جمهوری اسلامی ایران

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

موسسه تحقیقات خاک و آب

دستورالعمل و ضوابط فنی تحقیقات لایسیمتری

«اندازه‌گیری تبخیر - تعرق گیاهان»

نگارندگان

محمدرضا امداد، عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

نیازعلی ابراهیمی‌پاک، عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

میترا صمصامی پور، کارشناس موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

دستورالعمل فنی: **652**

1403

مشخصات اثر

عنوان: دستورالعمل و ضوابط فنی تحقیقات لایسیمتری «اندازه‌گیری تبخیر- تعرق در گیاهان»

نگارندگان: محمدرضا امداد، نیازعلی ابراهیمی‌پاک و میترا صمصامی پور

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات اسرار علم

کارشناس انتشارات: سمانه پورمنصور

ویراستار ادبی: آرش تافته

سال انتشار: 1403

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این اثر با شماره 66740 در تاریخ 1403/11/13 در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین‌دشت، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

کد پستی: 3177993545 **صندوق پستی:** 311-31785

نمابر : 02636210121 **تلفن:** 36201900- 026

وب‌سایت: http://www.swri.ir **پست الکترونیکی:** info.swri@areeo.ac.ir

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

اهمیت و ضرورت موضوع 1

الف- لایسیمتر وزنی 3

ب- لایسیمتر زهکش‌دار 4

ضوابط فنی کارگذاری و استقرار لایسیمتر 7

اندازه‌گیری رطوبت خاک در لایسیمتر 9

علل انحراف و خطا در اندازه‌گیری‌های لایسیمتری 11

نتایج اندازه‌گیری تبخیر- تعرق سطح مرجع چمن در لایسیمتر 12

منابع 14

اهمیت و ضرورت موضوع

تأمین مواد غذایی برای جمعیت روبه‌افزایش کشور و خوداتکایی در امر تولید محصولات کشاورزی و ایجاد امنیت غذایی یکی از وظایف حکمرانی است. ازآنجاکه بیشتر نقاط کشور در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد، آب اولین و مهم‌ترین عامل محدودیت در تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. از طرفی پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی در جهت گرمایش جهانی بوده و نیاز آبی گیاهان افزایش‌یافته است. در نتیجه استفاده از منابع آب با محدودیت بیشتری برای تولید محصول مواجه است. ازاین‌رو ضروری است برنامه‌ریزی مناسبی برای استفاده بهینه از منابع آب در بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب انجام پذیرد. اولین گام برای رسیدن به این هدف مهم، تعیین میزان نیاز آبی گیاهان در مناطق مختلف کشور است.

در هر طرح موفق مرتبط با مدیریت مصرف آب در کشاورزی، ضروری است به پرسش‌های زیر پاسخ علمی و فنی ارائه گردد.

گیاه موردنظر به چه مقدار آب نیاز دارد؟

آب موردنیاز با چه فواصل و مدت زمانی باید در اختیار گیاه قرار گیرد؟

میزان آب موردنیاز با چه روشی باید در اختیار گیاه قرار گیرد؟

برای پاسخ به پرسش اول نیاز به اندازه‌گیری و تعیین تبخیر - تعرق گیاه است. رابطه آب، خاک، گیاه و اتمسفر را می‌توان به این صورت توصیف کرد که گیاه نیاز به آب داشته و خاک، آب موردنیاز گیاه را در خود ذخیره کرده و اتمسفر انرژی لازم را برای گیاه تأمین نموده تا آب را از خاک جذب نماید.

بررسی بیلان آبی گیاهانی که آبیاری می‌شوند نشان می‌دهد که بخش عمده رطوبت موجود در خاک به‌صورت بخار آب به جو زمین برمی‌گردد. خروج آب به‌صورت بخار از سطح خاک و گیاه، تبخیر[1] و از روزنه‌های گیاه، تعرق[2] نامیده می‌شود. تبخیر - تعرق[3] نیز مجموع تلفات را شامل می‌شود که نیاز آبی گیاه نامیده می‌شود (بای‌بوردی، 1366). بخش عمده آبی که گیاه از خاک جذب می‌کند به‌صورت تعرق در اختیار جو قرار

[1] Evaporation
[2] Transpiration
[3] Evapotranspiration

می‌گیرد؛ بنابراین شدت تعرق بیش از هر عامل دیگری در سرنوشت گیاه مؤثر بوده و لازمه فرایند تعرق، تبدیل آب از حالت مایع به بخار می‌باشد.

تعیین نیاز آبی استاندارد گیاه بر این اصل استوار است که گیاه در طول دوره رشد خود از نظر آب در محدودیت و تنگنا نبوده و چنانچه سایر عوامل تولید در حد بهینه تأمین شود، عملکرد مناسب و قابل‌دستیابی را می‌توان انتظار داشت. روش‌هایی که برای اندازه‌گیری و تعیین تبخیر- تعرق استاندارد گیاهان وجود دارند به پنج گروه تقسیم می‌شوند (بای‌بوردی، 1366):

1- روش اندازه‌گیری مستقیم از لایسیمتر
2- روش‌های تجربی
3- روش آئرودینامیکی
4- روش بیلان انرژی
5- روش استفاده از تبخیرسنج‌ها
6- روش‌های ترکیبی (از دو روش بیلان انرژی و آئرودینامیکی استفاده می‌شود)

برای برآورد تبخیر- تعرق به روش‌های تجربی و بیلان انرژی و آئرودینامیک به داده و آمار اقلیمی در قالب داده‌های هواشناسی از جمله درجه‌حرارت حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، سرعت باد، ساعات آفتابی و بارندگی نیاز است.

البته بعضی از روش‌های برآورد تبخیر- تعرق مانند روش آئرودینامیکی و بیلان انرژی و نیز روش‌های جدید سنجش‌ازدور منحصراً جنبه پژوهشی دارند و برای تعیین فرایندهای انتقال بخار آب به سایر عوامل دیگر نیاز دارند.

یکی از روش‌های اندازه‌گیری دقیق تبخیر- تعرق گیاه، استفاده از لایسیمتر می‌باشد که ازنظر آبیاری اهمیت بیشتری دارد. لایسیمتر در تحقیقات پایه‌ای آبیاری، مانند اندازه‌گیری تبخیر- تعرق، نیاز آبی، باران مؤثر، روابط آب و حاصلخیزی، حرکت آب و تجمع املاح در خاک، آبشویی و تغییرات عمق ریشه و موارد مشابه کاربرد دارد.

نظر به این که اندازه‌گیری نیاز آبی گیاهان در لایسیمتر از اهمیت شایانی در مدیریت منابع آب برخوردار است، لذا این دستورالعمل با تمرکز بر چگونگی کارگذاری و کاربرد آن در اندازه‌گیری تبخیر- تعرق گیاهان زراعی تهیه شده است. از طرف دیگر بر نقش و اهمیت

سایر عوامل تأثیرگذار که موجب انحراف اندازه‌گیری‌ها از نتایج واقعی می‌شود تأکید گردیده است. در این راستا نتایج برخی تحقیقات اندازه‌گیری‌های لایسیمتری و علل انحراف و خطا در آن به‌صورت کمّی ارائه شده تا با لحاظ نمودن کلیه موارد تأثیرگذار، نتایج اندازه‌گیری تبخیر- تعرق هر چه بیشتر به مقادیر واقعی نزدیک شود.

لایسیمتر[1]

لایسیمتر از واژه یونانی Lysis به معنی سست‌کردن گرفته شده است. لایسیمتر بلوک و یا جعبه بزرگی است که در درون خاک قرار گرفته و انتقال آب در آن موردمطالعه قرار می‌گیرد. به‌عبارت‌دیگر لایسیمتر اصولاً جعبه کشت بزرگی از خاک است که تاحدامکان با خاک‌های اطراف مشابه بوده؛ ولی از آن‌ها جدا شده و در آن‌ها تغییرات میزان آب خاک اندازه‌گیری می‌شود. قدمت ساخت لایسیمتر به قرن 17 میلادی باز می‌گردد (Aboukhaled et al.,1982). از لایسیمتر به‌عنوان ابزاری مناسب برای برآورد نیاز آبی گیاهان، مطالعات پایه‌ای مربوط به روابط آب، خاک و گیاه و حرکت آب و املاح در خاک (بررسی مسائل زیست‌محیطی)، مطالعات مربوط به زه‌کشی، تحقیقات مربوط به توسعه کمی و کیفی ریشه و بررسی کارایی مصرف آب استفاده می‌گردد. انواع مختلفی از لایسیمتر وجود داشته که از نظر دقت با یکدیگر متفاوت می‌باشند. دو نوع لایسیمتر بیشتر در دنیا مورد استفاده واقع می‌شود:

الف- لایسیمتر وزنی

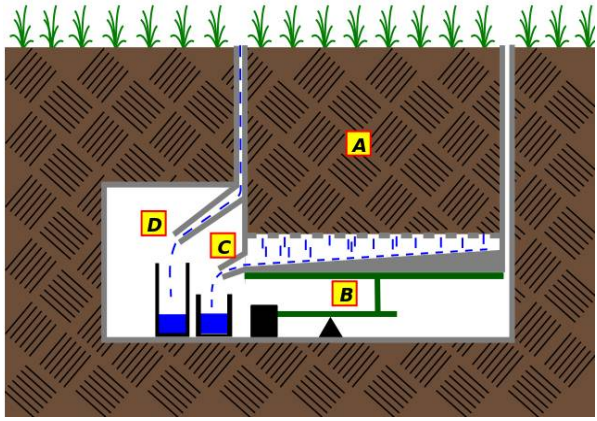
ب- لایسیمتر حجمی (زهکش‌دار)

الف- لایسیمتر وزنی[2]

لایسیمتر وزنی از دقیق‌ترین وسایل اندازه‌گیری تبخیر- تعرق بوده که می‌تواند تغییرات رطوبت خاک را تا 0/01 میلی‌متر آب اندازه‌گیری و مقدار تبخیر- تعرق را در دوره‌های زمانی کوتاه یک ساعت و یا کمتر تعیین کنند (Aboukhaled et al., 1982).

[1] Lysimeter
[2] Weighing Lysimeter

در لایسیمتر وزنی، تغییرات رطوبت خاک مستقیماً با توزین کردن لایسیمتر مشخص می‌شود. وزن این‌گونه لایسیمترها به چندین تن بالغ شده و از طریق یک سیستم هیدرولیکی تغییرات وزنی ثبت می‌شود. لایسیمتر وزنی دقیق‌تر از لایسیمتر زهکش‌دار است، ولی چون هزینه نصب لایسیمتر وزنی زیاد است، اغلب در ایستگاه‌های تحقیقاتی بزرگ و برای بررسی دقیق رابطه آب، خاک و گیاه مورداستفاده واقع می‌شود. از دیدگاه کاربردی و به‌منظور مدیریت بهینه و برنامه‌ریزی دقیق آبیاری از دقت و کارایی بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. نتایج حاصله از اندازه‌گیری تبخیر- تعرق با لایسیمتر وزنی قابل‌اعتماد می‌باشد. شکل 1 نمایی از لایسیمتر وزنی و اجزاء آن را نشان می‌دهد.



A : خاک داخل لایسیمتر

B : وسیله توزین در لایسیمتر

C : جمع‌آوری و اندازه‌گیری آب زهکش داخل لایسیمتر

D : جمع‌آوری و اندازه‌گیری رواناب بیرون لایسیمتر

شکل 1 – لایسیمتر وزنی و اجزاء آن

ب- لایسیمتر زهکش‌دار[1]

لایسیمترهای زهکش‌دار از عمومی‌ترین و کاربردی‌ترین انواع لایسیمترها به‌منظور اندازه‌گیری تبخیر- تعرق هستند. این نوع لایسیمتر یکی از کاربردی‌ترین وسایل اندازه‌گیری تبخیر- تعرق در ایستگاه‌های تحقیقاتی بوده که بر اساس بیلان آب در خاک، مقادیر تبخیر- تعرق را اندازه‌گیری می‌کند. مبنای اندازه‌گیری تبخیر- تعرق در این‌گونه لایسیمترها بر اساس تفاضل مجموع آب آبیاری و بارندگی و آب آبشویی است. اندازه‌گیری حجم آب

[1] Drainage Lysimeter

ورودی و خروجی مبنا و اساس کار لایسیمتر در تعیین تبخیر- تعرق گیاهان می‌باشد. رابطه شماره 1 چگونگی محاسبه تبخیر- تعرق (با استفاده از بیلان آبی گیاه) در لایسیمتر را ارائه می‌نماید.

$$P + I \pm R_o = ET + D \pm \Delta W$$ رابطه (1)

که در آن ET: تبخیر- تعرق گیاه برحسب میلی‌متر، D: عمق آب زه‌کشی برحسب میلی‌متر، ΔW: تغییرات رطوبت خاک در دوره معین برحسب میلی‌متر، R_o: رواناب سطحی به داخل لایسیمتر یا از لایسیمتر به بیرون برحسب میلی‌متر (باتوجه‌به وضعیت قرارگیری لایسیمتر و میزان حجم آب ورودی بر اساس ویژگی‌های خاک این مقدار صفر است)، P: بارندگی برحسب میلی‌متر و I: عمق آب آبیاری برحسب میلی‌متر است.

باتوجه‌به موارد فوق، مقدار تبخیر- تعرق داخل لایسیمتر زهکش‌دار از رابطه ساده‌شده 2 محاسبه می‌شود.

$$ET = P + I - D \pm \Delta W$$ رابطه (2)

مقدار بارندگی توسط باران‌سنج و ظروف مدرج اندازه‌گیری و عمق آب آبیاری توسط کنتور و یا وسایل مدرج قابل‌اندازه‌گیری می‌باشد. آب زه‌کشی خارج شده از لایسیمتر توسط یک لوله فلزی به ظروف مدرج منتقل و سپس اندازه‌گیری می‌شود. برای جمع‌آوری زهاب لایسیمتر و اندازه‌گیری حجم آب زهکش، اتاقکی در نزدیکی محل استقرار لایسیمتر در نظر گرفته می‌شود. باتوجه‌به اهمیت تخلیه آب ثقلی و جلوگیری از ماندابی شدن بخش‌های پائینی لایسیمتر و همچنین جمع‌آوری زهاب خروجی و اندازه‌گیری آن، طراحی و اجرای یک سیستم زه‌کشی کارا و مناسب اجتناب‌ناپذیر است و به‌منظور سرعت‌بخشیدن در خروج زهاب، شیبی حدود 10 درصد در کف لایسیمتر در نظر گرفته می‌شود. در قسمت تحتانی لایسیمتر، لوله‌ای به‌منظور خروج زهاب در نظر گرفته شده و حجم زهاب در داخل ظروف مدرج اندازه‌گیری می‌شود. ضروری است در زمان پر شدن لایسیمترها، با گذاشتن توری در محل اتصال لوله خروجی زهاب به بدنه لایسیمتر، از مسدودشدن لوله خروجی جلوگیری گردد. به‌منظور کارکرد صحیح زهکش شن و ماسه (هرکدام به ارتفاع 5 سانتی‌متر) به کف لایسیمتر اضافه می‌شود (Aboukhaled et al., 1982). نمونه‌ای از اندازه‌گیری تبخیر- تعرق

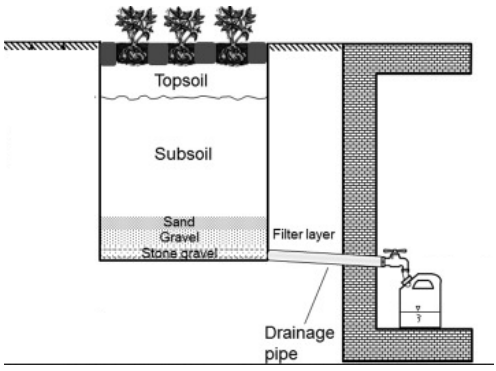
گیاه با استفاده از روش بیلان با اندازه‌گیری آب ورودی و خروجی در لایسیمتر زهکش‌دار در جدول 1 ارائه شده است.

جدول 1- نمونه‌ای از اندازه‌گیری و محاسبه تبخیر- تعرق با استفاده از روش بیلان آب در لایسیمتر زهکش‌دار

ماه	دهه	آب آبیاری (میلی‌متر)	بارندگی (میلی‌متر)	آب زه‌کشی (میلی‌متر)	تغییرات رطوبت خاک (میلی‌متر)	تبخیر - تعرق (میلی‌متر)
	1	16/4	5/4	4/8	0/7	17/7
دی	2	18/0	0/0	0/4	1/6	19/2
	3	16/0	8/2	0/8	-4/4	19/0

در لایسیمتر زهکش‌دار که در آن آبیاری به‌صورت روزانه و یا یک روز در میان انجام می‌پذیرد، رطوبت خاک تقریباً ثابت است و چون انتقال آب در خاک یک فرایند کند است درنتیجه می‌توان از تغییرات رطوبتی خاک صرف‌نظر کرد ($\Delta W = 0$)؛ لذا نتایج حاصل از لایسیمتر فقط در فاصله زمانی طولانی که در آن مقدار آب خاک در ابتدا و انتهای آزمایش یکسان است، قابل‌اعتماد خواهد بود (Aboukhaled et al., 1982). این فاصله زمانی بستگی به میزان بارندگی، دور و مقدار آب آبیاری، عمق لایسیمتر، حرکت آب و سایر شرایط دارد.

شکل 2 نمایی از لایسیمتر زهکش‌دار و اجزای تشکیل‌دهنده آن را نشان می‌دهد.



شکل 2 – لایسیمتر زهکش‌دار و نحوه خروج آب زه‌کشی

سهولت در اندازه‌گیری، ساخت و کارگذاری لایسیمتر زهکش‌دار باعث گستردگی کاربرد این نوع لایسیمتر در ایستگاه‌های تحقیقاتی لایسیمتری گردیده است. نتایج حاصله از اندازه‌گیری‌های لایسیمتری قابل‌اعتماد بوده و در کارگذاری و استفاده از آن باید نکات ذیل در نظر گرفته شود.

- **ضوابط فنی کارگذاری و استقرار لایسیمتر**

1- برای استحکام و دوام لایسیمتر، عمدتاً از بتن مسلح، آهن گالوانیزه و یا پلاستیک برای ساخت دیواره لایسیمتر استفاده شود (Aboukhaled *et al.*, 1982).

2- اندازه لایسیمتر باید به‌قدر کافی بزرگ و عمیق باشد تا اولاً مانع از رشد طبیعی ریشه گیاه نشده و ثانیاً تأثیرات ناشی از تماس سطح جانبی خاک را با اطراف خود به حداقل برساند. عمق لایسیمتر باتوجه‌به حداکثر عمق توسعه ریشه گیاه تعیین شود. در مورد گیاهان کوتاه، حجم لایسیمتر حداقل یک مترمکعب و برای گیاهان بلند، چندبرابر بیشتر در نظر گرفته شود.

3- به‌منظور ازبین‌بردن تأثیر جانبی دیواره لایسیمتر در رشد گیاهان نزدیک دیواره، نحوه کاشت به صورتی انجام گیرد تا محدودیتی در توسعه ریشه گیاهان نزدیک دیواره لایسیمتر ایجاد نشود.

4- سطح لایسیمتر حداقل 2 مترمربع در نظر گرفته شود.

5- عرض لایسیمتر بر اساس فاصله ردیف‌ها تنظیم شود تا فاصله ردیف‌ها در داخل و خارج لایسیمتر یکسان باشد. ارتفاع و تراکم گیاهان داخل و خارج لایسیمتر یکسان باشند.

6- سطح خاک در لایسیمتر پیوسته و با سطح خاک اطراف لایسیمتر یکسان باشد.

7- ترتیب لایه‌های پروفیل خاک در موقع پر کردن لایسیمتر رعایت شود و از خاک خود گودال حفرشده برای استقرار لایسیمتر به‌منظور این کار استفاده شود. در موقع پرکردن لایسیمتر، لایه‌های پروفیل خاک ازنظر جرم مخصوص ظاهری کنترل شده تا مشابه پروفیل خاک اولیه محل گودال باشد. در هنگام پر کردن لایسیمتر ضروری است لایه‌های خاک به همان صورتی که به‌منظور نصب لایسیمتر خارج شده‌اند

روی‌هم قرارگرفته و لایه‌ها به طور جداگانه پر و سپس اشباع و جرم مخصوص ظاهری آن‌ها با نمونه‌های دست‌نخورده قبلی مقایسه شده تا اگر احتیاجی به کوبیدن داشت، بعدازاین که رطوبت لایه مربوطه به پایین ظرفیت زراعی رسید، کوبیده شده تا به نزدیکی همان جرم مخصوص اولیه خاک برسد. به طور مشابه این عمل برای لایه‌های دیگر خاک تکرار شود. شرایط خاک داخل لایسیمتر مشابه با خاک خارج آن باشد، بدین معنی که خاک را نباید آن قدر به هم ریخت که حرکت آب و پخشیدگی ریشه‌ها بیش از حدی که خاک مجاور ممکن می‌سازد، تسهیل شود.

8- برای خروج آب زهکش از لایسیمتر، شیب کف لایسیمتر حدود 10 درصد در نظر گرفته شود.

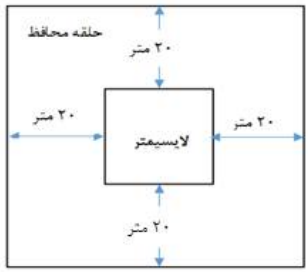
9- از نکات حائز اهمیت در طراحی لایسیمترها، توجه به خروجی و زهکش آنهاست. دراین‌ارتباط باهدف جلوگیری از ورود ذرات خاک و شستشوی آن توسط جریان آب به درون لوله‌های خروجی زهاب از صافی یا فیلتر مناسب در اطراف لوله خروجی استفاده شود.

10- آبیاری لایسیمترها طوری انجام شود که روابط رطوبتی آن‌ها مشابه خاک اطراف لایسیمتر در شرایط طبیعی باشند.

11-لایسیمتر هنگامی معرف یک ناحیه است که گیاه مورد کشت در لایسیمتر از گیاهان اطراف آن کوتاه‌تر، بلندتر، تنک‌تر و یا متراکم‌تر نبوده و لایسیمتر در مرز و محیط یک ناحیه بایر قرار نگرفته باشد.

12-کلیه عملیات زراعی شامل آبیاری، مصرف کود و سم، کاشت بذر، فاصله ردیف‌ها و روش آبیاری در داخل و خارج لایسیمتر یکسان و هم‌زمان انجام پذیرد. به‌عبارت‌دیگر کلیه عملیات کاشت، داشت و برداشت در داخل و خارج لایسیمتر یکسان بوده و لایسیمترها دقیقاً همانند منطقه اطراف مدیریت شوند.

13-در اطراف لایسیمتر باید یک حلقه محافظ با همان شرایط و مشخصات لایسیمتر ایجاد شود تا یک محیط همگن فراهم شود. معمولاً شعاع این حلقه محافظ ده برابر قطر لایسیمتر در نظر گرفته می‌شود. ضروری است حداقل تا فاصله 20 متری اطراف لایسیمتر (به‌عنوان حلقه محافظ) مطابق داخل لایسیمتر کشت شود (شکل3).



شکل3- وضعیت قرارگرفتن لایسیمتر و حاشیه اطراف آن

14- حداقل عمق آب آبیاری در هر نوبت باید به‌اندازه‌ای باشد که حدود 10 درصد عمق آب آبیاری به‌صورت زهاب از لایسیمتر خارج گردد.

15- نسبت سطح دیوارها به سطح محصورشده به‌وسیله لایسیمتر باید کم باشد تا از اثر انتقال افقی حرارت (ادوکسیون) در مقیاس کم از سطح بدون گیاه اجتناب شود.

16- ساختمان یا موانع دیگر که احتمال ایجاد تغییرات در میکروکلیمای محل استقرار لایسیمتر گردد باید حدود 100 متر و یا بیشتر از محل نصب لایسیمتر فاصله داشته باشد. ضروری است لایسیمتر دور از موانع، ساختمان‌ها، درختان بلند، راه‌ها و جاده‌ها نصب شوند.

17- به‌منظور اطمینان از نتایج لایسیمتر، اندازه‌گیری‌های لایسیمتری حداقل باید برای 3 سال متوالی انجام پذیرد (Aboukhaled *et al.*, 1982).

- **اندازه‌گیری رطوبت خاک در لایسیمتر**

در لایسیمتر با استفاده از وسایل و ادوات اندازه‌گیری رطوبت شامل تانسیومتر، نوترون‌متر و تی‌دی‌آر[1] تغییرات رطوبت خاک قابل‌اندازه‌گیری است. باتوجه‌به تغییرات عمق توسعه ریشه گیاهان مختلف، ضروری است رطوبت خاک در لایه‌های مختلف (متناسب با عمق توسعه ریشه گیاه) با نصب وسایل و ادواتی مانند تانسیومتر، نوترون‌متر و TDR در عمق‌های موردنظر اندازه‌گیری و سپس میزان تبخیر- تعرق گیاه باتوجه‌به رابطه بیلان آبی برآورد شود. در ملاحظات اندازه‌گیری رطوبت خاک در لایسیمتر و در گیاهان مختلف، ذکر

[1] Time Domain Reflectometry

این نکته ضروری است که کاهش رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه گیاه نبایستی به اندازه‌ای باشد که رشد و عملکرد گیاه تحت تاثیر قرار گیرد. با توجه به نفوذپذیری کم در خاک‌های رسی، ممکن است تأخیر در نفوذ آب به داخل خاک و نهایتاً تخلیه آب زه‌کشی اتفاق افتد، لذا ضروری است تبخیر- تعرق در فواصل طولانی‌تر (هفتگی و بیشتر) اندازه‌گیری شود.

تغییرات رطوبتی خاک لایسیمتر در شرایط استفاده از گیاه مرجع چمن (تبخیر- تعرق سطح مرجع) در محدوده نقطه ظرفیت زراعی می‌باشد. بنابراین می‌توان از تانسیومتر برای اندازه‌گیری تغییرات رطوبت خاک استفاده نمود. تانسیومتر برای مناطقی با نیازهای تبخیری کم تا متوسط مناسب است (Aboukhaled *et al.*, 1982). کارکرد و دقت تانسیومتر در خاک‌های سبک بیشتر از خاک سنگین است (شکل 4). فواصل بین آبیاری‌ها در گیاهان مختلف با توجه به شرایط فنولوژی گیاه و حساسیت ریشه به رطوبت خاک تفاوت داشته و ضروری است فواصل آبیاری به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی گردد تا در مراحل مختلف، رشد عملکرد گیاه تحت تاثیر شرایط رطوبتی واقع نگردد. از این رو استفاده از ضریب تخلیه مجاز رطوبتی[1] و تعیین آب سهل‌الوصول (درصدی از آب قابل استفاده گیاه (RAW)[2] که به سهولت در اختیار گیاه قرار می‌گیرد) می‌تواند معیار و مبنایی برای تعیین زمان آبیاری برای گیاهان مختلف درنظر گرفته شود. بنابراین پایش شرایط رطوبتی خاک لایسیمتر و اطمینان از اینکه این تغییرات محدودیتی را برای رشد و عملکرد گیاه ایجاد نمی‌نماید، در طول دوره رشد گیاه و اندازه‌گیریهای لایسیمتری تاکید می‌گردد.

شکل4- کارگذاری تانسیومتر در عمق توسعه ریشه

[1] Management Allowed Depletion
[2] Readily Available Water

- **علل انحراف و خطا در اندازه‌گیری‌های لایسیمتری**

- ضروری است سطح لایسیمتر متناسب با گیاه و عمق توسعه ریشه در نظر گرفته شود. Sarraf و همکاران (1969) گزارش کردند که مقدار تبخیر- تعرق در لایسیمترهایی با سطح 4 و 16 مترمربع تفاوتی نداشته و مقادیر اندازه‌گیری شده تنها 1 تا 2 درصد با هم اختلاف داشتند. چنانچه سطح لایسیمتر 4 مترمربع باشد می‌تواند برای اغلب گیاهان زراعی مورد استفاده واقع شود.

- کاربرد بشکه‌های 170 لیتری معمولی به‌منظور اندازه‌گیری تبخیر- تعرق توصیه نمی‌شود. علیرغم اینکه این نوع لایسیمترها ساده، ارزان و کوچک می‌باشند (با سطح 0/27 مترمربع و قطر 60 سانتی‌متر) ولی به میزان 10 تا 30 درصد در اندازه‌گیری تبخیر- تعرق خطا وارد نموده و قابل کاربرد و توصیه نمی‌باشند (Aboukhale*d et al.*, 1982) .

- هرچه اختلاف گیاهان بین اطراف لایسیمتر و داخل لایسیمتر (از نظر نوع و ارتفاع پوشش گیاهی) بیشتر باشد، تفاوت و انحراف از مقادیر واقعی تبخیر- تعرق بیشتر خواهد شد. Penman (1963) گزارش کرد که در لایسیمتر با قطر 60 سانتی‌متر، چنانچه ارتفاع گیاهان 15 سانتی‌متر از گیاهان کاشته شده در حاشیه لایسیمتر بیشتر باشد، مقدار نور جذب شده دو برابر می‌گردد.

- چنانچه ارتفاع چمن داخل لایسیمتر به‌اندازه 15 تا 20 سانتی‌متر بیشتر از ارتفاع طبیعی چمن (10 سانتی‌متر) خارج لایسیمتر باشد، مقدار متوسط تبخیر- تعرق ماهیانه اندازه‌گیری شده حدود 30 درصد بیشتر از مقدار واقعی خواهد بود (Mcilory and Angus, 1963). هم‌چنین درصورتی‌که ارتفاع ذرت داخل و خارج لایسیمتر با یکدیگر 30 تا 40 سانتی‌متر تفاوت داشته باشند، نتایج مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر- تعرق در لایسیمتر حدود 35 درصد با مقادیر واقعی تفاوت خواهد داشت. بنابراین ضروری است مدیریت مشابهی اعمال شود تا ارتفاع گیاهان داخل و خارج لایسیمتر یکسان باشند.

- مدیریت آبیاری بایستی در داخل و خارج لایسیمتر یکسان باشد. Sarraf و همکاران (1969) گزارش کردند که اگر داخل لایسیمتر هر 2 تا 3 روز آبیاری شده و حاشیه اطراف آن هفته‌ای یک‌بار آبیاری گردد، مقدار تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده نسبت به حالت آبیاری مشابه حدود 25 تا 35 درصد افزایش می‌یابد.

- به‌منظور ایجاد یک محیط همگن (حلقه محافظ) در اطراف لایسیمتر، Thornthwaite و Mather (1955) سطح محافظ اطراف لایسیمترها را حدود 400 برابر سطح لایسیمتر توصیه کرده‌اند.

- در مواردی که ویژگی‌های پوشش گیاهی اطراف لایسیمتر از نظر گونه، بلندی، مدیریت و شادابی کاملاً مشابه کشت درون لایسیمتر است، ممکن است تفاوت در تبخیر- تعرق واقعی و اندازه‌گیری شده به حدود 5 درصد کاهش یابد. کوتاهی کشت پیرامون اطراف لایسیمتر، سبب افزایش تبخیر- تعرق تا حدود 40 درصد از لایسیمتر می‌گردد (فرشی و همکاران، 1376).

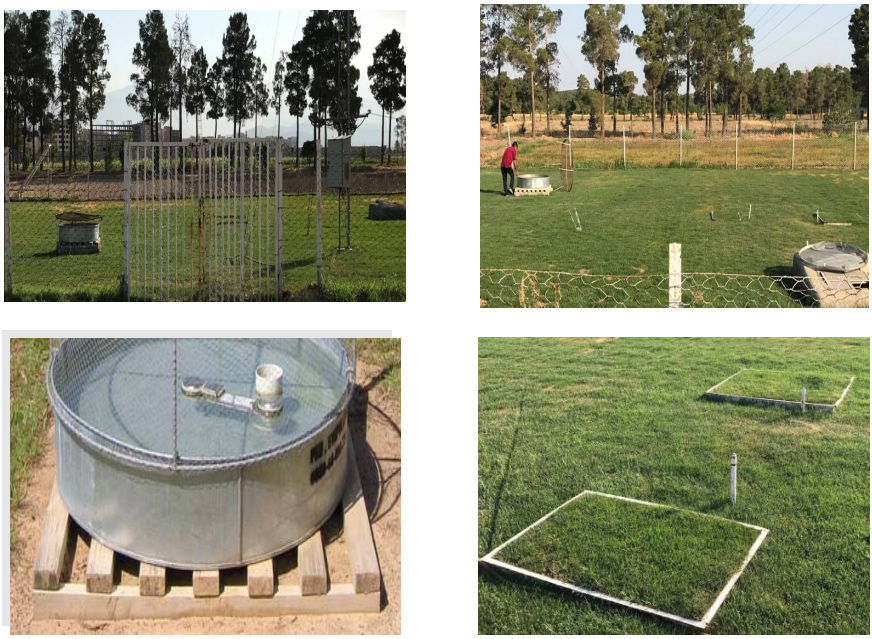
نتایج اندازه‌گیری تبخیر-تعرق سطح مرجع چمن در لایسیمتر

نتایج اندازه‌گیری‌های لایسیمتری فقط برای آن نقطه و محل معتبر می‌باشد. نظر به این‌که لایسیمترها وسایل و ابزار دقیقی به‌منظور اندازه‌گیری تبخیر- تعرق می‌باشند، لذا باید با رعایت و درنظرگیری دستورالعمل و ضوابط فنی نصب و بهره‌برداری و نیز در نظرگیری روابط آب، خاک، گیاه و اتمسفر از آن استفاده و بهره‌برداری نمود. برخی نتایج تحقیقات لایسیمتری انجام گرفته در موسسه تحقیقات خاک و آب (در ایستگاه‌های تحقیقاتی دارای لایسیمتر) که به‌منظور اندازه‌گیری تبخیر- تعرق چمن انجام‌شده در جدول 2 ارائه می‌گردد.

جدول 2- نتایج برخی تحقیقات لایسیمتری ایستگاه‌های تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب به‌منظور اندازه‌گیری تبخیر- تعرق چمن

ردیف	محل اجرا	گیاه موردنظر	تبخیر- تعرق (mm)	تعداد سال‌های اجرا	سال شروع
1	اصفهان	چمن	1489	3 سال	1372
2	تبریز	چمن	1227	4 سال	1378
3	اراک	چمن	1300	3 سال	1373
4	کرمان	چمن	1212	2 سال	1376
5	قزوین	چمن	1250	4 سال	1379
6	شهرکرد	چمن	1623	4 سال	1375
7	یزد	چمن	1477	4 سال	1375
8	کرج	چمن	1390	4 سال	1376

شکل 5 چگونگی استقرار و وضعیت لایسیمترها را به همراه ایستگاه هواشناسی کشاورزی به‌منظور اندازه‌گیری تبخیر- تعرق گیاه مرجع (چمن) در لایسیمتر زهکش‌دار ایستگاه تحقیقات خاک و آب موسسه تحقیقات خاک و آب (کرج) را نشان می‌دهد.



شکل 5- ایستگاه لایسیمتری تحقیقات خاک و آب کرج و لایسیمتر زهکش‌دار برای اندازه-گیری تبخیر- تعرق سطح مرجع (چمن)

بطورکلی لایسیمترها می‌توانند به عنوان ابزاری کارامد در اندازه‌گیری و تعیین اطلاعات دقیق در موضوعات نیاز آبی و روابط آب، خاک و گیاه در گیاهان زراعی، باغی و گلخانه‌ای بکار روند. در این راستا استفاده از روابط بیلان آب در خاک در اندازه‌گیری نیاز آبی حائز اهمیت می‌باشد. درگیاهان گلخانه‌ای برای اندازه‌گیری نیاز آبی استفاده از میکرولایسیمتر بیشتر معمول است. در طراحی، ساخت و نصب لایسیمتر در باغات به‌منظور تعیین نیاز آبی ضروری است تغییرات آب در خاک و نیز تغییرات رشد ریشه (با سن درخت) به همراه سایر ملاحظات دیگر در نظر گرفته شود.

منابع

ابراهیمی‌پاک، ن. و اسحاقی، ر. 1391. تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (چمن) به روش لایسیمتر و مقایسه با روش‌های تجربی در قزوین. نشریه شماره 1729 موسسه تحقیقات خاک و آب.

ابراهیمی‌پاک، ن. و جعفرزاده، س. 1390. تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) و مقایسه با روش‌های تجربی در شهرکرد. نشریه شماره 1629 موسسه تحقیقات خاک و آب.

بای‌بوردی، م. 1366. اصول مهندسی آبیاری، روابط آب و خاک. انتشارات دانشگاه تهران. 672 صفحه.

رستمی، ا.، مرادآبادی، غ. و قسمتی، ی. 1377. تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع با استفاده از لایسیمتر و مقایسه آن با فرمول‌های تجربی. نشریه شماره 77/542. موسسه تحقیقات خاک و آب.

ستار، م. 1377. تعیین میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع. نشریه شماره 77/360. موسسه تحقیقات خاک و آب.

شریعتی، م. 1372. تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع چمن با استفاده از لایسیمتر مونولیت و مقایسه آن با فرمول‌های تجربی. نشریه شماره 882. موسسه تحقیقات خاک و آب.

صارمی، م. 1382. تعیین تبخیر و تعرق بالقوه گیاه مرجع چمن با روش لایسیمتری. نشریه شماره 82/607. موسسه تحقیقات خاک و آب.

صباغ فرشی، ع.، شریعتی، م.، جاراللهی، ر.، قایمی، م.، شهابی‌فر، م. و تولایی، م. 1376. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. موسسه تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. نشر آموزش کشاورزی.شماره ثبت: 164/76. 900 ص.

عنابی میلانی، ا.، حسین زاد درخشان، ا.، خداوردیزاده قهرمانی، م.، چیت ساز مقدم، س. و پاشایی، س. 1385. ارزیابی روش‌های مستقیم و غیرمستقیم برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع (چمن). نشریه شماره 1296. موسسه تحقیقات خاک و آب.

مداحیان، ح. و فرزام نیا، م. 1383. تبخیر و تعرق پتانسیل (ET0) گیاه مرجع چمن. نشریه شماره 1165. موسسه تحقیقات خاک و آب.

مصطفوی، م.، آذرفر، س. و واحدیان، ع. 1380. تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل (ET0) با استفاده از لایسیمتر چمن. نشریه شماره 80/678. موسسه تحقیقات خاک و آب.

Aboukhaled, A. Alfaro, A and Smith, M. 1982. Lysimeters. FAO Irrigation and Drainage Paper, No 39.

Mcilory, I. and Angus. C. 1963. The aspendale multiple weighed lysimeter installation. Div Meteorological Physics paper No 14. Australia. 27 pages.

Penman, H.L. 1963. Vegetation and Hydrology Tech. Communication No 53.124 pages.

Sarraf, S., Vink, N. and Aboukhaled, A. 1969. Evaporatie, Ecapotranspiration potentielle et coefficient du piche corrige. Magon Serie Tech. 13. 26 Pages.

Thornthwaite, C. and Mather, J. 1955. The water balance. Laboratory of Climatology. NJ. 104 Pages.