بسم الله الرحمن الرحیم

دستورالعمل فنی احداث سایت مطالعات و آزمایش‌های لایسیمتری

(با تاکید بر تحقیقات جنگل، مرتع و بیابان)

نگارش

محمدهادی راد

عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد

۱۳۹۹

عنوان طرح منتج به این نشریه فنی	
مطالعه فیزیولوژی روابط آبی گیاه تاغ(*Haloxylon aphyllum*) در یزد	۱۳۸۴
برآورد آب مورد نیاز اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis*) با استفاده از آزمایشات لایسیمتری	۱۳۸۷
مطالعه روابط آبی اکالیپتوس میکروتکا و اکالیپتوس سارجنتی با استفاده از آزمایشات لایسیمتری	۱۳۹۰
مطالعه فیزیولوژیکی *Eucalyptus flocktoniae* و *Eucalyptus leucoxylon* با استفاده از آزمایشات لایسیمتری	۱۳۹۴
تعیین نیاز آبی و بررسی ویژگی های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سه توده مهم عناب (*Ziziphus jujuba* Mill) تحت تاثیر تنش خشکی	۱۳۹۸

عنوان نشریه: دستورالعمل فنی احداث سایت مطالعات و آزمایش¬های لایسیمتری (با تاکید بر تحقیقات جنگل، مرتع و بیابان)

نویسنده: محمدهادی راد استادیار پژوهشی بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

تهیه شده در: موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور / اداره ترویج و انتقال یافته‌های تحقیقاتی / مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد

مدیر داخلی: فاطمه عباسپور

ویراستار ادبی: اصغر احمدی

ویراستاران علمی: ابراهیم شریفی عاشورآبادی، محمدحسن رحیمیان

نوبت چاپ: اول

شمارگان: الکترونیکی

قیمت: رایگان

نشانی: بزرگراه تهران-کرج، خروجی پیکانشهر، شهرک سرو آزاد، خیابان شهید علی گودرزی، بلوار باغ گیاه‌شناسی ملی ایران، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور.

صندوق پستی: ۱۱۶-۱۳۱۸۵ **تلفن**: ۵-۴۴۷۸۷۲۸۲-۰۲۱

وب‌سایت: www.rifr-ac.ir

این نشریه به شماره ۵۹۱۷۳ در تاریخ ۱۳۹۹/۱۲/۱۴ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

ISBN:978-964-473-446-5

فهرست مطالب

چکیده ۱

مقدمه ۲

اهداف ۴

تعریف و چگونگی ساخت لایسیمترها ۴

کاربرد لایسیمترها ۱۰

معرفی سایت تحقیقاتی آزمایش‌های لایسیمتری بخش تحقیقات جنگل و مرتع یزد..... ۱۳

الف) موقعیت جغرافیایی و اکولوژیک سایت..... ۱۳

ب) طراحی، ساخت و نصب لایسیمترها..... ۱۵

ج) نصب محفظه قرارگیری و تونل دسترسی به لایسیمترها..... ۲۳

دستاوردهای مطالعاتی و تحقیقاتی سایت آزمایش‌های لایسیمتری بخش تحقیقات جنگل و مرتع یزد ۳۰

مخاطبان نشریه:

مدیران اجرایی، محققین، کارشناسان و مروجان منابع طبیعی و آبخیزداری

اهداف آموزشی:

این نشریه فنی جهت دستیابی به اهداف ذیل تدوین شده است

- آشنایی کوتاه با لایسیمترها و کاربرد آنها در کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست
- چگونگی ساخت و استقرار لایسیمترها برای انجام آزمایش‌های میدانی
- ارائه نکات فنی در اندازه‌گیری میزان تبخیر تعرق بوسیله لایسیمتر
- ارائه نکات فنی در مطالعات مربوط به روابط آب و خاک و گیاه بوسیله لایسیمتر
- معرفی دستاوردهای پژوهشی سایت تحقیقاتی آزمایش‌های لایسیمتری یزد

چکیده

از لایسیمترها به عنوان ابزارهای مناسب برای برآورد نیاز آبی گیاهان، مطالعات مربوط به روابط آب، خاک و گیاه و همچنین مسائل زیست محیطی نظیر حرکت آلاینده‌ها در خاک و کمک به مدل سازی آن‌ها استفاده می‌شود. استفاده از لایسیمترها دارای سابقه طولانی است و بر حسب نیاز از اندازه و امکانات مختلف برخوردار می‌باشند. در این رابطه لایسیمترهای وزنی و لایسیمترهای زهکش‌دار به عنوان دقیق‌ترین ابزارهای اندازه‌گیری مستقیم تبخیر تعرق، کاربرد بیشتری دارند. بر این اساس با توجه به ضرورت دسترسی به اطلاعات دقیق در خصوص نیاز آبی و مطالعه سازوکارهای مقاومت به خشکی در گونه‌های جنگلی و گونه‌های چند منظوره مناطق خشک نسبت به تحقیق، طراحی، ساخت و نصب ۲۰ عدد لایسیمتر وزنی و زهکش‌دار در ایستگاه تحقیقات بیابان زدایی شهید صدوقی یزد اقدام گردید. لایسیمترها به شکل استوانه با قطر ۱۲۱ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۷۰ سانتی‌متر با گنجایش ۱/۹۵ متر مکعب طراحی و از جنس آهن گالوانیزه ساخته شدند. در اعماق ۳۰ ، ۶۰ ، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی‌متری و بر روی بدنه لایسیمترها، دریچه‌هایی نصب گردید تا امکان دسترسی مستقیم به پروفیل خاک و اندازه‌گیری رطوبت و سایر خصوصیات خاک در اعماق مختلف از طریق نمونه‌برداری مستقیم و یا نصب سنجنده، میسر گردد. آزمایش‌های مربوط به ریشه نیز در اعماق مختلف از طریق این دریچه‌ها امکان‌پذیر گردید. برای کاهش تبادلات حرارتی محتوای داخل لایسیمترها با بیرون، بدنه آنها با یک لایه پشم شیشه و یک لایه فوم عایق گردید. لایسیمترها دارای زهکش بوده و عملیات توزین بوسیله یک دستگاه جرثقیل و یک دستگاه ترازوی دیجیتالی ۵۰۰۰ کیلوگرمی با دقت ۵۰۰ گرم که به یک خرک متحرک، اتصال دارند قابل انجام است. این لایسیمترها روی ۲ سکو که در عمق ۱۷۵ سانتی‌متری سطح خاک ساخته شده و از ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر برخوردار هستند، مستقر گردیدند. لایسیمترهای این سایت در مواردی نظیر بررسی کارائی مصرف آب (WUE)، بررسی توابع تولید درگونه‌های درختی و درختچه‌ای، بررسی چگونگی حرکت عوامل آلاینده در خاک، مطالعات مربوط به زهکشی و نوسانات سطح ایستایی در نیمرخ خاک، مطالعات مربوط به توسعه کمی و کیفی ریشه در اعماق خاک، مطالعه روند تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک، مطالعات مربوط به کارایی مصرف آب‌های نامتعارف در رشد و نمو گیاهان کاربرد داشته و در حال استفاده می‌باشند.

کلید واژه‌ها: تبخیر تعرق، روابط آبی، گونه‌های جنگلی، مناطق خشک

مقدمه

در برنامه‌ریزی‌های مربوط به توسعه اقتصادی و اجتماعی، آب به عنوان یک عامل بسیار موثر و محدود کننده محسوب می‌شود. بنابراین استفاده بهینه از منابع آب، امری ضروری است. در چنین شرایطی می‌بایست از ریزش‌های جوی، جریان آبهای سطحی و منابع زیر زمینی آب به نحو مطلوبی استفاده کرد. واقع شدن ایران بر روی کمربند بیابانی و عمل فرونشینی هوا در این کمربند، کشور ایران را در قیاس با میانگین بارش کره زمین (۸۶۰ میلیمتر) به سرزمینی خشک بویژه در نواحی کم عارضه و کم ارتفاع شرقی و داخلی تبدیل کرده است. در مناطق مرکزی میانگین بارندگی به ۶۳ میلی‌متر میرسد که علاوه بر توزیع ناهمگن مکانی، نوسانات شدید زمانی نیز در آن به چشم میخورد. با این شرایط حدود ۶۰ درصد از سطح کشور، بارندگی کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر دریافت کرده و در گروه اقلیمی فرا خشک، و خشک و حدود ۲۵ درصد نیز در محدوده اقلیم نیمه خشک قرار دارند (بابایی فینی و فرجزاده، ۱۳۸۱). در مجموع حدود ۸۵ درصد از سطح کشور دارای اقلیم خشک و نیمه خشک بوده و پوشش گیاهی آن تحت تاثیر تنش خشکی است. کمی نزولات جوی، ضمن تاثیر جدی بر کمیت و کیفیت پوشش گیاهی، فقر منابع آبی و بروز تنش خشکی را در محصولات کشاورزی نیز به دنبال دارد. علی رغم کمی نزولات جوی و محدود بودن منابع آبی، بهره‌برداری از عرصه‌های خشک از طریق جنگل‌کاری و توسعه کاشت درختان و درختچه‌های چند منظوره بسیار با اهمیت و ضروری است. با این شرایط، ایجاب می‌نماید تا با شناخت دقیق از نیازهای آبی و سازوکارهای مقاومت به خشکی گیاهان، در توسعه کمی و کیفی پوشش گیاهی همت گماشت. استفاده از ارقام و یا جمعیت‌های برتر از نظر تحمل به شرایط نامساعد محیطی، بویژه خشکی و بهبود کارایی مصرف آب از ضروریات بخش کشاورزی و منابع طبیعی است. روابط زیست محیطی گیاهان استقرار یافته در عرصه های خشک و نیمه خشک و به عبارتی اکوفیزیولوژی گیاهی در منابع طبیعی را نیز باید بسیار جدی گرفت.

علی‌رغم اینکه تعیین نیاز خالص آبی گیاهان زراعی و باغی، یا به عبارتی اندازه‌گیری تبخیر تعرق از روش‌های مستقیم و غیر مستقیم موضوعی است که سابقه طولانی دارد، اما این امر برای پوشش‌های طبیعی و یا گیاهانی که با اهداف مختلف برای ایجاد فضای سبز، جنگل‌کاری برای مصارف تجاری و یا زیست محیطی کاشت می‌شوند، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. تفاوت فاحش در چگونگی تامین و مصرف آب در عرصه‌های طبیعی با اراضی زراعی و باغی، عاملی موثر در توجه کمتر به این موضوع است. در عرصه‌های طبیعی گیاهان عمدتا" از رطوبت ذخیره شده در خاک بوسیله نزولات جوی، منابع

زیرزمینی آب و یا با آبیاری بوسیله سیلاب و آبهای نامتعارف (آب‌های شور و یا پساب‌های شهری و صنعتی) نیازهای خود را تامین می‌نمایند. در بسیاری از موارد نیز آبیاری تنها برای استقرار اولیه و برای مدت زمان محدود انجام می‌شود که به شرایط اقلیمی و نوع گونه در مقدار و تعداد دفعات آبیاری، متفاوت است. اینکه گیاهانی که در عرصه‌های طبیعی رویش دارند و یا جهت جنگل‌کاری و توسعه فضای سبز مورد استفاده قرار می‌گیرند، نیاز آبی آنها چه مقدار بوده و آب مورد نیاز خود را از چه منابع آبی و با چه سازوکارهایی تامین می‌نمایند و چگونه می‌توانند با فرایندهای کارامد و موثر با تنش‌های محیطی، از جمله خشکی و خشکسالی مقابله نمایند، سئوالاتی است که پرداختن به آنها براساس شرایط اقلیمی هر منطقه ضروری است. از دیگر نکات حائز اهمیت در این خصوص توجه به تاثیر تنش‌های محیطی بویژه تاثیر تنش خشکی بر میزان رشد و نمو و به عبارتی عملکرد این گیاهان است. تعاریف مربوط به کارایی مصرف آب[1] (WUE) در خصوص گونه‌های جنگلی چند منظوره، بر اساس کارکرد آنها در محیط زیست نیز باید مورد توجه قرار گیرد. برای پاسخ‌گویی به سئوالات فوق و سئوالات دیگری که ممکن است بوسیله تنش‌های زیستی و غیر زیستی و تغییر در شرایط زیست محیطی گیاه، اتفاق افتد، قرار دادن گیاهان در شرایط کنترل شده (شرایط لایسیمتر[2]) و در عرصه طبیعی، حائز اهمیت است. با عنایت به اهمیت موضوع و درک دقیق آن از سوی نگارنده و مسئولین مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد با حمایت موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و همچنین سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی نسبت به طراحی، ساخت و نصب لایسیمترهای وزنی و زهکش‌دار و ایجاد سایت مطالعات و آزمایش‌های لایسیمتری در ایستگاه تحقیقات بیابان‌زدایی شهید صدوقی یزد، اقدام گردید. این سایت تحقیقاتی که از سال ۱۳۸۰ پایه‌گذاری شد، از طریق انجام طرح‌های تحقیقاتی متعدد، در زمینه برآورد نیاز آبی و بررسی روابط آبی برخی گونه‌های جنگلی مناطق خشک و نیمه خشک، مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج ارزشمند حاصل از اجرای طرح‌های تحقیقاتی که در قالب گزارش‌های علمی و مقاله‌های علمی- پژوهشی ارائه گردید، نشان داد که سایت مذکور از کارایی مطلوبی برخوردار بوده و می‌تواند الگوی مناسبی برای پیاده‌سازی آن در سایر شرایط اقلیمی کشور باشد.

با توجه به ضرورت توسعه تحقیقات کاربردی در زمینه مسائل مربوط به آب، ارائه دستورالعملی در خصوص چگونگی طراحی، ساخت و نصب لایسیمترهایی که بتواند پاسخگوی نیازهای مطالعاتی این بخش باشد، ضروری به نظر رسید. این دستورالعمل حاصل تجربه نگارنده است که طی حدود ۲۰ سال

[1] - Water Use Efficiency (WUE)
[2] - Lysimeter

(به عنوان مجری) کسب و ارائه شده است. سایت مذکور بر اساس شرایط اقلیمی منطقه، نیاز بخش منابع طبیعی و توان مالی، طراحی و اجرا گردیده و امکان تجهیز آن به سیستم‌های پیشرفته آبیاری، توزین و ثبت داده ها و همچنین اندازه‌گیری‌های مورد لزوم در مطالعات مربوط به نیاز آبی، روابط آب – خاک - گیاه و محیط زیست وجود دارد.

اهداف

مهمترین هدف در آزمایش‌های لایسیمتری برآورد دقیق از نیاز آبی گیاهان (تبخیر تعرق) و همچنین برآورد ضریب گیاهی(Kc) است، با این وجود با تغییر در طراحی لایسیمترها می‌توان اهداف متعدد دیگری را نیز دنبال نمود. در سایت لایسیمتری ایجاد شده با طراحی صورت گرفته و توجه به بهره‌برداری در زمینه‌های مختلف، اهداف ذیل نیز به خوبی قابل پی‌گیری است.

- بررسی کارائی مصرف آب (WUE) و توابع تولید درگونه‌های درختی و درختچه‌ای
- بررسی چگونگی حرکت عوامل آلاینده به عمق خاک
- مطالعات مربوط به زهکشی و نوسانات سطح ایستایی در نیمرخ خاک
- مطالعات مربوط به توسعه کمی و کیفی ریشه در اعماق خاک
- مطالعه آسان روند تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک
- مطالعات مربوط به کارایی مصرف آبهای نامتعارف در رشد و نمو گیاهان

تعریف و چگونگی ساخت لایسیمترها

لایسیمترها وسایلی هستندکه یک توده خاک را از نظر هیدرولوژیکی از خاک اطراف آن جدا می‌نمایند. به عبارتی لایسیمترها جعبه‌های کشت بزرگی هستند که با خاک پر شده و در مزرعه، باغ و یا جنگل قرار می‌گیرند تا نماینده‌ای باشند که در آن موقعیت آب، خاک و گیاه به آسانی و بسیار دقیق تر از محیط طبیعی خاک تنظیم و بررسی گردد. امکان دسترسی آسان به تمام اجزای گیاه و بویژه ریشه را به خوبی فراهم نموده و مطالعه روند تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک را نیز آسان می‌نمایند. لایسیمترها بر اساس نیاز و نوع کاربرد، توان مالی و شرایط اقلیمی مناطق مورد استفاده، بسیار متنوع می‌باشند.

کلمه لایسیمتر از دو واژه یونانی لیزز[۳] به معنای انحلال یا حرکت و مترون[۴] به معنای اندازه‌گیری گرفته شده است (Howell, 2005). لایسیمترها مخازنی هستند که با خاک پر شده و در مزرعه، باغ و یا جنگل قرار می‌گیرند تا نماینده‌ای باشند که در آن موقعیت آب، خاک و گیاه به آسانی و بسیار دقیق‌تر از محیط طبیعی خاک تنظیم و بررسی گردد (سهرابی و همکاران، ۱۳۸۴; Ming، ۱۹۹۵). از لایسیمترها عمدتاً برای اندازه‌گیری مقدار آب اتلاف یافته در اثر تبخیر تعرق توسط گیاهان کشت شده در آنها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Allen et al., 1999). لایسیمترها به عنوان قابل اطمینان‌ترین وسیله اندازه‌گیری مستقیم نرخ تبخیر تعرق در گیاهان همواره مورد توجه بوده‌اند (Ramirez-Builes & Harmsen, 2011). اگرچه از اواسط قرن نوزدهم، لایسیمترها مورد استفاده قرار گرفته و بیش از سیصد سال از قدمت آنها در طیف گسترده‌ای از تحقیقات آب و خاک و محیط زیست می‌گذرد، لیکن تنها از پنجاه سال گذشته است که لایسیمترهای دقیق برای اندازه‌گیری تبخیر تعرق مورد استفاده قرار گرفته‌اند. فن‌آوری‌های جدید کمک کرده است تا طراحی و ساخت لایسیمترها، متناسب با نیازهای تحقیقاتی روز صورت گرفته و شاهد توسعه و ورود آنها در عرصه‌های مختلف علمی و تحقیقاتی باشیم (زارعی و همکاران،۱۳۸۲؛ Howell و همکاران، ۱۹۹۱؛ Cameron و همکاران، ۱۹۹۲؛ Lorite و همکاران، ۲۰۱۲؛ Nicolas-Cuevas و همکاران، ۲۰۲۰).

با توجه به اشتیاق روز افزون استفاده از لایسیمترها، ضروری است به چهار الزام در طراحی، ساخت و نصب آنها توجه نمود تا داده‌های بدست آمده قابل تعمیم به عرصه بوده و نمایانگر شرایط میدانی باشند (Ramirez-Builes & Harmsen, 2011).

۱) لایسیمترها باید به اندازه کافی بزرگ و عمیق باشند تا اثر حاشیه‌ای را به حداقل رسانده و رشد ریشه را به راحتی کند و یا متوقف ننمایند. برای گیاهان کوتاه قد، حداقل حجم لایسیمتر باید یک متر مکعب و با افزایش اندازه گیاه، حجم آنها باید بیشتر در نظر گرفته شود.

۲) شرایط فیزیکی خاک داخل لایسیمتر باید با شرایط خاک بیرونی قابل مقایسه باشد. تراکم خاک نباید کم باشد تا حرکت ریشه و نفوذ آب تسهیل گردد. اگر در قسمت تحتانی، لایسیمتر از خروجی مناسب برخوردار نباشد، انباشتگی آب اتفاق افتاده و شرایط غیر طبیعی از نظر رطوبت و حرارت، حاکم خواهد شد. لایسیمتر باید از زهکش مناسب (مشابه آنچه در خاک خارج از لایسیمتر و در محیط طبیعی وجود دارد) برخوردار گردد.

---

[3] - Lysis
[4] - Metron

۳) حتی‌الامکان لایسیمترها در مکان‌هایی استقرار و نصب گردند که از شرایط یکسان با اطراف خود برخوردار باشند. در این خصوص باید تراکم و ارتفاع گیاهان داخل لایسیمتر با محیط اطراف یکسان باشد. سطح لایسیمتر می‌تواند نسبتی از سطح پوشش گیاه در محیط اطراف آن باشد.

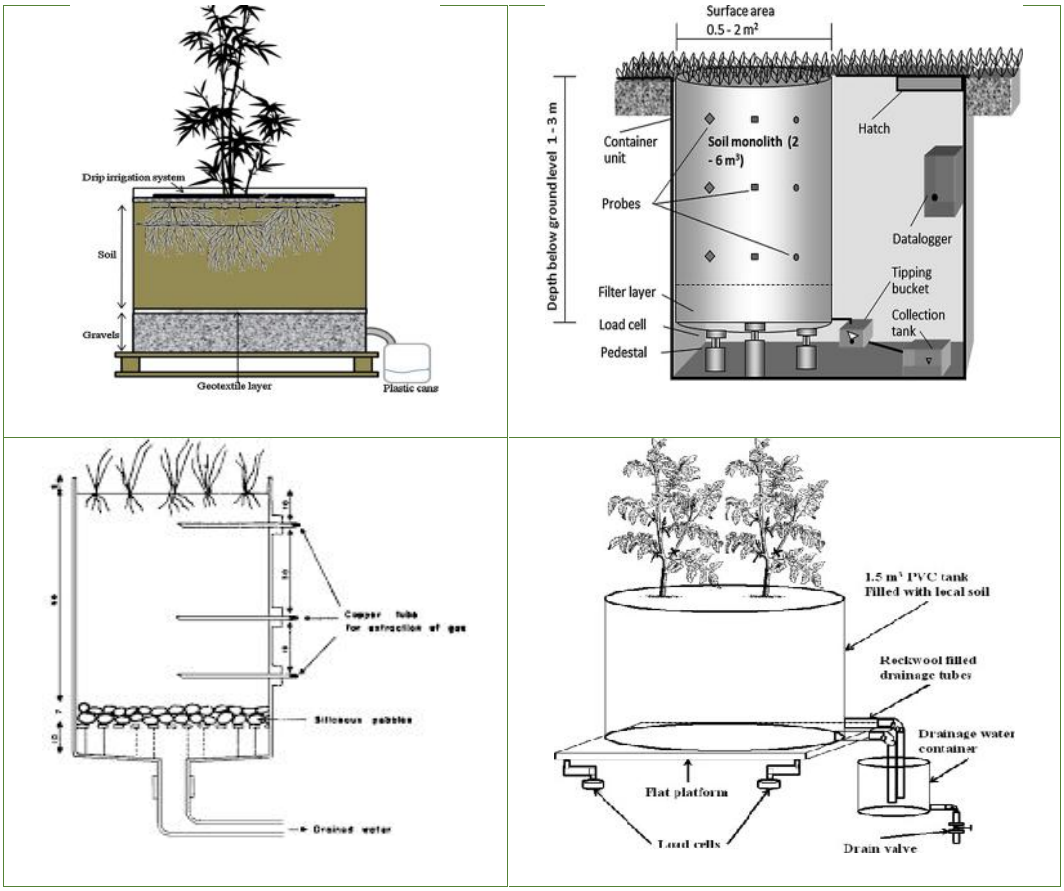
۴) لایسیمترها باید از یک حلقه محافظ برخوردار باشند که توسط گیاهان مشابه درون لایسیمتر پوشیده شده باشد. ارتفاع گیاهان موجود در حلقه محافظ باید از ویژگی یکسانی با گیاهان کاشت شده درون لایسیمتر برخوردار باشند.

بطور کلی لایسیمترها از نظر روش کار به دو نوع وزنی و غیر وزنی یا زهکش‌دار تقسیم می‌شوند. لایسیمترهای وزنی میتوانند مستقیماً اطلاعات دقیقی را در مورد تغییرات رطوبتی در نیمرخ خاک فراهم کنند. این نوع لایسیمترها درون فضایی که دیواره‌های آن با خاک مزرعه در تماس است قرار می‌گیرند. برای توزین لایسیمترهای وزنی تکنیک‌های متعددی از جمله روشهای مکانیکی، الکترونیکی، بالشتکی و هیدرولیکی به کار گرفته می‌شود (زارعی و همکاران، ۱۳۸۲؛ Hagan و همکاران، ۱۹۶۷؛ Xingfa و همکاران، ۱۹۹۹؛ Nicolas-Cuevas و همکاران، ۲۰۲۰).

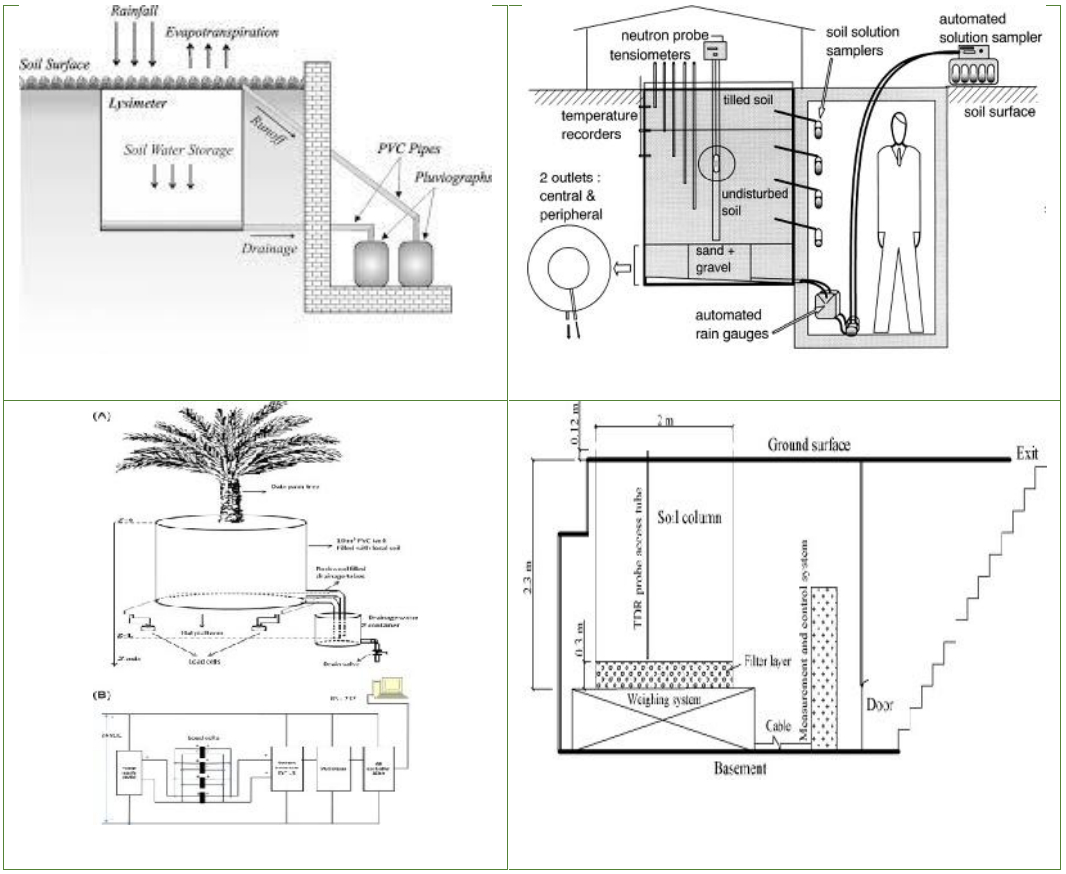
عمق خاک در لایسیمترها بستگی به اهداف تحقیق دارد. تعداد کمی از لایسیمترها دارای عمقی بیش از ۱/۵ متر هستند که این عمق ارتباط کامل با توسعه ریشه دارد. بنابراین در بسیاری از مطالعات برای ریشه‌دهی عمیق‌تر و طبیعی نیاز به لایسیمترهایی با عمق بیشتر است (سهرابی و همکاران، ۱۳۸۴ به نقل از Mared و همکاران، ۱۹۸۶). برای اندازه‌گیری میزان تبخیر تعرق گیاهانی که شرایط تنش آبی را تجربه می‌کنند، کسب اطلاعات دقیق از عمق پروفیل خاک، از اهمیت بسزایی برخوردار است (سهرابی و همکاران ۱۳۸۴).

دیوار لایسیمترها از مواد مختلفی نظیر بتن مسلح، پلی استر، پلاستیک و فولاد ساخته می‌شود. جعبه‌های کشت فولادی، توسط یکسری تیرک‌هایی به اشکال مختلف در مقابل بارهای وارده، مقاوم‌سازی می‌شوند (سهرابی و همکاران، ۱۳۸۴).

از نکات حائز اهمیت در طراحی لایسیمترها ، توجه به زهکش آنها است. به این منظور در بسیاری از لایسیمترها با هدف جلوگیری از ورود ذرات خاک و شستشوی آن توسط جریان آب به درون لوله‌های زه‌آب (بویژه در خاکهای سست و ناپایدار) از صافی یا فیلتر مناسب در اطراف لوله زه‌آب استفاده می‌شود (حسن‌اقلی و همکاران، ۱۳۸۲،Ming ، ۱۹۹۵). شکل‌های ۱ و ۲ تعدادی از لایسیمترهای طراحی شده و اجزای آنها را در سایت‌های مطالعاتی و تحقیقاتی نشان می‌دهند.



شکل ۱- تعدادی از لایسیمترهای طراحی شده همراه با اجزای آنها با اهداف و کاربردهای مختلف (الف)



شکل ۱- تعدادی از لایسیمترهای طراحی شده همراه با اجزای آنها با اهداف و کاربردهای مختلف

(ب)

شکل ۲- برخی لایسیمترهای استقرار یافته در سایت‌های مطالعاتی و تحقیقاتی

(الف)

شکل ۲- برخی لایسیمترهای استقرار یافته در سایت‌های مطالعاتی و تحقیقاتی

(ب)

کاربرد لایسیمترها

آب مورد استفاده توسط گیاهان، فرایند کاملی است که همواره تحت تاثیر شرایط اقلیمی، مرحله رشد گیاه و مقدار نسبی آب خاک می‌باشد. بدیهی است که مجموعه این عوامل میزان تبخیر تعرق (ET) صورت گرفته از سطح خاک و گیاه و در نهایت، نیاز آبی گیاهان را تعیین می‌کند (Xingfa و همکاران، ۱۹۹۹). اگر چه پدیده تبخیر تعرق یک امر طبیعی محسوب می‌شود، اما رویداد آن در مناطق خشک و نیمه خشک در اثر عوامل اقلیمی نامساعدی چون شدت تشعشع خورشید، هوای گرم و وزش بادهای گرم و خشک (والتر لارچر، ۱۹۹۵، علیزاده، ۱۳۸۳) و همچنین کمبود بارندگی‌ها و یا منابع آب زیرزمینی

نسبت به شرایط متعارف تغییر می‌کند. ذکر این نکته ضروری است که بدلیل کمبود شدید منابع آبی برای جبران آب از دست رفته گیاه و خاک، برآورد این پدیده از اهمیت زیادی در مدیریت منابع آبی موجود و یا توسعه کشت گیاهان جنگلیف مرتعی و بیابانی در مناطق خشک و نیمه خشک برخوردار است. وجود شرایط مذکور در این مناطق باعث شده است تا بسیاری از گیاهان خود را با این شرایط و با سازوکارهای مختلف (نظیر تحمل خشکی، فرار از خشکی و ...) سازگار نمایند (Kramer، ۱۹۸۶).

همانگونه که قبلاً اشاره شد، میزان تبخیر تعرق پوشش گیاهی، تحت تاثیر عوامل متعددی است، به همین دلیل برآورد دقیق آن به‌آسانی امکان پذیر نیست. روش‌هایی که برای تخمین تبخیر تعرق به کار برده می‌شوند در دو گروه اصلی قرار می‌گیرند که عبارتند از روش‌های مستقیم یا لایسیمتری و روش‌های غیر مستقیم یا محاسباتی. در روش‌های محاسباتی از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده و از روی ارتباط آنها با تبخیر تعرق و معادله‌هایی که قبلاً با روش‌های مستقیم واسنجی شده‌اند، تبخیر تعرق پوشش گیاهی مورد نظر تخمین زده می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۳، صفاری، ۱۳۸۲).

در روش مستقیم تعیین تبخیر و تعرق، از اصل بیلان جرمی در یک حجم کنترل شده از خاک استفاده می‌گردد (علیزاده، ۱۳۸۳، Zhao-Ming، ۱۹۹۵، Waugh و همکاران، ۲۰۰۴). بر اساس این اصل:

$$\Delta s = (I + P + SFI + LI + GW) - (ET + RO + LO + L + DP) = Dr\bar{z}(\bar{\ }_f - \bar{\ }_i)$$

Δs = تغییر رطوبت در حجم کنترل شده خاک در طی دوره زمانی مشخص که بر حسب سانتی‌متر یا میلی‌متر توصیف میشود.

$(I + P + SFI + LI + GW)$=جریان ورودی

$(ET + RO + LO + L + DP)$= جریان خروجی

جریان ورودی و خروجی= مقدار کل آبی که طی یک دوره زمانی مشخص (مثل یک ساعت، یک روز، یک ماه و یا یک فصل) به حجم معینی از خاک وارد و یا از آن خارج می‌شود و معمولا" بر حسب میلی‌متر توصیف می‌شوند.

عواملی که ممکن است بر مقادیر جریان ورودی و خروجی موثر باشند عبارتند از :

I = مقدار آبیاری (میلی‌متر)

P = مقدار بارندگی موثر (میلی‌متر)

SFI = جریان سطحی ورودی به سطح خاک (میلی‌متر)

LI = جریان زیر سطحی که وارد حجم خاک می شود (میلی‌متر)

GW = جریان آب زیرزمینی ورودی (میلی‌متر)

ET = تبخیر تعرق (میلی‌متر)

Ro = رواناب سطحی که از زمین خارج می‌شود (میلی‌متر)

Lo = جریان آب زیر سطحی که از زمین خارج می‌شود (میلی‌متر)

DP = نفوذ عمقی (جریان خروجی که مازاد بر نیاز آبشویی صورت می‌گیرد (میلی‌متر)

در معادله های فوق تمام عناصر دارای بعد طول بوده و در شرایط متعادل که جریان ورودی و خروجی برابر است، از روی آنها می‌توان تبخیر تعرق (ET) را بدست آورد.

$$ET = I+P+SFI+LT+GW-Ro-Lo-L-DP-D_{rz} = (\bar{}_f - \bar{}_i)$$

Drz = عمق توسعه ریشه (سانتی‌متر)

$\bar{}_f$ = رطوبت حجمی خاک در انتهای دوره مورد نظر (درصد)

$\bar{}_i$ = رطوبت حجمی خاک در ابتدای دوره مورد نظر (درصد)

در معادله مذکور الزاما" نباید برای هر کدام از عناصر، عدد مشخصی وجود داشته باشد و اگر برخی از پارامترها وجود نداشته باشد، به جای آن صفر منظور می‌شود. به عبارتی در شرایط لایسیمتری می‌توان بیلان آبی را به شرح ذیل تعیین نمود.

$$(I + P) - (ET + DP) = Drz(\bar{}_f - \bar{}_i)$$

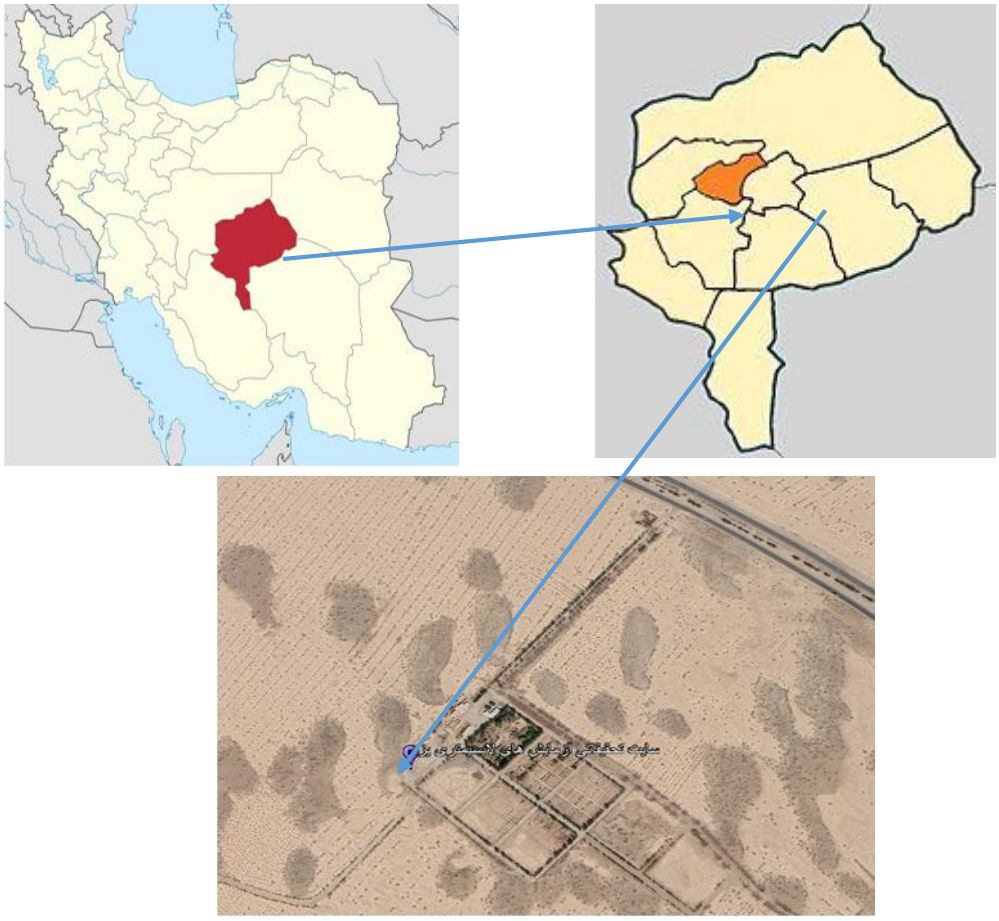
با استفاده از لایسیمترها ضمن اندازه‌گیری تبخیر تعرق، امکان بررسی کارائی مصرف آب درگیاه (سهرابی و همکاران، ۱۳۸۳) بررسی چگونگی حرکت عوامل آلاینده به عمق خاک (حسن اقلی و همکاران، ۱۳۸۲؛ Xingfa و همکاران، ۱۹۹۹؛ Fine و همکاران، ۲۰۰۲؛ Abdulkareem و همکاران، ۲۰۱۵)، مطالعات مربوط به زهکشی و نوسانات سطح ایستایی در نیمرخ خاک (زارعی و همکاران ،۱۳۸۲) و مطالعات مربوط به توسعه ریشه (Mirhosseini -Dehabadi ، ۱۹۹۴) نیز وجود دارد.

معرفی سایت تحقیقاتی آزمایش‌های لایسیمتری بخش تحقیقات جنگل و مرتع یزد

الف) موقعیت جغرافیایی و اکولوژیک سایت

- موقعیت جغرافیایی:

سایت تحقیقاتی آزمایش‌های لایسیمتری در ایستگاه تحقیقات بیابان‌زدایی شهید صدوقی یزد واقع در دشت یزد – اردکان و در کیلومتر ۲۰ جاده یزد – میبد قرار گرفته است. این ایستگاه در طول و عرض جغرافیایی ۴۰,۳۹ ۰۳ ۳۲ و ۲۷,۹۵ ۱۰ ۵۴ و در ارتفاع از سطح دریای ۱۱۴۸ متر قرار دارد. شکل ۳ موقعیت سایت تحقیقاتی را در تقسیات کشوری و ایستگاه بیابان‌زدایی شهید صدوقی یزد نشان می‌دهد.



شکل ۳- موقعیت سایت تحقیقاتی آزمایش‌های لایسیمتری در تقسیمات کشوری (استان یزد، شهرستان اشکذر، ایستگاه تحقیقات بیابان‌زدایی شهید صدوقی)

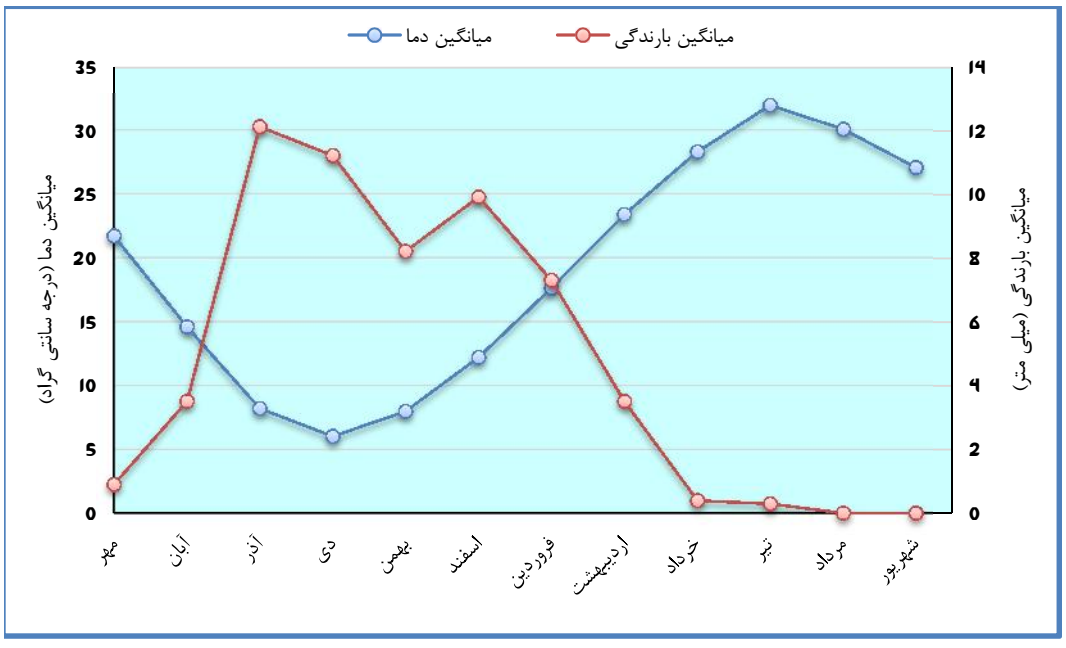
- ویژگی‌های اقلیمی:

از نظر اقلیمی ایستگاه مذکور بر اساس روش دومارتن اصلاح شده در رده مناطق فرا خشک (بیابانی) سرد با ضریب خشکی ۳/۲۴ است. شکل ۴ منحنی آمبروترمیک ایستگاه هواشناسی اشکذر را نشان می‌دهد. این ایستگاه نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به سایت تحقیقاتی آزمایش‌های لایسیمتری (حدود ۵ کیلومتر)، می‌باشد. سایر ویژگی‌های اقلیمی ایستگاه به شرح جدول ۱ است (راد و همکاران، ۱۳۹۶؛ جباری و رضاییان، ۱۳۸۳).

جدول ۱- شاخص های اقلیمی حاکم بر سایت تحقیقاتی آزمایش‌های لایسیمتری یزد

میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)	بیشینه سرعت باد (کیلومتر در ساعت)	میانگین تبخیر سالانه (میلی‌متر)	میانگین تبخیر تعرق سالانه گیاه مرجع یونجه (میلی‌متر)*	میانگین دمای سالانه (درجه‌سانتی گراد)	کمینه مطلق دمای سالانه (درجه‌سانتی گراد)	بیشینه مطلق دمای سالانه (درجه‌سانتی گراد)
۵۹/۵	۱۲۰	۳۴۹۰	۱۸۳۶	۱۸/۳	-۱۳/۵	۴۵/۵

* مقدار تبخیر تعرق گیاه مرجع (یونجه) از طریق آزمایش لایسیمتری و در محل سایت تحقیقاتی بدست آمده است.



شکل ۴- منحنی آمبروترمیک ایستگاه هواشناسی اشکذر

- پوشش گیاهی:

با توجه به اینکه هدف اولیه از تحقیق، طراحی، ساخت و نصب لایسیمترها، مطالعه روابط آبی گیاه تاغ (*Halloxylon aphyllum*) بود، لایسیمترها در مجاور تپه‌های شنی که روی آنها درختچه‌های مذکور که با هدف تثبیت شن، استقرار یافته‌اند، نصب گردید. همانگونه که اشاره شد اراضی مجاور سایت تحقیاتی، سالیان پیش با هدف تثبیت شن‌های روان و بیابان‌زدایی، با استفاده از گیاهانی چون تاغ (*Halloxylon aphyllum* و*H. persicum*)،گز (*Tamarix aphylla*)، آتریپلکس (*Atriplex sp.*) جنگل‌کاری شده است. بیش از ۷۰ گونه گیاهی درختی، درختچه‌ای و علفی چند ساله نیز در کلکسیون گیاهان بیابانی و کویری که در مجاور سایت تحقیقاتی قرار دارد، استقرار یافته‌اند.

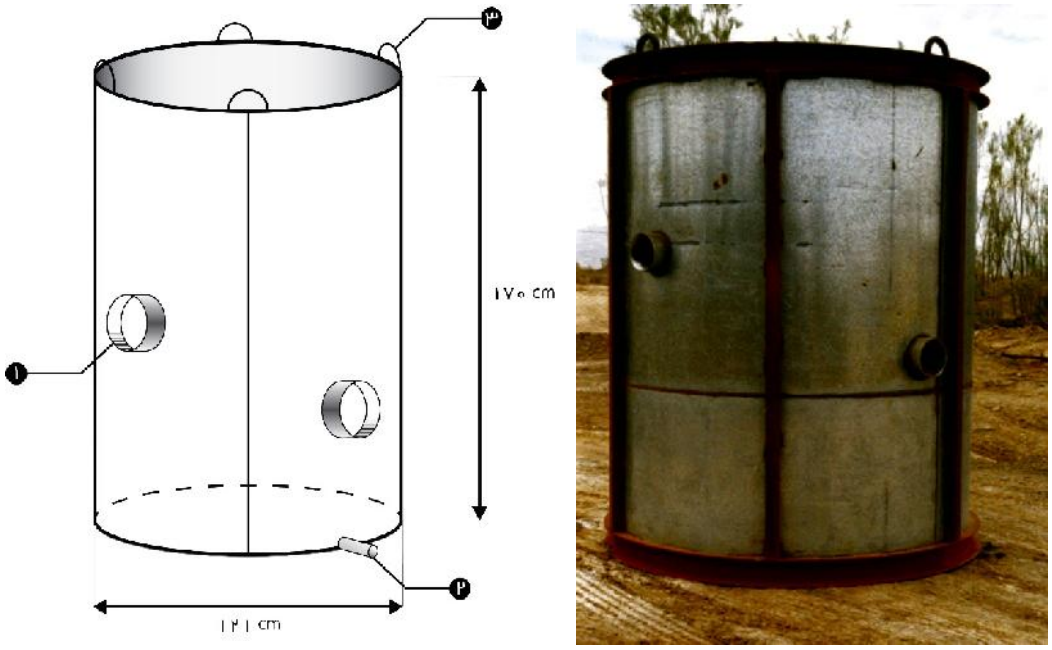
ب) طراحی، ساخت و نصب لایسیمترها

- طراحی و ساخت:

با توجه به اینکه هدف از ساخت لایسیمترها، استفاده از آنها برای برآورد نیاز آبی و بررسی روابط آبی گونه های چوبی بود، در طراحی آنها حجم زیاد، مقاومت بالا و رعایت نکات ایمنی در توزین آنها بصورت خاص مورد توجه قرار گرفت.

در ساخت لایسیمترهای سایت تحقیقاتی مورد اشاره از صفحات فولادی به ضخامت سه میلی‌متر استفاده شد. بمنظور جلوگیری از خمش و کج شدن، بدنه و کف لایسیمترها بوسیله تیرکهای افقی و عمودی فلزی ناودانی شکل، مقاوم سازی شدند. این تیرک‌ها از بیرون به دیواره و کف، بوسیله جوش متصل و محکم گردیدند.

ارتفاع و قطر لایسیمترها به گونه‌ای در نظر گرفته شد که امکان رشد و توسعه ریشه برای نهال‌های یک تا پنج ساله میسر گردد. با این شرایط ارتفاع لایسیمترها معادل ۱۷۰ سانتیمتر و قطر بیرونی آنها معادل ۱۲۲ سانتی‌متر (قطر داخلی ۱۲۱ سانتی‌متر) محاسبه و منظور گردید (شکل ۵).



شکل ۵- ابعاد و کیفیت ساخت لایسیمترها

(۱- دریچه‌های نصب شده روی بدنه لایسیمترها ۲- زهکش ۳- دستگیره‌های توزین)

با این شرایط، حجم خالص ۱/۷ متر مکعب خاک، در دسترس ریشه قرار می‌گیرد (بدون احتساب ۱۰ سانتی‌متر از بخش فوقانی لایسیمتر برای آبگیری و ۱۰ سانتی‌متر از قسمت تحتانی لایسیمتر برای نصب زهکش). برای دسترسی آسان به ریشه و انجام مطالعات مربوطه و همچنین نمونه‌برداری مستقیم از خاک در اعماق مختلف، دریچه‌هایی در اعماق ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی‌متری بدنه لایسیمترها تعبیه گردید. امکان نمونه‌برداری از خاک و ریشه در اعماق مختلف برای کنترل رطوبت و شوری خاک بوسیله دستگاه‌های مربوطه از جمله تی دی آر[5] نیز از این دریچه‌ها میسر گردید.

بخشی از بدنه تعدادی از لایسیمترها برش داده شد (با ارتفاع ۱۵۰ سانتی متر و عرض ۲۰ سانتی‌متر) و بوسیله طلق ضخیم و با هدف مشاهده وضعیت توسعه ریشه، جایگزین گردید. با نصب دریچه روی قسمت شفاف، تابش نور به ریشه نیز محدود گردید (شکل ۶).

[5] - Time Domain Reflectometry

شکل ۶- دریچه‌های نصب شده روی بدنه لایسیمتر برای اندازه‌گیری و مطالعه کیفیت خاک و توسعه ریشه

از مزایای دیگر دریچه‌های نصب شده روی بدنه لایسیمترها، فراهم نمودن امکان تخلیه خاک داخل لایسیمترها است که از این طریق میتوان ریشه‌ها را بدون تخریب و بطور کامل در پایان آزمایش از داخل خاک خارج و مطالعات مربوط به ریشه را پی‌گیری نمود (شکل ۷).

شکل ۷- مراحل انجام مطالعات ریشه در اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis*) و سیاه تاغ (*Haloxlon aphyllum*)

(استفاده از دریچه‌های نصب شده روی بدنه برای خارج کردن خاک از طریق آبشویی)

(الف)

شکل ۷- مراحل انجام مطالعات ریشه در اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis*) و سیاه تاغ (*Haloxlon aphyllum*)

(استفاده از دریچه‌های نصب شده روی بدنه برای خارج کردن خاک از طریق آبشویی)

(ب)

به منظور کاهش تبادلات حرارتی بین خاک داخل لایسیمترها و محیط بیرون، بدنه آنها بوسیله یک لایه پشم شیشه و یک لایه فوم، عایق‌بندی گردید. لبه‌های لایسیمترها نیز با هدف کاهش دریافت نور و جلوگیری از گرم شدن با فایبرگلاس پوشانده شد. با هدف کنترل دمای خاک، در یکی از لایسیمترها دماسنج خاک، در عمق‌های مختلف تعبیه گردید. امکان اندازه‌گیری رطوبت خاک در اعماق مختلف بصورت افقی و از طریق دریچه‌های نصب شده روی بدنه لایسیمترها و با استفاده از سنسورهای رطوبت سنج و بصورت عمودی در لوله‌های مخصوص که داخل خاک کار گذاشته می‌شوند، وجود دارد (شکل ۸).

- **سیستم زهکش لایسیمترها:**

با توجه به اهمیت تخلیه آب اضافی از ستون خاک (آب ثقلی) و جلوگیری از ماندابی شدن بخش‌های

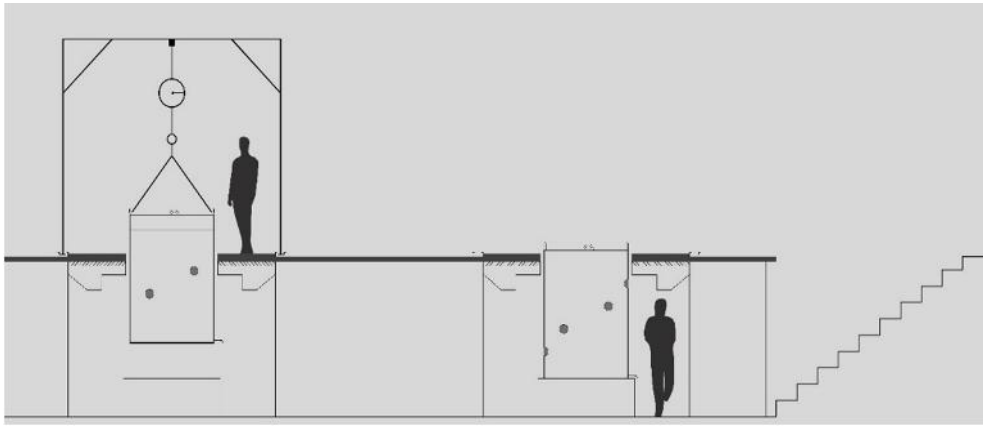
تحتانی و همچنین جمع‌آوری زه‌آب برای مطالعات مربوط به حجم زهکش و حرکت املاح در خاک، اجرای سیستم زهکشی کارامد و طبیعی امری ضروری است. برای تسریع در عملیات زهکشی، شیبی معادل پنج درصد در کف لایسیمترها به طرف نقطه خروجی منظور گردید. زه آب بوسیله لوله ای که روی بدنه و در قسمت تحتانی لایسیمترها تعبیه گردید، در داخل ظروف مدرج جمع‌آوری می گردد. در زمان پر نمودن لایسیمترها از خاک، ابتدا با گذاشتن توری در محل اتصال لوله خروجی زه آب به بدنه، از مسدود شدن لوله خروجی جلوگیری می‌گردد. در ادامه با ریختن یک لایه شن نخودی به ارتفاع ۵ سانتی‌متر و یک لایه ماسه ساختمانی (ماسه شسته) به ارتفاع ۵ سانتی‌متر در کف لایسیمتر (جمع دو لایه ۱۰ سانتی‌متر)، سیستم زهکش لایسمتر فعال می‌گردد. خروجی زه آب به ظروف جمع‌آوری که برای اندازه‌گیری ویژگی‌های کمی و کیفی زه‌آب منظور گردیده، متصل می‌گردد.

شکل ۸- اندازه‌گیری رطوبت خاک بصورت عمودی در اعماق مختلف بوسیله رطوبت سنج بازتاب زمانی امواج[6] مدل ترایم

[6] - Time Domain Reflectometry (TDR)

- **سیستم توزین لایسیمترها:**

برای توزین لایسیمترها از ۴ مفتول قوی یو (U) شکل به عنوان دستگیره که روی بخش فوقانی استوانه‌ها و در محل تیرک‌های افقی جوش داده شد، استفاده گردید. هر کدام از این دستگیره‌ها تحمل حداقل ۱۰۰۰ کیلوگرم را دارند که از طریق رابط‌های مناسب به باسکول و جرثقیل متصل می‌شوند. برای بلند کردن و توزین لایسیمترها از یک خرک با چهار غلطک که توانایی تحمل باری معادل ۵۰۰۰ کیلوگرم را دارد، استفاده می‌گردد. برای بلند نمودن لایسیمترها از جرثقیل پنج تنی که در حد واسط خرک و باسکول قرار دارد استفاده می‌شود. مهمترین بخش این قسمت، باسکول بوده که در این خصوص از باسکولی استفاده می‌شود که توانایی توزین ۵۰۰۰ کیلوگرم با دقت ۵۰۰ گرم را دارد. باسکول در حد واسط جرثقیل و لایسیمترها قرار گرفته و توسط تسمه‌هایی و از طریق دستگیره‌های نصب شده روی لبه به لایسیمترها متصل می‌گردد (شکل ۹ و ۱۰).



شکل ۹- خرک، محل عبور خرک و چگونگی کارکرد جرثقیل، باسکول و بندهای اتصال به لایسیمتر برای توزین لایسیمترها

شکل ۱۰- چگونگی کارکرد سیستم توزین لایسیمترها

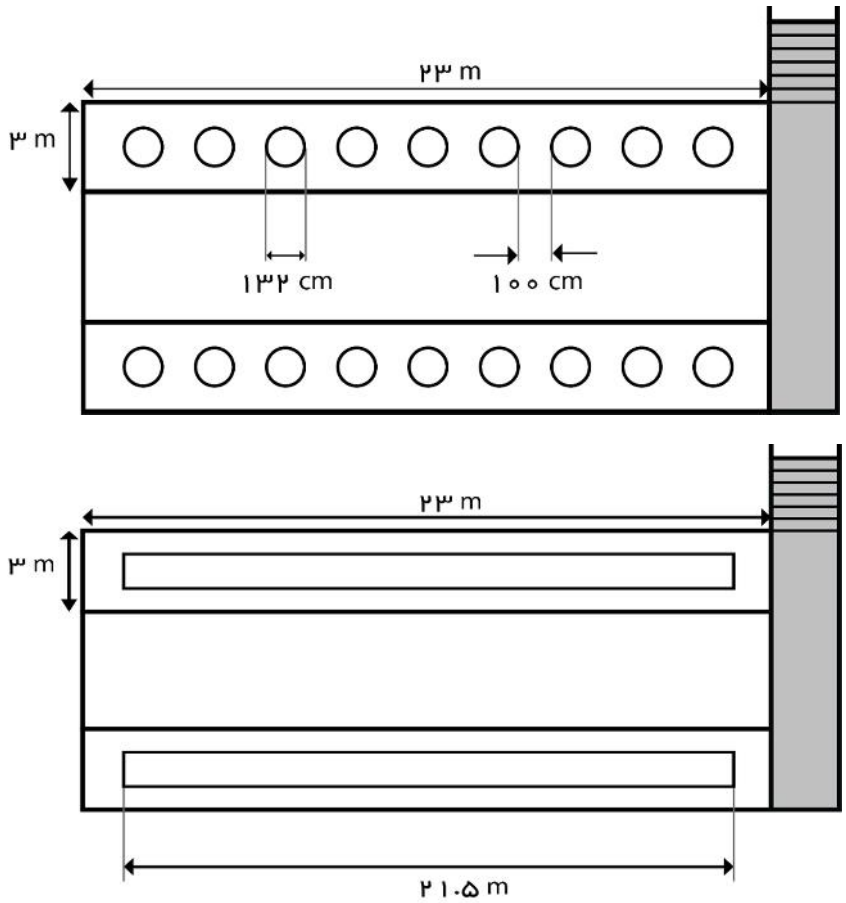
تعداد لایسیمترها

با توجه به هزینه نسبتاً زیاد ساخت و نصب لایسیمترها، در حال حاضر سایت مربوطه از ۲۰ عدد لایسیمتر برخوردار که امکان بررسی هم زمان نیاز آبی ۶ گونه و یا ژنوتیپ با سه تکرار و لحاظ یک لایسمتر برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاه مرجع و یک عدد برای اندازه‌گیری میزان تبخیر از سطح خاک، وجود دارد (جمعاً ۲۰ عدد). با وجود این تعداد لایسیمتر، می‌توان همزمان تاثیر رژیم‌های مختلف آبیاری (در سه سطح) روی دو گونه یا ژنوتیپ در سه تکرار مورد بررسی قرار داد (شکل ۱۱). لایسیمترها در دو ردیف که هر ردیف شامل ۱۰ عدد می‌باشد، در کنار هم و به فاصله ۶ متر، مستقر گردیده‌اند.

شکل ۱۱- نمای عمومی از سایت تحقیقاتی آزمایش‌های لایسیمتری مشتمل بر ۲۰ عدد لایسیمتر

ج) نصب محفظه قرارگیری و تونل دسترسی به لایسیمترها

با توجه به اینکه هدف از احداث سایت تحقیقاتی آزمایش‌های لایسیمتری، برآورد نیاز آبی و مطالعه روابط آبی گونه‌های مناطق خشک و بویژه گونه‌های کویری و بیابانی بود، لایسیمترها در مکانی که بیانگر شرایط خشک بیابانی باشد، نصب گردیدند. لایسیمترها درون محفظه‌ای قرار گرفتند تا حتی‌الامکان از شرایط طبیعی برخوردار باشند. این محفظه ضمن طبیعی نمودن شرایط استقرار لایسیمترها، به تثبیت خاک‌های مجاور نیز کمک نمود. وجود این محفظه و فضای خالی بین دیواره‌های آن و دیواره لایسیمترها باعث گردید که لایسیمترها آزاد بوده و امکان توزین آنها فراهم گردد. تونل دسترسی به گونه‌ای طراحی شد که دسترسی به هر یک از لایسیمترها از جهات مختلف امکان پذیر باشد. در قسمت بیرونی محفظه و بر روی دیوارهای آن، برای حرکت آسان سیستم توزین، معبرهایی نصب شد. این معبرهای آهنی ناودانی شکل، کمک می نمایند تا خرک و سیستم توزین به راحتی در طول محفظه حرکت نموده و توزین هر یک از لایسیمترها را بصورت مجزا میسر سازد. به دلیل ضرورت افزایش تعداد لایسیمتر، در مجاور محفظه اول و به فاصله ۶ متر از آن، محفظه دوم برای استقرار ۱۰ عدد لایسیمتر دیگر احداث گردید. شکل ۱۲ پلن بیرونی و درونی محفظه‌های اول و دوم و راه‌های دسترسی و شکل ۱۳ چگونگی استقرار لایسیمترها روی سکوها و درون محفظه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- پلن داخلی و بیرونی محفظه قرارگیری لایسیمترها

همانگونه که اشاره شد در بخش میانی تونل، سکویی با ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر جهت استقرار لایسیمترها با مصالح آجر و سیمان ساخته شد، بگونه‌ای که برای افزایش استحکام و تحمل فشارهای وارده، روی آنها با بتن به ضخامت ده سانتی‌متر مستحکم گردید. قرار گرفتن لایسیمترها بر روی سکو، ضمن سهولت دسترسی، امکان قرار دادن ظروف جمع‌آوری زه‌آب را در موقعیت مناسب، میسر ساخت.

شکل ۱۳- نمای بیرونی محفظه و چگونگی استقرار لایسیمترها روی سکو

محفظه دارای تونل دسترسی و درب ورودی بوده تا ورود و خروج را از سطح زمین به قسمت افقی تونل و بدنه لایسیمترها و همچنین آزمایشگاه مجاور آن میسر سازد. با هدف فراهم نمودن شرایط محیطی مناسب برای داده برداری و انجام فعالیت های تحقیقاتی در داخل محفظه و همچنین آزمایشگاه، محفظه استقرار لایسیمترها از امکانات مناسب تهویه، سیستم روشنایی و آب قابل شرب برخوردار گردید. بدنه سکوها و دیواره محفظه نیز با سرامیک پوشانده شد تا از تجمع احتمالی حشرات و حیوانات موذی جلوگیری و نظافت آن نیز آسان گردد (شکل ۱۴).

شکل ۱۴– ورودی محفظه، راهروهای دسترسی و سکوهای استقرار لایسیمترها

با هدف جمع‌آوری هرزآب‌های احتمالی، کف تونل دسترسی از شیبی معادل سه درصد برخوردار گردید تا هرزآب موجود به راحتی در داخل چاهی که با این منظور در انتهای تونل حفر شد، تخلیه گردد. لایسیمترها به گونه‌ای بر روی سکو قرار گرفتند که در قسمت بیرونی، لبه آنها حدود پنج سانتی‌متر با سطح زمین (روی سقف محفظه) اختلاف ارتفاع داشته تا از ورود روان‌آب‌های سطحی به داخل لایسیمترها جلوگیری شود. برای جلوگیری از ورود روان آب و گرد و خاک به داخل محفظه و تونل دسترسی، لبه لایسیمترها به پهنای ۱۵ سانتی متر با فایبرگلاس پوشانده شد (شکل ۱۵). در ادامه برای کاهش جریان‌های حرارتی افقی از زمین اطراف به سمت لایسیمترها، سقف محفظه بوسیله خاک پوشانده می‌شود (شکل ۱۶).

شکل ۱۵- چگونگی استقرار لایسیمترها درون محفظه (راست: قبل از نصب فایبرگلاس روی لبه و چپ: بعد از نصب فایبرگلاس و تماس با سقف محفظه)

شکل ۱۶- پوشاندن سقف محفظه بوسیله خاک برای کاهش جریان‌های حرارتی افقی از زمین اطراف به لایسیمترها

شبکه آبیاری و اندازه‌گیری آب

برای سهولت و افزایش دقت در آبیاری گیاهان کاشت شده در لایسیمترها از شبکه آبیاری که به مخازن ذخیره آب متصل شده است استفاده می گردد. امکان اتصال شبکه آبیاری سایت به شبکه آبیاری ایستگاه برای استفاده از آب شور (EC =۷) نیز وجود دارد. هر یک از لایسیمترها دارای یک عدد کنتور و شیر برداشت می باشد که آب را مستقیم به لایسیمتر می‌رساند. اندازه‌گیری میزان آب ورودی بر حسب نیاز از طریق کنتورهای مربوط به هر لایسیمتر صورت می‌گیرد. امکان اجرای سیستم‌های آبیاری تحت فشار (قطره‌ای، تیپ و زیر سطحی) برای مدیریت بهتر آبیاری نیز از طریق اتصال به شبکه مذکور، وجود دارد. سایت تحقیقاتی، دارای دو تانکر ۲۰۰۰ لیتری مجزا بوده که برای اختلاط آب و تولید آب با شوری‌های متفاوت و یا تنظیم شوری دلخواه برای اعمال تیمار شوری و یا کاربرد دیگر آب‌های نامتعارف در مطالعات مربوطه وجود دارد (شکل ۱۷).

شکل ۱۷- شبکه آبیاری سایت (مجهز به کنتور برای هر لایسیمتر و شیر برداشت آب)

پر نمودن لایسیمترها از خاک:

بسته به نوع گیاه، امکان تعویض و تغییر نوع خاک وجود دارد. با توجه به اینکه جابجایی و خارج نمودن لایسیمترها از محل استقرار امکان پذیر است، می‌توان بر حسب نیاز نسبت به تغییر نوع خاک داخل لایسیمترها اقدام نمود. برای پرکردن لایسیمترها، ابتدا باید سیستم زهکشی آن را کنترل و تکمیل نمود. برای برخورداری از خاک با دانسیته مناسب، لازم است خاک مرطوب گردیده و با فشردگی مناسب، لایسیمتر را از آن پر نمود. برای این امر بصورت لایه لایه خاک را کوبیده تا مقدار مورد نظر در لایسیمتر ریخته شود. بر حسب نوع بافت و ساختمان خاک از مقادیر مختلف خاک برای پر کردن لایسیمترها استفاده می‌شود (با توجه به ضرورت حفظ وزن مخصوص ظاهری خاک). در هر صورت می‌بایست به گونه‌ای لایسیمترها را از خاک پر نمود که شرایط فیزیکی خاک به شرایط طبیعی بسیار نزدیک باشد. برای انجام آبیاری، حدود ۱۰ سانتیمتر از بخش فوقانی لایسیمترها باید خالی گذاشت. در صورتی که خاک مورد استفاده نامناسب و دارای املاح زیادی باشد، شستشوی آن با وارد نمودن حجم زیادی از آب امکان پذیر بوده و این مهم را باید مورد توجه قرار داد.

اندازه‌گیری تبخیر تعرق گیاه مرجع

از یک عدد لایسیمتر برای اندازه‌گیری تبخیر تعرق گیاه مرجع (در اینجا یونجه) استفاده می‌گردد. در مجاور سایت تحقیقاتی، تشتک تبخیر کلاس A نیز نصب شده است که همزمان با اندازه‌گیری تبخیر تعرق گیاه مرجع و گیاهان تحت تیمار آبیاری در لایسیمترها، از آن آمار برداری شده و اطلاعات بدست آمده برای تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به تبخیر تعرق مرجع، مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۱۸).

شکل ۱۸- ادوات مربوط به اندازه‌گیری تبخیر تعرق پتانسیل (راست: لایسیمتر مربوط به اندازه‌گیری تبخیر تعرق گیاه مرجع یونجه و چپ: تشتک تبخیر کلاس A)

دستاوردهای مطالعاتی و تحقیقاتی سایت آزمایش‌های لایسیمتری بخش تحقیقات جنگل و مرتع یزد

با احداث سایت تحقیقاتی ذکر شده طرح‌های تحقیقاتی ذیل اجرا و نتایج آن بصورت مقاله در نشریه‌های علمی پژوهشی و ترویجی مرتبط، به چاپ رسیده است (جدول ۲ و ۳).

جدول ۲- پروژه‌های تحقیقاتی اجرا شده تا سال ۱۳۹۹ در سایت مطالعات و آزمایش‌های لایسیمتری (تحقیقات جنگل، مرتع و بیابان

ردیف	عنوان پروژه	سال شروع	سال خاتمه
۱	مطالعه فیزیولوژی روابط آبی گیاه تاغ(*Haloxylon aphyllum*) در یزد	۱۳۸۰	۱۳۸۴
۲	برآورد آب مورد نیاز اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis*) با استفاده از آزمایشات لایسیمتری	۱۳۸۵	۱۳۸۷
۳	عکس العمل جمعیت های مختلف سیاه تاغ نسبت به تنش خشکی	۱۳۸۸	۱۳۹۰
۴	مطالعه روابط آبی اکالیپتوس میکروتکا و اکالیپتوس سارجنتی با استفاده از آزمایشات لایسیمتری	۱۳۸۸	۱۳۹۰
۵	مطالعه فیزیولوژیکی *Eucalyptus flockthoniae* و *Eucalyptus leucoxylon* با استفاده از آزمایشات لایسیمتری	۱۳۹۱	۱۳۹۴
۶	تاثیر تنش خشکی بر روابط آبی و برخی از خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه زیتون تلخ (پایان نامه)	۱۳۹۳	۱۳۹۴
۷	بررسی نیاز آبی و پاسخ فیزیولوژیکی گونه های اسکنبیل و تاغ به تنش خشکی در شرایط استان یزد (پایان نامه)	۱۳۹۴	۱۳۹۵
۸	بررسی نحوه استقرار و نیاز آبی گیاه دیودال در استان یزد (پایان نامه)	۱۳۹۴	۱۳۹۶
۹	تعیین نیاز آبی و بررسی ویژگی های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سه توده مهم عناب (*Ziziphus jujuba* Mill) تحت تاثیر تنش خشکی	۱۳۹۶	۱۳۹۸

جدول ۳- دستاوردهای حاصل از اجرای پروژه های تحقیقاتی، چاپ شده در نشریه‌های علمی پژوهشی و ترویجی مرتبط

شماره	عنوان مقاله	نام نشریه	سال انتشار و شماره نشریه
۱	مطالعات تغییرات غلظت نمک در نیمرخ خاک تحت کشت گیاه تاغ در آزمایشات لایسیمتری	تحقیقات مرتع و بیابان ایران	۱۳۸۶ جلد ۱۴ شماره ۴
۲	طراحی، ساخت و نصب لایسیمتر های وزنی به منظور تعیین نیاز آبی درختان و درختچه ها در مناطق خشک	تحقیقات مرتع و بیابان ایران	۱۳۸۷ جلد۱۵ شماره۱
۳	تاثیر رطوبت خاک بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی (پتانسیل آب ، پتانسیل اسمزی برگ و پتانسیل اسمزی ریشه) گیاه تاغ	تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران	۱۳۸۷ جلد ۱۶ شماره۱
۴	تاثیر تیمارهای رطوبتی بر کارایی مصرف آب در گیاه تاغ	پژوهش و سازندگی	۱۳۸۷ شماره ۸۰
۵	بررسی تاثیر رطوبت خاک بر چگونگی توسعه ریشه گیاه تاغ (*H. aphyllum*)	تحقیقات جنگل و صنوبر ایران	۱۳۸۷ جلد ۱۶ شماره ۱
۶	تاثیر تنش خشکی بر برخی از خصوصیات مورفولوژیکی تاغ (*H. aphyllum*)	تحقیقات مرتع و بیابان ایران	۱۳۸۸ جلد ۱۶ شماره ۱
۷	نیاز آبی و تابع تولید اکالیپتوس (*E. camaldulensis*) در شرایط اقلیمی خشک	مجله جنگل ایران	۱۳۸۹ جلد ۲ شماره ۱
۸	Effects of different soil moisture regimes on leafe area index, soecific leaf area and water use efficiency in Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) under dry climatic conditions	Asian journal of Plant Sciences	۲۰۱۱
۹	اثرات تنش خشکی بر زیست توده ، برخی از شاخص‌های رشد و کارایی مصرف اب در اکالیپتوس (*E. camaldulensis*)	تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران	۱۳۹۰ جلد ۱۹ شماره ۳
۱۰	تعیین نیاز آبی تاغ(*H. aphyllum*) به روش آزمایش لایسیمتری	خشک بوم	۱۳۹۰ جلد ۱ شماره ۳
۱۱	تعیین نیاز آبی، ضریب گیاهی و کارایی مصرف آب در دو گونه اکالیپتوس در شرایط لایسیمتری	پژوهش آب ایران	۱۳۹۲ جلد ۷ شماره ۱۲

شماره	عنوان مقاله	نام نشریه	سال انتشار و شماره نشریه
۱۲	اثر تنش خشکی بر کمیت و کیفیت اسانس و کارایی مصرف آب در اکالیپتوس (*E. camaldulensis*)	تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران	۱۳۹۳ جلد۱ شماره ۳۰
۱۳	بررسی اثرات ناشی از تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی جمعیت های مختلف سیاه تاغ	مرتع و بیابان ایران	۱۳۹۳ جلد ۲۱ شماره ۴
۱۴	اثرات رژیم‌های مختلف رطوبتی خاک بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی *Eucalyptus microtheca* و *Eucalyptus sargentii*	تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران	۱۳۹۴ جلد ۲۳ شماره ۱
۱۵	رابطه توسعه ریشه با میزان مقاومت به خشکی در دو گونه اکالیپتوس (*Eucalyptus sargentii* Maiden و *Eucalyptus microtheca* Muell)	مجله جنگل ایران	۱۳۹۵ سال هشتم شماره ۳
۱۶	نیاز آبی و کارایی مصرف آب در دو گونه اکالیپتوس (*Eucalyptus flocktoniae* (Maiden) Maiden, *E. leucoxylon* F. Muell.)	تحقیقات جنگل و صنوبر ایران	۱۳۹۶ جلد ۲۵ شماره ۳
۱۷	واکنش ریشه گونه‌های چوبی فراتوفیت (آب یاب) به تنش خشکی (مطالعه موردی: *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh)	طبیعت ایران	۱۳۹۷ جلد ۳ شماره ۶
۱۸	نیاز آبی برخی از گونه‌های مورد استفاده در جنگل‌کاری مناطق خشک و نیمه خشک	طبیعت ایران	۱۳۹۷ جلد ۳ شماره ۴
۱۹	ارزیابی سطوح مختلف آبیاری بر تبخیر و تعرق، ضریب گیاهی و عملکرد عناب (*Ziziphus jujuba* Mill) در شرایط لایسیمتر	علمی- پژوهشی آب و خاک	۱۳۹۹ جلد۳۴ شماره ۳

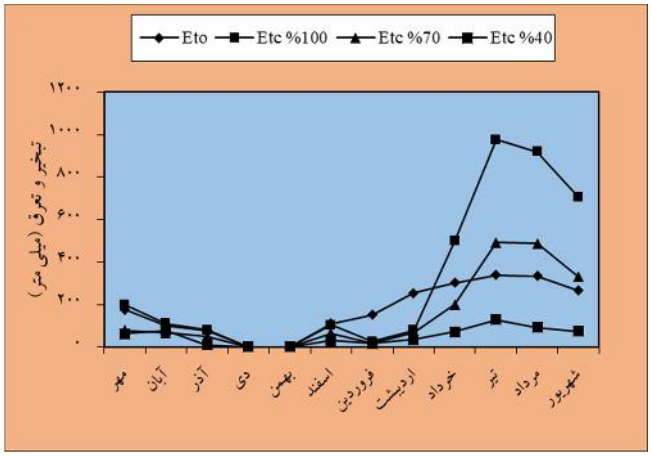
بطور خلاصه و محدود، برخی از نتایج و دستاوردهای حاصل از اجرای طرح‌های تحقیقاتی در این سایت به شرح ذیل جهت آشنایی و بهره‌برداری علاقه‌مندان ارائه می‌گردد.

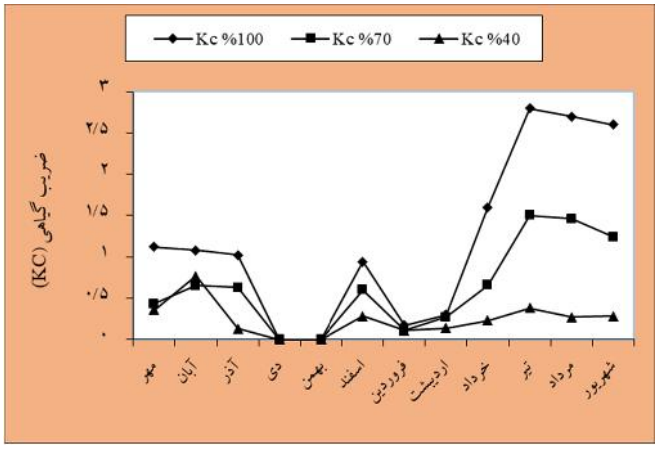
- برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی برای ۷ گونه درختی مناسب برای جنگل‌کاری و توسعه فضای سبز در مناطق خشک و نیمه خشک (جدول ۴).

جدول ۴- نیاز آبی و ضریب گیاهی برای گونه‌های مورد آزمایش در سایت مطالعات و تحقیقات لایسیمتری یزد

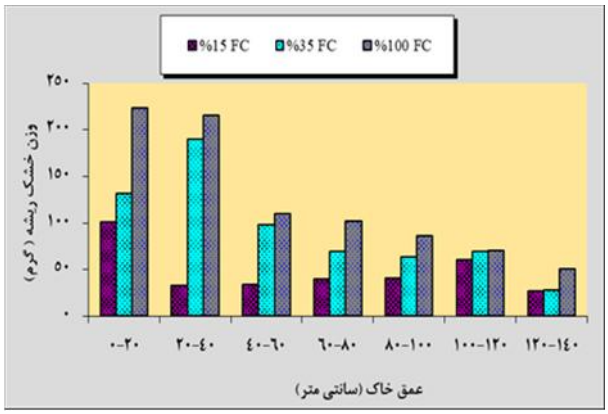
گونه	میانگین تبخیر تعرق روزانه (mm)	تبخیر تعرق سالانه (m^3/h)	میانگین ضریب گیاهی سالانه (Kc)
تاغ (*Haloxylon aphyllum*)	۲/۴	۶۴۸۰	۰/۳۵
اکالیپتوس(*Eucalyptus camaldulensis*)	۱۰	۲۷۰۰۰	۱/۵
اکالیپتوس (*Eucalyptus microtheca*)	۳/۱	۸۳۷۰	۰/۴۵
اکالیپتوس (*Eucalyptus leucoxylon*)	۳/۵	۹۴۵۰	۰/۵۲
اکالیپتوس (*Eucalyptus sarjentii*)	۳/۴	۹۱۸۰	۰/۵۰
اکالیپتوس (*Eucalyptus floktoya*)	۳/۲	۸۶۴۰	۰/۴۷
عناب (*Ziziphus jujuba*)	۳/۱	۸۲۸۰	۰/۴۵

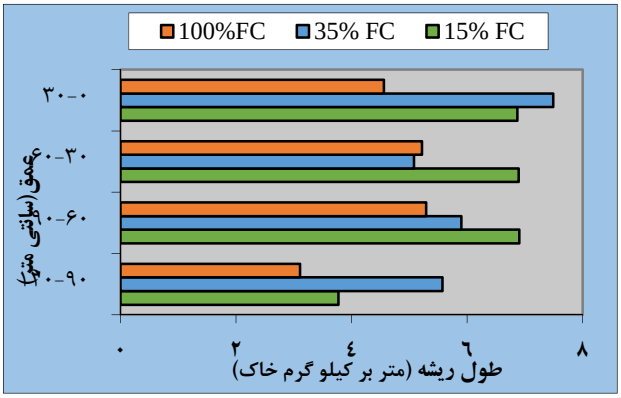
- تاثیر مقادیر مختلف محتوای نسبی رطوبت خاک بر تغییرات ماهانه و فصلی تبخیر تعرق و ضریب گیاهی گونه‌های مورد آزمایش در سایت لایسیمتری. شکل ۱۹ نمونه‌ای از نتایج تاثیر مقادیر مختلف محتوای نسبی رطوبت خاک بر تبخیر تعرق و ضریب گیاهی ماهانه را در یک فصل زراعی در اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis*) نشان می‌دهد.
- تاثیر مقادیر مختلف محتوای نسبی رطوبت خاک بر توسعه وزنی و طولی ریشه در اعماق مختلف خاک در گیاهان مورد آزمایش و در شرایط لایسیمتر. شکل ۲۰ تغییرات وزنی و طولی ریشه در اعماق مختلف خاک و تحت تاثیر تیمارهای رطوبتی مختلف را در سیاه تاغ (*Haloxylon aphyllum*) نشان می‌دهد.





شکل ۱۹- تبخیر تعرق و ضریب گیاهی (Kc) ماهانه *Eucalyptus camaldulensis* تحت تاثیر مقادیر مختلف محتوای نسبی خاک (ظرفیت زراعی، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت).





شکل ۲۰- تغییرات وزنی و طولی ریشه در اعماق مختلف خاک و تحت تاثیر مقادیر مختلف محتوای نسبی رطوبت خاک در گیاه بیابانی سیاه تاغ (*Haloxylon aphyllum*)، در شرایط لایسیمتر

منابع

- بابایی فینی، ا.، فرجزاده، م.، ۱۳۸۱. الگوهای تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران. مدرس، ۶ (۴): ۷۶-۵۱.
- جباری، ا.، رضاییان، ع.، ۱۳۸۳. علل و پیامدهای ریخت شناختی شق‌های زمین در اشکذر یزد. فصلنامه جغرافیایی زمین، ۱ (۲): ۶۵-۴۸.
- حسن اقلی،ع.ر.، لیقت،ع.م و میراب زاده،م.،۱۳۸۲. طراحی،ساخت و به کار گیری لایسیمتر های زهکش دار جهت تحقق بر انتقال عوامل آلاینده به عمق خاک در نتیجه آبیاری با فاضلاب. مجموعه مقالات اولین سمینار سراسری لایسیمتر، جهاد دانشگاهی استان کرمان:۲۰-۸ .
- راد، م.ه.، عصاره، م.ح. سلطانی، م.، ۱۳۹۶. نیاز آبی و کارایی مصرف آب در دو گونه اکالیپتوس (*Eucalyptus flocktonia* و*E. leucoxylon*). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۵(۳): ۴۵۱-۴۴۱.
- راد، م.ه.، عصاره، م.ح. سلطانی، م.، تجملیان، م.، ۱۳۹۲. تعیین نیاز آبی، ضریب گیاهی و کارایی مصرف آب در دو گونه اکالیپتوس در شرایط لایسیمتری. پژوهش آب ایران، ۷(۱۲): ۷۸-۷۱.
- راد، م.ه.، مشکوه، م.ع.، سلطانی، م. میرجلیلی، م.ر.، ۱۳۹۰. تعیین نیاز آبی تاغ (*Haloxylon aphyllum*) به روش آزمایش‌های لایسیمتری. خشکبوم، ۳(۱): ۲۳-۱۴.
- راد، م.ه.، عصاره، م.ح.، مشکوه، م.ع.، دشتکیان، ک. و سلطانی، م.، ۱۳۸۸. نیاز آبی و تابع تولید اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) در شرایط اقلیمی خشک. مجله جنگل ایران، ۲(۱): ۷۱-۶۱.
- راد،م.ه.،دشتکیان،ک.، ۱۳۷۷. تعیین شیوه مناسب کاشت نهال تاغ به منظور کاهش میزان مصرفی در مراحل اولیه کاشت. فصلنامه پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، ۲۵۷: ۹۳-۱۴۴.
- زارعی،ق.، لیاقت،ع.م .،همائی،م.،۱۳۸۲. طراحی و ساخت لایسیمتر برای اندازه گیری تبخیر از سطح خاک، تبخیر و تعرق و انجام مطالعات مربوط به زهکشی و نوسانات سطح ایستایی در نیمرخ خاک. مجموعه مقالات اولین سمینار سراسری لایسیمتر، جهاد دانشگاهی استان کرمان: ۵۵-۴۳.
- سهرابی،ت.، ابراهیمی،ع.ر.، رحیمی،ح و خلیلی،ع.،۱۳۸۴. طراحی، ساخت و نصب لایسیمتر وزنی به منظور تعیین نیاز آبی گیاهان زراعی، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۲):۴۲-۳۳.
- صفاری،م.،۱۳۸۲. بررسی و مقایسه محاسبات لایسیمتری تبخیر تعرق بالقوه گیاهان مختلف در ایران. مجموعه مقالات اولین سمینار سراسری لایسیمتر. جهاد دانشگاهی استان کرمان: ۸۸-۸۲ .
- علیزاده،الف.،۱۳۸۳. رابطه آب و خاک و گیاه، چاپ چهارم. دانشگاه امام رضا: ۴۷۰ صفحه.
- والتر لارچر،۱۹۹۵. اکولوژی گیاهی، ترجمه عوض کوچکی، افشین سلطانی و مهدی عزیزی(۱۳۷۶). جهاد دانشگاهی مشهد، ۲۷۱ صفحه.
- Abdulkareem, J.H., Abdulkadir, A. and Abdu, N., 2015. A review of different types of lysimeter used in solute transport studies. Int. J. Plant Soil Science, 8(3): 1-14.

- Cameron, K.C., Smith, N.P., McLay, C.D.A., Fraser, P.M., McPherson, R.J., Harrison, D.F., Harbottle, P., 1992. Lysimeters without edge flow: an improved design and sampling procedure. Soil Science Society of America Journal, 56(5): 1625-1628.
- Fine,P, Hass, A, Prost, Atzmon, N., 2002. Organic carbon leaching from effluent irrigation lysimeter as affected by residence time. Soil Science Society of American Journal, 66: 1531-1539.
- Hagan,M.R, Haise, R.H, Edminster,T.W., 1967. Irrigation of agricultural lands. Part III PP.481 to 768 Number 11 in the series Agronomy. American Society of Agronomy.
- Howell, T. A., Schneider, A.D., Jensen, M.E., 1991. History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements. The International Symposium on Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements, Honolulu, HI, USA, 07/23-25/91; pp. 1-9.
- Kramer, P.J., 1980. Drought, stress, and the origin of adaptations In: Turner N.C. and Kramer p .J. (Eds) Adaptation of plants to water and high temperature stress. Wiley. New Yourk . pp .7-20.
- Lorite, I.L., Santos, C., Testi, L., Castiel, E.F., 2012. Design and construction of a large weighing lysimeter in an almond orchard. Spanish Journal of Agricultural Research, (1): 238-250.
- Ming, Z., 1995.Water-Balance between sand soil and desert plant. Gansu Desert Control Research Institute. Less Favorable Environments, pp.175-191.
- Mirhosseini-Dehabadi, S.R., 1994. The effects of water stress on water relations, carbon isotope discrimination, and shoot and root growth of sainfoin and lucerne. PhD. Thesis, Science at Massey University.
- Nicolas-Cuevas, J.A., Parras-Burgos, D., Soler-Mendez, M., Ruiz-Canales, A. and Molina-Martínez, J.M., 2020. Removable Weighing Lysimeter for Use in Horticultural Crops. Applied Sciences, 10(14): 2-14.
- Xingfa, H., Vonlaya,V., Dechao, Z.,1999. Design, Construction and Installation of Filled-in Drainage Lysimeter and its Applications. Proceedings of International Conference on Agricultural Engineering. Beijing, China, pp.162-168.