به فرد زیر را دارا می باشد:

- ✓ تمام ICهای به‌کار رفته در دیتالاگر نهایی ۳۲ بیتی هستند، در صورتی که در دیتالاگرهای اولیه از ICهای ۸ بیتی استفاده شده بود، که این تغییر به شدت دقت و صحت داده‌برداری و ثبت اطلاعات را افزایش داده است.
- ✓ برداشت دقیق پارامترهای سنسورها با شناسایی اتومات سنسورها و درج کد آن‌ها در حافظه دستگاه (لذا نیاز به ثبت هیچ‌گونه اطلاعاتی اضافی به صورت دستی نیست).
- ✓ منوی تمام فارسی و استفاده بسیار آسان.
- ✓ سرعت بالا در قرائت سنسورها.
- ✓ اندازه گیری رطوبت محیط با دقت و صحت ۰/۱ درصد.
- ✓ اندازه گیری دمای محیط با دقت و صحت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد.
- ✓ دارای گزینه‌هایی برای کار در شرایط شوری و دمای زیاد.
- ✓ دارای گزینه‌هایی برای کار در شرایط رطوبت کم.
- ✓ توانایی اتصال به سویچرها و قرائت ۳۲ سنسور به صورت ترتیبی و خودکار با یک دستگاه.
- ✓ دارای کارت حافظه 1GB Micro SD برای ذخیره اطلاعات.
- ✓ دارای USB FLASH MEMORY برای ذخیره اطلاعات.
- ✓ شناسایی خودکار سنسورها.
- ✓ دارای تقویم و ساعت دقیق که با خاموش شدن دستگاه نیزمتوقف نمی‌شود
- ✓ دارای فرستنده و گیرنده با برد بالای ۱۵ کیلومتر و توانایی شبکه شدن با سایر دستگاهها.
- ✓ ارتباط کامل و دوطرفه با کامپیوتر با USB.
- ✓ مصرف انرژی پائین (با استفاده از باتری طراحی شده برای دستگاه و با یک بار شارژ آن می‌توان سه روز به طور مداوم اندازه گیری کرد).
- ✓ دارای دو مد قرائت خودکار (با استفاده از سویچر طراحی شده برای دستگاه می‌توان ۴۰ سنسور را به طور همزمان و با یک دستگاه به طور خودکار اندازه گیری کرد که دستگاه دو گزینه برای کاربر دارد).
  - ➢ دستگاه طوری تنظیم می‌شود که یک بردار شامل ۴۸ آرایه (هر آرایه یک زمان مشخص از شبانه روز است) که در هر کدام از این زمانها دستگاه داده برداری می‌کند.
  - ➢ دستگاه طوری تنظیم می‌شود که ساعت آغاز و پایان نمونه برداری و همچنین فاصله‌ی زمانی بین نمونه برداریها را می‌گیرد و به صورت خودکار نمونه برداری می‌کند.

منابع

قنادزاده،م.ع.، داوری،ک و قهرمان،ب. ۱۳۸۷. ارزیابی ساختمان‌های مختلف بلوک گچی برای تعیین رطوبت خاک. مجله پژوهش آب ایران.۳ .۲: ۳۲-۲۳.

Adamchuk,V.I., Hummel,J.W., Morgan,M.T and Upadhyaya,S.K. 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture. Comput. Electron. Agriculture. 44: 71-91.

Aggellids,S M and Londra,P.A. 1998. Comparison of empirical equations for temperature correction of gypsum sensors. Agronomy journal. 90: 441-443.

Andrade,P and Upadhayaya,S.K., Aguera,J and Jenkins, B.M. 2004. Evaluation of a capacitance-based soil moisture sensor for real-time applications. Transactions of the ASAE. 47: 1281-1287.

Baumhardt,R.L., Lascano,R.J and Evett,S.R. 2000. Soil material, temperature, and salinity effects on calibration of multisensor capacitance probes. Soil Science. Society. Amiicran Journal. 64: 1940–1946.

Bourget,S.J., Elrick,D.E and Tanner,C.B. 1958. Electrical resistance units for moisture measurements: Their moisture hysteresis, uniformity and sensitivity. Soil Science. 86:298–304.

Bouyoucos,G.J and Mick,A.H. 1940. An electrical

www.SID.ir

Archive of SID

Calissendorff,C. 2002. Calibration and temperature correction of heat dissipation matric potential sensors. Soil Science. Society. Amirican. Journal. 66:1439–1445.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1996. Proceedings of the World Food Summit, Vol. 2, Chapter 7, "Food production: the critical role of water." Technical background document, November 13-17, 1996. FAO Rome, Italy .

Gardner,W.H. 1986. Water content. In Klute,A. et al. (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd Ed. ASA and SSSA, Madison. 493–544.

Greacen,E.L. 1981. Soil Water Assessment by the Neutron Method. CSIRO Melbourne, Australia.

McMichael,B and Lascano,R.J. 2003. Laboratory evaluation of a commercial dielectric soil water sensor. Vadose Zone J. 2: 650–654.

Hanks,R.J and Ashcroft,A. 1980.phsical properties of soils. Deptartment. soil science. USU, logan, Uta, USA.

Hayes,P.H and Tight,D.C. 1995. 'Applying electrical resistance blocks for unsaturated zone monitoring at arid sites', Handbook of Vadose Zone Characterization and Monitoring,L.G. Wilson,L.G. Everett and Cullen, S.J. CRC Press, Inc, BocaRaton.

Leib,B.G., Hattendorf,M., Elliott,T and Mattews,G. 2002. Adoption and adaptation of scientific irrigation scheduling: Trends from Washington, USA as of 1998. Agricultural Water Management, 55, pp 105-120.

Mazahrih,N.T., Katbe-Bader,N., Evett,S.R., Ayars,J.E. and Trout,T. 2008. Field calibration Accuracy and utility of four down-hole water content sensors. Vadose Zone Journal.7:992-1000.

McCann,I.R., Stark,J.C and King,B.A. 1992. Evaluation and interpretation of the crop water stress index for well watered potatoes. American Potato Journal, 69:831-841.

Mead,R.M., Ayars,J.E and Liu,J. 1995. Evaluating the influence of soil texture, bulk density, and soil water salinity on a capacitance probe calibration. ASAE meeting, 18–23 June, ASAE Paper 95-3264. ASAE, St. Joseph, MI.

Mouazen,A.M., Baerdemaeker,J.D and Ramon,H. 2004. Towards development of on-line soil moisture content sensor using a fiber-type NIR spectrophotometer. Soil Till. Research. 80: 171-183.

Nadler,A and Lapid,Y. 1996. An improved capacitance sensor for in situ monitoring of soil moisture. Australian Journal of Soil Research, 34:361–368.

Newman,S.C and Hummel,J.W. 1999. Soil penetration resistance with moisture correction. Paper No. 99-3028. ASAE St. Joseph, MI.: USA.

resistance method for the continuous measurement of soil moisture under fi eld conditions. Bull. 172. Michigan Agric. Exp. Stn., East Lansing. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.

Campbell,G.S and Gee,G.W. 1986. Water potential: Miscellaneous methods. P. 619–633. In A. Klute (editor.) Methods of soil analysis. Part 1.

Campbell,G.S. 1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. Soil Science. 117: 311–314.

Campbell,C.S. 2002. Response of ECH2O Soil Moisture Sensor to Temperature Variation in Water Content, Soil Type and Solution Electrical Conductivity. Decagon Devices, Inc. 950 NE Nelson Court Pullman, WA 99163 USA.

Cassel,D.K., Kachanoski,R.G and Topp,G.C. 1994. Practical consideration for using a TDR cable tester. Soil Technology. 7: 113-126.

Chung,S.O., Kenneth,A.S and Jinglu,T. 2005. Variability structure of on-the-go soil strength sensor data. Paper No. 051039. ASAE St. Joseph, MI.: USA .

Coleman,E.A and Hendrix,T.M. 1949. The fiberglass electrical soil- moisture instrument. Soil Science. 67:425–438 .

Erbach,D.C. 1983. Measurement of soil moisture and bulk density. ASAE Paper No. 83-1553.

Evett,S.R., Laurent,J.R., Cepuder,p and Hignett,C. 2002. Neutron scattering, Capacitance, and TDR soil water content measurements compared on four continents.17th WCSS.14-21.

Evett,S.R., Tolk,J.A and Howel,T.A. 2006. Soil profile water content determination: Sensor Accuracy, Axial Response, Calibration, Temperature Dependence, and precision. Vadose Zone Journal.5:894-907.

Evett,S.R., Howel,T.A and Tolk,S.A. 2007. Comparison of soil water sensing methods for irrigation management and research. Soil and water management research Unit. USDA, ARS-Bushland, TX.

Evett,S.R., Schwart,R.C., Tolk,J.A and Howell,T.A. 2009. Soil profile water content Determination: spatiotemporal variability of electromagnetic and neutron probe sensors in access tubes. Vadose Zone Journal.8:926-941.

Fares,A and Polyakov,V. 2006. Advances in crop water management using capacitive water sensors. In Sparks,D. (editor.) Advances in Agronomy. 90. Elsevier Science, USA. 43–77.

Fares,A., Hamdhani,H and Jenkins,D.M. 2007. Temperature-dependent scaled frequency: Improved accuracy of multisensor capacitance probes. Soil Science. Society. Amirican. Journal. 71: 894–900.

Flint,A.L., Campbell,G.S., Ellett,K.M and

www.SID.ir

Archive of SID

resistance sensors. Soil Science Society Amirican Journal. 57: 1432–1436.

Seyfried,M.S and Murdock,M.D. 2001. Response of new soil water sensor to variable soil, water content, and temperature. Soil Science Society Amirican. Journal 65: 28–34.

Thomas,A. 1966. In situ measurement of moisture in soil and similar Dobson, M.C., F.T. Ulaby, M.T. Hallikainen, and M.A. El-Rayes. substances by "fringe" capacitance. Journal of Science. Instrum. 43:21–27.

Thomson,S.J and Armstrong,C.F. 1987. Calibration of the Watermark 200 soil moisture sensor. Appliment. Engeeniring Agricultrue. 3:186-189.

Topp,G.C., Davis,J.L and Annan,A.P. 1980. Electromagnetic determination of soil-water content measurements in coaxial transmission lines. Water Resource. Research. 16: 574–582.

Topp,G.C., Yanuka,M., Zebchuk,W.D and Zegelin,S. 1988. Determination of electrical conductivity using time domain reflectometry: Soil and water experiments in coaxial lines. Water Resources Research. 24:945–952.

White,I., Knight,J.H., Zegelin,S.J and Topp,G.C. 1994. Comments on 'Considerations on the use of Time-Domain Reflectometry (TDR) for measuring soilWater content' by W. R. Whalley. Eur. Journal of Soil Science. 45: 503–508.

White,I, Zegelin,S.J. 1995. Electric and dielectric methods for monitoring soil-water content. In Handbook of Vadose Zone Characterization and Monitoring, Wilson LG, Everett LG, Cullen SJ (editors). Lewis: Ann Arbor; 343–385.

Xin,X.L., Xu,F.A., Zhang,J.B and Xu,M.X. 2007. A New Resistance Sensor for Monitoring Soil Matric Potential. Soil Science Society of America Journal, 71:866-871.

Noborio,K., McInnes,K.J and Heilman,J. L. 1994. Field measurements of soil electrical conductivity and water content by time-domain reflectometry. Comput. Electron. Agriculture. 11: 131–142.

Noborio,K., Horton.R. and Tan,C.S. 1999. Time domain refl ectometry probe for simultaneous measurement of soil matric potential and water content. Soil Science. Society Amirican Journal. 63:1500–1505.

Or,D and Wraith,J.M. 1999. A new soil matric potential sensor based on time domain refl ectometry. Water Resource. Resarch. 35:3399–3407.

Pepin,S and Livingston,N.J. 1995. Temperature-dependent measurement errors in time domain reflectometry determinations of soil water. Soil Science Society Amirican Journal. 59: 38–43.

Perrier,E.R and Marsh,A.W. 1958. Performance characteristics of various electrical resistance units and gypsum materials. Soil Science Society Amirican Proceding. 22:140–147.

Robinson,M and Dean,T.J. 1993. Measurement of near surface soil water content using a capacitance probe. Hydrology. Process. 7.1: 77–86.

Seckler,D., Amarasingh,U., Molden,D., DeSilva,R and Barker,R. 1998. World Water Demand and Supply, 1990 to 2025: Scenarios and Issues. IIMI Research Report No. 19, International Irrigation Management Institute, Columbo, Sri Lanka .

Slaughter,D.C., Pellretier,M.G and Upadhyaya,S.K. 2001. Sensing soil moisture using NIR spectroscopy. Appliment. Engineering. Agriculture. 17: 241-247.

Spaans,E.J.A and Baker,J.M. 1992. Calibration of watermark soil moisture sensors for soil matric potential and temperature. Plant Soil. 143: 213–217.

Sun,Y.D.M., Lammers,P.S., Schmittmann,O and Rose,M. 2005.On-the-go measurement of soil water content and mechanical resistance by a combined horizontal penetrometer. Soil Till. Research. 86: 209-217.

Seyfried,M.S. 1993. Field calibration and monitoring of soil-water content with fiberglass electrical

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 9, Mar.-Apr. 2015, p. 32-43

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد۹، فروردین -اردیبهشت ۱۳۹۴، ص. ۴۳-۳۲

Design and Construction of REC-P55 for Reading of Soil Moisture, temperature and Salinity

H. Ansari *[1], M. Hassanpour[2]

Recived: Sep.29, 2014 Accepted: Mar.4, 2015

Abstract

In the next decades, rapid population growth, increasing demand of agricultural yield and the standard living especially in the developing countries will significantly reduce water availability for agriculture. Therefore, desirable and optimal use of water resources and increasing agricultural productivity are vital. So, in this research, newly developed sensor has been designed and constructed for determining and monitoring real-time temperature, salinity and water content, with three years efforts from 1390. Environmental data measurement system using the brand REC-P55 in the field experiments showed that this system can record moisture content with accuracy less than 0.05% and validity less than 0.5% in different soil textures and depths. Moreover, the correlation coefficient for actual recorded data and REC-P55 one is 99%. Also, according to the capabilities of REC-P55, it was found that soil moisture profiles can be easily created and the results are of a high precision in comparison with the electrical resistance sensor and PR2.

Key Words: Soil Moisture, Irrigation, Temperature, Salinity, Measurement.

1- Associate Professor, Water Engineering and Science Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)
2- Under Graduated of Water Engineering and Science Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)
(* - Corresponding Author: Ansariran@gmai.com)

www.SID.ir