

فصل ششم

عوامل مؤثر بر جذب آب

عوامل مؤثر بر جذب آب را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد :

- ۱- عواملی که بر نیروی محرك یا شیب پتانسیل آب از خاک به ریشه‌ها و از بافت‌های ریشه به داخل آوندها مؤثرند .
- ۲- عواملی که بر مقاومت خاک و ریشه‌ها در مقابل حرکت آب مؤثر می‌باشند . بنابراین جذب آب را می‌توان به وسیله معادله زیر تشریح کرد :

$$(۶-۱) \quad \text{جذب} = \frac{\text{آوند ریشه } \psi - \text{سطح ریشه } \psi}{\text{ریشه } r} = \frac{\text{سطح ریشه } \psi - \text{خاک } \psi}{\text{خاک } r}$$

اثر عواملی مثل بافت خاک و هدایت هیدرولیکی بر جذب آب ، به علت تأثیر این عوامل بر مقاومت خاک و سطح ریشه در مقابل حرکت آب است . عواملی از قبیل تهویه خاک ، دما ، و میزان چوبی بودن ریشه‌ها از طریق تغییر مقاومت ریشه‌ها بر جذب آب مؤثرند . نیروی محرك عبارت است از اختلاف پتانسیل آب بین توده خاک و سطح ریشه و نیز سطح ریشه تا شیره آوندی .

کارائی ریشه‌ها بعنوان اندام‌های جذب‌کننده

تأثیر ریشه‌ها بر جذب آب و نمک بیشتر بستگی به میزان انتشار و نفوذپذیری ریشه‌ها دارد .

انتشار سطوح ریشه‌ای

بین گیاهان مختلف انواع گونه‌ها، از نظر عمق، پراکندگی، مقدار انشعابات و در نتیجه انتشار سطوح ریشه‌ای تفاوت‌های فاحشی وجود دارد (به شکل ۱۷-۱۸ مراجعه شود)، هرچه حجم خاکی که سیستم‌های ریشه‌ای اشغال نموده‌اند بیشتر باشد، حجم آب موجود برای گیاه نیز بیشتر بوده و نبات قادر است بدون تأمین رطوبت خاک با آبیاری یا باران مدت طولانی‌تری به حیات خود ادامه دهد. میلر^۱ (۱۹۱۶) نشان داده‌است که مقاومت بیشتر ذرت خوشه‌ای در مقابل خشکی به این دلیل است که مقدار ریشه‌های نازک آن تقریباً دو برابر ریشه‌های ذرت معمولی است. اسلاچر^۲ (۱۹۵۵) نیز نشان داده‌است که توسعه سیستم ریشه‌ای در ذرت خوشه‌ای بهتر از پنبه و بادام زمینی است. هم‌چنین میزان آماس به‌هنگام خشکی در ذرت خوشه‌ای بیش از پنبه و بادام زمینی می‌باشد. گرچه ذرت خوشه‌ای تلفات آب را بهتر کنترل می‌کند ولی دلیل این موضوع احتمالاً توسعه زیاد سطوح جذب‌کننده ریشه‌ها می‌باشد.

از جمله سؤالاتی که مطرح است این می‌باشد که آیا ریشه‌هایی که در فاصله‌ای از تنه درخت قرار دارند اثرشان در جذب آب به اندازه ریشه‌های نزدیکتر هست؟ معمولاً فرض می‌شود که جذب آب از خاک بیشتر بستگی به تراکم ریشه دارد تا به فواصل آنها از گیاه (آلدریچ و لویز^۳، ۱۹۳۵؛ وی‌مایر و هندریکسون^۴، ۱۹۳۸ b) و اگر توزیع ریشه در خاک یکنواخت باشد، جذب آب نیز از منطقه نفوذ ریشه‌ها یکنواخت می‌باشد. مشکل بتوان این فرض را اثبات نمود زیرا تشخیص این که توزیع ریشه‌ها یکنواخت است کاری است مشکل. دیویس^۵ (۱۹۴۰) گزارش کرده

1— Miller

2— Slatyer

3— Aldrich, Work, and Lewis

4— Veihmeyer and Hendrickson

5— Davis

است که وقتی رطوبت خاکهای اطراف گیاه به حد پژمردگی برسند خاکهای مرطوبی که در فاصله یک متری یا بیشتر واقع شده‌اند قادر به جلوگیری نبات از پژمردگی نیستند .

ویند^۶ (۱۹۵۵) اظهار داشته‌است که در بعضی انواع چمنها سرعت حرکت آب در خاک بیشتر از سرعت حرکت آن در داخل ریشه‌ها بوده است . ولی، به نظر می‌رسد که این یک حالت استثنائی باشد . به طور کلی، چنین به نظر می‌رسد که فاصله ریشه‌ها تا گیاه به اندازه میزان تماس آنها با خاک در جذب آب حائز اهمیت نیستند. وی‌مایر و هندریکسون (۱۹۳۸) گزارش کرده‌اند که درختان میوه قادرند آب را از فواصل ۶ یا ۷ متری تنه خود جذب نمایند . پژوهشهایی که بر روی درختان جنگلی انجام شده نشان می‌دهند که اگر ریشه‌ها تا فواصل دوردست انتشار یافته باشند ، جذب آب از این فواصل نیز به همان آسانی صورت می‌گیرد که از فواصل نزدیک درخت .

ریمان و همکاران^۷ (۱۹۴۶) گزارش نموده‌اند که در مورد ذرت گرچه در اوایل ماه اوت کلیه آب موجود در لایه یک متری سطح خاک تخلیه شده و گیاه آب را از عمق یک تا دو متر جذب می‌کند . ولی باز هم بوته‌ها به خوبی به رشد خود ادامه می‌دهند . مک‌ویلیام و کرامر^۸ (۱۹۶۸) پیدا کرده‌اند که گیاهان فالاریس توبروزا^۹ تا زمانی که پتانسیل آب در لایه یک متری سطح خاک به کمتر از ۱۵- بار برسد به حیات خود ادامه می‌دهند زیرا برخی از ریشه‌ها به افقهای پائین تر خاک که محتوی آب سهل الوصولند نفوذ می‌نمایند. این محققین هم چنین دریافته‌اند که اگر ریشه‌های نباتاتی که در خاکهای خشک می‌رویند در عمق یک متری خاک قطع گردند، شاخه‌ها از بین خواهند

6— Wind

7— Reimann et al

8— MacWilliam and Kramer

9— Phalaris tuberosa L.

رفت. عده‌ای از محققین در تجربیات آزمایشگاهی خود نشان داده‌اند که آب و p^* هر دو از اعماق پائین‌تر از یک متر جذب نبات شده و به شاخه‌ها منتقل می‌گردند (به شکل ۱-۶ مراجعه شود).

اغلب شواهد دلالت دارند که برای اداه حیات و حتی محدود ساختن رشد، لازم نیست که تمام سیستمهای ریشه‌ای در محیطی قرار گرفته باشند که میزان رطوبت آن بالاتر از حد پژمردگی باشد. تیلر و همکارانش^{۱۰} (۱۹۳۴) نتیجه گرفته‌اند که اگر یک چهارم تا یک دوم سیستم ریشه نبات در خاکی قرار گیرد که رطوبت آن بالاتر از حد پژمردگی باشد نبات قادر خواهد بود آب مورد نیاز خود را برای جبران تعرق کسب نماید. فور و تیلر^{۱۱} (۱۹۳۹) اظهار داشته‌اند برای آنکه درختان لیمو بتوانند رشد مناسبی داشته باشند لازم است که نیمی از خاک منطقه نفوذ ریشه حاوی رطوبتی بالاتر از درصد پژمردگی باشد. این نظریه بر مبنای مطالبی است که بعداً در این فصل بررسی گردیده و مبتنی بر این حقیقت است که سیستمهای ریشه گیاه بیش از اندازه‌ای است که برای تأمین آب مورد نیاز گیاه مورد لزومند.

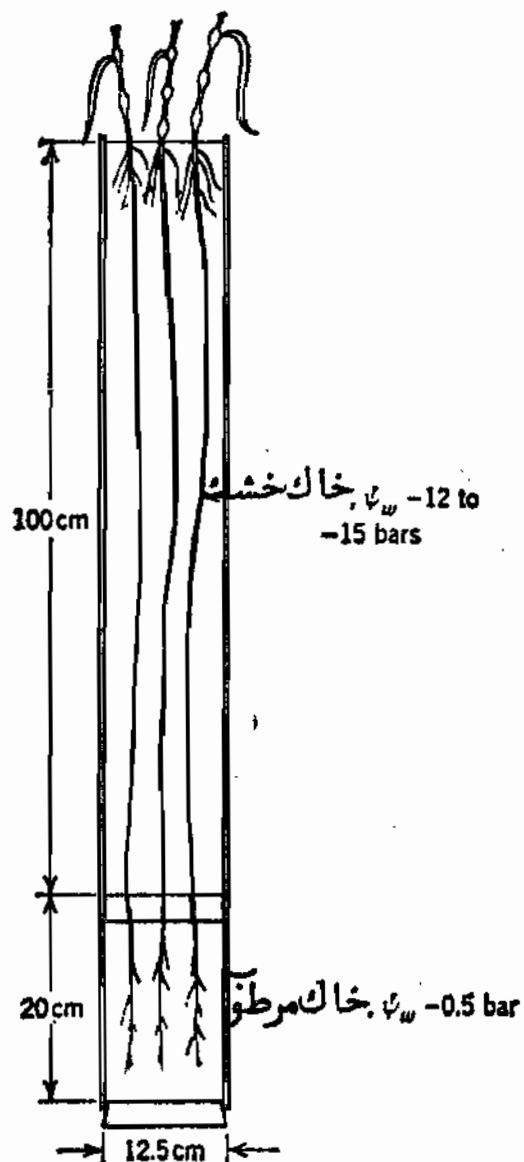
الگوی جذب آب از خاک در مورد نباتات سریع‌الرشد یک ساله با گیاهان دائمی تثبیت شده متفاوت است. گیاهان یک ساله رطوبت خاک را از حوالی پایه گیاه جذب نموده و میزان رطوبت را تا حد پژمردگی پائین می‌آورند و هرچه انشعابات افقی و عمودی ریشه بیشتر باشد حجم توده خاک خشک شده نیز افزایش می‌یابد. اگر چنانچه گیاه آبیاری نشود با گذشتن فصل رویش جذب آب از اعماق پائین‌تر نیز صورت خواهد گرفت. این الگو توسط راسل و همکارانش^{۱۲} (۱۹۴۰) در مورد ذرت مشاهده شده

10— Taylor et al

11— Furr and Taylor

12— Russell et al

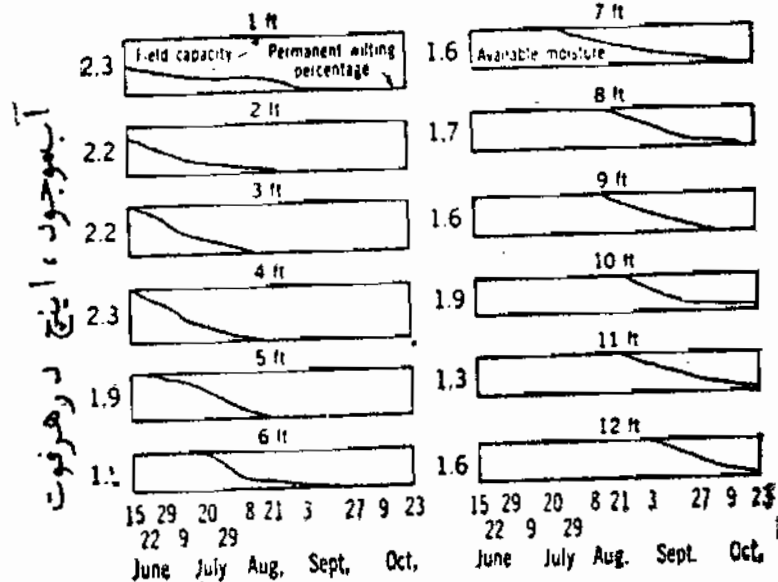
است، در شکل ۶-۲ این الگو برای گوجه فرنگی نیز نشان داده شده



شکل ۶-۱: دستگاه مورد استفاده در مطالعه جذب آب و نمک توسط ریشه‌های عمقی فالاریس توبروزا^{۱۳}. محفظه پایینی توسط صیفحه لاستیکی سوراخ‌داری که ریشه‌ها از آن عبور می‌کند از محفظه بالایی مجزا شده است.

باقطع آبیاری در محفظه بالائی، زمانی که خشکی خاک در این محفظه به ۱۲- یا ۱۵- بار رسید به محفظه پائین آب ردیاب (حاوی تربتیوم) با p^{**} اضافه شده است. (از مک ویلیام و کرامر^{۱۴}، ۱۹۶۸).

است. در خاکهای آبیاری نشده نفوذ ریشه‌ها در خاکهای جدید برای جذب آب الزامی است. درختها و دیگر گیاهان دائمی در جذب آب از الگوی متفاوتی پیروی می‌کنند، زیرا این نباتات هنگامی فصل را شروع می‌کنند که ریشه‌های آنها قبلاً حجم زیادی از خاک را اشغال کرده باشد. مشاهدات هندریکسون و وی‌مایر^{۱۵} (۱۹۴۲) و دیگران نشان داده است درختها در



شکل ۲-۶: میزان جذب آب از یک خاک آبیاری نشده توسط بوته‌های

گوجه‌فرنگی. هرچه ریشه‌ها بیشتر نفوذ کنند جذب آب نیز از اعماق زیادتری صورت می‌گیرد، با تخلیه قسمت اعظم آب سهل‌الوصول از لایه ۶ فوتی سطح خاک رشد گیاه از اوایل اوت رو به‌کندی می‌رود. مقدار آب تخلیه‌شده تا ۲۳ اکتبر به ۲۱ اینچ می‌رسد. مقدار محصول این کرتها نصف کرت‌های آبیاری شده بوده است: (از دونین و مک‌گیلوری^{۱۶}، ۱۹۴۶).

14— MacWilliam and Kramer 15— Hendrickson and Veihmeyer

16— Doneen and MacGillivray

خاکهائی که رطوبت آنها در حد ظرفیت زراعی باشد از اعماق دومتر و بیشتر نیز آب را جذب می کنند. ولی چون تراکم ریشه در اطراف تنه درخت و سطح خاک زیاد است، قبل از آنکه مقدار زیادی آب از افقهای پائین تر خاک جذب گردد رطوبت این لایه ها تقلیل پیدا می کند. وجود ریشه در افقهای از خاک باپتانسیل آبی متفاوت این کار را بسیار مشکل می کند که بنوان پتانسیل جذب آب را برای هر گیاه به طور دقیق اندازه گیری کرد.

گونه هایی که ریشه عمقی دارند در مقابل خشکی مقاومت بیشتری از خود نشان می دهند تا گونه هایی که ریشه های آنها سطحی است. هم چنین شرایط مناسب خاک برای نفوذ عمقی ریشه یکی از عوامل مهم مقاومت گیاه در مقابل خشکی است. صدمات وارده به درختانی که در خاکهای سطحی کشت شده اند در ایام خشکی بیش از درختانی است که در خاکهای عمقی می رویند زیرا ریشه های آنها حجم زیادی از خاک را اشغال ننموده و نمی توانند برای ادامه حیات خود آب بیشتری جذب کنند. بسیاری از بیماریهای پوستی در درختان جنگلی زمانی اتفاق می افتد که این درختان در خاکهای سطحی و یا خاکهائی کشت شوند که برای توسعه و نفوذ ریشه مناسب نیستند.

اگر صرفاً از نظر ادامه حیات در نظر بگیریم، اغلب گیاهان حاوی سطوح ریشه ای بیش از اندازه می باشند. برخی اوقات درختان می توانند با از بین رفتن نصف یا بیشتر سیستمهای ریشه ای خود ادامه حیات دهند. هم چنین در مورد ذرت قسمت قابل توجهی از ریشه های آن با عملیات زراعی از بین می رود ولی به گیاه صدمه ای وارد نمی آید. ویوروزینک^{۱۷} (۱۹۶۱) توانسته اند نیم یا بیشتر سیستمهای ریشه ای بعضی چمنها را بدون این که صدمه ای به آنها وارد آید بردارند. این عملیات معمولاً به طور موقت رشد

گیاه را تقلیل می‌دهد زیرا با کاهش سطوح جذب تنش آب افزایش می‌یابد. در هنگام نشاء ریشه‌های زیادی از بین می‌رود ولی با هرس یا استعمال مواد بازدارنده تعرق از سطوح برگها نیز کاسته شده و در نتیجه کاهش سطوح جذب آب جبران می‌گردد. در هر حال هرس ریشه اغلب زیان‌آور نیست. اندروز و نیومن^{۱۸} (۱۹۶۸) دریافته‌اند که برداشت ۶۰ درصد ریشه‌های گندم چه در خاکهای خشک و چه در خاکهایی که رطوبتی معادل ظرفیت زراعی دارند رشد بوته‌ها را تقلیل نمی‌دهد.

ناتمن^{۱۹} (۱۹۳۴) عقیده دارد که سطوح ریشه در درختان قهوه عامل محدودکننده جذب آب به‌شمار می‌آید. این عقیده از این جهت صحیح است که مقاومت ریشه‌های قهوه در مقابل حرکت آب به قدری زیاد است که حتی یک سیستم ریشه‌ای پراکنده نیز ممکن نیست در درختان سریع-التعرق جلو پژمردگی را در وسط روز بگیرد (شکل ۱-۱۰). محققین پیشنهاد کرده‌اند که به دلیل مقاومت زیاد در مقابل جریان آب، در واقع سطوح محدودکننده همان لایه اندودرمی یا سطح ریشه‌ها است (اسکات و پرستلی^{۲۰}، ۱۹۲۸؛ ناتمن^{۲۱}، ۱۹۳۴). به علت کوچک بودن سطح لوله‌های آوندی در درختان قهوه، ناتمن (۱۹۳۴) نتیجه‌گیری کرده است که سرعت حرکت آب در آنها باید ۱۷۰ مرتبه بیش از سرعت نفوذ به سطح ریشه باشد که در واقع خیلی زیاد به نظر می‌رسد. در یک درخت تبریزی زرد که قطر ریشه‌های چوبی آن ۲/۸ میلی‌متر باشد قطر مغز ریشه به ۰/۸ میلی‌متر می‌رسد. در این ریشه سرعت در قسمت سطح مغز ریشه ۳/۵ برابر سرعت در سطح ریشه می‌باشد. در ریشه‌های ثانویه ویسیافابا^{۲۲} محیط لایه اپیدرمی حدود چهار برابر اندودرم است و لازم است که سرعت عبور آب

18— Andrews and Newman

19— Nutman

20— Scott and Priestley

21— Nutman

22— Vicia faba

از اندودرم چهار برابر اپیدرم باشد. در قسمت راس این ریشه‌ها، سطوح تماسی آوندها ۶ درصد محیط ریشه را تشکیل می‌دهد و احتمالاً سرعت نفوذ آب به داخل آوندها باید ۱۶ برابر سرعت نفوذ به اپیدرم باشد. ولی، مقاومت لوله‌های آوندی در مقابل ورود آب، خیالی کم بوده و مانع جدی در مقابل جریان آب به شمار نمی‌آید.

نفوذپذیری ریشه‌ها :

یک سیستم ریشه‌ای معمولی از ریشه‌های مختلفی تشکیل یافته است که از نظر تکامل بین جوانه‌های جدید تا ریشه‌های کامل ثانویه که اپیدرم و پوست خود را از دست داده و در لایه‌ای چوبی محصور شده‌اند متغیر می‌باشند. مسلم است ریشه‌هایی که از نظر ساختمانی این قدر متنوع باشند از نظر نفوذپذیری نیز بایکدیگر اختلاف خواهند داشت. در جدول ۱-۶ برخی ارقام مربوط به اندازه‌گیری میزان نفوذ آب به داخل ریشه‌های مختلف ذکر گردیده است. این ارقام بجز در مورد قهوه که نفوذپذیری آن از روی میزان تعرق و تخمین سطح ریشه‌ها تعیین شده، از طریق گذاردن ریشه در داخل پتومتر^{۲۳} به دست آمده‌اند. این ارقام مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده نفوذپذیری نیستند زیرا در شرایط متنوعی به دست آمده‌اند که میزان تعرق و در بسیاری از موارد شیب پتانسیل و نیروی محرک در ریشه‌ها مشخص نبوده است. در هر حال همان‌طور که انتظار می‌رود به جز در یک مورد، حداکثر سرعت نفوذ آب در ریشه‌های موئی و غیر خشبی و حداقل آن در ریشه‌های چوبی بوده است.

در کتب درسی معمولاً بر نقش ریشه‌های جوان و غیر خشبی در جذب آب تأکید شده و امکان جذب توسط ریشه‌های چوبی در نظر گرفته نشده

جدول ۱- میزان نفوذ آب به داخل ریشه‌ها

میزان $\text{mm}^2/(\text{cm}^2)(\text{hr})$	میزان مشاهده شده	شرایط و نوع ریشه	نام محقق
۲۰/۰	$0/2 \text{mm}^2/(\text{mm}^2)(\text{hr})$ حداکثر 84×10^4	ذرت، ریشه‌های جوان در آب	هیوارد، بلیر و اسکالینگ ^{۲۴} (۱۹۴۲)
۵۰/۴	$\text{mm}^2/(\text{mm}^2)(\text{min})$ حداکثر 31×10^4	پیاز، ریشه‌های جوان در آب	روزن ^{۲۵} (۱۹۴۱)
۱۸/۶	$\text{mm}^2/(\text{mm}^2)(\text{min})$	تربچه، ریشه‌های موی	روزن (۱۹۴۳)
۵/۰	$\text{mm}^2/(\text{mm}^2)(6 \text{hr})$ $3/3 \text{mm}^2/(\text{cm}^2)(\text{hr})$	ایموت‌ترش، ریشه‌های خشبی در آب	هیوارد، بلیر و اسکالینگ ^{۲۴} (۱۹۴۲)
۳/۳۷	$3/3 \text{mm}^2/(\text{cm}^2)(\text{hr})$	کاج کوتاه برگ، ریشه‌های خشبی	کرامر ^{۲۶} (۱۹۴۶)
۰/۲۵	$2/5 \text{ml}(\text{m})^2(\text{hr})$	در آب درخت قهوه، تمام سیستم ریشه‌ای در خاک	ناتن ^{۲۷} (۱۹۳۴)

است. ولی همان طور که در فصل پنجم به آن اشاره شد ریشه های چوبی شده نیز مقدار قابل توجهی آب جذب می نمایند. این موضوع به خصوص درباره گیاهان دائمی که سیستم ریشه های ثابت آنها زیاد بوده و درصد سطوح ریشه های غیر خشبی کم می باشد به خوبی صادق است. مشاهدات کرامر و بولوک^{۲۸} (۱۹۶۶) نشان داده است که در مورد کاج و تبریزی زرد مقدار ریشه های چوبی نشده در لایه ۱۲/۵ سانتی متری سطح خاک کمتر از یک درصد بوده است. حتی با در نظر گرفتن این که نفوذ پذیری ریشه های چوبی کمتر از ریشه های غیر خشبی است، ولی از جایی که سطح آنها زیاد می باشد باید نقش آنها نیز در جذب آب حائز اهمیت باشد.

علی که در تغییر نفوذ پذیری ریشه های خشبی مؤثرند عبارتند از تغییرات ساختمانی و ضخامت پوست ریشه، پوسیدگی بافت های سلولی به دلیل از بین رفتن انشعابات کوچک ریشه ها و تغییرات تعداد عدسکها. کرامر و بولوک^{۲۸} (۱۹۶۶) دریافتند که جذب آب در ریشه های خشبی تبریزی زرد در فشار معادل ۴/۰ بار بین صفر تا ۳۰۰۰ میلی متر مکعب در سانتی متر مربع در هر ساعت متغیر است. در ریشه های کاج استخری نفوذ پذیری از $6/6 \text{ mm}^2/(\text{hr})$ برای ریشه های به قطر mm ۳۳ را تا $26/6 \text{ mm}^2/(\text{cm}^2) (\text{hr})$ برای ریشه های به قطر ۳ میلی متر و $178 \text{ mm}^2/\text{mm}^2 (\text{hr})$ برای ریشه های غیر خشبی متغیر است.

در فصل چهارم گفته شد که اگر میزان تعرق افزایش یابد، منطقه ای که حداکثر جذب آب از آن صورت می گیرد به سمت انتهای ریشه تغییر مکان می دهد (بروور^{۲۹}، ۱۹۵۳، سیرپ و بروینگ^{۳۰}، ۱۹۳۵؛ سوران و کوسما^{۳۱}، ۱۹۶۲). این تغییر مکان در شکل ۲-۶ نشان داده شده است

28— Kramer and Bullock

29— Brouwer

30— Sierp and Brewing

31— Soran and Cosma

محققین پیشنهاد کرده‌اند که افزایش تنش آب در آوندها موجب افزایش نفوذپذیری در قسمت انتهایی ریشه می‌گردد. شکی نیست که افزایش شیب فشار در ریشه موجب حرکت آب از منافذ ریزتر و ریزتر می‌گردد. تاجائی که تمام منافذ ممکن را پر نماید (هیامو^{۳۲}، ۱۹۵۸). ظاهراً تعداد منافذی که در تحت فشار زیاد قابل عبور آب هستند در قسمت انتهایی ریشه بیش از راس ریشه است. هم‌چنین به نظر می‌رسد که جذب آب در گیاهان کند تفرق اکثراً به صورت جذب فعال است ولی با افزایش مقدار جذب نسبت مقدار آبی که به صورت غیر فعال جذب می‌شود نیز فزونی می‌یابد. تغییر جذب آب از صورت فعال به طریق غیر فعال نیز ممکن است به عنوان عاملی در تغییر مکان منطقه حداکثر جذب مؤثر باشد.

نفوذپذیری سیستمهای ریشه‌ای که برای مدتی تحت تنش شدید آب قرار گرفته باشند تا چندین روز پس از آبیاری تقلیل پیدا می‌کند (کرامر^{۳۳}، ۱۹۶۰). هم‌چنین نفوذپذیری ریشه‌هایی که در معرض غلظت زیاد نمک قرار گیرد نیز احتمالاً کاهش پیدا می‌کند. (کلیپر^{۳۴}، ۱۹۶۷). احتمالاً کاهش نفوذپذیری در هر دو حالت به دلیل توقف توسعه و نیز چوبی شدن ریشه‌های موجود می‌باشد. اسکیدمور و استون^{۳۵} (۱۹۶۴) و بارزو کلیپر^{۳۶} (۱۹۶۸) تغییرات روزانه ناشناخته‌ای را در ریشه‌های پنبه گزارش نموده‌اند. به این ترتیب که حداکثر نفوذپذیری در نزدیک ظهر و حداقل آن در نیمه شب مشاهد شده است. تا به حال دلیل ارضاکننده‌ای در توجیه این کیفیت ارائه نشده‌اند.

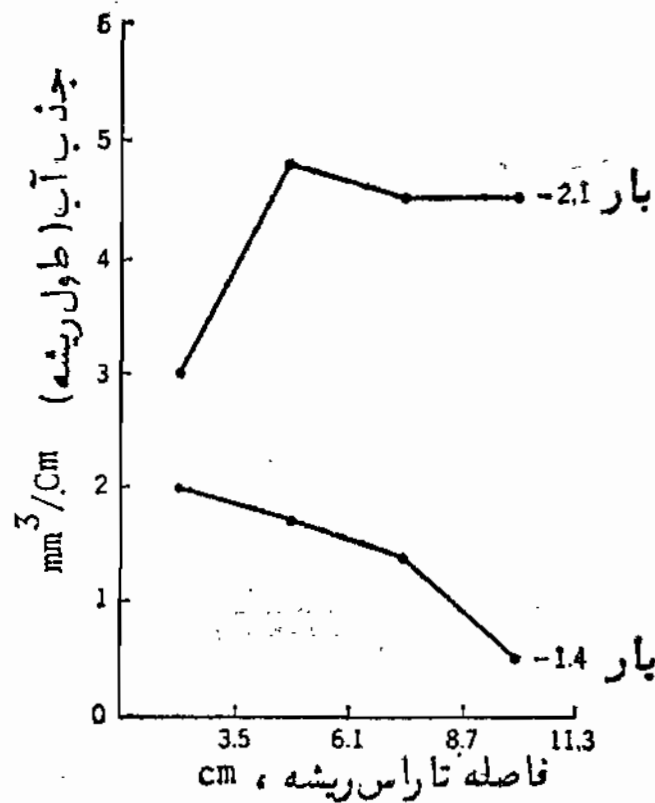
32— Hylmo

33— Kramer

34— Klepper

35— Skidmore and Stone

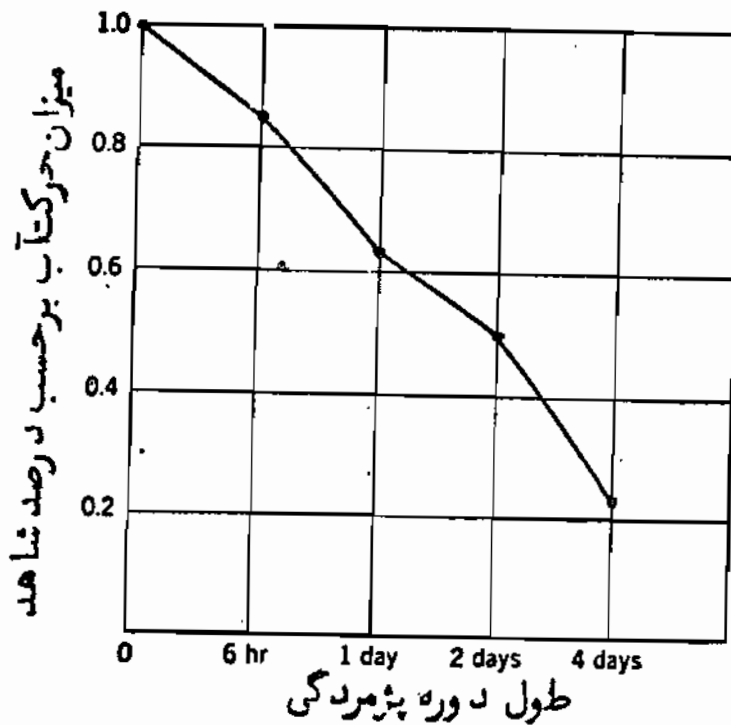
36— Barrs and Klepper



شکل ۶-۲: تغییر مکان منطقه حداکثر جذب آب در ریشه با تغییرات روشنایی. پتانسیل آب ریشه در تاریکی معادل $-1/4$ بار و در روشنایی $-2/1$ بار تخمین زده می‌شود. میزان جذب بر حسب میلی‌متر مکعب در هر سانتی‌متر مربع طول ریشه برای هر ساعت ذکر شده است. (از پروور^{۳۷}، ۱۹۵۳).

فعالیت‌های سوخت و سازی و جذب آب

برخی از نویسندگان پیشنهاد نموده‌اند که بین تنفس ریشه‌ها و جذب



شکل ۳-۶ تأثیر دوره‌های مختلف پژمردگی بر روی مقاومت ریشه‌ها .

مقاومت براساس حرکت آب در سیستمهای ریشه گوجه‌فرنگی که تحت خلأی معادل ۴۰ سانتی‌متر جیوه واقع شده و بر حسب درصد سرعت حرکت آب در بوته‌های پژمرده نشده شاهد توصیف شده‌اند. اندازه‌گیری گردیده‌است . ابتدا گیاه را برای مدتی پژمرده نموده سپس با قطع قسمتهای هوائی آن را تحت خلأ قرار داده و حرکت آب در آن اندازه‌گیری شده‌است (براساس

آم‌زهای به‌دست‌آمده توسط کرامر^{۳۸} ، ۱۹۵۰) .

آب رابطه مستقیمی وجود دارد . برای مثال، هندرسون^{۳۹} (۱۹۳۴) عقیده دارد که بین تولید بی‌اکسید کربن جذب اکسیژن و جذب آب توسط ریشه‌های

پنبه رابطه‌ای برقرار است. از طرف دیگر ویلسون و کرامر^{۴۰} (۱۹۴۹) هیچ‌گونه رابطه‌ای را بین تنفس و جذب آب در ریشه‌های گوجه‌فرنگی نیافته و نتیجه گرفته‌اند که بین آمارهای هندرسون نیز وابستگی وجود ندارد. لاونک^{۴۱} (۱۹۳۰) نیز نتوانسته است بین تنفس ریشه و جذب آب رابطه مستقیمی بیابد. آزمایشات اسکوک و همکاران^{۴۲} (۱۹۳۸) نشان داده است که در ریشه گیاهانی که قسمت هوایی آنها قطع شده است هیچ‌گونه رابطه‌ای بین تنفس ریشه و ترشح آب به‌خارج وجود ندارد یعنی جذب فعال به‌طور مستقیم با تنفس ریشه وابستگی ندارد.

روشن است که جذب غیر فعال آب توسط ریشه‌های گیاهان سریع-التعرق به‌طور مستقیم با صرف انرژی حاصله از تنفس بستگی ندارد. در مورد جذب فعال در گیاهان کندتعرق نیز این وابستگی وجود ندارد. ولی، به‌طوری که در فصل هفتم ذکر شده است جذب فعال به تجمع نمک در آوندهای ریشه و در نتیجه به انرژی حاصله از تنفس وابسته است.

عده‌ای از محققین مشاهده کرده‌اند که استعمال مواد بازدارنده تنفس مثل آزید، سیانید و دینیتروفلن به شدت مقدار جذب فعال و غیر فعال آب را تقلیل می‌دهد. این موضوع در شکل ۴-۶ نشان داده شده است (بروور^{۴۳}، ۱۹۵۴؛ لوپوشینسکی^{۴۴}، ۱۹۶۴). کاهش جذب غیر فعال ظاهراً به دلیل افزایش مقاومت ریشه‌ها در مقابل حرکت آب می‌باشد. کاهش جذب فعال به دلیل کم شدن تجمع نمک در آوندها و همچنین افزایش مقاومت ریشه‌ها است. اکسیدکربن زیاد نیز در محیط رشد ریشه به شدت

40— Wilson and Kramer

41— Lowenack

42— Skoog et al

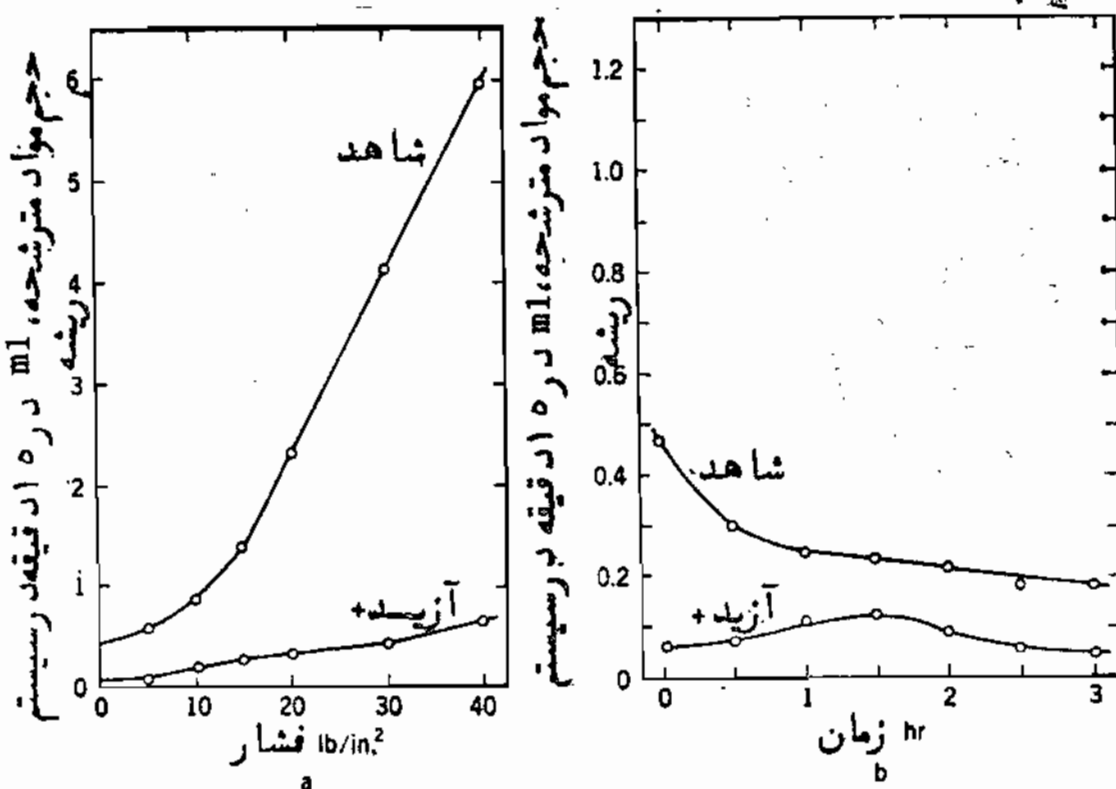
43— Brouwer

44— Lopushinsky

جذب فعال آب را کاهش می‌دهد (به شکل ۱۹-۶ مراجعه شود) که دلیل آن بیشتر به علت افزایش مقاومت ریشه در مقابل جریان آب است که بعداً در این فصل به آن اشاره خواهد شد.

اختلافات پروتوپلاسمی

در گونه‌های مختلف بین عکس‌العمل پروتوپلاسم ریشه‌ها در مقابل



شکل ۱۹-۶ اثر محلول ۱۰ M آزید سدیم بر حرکت آب در سیستمهای

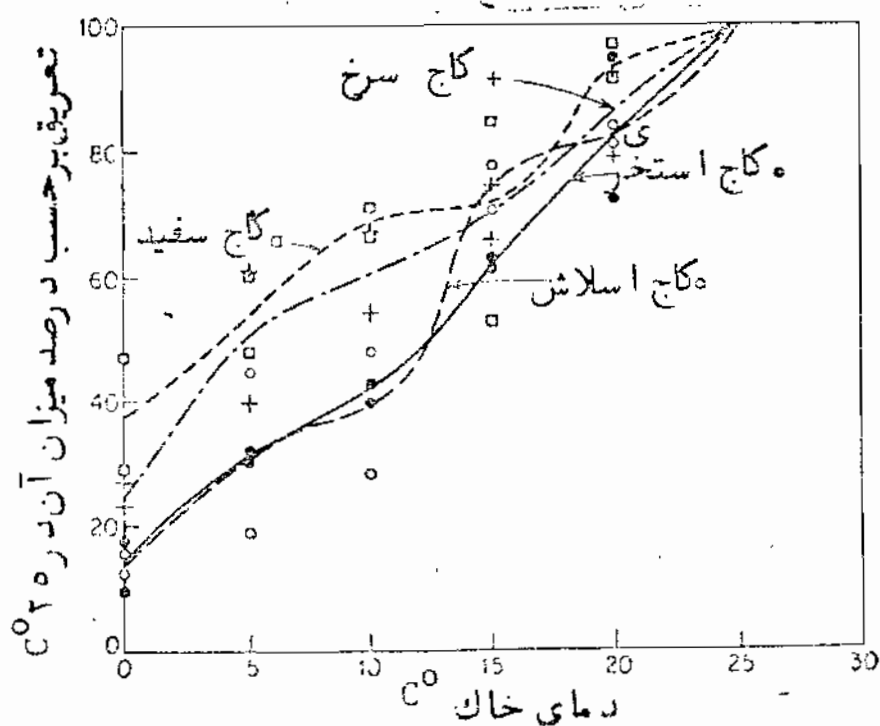
ریشه گوجه‌فرنگی. ریشه‌ها قبل از اندازه‌گیری به مدت یک ساعت در آزید

قرار گرفته‌اند. (a) میزان حرکت آب در سیستمهای ریشه‌ای تحت فشار.

(d) میزان فشار ترشحات ریشه‌ای. (از لوپوشینسکی ۴۵، ۱۹۶۴).

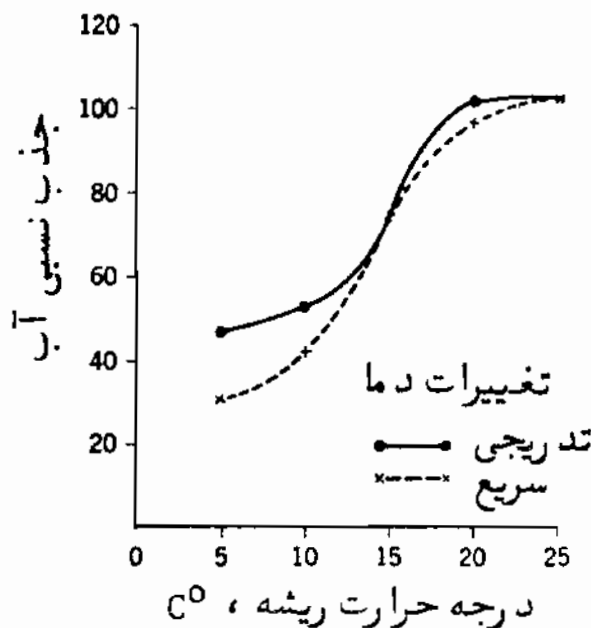
تهویه ، دما و عوامل دیگر تفاوت‌های فاحشی وجود دارد . مقاومت پروتو-پلاسم ریشه‌های بعضی گونه‌ها در مقابل کمبود تهویه به مراتب بیش از گونه‌های دیگر است . ریشه‌های سرو و درخت ذغال اخته آمریکائی قادرند به‌طور دائم در خاک‌های اشباع رشد نمایند در صورتی که ریشه‌های ذغال اخته معمولی و تبریزی زرد و تعداد زیادی گونه‌های دیگر بایک غرقاب کوتاه مدت از بین می‌روند . به‌طوری که در شکل ۱۷-۶ نشان داده شده است . اثر کمبود تهویه بر جذب آب در بعضی گونه‌ها بیش از گونه‌های دیگر است . ماهیت پیچیده این تفاوتها از نظر مقاومت در مقابل کمبود تهویه در فصل چهارم و نیز در قسمتهای بعدی این فصل بحث شده است .

اثرات مختلف درجه حرارت کم بر جذب آب توسط ریشه گونه‌های متفاوت ، که در شکل ۵-۶ مشاهده می‌شود ، می‌رساند که اثر دمای کم بر پروتوپلاسم ریشه‌های پنبه و هندوانه بیش از ریشه‌های کلم است .



شکل ۵-۶: اثر دمای خاک بر جذب آب در چهارگونه گیاه که از روی اندازه‌گیری مقدار تعرق آنها به دست آمده است. در گونه‌های نواحی جنوبی (نوع اسلاش و استخری) جذب آب در درجات حرارت پائین بیشتر از گونه‌های شمالی تقلیل پیدا می‌کند. (از کراسر و کوزلوسکی^{۴۶}، ۱۹۶۰) هم‌چنین به شکل ۱۴-۶ برای مثالهایی مربوط به گونه‌های دیگر مراجعه شود.

هم‌چنین گزارش شده است که اگر درجه حرارت سیستمهای ریشه در عرض مدت چند روز تا ۵ درجه سانتی‌گراد پائین آورده شود کاهش میزان جذب آب کمتر از آن خواهد بود که همین درجه حرارت در عرض مدت چند ساعت کسب گردد. این مطالب در شکل ۶-۶ نشان داده شده است (بونینگ و لیوزاناندانا^{۴۷}، ۱۹۵۲). کوپر^{۴۸} (۱۹۶۴) گزارش کرده است که جذب آب



46— Kramer and Kozlowski

47— Bohning and Lusanandana

48— Kuiper

شکل ۶-۶ : مقایسه اثرات تغییرات سریع و کند درجه حرارت ریشه بر جذب آب در بوته‌های لوبیای قرمز ، هر نقطه که در روی منحنی تغییرات سریع مشاهده می‌شود مربوط به جذب آب در چهارگروه بوته بوده است که تغییر درجه حرارت آنها از 25°C تا درجه مشخصی به سرعت تغییر کرده است . منحنی تبرید کند مربوط به یک گروه گیاهی بوده است که درجه حرارت آنها به تدریج در عرض مدت ۱۳ روز از 25° به 50° رسیده است . (ازبونینگ و لیوزاناندانا^{۴۹} ، ۱۹۵۲) .

دردمای کم متوسط سیستمهای ریشه‌ای درمورد لوبیاهائی که در 17° درجه می‌روئیدند بیش از لوبیاهائی بوده است که در 24°C می‌روئیده‌اند . این افزایش قدرت جذب آب ۳۶ ساعت پس از انتقال سیستمهای ریشه‌ای از 24° به 17°C درجه سانتی‌گراد بوده است . این مطلب می‌رساند که در پروتوپلاسم ریشه‌هائی که درجه حرارت آنها به تدریج خنک می‌شوند تغییرات قابل جبرانی صورت می‌گیرد که درمورد ریشه‌هائی که درجه حرارت آنها سریعاً خنک شده است موجب کاهش شدید نفوذپذیری می‌گردد . این حالت ممکن است شبیه تغییراتی باشد که لویت و اسکارت^{۵۰} (۱۹۳۶) در مورد نفوذپذیری در حین سخت شدن توام با سرما گزارش کرده‌اند .

قابلیت دسترسی به آب خاک

اگر شرایط جوی از نظر سرعت تعرق گیاه مناسب باشد ، پیدایش علائم کمبود آب در اواسط روز حتی درمورد خاکهائی که رطوبت آنها در حد ظرفیت زراعی می‌باشد نیز امری عادی است . اما علائم ممتد کمبود آب نتیجه کاهش پتانسیل رطوبت خاک است . قابلیت دسترسی به آب در

وهله اول بسته به پتانسیل آن و هدایت هیدرولیکی خاک است این دو عامل نیز به طوری که در فصل دوم گفته شد (به شکل ۱۲-۲ مراجعه شود) با مقدار آب موجود در خاک رابطه نزدیک دارند.

رطوبت خاک

به طوری که قبلاً گفته شد آب سهل الوصول برای گیاه غالباً به مقدار آبی اطلاق می گردد که بین دو حد ظرفیت زراعی و درصد پژمردگی دائم واقع شده باشد. با آن که کاربرد این اصطلاح مواجه با محدودیتهائی است که در فصل دوم درباره آنها گفتگو شد ولی استفاده آن از نظر عملی مفید می باشد. به طوری که در شکل ۶-۷ مشاهده می گردد مقدار آب قابل دسترس گیاه در خاکهای مختلف متفاوت است. این موضوع در جدول ۲-۶ نیز نشان داده شده است. به طوری که در این جدول دیده می شود مقدار ذخیره آب قابل استفاده گیاه در لایه ۳۰ سانتی متری سطح خاک بین $\frac{4}{3}$ تا $\frac{8}{6}$ میلی متر برای ماسه نرم و ۷۷ میلی متر برای رس متغیر است. مسلم است که صدمات وارده به گیاهان در اثر خشکی، در خاکهایی که ظرفیت زراعی آنها کم بوده و آب سهل الوصول خود را به سرعت از دست می دهند (مثل ماسه نرم اوکلی^{۵۱} و لوم رسی اکین^{۵۲}) بیش از صدمات وارده به گیاهانی است که در خاکهایی با ظرفیت زراعی زیاد (مثل لوم کاترین^{۵۳} و یا لوم سیلتی و وستر^{۵۴}) می رویند. محدودیت خاک از نظر میزان ذخیره آب بخصوص در مورد گیاهانی که ریشه های سطحی داشته و در خاکهای کم عمقی که بر روی لایه های صخره ای یا سخت و غیر قابل

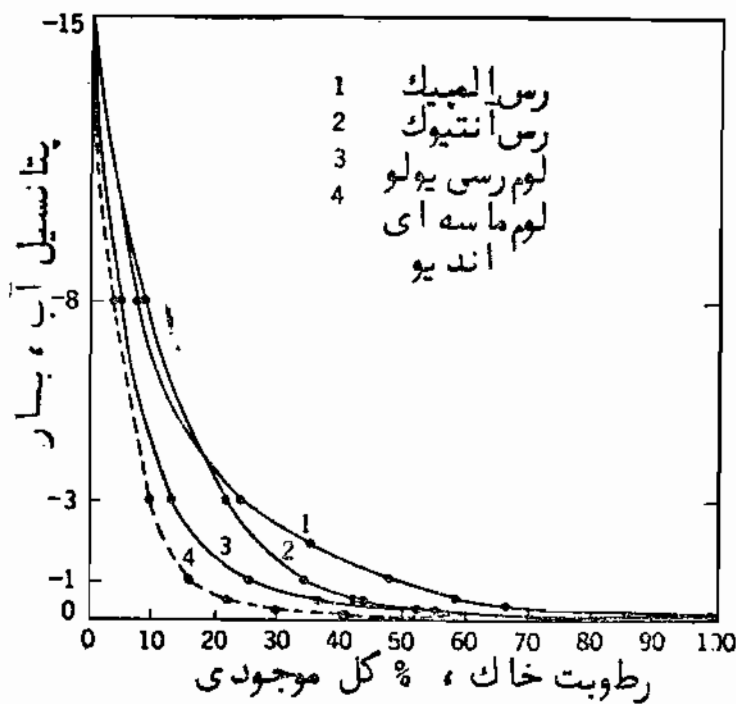
51— Oaklay fine sand

52— Aiken clay loam

53— Catherine loam

54— Wooster silt loam

نفوذ قرار گرفته‌اند کشت شده باشند از اهمیت خاصی برخوردار است .
 اگر محتوی آب خاک از ظرفیت زراعی آن تجاوز کند منافذ باقی‌مانده
 خاک از هوا تخلیه شده و تهویه یکی از عوامل محدودکننده می‌گردد . اگر
 محتوی آب خاک خیلی کمتر از ظرفیت زراعی باشد ، آب تحت تأثیر
 نیروهای ماتریک به سختی تثبیت شده و پتانسیل آن به سرعت کاهش می‌یابد
 به‌طوری‌که کمتر و کمتر قابل استفاده گیاه می‌گردد . ولی در یک پتانسیل
 مشخص آب خاک، عدم دسترسی به آب برای تمام گیاهان یکنواخت نیست.



شکل ۶-۷ درصد ذخیره آب در چهار نوع خاک با پتانسیلهای آبی متفاوت. این منحنیها از روی منحنیهای پتانسیل آب و بر مبنای مقدار رطوبت خاک با فرض بر این‌که آب قابل دسترس گیاه بین دوحد ۰/۱۵ - و ۱۵- بار واقع شده است ترسیم گردیده‌اند (برداشت از ریچاردز و وادلایت ۱۹۵۲،^{۵۵})

برخی از گیاهان کندیترق قادرند در پتانسیلهائی خیلی پائین تر از ۱۵- بار که معمولاً پژمردگی دائم در نظر گرفته می شود نیز آب جذب نمایند (اسلاچر^{۵۶}، ۱۹۵۷).

جدول ۶-۲ ظرفیت ذخیره آب سهل الوصول در خاکهای مختلف*

تیپ خاک	رطوبت معادل	درحد پژمردگی دائم	میلیمتر آب سهل الوصول در هر ۳۰ سانتی متر عمق
ماسه نرم اوکلی ^{۵۷}	۳/۲۹	۱/۳۳	۸/۶
لوم ماسه ای نرم یولو ^{۵۸}	۱۶/۸۰	۸/۹۳	۳۲/۰
لوم رسی آکین ^{۵۹}	۳۱/۱۲	۲۵/۷۰	۱۷/۷
لوم رسی ماسه ای سالیناس ^{۶۰}	۲۸/۳۳	۱۲/۴۹	۶۳/۲
ماسه سالیناس ^{۶۱}	۳۴/۵۰	۱۶/۸۰	۷۰/۷
لوم کاترین ^{۶۲}	۳۷/۹۰	۱۹/۰۳	۷۷/۰
لوم سیلتی ووستر ^{۶۳}	۲۳/۳۶	۶/۱۲	۷۲/۲
لوم رسی براکتون ^{۶۴}	۲۴/۵۱	۱۱/۵۵	۴۹/۵
ماسه ریزیلین فیلد ^{۶۵}	۲/۴۰	۱/۳۶	۴/۳

* از ماک گیلواری و دونین^{۶۶} (۱۹۴۲).

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| 56— Slatyer | 57— Oakley fine sand |
| 58— Yolo fine sandy loam | 59— Aiken clay loam |
| 60— Salinas silt clay loam | 61— Salinas clay |
| 62— Catherine loam | 63— Wooster silt loam |
| 64— Brockton clay loam | 65— Plainfield fine sand |
| 66— MacGillivray and Doneen | |

در مورد موجودیت نسبی آب بین دوحد ظرفیت زراعی و درصد پژمردگی دائم از نظر استفاده گیاه، گفتگوهای بسیار زیاد و بی‌ثمری صورت گرفته است. وی‌مایر و همکارانش، عقیده دارند که آب یا قابل استفاده گیاه هست یا نیست و تعرق یا رشد هیچ‌کدام تا زمانی که رطوبت خاک به درصد پژمردگی دائم نرسد کاهش نمی‌یابند (وی‌مایر^{۶۷}، ۱۹۵۶؛ وی‌مایر و هندریکسون^{۶۸}، ۱۹۵۰). نظریه‌ای که ریچاردز و وادلایت^{۶۹}، (۱۹۵۲)؛ استان‌هیل^{۷۰}، (۱۹۵۷) و دیگران ارائه داده‌اند تا اندازه‌ای سروصدا برآه انداخته است. به موجب این نظریه هرچه رطوبت خاک از ظرفیت زراعی کاهش یابد، قابلیت دسترسی گیاه به آن نیز تقلیل پیدا می‌کند. هاگن^{۷۱}، وادیا و راسل^{۷۲} (۱۹۵۹) مشکلات مربوط به تجزیه و تحلیل مطالعاتی را که بر روی اثر رطوبت خاک بر میزان محصول و رشد گیاهان صورت گرفته است مورد گفتگو قرار داده و خاطرنشان می‌سازند که اثر تنش آب بر پدیده‌های مختلف گیاهی متفاوت است. برای مثال، معمولاً تولید کل مواد خشک با تنش متوسط آب کاهش می‌یابد ولی اثر آن بر تولید بذریه یا برخی از محصولات دیگر ناچیز است و حتی در مواردی از قبیل تولید کائوچو در گویل^{۷۳} (شکل ۲۱-۱۰) افزایش می‌یابد. اکثر گفتگوهای مربوط به اثرات تنش متوسط رطوبت خاک بر رشد نبات ناشی از این عقیده غلط است که رشد گیاه از یک حد قابل پیش‌بینی رطوبت خاک به پائین به‌طور مداوم کاهش پیدا می‌کند. به‌طوری‌که هاگن^{۷۳} (۱۹۵۵) اشاره کرده است

67— Veihmeyer

68— Veihmeyer and Hendrickson

69— Richards and Wadleigh

70— Stanhill

71— Hagan, Vaadia and Russell

72— Guayule

73— Hagan

این احتمال خیلی بعید به نظر می‌رسد. گاردنر و نیمن^{۷۴} (۱۹۶۴) اظهار می‌دارند که معمولاً نمی‌توان از نظر تعرق، تقسیم ساولی و اتساع ساولی برای آب قابل دسترس گیاه حداقل مشخصی را قائل شد. به عبارت دیگر درصد پژمردگی دائم در هیچ کدام از این فرآیندها بعنوان حد پائین مقدار آب به شمار نمی‌رود. فرآیندهای فیزیولوژیکی کنترل کننده رشد گیاه به طور مستقیم باتنش آب گیاه بستگی داشته و رابطه آنها باتنش آب خاک و اتمسفر رابطه‌ای غیر مستقیم می‌باشد (به فصل دهم مراجعه شود). برض این مطالب که یک مقدار مشخص تنش آب خاک، معادل همان میزان تنش آب در گیاه است صحیح نمی‌باشد. ممکن است گیاهان در خاکهای مرطوب نیز به هنگام تعرق سریع موقتاً مواجه باتنش شدید آب گردند. و نیز تنش آب در گیاهانی که در خاکهای نسبتاً خشک می‌رویند، در شرایط جوی که میزان تعرق کم است، اندک باشد. بنابراین، تأثیر مقادیر مختلف رطوبت خاک بر رشد گیاهان در صورتی می‌تواند دقیقاً ارزیابی شود که مقدار تنش آب گیاه در هنگام آزمایش اندازه گیری شود (شبیه آنچه بویر^{۷۵}، ۱۹۶۵؛ بریکس^{۷۶}، ۱۹۶۲ و اسلاچر^{۷۷}، ۱۹۵۷ انجام داده‌اند) طریقه اندازه گیری تنش آب در فصل دهم بحث شده است.

شیب پتانسیل آب بین خاک و ریشه‌ها

در این جا عوامل مؤثر بر میزان شیب پتانسیل آب بین خاک و ریشه‌ها به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد.

74— Gardner and Nieman

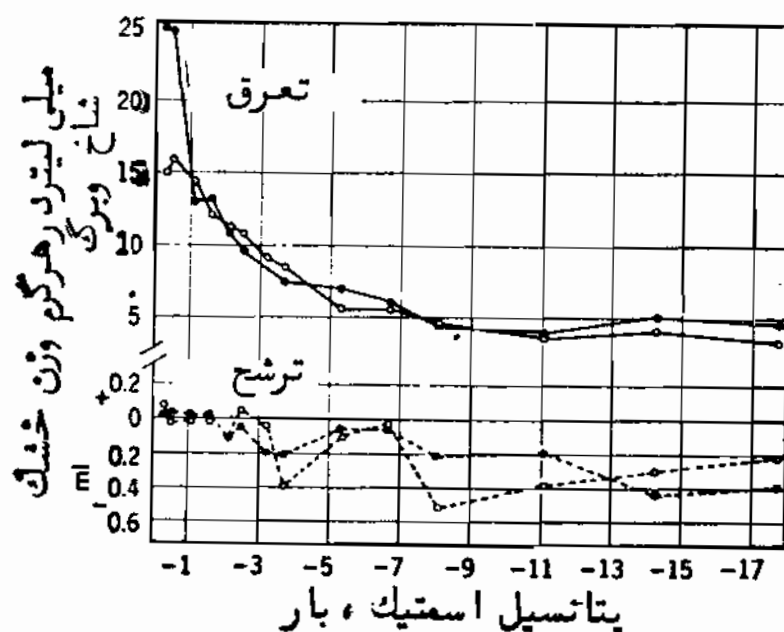
75— Boyer

76— Brix

77— Slatyer

پتانسیل آب در ریشه : در گیاهان کندتغرق عمل ریشه‌ها به‌مشابه اسمزسنج بوده و پتانسیل آب در آنها بیشتر به‌غلظت نمکهای موجود در شیره آوندی بستگی دارد. پتانسیل اسمتیک شیره آوندی به ندرت کمتر از ۲- بار است. در نتیجه، وقوع جذب فعال ارخاك یا محلولهای که پتانسیل آب آن کمتر از ۲- بار باشد نیز نادر می‌باشد. (به‌شکل ۸-۶ مراجعه شود). به‌طوری‌که در فصل پنجم شرح داده شد، جذب غیر فعال در گیاهانی که فعالیت تعریقی آنها زیاد است به‌علت کاهش پتانسیل آب در سطوح تبخیرکننده شاخه‌ها و سپس انتقال آن به سطوح ریشه‌ها از طریق جریان تعریقی و از داخل ستونهای چسبنده آب می‌باشد. مقدار کاهش پتانسیل آب از ۱ تا ۲ بار در هنگامی که تغرق ناچیز باشد شاید ۱۵ یا ۲۰ بار در ظهر روزهای آفتابی و حتی ۵۰ تا ۱۰۰ بار در گیاهان مناطق خشکی که مواجه با کمبود شدید آب باشند متغیر است. در شکل ۸-۶ بعضی ارقام مربوط به اندازه‌گیریهای پتانسیل آب در برگ و ریشه نهالهای کاجی که در خاکهای خشک رویانده شده‌اند مشاهده می‌گردد.

اسلاویکوا^{۷۸} (۱۹۶۷، ۱۹۶۴) پتانسیل آب ریشه را اندازه‌گیری کرده است. وی گزارش نموده است که تغییرات افزایش پتانسیل آب ریشه در گیاهان خاکهای مرطوب از قسمت قاعده به‌طرف راس آن قابل ملاحظه است. ولی در بوته‌ای که قسمتی از ریشه‌ها در خاک خشک و بقیه در خاک مرطوب قرار گرفته است، شیب پتانسیل آب در ریشه‌های واقع شده در خاک خشک برعکس حالت بالا بوده است. این حالت می‌رساند که آب از ریشه‌های قسمت مرطوب خاک به ریشه‌های قسمت خشک خاک در همان گیاه انتقال می‌یابد. در مورد انتقال آب توسط سیستمهای ریشه‌ای از قسمت



شکل ۸-۶: اثرات کاهش پتانسیل اسمتیک محیط ریشه بر میزان

تعرق بوته‌های سالم گوجه‌فرنگی و نیز ترشحات ریشه‌ای در بوته‌هایی که

قسمتهای هوایی آن قطع شده‌است. سیستمهای ریشه‌ای در پتانسیل اسمتیک

کمتر از ۲- بار بجای ترشح شیر جلد آب می‌نمایند. (از آدمی و

کوزلوسکی^{۷۹}، ۱۹۵۱).

مرطوب خاک به قسمت خشک خاک مطالب زیادی انتشار یافته‌است. (برزیل و کرایدر^{۸۰} ۱۹۳۴؛ هانتز و کالی^{۸۱} ۱۹۴۶؛ مولر-استول^{۸۲} ۱۹۶۵ و دیگران). بورمان^{۸۳} (۱۹۵۷) حتی نشان داده‌است که می‌توان آب را از داخل ریشه‌های بهم پیچیده گیاه آفتاب‌گردان عبور داده و به این ترتیب بوته‌ها را در خاکهای خشک زنده نگهداشت.

79— Army and Kozlowski

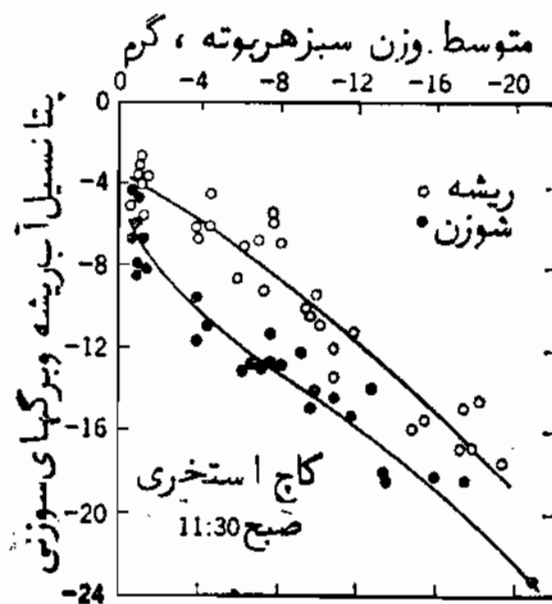
80— Breazeale and Crider

81— Hunter and keily

82— Muller - Stoll

83— Bormann

مک ویلیام و کرامر^{۸۴} (۱۹۶۸) وجود ریشه‌های کوچک زنده را در قاعده ناج فالاریس توبروزا^{۸۵} که ظاهراً آب مورد نیاز خود را از ریشه‌های عمقی دریافت می‌دارند گزارش کرده‌اند. این ریشه‌ها به وسیله لایه نازکی از خاک مرطوب احاطه شده‌اند و می‌توان گفت که آب از داخل ریشه‌ها به خاک خشک اطراف تراوش می‌کند.



شکل ۸-۶: رابطه بین بتانسیل رطوبت خاک و بتانسیل‌های ریشه

و برگ‌های سوزنی کاج استخری. نمونه‌گیری در ساعت ۱۱/۳ صبح صورت گرفته است. بتانسیل آب شاخه‌ها همواره کمتر از بتانسیل آب ریشه‌ها بوده است ولی درخت‌های خشک بتانسیل‌های آب خاک و ریشه بایکدیگر برابر بوده‌اند و این می‌رساند که شرایط برای جذب آب مساعد نبوده است. (از کرامر^{۸۶}، ۱۹۶۸).

84— McWilliam and Kramer

85— *Phalaris tuberosa* L.

86— Kramer

پتانسیل آب خاک: به طوری که در فصل دوم گفته شد پتانسیل آب تحت تأثیر نیروی ثقل، فشار ایستابی، نیروهای سطحی و وجود اجسام حل شدنی قرار می گیرد. این عوامل را می توان به وسیله معادله زیر که در فصل دوم آورده شده است نشان داد:

$$\psi_{\text{خاک}} = \psi_m + \psi_p + \psi_s + \psi_g \quad (2-1)$$

که ψ_m پتانسیل ماتریک، ψ_p پتانسیل فشار، ψ_s پتانسیل اجسام حل شدنی و ψ_g جزء ثقلی پتانسیل می باشد. در خاکهای زراعتی معمولاً غلظت اجسام حل شدنی کم بوده و می توان از جزء ψ_g پتانسیل کل آب خاک صرف نظر کرد. در این خاکها جزء ماتریک کنترل کننده پتانسیل کل است. نقش اجسام حل شدنی در رابطه با جذب آب در قسمتهای بعدی این فصل بحث خواهد شد.

گمان می رود پتانسیل آب در حد فاصل ریشه - خاک مهمترین خاصیت خاک از نظر کنترل موجودیت آب برای رشد گیاه باشد (گاردنر^{۸۷}، ۱۹۶۰؛ کرامر^{۸۸}، ۱۹۵۶؛ اسلاچر^{۸۹}، ۱۹۵۷) موجودیت آب بستگی به پتانسیل آب در توده خاک، خاک ψ ، و شیب بین توده خاک و خاکی که در مجاورت نزدیک ریشه واقع شده دارد. این مقدار به وسیله میزان نسبی جریان ورودی و خروجی ریشه کنترل شده و موضعی که جذب آب تثبیت گردد به مقدار ثابتی می رسد که به طور معکوس متناسب با هدایت هیدرولیکی است. در شکل a ۸-۶ برخی ارقام مربوط به اندازه گیریهای پتانسیل آب خاک و گیاه مشاهده می گردد.

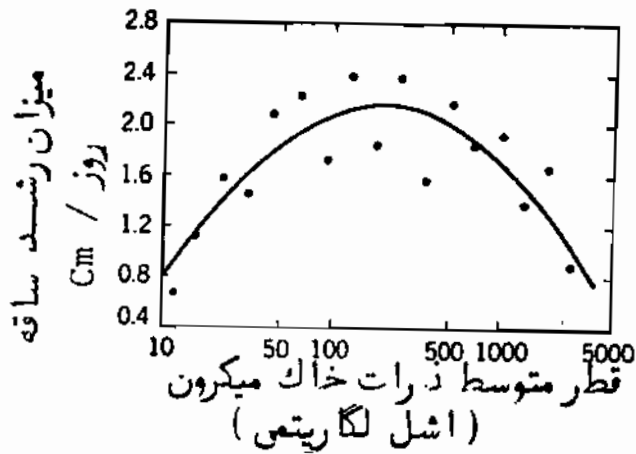
87— Gardner

88— Kramer

89— Slatyer

هدایت هیدرولیکی خاک

هدایت هیدرولیکی در خاکهای مختلف متفاوت است. بنابراین در یک پتانسیل مشخص آب خاک مقادیر جریان آب به داخل ریشه‌ها گوناگون است. مثلاً پیترز^{۹۰} (۱۹۵۷) سعی کرده است اثرات پتانسیل آب و محتوی آب را از یکدیگر مجزا سازد. وی باتحیه مخلوطهائی به نسبت‌های متفاوت از ماسه و لوم رسی سیلتی مشاهده کرده است که در یک پتانسیل مشخص محتوی آب در مخلوطه‌های مختلف متفاوت است. نامبرده دریافته است که نمو ریشه در بوته‌های جوان ذرت نه تپها با کاهش پتانسیل‌های آب (۳۳/۰ - تا ۸ - بار) تقلیل می‌یابد بلکه با کاسته شدن محتوی آب در یک پتانسیل معین نیز تقلیل پیدا می‌کند. میارومازوراک^{۹۱} (۱۹۵۸) بوته‌های آفتاب گردان رادر ۲۰ نوع خاک که قطر ذرات آنها از ۴۷۶۰ تا ۲/۳ میکرون و قطر منافذ آنها از ۵۲۹ تا ۲/۳ میکرون بوده رشد دادند. پتانسیل اعمال شده بر تمام این خاکها یکسان بوده است. به طوری که در شکل ۹-۶ مشاهده می‌شود بهترین رشد در خاکی صورت گرفته است که اندازه ذرات آن متوسط و پتانسیل آن ۲۰- سانتی متر آب بوده است. عامل محدودکننده رشد در ذرات درشت عدم نپیه آب کافی برای ریشه در اثر کوچک بودن هدایت هیدرولیکی بوده است این وضعیت به دلیل عدم تماس بین ریشه‌ها و حجم کوچک محلول اطراف ذرات و منافذ ریزخاک است. در ذرات ریز که اکثر منافذ آنها از محلول پر شده است عامل محدود کننده رشد عدم تهویه کافی است.



شکل ۶-۹: میزان تطویل ساقه‌های آفتاب‌گردان در خاکهای بااندازه

ذرات گوناگون. قطر ذرات به‌طور متوسط از ۲۳۶۰ تا ۹/۲۵ میکرون متفاوت

و تنش آب در تمام نمونه‌ها ۲۰ سانتی‌متر آب بوده است. (از میلر و مازوراک^{۹۲})

۱۹۵۸).

موضوع اساسی این است که با خشک شدن خاک، تعداد و اندازه لوله‌هایی که آب از داخل آنها به طرف ریشه حرکت می‌کند به سرعت تقلیل می‌یابد (فیلیپ^{۹۳} a، ۱۹۵۷) و از این جهت مقدار آبی که در واحد زمان تحت شیب پتانسیل مشخص حرکت می‌کند نیز کاهش می‌یابد. وقتی گیاهان معرق به‌طور دائم پژمرده می‌شوند خاک $\psi =$ گیاه ψ . عامل محدودکننده شیب پتانسیل آب بین خاک و سطح ریشه عبارت از مقدار گیاه ψ در زمان پژمردگی است.

حرکت آب به طرف ریشه‌ها

تعداد عوامل مؤثر بر حرکت آب به سوی ریشه‌ها به قدری زیاد است که مشکل بتوان برای تشریح آن از یک معادله استفاده نمود. در نباتاتی که

فعالانه به رشد خود ادامه می‌دهند سیستمهای ریشه‌ای دائماً مناطق جدیدی از خاک را اشغال نموده و جذب آب از قسمتهای نفوذپذیر ریشه به سرعت ادامه می‌یابد. حال آنکه، توده خاکی که سیستمهای ریشه‌ای اشغال نموده‌اند اکثراً از افقهای مختلفی تشکیل یافته که محتوی آب آنها متفاوت است. در نتیجه جذب آب توسط يك سیستم ریشه‌ای ممکن است از جزء كوچك توده خاکی که اشغال کرده است صورت گیرد. این شرایط خصوصاً زمانی صادق است که آب باران یا آبیاری فقط قسمتی از منطقه توسعه ریشه را که قسمت اعظم آب سهل الوصول آن تخلیه شده تغذیه نماید. در چنین شرایطی ریشه‌ها مواجه با تغییرات وسیع پتانسیل آب در خاک و ریشه گیاه بوده و تعیین مقدار مؤثر آن برای کایه سیستم ریشه‌ای احتمالاً غیر ممکن است. ولی سیستم ریشه‌ای می‌تواند بخودی خود مجموعه‌ای از پتانسیلهای آب خاک را به دست دهد. مقدار ریشه‌ها که در قاعده سافه اندازه‌گیری می‌شود احتمالاً نمودار ریشه‌ها در مرطوب‌ترین ناحیه منطقه توسعه ریشه‌ها که حداکثر جذب آب از آنجا صورت می‌گیرد می‌باشد (اسلاچر^{۹۴}، ۱۹۶۰)

مقدار جریان آب در خاک

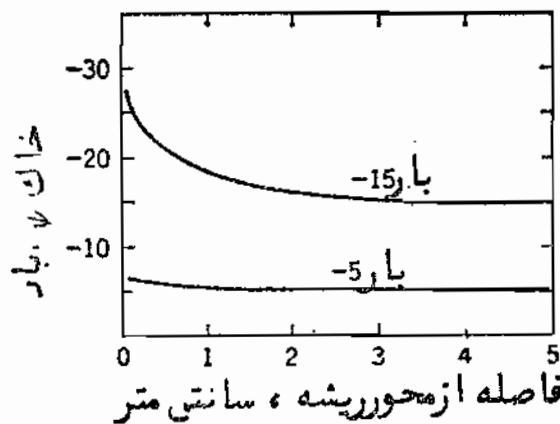
گرچه جریان آب خاک به طرف ریشه‌ها مسأله پیچیده‌ای است، ولی الگوهای ساده شبیه آنچه فیلیپ^{۹۵} (۱۹۷۵) و گاردنر^{۹۶} (۱۹۶۰) پیشنهاد کرده‌اند با آمارهای حاصله از تجربه به خوبی مطابقت دارند. در الگویی که گاردنر^{۹۶} (۱۹۶۰) ارائه داده است ریشه‌ها به لوله‌های استوانه‌ای شکل

94— Slatyer

95— Philip

96— Gardner

به طول بی نهایت و قطر یکنواخت تشبیه شده اند که خاصیت جذب آب آن در سرتاسر لوله یکنواخت است. وی فرض می کند که با کاهش مقدار آب خاک، خاک نیز کاهش یافته و ریشه ψ باید بیشتر کاهش یابد تا به این وسیله حرکت آب برقرار باقی بماند. این وضعیت به دلیل این است که هدایت هیدرولیکی نیز کاهش یافته و اگر بخواهیم همان مقدار جریانی که در خاک مرطوب برقرار است در خاک خشک نیز برقرار باشد، باید بین خاک و ریشه شیب تندی برقرار گردد. درخاتمه ریشه ψ به سطحی تقلیل می یابد که برای گیاه زیان آور است و موقعی که خاک ψ نیز به این حد رسید عملاً جذب آب متوقف می گردد. باحل معادله ای که برای این مبنا ارائه شده است، گاردنر^{۹۷} (۱۹۶۰) اطلاعاتی را کسب کرده که نمودارهای آن در شکلهای ۶-۱ تا ۶-۱۳ مشاهده می شود.



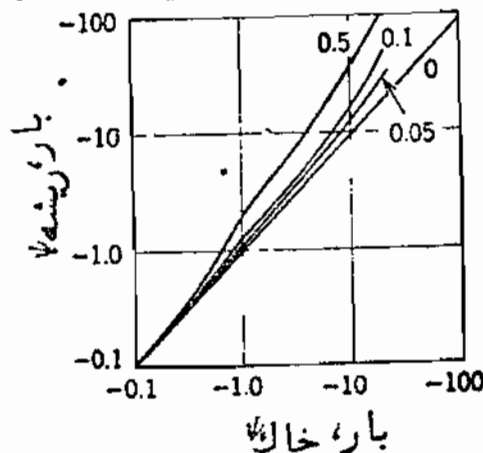
شکل ۶-۱۰: مقدار شیب تخمینی پتانسیل آب خاک «خاک ψ » بین

نوده خاک و سطح ریشه در لوم ماسه ای پاچاپا^{۹۸}. مقدار پتانسیل آب خاک

بین -۵ و -۱۵ بار و جذب آب ۱/۰ میلی لیتر در هر سانتی متر طول ریشه

در روز بوده است. (از گاردنر، ۱۹۶۰).

در شکل ۱-۶ تغییرات ψ به صورت تابعی از فاصله تا ریشه در مورد خاک لوم ماسه‌ای پاچاپا مشاهده می‌شود. مقدار اولیه خاک ψ معادل ۵- و ۱۵- بار انتخاب شده و سرعت جریان ۱/۰ میلی‌لیتر در هر سانتی‌متر طول ریشه در روز فرض شده است (اوگاتا، ریچاردز و گاردنر^{۹۹} ۱۹۶۰). گاردنر نشان داده است که برای هر مقدار خاک ψ فاصله آن نقطه تاریشه بامجنور زمان بستگی دارد. در نتیجه، از روی زمان مجاز حرکت می‌توان فاصله‌ای را که تصور می‌رود از آن نقطه آب به سوی ریشه حرکت کند تخمین زد. برای مدت زمانی که تصور می‌شود در برآورد احتیاجات گیاه مؤثر باشد، فاصله‌ای که آب به سمت ریشه حرکت می‌کند حدود ۱ سانتی‌متر از سطح ریشه است. در یک شرایط مشخص، تراکم مطلوب



شکل ۱-۶: مقدار تخمینی پتانسیل آب ریشه که برای حرکت آب از خاک به سمت ریشه‌ها لازم است، سرعت‌های جذب آب ۰/۵، ۰/۱، و ۰/۵ میلی‌لیتر در هر سانتی‌متر طول ریشه در روز و برای پتانسیل‌های مختلف آب خاک در لوم ماسه‌ای پاچاپا در نظر گرفته شده است. (از گاردنر^{۱۰۰}، ۱۹۶۰).

99— Ogata, Richards and Gardner

100— Gardner

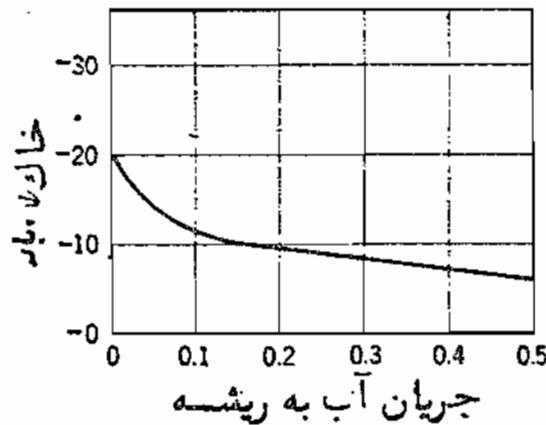
ریشه از روی هدایت هیدرولیکی خاک و نیز نیازهای تعرقی گیاه تعیین می‌گردد. به‌طوری‌که در شکل ۱۰-۶ نشان داده شده است در (بار) $-5 =$ خاک ψ ، برای حرکت آب تحت سرعت معین، شیبی حدود ۲ بار لازم است. حال آنکه در (بار) $-15 =$ خاک ψ برای ایجاد همین سرعت شیبی معادل ۱۳ بار لازم است زیرا در این حالت هدایت هیدرولیکی تقلیل یافته است.

در شکل ۱۱-۶ مقادیر تخمینی اختلاف پتانسیل بین خاک و ریشه $(\Delta\psi)$ که بتواند در پتانسیلهای آب گوناگون تولید جریان معینی را بنماید نشان داده شده است. مقدار $\Delta\psi$ به هدایت هیدرولیکی k و مقدار واقعی جریان بستگی دارد. چون k با کاهش خاک ψ تقلیل پیدا می‌کند، مقدار $\Delta\psi$ مورد لزوم جهت افزایش جریان به مقادیری بالاتر از ۱/۰ میلی‌لیتر در روز، گرچه بدواً کوچک است، ولی با کاهش خاک ψ به کمتر از ۰-۵ بار به سرعت افزایش می‌یابد. این تخمین بر مبنای تراکم ریشه‌ای که به مراتب کمتر از تراکم ریشه در زیر گیاهان زراعتی است می‌باشد. با افزایش تراکم ریشه‌ها، میزان جریان در هر واحد سطح ریشه و نیز فاصله‌ای که آب حرکت می‌کند کاهش می‌یابد. هم‌چنین مقدار $\Delta\psi$ لازم برای برقراری جریان نیز تقلیل می‌یابد.

اثر محدودکننده پتانسیل آب گیاه: اگر فرض شود پژمردگی گیاه زمانی صورت گیرد که ریشه ψ به حد معینی، مثلاً ۲۰- بار، کاهش یابد رابطه آن را با سرعت جریان در زمان پژمردگی می‌توان مطابق شکل ۱۲-۶ نشان داد. پژمردگی و توقف جریان آب موقعی صورت می‌گیرد که خاک ψ معادل ۲۰- بار باشد (نقطه مناسب جهت اندازه‌گیری در صدد پژمردگی دائم). ولی اگر تعرق ادامه یابد با افزایش مقدار تعرق و نیز قدر مطلق $\Delta\psi$ پژمردگی به‌ازاء مقادیر بالاتر خاک ψ صورت خواهد گرفت. این پدیده در

طبیعت به صورت پژمردگی موقت به هنگامی که تعرق گیاه سریع است مشاهده می گردد. چون در داخل گیاه شیب پتانسیل آب وجود دارد (برگ ψ > ریشه ψ > خاک ψ) پژمردگی برگها بسته به مقدار ریشه ψ نیست بلکه به تغییرات اختلاف پتانسیل آب ($\Delta \psi$) بین ریشه و برگ بستگی دارد. با رویاندن گیاهان سریع التعرق در محلولهای کشتی که پتانسیل آنها مشخص باشد می توان برخی اطلاعات را در مورد $\Delta \psi$ کسب نمود.

اگر میزان تعرق به وسیله شیب فشار بخار بین سطوح تبخیرکننده برگ و هوای خارج و مقاومت مسیر پخشیدگی بخار آب در مقابل جریان کنترل گردد، کاهش مقدار برگ ψ عامل مستقیم محدودکننده تعرق نخواهد بود زیرا در اکثر شرایط اثر آنها بر فشار بخار در سطوح تبخیر ناچیز است (به فصل نهم مراجعه شود). ولی بجای آن از طریق کاهش آماس سلولهای محافظ و بسته شدن روزنه ها وارد عمل شده و مقاومت در مقابل پخشیدن بخار آب به مقدار زیادی افزایش می یابد. چون عامل اصلی



شکل ۱۲-۶: سرعت جریان آب در ریشه بر حسب میلی لیتر در سانتی متر طول ریشه در روز در خاکهایی که پتانسیل آنها متفاوت بوده و پتانسیل آب ریشه ۲۰- بار تعیین شده است. (از گردنر^{۱۰۱}، ۱۹۶۰).

کاهش برگ ψ تنش آب خاک است، این عامل حتی اگر به طور مستقیم نیز وارد عمل شود، میزان تعریق را تقلیل می دهد.

جریان آب در خاک و گیاهان

گاردنر^{۱۰۲} (۱۹۶۰) معادله خود را با آمارهای تجربی اسلاچر^{۱۰۳} (۱۹۵۷) آزمایش نموده که نتیجه آن در شکل ۱۳-۶ نشان داده شده است. منحنیهای صاف از طریق محاسبه ترسیم شده و نشان می دهند که اگر برگ ψ به مقادیر ۴۰- و ۱۰۰- بار برسد جریان آب کاهش پیدا می کند. در مورد منحنی ۴۰- بار، وقتی خاک ψ به پائین تر از ۱- بار برسد میزان جریان نیز کاهش پیدا کرده و بین این منحنی و منحنی ۱۰۰- بار فاصله ایجاد می شود ولی در مورد منحنی ۱۰۰- بار تازمانی که خاک ψ به ۱۰- بار نزدیک نگردد کاهش قابل ملاحظه ای در میزان جریان ایجاد نمی شود. آمار تجربی که به صورت نقاطی روی شکل آورده شده اند نشان می دهند که ارقام محاسبه ای و آمارهای اندازه گیری شده در برگ گو^{۱۰۴} و پنبه با حداقل برگ ψ معادل ۱۰۰- بار و در گوجه فرنگی با حداقل برگ ψ معادل ۴۰- بار بایکدیگر مطابقت دارند. در شکل ۲۴-۸ دیمند و شاو^{۱۰۵} (۱۹۶۲) با توجه به آزمایشات صحرائی خود نشان داده اند که چنین رابطه مشابهی در مورد ذرت نیز وجود داشته و میزان واقعی تعرق روزانه در سطوح مختلف پتانسیل تعریق و خاک ψ بایکدیگر مقایسه شده اند. به نظر می رسد که بانوع مدل ساده شده گاردنر (۱۹۶۰) به خوبی به توان جریان آب از خاک به ریشه را تشریح نمود. در اکثر شرایط اگر

102— Gardner

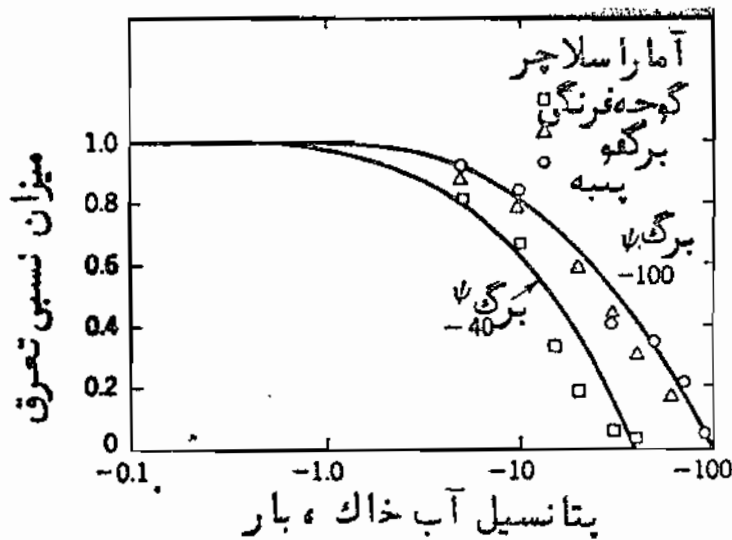
103— Slatyer

104— Privet

105— Denmead and Shaw

مقدار متوسط خاک ψ بیش از ۱- بار باشد حتی بامیزان جذب آب زیاد نیز شیب پتانسیل آب بین خاک و ریشه کوچک خواهد بود. به هر حال، با کاهش خاک ψ و هدایت هیدرولیکی، ψ به سرعت افزایش یافته و حرکت کند آب به داخل ریشه‌ها مقدار برگ ψ را کاهش می‌دهد که به نوبه خود باعث از بین رفتن آماس، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش میزان تعرق می‌گردد. مقدار خاک ψ که مربوط به این علائم است به مقدار جذب آب، هدایت هیدرولیکی خاک و انتشار انشعابات سیستم ریشه بستگی دارد.

باید اضافه کرد که گاردنر و اهلیگ^{۱۰۶} (۱۹۶۲) دریافته‌اند که اگر خاک ψ بیش از ۶/۰- بار باشد، مقاومت گیاه در مقابل حرکت آب بیش



شکل ۱۳-۶: میزان نسبی تعرق در گوجه فرنگی با حداقل پتانسیل ۴۰- بار در آب برگ و پنبه و برگو با حداقل ۱۰۰- بار در مقابل تغییرات پتانسیل آب خاک. پتانسیل کم آب برگ با جذب بیشتر آب از خاکهای خشک و طولانی بودن دوره تعرق زیاد گیاه همراه است. (گاردنر^{۱۰۷}، ۱۹۶۰).

از مقاومت خاک است. ولی اگر خاک $\frac{1}{4}$ کمتر از ۱- یا ۲- بار باشد، مقاومت ریشه در مقابل جریان عامل محدودکننده تأمین آب می‌گردد.

کووان^{۱۰۸} (۱۹۶۵) نیز به نتایج مشابهی دست یافته است ولی نیومن^{۱۰۹}

(گفتگوهای شخصی) نسبت به این موضوع شك دارد. وی عقیده دارد که باتراکم ریشه‌ای که معمولاً در زیر گیاهان زراعی می‌توان یافت، مقاومت خاک در تأمین آب تازمانی که خاک $\frac{1}{4}$ به درصد پژمردگی دائم نرسد عامل محدودکننده نخواهد بود. گاردنر، کووان و مونیتیت در کتاب کوزلوسکی^{۱۱۰} (۱۹۶۸)، (فصلهای ۵ و ۶) مطالبی پیرامون این مسأله نوشته‌اند.

معمولاً بعید به نظر می‌رسد که وفی رطوبت خاک در حدود ظرفیت زراعی باشد آب از فواصلی بیش از ۴ سانتی‌متر به طرف سطوح ریشه‌ها حرکت نموده و بتواند از نظر فیزیولوژیکی برای گیاه مهم واقع شود. البته وقتی سفره‌آب نزدیک سطح قرار گرفته باشد حرکت آب ممکن است از فواصل یک متری یا بیشتر نیز انجام پذیرد. گاردنر و اهلیگ^{۱۱۱} (۱۹۶۲) مشاهده کرده‌اند که در یونجه‌زارها مقدار آبی که از عمق ۱۸۰ سانتی‌متری به طرف بالا صعود می‌کند قابل توجه است. ویند^{۱۱۲} (۱۹۵۵a, ۱۹۵۵b) محاسبه کرده است که در مورد چمن مقاومت خاک در مقابل جریان آب کمتر از مقاومت عناصر تشکیل‌دهنده آوندهای اولیه ریشه است. بنابراین در برخی شرایط حرکت صعودی آب در خاک و داخل گیاه توأماً صورت می‌گیرد.

بعضی محققین پیشنهاد کرده‌اند که کاهش محتوی آب خاک و ریشه

108— Cowan

109— Newman

110— Kozlowski

111— Gardner and Ehlig

112— Wind

موجب انقباض گردیده و با این عمل بین خاک و ریشه فضائی از هوا به وجود می‌آید که حرکت آب از آن فقط به صورت بخار عملی است. فیلیپ^{۱۱۳} (۱۹۵۸b) وجود چنین فضاهائی را برای توضیح این مطلب که میزان جذب نمک برخی گیاهان در اراضی شورند اندک است پیشنهاد نموده است. برنشتاین و همکاران^{۱۱۴} (۱۹۵۹) خاطرنشان ساخته‌اند که سرعت جریان بخار آب به قدری کند است که نمی‌توان آن را در جذب آب توسط گیاهان به شمار آورد مگر در مورد خاکهائی که رطوبت آنها از حد ظرفیت نگهداری حیلی پائین‌تر باشد. هم‌چنین مشاهده شده است که اثرات شوری که فیلیپ به آن اشاره کرده است (به فصل نهم مراجعه شود) در محیطهائی کشت محلول که امکان وجود منافذ هوا وجود ندارد (اسلاچر^{۱۱۵} ۱۹۶۱) دیده می‌شود. به هر صورت، انقباض خاک محتملاً موجب وارد آمدن خساراتی به ریشه‌های شکننده یا موئی شده و کاهش تماس بین خاک و ریشه در انتقال آب مؤثر است. اخیراً کووان و میل تروپ اظهار داشته‌اند که اگر فاصله بین ریشه و خاک بیشتر از شعاع ریشه نباشد، مقدار آبی که می‌تواند به صورت بخار در اختیار ریشه قرار گیرد قابل ملاحظه است (کوزلوسکی، ۱۹۶۸، فصل ششم).

دمای خاک در رابطه با جذب آب

حداقل از زمان هیلز^{۱۱۶} (اوایل قرن هیجدهم) شناخته شد که پائین بودن دمای خاک جذب آب را در گیاهان تقلیل می‌دهد. دمای خاک نه تنها به طور مستقیم بر جذب آب مؤثر است بلکه به طور غیر مستقیم نیز

113— Philip

114— Bernstein et al

115— Slatyer

116— Hales,

از طریق تأثیر بر رشد ریشه و فعالیت سازندگی آنها مؤثر است. اثر حرارت بر رشد ریشه در فصل چهارم بحث شد و در این قسمت از اثر آن بر جذب آب گفتگو می‌شود. گاهی اوقات دمای خاکهای زراعتی به حدی بالا است که می‌تواند یکی از عوامل محدودکننده به‌شمار آید. گیاهان مناطق معتدل نیز هر سال مواجه با خطرانی ناشی از سرما می‌باشند. مرگ زمستانه اکثر گیاهان ناشی از این است که در زمان تهرق خاک یخ‌زده یا سرد بوده و جذب آب به حدی کند است که نمی‌تواند جایگزین آب تعریق شده گردد.

اثرات دمای کم

سردی خاک یکی از عوامل مهم اکولوژیکی است. کاهش قابلیت دسترسی به آب در خاکهای سرد یا یخ‌زده یکی از عوامل محدودکننده رشد گیاهان در مناطق قطبی یا حوالی مرز چوبهای الواری در کوهستانها است (وایت-فیلد^{۱۱۷}، ۱۹۳۲، کلمنتز و مارتین^{۱۱۸}، ۱۹۳۴، میکائلیس^{۱۱۹}، ۱۹۳۴). اختلافات محلی دمای خاک نیز بر رشد و توزیع نباتات مؤثر است. گرم‌شدن خاکهای سنگین زه‌دار در بهار کندتر از خاکهای شنی زهکشی شده است. فیرباس^{۱۲۰} (۱۹۳۱) و دورینگ^{۱۲۱} (۱۹۳۵) عقیده دارند که خاکهای سرد اراضی بایر و مرتفع اروپا یکی از عوامل محدودکننده رشد گیاهان است. گاهی اوقات سردی خاک در نباتات زراعتی نیز از عوامل محدودکننده به‌شمار می‌رود. شرودر^{۱۲۲} (۱۹۳۶) دریافته‌است که خاکهای

117— Whitfield

118— Clements and Martin

119— Michaelis

120— Firbas

121— Doring

122— Schroeder

سرد (خنك شده با افزودن آب سرد) صدمات سختی به بوته‌های خیار که در گلخانه کشت شده بودند وارد آورده است. کامرون^{۱۲۳} (۱۹۶۱) گزارش کرده است که درختان مرکبات کالیفرنیا غالباً در زمستانهای سرد پژمرده می‌شوند. شواهدی موجود است که نشان می‌دهند آبهای سردی که از سدهای مناطق مرتفع سیرا تأمین می‌شود برای رشد مطلوب برنج در دره ساکرامنتوی کالیفرنیا مساعد نیستند و روشهایی مثل حوضچه‌های حرارت و استخراج آب گرمتر از قسمت‌های بالای مخزن به کار رفته است تا بتوان آبی تهیه نمود که از نظر فیزیولوژیکی درجه حرارت مساعدی داشته باشد. گفته می‌شود که دمای کم خاک در ژاپن و ایتالیا نیز از عوامل محدودکننده رشد برنج است. از طرف دیگر کاهش دمای خاک با آبیاری در بعضی محصولات مثل سیب‌زمینی موجب افزایش محصول می‌گردد. رینی و میهارا^{۱۲۴} (۱۹۶۷) نقش دمای آب آبیاری را بررسی نموده‌اند.

اختلاف بین گونه‌ها در استقامت آنها در مقابل دمای کم: در حدود سال ۱۸۶۰، ساچس مشاهده نمود که وقتی سردی خاک به ۳ تا ۵ درجه سانتی‌گراد رسید پژمردگی بوته‌های تنباکو و کدو به مراتب شدیدتر از بوته‌های کلم و شلغم که همگی در يك نوع خاک می‌روئیدند بوده است. بنابه گفته براون^{۱۲۵} (۱۹۳۹) جذب آب در چمن برمودا^{۱۲۶}، که بومی نواحی گرم است، با کاهش درجه حرارت خاک به قدری تقایل پیدا می‌کند که در ۱۰ درجه سانتی‌گراد گیاه پژمرده می‌شود. در حالی که، چمن آبی^{۱۲۷} که

123— Cameron

124— Raney and Mihara

125— Brown

126— Bermuda grass (*Cynodon dactylon* pers.)127— Blue grass (*Poa pratensis* L.)

بومی مناطق سردتر است تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد.

در جدول ۳-۶ خلاصه‌ای از مطالعات انجام‌شده روی اثرات دمای خاک مشاهده می‌شود. تفاوت فاحش بین کلم (که در نواحی جنوبی ایالات متحده به‌عنوان محصول زمستانی کشت می‌شود) و پنبه و هندوانه (که محصول فصل گرم است) در شکل ۱۴-۶ مشاهده می‌گردد.

کوزلوسکی^{۱۲۸} (۱۹۴۳) ملاحظه کرده‌است که اثر کاهش دمای خاک در تقلیل جذب آب توسط کاج استخری^{۱۲۹} (گونه جنوبی) بیش از کاج سفید^{۱۳۰} (گونه شمالی) است. این تفاوتها نشان می‌دهند که کاهش نفوذ پذیری ریشه‌های گیاهان مختلف در اثر کاهش حرارت متفاوت است. شواهد زیاد دیگری نیز موجود است که همگی حکایت از کاهش جذب آب در اثر پائین‌بودن دمای خاک دارند از آن جمله می‌توان کوزاروف^{۱۳۱} (۱۸۹۷)، بود^{۱۳۲} (۱۹۲۳) و دونکان و کوک^{۱۳۳} (۱۹۳۲) که روی نیشکر و کامنتز و مارتین^{۱۳۴} (۱۹۳۴)، روشال^{۱۳۵} (۱۹۳۵) و ارنست^{۱۳۶} (۱۹۳۷) را که روی یونجه کار کرده‌اند نام برد. معمولاً گونه‌هایی که طبیعتاً در خاکهای گرم می‌رویند، بیشتر از گونه‌هایی که در خاکهای سرد می‌رویند تحت تأثیر کاهش دمای خاک قرار می‌گیرند. هم‌چنین به‌طوری که در شکل ۶-۶ دیده

128— Kozlowski

129— Loblolly pine (pinus taeda L.)

130— Whitepine (pinus strobus L.)

131— Kosaroff

132— Bode

133— Duncan and Cooke

134— Clements and Martin

135— Rouschal

136— Arndt

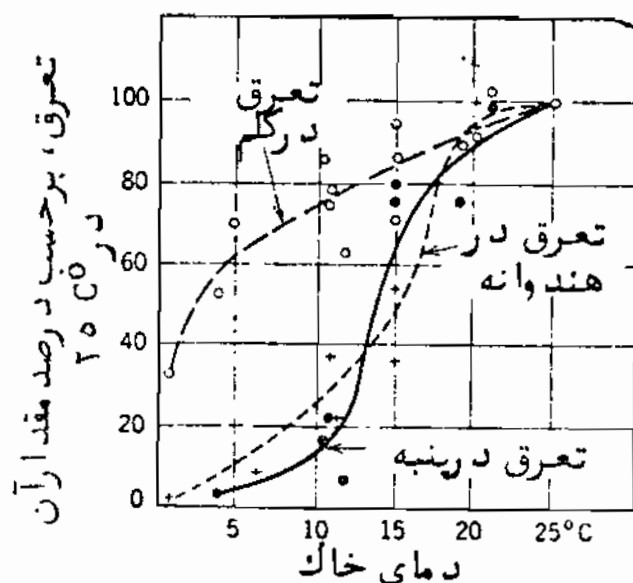
جدول ۳-۶: اثرات درجه حرارت بر جذب آب در گونه‌های مختلف*
(میزان تعرق اندازه‌گیری شده و فرض شده است که در یک دوره ۲۴ ساعته مقدار جذب تقریباً معادل مقدار تعرق می‌باشد)

نوع گونه	تعداد گیاهان در هر آزمایش	درجه حرارت نهانی خاک	تعرق گیاهان سرد شده بر حسب درصد تعرق در گیاهان شاهد 25°C
کلم ۱۳۷	۶	۱۲/۰	۶۱/۰
پنبه ۱۳۸	۶	۱۲/۰	۷/۴
کلم	۶	۴/۳	۵۳/۰
پنبه	۶	۴/۳	۴/۳
کلم	۶	۱/۰	۳۳/۰
هندوانه ۱۳۹	۶	۱/۰	۱/۴
کاج استخری ۱۴۰	۴	۰/۵	۱۳/۷
کاج اسلاش ۱۴۱	۴	۰/۵	۱۳/۹
کاج سفید ۱۴۲	۴	۰/۵	۳۷/۷
کاج سرخ ۱۴۳	۴	۰/۵	۲۵/۰
زارون ۱۴۴	۱۴	۰/۵	۲۵/۰
برگنو ۱۴۵	۱۲	۲/۵	۴۷/۰
آفتاب گردان ۱۴۶	۱۲	۱/۰	۲۷/۰

* تصحیح شده از کرامر ۱۴۷ (۱۹۴۲)

● گیاهان به دو گروه تقسیم شده‌اند: یک گروه در 25°C ثابت نگهداشته شده و درجه حرارت گروه دیگر در طول مدت یک شب به درجه سانتی‌گراد تقلیل داده شده است.

می‌شود اثر کاهش سریع دمای خاک بر جذب آب بیش از اثر کاهش تدریجی آن می‌باشد (بونینگ و لوزاناندانا^{۱۴۸}، ۱۹۵۲).



شکل ۱۴-۶: اثر کاهش دمای خاک بر جذب آب توسط چهارگونه گیاهی که از روی تعیین میزان تعرق آنها اندازه‌گیری شده است. (از کرامر^{۱۴۹}، ۱۹۴۲).

علل کاهش جذب آب در دمای کم: دلایلی که چرا با کاهش درجه

139— *Citrullus vulgaris* Schradla DC

140— *Pinus taeda* L.

142— *pinus strobus* L.

144— *Ulmus americana* L.

145— *Ligustrum japonicum* thund.

146— *Helianthus annus* L.

148— Bohning and Lusananda

141— *Pinus elliotti* Engelm. pp

143— *pinus resinosa* Ait.

147— Kramer

149— Kramer

حرارت خاک جذب آب نیز کاهش می‌یابد زیاد است که مهمترین آنها عبارتند از:

- (۱) کاهش رشد ریشه: این موضوع در خاکهای خشك، که حرکت آب به طرف ریشه‌ها عامل محدودکننده است، بسیار مهم می‌باشد. اثرات درجه حرارت بر رشد ریشه در فصل چهارم بحث شده است.
 - (۲) افزایش لزوجت آب: لزوجت آب در صفر درجه حرارت سانتی‌گراد دوبرابر لزوجت آن در ۲۵ درجه سانتی‌گراد است.
 - (۳) افزایش مقاومت ریشه‌ها در مقابل حرکت آب: این حالت به علت کاهش نفوذپذیری غشاهای سلولی و اثرات افزایش لزوجت است.
 - (۴) کاهش فعالیتهای متابولیکی (سوخت و ساز) سلولهای ریشه: این شرایط بر جذب فعال آب مؤثر بوده و منجر به کاهش تجمع نمک می‌گردد (به فصل هفتم مراجعه شود). اثر آن بر جذب غیر فعال فقط به اندازه‌ای است که بر نفوذپذیری غشاهای سلولی ریشه مؤثر است.
- کاهش جذب آب و پژمردگی گیاهان در خاکهای سرد را نمی‌توان به تقلیل یا توقف جذب فعال نسبت داد. زیرا به طوری که در فصل پنج گفته شد سهم این فرآیند در تأمین آب مورد نیاز شاخه‌ها درصد کوچکی از مقدار کل آب تأمین شده را تشکیل می‌دهد. ولی جذب غیر فعال در دماهای کم به شدت کاهش می‌یابد. به طوری که در شکل ۱۵-۶ مشاهده می‌شود، حرکت آب در سیستمهای ریشه‌ای که متصل به پمپ تخلیه هوا بوده و تحت اختلاف فشار تقریبی ۸۵/۰ بار واقع شده‌اند در صفر درجه سانتی‌گراد ۲۰ درصد بیشتر از مقدار حرکت در ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. وقتی سیستمهای ریشه‌ای که قبلاً با فروبردن در آب داغ کشته شده‌اند خشك شوند جذب آب در همان شرایط شیب فشاری در صفر درجه سانتی‌گراد حدوداً نصف میزان جذب در ۲۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. کشتن

ریشه‌ها مقاومت را در برابر جریان توده‌ای آب به شدت کاهش می‌دهد و این امر احتمالاً به دلیل از بین رفتن پروتوپلاست‌ها و غشاهای سلولی است. اوردین و کرامر^{۱۵۰} (۱۹۵۶)، وولی^{۱۵۱} (۱۹۶۵) نیز نشان داده‌اند که باکشتن ریشه‌ها نفوذپذیری آنها نسبت به پخشیدن آب افزایش می‌یابد. منحنیهای حرکت آب در داخل ریشه‌های مرده و کاودیون^{۱۵۲} و غشاهای چینی دردهماهای مختلف یکسان است. یعنی میزان حرکت آب از غشاهای غیر زنده در وهله اول به وسیله ازوجت آب کنترل می‌گردد (کرامر^{۱۵۳}، ۱۹۴۰ a).

کوپر^{۱۵۴} (۱۹۶۴ a) اثرات درجه حرارت را بر جذب آب مورد بررسی مجدد قرار داد. وقتی ریشه در معرض دمای کم قرار گرفت، در یک فاصله زمانی کوتاه جذب آب به وسیله ازوجت آن کنترل می‌شد (مانند غشاهای غیر زنده) ولی پس از گذشت ۳۰ دقیقه اثر اضافی تغییر نفوذپذیری پروتوپلاسم نیز ظاهر گردید. کوپر آمارهای کرامر و دیگران را نیز بررسی کرده و آنها را نسبت به تغییرات ازوجت آب تصحیح نموده است. وی با این روش نشان داد که در بالاتر از یک درجه حرارت بحرانی، عامل محدودکننده جذب آب، تغییرات ازوجت آن است ولی پائین‌تر از این حد کاهش نفوذپذیری غشاهای سلولی ریشه نیز عامل محدودکننده جذب آب می‌باشند. نتایج در شکل ۱۶-۶ خلاصه شده است. اثر حرارت بر نفوذپذیری، برای کلم و کاج سفید در کمتر از ۵ درجه سانتی‌گراد برای

150— Ordin and Kramer

151— Woolley

152— Collodion

153— Kramer

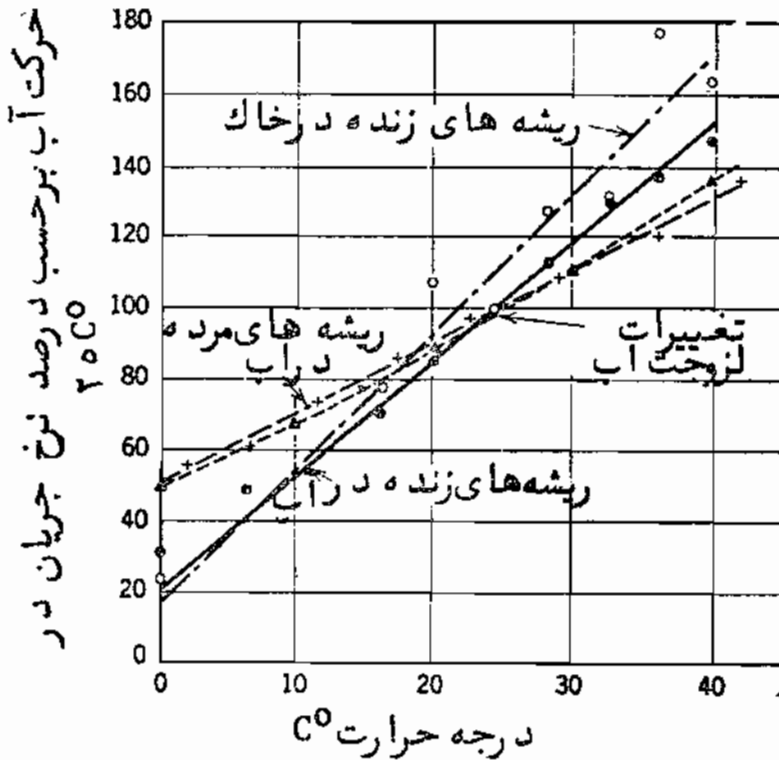
154— Kuiper

مرکبات در کمتر از ۱۰ درجه برای کاج استخری در کمتر از ۲۰ و برای پنبه و هندوانه در کمتر از حدود ۲۲ درجه سانتیگراد مشهود است. کوپر^{۱۵۵} پیشنهاد کرده است که در درجات حرارت بالاتر از این حدود در غشاء سلولهای ریشه منافذی مملو از آب وجود دارد که در پائین تر از آن اثری از این منافذ مشاهده نمی شود. این امر موجب افزایش مقاومت در مقابل حرکت آب می گردد. زیرا تغییرات فعالیت متابولیکی حاصله از دمای کم ساختمان غشاءهای سیتوپلاسمی را تغییر می دهد.

کوپر گزارش کرده است که با رویاندن سیستمهای ریشه لوبیا در درجه حرارت کم (۱۷ به جای ۲۴ درجه سانتیگراد) و یا کاهش تهویه در حین رشد، می توان درجه حرارت بحرانی را پائین آورد. تطبیق تدریجی سیستمهای ریشه بادمای کم قبلاً در این فصل بحث شد. کوپر^{۱۵۵} (b) (۱۹۶۴) ادعا نموده است که با افزایش محلول $10^{-4} \times 5$ مل اسیددی سینیل سوکسینیک به محیط رشد سیستمهای ریشه بوته های جوان لوبیا، افزایش مقاومت ریشه ها در دماهای کم به کلی از بین می رود. وی عقیده دارد که این ماده وارد لایه چربی غشاءهای سیتوپلاسمی شده و نفوذپذیری آنها را در مقابل آب افزایش می دهد. به هر حال، آزمایشات دیگر نشان می دهند که افزایش نفوذپذیری در اثر اسیددی سینیل سوکسینیک در واقع به علت صدمات وارده به ریشه است.

واضح است که علت اساسی کاهش جذب آب در دمای کم، اثر فیزیکی آن بر مقاومت ریشه از طریق افزایش لزوجت آب و کاهش نفوذپذیری غشاءهای سلولی ریشه است. عوامل دیگر از قبیل کاهش توسعه ریشه ها، هدایت هیدرولیکی، و متابولیسم ریشه مطمئناً در درجه دوم اهمیت

قرار دارند.



شکل ۱۵-۶: اثرات درجه حرارت بر میزان حرکت آب در ریشه های

زنده و غیر زنده ای که متصل به پمپ تخلیه هوا بوده و تحت اختلاف فشار

۶۴ سانتی متر جیوه قرار گرفته اند. سیستم های ریشه زنده به مدت یک ساعت

متصل به پمپ بوده و برای هر درجه حرارت ریشه های جدیدی انتخاب شده اند.

میزان حرکت آب بر حسب درصد مقدار حرکت در ۲۵ درجه سانتی گراد ترسیم شده

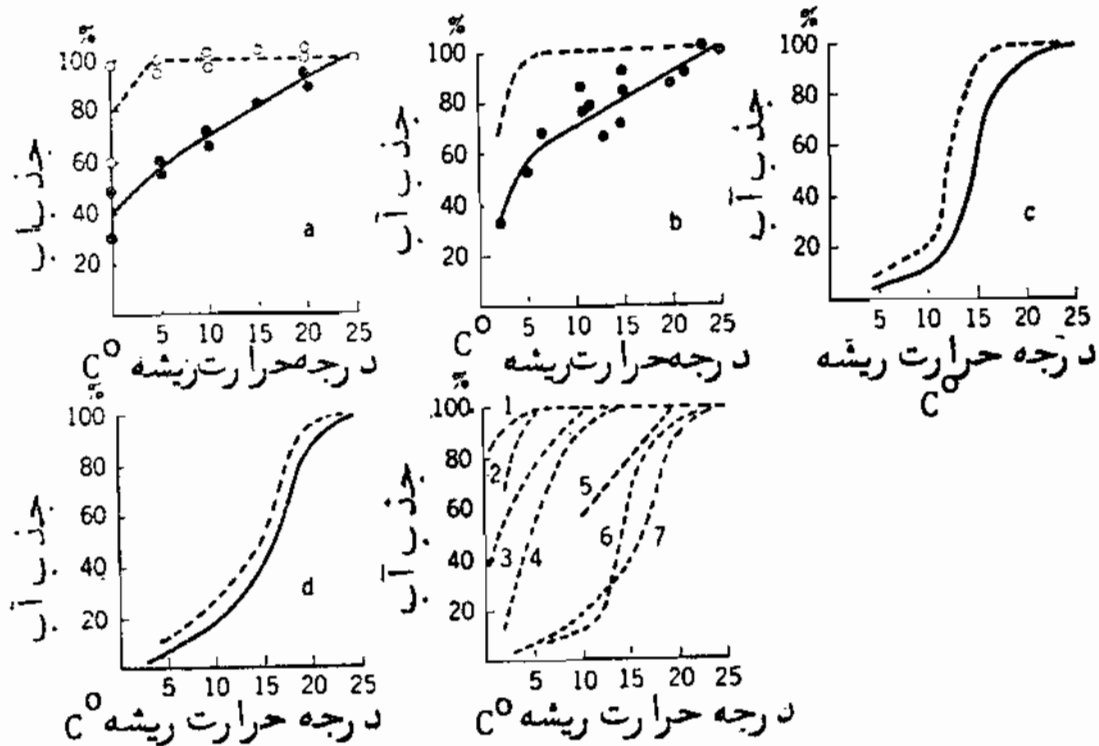
تا مقایسه بین ریشه های زنده و غیر زنده آسان گردد. لزوجت بر حسب درصد

عکس لزوجت ویژه در ۲۵C° توصیف شده است. توجه شود که اثر تغییرات

درجه حرارت بر حرکت آب در ریشه های زنده بیش از ریشه های غیر زنده

است و این احتمالاً به دلیل اثر درجه حرارت بر مقاومت ریشه در برابر

عبور آب از پروتوپلاسم زنده است. (از کرامر ۱۹۴۰، ۱۵۶)



شکل ۱۶: اثر درجه حرارت بر میزان جذب آب توسط ریشه‌های

کاج سفید a ، کلم b ، پنبه c و هندوانه d . منحنیهای مبتد
 از کرامر^{۱۵۷} (۱۹۴۲) اقتباس شده‌اند . خط‌یست مقطع تصحیح شده این
 منحنیها نسبت به اختلاف لزوجت آب در دماهای مختلف است . نمودار e
 مجموعه منحنیهای تصحیح شده منابع مختلف را نشان می‌دهد که در آن کاج
 سفید (۱) ، کلم (۲) ، مرکبات (۳) [از بیالوگ لوسکی^{۱۵۸} ۱۹۳۶] ، آفتاب-
 گردان (۴) [کلمنتز و مارتین^{۱۵۹} ۱۹۳۴] ، کاج استخری (۵) [کرامر، ۱۹۴۲]
 پنبه (۶) ، هندوانه (۷) مشخص شده‌اند . درجه حرارت بحرانی از نظر
 کاهش نفوذپذیری ریشه در کاج سفید (۱) و کلم (۲) به مراتب کمتر از پنبه (۶)
 و هندوانه (۷) است . (از کوپر^{۱۶۰} ۱۹۶۴) .

157— Kramer

158— Bialogłowski

159— Clements and Martin

160— Kuiper

اثرات دمای زیاد

اطلاعات موجود درباره جذب آب در درجات حرارت بالا نسبتاً کم است. بیاوگلووسکی^{۱۶۱} (۱۹۳۶) دریافته است که اگر درجه حرارت درختان لیمو بالاتر از ۳۰ درجه سانتی گراد باشد میزان جذب آب آنها کاهش می یابد. هاس^{۱۶۲} (۱۹۳۶) نیز شرایط مشابهی را در مورد لیمو، توسرخ و پرتقالهای نوع والنسیا گزارش نموده است. در سیستمهای ریشه بوته های گوجه فرنگی که قسمتهای هوایی آنها قطع شده باشد، حداکثر میزان ترشحات در ۲۴ درجه حرارت است ولی با افزوده شدن درجه حرارت تولید این ترشحات تقلیل می یابد (کرامر^{۱۶۳}، ۱۹۴۰). البته افزایش درجه حرارت به نحوی که مانع جذب آب گردد، فقط در مورد ریشه هایی که در خاکهای سطحی یا سکوهای گلخانه و گلدانهایی که بطور کامل در معرض تابش آفتاب قرار گرفته باشند صورت می پذیرد.

تهویه خاک در رابطه با جذب آب

از اوایل قرن نوزدهم شناخته شد که کمبود تهویه میزان جذب آب را کاهش می دهد. کلمنتر^{۱۶۴} (۱۹۲۱) و کرامر^{۱۶۳} (۱۹۴۹) اکثر مطالب اولیه ای را که در این مورد منتشر شده است بررسی نموده اند. راسل^{۱۶۵} (۱۹۵۲) مقاله ای در مورد تهویه خاک در رابطه با رشد گیاهان منتشر نمود. منابع جدید بسیاری نیز در نشریه کنفرانس «زهکشی برای تولید محصول بیشتر» چاپ شده است (وان شیلفگارد^{۱۶۶}، ۱۹۶۵). در فصل چهارم

161— Bialoglowski

162— Haas

163— Kramer

164— Clements

165— Russel

166— Van Schilfgaarde

مبحثی به تهویه و رابطه آن بارشد گیاه مجدداً در این جا مورد بحث قرار می گیرد .

عوامل مؤثر بر شدت صدمات حاصله از کمبود تهویه زیاد است که از آن میان می توان نوع گونه ، شرایط گیاهان ، درجه حرارت ، مدت استغراق ، تبخیر خاک و نوع موجودات ذره بینی را نام برد .

تفاوت های بین گونه ها

بین گونه های گیاهی از نظر استقامت در مقابل کمبود تهویه تفاوت های فاحشی وجود دارد . لوینگ استون و فری^{۱۶۷} (۱۹۱۷) گزارش کرده اند که گیاهان کولئوس بلومی^{۱۶۸} و هلیوتروپیوم پروویانم^{۱۶۹} به محض تعویض هوای خاک با ازت پژمرده می شوند ولی سالیکس نیگرا^{۱۷۰} تحت تأثیر فقدان اکسیژن قرار نمی گیرند . اگر محلول های غذایی از اکسید کربن اشباع گردند، جذب آب و یونها توسط ریشه های ذرت و گندم متوقف می گردد ولی اثرات آن بر روی برنج اندک است (چنگ و لومیس^{۱۷۱} ، ۱۹۴۵ ؛ و لامیس و دیویس^{۱۷۲} ، ۱۹۴۴) .

به طوری که در فصل چهارم گفته شد مشاهدات صحرائی نشان می دهند که گرچه درختان سرو، ذغال اخته آمریکائی و لوئی برگ پهن به خوبی قادرند در باطلا قها رشد نمایند اما انواع گونه های دیگر از قبیل ذغال اخته معمولی ، تبریزی زرد و برخی از کاجها حتی اگر زمان نسبتاً کوتاهی نیز

167— Livingston and Free

168— *Coleus blumei* Benth169— *Heliotropium peruvianum* L.170— *Salix nigra*

171— Chang and Loomis

172— Vlamis and Davis

مستغرق گردند به سختی صدمه دیده و یا از بین می‌روند. در تحقیقات صحرایی تأثیر استغراق بر میزان جذب آب در درختان سرو ناچیز بوده است ولی مقدار کاهش جذب آب در گونه‌های متعدد باوط، پاینوس تدا^{۱۷۳} جونوی پروس ویرجینیانا^{۱۷۴} تا ۵۰ درصد گیاهان شاهد رسیده است (هم‌چنین به شکل ۱۷-۶ مراجعه شود). استقامت درخت کاج استخری در مقابل استغراق بیش از گونه‌های دیگر کاج و به مراتب بیشتر از تبریزی زرد یا ذغال اخته است، (هانت^{۱۷۵}، ۱۹۵۱؛ کرامر^{۱۷۶}، ۱۹۵۰؛ پارکر^{۱۷۷}، ۱۹۵۰). یل‌نوسکی^{۱۷۸} (۱۹۶۴) مقاومت پنج‌گونه از درختان سایه‌دار را نسبت به استغراق مقایسه نموده و دریافت که برگ‌های درخت نارون آمریکائی ناهشت هفته پس از استغراق باقی مانده و مجدداً پس از زهکشی خاک رشد آنها از سر گرفته می‌شود ولی برگ‌های درختان تبریزی زرد دو هفته پس از استغراق ریزش نموده و گیاه از بین می‌رود.

گونه‌های علفی نیز از نظر استقامت در مقابل استغراق و تهویه ناکافی بایکدیگر تفاوت بسیار دارند. هرکسی آشنا است که برنج به‌خوبی در راضی مستغرق رشد می‌کند ولی اگر خاکی که در آن توتون می‌روید بیش از يك يا دوروز مستغرق گردد، صدمات غیر قابل جبرانی به گیاه وارد می‌آید. در يك‌سری آزمایشات معلوم گردید که در خاک‌های مستغرق صدمات وارده به توتون حداکثر، آفتاب‌گردان حداقل و گوجه‌فرنگی متوسط بوده است (کرامر^{۱۷۹}، ۱۹۵۱)

173— Pinus. taeda L.

174— Juniperus virginiana L.

175— Hunt

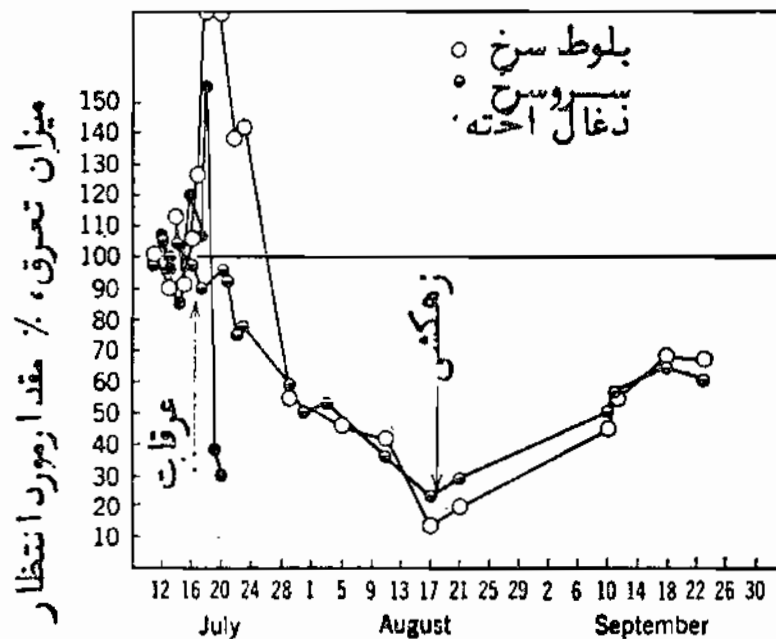
176— Kramer

177— Parker

178— Yelenosky

179— Kramer

در آزمایشاتی که ویلیامسون^{۱۸۰} (۱۹۶۴) انجام داده است کمبود تهویه محصول چندین گیاه زراعتی را تقلیل داده است. این گیاهان از نظر مقدار کاهش محصولشان به این ترتیب قرار گرفته اند: ذرت خوشه ای (حداقل)، سویا، کلم، ذرت شیرین، ذرت دامی (حداکثر).



شکل ۱۷-۶ میزان تعرق بلوط قرمز، سرو قرمز و ذغال اخته در

خاکهای مستغرق. در این آزمایش درخت ذغال اخته از بین رفته و دیگر گونه ها به حیات خود ادامه داده و پس از زهکشی خاک مجدداً به حالت اولیه باز گردیدند. (از پارکر^{۱۸۱}، ۱۹۵۰)

دلایلی که تفاوت های بین گونه ها را موجب می گردند:

به طوری که در فصل چهارم ذکر شد علای که تفاوت گونه ها را از نظر

استقامتشان در مقابل استغراق و تهویه ناکافی موجب می‌شوند. به‌خوبی شناخته نشده‌اند. این علل یا مربوط به اختلافات ساختمانی بوده که نتیجه آن تأمین بهتر اکسیژن برای ریشه برخی از گونه‌هاست و یا به علت تفاوت‌های فیزیولوژیکی است که در آن مواد حاصله از تنفس غیر هوازی سلولها مقاومت بعضی گونه‌ها را افزایش داده و یا اینکه ترکیبی از این دو است.

در فصل چهارم اشاره شد ریشه‌هایی که در محیط‌هایی باتهویه کم تولید می‌شوند معمولاً دارای قطری بزرگتر و تعداد و اندازه منافذ هوای آنها بیشتر و بزرگتر از ریشه‌هایی است که در محیط‌هایی باتهویه خوب تولید شده‌اند. شواهد زیادی موجود است که اکسیژن از داخل این منافذ از شاخه‌ها به طرف ریشه پخشیده می‌شود. از نظر تأمین اکسیژن برای ریشه‌های مستغرق شاه‌پسند و سرو به نقش بنوماتوفورها^{۱۸۲} یا ریشه‌های هوایی آنها توجه شده است. شولاندر و همکاران^{۱۸۳} (۱۹۵۵) گزارش کرده‌اند که در مورد آویسینا^{۱۸۴} در مدت زمان جذرها از داخل عدسکهای بنوماتوفورها به داخل گیاه مکیده شده و در هنگام مد به بیرون رانده می‌شود و به این ترتیب ریشه‌های غرقاب شده آن تهویه می‌گردند، عده زیادی عقیده دارند که زانوهای ریشه درختان سرو نقش اندامهای تهویه را در ریشه‌های مستغرق آن به عهده دارند. ولی کرامر و همکاران^{۴۸۵} (۱۹۵۲) دریافته‌اند که جذب اکسیژن توسط زانوهای ریشه سرو وقتی که از سیستم ریشه‌ای جدا گردند به جای آن که کاهش یابد افزایش پیدا می‌کند. به این علت و نیز دلایل دیگر بعید است که نقش آنها به عنوان اندامهای تهویه‌کننده اساسی باشد ولی باید اذعان کرد که حرکت گازها از داخل بافت‌های متخلخل

182— Pneumatophore

183— Scholander et al

184— Avicennia

185— Kramer et al

ریشه‌ها و اندامهای زانوئی سرو نسبتاً به سرعت انجام می‌پذیرد .
یکی دیگر از دلایل اختلاف مقاومت گیاهان در مقابل استغراق این
است که استقامت سلولهای ریشه برخی از گونه‌ها نسبت به تنفس غیر
هوازی زیاد است . کرافورد^{۱۸۶} (۱۹۶۷) ، پیشنهاد کرده است که در شرایط
غیر هوازی ، تجمع اتانول در ریشه‌های بعضی گونه‌ها موجب می‌شود که
این گیاهان نتوانند در خاکهای مرطوب رشد نمایند . به عقیده لینگ^{۱۸۷}
(۱۹۴۰.a) ریشه‌های بعضی انواع گیاهان آبی و هم چنین برنج قادرند
به طور غیرهوازی تنفس نمایند ولی ریشه‌های ذرت در شرایط غیر هوازی
به شدت صدمه می‌بینند (وولی^{۱۸۸} ، ۱۹۶۶) . احتمالاً این نوع مقاومت در
شرایط غیر هوازی بیش از حد تصور معمول است . محققاً ریشه‌هایی که
چندین متر به داخل خاکهای سنگین نفوذ می‌کنند به غلظت کمتری از اکسیژن
نیاز دارند تا ریشه‌هایی که در سطح خاک می‌رویند .

عامل دیگری که در استقامت گیاهان نسبت به استغراق مؤثر به نظر
می‌رسد پیدایش ریشه‌های غیر ارثی در نزدیکی سطح آب است . تحقیقات
متعدد نشان داده‌اند که گیاهانی که قادر به تولید سریع ریشه‌های غیر
ارثی می‌باشند کمتر از گیاهانی صدمه می‌بینند که تولید این نوع ریشه‌ها
در آنها کم یا هیچ است (کرامر^{۱۸۹} ، ۱۹۵۱) ؛ جاکسون^{۱۹۰} (۱۹۵۵) گزارش
کرده است که وجود ریشه‌های نابجا در گوجه فرنگی و آفتاب گردان به طور
کامل گیاه را از صدمات وارده از استغراق محافظت نمی‌کند ولی وجود
آنها موجب می‌شود که رشد نبات از سر گرفته شود در حالی که اگر این

186— Kraford

187— Laing

188— Woolley

189— Kramer

190— Jackson

ریشه‌ها قطع گردند گیاه قادر نخواهد بود حیات خود را مجدداً کسب نماید.

عواملی که بر شدت صدمات مؤثر است

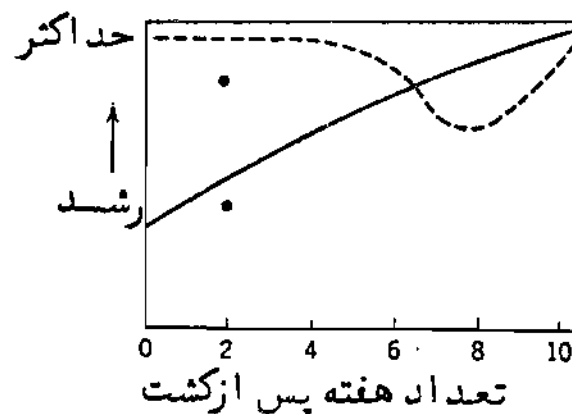
اغلب مشاهده می‌شود که صدمات وارده در اثر غرقاب در درختانی خواب رفته کمتر از درختان در حال رشد است. این حالت احتمالاً مربوط به نیاز بیشتر ریشه‌ها به اکسیژن و استفاده بیشتر آب توسط شاخه‌های در حال رشد است. دماهای زیاد نیز مصرف اکسیژن ریشه‌ها را بالا برده و صدمات وارده در اثر غرقاب خاک در هوای گرم به مراتب بیشتر از هوای سرد است (لتی و همکاران^{۱۹۱} ۱۹۶۲). به‌طوری‌که در شکل ۱۳-۶ نشان داده شده است غرقاب در روزهای آفتابی زیان‌آورتر از روزهای ابری است زیرا میزان تعرق زیاد در روزهای آفتابی به‌هنگامی که جذب آب کاهش پیدا می‌کند، در گیاه تولید کمبود شدید آب می‌نماید (اریکسون^{۱۹۲}، ۱۹۶۵). یک مثال دیگر «شل شدن»^{۱۹۳} یا پژمردگی ناگهانی بوته‌های توتون است که برخی اوقات بلافاصله پس از آفتاب بعد از باران صورت می‌گیرد. در برخی آزمایشات صدمات وارده در اثر غرقاب در بوته‌هایی که گلدانهای آنها محتوی خاک لومی بوده کمتر از گلدانهای محتوی ماسه بوده است. بیرون بردن خاک اطراف ریشه‌ها نیز صدمات حاصله از غرقاب را کاهش می‌دهد (کرامر و جکسون^{۱۹۴}، ۱۹۵۴). احتمالاً تعداد و نوع موجودات ذره‌بینی خاک نیز بر شدت صدمات وارده مؤثرند.

191 -- Letey et al

192— Erickson

193— Flopping

194— Kramer and Jackson



شکل ۱۸-۶: اثر يك روز غرقاب بر رشد گوجه فرنگی (خط ممند) و نخود (خط مقطع). نقطه‌ها نشان‌دهنده رشد بوته‌های گوجه فرنگی غرقاب شده در روز ابری (بالا) و روز آفتابی (پائین) است. (از اربکسون^{۱۹۵}، ۱۹۶۵)

علل صدمات حاصله از غرقاب

صدمات حاصله از استغراق معمولاً به علت معارضه جذب آب در نتیجه افزایش مقاومت ریشه (ریشه $\frac{1}{4}$ در معادله ۱-۶) بوده که منجر به خشك شدن گیاه یا رسیدن آسیب به ریشه‌ها می‌گردد. اثرات تهویه و استغراق بر مقاومت ریشه‌ها در شکلهای ۱۹-۶ و ۲۰-۶ نشان داده شده است. ولی برخی از علائم استغراق را نمی‌توان با يك خشك شدن ساده مشخص نمود (کرامر^{۱۹۶}، ۱۹۵۱). این مطاب که اگر خاکی در شرایط مناسب از نظر تعرق غرقاب گشته یا هوای آن بادی اکسید کربن یا ازت جایگزین شود معمولاً پژمرده می‌شود يك واقعیت است. به هر حال یکی دیگر از علائم مشابه زرد شدن برگها است که معمولاً در عرض کمتر از يك هفته در برگهای پائینی درخت به وجود می‌آید. این وضعیت غالباً به مرگ و خشك شدن برگها منجر می‌شود. در برگهای برخی از گونه‌های خشبی تغییر رنگهای بخصوصی ایجاد می‌شود. حالت دیگر پیچش برگها است

که در گیاهان علفی مشاهده شده و در مورد سیب و تبریزی زرد نیز گزارش شده است. پیدایش این وضعیت کاملاً عادی است ولی اغلب با پژمردگی اشتباه می‌شود. تولید ریشه‌های غیر ارثی، حتی در گونه‌های خشبی، غالباً در عرض يك هفته شروع می‌شود (یله‌نوسکی^{۱۹۷}، ۱۹۶۴). در گونه‌های دیگر که ریشه‌های غیر ارثی تشکیل نمی‌شود، بافتهای نرم و پوشش حجیمی روی آن قسمت از ساقه که غرقاب شده است قرار می‌گیرد (کرامر^{۱۹۸}، ۱۹۵۱ و جکسون^{۱۹۹}، ۱۹۵۶). محتمل است که تولید این پوششهای حجیم و ریشه‌های غیر ارثی به علت تجمع اکسین و غذا در قسمتی از ساقه نزدیک خط آب (محلّی که انتقال نزولی مواد و کمبود اکسیژن متوقف شده) می‌باشد.

پیدایش بافتهای نرم و ریشه‌های غیر ارثی غالباً از خواص بافتهای متورم به‌شمار می‌رود تا پلاسیده. بنابراین در این مورد عوامل زیادی دخالت دارند. تولید بافتهای نرم مشابه حانتی است که در گیاهانی که در معرض گازاتیان قرار می‌گیرند به وجود می‌آید (فورکوا^{۲۰۰}، ۱۹۴۴ و ویلیامسن^{۲۰۱}، ۱۹۵۰). زرد شدن و تغییر رنگ بخصوص برگهای بعضی گونه‌ها ممکن است به دلیل خروج مواد سمی از ریشه‌های در حال مرگ و یا تولید آنها در خاکهای اشباع و سپس انتقال آنها به شاخه‌ها از طریق جریان تعریقی باشد. به هر حال کوششهایی که در جهت مجزائودن این عوامل صورت گرفته بدون نتیجه مانده است. جکسون^{۱۹۹} (۱۹۵۶) نتیجه گیری کرده است که کاهش جذب آب به علت صدمات وارده به ریشه در اثر کمبود اکسیژن، رکن اساسی آسیبهای حاصله از استفراف است. احتمالاً

197— Yelenosky

198— Kramer

199— Jackson

200— Furkova

201— Williamson

مختل شدن فعالیتهای سازندگی ریشه (به فصل چهارم مراجعه شود) که نتیجه آن نرسیدن مواد کافی و مواد اساسی رشد به شاخه‌ها است یکی دیگر از علل استغراق است (ونت^{۲۰۲}، ۱۹۴۳). اخیراً گزارش شده است که سیتو کینینها و جیبرلینها در ریشه تولید شده و مختل شدن تولید آنها موجب آسیب دیدن شاخه‌ها می‌گردد (جونز و لیسلی^{۲۰۳}، ۱۹۶۸؛ کندی^{۲۰۴} ۱۹۶۵؛ اسکن^{۲۰۵}، ۱۹۶۷).

کاهش میزان تعرق و پژمردگی ناگهانی گیاه پس از استغراق خاک (به شکل ۶-۷ مراجعه شود) و یا پس از تعویض هوای آن بادی اکسید کربن و ازت به علت افزایش مقاومت ریشه‌ها در مقابل حرکت آب است. همان‌طور که در شکل ۱۹-۶ و ۲۰-۶ دیده می‌شود، کمبود اکسیژن یا فزونی دی اکسید کربن به شدت نفوذ پذیری ریشه را نسبت به آب کاهش می‌دهد. بروور^{۲۰۶} (۱۹۵۴)؛ هاگن^{۲۰۷}، (۱۹۵۰)؛ هوگلاند و برویر^{۲۰۸} (۱۹۴۲)؛ کرامر، (۱۹۴۰) و کرامر و جاکسون^{۲۰۹} (۱۹۵۴) همگی گزارش کرده‌اند که معمولاً اکسید کربن سریعتر از کمبود اکسیژن نفوذ پذیری ریشه را نسبت به آب تقلیل می‌دهد ولی محتملاً به نظر می‌رسد که در شرایط مزرعه کمبود اکسیژن بیشتر از افزایش دی اکسید کربن عامل محدود کننده به شمار می‌رود.

به‌طور کلی، اولین اثر غرقاب و تهویه ناکافی تقلیل نفوذ پذیری

202— Went

203— Jones and Lacey

204— Kende

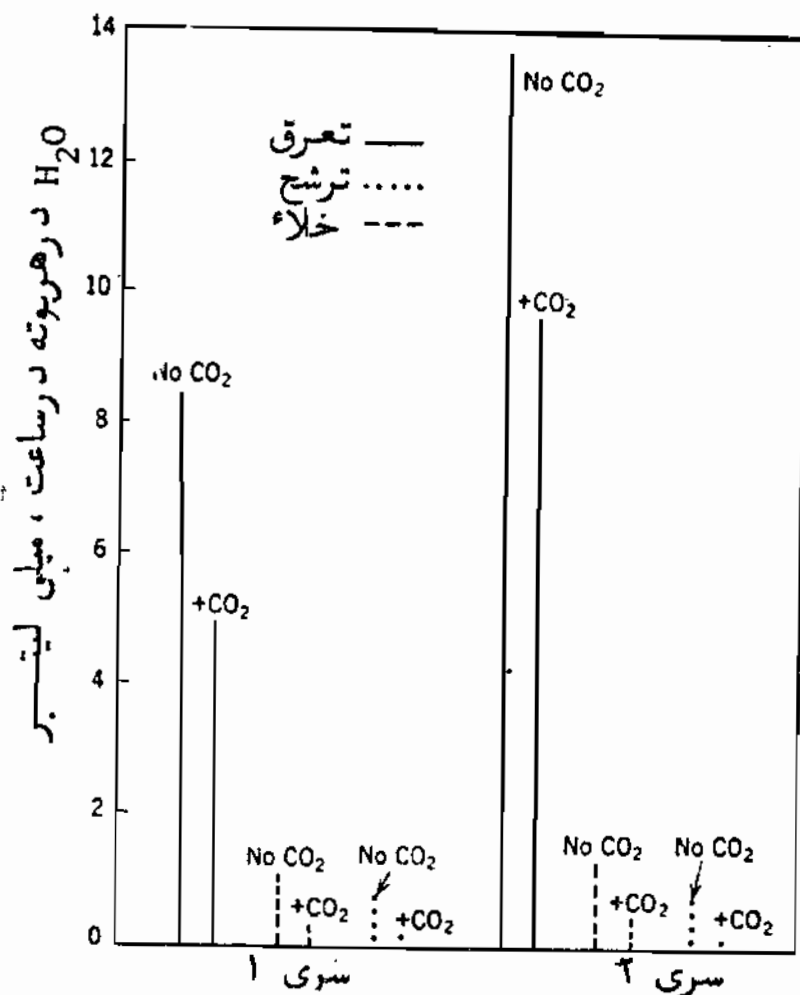
205— Skene

206— Brouwer

207— Hagan

208— Hogland and Broyer

209— Kramer and Jackson



شکل ۱۹-۶: اثرات اکسید کربن بر حرکت آب در سیستمهای ریشه

گوجه فرنگی - درحالی که درصد کاهش مقدار ترشحات به مراتب بیش از ۱۰ درصد

کاهش میزان تعرق است (ازکرامر^{۲۱۰}، ۱۹۴۰).

بافتهای ریشه نسبت به آب است (به شکل ۲۰-۶ مراجعه شود) که باعث

کاهش جذب و در نتیجه کمبود آب و حتی پژمردگی شاخه ها می شود.

یله نوسکی^{۲۱۱} (۱۹۶۴) دریافته است که با غرقاب کردن خاکی که نهالهای

تبریزی زرد در آن می‌روئیدند میزان تعرق تا ۶۸ درصد گیاهان شاهد تقلیل پیدا کرده است. هم‌چنین در مدت سه روز کمبود آب در برگهای آنها ۴۷ درصد و در برگهای گیاهان شاهد ۱۱ درصد بوده است. به‌طوری که لوینگ استون و فری^{۲۱۲} (۱۹۱۷)؛ هانتروریج^{۲۱۳} (۱۹۲۵) و کرامر^{۲۱۴} (۱۹۴۰) پیشنهاد کرده‌اند دلایل موجود برای اثبات این که تهویه بد موجب کاهش نفوذپذیری ریشه‌ها می‌گردد کافی است. هم‌چنین به‌نظر می‌رسد که فزونی دی‌اکسید کربن نیز سریعتر از کمبود اکسیژن این اثر را ظاهر می‌سازد. این حالت شاید به‌دلیل اثر ویژه دی‌اکسید کربن بر پروتوپلاسم است (چانگ و لومیس^{۲۱۵}، ۱۹۵۴؛ فوکس^{۲۱۶}، ۱۹۳۳؛ سیفریز^{۲۱۷}، ۱۹۴۲).

در یک زمان طولانی اثر کمبود تهویه به‌صورت کاهش اندازه سیستمهای ریشه و حتی مرگ آنها ظاهر می‌شود. این وضعیت شرایط را از نظر رشد قارچهای مضر مثل فیتوپتورسینامومی^{۲۱۸} که در کاجها «بیماری برگهای کوچک» و در مرکبات و آکادو پوسیدگی ریشه‌ها سبب می‌شود مساعد می‌سازد (در فصل چهارم نیز به این مطالب اشاره شده است).

قسمت اعظم این بخش به‌اثرات کمبود شدید تهویه، شبیه آنچه در خاکهای مستغرق اتفاق می‌افتد، اختصاص داده شده است. ولی باید به‌خاطر داشت که بسیاری از خاکهای رسی با منافذ محدود به‌علت کندی میزان پخشیدگی اکسیژن به‌طور ممتد با کمبود هوا مواجه هستند. در این جا مکانی برای ذکر فهرست منابع موجود در این رشته وجود ندارد ولی این

212— Livingstone and Free

213— Hunter and Rich

214— Kramer

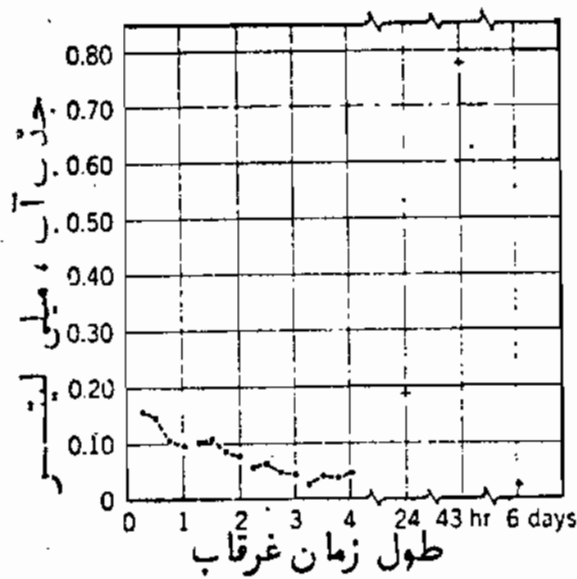
215— Chang and Loomis

216— Fox

217— Seifrizz

218— *Phytophthora cinnamomi*

شرایط بارآوری بسیاری از اراضی کشاورزی را تقلیل می‌دهد. در بعضی شرایط خاکها بآب‌ور ماشین‌آلات یا عملیات زراعی در هنگام رطوبت زیاد فشرده می‌شوند. ساختن جاده‌های شوسه و پیاده‌روها و خاک‌ریزی اراضی نیز ذخیره اکسیژن ریشه‌ها را تقلیل می‌دهد. در شکل ۶-۲۱ اثرات این عوامل بر ترکیب گازهای خاک مشاهده می‌شود. این عملیات غالباً منجر



شکل ۶-۲۰: اثرات غرقاب در دوره‌های مختلف بر میزان جذب آب

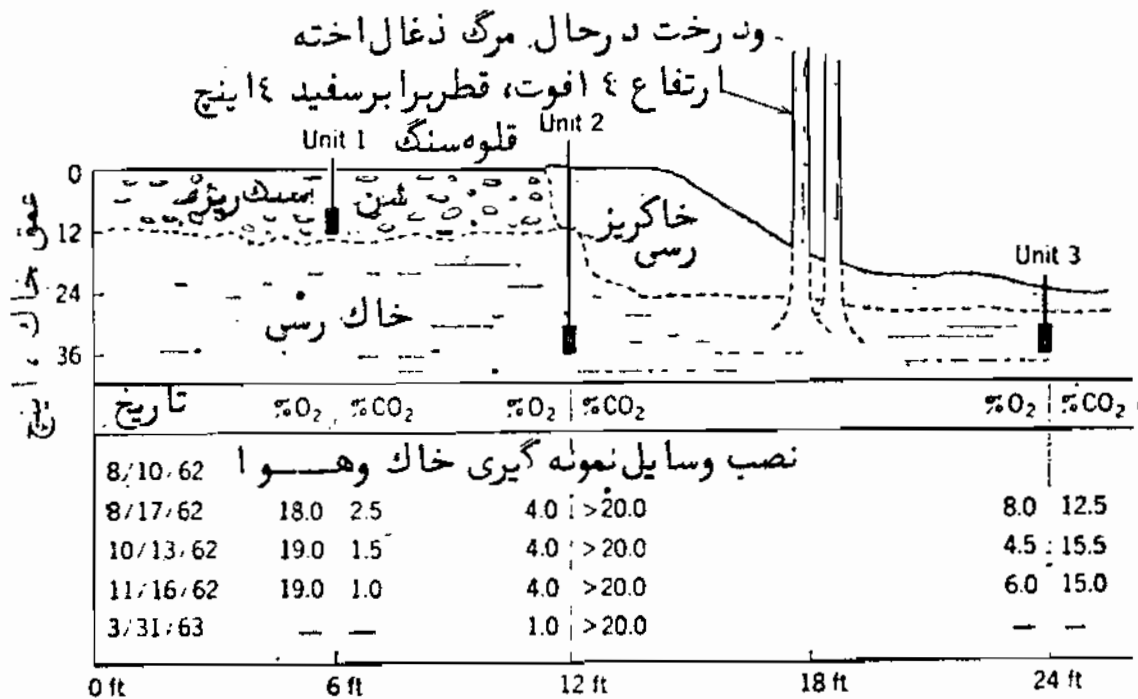
توسط سیستمهای ریشه توتون که متصل به دستگاه تخلیه هوا بوده و فشار معادل ۲/۰ بار اعمال شده است. هر نقطه نماینده متوسط شش سیستم ریشه‌ای می‌باشد. نفوذپذیری پس از ۱۴ الی ۴۸ ساعت افزایش یافت و این به علت صدمات وارده به ریشه است. ولی سیستمهای ریشه پس از ۶ روز تماماً از بین رفته‌اند. (از کرامر و جکسون^{۲۱۹} ۱۹۵۴)

به فراهم نمودن محیط غیر قابل رشد و یامرگ درختان سایه‌دار می‌گردد. خوانندگان می‌توانند برای کسب اطلاعات بیشتر درباره این موضوع به فصل

چهارم مراجعه نمایند.

اثرات ترکیب و غلظت محلول خاک

همان‌طور که در فصل سوم اشاره شد، درنواحی خشک و اراضی تحت آبیاری، غالباً پتانسیل اسمتیک محلول خاک به‌حدی کاهش می‌یابد که موجب بازداشتن یا توقف رشد نباتات زراعی شده و حتی در شرایط حاد باعث از بین رفتن تمام گیاهان بجز تعداد معدودی گونه‌های مقاوم



شکل ۲۱-۶: غلظت اکسیژن و اکسید کربن خاک در زیر خاکریز

ماسه‌ای ورسی (از یله نوسکی^{۲۲۰}، ۱۹۶۴)

به‌شوری می‌گردد. پتانسیل اسمتیک ۲- تا ۴- بار در حد پژمردگی دائم مانع رشد اکثر نباتات زراعی است و خاکهایی که پتانسیل اسمتیک آنها

به حدود ۴۰- بار برسد معمولاً لم یزرع می گردند . خصوصاً جوانه زدن بذرها به غلظت زیاد نمک حساس است (اویتز^{۲۲۱}، ۱۹۴۶) و حساسیت نهالها نسبت به صدمات وارده بیشتر از گیاهان تثبیت شده است . فزونی توده ها نیز گاهی اوقات پتانسیل اسمتیک را به حدی پائین می آورد که برای رشد مطلوب گیاه مناسب نیست . مثلاً استعمال ۱۲۰۰ پوند در ایکراز کود ۳-۹-۳، پتانسیل اسمتیک خاکهای لوم ماسه ای نورفولک را موقتاً تا ۱۴- بار تقلیل می دهد ولی استعمال همین مقدار کود در خاکهای لوم رسی سیسیل پتانسیل اسمتیک آن را فقط تا ۳- بار کاهش می دهد (وایت و راس^{۲۲۲}، ۱۹۳۹) . گاهی اوقات استعمال زیاد کود در خاکهای گلخانه ای موجب افزایش بیش از حد غلظت نمک شده و گفته می شود که این خود یکی از عوامل عادی کاهش رشد گیاه است . پتانسیل اسمتیک خاکهای گلخانه ای که به مقدار زیاد کود پاشی شده باشند در شکل ۸-۳ مشاهده می شود .

علل کاهش رشد :

در مورد علل کاهش رشد نباتات در اثر غلظتهای حتی متوسط نمک گفتگوهای بسیار زیادی صورت گرفته است . پژوهشهای اولیه ای که در باره اثر غلظتهای زیاد نمک بر رشد گیاهان انجام شده بیشتر درباره اثر نسبی یونهای مختلف و نسبتهای آنها به صورت اثرات تضادی موازنه فیزیولوژیکی ، سمیت و نیز اثرات آنها بر نفوذ پذیری بوده است . نتایج اکثراً مخالف یکدیگر ، گیج کننده و معمولاً رضایت بخش نبوده است . در خلال سالهای اواخر ۱۹۳۰ و اوایل ۱۹۴۰ توجه دانشمندان به سمت جنبه های

کلی اثرات اسمتیک غلظت مجموع یونها بدون در نظر گرفتن اثر خصوصی هریون معطوف گردید. ایتون^{۲۲۳} (۱۹۴۲) خاطرنشان ساخته است که نه مشاهدات معمولی و نه آزمایشهای مخصوص هیچ کدام نتوانسته اند شواهدی مبنی بر وجود يك غلظت بحرانی بیابند که بالاتر از آن غلظت خساراتی به گیاه وارد آید. ولی در عوض بالاتر از يك غلظت اولیه کم، هر افزایشی که در غلظت نمك به وجود آید موجب کاهش رشد گیاه می گردد. ماجیستاد و همکاران^{۲۲۴} (۱۹۴۳) دریافتند که رابطه بین میزان رشد چندین گونه گیاهان زراعتی و کاهش پتانسیل اسمتیک محلول خاک در دامنه ۴/۵ - تا ۴/۵ - بار عملاً يك خط مستقیم است. عده زیادی از محققین از جمله آیر و همکاران^{۲۲۵} (۱۹۴۳)؛ هیوارد و لانگ^{۲۲۶} (۱۹۴۳)؛ وادلایت و ایرز^{۲۲۷} (۱۹۴۵)، و وادلایت و همکاران^{۲۲۸} (۱۹۴۶) گزارش کرده اند که با کاهش پتانسیل اسمتیک محلول خاک یا محیط کشت، رشد گیاه نیز تقلیل می یابد. پژوهشهای این محققین نشان می دهد که همین کاهش رشد در گیاهانی که در معرض تنش فشار آب قرار گرفته باشند نیز دیده می شود خواه این تنش در اثر خشك شدن خاک (کاهش پتانسیل ماتریک) باشد خواه با افزایش نمك به خاک یا محلول غذایی صورت گرفته (کاهش پتانسیل اسمتیک) و یا این که ترکیبی از دو طریق ذکر شده باشد. نمونه ای از این شرایط در شکل ۲۲-۶ مشاهده می شود. وادلایت و همکاران^{۲۲۸} (۱۹۴۶) شرایط مشابهی را از نظر رشد شاخ و برگ گیوول (بوته ای که از آن کائوچو

223— Eaton

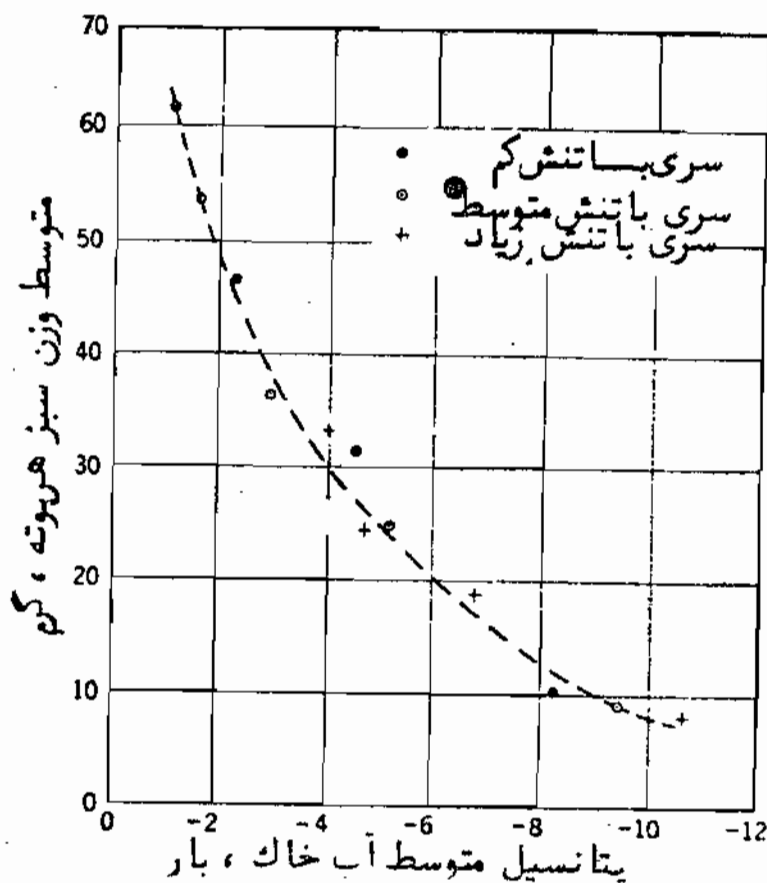
224— Magistad et al

225— Ayers et al

226— Hayward and Long

227— Wadleigh and Ayers

228— Wadleigh et al



شکل ۲۲-۶ : اثر کاهش پتانسیل آب خاک بر رشد بوته‌های لوبیا .

گیاهان سری «تنش کم» زمانی آبیاری شده‌اند که ۴۰ تا ۵۰ درصد آب موجود آنها خارج شده باشد . سری «تنش متوسط» زمانی آبیاری شده‌اند که ۶۰ تا ۶۵ درصد آب موجود آنها خارج شده و سری «تنش زیاد» تا زمانی که ۹۰ تا ۱۰۰ درصد آب موجود آنها خارج نشده بود آبیاری نگردیدند . هر سری شامل ۴ گروه بوده است که عبارتند از بدون نمک ، ۱/۱ ، درصد ، ۲/۱ ، درصد و ۳/۱ ، درصد کلرور سدیم . کاهش محصول متناسب با کاهش پتانسیل آب است . خواه این پتانسیل در اثر کمبود آب یا زیادی نمک بوده و یا این که ترکیب این دو باشد . مثلاً حداکثر محصول در خاکهای باتنش کم و بدون نمک و کمترین مقدار محصول در تنش زیاد و محتوی نمک ۲/۱ درصد بوده

است . (ازوادلات^{۲۲۹} و آبرز^{۲۳۰} ، ۱۹۴۵) .

می گیرند) گزارش کرده اند که در شکل ۲۱-۱ مشاهده می گردد .
کاهش جذب آب : کاهشی که با افزایش مقدار نمک خاک در رشد گیاه مشاهده می شود معمولاً به دلیل کاهش جذب در اثر پائین رفتن پتانسیل اسمتیک محیط ریشه است . اگر پتانسیل خاک یا محلولی که گیاهان در آن می روید کاهش یابد ، اختلاف پتانسیل که نیروی محرکه جذب است نیز کاهش یافته و در نتیجه میزان جذب آب تقلیل پیدا می کند .
در این تبیین فرض شده که عمل ریشه ها شبیه یک اسمزسنج کامل باشد ولی ثابت شده که این تشابه در مقایسه با شرایط حقیقی یک ساده سازی بیش از حد است . وقتی گیاهان از محلولهای رقیق به محلولهای غلیظ منتقل گردند در ابتدا پلاسیده می شوند ولی بعد از مدت زمان کوتاهی با جذب نمک که پتانسیل اسمتیک بافتهای گیاه را کاهش می دهد ، به حالت اولیه برمی گردند . اسلاچر^{۲۳۱} (۱۹۶۱) با افزودن مقدار کافی نیترات پتاسیم ، کلرورسدیم و ساکاروز به محلول غذایی که گوجه فرنگی در آن می رویند پتانسیل اسمتیک آن را تا ۱۰- بار کاهش داده و دریافت که گیاه پس از ۲۸ ساعت آماس اولیه خود را باز می یابد . جذب اجسام حل شدنی به اندازه ای است که پتانسیل اسمتیک گیاهان در محلولهای غلیظ نمک کمتر از خاک بوده و یا پتانسیل گیاهان مشابه بیشتر از محلولهای غذایی باشد . پژمردگی اولیه را که پس از تغییر ناگهانی غلظت خاک مشاهده می شود می توان با مقدار کمی افزایش روزانه غلظت خاک برطرف نمود .

ایتون^{۲۳۲} (۱۹۴۲) در آزمایشات دراز مدت خود شش گونه گیاهی را در محیطهای کشت شنی با پتانسیل اسمتیک تثبیت شده بین ۰/۷- تا ۶/۰- بار رشد داده است. اختلاف پتانسیل اسمتیک شن و شیره گیاهی در تمام آنها بطور متوسط ۱۱- بار بوده است. بنابراین اختلاف پتانسیل آب بین ریشه ها و محیط کشت برای غلیظ ترین و رقیق ترین محلولها یکسان بوده است (به جدول ۴-۶ مراجعه شود). البته رشد و تعرق هردو در محلولهای غلیظ از نظر مقدار نقصان پیدا می کند. با توجه به این آزمایشات، نقصان رشد در محیطهایی که پتانسیل اسمتیک آنها کمتر از ۲- یا ۳- بار است فقط منسوب به تقلیل جذب آب در اثر کاهش نیروی محرك بین خاك و آوندهای ریشه نیست.

در حقیقت میزان جذب آب توسط ریشه ها در محلولهای غلیظ تا اندازه ای تقلیل می یابد. هیوارد و اسپور^{۲۳۳} (۱۹۴۴) با آزمایشات کوتاه مدت خود در یافتند که جذب آب توسط ریشه های ذرت از محلولی که ۸/۴- بار بوده فقط معادل ۱۲ درصد جذب آب از محلولی است که ۸/۰- بار باشد. میزان جذب آب از محلولهای ساکاروز، مانیتول^{۲۳۴}، سولفات سدیم و کارورکلسیم که ۸/۰- آنها یکسان باشد برابر است. بهر حال جذب آب توسط ریشه هایی که قبلاً بمدت چند روز در محلولهای غلیظ قرار گرفته و با شرایط سازگاری پیدا کرده اند به مراتب بیشتر از آنهایی است که از محلول رقیقی به محلول غلیظ انتقال می یابند. آزمایشاتی که بر روی سیستمهای مجزا شده ریشه انجام گرفته نشان می دهند که جذب آب در محلولهای غلیظ کاهش می یابد. ایتون^{۲۳۴}

232— Eaton

233— Hayward and Spurr

234— Mannitol

جدول ۶۴ اثر فشار اسمتیک محلولهای گشت بر فشار اسمتیک شیر گیاهی *

فشار اسمتیک محلول گشت بر حسب اسمسفر	۰/۷۲	۲/۵۲	۶/۰
نوع گزنه	اختلاف بین فشار اسمتیک محلول و شیر گیاهی		
ذرت خوشه‌ای	۱۰/۳	۱۰/۸	۱۱/۱
یونجه	۱۳/۰	۱۲/۶	۱۰/۴
پنبه	۱۳/۱	۱۱/۸	۹/۷
گوجه فرنگی	۸/۸	۸/۳	۸/۲
جو	۹/۲	۱۲/۴	۱۴/۷
چغندر قند	۱۲/۸	۱۵/۰	۱۳/۸
متوسط اختلافات	۱۱/۲	۱۱/۶	۱۱/۵

* از کرامر^{۲۳۴} (۱۹۴۲).

(۱۹۴۱) با تقسیم ریشه‌های ذرت و گوجه‌فرنگی و گذاردن آنها در محلولهایی با $\frac{1}{8}$ معادل $\frac{0}{3}$ - و $\frac{1}{8}$ - بار توانست این گیاهان را رشد داده و برای جلوگیری از اختلاف رشد ریشه روزانه محل ریشه‌ها را تعویض نمود. پس از چند روز مقدار آب جذب شده از محلول رقیق $\frac{1}{8}$ برابر آب جذب شده از محلول غلیظ بود. لانگ^{۲۳۶} (۱۹۴۳) دونهال نزدیک بهم گوجه‌فرنگی را به دوسیستم ریشه‌ای که در محلولهایی به غلظت متفاوت قرار گرفته بودند انتخاب نمود وی مشاهده کرد که بیشتر جذب آب و نمک توسط ریشه‌هایی صورت می‌گیرد که در محلول رقیق قرار گرفته‌اند.

از این آزمایشات و نیز دیگر تجارب چنین بنظر می‌رسد که می‌بایست

نفوذپذیری ریشه‌ها نسبت به آب در محلولهای نمک کاهش یابد . غلظت محیط ریشه احتمالاً به دو وجه ظاهر می‌شود یکی اثر کوتاه مدت و دیگری اثر دراز مدت . فروبردن ریشه‌ها در محلولهایی که پتانسیل اسمتیک آن ۲- یا ۳- بار باشد ، احتمالاً آب دیواره و غشاءهای ساولی را خارج نموده و موجب افزایش مقاومت در مقابل جریان آب می‌گردد . کلیپر^{۲۳۷} (۱۹۶۷) شواهدی را پیدا کرد که بموجب آن کاهش اندک پتانسیل اسمتیک محیط ریشه می‌تواند تقلیل قابل ملاحظه‌ای در نفوذ پذیری ریشه بوجود آورد . در یک دوره طولانی نمو ریشه‌ها کاهش یافته و بر میزان چوبی شدن آنها افزوده می‌گردد (هیوارد و بلیر^{۲۳۸} ، ۱۹۴۲) که در نتیجه آن سیستم ریشه‌ای کوچکتر شده و مقاومت آنها نسبت به حرکت آب در مقایسه با محلولهای رقیق افزایش می‌یابد . وایکاش جذب آب عامل اساسی کاهش رشد در خاکهای شور نمی‌باشد . غالباً گیاهانی که در خاکهای شور می‌رویند با وجودی که وزن خشک و وزن تازه آنها کاهش می‌یابد (به شکل ۲۲-۶ مراجعه شود) آبدارتر از گیاهان شاهد می‌باشند (بویر^{۲۳۹} ، ۱۹۶۵ ، کرب^{۲۴۰} ، ۱۹۶۵ ، مایر^{۲۴۱} ، ۱۹۳۱) و این می‌رساند صدمات وارد در اثر خروج آب از دیواره سلولها و غشاء به اندازه گیاهانی که در خاکهای خشک می‌رویند نیست . علاوه بر این اگر گیاهانی که در معرض غلظتهای زیاد نمک قرار گرفته‌اند به شرایط عادی برگردند نخواهند توانست بفعوری وضعیت اولیه خود را کسب نمایند حال آنکه اگر گیاهانی که در خاکهای خشک در معرض تنش آب

237— Kleeper

238— Hayward and Blair

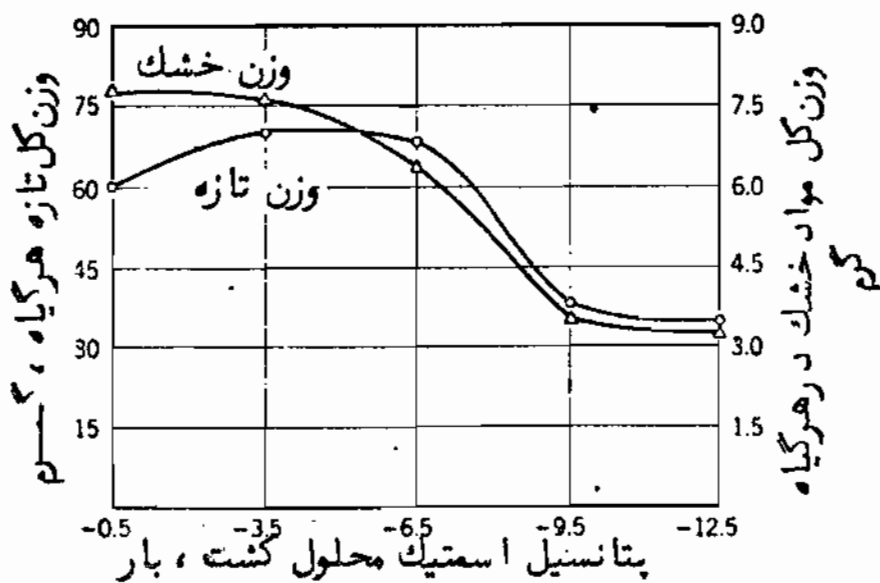
239— Boyer

240— Kreeb

241— Meyer

قرار گرفته‌اند آبیاری شوند ممکن است رشد آنها سریعتر گردد (گرین وی^{۲۴۲}، ۱۹۶۲).

بنظر می‌رسد تشابه اثر پتانسیل‌های ماتریک و اسمتیک بر روی رشد که در شکل ۶-۲۲ نشان داده شده‌است همراه کننده باشد. کمبود پتانسیل ماتریک طراوت گیاه را کاهش می‌دهد ولی کمبود پتانسیل اسمتیک غالباً با افزایش طراوت همراه است. اسلاچر^{۲۴۳} (۱۹۶۷) پیشنهاد کرده



شکل ۶-۲۳: متوسط وزن تازه و خشک بوته‌های پنبه که در زمانهای

مساوی در محلول هوگلاند به اضافه NaCl نگهداشته شده و پتانسیل اسمتیک

آنها به سطوح مختلفی تقلیل داده شده‌است. توجه شود که در پتانسیل‌های

اسمتیک کم کاهش وزن خشک بیش از کاهش وزن تازه‌است. به‌طور مثال،

افزایش طراوت گیاه. (بویر^{۲۴۴}، ۱۹۶۵).

242— Greenway

243— Slatyer

244— Boyer

است که شاید مقدار متوسط پتانسیل ماتریک در این آزمایشات بیشتر از پتانسیل اسمتیک بوده و نیز معارضه رشد در درجات بالاتر پتانسیل ماتریک صورت می‌گیرد تا پتانسیل اسمتیک. این امر بایست به محض پیدایش روشی که بتوان با آن مقدار پتانسیل اسمتیک را در مدت زمان نسبتاً زیادی یکنواخت نگهداشت بررسی گردد (به فصل سوم مراجعه شود).
 اثرات غلظت داخلی نمک: ظاهراً کاهش رشد نباتات در خاکهای شور بیشتر بستگی به جذب غیر عادی نمک دارد تا به کاهش جذب آب. غلظت زیاد نمک موجب کاهش پتانسیل اسمتیک شیره سلولی گردیده و پتانسیل آب سلولی از این جهت پائین است که نمی‌تواند بیش از پتانسیل اسمتیک محیط رشد ریشه افزایش یابد. احتمالاً اثرات اسمتیکی موجب می‌شود آبدار شدن پروتئینها (که آنزیمها را نیز شامل می‌شود) کاهش یافته (هوندا و همکاران^{۲۴۵} ۱۹۵۸؛ چن و همکاران^{۲۴۶}، ۱۹۶۴؛ لایتز^{۲۴۷}، ۱۹۵۴) و به این وسیله تغییراتی در میزان فرآیندهای متابولیکی ایجاد می‌گردد. علاوه بر این اثرات اختصاصی یونها مثل Cl⁻ در مقابل SO^{۲-} و K⁺ و Na⁺ نیز در تغییرات طراوت و آبی شدن بافتها موثر است (هاکت^{۲۴۸}، ۱۹۶۱).

اثرات مقدار زیاد نمک بر فرآیندهای متابولیکی بخوبی شناخته شده‌اند. ولی کسلر و همکاران^{۲۴۹} (۱۹۶۴) نقصان تجمع RNA و DNA نیمن^{۲۵۰} (۱۹۶۲) افزایش سرعت تنفس چندین گونه گیاهی را و بویر^{۲۵۱}

245— Honda et al

246— Chen et al

247— Latics

248— Hackett

249— Kessler et al

250— Nieman

251— Boyer

(۱۹۶۵) کاهش فتوسنتز و تنفس را در بوته‌های پنبه گزارش کرده است. در حقیقت کاهش رشد را بویبر (۱۹۶۵) مربوط به کاهش فتوسنتز یا کاهش استفاده از فتوسنتز در رشد و نیمین (۱۹۶۲) آن را مربوط به هر دواثر می‌داند. احتمالاً بنظر می‌رسد که تقریباً هر جنبه‌ای از متابولیسم ساولی ممکن است با افزایش نمک تحت تأثیر قرار گیرد بنابراین مشکل است که توقف رشد را منسوب بیک فرآیند واحد دانست. مسلماً این مسئله نیاز به تحقیقات زیادی دارد.

بطور کلی، استقامت گیاه در مقابل شوری خاك بسته به مقاومت پروتوپلاسم در برابر نمکها است (رپ و همکاران^{۲۵۲}، ۱۹۵۹). گیاهانی که مقاومت آنها کم بوده و در اراضی شور قادر به ادامه حیات نیستند بیشتر به علت تجمع حاصله از نمک در پروتوپلاسم آنهاست تا به خشک شدنشان.

اثرات اختصاصی یونها

مبحث فوق موکد اثرات اسمتیک و عمومی غلظتهای زیاد نمک بود. ولی اثرات اختصاصی یونها نیز باید در نظر گرفته شود. مثلاً کاهش رشد برخی گونه‌ها در اثر سولفات بیشتر از کاروراست (هاس^{۲۵۳}، ۱۹۴۶). عده زیادی از زارعین عقیده دارند که کلورورها موجب افزایش طراوت و سولفاتها موجب کاهش آن می‌گردند. از این جهت آنها برای محصولاتی (برگی) آبدار مثل کاهو و کلم از کلرور پتاسیم و برای سفتی گوجه‌فرنگی سولفات پتاسیم را به کار می‌برند. وان‌ایجک^{۲۵۵} (۱۹۳۹) نیز

252— Repp et al

253— Hass

254— Hayward et al

255— Van Eijk

آبکی بودن گیاهان مقاوم به شوری را به مقدار کلرور زیاد نسبت داده و به این وسیله از این نظریه پشتیبانی کرده است. بویس^{۲۵۶} (۱۹۵۴) نیز گزارش کرده است که کلرورها بر طراوت برگها می افزایند. گفته می شود طراوت گیاهانی که در معرض ریزش نمکهای حاصله از دریا قرار گرفته اند بیش از طراوت همان نوع گیاهانی است که در معرض ریزش نمک نباشند. استروگونوف^{۲۵۷} (۱۹۶۴) نیز بر اثرات مختلف انواع یونها بخصوص کلرورها و سولفاتها از نظر صدمات حاصله از نمک تاکید کرده است.

تعیین غلظت نمک در خاک

چون اهمیت غلظت کلی نمک و پتانسیل اسمتیک آن از نظر رشد گیاه معمولاً بیش از اثر هر کدام از یونها است، لذا ارزیابی وضعیت نمک خاک از طریق تعیین غلظت مجموع نمکهای موجود در محلول خاک امکان پذیر است. هدایت الکتریکی محلولهای خاک بخوبی با پتانسیل اسمتیک آن مربوط بوده و اندازه گیری آن ساده تر از تعیین پتانسیل اسمتیک است. این روابط توسط ریچاردز^{۲۵۸} (۱۹۵۴) تعیین و در شکل ۱-۳ مشاهده می شود.

اندازه گیریها می تواند بر روی نمونه هایی از خاک اشباع شده و یا عصاره آن که از مخلوط نمودن يك يا ۵ حجم آب و يك حجم خاک (عصاره ۱:۱ یا ۱:۵) و سپس صاف نمودن آب و اندازه گیری هدایت الکتریکی با استفاده از وسایل استاندارد تعیین هدایت الکتریکی صورت گیرد. برای اندازه گیری هدایت الکتریکی خاک اشباع شده وسیله مخصوص مورد نیاز است. شرح کامل این روش را می توان در کتاب ریچاردز

256— Boyce

257— Strogonov

258— Richards

(۱۹۵۴) یافت .

خلاصه

جذب آب بوسیله دو گروه عوامل کنترل می گردد : عواملی که بر اختلاف پتانسیل آب خاک تا ریشه موثرند و عواملی که بر مقاومت خاک و ریشه ها در مقابل حرکت آب تاثیر می گذارند .

عواملی مثل بافت خاک و هدایت هیدرولیکی ، حرکت آب به سطح ریشه را کنترل می نمایند. عواملی مثل تهویه خاک ، درجه حرارت ، میزان چوب پنبه ای بودن ریشه ها از طریق تغییر مقاومت ریشه ها در مقابل حرکت آب موثرند . نیروی محرکه عبارت است از اختلاف پتانسیل آب بین توده خاک و سطح ریشه و بین سطح ریشه تا آوندها .

غالباً در خاک قسمتهای مختلف سیستم تحت پتانسیلهای آب متفاوت قرار گرفته اند و ظاهراً اکثر انواع گیاهان درحالی که فقط قسمتی از ریشه های آنها در خاکی با رطوبت بالاتر از درصد پژمردگی دائم قرار گرفته قادرند به حیات خود ادامه داده و یا حتی رشد نمایند . حداقل پتانسیل آب خاک که به ازاء آن جذب آب می تواند ادامه یابد با حداقل پتانسیل آبی که در ریشه تولید می شود محدود می گردد . حد محدود کننده آب خاک در مورد گیاهان سریع التعرق در پتانسیلهای آب خاک بالاتری نسبت به گیاهان کند تعرق واقع شده است .

بین گونه های مختلف از نظر استقامتشان در مقابل درجه حرارت و کمبود تهویه تفاوت های زیادی وجود دارد . کاهش غلظت اسمتیک خاک نیز مقاومت ریشه را افزایش می دهد ولی کاهش رشد گیاهانی که در معرض غلظت زیاد نمک قرار گرفته اند بیشتر بسته به مقدار محتوی نمک آنها است تا به کاهش جذب آب . خشکی فیزیولوژیکی بیشتر در بافتهای گیاهی است تا در محیط .