تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۳، مرداد و شهریور ۱۳۹۷ (ص ۷۰۴-۶۹۵) **DOI:** 10.22059/ijswr.2017.239300.667729
(یادداشت تحقیقاتی)

طراحی و ساخت لایسیمتر کوچک وزنی هوشمند قابل حمل به منظور اندازه‌گیری دقیق نیاز آبی گیاه

فرنوش فرزانه زردشتی[۱]، بهرام بختیاری[۲*]، کورش قادری[۳]، محمدجواد خانجانی[۴]، محمد بنایان[۵]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲- استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان
۳- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان
۴- استاد بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان
۵- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۵- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۷/۱۶- تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۸/۱۴)

چکیده

با توجه به افزایش تبخیر-تعرق و کمبود منابع آب، برآورد دقیق نیاز آبی گیاهان ضرورت می‌یابد. پیشرفت‌های موجود و توسعه فناوری ساخت دستگاه‌های خودکار و هوشمند در زمینه کشاورزی، کمک بسیاری به بررسی این متغیر نموده است. در این پژوهش به طراحی، ساخت و واسنجی لایسیمتر کوچک وزنی هوشمند قابل حمل به عنوان ابزاری دقیق در برآورد پارامترهایی نظیر تبخیر-تعرق گیاه، ضرایب گیاهی و همچنین بررسی رفتار ترکیبات شیمیایی در آب و اعماق خاک پرداخته شده است. این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان طی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ به انجام رسیده است. به منظور طراحی میکرولایسیمتر مورد نظر، ابتدا سیلندر داخلی آن با ابعادی به قطر و ارتفاع ۳۰×۲۷ سانتی‌متر از جنس استیل ضد زنگ و جدار خارجی به قطر ۴۰ سانتی‌متر انتخاب گردید. با توجه به این موضوع که میکرولایسیمتر ساخته شده از نوع وزنی الکترونیکی می‌باشد لذا از یک لودسل تک نقطه از جنس آلومینیوم، با نرخ بارگذاری ۶۰ کیلوگرم برای سیستم توزین استفاده گردید. به منظور برداشت داده‌های هواشناسی نظیر بارش، دمای هوا، رطوبت نسبی، فشار هوا، تعداد ساعات آفتابی و شدت تابش، از یک ایستگاه هواشناسی خودکار در مجاورت میکرولایسیمتر و جهت تأمین آب مورد نیاز گیاه، یک سیستم آبیاری خودکار نیز طراحی گردید که قادر است در فواصل زمانی معین، آب گیاه را با توجه به مقادیر ثبت شده توسط سنسور رطوبت موجود در خاک تأمین نماید. مقدار آب مازاد خروجی نیز به واسطه پیمانه‌های خودکار طراحی شده مستقر در زیر سیلندر میکرولایسیمتر به دست می‌آید. اندازه‌گیری رطوبت و دمای خاک در عمق موردنظر و توسط دو سنسور رطوبت‌سنج و دماسنج خاک انجام می‌پذیرد. کلیه‌ی سنسورها مورد واسنجی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که ضریب تبیین بین مقادیر مشخص و وزن میکرولایسیمتر برابر با ۰/۹۹۹۸ می‌باشد. در مرحله‌ی آخر میکرولایسیمتر آماده نصب و کشت، در محیط مزرعه گردید.

واژه‌های کلیدی: لایسیمتر کوچک، تبخیر- تعرق، نیاز آبی واقعی، ایستگاه هواشناسی خودکار

Archive of SID

مقدمه

پایش و مدیریت صحیح منابع آب موجود به سبب پدیده‌های خرد اقلیمی نظیر تبخیر- تعرق به خصوص در نواحی خشک و نیمه خشک بسیار حائز اهمیت می‌باشد. برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق به صورت مستقیم می‌توان به انواع لایسیمترها در ابعاد گوناگون اشاره نمود. لایسیمترها به دو دسته اصلی حجمی و وزنی طبقه‌بندی می‌شوند. لایسیمترها معمولا دارای محفظه‌ای برای کشت محصول و تعیین نحوه حرکت آب از لایه‌های خاک می‌باشند. در مورد لایسیمترهای وزنی، برآورد تبخیر-تعرق به طور مستقیم توسط وزن کردن تغییرات رطوبتی توده از طریق سیستم توزین (توازن آب جرم خاک) انجام می‌گیرد، در صورتی که اندازه‌گیری تبخیر-تعرق توسط لایسیمترهای حجمی به طور غیرمستقیم با استفاده از تانسیومتر و نوترون‌متر (توازن حجم) انجام می‌پذیرد (Abedi-Koupai *et al.*, 2011). لایسیمترهای وزنی الکترونیکی از دقیق‌ترین نوع ادوات اندازه‌گیری نیاز آبی گیاه می‌باشند و می‌توانند مقدار تبخیر-تعرق را در فواصل زمانی کوتاه مدت (ساعتی یا دقیقه‌ای) برآورد کنند (Black *et al.*, 1968; van Bavel and Myers, 1962). مطالعات بسیاری توسط پژوهشگران در نقاط مختلف دنیا انجام شده است. از پیشگامان ساخت

* نویسنده مسئول: drbakhtiari@uk.ac.ir

www.SID.ir

لایسیمتر می‌توان به De la Hire (1703) اشاره کرد که در اواخر قرن هفدهم با استفاده از آن به بررسی مساله بحران آب در فرانسه پرداخت. Maurice (1796) نیز با استفاده از نمونه‌ای از لایسیمترهای وزنی مقدار و نرخ نفوذ آب در خاک را مورد بررسی قرار داد (Kohnke *et al*., 1940). Way (1850) با استفاده از اندازه‌گیری‌های لایسیمتری مطالعاتی بر روی نفوذ، تغییرات شیمیایی محلول از طریق خاک و همچنین آشکارسازی مسأله حاصلخیزی خاک انجام داد. اولین لایسیمتر با خاک دست نخورده (soil-block) در Rothamsted انگلستان ساخته شد (Kohnke *et al*., 1940). پژوهشی به منظور بررسی برخی از عوامل مؤثر مانند تأثیر ساختار، نوع، عمق و پوشش سطح خاک و همچنین توزیع بارش بر روی میزان و نرخ نفوذ عمقی در مونیخ آلمان انجام گرفت (Wollny, 1881). اولین لایسیمتر مجهز به سیستم وزنی نیز در آلمان توسط Von Seelhorst (1906) ساخته شد؛ به طور کلی در سال‌های اخیر با توجه به هزینه‌های زیاد در ساخت، احداث و به ویژه نگهداری لایسیمترهای وزنی بزرگ و همچنین کاربرد وسیع میکرولایسیمترها در خرد اقلیم‌ها و حتی گلخانه‌ها، سعی در ساخت لایسیمترهای وزنی در ابعاد کوچک و همچنین در برخی از آن‌ها با قابلیت ثبت خودکار در بسیاری از نقاط دنیا شده است. در مورد میکرولایسیمترهای وزنی با ابعاد مختلف می‌توان به پژوهش‌های صورت گرفته توسط Jacobs *et al*. (1999) در بیابان نقب (با قطر ۶ cm و عمق ۳/۵ cm)، Graf *et al*. (2004) در جزایر قناری اسپانیا (با قطر و عمق ۲۹ cm و ۶ cm)، Heusinkveld *et al*. (2006) در بیابان نقب (با قطر ۱۴ cm و عمق ۳/۵ cm)، Pan *et al*. (2010) در کشور چین (با قطر و عمق ۳ cm و ۱۰ cm)، Kaseke *et al*. (2012) در آفریقای جنوبی (با قطر ۱۴ cm و عمق ۳/۵ cm) و همچنین Uclés *et al*. (2013) در آلمریا اسپانیا (با قطر ۱۵ cm و عمق ۹ cm) اشاره نمود. در اکثر میکرولایسیمترهای خودکار ساخته شده توسط این محققین از نمونه‌گیری و ثبت دستی به طور مداوم در هر شرایطی اجتناب شده است. ابعاد سیلندر در میکرولایسیمترهای وزنی، توسط خصوصیات سیستم وزنی (لودسل‌ها) تعیین می‌شود. همچنین در برخی از مطالعات برای اندازه‌گیری شبنم بر روی خاک بدون پوشش گیاهی از لودسل آلومینیومی تک نقطه با نرخ ظرفیت ۱/۵ کیلوگرم استفاده شده است (Heusinkveld *et al*., 2006; Kaseke *et al*., 2012). از طرفی میکرولایسیمترها با ابعاد بسیار کوچک دارای مشکلاتی نظیر آسیب‌پذیری لودسل‌ها در اثر رانش خاک ناشی از بارش و آب آبیاری می‌باشند. به طور مثال Kaseke *et al*. (2012) به سبب رگبار شدید و ایجاد سیلاب و در نتیجه تخریب لودسل‌ها، مجبور به متوقف کردن تحقیق خود در استلن‌بوش (Stellenbosch) آفریقای جنوبی شدند. در ایران نیز تعداد اندکی لایسیمتر وزنی الکترونیکی با ابعاد بزرگ طراحی و ساخته شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به لایسیمتر دوقلوی وزنی الکترونیکی جهاد دانشگاهی استان کرمان واقع در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان اشاره کرد (Barani and Khanjani, 2002). در این لایسیمتر، بیشترین خطا توسط لودسل‌ها کمتر از یک کیلوگرم و معادل با ۰/۱۴ میلی‌متر عمق آب ثبت شد. طراحی و ساخت دو لایسیمتر وزنی الکترونیکی با ابعاد متفاوت ۳m×۳m×۳m و ۴m×۴m×۱m در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران واقع در کرج به منظور برآورد نیاز آبی گیاهان زراعی و گیاه مرجع (Sohrabi *et al*., 2005)، همچنین لایسیمتری از فولاد ضدزنگ با سطح مقطع یک مترمربع و طول دو متر از جمله تلاش‌های دیگر در ساخت لایسیمترهای بزرگ در ایران می‌باشد. از آنجایی که در سال‌های اخیر، کشاورزی در کشور و به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک به صورت خرده مالکی و اکثراً در مقیاس کوچک (به ویژه روی‌آوری به کشت‌های گلخانه‌ای) انجام گرفته است به این منظور این تحقیق در راستای طراحی، ساخت و واسنجی میکرولایسیمتر وزنی هوشمند جهت اندازه‌گیری دقیق نیاز آبی گیاهان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان با مختصات جغرافیایی به طول و عرض، ″۳۲′۰۲°۵۷ شرقی و ″۴۸′۱۶°۳۰ شمالی و در ارتفاع ۱۷۳۲ متری از سطح دریا طی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ به انجام رسیده است. به منظور ساخت لایسیمتر کوچک وزنی هوشمند قابل حمل، از وسایل و سنسورهای مورد نیاز استفاده شد. مراحل و روند انجام پژوهش در شکل (۱) آورده شده است.

در ابتدا ابعاد سیلندر کشت انتخاب گردید. در خصوص سطح مقطع و شکل لایسیمتر نیز از یک استوانه از ورق آلیاژ آلومینیوم و نیکل با ابعادی به قطر و عمق×۲۷ سانتی‌متر به عنوان سیلندر داخلی استفاده شد. با ایجاد یک روزنه در انتهای آن آب مازاد از مسیر تعبیه شده توسط یک لوله به قطر ۰/۵ سانتی‌متر، زهکش می‌گردد. با ابعاد ارائه شده، مساحت کشت ۰/۴۲ مترمربع و حجم آن ۰/۰۲ مترمکعب می‌باشد. برای تثبیت خاک‌های مجاور با لایسیمتر هنگام نصب، از یک محفظه

Archive of SID
www.SID.ir

خارجی با سطح مقطع دایره‌ای شکل به قطر ۴۰ و عمق ۵۰ سانتی‌متر استفاده شد. فضای خالی بین جداره‌های داخلی و خارجی سیلندرها سبب آزادی عمل در نوسان سیلندر کشت و عملیات توزین می‌شود (شکل ۲).

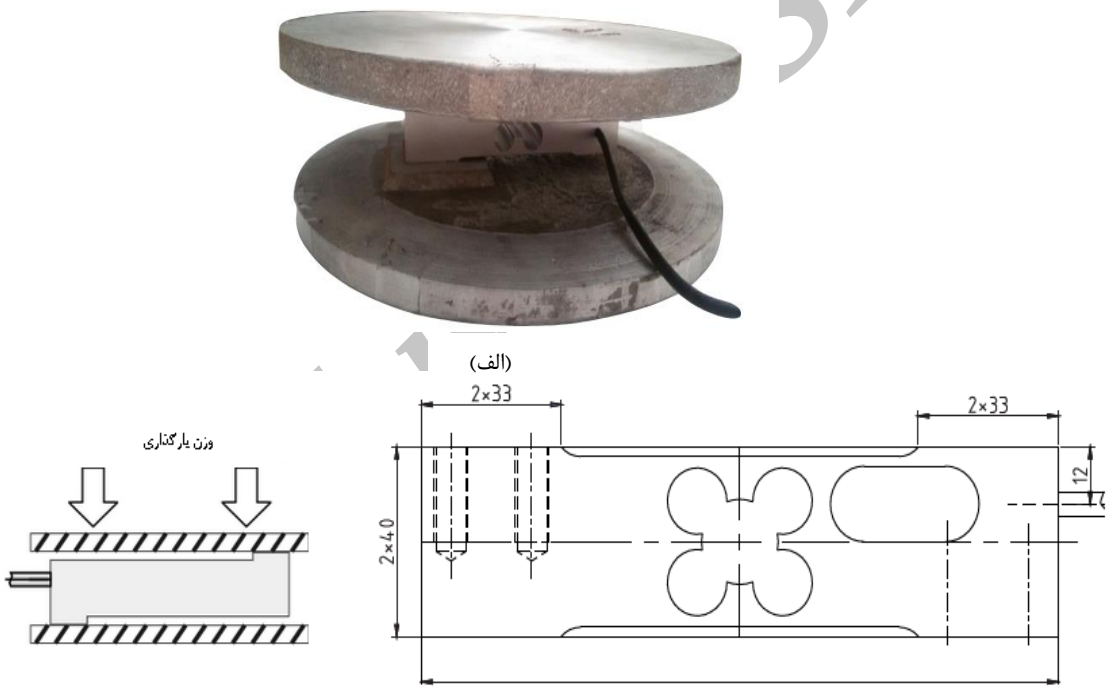
شکل ۱. مراحل و روند انجام پژوهش جهت طراحی و ساخت لایسیمتر کوچک خودکار

با توجه به نوع وزنی لایسیمترهای کوچک، سیستم توزین یا همان لودسل جهت اندازه‌گیری تغییرات محتوی آب خاک سیلندر داخلی به کار برده شد. لودسل‌ها حسگرهای الکترونیکی هستند که تغییرات وزن را بر اساس تغییر ولتاژ و بر اساس وزن بار وارده حس کرده و آن را به نمایشگر الکترونیکی انتقال می‌دهند. مجموع بارهای وارده بر سیستم توزین عبارتند از مجموع بارهای مرده شامل وزن خاک خشک به همراه وزن محفظه کشت، فیلتر طبیعی شن ریز و درشت که (به صورت ثابت بر روی سیستم توزین وارد می‌شوند) و بارهای زنده (به صورت متغیر) که شامل وزن آب خاک داخل محفظه و فشار مربوط به تردد موجودات و باد می‌باشند. دو صفحه‌ی آلومینیومی دوار با ابعادی به قطر ۲۸ و ضخامت ۲ سانتی متر با استفاده از مذاب آلومینیوم و به روش ریخته‌گری ماسه‌ای به منظور ایجاد تکیه‌گاه برای سیستم توزین (لودسل) و تحمل فشار وارده از طرف سیلندر کشت با ابعاد ۳۰×۲۷ سانتی‌متر، ساخته شدند (شکل ۳). از یک لودسل تک نقطه آلومینیمی با ابعاد ۱۵۰×۴۰ میلی‌متر و نرخ بارگذاری ۶۰ کیلوگرم در میکرولایسیمتر استفاده شد.

www.SID.ir

(ب) (الف)

شکل ۲. الف- سیلندر داخلی میکرولایسیمتر از جنس آلیاژ آلومینیوم و نیکل، ب- جدار خارجی سیلندر میکرولایسیمتر



(ج) (ب)

شکل ۳. (الف) چگونگی نصب لودسل جهت توزین سیلندر میکرولایسیمتر و استقرار آن در بین دو صفحه‌ی تکیه‌گاه، (ب) پلان و ابعاد لودسل (حسب میلیمتر)، (ج) نحوه بارگذاری بر روی لودسل

سیستم زهکشی ساخته شده قابلیت اندازه‌گیری خودکار و آب خروجی از میکرولایسیمتر را دارا می‌باشد و اندازه‌گیری خودکار آن به صورت پیمانه‌ای است. پیمانه‌های سنسور خودکار سنجش میزان آب خروجی با استفاده از برش‌هایی از جنس ورق پلکسی‌گلاس (پلی اکرلیک) و توسط دستگاه پرینتر سه‌بعدی و دستگاه‌های فرز لیزری CNC طراحی و ساخته شدند. پلکسی ساخته شده برای پیمانه‌ها با ابعاد ۲×۱۵×۳۵ میلی‌متر می‌باشد. زهکش پیمانه‌ای شامل دو پیمانه بوده که حول یک محور به صورت الاکلنگی حرکت می‌کند. تعداد این حرکت‌ها با عبور پیمانه‌ها از مقابل یک اپتوکانتر نوری شمارش می‌شود. با هر بار پر و خالی شدن هریک از پیمانه‌ها، مقدار ۳ میلی‌لیتر زه آب اندازه‌گیری شده و به صورت خودکار در دیتالاگر ثبت می‌شود. این زهکش توسط دو پیچ به پایه‌ی نگهدارنده در قسمت زیرین صفحه‌ی مدور تحتانی متصل گردیده است. (شکل ۴).

www.SID.ir

شکل ۴. زهکش خودکار طراحی شده جهت اندازه‌گیری آب خروجی از سیلندر لایسیمتر

در قسمت انتهایی سیلندر لایسیمتر به منظور تسهیل در امر زهکشی ابتدا دو لایه شن ریز و سپس گراول ریخته شد. در نتیجه آب اضافی از ناحیه دسترس ریشه گیاه خارج شده و از انتهای آن به واسطه لوله‌ای به قطر ۰/۵ سانتی‌متر خارج شده و از آن‌جا به داخل سیستم زهکشی خودکار هدایت می‌شود. همان‌گونه که در شکل (۴) نشان داده شده است، لوله نصب شده در انتهای سیلندر، از روزنه‌ی تعبیه شده (قطر ۱/۷ سانتیمتر) بر روی صفحه مدور فوقانی عبور کرده و در مقابل یک قیف طراحی شده با قطر ۵/۵ سانتیمتر قرار می‌گیرد. این قیف آب زهکش خروجی را به یک زهکش پیمانه‌ای هدایت می‌کند. در این مطالعه جهت اندازه‌گیری متغیرهای هواشناسی از یک ایستگاه هواشناسی خودکار استفاده شده است. سنسورهای این ایستگاه شامل اندازه‌گیری جهت و سرعت باد، رطوبت نسبی، دمای هوا، فشار هوا، مقدار بارندگی و شدت تابش خورشید می‌باشد. به منظور اندازه‌گیری سرعت باد از یک بادسنج فنجانی استفاده گردید که قابلیت ثبت حداقل سرعت ۱/۵ مایل در ساعت (۲/۴ کیلومتر بر ساعت) را دارا می‌باشد. بادنما نیز قابلیت اندازه‌گیری سمت باد را در شانزده جهت مختلف توسط ولتاژی که توسط مقاومت داخل سنسور تولید می‌شود، دارا می‌باشد. در مورد باران‌سنج پیمانه‌ای می‌توان گفت هر ۰/۲ میلیمتر مقدار بارش باعث حرکت پیمانه داخل آن شده که توسط شمارنده دیجیتال ثبت می‌گردد. (شکل ۵).

شکل ۵. ایستگاه هواشناسی خودکار نصب شده در مجاورت لایسیمتر کوچک هوشمند واقع در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان

در کنار وسایل نامبرده از سنسورهای مخصوص خاک مانند سنسور دما و رطوبت خاک به منظور تعیین این پارامترها در عمق ریشه استفاده شد. همانطور که در شکل (۶) نشان داده شده است، دماسنج خاک با پوشش ضد آب مدل DS18B20 به

Archive of SID
www.SID.ir

طول ۹۰ سانتیمتر و لوله انتهایی آن از جنس استیل ضد زنگ با ۰/۶ سانتیمتر قطر و ۰/۳۵ سانتیمتر طول می‌باشد (لوله انتهایی در اندازه‌های مختلف موجود است) و در عمق مشخص و در داخل سیلندر کشت قرار می‌گیرد. سنسور رطوبت خاک YL-69 نیز با قابلیت قرارگیری در عمق مشخص و در داخل سیلندر کشت می‌تواند رطوبت عمق مورد نظر را بر حسب درصد نمایش دهد.

(الف) (ب)

شکل ۶. الف- دماسنج خاک با پوشش ضد آب مدل DS18B20 ، ب- سنسور رطوبت خاک مدل YL-69 با قابلیت نصب در اعماق مختلف

سیستم آبیاری به صورت خودکار طراحی و با استفاده از یک لوله شفاف به قطر ۰/۷ سانتی‌متر، یک مخزن آب و یک پمپ، به صورت پاششی آب مورد نیاز گیاه را قبل از رسیدن به تنش بر روی محفظه کشت تأمین می‌نماید. هنگامی‌که اولین قطره آب خروجی توسط زهکش اندازه‌گیری شود، دستور از طریق برد آردوینو به پمپ آبیاری منتقل شده و آبیاری به طور خودکار قطع می‌شود. به منظور انجام عملیات خودکار سنجش متغیرهای لایسیمتری و هواشناسی، کلیه برنامه‌نویسی‌ها در محیط برنامه‌نویسی C++ انجام گرفته است. برق مورد نیاز سیستم توسط یک آداپتور ۱۲ ولتی و منبع تغذیه ۳ آمپری تأمین شد. این میزان از ولتاژ برای تعداد زیادی سنسور کافی می‌باشد و از یک رگولاتور به عنوان تنظیم‌کننده ولتاژ استفاده شد. مهم‌ترین بخش میکرولایسیمتر وزنی هوشمند، ثبت خودکار داده‌های دریافتی در بازه‌های زمانی کوتاه مدت و حتی چند دقیقه‌ای بواسطه دیتالاگر یا همان ثبت‌کننده داده می‌باشد. به این منظور از یک عدد بُرد آردوینو (Arduino) به همراه کارت حافظه و سایر ماژول‌ها استفاده شد. تجهیز لایسیمتر کوچک وزنی به اینترنت با استفاده از ماژول GPRS/GSM چهار باند A6 دارای ارتباط سریال - پشتیبانی از AT Command با قابلیت ذخیره حداقل ۱ گیگابایت کارت حافظه صورت گرفت که امکان دسترسی آنلاین به اطلاعات ثبت شده از طریق وسایل ارتباطی نظیر گوشی‌های هوشمند را فراهم می‌کند و با شبکه مخابراتی GSM کار می‌کند. همانند گوشی موبایل، یک GSM مودم نیز به یک سیم کارت برای اتصال به شبکه بی‌سیم مخابراتی نیاز دارد (شکل ۷).

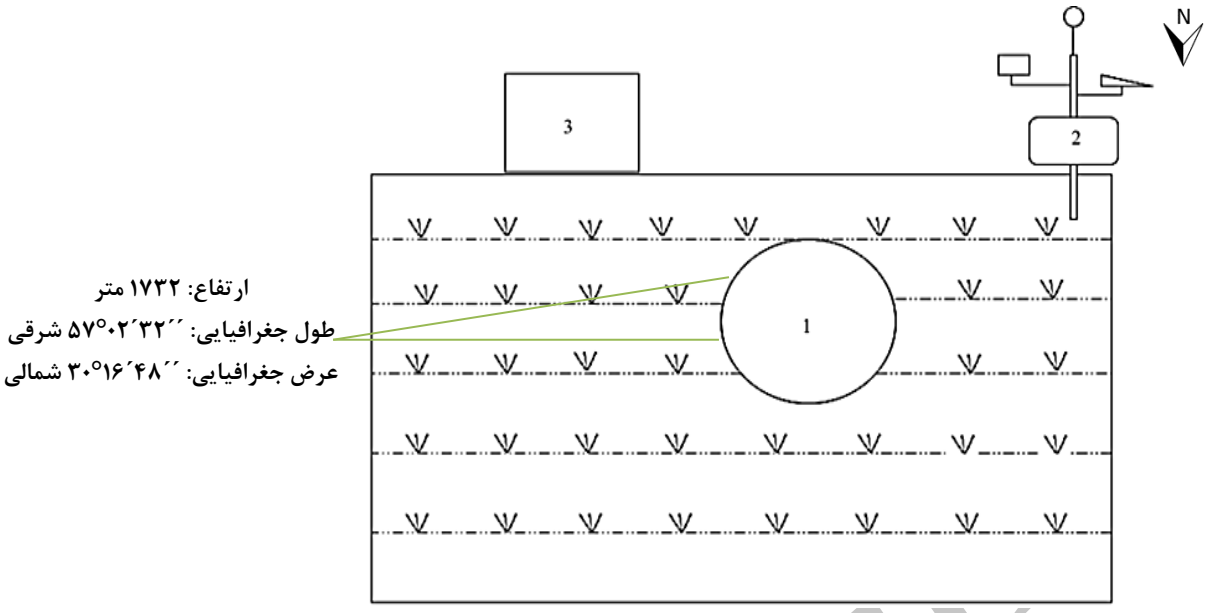
جانمایی استقرار میکرولایسیمتر و نحوه قرارگیری آن در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان در شکل (۸) آورده شده است.

(الف) (ب)

شکل ۷. الف-دیتالاگر (برد آردوینو) و ب- ماژول GSM بی‌سیم نصب شده جهت ثبت خودکار داده‌های میکرولایسیمتری

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۸. محل استقرار میکرولایسیمتر و نحوه قرارگیری آن در خاک. شماره (۱): لایسیمتر کوچک وزنی هوشمند، شماره (۲): ایستگاه هواشناسی خودکار به همراه دیتالاگر، شماره (۳): مخزن آب

شماتیک کلی لایسیمتر کوچک وزنی هوشمند قابل حمل به همراه کلیه‌ی اجزا و سنسورها در شکل (۹) ارائه شده است. داده‌ها با استفاده از یک دیتالاگر به رایانه شخصی منتقل می‌شوند.

شکل ۹. شماتیک کلی لایسیمتر کوچک وزنی هوشمند قابل حمل به همراه کلیه‌ی اجزاء و سنسورها

اجزای موجود در شکل (۹) عبارتند از: ۱- مخزن آب، ۲- پمپ، ۳- لوله و اتصالات، ۴- جدار خارجی، ۵- مخزن استوانه‌ای کشت، ۶- سنسورهای دما و رطوبت خاک، ۷- محل خروج آب مازاد، ۸- صفحات تکیه‌گاه لودسل، ۹- لودسل، ۱۰- پایه و محل

Archive of SID
www.SID.ir

قرارگیری لایسیمتر، ۱۱- سنسور خودکار سنجش میزان آب خروجی، ۱۲- ایستگاه هواشناسی خودکار، ۱۳- پایگاه ثبت داده (دیتالاگر) و سایر قطعات الکترونیکی، ۱۴- سیستم دسترسی آنلاین به داده‌های لایسیمتری.

چگونگی نصب، استقرار و کشت گیاه مورد نظر در لایسیمتر کوچک وزنی در شکل (۱۰) قابل مشاهده است.

(ب) (الف)

شکل ۱۰. مراحل استقرار و کشت در لایسیمتر کوچک وزنی هوشمند به ترتیب از سمت راست الف- قرارگیری جدار خارجی در محل حفر شده و قرارگیری محفظه کشت بر روی سیستم توزین داخل جدار خارجی، ب- کشت گیاه و مراحل جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه

نتایج و بحث

میکرولایسیمتر وزنی از طریق سیستم توزین با همان لودسل تغییرات رطوبتی خاک را اندازه‌گیری می‌کند. سایر سنسورها نیز به طور جداگانه داده‌هایی را تولید می‌کنند. سپس اطلاعات موجود بواسطه دیتالاگر دریافت و بوسیله‌ی زبان برنامه‌نویسی C++ در محیط آردوینو مورد پردازش قرار می‌گیرند. خروجی و داده نهایی لودسل‌ها بر حسب میلی‌ولت بر ولت (mVV^{-1}) می‌باشد. لودسل به دیتالاگر متصل شده و انرژی سیستم از برق و همچنین با نصب صفحه خورشیدی نیز قابل عرضه است. ساختارهای کنترلی از جمله ایجاد ساختارهای تکرار و تصمیم در زبان برنامه‌نویسی استفاده شد. به طور کلی داده‌های خام پردازش و سپس خروجی نهایی در محیط اکسل در اختیار کاربر قرار می‌گیرد (جدول ۱).

جدول ۱. نمونه‌ای از داده‌های برداشت شده توسط ایستگاه هواشناسی خودکار و میکرولایسیمتر هوشمند مستقر در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان

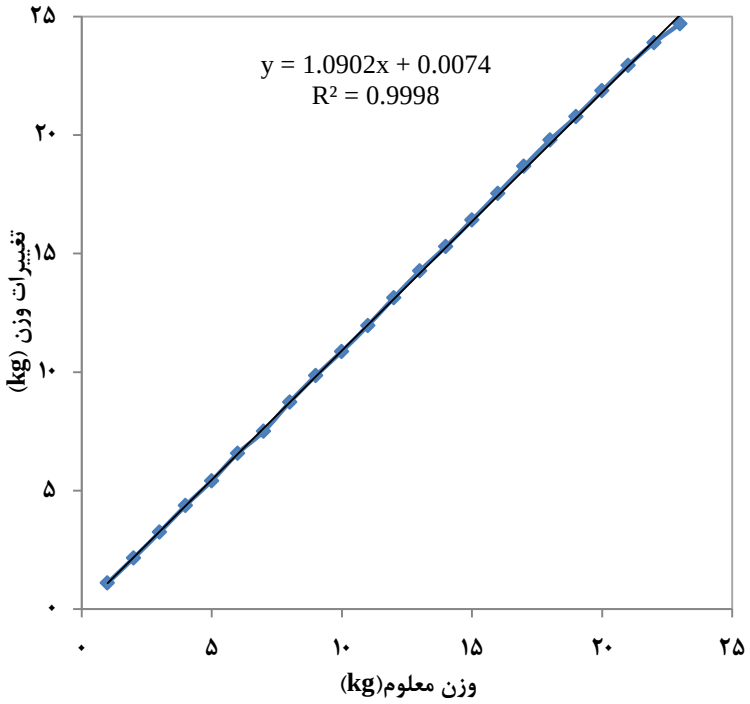
زمان (H:M:S)	تاریخ (میلادی)	لودسل (kg)	دمای خاک (°c)	رطوبت خاک (٪)	شدت تابش (wm^{-2})	مقدار آب زهکشی (Lit)	جهت باد (درجه)	سرعت باد (ms^{-1})	دمای هوا (°c)	بارش (mm)	فشار هوا (kpa)
۸:۰۲:۰۸	۱۹/۳/۲۰۱۷	۲۸/۷۴	۱۵/۵۶	۵۸	۲۲۲/۱۵	۰	۳۱۵	۳	۱۸/۸	۰	**۱۰۲/۹۵**
۸:۱۲:۴۰	۱۹/۳/۲۰۱۷	۲۹/۵۱	۱۶/۸۱	۵۹	۲۵۷/۰۶	۰	۳۱۵	۲	۲۱/۱	۰	**۱۰۲/۹۱**
۸:۲۲:۱۱	۱۹/۳/۲۰۱۷	۲۹/۵۴	۱۵/۱۳	۵۹	۲۶۲/۵۹	۰	۳۱۵	۳	۱۸/۸	۰	**۱۰۲/۹۳**
۸:۳۲:۴۴	۱۹/۳/۲۰۱۷	۳۳/۴۹	۱۵/۳۱	۶۰	۲۴۴/۷۳	۰	۳۱۵	۵	۱۸/۸	۰	**۱۰۲/۹۲**
۸:۴۴:۱۶	۱۹/۳/۲۰۱۷	۳۳/۸۸	۱۴/۵۶	۶۰	۲۴۱/۱۲	۰	۳۱۵	۴	۱۸/۸	۰	**۱۰۲/۹۱**

واسنجی کلیه‌ی سنسورها در ارتباط با یکدیگر بسیار حائز اهمیت است. نمودار واسنجی لودسل رسم گردید (شکل ۱۱). سایر سنسورها نیز مورد بررسی قرار گرفتند. به طور مثال در مورد وسایل اندازه‌گیری ایستگاه هواشناسی خودکار در مورد باران‌سنج می‌توان به این نکته اشاره کرد هر ۰/۲ میلی‌متر میزان بارش باعث حرکت پیمانه‌های داخل آن شده و توسط شمارنده دیجیتال یا میکروکنترل میزان بارش بر حسب میلیمتر ثبت می‌شود. حداقل سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه به منظور به حرکت درآوردن بادسنج فنجانی و ثبت سرعت صورت می‌گیرد. دماسنج خاک با پوشش ضد آب مدل DS18B20 قابلیت تشخیص دمای بین ۵۵- تا ۱۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد را دارد که ۳۰- تا ۴۰ درجه سانتیگراد را با خطای کل ۰/۲ ± دارا می‌باشد و دقت بدست آمده از دمای ۱۰- تا ۸۵ درجه سانتیگراد، ۰/۵± درجه سانتیگراد می‌باشد. سنسور رطوبت خاک نیز صفر تا ۱۰۰ درصد را با دقت ۰/۵ درصد به صورت آنالوگ ثبت می‌نماید. بایستی اشاره کرد که حساسیت سنسور رطوبت قابل تنظیم بوده که از

Archive of SID
www.SID.ir

طریق تانسیومتر موجود بر روی برد آن امکان‌پذیر می‌باشد. سنسور رطوبت خاک وسیله‌ای برای اندازه‌گیری درصد رطوبت حجمی خاک[۲] (VWC) می‌باشد که مقدار آن در خاک‌های مختلف متفاوت می‌باشد. اگر خاک آب بیشتری داشته باشد، مقاومت کم می‌شود و در نتیجه‌ی آن جریان بیشتری از آن عبور خواهد کرد. با وجود اینکه استفاده از خروجی دیجیتال ساده‌تر می‌باشد اما به درستی و دقیق بودن خروجی آنالوگ نمی‌باشد. ولتاژ ورودی به سنسورهای دما و رطوبت خاک بین ۳ تا ۵ ولت می‌باشد. کلیه‌ی سنسورها با اتصال به برد آردوینو داده‌های مربوط به خود را دریافت و بر روی کارت حافظه ثبت می‌نمایند.

[۲] volumetric water content



شکل ۱۱. نمودار رگرسیون خطی به منظور واسنجی سیستم توزین لایسیمتر کوچک وزنی خودکار

نتیجه‌گیری

میکرولایسیمترها و سنسورهای هوا و خاک ابزارهای ارزشمندی برای بیان کمیت اجزای تعادل آب و خاک می‌باشند. لایسیمترهای وزنی به عنوان ابزاری دقیق در برآورد تبخیر-تعرق محسوب می‌شوند، اما از نظر ساخت در ابعاد بزرگ به هزینه زیادی نیاز دارند. همچنین ساخت اتاقک کنترل و زیرزمینی و حمل و نقل اجزاء در ابعاد بزرگ مشکل و هزینه‌بر می‌باشد. از سوی دیگر با توجه به کاهش منابع آب و تغییر در الگوی کشت و کوچک‌تر شدن مزارع و رواج کشت‌های گلخانه‌ای، کاربرد لایسیمترهای کوچک بایستی مورد توجه قرار گیرد. در این مطالعه به طراحی و ساخت لایسیمتر کوچک وزنی پرداخته شد به طوری که ابعاد کوچک آن با دقت کافی مورد توجه قرار گرفته است. از کاربردهای این وسیله می‌توان به مطالعات مربوط به اندازه‌گیری دقیق نیاز آبی گیاهان، انتقال آلودگی در خاک و مطالعات مربوط به اکوهیدرولوژی اشاره کرد. هدف کلی از انجام این تحقیق ساخت میکرولایسیمتر جهت اندازه‌گیری مقادیر مربوط به توازن مانند بارش، نفوذ، تبخیرتعرق، نیاز آبی گیاهان، کیفیت آب، توسعه اصولی برای مدیریت تالاب سازگار با اقلیم منطقه، اندازه‌گیری و تبیین یک سیستم اطلاعاتی آنلاین برای دسترسی به عملیات مدیریت آب در زمان واقعی (Real time) می‌باشد. بایستی توجه داشت که شناخت عملکرد سیستم برای تفسیر داده‌های صحیح ضروری می‌باشد. همچنین از شرایط لازم به منظور به دست آوردن مجموعه‌ای مناسب از داده‌ها، نگهداری صحیح تجهیزات این دستگاه و مدیریت به هنگام داده‌ها می‌باشد.

REFERENCES

Abedi-Koupai, J., Eslamian, S. S. and Zareian, M. J. (2011). Measurement and modeling of water requirement and crop coefficient for cucumber, tomato and pepper using microlysimeter in greenhouse. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center*, 2(7), 51-63. (In Farsi).

Black T. A. Thurtell G. W. and Tanner C. B. *(*1968*).* Hydraulic Load Cell Construction, Calibration and Tests, *Soil Science Society of America*.

Archive of SID
www.SID.ir

Proceedings Journal, 32:623-629.

Barani G. A. and Khanjani, M. J. *(*2002*).* A large electronic weighing lysimeter system: Design and installation, *Journal of the American Water Resources Association*, 38(4): 1053–1060.

Graf A. Kuttler W. and Werner J. *(*2004*).* Dewfall measurements on Lanzarote, CanaryIslands, *Meteorologische Zeitschrift*, 13(5): 405–412.

Heusinkveld B. G. Berkowicz S. M. Jacobs A. F. G. Holtslag A. A. M. and Hillen W. C. A. M. *(*2006*).* An automated microlysimeter to study dew formation and evaporation in arid and semiarid regions, *Journal of Hydrometeorology*, 7(4): 825–832.

Jacobs A. F. G. Heusinkveld B. G. and Berkowicz S. M. *(*1999*).* Dew deposition and drying in a desert system: a simple simulation model, *Journal of Arid Environments*, 42(3): 211–222.

Kohnke H. Dreirelbis F. R. and Davidson J. M. *(*1940*).* A survey and discussion of lysimeters and a bibliography on their construction and performance (Misc. pub. 372.), *United States Department of Agriculture (USDA)*.

Kaseke K. F. Mills A. J. Brown R. Esler K. J. Henschel J. R. and Seely M. K. *(*2012*).* A method for direct assessment of the non-rainfall atmospheric water cycle: input and evaporation from the soil, *Journal of pure and applied geophysics*, 169(5–6): 847–857.

Maurice. (1796). Bibliographie universelle de genève sciences et arts. V. 1. No date. [Original not seen.]

Pan Y. X. Wang X. P. and Zhang Y. F. *(*2010*).* Dew formation characteristics in arevegetation-stabilized desert ecosystem in Shapotou area, Northern China, *Journal of Hydrology*, 387(3–4): 265–272.

Seelhorst C. Von. *(*1906*).* Mitteilungen vom landwirtschaftlichen versuchfelde der universität göttingen. II. Über den wasserverbrauch von roggen, gerste, weizen und kartoffeln. I. Mitteilung. *J., f. Landw.* 54: 316-342, illus.

Sohrabi, T., Ebrahimi, A., Rahimi, H. and Khlili, A. (2005). Design, construction and installation of weighing lysimeters for determining consumptive use of agricultural crops. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 12(2), 33-43. (In Farsi)

Uclés O. Villagarcía L. Cantón Y. and Domingo F. *(*2013*).* Microlysimeter station for long term non-rainfall water input and evaporation studies, *Agricultural and Forest Meteorology Journal*, 182–183(0): 13-20.

van Bavel, C.H.M and L.E. Myers, *(1962).* An automatic weighing lysimeter, *Agricultural Engineering*, 43(10)580-588.

Way J. T. *(*1850*).* On the power of soils to absorb manure, *The Royal Agricultural Society of England Journal*, 11: 313-379.

Wollny E. *(*1881*).* Hydrometeore. beobachtungen über die einsickerung und verdampfung des bodenwassers sollen in das system der agrarmeteorologie einbezogen werden; dabei sind jedoch lysimeter keineswegs in anwendung zu bringen. *Wollny's Forsch. Agr.-Phys.* 4: 292-294, 297, 299-301.

Archive of SID

www.SID.ir