

### رابطه آب و خاک

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

- ۱- نفوذپذیری خاک را به روش استوانه مضاعف تعیین کند.
- ۲- عوامل مؤثر در نگهداری آب در خاک را بشناسد.
- ۳- حد ظرفیت زراعی خاک را تعیین کند.
- ۴- حد پژمردگی دائم را تعیین کند.
- ۵- نقصان مجاز رطوبتی را بشناسد.

### نفوذپذیری<sup>۱</sup>

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 سانتی متر 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 استفاده گیاه در خاک ذخیره شود. یکی از هدف‌های آبیاری، ذخیره آب در درون خاک است، لذا نحوه ورود آب به داخل خاک و نیز سرعت این کار بسیار حائز اهمیت است. نفوذپذیری به ضخامت لایه آب بالای خاک، مقدار و اندازه روزه‌های خاک، مقدار رطوبت اولیه خاک،

<sup>۱</sup>-Infiltration

پوشش گیاهی و شیب زمین بستگی دارد.

در ابتدا که خاک خشک است آب به سرعت نفوذ می‌کند. ولی پس از  $30^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  دقیقه فضای موجود در خاک با آب پر شده و نفوذ کاهش می‌یابد. بعد از یک تا دو ساعت سرعت آب به مقدار 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  $10^{\circ}$  میلی‌متر در ساعت) یا متوسط (بین  $10^{\circ}$  تا  $30^{\circ}$  میلی‌متر در ساعت) برای آبیاری سطحی مناسب‌اند. خاک‌هایی که میزان نفوذ آن‌ها زیاد است (بیش از  $30^{\circ}$  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 به‌طور یکنواخت و مناسب توزیع کرد.

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

نوع خاک	نفوذ دائمی (میلی‌متر در ساعت)
شن	$30^{\circ}$
لوم شنی	$20^{\circ}$ - $30^{\circ}$
لوم سیلتی	$10^{\circ}$ - $20^{\circ}$
لوم رسی	$5^{\circ}$ - $10^{\circ}$
رس	$1^{\circ}$ - $5^{\circ}$

### اندازه‌گیری نفوذپذیری خاک به روش استوانه مضاعف

عمق آب قابل نفوذ به خاک در زمان معین (سرعت نفوذ) به کمک دو استوانه متحدالمركز اندازه‌گیری می‌شود. این استوانه‌ها فلزی و معمولاً قطر استوانه میانی بین  $23$  -  $35$  سانتی‌متر بوده و استوانه بیرونی باید دارای قطری حداقل  $30^{\circ}$  سانتی‌متر بیشتر از استوانه میانی باشد. ارتفاع استوانه‌ها معمولاً  $40^{\circ}$  سانتی‌متر است که  $15$  -  $10^{\circ}$  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. لُبّه این استوانه‌ها مثل کارد تیز می‌شود تا به راحتی بتوان آن‌ها را با حداقل به هم خوردگی خاک به داخل آن فرو برد. (شکل

(۸-۱)



شکل ۱-۸ نحوه 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.

### ۹ آزمایش ۱ :

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

- ۱- 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)
- ۲- استوانه میانی را بر روی سطح خاک قرار داده و درپوش را بر روی آن گذاشته و با چکش به درپوش ضربه وارد کنید تا به طور قائم (حدود ۱۵ سانتی‌متر) در داخل خاک فرو رود.
- ۳- استوانه خارجی را نیز به همین ترتیب نصب کنید.
- ۴- 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.
- ۵- یک تکه پارچه یا نایلون در ته استوانه میانی قرار دهید. (به منظور به هم نخوردن سطح خاک) و تا حدود ۱۲-۱۰ سانتی‌متر آب ریخته و نایلون را بردارید.
- ۶- به کمک خط‌کش عمق آب را اندازه‌گیری کرده و این کار را در زمان‌های مشخص تکرار کنید.

۷- وقتی حدود ۵-۲ سانتی متر آب به داخل خاک نفوذ کرد، در همین حدود به استوانه آب اضافه کنید. عمق آب را قبل و بعد از اضافه کردن آب اندازه گیری کنید.

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

۹- استوانه ها 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 می شود.

نیروی چسبندگی<sup>۱</sup> (نیروی جاذب بین مولکول های آب و ذرات خاک): ذرات و ترکیبات خاک در حالت خشک با داشتن خاصیت چسبندگی نسبتاً شدید، مولکول های دوقطبی آب را به طرف خود جذب و نگهداری می کنند. نتیجه این مکش ایجاد قشر نازکی از مولکول های آب بر روی عناصر، ترکیبات و ذرات خاک می باشد که شدت جذب آن در اولین قشر مولکولی آب خیلی زیاد است. لایه های بعدی مولکول های آب با شدت کمتری نگهداری شده و لایه های پس از آن شدت نگهداری کمتری دارند. این موضوع نشان می دهد آبی که در دورترین فاصله نسبت به سطح ذرات قرار دارد به آسانی از آن خارج می شود. به تدریج که خاک خشک می شود نیروی زیادتری لازم است تا آب را از ذرات و منافذ خاک خارج کند.

نیروی پیوستگی<sup>۲</sup> (نیروی جاذب بین مولکولی): نتیجه اثر این نیرو، کشش و جذب متقابل مولکول های آب با یکدیگر می باشد. ذرات خاک تحت تأثیر دو نیروی ذکر شده، توسط مولکول های آب به هم مربوط می شوند به عبارت دیگر با ایجاد یک قشر آبی بر روی ذرات، آب وظیفه یک واسطه چسبنده را به عهده می گیرد.

۱- Adhesion

۲- Cohesion

## صُور مختلف آب در خاک

آب در خاک به صورت‌های مختلف و تحت تأثیر نیروهای متفاوتی نگهداری می‌شود که به شرح

زیر است :

**آب آزاد :** آبی است که بعد از هر آبیاری یا بارندگی روزنه‌های متوسط و درشت خاک را پر می‌کند این آب تحت تأثیر نیروی کشش ذرات خاک و نیروی ثقلی زمین در خاک حرکت می‌کند حرکت آب آزاد در خاک‌های معمولی و بازه‌کش خوب به اندازه‌ای سریع است که برای ریشه گیاه سود کمی دارد ضمن اینکه مواد غذایی پس از محلول شدن همراه آب از خاک خارج می‌شود. چنانچه این آب در خاک باقی بماند به علت کمبود اکسیژن برای ریشه گیاهان و موجودات زنده هوازی خاک مضر واقع می‌شود. به‌طور کلی وجود این نوع آب در خاک مطلوب نبوده و از راه منافذ بزرگ به سرعت از خاک خارج می‌شود. (شکل ۲-۸)

**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 اما همه این آب قابل جذب گیاه نیست. روزنه‌های خاک مانند لوله‌های موئین عمل کرده و آب توسط نیروی موئینه‌ای 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 موئینه‌ای نگهداری می‌کند. (شکل ۳-۸)



شکل ۲-۸ - (الف) حالت اشباع هنگامی است که روزنه‌های خاک کاملاً از آب پر شده باشند. (ب) خاک خشک شده در آن در این مقیاس آب قابل ملاحظه‌ای ندارد. آب باقیمانده در این حالت به صورت پوششی نازک بر روی ذره‌های خاک قرار دارد. در دو حالت مرطوب به تفاوت حجم هوا، آب و ماده‌های جامد توجه کنید.

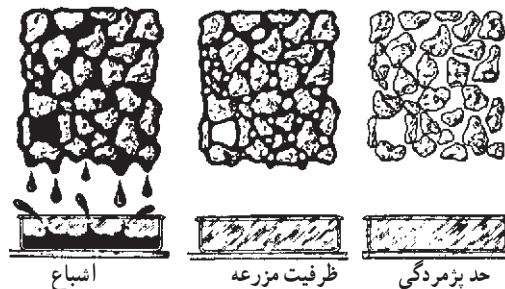
شکل ۳-۸ - در این شکل موئینگی نشان داده شده است. آب بیشترین ارتفاع را در باریکترین لوله‌ها می‌پیماید. سطح منحنی آب که در بخش بزرگ دیده می‌شود هلال است. چسبندگی مولکول‌های آب کشش سطحی را تولید می‌کند و مولکول‌های آب نیز به دیواره شیشه می‌چسبند.

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 به صورت گاز حرکت می‌کند. به مقدار رطوبت خاک در این حالت ضریب هیگروسکوپیک و به مقدار آب باقی‌مانده در خاک آب هیگروسکوپیک می‌گویند. این نوع آب مشخصات زیر را دارد:

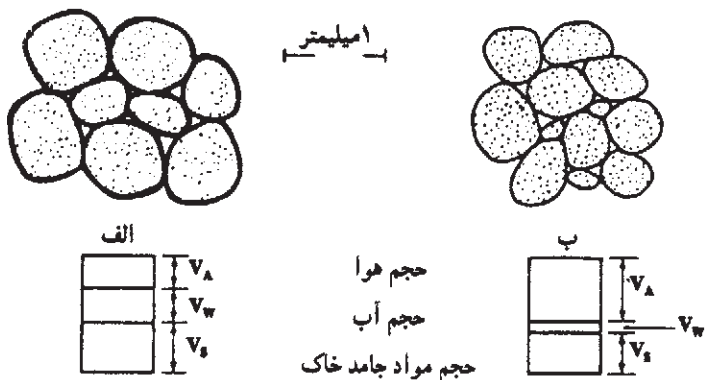
- الف) بیشتر به وسیله مواد کلویدی خاک جذب می‌شود.
  - ب) تقریباً حالت غیرمایع داشته و بیشتر به صورت گاز حرکت می‌کند.
  - ج) قابل استفاده گیاهان زراعی نیست. (شکل ۲-۸)
- آب ترکیبی: آبی است که در ترکیب شیمیایی کانی‌های متبلور وجود دارد. مثلاً در کانی ژپس (گچ) با فرمول شیمیایی  $(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$  این نوع آب اولاً قابل استفاده گیاهان نبوده ثانیاً در حرارت بالاتر از  $50^\circ C$  سانتی‌گراد از کانی‌ها خارج می‌شود ثالثاً هیدروژن آن می‌تواند به وسیله فلزات دیگر جابه‌جا شود.
- حدهای رطوبتی خاک: که میزان رطوبت آب در خاک را مشخص می‌کند عبارتند از:

### حد ظرفیت زراعی ( $F_c$ )

معمولاً یک تا سه روز پس از خیس شدن خاک به وسیله 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 حوزه فعالیت ریشه‌ها خارج می‌شود.



شکل ۴-۸ - حدهای رطوبتی خاک



شکل ۵-۸ الف) حد ظرفیت زراعی. روزنه‌های بزرگ از هوا پر شده اما بسیاری از روزنه‌های کوچک پر از محلول است. این وضعیت تقریباً ایده‌آل است. ب) حد پژمردگی دائم. بیشتر روزنه‌ها خالی هستند آب باقی‌مانده به صورت 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 اتو و روش کار

- ۱- کرت کوچکی به مساحت ۲/۵ متر مربع را چنان انتخاب کنید که نمونه‌ای از خاک مزرعه باشد.
- ۲- توجه کنید که سطح سفره آب زیرزمینی در عمق بیشتر از ۲ متر باشد.
- ۳- کرت انتخابی را از علف‌های هرز پاک کرده و سپس به آن آب اضافه کنید. (این آب باید با استفاده از آزمایش تعیین درصد رطوبت خاک محاسبه و خاک را اشباع کند.)
- ۴- ورقه پلاستیک سیاه رنگی را روی سطح کرت قرار دهید تا از تبخیر جلوگیری کند.
- ۵- 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.
- ۶- عمل نمونه برداری را ادامه دهید تا زمانی که رطوبت خاک در روزهای متوالی تقریباً برابر شوند.
- ۷- منحنی تغییرات رطوبت روزانه را نسبت به زمان رسم کنید.

۸- 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 به صورت تبخیر و تعرق 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 در نتیجه 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 :** 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 ۲-۸- تغییرات رطوبت خاک

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





### ۹ آزمایش ۳ :

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

#### روش کار

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

بریزید.

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

گیرد.

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

۴- در گلدان را به نحوی قرار دهید که ۲ بوته باقی مانده از سوراخ‌های تعبیه شده روی در به طرف

خارج رشد کنند.

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

۶- 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.

۷- 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.

۸- 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.

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

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

۱۱- 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 به حالت 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 به طرف 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.

**۱- 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 در نتیجه عامل نیروی ثقل اهمیت خود را از دست می‌دهد و در این صورت آب تحت نیروی کشش سطحی به صورت 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.

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

**۳- 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 به صورت یون وارد ریشه شده و از راه آوندهای چوبی به همه 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 شیره خام گفته می‌شود. عوامل مختلفی در جذب آب دخالت دارند که عبارتند از:

**۱- 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.

**۲- قابلیت نفوذ ریشه:** هرچه عمق خاک زراعی بیشتر باشد قابلیت نفوذ ریشه بیشتر بوده و در نتیجه گیاه از ذخیره آب زیادتری استفاده خواهد کرد.

**۳- درجه چوب‌پنبه‌ای شدن غشاء ریشه:** ریشه‌های موینه جوان قدرت جذب بیشتری نسبت به ریشه‌های پیر و چوب‌پنبه‌ای شده دارند.

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

۵- 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  $24^{\circ}$  سانتی‌گراد و در شب  $18^{\circ}$  سانتی‌گراد می‌باشد.

۶- تهویه خاک : با کاهش جریان هوا در اطراف ریشه مقدار جذب به وسیله ریشه گیاه کاهش یافته و در بعضی موارد سبب خفگی گیاه می‌شود. به‌طور کلی مقاومت گیاهان بسته به نوع گیاه در مقابل تهویه متفاوت است.

۷- 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 به شرح زیر است :

۱- حرکت یون‌های غذایی به سمت ریشه

۲- تراکم یون‌ها در سلول‌های ریشه

۳- حرکت شعاعی یون‌ها از سطح ریشه به داخل آوندهای چوبی

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

عوامل مؤثر در جذب املاح توسط ریشه : عبارتند از :

۱- نوع گیاه

۲- وسعت و عمق ریشه

۳- سوخت و ساز سلولی

۴- تنفس ریشه

۵- غلظت املاح موجود در خاک و نوع ترکیب آن‌ها

۶- تهویه خاک

۷- درجه حرارت خاک

۸- رطوبت خاک

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

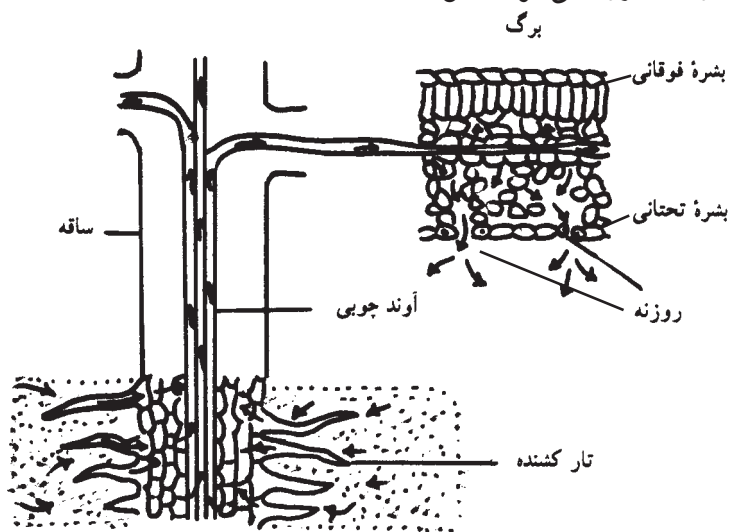
روز یعنی هنگامی که فعالیت سوخت و ساز در گیاه بیشتر است صورت می‌گیرد. سرعت جابه‌جایی املاح در گیاه از آب کمتر است و حدود یک متر در دقیقه گزارش شده است. باید دانست که ریشه تنها اندام جذب‌کننده نبات نیست بلکه برگ‌ها و ساقه‌های جوان و جوانه‌ها نیز قادرند بعضی از ترکیبات معدنی را جذب نمایند.

## تبخیر و تعرق گیاهان

تبخیر<sup>۱</sup>: فرآیند تبدیل آب مایع به بخار را تبخیر گویند. تبخیر ممکن است از سطوح آزاد آب و یا از سطح مرطوب خاک صورت گیرد.

تعرق<sup>۲</sup>: گیاهان، مقداری آب به صورت بخار، از راه روزنه‌های هوایی و بشرة نازک برگ‌ها و جوانه‌ها و ساقه‌های جوان، دفع می‌کنند. این عمل، تعرق 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 به صورت تعرق از طریق روزنه‌های موجود در سطح برگ‌ها به اتمسفر برمی‌گردد. تعرق، بیشتر از روزنه هوایی و به مقدار کم، از سلول‌های سطحی برگ‌های دارای بشرة نازک، صورت می‌گیرد (شکل ۶-۸).



شکل ۶-۸ نفوذ آب و تعرق

۱- Evaporation

۲- Transpiration

تبخیر و تعرق<sup>۱</sup>: مجموع مقدار آبی که در واحد سطح منطقه از راه تبخیر از سطح خاک و از راه تعرق به وسیله گیاهان از دست می‌رود تبخیر و تعرق نامیده می‌شود. در ارزیابی میزان آب و خاک، برای تأمین رشد گیاه، لازم است که هم تبخیر و هم تعرق را مورد محاسبه قرار دهیم.

## عوامل مؤثر در تبخیر و تعرق

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

### ۱- عوامل درونی (شرایط گیاه) شامل:

(الف) شکل برگ‌ها (ب) طرز قرار گرفتن برگ‌ها روی ساقه (ج) سطح برگ‌ها (د) ساختمان برگ (ه) روزنه‌ها و تعداد آن (و) وسعت و عمق نفوذ ریشه

(الف) شکل برگ‌ها: گیاهان پهن‌برگ به علت داشتن روزنه‌های بیشتر مقدار آب بیشتری نسبت به سوزنی‌برگ‌ها تبخیر می‌نمایند.

(ب) طرز قرار گرفتن برگ‌ها روی ساقه: زاویه 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 تعرق با وسعت اندام‌های هوایی به‌ویژه وسعت سطح برگ‌های گیاه نسبت مستقیم دارد، بنابراین سقوط برگ‌ها در پاییز شدت تعرق را در گیاه کاهش می‌دهد. یکی از راه‌های سازش گیاهان برای زیست در مناطق خشک کم کردن شدت تعرق از راه کوچک شدن سطح برگ‌های آن‌ها است. اگر مقدار شاخه و برگ را به وسیله هرس کم کنیم مقدار تعرق کم خواهد شد.

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

(ه) روزنه‌ها و تعداد آن‌ها: هرچه تعداد روزنه‌ها بیشتر باشد، تعرق شدیدتر است.

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

<sup>۱</sup> Evapotranspiration

## ۲- شرایط اقلیمی رشد گیاهان :

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

الف) شدت نور : شدت نور در بعضی گیاهان باعث بازشدن روزنه‌ها و خارج شدن آب گیاه به صورت 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 تعرق از سطح برگ‌ها نیز افزایش می‌یابد.

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

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

ه) شیب زمین : در نیمکره شمالی شیب‌های جنوبی بیشتر از شیب‌های شمالی در معرض تابش نور آفتاب هستند و در نتیجه 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 در نتیجه نه تنها آب قابل استفاده گیاه در خاک بیشتر است بلکه احتیاج روزانه گیاه به آب نیز کمتر خواهد بود.

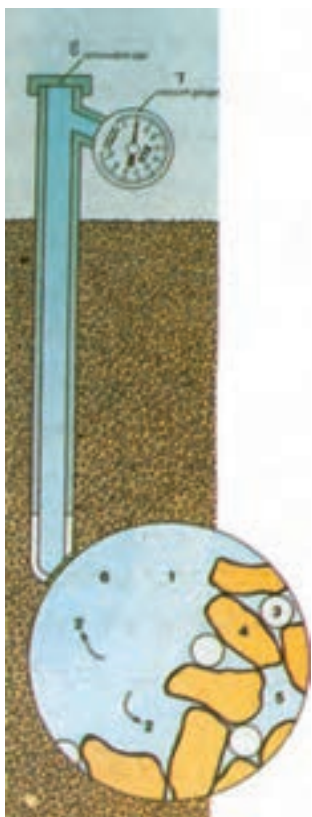
## فواید تبخیر و تعرق برای گیاهان

۱- صعود شیره خام : کششی که در نتیجه عمل تعرق در آوندهای چوبی به وجود می‌آید و همچنین پیوستگی شبکه آب عامل مؤثری در صعود شیره خام به طرف برگ‌ها است.

۲- خنک شدن برگ‌ها : تبخیر و تعرق باعث خنک شدن برگ‌ها می‌شود، زیرا وقتی آب از سطح جسمی تبخیر می‌شود دمای اطراف آن کاهش می‌یابد علت آن است که برای تبخیر شدن مقداری از حرارت مجاور خود را مصرف می‌نماید و لذا موجب خنک شدن برگ‌ها می‌شود و از آسیب دیدن برگ‌ها بر اثر حرارت زیاد نور خورشید ممانعت به عمل می‌آورد.

## تعریق

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



### مکش سنج<sup>۱</sup> (تانسیومتر)

تانسیومتر، مکش خاک را اندازه‌گیری می‌کند. این دستگاه برای اولین بار به وسیله (ریچاردز و گاردنر ۱۹۳۶) طرح و پیشنهاد شد. این دستگاه از یک کلاهک سرامیکی به طول تقریبی  $7/5$  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 به داخل 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 به وسیله فشارسنج نشان داده می‌شود. (شکل ۷-۸)

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

<sup>۱</sup> Tensiometer



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



شکل ۸-۸ - انواع تانسومتر

### رطوبت قابل استفاده<sup>۱</sup> (AM)

درصدی از رطوبت خاک که بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی بوده و قابل 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 - درصد حجمی یا عمق آب نشان داد. (شکل ۹-۸)

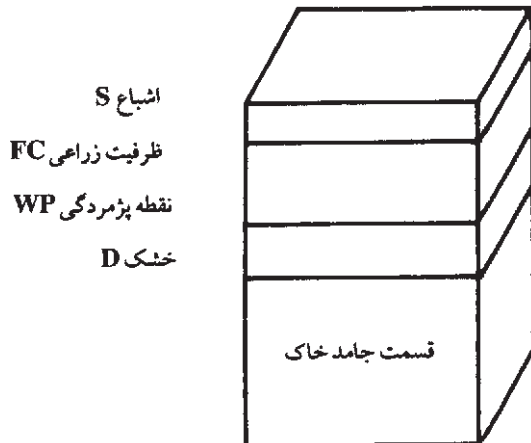
این رطوبت در خاک‌های مختلف مقدار متفاوتی دارد. به این رطوبت ظرفیت نگهداری<sup>۲</sup> (WHC) خاک نیز اطلاق می‌شود.

۱- Available Moisture

۲- Water Holding Capacity

جدول ۳-۸ - ظرفیت نگهداری بعضی خاک‌ها

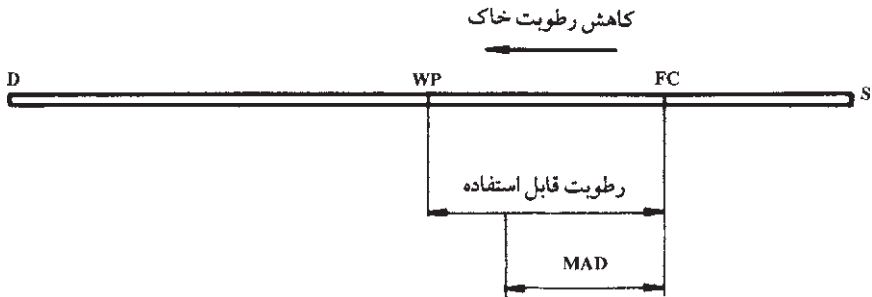
ظرفیت نگهداری mm/m میلی‌متر آب در یک متر خاک	بافت خاک
۴۲	شن درشت
۶۲	شن ریز
۸۳	شن لومی
۱۰۴-۱۲۵	شن لومی ریز
۱۴۶-۱۶۷	لوم سیلنتی
۱۶۷	لوم رسی سیلنتی
۱۶۷-۱۸۷	لومی رسی
۱۴۶	رسی سنگین



شکل ۹-۸ - نمایش ضرایب رطوبتی خاک

**نقصان مجاز رطوبتی<sup>۱</sup> (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 ... می‌توانیم 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 ۷۵٪ - ۵۰٪ رطوبت قابل استفاده است.

<sup>۱</sup> - Managment Available Deficitt



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

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

MAD	عمق ریشه	گیاه	MAD	عمق ریشه سانتی متر	گیاه
۰/۵۰	۱۰۰-۲۰۰	میوه‌ها	۰/۵۵	۱۰۰-۲۰۰	یونجه
۰/۵۰	۱۰۰-۱۵۰	غلات	۰/۵۵	۱۰۰-۱۵۰	جو
۰/۳۵	۱۰۰-۲۰۰	انگور	۰/۴۵	۵۰-۷۰	لوبیا
۰/۶۵	۷۰-۱۱۰	نخود	۰/۵۰	۶۰-۱۰۰	چغندر
۰/۲۵	۴۰-۶۰	سیب‌زمینی	۰/۳۵	۵۰-۱۰۰	هویج
۰/۲۰	۳۰-۶۰	سبزی‌ها	۰/۲۰	۳۰-۵۰	کرفس
۰/۶۵	۱۲۰-۲۰۰	نیشکر	۰/۵۰	۱۲۰-۱۵۰	مرکبات
۰/۱۵	۲۰-۳۰	توت‌فرنگی	۰/۶۵	۱۰۰-۱۷۰	پنبه

## ارزشیابی

- ۱- میزان نفوذ دائمی خاک چه مرحله‌ای از نفوذ است؟
- ۲- چرا در ابتدای نفوذ آب در خاک سرعت بیشتر است؟
- ۳- حالات مختلف آب در خاک را مقایسه کنید.
- ۴- در آزمایش شماره ۲ چرا پس از مدتی رطوبت خاک ثابت می‌ماند؟
- ۵- چرا تانسیموتر فقط می‌تواند مکش نزدیک به یک اتمسفر را اندازه‌گیری کند؟
- ۶- اهمیت تعیین آب مصرفی گیاهان در چیست؟
- ۷- علت شاداب شدن گیاه با پژمردگی موقت در شب چیست؟
- ۸- اندام‌های جذب‌کننده مواد در گیاه را نام ببرید.
- ۹- اهمیت تعرق را در صعود شیرخام توضیح دهید.

### روش‌های آبیاری

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

- ۱- با انواع روش‌های آبیاری آشنا شود.
- ۲- آبیاری کرتی را تعریف کند.
- ۳- شیب طولی و عرضی کرت را تعیین کند.
- ۴- آبیاری نشتی را تعریف کند.
- ۵- ابعاد جوی و پشته را در آبیاری نشتی تعیین کند.
- ۶- طول فارو را تعیین کند.
- ۷- موارد استفاده از آبیاری بارانی را تعریف کند.
- ۸- در مورد مزایا و معایب آبیاری بارانی اظهار نظر کند.
- ۹- تأسیسات آبیاری بارانی را توضیح دهد.
- ۱۰- مزایای آبیاری قطره‌ای را بیان کند.
- ۱۱- معایب آبیاری قطره‌ای را بیان کند.
- ۱۲- 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 آمریکا 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.

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

## هدف از آبیاری

- ۱- تأمین رطوبت لازم برای رشد گیاه
- ۲- کم کردن خطر یخبندان
- ۳- از بین بردن و یا کم کردن نمک موجود در خاک
- ۴- حاصلخیز کردن و اصلاح اراضی شنی به کمک آب‌هایی که دارای مواد معدنی هستند.
- ۵- ایجاد سهولت و امکان اجرای عملیات زراعی

## روش‌های آبیاری

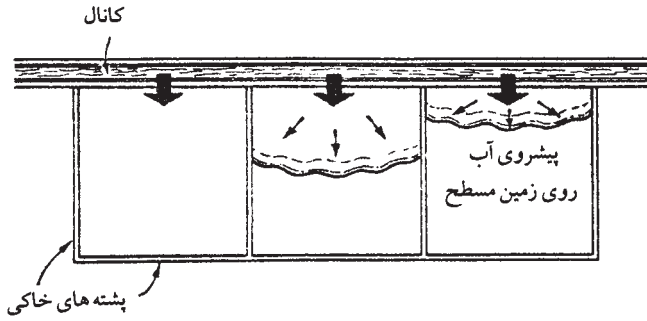
به هر روشی که بتوان آب را به پای بوته رسانده و رطوبت مورد نیاز گیاه را تأمین کرد، روش آبیاری گفته می‌شود. از عمل ساده ریختن آب در گلدان تا حرکت آزاد آب در سطح خاک و حرکت آب در لوله‌های تحت فشار همه را روش آبیاری می‌گویند. سه روش اصلی آبیاری عبارتند از:

- ۱- **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.
- ۲- **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.
- ۳- **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 ۱-۹).



شکل ۱-۹- آبیاری کرتی

کرت‌ها را تا عمق لازم پر از آب می‌کنند و آب 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 به دنبال 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

۱- احتیاج به عملیات تسطیح دقیق دارد و معمولاً هزینه زیادی را می‌طلبد.  
 ۲- وجود پشته‌های اطراف کرت به‌عنوان مانع بزرگی برای عملیات کاشت داشت و برداشت مکانیزه.

۳- در صورت ضعیف بودن زهکش طبیعی، منطقه احتیاج به ایجاد زهکش دارد.  
 ۴- زمین قابل ملاحظه‌ای به وسیله مرزها و نهرها اشغال می‌شود و سطح مفید زیرکشت را کاهش می‌دهد.

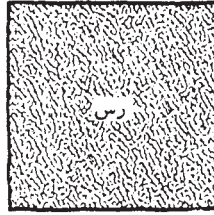
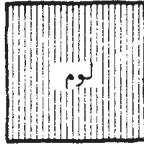
۵- نگهداری کرت‌ها به‌صورت صاف و یا شیب قیفی ایجاد شده مشکل است.  
 اندازه کرت: اندازه کرت‌ها متفاوت است. مساحت بعضی از آن‌ها ممکن است تنها یک تا دو متر مربع (برای کشت سبزیجات) و برخی دیگر در سطح هکتار (کشت برنج و یا حبوبات در خاک‌های رُسی) باشد.

اندازه کرت به عواملی چون نوع خاک، مقدار جریان، عمق آبیاری، شیب زمین و شیوه زراعت بستگی دارد. (شکل ۲-۹)

مقدار جریان یکسان است .



شش  
اندازه کرت



(الف) اندازه کرت‌هایی که جنس خاک آن‌ها رس است می‌تواند بیشتر از کرت‌هایی باشد که جنس خاک آن‌ها شن است.

عمق آبیاری یکسان است .



مقدار جریان افزایش می‌یابد



شش  
اندازه کرت



(ب) با افزایش مقدار جریان می‌توان اندازه کرت را نیز زیاد کرد.

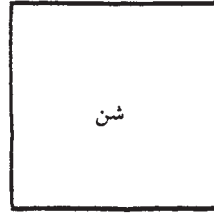
عمق آبیاری یکسان است .



عمق آبیاری افزایش می‌یابد .



شش  
اندازه کرت



(ج) وقتی عمق آبیاری به کار رفته زیاد باشد می‌توان اندازه کرت را افزایش داد.

مقدار جریان یکسان است .



شکل ۲-۹- عوامل مؤثر در تعیین اندازه کرت

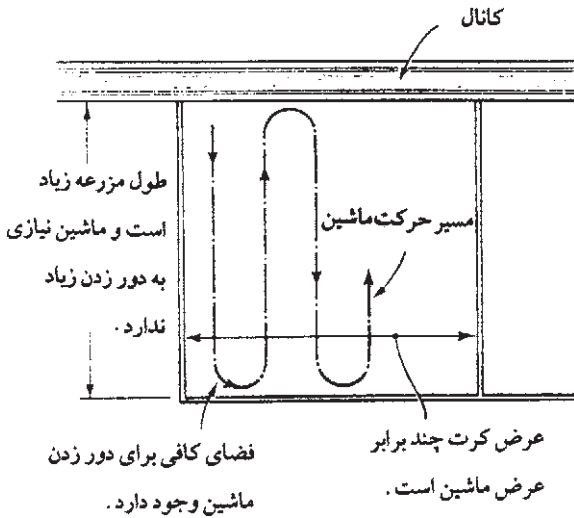
اگر کشاورز بخواهد به‌ازای مقادیر مختلف جریان، عمق آبیاری و انواع خاک اندازه‌های مناسبی برای کرت‌ها انتخاب کند، محاسبه ساده‌ای وجود ندارد ولی تجربه آن‌ها بهترین راهنما برای تعیین اندازه مناسب کرت‌ها است. در جدول (۱-۹) مجموعه‌ای از این گونه تجربیات ارائه شده است. جدول مزبور راهنمای خوبی برای انتخاب اندازه کرت به‌ازای مقادیر مختلف جریان و انواع خاک است و با اجرای آن آبیاری به‌طور یکنواخت و کافی انجام می‌شود.

جدول ۱-۹- اندازه‌های مختلف کرت (هکتار)

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

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 ۴۰۰-۶۰ متر بسته به عواملی چون جنس خاک، شیب طولی کرت، دبی جریان و نفوذپذیری خاک متغیر است.

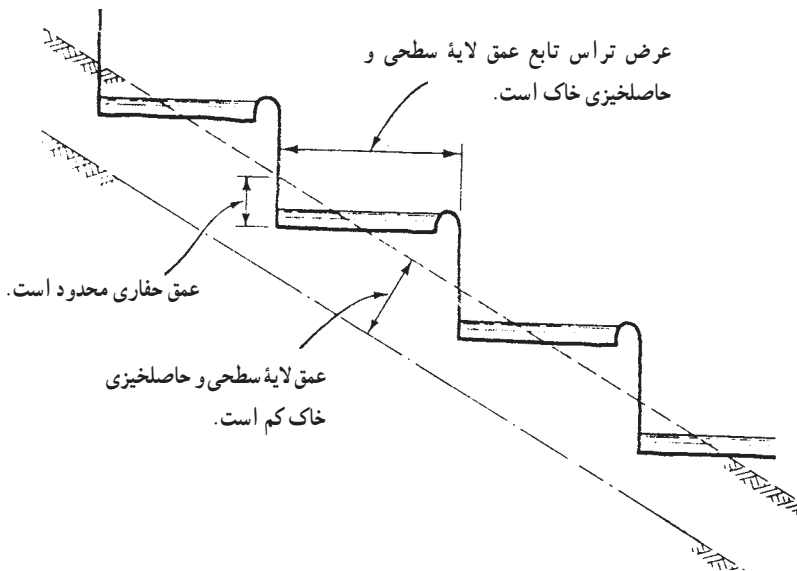


**عرض کرت:** عرض کرت تابع شیب عرضی زمین، شیب طولی کرت، مقدار آبدهی، نوع محصول و عرض کار ماشین آلات زراعی است و در هر صورت بین ۲۰-۵ متر و گاه ۳۰ متر است. (شکل ۳-۹)

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



شیب سطح زمین در ارتباط با اندازه و شکل کرت ها: اگر سطح خاک هر کرت کاملاً تراز باشد؛ آب به طور یکنواخت در سطح کرت پخش خواهد شد. بدین منظور باید سطح کرت با دقت تمام تسطیح شده و گودی ها و برجستگی های کوچک سطح خاک رفع شده باشد. اگر شیب طبیعی زمین تند باشد مثلاً در اراضی دامنه ای 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 ۴-۹)



شکل ۴-۹- تراس های مخصوص آبیاری کرتی

**شیب طولی کرت:** به منظور 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 می توان شیب ۲ تا ۴ در هزار را مجاز دانست.

**شیب عرضی کرت:** اصولاً شیب زمین در جهت عرضی کرت باید صفر باشد، تا آب به طور یکنواخت و به موازات ضلع بزرگ کرت جریان یابد. ولی می توان حداکثر شیب حدود ۲ در هزار و یا اختلاف ارتفاع ۶ سانتی متر در دو طرف 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 به صورت 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

- ۱- در اضلاع مقابل به هم کرت، ژالون‌هایی را نصب و کاملاً تراز می‌کنیم.
- ۲- فاصله هر دو ژالون مقابل به هم را با نوار اندازه‌گیری (متر) تعیین می‌کنیم.
- ۳- شیلنگ تراز را به‌دقت پرآب کرده و دوسرشیلنگ را کنار دو ژالون مقابل هم قرار می‌دهیم (دقت شود شیلنگ تراز زیر پا فشرده نشود).
- ۴- فاصله سطح آب تا سطح خاک را در کنار ژالون‌ها اندازه می‌گیریم.
- ۵- اختلاف ارتفاع دو سطح آب را بر فاصله بین ژالون‌ها تقسیم و در عدد  $100^\circ$  ضرب می‌کنیم. عدد حاصل معرف شیب زمین در بین دو ژالون است.



شکل ۵- ۹

مثال :

اگر عرض کرت  $20^\circ$  متر و اختلاف ارتفاع دوسر شیلنگ  $6/100^\circ$  متر باشد. شیب عرضی کرت :

$$\text{شیب عرضی} = \frac{\text{اختلاف ارتفاع}}{\text{عرض کرت}} \times 100^\circ$$

$$۳ \text{ در هزار یا } ۰/۳\% = ۱۰۰ \times \frac{۰/۰۶}{۲۰} = \text{شیب عرضی}$$

برای تعیین شیب طولی کرت نیز همین طور عمل می شود.

## طول مدت آبیاری کرت

معیار در آبیاری کرتی این است :

۱- حجم آبی که وارد کرت می شود به طور متوسط به اندازه عمق ناخالص آبیاری (Fg) برای پوشانیدن سطح کرت کافی باشد.

۲- 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 به دست می آید 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 به وجود آورد. در عین اینکه فرسایشی در خاک به وجود نیارد.

## آبیاری نشتی

این نوع آبیاری عبارتست از ایجاد جویچه‌های کوچک به نام شیپار در طول مسیر آبیاری که معمولاً دارای شیب ملایم (کمتر از یک درصد) است (شکل ۶-۹).



شکل ۶-۹- 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:

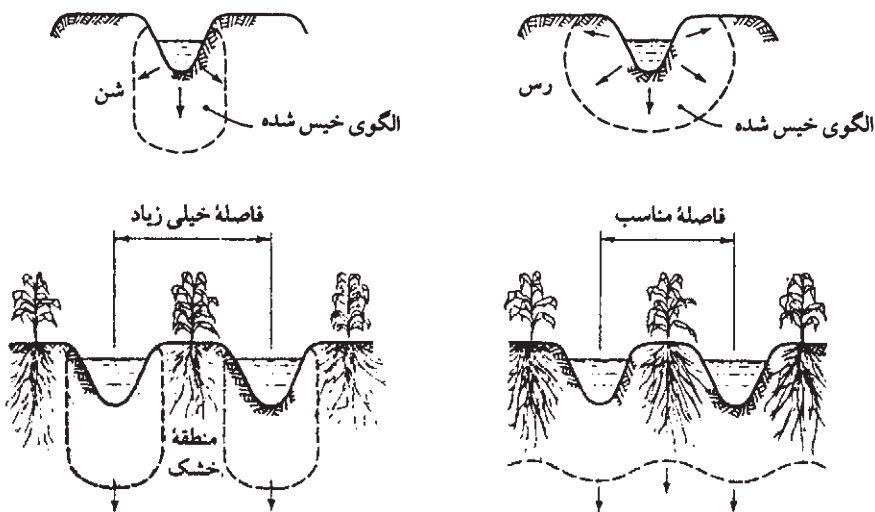
حرکت آب در خاک

نوع گیاه

شیوه زراعت

**حرکت آب در خاک:** از نظر آبیاری حرکت آب در مجرای خاکی مهمترین عامل است. آب

درون شیار علاوه بر کف، در دیواره‌های آن نیز نفوذ می‌کند. (شکل ۷-۹)



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

قسمت بالای پشته شیار نیز از طریق فرآیندی موسوم به جریان موینه‌ای مرطوب می‌شود. فاصله بین شیارها باید آنقدر باشد که خاک پشته‌ها به خوبی 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

می تواند حدود ۱/۲ متر یا بیشتر باشد.

در چنین مواردی اگر فاصله شیارها خیلی زیاد باشد، قسمتی از خاک واقع در بین آن ها خشک باقی می ماند و به گیاهان موجود در این قسمت ها آب کافی نمی رسد. در جدول (۲-۹) با توجه به نوع خاک فواصل مناسبی برای شیار توصیه شده است.

جدول ۲-۹- فاصله مناسب شیارها در خاک های مختلف

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

نوع گیاه: برای سهولت در کار کاشت و داشت و برداشت محصولات معمولاً فاصله بین ردیف های گیاه ۷۵/۰ متر تا یک الی دو متر است. بعضی از گیاهان، از جمله سبزی ها را می توان به صورت دو ردیفی کاشت. در چنین مواردی عرض پشته ها باید بیشتر از عرض پشته ها در گیاهان یک ردیفی باشد. جدول (۳-۹) با توجه به نوع گیاهان مختلف فواصل مناسبی برای شیارها توصیه شده است.

جدول ۳-۹- فاصله مناسب شیارها در بعضی گیاهان ردیفی

گیاه	فاصله مناسب سانتی متر	گیاه	فاصله مناسب سانتی متر	گیاه	فاصله مناسب سانتی متر
سورگوم	۵۰-۸۰	توتون	۴۵-۹۰	هویج	۴۰-۵۰
سبب زمینی	۳۵	نخود	۳۰-۴۰	گوجه فرنگی	۱۲۰-۱۵۰
چغندر قند	۵۰-۶۰	لویا	۵۰	بادمجان	۷۵-۱۰۰
نیشکر	۱۲۰-۱۸۰	عدس	۲۰	خیار	۱۰۰
پنبه	۸۰-۱۹۰	باقلا	۳۰-۵۰	خریزه و طالبی	۲۰۰
سویا	۶۰	ذرت علوفه ای	۵۰-۶۰	هندوانه	۳۰۰
گلرنگ	۴۵-۵۵	انواع کلم	۶۰-۱۰۰		

شیوه 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 به گونه‌ای 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

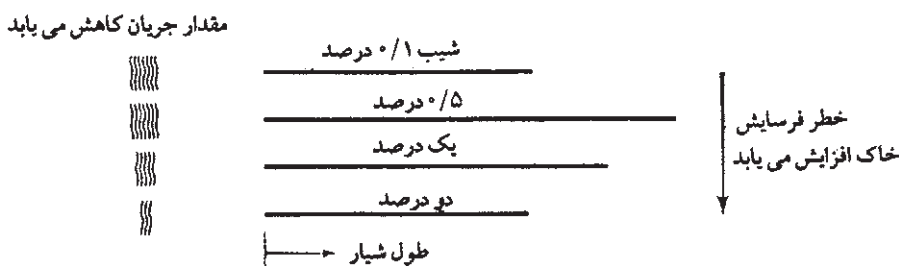
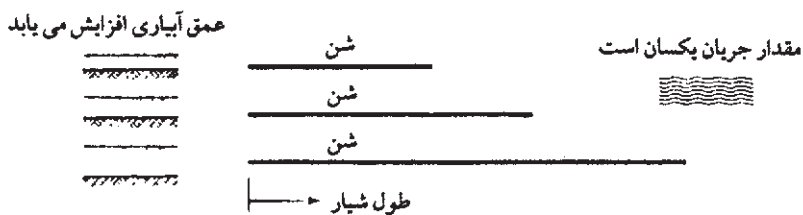
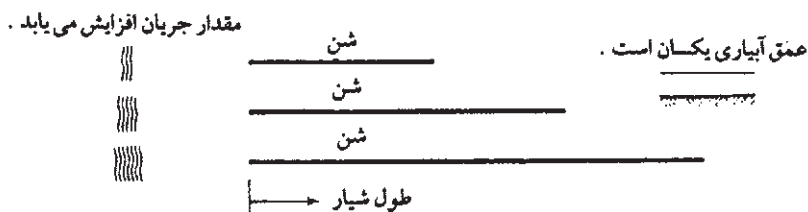
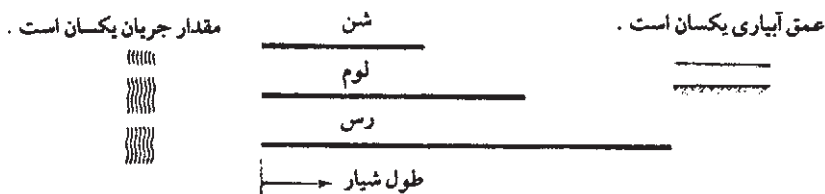
شیوه زراعت

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 - ۹ به دقت توجه کنید. موقع آبیاری خاک‌های شنی، آب به سرعت در خاک نفوذ می‌کند. به این دلیل شیارها باید کوتاه باشد (۱۰۰ متر 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 ۸۰۰ متر 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 تا فرسایش



شکل ۸-۹- عوامل مؤثر در تعیین طول شیار

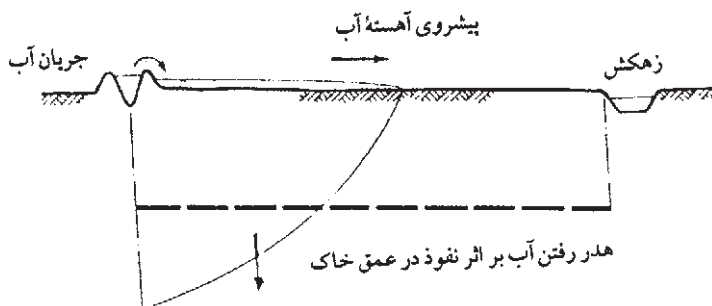
خاک رخ ندهد. برای تعیین بهترین طول شیار در وضعیت های مختلف راه حل ساده وجود ندارد. در این مورد رسم بر این است که بر تجربه به دست آمده در محل یا تجربه دیگران تکیه شود. (جدول ۴-۹) برای مثال مطابق جدول (۴-۹) در زمینی که خاک آن رسی است و شیب ۰/۱ درصد دارد، برای تأمین یک عمق آبیاری ۷۵ میلی متر باید حداکثر مقدار جریان ۳ لیتر در ثانیه و مناسب ترین طول شیار

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

جدول ۴-۹- طول‌های پیشنهادی برای شیارها (متر)

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

اندازه‌گیری طول مدت آبیاری نشستی: 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 ۹-۹) 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 ۹-۹- 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 به صورت تحت فشار جریان می‌یابد. از سیستم‌های تحت فشار به ذکر دو نوع عمده 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 به صورت باران بر سطح زمین پخش می‌کنیم. مجموعه وسایل و لوله‌هایی که این آب را از منبع آبی تا دهانه آبیاش منتقل می‌کند شبکه آبیاری بارانی نامیده می‌شود.

آبیاری بارانی به خاطر مزایای قابل توجه آن از اهمیت به‌سزایی برخوردار است و در کشور ما به دلیل 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:

– خاک بیش از حد متخلخل است و با آبیاری سطحی توزیع یکنواختی به‌وجود نخواهد آمد.

– عمق خاک حاصلخیز کم بوده و نتوان تسطیح لازم برای آبیاری سطحی به‌وجود آورد.

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

## مزایای آبیاری بارانی

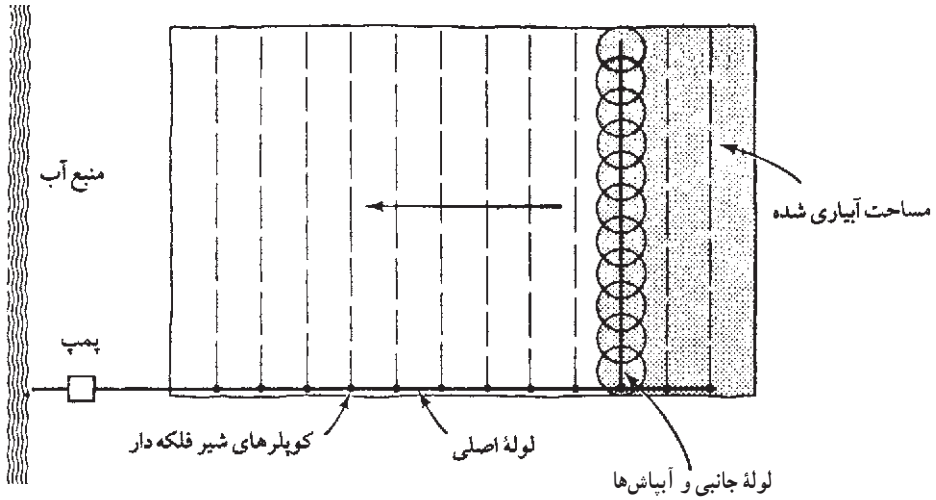
- ۱- صرفه‌جویی در مصرف آب به‌علت تلفات کم آب آبیاری و امکان آبیاری کم و مکرر.
- ۲- عدم نیاز به تسطیح در زمین‌های دارای پستی و بلندی.
- ۳- کاهش هزینه کارگر آبیاری نسبت به روش‌های سطحی.
- ۴- در عملیات زراعی (به‌خصوص عملیات مکانیزه) تداخل و یا مانعی ایجاد نمی‌کند.
- ۵- اندازه‌گیری آب و کنترل آن راحت‌تر صورت می‌گیرد.
- ۶- دما و رطوبت گیاه را می‌توان کنترل کرد.
- ۷- محافظت از گیاه در مقابل یخبندان ناشی از سرمای زودرس.
- ۸- امکان کاربرد انواع کودها، آفت‌کش‌ها و اصلاح‌کننده‌های خاک. به‌شکلی سریع، اقتصادی، آسان و مؤثر همراه با آب آبیاری.
- ۹- در روزهای گرم می‌توان با آبیاری محیط گیاه را خنک کرد.
- ۱۰- به‌علت دارا بودن اکسیژن محلول در آب، آبیاری برای گیاه مفیدتر است.

## معایب آبیاری بارانی

- ۱- هزینه زیاد.
- ۲- زیاد بودن مقدار تبخیر در حین پاشش.
- ۳- کم شدن درجه حرارت هوای محیط در موقع تبخیر و کندشدن رشد گیاه.
- ۴- مشکل شدن عمل لقاح در موقع آبیاری.
- ۵- کم شدن مرغوبیت محصول در موقع رسیدن دانه.
- ۶- عدم یکنواختی توزیع آب در مناطق بادخیز.

## تشکیلات یک شبکه آبیاری بارانی

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



شکل ۱۰-۹- اجزای سیستم آبیاری بارانی

## اجزای اصلی سیستم آبیاری بارانی

۱- 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 به دقت است که کیفیت آب در مقایسه با آبیاری ثقلی باید بالاتر باشد.

۲- منبع تأمین فشار: برای آنکه آب به صورت 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.

### ۳- شبکه لوله‌ها شامل لوله‌های اصلی و لوله‌های جانبی

الف) لوله‌های اصلی: لوله اصلی آب را از پمپ به لوله‌های جانبی می‌رساند. در برخی موارد لوله اصلی ثابت است و در مزرعه، روی زمین و یا اغلب زیرزمین قرار می‌گیرد و در برخی موارد قابل حمل است. جنس این لوله‌ها معمولاً از فولاد گالوانیزه - سیمان آریست، 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.

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

قرار می‌گیرند عبارتند از : آبیاش چرخشی و لوله روزنه‌دار .

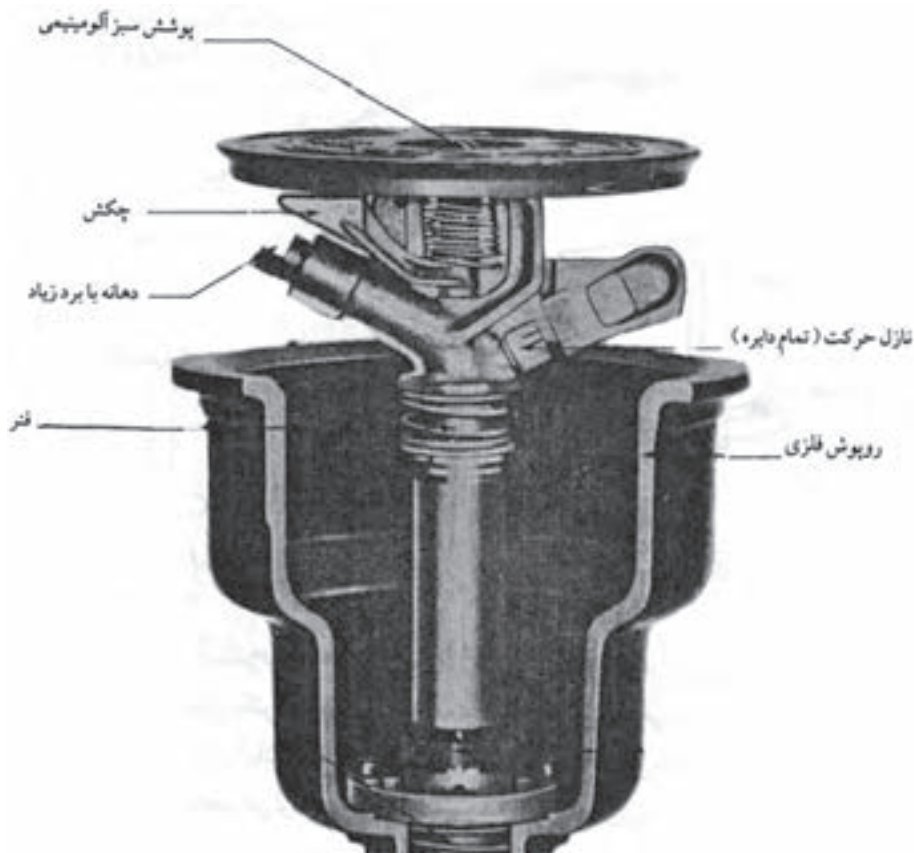
آبیاش چرخشی رایجترین نوع است. در بعضی سیستم‌ها از تعداد زیادی آبیاش کوچک که با هم کار می‌کنند، استفاده می‌شود (شکل ۹-۱۱). در بقیه سیستم‌ها تنها از یک آبیاش بزرگ یا گان استفاده می‌شود (شکل ۹-۱۲). نوع دیگری از آبیاش نیز در چمن‌کاری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۹-۱۳).



شکل ۱۱-۹- آبیاش چرخشی

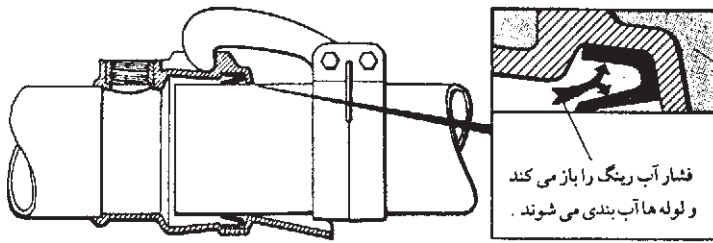


شکل ۱۲-۹- آبیاش بزرگ یا گان

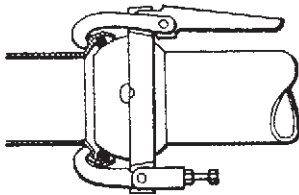


شکل ۱۳-۹- آبپاش چمنی

۵- ضمايم : به منظور استفاده از شبکه آبیاری بارانی برای کودپاشی، سمپاشی و مبارزه با یخزدگی وسایل و ضمايمي به شبکه اضافه می شود که از آن جمله می توان از تانک کود، تانک سم و دستگاه های الکتریکی هشدار دهنده نام برد. همچنین در شبکه لوله ها ضمايمي به کار می رود از قبیل :  
 کوپلر : لوله های اصلی و جانبی به وسیله کوپلرهای (متصل کننده ها) مخصوصی به یکدیگر وصل می شوند، به طوری که می توان سریع و راحت آن ها را وصل و جدا کرد. (شکل ۱۴-۹)  
 شیر فلکه : شیرفلکه جریان آب و فشار را در لوله های اصلی و جانبی کنترل می کند. (شکل ۱۵-۹)

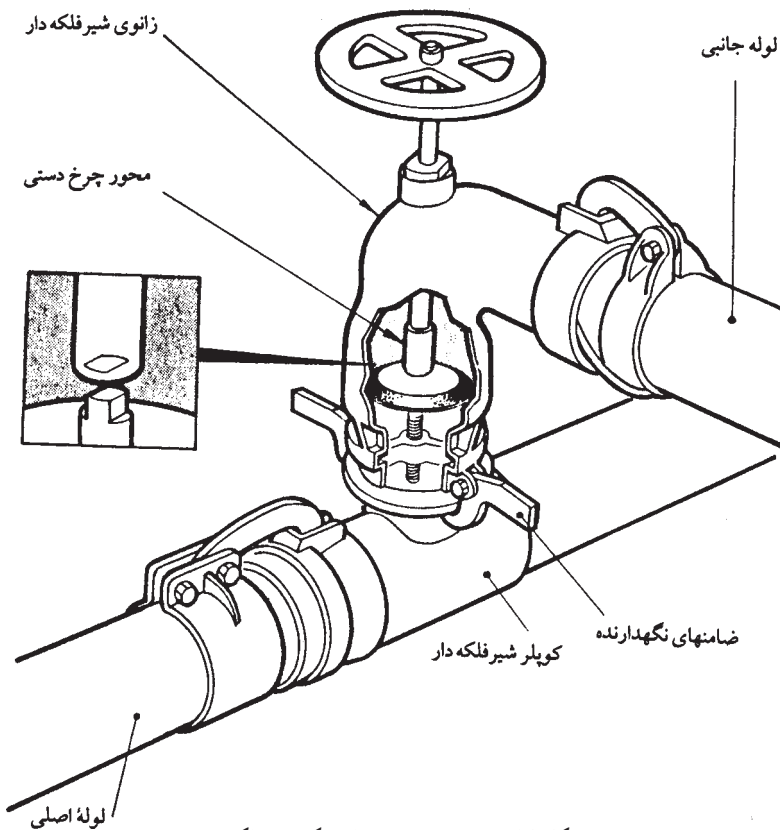


الف) یک نمونه کوپلر که با فشار آب، آب بندی می شود.



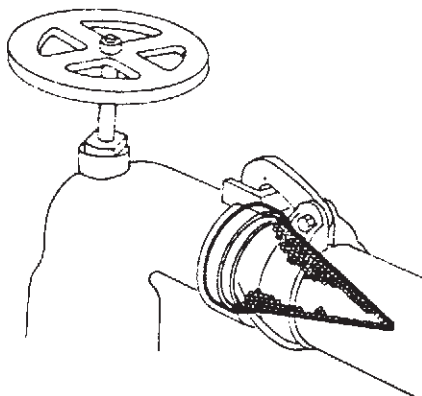
ب) یک نمونه کوپلر که به صورت مکانیکی  
آب بندی می شود.

شکل ۹-۱۴ - انواع کوپلرها



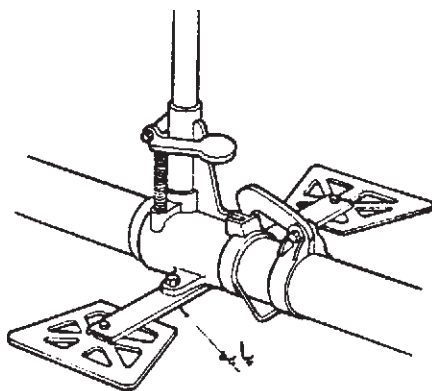
شکل ۹-۱۵ - قسمتهای مختلف یک شیر فلکه

صافی: اگر آب تمیز نباشد به احتمال زیاد نازل (سوراخ) آبیاش مسدود می شود. برای جلوگیری از انسداد نازل، در محل مکش پمپ و نقاط مختلف سیستم لوله کشی، صافی می گذارند. (شکل ۹-۱۶)



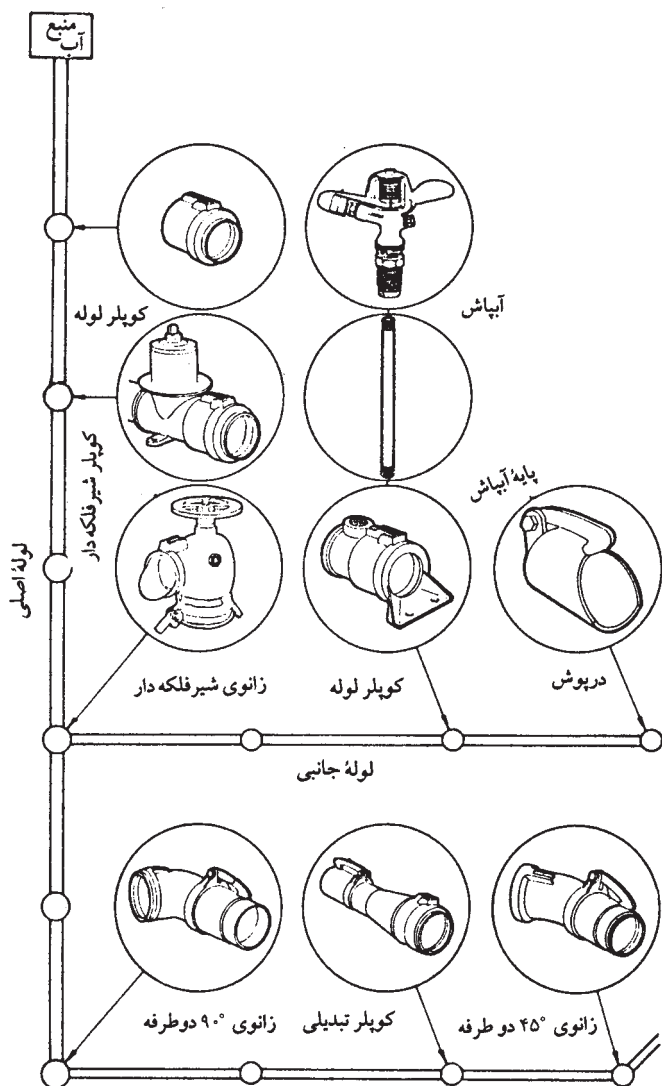
شکل ۹-۱۶- ورق صافی که در ابتدای لوله جانبی مورد استفاده قرار می گیرد.

پایه آبیاش: پایه آبیاش لوله باریکی است که آبیاش را به لوله جانبی وصل می کند. (شکل ۹-۱۷)



شکل ۹-۱۷- پایه آبیاش

تجهیزات مخصوص لوله کشی: این تجهیزات عبارتند از: زانویی، تبدیل سه راهی و درپوش... (شکل ۹-۱۸).



شکل ۱۸-۹- نحوه استفاده از تجهیزات مخصوص لوله‌کشی و قطعات دیگر در یک سیستم آبیاش 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 ۹-۱۹)



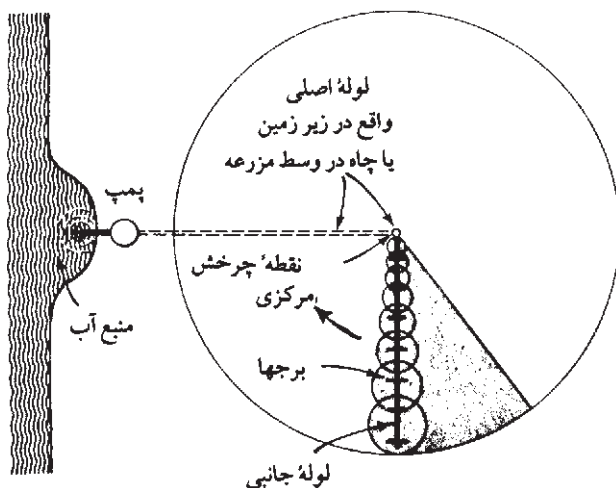
الف) جابجایی توسط کارگر



ب) جابجایی با نیروی مکانیکی

شکل ۹-۱۹

سیستم با جابه‌جایی (حرکت) مداوم : در این سیستم لوله‌های فرعی به‌طور مداوم در حرکت هستند. یک نوع از این سیستم سنتریوت<sup>۱</sup> 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 ۹-۲۰ و ۹-۲۱)



شکل ۹-۲۰- طرز قرارگرفتن ماشین آبیاری بارانی با نقطه چرخشی مرکزی

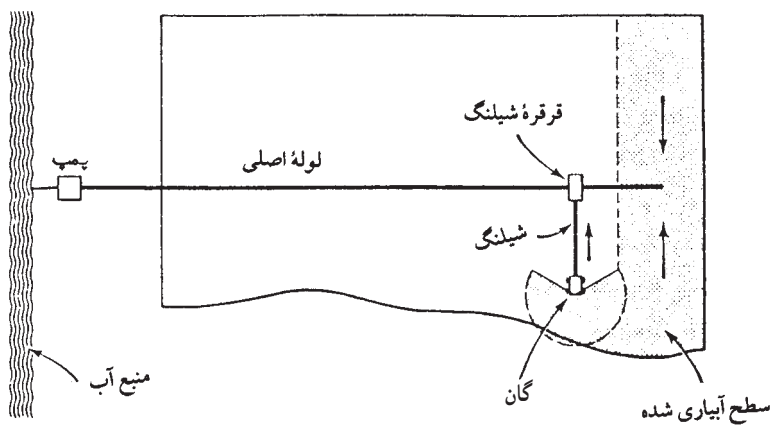


شکل ۹-۲۱- لوله جانبی سیستم سنتریوت

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 (گان) می‌نامند. (شکل ۹-۲۲)

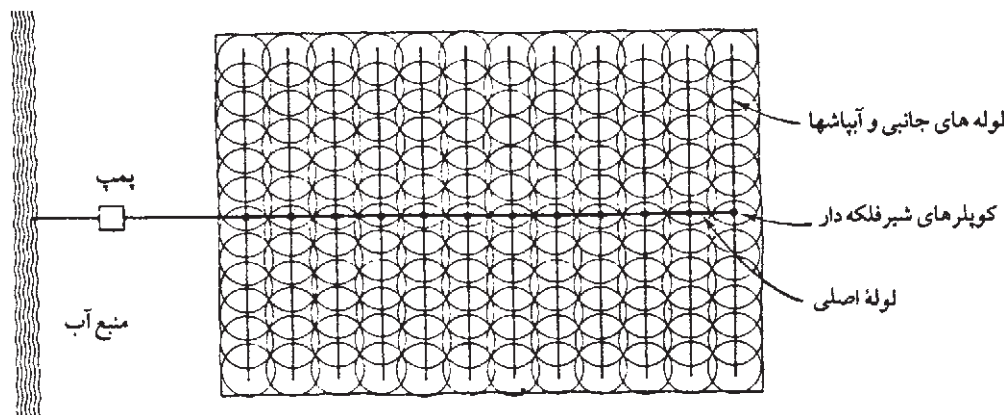


الف) ماشین شیلنگ پیچ



ب) طرح نمونه یک سیستم شیلنگ پیچ  
شکل ۹-۲۲

سیستم ثابت (بدون جابه‌جایی): در این سیستم به اندازه کافی لوله‌های فرعی وجود دارند و لذا احتیاجی به جابه‌جایی لوله‌ها برای تمام یک دوره آبیاری نیست. بنابراین برای آبیاری یک مزرعه با این سیستم فقط باید سیستم را به کار انداخت. (شکل ۲۳-۹)



شکل ۲۳-۹- سیستم ثابت فصلی یا دائمی

## آبیاری قطره‌ای

در این روش آب از منبع تا پای بوته، به وسیله 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 قرار می‌گیرد. 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 هر حال با توجه به محدودیت منابع آب در کشور ما نمی‌توان از این روش صرف‌نظر کرد بلکه باید در پی رفع مشکلات آن بکشیم.

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 می‌کنند این روش به‌کار می‌رود.

در باغ‌های میوه جوان که ریشه درختان توسعه چندانی ندارند: همچنین در مزارع

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 امکان‌پذیر می‌سازد.

## مزایای آبیاری قطره‌ای

- ۱- به سبب کاهش تبخیر از سطح خاک و نفوذ عمقی ناچیز کارآیی مصرف آب را افزایش می‌دهد.
- ۲- با کاهش سطح مرطوب خاک، مشکلات ناشی از وجود حشرات و بیماری‌ها و رشد قارچ‌ها نیز کاهش می‌یابد.
- ۳- به سبب موضعی بودن رطوبت خاک رویش علف‌های هرز پراکنده و کنترل آن‌ها آسان است.
- ۴- خودکار کردن سیستم و کنترل از راه دور برای تمام قسمت‌های آبیاری قطره‌ای امکان‌پذیر است و نیاز به کارگر به حداقل می‌رسد.
- ۵- آبیاری قطره‌ای مانع عملیات داشت نمی‌شود.
- ۶- امکان کود دادن همراه با آب آبیاری وجود دارد.
- ۷- سرعت باد و بستی و بلندی زمین نمی‌تواند موجب عدم یکنواختی پخش در سیستم آبیاری قطره‌ای شود.

## معایب آبیاری قطره‌ای

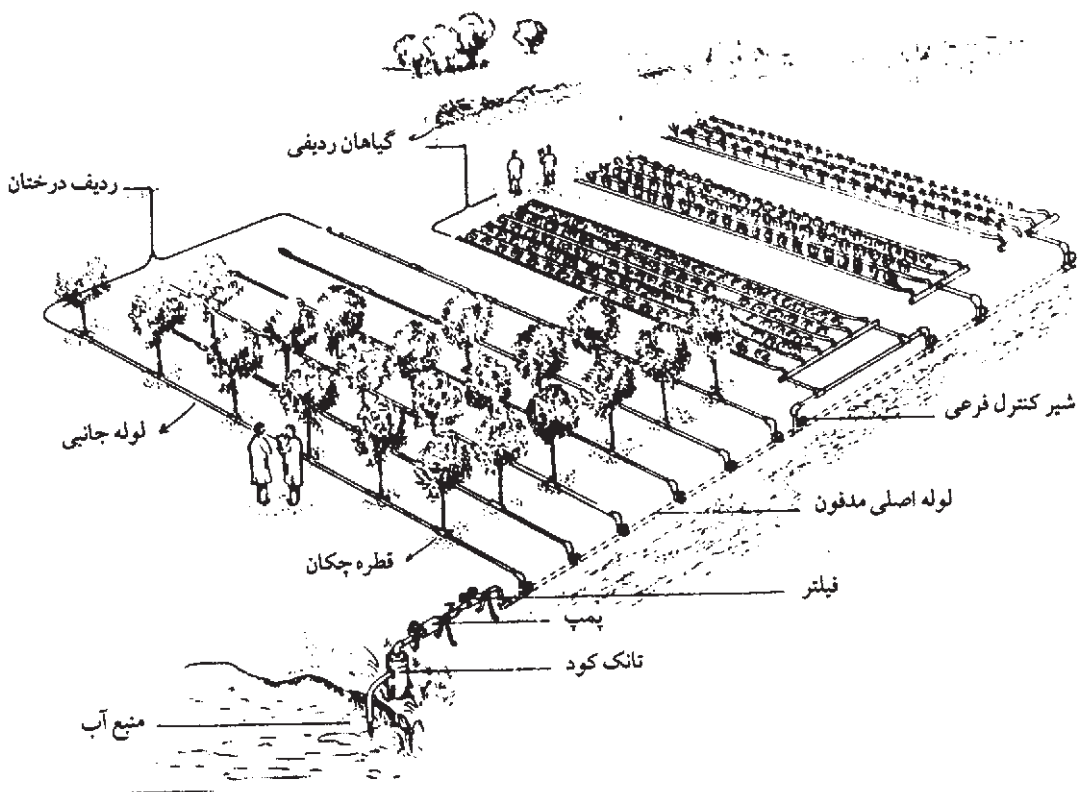
- ۱- هزینه زیاد در تأسیس آن
- ۲- محصولات زراعی مانند گندم را که به صورت متراکم کشت می‌شوند، نمی‌توان با روش قطره‌ای آبیاری کرد.
- ۳- اساسی‌ترین مشکل در آبیاری قطره‌ای مسدود شدن مجرای باریک عبور آب در قطره‌چکان‌ها است.

## اجزای شبکه آبیاری قطره‌ای

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

- قطره‌چکان‌ها

- لوله‌های جانبی
  - لوله‌های اصلی
  - تأسیسات آبگیر
  - دستگاه‌های تنظیم‌کننده فشار
  - دستگاه‌های تصفیه آب
- اجزای فرعی یا تکمیلی سیستم آبیاری قطره‌ای را به شرح زیر می‌توان نام برد:
- فشارسنج، دماسنج و دستگاه‌های اندازه‌گیری دبی
  - تانک کود
  - ادوات خودکار و کنترل از راه دور (شکل ۹-۲۴)

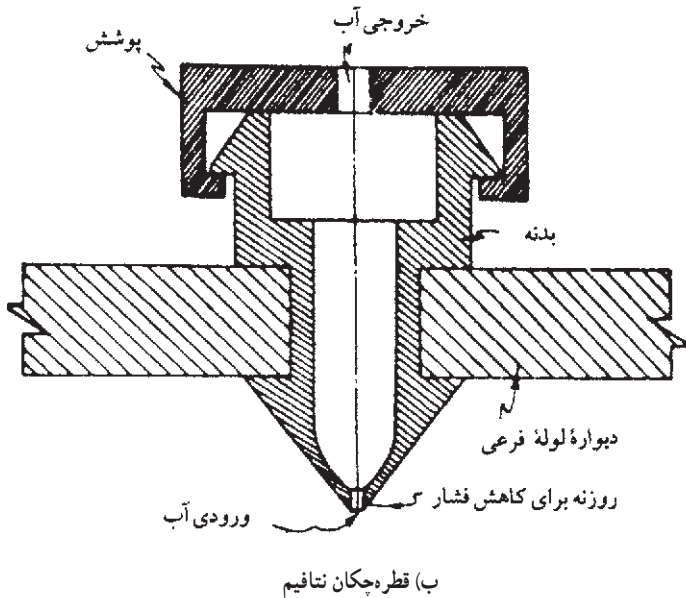
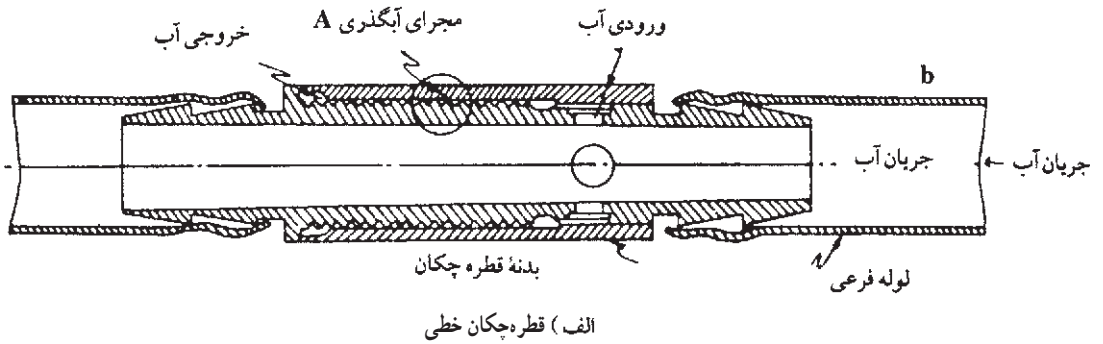


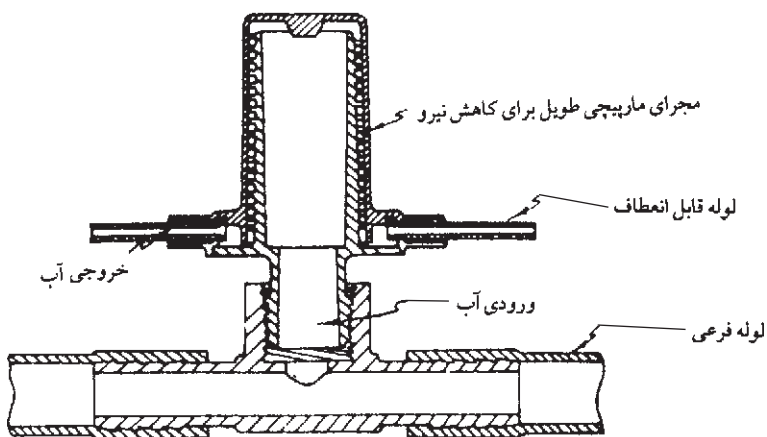
شکل ۹-۲۴- شبکه آبیاری قطره‌ای

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

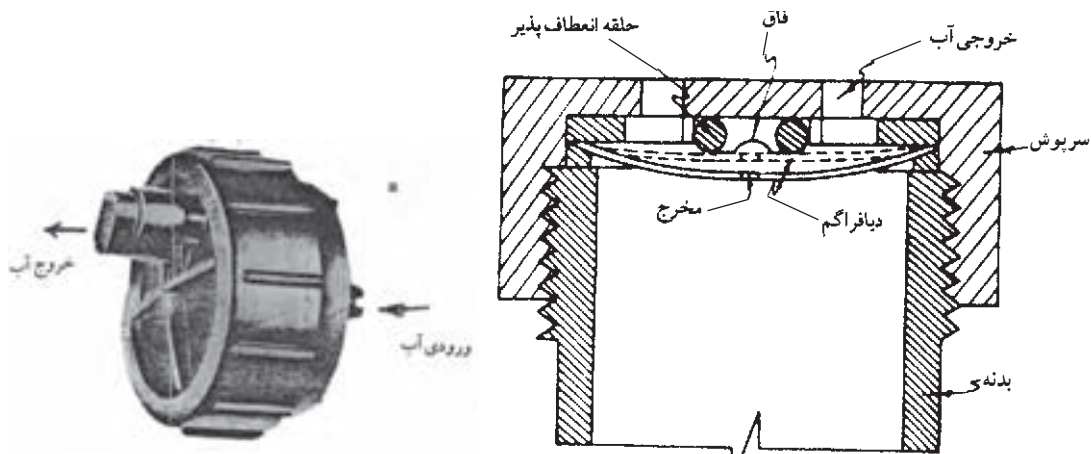
**قطره چکان :** قطره چکان‌ها آخرین اتصالات سیستم آبیاری قطره‌ای به‌شمار می‌روند که آب را به یکی از شکل‌های قطره یا فوران از خود خارج کرده و در اختیار گیاه قرار می‌دهند .

قطره چکان‌ها آب تحت فشار داخل لوله را به فشار صفر رسانیده و به صورت قطره خارج می‌کنند . برای این اساس انواع قطره چکان‌ها به سیستم‌های مخصوص کاهش انرژی مجهز هستند (شکل ۹-۲۵ و ۹-۲۶).





ج) قطره چکان سه راهی



ه) قطره چکان صفحه‌ای

د) قطره چکان دارای دیافراگم



و) قطره چکان با چند دهانه

شکل ۲۵-۹- انواع قطره چکان‌ها





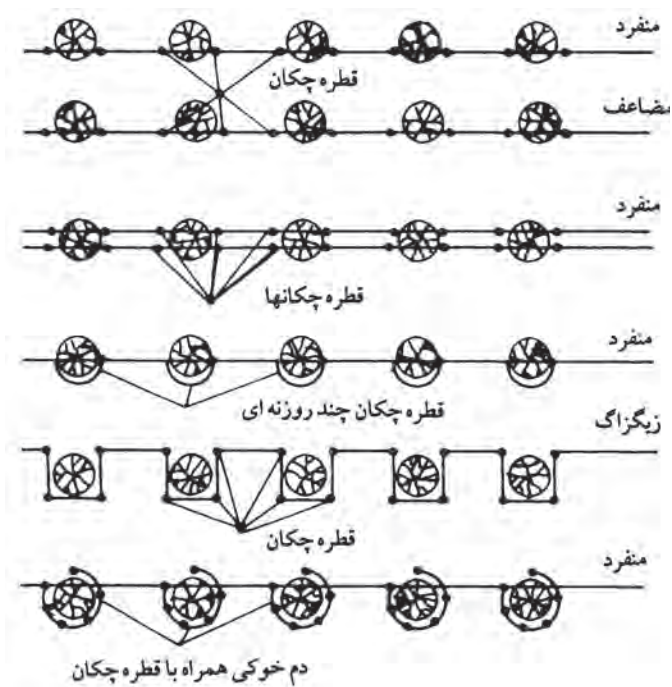
شکل ۹-۲۶

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 قابل انعطاف و مقاوم در برابر نور خورشید و یخبندان هستند (شکل ۹-۲۷). آرایش این لوله‌ها در سطح باغ یا مزرعه به نوع گیاه، سن گیاه، اقلیم منطقه و نوع خاک بستگی دارد. در شکل ۹-۲۸ 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 ۹-۲۷).



شکل ۲۷-۹- لوله اصلی و جانبی و نحوه اتصال آنها

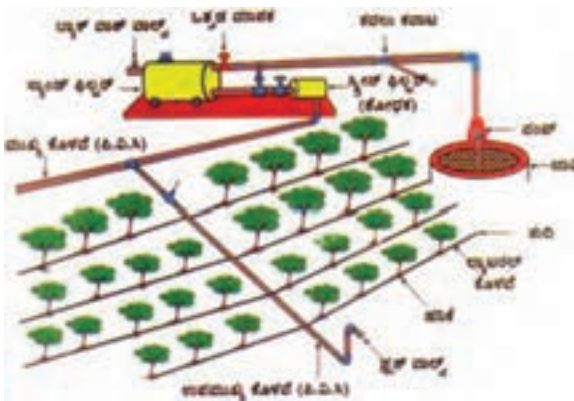


شکل ۲۸-۹- آرایش لوله های جانبی

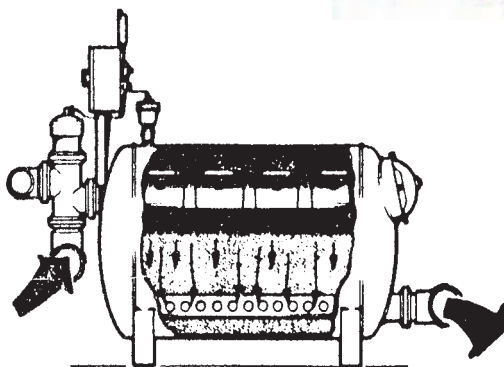
دستگاه‌های کنترل مرکزی : وسایل کنترل مرکزی به مجموعه اتصالاتی گفته می‌شود که در شبکه لوله‌ها بین تأسیسات آبیگر و نقطه ورودی لوله‌های توزیع کننده نصب می‌شوند. و عبارتند از :

- ۱- موتور پمپ
- ۲- سیکلون
- ۳- فیلتر شن
- ۴- تانک کود
- ۵- مرکز کنترل
- ۶- 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 ۲۹-۹- تشکیلات یک شبکه آبیاری قطره‌ای



ظرفیت تصفیه تا ۴۵۰۰ گالن در دقیقه

نیمه یا تمام اتوماتیک

شکل ۳۰-۹- فیلتر شنی

- ۱- روش‌های اصلی آبیاری کدامند؟
- ۲- به نظر شما اگر دبی ۱۵ لیتر در ثانیه را در خاک رسی وارد کرت کنیم ابعاد کرت چه اندازه می‌تواند باشد؟
- ۳- شکل ۲-۹ را تشریح کنید.
- ۴- شیب عرضی کرت چه اثری در آبیاری کرت دارد؟
- ۵- شکل ۸-۹ را تشریح کنید.
- ۶- به نظر شما چگونه می‌توان در زمین‌های با شیب زیاد آبیاری نشتی کرد؟
- ۷- رابطه بین دبی با زمان آبیاری چیست؟
- ۸- چگونه می‌توان با آبیاری بارانی از یخبندان جلوگیری کرد؟
- ۹- کوپلرها چگونه عمل می‌کنند؟
- ۱۰- مزایای آبیاری قطره‌ای چیست؟
- ۱۱- مکانیسم کار قطره‌چکان‌ها چیست؟

## واژه‌نامه

Absorption, Uptake	جذب
Acid soil	خاک اسیدی
Acidity	اسیدیته – 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
Atmosphere	جو
Available Moisture	رطوبت قابل استفاده، ظرفیت نگهداری
Available nutrients	عناصر قابل جذب
Available Water	آب قابل استفاده
Badland	هزار دره (شیارهای روی تشکیلات ماری)
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 - پخش
Ditch	نهر
Ditcher	نهرکن

Drinage	زهكشی
Edaphology	خاك شناسی
Effective Precipitation	باران مؤثر
Efficiency	بازده
Efflorescence	شوره (زدن)
Electrical conductivity	هدایت الکتریکی
Element	عنصر
Erosion	فرسایش
Evaporation	تبخیر
Evapotranspiration	تبخیر و تعرق
Exchange	تبادل
Exchangable anion	آنیون تبدالی
Exchangable sodium percentage = ESP	درصد سدیم تبدالی
Fertility	حاصلخیزی
Fertilizer	کود
Field capacity	رطوبت حد ظرفیت زراعی
Flood	سیل
Flooding	غرقاب - 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 manuur	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
Infiltration	نفوذ
infiltrability	نفوذپذیری
Influent Water	آب ورودی
Inlet (irrigation)	ورودی
Irrigated crop	کشت فاریاب
Irrigation	آبیاری



Irrigation implements	تجهيزات آبیاری
Irrigation interval	دور آبیاری
Irrigation time	مدت زمان آبیاری
Irrigator	آبیار
Lamination	لایه بندی
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	لکه های 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 - واحد ساختمانی خاک
Permeability	نفوذپذیری - تراوایی
Permeability of rocks	نفوذپذیری سنگ‌ها
Permanant wilting point	نقطه پژمردگی دائم
Platelite	ورقه‌ای
Porosity	تخلخل
Precipitation	ریزش‌های جوی
Prismatic	منشوری
Profile	نیمرخ
Radiation	تابش
Ratio Humidity	رطوبت نسبی
Run - off	رواناب - 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	بیان 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	مکش سنج
Tension	مکش
Top soil	سطح الارض
Translocation	انتقال
Transpiration	تعرق
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

- بایوردی، 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 (جلد اول)، دانشگاه چمران، ۱۳۶۷.
- رفیع، محمد جعفر، فیزیک خاک، دانشگاه تهران، ۱۳۶۹.
- زرین‌کفش، منوچهر، خاک‌شناسی کاربردی، دانشگاه تهران، ۱۳۶۷.
- عالمی، محمد، آب و خاک، دانشگاه تهران، ۱۳۶۰.
- عاکف، مهدی، دستورالعمل آزمایشگاه خاک‌شناسی، دانشگاه گیلان، ۱۳۷۱.

بایوردی، 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 (جلد دوم)، دانشگاه تهران، ۱۳۶۸.

بایوردی، 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.

حق‌نیا، غلامحسین، خاک‌شناخت، دانشگاه فردوسی، ۱۳۷۱.

حاجی‌زاده، اکبر، برخی از مسائل خاک‌شناسی، انتشارات بامداد، ۱۳۶۸.

حکیمیان، مسعود، مبانی خاک‌شناسی، دانشگاه تهران، ۱۳۵۹.

حیرایی، محمدحسین، درس‌هایی از حفاظت آب و خاک، انتشارات وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی.

اصلاح خاک‌های شور، مؤسسه تحقیقات خاک و آب نشریه ۲۴۲.

حق‌نیا، غلامحسین، خاک‌شناخت، دانشگاه فردوسی، ۱۳۷۰.

بایوردی، 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، جزوه 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، جزوه 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 .

