

فصل نهم

تعرق

این فصل به بررسی ماهیت و اهمیت تعرق از گیاه، یا اجتماعات گیاهی، اختصاص یافته است. تعرق را می توان به عنوان تلفات آب از گیاهان بصورت بخار تعریف نمود. بنابراین تعرق يك فرآیند تبخیری به شمار می رود. ولی علی رغم تبخیر که از سطح آب صورت می پذیرد، ساختمان گیاه و عمل روزنه ها همراه با اصول فیزیکی موثر بر تبخیر نیز در تعرق دخالت دارند.

اهمیت تعرق

تعرق یکی از عوامل مهم روابط بین آب و گیاه است. زیرا، تبخیر باعث بوجود آمدن شیب انرژی شده و حرکت آب را به داخل گیاه و نیز در درون آن موجب می گردد. بنابراین، تعرق باعث کنترل میزان جذب و صعود شیره می شود. علاوه بر این، تعرق موجب کمبود روزانه آب برگ شده و هنگامی که خشکی خاك باعث شود بین جذب و تلفات آب اختلاف فازی بوجود آید، کمبود دائمی آب حاصل شده-و گیاه با خشك شدن صدمه دیده یا به مرگ آن منجر می گردد. در واقع صدمات یا از بین رفتن گیاهان در اثر پیشی گرفتن تعرق از جذب بیشتر از هر عامل دیگر است و اگر تعرق وجود نمی داشت، می شد در بسیاری از اراضی

که اکنون کویر یا نیمه کویری هستند گیاهان زراعتی را رویانید . اهمیت کمی این فرآیند باین اندازه گیربهاکه نشان می دهند يك بوته ذرت در کائزاس بیش از ۲۰۰ لیتر یا ۱۰۰ برابر وزن خود آب در طول هر تابستان هدر می دهد (میلر^۱، ۱۹۳۸) و یا این که يك مزرعه ذرت در ایلینویز بیش از ۲۰ سانتی متر آب یعنی حدود ۸۰ درصد بارندگی را در فصل رویش تعریق می نماید ، مشهوداست . يك جنگل خزان شونده واقع در جنوب غربی کارولینای شمالی بیش از ۴۰ سانتی متر یعنی معادل حدود ۳۰ درصد بارندگی سالیانه را تعریق می کند . یکی دیگر از علائم تلفات زیاد آب بوسیله تعرق بیان این حقیقت است که در گیاهان زراعتی برای تولید هر کیلوگرم مواد خشك بین ۹۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم آب به مصرف می رسد . از تمام آبی که جذب گیاه می شود ، تقریباً ۹۵ درصد آن با جول ۹-۱ : مقدار آبی که به نحوی از آنحاء در يك حوضه آبگیر پوشیده شده از درختان خزان شونده واقع در کارولینای شمالی (۱۹۴۱-۱۹۴۰) تلف شده است . افزایش آبدوی پس از قطع تمام گیاهان چوبی و حذف تعرق آنها نیز نشان داده شده است (از هوور^۲، ۱۹۴۴) .

مقدار به سانتی متر ۱۹۴۱-۱۹۴۲	مقدار به سانتی متر ۱۹۴۰-۱۹۴۱	
۱۵۸/۴	۱۵۸/۰	بارندگی
۹/۵	۱۶/۶	توقف باران بوسیله شاخ و برگ
۹۳/۰	۵۳/۴	آبدوی
۹/۷	-۰/۴	ذخیره در خاک
۴۶/۰	۳۹/۷	تبخیر
.	۴۸/۷	تعرق

تعرق تلف شده و ۵ درصد یا کمتر در خود گیاه به مصرف می‌رسد. اگر تلفات آب از طریق تعرق وجود نمی‌داشت، يك بارندگی یا آبیاری می‌توانست برای تمام محصول کفایت نماید.

گاهی اوقات مطالبی می‌خوانیم که درباب اهمیت تعرق در صعود شیره، افزایش جذب مواد غذایی معدنی و سرد نمودن برگها نوشته شده است (کلمنتز^۳، ۱۹۳۴؛ کرتیس^۴، ۱۹۲۶، ۱۹۳۶) البته تعرق سرعت حرکت آب را در داخل گیاهان افزایش می‌دهد ولی، استفاده آب در سلولهای رشد کننده، حتی اگر مقدار تعرق صفر هم باشد، باعث کندی صعود شیره می‌گردد. با رشد درخت، آب به قسمتهای بالائی گیاه صعود می‌نماید و تعرق فقط سرعت و مقدار حرکت را افزایش می‌دهد. بیشتر جذب نمك، مستقل از جذب آب بوده و از طریق حرکت فعال صورت می‌گیرد (به فصل هفتم مراجعه شود). البته سرعت تعرق صعود نمك را نیز افزایش می‌دهد ولی ممکن است سؤال شود که آیا در نبودن تعرق نمك به برگهای گیاه می‌رسد؟. گرچه برخی از گیاهان در مناطق مرطوب که میزان تعرق در آنجا بسیار کم است بخوبی رشد می‌کنند ولی آمارهای خوبی در این زمینه وجود ندارد. هیچ شکی نیست که تبخیر آب باعث سرد شدن برگها می‌گردد. برگهایی که میزان تعرق آنها به علت پژمردگی، بسته بودن روزنه‌ها یا دلایل دیگر کم است معمولاً چندین درجه گرمتر از هوا می‌باشند. ولی بندرت در اثر افزایش گرما صدمه می‌بینند. ما می‌توانیم با کورتیس (۱۹۲۶) هم عقیده باشیم که اظهار می‌دارد تعرق معمولاً يك شیطان اجتناب ناپذیر است. شیطان به

3— Clements

4— Curtis

5— Curtis

این علت که غالباً کمبود آب و صدمه حاصل از خشکی را بدنبال دارد و اجتناب ناپذیر از این جهت که ساختمان برگها ایجاب می‌نماید .

طبیعت تعرق

بنا به اهمیت زیادی که در اقتصاد آب گیاهان دارد ، شناخت ماهیت فیزیکی فرآیند تعرق در خور توجه شایان است .

مقاومتها و نیروهای موثر

میزان تعرق به وجود انرژی تبخیر کننده آب ، فشار بخار یا شیب غلظت (شامل نیروهای محرك) و نیز به مقاومت مسیر در مقابل پخشیدن آب بستگی دارد . خروج بخار آب بیشتر از روزنه‌ها صورت می‌گیرد ولی مقداری از بخار نیز از داخل اپیدرم و پوشش کوتینی آن صورت گرفته و در گونه‌های چوبی از داخل عدسکهای ساقه و انشعابات آن یا شاخه‌های کوچک نیز انجام می‌شود .

نیروی موثر بر حرکت آب مایع در داخل بافتهای گیاه معمولاً از شیب پتانسیل آب تأمین می‌گردد . برعکس، نیروی محرك حرکت بخار آب در تبخیر و تعرق از شیب غلظت یا فشار بخار تأمین می‌شود . پخشیدن بخار آب یا تبخیر (E) از سطح آزاد آب را می‌توان بوسیله معادله زیر تشریح نمود که شامل ضریب تبدیل غلظت یا رطوبت مخصوص به فشار بخار نیز می‌باشد .

$$E = \frac{e_{\text{آب}} - e_{\text{هوا}}}{r_{\text{آب}}} - \frac{0.622 p_{\text{هوا}}}{P} \frac{e_{\text{آب}} - e_{\text{هوا}}}{r_{\text{هوا}}} \quad (۹-۱)$$

E مقدار تبخیر بر حسب گرم در سانتی‌متر مربع در ثانیه ، آب e و هوا c بترتیب عبارتند از غلظت بخار در سطح آب و توده هوا بر

حسب گرم در سانتی متر مکعب ، آب e و هوا e به ترتیب فشار بخار آب در سطح آب و توده هوا به میلی متر جیوه ، هوا r مقاومت لایه مجزا کننده سطحی که پخشیدن موکولها از آن صورت می گیرد بر حسب نانه بر سانتی متر ، هوا p چگالی هوا ، و p فشار اتمسفر بر حسب میلی متر جیوه است. تعرق از این جهت با تبخیر تفاوت دارد که خروج بخار آب از گیاه به مقدار قابل توجهی توسط مقاومت برگ ، که در تبخیر از سطح آزاد آب مشاهده نمی شود ، کنترل می گردد . بنابراین لازم است به معادله تعرق (T) عامل دیگری که مقاومت برگ را شامل شود نیز اضافه نمود .

$$T = \frac{e_{\text{هوا}} - e_{\text{برگ}}}{r_{\text{هوا}} + r_{\text{برگ}}} = \frac{0.622 p_{\text{هوا}}}{p} \frac{e_{\text{هوا}} - e_{\text{برگ}}}{r_{\text{هوا}} + r_{\text{برگ}}} \quad (2-9)$$

که در آن برگ e و برگ e به ترتیب عبارتند از غلظت بخار آب و فشار بخار در سطوح تبخیر کننده برگها و برگ r مقاومت اضافی برگها در مقابل پخشیدن است .

معادله (۹-۲) نشان می دهد که میزان تعرق بر حسب گرم در سانتی متر مربع در ثانیه متناسب است با اختلاف غلظت بخار آب (Δe) یا اختلاف فشار بخار بین برگ و هوای خارج (Δe) تقسیم بر مجموع مقاومت های برگ و لایه مجاور آن در مقابل پخشیدگی ($r_e + r_a$) . اگر بیشتر روزنه ها در یک طرف برگ واقع شده باشند ، در این صورت بین r در سطح بالائی و سطح پائینی برگ تفاوت های زیادی وجود خواهد داشت (هولم گرن و همکاران^۶، ۱۹۶۵). عامل $\frac{0.622 p_{\text{هوا}}}{p}$ ضریبی است که

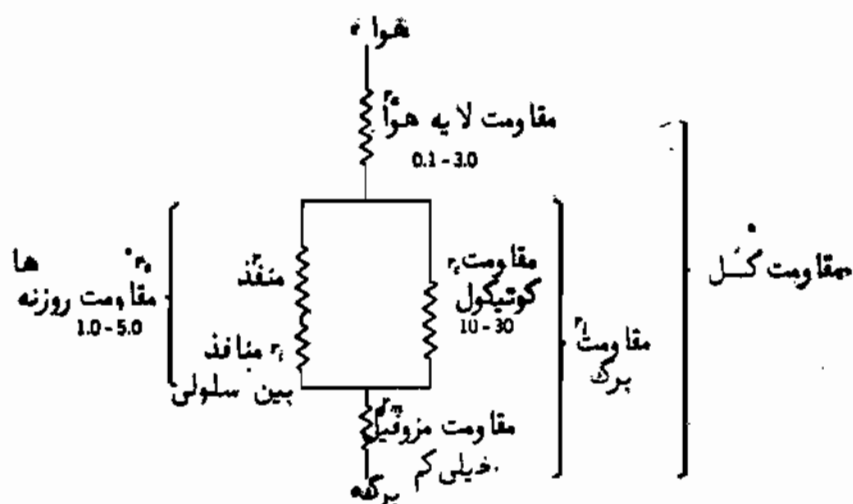
Δe را به Δe تبدیل می نماید (بایرز^۷ ، ۱۹۵۹ صفحه ۱۶۰) . مقدار این

ضریب 10^{-6} می باشد یعنی یک میلی متر فشار بخار تقریباً معادل یک میلی گرم بخار آب در هر لیتر هوا است .

مقادیر هر یک از اجزاء معادله ۲-۹ در بخش زیر به تفصیل مورد بررسی قرار می گیرد . در وهله اول، توازن انرژی در برگها مورد مطالعه قرار خواهد گرفت .

استفاده از انرژی در تعرق

مقدار انرژی که به یک گیاه خاص یا برگ وارد می شود یا مستقیماً از خورشید تامین می گردد یا این که از سطوح خاک و گیاهان اطراف



شکل ۱-۹ : دیاگرام مقاومتها در مقابل پخشیدن آب از برگها . مقدار تعرق بادرجه شیب فشار بخار بین برگه e و هوا e_a بطور مستقیم و بامقدار مقاومتها برحسب ثانیه در سانتی متر بطور معکوس متناسب است . ارقام عبارتند از ، مقاومتهایی که در گونه های مزوفیتی برحسب ثانیه در سانتی متر بدست آمده است .

منعکس شده و یا حرارتی است که بطور افقی از اطراف می رسد . تلفات انرژی بصورت تابش برگشتی ، انتقال عمودی حرارت و نیز گرمای نهان بخار آب می باشد . چندین مطالعه مفصل در زمینه تبادل انواع مختلف

انرژی انجام شده است (راشکی^۸، ۱۹۵۸؛ ۱۹۵۶، تی بالس و همکاران^۹، ۱۹۶۴؛ گیتس و همکاران^{۱۰}، ۱۹۶۵؛ نوروگی^{۱۱}، ۱۹۶۵)؛ گیتس^{۱۲}، (۱۹۶۵، ۱۹۶۲) و اسلاچر^{۱۳} (۱۹۶۷) صورت معمولی ترازنامه انرژی برگها را تهیه نموده اند. خوانندگان برای کسب اطلاعات بیشتر می توانند به این منابع رجوع نمایند.

در گفتگوی از ترازنامه انرژی اصطلاحاتی مثل انتقال عمودی حرارت (کنوکتیو^{۱۴})، انتقال افقی حرارت (ادوکتیو^{۱۵})، گرمای نهان و گرمای محسوس زیاد استعمال می شود. لذا تعریف آنها ممکن است مفید واقع گردد. کنوکتیو به حرکت حرارت یا انرژی توسط توده هوا اطلاق شده و معمولاً در جهت عمودی است. ادوکتیو به انتقال افقی حرارت اطلاق می گردد. یک مثال بارز را می توان اثر واحه ذکر کرد. که در آن انتقال افقی انرژی از اطراف به طرف یک توده کوچک و مجزا شده گیاه باعث می شود که تعرق بیش از مقداری باشد که می توان از روی انرژی خورشید محاسبه کرد (به شکل ۱۸-۹ مراجعه شود). تبادل گرمای نهان به کسب یا از دست دادن انرژی در اثر تغییر حالت، مثل از دست دادن انرژی در هنگام تبخیر اطلاق می گردد. انتقال گرمای محسوس به تبادل حرارت با هوا گفته می شود.

بار انرژی برگها به سه طریق آزاد می شود، تابش، انتقال عمودی گرمای محسوس، و انتقال گرمای نهان بوسیله تعرق. بنا به گفته

8— Raschke

9— Tibbals et al

10— Gates et al

11— Knoerr and Gay

12— Gates

13— Slatyer

14— Convective

15— advective

16— latent heat

17— sensible heat

ایدسو و بیکر^{۱۸} (۱۹۶۷) بیشتر اوقات انرژی بوسیله تابش است تا انتقال عمودی حرارت یا تعرق. غالباً مقدار حرارتی که بوسیله انتقال عمودی از برگها تلف می شود بیش از مقداری است که بوسیله تعرق از بین می رود. ولی برای گیاهان زراعتی تعرق یکی از مکانیسمهای مهم به شمار می رود. انتقال عمودی گرمای محسوس و بخار آب از برگها بطرف هوا موقعی انجام می شود که شیب درجه حرارت و فشار بخار موجود بوده و تولید نیروهای محرکه را بنماید. شیبها معمولاً در در طول مدت روز وجود دارند. گاهی اوقات، انرژی که بطور افقی منتقل می گردد موجب افزایش ذخیره حرارت شده و مقدار این ذخیره را به بیش از حدی که تابش خورشید تامین می کند می رساند (به شکل ۱۸-۹ مراجعه شود). ازجائی که با این عمل مقداری از حرارت محسوس به برگها منتقل می گردد، لذا تابش و تعرق تنها مکانیسمهای تلفات انرژی می باشند. در شب شیبهای گرمای محسوس و احتمالاً گرمای نهان بطرف برگهایی که با تابش به آسمان خنک شده اند بوجود آمده و غالباً باعث تولید شبنم می گردند. مقدار کمی از انرژی در فتوسنتز به کار رفته و مقدار کمی نیز بصورت حرارت در برگها ذخیره می گردد ولی این مقادیر فقط در اندازه گیریهای دقیقی برای زمانهای کوتاه، شبیه آنچه اسلاچر و برهوزین^{۱۹}، (۱۹۶۴) انجام داده اند، مهم می باشند. بنابراین علاوه بر تابش برگشتی، انتقال عمودی حرارت (H) و بخار آب (LE) نیز فرآیندهای مهم تلفات انرژی به شمار می روند. هر دوی این کمیتها بر حسب واحدهائی مثل کالری در سانتی متر مربع در دقیقه توصیف می گردند. عبارت است از ضریب گرمای نهان آب بر حسب کالری در گرم.

در شکل ۲-۹ مقادیر نسبی تلفات انرژی بصورت تابش، تعرق و انتقال گرمای محسوس برای برگهایی که در شرایط مشخصی قرار گرفته نشان داده شده است. جزء کوچکی از انرژی که در فتوسنتز به کار رفته یا در برگها ذخیره شده است و معمولاً بیش از ۲ یا ۳ درصد نمی باشد، در محاسبات منظور نشده است. وقتی که درجه حرارت هوا و برگ یکسان باشد، تلفات تمام انرژی از طریق تابش برگشتی و تعرق صورت می گیرد (حالت A). وقتی که تعرق بعلت بسته شدن روزنه ها صفر باشد تلفات انرژی بوسیله تابش برگشتی و انتقال گرمای محسوس می باشد (حالت B). معمولاً یک تعادل پویا وجود داشته که در آن هر سه مکانیسم دخالت نموده و درجه حرارت برگ را در متوسطی نگه میدارد (حالت C). در حالت D جریانی از حرارت به طرف برگ ایجاد شده که موجب افزایش تعرق و در نتیجه تلفات انرژی می گردد. این شرایط در داخل گیاه و یا در درختان بزرگی که در آنها برگها در سایه قرار گرفته و با عمل تعرق خشک تراز هوا می باشند اتفاق می افتد.

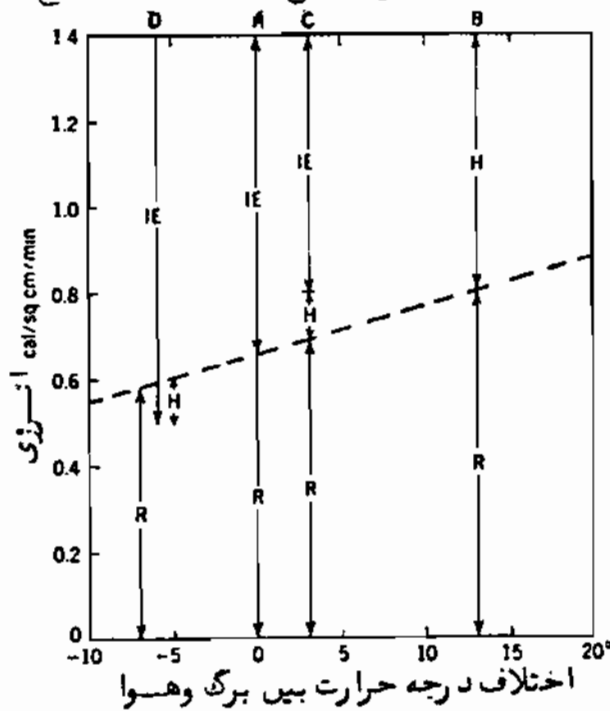
نسبت مقدار حرارتی که بصورت گرمای محسوس منتقل می شود به مقدار حرارتی که به شکل گرمای نهان تعرق می یابد به اسم نسبت بون^{۲۰} (H/LE) نامیده می شود. در شکل ۲-۹ دامنه نسبت بون از صفر در حالت A تا بی نهایت در حالت B که مقدار تعرق ناچیز بوده است تغییر می نماید. در حالت C کمتر از یک و در حالت D این نسبت منفی بوده است. مقدار متوسط آن برای گیاهان زراعتی ۱/۰ تخمین زده شده است ولی در مورد برگها تا ۶ نیز می رسد (ایدسو و بیکر^{۲۱} ۱۹۶۷). بنابراین این علامت و مقدار این نسبت تا حد زیادی از روی درجه حرارت برگ تعیین می گردد. در حقیقت، درجه حرارت برگ بر هر سه مکانیسم تلفات

انرژی موثر است مقدار مطلق آن عامل مستقیم تعیین کننده تابش خروجی بوده و از طریق تاثیر بر فشار بخار اشباع، بطور غیر مستقیم بر گرمای نهان تعرق موثر می باشد. مقدار آن نسبت به هوای اطراف بطور مستقیم جریان انتقال عمودی گرمای محسوس را کنترل می نماید. خوانندگان باید توجه داشته باشند که درجه حرارت برگ یکنواخت نبوده و بالا و پائین رفتن آن موجب واکنشهای مداومی می گردد که تمام این جریانها را شامل می شود.

انتقال بخار آب

مسیر حرکت بخار آب

در تبخیر از برگ دو محل اصلی وجود دارد که یکی از آنها در جدار سلولهای مزوفیلی در نزدیکی منافذ بین سلولی قرار گرفته و دیگری در سطح خارجی سلولهای بشره واقع شده است. سطح خارجی سلولهای



شکل ۹-۲ : دیاگرام نشان دهنده مقدار تخمینی تبادل بوسیله تعرق (IH)، تابش (R) و انتقال حرارت محسوس (H) برای برگ‌ی به‌عرض ۱۰ سانتی‌متر در ۲۵ درجه سانتی‌گراد و سرعت باد ۲۰۰ سانتی‌متر در ثانیه و جذب انرژی به‌مقدار ۱/۴ کالری در سانتی‌متر مربع در دقیقه . از مقدار حرارت کمی که در فتوسنتز به‌کار رفته یا بوسیله تنفس تلف می‌شود صرف‌نظر شده است . این آمار فقط برای یک سطح از برگ‌ی که در معرض مستقیم تابش قرار گرفته است می‌باشد (از اسلاچر^{۲۲} ، ۱۹۶۷) .

بشره اغلب گونه‌های گیاهی را لایه‌ای از کوتیکول فرا گرفته که مقاومت آن در مقابل حرکت بخار آب زیاد است . آب ظاهراً بطور مستقیم از طریق انشعابات آوندی برگ به داخل سلولهای بشره پخشیده می‌شود (فیلپوت^{۲۳} ، ۱۹۵۳ ، وایلی^{۲۴} ، ۱۹۴۳) . احتمالاً همان‌گونه که در فصل هشتم گفته شده بیشتر این آب در جدار سلولها قرار گرفته است . آبی که از سلولهای مزوفیل تبخیر می‌شود بصورت بخار به داخل منافذ بین سلولی پخشیده شده و از سوراخهای روزنه خارج می‌گردد . بیشتر تلفات آب از داخل روزنه‌ها زمانی صورت می‌گیرد که سوراخهای روزنه باز باشد . زیرا در این حالت مقاومت مسیر در مقابل حرکت نسبتاً اندک می‌باشد . وقتی روزنه‌ها بسته باشند تنها راه موجود حرکت از داخل سلولهای بشره و کوتیکول است . ساختمان برگ (در شکل ۳-۹ نشان داده شده است) بعداً به تفصیل بیشتری در این فصل مورد گفتگو قرار خواهد گرفت .

چون مسیرهای روزنه و کوتیکول به موازات یکدیگر واقع شده‌اند ، لذا مقاومت آنها عبارت خواهد بود از :

22— Slatyer

23— Philpott

24— Wylie

$$\frac{1}{r_l} = \frac{1}{r_c} + \frac{1}{r_s} \quad (9-3)$$

که r_l مقاومت کل برگ، r_c مقاومت کوتیکول و r_s مقاومت در مسیر روزنه بر حسب ثانیه در سانتی متر می باشد. مقاومت در مسیر روزنه از مجموع چندین مقاومت که بطور سری قرار گرفته اند تشکیل شده است. این مقاومتها عبارتند از جدار ساولهای مزوفیل (r_m)، منافذ بین ساولی (r_i) و خود سوراخ روزنه ها (r_q). مجموعاً مقاومت کل روزنه ها (r_s) را می توان با معادله زیر تشریح نمود:

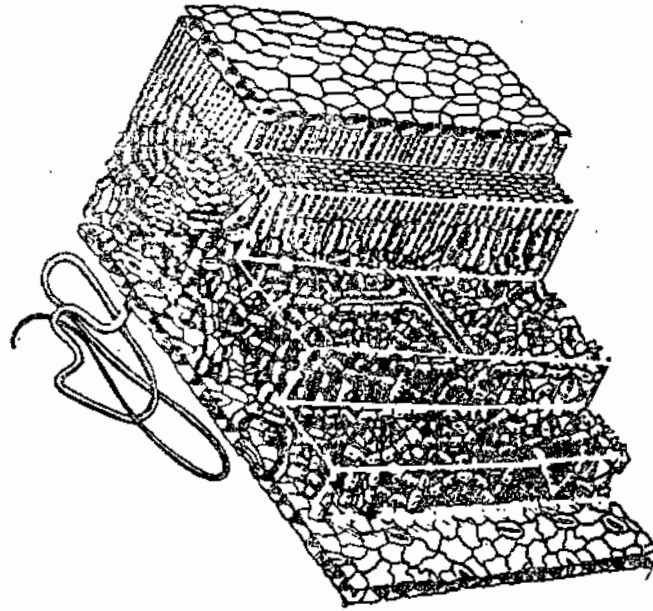
$$r_s = r_m + r_i + r_p \quad (9-4)$$

گرچه این مقاومت های خاص را می توان با توصیف های پیچیده تری شبیه آن چه میل تورپ و اسپنسر^{۲۵}، ۱۹۵۷ و میل تورپ^{۲۶} (۱۹۵۹) به کار برده اند نیز تشریح نمود ولی همین معادلات ساده برای منظور ما کافی می باشد.

مقادیر نسبی مقاومت های مختلف در مقابل پخشیدگی

از معادلات (۹-۲) تا (۹-۴) چنین برمی آید که مقادیر نسبی مقاومت مسیرهای مختلف بخار آب عامل تعیین کننده اثر هریک از آنها بر تفرق است.

مقاومت خارجی: در شکل ۹-۴ آمارهائی داده شده است که اثر سرعت باد و نیز اثر عرض برگ در جهت باد را بر مقاومت لایه مرزی برگ r_a نشان می دهد. مقدار معمولی r_a برای برگ به عرض ۱ سانتی متر مثل برگ پنبه، از ۳ ثانیه بر سانتی متر در سرعت باد ۱۰ سانتی متر در ثانیه تا ۳/۰ ثانیه بر سانتی متر در ساعت باد ۱۰ متر در ثانیه متغیر



شکل ۳-۹: دیاگرام ساختمان داخلی برگ سبب که نشان دهنده مقدار زیادی سطوح خارجی سلول برای تبخیر آب و حجم زیاد منافذ هوای داخلی است که آب از آنها به طرف روزه‌ها پخشیده می‌شود. هم‌چنین توجه شود که يك آوند بزرگ و نیز آوندهای کوچک به مزوفیل اسفنجی منتهی می‌گردند (از ایماس و مک‌دانیلز^{۲۷}، چاپ دوم، ۱۹۴۷).

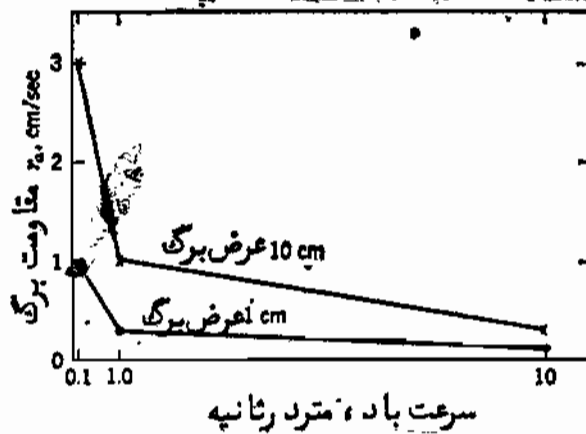
است. برای مقایسه، مقدار آن در برگ چمنی به عرض يك سانتی‌متر معادل ۱ تا ۱/۰ ثانیه در سانتی‌متر می‌باشد. این مقادیر با آمارهائی که کوپر^{۲۸} (۱۹۶۳)؛ مارتین^{۲۹} (۱۹۴۳) و راشکی^{۳۰} (۱۹۵۶) در مورد برگهای تعدادی از گونه‌ها و یا نوارهای کاغذ خشك‌كن بدست آورده‌اند مطابقت می‌کند. مانند نمونه‌هائی که بعداً ذکر خواهد شد، این ارقام نیز بر اساس سطح برگ (که با حاشیه آن مشخص می‌شوند) تعیین شده‌اند. مقاومت برگ: مقاومت داخلی برگ را می‌توان، با قراردادن برگها

27— Emas and MacDaniels

28— Kuiper

29— Martin

30— Raschke



شکل ۹-۴: مقدار تقریبی مقاومت هوا در سه سرعت مختلف باد . برای برگ پنبه به عرض ۱۰ سانتی متر و برگ چمن به عرض یک سانتی متر . (از اسلاچر^{۳۱}، ۱۹۶۷)

در داخل تونل هوا یا اطاقك فتوسنتز که بتوان حرکت هوا و دیگر عوامل محیطی را اندازه گیری و کنترل کرد، ارزیابی نمود . دامنه مقدار ۸ از ۱۰ Sec/cm برای گیاهان سایه پسند تا ۱۰۰ Sec/cm یا بیشتر برای گیاهان مقاوم به خشکی متغیر است . در جداول ۹-۲ تا ۹-۵ برخی ارقام مربوط به مقاومت قشر کوتینی داده شده است . کوپر^{۳۲} (۱۹۶۱) گزارش کرده است این مقادیر در مورد گوجه فرنگی و لوبیا به ترتیب ۹/۸ و ۹/۶ ثانیه بر سانتی متر بوده است . چون هردو اندازه گیری در ناریکی انجام شده لذا فرض می شود که تعرق کلا از طریق کوتیکول انجام می پذیرد . اسلاچر و برهوزین^{۳۳} (۱۹۶۵) این مقدار را در مورد پنبه ۳۲/۳ Sec/cm گزارش کرده اند . حال آن که بویرونپیلینگ^{۳۴} (۱۹۶۵) گزارش نموده اند که این ارقام برای پنبه و برگو با استفاده از ظروف سایکرومتر معادل ۱۹/۰ Sec/cm می باشد . این پژوهشگران برای

31— Slatyer

32— Kuiper

33— Slatyer and Bierhuizen

34— Boyer and Knipling

گوجه فرنگی ۱۱ و برای شمعدانی رقم Sec/cm ۶ را ذکر نموده‌اند . فرض شده‌است که در ظرفی که در تاریکی قرار گرفته روزنه‌ها بسته بوده‌اند .

وقتی روزنه‌ها بازباشند ، مقاومت مسیر روزنه‌ها r_s در مقابل حرکت آب بقدری کمتر از مقاومت کوتیکول می‌باشد که بیشترین مقدار بخار آب از مسیر روزنه‌ها خارج می‌گردد . مقادیر r_s در روزنه‌های باز گندم ۶/۰ تا ۲/۴ (پنمن و اسکوفیلد^{۳۵} ، ۱۹۵۱ ؛ پنمن و لانگ^{۳۶} ، ۱۹۶۰) ، برای زبرینا^{۳۷} ۱/۵ (بانج^{۳۸} ، ۱۹۵۳) ، برای شلغم و چفندر قند ۱/۶ تا ۱/۸ (گاسترا^{۳۹} ، ۱۹۵۸) و برای پنبه Sec/cm ۱ (اسلاچر و برهوزین^{۴۰} ، ۱۹۶۴ ، هم‌چنین مراجعه شود به جدول ۲-۹) ذکر شده است . گیتس^{۴۱} (۱۹۶۶) گزارش نموده‌است که مقاومت روزنه‌های باز برای تبریزی و صنوبر بین ۵ تا ۱۰ ، برای کاج سفید ۴۰ تا ۵۰ و برای پتریدیوم آکویلینوم^{۴۲} بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ ثانیه بر سانتی‌متر است . البته بنظر می‌رسد که رقم آخری بسیار زیاد باشد . مهمترین عاملی که بر مقاومت روزنه‌ها مؤثر است اندازه سوراخ آنها می‌باشد . در شرایط طبیعی ، اندازه سوراخ روزنه‌ها بیشتر بستگی به شدت نور و پتانسیل آب برگ دارد . البته اثر شدت نور و تا اندازه کمتری اثر پتانسیل آب بستگی به غلظت داخلی اکسیدکربن دارد . در شکل ۵-۹ نمونه‌ای از اثر شدت نور بر اندازه سوراخ روزنه‌ها و در نتیجه مقاومت روزنه r_s داده شده است .

35— Penman and Schofield

36— Penman and Long

37— Zebrina

38— Bange

39— Gaastra

40— Slatyer and Bierhuizen

41— Gates

42— Pteridium aquilinum

جدول ۹-۲ : مقاومت لایه مرزی، r_{sa} ، کوتیکول، r_c ، روزنه، r_s و مزوفیل، r_m در مقابل حرارت بخار آب و دی اکسید کربن دربرگهای گونه های مختلف (از هولمگرن، جاوریس و جارویس^{۴۳}، ۱۹۶۵).

گونه	مقاومت در مقابل انتقال			
	بخار آب		CO2	
^{۴۴} بتولا و کوزا	۰/۸	۰/۹۲	۸۳	۱/۵۸
^{۴۵} کورکوس روبر	۱/۶۹	۶/۷	۲۸۰	۱۱/۳
^{۴۶} آسر پلاتانوئیدس	۰/۶۹	۴/۷	۸۵	۸
^{۴۷} سیر که آلوده تیانان	۰/۶۱	۱۶/۱	۹۰	۲۷/۴
^{۴۸} لامیوم گائوبدولون	۰/۷۳	۱۰/۶	۲۷	۱۸/۰
^{۴۹} هلیانتوس آنوس	۰/۵۵	۰/۳۸	—	۰/۶۵

43— Holmgren, Jarvis and Jarvis

44— Betula verrucosa

46— Acer platanoides

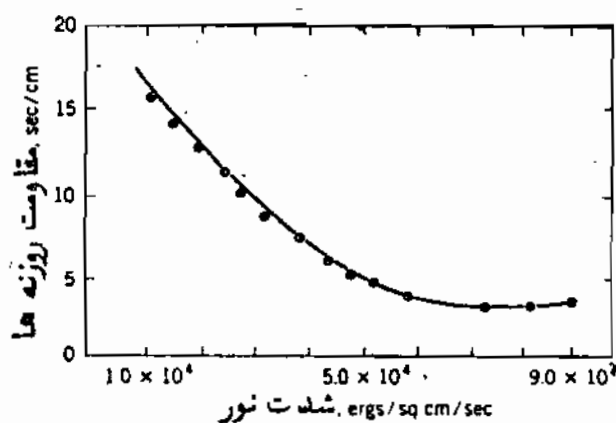
48— Lamium galeobdolon

45— Quercus robur

47— Circaea lutetiana

49— Helianthus annuus

علاوه بر مقاومت روزنه‌ها، می‌توان مقاومتهای منافذ بین سلولی و سلولهای مزوفیل را نیز در نظر گرفت. مقاومت بین سلولی را می‌توان با استفاده از جریان هوا در یک پرومتر^{۵۰} سنجید. بنظر می‌رسد که مقدار این مقاومت در گندم ناچیز باشد (میل تورپ و اسپنسر^{۵۱}، ۱۹۵۷) ولی مقدار آن در برخی از گونه‌ها قابل اندازه‌گیری بوده (بانج^{۵۲}، ۱۹۵۳؛ هیث^{۵۳}، ۱۹۴۱) و هر چه برگها بیشتر آب خود را از دست بدهند مقاومت نیز به دلیل تغییر ابعاد داخلی افزایش می‌یابد.



شکل ۹-۵: اثر شدت نور (در قسمت قابل رؤیت طیف) بر باز شدن روزنه‌های لوبیا که بر حسب تغییر مقاومت در مقابل پخشیدگی اندازه‌گیری شده است. (از ریجتما^{۵۴}، ۱۹۶۵)

با اندازه‌گیری‌هایی که با پرومترهای نوع پخشیدنی انجام شده (جارویس و اسلاچر^{۵۵}، ۱۹۶۷)، پیشنهاد می‌شود که مقاومتهای بین سلولی، حداقل در زمانی که روزنه‌ها باز می‌باشند، جزء قابل توجهی از r_s را تشکیل می‌دهد. انتظار می‌رود که این مقدار در برگهای

50— Porometer

51— Milthorpe and Spencer

52— Bange

53— Heath

54— Rijtema

55— Jarvis and Slatyer

ضخیم و برگهائی که منافذ بین سلولی آنها کوچک است بیشتر از مقدار آن در برگهای نازک یا برگهائی باشد که منافذ بین سلولی آنها بزرگ است . اهمیت مقاومت مزوفیل ^{۵۶}rm ده ها سال است که مورد بحث قرار گرفته است . در اوایل این قرن گزارش شد که غالباً سرعت تعرق بدون این که در اندازه سوراخ روزنه ها تغییری حاصل شود کاهش می یابد (لوینگ استن ^{۵۶} ، ۱۹۰۶ ؛ لوید ^{۵۷} ، ۱۹۰۸ ؛ نایت ^{۵۸} ، ۱۹۱۷) . این پدیده را لوینگ استن و براون ^{۵۹} (۱۹۱۲) «خشکی اولیه» مصطلح نموده اند . چنین اظهار شده است که اگر تعرق سریع باشد یا تامین آب کافی نباشد ، سطوح تبخیر به جدار سلولها عقب نشینی نموده و با طولانی شدن مسیر پخشیدگی آب و پائین آمدن فشار بخار ، سرعت تعرق کاهش می یابد . محققین انگلیسی مثل گریگوری و همکاران ^{۶۰} (۱۹۵۰) ؛ میل تورپ و همکاران ^{۶۱} (۱۹۶۰ ، ۱۹۵۹ ، ۱۹۵۷) و ویلیامز و امر ^{۶۲} (۱۹۵۷) با استفاده از پرومترهائی که با جریان هوا کار می کنند دریافته اند که محتوی آب برگ (از آماس کامل تا برگهای پلاسیده) ، بجز در مورد روزنه های بسته ، هیچ گونه اثری بر تعرق نداشته است . میل تورپ و اسپنسر ^{۶۳} (۱۹۵۷) گزارش نموده اند که فقط ۲ درصد مربوط به مقاومت در مسیر خارج روزنه ای است . البته این پژوهشگران دریافته اند که با ظاهر شدن پژمردگی ، حتی اگر اندازه سوراخ روزنه ها نیز تغییر نکند ، مقدار تعرق حدود ۲۰ درصد کمتر از حالت اولیه خود می باشد و این می رساند که

56— Livingstone

57— Loyd

58— Knight

59— Livingstone and Brown

60— Gregory et al

61— Milthorpes et al

62— Williams and Amer

63— Milthorpe and Spencer

بکنوع تغییرات داخلی انجام می‌پذیرد .

شواهدی در دست‌است که نشان می‌دهد جدار خارجی سلولهای مزوفیل کوتینی بوده و یا حداقل بالایه چربی ضدآب غیر قابل خیس شدنی پوشیده شده‌است (فری - ویسلینگ و هاوزمان^{۶۴} ۱۹۶۱؛ لويس^{۶۵} ، ۱۹۴۵ ، ۱۹۴۸ ، اسکات^{۶۶} ، ۱۹۵۰ ، ۱۹۵۹ ، ۱۹۶۴) . این موضوع دلالت براین دارد که تبخیر بیشتر از داخل منافذ جدار سلولها صورت می‌گیرد تا از سطوح برگه، یعنی مسیر حرکت بخار آب طولانی است . بهر حال ، گاف و همکاران^{۶۷} (۱۹۶۴) با واردنمودن سُل‌طلا به داخل جریانی تعرقی دریافته‌اند که این ماده در سطوح خارجی سلولهای مزوفیلی متراکم می‌گردد . این موضوع پیشنهاد می‌کند که عالی‌رغم خاصیت ضدآبی که دارد ، جریان آب بطرف سطوح سلولی ادامه پیدا می‌کند .

با این فرض که شعاع بزرگترین منفذ از ۱۰ میکرون متجاوز نیست، اسلاچر^{۶۸} (۱۹۶۶) بعید می‌داند که تا زمانی که ψ_m به کمتر از ۱۵۰ - بار برسد مقدار عقب‌نشینی آب به داخل سطوح جدار خارجی سلولهای مزوفیل قابل توجه باشد . نفوذپذیری زیاد جدار سلولها در مقابل آب (راسل و ولی^{۶۹} ۱۹۶۱؛ ودرلی^{۷۰} ، ۱۹۶۳) چنین پیشنهاد می‌نماید که تامین آب عامل محدود کننده نیست بهر حال اگر هدایت آب قسمت کوتینی شده جدار سلولها به مراتب کمتر از بقیه جدار سلول باشد ،

64— Frey - Wyssling and Hausermann

65— Lewis

66— Scott

67— Gaff et al

68— Slatyer

69— Russell and Woolley

70— Weatherley

غلظت موثر بخار آب در سطوح خارجی به مراتب کمتر از مقدار معادل پتانسیل آب سلولهای برگ است. اگر چنین باشد، انتظار می رود که با يك اندازه ثابت سوراخ روزنه مقدار تعرق با تغییرات برگه بیش از تغییرات برگه^{۷۱} تغییر می نماید (به معادله ۲-۹ مراجعه شود). شواهد این پدیده راشیمشی^{۷۱} (۱۹۶۳) و جارویس و اسلاچر^{۷۲} (مذاکرات شخصی) پیدا نموده اند. و دراسیون^{۷۳} (۱۹۶۸) دریافت که مقاومت مزوفیل در برگهای نوع مزوفینی قابل اغماض است.

شیب فشار بخار از برگ تا هوا

با خاتمه بحث مقدار مقاومت در مقابل خروج بخار آب، اکنون ما توجه خود را به نیروهای محرك هوا c - برگه c یا هوا e - برگه e در معادله (۲-۹) معطوف می داریم. اگر مقاومتها ثابت باشند اختلاف فشار بخار آب یا غلظت بخار بین برگ و هوا عامل کنترل کننده حرکت بخار آب است. این اختلاف به دو متغیر بستگی دارد. فشار بخار یا غلظت بخار هوای اطراف برگها و فشار بخار یا غلظت در سطوح تبخیر کننده برگها.

فشار بخار سطوح تبخیر بیشتر بستگی به درجه حرارت برگ و پتانسیل آب سطح تبخیر دارد. اگر پتانسیل در سطح تبخیر (سطح $\frac{1}{2}$) صفر باشد. فشار بخار در سطح و در درجه حرارت موجود معادل فشار بخار اشباع آب است. اثر درجه حرارت بر فشار بخار اشباع آب در جدول ۳-۹ مشاهده می شود. افزایش درجه حرارت از ۱۰ به ۳۰ فشار بخار را از ۹/۲ به ۳۱/۸ میلی متر جیوه یعنی بیش از سه برابر افزایش

71— Shimshi

72— Jarvis and Slatyer

73— Weatherspoon

می‌یابد. اگر حرارت به 4° درجه سانتی‌گراد برسد این مقدار به $55/3$ میلی‌متر جیوه می‌رسد. از این ارقام چنین برمی‌آید که حتی تغییر جزئی درجه حرارت برگ به مقدار زیادی بر سرعت تلفات آب و نیز تلفات حرارت موثر است. در حقیقت اگر ra و rl تقریباً ثابت باشند تغییرات درجه حرارت احتمالاً عامل اصلی اغلب تغییرات کوتاه مدت تعرق می‌باشند.

این فرض که پتانسیل آب در سطح سلول‌های مزوفیل صفر است همیشه صادق نمی‌باشد. زیرا با توسعه کمبود آب در سلول‌های معرق برگ، مقدار این پتانسیل نیز تقلیل می‌یابد. علاوه بر این احتمال دارد که پتانسیل آب در سطوح سلول کمتر از پتانسیل کالی برگ باشد. این امکانات به تفصیل بیشتری مورد بحث قرار می‌گیرد.

جدول ۹-۳: اثر درجه حرارت بر فشار بخار آب و شیب فشار بخار از برگ تا هوا Δe فرض می‌شود که پتانسیل آب برگ صفر بوده و رطوبت نسبی هوا ثابت می‌باشد.

درجه حرارت C°	فشار بخار اشباع	فشار بخار شوا در 60% رطوبت نسبی	شیب فشار بخار e
۰	۴/۶	۲/۷	۱/۹
۱۰	۹/۲	۵/۵	۳/۷
۲۰	۱۷/۵	۱۰/۵	۷/۰
۳۰	۳۱/۸	۱۹/۰	۱۴/۸
۴۰	۵۵/۳	۳۳/۲	۲۲/۱

اثرات کاهش برگ را بر فشار بخار می‌توان از روی معادله (۷-۱)، که ψ را با فشار بخار مرتبط می‌سازد، پیش‌بینی نمود. از این

معادله می‌توان محاسبه نمود که اگر w/ψ برابر ۱۵ - ۳۰ و ۶۰ - بار باشد فشار بخار نسبی (e/e^0) در ۳۰ درجه سانتی‌گراد در سطوح سلول تقریباً معادل ۹۹/۹۸۶۰/۹۶۶۰ خواهد بود. جدول ۴-۹ فشارهای بخار سطوح سلول را در این مقادیر w/ψ و اختلاف فشار بین برگ و هوا (Δe) را در دو رطوبت نسبی مختلف نشان می‌دهد. از این ارقام چنین مشاهده می‌شود که کاهش شیب فشار بخار به علت کاهش برگ ψ در مقایسه با اثر سایر عوامل بر Δe بسیار کوچک است. بنابراین اثراتی که تغییرات معمولی پتانسیل آب برگ بر تعرق دارند ناچیز است.

گرچه معمولاً فرض می‌شود که پتانسیل آب در سلولهای مزوفیل سطح برگ مساوی پتانسیل کلی بافت برگ است، ولی این فرض همواره صحیح نبوده و گاهی اوقات کمتر از آن می‌باشد. بهر حال چون نمی‌توان سطح را مستقیماً اندازه‌گیری نمود، در مورد وضعیت حقیقی و این که آیا رطوبت نسبی فضاهای بین سلولی واقعاً کمتر از نقطه اشباع است

جدول ۴-۹: فشارهای بخار سطوح سلول برگ در سه مقدار پتانسیل آب w/ψ و اختلاف فشار بخار بین برگ و هوا Δe در دو رطوبت نسبی مختلف. (کاهش w/ψ برگ به ۶۰ - مقدار Δe را در رطوبت نسبی ۸۰ درصد به مقدار ۲۰ درصد کاهش می‌دهد ولی مقدار کاهش در رطوبت نسبی ۵۰ درصد معادل ۸ درصد خواهد بود).

w/ψ سلولهای مزوفیل بر حسب بار	e بر حسب میلی‌متر جیوه	Δe اثر رطوبت نسبی هوا ۸۰٪	Δe اثر رطوبت نسبی هوا ۵۰ درصد باشد
۳۰ - بار	۳۱ / ۵۰	۶ / ۰۴	۱۵ / ۵۹
۱۵ -	۳۱ / ۱۸	۵ / ۷۳	۱۵ / ۲۷
۶۰ -	۳۰ / ۵۵	۵ / ۰۹	۱۴ / ۶۳

تردیدهائی وجود دارد. شیمشی^{۷۴} (۱۹۳۶) گزارش w کرده است که

در ذرت حدود ۹۰ - باراست ، در حالیکه وایت من و کولر^{۷۵} (۱۹۶۴) برای بوته‌های صحرایی ورموریا^{۷۶} پتانسیل‌های ۱۸۰ - تا ۳۲۰ - بار را گزارش نموده‌اند . جارویس و اسلاچر^{۷۷} (گفتگوهای شخصی) مقدار سطح ψ را در برگ‌های آبدار و سریع‌التعرق پنبه حدود ۱۰۰ - بار تخمین زده‌اند . این می‌رساند که فشار بخار در سطوح تبخیر ممکن است به مراتب پائین‌تر از نقطه اشباع باشد .

بنظر می‌رسد پائین بودن مقدار سطح ψ را به دو دلیل بتوان توضیح داد (۱) محدود بودن ذخیره آب برای سطوح تبخیر یا (۲) تجمع اجسام حل شدنی در سطح . احتمال محدود بودن ذخیره آب در سطوح تبخیر در قسمت مربوط به مقاومت برگ تشریح گردید . به علت نفوذ پذیری زیاد جدار سلول‌ها در مقابل حرکت آب و نیز منافذ کوچک داخل آنها ، اسلاچر^{۷۸} (۱۹۶۶) نسبت به هر گونه عقب نشینی سطح آب مردداست . البته جدار سلول‌های مزوفیلی را قشر کوتیکول فرا گرفته و جارویس و اسلاچر (a) (۱۹۶۶) پائین بودن فشار بخار را در گیاهان معرق به علت نفوذ پذیری کم لایه کوتیکول می‌دانند .

تجمع اجسام حل شدنی در لایه دست نخورده روی سطوح تبخیر سلول‌های برگ نیز ممکن است موجب کاهش سطح e و سطح ψ گردد . بون لانگ^{۷۹} (۱۹۴۱) نشان داده‌است که مقدار تبخیر از غشائی که روی محلول ۱ ملی ساکارز قرار گرفته باشد بیش از تبخیر از غشائی است که روی آب قرار گرفته باشد : زیرا تجمع اجسام حل شدنی در سطح تبخیر موجب کاهش سطح ψ و Δe می‌گردد . آزمایشات منتشر نشده مولف که در آن مطالعه بون - لانگ با بهم زدن لایه دست نخورده تجدید

75— Whiteman and Koller

76— Reamuria

77— Jarvis and Slatyer

78— Slatyer

79— Boon - Long

شده است مویید این نظریه است. این وضعیت موجب افزایش سرعت پخشیدن شده و از کاهش تبخیر محلول جاوگیری می‌کند. البته، بعید بنظر می‌رسد که تجمع اجسام حل شدنی در لایه دست نخورده سطح تبخیر برگها حائز اهمیت باشند. جارویس و اسلاچر^{۸۰} (۱۹۶۷) مشاهده نرد که تا چندین ساعت پس از تهرق سریع که از نظر تجمع اجسام حل شدنی در سطح تبخیر مناسب می‌باشد، افزایش قابل ملاحظه‌ای در سطح ψ بوجود نیامد. اسلاچر^{۸۱} (۱۹۶۶) نیز نتیجه گرفته است که پخشیدگی اجسام حل شدنی از کاهش سطح ψ جلوگیری بعمل می‌آورد. بنظر می‌رسد که در زمینه کاهش پتانسیل آب در سطوح تبخیر باید مطالعات زیادتری صورت گیرد.

برگها و ارتباط آنها با تهرق

اندازه، شکل و خصوصیات سطح برگها می‌تواند بر درجه حرارت آنها و در نتیجه برگ e و مقاومت خارجی ra آنها موثر باشد. در حالیکه، ساختمان داخلی برگ بر مقاومت آنها در مقابل حرکت بخار آب یعنی rl موثر است.

سطح برگ و طرز قرار گرفتن آن

سطح کل برگ و ترتیب یا شکل قرار گرفتن برگها بر روی گیاه اثرات مهمی بر تلفات آب از هر يك از برگها یا گیاه دارد. کاهش سطوح برگها بوسیله هرس درخت معمولاً موجب می‌گردد که میزان تلفات آب از برگهای باقی مانده افزایش یابد. کلی^{۸۲} (۱۹۳۲) گزارش نموده است که اگر نیمی از برگهای درختان قطع گردند تهرق برگهای دیگر ۲۹

80— Jarvis and Slatyer

81— Slatyer

82— Kelley

تا ۹۰ درصد افزایش می‌یابد. افزایش تعرق به دلیل این است که برگهای باقی مانده بیشتر در معرض اشعه خورشید قرار گرفته و هوا در اطراف آنها به چرخش در می‌آید. یکی دیگر از دلایل افزایش تعرق بالا رفتن نسبت ریشه‌ها به شاخه‌ها است که در نتیجه آن آب بیشتری در اختیار برگها قرار می‌گیرد. بیاوگک لوسکی^{۸۳} (۱۹۳۶) و پارکر^{۸۴} (۱۹۴۹) دریافته‌اند که اگر نسبت ریشه به سطح برگها کاهش پیدا کند، مقدار تعرق نیز تقلیل می‌یابد. در برخی از گونه‌ها مثل لارنیدنتاتا^{۸۵} بروز کمبودهای شدید آب باعث تغییر ساختمان برگ و کاهش تلفات آب می‌گردد. مچاله شدن یا پیچیدن برگها باعث کاهش سطح آشکار برگ شد و مقدار مقاومت r_a را افزایش می‌دهد. این وضعیت بخصوص در مورد برگهایی که تمام یا اکثر روزنه‌های آنها در سطح پائین قرار گرفته است موثر می‌باشد. استالفلت^{۸۶} (۱۹۵۵ صفحه ۲۳۶) مطالعات لمی^{۸۷} را یادآور شده که نشان می‌دهد پیچیدن برگها در مورد گیاهان مناطق مرطوب ۳۵ درصد، در مورد گیاهان مناطق مدیترانه‌ای ۵۵ درصد و در برخی از گیاهان مناطق خشک تعرق را تا ۷۵ درصد کاهش می‌دهد.

طرز قرار گرفتن برگ بر سرعت تعرق موثر است؛ زیرا برگهایی که عمود بر اشعه خورشید می‌باشند گرمتر از برگهایی هستند که با این اشعه‌ها موازی می‌باشند. در اغلب گیاهان برگها کم و بیش عمود بر متوسط جهت اشعه خورشید قرار گرفته‌اند ولی برگهای برخی از گیاهان مثل

83— Bialoglowski

84— Parker

85— Larra tridentata

86— Stalfelt

87— Lemee

بعضی گونه‌های لاکتوکا^{۸۸} و سیلفیوم^{۸۹} و نهالهای بلوط ترکی (کورکوس لایس^{۹۰}) تقریباً موازی اشعه خورشید قرار دارند. گفته شده است که این طرز قرار گرفتن برگها موجب نجات نهالهای کوچک در مناطق خشک می‌گردد. ولی این نظریه هیچ وقت از طریق آزمایش نشان داده نشده است. سوزنهای کاج بصورت خوشه‌ای بوده و روی یکدیگر سایه می‌اندازند. این امر موجب کاهش تعرق و نیز فتوسنتز می‌گردد ولی آمارهای موجود فقط بر کاهش فتوسنتز دلالت دارند (کرامر و کلارک^{۹۱}، ۱۹۴۷). پژمردگی و پیچیدگی برگها گاهی اوقات موجب کاهش دریافت تابش خورشید می‌شوند.

اندازه و شکل برگ بر میزان تعرق در هر واحد سطح برگ نیز مؤثر است. اسلاچسر (۱۹۶۷ صفحه ۲۶۱) اظهار می‌دارد که مقاومت هوا ra برای برگی به عرض ۱۰ سانتی‌متر سه برابر مقدار آن در برگهایی است که عرض آنها ۱ سانتی‌متر می‌باشد. این مطالب در شکل ۴-۹ نشان داده شده است. برگهای کوچک و نیز برگهای مرکب و آنهایی که دارای شیارهای عمیق می‌باشند خنک‌تر از برگهای ساده هستند زیرا وجود لایه مرزی نازک باعث انتقال بیشتر گرمای مخصوص می‌شود. لایه نازک مرزی (هوا r کمتر) در برگهای کوچک از نظر تلفات بخار آب نیز مناسب بوده و لذا خنک شدن و پائین بودن ra از نظر انتقال گرمای نهان در جهت عکس یک دیگر عمل می‌نمایند (راشکی^{۹۲}، ۱۹۶۰). تیبالز و همکاران^{۹۳} (۱۹۶۴) خاطر نشان ساخته‌اند که برگهای پهن در هوای آرام

88— Lactuca

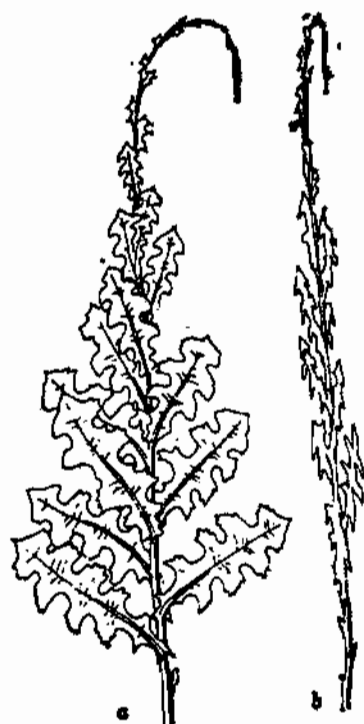
89— Silphium

90— Quercus laevis

91— Kramer and Clark

92— Raschke

93— Tibbals et al



شکل ۹-۶: نحوه قرار گرفتن برگ کاهو تیغی (لاکتوکا اسکاریولا)^{۹۴} در مقابل آفتاب کامل. a. تصویر غربی و b. تصویر جنوبی است. این نحوه قرار گرفتن موجب کاهش جذب انرژی در وسط روز می‌گردد (ازترانسو^{۹۵}، ۱۹۲۵).

گرمتر از سوزنهای مخروطیان می‌باشد روابط انرژی برگهارا گیتز^{۹۶}، (۱۹۶۶)؛ نور^{۹۷} (۱۹۶۶)؛ نوروگی^{۹۸} (۱۹۶۵) و اسلاچر^۹ (۱۹۶۷) صفحات ۲۳۷ تا ۲۴۷) که مطالعات دیگران را نیز در این زمینه جالب متذکر شده است، مورد بحث قرار داده‌اند.

سطوح برگ

مقاومت کوتیکول با ضخامت و ماهیت لایه کوتینی که ساختمان

94— *Lactuca scariola*

95— Transeau

96— Gates

97— Knoerr

98— Knoerr and Gay

99— Slatyer

نسبتاً پیچیده‌ای دارد متغیر است ظاهراً کوتیکول از اکسیداسیون مواد جربی سطوح برگ در مقابل هوا ایجاد شده و روی آن را لایه‌ای از موم فرا گرفته است. در مورد منشأ موم تردیدهایی وجود دارد ولی معمولاً فرض می‌شود که از داخل جدار ساول و کوتیکول مترشح می‌گردد. هال^{۱۰۰} (۱۹۶۷) و هال و درنالدسون^{۱۰۱} (۱۹۶۲) اظهار داشته‌اند که کانالهایی را پیدا نموده‌اند که ممکن است جریان موم از داخل آنها صورت گیرد. هم‌چنین گفته می‌شود که رسوبات زیر کوتیکولی موم نیز دیده می‌شود (شیفرشتان و لومیس^{۱۰۲}، ۱۹۵۹). کوتیکول نسبت به موادی که روی برگ پاشیده می‌شود نفوذپذیر است. این موضوع در مورد تعداد زیادی از اجسام نشان داده شده است (به فصل هفتم مراجعه شود) هولم گرن و همکاران^{۱۰۳} (۱۹۶۵) گزارش کرده‌اند که با افزایش درجه حرارت از ۱۷ به ۲۲ درجه سانتی‌گراد بر مقدار نفوذپذیری نیز افزوده می‌گردد. مارتین^{۱۰۴} (۱۹۴۳) گزارش نموده است که اگر درجه حرارت آفتاب گردان در تاریکی به 49°C برسد میزان تعرق کوتیکولی به حد زیادی افزایش پیدا می‌کند. از این وضعیت چنین برمی‌آید که میزان نفوذپذیری در درجه حرارت زیاد افزایش می‌یابد.

اثر موهای بشره بر تعرق مشخص نشده است. اگر چنانچه این موها زنده باشند مسلماً موجب افزایش سطح تعرق می‌گردند ولی اگر مرده باشند باعث افزایش ضخامت لایه مرزی سطح برگ شده و با جلوگیری از حرکت هوا موجب تقلیل تعرق می‌شوند: آزمایشات سایر^{۱۰۵}

100— Hall

101— Hall and Donaldson

102— Schieferstein and Loomis

103— Holmgren et al

104— Martin

105— Sayre

(۱۹۲۰) نشان داد که با تراشیدن دقیق برگهای گل ماهور^{۱۰۶}، تغییرات تعرق بسیار اندک است. بنظر می‌رسد که معمولاً اثر موها بر انرژی و روابط آب و برگها ناچیز باشد.

خاصیت انعکاس سطح برگها نیز از نظر مقدار کل انرژی جذب شده حائز اهمیت است. برگهای براق و نازک قسمت اعظم تابش خورشید را منعکس ساخته و ضریب انعکاس آنها بیش از برگهای تیره و ضخیم است که مقدار تابش زیادتری را جذب نموده و در نتیجه گرمتر می‌باشند. بنا به گفته وانگ و بلاوین^{۱۰۷} (۱۹۶۷) انعکاس انواع برگها نسبت به اشعه مادون قرمز بسیار کم است. بیلینگز و موریس^{۱۰۸} (۱۹۵۲) گزارش کرده‌اند که ضریب انعکاس برگهای گیاهان کویری بیش از برگهای گیاهانی است که کمتر در معرض تابش خورشید قرار گرفته‌اند. گزارش شده است که اگر بر روی گیاه مخلوط بردو پاشیده شود میزان تعرق کاهش می‌یابد (میلر^{۱۰۹}، ۱۹۳۸) و احتمالاً دلیل آن کاهش درجه حرارت به علت قشر سفیدرنگی است که روی برگها تولید می‌شود.

آناتومی برگ

ضخامت کوتیکول با مقاومت آن رابطه نزدیک دارد. ولی استال فالت^{۱۱۰} (۱۹۵۶) خاطر نشان ساخته است که علاوه بر اختلاف ضخامت سن و مقدار آب نیز بر نفوذپذیری کوتین موثر است. وی اظهار می‌دارد که معمولاً تعرق کوتیکولی برگهای سایه پسند بیش از برگهای آفتاب-

106— mullein

107— Wong and Blevin

108— Billings and Morris

109— Miller

110— Stalfelt

پسنداست و نیز نفوذپذیری کوتیکول در شب بیش از نفوذپذیری آن در روز است زیرا مقدار آب آن در طول شب زیاد می‌باشد. ارقام جداول ۹-۲ تا ۹-۵ مقدار این اختلافات را در گونه‌های مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۹-۵: تعلق کوتیکول گونه‌های متعدد گیاهی در شرایط محیطی

استاندارد بر حسب میلی‌گرم در ساعت در گرم وزن تازه (از پیسک و برگر^{۱۱۱})

۰ (۱۹۲۸)

تعلق	گونه
۱۳۰/۰	ایمپاتینز نولی - تانجر ^{۱۱۲}
۴۷/۰	کالتاپالوستریس ^{۱۱۳}
۲۵/۰	فاکوکس سیلواتیکا ^{۱۱۴}
۲۴/۰	کورکوس روبر ^{۱۱۵}
۵/۰	سدم ماگزیمم ^{۱۱۶}
۱/۵۳	پاینوس سیلوستریس ^{۱۱۷}
۰/۱۲	پنسیا کامانچیکا ^{۱۱۸}

بطور کلی، هرچه ضخامت لایه کوتین بیشتر باشد، میزان تعلق کوتیکولی کاهش می‌یابد. ولی هرچه سن کوتین بیشتر باشد، در آن شکافهائی ایجاد شده و گفته می‌شود که تعلق کوتیکولی از برگهای مسن سریعتر از برگهای جوان است. کوتینها از نظر آب نیز متفاوتند، و خاصیت ضد آبی لایه‌های کوتینی مسن‌تر کمتر از کوتینهای جدید است.

111— Pisek and Burger

112— Impatiens noli - tangere

113— Caltha palustris

114— Fagus sylvatica

115— Quercus robur

116— Sedum maximum

117— Pinus sylvestris

118— Opuntia camanchicq

ظاهراً مومی که مترشح و در سطح کوتیکول مجتمع می‌گردد اثر کمی بر تلفات آب دارد. مطالعات کرافتز و فوی^{۱۱۹} (۱۹۶۲)، فری - ویسلینگ و موله‌تالر^{۱۲۰} (۱۹۵۹) و شیفرشتان و لومیس^{۱۲۱} (۱۹۵۹) نشان داده است که ماهیت کوتین پیچیده است. نفوذپذیری لایه کوتین بامقدار آب آن متغیر بوده و ظاهراً تحت تأثیر مواد شیمیائی، شبیه موادی که در سم‌پاشی به کار برده می‌شود، قرار می‌گیرد (وان اوربیک^{۱۲۲}، ۱۹۵۶، هول^{۱۲۳}، ۱۹۶۴).

سطح داخلی: سطوح داخلی مزوفیل که جدار منافذ بین سلولی را تشکیل می‌دهد نسبت به سطح آشکار برگ به مراتب زیادتر است. تورل^{۱۲۴} (۱۹۴۴، ۱۹۳۶) دریافت که این نسبت برای تعدادی از گونه‌ها بین ۶/۸ تا ۳۱/۳ است. این نسبت معمولاً در برگهای گیاهان مقاوم به خشکی یا برگهای آفتاب‌پسند بیش از برگهای گیاهان مزومورف یا سایه‌پسند است زیرا مقدار بافتهای پارانشیمی آنها زیاد می‌باشد سوانسون^{۱۲۵} (۱۹۴۳) دریافته است که این نسبت در ایلکس^{۱۲۶}، توتون و کولوس^{۱۲۷} به ترتیب ۱۲/۹، ۷/۱ و ۴/۶ می‌باشد. استال فلت^{۱۲۸} (۱۹۵۶) گزارش کرده است که حجم منافذ داخلی برگها در مقایسه با حجم کل برگ بسیار متغیر است. حجمها از ۴۰ تا ۷۰ درصد در گونه‌های مختلف علفی تابستانه تا ۲۰

119— Crafts and Foy

120— Frey - Wyssling and Muhlethaler

121— Schieferstein and Loomis

122— Van Overbeek

123— Hull

124— Turrell

125— Swanson

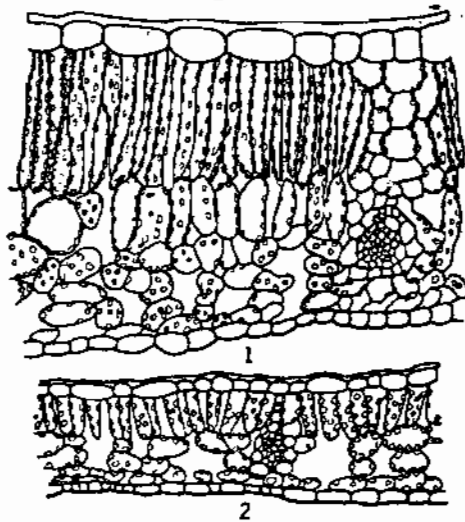
126— Ilex

127— Coleus

128— Stalfelt

و ۴۰ درصد در تایلند^{۱۲۹} و فاگوس^{۱۳۰} متفیر است. حجم داخلی در برگهای آفتابپسند کم و در مورد برگهای سایهپسند زیاد است.

ساختمان و محیط: محیطی که برگها در آن پرورش می‌یابند، به مقدار زیادی بر ساختمان برگ مؤثر است (استال فانت، ۱۹۵۶). یکی از مثالهای استفاده عملی آن در کشاورزی پرورش توتون در سایه است تا به این روش برگهای بزرگ و نازکی که مناسب سیگار برگ هستند تولید گردد. برگهایی که در معرض آفتاب قرار گرفته‌اند معمولاً بابرگهای همان‌گونه که در سایه قرار دارند متفاوت می‌باشند. به این ترتیب که دارای ساولهای کوچک، سطح کم، ضخامت زیاد، قشر کوتینی ضخیم و منافذ بین سلولهای کوچک بوده و معمولاً حاوی یک لایه اضافی سلولهای پارانشیمی می‌باشند. گفته می‌شود که از نظر مقاومت به خشکی سطح بالائی برگ مقاوم‌تر از سطح



شکل ۷-۹: برگ افزای چمنی^{۱۳۱} در قسمت جنوبی تاج (۱) و مرکز تاج (۲). (از ویوروکلمنتز^{۱۳۲}، ۱۹۳۸).

129— *Tilia*

130— *Fagus*

131— *Acer saccharum*

132— Weaver and Clements

پائینی است زیرا کمتر در معرض تابش آفتاب و باد قرار می گیرد. این اختلافات در اثر کمبود شدید آب و از بین رفتن آماس برگهای آشکار درخت است. البته برخی عوامل دیگر مثل درجه حرارت نیز در آن دخالت دارند (به استوکر^{۱۳۳}، ۱۹۶۰ مراجعه شود).

فیل پات^{۱۳۴} (۱۹۵۶) گزارش نموده است که برگهای بوته‌هایی که در مردابهای شرق کارولینای شمالی می‌رویند ضخیم‌تر، مقدار بافت پارانشیم بیشتر و آوندهای کوچک‌تر و کثیف‌تر از برگهای بوته‌های مشابهی است که در جنگلهای مرطوب کوهستانی می‌رویند. وجود تعداد زیادی آوند کوچک در برگهای بوته‌های مردابی احتمالاً به این دلیل است که انتقال عرضی آب و اجسام حل‌شدنی در بافتهای پارانشیم نردبانی مشکل‌تر از مزوفیل اسفنجی است (وایلی^{۱۳۵}، ۱۹۳۹).

خاصیت مقاوم بخشی برگهای بوته‌های مردابی به دایلی خشکی فیزیولوژیکی حاصل از مردابهای تهویه نشده است ولی این مطلب نیز باتریدید پذیرفته شده است. ماتز^{۱۳۶} (۱۹۳۲) اظهار داشته است که ساختمان زیرومورفیک برگهای گیاهان مردابی به دلیل کمبود ازت است. مولر - استول^{۱۳۷} (۱۹۴۷) نیز همین نظر را دارد، ولی البرشت^{۱۳۸} (۱۹۴۰) کمبود کلسیم را مسؤول دانسته است. البته هیچ‌یک از این نظریه‌ها در مردابهای آمریکای شمالی مورد آزمایش قرار نگرفته است. شواهدی در دست است که نشان می‌دهد اثر یونهای مختلف بر آبکی بودن برگها متفاوت است. مثلاً کلرور موجب افزایش و یونهای سولفات موجب کاهش آبکی

133— Stocker

134— Philpott

135— Wylie

136— Mothes

137— Muller - Stoll

138— Albrecht

بودن برگها می گردد . وان ایجک^{۱۳۹} (۱۹۳۹) اظهار داشته است که خاصیت گوشتی بودن گیاهان مقاوم به شوری به دلیل وجود مقدار زیاد یونهای کلر است . بویس^{۱۴۰} (۱۹۵۴) نیز گزارش نموده است که یونهای کلر باعث آبدار شدن برگها می گردد . بطور کلی گیاهانی که در غلظت زیاد کلر می رویند آبکی تر از گیاهانی هستند که در محلولهای محتوی مقدار نمک کم می رویند . استراگونف^{۱۴۱} (۱۹۶۴) اثرات زیادی نمک و برخی یونهای مخصوص را به تفصیل بحث نموده است .

اثراتی که وضعیت آناتومیکی و مرفولوژیکی بر روی مقاومت منافذ بین سلولی و در نتیجه برگ دارند هنوز بطور کلی ارزیابی نشده است . ولی ، محاسبات جارویس ، رزوبک^{۱۴۲} (۱۹۶۷) نشان داده است که در پنبه اگر روزنه ها باز باشند مقاومت منافذ بین سلولی تقریباً معادل مقاومت سوراخ روزنه ها است . ولی اگر روزنه ها بسته باشند مقاومت منافذ به سرعت افزایش یافته و جزء مهم مقاومت برگ را تشکیل می دهد .

روزنه ها :

باتوجه به این که قسمت اعظم تلفات آب از داخل روزنه ها صورت می گیرد ، در هر بحثی که پیرامون تفرق انجام شود لازم است که به روزنه ها توجه خاصی مبذول گردد . در این جا ما منشاء توزیع ، طرز عمل و نقش روزنه ها را در کنترل تفرق برگ مورد بحث قرار خواهیم داد . برخی از این مطالب به تفصیل توسط هیث^{۱۴۳} (۱۹۵۹) ؛ کتل لاپر^{۱۴۴} (۱۹۶۳) ؛

139— Van Eijk

140— Boyce

141— Strogonov

142— Jarvis, Rose, and Begg

143— Heath

144— Ketellapper

میلر^{۱۴۵} (۱۹۳۸ ، صفحات ۴۱۷ تا ۴۴۷) و استال فلت^{۱۴۶} (۱۹۵۶) بحث شده است .

منشاء : ایساو^{۱۴۷} (۱۹۶۵ صفحات ۱۶۳ تا ۱۶۶) طرز تولید روزنه‌ها را و یابه عبارت دقیق‌تر دوسلول محافظی که سوراخ روزنه‌ها را احاطه کرده‌اند تشریح نموده است . سلولهای محافظ از تقسیم سلولهای روزنه مادر که از نظر مرفولوژی و بیوشیمیائی با سلولهای مجاور متفاوت بوده و اثر زیادی نیز بر روی آنها دارند بوجود می‌آیند (استیبنس و شاه^{۱۴۸} ، ۱۹۶۰) . سپس با تقسیم لاملای وسطی دو جدار از یکدیگر مجزا شده و مجرائی به ابعاد متغیر بوجود می‌آید . معمولاً جدار سلولهای محافظ در محل روزنه بسیار ضخیم بوده و اشکال آنها نیز متفاوت است . سلولهای محافظ در بسیاری از گیاهان به هنگام بسته‌بودن به شکل نیم‌دایره و به هنگام بازبودن به شکل قلوه‌است . این سلولها در چمنها کشیده و بطور کلی به اشکال گوناگون مشاهده می‌شوند (به ایساو، ۱۹۶۵ مراجعه شود) . در شکل ۸-۹ چند نمونه از سلولهای محافظ نشان داده شده است .

محل قرار گرفتن :

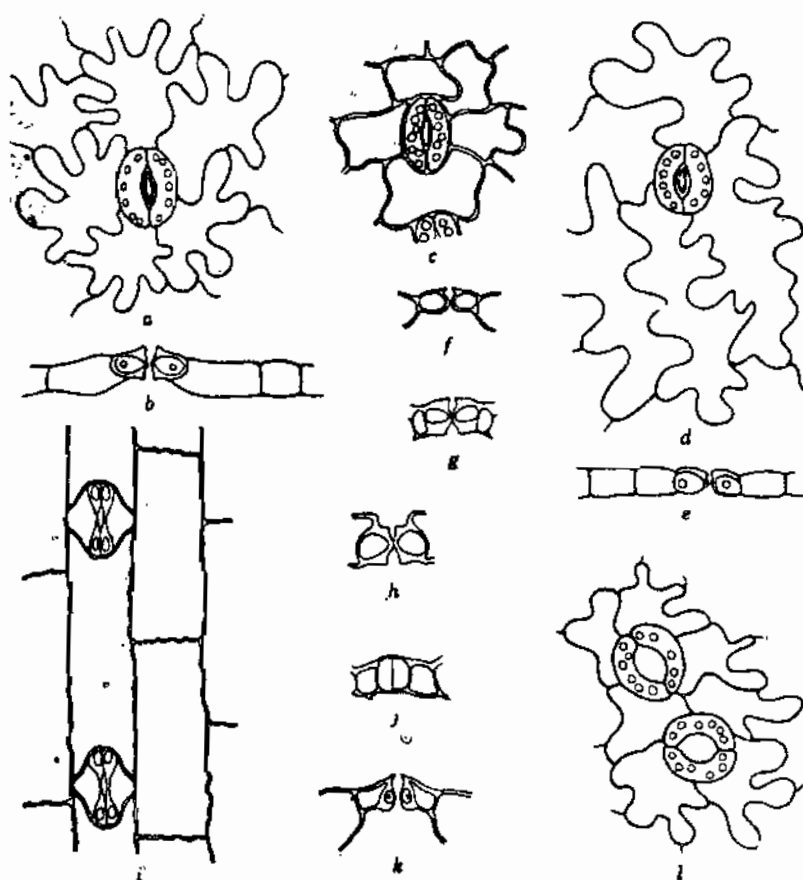
روزنه‌ها در بشره تمام اندامهای گیاه بجز ریشه‌ها دیده می‌شوند ولی تعداد و نحوه پیدایش آنها بسیار گوناگون است . سلولهای محافظ در بسیاری از گونه‌ها با سطح برگ هم‌تراز بوده و گاهی اوقات نیز بالاتر از سطح برگ قرار گرفته‌اند ولی در برخی از گونه‌ها داخل حفره قرار می‌گیرند .

145— Miller

146— Stalfelt

147— Esau

148— Stebbins and Shah



شکل ۸-۹: انواع مختلف روزه‌ها: **a** و **b** از *Solanum tuberosum* ۱۴۹
 است که تصویر روزه و مقطع آن نشان داده شده است. **c** از سیب **d** و **e**
 از *Lactuca sativa* ۱۵۰ **f** از *Medicago sativa* ۱۵۱ **g** از اپلکروم **h** ۱۵۲
 از پلی‌گوناتوم بی‌فلوروم ۱۵۳ **i**، **j**، **k** از زامیز ۱۵۴ **l** تصویر روزه است،
j مقطع انتهائی سنولهای محافظ است، **k** مقطع وسط‌روزنه است، **l** تصویر
 روزه از کوکومیس ساتیویس ۱۵۵ است. (از ایملز و مک دانیلز، ۱۵۶ چاپ
 دوم، ۱۹۴۷).

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 149— <i>Solanum tuberosum</i> | 150— <i>Lactuca sativa</i> |
| 151— <i>Modeola virginica</i> | 152— <i>Aplectrum hyemale</i> |
| 153— <i>Polygonatum biflorum</i> | 154— <i>Zea mays</i> |
| 155— <i>Cucumis sativus</i> | 156— Eames and MacDaniels |

در گونه‌هایی مثل آناناس خمره‌ها بقدری از فلس و مو پوشانیده شده‌اند که عملاً غیر قابل رؤیت می‌باشند. این نحوه قرارگرفتن باعث طولانی‌شدن مسیر پخشیدن بخار شده و با افزایش ضخامت لایه مرزی هوا، مقاومت در مقابل پخشیدگی بخار آب افزایش می‌یابد.



شکل ۸-۹: تصویر يك روزنه باز در ذرت با بزرگمایی ۴۰۰۰. این نوع روزنه‌ها در گیاهان چمنی عمومیت دارند. تصویر پائین يك روزنه را در لوبیا که نمونه‌ای از روزنه‌های موجود در بسیاری از گیاهان می‌باشد نشان می‌دهد. (برداشت با اجازه از پلاس^{۱۵۷}، وزارت کشاورزی آمریکا)

روزنه‌ها در بسیاری از گیاهان علفی در دو طرف سطح برگ واقع شده‌اند ولی در اغلب گیاهان چوبی فقط در سطح پائین برگ دیده می‌شوند.

تعداد و اندازه: تعداد روزنه‌ها در واحد سطح برگ بستار متغیر بوده و از حدود ۲۰۰۰ در هرسانته‌متر مربع در یولاف تا ۵۰۰۰۰ در بلوط

سیاه، گردوی سیاه و توت و حتی ۱۰۰۰۰۰ در بلوط سرخ متفاوت می باشد (مایر و اندرسون^{۱۵۸}، ۱۹۵۲، صفحه ۱۴۳). تعداد روزنه ها با شرایط محیطی تغییر می نماید. تعداد آنها در گیاهان آفتاب پسند و گیاهان مناطق خشک بیشتر و اندازه آنها نیز کوچکتر از روزنه های گیاهان سایه پسند یا گیاهان مناطق مرطوب است. حتی زمانی که روزنه ها باز می باشند نیز اندازه سوراخ آنها کوچک بوده و از ۳ تا ۱۲ میکرون عرض و ندرتاً ۴۰ میکرون طول تجاوز نمی کنند. سطح روزنه نیز حتی در موقع بازبودن کامل از ۳ درصد سطح کل برگ تجاوز نمی کند.

مکانیسم روزنه ها: کاملاً معلوم شده است که بسته شدن روزنه ها در نتیجه تنش آب و کاهش شدت نور بوده و درجه حرارت بر سرعت آن مؤثر است. گرچه تا بحال ده ها مقاله در زمینه باز و بسته شدن روزنه ها نوشته شده ولی هنوز تبیین رضایت بخشی که بتواند فرآیندهای بیوشیمیائی را که در این عمل دخالت دارند تشریح نماید، وجود ندارد. معمولاً فرض بر این است که تغییرات غلظت دی اکسید کربن در منافذ بین سلولی و نیز تنش آب عوامل اصلی تغییر آماس سلولهای محافظ می باشند (هیث^{۱۵۹}، ۱۹۵۹؛ کتلپر^{۱۶۰}، ۱۹۶۳؛ مونر و مانسفیلد^{۱۶۱}، ۱۹۶۵؛ زلیچ^{۱۶۲}، ۱۹۶۵). بنا به یک فرضیه معمولی، کاهش غلظت دی اکسید کربن در منافذ بین سلولی موجب می شود پتانسیل آب سلولهای محافظ نسبت به سلولهای مجاور تقلیل یافته که متعاقباً جریان آب را به دنبال داشته و باعث افزایش حجم و آماس سلولهای محافظ و باز شدن روزنه ها می گردد. تغییرات مقدار آب و برگ یا پتانسیل آب آن نیز مستقیماً بر آماس سلولهای محافظ

158— Meyer and Anderson

159— Heath

160— Ketellapper

161— Meidner and Mansfield

162— Zelitch

مؤثر بوده و غالباً سبب بسته شدن روزنه‌ها در اواسط روز می‌گردد .
 بهر صورت بنظر می‌رسد اگر تنش آب وجود نداشته باشد ، دی‌اکسید کربن
 عامل اولیه کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها است . در واقع مانسفیلد^{۱۶۳}
 (۱۹۶۵) گزارش نموده است که حساسیت روزنه‌ها به دی‌اکسید کربن بحدی
 زیاد است که نفس کشیدن نیز موجب بسته شدن آنها می‌گردد .

چون جدار سلولها در محل روزنه ضخیم‌تر از اطراف دیگر است ،
 افزایش آماس موجب می‌شود سلولهای محافظ شکل قلوهای به خود گرفته
 و مجرائی در بین آنها پدید آید . این مراحل در تاریکی برعکس عمل می‌شود
 یعنی سلولهای محافظ آماس خود را از دست داده و روزنه‌ها مسدود
 می‌گردند فشار سلولهای اپیدرمی اطراف نیز ممکن است در بسته شدن
 آنها مؤثر واقع گردد و در بعضی گیاهان باز شدن روزنه‌ها در اثر کاهش
 جزئی آماس برگ بیشتر از برگهایی است که آماس آنها کامل است .
 (استال فلت^{۱۶۴}، ۱۹۶۶) .

روشن نیست که چه مقدار از عکس العمل روزنه‌ها در مقابل نور
 مستقیماً ناشی از فتوسنتز می‌باشد ولی در تجربه ثابت شده است که
 کاهش غلظت دی‌اکسید کربن حتی در تاریکی نیز موجب باز شدن روزنه‌ها
 می‌گردد (راشکی^{۱۶۵}، ۱۹۶۵ ؛ میدنر و مانسفیلد^{۱۶۶}، ۱۹۶۵) .

زلیچ^{۱۶۷} (۱۹۶۳) باز و بسته شدن را یک نوع توازن بین دو فرآیند
 مخالف می‌داند بطوری که نور باعث تشدید عمل باز و بسته شدن روزنه‌ها
 می‌گردد . این دو فرآیند از جهات مختلف بایکدیگر متفاوتند . وی چنین

163— Mansfield

164— Stalfelt

165— Raschke

166— Meidner and Mansfield

167— Zelitch

نتیجه گرفته است که باز شدن معمولاً کندتر از بسته شدن است . برای باز شدن وجود اکسیژن لازم بوده و پائین بودن درجه حرارت و موادی مثل استات فنیل مرکوریک ، اسید کاروژنیک ، فلرورسیدیم که بر بسته شدن روزنه ها مؤثر نیستند باز شدن آنها را تحت تأثیر قرار می دهد. آزید سدیم مانع باز و بسته شدن روزنه ها می گردد . والکروزیچ^{۱۶۸} (۱۹۶۳) پیشنهاد نموده اند که اسید گلی کولیک در سلسله فعالیتهای متابولیکی که منجر به باز شدن روزنه ها می گردد نقش مهمی دارد .

برای کسب اطلاع بیشتر در زمینه فیزیولوژی روزنه خوانندگان می توانند به هیث^{۱۶۹} (۱۹۵۹)؛ میدنر و مانسفیلد (۱۹۶۵) و راشکی (۱۹۶۵) مراجعه نمایند .

روزنه ها از نظر طرز عمل متفاوت می باشند بطوری که از باز بودن دائم تا مسدود بودن دائم متغیرند . لافت فیلد^{۱۷۰} (۱۹۲۱) روزنه ها را از نظر باز و بسته شدن در شرایطی که برای رشد گیاه مناسب باشد به سه گروه تقسیم نموده است (به میلر^{۱۷۱} ۱۹۳۸ صفحات ۴۳۵ تا ۴۳۶ مراجعه شود) . این طبقه بندی بشرح زیر است :

(۱) نوع یونجه ، که در صبح باز می شوند و در اواسط روز باز باقی مانده و در بعد از ظهر تدریجاً مسدود می گردند . این روزنه ها اگر با تنش آب مواجه شوند در وسط روز بسته شده و ممکن است در طی شب دوباره باز شوند . نخود ، اویا ، خیار ، سیب ، هاو ، گلابی و بسیاری از گیاهان نازک برگ مزوفیت به این گروه تعاق دارند .

168— Walker and Zelitch

169— Heath

170— Loftfield

171— Miller

(۲) نوع سیب زمینی ، که همیشه ، بجز حدود سه ساعت پس از غروب آفتاب باز می‌باشند . بسته‌شدن اواسط روز فقط زمانی صورت می‌گیرد که گیاه پژمرده باشد . روزنه‌های کلم ، پیاز ، بارهنگ ، کدو به‌این گروه تعلق دارند . گفته می‌شود روزنه‌های اکی‌ستم^{۱۷۲} حتی زمانی که گیاه به‌سختی پژمرده‌است نیز باز می‌باشند .

(۳) در نوع جو ، که نمونه معمولی غلات است ، روزنه‌ها به‌ندرت بجز یکی دو ساعت باز می‌باشند و حتی در طول روز نیز ممکن است بسته باشند . بنابه‌گفته براون و پرات^{۱۷۳} (۱۹۶۵) روزنه‌های اغلب چمنهائی که بومی مناطق خشک هستند هرگز بطور محسوس باز نمی‌شوند .

تال^{۱۷۴} (۱۹۶۶) اخیراً گزارش نموده‌است که روزنه‌های برخی ارقام گوجه‌فرنگی (موتاسیونها) همواره باز می‌باشند و دلیل آن احتمالاً آماس سلولهای محافظ در نتیجه تعرق زیاد می‌باشد .

واگونر و سیموند^{۱۷۵} (۱۹۶۶) نیز همین شرایط را در برخی موتاسیونهای سیب‌زمینی گزارش نموده‌اند .

پخشیدگی گازها از داخل سوراخ روزنه‌ها : تلفات آب از داخل سوراخ روزنه‌ها (که فقط درصد کوچکی از سطح برگ را تشکیل می‌دهند) ۵۰ درصد بیشتر از سرعت تبخیر آزاد مایع از همان سطح می‌باشد . برای روشن شدن این حقیقت به‌پخشیدن گازها از داخل سوراخ روزنه‌ها توجه زیادی مبذول شده است (بانج^{۱۷۶} ۱۹۵۳ ؛ براون و اسکمب^{۱۷۷} ، ۱۹۰۰ ؛ تینگ و لومیس^{۱۷۸} ، ۱۹۶۳) . بحث پیرامون این مسأله بدون نتیجه

172— Equisetum

173— Brown and Pratt

174— Tal

175— Waggoner and Simmonds

176— Bange

177— Brown and Escome

178— Ting and Loomis

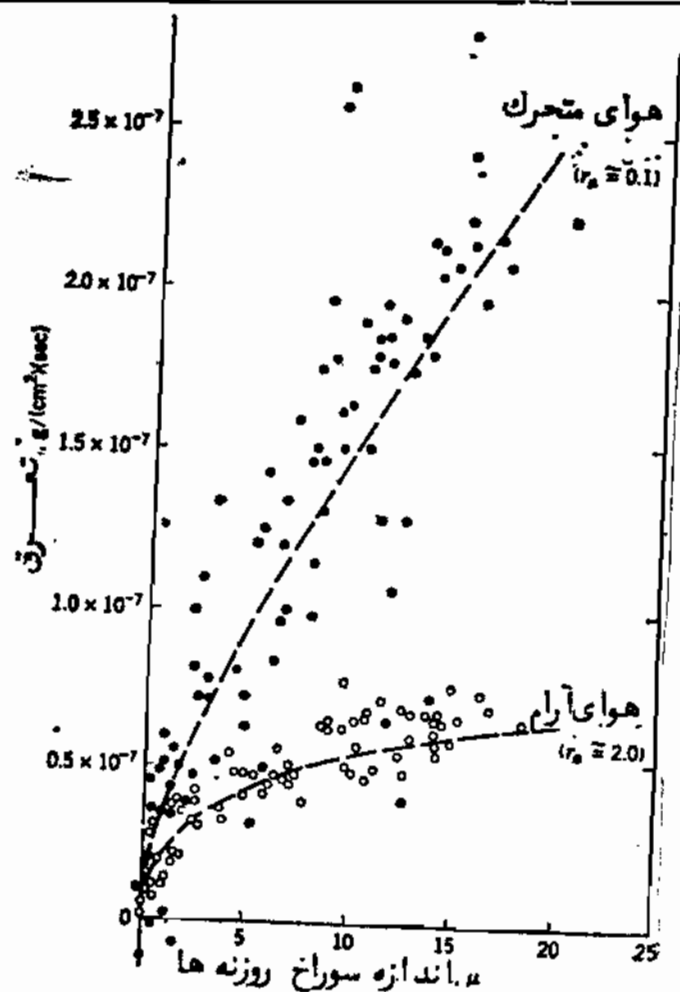
خواهد بود، زیرا اهمیت مقاومت سوراخهای روزنه در مقابل یخشیدن بخار آب از داخل تمام سیستم بستگی به مقدار نسبی مقاومت سوراخها و لایه مرزی بالای برگها دارد. اگر مقاومت لایه مرزی از حد معینی کمتر شود، مثلاً بوسیله باد، در این صورت مقاومت سوراخ عامل کنترل کننده انتقال بخار آب می باشد ولی در هوای آرام مقاومت سوراخها ممکن است اهمیت چندانی نداشته باشد. بنا براین، در هوای ساکت و مرطوب تعرق کمتر تحت تأثیر بسته شدن روزنه ها قرار می گیرد. اما در هوای متحرك و خشك كه r_a كم است تعرق با باز و بسته شدن روزنه ها رابطه نزدیک دارد (به شکل ۹-۹ مراجعه شود).

تعیین اندازه سوراخ روزنه ها: نظر به اهمیتی كه روزنه ها در كنترل تلفات آب و ورود دی اکسیدكربن دارند، توجه زیادی به تعیین اندازه سوراخ آنها شده است. مشاهده مستقیم در مورد برگهای روی درخت مشکل است و برای تعیین تغییرات اندازه سوراخ روزنه ها لازم است كه برگها را از درخت كنده و پس از حمل در زیر نور آنها را مشاهده نمود. علاوه براین در زیر میکروسكپ فقط جزء كوچکی از برگ را می توان دید. لیود^{۱۷۹} (۱۹۰۸) قطعه ای از بشره را جدا نموده و بلافاصله آن را در داخل الكل خالص قرار داد تا قبل از هرگونه تغییر اندازه سوراخها، بافتها تثبیت گردند. لافیت فیلد^{۱۸۰} (۱۹۲۱) نیز این روش را در مطالعات معمولی خود به كار برده است، ولی مجزا نمودن بشره از برگهای برخی گونه های گیاهی مشکل بوده و گاهی اوقات نیز منجر به تغییر اندازه سوراخ روزنه ها می گردد. يك روش دیگر كه كمتر مؤثر است نشان گذاری روزنه ها روی ورقه های كلوئیدی (كلمنتر و لانگ^{۱۸۱}، ۱۹۳۴) یا ترکیبات لاستیکی

179— Lloyd

180— Loftfield

181— Clements and Long



۱۸۲ شکل ۹-۹: اثر باز شدن روزنه ها بر سرعت تفرق برگهای زیرینا

در هوای آزاد ($r_a = 2 \text{ sec/cm}$) و هوای متحرك ($r_a = 0.1 \text{ sec/cm}$) اثر

باز شدن روزنه ها در هوای متحرك خیلی زیاد است ولی در هوای ساکت که

مقاومت هوا غالباً به اندازه مقاومت روزنه ها است، بسیار کم می باشد.

(از اسلاچر^{۱۸۳}، ۱۹۶۷، برداشت از بانج^{۱۸۴}، ۱۹۵۳).

سیلیکون (زلیچ^{۱۸۵}، ۱۹۶۱) است. نشان گذاری روزنه ها با استفاده از

لاستیک سیلیکون زیاد است، زیرا صدمات آن به گیاه کم یا هیچ است.

ولی کاربرد آنها در مواردی که سطح برگ پوشیده از مو بوده و یا روزنه ها

182— Zebrina

183— Slatyer

184— Bange

185— Zelitch

در قعر حفره‌هایی قرار گرفته‌اند (مثل کاج و آناناس) رضایت بخش نیست. گلو سر^{۱۸۶} (۱۹۶۷) بغضی اشکالاتی را که در ماهیت این روش نهفته است مورد بحث قرار داده ولی نامبرده دریافته‌است که نتایج آن با اندازه‌گیری‌هایی که از طریق استفاده از پرومترهای گازی در مورد چغندر قند بدست آمده‌است موافقت دارند.

روش دیگری که ظاهراً مولیش^{۱۸۷} (۱۹۱۲) آن را ابداع نموده‌است مشاهده زمانی نفوذ مایعاتی بالزوجهت‌های مختلف به‌داخل برگ‌ها است. مثلاً، آلوم و هابیس^{۱۸۸} (۱۹۵۴) از مخلوط‌های روغن پارافین و آن-دودکان استفاده نموده‌اند. محققین اسرائیلی مخلوط‌های روغن پارافین و تربانتین یا بنزول و کروسن را استعمال نموده‌اند. در روش نفوذی نیاز به نمونه برداری هزارها روزنه بوده و ممکن است باعث کشته شدن آنها نیز بشود. هم‌چنین این روش در مورد برگ‌های کرکی و سوزن‌های مخروطیان مؤثر نمی‌باشد. راتر و ساندز^{۱۸۹} (۱۹۵۸) برای برگ‌های کاج از محلول اشباع کریستال بنفش در الکل اتیلیک استفاده نموده‌اند. اوپن‌هایمر و انگل برگ^{۱۹۰} (۱۹۶۵) این روش را توسعه بیشتری داده‌اند. فری و والکر^{۱۹۱} (۱۹۶۷) روش نفوذ با فشار را تشریح نموده‌اند که می‌توان آن را در مورد تخمین اندازه سوراخ روزنه‌های کاج به کار برد.

داروین و پرتس^{۱۹۲} (۱۹۱۱) پرومترهایی را که بتوانند جریان هوای در داخل برگ‌ها اندازه‌گیری کند ابداع نمودند، که در آن تغییرات زیادی داده

186— Gloser

187— Molisch

188— Alvim and Havis

189— Rutter and Sands

190— Oppenheimer and Engelberg

191— Fry and walker

192— Darwin and Pertz

شده است. از جمله ابداع پرومترهای ثبات را می‌توان نام برد (گریگوری و پیرز^{۱۹۳}، ۱۹۳۴؛ ویلسون^{۱۹۴}، ۱۹۴۷). آلویم^{۱۹۵} (۱۹۶۵) پرومترهای گازی قابل حملی را که در آن تغییرات مختلف داده شده است ابداع نموده است (برای مثال، برهوزین و همکاران^{۱۹۶}، ۱۹۶۵) که برخی از آنها برای کار در مزرعه مناسب می‌باشند. این پرومترهای گازی نکات ضعیفی نیز دربر دارند (هیث^{۱۹۷}، ۱۹۵۹) بطوری‌که اگر فشار از ۱۰ سانتی‌متر آب تجاوز نماید بر اندازه سوراخ روزنه‌ها مؤثر خواهد شد (راشکی^{۱۹۸}، ۱۹۶۵). این وضعیت موجب ابداع پرومترهای نوع پخشیدنی شده که در آن پخشیدگی گاز به‌داخل برگها مطابق آنچه هیث (۱۹۵۹) تشریح نموده است اندازه‌گیری می‌گردد. اسلاچر و جارویس^{۱۹۹} (۱۹۶۶) یک نوع پرومتر نوع پخشیدنی را که با اکسید ازت کار نموده و مقاومت روزنه‌ها را بطور پیوسته ثبت می‌کند تشریح نموده‌اند.

جارویس و همکاران^{۲۰۰} (۱۹۶۷) طرز کار پرومترهای نوع پخشیدنی و نوع جریان توده‌ای را بایکدیگر مقایسه نموده‌اند. استعمال هیچ‌کدام از این پرومترها در مورد برگهایی که در آنها روزنه‌ها در یک طرف برگ قرار گرفته و یارگرگهای آنها موجب متوقف ساختن پخشیدن عرضی می‌گردند عملی نمی‌باشد (نوع هتروبار، به هیث^{۲۰۱} مراجعه شود، ۱۹۵۹). گاهی اوقات اندازه سوراخ روزنه‌ها، یا به عبارت صحیح‌تر مقاومت

193— Gregory and Pearse

194— Wilson

195— Alvim

196— Bierhuizen et al

197— Heath

198— Raschke

199— Slatyer and Jarvis

200— Jarvis et al

201— Heath

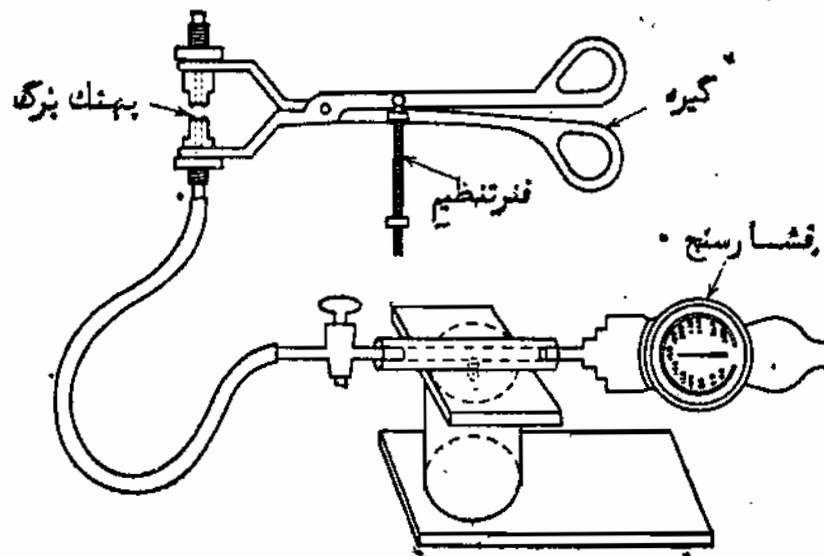
روزنه‌ها، از روی سرعت تفرق و با استفاده از دستگاهائی شبیه آنچه والی‌هان^{۲۰۲} (۱۹۶۴) تشریح نموده در سپس وان باول و همکاران^{۲۰۳} (۱۹۶۵) آن را تصحیح کرده‌اند تعیین می‌شود. اسلاچر برای کوتاه کردن زمان و مخلوط نمودن هوا از يك بادبزن استفاده نموده‌است (به شکل ۱۱-۹ مراجعه شود). در این روش می‌توان تغییرات رطوبت را در طی يك دقیقه اندازه‌گیری نمود. برای جلوگیری از بروز اشکالات ذاتی در این روش لازم است که برگ قبل از به مدت زیادی در داخل محفظه قرار گیرد. این روش در صحرا نیز قابل پیاده شدن است.

واکنش بین عوامل مؤثر بر تفرق:

عوامل محیطی مهمی که بر تفرق مؤثرند عبارتند از شدت نور، فشار بخار اتمسفر، درجه حرارت باد و مهیائی آب برای ریشه‌ها. عوامل گیاهی عبارتند از توسعه و راندمان سیستمهای ریشه در جذب، سطح برگ، ترتیب قرار گرفتن برگها و ساختمان آنها، و طرز عمل روزنه‌ها. بین عوامل محیطی و گیاهی واکنشهای نسبتاً پیچیده وجود دارد که می‌توان بر حسب اثرشان بر اجزاء معادله (۲-۹) آنها را خلاصه نمود.

تغییرات شدت نور از طریق اثر بر اندازه سوراخ روزنه‌ها موجب تغییر مقاومت برگ، برگ r، (به شکل ۵-۹ مراجعه شود) و از طریق اثر بر درجه حرارت برگ باعث تغییر فشار بخار، برگ e، می‌گردد. اثرات تشعشع قبل از در قسمت استفاده از انرژی بحث شد. درجه حرارت اتمسفر از طریق اثر آن بر دمای برگ و در نتیجه فشار بخار آب، برگ، وارد عمل می‌شود. خوانندگان باید بخاطر داشته باشند که گرچه افزایش

دمای يك توده هوا از ۲۰ به ۳۰ درجه سانتی‌گراد رطوبت نسبی را تقلیل خواهد داد ، ولی فشار بخار هوا را در يك سیستم باز تغییر نخواهد داد . افزایش تعرق در اثر بالارفتن درجه حرارت به علت افزایش شیب فشار آب بین برگ و هوا است نه به علت کاهش رطوبت نسبی (به‌مایر و

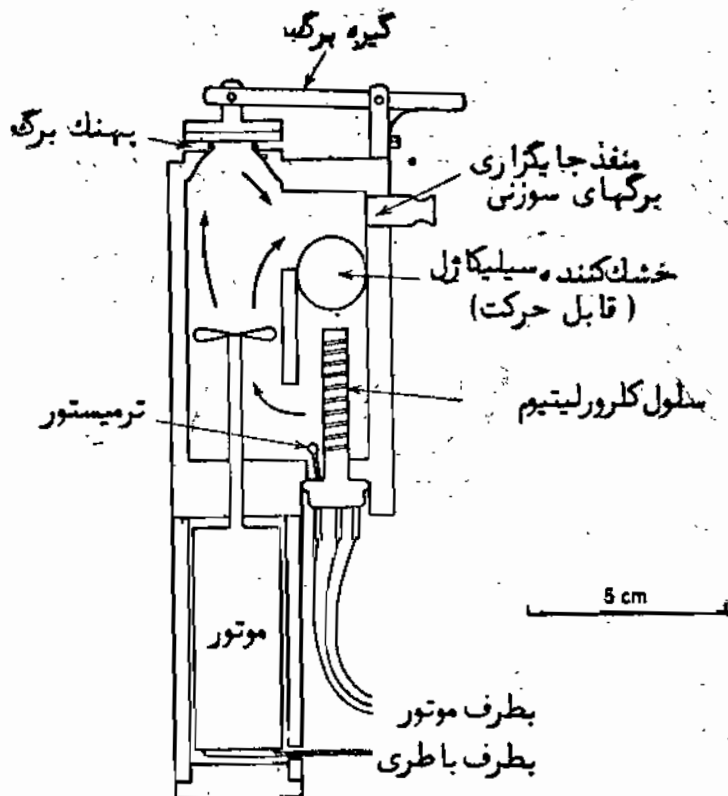


شکل ۱۰-۹ : يك پرومتر برای تعیین اندازه سوراخ روزنه‌ها که به وسیله اندازه‌گیری تغییرات فشار هوا کار می‌کند . تغییرات فشار به وسیله عقربه فشارسنج نبضی ثبت می‌گردد. پهنك برگ بین دو لاستیک قرار گرفته و با گیره فنی نگهداری می‌شود . تولید فشار بایک حباب لاستیکی متصل به فشارسنج نبضی انجام می‌گردد ولی زمان لازم برای تعیین افت فشار به وسیله يك کرومومتر تعیین می‌شود (از آلوم^{۲۰۴}، ۱۹۶۶) .

اندرسون^{۲۰۵}، ۱۹۵۲ فصل ۱۱ مراجعه شود) . برای هر مقدار فرضی رطوبت نسبی می‌توان اثر آن را مطابق آنچه در جدول ۳-۹ دیده می‌شود تخمین زد . در دمای ثابت اثر تغییرات رطوبت اتمسفر بر تعرق از طریق تغییر دادن هوا e و تغییر شیب فشار بخار بین برگ و هوا است . مارتین^{۲۰۶}

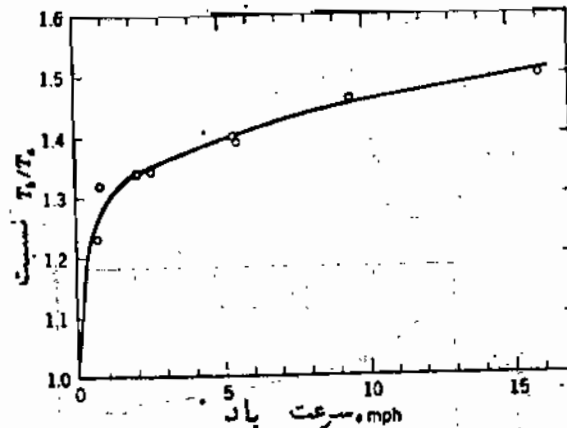
(۱۹۴۳) دریافته است که در دمای ثابت و در تاریکی، سرعت تعرق با فشار بخار اتمسفر رابطه نزدیک دارد.

باد با بهم زدن لایه مرزی هوای مرطوب اطراف برگها و کاهش هوا r بطور مستقیم تعرق را افزایش می دهد. باد بطور غیر مستقیم نیز با سرد کردن برگها و کاهش برگه مقدار تعرق را کاهش می دهد. افزایش یا



شکل ۱۱-۹: يك پرومتر نوع پخشیدنی با مقاومت کم که در اندازه گیری مقاومت در مقابل پخشیدگی مورد استعمال دارد. طرح این دستگاه را اسلاچر داده است. در این روش اساس دستگاه دیلمان - وان باول به کار گرفته شده است ولی برای چرخش هوا و افزایش سرعت عکس العمل در مقابل تغییرات رطوبت يك بادبزن موتوری نیز به دستگاه اضافه شده است (از کوفمن ۲۰۷، ۱۹۶۷).

کاهش تعرق غالباً در سرعت‌های کم اتفاق می‌افتد (به شکل ۹-۱۲ مراجعه شود). نور^{۲۰۸} (۱۹۶۶) خاطرنشان ساخته‌است که گرچه بادهای ملایم در هنگامی که سطح تابش کم باشد مقدار تعرق را افزایش می‌دهند ولی اگر مقدار تشعشع زیاد بوده و درجه حرارت برگها بیش از هوا باشد، این بادهای میزان تعرق را کاهش می‌دهند. محاسبات نامبرده در شکل ۹-۱۳ مشاهده می‌شود. اثرات دیگر باد مثل تهویه، منافذ بین سلولی و افزایش مسیر حرکت هوا در برگهایی که در دو سطح دارای روزنه می‌باشند احتمالاً از اهمیت ناچیزی برخوردارند (ولی^{۲۰۹}، ۱۹۶۱).

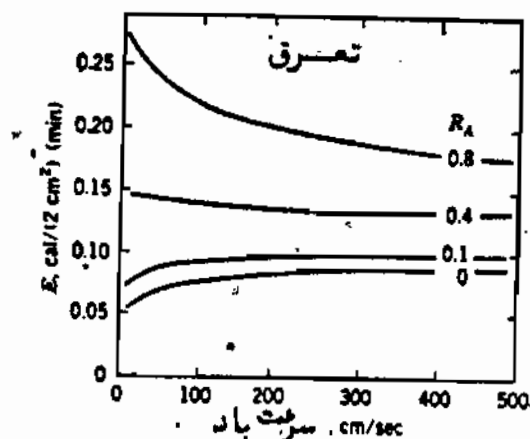


شکل ۹-۱۲ اثر باد بر سرعت تعرق بوته‌های آفتاب‌گردانی که در گلخانه با نور آفتاب پرورش داده شده‌اند. محور عرضها نسبت سرعت در گیاهانی که در معرض باد قرار گرفته‌اند، **Tb**، به گیاهان شاهد در هوای آرام، **Ta**، را نشان می‌دهد. آمارهای فوق متوسط اندازه‌گیری بر سرعت‌های ۲ تا ۴ ساعته می‌باشد (از مارتین و کلمنتز^{۲۱۰}، ۱۹۳۶)

بطوری که قبلاً گفته شد اثرات تغییرات داخلی ساختمان برگ، ضخامت لایه‌های کوتین و اندازه سوراخ روزنه‌ها بر تعرق، از طریق تغییر اجزاء مختلف مقاومت برگ است که در معادلات ۹-۳ و ۹-۴ ذکر

گردیده است. طرز قرار گرفتن برگ از نظر موقعیت در مقابل نور آفتاب می تواند بر مقدار انرژی دریافتی مؤثر واقع گردد. برگهای عمودی در گرمترین ساعات روز انرژی کمتری را نسبت به برگهای افقی دریافت می دارند و مقدار انرژی دریافت شده بوسیله برگهای خوشه ای کمتر از برگهای انفرادی است. هدر رفتن قسمت اعظم سطح برگ موجب کاهش تلفات آب شده و تنش آب باعث تولید لایه زرد رنگی در سطح برگ می شود که در برخی گونه ها به افتادن آن منجر می گردد.

به این نکته مهم توجه شود که تغییر یکی از عوامل مؤثر بر تعرق به همان نسبت سرعت تعرق را تغییر نمی دهد، زیرا سرعت تعرق با یک عامل تنها کنترل نمی گردد. بلکه بوسیله اختلاف فشار بخار بین برگ و هوا (هوا - برگ e) و مجموعه مقاومتها در مسیر برگ و هوا (هوا + برگ r) کنترل می شود. در شکل ۹-۹ که رابطه بین اندازه



شکل ۹-۱۳: منحنی های نظری تغییرات گرمای نهان E ، با مقدار تعرق در سرعت های مختلف باد و مقادیر متفاوت تابش خالص آفتاب RA ، اگر میزان تابش بالا باشد باد از طریق خنک نمودن برگها موجب کاهش تعرق می گردد. در میزان تابشهای کم ممکن است اثر باد موجب تامین انرژی شده و تعرق را بالا ببرد (از نور ۲۱۱، ۱۹۶۶).

سوراخ روزنه‌ها و سرعت تعرق نشان داده شده‌است می‌توان نمونه‌ای از این واکنشها را مشاهده نمود . در هوای آرام ، مقاومت r_a در مقایسه با مقاومت روزنه‌ها نسبتاً زیاد است ($\approx 2/0$) و تغییرات زیاد اندازه سوراخ روزنه‌ها موجب تغییرات بسیار کمی در تعرق می‌گردد . ولی در هوای متحرك هوا کم بوده ($\approx 0/1$) و تغییرات کم اندازه سوراخ روزنه‌ها موجب تغییرات زیاد تعرق می‌گردد . بنابراین باد با کاهش هوا r باعث افزایش تعرق می‌شود ولی برگهارا نیز خنك نموده و با کاهش برگذ e تعرق را تقلیل می‌دهد .

ذخیره آب برای ریشه‌ها نیز بر سرعت تعرق مؤثر است . در خاکهایی که رطوبت آنها در حد ظرفیت زراعی باشد ، حرکت آب به طرف ریشه‌ها زیاد بوده و سرعت تعرق بوسیله گیاه و عوامل جوی کنترل می‌گردد .

جدول ۹-۶ : اثر کوچک شدن اندازه سوراخ روزنه‌ها بر مقاومت برگذ ،

هوا و سرعت تعرق در هوای آرام و متحرك . شیب فشاربخار (هوا^{۱۰} - برگذ^{۱۰})

ثابت نگهداشته شده‌است (آمار از بانج^{۲۱۲} ، ۱۹۵۳) .

روزنه‌ها به‌طور کامل باز می‌باشد	هوا r	+ برگذ r	کل r	درصد کاهش تعرق
هوا ^{۱۰} متحرك	۱	۲/۰	۳/۰	—
روزنه‌ها ۵۰٪ باز می‌باشند	۱	۰/۱	۱/۱	—
هوا ^{۱۰} آرام	۱/۵	۲/۰	۳/۵	۱۵
هوا ^{۱۰} متحرك	۱/۵	۰/۱	۱/۶	۳۱
روزنه‌ها ۱۰٪ باز می‌باشند	۴/۵	۲/۰	۶/۵	۵۴
هوا ^{۱۰} آرام	۴/۵	۰/۱	۴/۶	۷۶
هوا ^{۱۰} متحرك				

پژمردگی اواسط روز در گیاهان سریع‌التعرقی که در محلولهای غذایی یا خاکهای که رطوبت آنها در حد ظرفیت زراعی است می‌رویند به دلیل مقاومت زیاد ریشه‌ها است. این مطالب در فصل هشتم با تفصیل بیشتری تشریح شده است. بهر حال باتخلیه آب خاك، تامین آب برای ریشه‌ها محدود گشته و موجب تقلیل میزان تعرق می‌گردد (اوگاتا و همکاران^{۲۱۳}، ۱۹۶۶). تبویه ناکافی، سردی، و کاهش پتانسیل اسمتیک محیط ریشه معمولاً با کاهش شدید تعرق همراه می‌باشند. کاهش تعرق به دلیل متوقف شدن جذب در اثر تنش آب و بسته شدن روزنه‌ها یعنی افزایش برگ^{۲۱۴} می‌باشد. بطوریکه قبلاً گفته شد تغییر نسبت سطح ریشه به سطح برگ نیز بر تعرق مؤثر است (بیالوگ لوسکی^{۲۱۴}، ۱۹۶۶؛ پارکر^{۲۱۵}، ۱۹۴۹) ولی اثر آن در سیستمهای ریشه‌ای افشان به مراتب زیادتر است. اندرسون^{۲۱۶} (۱۹۶۸) گزارش کرده‌اند که خارج ساختن ۶۰ درصد ریشه بوته‌های گندم (بوته‌هایی که ریشه متراکم دارند) حتی در خاکهای خشک نیز میزان تعرق را نسبت به بوته‌های هرس نشده تقایل نمی‌دهد.

اندازه‌گیری تعرق برگها و گیاهان:

اندازه‌گیری تعرق بوسیله کرافتز و همکاران^{۲۱۷} (۱۹۴۹)؛ اکارت^{۲۱۸} (۱۹۶۰)؛ فرانکو و ماگالهاوس^{۲۱۹} (۱۹۶۵)؛ اسلاچر^{۲۲۰} (۱۹۶۷) و استوکر^{۲۲۱} (۱۹۵۶) مورد بررسی قرار گرفته است. روش معمولی اندازه‌گیری سرعت

213— Ogata et al

214— Bialoglowski

215— Parker

216— Andrews and Newman

217— Crafts et al

218— Eckardt

219— Franco and Magaalhaes

220— Slatyer

221— Stocker

تعرق تعیین تغییرات وزن یا تلفات بخار آب است. گاهی اوقات تلفات آب در درختان از روی اندازه‌گیری سرعت جریان شیره در داخل ساقه تخمین زده می‌شود.

روش فیتومتر^{۲۲۲}

اغلب اندازه‌گیریهای تعرق در مورد گیاهان گلدانی انجام شده که وزن آنها از چندصد گرم تا صدها کیلوگرم متغیر است. سطح خاک را برای جلوگیری از تبخیر پرشانده و تدابیری اتخاذ می‌شود که بتوان آب خارج شده از خاک را جایگزین نمود. لازم است که گلدانها را از نظر نور مستقیم خورشید محافظت نمود تا بیش از اندازه گرم نشوند. دقت این اندازه‌گیری بسته به حداقل تغییرات وزن قابل اندازه‌گیری است. به دلیل این محدودیتها اندازه‌گیری تعرق در فواصل زمانی کوتاه برای گیاهانی که در گلدانهای سنگین قرار گرفته‌اند مشکل است. اگر فواصل اندازه‌گیری طولانی باشد لازم است در مورد گیاهان سریع‌الرشد، تغییرات وزن گیاه تصحیح گردد. در مورد معدودی تعرق با اندازه‌گیری تغییرات آب خاک گلدان که بروش جذب اشعه بدست آمده، تخمین زده شده است (آشتون^{۲۲۳}، ۱۹۵۶، هم‌چنین به فصل سوم مراجعه شود). روش دیگر رویاندن گیاه در محلول غلظتی و اندازه‌گیری حجم محلول مصرف‌شده در روز و یا قراردادن سینستم ریشه یا قطعه‌ای از شاخه در داخل پتومتر و اندازه‌گیری جذب آب در فواصل زمانی کوتاه است. تخمین تعرق گیاهان سالم در فواصل زمانی کوتاه اگر براساس میزان جذب آب صورت گیرد حاوی اشتباهات زیادی خواهد بود زیرا میزان جذب عقب‌تر از تعرق می‌باشد (به شکل ۱-۱۰ مراجعه شود).

تخمین میزان تعرق گیاهان از طریق بسط مقدار تعرق اندازه‌گیری شده در بوته‌های گلدانی واقع در گلخانه‌ها قابل اطمینان نمی‌باشد زیرا شرایط محیطی بسیار متفاوت است. بسط نتایج حاصله از يك بوته گیاه در مورد اجتماعات گیاهی فقط در صورتی قابل توجیه است که آن گیاه در شرایطی مشابه گیاهان اصلی تحت آزمایش قرار گرفته باشد، مانند استفاده از ایسیمترهای قابل کنترل (وان باول^{۲۲۴}، ۱۹۶۱). تانر^{۲۲۵} (۱۹۶۷) طرز استفاده از ایسیمترها را در اندازه‌گیری تلفات آب بررسی نموده است این مطلب در فصل سوم نیز به اختصار مورد گفتگو قرار گرفته است. علی‌رغم محدودیتهایی که دارد، روش وزنی از نظر مقایسه‌گونه‌هایی که در يك شرایط می‌رویند و نیز از نظر اندازه‌گیری عکس‌العمل گیاهان در مقابل تغییرات عوامل محیطی و شرایط آزمایش مفید است.

روش شاخه‌های قطع شده :

این روش که گاهی اوقات به روش توزین سریع نیز مصطاح است توسط فرانکو و ماگالهاوس^{۲۲۶} (۱۹۶۵) تشریح گردیده است. تعداد زیادی از اندازه‌گیرهای تعرق به این روش بوده است. به این ترتیب که يك برگ یا يك شاخه را قطع نموده و در عرض چند دقیقه پس از قطع باترازوی مخصوصی توزین می‌گردند. علی‌رغم مناسب بودن و اندازه‌گیرهای زیادی که با این روش شده، به دلایل زیادی در اندازه‌گیری تعرق روش قابل اطمینانی نیست. قطع برگها آنرا از تنش موجود در سیستم هدایت آب خلاص نموده و به علت افزایش موقتی اندازه سوراخ روزنه‌ها میزان تعرق

224— Van Bavel

225— Tanner

226— Franco and Magalhaes

نیز افزایش می‌یابد (اندرسون و همکاران^{۲۲۷}، ۱۹۵۴؛ دکرووین^{۲۲۸}، ۱۹۶۰؛ فرانکو و ماگالھوس، ۱۹۶۵). علاوه بر این برای توزین برگ لازم است که آن را از محیط طبیعی خود خارج ساخته و در محیط غیر طبیعی ترازو قرار داد. این عمل موجب تغییرات زیادی در برگ e ، h و r می‌شود. نمی‌توان انتظار داشت که میزان تعرق اندازه‌گیری شده در چنین شرایطی مشابه تعرق برگهای چسبیده بگیاه باشد. وینمان و لی راکس^{۲۲۹} (۱۹۶۶) گزارش کرده‌اند که بین تعرق اندازه‌گیری شده به روش توزین کامل گیاه و توزین شاخه‌های قطع شده ۵۰ تا ۱۰۰ درصد اختلاف موجود است. فرانکو و ماگالھاس (۱۹۶۵) نیز موارد دیگر اختلاف بین این روش را گزارش نموده‌اند. اظهار شده است که معمولاً اشتباهات حاصله در مورد برگهای گیاهان آبیاری شده حداکثر و در مورد برگهایی که تحت تنش شدید آب قرار گرفته‌اند حداقل می‌باشد. زیرا در حالت دوم مقاومت بقدری زیاد است که اثر تغییرات محیط بر سرعت تعرق ناچیز است. ولی، هالوی^{۲۳۰} (۱۹۵۶) گزارش نموده است که در روزهای معتدل سرعت تعرقی که بوسیله توزین سریع برگها بدست می‌آید و آنچه از توزین گلدانها حاصل شده است مشابه می‌باشند. ولی در روزهای گرم تعرق بوته‌های گلدانی نا ۵۰ درصد کمتر بوده است (رینگت^{۲۳۱} ۱۹۵۲) دریافت که، علی‌رغم اشکالات موجود، وی قادر است تعرق روزانه چندین گونه را با این روش تعیین نماید.

روش تلفات بخار آب :

در این روش برگ، شاخه و یا تمام گیاه در داخل محفظه‌ای قرار

227— Anderson et al

228— Decker and Wien

229— Weinmann and Le Roux

230— Halevy

231— Ringoet

گرفته و تغییرات محتوی آب هوایی که از داخل محفظه در جریان است اندازه گیری می شود. محفظه معمولاً از جنس پلاستیک بوده و از نظر اندازه از محفظه های کوچکی که فقط گنجایش یک برگ را دارند (برهوزین و اسلاچر^{۲۳۲}، ۱۹۶۴) تا محفظه های شفاف پلاستیکی که می تواند درخت کوچکی را در خود جای دهد متغیر است (دکر و همکاران^{۲۳۳}، ۱۹۶۲). در سیستمهای باز اختلاف محتوی آب هوای ورودی و خروجی اندازه گیری می شود (بورکمان و هولم گرن^{۲۳۴}، ۱۹۶۳؛ دکر و وین^{۲۳۵}، ۱۹۶۰؛ اسلاچر و برهوزین^{۲۳۶}، ۱۹۶۴a) ولی در سیستمهای بسته افزایش غلظت بخار آب یا رطوبت نسبی اندازه گیری می شود (کالر و سامیش^{۲۳۷}، ۱۹۶۴؛ گریو و ونت^{۲۳۸}، ۱۹۶۴).

برای اندازه تغییرات محتوی آب موجود در هوا روشهای متعددی استعمال شده است. (به فرانکو و ماگالهاس^{۲۳۹}، ۱۹۶۵، مراجعه شود). از جمله می توان میزان حراره های تر و خشک (دکر و اسکاو^{۲۴۰}، ۱۹۶۴) نرموکوپولهای تر و خشک (گلور^{۲۴۱}، ۱۹۶۱؛ اسلاچر و برهوزین، ۱۹۶۴) هیگرومتر تاجی (اندرسون و همکاران^{۲۴۲}، ۱۹۵۴). هیگرومترهای میکروویو (فالک^{۲۴۳}، ۱۹۶۶) هیگرومترهای با مقاومت الکتریکی (گریو و ونت^{۲۴۴}، ۱۹۶۵؛ والی هان^{۲۴۵}، ۱۹۶۴) و آنالیزکننده های مادون قرمز گازها

232— Bierhuizen and Slatyer

233— Decker et al

234— Bjorkman and Holmgren

235— Decker and Wien

236— Slatyer and Bierhuizen

237— Koller and Samish

238— Grieve and Went

239— Franco and Magalhaes

240— Decker and Skau

241— Glover

242— Anderson et al

243— Falk

244— Grieve and Went

245— Wallihan

(دکروتزل^{۲۴۶}، ۱۹۵۷) را نام برد. در پژوهشهای اولیه غالباً جذب بخار آب هوا بوسیله مواد جذب کننده رطوبت از قبیل پنتاکسید فسفر صورت می گرفته است (میلر^{۲۴۷}، ۱۹۳۸ صفحات ۴۹۳ تا ۴۹۴) ولی با این روش نمی توان بطور پیوسته اندازه گیری نمود. مؤلف در آزمایشگاه خود دریافته است که سایکرومتر نوع افتراقی که اسلاچر و برهوزین (۱۹۶۴b) آن را تشریح نموده اند می تواند به خوبی در اندازه گیری تعرق مؤثر واقع شود (ودراسپون^{۲۴۸}، ۱۹۶۸). این سایکرومتر از هیگرومتر تاجی، هیکرومتر میکروویو و یا آنالیز کننده مادون قرمز گازها ساده تر و عکس العمل آن نسبت به زمان سریع بوده و دقت آن نیز رضایت بخش است. بزرگترین مزیت این روش این است که می توان نوسانات کوتاه مدت سرعت های تعرق را که در اثر تغییرات محیط طبیعی یا محیط کنترل شده بوجود می آید اندازه گیری نمود. ولی در این روش نیز محیطی که برگ یا گیاه در آن قرار گرفته است مصنوعی می باشد. تغییراتی که با قرار دادن گیاه در داخل گلدان در درجه حرارت برگ و هوا و سرعت باد بوجود می آید موجب می شود که بین میزان تعرقی که به این روش اندازه گیری می شود و میزان تعرق در مزرعه تفاوت های زیادی وجود داشته باشد. روشی که والیهان^{۲۴۹} (۱۹۶۴) برای اندازه گیری مقاومت برگ ابداع نموده و وان باول و همکاران^{۲۵۰} (۱۹۶۵) آن را توسعه داده اند، می تواند در اندازه گیری میزان تعرق نیز مورد استفاده قرار گیرد. چون زمان اندازه گیری فقط حدود یک دقیقه بطول می انجامد محصور نمودن برگ

246-- Decker and Wetzel

247— Miller

248— Weatherspoon

249— Wallihan

250— Van Bavel et al

احتمالاً در تغییر اندازه سوراخ روزنه‌ها مؤثر نیست. ولی در این روش اندازه‌گیری تعرق در هوای خشک صورت می‌گیرد. در شکل ۱۱-۹ نمونه‌ای از این دستگاه که توسط اسلاچر ابداع شده است مشاهده می‌شود. ارلر و وان‌باول^{۲۵۱} (۱۹۶۸) دریافته‌اند که نتایج حاصله از اندازه‌گیری میزان تعرق به‌روش فوق و روش وزنی بایکدیگر مطابقت دارند.

یکی از طرق کنترل محیط گیاهانی که در داخل محفظه‌ها قرار می‌گیرند جبران مداوم تغییرات رطوبت و غلظت CO_2 و نیز کنترل دقیق درجه حرارت است. نمونه‌هایی از این نوع کنترل‌ها را می‌توان در دستگاه‌هایی که کولر و سامیش^{۲۵۲} (۱۹۶۴) و موس^{۲۵۳} (۱۹۶۳) تشریح نموده‌اند دید. جارویس و اسلاچر^{۲۵۴} (۱۹۶۶a) دستگاهی را تشریح نموده‌اند که در آن عوامل محیطی کنترل شده و تغییرات بخار آب و دی‌اکسید کربن و مقاومت روزنه‌ها بطور پیوسته اندازه‌گیری می‌شوند.

در روش کلرورکبالت که توسط لوینگ استون (به‌میلار^{۲۵۵}، ۱۹۳۸، صفحه ۴۹۱ مراجعه شود) ابداع شده است خروج بخار آب از روی تغییر رنگ حاصله در کاغذ صافی آغشته به کلرورکبالت که با فشار به‌برگ چسبیده شده اندازه‌گیری می‌گردد. در این روش محیط معمولی برای مدت زمان نسبتاً زیادی تبدیل به محیط مصنوعی می‌گردد. در نتیجه نتایج حاصله از این روش نیز با نتایج بدست آمده به‌روش وزنی مطابقت ندارد (بیلی و همکاران^{۲۵۶} ۱۹۵۲؛ میل‌تورپ^{۲۵۷}، ۱۹۵۵).

251— Ehrlar and Van Bavel

252— Koller and Samish

253— Moss

254— Jarvis and Slatyer

255— Miller

256— Bailey et al

257— Milthorpe

سرعت جریان شیره:

سعی شده است بتوان میزان تعرق را از روی سرعت جریان شیره در داخل ساقه ها تخمین زد . این روش معمولاً به طریقه نبض حرارتی که هوبر و اشمیت^{۲۵۸} (۱۹۳۷) آن را توضیح داده اند صورت می گیرد . لادفوجد^{۲۵۹} (۱۹۶۰) برای حرارت دادن شیره از يك دستگاه دیاترم استفاده نموده و مقدار حرارت را نیز بایک پیل حرارتی اندازه گیری کرده است . وی گزارش نموده است که عکس العمل گیاه در مقابل عبور ابرها و باد و غبار سریع است (لادفوجد، ۱۹۶۳) . نامبرده با قطع درخت و گذاردن ریشه ها در داخل محفظه هایی توانست میزان جذب را نیز اندازه گیری کند . لادفوجد سعی نمود از رابطه بین میزان تعرق و جذب ، میزان تعرق درختان سالم را محاسبه نماید . دکر و اسکاو^{۲۶۰} (۱۹۶۴) نیز سرعت جریان شیره و تعرق را بطور پیوسته اندازه گیری نموده و نتایج جالبی بدست آورده اند . سوانسون ولی^{۲۶۱} (۱۹۶۶) مسایل مربوط به این موضوع را تشریح نموده و مطالعات دیگری را که در این باره انجام شده است یادآور شده اند . گیل و پل جاکوف می بر^{۲۶۲} (۱۹۶۵) دریافتند که با کاهش پتانسیل آب خاک ، بین سرعت نبض حرارتی و میزان تعرق اختلافاتی بوجود می آید که از قابلیت اطمینان این روش در اندازه گیری ساعت به ساعت تعرق می کاهد . یکی از مسایل موجود ، اختلاف فاز بین جذب و تعرق است که باعث تغییر مقدار آب موجود در گیاهان تحت مطالعه می گردد .

258— Huber and Schmidt

259— Ladefoged

260— Decker and Skau

261— Swanson and Lee

262— Gale and poljakoff - Mayber

هم چنین ، معلوم نیست که همان مقطع ساقه در هدایت آب در سرعت‌های مختلف دخالت داشته باشد . گرچه با این روش می‌توان تغییرات اساسی تعرق را در زمانهای طولانی مشاهده نمود ولی بنظر می‌رسد که در اندازه‌گیری تغییرات کوتاه مدت تعرق دقت زیادی نداشته باشد .

اساس محاسبه میزان تعرق :

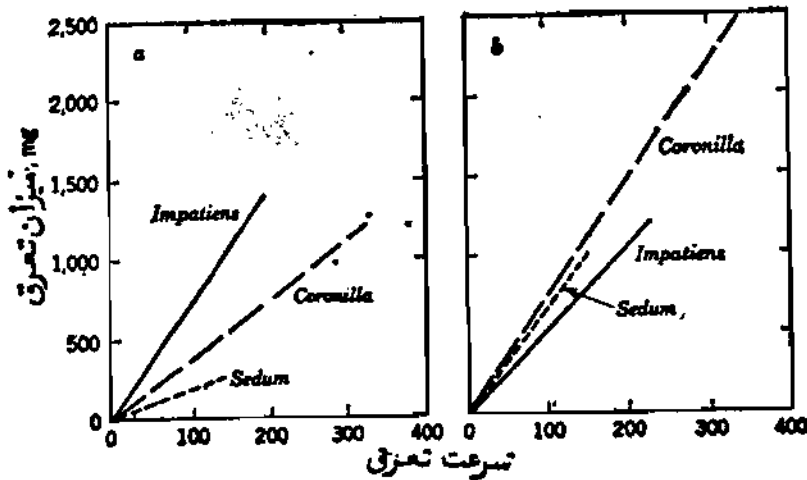
پس از انتخاب يك روش مناسب جهت اندازه‌گیری سرعت تعرق و تلفات آب از برگ یا گیاه ، دانشمندان بامشکل انتخاب روش رضایت بخشی برای توصیف نتایج حاصله مواجه بودند . این مسأله به خصوص در مورد مقایسه بین گیاهان گونه‌های مختلف حائز اهمیت می‌باشد . آیا باید آمارها را بر مبنای واحد سطح برگ بیان داشت یا بر مبنای وزن تازه یا وزن خشکی که در طی آزمایش تولید می‌گردد ؟ اگر سرعت را بر اساس سطح برگ توصیف نمود آیا برای برگهایی که روزنه‌ها در دو سطح برگ قرار دارند فقط يك سطح برگ باید در نظر گرفته شود یا دوطرف آن ؟ توصیف تلفات آب بر حسب واحد سطح زمین نیز برای برخی مقاصد بسیار مفید است این موضوع در قسمت تعرق از اجتماعات گیاهی مورد بحث قرار گرفته است .

بیشتر اروپائیان مطالعات خود را بر اساس آب تلف شده در هر واحد وزن تازه برگ بیان داشته‌اند . ولی ، وزن تازه برگها از روزی به‌روز دیگر و نیز در اوقات مختلف يك‌روز متغیر است . از آن گذشته ، نسبت سطح به‌وزن در بین برگهای مختلف يك گونه و حتی در بین برگهای يك گونه در شرایط محیطی مختلف ، مثل سایه و آفتاب ، متغیر است . در شکل ۹-۱۳a اختلاف سرعت‌های نسبی تعرق که بر حسب وزن تازه و سطح برگ توصیف شده‌اند در سه‌گونه متفاوت مشاهده می‌شوند . بطور کلی

بنظر می‌رسد توصیف سرعت‌های تعرق و فتوسنتز برحسب سطح برگ مناسب باشد، چون مقدار انرژی جذب‌شده با سطح برگ رابطه نزدیک‌تری دارد تا با وزن خشک یا تازه برگ‌ها. اگر اندازه‌گیری راندمان نسبی آب استفاده شده مورد نظر باشد، محاسبه نسبت تعرق یا مقدار آبی که در ساختن مواد خشک مؤثر بوده است مفید واقع می‌گردد که بعداً از آن گفتگو بعمل خواهد آمد.

کاربرد سطح برگ به عنوان مبنای محاسبه آب تلف شده، لزوم اندازه‌گیری یا محاسبه سطح برگ گیاهان مورد آزمایش را آشکار می‌سازد این اندازه‌گیری در مورد برخی از برگ‌ها که بتوان حاشیه آن را بر روی کاغذ ترسیم نموده و یا با قرار دادن برگ در مقابل کاغذهای حساس به نور (مثل کاغذهای اوزالید) بتوان تصویر آن را چاپ نمود آسان است. اندازه سطحی را که به این طریق مشخص شده می‌توان با سطح سنج (پلاتی متر) یا بریدن حاشیه‌ها و توزین آن و مقایسه با وزن سطح مشخصی از همان کاغذ تعیین نمود. عده‌ای از پژوهشگران برای اندازه‌گیری مقدار نوری که به گیاه برخورد می‌کند از دستگاه‌های فتوالکتریک استفاده نموده‌اند. روش دیگر استفاده از رابطه بین سطح برگ و عرض یا طولی است که در اغلب برگ‌ها وجود دارد. میلر^{۲۶۳} (۱۹۳۸) این روش‌ها را بررسی نموده و از آن زمان تاکنون مطلب زیادی به آن اضافه نشده است.

تابعال فرض بر این بوده است که تعرق برگ‌ها تنها عامل اصلی تلفات آب گیاهان است ولی تعرق از ساقه‌های برخی گونه‌های علفی نیز جزء مهمی از تلفات کل آب را شامل می‌شود. گراکانین^{۲۶۴} (۱۹۶۳ d) گزارش نموده است که میزان تعرق در واحد سطح ساقه در عده‌ای از گونه‌های



شکل ۸ ۱۲-۹: میزان تعرق در سه گونه (ایمپاتینس نولی تانجر^{۲۶۵}، کورونیلواریا^{۲۶۶} و سدوم ماکزیم^{۲۶۷}) بر حسب میلی گرم در هر گرم وزن تازه برگ (چپ) و میلی گرم در هردسی متر مربع سطح برگ (راست). میزان تعرق نسبت به تبخیر حاصله از کاغذ صافی آلومتر ترسیم شده است. میزان تعرق سدوم بیشتر تحت تاثیر روش انتخاب واحد قرار می گیرد، زیرا نسبت سطح به وزن برگهای آن بسیار کم است (برداشت از پیک و کارته لیری^{۲۶۸}، ۱۹۳۲).

علفی به مراتب بیش از سطح برگها بوده است. بنابراین، علی رغم سطح زیاد برگها نسبت به ساقه، تلفات آب در ساقه عده ای از گونه ها حدود نصف تلفات آب از برگها بوده و در برخی از گونه ها تلفات آب ساقه معادل تلفات آب از برگها است. گرچه روش توزین سریع گراکانینگ قابل انتقاد است، ولی نتایج حاصله مؤید این است که مقدار تلفات آب از ساقه ها نیز قابل اهمیت بوده و باید در محاسبه تعرق در هر واحد سطح به حساب آورده شود. هوبر^{۲۶۹} (۱۹۵۶a) آمارهائی در مورد تعرق برگ

265— *Impatiens noli - tangere*266— *Coronilla varia*267— *Sedum maximum*

268— Pisek and Cartellieri

269— Huber

و ساقه ارائه داده است . وی هم چنین ارقامی مبنی بر تعرق از پوست درخت را که در مقایسه با تلفات آب از شاخ و برگ اندک است متذکر شده است .

میزان تعرق:

باتوجه به اشتباهاتی که در ذات هر کدام از روشهای اندازه گیری تعرق نهفته است ، بعید به نظر می رسد که بتوان مقدار واقعی تعرق را اندازه گیری نمود . ولی اختلاف بین گونه هائی که در يك شرایط تحت آزمایش قرار می گیرند و نیز اثر تغییرات روزانه و فصلی بر سرعت تعرق جالب توجه می باشد . بنابراین ، در این جا که از آمارهائی در این مورد ذکر بعمل می آید لازم است به محدودیتهای آنها نیز توجه گردد . البته آمارهائی واقعی بیش از آنچه در موردشان انتقاد شده است قابل اعتماد می باشند . مثلاً، تعرق گلدانهای نهال لیریودندرون تولیپی فرا^{۲۷۰} در مقابل آفتاب کامل ماه اوت در کلمبوس اوهایو بطور متوسط ۱۰/۱ گرم در دسی متر مربع در روز و در دورهام کارولینای شمالی ۱۱/۷ گرم در دسی متر مربع در روز بوده است . مقایسه تعرق شش گونه گیاهی که به دوروش توسط چهار محقق انجام شده نشان می دهد که میزان تعرق صنوبر حداقل و مقدار تعرق غان حداکثر بوده است (به کرامر و کوزلوسکی^{۲۷۱} ، ۱۹۶۰ ، صفحه ۲۹۹ مراجعه شود) . نتایج حاصله از اندازه گیری میزان تعرق درختان پرتقال به روش توزین سریع برگهای قطع شده و گلدانهای حاوی گیاه در روزهای معتدل مشابه بوده است ولی این نتایج در روزهای گرم و خشک مشابه نبوده اند (هالوی^{۲۷۲} ، ۱۹۵۶) . بنظر می رسد که روشهای نامطمئن

270— *Liriodendron tulipifera*

271— Kramer and Kozlowski

272— Halevy

از نظر کسب اطلاع در مورد منبع اشتباهات مفید واقع می‌گردند. مشکل اساسی تعمیم نتایج حاصله از اندازه‌گیری تعرق برگها و بوته‌های مجزا شده در مورد اجتماعات گیاهی است.

در جدول ۷-۹ میزان تعرق گیاهان گلدانی داده شده است. در شکل ۱۴-۹ منحنیهای تغییرات روزانه تعرق و در شکل ۱۵-۹ تغییرات فصلی تعرق برای متوسط گونه‌های خزان‌شونده آورده شده است. دامنه تغییرات تعرق در روز معمولاً بین ۰/۵ تا ۲/۵ گرم در دسی‌متر مربع در ساعت و در شب احتمالاً ۰/۱ گرم در دسی‌متر مربع در ساعت یا کمتر است. متابولیسم اسیدکراسولاسه آن در برخی از گیاهان مثل نمدار و آناناس موجب می‌شود که میزان تعرق در شب بیش از روز باشد (جوشی و همکاران^{۲۷۳}، ۱۹۶۵). اگر يك گیاه مجزا شده را در نظر بگیریم این مقادیر به این معنی است که تلفات آب در گیاهان غالباً بیش از محتوی آب موجود در آنها در طی روزهای گرم و صاف است. اثرات تلفات سریع آب در فصل دهم تشریح گردیده است.

تغییرات دوره‌ای تعرق :

عده‌ای از نویسندگان وجود تغییرات روزانه تعرق را که مستقل از شرایط محیطی می‌باشد گزارش نموده‌اند. مونترموسو و دیویس^{۲۷۴} (۱۹۴۲) مطالب علمی منتشر شده درباره این موضوع را بررسی نموده‌اند. نامبردگان دریافتند که اگر برگها و قطعات شاخه کولئوس^{۲۷۵} در تاریکی و در دمای ثابت قرار گیرند، در آنها نوسانات دوره‌ای تعرق مشاهده خواهد شد.

273— Joshi et al

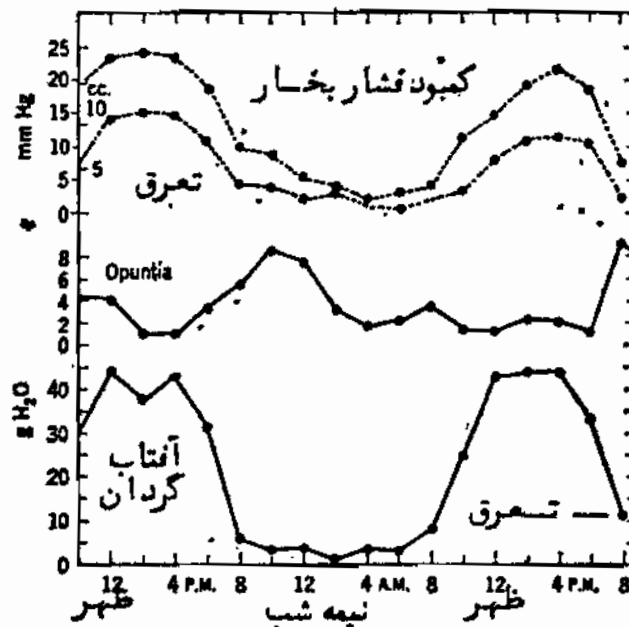
274— Montermoso and Davis

275— Coleus

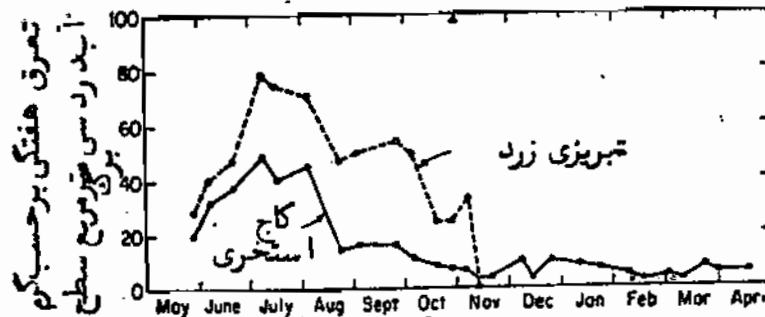
جدول ۹-۷: میزان تعرق گونه‌های مختلف درختی در اواسط تابستان
برحسب گرم آب تلف شده در هردسی‌متر سطح برگ در روز (کلیه نهالها در
داخل گلدان و در رطوبتی معادل ظرفیت نگهداری پرورش داده شده‌اند).

گونه	محل	فصل	طول مدت روز	تعداد نهالها	میانگین تعرق روز / g/dm^2
<i>Liriodendron tulipifera</i>	کمیسیون - اوهایو	اوت	۱	۷	۱۰/۱۱
<i>Liriodendron tulipifera</i>	دورهام بکارولینای شمالی	اوت	۳	۴	۱۱/۷۸
<i>Quercus alba</i>	" " "	"	۳	۴	۱۴/۲۱
<i>Quercus rubra</i>	" " "	"	۳	۴	۱۴/۰۴
<i>Quercus rubra</i>	تایت مونتان	ژوئای	۱۴	۶	۸/۱
<i>Acer saccharum</i>	" " "	"	۱۴	۶	۱۲/۲
<i>Acer negundo</i>	" " "	"	۱۴	۶	۶/۴
<i>Platanus Occidentalis</i>	" " "	"	۱۴	۶	۸/۸
<i>Pinus taeda</i>	دورهام بکارولینای شمالی	اوت	۳	۴	۴/۶۰
<i>Clethra alnifolia</i>	" " "	"	۳	۴	۹/۷۳
<i>Ilex glabra</i>	" " "	"	۳	۴	۱۶/۱۰
<i>Myrica cerifera</i>	" " "	"	۳	۴	۱۰/۸۰
<i>Gordonia Pasianthus</i>	" " "	"	۲۳	۴	۱۷/۷۷
<i>Liriodendron tulipifera</i>	" " "	۱۲ اوت	۱۲	۶	۹/۷۶
<i>Quercus rubra</i>	" " "	۱۲ اوت	۱۲	۶	۱۲/۶۰
<i>Pinus taeda</i>	" " "	۱۲ اوت	۱۲	۶	۰/۰۸

بطوری که حداکثر تعرق در ظهر و حداقل آن در نیمه شب می باشد ولی اگر گیاه قبل از آن که بطور دائم در تاریکی قرار گیرد متناوباً بانور و تاریکی مواجه گردد ، این تغییرات دوره ای برعکس خواهد شد . تغییرات روزانه میزان تعرق مربوط به تغییرات دوره ای باز شدن روزنه ها است که اگر گیاه در تاریکی دائم قرار گیرد بطور ثابت ادامه پیدا خواهد کرد (میلر^{۲۷۶} ، ۱۹۳۸) . شاید هم دلیل آن تغییرات روزانه مقاومت ریشه ها است که بعداً گفته خواهد شد .



شکل ۱۴: تغییرات روزانه تعرق در آفتاب گردان و انجیر هندی در يك روز گرم تابستان در خاکی که رطوبت آن در حد ظرفیت زراعی بوده است . به کاهش میزان تعرق آفتاب گردان در وسط روز توجه شود . احتمالاً دلیل این کاهش از دست دادن آماس و انسداد نسبی روزنه ها است . همچنین توجه شود که حداکثر تعرق انجیر هندی در شب می باشد . این خاصیت مخصوص گیاهانی است که دارای متابولیسم اسید آلی کراسولاسه آن می باشند (از کرامر^{۲۷۷} ، ۱۹۳۷) .



شکل ۹-۱۵: تغییرات فصلی تعرق در نهالهای گلدانی گونه‌های همیشه‌سبز و خزان شونده در دورهام کارولینای شمالی (از کرامر و کوزلوسکی^{۲۷۸}، ۱۹۶۰).

مسأله پیچیده‌تر نوسانات کوتاه مدتی است که عده‌ای از نویسندگان گزارش نموده‌اند (به‌بارز و کلیپر^{۲۷۹}، ۱۹۶۸ مراجعه شود) و زمان آن حدود ۳۰ دقیقه می‌باشد. ارلر و همکاران^{۲۸۰} (۱۹۶۵) گزارش نموده‌اند که تعرق، مقاومت برگ، ضخامت برگ و کمبود آب برگهای پنبه بطور دوره‌ای تغییر می‌نمایند. این تغییرات را به نوسانات دوره‌ای آماس برگها که بر اندازه سوراخ روزنه‌ها مؤثر است مرتبط ساخته‌اند. بارز و کلیپر (۱۹۶۸) این موضوع را بادقت بیشتری بررسی نموده و دریافته‌اند که پتانسیل آب برگ نیز بطور دوره‌ای متغیر است، بطوری‌که وقتی اندازه سوراخ روزنه‌ها و میزان تعرق به حداکثر خود می‌رسد پتانسیل آب برگ به حداقل کاهش پیدا می‌کند. نامبردگان چنین نتیجه‌گیری کرده‌اند که مقاومت ریشه‌ها در مقابل جریان آب زیاد بوده و دوره‌ای بودن تعرق زمانی صورت می‌گیرد که مقدار مقاومت به اندازه‌ای افزایش یابد که بتواند موجب بروز کمبود آب در داخل گیاه شود. این نتایج در جهت اثبات گزارش

278— Kramer and Kozlowski

279— Barrs and Klepper

280— Ehrlar et al

مشاهده می‌شود نمونه‌ای از تغییرات دوره‌ای طویل‌امدت است. بگ و همکاران^{۲۸۳} (۱۹۶۴) گزارش نموده‌اند که انسداد روزنه‌ها موجب کاهش تعرق نی در اواسط روز می‌گردد.

نسبت تعرق :

مقدار آبی که در ساختن هر واحد وزن ماده خشك مصرف می‌شود از نظر ارزیابی راندمان آب مصرفی کشاورزی مفید می‌باشد. به این مقدار قبلاً آب مورد احتیاج اطلاق می‌شد (شانتز و پی می‌سل^{۲۸۴}، ۱۹۲۷) ولی اکنون بیشتر به نام نسبت تعرق^{۲۸۵} مصطلح می‌باشد. در آزمایشاتی که در کلرادو انجام شده است این نسبت برای ذرت و ارزن بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ و برای یونجه بین ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ بوده است. (شانتز و پی می‌سل، ۱۹۲۷) حداقل نسبت تعرق در مورد گیاهان زراعتی ۵۰ بوده است که برای آناناس گزارش شده است (اکرن^{۲۸۶}، ۱۹۶۵). اسلاچر^{۲۸۷} (۱۹۶۷) خاطر نشان ساخته است که این نسبت در مورد گیاهان کویری که پوشش آنها پراکنده بوده و بیشتر آب خاک از طریق تبخیر تلف می‌شود به ۵۰۰ نیز می‌رسد. ثابت شده است که اگر میزان بارندگی تکافوی احتیاجات پوشش گیاهی تمام سطح خاک را بنماید، با افزایش تراکم پوشش گیاهی، راندمان استفاده از آب نیز افزایش پیدا کرده و تلفات آب بصورت تبخیر از سطح زمین به حداقل خود می‌رسد. از آناناس می‌توان به عنوان يك مثال بارز نام برد. بطوری که در شکل ۱۷-۹ دیده می‌شود، میزان تعرق آناناس بقدری کم است که وقتی کاملاً بر سطح زمین سایه می‌اندازد تعرق و تبخیر آن کمتر

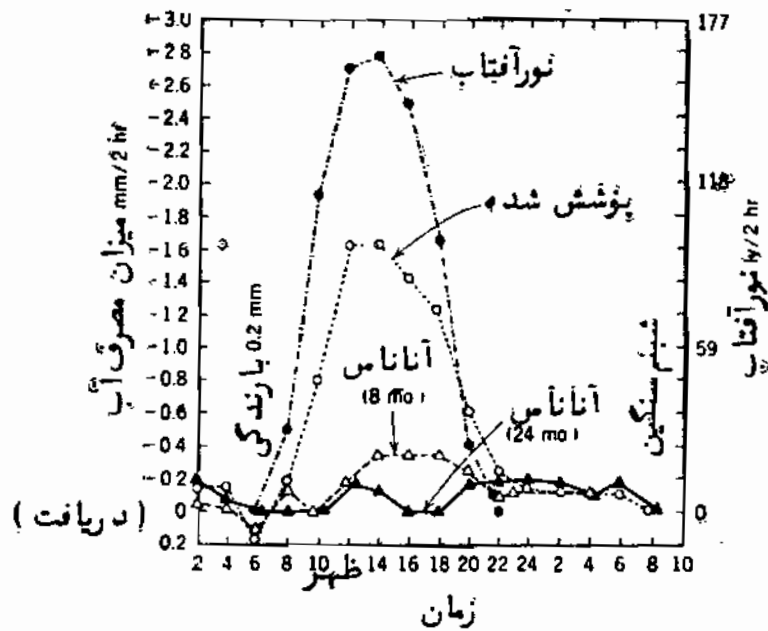
283— Begg et al

284— Shantz and Piemeisel

285— Transpiration ratio

286— Ekern

287— Slatyer



شکل ۱۷-۹: تعرق و تبخیر از چمن نوع برمودا، مرغ و آناناس در ۸ تا ۲۴ ماه پس از کشت. رشد گیاهان در داخل لیسیمتر و در هواوائی صورت گرفته است (از اکرون، ۱۹۶۵)

از زمانی است که نهالها جوان بوده و قسمتی از سطح زمین در معرض آفتاب بوده و تلفات آب بصورت تبخیر صورت می گرفته است (اکرن ۱۹۶۵). کودپاشی و سایر عملیات زراعی، که باعث بالابردن سطح محصول می شوند، معمولاً در جهت کاهش نسبت تعرق و افزایش راندمان استفاده از آب می باشند. در جدول ۲-۱ مثالی آورده شده است که اختلاف بین گونه ها و جنسهای مختلف و نیز اثرات ازت را نشان می دهد. کوچ^{۲۸۸} (۱۹۵۷) خاطر نشان ساخته است که عواملی مثل صدمات حاصل از اکسید سولفور، که اثر آن در کاهش فتوسنتز بیش از تعرق است، موجب کاهش راندمان استفاده از آب می گردند. حمله قارچها به برگها نیز گاهی اوقات همین اثرات را دارد. استعمال مواد شیمیائی بازدارنده تعرق بر این اساس است

که تصور می‌شود می‌توان تعرق را بیش از فتوسنتز کاهش داده و به این ترتیب باعث افزایش راندمان استفاده از آب گردید .

کاهش تعرق :

متخصصین کشاورزی و باغبانی از مدتها قبل علاقه به کاهش میزان تعرق داشته‌اند . کاهش تعرق از نشاء به گیاه این توانائی را می‌دهد که تازمانی که سیستم ریشه‌ای خود را تثبیت ننموده است ، بتواند توازن آب خود را حفظ نماید . کاهش تعرق در هنگام خشکی گیاه را قادر خواهد ساخت تا در مقابل صدمات وارده مصون بماند و کاهش تعرق از پوششهای گیاهی حوضه‌های آبگیر نیز سبب می‌شود که محصول آبدهی حوضه افزایش یابد . یکی از طرق ممکن پاشیدن مواد ضد آب روی گیاه است تا از تلفات بخار آب جلوگیری بعمل آید . روش دیگر استعمال موادی است که باعث بسته شدن روزنه‌ها گردد .

گزارش شده است که انواع قارچ کشها ، علف کشها ، مواد بازدارنده متابولیک و مواد تنظیم کننده رشد بامسدود نمودن روزنه‌ها موجب کاهش تعرق می‌گردند . ورقه‌های گوناگون از قبیل اموسیونهای شیرابه‌ای مومهای پلی‌وینیل ، پای اتیلن ، وینیل اکریلات و الکالهای سنگین مثل هگزاد کانول نیز مورد استفاده داشته و نتایج متنوعی از آنها بدست آمده است . بنظر می‌رسد اثر این مواد بسته به نوع گونه گیاهی ، مرحله رشد و شرایط آب و هوایی در زمان استعمال دارد . گیل و هاگن^{۲۸۹} (۱۹۶۶) منابع علمی موجود در این زمینه را بررسی نموده‌اند .

استعمال ورقه‌ها امیدبخش نیست زیرا این مواد نسبت به دی اکسید

کربن غیر قابل نفوذ بوده (وولی^{۲۹۰}، ۱۹۶۷) و موجب کاهش فتوسنتز می‌گردند. علاوه بر این درمزرده گیاهان سریع‌الرشد لازم است که پاشیدن این مواد مرتب تکرار گردد. استعمال موادی که موجب می‌شوند روزنه‌ها بطور ناقص مسدود شوند امیدبخش است زیرا اثر انسداد جزئی روزنه‌ها بر کاهش تعرق بیش از کاهش فتوسنتز است (شیمشی^{۲۹۱} a، ۱۹۶۳؛ اسلاچر و برهوزین^{۲۹۲} b، ۱۹۶۴؛ زلیچ و واگونر^{۲۹۳}، ۱۹۶۲). این فرض بر مبنای نظریات گاسترا (۱۹۵۹) است که اظهار داشته است حرکت دی‌اکسید کربن به داخل ساولهای مزوفیل و کلروپلاستها باعث می‌شود مقاومت گیاه در مقابل ورود دی‌اکسید کربن افزایش یافته ولی بر خروج بخار آب مؤثر نیست. گاسترا^{۲۹۴} (۱۹۵۹) عقیده دارد که مقاومت مزوفیل در مقابل ورود گاز کربنیک بیشتر از مقاومت هوا و روزنه‌ها بوده و بر خروج بخار آب مؤثر است. بنابراین اثر تغییر اندازه سوراخ روزنه‌ها بر فتوسنتز کمتر از تعرق می‌باشد. اسلاچر و برهوزین (۱۹۶۴ b) گزارش کرده‌اند که توانستند با استفاده از استات فنیل مرکوریک روزنه‌ها را بسته و مقدار تعرق را بیش از فتوسنتز کاهش دهند. از طرف دیگر بارز^{۲۹۵} (۱۹۶۸) فتوسنتز و تعرق پنبه‌را در خلال باز و بسته شدن دوره‌ای اندازه‌گیری نموده است. نسبت فتوسنتز خالص به تعرق در ازاء تغییرات وسیع تبادل گازی و حتی در برگهای پژمرده نیز ثابت بوده است. این نتایج بارز را بر آن داشت که اظهار دارد، درمورد اهمیت مقاومت مزوفیل در مقابل حرکت اکسید کربن بیش از اندازه گزافه‌گوئی شده است. بریکس^{۲۹۶} (۱۹۶۲) نیز دریافت

290— Woolley

291— Shimshi

292— Slatyer and Bierhuizen

293— Zelitch and Waggoner

294— Gaastra

295— Barrs

296— Brix

که با افزایش تنش آب در کاج استخوری و گوجه فرنگی میزان کاهش فتوسنتز و تعرق به یک اندازه بوده است .

یکی از مواد امیدبخشی که در بسته شدن روزنه ها مورد استعمال دارد استات فینل مرکوریک است . مشاهده شده است که این ماده تعرق را در عده ای از گونه ها بطرز محسوسی کاهش داده است . واگونر و براودو^{۲۹۷} (۱۹۶۷) گزارش داده اند که استات فینل مرکوریک تلفات آب را در درختان کاج به مقدار زیادی کاهش داده است . متأسفانه شواهدی موجود است که استات فینل مرکوریک در برخی موارد سمی بوده است . کلر^{۲۹۸} (۱۹۶۶) گزارش نموده است که هم لایه های حاصله از ترکیبات پلی وینیل و هم استات فینل مرکوریک هر دو در کاهش تعرق نهالهای صنوبر مؤثر بوده اند . ولی این مواد فتوسنتز و رشد ریشه را نیز تقلیل داده اند . علاوه بر این استات فینل مرکوریک موجب افزایش تنفس و وارد آمدن صدماتی به نهالهای صنوبر نیز شده است . روش دیگر کاهش تعرق ممکن است افزایش غلظت دی اکسید کربن باشد . بطوری که وقتی مقدار آن از حدی تجاوز نماید موجب بسته شدن روزنه ها می گردد . موس و همکاران^{۲۹۹} (۱۹۶۱) گزارش نموده اند که افزایش غلظت دی اکسید کربن در اطراف برگهای ذرت از ۰.۳۱ / تا ۰.۵۷ / درصد باعث شد میزان تعرق ۲۳ درصد تقلیل پیدا نماید ولی مقدار فتوسنتز خالص ۳۰ درصد افزایش یافت . متأسفانه این روش فقط در محفظه های بسته و سطوح کوچک عملی می باشد . مساماً امکان کاهش تعرق قبل از آن که در سطحی وسیع قابل پیاده شدن باشد ، نیاز به مطالعات بیشتری دارد ولی اگر نیاز به این روش احساس شود مساماً قابل اجرا

297— Waggoner and Bravdo

298— Keller

299— Moss et al

خواهد بود .

تغرق از اجتماعات گیاهی :

در شرایط مزرعه برگها از نظر اندازه و طرز قرارگرفتن در مقابل نور خورشید و حرکت باد بسیارمتنوعند . علاوه براین درگیاه و یا اجتماعی از گیاهان برگهائی که از نظر سن و ساختمان متفاوت می باشند وجود داشته و هر کدام برای خود محیط رشد کوچکی را دارا می باشند . در نتیجه ، رفتار يك برگ در محیط مخصوص و کنترل شده رفتار آنها در مزرعه و جنگل رابطه زیادی ندارد . لازم است تاکید شود که کاربرد مطالعاتی که روی يك برگ یا يك گیاه در محیطی متفاوت از محیط اصلی صورت می گیرد ، محدود است . اندازه گیریهای تغرق بدون اندازه گیری محیط كوچك اطراف گیاه محدودیتهای زیادی دربر خواهد داشت .

اگر بخواهیم اندازه گیریها از نظر فیزیولوژیکی دقیق باشند باید بر مبنای معادله (۲-۹) عمل نمود . ولی اگر بخواهیم از نظر اکولوژیکی نیز دقت داشته باشند باید روابط محیط كوچك رشد اجتماعات گیاهی را نیز در نظر گرفت .

تبخیر و تغرق از اجتماعات گیاهی :

تبخیر و تغرقی که در اجتماعات گیاهی صورت می گیرد غالباً به نام «تبخیر و تغرق» مصطلح بوده و در توصیف مجموعه سطوح تبخیرکننده خاک - گیاه مورد استعمال دارد . تبخیر از سطح خاک و تغرق از سطح گیاه هر دو فرآیندهائی مشابه بوده و می توان گفت خاک و گیاه مسیرهای انتخابی هستند که آب آنها را طی نموده و سرانجام به داخل توده هوا پخشیده می شوند . ناهمگنی سطح تبخیر و تغییرات مقاومت از نظر کنترل

بیولوژیکی در مقابل جریان آب داخلی موجب تعدیل حرکت داخلی آب می‌شود. اسلاچر^{۳۰۰} (۱۹۶۷ صفحات ۴۶ تا ۵۶) این مسأله پیچیده را به تفصیل بحث نموده است.

خصوصیات فرآیند تبخیر و تعرق از اجتماعات گیاهی نیز گاهی اوقات بوسیله معادله‌ای شبیه معادله (۲-۹) نشان داده شده است. (اسلاچر، ۱۹۶۷ صفحه ۴۸).

$$E = \frac{C_{\text{داخل}} - C_{\text{هوا}}}{r_{\text{داخل}} + r_{\text{هوا}}} = \frac{0.622}{p} \frac{e_{\text{داخل}} - e_{\text{هوا}}}{r_{\text{داخل}} + r_{\text{هوا}}} \quad (۵-۹)$$

که مقصود از کلمه داخل قسمت داخلی مسیر حرکت آب بین سطح تبخیر و سطح خاک یا گیاه است.

در خاکهایی که سطح آنها مرطوب است می‌توان از داخل صرف نظر نموده و داخل e عبارت از غلظت بخار در سطح خاک می‌باشد. وقتی خاک خشک می‌شود سطح تبخیر در داخل آن عقب‌نشینی نموده و باعث افزایش طول و پیچ‌وخمهای^{۳۰۱} مسیر حرکت بخار آب می‌شود. دلیل کاهش سریع تبخیر در خاکهای خشک به همین مناسبت است.

در یک گیاه مجزاشده سطوح تبخیر، بجز در مواردی که برگها مرطوب می‌باشند، همواره در داخل برگها قرار دارد. ولی در اجتماعات گیاهی، سطوح تبخیر را برگهای داخل پوشش تشکیل می‌دهند معادله (۵-۹) بر اساس نظریه مونیت^{۳۰۲} (۱۹۶۳) است که فرض نموده است سطوح تبخیر همان سطوح پوشش گیاهی باشد. در این مورد بیش از حد ساده‌سازی شده است زیرا شرایط هوا و نیز شرایط برگ از بالا تا پایین پوشش متفاوت بوده و میزان تعرق نیز در سطوح مختلف متفاوت می‌باشد. بگ و همکاران^{۳۰۳}

300— Slatyer

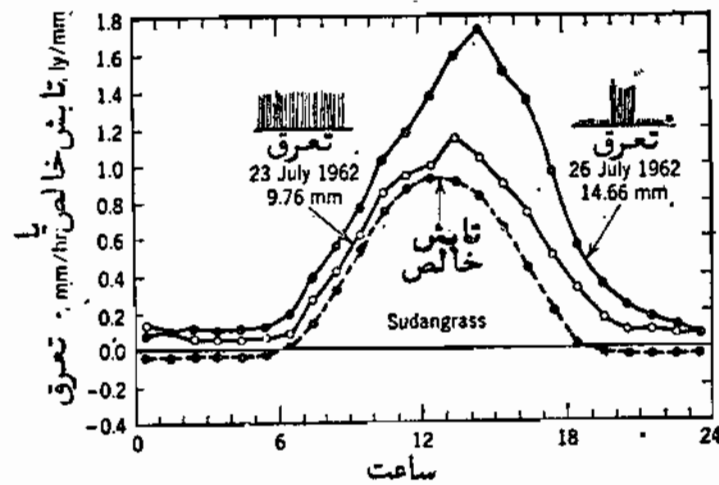
301— tortuosity

302— Monteith

303— Begg et al

(۱۹۶۴) مثالهایی از تغییرات عمودی خصوصیات برگ و میزان تعرق در داخل پوشش گیاهی را ذکر نموده است. واگنرورریف اشنایدر^{۳۰۴} (۱۹۶۸) الگوئی را درست کرده اند که در آن عکس العملهای پیچیده ای که بر تعرق داخل پوشش گیاهی مؤثر است نشان داده می شود. این الگو تشکیل شده است از یک سری مقاومتها و هادیهای عمودی که نمایانگر سطوح مختلف پوشش گیاهی است که حرکت نزولی انرژی و حرکت صعودی بخار آب را به ازاء شیب پتانسیل نشان می دهد. با این روش می توان تبخیر را از هر لایه ای از پوشش تخمین زد و اگر مقدار تابش، مقاومتها و سطوح برگ در لایه ها معلوم باشند می توان مقدار کل تبخیر را نیز محاسبه نمود. طرز کار و استفاده از این روش را واگنرورریف اشنایدر (۱۹۷۵) تشریح نموده اند.

سطح برگها در یک اجتماع گیاهی غالباً ۳ تا ۶ برابر سطحی زمینی است که گیاهان در آن می رویند (ضریب سطح برگ ۳ تا ۶). چون تلفات آب در بیشتر برگها از دو سطح صورت می گیرد، سطح کل خارجی را باید دو برابر آنچه هست به حساب آورد. البته، تبخیر از یک جامعه گیاهی هرگز از مقدار تبخیری که از همان اندازه سطح خاک مرطوب یا سطح آب صورت می گیرد تجاوز نمی کند. گاهی اوقات، مانند اراضی کشاورزی محصور در کویر مقداری انرژی اضافی به صورت افقی به سطوح تبخیر وارد می شود. این وضعیت در شکل ۱۸-۹ مشاهده می شود. بطوری که ملاحظه می شود تلفات انرژی بوسیله تبخیر و تعرق از چمن نوع سودانی در داخل لیسیمتر بیش از مقدار خالص انرژی است که از تابش آفتاب کسب می گردد. اگر گیاهان اطراف لیسیمتر از بین برده شوند این اختلاف شدیدتر بروز می کند.



شکل ۱۸-۹: میزان تعرق چمن سودانی در داخل لیسیمتر و نیز همین تعرق سه روز پس از چیدن گیاهان اطراف آن. مقدار تابش در این دوروز برابر بوده اند ولی انتقال افقی حرارت موجب شده است که تعرق در قسمت مجزا شده افزایش یابد (از وان باول و همکاران ۱۹۶۲، ۳۰۵).

متخصصین کشاورزی و جنگلداری به اثرات تغییر تراکم و ارتفاع گیاهان بر میزان تبخیر و تعرق توجه خاصی مبذول می دارند. مثلاً در شرایط یکسان، میزان تعرق از جنگلها یا باغهای واکاری شده که ارتفاع درختان آنها نیز مختلف باشد بیش از درختان متراکم هم ارتفاع است. زیرا تلاطم هوا در داخل درختان تنگ شده با ارتفاع غیر برابر زیاد می باشد. البته، هرس یک گیاه ممکن است میزان تبخیر و تعرق را کاهش دهد یا این که اثری بر آن نداشته باشد. هرس کم ممکن است داخل گیاه را باز نموده و افزایش تلاطم و تقلیل مقاومت هوا باعث بالارفتن تبخیر و تعرق گردد. فقط در زمانی که هرس آنقدر شدید باشد که سطح برگها را بحد زیادی تقلیل دهد می توان انتظار داشت که میزان تبخیر و تعرق گیاهان کاهش پیدا می کند. افزایش محصول آبدهی یک حوضه آبگیر متناسب با کاهش سطح پوشش گیاهی است (هیولت و هیبرت ۱۹۶۱، ۳۰۶).

احتمالاً قسمتی از افزایش محصول آب حوضه به دلیل جلوگیری تلفات آب بازالین بردن پوششی است که مانع از رسیدن آب به سطح زمین می شود . ریزش زیاد برگ به هنگام بروز تنش آب ، شبیه آن چه در گونه های خزان- شونده یا گیاهان دائمی کویری مثل افریبا و لارا^{۳۰۷} اتفاق می افتد ، باعث تقلیل تلفات آب می شود . کیلیان و لمی^{۳۰۸} (۱۹۵۶) تغییرات فصلی و رشد گیاه را در رابطه با سطوح تعرق گونه های مختلف مورد گفتگو قرار داده اند.

نسبت تعرق به تبخیر:

نسبت مقدار آبی که از سطح زمین تبخیر می شود به مقدار تعرق ، بخصوص در مناطقی که بارندگی کم است، حائز اهمیت می باشد . مقدار آمارهائی که بتواند این نسبت را نشان دهد اندک است . در ایالات متحده بطور کلی یک چهارم آب در سطح زمین جاری شده و سه چهارم آن از طریق تبخیر از سطح زمین و گیاهان به هوا باز می گردد (اکرمن و لوف^{۳۰۹}، فصل سوم ۱۹۵۹) . البته نسبت مقدار آبی که به یکی از این دو طریق تلف می شود به تغییرات محلی زیادی بستگی دارد . برای تعیین این که تغییرات پوشش گیاهی تاجچه اندازه جریان آب سطحی یک حوضه را افزایش می دهد، تفکیک مقدار تلفات آب بصورت تبخیر و تعرق حائز اهمیت زیاد است . کسانی که تلفات آب را از روی توازن انرژی محاسبه نموده اند چنین عقیده دارند که اهمیت طبیعت پوشش گیاهی از منبع انرژی کمتر بوده و تازمانی که شرایط رشد فراهم باشد اثر نوع گیاهی که در حوضه می روید بر محصول آبدی آن حوضه ناچیز است . ولی، رایدر^{۳۱۰} (۱۹۵۷) دریافت اگر گیاهان

307— Euphorbia and Larrea

308— Killian and Lemee

309— Ackerman and Loff

310— Rider

زراعتی مساحتی بیش از چند اکرا اشغال نموده باشند اثر آنها بر تغییر محیطی که روی گیاه را فرا گرفته متفاوت بوده (بسته به نوع گیاه) و به این ترتیب تلفات آب نیز گوناگون خواهد بود. هم چنین در صورت امکان انتقال افقی حرارت، میزان تعرق از اجتماعاتی که تنک بوده و تهویه کافی در داخل آنها صورت می گیرد بیش از اجتماعات متراکم و یک نواخت است. علاوه بر این، اختلاف عمق ریشه، طول فصل رویش، شکل ظاهری گیاه و اندازه سوراخ روزنه ها بر تعرق مؤثر بوده و در نتیجه تلفات آب در گونه های مختلف متفاوت می باشد.

مطالعات بسیار زیادی که در آزمایشگاه هیدرولوژی کووتا در مناطق مرطوب جنوب غربی کارولینای شمالی شده است نشان می دهد که تعویض جنگلهای کامل به گیاهان کم رشد باعث شده است که مقدار جریان رودخانه در سال اول پس از قطع درختان به میزان $12/5$ تا 40 سانتی متر در سال افزایش یابد. افزایش جریان آب در شیبهای روبه شمال بیش از شیبهای رو به جنوب بوده است (هیوات و هیبرت^{۳۱۱}، ۱۹۶۱). با افزایش رشد پوشش گیاهی، مقدار جریان سطحی آب نیز تقلیل می یابد. گفته می شود آزمایشاتی که در سایر مناطق معتدل به غیر از کووتا انجام شده نشان می دهد که قطع کامل درختان (خارج ساختن گیاهان چوبی از حوضه) میزان آبدهی حوضه را تا حداکثر 25 سانتی متر در سال و بطور متوسط نصف مقدار فوق افزایش می دهد. قطع کامل درختان کاج در کلرادو جریان آب رودخانه را بین 25 تا $33/7$ سانتی متر یا حدود 30 درصد افزایش داد (ویلسم و دانفورد^{۳۱۲}، ۱۹۴۸). گفته شده است که تبدیل چاپارلها به چمن در دره مرکزی کالیفرنیا (بیسول و شالتز^{۳۱۳}، ۱۹۵۷) و نیز در جنوب کالیفرنیا

311— Hewlett and Hibbert

312— Wilm and Dunford

313— Biswell and Schultz

پیلسبری و همکاران^{۳۱۴}، (۱۹۶۱) میزان آبدوی را دوبرابر ساخته است. اثرات قطع اشجار بر جریان آب بستگی به توزیع فضای بارندگی و مقدار بارندگی در هر ریزش دارد (هیولت و هیبرت، ۱۹۶۷). جنبه های مختلف این مسأله پیچیده در سمپوزیم هیدرولوژی جنگل که ساپرولول^{۳۱۵} (۱۹۶۷) آن را منتشر نموده اند بررسی شده است.

گزارش شده است که در بعضی موارد قطع کامل درختان جنگلی باعث بالا رفتن سطح آب سفره های سطحی می شود. بنابه گفته وایلد و همکاران^{۳۱۶} (۱۹۵۳) خارج ساختن درختان آشنک موجب شد سطح آب زیرزمینی ۳۵ سانتی متر بالا آمده و خاکهایی که به خوبی زهکشی می شدند تبدیل به نیمه باطلق شده است. تروزدل و هور^{۳۱۷} (۱۹۵۵) گزارش نموده اند که سطح آب در جنگل کاج استخری پائین تر از قطعه زمین مجاور بوده که خاک یکسانی داشته ولی درختان آن قطع نشده بودند. ولی با قطع اشجار در زمین دست نخورده نیز سطح آب زیرزمینی بالا آمده است. در برخی گندمزارهای غرب استرالیا با جایگزین نمودن درختان همیشه سبز اوکالیپتوس (ریشه های عمیق) بوسیله گیاهان زراعتی یکساله (ریشه های سطحی) توازن هیدرولوژیکی کاملاً تغییر می نماید (بورویل^{۳۱۸}، ۱۹۴۷). مجزای نمودن تبخیر از تعرق مشکل است، ولی با وجودی که پس از قطع اشجار تبخیر افزایش می یابد اختلاف زه آب عمقی قبل و بعد از قطع درختان نمایانگر مقدار آبی است که می بایست از طریق تعرق تلف گردد. بنابراین، مقدار واقعی تعرق در جنگل کوووتا احتمالاً بیش از افزایش آبدوی از مقدار ۱۲/۵ تا ۴۰ سانتی متر در سال بوده است. پاتریک و همکاران^{۳۱۹}

314— Pillsbury et al

315— Sopper and Lull

316— Wild et al

317— Trousdell and Hoover

318— Burvill

319— Patric et al

(۱۹۶۵) از روی آمارهای تخلیه آب خاک چنین تخمین زده‌اند که جذب آب از آوریل یا اکتبر توسط درختان ۲۱ ساله کاج استخری ۱ سانتی‌متر و توسط درختان بلوط کوهی و گردوی آمریکائی ۲/۳۷ سانتی‌متر بوده است. چون سطح خاک این قطعات باپلاستیک پوشیده شده بود می‌توان گفت که میزان جذب معادل تلفات آب از طریق تعرق بوده است.

آزمایشاتی که در اوربانای ایلینویز روی ذرت انجام شده و در آن برای جلوگیری از تبخیر سطح خاک بعضی قطعات باپلاستیک پوشیده شده بودند نشان داده است که ۵۰ درصد یا بیشتر تبخیر و تعرق مربوط به تبخیر از سطح خاک بوده است (پیترز و راسل^{۳۲۰}، ۱۹۵۹). مقدار کل تبخیر و تعرق از قطعات پوشش نشده ۷/۹ تا ۷/۱۳ سانتی‌متر بیش از میزان بارندگی در همان مدت زمانی بوده است.

ریمن، وان‌دورن و استاوفر^{۳۲۱} (۱۹۴۶) روابط آب ذرت را در خاکهای لوم سیلتی نزدیک اوربانا در طی یک تابستان که میزان بارندگی ۵/۲۵ سانتی‌متر بوده است مطالعه نموده‌اند. از این مقدار ۵ سانتی‌متر آن قبل از رسیدن به زمین توسط شاخ و برگ گرفته شده و بصورت تبخیر تلف شده است و ۵/۲۰ سانتی‌متر دیگر به سطح خاک رسیده است. میزان تعرق ۵/۲۰ سانتی‌متر و مقدار تبخیر ۲/۱۳ سانتی‌متر بوده است. یعنی مجموع تلفات آب ۲/۱۳ سانتی‌متر بیش از بارندگی بوده است. این تفاوت از ذخیره رطوبت خاک تامین شده است. بطوری که مقدار آب موجود در لایه ۳/۲ متری سطح خاک از ۰/۳۱ سانتی‌متر به ۷/۱۷ سانتی‌متر رسیده است. در مناطقی که بارندگی محدود است، میزان تلفات آب ممکن است

320— Peters and Russell

321— Reiman, Van Doren and Stauffer

جدول ۹-۸: نسبت تلفات آب به‌طور تعرق و تبخیر از یک مزرعه گرت در ایلینویز از اواسط ژوئن تا اوایل سپتامبر (از پیترز و راسل، ۱۹۵۹)

سال	مجموع تبخیر و تعرق از گرت‌های پوشش‌نشده سانتی‌متر	تعرق از گرت‌های پوشش‌شده، سانتی‌متر	تعرق برحسب درصد تبخیر	مقدار کل بارندگی سانتی‌متر	اختلاف تبخیر و تعرق و بارندگی سانتی‌متر
۱۹۵۴	۳۲/۲۵	۱۶/۵	۵۱٪	۱۸/۵	۱۳/۷۵
۱۹۵۵	۳۴/۵۰	۱۷/۵	۵۱٪	۲۳/۰	۱۱/۵۰
۱۹۵۷	۳۳/۷۵	۱۵/۱	۴۵٪	۲۴	۹/۷۵

برای يك يا چند فصل رویش از مقدار بارندگی تجاوز نماید . ویگانز^{۳۲۲} (۱۹۳۸، ۱۹۳۷، ۱۹۳۶) گزارش کرده است که در يك باغ سیب ۱۸ تا ۲۰ ساله در شرق نبراسکا، میزان تلفات آب بصورت تبخیر و تفرق در سال ۲۵ تا ۳۸ سانتی متر بیشتر از بارندگی بوده است . در يك سال مقدار تلفات آب ۹۴/۵ سانتی متر بوده است در حالی که فقط ۵۶/۵ سانتی متر بارندگی وجود داشته و ۳۸ سانتی متر بقیه از خاک تامین شده بود . ویگانز حدس زده است که در عرض مدت سه سال کلیه آبی که در عمق ۹ متری سطح خاک وجود دارد تخلیه می شود و احتمالاً این درختان اگر آبیاری نشوند از بین خواهند رفت . متأسفانه سرمای شدید پاییزی این درختان را از بین برد و دقت این حدس تعیین نگردید .

در مورد گیاهان علوفه ای دائمی که ریشه های عمقی داشته و در مناطقی با میزان بارندگی محدود می رویند نیز همین شرایط وجود دارد . در برخی نقاط نبراسکا، رشد یونجه در سه سال اول کشت بسیا رجالب و مستقل از میزان بارندگی بوده است ولی پس از آن محصول تقلیل پیدا کرده و متناسب با مقدار بارندگی می باشد . کاهش محصول به دلیل تخلیه آب زیرزمینی در سه سال اول رشد بوده است . پس از این مدت میزان محصول بستگی به مقدار بارندگی دارد . یونجه می تواند در خاکهایی که به خوبی تهویه شده اند، آب را حداقل از اعماق ۹ متری جذب نماید . با در نظر گرفتن شرایط بارندگی در نبراسکا، جایگزین نمودن این مقدار آب به کندی صورت می گیرد . در حقیقت پس از ۱۵ سال کشت متناوب غلات و یونجه مقدار آبی که به عمق بیش از ۲ متری افزوده می شود ناچیز است . (کیسل باخ و همکاران^{۳۲۳}، ۱۹۲۹) .

برخی اوقات می‌توان در مناطقی که بارندگی اندک است درختان را به‌تکای آب ذخیره شده درخاک به‌مدت چند سال پرورش داد ولی این درختان پس از تغذیه رطوبت خاک از بین خواهند رفت. بانگروتامسون^{۳۳۴} (۱۹۲۸) نیز این شرایط را که میزان بارندگی تکافوی رشد بیش از حد درختان را نمی‌نماید در اوکلاه‌ما گزارش نموده‌اند. در امریکا بسیاری از جنگل‌کاریها در طی سالهای ۱۸۸۰ و ۱۸۹۰ در جاگه‌ها و دشتهای صورت گرفته‌است. رشد این درختان در برخی از سالها خوب بوده‌است ولی سرانجام باتغذیه کلیه رطوبت موجود در منطقه ریشه‌ها خشک شدند. عدم موفقیت در کشت درختان و چمنها درشن‌زارهای کویری راجستان هندوستان نیز به دلیل مشابه بوده است.

اندازه‌گیری تبخیر و تعرق:

از نظر متخصصین کشاورزی و جنگل‌داری، اندازه‌گیری مقدار تلفات آب که از پوششهای گیاهی مختلف بصورت تبخیر و تعرق از سطح زمین صورت می‌گیرد در رابطه باپیش‌بینی مقدار محصول آبدهی حوضه آبگیر و نیز تعیین زمان آبیاری بسیار حائز اهمیت است. برای تعیین تلفات آب از سطح زمین می‌توان از چهار روش معمولی ذیل استفاده نمود که عبارتند از:

- ۱- تعیین جزء تبخیر از معادله توازن آب.
- ۲- محاسبه مقدار انرژی مصرف شده در تبخیر.
- ۳- محاسبه مقدار جریان صعودی بخار آب در لایه نزدیک سطح زمین.
- ۴- تخمین از روی داده‌های هواشناسی یا مقدار تبخیر از طشت.

در این فصل روشهای مختلف به اختصار مورد بحث قرار می گیرند . برای کسب اطلاع از مزایا و معایب هر کدام از این روشها ، خوانندگان می توانند به تانر^{۳۲۵} (۱۹۶۷) مراجعه نمایند .

روش توازن آب : این روش براساس تعیین جزء تبخیر E در معادله توازن آب (۱-۳) پایه گذاری شده است . اگر مقدار نفوذ به داخل حوضه آبگیر اندک بوده و بتوان میزان آبدوی را اندازه گیری نمود این روش می تواند مورد استفاده قرار گرفته و اطلاعات مفیدی را در یک دوره زمانی طولانی بدست دهد . برای تخمین تبخیر و تعرق در دوره های یک هفته ای یا بیشتر می توان از روش اندازه گیری تخلیه آب خاک استفاده نمود . البته ، در مناطق مرطوب که بارندگی زیاد می باشد زه آب منطقه اشتباهات زیادی به بار می آورد . دقیق ترین روش استفاده از ایسیومتر است که در آن حجم خاک داخل محفظه محدود بوده و می توان مقدار آب افزوده شده یا تلف شده را اندازه گیری نمود . تانر (۱۹۶۷) مشکلات طرز کار بالیسیومتر را بررسی نموده است . در فصل سزم نیز اندازه گیری بروش توازن آبی به اختصار تشریح شده است .

روش توازن انرژی : روش توازن انرژی که توسط تانر (۱۹۶۰) ؛ اسلاچر و مک ایل روی^{۳۲۶} (۱۹۶۱) ؛ لمون^{۳۲۷} (۱۹۶۳) و بگ و همکاران^{۳۲۸} (۱۹۶۴) تشریح گردیده عبارت است از اندازه گیری یا تخمین مقدار انرژی ورودی و خروجی به داخل اجتماع گیاهی و اندازه گیری یا تخمین جزئی از انرژی خالص که جذب گیاهان شده و در انتقال حرارت بصورت گرمای محسوس و گرمای نهان (تعرق و تبخیر) بین گیاهان و هوا مؤثر است .

325— Tanner

326— Slatyer and McIlroy

327— Lemon

328— Begg et al

این روابط را می‌توان در معادله زیر توصیف نمود:

$$R_n = H + IE + G + aA \quad (۹-۶)$$

R_n تابش خالص یا اختلاف بین تابش ورودی و خروجی، H تبادل گرمای محسوس باجو، IE گرمای نهان مصرف شده در تبخیر و تعرق، G تبادل حرارتی با خاک و گیاه و aA مقدار انرژی است که صرف فتوسنتز شده و بصورت تنفس خارج می‌گردد. در یک دوره زمانی مثل چندین روز، تنها تغییرات مهمی که صورت می‌گیرد در H و IE بوده و اگر H اندازه‌گیری شود می‌توان مقدار تبخیر و تعرق را بصورت IE محاسبه نمود. اسلاچر^{۳۲۹} (۱۹۶۷ صفحه ۳۵) این روش را به تفصیل بحث نموده است. گرچه این روش محدود به گیاهان یکنواخت مثل نباتات زراعتی و برخی از جنگلها است ولی مورد استفاده آن بسیار زیاد است. در این روش انتقال عمودی حرارت تأثیری در کاربرد آن نداشته ولی اندازه‌گیری را به حد زیادی پیچیده می‌سازد.

روش ائرودینامیک یا جریان بخار آب: بهترین روش مستقیم، اندازه‌گیری جریان صعودی بخار آب در بالای سطح مورد مطالعه است. این روش نیاز به دستگاههای حساس و جدید داشته و تا بحال تعداد اندازه‌گیریهایی که با این روش شده چندتائی بیش نبوده است (سوین‌بانک^{۳۳۰} ۱۹۵۱؛ دایر^{۳۳۱} ۱۹۶۱). ولی با استفاده از یک ضریب انتقال می‌توان مقدار جریان بخار را از روی شیب رطوبت در بالای محصول تخمین زد. نتایج حاصله از این روش رضایت بخش بوده است. اسلاچر و مک‌ایل‌روی^{۳۳۲} (۱۹۶۱)، اسلاچر (۱۹۶۷) در مورد این روش اطلاعات معمولی لازم را ارائه

329— Slatyer

330— Swinbank

331— Dyer

332— Slatyer and McIlroy

داده‌اند ولی برای کسب اطلاعات دقیق‌تر می‌توان به پاسکیل^{۳۳۳} (۱۹۴۹) هاربک و همکاران^{۳۳۴} (۱۹۵۸) و وب^{۳۳۵} (۱۹۶۰) مراجعه نمود.

اندازه‌گیری تغییرات محتوی آب جریان هوای عبوری از داخل محفظه‌ای که دهانه آن یک گیاه کامل یا قسمتی از یک اجتماع گیاهی را دربر می‌گیرد نیز یک نوع روش جریان بخار آب است (دکر و همکاران^{۳۳۶}، ۱۹۶۲، موس و همکاران^{۳۳۷}، ۱۹۶۱). ولی اگر بخواهیم نتایج حاصله از این روش را در مورد تعرق و تبخیر گیاهانی که در داخل گلدان یا محفظه نیستند عمومیت دهیم لازم است که نکات احتیاطی را که قبلاً در مورد برگ یا شاخه‌های محبوس شده ذکر شد به کار بریم. مهمترین استفاده این روش مطالعه فرآیند تعرق در یک محیط مشخص شده است تا محیط طبیعی. هم‌چنین این روش در مقایسه میزان تبخیر و تعرق نسبی از اجتماعات گیاهی گوناگون در شرایط یکسان مورد استفاده دارد.

فرمولهای تجربی:

برای تخمین مقدار تبخیر و تعرق از روی آمارهای معمولی هواشناسی مثل دما و رطوبت هوا، سرعت باد، درجه ابری بودن و طول روز روشهای متعددی پیشنهاد شده است (ترونوایت^{۳۳۸} ۱۹۵۴، ۱۹۴۸؛ پنمن^{۳۳۹}، ۱۹۵۶، ۱۹۴۸؛ بلانی و کریدل^{۳۴۰}، ۱۹۵۰). بیشتر این فرمولها در اصل برای تعیین تبخیر از سطح آزاد آب بوده که با وارد نمودن ضرایبی در مورد گیاهان

333— Pasquill

334— Harbeck et al

335— Webb

336— Decker et al

337— Moss et al

338— Thornthwait

339— Penman

340— Blaney and Criddle

نیز به کار برده شده است. این فرمولها از این جهت بوجود آمده‌اند تا بتوانند در محاسبه توازن آب اجتماعات گیاهی یا پیش‌بینی برنامه‌های آبیاری، دوران خشکی، جریان آب رودخانه و غیره مورد استفاده قرار گیرند. در این مورد سهم زردزپوسکی^{۳۴۱} (۱۹۵۸) و پنمن^{۳۴۲} (۱۹۶۳) بیش از دیگران است. احتمالاً اساس روش پنمن بیش از دیگر روشها قابل فهم است. این روش باموفقیت در حل مسائل هیدرولوژی و بیولوژی مورد استفاده قرار گرفته است. این روش ترکیبی از روشهای انرژی دینامیک و توازن انرژی بوده و باوجودی که از سایر فرمولهای تبخیر پیچیده‌تر است برای محاسبه آن فقط به آمارهای هواشناسی نیاز است. در عمل ابتدا با داشتن آمارهای درجه حرارت هوا، رطوبت و سرعت باد مقدار تبخیر آب از سطح آزاد مایع محاسبه می‌گردد. اگر امکان داشته باشد آمارهای مربوط به تابش خالص و درجه حرارت سطح نیز به کار گرفته می‌شود و الا می‌توان مقادیر آنها را تخمین زد (پنمن، ۱۹۴۸). فرض می‌شود بسته به فصل و طول روز مقدار تبخیر و تعرق مطابق از یک سطح وسیع پوشیده از گیاهان سبز که از نظر فیزیولوژی فعال بوده و کمبود آب نیز نداشته باشد ۶/۰ تا ۸/۰ مقدار تبخیر از سطح آب باشد.

در طی زمانهای مختلف سعی شده است اثر مهیائی آب خاک نیز در نظر گرفته شود (پنمن ۱۹۵۶، ۱۹۴۹). بطوری که این روش توانسته است به‌ازاء مقادیر مختلف آب خاک نیز مورد استفاده قرار گیرد (برای مثال به‌وان باول و ورلیندن^{۳۴۳}، ۱۹۵۶؛ اسلاچر^{۳۴۴}، ۱۹۶۰b؛ فیتزجرالد

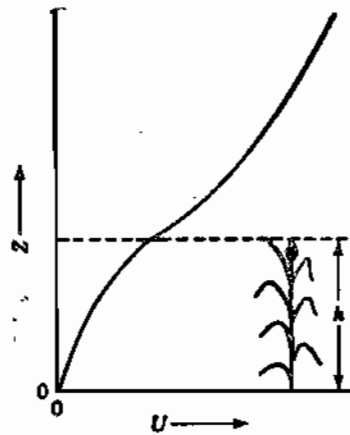
341— Dzerdzeevski

342— Penman

343— Van Bavel and Verlinden

344— Slatyer

و ریکارد^{۳۴۵} ۱۹۶۰ مراجعه شود). چون نتایج حاصله از این روش به هنگامی که حرارت بطور عمودی به محیط منتقل یابد ارزش خود را از دست می‌دهد، لذا اگر نسبت تبخیر و تعرق به تبخیر از سطح آزاد آب از یک تجاوز کند باید از استعمال آن خودداری نمود. این روش در شرایطی که بتوان آنرا



شکل ۹-۱۹: دیاگرام نشان دهنده سرعت باد U در بالای اجتماعی از گیاهان به ارتفاع h . ارتفاع از سطح خاک به Z نشان داده شده است. (از لیمون^{۳۴۶}، ۱۹۶۷).

به کار برد بخوبی باروشهای دیگری که به این منظور بوجود آمده‌اند قابل مقایسه است (تانروپلتون^{۳۴۷}، ۱۹۶۰؛ استان‌هیل^{۳۴۸}، ۱۹۳۱). تانر^{۳۴۹} (۱۹۶۷) این روشها را به تفصیل بیشتری بحث نموده است.

خلاصه

تعرق عبارت است از تلفات آب از گیاه بصورت بخار. گرچه تعرق

345— Fitzgerald and Richard

346— Lemon

347— Tanner and Pelton

348— Stanhill

349— Tanner

در اصل فرآیند تبخیری است ولی ساختمان گیاه و طرز عمل روزنه‌ها و نیز عوامل فیزیکی کنترل‌کننده تبخیر نیز بر آن مؤثرند. در روابط بین آب و گیاه، تعرق یکی از عوامل اصلی به‌شمار می‌رود زیرا بوسیله تعرق است که شیب انرژی بوجود آمده و حرکت آب به‌داخل و در درون گیاه صورت می‌گیرد. علاوه بر این تعرق عامل کمبود آب برگها در وسط روز بوده و هنگام خشک‌شدن خاک اختلاف فاز میزان جذب آب از آن باعث کمبود دائمی آب شده که منجر به وارد آمدن صدمات و حتی مرگ گیاه می‌شود. در واقع تعداد گیاهانی که در اثر تعرق زیاد خشک می‌شوند بیشتر از گیاهانی است که با عوامل دیگر از بین می‌روند.

میزان تعرق بستگی به وجود انرژی جهت تبخیر آب، فشار بخار آب، شیب غلظت (نیروی محرکه) و مقاومت مسیر حرکت بخار آب دارد. مقاومت اصلی برگ در کوتیکول و روزنه‌هاست. مقاومت مهم دیگر در لایه هوایی است که برگ را محصور نموده است.

بین عواملی که بر میزان تعرق مؤثرند واکنشهای پیچیده‌ای صورت می‌گیرد. مهمترین عوامل محیطی عبارتند از شدت نور، فشار بخار و درجه حرارت هوا، باد و تامین آب برای ریشه. عوامل گیاهی عبارتند از پراکندگی و کارائی سیستمهای ریشه‌ای به‌عنوان سطوح جذب‌کننده آب، سطح برگ، ساختمان و طرز قرار گرفتن برگها، و طرز کار روزنه‌ها. اگر هر کدام از این عوامل به‌حدی تغییر نمایند که بر میزان تعرق مؤثر واقع گردند، دیگر عوامل نیز تغییر کرده و بنوبه خود میزان تعرق را بیشتر تغییر می‌دهند.

اندازه‌گیریهای میزان تعرق گیاه، شاخه یا برگها به‌طرق مختلف امکان‌پذیر است. دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری تلفات آب توزین گیاهانی است که در داخل گلدان قرار گرفته‌اند. اندازه‌گیری تلفات بخار آب از

گیاه یا گیاهانی که در داخل نوعی محفظه شفاف قرار گرفته‌اند با اشتباهات زیادی مواجه است زیرا محیط داخل محفظه با محیط خارج متفاوت است. اندازه‌گیری تلفات آب از شاخه‌ها یا برگهای قطع شده نیز در معرض اشتباهات بزرگی می‌باشد. در تعمیم اندازه‌گیریهای تعرق گیاه یا قسمتی از گیاه در مورد اجتماعی از گیاهان که در شرایطی کاملاً مخالف با شرایط محیط اندازه‌گیری شده می‌رویند باید دقت کافی بشود.

اندازه‌گیری تلفات آب بصورت تبخیر و تعرق از اجتماعات گیاهی به طرق متعدد امکان پذیر است. یکی از این روشها تخمین جزء تبخیر در معادله توازن آب است. روش دوم تعیین جزء انرژی است که در معادله انرژی صرف تبخیر آب می‌شود. روش سوم بستگی به تعیین مقدار بخار آب خالصی دارد که از لایه هوای نزدیک زمین به خارج صعود می‌کند. غالباً تبخیر و تعرق از روای مارهای سهل الوصول هواشناسی مثل درجه حرارت هوا، رطوبت، سرعت باد و مقدار تابش خورشید تخمین زده می‌شود.