فصل هشتم

رابطه آب و خاک

هدف‌های رفتاری :پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که :

۱ــ نفوذپذیری خاک را به روش استوانه مضاعف تعیین کند.

۲ــ عوامل مؤثر در نگهداری آب در خاک را بشناسد.

۳ــ حد ظرفیت زراعی خاک را تعیین کند.

۴ــ حد پژمردگی دائم را تعیین کند.

۵ــ نقصان مجاز رطوبتی را بشناسد.

نفوذ پذیری[۱]

آیا هرگز پس از یک بارندگی به سطح خاک‌های مختلف دقت کرده‌اید؟

به نظر شما چرا در بعضی خاک‌ها سریعاً آب ناپدید شده و در بعضی دیگر تا چند ساعت یا حتی چند روز پس از آبیاری یا بارندگی همچنان آب در سطح خاک دیده می‌شود؟

همانطور که حدس زدید عواملی که به نوع خاک بستگی دارد، در این پدیده اثر می‌گذارد. اثر مجموعه این عوامل را تحت عنوان نفوذپذیری می‌شناسیم.

تعریف : نفوذپذیری، عبارتست از مقدار ورود آب از سطح خاک به داخل آن که بر حسب ارتفاع آب در واحد زمان (مثلاً سانتی‌متر در ساعت) بیان می‌شود.

در تمام روش‌های آبیاری، به جز آبیاری زیرزمینی، آب روی سطح خاک جریان یافته و به تدریج در آن نفوذ می‌کند تا برای استفادهٔ گیاه در خاک ذخیره شود. یکی از هدف‌های آبیاری، ذخیرهٔ آب در درون خاک است، لذا نحوهٔ ورود آب به داخل خاک ونیز سرعت این کار بسیارحائز اهمیت است. نفوذپذیری به‌ضخامت لایه آب بالای خاک، مقدار و اندازهٔ روزنه‌های خاک، مقدار رطوبت اولیه خاک،

۱ــInfilteration

پوشش گیاهی و شیب زمین بستگی دارد.

در ابتدا که خاک خشک است آب به‌سرعت نفوذ می‌کند. ولی پس از ۳۰ ــ ۲۰ دقیقه فضای موجود در خاک با آب پر شده و نفوذ کاهش می‌یابد. بعد از یک تا دو ساعت سرعت آب به‌مقدار ثابت رسیده و به‌طور آهسته نفوذ می‌کند. این مرحله را میزان نفوذ دائمی می‌نامند که در خاک‌های مختلف متفاوت است.

در انتخاب روش آبیاری دانستن میزان نفوذپذیری بسیار حائز اهمیت است. خاک‌هایی با میزان نفوذ کم (تا ۱۰ میلی‌متر در ساعت) یا متوسط (بین ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر در ساعت) برای آبیاری سطحی مناسب‌اند. خاک‌هایی که میزان نفوذ آن‌ها زیاد است (بیش از ۳۰ میلی‌متر در ساعت) برای آبیاری بارانی یا قطره‌ای مناسب هستند. در حالت اخیر به خاطر نفوذ سریع آب در خاک، با روش آبیاری سطحی نمی‌توان آب را به طور یکنواخت و مناسب توزیع کرد.

جدول ۱ــ ۸ــ میزان سرعت نفوذ آب در خاک‌های مختلف

نوع خاک	نفوذ دایمی (میلی‌متر در ساعت)
شن	۳۰
لوم شنی	۳۰ــ۲۰
لوم سیلتی	۲۰ــ۱۰
لوم رسی	۱۰ــ۵
رس	۵ــ۱

اندازه‌گیری نفوذ پذیری خاک به روش استوانه مضاعف

عمق آب قابل نفوذ به خاک در زمان معیّن (سرعت نفوذ) به کمک دو استوانه متحدالمرکز اندازه‌گیری می‌شود. این استوانه‌ها فلزی و معمولاً قطر استوانه میانی بین ۳۵ــ۲۳ سانتی‌متر بوده و استوانه بیرونی باید دارای قطری حداقل ۳۰ سانتی‌متر بیشتر از استوانه میانی باشد. ارتفاع استوانه‌ها معمولاً ۴۰ سانتی‌متر است که ۱۵ــ ۱۰ سانتی‌متر آن به داخل خاک رانده می‌شود. به جای استوانه بیرونی می‌توان از انباشته کردن خاک و ساختن پشته‌ای به موازات استوانه میانی استفاده کرد. اندازه‌گیری‌ها در زمان‌های مختلف از استوانه میانی صورت می‌گیرد. لبهٔ این استوانه‌ها مثل کارد تیز می‌شود تا به راحتی بتوان آن‌ها را با حداقل به هم خوردگی خاک به داخل آن فرو برد. (شکل ۱ــ ۸)

شکل ۱ــ۸ــ نحوهٔ کار گذاشتن استوانه مضاعف

اندازه‌گیری‌ها معمولاً در فواصل زمانی ۵ و ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ و ۴۵ و ۶۰ و ۹۰ و ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه و پس از آن نیز در هر ساعت یک بار صورت می‌گیرد و نتایج آن بر روی محورهای مختصات نشان داده می‌شود.

آزمایش ۱ :

مواد و لوازم مورد نیاز : استوانه مضاعف، چکش مخصوص، درپوش استوانه مضاعف، خط کش زمان سنج، سطل آب، پارچه

روش کار :

۱ــ محل مناسب برای نصب استوانه‌ها را انتخاب کنید. دقت کنید که استوانه‌ها در محل عبور و مرور ماشین آلات و یا دام قرار نگیرند. (خاک متراکم نباشد)

۲ــ استوانه میانی را بر روی سطح خاک قرار داده و در پوش را بر روی آن گذاشته و با چکش به در پوش ضربه وارد کنید تا به طور قائم (حدود ۱۵سانتی‌متر) در داخل خاک فرو رود.

۳ــ استوانه خارجی را نیز به همین ترتیب نصب کنید.

۴ــ فاصله بین دو استوانه را به عمق حدود ۵ سانتی‌متر از آب پر کنید. این مقدار آب باید تا انتهای آزمایش در بین دو استوانه باقی بماند.

۵ــ یک تکه پارچه یا نایلون در ته استوانه میانی قرار دهید. (به منظور به هم نخوردن سطح خاک) و تا حدود ۱۲ــ ۱۰ سانتی‌متر آب ریخته و نایلون را بردارید.

۶ــ به کمک خط‌کش عمق آب را اندازه‌گیری کرده و این کار را در زمان‌های مشخص تکرار کنید.

۷ــ وقتی حدود ۵ــ۲ سانتی‌متر آب به داخل خاک نفوذ کرد، در همین حدود به استوانه آب اضافه کنید. عمق آب را قبل و بعد از اضافه کردن آب اندازه‌گیری کنید.

۸ــ هرگاه نتایج حاصله از آزمایش غیر طبیعی بود، پس از خاتمه آن خاک زیر استوانه را مورد بررسی قرار دهید.

۹ــ استوانه‌ها را پس از خارج کردن از خاک شستشو دهید.

مثال :

محل آزمایش : مزرعه هنرستان

تاریخ : مرداد ۱۳۷۲

بافت خاک : متوسط

رطوبت خاک قبل از آزمایش : نسبتاً خشک

عوامل مؤثر نگهداری آب در خاک

دو نیروی مختلف سبب نگهداری آب در خاک می‌شود.

نیروی چسبندگی[1] (نیروی جاذب بین مولکول‌های آب و ذرات خاک) : ذرات و ترکیبات خاک در حالت خشک با داشتن خاصیت چسبندگی نسبتاً شدید، مولکول‌های دوقطبی آب را به‌طرف خود جذب و نگهداری می‌کنند. نتیجه این مکش ایجاد قشر نازکی از مولکول‌های آب بر روی عناصر، ترکیبات و ذرات خاک می‌باشد که شدت جذب آن در اولین قشر مولکولی آب خیلی زیاد است. لایه‌های بعدی مولکول‌های آب با شدت کمتری نگهداری شده و لایه‌های پس از آن شدت نگهداری کمتری دارند. این موضوع نشان می‌دهد آبی که در دورترین فاصله نسبت به سطح ذرات قرار دارد به‌آسانی از آن خارج می‌شود. به‌تدریج که خاک خشک می‌شود نیروی زیادتری لازم است تا آب را از ذرات و منافذ خاک خارج کند.

نیروی پیوستگی[2] (نیروی جاذب بین مولکولی) : نتیجه اثر این نیرو، کشش و جذب متقابل مولکولهای آب با یکدیگر می‌باشد. ذرات خاک تحت تأثیر دو نیروی ذکرشده، توسط مولکول‌های آب به هم مربوط می‌شوند به‌عبارت دیگر با ایجاد یک قشر آبی بر روی ذرات، آب وظیفه یک واسطه چسبنده را به عهده می‌گیرد.

۱ــ Adhesion

۲ــ Cohesion

صُور مختلف آب در خاک

آب در خاک به صورت‌های مختلف و تحت تأثیر نیروهای متفاوتی نگهداری می‌شود که به‌شرح زیر است :

آب آزاد : آبی است که بعد از هر آبیاری یا بارندگی روزنه‌های متوسط و درشت خاک را پرمی‌کند این آب تحت تأثیر نیروی کشش ذرات خاک و نیروی ثقلی زمین در خاک حرکت می‌کند حرکت آب آزاد در خاک‌های معمولی و با زهکش خوب به اندازه‌ای سریع است که برای ریشه گیاه سود کمی دارد ضمن اینکه مواد غذایی پس از محلول شدن همراه آب ازخاک خارج می‌شود. چنانچه این آب در خاک باقی بماند به‌علت کمبود اکسیژن برای ریشه گیاهان و موجودات زنده هوازی خاک مضر واقع می‌شود. به‌طورکلی وجود این نوع آب در خاک مطلوب نبوده و از راه منافذ بزرگ به‌سرعت از خاک خارج می‌شود. (شکل ۲ــ۸)

آب موئینه (کاپیلاریته) : مقدار آبی است که در روزنه‌های متوسط و ریز نگهداری می‌شود و در برابر قوه ثقل مقاومت نشان می‌دهد. گیاه آب مورد نیاز خود را از آب کاپیلاریته جذب می‌نماید امّا همهٔ این آب قابل جذب گیاه نیست. روزنه‌های خاک مانند لوله‌های مویین عمل کرده و آب توسط نیروی مویینه‌ای در آن نگهداری می‌شود. هرچه قطر این لوله‌ها کمتر باشد ارتفاع صعود آب بیشتر است. خاکی که روزنه‌های ریز زیادتری داشته باشد (خاک رسی) نسبت به خاکی که روزنه‌های ریز آن کم باشد (خاک شنی) مقدار بیشتری آب توسط نیروی مویینه‌ای نگهداری می‌کند. (شکل ۳ــ۸)

شکل ۲ــ۸ ــ (الف) حالت اشباع هنگامی است که روزنه‌های خاک کاملاً از آب پر شده باشند. (ب) خاک خشک‌شده در آون در این مقیاس آب قابل ملاحظه‌ای ندارد. آب باقیمانده در این حالت به‌صورت پوششی نازک برروی ذره‌های خاک قرار دارد. در دو حالت مرطوب به تفاوت حجم هوا، آب و ماده‌های جامد توجه کنید.

شکل ۳ــ۸ــ در این شکل مویینگی نشان داده شده است. آب بیشترین ارتفاع را در باریکترین لوله‌ها می‌پیماید. سطح منحنی آب که در بخش بزرگ شده دیده می‌شود هلال است. چسبندگی مولکول‌های آب کشش سطحی را تولید می‌کند و مولکول‌های آب نیز به دیواره شیشه می‌چسبند.

آب پوسته‌ای (هیگروسکوپیک) : در اثر تبخیر و تعرق تمام آب حتی از ریزترین منافذ خاک خارج می‌شود. آبی که پس از این مرحله در خاک می‌ماند در سطح ذرات خاک با شدت جذب می‌شود که تقریباً حالت غیرمایع داشته و فقط به‌صورت گاز حرکت می‌کند. به‌مقدار رطوبت خاک در این حالت ضریب هیگروسکوپیک و به‌مقدار آب باقی‌مانده در خاک آب هیگروسکوپیک می‌گویند. این نوع آب مشخصات زیر را دارد :

الف) بیشتر به‌وسیله مواد کلوییدی خاک جذب می‌شود.

ب) تقریباً حالت غیرمایع داشته و بیشتر به‌صورت گاز حرکت می‌کند.

ج) قابل استفاده گیاهان زراعی نیست. (شکل ۲ــ۸)

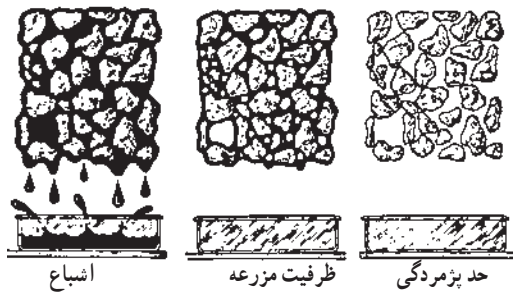
آب ترکیبی : آبی است که در ترکیب شیمیایی کانی‌های متبلور وجود دارد. مثلاً در کانی ژیپس (گچ) با فرمول شیمیایی ($CaSo_4,2H_2O$)

این نوع آب اولاً قابل استفاده گیاهان نبوده ثانیاً در حرارت بالاتر از ۵۰۰° سانتی‌گراد از کانی‌ها خارج می‌شود ثالثاً هیدروژن آن می‌تواند به‌وسیله فلزات دیگر جابه‌جا شود.

حدهای رطوبتی خاک : که میزان رطوبت آب در خاک را مشخص می‌کند عبارتند از :

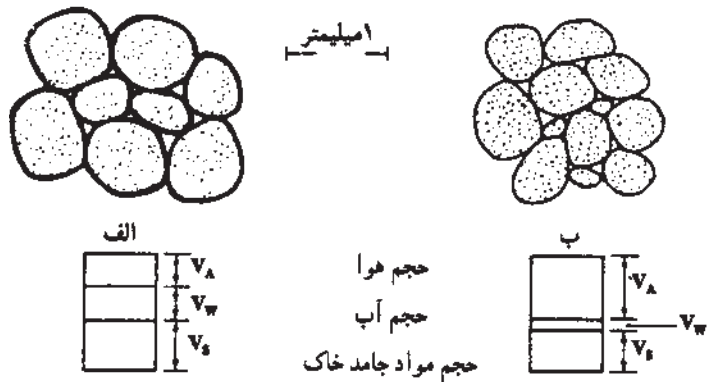
حد ظرفیت زراعی (Fc[1])

معمولاً یک تا سه روز پس از خیس‌شدن خاک به‌وسیله باران یا آبیاری، رطوبت موجود در خاک به وضع نسبتاً پایداری می‌رسد. این حد رطوبت ظرفیت زراعی نامیده می‌شود. در این حالت منافذ درشت خاک آب خود را از دست داده ولی منافذ ریز هنوز پر از آب بوده، گیاهان می‌توانند از آن استفاده کنند. رطوبت ظرفیت زراعی حد بالایی از رطوبت قابل جذب گیاه را نشان می‌دهد و هرچه رطوبت خاک از این حد بیشتر باشد تحت تأثیر نیروی ثقل از خاک و حوزهٔ فعالیت ریشه‌ها خارج می‌شود.



شکل ۴ــ۸ ــ حدهای رطوبتی خاک

۱ــ Field Capacity



شکل ۵ــ۸ــ (الف) حد ظرفیت زراعی. روزنه‌های بزرگ از هوا پرشده اما بسیاری از روزنه‌های کوچک پر از محلول است. این وضعیت تقریباً ایده‌آل است. (ب) حد پژمردگی دائم. بیشتر روزنه‌ها خالی هستند آب باقی‌مانده به‌صورت غشاهای نازک با نیروی زیادی روی سطح‌ها نگهداری شده است.

با اشباع کردن خاک و دادن فرصت کافی برای خروج آب موجود در خلل و فرج درشت (آب ثقلی) می‌توان، درصد رطوبت موجود در خاک را اندازه‌گیری کرد. اگر به نحوی از تبخیر آب از سطح خاک جلوگیری کنیم، کاهش درصد رطوبت فقط به خروج آب ثقلی ارتباط پیدا می‌کند و پس از مدت زمانی (به نوع خاک بستگی دارد) رطوبت به مقدار ثابتی می‌رسد که رطوبت ظرفیت زراعی می‌نامند.

آزمایش ۲ :

مواد و لوازم مورد نیاز : ورقه پلاستیک سیاه رنگ، بیل، آب، مته (اگر)، قوطی، ترازو و اتوو

روش کار

۱ــ کرت کوچکی به مساحت ۲/۵ متر مربع را چنان انتخاب کنید که نمونه‌ای از خاک مزرعه باشد.

۲ــ توجه کنید که سطح سفره آب زیرزمینی در عمق بیشتر از ۲ متر باشد.

۳ــ کرت انتخابی را از علف‌های هرز پاک کرده و سپس به آن آب اضافه کنید. (این آب باید بااستفاده از آزمایش تعیین درصد رطوبت خاک محاسبه و خاک را اشباع کند.)

۴ــ ورقه پلاستیک سیاه رنگی را روی سطح کرت قرار دهید تا از تبخیر جلوگیری کند.

۵ــ با استفاده از مته، نمونه‌های خاک مرطوب را از عمق مورد نظر در صبح و عصر هر روز تهیه و رطوبت آن را تعیین کنید.

۶ــ عمل نمونه برداری را ادامه دهید تازمانی که رطوبت خاک در روزهای متوالی تقریباً برابر شوند.

۷ــ منحنی تغییرات رطوبت روزانه را نسبت به زمان رسم کنید.

۸ــ کمترین مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده را می‌توانید به عنوان ظرفیت زراعی خاک انتخاب کنید.

مثال :

بافت خاک : لوم رسی

محل آزمایش : مزرعه هنرستان

طول آزمایش : ۳ روز

حد پژمردگی موقت، حد پژمردگی دائم

با جذب تدریجی آب توسط ریشه گیاهان و خروج آن به‌صورت تبخیر وتعرق از سطح خاک مقدار آب خاک کاهش می‌یابد و آثار پژمردگی در برگ‌ها ظاهر می‌شود.

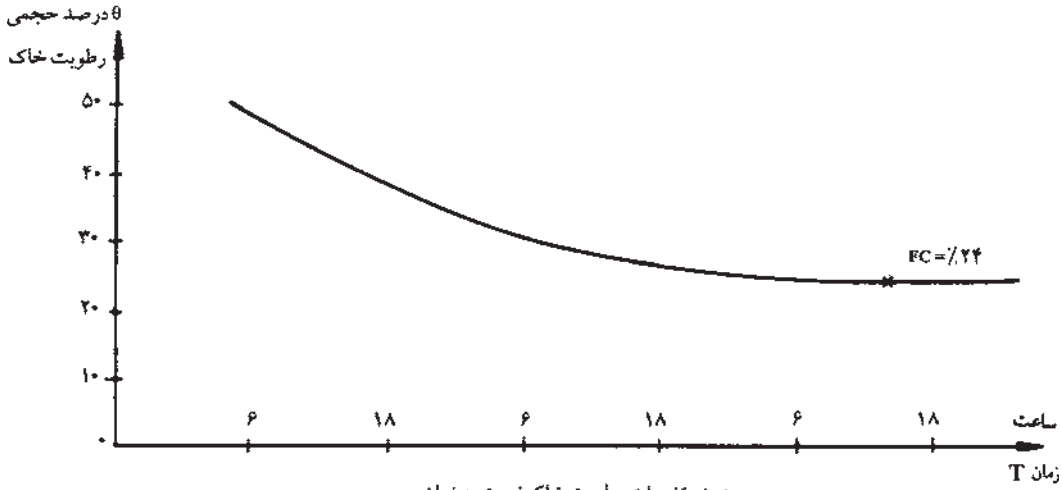
معمولاً در شرایطی که گیاه در روز پژمرده و در شب شاداب شود گیاه به حد پژمردگی موقت رسیده است.

در این شرایط اگر آبیاری انجام نگیرد گیاه در شب نیز شادابی خود را باز نیافته درنتیجه به حد پژمردگی دائم می‌رسد. در حد پژمردگی دائم بیشتر روزنه‌های کوچک خالی بوده و در روزنه‌های بزرگ و متوسط غشاء نازکی از آب بر روی ذرات خاک وجود دارد .

تعیین حد پژمردگی دائم : حد پژمردگی دائم، رطوبتی است که در آن گیاه پژمرده شده و شادابی خود را باز نمی‌یابد. در رطوبت قبل از این نقطه نیز جذب آب به درستی صورت نگرفته و رشد گیاه مختل می‌شود.

جدول ۲ــ۸ــ تغییرات رطوبت خاک

درصد رطوبت (حجمی)	زمان	
	ساعت	روز
۴۸ ۳۹	۶ ۱۸	۷۲/۲/۲۵
۳۱ ۲۶	۶ ۱۸	۷۲/۲/۲۶
۲۴ ۲۴	۶ ۱۸	۷۲/۲/۲۷



منحنی تغییرات رطوبت خاک نسبت به زمان

آزمایش ۳ :

مواد و لوازم مورد نیاز : پنج عدد گلدان دردار با ظرفیت ۶۰۰ گرم، بذر آفتابگردان، لوله شیشه‌ای به طول ۵ سانتی‌متر ، موم، قوطی نمونه برداری، ترازو، اتو، سرپوش پلی‌اتیلن سیاه رنگ، تشتک و مته.

روش کار

۱ــ در پنج عدد گلدان که کف آن‌ها منفذی برای خروج آب دارد، تقریباً ۵۰۰ گرم خاک خشک بریزید.

۲ــ در هر یک از گلدان‌ها پنج عدد بذر آفتابگردان کاشته و آبیاری کنید تا عمل جوانه زدن صورت گیرد.

۳ــ بعد از جوانه زدن بوته‌ها را تنک کنید و فقط ۲ گیاهچه را نگه دارید.

۴ــ در گلدان را به‌نحوی قرار دهید که ۲ بوته باقی‌مانده از سوراخ‌های تعبیه شده روی در به‌طرف خارج رشد کنند.

۵ــ برای جلوگیری از گرم شدن گلدان‌ها آن‌ها را در بستری از خاک اره مرطوب قرار دهید.

۶ــ پس از مدت ۶ هفته بوته‌های گیاه تقریباً ۶ برگی خواهند شد. لازم است که در این مدت آبیاری متداول را ادامه دهید. یک لوله شیشه‌ای در خاک گلدان نصب کنید تا تهویه خاک به سهولت صورت پذیرد. انتهای لوله را با پنبه و سطح خاک را با موم بپوشانید و منفذ کف گلدان را نیز مسدود کنید.

۷ــ در این مرحله گیاه را برای آخرین بار آبیاری کنید و منافذ سطحی را طوری بپوشانید که از

تبخیر آب از خاک جلوگیری شده و سپس گیاه را بدون آبیاری بگذارید تا حالت پژمردگی ظاهر شود.

۸ــ پس از اینکه در هر دو بوته علائم از دست دادن شادابی ظاهر شد، گلدان را در محفظه مرطوب و تاریک قرار دهید. می‌توان گلدان گیاه را در تشتک کوچکی از آب که در زیر سرپوش قرار دارد، گذاشت. سرپوش بهتر است ورقه پلی اتیلن سیاه رنگ باشد تا با بسته شدن روزنه‌های برگ از تعرق جلوگیری شود. گیاه آفتابگردان را به مدت یک شب زیر سرپوش قرار دهید.

۹ــ اگر شادابی به گیاه بازگشت دوباره آن را از زیر سرپوش خارج و ساعاتی در هوای آزاد قرار دهید در صورت پژمردگی دوباره مرحله ۸ را تکرار کنید.

۱۰ــ این عمل را تکرار کنید تا گیاه نتواند شادابی خود را در محفظه تاریک باز یابد.

۱۱ــ نمونه خاک گلدان را که ریشه‌های گیاه از آن جدا شده است را تهیه و رطوبت آن را با قرار دادن در اتوو تعیین کنید. این رطوبت را رطوبت حد پژمردگی دائم می‌نامند.

حرکت آب در خاک

آب به‌حالت جامد در خاک حرکتی نداشته ولی در حالت‌های مایع و بخار در جهات مختلف حرکت می‌کند. این پدیده کنترل‌کننده سرعت نفوذ آب به داخل خاک بوده، آب مورد نیاز ریشه‌ها را تأمین کرده و در ضمن باعث حرکت آب‌های زیرزمینی به‌طرف چشمه‌ها و جویبارها می‌شود.

جریان آب به حالت مایع در خاک : آب در خاک به دو صورت اشباع و غیراشباع می‌تواند وجود داشته باشد معمولاً بعد از بارندگی و آبیاری حالت اشباع و تا قبل از خشک‌شدن حالت غیراشباع وجود دارد. در هر دو حالت آب می‌تواند در دو جهت حرکت نماید.

۱ــ حرکت آب از بالا به پایین : در حالت اشباع آب در اثر نیروی ثقل جریان می‌یابد در این حالت خلل و فرج بزرگ محتوای آب بوده و آب با سرعت از طریق این خلل و فرج رو به پایین حرکت می‌نماید.

در حالت غیراشباع خلل و فرج بزرگ از آب تخلیه شده درنتیجه عامل نیروی ثقل اهمیت خود را از دست می‌دهد و در این صورت آب تحت نیروی کشش سطحی به‌صورت لایه‌هایی در اطراف ذرات خاک جریان می‌یابد و حرکت آن کندتر از حالت اشباع می‌باشد.

عواملی که در مقدار جریان آب از بالا به پایین تأثیر دارد شامل بافت خاک، ساختمان خاک، مقدار کلوئیدهای آلی و معدنی خاک و غیره می‌باشد.

جریان آب از بالا به پایین از نظر آبیاری و زهکشی اهمیت داشته باعث ذخیره باران و همچنین

نفوذ آب به خاک و جلوگیری از فرسایش می‌شود.

۲ــ حرکت آب از پایین به بالا : در اثر خاصیت مویینگی منافذ خاک، آب به‌طرف بالا صعود می‌کند. خلل و فرج خاک منافذ بسیار نازکی در خاک ایجاد می‌نمایند که مانند لوله‌های مویین عمل می‌کند. به‌علت وجود نیروی پیوستگی و چسبندگی، آب از این لوله‌ها بالا می‌رود هرچه قطر لوله‌های مویین کمتر باشد ارتفاع صعود آب بیشتر خواهد بود. این پدیده باعث می‌شود آب از سطح آب‌های زیرزمینی به‌طرف بالا حرکت کرده، آب مورد نیاز گیاهان را تأمین نماید. اگر سطح آب زیرزمینی پایین‌تر ازعمق یک متری نباشد جریان صعودی آب برای آبیاری زیرزمینی محصولات زراعی کافی است.

۳ــ حرکت افقی آب : در یک نقطه مشخص از سطح خاک یک گلدان قطره قطره آب بریزید پس از مدتی که این عمل را انجام دادید چه مشاهده می‌کنید؟ مشاهده خواهید کرد که آب تمام سطح خاک گلدان را مرطوب کرده است یعنی آب در جهت افقی حرکت داشته است علت حرکت افقی آب چیست؟ اکثر مواقع آب تحت تأثیر شیب رطوبتی خاک حرکت می‌کند یعنی در خاک آب از قسمت‌هایی که میزان آن زیاد است به قسمت‌هایی که آب کمتری دارد انتشار می‌یابد.

عوامل مؤثر در جذب آب توسط ریشه

جریان ممتد آب از خاک به ریشه و از آنجا به ساقه و برگ وجود دارد. همراه با انتقال آب، مواد کانی به‌صورت یون وارد ریشه شده و از راه آوندهای چوبی به همهٔ نقاط گیاه حرکت می‌کنند. بدین ترتیب نیاز سلول‌های گیاه به مواد کانی برآورده می‌شود. برحسب تعریف به آب محتوای یون‌ها که در آوندهای چوبی جریان پیدا می‌کند شیرهٔ خام گفته می شود. عوامل مختلفی در جذب آب دخالت دارند که عبارتند از :

۱ــ وسعت و عمق ریشه : هرچه گسترش و پراکندگی ریشه‌های نبات بیشتر بوده و در عمق زیادتری از خاک فرو رفته باشند مقدار آبی را که می‌توانند جذب کنند زیادتر خواهد بود.

۲ــ قابلیت نفوذ ریشه : هرچه عمق خاک زراعی بیشتر باشد قابلیت نفوذ ریشه بیشتر بوده و درنتیجه گیاه از ذخیره آب زیادتری استفاده خواهد کرد.

۳ــ درجه چوب‌پنبه‌ای‌شدن غشاء ریشه : ریشه‌های مویینه جوان قدرت جذب بیشتری نسبت به ریشه‌های پیر و چوب‌پنبه‌ای‌شده دارند.

۴ــ تبخیر و تعرّق گیاه : هر چقدر تبخیر و تعرّق از گیاه بیشتر باشد به همان نسبت جذب آب توسط ریشه افزایش می‌یابد.

۵ــ حرارت اطراف ریشه در خاک : چنانچه حرارت خاک کم باشد جذب آب کاهش می‌یابد و اگر حرارت خاک کم و زمین یخ‌زده باشد، هیچگونه جذبی صورت نمی‌گیرد. همچنین در صورتی که درجه حرارت خاک از حد معینی بالاتر باشد جذب آب کاهش می‌یابد. طبق محاسبات مشخص شده است که بهترین درجه حرارت خاک در روز ۲۴° سانتی‌گراد و در شب ۱۸° سانتی‌گراد می‌باشد.

۶ــ تهویهٔ خاک : با کاهش جریان هوا در اطراف ریشه مقدار جذب به‌وسیله ریشهٔ گیاه کاهش یافته و در بعضی موارد سبب خفگی گیاه می شود. به‌طور کلی مقاومت گیاهان بسته به نوع گیاه در مقابل تهویه متفاوت است.

۷ــ غلظت محلول خاک : هر قدر غلظت املاح محلول در آب بیشتر باشد فشار اسمزی آن بیشتر خواهد شد و بنابراین مقدار جذب کاهش می‌یابد.

مراحل جذب املاح توسط ریشه

خاک محل مناسبی برای ذخیره املاح مورد نیاز گیاهان می‌باشد. املاح موجود در خاک، در آب حل شده و توسط ریشه جذب می‌گردد. مراحل جذب به‌شرح زیر است :

۱ــ حرکت یون‌های غذایی به‌سمت ریشه

۲ــ تراکم یون‌ها در سلول‌های ریشه

۳ــ حرکت شعاعی یون‌ها از سطح ریشه به‌داخل آوندهای چوبی

۴ــ حرکت یون‌ها از آوندهای چوبی به ساقه، شاخه و برگ

عوامل مؤثر در جذب املاح توسط ریشه : عبارتند از :

۱ــ نوع گیاه

۲ــ وسعت و عمق ریشه

۳ــ سوخت و ساز سلولی

۴ــ تنفس ریشه

۵ــ غلظت املاح موجود در خاک و نوع ترکیب آن‌ها

۶ــ تهویه خاک

۷ــ درجه حرارت خاک

۸ــ رطوبت خاک

آزمایشات نشان داده است که بیشترین مقدار جابه‌جایی املاح از ریشه به سایر اندام‌ها در طول

روز یعنی هنگامی که فعالیت سوخت و ساز در گیاه بیشتر است صورت می‌گیرد.

سرعت جابه‌جایی املاح در گیاه از آب کمتر است و حدود یک متر در دقیقه گزارش شده است.

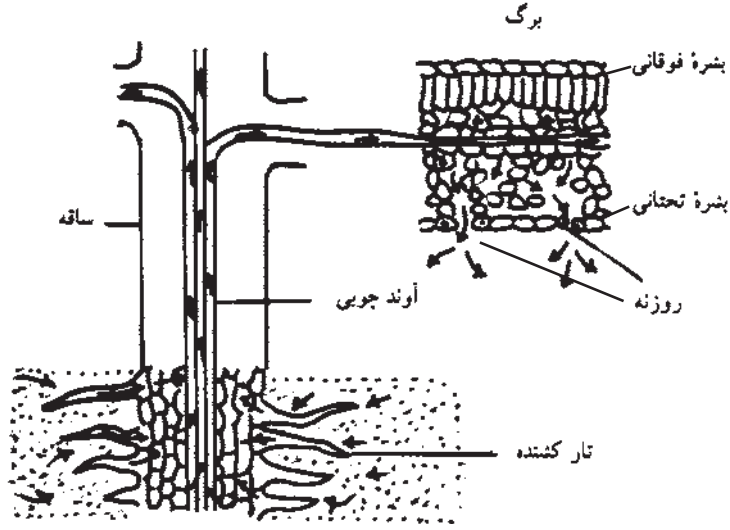
باید دانست که ریشه تنها اندام جذب‌کننده نبات نیست بلکه برگ‌ها و ساقه‌های جوان و جوانه‌ها نیز قادرند بعضی از ترکیبات معدنی را جذب نمایند.

تبخیر و تعرّق گیاهان

تبخیر[1] : فرآیند تبدیل آب مایع به بخار را تبخیر گویند. تبخیر ممکن است از سطوح آزاد آب و یا از سطح مرطوب خاک صورت گیرد.

تعرّق[2] : گیاهان، مقداری آب به‌صورت بخار، از راه روزنه‌های هوایی و بشرهٔ نازک برگ‌ها و جوانه‌ها و ساقه‌های جوان، دفع می‌کنند. این عمل، تعرّق نام دارد.

طبق آزمایشات مشخص شده است که درصد کمی از آب جذب‌شده توسط گیاهان، در داخل بافت‌های گیاهی نگهداری و قسمت اعظم آن دوباره به‌صورت تعرّق از طریق روزنه‌های موجود در سطح برگ‌ها به اتمسفر برمی‌گردد. تعرّق، بیشتر از روزنهٔ هوایی و به‌مقدار کم، از سلول‌های سطحی برگ‌های دارای بشرهٔ نازک، صورت می‌گیرد (شکل ۶ــ۸).



شکل ۶ــ۸ــ نفوذ آب و تعرق

۱ــ Evaporation

۲ــ Transpiration

تبخیر و تعرّق[1] : مجموع مقدار آبی که در واحد سطح منطقه از راه تبخیر از سطح خاک و از راه تعرّق به‌وسیلهٔ گیاهان از دست می‌رود تبخیر و تعرّق نامیده می‌شود. در ارزیابی میزان آب و خاک، برای تأمین رشد گیاه، لازم است که هم تبخیر و هم تعرّق را مورد محاسبه قرار دهیم.

عوامل مؤثر در تبخیر و تعرّق

عوامل مؤثر در تعرّق را می‌توان به دو گروه عوامل درونی یا شرایط گیاه وعوامل محیطی تقسیم کرد.

۱ــ عوامل درونی (شرایط گیاه) شامل :

الف) شکل برگ‌ها ب) طرز قرارگرفتن برگ‌ها روی ساقه ج) سطح برگ‌ها د) ساختمان برگ هـ) روزنه‌ها و تعداد آن و) وسعت و عمق نفوذ ریشه

الف) شکل برگ‌ها : گیاهان پهن‌برگ به‌علت داشتن روزنه‌های بیشتر مقدار آب بیشتری نسبت به سوزنی برگ‌ها تبخیر می‌نمایند.

ب) طرز قرارگرفتن برگ‌ها روی ساقه : زاویهٔ تابش خورشید نسبت به سطح برگ در مقدار تبخیر مؤثر است. مثلاً تبخیر برگ‌هایی که نور خورشید به‌طور عمود بر آن‌ها می‌تابد بیشتر از سایر برگ‌هاست.

ج) وسعت سطح برگ‌ها : شدت تعرّق با وسعت اندام‌های هوایی به‌ویژه وسعت سطح برگ‌های گیاه نسبت مستقیم دارد، بنابراین سقوط برگ‌ها در پاییز شدت تعرّق را در گیاه کاهش می‌دهد. یکی از راه‌های سازش گیاهان برای زیست در مناطق خشک کم‌کردن شدت تعرّق از راه کوچک‌شدن سطح برگ‌های آن‌ها است. اگر مقدار شاخه و برگ را به‌وسیله هرس کم کنیم مقدار تعرّق کم خواهد شد.

د) ساختمان برگ : هر قدر ساختمان بشره نازکتر باشد و تعداد روزنه‌ها در آن بیشتر باشد تعرّق بیشتری صورت می‌گیرد. در حالی‌که هر اندازه ضخامت پوستک سلول‌های بشره بیشتر باشد و کرک‌دارتر باشند، تعرّق کمتر می‌شود.

هـ) روزنه‌ها و تعداد آن‌ها : هرچه تعداد روزنه‌ها بیشتر باشد، تعرّق شدیدتر است.

و) وسعت و عمق نفوذ ریشه : هرچه مقدار جذب آب بیشتر صورت گیرد به همان نسبت مقدار تعرّق بیشتر است.

۱ــ Evapotranspiration

۲ــ شرایط اقلیمی رشد گیاهان :

الف) شدت نور ب) حرارت ج) وزش باد د) کیفیت آب و خاک از نظر املاح هـ) شیب زمین و) رطوبت نسبی

الف) شدت نور : شدت نور در بعضی گیاهان باعث بازشدن روزنه‌ها و خارج‌شدن آب گیاه به‌صورت بخار می‌شود.

ب)حرارت : خروج مولکول‌های بخار آب تابع درجه حرارت است. هر قدر حرارت آب زیادتر باشد انرژی مولکول‌ها بیشتر خواهد بود و خروج آن‌ها از آب زیادتر صورت خواهد گرفت. آزمایشاتی که با گرم کردن آب صورت گرفته، نشان می‌دهد که هر قدر حرارت سطح آب بیشتر باشد، تبخیر افزایش می‌یابد. این عمل نتیجه مستقیم افزایش بخار یا میزان حرارت است. در هوای گرم تعرّق از سطح برگ‌ها نیز افزایش می‌یابد.

ج) وزش باد : وزش باد بر میزان تبخیر و تعرّق تأثیر دارد.

د) کیفیت آب و خاک از نظر املاح : هر قدر غلظت املاح بیشتر باشد مقدار تبخیر کمتر می‌شود.

هـ) شیب زمین : در نیمکرهٔ شمالی شیب‌های جنوبی بیشتر از شیب‌های شمالی در معرض تابش نور آفتاب هستند و درنتیجه زودتر گرم می‌شوند. بنابراین تبخیر در شیب‌های جنوبی بیشتر از شیب‌های شمالی است.

و) رطوبت نسبی : هر قدر رطوبت نسبی هوا بیشتر باشد مقدار تبخیر آب از سطح برگ‌ها و زمین کمتر بوده و درنتیجه نه‌تنها آب قابل استفاده گیاه در خاک بیشتر است بلکه احتیاج روزانه گیاه به آب نیز کمتر خواهد بود.

فواید تبخیر و تعرّق برای گیاهان

۱ــ صعود شیره خام : کششی که درنتیجه عمل تعرّق در آوندهای چوبی به‌وجود می‌آید و همچنین پیوستگی شبکه آب عامل مؤثری در صعود شیره خام به‌طرف برگ‌ها است.

۲ــ خنک شدن برگ‌ها : تبخیر و تعرّق باعث خنک شدن برگ‌ها می‌شود، زیرا وقتی آب از سطح جسمی تبخیر می‌شود دمای اطراف آن کاهش می‌یابد علت آن است که برای تبخیرشدن مقداری از حرارت مجاور خود را مصرف می‌نماید ولذا موجب خنک شدن برگ‌ها می‌شود و از آسیب دیدن برگ‌ها براثر حرارت زیاد نور خورشید ممانعت به‌عمل می‌آورد.

تعریق

هرگاه به دنبال یک روز گرم، شب خنک داشته باشیم قطرات آب از نقاطی در لبه و نوک برگ‌های بعضی ازگیاهان خارج می‌شود. بیرون رفتن آب ازگیاه به‌حالت آبگون (مایع) را تعریق می‌گویند. محل خروج قطرات آب روزنه‌های ویژه‌ای به نام روزنه‌های آبی است که هر کدام در نوک یک آوند قرار دارند.

مکش سنج[1] (تانسیومتر)

تانسیومتر، مکش خاک را اندازه‌گیری می‌کند. این دستگاه برای اولین بار به وسیله (ریچاردز وگاردنر ۱۹۳۶) طرح و پیشنهاد شد.

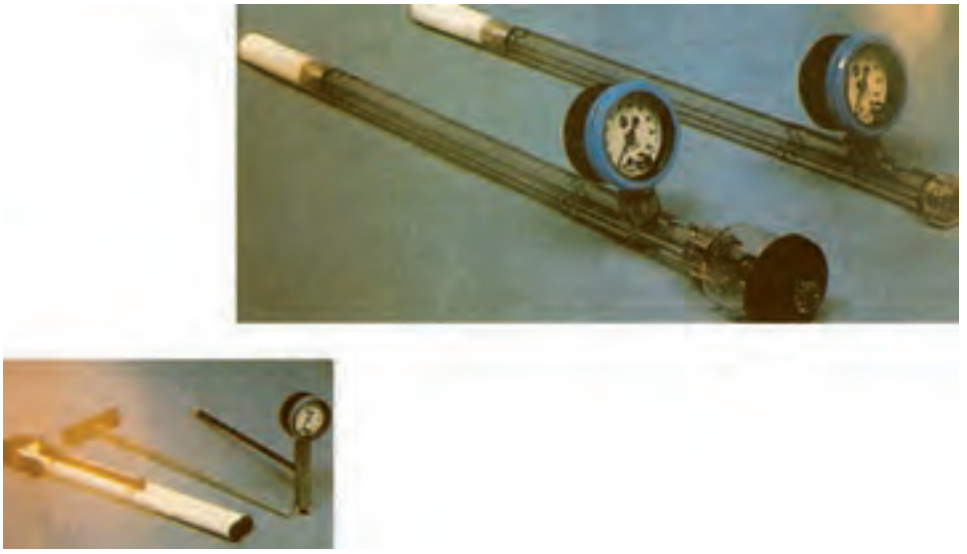
این دستگاه از یک کلاهک سرامیکی به طول تقریبی ۷/۵ سانتی‌متر، (در اندازه‌های دیگر نیز ساخته شده) یک لوله فلزی یا PVC و یک فشارسنج تشکیل می‌شود. در هنگام نصب برای اندازه‌گیری باید لوله تانسیومتر را از آب مقطر (بدون هوای محلول) پر کنید و انتهای بالای آن را با در پلاستیکی مسدود کنید تا از ورود هوا به‌داخل لوله تانسیومتر جلوگیری شود. (وقتی در گذاشته می‌شود درون آن نباید هیچ هوایی وجود داشته باشد.)

هنگامی که تانسیومتر در خاک نصب می‌شود، بر اثر خشکی خاک و مکش ناشی از آن آب از کلاهک به بیرون تراوش می‌کند و در نتیجه در داخل لوله تانسیومتر خلأ ایجاد می‌شود که به‌وسیله فشارسنج نشان داده می‌شود. (شکل ۷ــ۸)

شکل ۷ــ۸ــ تانسیومتر و نحوه ارتباط آن با خاک
۱ــ کلاهک سرامیکی ۲ــ حرکت آب از کلاهک به خارج ۳ــ هوای خاک ۴ــ ذرّات خاک ۵ــ محلول خاک ۶ــ آب داخل کلاهک تانسیومتر ۷ــ فشارسنج ۸ــ در پلاستیکی

۱ــ Tensiometer

چون در مکش‌های بالای خاک (نزدیک به ۱ اتمسفر) از دیواره کلاهک تانسیومتر هوا عبور می‌کند و در اندازه‌گیری خطا ایجاد می‌شود، بنابراین، این دستگاه از رطوبت اشباع تا کمی کمتر از ظرفیت زراعی را به‌خوبی اندازه‌گیری می‌کند.



شکل ۸ــ ۸ ــ انواع تانسیومتر

رطوبت قابل استفاده[۱] (AM)

درصدی از رطوبت خاک که بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی بوده وقابل استفاده گیاه است را رطوبت قابل استفاده می‌گویند. این رطوبت در خاک ذخیره شده و به مرور در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. رطوبت قابل استفاده را می‌توان بر حسب درصد وزنی ــ درصد حجمی یا عمق آب نشان داد. (شکل ۹ــ ۸)

این رطوبت در خاک‌های مختلف مقدار متفاوتی دارد.

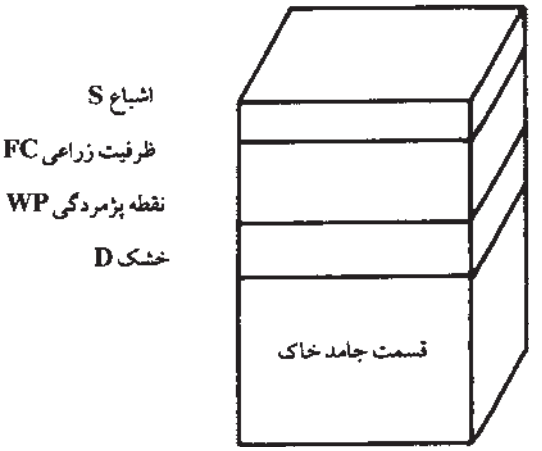
به این رطوبت ظرفیت نگهداری[۲] (WHC) خاک نیز اطلاق می‌شود.

۱ــ Available Moisture

۲ــ Water Holding Capacity

جدول ۳ــ ۸ ــ ظرفیت نگهداری بعضی خاک‌ها

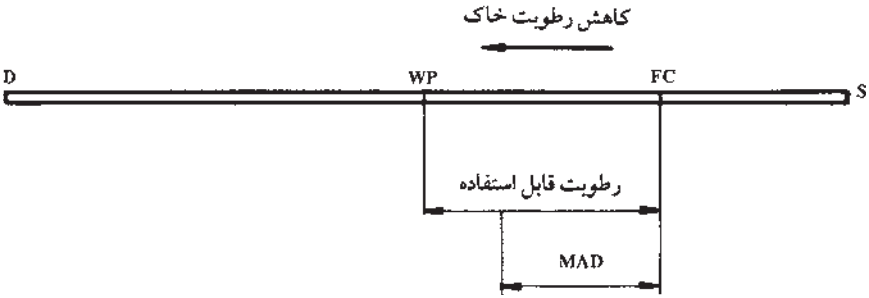
بافت خاک	ظرفیت نگهداری mm/m میلی‌متر آب در یک متر خاک
شن درشت	۴۲
شن ریز	۶۲
شن لومی	۸۳
شن لومی ریز	۱۰۴ــ۱۲۵
لوم سیلتی	۱۴۶ــ۱۶۷
لوم رسی سیلتی	۱۶۷
لومی رسی	۱۶۷ــ۱۸۷
رسی سنگین	۱۴۶



شکل ۹ــ ۸ ــ نمایش ضرایب رطوبتی خاک

نقصان مجاز رطوبتی[۱] **(MAD)** : تمام رطوبت قابل استفاده به راحتی برای گیاه قابل جذب نیست و در نزدیکی حد پژمردگی، گیاه باید با صرف انرژی، آب مورد نیاز خود را تأمین کند. که این انرژی برای گیاهان مختلف متفاوت است. در این صورت با توجه به نوع محصول، مقدار آب آبیاری و ... می توانیم درصدی از رطوبت قابل استفاده را در هر نوبت آبیاری مصرف کنیم. این مصرف را که موجب کاهش رطوبت خاک می‌شود نقصان مجاز رطوبتی می‌نامند. مقدار آن معمولاً ۷۵ــ ۵۰٪ رطوبت قابل استفاده است.

۱ــ Managment Available Defficit



شکل ۱۰ــ ۸ ــ تغییرات آب در خاک ــ نقاط مهم

جدول ۴ــ ۸ ــ عمق ریشه و MAD برخی از گیاهان مهم

گیاه	عمق ریشه سانتی‌متر	MAD	گیاه	عمق ریشه	MAD
یونجه	۱۰۰ــ۲۰۰	۰/۵۵	میوه‌ها	۱۰۰ــ۲۰۰	۰/۵۰
جو	۱۰۰ــ۱۵۰	۰/۵۵	غلات	۱۰۰ــ۱۵۰	۰/۵۰
لوبیا	۵۰ــ۷۰	۰/۴۵	انگور	۱۰۰ــ۲۰۰	۰/۳۵
چغندر	۶۰ــ۱۰۰	۰/۵۰	نخود	۷۰ــ۱۱۰	۰/۶۵
هویج	۵۰ــ۱۰۰	۰/۳۵	سیب‌زمینی	۴۰ــ۶۰	۰/۲۵
کرفس	۳۰ــ۵۰	۰/۲۰	سبزی‌ها	۳۰ــ۶۰	۰/۲۰
مرکبات	۱۲۰ــ۱۵۰	۰/۵۰	نیشکر	۱۲۰ــ۲۰۰	۰/۶۵
پنبه	۱۰۰ــ۱۷۰	۰/۶۵	توت‌فرنگی	۲۰ــ۳۰	۰/۱۵

ارزشیابی

۱ــ میزان نفوذ دائمی خاک چه مرحله‌ای از نفوذ است؟

۲ــ چرا در ابتدای نفوذ آب در خاک سرعت بیشتر است؟

۳ــ حالات مختلف آب در خاک را مقایسه کنید.

۴ــ در آزمایش شماره ۲ چرا پس از مدتی رطوبت خاک ثابت می‌ماند؟

۵ــ چرا تانسیومتر فقط می‌تواند مکش نزدیک به یک اتمسفر را اندازه‌گیری کند؟

۶ــ اهمیت تعیین آب مصرفی گیاهان در چیست؟

۷ــ علت شاداب شدن گیاه با پژمردگی موقت در شب چیست؟

۸ــ اندام‌های جذب‌کننده مواد در گیاه را نام ببرید.

۹ــ اهمیت تعرق را در صعود شیره خام توضیح دهید.

فصل نهم

روش‌های آبیاری

هدف‌های رفتاری : پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که :

۱ــ با انواع روش‌های آبیاری آشنا شود.

۲ــ آبیاری کرتی را تعریف کند.

۳ــ شیب طولی و عرضی کرت را تعیین کند.

۴ــ آبیاری نشتی را تعریف کند.

۵ــ ابعاد جوی و پشته را در آبیاری نشتی تعیین کند.

۶ــ طول فارو را تعیین کند.

۷ــ موارد استفاده از آبیاری بارانی را تعریف کند.

۸ ــ در مورد مزایا و معایب آبیاری بارانی اظهار نظر کند.

۹ــ تأسیسات آبیاری بارانی را توضیح دهد.

۱۰ــ مزایای آبیاری قطره‌ای را بیان کند.

۱۱ــ معایب آبیاری قطره‌ای را بیان کند.

۱۲ــ تأسیسات آبیاری قطره‌ای را توضیح دهد.

آبیاری

در بسیاری از مناطق دنیا به‌منظور تأمین آب لازم برای رشد محصولات، از آبیاری استفاده می‌شود. در مناطق خشکی چون خاورمیانه و غرب امریکا یا بارندگی نیست و یا مقدار آن اندک و آب لازم از طریق آبیاری تأمین می‌شود ولی در نقاط مرطوب و معتدلی چون آفریقای مرکزی و اروپا گرچه محصولات با بارندگی طبیعی رشد می‌کنند ولی غالباً آب باران کافی نبوده و باید از آبیاری تکمیلی استفاده شود.

به‌طورکلی آبیاری عبارتست از رسانیدن آب کافی به خاک به‌منظور تأمین رطوبت لازم برای رشد گیاه.

هدف از آبیاری

۱ــ تأمین رطوبت لازم برای رشد گیاه

۲ــ کم کردن خطر یخبندان

۳ــ از بین بردن و یا کم کردن نمک موجود در خاک

۴ــ حاصلخیز کردن و اصلاح اراضی شنی به کمک آب‌هایی که دارای مواد معدنی هستند.

۵ــ ایجاد سهولت و امکان اجرای عملیات زراعی

روش‌های آبیاری

به هر روشی که بتوان آب را به پای بوته رسانده و رطوبت مورد نیاز گیاه را تأمین کرد، روش آبیاری گفته می‌شود. از عمل ساده ریختن آب در گلدان تا حرکت آزاد آب در سطح خاک و حرکت آب در لوله‌های تحت فشار همه را روش آبیاری می‌گویند. سه روش اصلی آبیاری عبارتند از :

۱ــ آبیاری سطحی یا ثقلی : در این روش آب تحت تأثیر ثقل به حرکت درآمده و تمام (در کرتی و نواری) یا قسمتی(در نشتی) از سطح مزرعه را مرطوب می‌سازد.

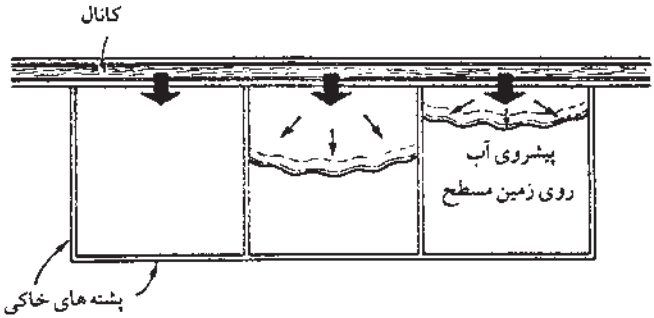
۲ــ آبیاری تحت فشار : آب در شبکه‌ای از لوله‌ها به‌صورت تحت فشار جریان داشته و به‌صورت پاششی (بارانی) یا به‌صورت قطرات (قطره‌ای) رطوبت خاک را تأمین می‌کند.

۳ــ آبیاری زیرزمینی : آب از زیر خاک وارد شده و فقط به‌مقدار کمی سطح خاک را مرطوب کند.

هرکدام از این روش‌ها چنانچه به‌صورت مناسب به‌کار گرفته شوند، می‌توانند اقتصادی بوده و با بازده بالایی عمل کنند.

آبیاری کرتی

استفاده از کرت ساده‌ترین و رایج‌ترین شیوه در تمام روش‌های آبیاری سطحی است. در این روش زمین به قطعاتی که دارای سطح صاف و بدون شیب هستند، تقسیم می‌شود. پشته‌ها در اطراف کرت‌ها ساخته می‌شوند که آب در داخل کرت باقی بماند (شکل ۱ــ۹).



شکل ۱ــ ۹ــ آبیاری کرتی

کرت‌ها را تا عمق لازم پر از آب می‌کنند وآب آنقدر در کرت می‌ماند تا تمام آن نفوذ کند. جریان آب باید بتواند درست در مدت کوتاهی تمام طول کرت را بپوشاند. هرچه نفوذپذیری خاک بیشتر باشد اندازه جریان را باید افزایش داده یا کرت را کوچکتر کرد. این روش برای خاک‌هایی که دارای سرعت نفوذ آب به خاک متوسط تا کم(کمتر از ۵ سانتی‌متر در ساعت) و نیز دارای ظرفیت نگهداری متوسط تا زیاد هستند، مناسب است. همچنین امکان کشت محصولات گوناگون به‌دنبال هم طی سالیان متمادی و عملیات شستشوی زمین میسر است. این روش برای حداکثر استفاده از بارندگی مناسب است و چون در این روش تلفات رواناب سطحی وجود ندارد، لذا می‌توان به بازده آبیاری بالایی رسید.

معایب آبیاری کرتی

۱ــ احتیاج به عملیات تسطیح دقیق دارد و معمولاً هزینه زیادی را می‌طلبد.

۲ــ وجود پشته‌های اطراف کرت به‌عنوان مانع بزرگی برای عملیات کاشت داشت و برداشت مکانیزه.

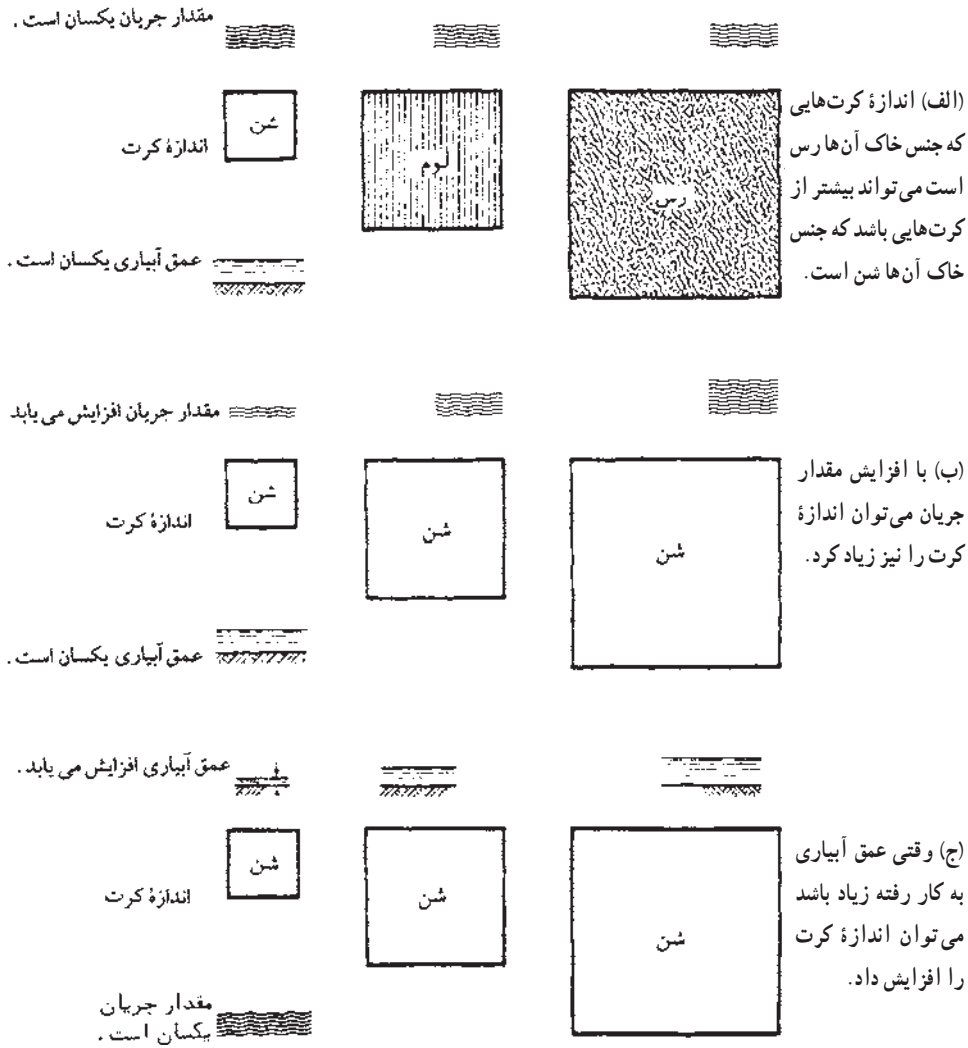
۳ــ در صورت ضعیف بودن زهکش طبیعی، منطقه احتیاج به ایجاد زهکش دارد.

۴ــ زمین قابل ملاحظه‌ای به وسیله مرزها و نهرها اشغال می‌شود و سطح مفید زیرکشت را کاهش می‌دهد.

۵ــ نگهداری کرت‌ها به‌صورت صاف و یا شیب قیفی ایجاد شده مشکل است.

اندازه کرت : اندازه کرت‌ها متفاوت است. مساحت بعضی از آن‌ها ممکن است تنها یک تا دومترمربع (برای کشت سبزیجات) و برخی دیگر در سطح هکتار (کشت برنج و یا حبوبات در خاک‌های رُسی) باشد.

اندازه کَرت به عواملی چون نوع خاک، مقدار جریان، عمق آبیاری، شیب زمین و شیوه زراعت بستگی دارد.(شکل ۲ــ۹)



شکل ۲ــ ۹ــ عوامل مؤثر در تعیین اندازه کرت

اگر کشاورز بخواهد به‌ازای مقادیر مختلف جریان، عمق آبیاری و انواع خاک اندازه‌های مناسبی برای کرت‌ها انتخاب کند، محاسبه ساده‌ای وجود ندارد ولی تجربهٔ آن‌ها بهترین راهنما برای تعیین اندازه مناسب کرت‌ها است. در جدول (۱ــ۹) مجموعه‌ای از این گونه تجربیات ارائه شده است. جدول مزبور راهنمای خوبی برای انتخاب اندازه کرت به‌ازای مقادیر مختلف جریان و انواع خاک است و با اجرای آن آبیاری به‌طور یکنواخت و کافی انجام می‌شود.

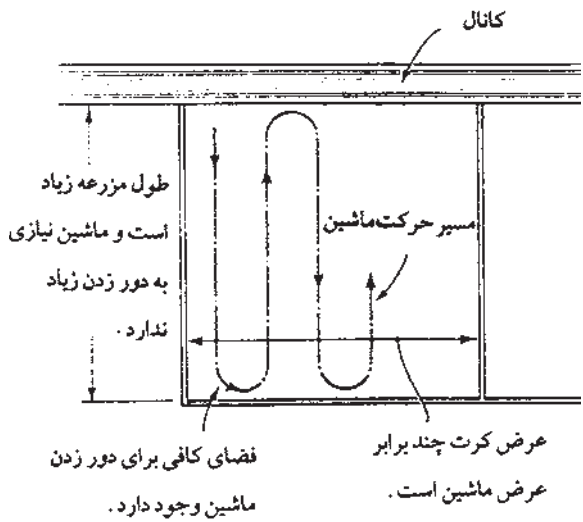
جدول ۱ــ۹ــ اندازه‌های مختلف کرت (هکتار)

مقدار جریان لیتر در ثانیه	نوع خاک			
	شن	لوم شن	لوم رس	رس
۱۵	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۱
۳۰	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۲
۶۰	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۲۴	۰/۴
۹۰	۰/۰۶	۰/۱۸	۰/۳۶	۰/۶
۱۲۰	۰/۰۸	۰/۲۴	۰/۴۸	۰/۸
۱۵۰	۰/۱	۰/۳	۰/۶	۱
۱۸۰	۰/۱۲	۰/۳۶	۰/۷۲	۱/۲
۲۱۰	۰/۱۴	۰/۴۲	۰/۸۴	۱/۴
۲۴۰	۰/۱۶	۰/۴۸	۰/۹۶	۱/۶

مثال : وقتی مقدار جریان ۶۰ لیتر در ثانیه و خاک لوم رُسی باشد، سطح کرت می‌تواند ۰/۲۴ هکتار باشد. دقت کنید که در مورد کوچکترین کرت‌ها هم باید مقدار جریان کنترل شود.

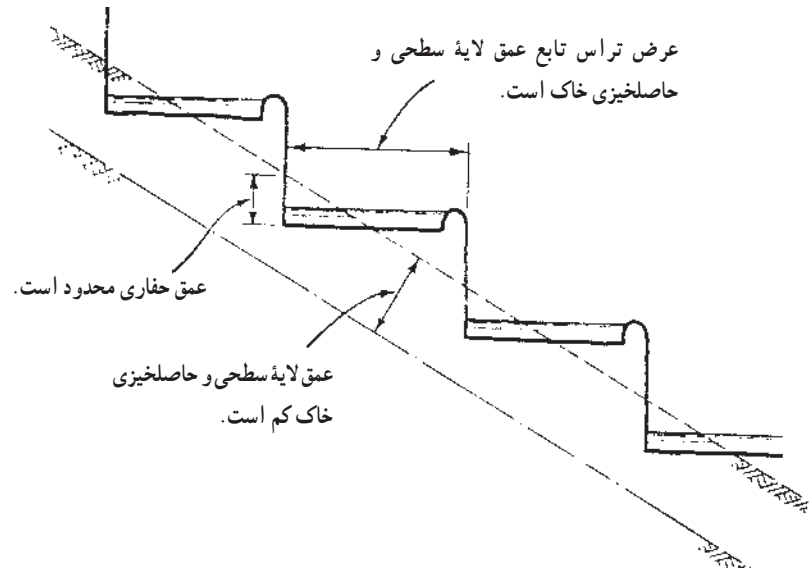
طول کرت : طول کرت عامل مهمی در پخش یکنواخت آب است و در شرایط مختلف از ۴۰۰ــ ۶۰ متر بسته به عواملی چون جنس خاک، شیب طولی کرت، دبی‌جریان و نفوذپذیری خاک متغیر است.

عرض کرت : عرض کرت تابع شیب عرضی زمین، شیب طولی کرت، مقدار آبدهی، نوع محصول و عرض کار ماشین آلات زراعی است و در هر صورت بین ۲۰ــ۵ متر و گاه ۳۰ متر است. (شکل ۳ــ۹)



شکل ۳ــ ۹ــ کرت‌های بزرگ که برای زراعت مکانیزه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شیب سطح زمین در ارتباط با اندازه و شکل کرت‌ها : اگر سطح خاک هر کرت کاملاً تراز باشد؛ آب به‌طور یکنواخت در سطح کرت پخش خواهد شد. بدین منظور باید سطح کرت با دقت تمام تسطیح شده و گودی‌ها و برجستگی‌های کوچک سطح خاک رفع شده باشد. اگر شیب طبیعی زمین تند باشد مثلاً در اراضی دامنه‌ای با شیب زیاد، تراس بندی(سکوبندی) سطح خاک تنها چاره کار خواهد بود. اندازه تراس نیز به نوبه خود تابع شیب زمین و عمق لایه سطحی و حاصلخیزی خاک است. (شکل ۴ــ۹)



شکل ۴ــ ۹ــ تراس‌های مخصوص آبیاری کرتی

شیب طولی کرت : به‌منظور جریان آب در کرت باید شیب طولی به طرف پایین وجود داشته باشد. حداقل شیب لازم برای جاری شدن آب ۱/۵ در هزار است و حداکثر شیب طولی نباید مقداری باشد که موجب فرسایش خاک شود. به طور کلی می‌توان شیب ۲ تا ۴ در هزار را مجاز دانست.

شیب عرضی کرت : اصولاً شیب زمین در جهت عرضی کرت باید صفر باشد، تا آب به‌طور یکنواخت و به‌موازات ضلع بزرگ کرت جریان یابد. ولی می‌توان حداکثر شیب حدود ۲ در هزار و یا اختلاف ارتفاع ۶سانتی‌متر در دوطرف عرض کرت را بپذیریم.

اندازه‌گیری شیب کرت

بنا به تعریف درصد تغییرات ارتفاع نسبت به فاصله دو نقطه را شیب آن دو نقطه می‌گویند که معمولاً به‌صورت درصد و یا زاویه نمایش داده می‌شود. برای تعیین شیب دو نقطه لازم است اختلاف ارتفاع و فاصله افقی آن‌ها را اندازه‌گیری کرد(این عمل در درس نقشه‌برداری به‌طور کامل تشریح می‌شود.) در اینجا به روش ساده شیلنگ تراز اشاره می‌شود.

آزمایش ۱ :

مواد و لوازم مورد نیاز : ژالون ، تراز ژالون، شیلنگ تراز و نوار اندازه‌گیری (متر)

روش کار

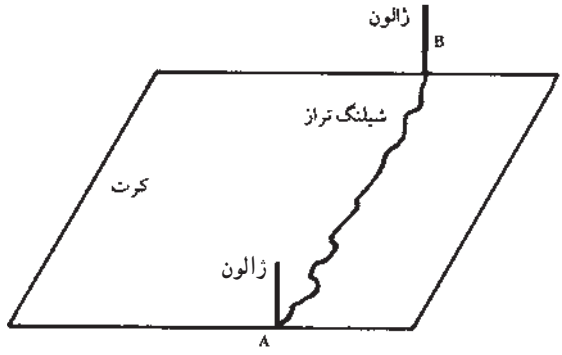
۱ــ در اضلاع مقابل به هم کرت، ژالون‌هایی را نصب و کاملاً تراز می‌کنیم.

۲ــ فاصله هر دو ژالون مقابل به هم را با نوار اندازه‌گیری (متر) تعیین می‌کنیم.

۳ــ شیلنگ تراز را به‌دقت پرآب کرده و دوسرشیلنگ را کنار دو ژالون مقابل هم قرار می‌دهیم (دقت شود شیلنگ تراز زیر پا فشرده نشود).

۴ــ فاصله سطح آب تا سطح خاک را در کنار ژالون‌ها اندازه می‌گیریم.

۵ــ اختلاف ارتفاع دو سطح آب را بر فاصله بین ژالون‌ها تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب می‌کنیم. عدد حاصل معرف شیب زمین در بین دو ژالون است.



شکل ۵ــ ۹

مثال :

اگر عرض کرت ۲۰متر و اختلاف ارتفاع دوسر شیلنگ ۰/۰۶ متر باشد. شیب عرضی کرت :

$$\text{شیب عرضی} = \frac{\text{اختلاف ارتفاع}}{\text{عرض کرت}} \times ۱۰۰$$

۳ در هزار یا ٪۰/۳ = ۱۰۰× $\frac{۰/۰۶}{۲۰}$ = شیب عرضی

برای تعیین شیب طولی کرت نیز همین‌طور عمل می شود.

طول مدت آبیاری کرت

معیار در آبیاری کرتی این است :

۱ــ حجم آبی که وارد کرت می‌شود به‌طور متوسط به اندازه عمق ناخالص آبیاری (Fg) برای پوشانیدن سطح کرت کافی باشد.

۲ــ زمان تماس آب با خاک در انتهای کرت معادل زمان لازم برای نفوذ عمق خالص آبیاری (Fn) باشد.

بر این اساس ابعاد کرت (طول و عرض) و دبی جریان و نفوذپذیری خاک رابطه تنگاتنگی با هم دارند. بهترین بازده آبیاری زمانی به‌دست می‌آید که دبی جریان آنقدر باشد که بتواند در مدت $\frac{۱}{۴}$ زمان نفوذ عمق خالص آبیاری، آب خود را به انتهای کرت رسانیده و در زمان کوتاهی عمق ناخالص آبیاری را در کرت به‌وجود آورد. در عین اینکه فرسایشی در خاک به‌وجود نیاورد.

آبیاری نشتی

این نوع آبیاری عبارتست از ایجاد جویچه‌های کوچک به‌نام شیار در طول مسیر آبیاری که معمولاً دارای شیب ملایم (کمتر از یک درصد) است (شکل۶ــ ۹).

شکل ۶ــ۹ــ نمایش آبیاری نشتی

این روش برای آبیاری تمام محصولات ردیفی و همچنین باغات و تاکستان‌ها نیز قابلیت کاربرد دارد. از نظر نوع خاک برای اکثر خاک‌ها به جز خاک‌های شنی سازگار است. از محدودیت‌های این روش می‌توان احتیاج به نیروی انسانی برای کنترل جریان آب، تسطیح کافی زمین، جمع‌آوری آب مازاد در انتهای شیار و عدم امکان کشت گیاهان دارای ریشه سطحی در خاک‌های سبک را نام برد.

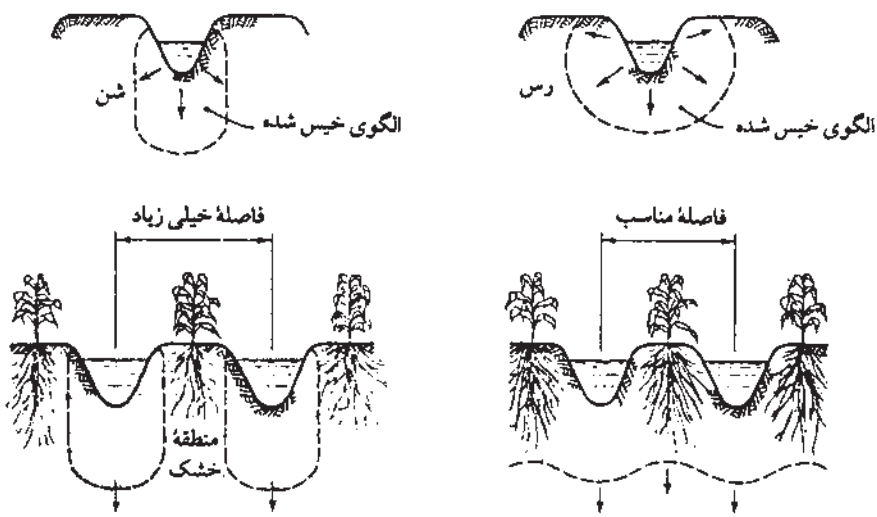
تعیین ابعاد نشتی : ابعاد جوی و پشته در آبیاری نشتی به عوامل زیر بستگی دارد :

حرکت آب در خاک

نوع گیاه

شیوهٔ زراعت

حرکت آب در خاک : از نظر آبیاری حرکت آب در مجرای خاکی مهمترین عامل است. آب درون شیار علاوه برکف، در دیواره‌های آن نیز نفوذ می‌کند.(شکل۷ــ ۹)



شکل ۷ــ ۹ــ اثر بافت خاک و فاصله شیارها در نفوذ آب در خاک

قسمت بالای پشتهٔ شیار نیز از طریق فرآیندی موسوم به جریان مویینه‌ای مرطوب می‌شود. فاصله بین شیارها باید آنقدر باشد که خاک پشته‌ها به‌خوبی مرطوب شود و این موضوع به نوع خاک بستگی دارد.

در خاک‌های شنی حرکت جانبی آب معمولاً کم است، بنابراین لازم است شیارها نزدیک هم باشند(تقریباً نیم متر) و در خاک‌های رسی دیواره‌های شیار بیشتر مرطوب می‌شوند و فاصله شیارها

می‌تواند حدود ۱/۲ متر یا بیشتر باشد.

در چنین مواردی اگر فاصله شیارها خیلی زیاد باشد، قسمتی از خاک واقع در بین آن‌ها خشک باقی می‌ماند و به گیاهان موجود در این قسمت‌ها آب کافی نمی‌رسد. در جدول (۲ــ ۹) با توجه به‌نوع خاک فواصل مناسبی برای شیار توصیه شده است.

جدول ۲ــ۹ــ فاصله مناسب شیارها در خاک‌های مختلف

ردیف	شرایط خاک	فاصله مناسب شیار (سانتی‌متر)
۱	شن درشت ــ پروفیل یکنواخت	۵۰
۲	شن درشت ــ روی خاک زیر سطحی فشرده شده	۴۵
۳	شن ریز تا لوم شنی ــ یکنواخت	۶۰
۴	شن ریز تا لوم شنی روی خاک زیر سطحی فشرده	۷۵
۵	شن متوسط ــ سیلت لوم یکنواخت	۹۰
۶	شن متوسط ــ سیلت لوم روی خاک زیر سطحی فشرده	۱۰۰
۷	لوم رسی و سیلتی ــ یکنواخت	۱۲۰
۸	خاک‌های رسی خیلی سنگین ــ یکنواخت	۹۰

نوع گیاه : برای سهولت در کار کاشت و داشت و برداشت محصولات معمولاً فاصله بین ردیف‌های گیاه ۰/۷۵ متر تا یک الی دو متر است. بعضی از گیاهان، از جمله سبزی‌ها را می‌توان به‌صورت دو ردیفی کاشت .در چنین مواردی عرض پشته‌ها باید بیشتر از عرض پشته‌ها در گیاهان یک ردیفی باشد. جدول (۳ــ ۹) با توجه به نوع گیاهان مختلف فواصل مناسبی برای شیارها توصیه شده است.

جدول ۳ــ۹ــ فاصله مناسب شیارها در بعضی گیاهان ردیفی

گیاه	فاصله مناسب سانتی‌متر	گیاه	فاصله مناسب سانتی‌متر	گیاه	فاصله مناسب سانتی‌متر
سورگوم	۸۰ــ۵۰	توتون	۹۰ــ۴۵	هویج	۵۰ــ۴۰
سیب‌زمینی	۳۵	نخود	۴۰ــ۳۰	گوجه‌فرنگی	۱۵۰ــ۱۲۰
چغندرقند	۶۰ــ۵۰	لوبیا	۵۰	بادمجان	۱۰۰ــ۷۵
نیشکر	۱۸۰ــ۱۲۰	عدس	۲۰	خیار	۱۰۰
پنبه	۱۹۰ــ۸۰	باقلا	۵۰ــ۳۰	خربزه و طالبی	۲۰۰
سویا	۶۰	ذرت علوفه‌ای	۶۰ــ۵۰	هندوانه	۳۰۰
گلرنگ	۵۵ــ۴۵	انواع کلم	۱۰۰ــ۶۰		

شیوهٔ زراعت : در بیشتر مزارع وسایل موجود برای زراعت و برداشت محصول نیز در تعیین فاصله شیارها نقش دارند. در این قبیل مزارع فاصله بین ردیف‌ها در مورد انواع گیاهان و خاک‌های مختلف یکسان انتخاب می‌شود تا بتوان در تمام قسمت‌های مزرعه از ابزار مشابه استفاده کرد. با وجود این، بهتر است فاصله ردیف‌ها به‌گونه‌ای باشد که رطوبت کافی به تمام قسمت‌های مزرعه برسد.

طول شیارها : انتخاب طول شیار به عوامل زیر بستگی دارد :

نوع خاک

مقدار جریان

عمق آبیاری

اندازه و شکل مزرعه

شیب زمین

شیوه زراعت

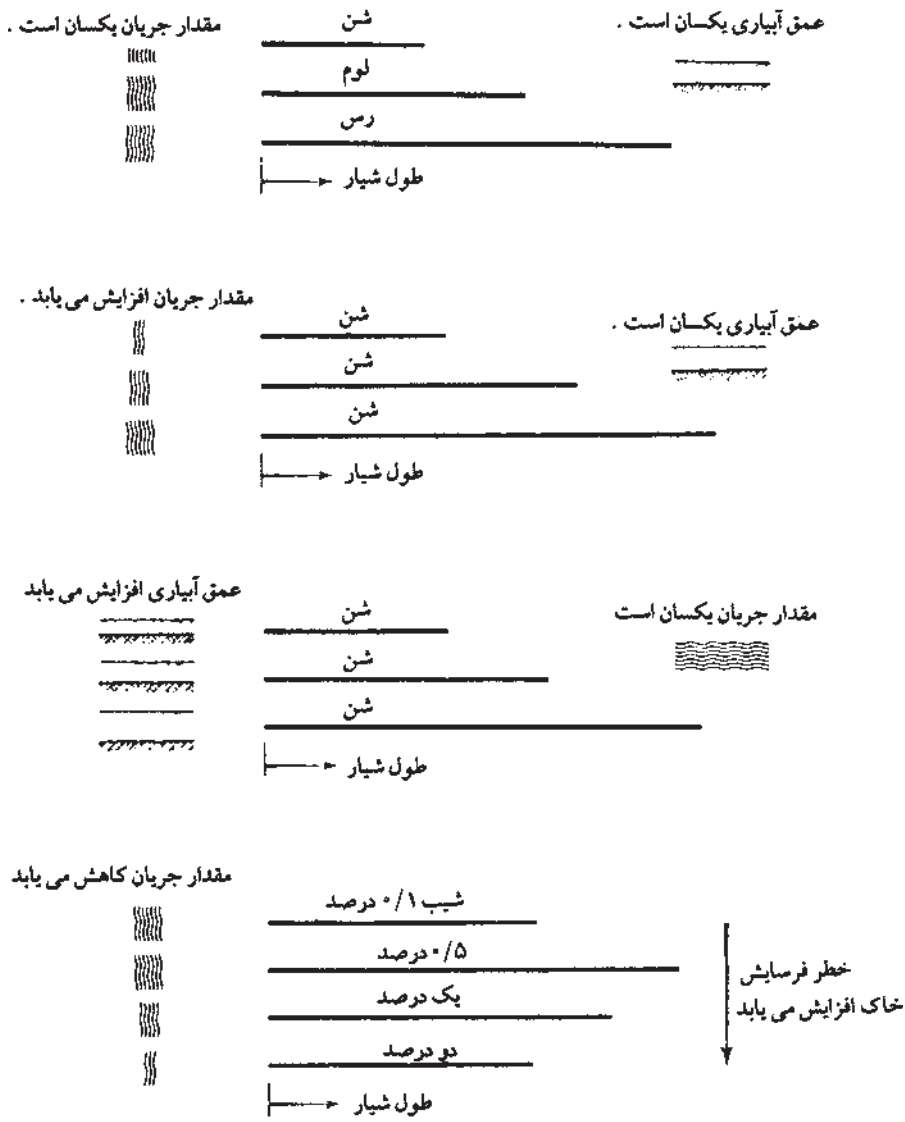
در تعیین طول شیار از بین عوامل فوق مهمترین آن‌ها نوع خاک، مقدار جریان، عمق آبیاری و شیب زمین است که برای درک این موضوع بهتر است به شکل ۸ ــ ۹ به‌دقت توجه کنید.

موقع آبیاری خاک‌های شنی، آب به سرعت در خاک نفوذ می کند. به این دلیل شیارها باید کوتاه باشد(۱۰۰متر یا کمتر) تا آب زودتر به انتهای مزرعه برسد، حتی زمانی که مقدار جریان آب زیاد است، اگر طول شیار به نسبت مقدار جریان خیلی زیاد باشد، در نزدیکی کانال آب زیادی بر اثر نفوذ در عمق هدر می‌رود.

در خاک‌های رسی آب به کندی در خاک نفوذ می‌کند، بنابراین شیارها می‌توانند طولانی‌تر از خاک‌های شنی باشند (تا ۸۰۰متر یا بیشتر)، حتی زمانی که مقدار جریان آب کم است. اگر طول شیار به نسبت مقدار جریان زیاد نباشد رواناب ایجاد می‌شود. زیرا برخلاف کرت‌ها در شیارها زمین غرقاب نمی‌شود و جریان آب باید آنقدر دوام داشته باشد که خاک بتواند آب کافی جذب کند.

در خاک‌های مشابه وقتی مقدار جریان زیاد است، شیار می‌تواند طولانی باشد زیرا آب به سرعت به طرف پایین شیار پیش می‌رود. با وجود این افزایش مقدار جریان نیز باید محدود باشد(حداکثر ۳ لیتر در ثانیه) تا خطر فرسایش خاک به وجود نیاید. طول شیارهایی که روی زمین شیبدار(شیب ۳٪) احداث می‌شوند نیز می‌تواند زیاد باشد.

اگر شیب زمین بیشتر از ۳٪ باشد، باید مقدار جریان کمتری مورد استفاده قرار گیرد تافرسایش



شکل ۸ ــ ۹ــ عوامل مؤثر در تعیین طول شیار

خاک رخ ندهد. برای تعیین بهترین طول شیار در وضعیت‌های مختلف راه حل ساده وجود ندارد. در این مورد رسم براین است که بر تجربه به‌دست آمده در محل یا تجربهٔ دیگران تکیه شود. (جدول ۴ــ۹)

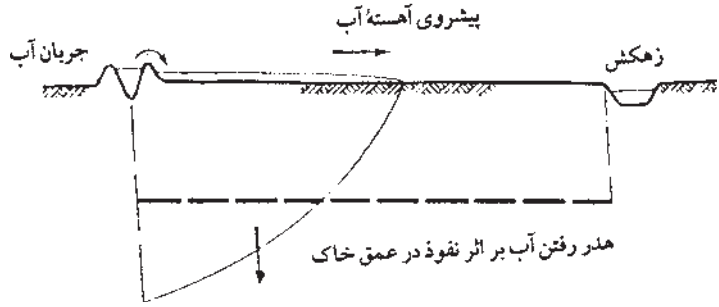
برای مثال مطابق جدول (۴ــ۹) در زمینی که خاک آن رسی است و شیب ۰/۱ درصد دارد، برای تأمین یک عمق آبیاری ۷۵میلی‌متر باید حداکثر مقدار جریان ۳ لیتر در ثانیه و مناسب‌ترین طول شیار

۳۴۰متر باشد. اگر بخواهیم عمق آبیاری ۱۵۰میلی‌متر باشد، طول شیار نیز باید به ۴۴۰متر برسد.

جدول ۴ــ۹ــ طول‌های پیشنهادی برای شیارها (متر)

شیب درصد	حداکثر مقدار جریان (لیتر در ثانیه)	متوسط عمق آبیاری (میلی‌متر)								
		رس		لوم			شن			
		۷۵	۱۵۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
۰/۰۵	۳	۳۰۰	۴۰۰	۱۲۰	۲۷۰	۴۰۰	۶۰	۹۰	۱۵۰
۰/۱	۳	۳۴۰	۴۴۰	۱۸۰	۳۴۰	۴۴۰	۹۰	۱۲۰	۱۹۰
۰/۲	۲/۵	۳۷۰	۴۷۰	۲۲۰	۳۷۰	۴۷۰	۱۲۰	۱۹۰	۲۵۰
۰/۳	۲	۴۰۰	۵۰۰	۲۸۰	۴۰۰	۵۰۰	۱۵۰	۲۲۰	۲۸۰
۰/۵	۱/۲	۴۰۰	۵۰۰	۲۸۰	۳۷۰	۴۷۰	۱۲۰	۱۹۰	۲۵۰
۱	۰/۶	۲۸۰	۴۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۷۰	۹۰	۱۵۰	۲۲۰
۱/۵	۰/۵	۲۵۰	۳۴۰	۲۲۰	۲۸۰	۳۴۰	۸۰	۱۲۰	۱۹۰
۲	۰/۳	۲۲۰	۲۷۰	۱۸	۲۵۰	۳۰۰	۶۰	۹۰	۱۵۰

اندازه‌گیری طول مدت آبیاری نشتی : همان‌طور که قبلاً در آبیاری کرتی گفته شد، در اینجا نیز معیار کار این است که در تمام طول شیار آبی معادل عمق خالص آب آبیاری (Fn) در خاک نفوذ کند. برای اینکه مقدار آب نفوذی در تمام شیار یکنواخت باشد، باید زمان تماس آب با خاک در تمام نقاط یکسان باشد. این کار در آبیاری شیاری ممکن نیست زیرا آبی که از یک طرف وارد شیار می‌شود پس از پیشروی و رسیدن به انتهای شیار به صورت تلفات سطحی از دسترس خارج می‌شود. همچنین مقداری آب به‌صورت نفوذ عمقی در ابتدای شیار تلف خواهد شد. (شکل ۹ــ ۹) هرچه عوامل مختلف از قبیل طول شیار، نوع خاک، شیب زمین، زمان آبیاری، سرعت نفوذ آب در خاک، کمتر مورد دقت قرار گرفته باشد، این تلفات بیشتر خواهد بود.



شکل ۹ــ ۹ــ تلفات آب در شیار

آبیاری تحت فشار

در این روش، جریان آب با استفاده از موتور و پمپ در شبکه‌ای از لوله‌های اصلی و فرعی به‌صورت تحت فشار جریان می یابد. از سیستم‌های تحت فشار به ذکر دو نوع عمدهٔ آن یعنی آبیاری بارانی و قطره‌ای می‌پردازیم.

آبیاری بارانی

آبیاری بارانی روشی است که در آن آب آبیاری را با سرعتی مساوی و یا کمتر از نفوذپذیری خاک به‌صورت باران برسطح زمین پخش می‌کنیم. مجموعه وسایل و لوله‌هایی که این آب را از منبع آبی تا دهانه آبپاش منتقل می‌کند شبکه آبیاری بارانی نامیده می‌شود.

آبیاری بارانی به خاطر مزایای قابل توجه آن از اهمیت به‌سزایی برخوردار است و در کشور ما به‌دلیل کمبود آب آبیاری و رشد بی‌رویه جمعیت و تقاضای روزافزون مواد غذایی این اهمیت نمود بیشتری خواهد داشت. طراحی صحیح آبیاری بارانی این امکان را می‌دهد که بازده کار را بالا برده و تلفات آبیاری را به حداقل برسانیم.

موارد استفاده از آبیاری بارانی

وقتی صحبت از این می‌شود که آبیاری بارانی کجا و چه زمانی می‌تواند بیشترین سودمندی را داشته باشد، موضوع توزیع یکنواخت آب در درجه اول اهمیت قرار می‌گیرد. سیستم آبیاری که بتواند با کمترین هزینه، آب مورد نیاز زمین را به‌طور یکنواخت توزیع کند، بهترین روش قلمداد می‌شود. استفاده از سیستم آبیاری بارانی در وضعیت‌های زیر مطلوب خواهد بود :

ـ خاک بیش از حد متخلخل است و با آبیاری سطحی توزیع یکنواختی به‌وجود نخواهدآمد.

ـ عمق خاک حاصلخیزکم بوده و نتوان تسطیح لازم برای آبیاری سطحی به وجود آورد.

ـ شیب زمین زراعی تند و خاک به سادگی قابل فرسایش باشد.

مزایای آبیاری بارانی

۱ــ صرفه‌جویی در مصرف آب به‌علت تلفات کم آب آبیاری و امکان آبیاری کم و مکرر.

۲ــ عدم نیاز به تسطیح در زمین‌های دارای پستی و بلندی.

۳ــ کاهش هزینه کارگر آبیار نسبت به روش‌های سطحی.

۴ــ در عملیات زراعی (به‌خصوص عملیات مکانیزه) تداخل و یا مانعی ایجاد نمی‌کند.

۵ــ اندازه‌گیری آب و کنترل آن راحت‌تر صورت می‌گیرد.

۶ــ دما و رطوبت گیاه را می‌توان کنترل کرد.

۷ــ محافظت از گیاه در مقابل یخبندان ناشی از سرمای زودرس.

۸ــ امکان کاربرد انواع کودها، آفت‌کش‌ها و اصلاح‌کننده‌های خاک. به شکلی سریع، اقتصادی، آسان و مؤثر همراه با آب آبیاری.

۹ــ در روزهای گرم می‌توان با آبیاری محیط گیاه را خنک کرد.

۱۰ــ به‌علت دارا بودن اکسیژن محلول در آب، آبیاری برای گیاه مفیدتر است.

معایب آبیاری بارانی

۱ــ هزینه زیاد.

۲ــ زیاد بودن مقدار تبخیر در حین پاشش.

۳ــ کم شدن درجه حرارت هوای محیط در موقع تبخیر و کندشدن رشدگیاه.

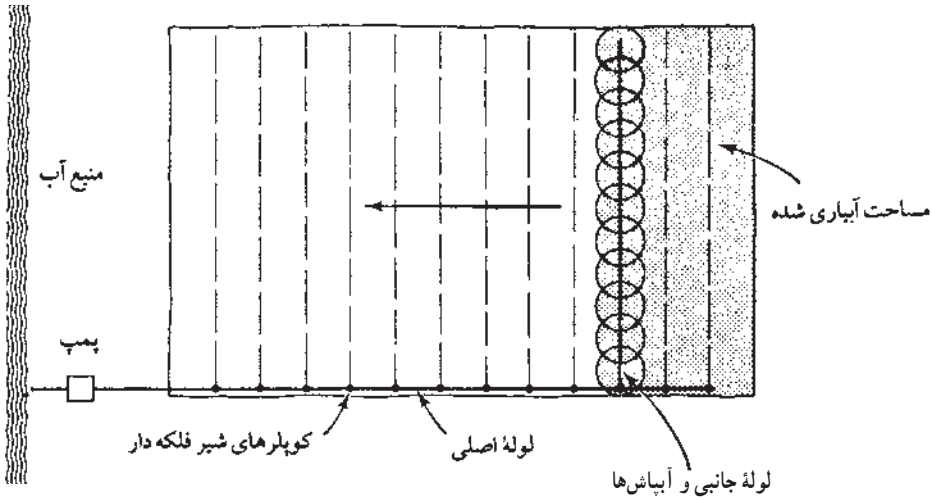
۴ــ مشکل شدن عمل لقاح در موقع آبیاری.

۵ــ کم شدن مرغوبیت محصول در موقع رسیدن دانه.

۶ــ عدم یکنواختی توزیع آب در مناطق بادخیز .

تشکیلات یک شبکه آبیاری بارانی

سیستم آبیاری بارانی به‌شکل متنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دلیل آن‌هم تنوع گستردهٔ وضع خاک و محصولات است که باید سیستم آبیاری مناسب آن‌ها باشد.



شکل ۱۰ــ ۹ــ اجزای سیستم آبیاری بارانی

اجزای اصلی سیستم آبیاری بارانی

۱ــ منبع آب : در اینجا نیز مانند آبیاری ثقلی می‌توان از آب چاه عمیق، نیمه عمیق، رودخانه، قنات، چشمه، استخر، دریاچه و غیره ... استفاده کرد. لازم به‌دقت است که کیفیت آب در مقایسه با آبیاری ثقلی باید بالاتر باشد.

۲ــ منبع تأمین فشار : برای آنکه آب به‌صورت قطرات ریز و یکنواخت در یک شعاع مناسب در اطراف آبپاش پخش شود، لازم است که آب در لوله‌های انتقال آب از محل منبع تا آخرین نقطه خروجی از آبپاش، تحت فشار قرار داشته باشد. بدین منظور از پمپ، منبع هوایی و استخرهایی که در ارتفاعات ساخته شده‌اند استفاده می‌شود.

۳ــ شبکه لوله‌ها شامل لوله‌های اصلی و لوله‌های جانبی

الف) لوله‌های اصلی : لوله اصلی آب را از پمپ به لوله‌های جانبی می‌رساند. در برخی موارد لولهٔ اصلی ثابت است و در مزرعه، روی زمین و یا اغلب زیرزمین قرارمی‌گیرد و در برخی موارد قابل حمل است. جنس این لوله‌ها معمولاً از فولاد گالوانیزه ــ سیمان آزبست، آلومینیوم سبک یا پلاستیک است.

ب) لوله‌های جانبی : لوله جانبی آب را از لوله اصلی به آبپاش‌ها می‌رساند این لوله می‌تواند قابل حمل یا ثابت باشد و جنس آن مشابه لوله اصلی است، ولی معمولاً کوچکتر است.

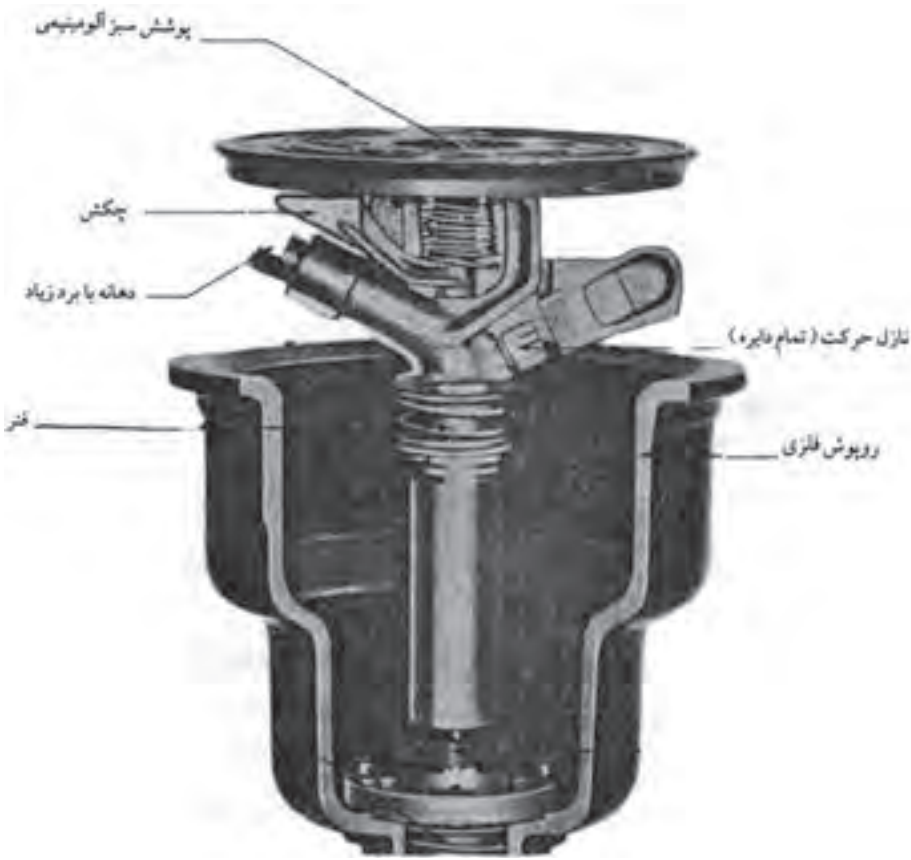
۴ــ آ بپاش‌ها : آبپاش‌ها آخرین بخش یک شبکه آبیاری بارانی و در زمرهٔ مهمترین قسمت‌های آن است. آبپاش‌ها دارای انواع مختلفی هستند که دو نوع آبپاش اصلی که در کشاورزی مورد استفاده

قرار می‌گیرند عبارتند از : آبپاش چرخشی و لوله روزنه‌دار.

آبپاش چرخشی رایجترین نوع است. در بعضی سیستم‌ها از تعداد زیادی آبپاش کوچک که با هم کار می‌کنند، استفاده می شود (شکل ۱۱ــ۹). در بقیهٔ سیستم‌ها تنها از یک آبپاش بزرگ یا گان استفاده می‌شود(شکل ۱۲ــ۹). نوع دیگری از آبپاش نیز در چمن‌کاری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱۳ــ۹).

شکل ۱۱ــ ۹ــ آبپاش چرخشی

شکل ۱۲ــ ۹ــ آبپاش بزرگ یا گان

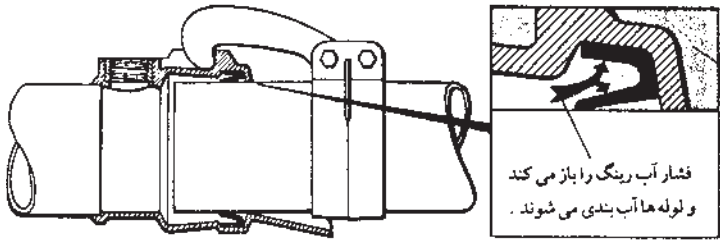


شکل ۱۳ــ ۹ــ آبپاش چمنی

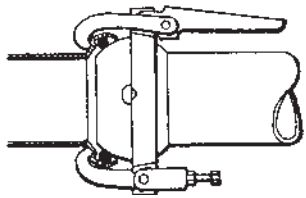
۵ــ ضمائم : به‌منظور استفاده از شبکه آبیاری بارانی برای کودپاشی، سمپاشی و مبارزه با یخزدگی وسایل و ضمائمی به شبکه اضافه می‌شود که از آن جمله می‌توان از تانک کود، تانک سم و دستگاه‌های الکتریکی هشدار دهنده نام برد. همچنین در شبکه لوله‌ها ضمائمی به‌کار می‌رود از قبیل :

کوپلر : لوله‌های اصلی و جانبی به وسیله کوپلرهای (متصل‌کننده‌ها) مخصوصی به یکدیگر وصل می‌شوند، به‌طوری که می‌توان سریع و راحت آن‌ها را وصل و جدا کرد. (شکل ۱۴ــ۹)

شیر فلکه : شیرفلکه جریان آب و فشار را در لوله‌های اصلی و جانبی کنترل می‌کند. (شکل ۱۵ــ۹)

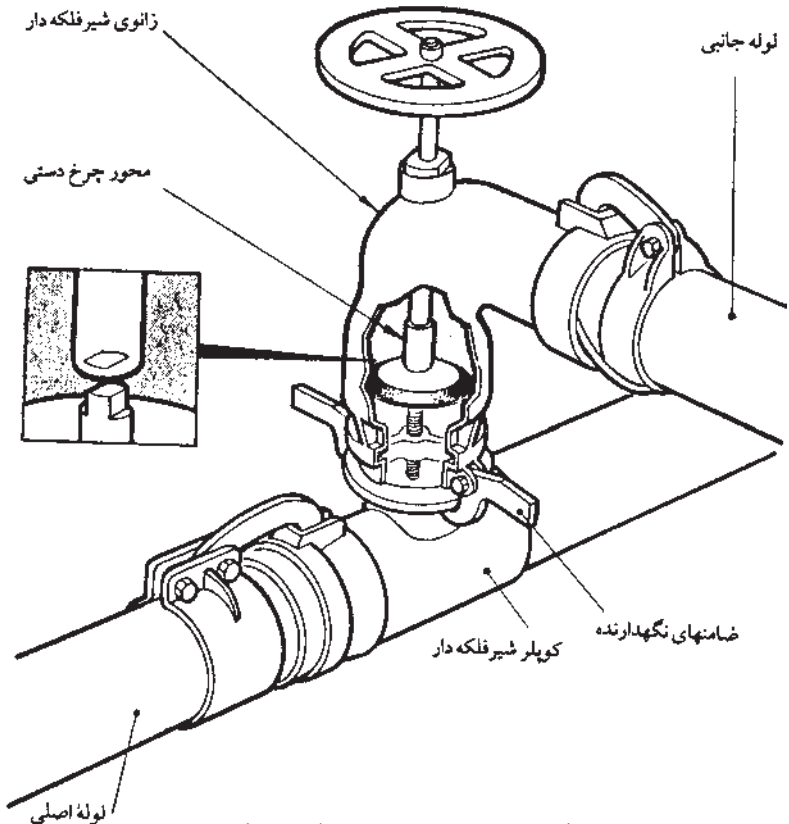


الف) یک نمونه کوپلر که با فشار آب، آب‌بندی می‌شود.



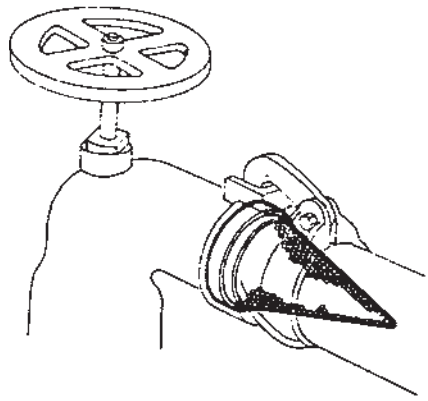
ب)یک نمونه کوپلر که به صورت مکانیکی آب‌بندی می‌شود.

شکل ۱۴ــ ۹ــ انواع کوپلرها



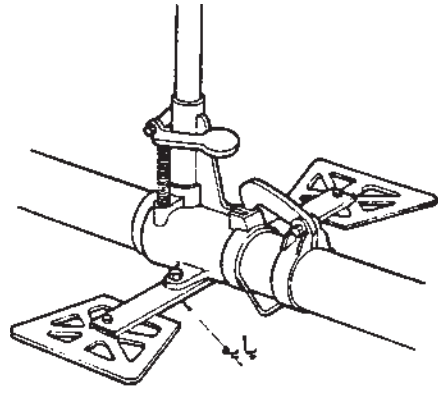
شکل ۱۵ــ ۹ــ قسمتهای مختلف یک شیرفلکه

صافی :اگر آب‌تمیزنباشد به احتمال زیاد نازل (سوراخ) آبپاش‌مسدود می‌شود. برای‌جلوگیری از انسداد نازل،در محل مکش پمپ و نقاط مختلف سیستم لوله‌کشی، صافی می‌گذارند.(شکل ۱۶ــ ۹)



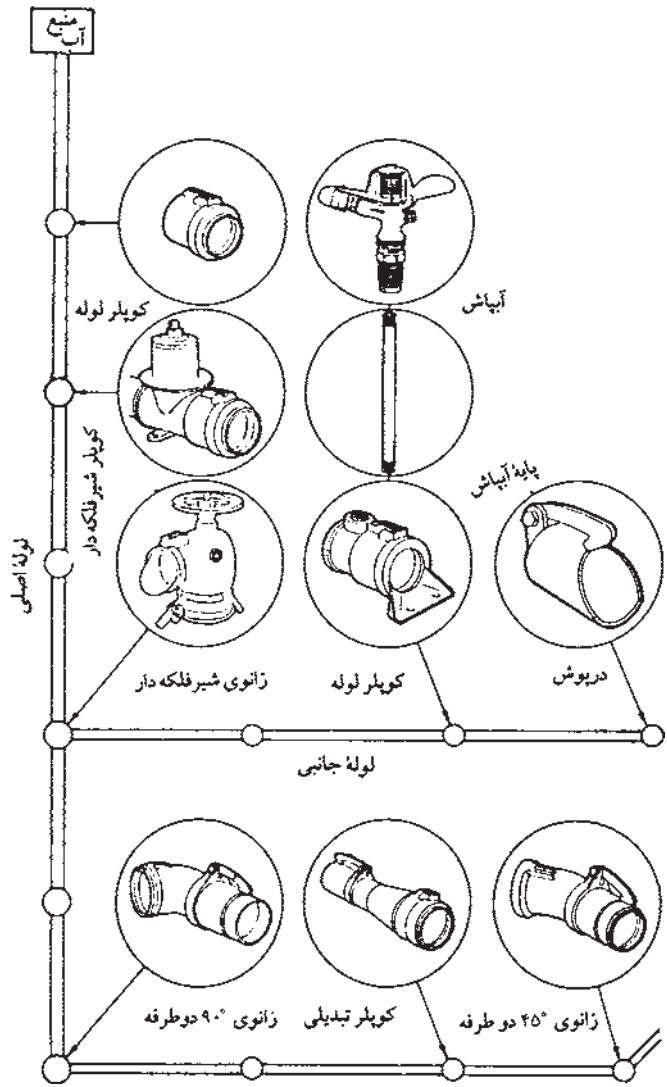
شکل ۱۶ــ ۹ــ ورق صافی که در ابتدای لوله جانبی مورد استفاده قرارمی گیرد.

پایه آبپاش : پایه آبپاش لوله باریکی است که آبپاش را به لوله‌جانبی وصل می‌کند.(شکل ۱۷ــ۹)



شکل ۱۷ــ ۹ــ پایه آبپاش

تجهیزات مخصوص لوله‌کشی : این تجهیزات عبارتند از : زانویی، تبدیل سه‌راهی و درپوش... (شکل ۱۸ــ۹).



شکل ۱۸ــ ۹ــ نحوهٔ استفاده از تجهیزات مخصوص لوله‌کشی و قطعات دیگر در یک سیستم آبپاش قابل حمل

سیستم‌های آبیاری بارانی

انواع مختلفی دارند که می‌توان آن‌ها را در سه نوع کلی دسته‌بندی کرد.

سیستم‌های با جابه‌جایی متناوب : در این نوع سیستم‌ها معمولاً لوله‌های فرعی متحرک بوده و بعد از هر آبیاری به محل جدید خود منتقل شده و شروع به آبیاری می‌کند. این جابه‌جایی لوله‌های فرعی،

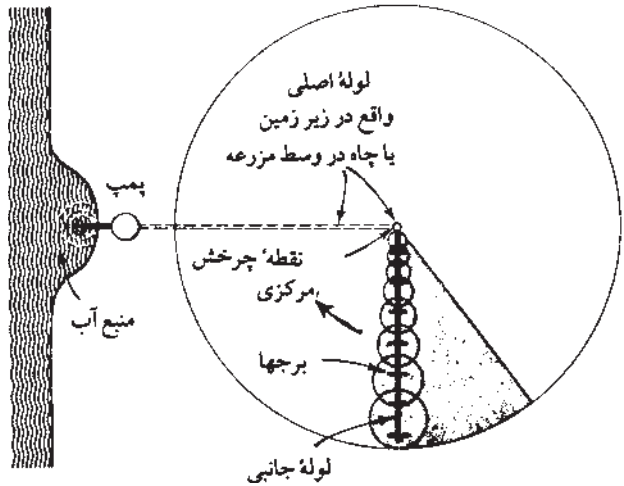
ممکن است توسط کارگر انجام گرفته و یا با نیروی مکانیکی جابه‌جا شود. (شکل ۱۹ــ۹)

الف) جابجایی توسط کارگر

ب) جابجایی با نیروی مکانیکی

شکل ۱۹ــ ۹

سیستم با جابه‌جایی(حرکت) مداوم : در این سیستم لوله های فرعی به‌طور مداوم در حرکت هستند. یک نوع از این سیستم سنترپیوت[1] است که در آن لوله فرعی در یک نقطه مرکزی ثابت بوده و انتهای دیگر آن با حرکت دورانی می‌تواند مساحت دایره‌ای را به‌شعاع طول لوله فرعی آبیاری کند. (شکل ۲۰ــ۹ و ۲۱ــ۹)



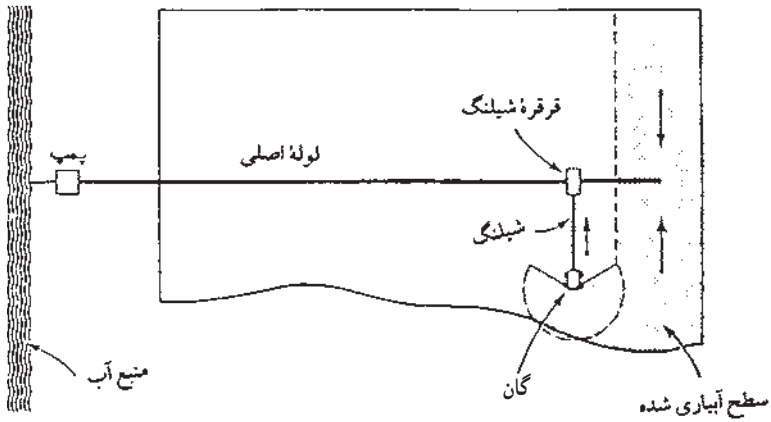
شکل ۲۰ــ۹ــ طرز قرارگرفتن ماشین آبیاری بارانی با نقطهٔ چرخشی مرکزی

شکل ۲۱ــ۹ــ لوله جانبی سیستم سنتر پیوت

۱ــ Center Piuot

یک نوع دیگر از این سیستم، سیستم گان متحرک است که در آن یک آبپاش بزرگ بر روی ارابه‌ای متحرک نصب شده و ضمن حرکت عمل آبیاری را انجام می‌دهد. یک نوع از این سیستم را شیلنگ پیچ[1](گان) می‌نامند. (شکل ۲۲ــ ۹)

الف) ماشین شیلنگ پیچ

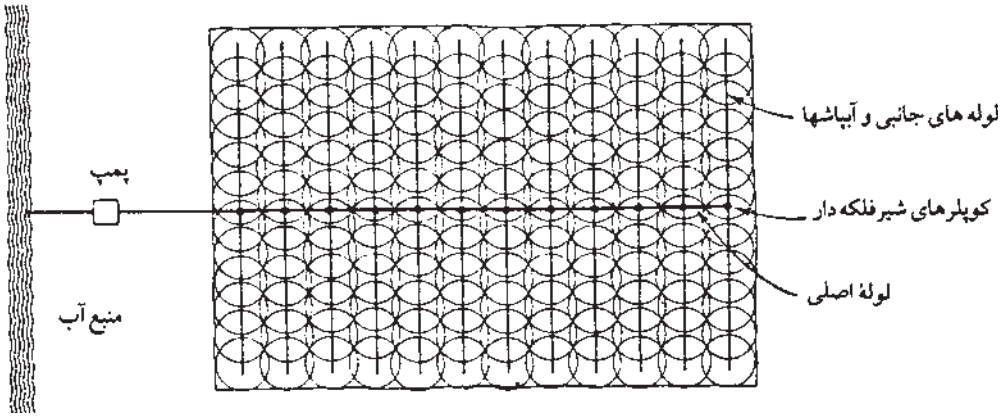


ب) طرح نمونه یک سیستم شیلنگ پیچ

شکل ۲۲ــ ۹

۱ــ Gun

سیستم ثابت (بدون جابه‌جایی) : در این سیستم به اندازه کافی لوله‌های فرعی وجود دارند و لذا احتیاجی به جابه‌جایی لوله‌ها برای تمام یک دورهٔ آبیاری نیست. بنابراین برای آبیاری یک مزرعه با این سیستم فقط باید سیستم را به‌کار انداخت. (شکل۲۳ــ۹)



شکل ۲۳ــ۹ــ سیستم ثابت فصلی یا دائمی

آبیاری قطره‌ای

در این روش آب از منبع تا پای بوته، به‌وسیله لوله‌های آبرسانی به حالت تحت فشار منتقل و در انتها به صورت قطراتی از شبکه لوله‌ها خارج و در پای بوته ریخته می‌شود.

این روش مدت‌هاست که در کشورهای مختلف جهان مورد استفاده قرارمی‌گیرد. ولی به‌خاطر هزینه‌های زیاد و تکنیک نسبتاً پیشرفته از یک طرف و نمک‌ها و مواد جامد معلق در آب‌های ایران از طرف دیگر، استفاده گسترده از این روش در ایران با مشکلات زیادی روبرو است. در هرحال با توجه به‌محدودیت منابع آب در کشور ما نمی‌توان از این روش صرفنظر کرد بلکه باید در پی رفع مشکلات آن بکوشیم.

موارد استفاده از آبیاری قطره‌ای : گرچه آبیاری قطره‌ای را برای شرایط مختلف و اقلیم‌های متفاوت می‌توان به‌کار برد، معذالک این روش در شرایط ویژه بهترین نتیجه را خواهد داد.

در اقلیم‌های معتدل : در فصل رشد و در اراضی که از آب آبیاری برای جبران کمبود بارندگی تا حد نیاز آبی گیاه استفاده می کنند این روش به‌کار می‌رود .

در باغ‌های میوه جوان که ریشه درختان توسعه چندانی ندارند : همچنین در موِستان‌ها روش مناسبی است.

در گیاهانی که فاصله بوته‌ها کم و تعداد آن‌ها در واحد سطح زیاد است : مانند موز، مو، کنگر، آبیاری قطره‌ای مناسبترین روش‌ها است .

در استفاده از آب‌های لب‌شور : برای آبیاری سبزیجات و اراضی مرتفع که آبرسانی بسیار مشکل یا غیر ممکن است این روش آبیاری را امکان پذیر می‌سازد.

مزایای آبیاری قطره‌ای

۱ــ به سبب کاهش تبخیر از سطح خاک و نفوذ عمقی ناچیز کارآیی مصرف آب را افزایش می‌دهد.

۲ــ با کاهش سطح مرطوب خاک، مشکلات ناشی از وجود حشرات و بیماری‌ها و رشد قارچ‌ها نیز کاهش می یابد.

۳ــ به سبب موضعی بودن رطوبت خاک رویش علف‌های هرز پراکنده و کنترل آن‌ها آسان است.

۴ــ خودکار کردن سیستم و کنترل از راه دور برای تمام قسمت‌های آبیاری قطره‌ای امکان‌پذیر است و نیاز به کارگر به حداقل می‌رسد.

۵ــ آبیاری قطره‌ای مانع عملیات داشت نمی‌شود.

۶ــ امکان کود دادن همراه با آب آبیاری وجود دارد.

۷ــ سرعت باد و پستی و بلندی زمین نمی‌تواند موجب عدم یکنواختی پخش در سیستم آبیاری قطره‌ای شود.

معایب آبیاری قطره‌ای

۱ــ هزینه زیاد در تأسیس آن

۲ــ محصولات زراعی مانند گندم را که به صورت متراکم کشت می‌شوند، نمی‌توان با روش قطره‌ای آبیاری کرد.

۳ــ اساسی‌ترین مشکل در آبیاری قطره‌ای مسدودشدن مجرای باریک عبور آب در قطره‌چکان‌ها است.

اجزای شبکه آبیاری قطره‌ای

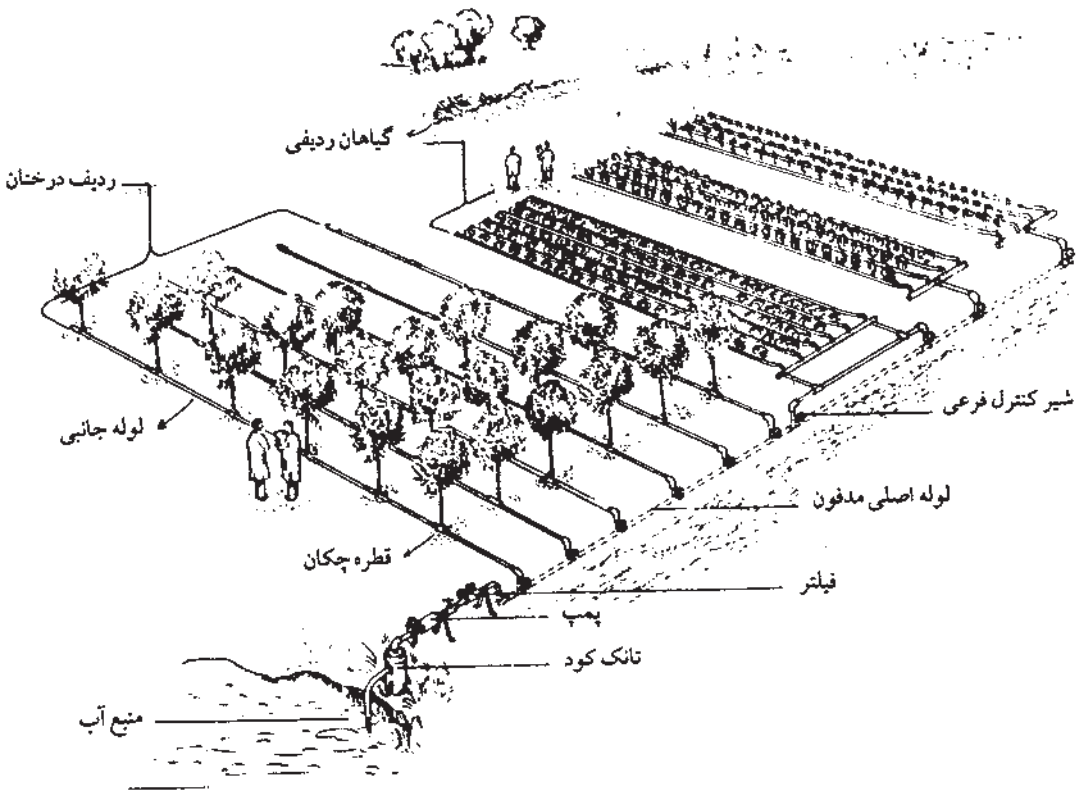
اجزای اصلی سیستم آبیاری قطره‌ای که وجود آن‌ها غیرقابل اجتناب است عبارتند از :

ــ قطره چکان‌ها

ـ لوله‌های جانبی
ـ لوله‌های اصلی
ـ تأسیسات آبگیر
ـ دستگاه‌های تنظیم‌کننده فشار
ـ دستگاه‌های تصفیه آب

اجزای فرعی یا تکمیلی سیستم آبیاری قطره‌ای را به شرح زیر می‌توان نام برد :

ـ فشارسنج، دماسنج و دستگاه‌های اندازه‌گیری دبی
ـ تانک کود
ـ ادوات خودکار و کنترل از راه دور (شکل ۲۴ـ ۹)

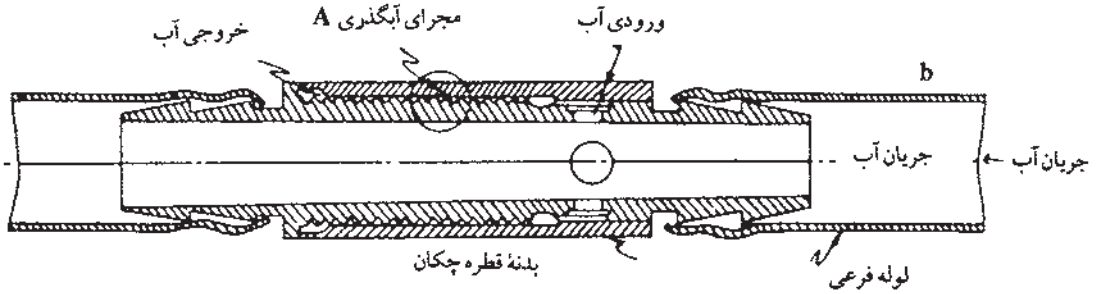


شکل ۲۴ـ۹ـ شبکه آبیاری قطره‌ای

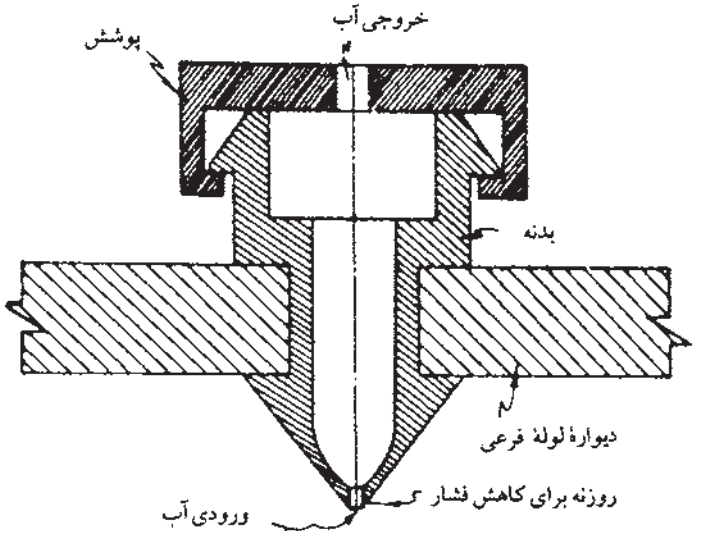
در این بخش اجزاء اصلی را تا حد امکان مورد بررسی قرارمی‌دهیم :

قطره‌چکان : قطره‌چکان‌ها آخرین اتصالات سیستم آبیاری قطره‌ای به‌شمار می‌روند که آب را به یکی از شکل‌های قطره یا فوران از خود خارج کرده و در اختیار گیاه قرارمی‌دهند .

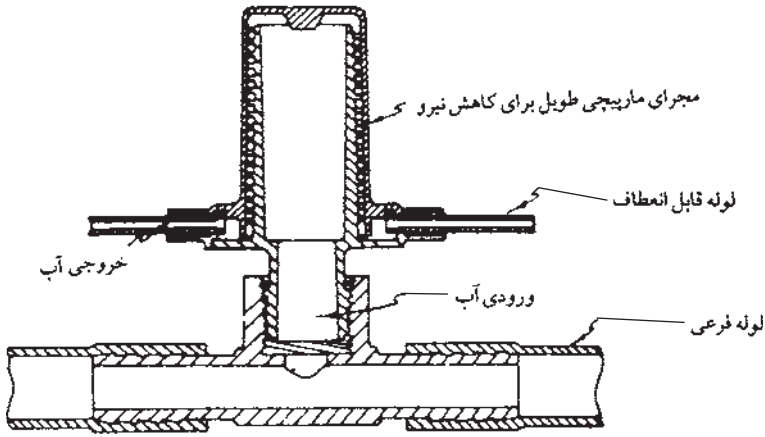
قطره‌چکان‌ها آب تحت فشار داخل لوله را به فشار صفر رسانیده و به صورت قطره خارج می‌کنند . براین اساس انواع قطره‌چکان‌ها به سیستم‌های مخصوص کاهش انرژی مجهز هستند (شکل ۲۵ــ۹ و ۲۶ــ۹).



الف) قطره‌چکان خطی

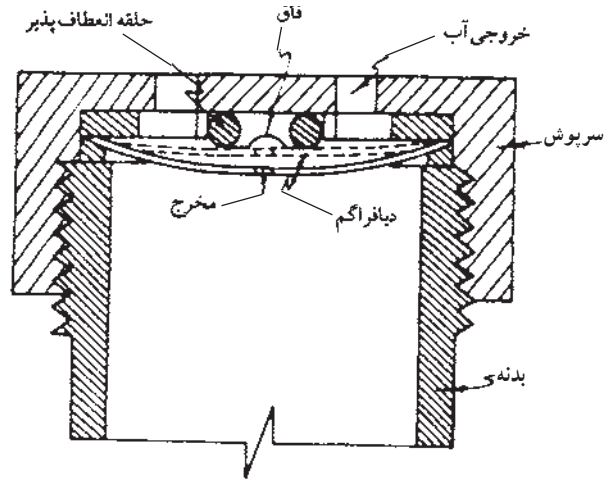


ب) قطره‌چکان نتافیم



ج) قطره چکان سه راهی

هـ) قطره چکان صفحه‌ای



د) قطره چکان دارای دیافراگم

و) قطره چکان با چند دهانه

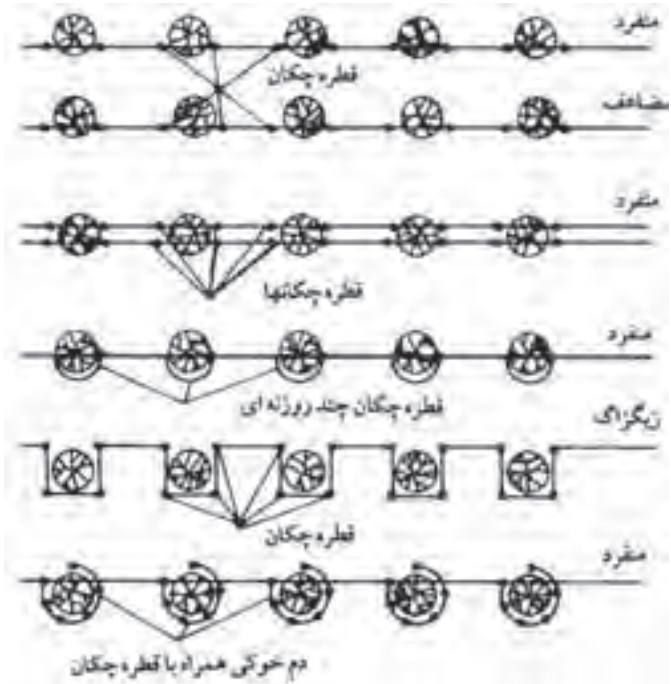
شکل ۲۵ــ۹ــ انواع قطره‌چکان‌ها

شکل ۲۶ــ ۹

لوله‌های جانبی : لوله‌های جانبی آب را از لوله اصلی یا نیمه اصلی گرفته و به قطره‌چکان‌ها می‌دهد. این لوله‌ها دارای قطر باریکی بوده و از جنس قابل‌انعطاف و مقاوم در برابر نور خورشید و یخبندان هستند شکل(۲۷ــ ۹). آرایش این لوله‌ها در سطح باغ یا مزرعه به نوع گیاه، سن گیاه، اقلیم منطقه و نوع خاک بستگی دارد. در شکل ۲۸ــ۹ چند نوع آرایش دیده می‌شود.

لوله‌های اصلی و نیمه اصلی : این لوله‌ها آب را از کنترل مرکزی گرفته و به لوله‌های جانبی می‌رسانند. معمولاً در زیرزمین کار گذاشته می‌شوند و از مواد زنگ نزن ساخته می‌شوند (شکل ۲۷ــ۹).

شکل ۲۷ــ۹ــ لوله اصلی و جانبی و نحوه اتصال آنها



شکل ۲۸ــ۹ــ آرایش لوله های جانبی

دستگاه‌های کنترل مرکزی : وسایل کنترل مرکزی به مجموعه اتصالاتی گفته می‌شود که در شبکه لوله‌ها بین تأسیسات آبگیر و نقطه ورودی لوله‌های توزیع‌کننده نصب می‌شوند. و عبارتند از :

۱ــ موتور پمپ

۲ــ سیکلون

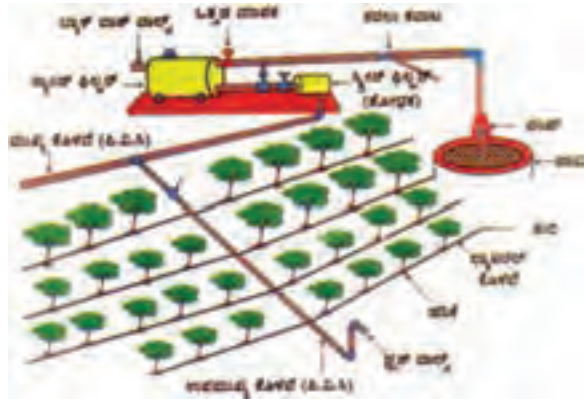
۳ــ فیلتر شن

۴ــ تانک کود

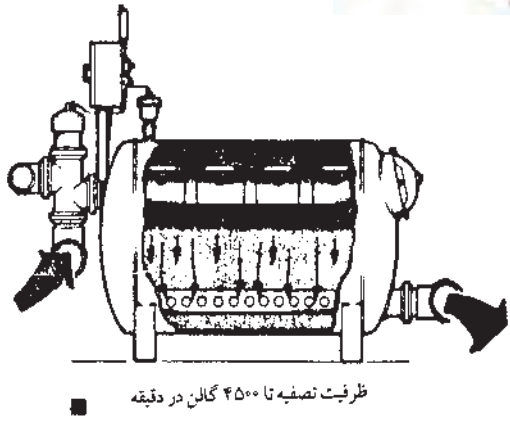
۵ــ مرکز کنترل

۶ــ فیلتر توری

دستگاه‌های تصفیه آب : کیفیت آب یکی از عوامل مهم در آبیاری قطره‌ای است. در صورتی که آب آبیاری از کیفیت مطلوبی برخوردار نباشد و وجود مواد زائد در آن موجب انسداد قطره‌چکان‌ها شود، مجبوریم در تصفیه آن کوشا باشیم. مواد محلول مضر می‌تواند یون‌های آهن و کلسیم، مواد معلق رسی و سیلت و موجودات میکروسکپی یا اسپور قارچ‌ها باشند.



شکل ۲۹ــ۹ــ تشکیلات یک شبکه آبیاری قطره‌ای



شکل ۳۰ــ ۹ــ فیلتر شنی

ارزشیابی

۱ــ روش‌های اصلی آبیاری کدامند؟

۲ــ به‌نظر شما اگر دبی ۱۵ لیتر در ثانیه را در خاک رسی وارد کرت کنیم ابعاد کرت چه اندازه می تواند باشد ؟

۳ــ شکل ۲ــ۹ را تشریح کنید.

۴ــ شیب عرضی کرت چه اثری در آبیاری کرت دارد؟

۵ــ شکل ۸ــ۹ را تشریح کنید.

۶ــ به نظر شما چگونه می‌توان در زمین‌های با شیب زیاد آبیاری نشتی کرد؟

۷ــ رابطه بین دبی با زمان آبیاری چیست؟

۸ــ چگونه می‌توان با آبیاری بارانی از یخبندان جلوگیری کرد؟

۹ــ کوپلرها چگونه عمل می‌کنند؟

۱۰ــ مزایای آبیاری قطره‌ای چیست؟

۱۱ــ مکانیسم کار قطره‌چکان‌ها چیست؟

واژه‌نامه

Absorption, Uptake	جذب
Acid soil	خاک اسیدی
Acidity	اسیدیته ــ واکنش
Adhesion	نیروی چسبندگی
Adjusted sodium adsorption ratio (SAR)	نسبت اصلاح شده جذب سدیم
Adsorption	جذب سطحی
Aeration	تهویه
Aggregate stability	پایداری خاک دانه
Aggregates	خاکدانه
Aggregation	دانه‌بندی
Albedo	بازتابش
Alluvium	آبرفت
Anion exchange phenomenon	پدیده تبادل آنیونی
Aridity	خشکی
Atomosphere	جو
Available Moisture	رطوبت قابل استفاده، ظرفیت نگهداری
Available nutrients	عناصر قابل جذب
Available Water	آب قابل استفاده
Badland	هزار دره (شیارهای روی تشکیلات مارنی)
Blocklike	مکعبی
Boiling point	نقطه جوش
Bulk density	وزن مخصوص ظاهری

Calcareous	آهکی
Capillary force	نیروی کاپیلاریته = موئینه‌ای
Cation exchange capacity	ظرفیت تبادل کاتیونی
Care and maintenance	مراقبت و نگهداری
Cation exchange phenomenon	پدیده تبادل کاتیونی
Check	کرت
Check irrigation	آبیاری کرتی یا حوضچه‌ای
Clay	رس
Clod	کلوخ
Cohesion	نیروی پیوستگی
Columnar	ستونی
Compact	متراکم
Conduction of water	آبرسانی
Crumb	مدور
Crust	سله
Deficiency, deficit	کمبود، فقر، دارای کمبود
Degradation	تخریب
Delivery Channel	نهر آب رسان
Dew point	نقطه شبنم
Diffusion	پخشیدگی
Discharge	دبی
Dispersion	انتشار ــ پخش
Ditch	نهر
Ditcher	نهرکن

Drinage	زهکشی
Edaphology	خاک‌شناسی
Effective Precipitation	باران مؤثر
Efficiency	بازده
Efflorescence	شوره (زدن)
Electrical conductivity	هدایت الکتریکی
Element	عنصر
Erosion	فرسایش
Evaporation	تبخیر
Evapotranspiration	تبخیر و تعرّق
Exchange	تبادل
Exchangable anion	آنیون تبادلی
Exchangable sodium percentage = ESP	درصد سدیم تبادلی
Fertility	حاصلخیزی
Fertilizer	کود
Field capacity	رطوبت حد ظرفیت زراعی
Flood	سیل
Flooding	غرقاب ــ آبیاری غرقابی
Flow velocity	سرعت جریان
Fog	مه
Free surface	سطح آزاد
Freezing point	نقطه انجماد
Furrow irrigation	آبیاری جویچه‌ای
Glacier	یخچال

Glacier valley	دره یخچالی
Gradation	دانه‌بندی
Gradient	شیب
Grading	شیب‌بندی
Gravelly	سنگ ریزه‌ای
Gravitational water	آب ثقلی
Green manuor	کود سبز
Gully erosion	فرسایش خندقی
Halophytes	گیاهان نمک دوست
Heavy lands	اراضی سنگین
Horizon	افق
Horse power	اسب بخار
Humus	هوموس
Hydrogen pressure	pH خاک
Hydrologic cycle	گردش آب در طبیعت
Hydrosphere	آب کره
Impermeable	غیر قابل نفوذ
Improvenent	اصلاح
Infilteration	نفوذ
infiltrability	نفوذپذیری
Influent Water	آب ورودی
Inlet (irrigation)	ورودی
Irrigated crop	کشت فاریاب
Irrigation	آبیاری

Irrigation implements	تجهیزات آبیاری
Irrigation interval	دور آبیاری
Irrigation time	مدت زمان آبیاری
Irrigator	آبیار
Lamination	لایه‌بندی
Land	اراضی
Land slope	شیب اراضی
Latent heat	گرمای نهان
Leaching	آبشویی املاح
Lining	پوشش
Lithosphere	پوسته جامد زمین، سنگ کره
Loam	لوم
Lump	کلوخه
Managment Available Defficit	نقصان مجاز رطوبتی
Mineral	کانی
Mineralization	کانی شدن
Mottling	لکه‌های رنگین
Nutrition	مواد غذایی
Organic Metter	مواد آلی
Osmotic pressure = op	فشار اسمزی
Osmoticstress	فشار اسمزی
Particle density	وزن مخصوص حقیقی
Peat	تورب

Ped	خاکدانه ــ واحد ساختمانی خاک
Permeability	نفوذپذیری ــ تراوایی
Permeability of rocks	نفوذپذیری سنگ‌ها
Pernanent wilting point	نقطه پژمردگی دائم
Platelike	ورقه‌ای
Porosity	تخلخل
Precipitation	ریزش‌های جوی
Prismatic	منشوری
Profile	نیمرخ
Radiation	تابش
Ratio Humidity	رطوبت نسبی
Run – off	رواناب ــ جریان سطحی
Saline sodic soils	خاک‌های شور و قلیا
Saline soils	خاک‌های شور
Salinity	شوری
Sand	شن
Saturation content	رطوبت اشباع
Saturation extract	عصاره اشباع
Saturation water content	رطوبت اشباع خاک
Sedimentry	رسوب
Seep zone	منطقه نشست
Shaker	شیکر بهم‌زن
Silt	لیمون

Sodic soils	خاک‌های سدیمی
Soil	خاک
Soil color	رنگ خاک
Soil depth	عمق خاک
Soil fertility	حاصلخیزی خاک
Soil solution	محلول خاک
Soil texture	بافت خاک
Soil Water balance	بیلان آب در خاک
Soluble sodium percentage = ssp	درصد سدیم محلول
Specific heat	گرمای ویژه
Spheroidal	کروی
Spring	چشمه
Sprinkler irrigation	آبیاری بارانی
Sticking point	نقطه چسبندگی
Stone	سنگ
Stream	جریان
Structure	ساختمان خاک
Sub soil	تحت الارض
Subangular Blocky	نامنظم
Submersible pump	پمپ شناور
Supplemental irrigation	آبیاری تکمیلی
Surface tension	کشش سطحی
Temperature	درجه حرارت

Tensiometer	مکش‌سنج
Tension	مکش
Top soil	سطح الارض
Translocation	انتقال
Transpiration	تعرّق
Transport phenomena	پدیده انتقال
Trench	خندق
Trickle irrigation	آبیاری قطره‌ای
Very Gravelly	خیلی سنگ ریزه‌ای
Viscosity	لزوجت
Waste water	پساب
Water content	مقدار آب خاک
Water erosion	فرسایش آبی
Water holding capacity	رطوبت ظرفیت نگهداری
Water table	سطح ایستابی
Water tension	مکش آب
Weathering	هوادیدگی = هوا زدگی
Wells	چاه‌ها
Wind erosion	فرسایش بادی
Windbreak	بادشکن
Yield	محصول
Zone of aeration	منطقه غیر اشباعی
Zone of saturation	منطقه اشباعی

منابع مورد استفاده

بایبوردی، محمد، اصول مهندسی آبیاری، دانشگاه تهران، ۱۳۷۱.

فرداد، حسین، آبیاری عمومی ۳، دانشگاه تهران، ۱۳۷۱.

مالک، اسماعیل، عالمی محمد حسن، آب مصرفی گیاهان، نشر دانشگاهی، ۱۳۷۰.

مالک، اسماعیل، عالمی محمد حسن، آبیاری بارانی، آستان قدس، ۱۳۷۰.

ابریشمی، محمد حسین، علیزاده، امین، آبیاری سطحی، آستان قدس، ۱۳۷۱.

علیزاده، امین، خیابانی، مجید، آبیاری قطره‌ای، آستان قدس، ۱۳۷۱.

مهدوی، محمد، هیدرولوژی کاربردی، دانشگاه تهران، ۱۳۶۹.

ابریشمی، محمد حسین، اصول و عملیات آبیاری، آستان قدس، ۱۳۷۰.

عالمی، محمد حسن، طراحی سیستم‌های آبیاری، دانش و فن، ۱۳۶۵.

پایدار، جزوه درسی طراحی سیستم‌های آبیاری، گروه آبیاری دانشگاه تهران، ۱۳۶۵.

خوش‌کیش، حسین، مبانی و کاربرد انواع پمپ‌ها، فرهنگ، ۱۳۶۳.

فرزاد، عبدالعلی، پمپ‌های سانتریفوژ، فرهنگ، ۱۳۷۱ .

علیزاده، امین، اصول هیدرولوژی کاربردی، آستان قدس، ۱۳۶۷.

افشار، عباس، هیدرولوژی مهندسی، نشر دانشگاهی(۱۹۸)، ۱۳۶۴.

مهدوی، محمد، هیدرولوژی کاربردی جلد اول، دانشگاه تهران، ۱۳۷۱.

انتظاری، محمدرضا، اصول و روش‌های آبیاری، آموزشکده کشاورزی بیرجند، ۱۳۶۴.

مظاهری، ارسلان، کلیات خاک‌شناسی(جلداول)، دانشگاه چمران، ۱۳۶۷.

رفیع، محمد جعفر، فیزیک خاک، دانشگاه تهران، ۱۳۶۹.

زرین کفش، منوچهر، خاک‌شناسی کاربردی، دانشگاه تهران، ۱۳۶۷.

عالمی، محمد، آب و خاک، دانشگاه تهران، ۱۳۶۰.

عاکف، مهدی، دستورالعمل آزمایشگاه خاک‌شناسی، دانشگاه گیلان، ۱۳۷۱.

بایبوردی، محمد، فیزیک خاک، دانشگاه تهران، ۱۳۵۷.
موسوی، مسعود، دستور کار آزمایشگاه خاک‌شناسی عمومی، دانشگاه فردوسی، ۱۳۷۲.
کردوانی پرویز، جغرافیای خاک‌ها، دانشگاه تهران، ۱۳۵۸.
کردوانی، پرویز، حفاظت خاک، دانشگاه تهران، ۱۳۶۸.
کردوانی، پرویز، مناطق خشک (جلددوم)، دانشگاه تهران، ۱۳۶۸.
بایبوردی، محمد، اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک، دانشگاه تهران، ۱۳۶۹.
نقشینه پور، بیژن، کلیات خاک‌شناسی، دانشگاه اهواز، ۱۳۶۷.
سالاردین، علی‌اکبر، حاصلخیزی خاک، دانشگاه تهران، ۱۳۷۲.
علیزاده، امین، زهکشی اراضی، دانشگاه فردوسی، ۱۳۷۱.
حقّ‌نیا، غلامحسین، خاک شناخت، دانشگاه فردوسی، ۱۳۷۱.
حاجی‌زاده، اکبر، برخی از مسائل خاک‌شناسی، انتشارات بامداد، ۱۳۶۸.
حکیمیان، مسعود، مبانی خاک‌شناسی، دانشگاه تهران، ۱۳۵۹.
حیرایی،محمدحسین،درس‌هایی‌از حفاظت‌آب و خاک،انتشارات وزارت‌فرهنگ وارشاد اسلامی.
اصلاح خاک‌های شور، مؤسسه تحقیقات خاک و آب نشریه ۲۴۲.
حقّ‌نیا، غلامحسین، خاک‌شناخت، دانشگاه فردوسی، ۱۳۷۰.
بایبوردی، محمد، خاک تشکیل و طبقه‌بندی، دانشگاه تهران، ۱۳۵۹.
رفیع، محمدجعفر، فیزیک خاک، دانشگاه تهران، ۱۳۵۹.
کردوانی، پرویز، جغرافیای خاک‌ها، دانشگاه تهران، ۱۳۶۴.
کردوانی، پرویز، خاک‌های مناطق خشک، دانشگاه تهران، ۱۳۶۲.
علیزاده، امین، اصول هیدرولوژی کاربردی، بنیاد فرهنگی رضوی، ۱۳۶۸.
فیاضی، جزوهٔ درسی هیدرولوژی، دانشگاه تربیت معلم، ۱۳۶۳.
دیانت‌نژاد، حسن، زیست‌شناسی گیاهی، سال چهارم علوم تجربی، ۱۳۷۱.
گروه مؤلفان، جغرافیای ایران، سال دوم دبیرستان، ۱۳۶۴.
گروه مؤلفان، زمین‌شناسی، سال سوم تجربی، ۱۳۶۵.
ایرانمنش، م،ح، رشد زمین‌شناسی، پاییز ۱۳۶۶.
مالک، او کامگار حقیقی، جزوهٔ درسی آب‌های زیرزمینی، دانشگاه شیراز.

1 . Knuti , Williams and Hide , "Profitable Soil Management" ,. Prentice Hall Inc , 1984 .

2 . Donahue "Soils" , Prentice Hall international Inc , 1990 .

3 . Partick , E . A . Partick , "An Introduction to Soil , Science. Oliver and Boyd LTD , 1974 .

4. Physical Geology, Anonym

5. G.Gorsh kov & yaku shova – A – Physical Geology. Mir publisher Moscow.

6. Daniel Hilled, introduction to soilphysics Academic,1982.

7. Miller1 Donahue, soils prentice – Hall – Inc. (16 th, eds),1990.