جمهوری اسلامی ایران

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب

راهنمای تعیین نیاز آبی گیاهان گلخانه‌ای در کشت‌های بدون خاک

نگارندگان

ولی کریمی، عضو هیات علمی موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور (باغ گیاهشناسی نوشهر)

محمدرضا بیگلویی، عضو هیات علمی دانشگاه گیلان

شهرام کیادلیری، عضو هیات علمی موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور (باغ گیاهشناسی نوشهر)

نشریه فنی: 612

1401

مشخصات اثر

عنوان: راهنمای تعیین نیاز آبی گیاهان گلخانه‌ای در کشت‌های بدون خاک

نگارندگان: ولی کریمی، محمدرضا بیگلویی و شهرام کیادلیری

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات سنا

کارشناس انتشارات: سمانه پورمنصور

ویراستار علمی: ناصر دواتگر

ویراستار ادبی: زهرا محمدی

طراح جلد: راضیه محمدی

سال انتشار: 1401

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این اثر با شماره 61975 در تاریخ 1401/5/8 در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

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

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

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

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

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مفاهیم آب، بستر و کشت بدون خاک 5
فصل دوم: سامانه آبیاری و کود آبیاری کشت‌های گلخانه‌ای 19
فصل سوم: کیفیت آب کشت‌های گلخانه‌ای 25
فصل چهارم: مدیریت کیفیت آب در گلخانه 37
فصل پنجم: مدیریت کمیت آب در گلخانه 45
نتیجه‌گیری 69
منابع 70

پیشگفتار

مسئله کم آبی در ایران، باعث شده که سیاستگذاران بخش کشاورزی به دنبال روش‌هایی باشند که با بالاترین بهره‌وری آب[1]، محصول مناسب تولید شود. یکی از روش‌های مطمئن برای این منظور، استفاده از کشت‌های گلخانه‌ای است. به عنوان نمونه برای تولید یک کیلوگرم گوجه‌فرنگی در گلخانه‌های کاملا مکانیزه و کنترلی نزدیک به 4 لیتر آب نیاز است (Ruijs, 2011). از این‌رو می‌توان دریافت که کشت‌های گلخانه‌ای به چه میزان بر صرفه‌جویی آب تأثیر دارند. یکی از اولویت‌های توسعه کشت‌های گلخانه‌ای، برخورداری از آب مطمئن و با کیفیت خوب است. شاخص‌های زیادی در بهره‌وری مصرف آب در گلخانه‌ها تاثیر دارند. برای اینکه با اطمینان خاطر بتوان به میزان آب مصرفی گیاهان گلخانه‌ای در کشور اشاره نمود، لازم است به پژوهش‌های داخلی و منابع خارجی معتبر استناد نمود. با وجود پژوهش‌های اندک داخلی برای نیاز آبی گیاهان گلخانه‌ای هنوز به طور قطعی نمی‌توان میزان نیاز آبی گیاهان گلخانه‌ای را برای برنامه‌ریزی‌های کلان توسعه کشت‌های گلخانه‌ای برآورد کرد. یکی از مهم‌ترین اولویت‌های توسعه کشت‌های گلخانه‌ای، تعیین نیاز آبی گیاهان گلخانه‌ای است. کمبود نشریه‌های کاربردی فارسی زبان در حوزه تخصصی گیاهان گلخانه‌ای، باعث شد که نشریه راهنمای تعیین نیاز آبی گیاهان گلخانه‌ای در کشت‌های بدون خاک تدوین شود.

شیوه بیان ساده، همراه با ذکر نمونه‌های کاربردی، وجه تمایز این نشریه با نشریه‌های مشابه است. این نشریه می‌تواند برای بسیاری از مخاطبان از جمله مدیران اجرایی، مراکز پژوهشی، دانشجویان و کارشناسان رشته‌های علوم کشاورزی، مراکز فنی و حرفه‌ای و سازمان نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی و سایر ارگان‌ها یا افراد دخیل در امور گلخانه‌ای استفاده شود.

---

[1] بهره‌وری آب مفهوم جامع‌تر از کارایی مصرف آب، علاوه بر مقدار تولید بر حسب آب مصرفی، به درآمد حاصل از هر واحد آب نیز می‌پردازد (انتصاری و همکاران، 1386).

مقدمه

اهمیت صرفه‌جویی آب در بخش کشاورزی ایران، یکی از راهکارهای حیاتی تولید محصولات کشاورزی است. هر راهکار یا روش تولیدی که بتواند منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب باشد، می‌تواند بخشی از چالش کشاورزی ایران را بر طرف نماید. محدودیت‌ها و مشکلات ناشی از خاک (شوری و امکان آلودگی به بسیاری از عوامل بیماری و آفت گیاهی) باعث می‌شود که گرایش به کشت‌های بدون خاک افزایش یابد. امروزه از کشت‌های کنترل شده یا کشت‌های گلخانه‌ای به عنوان روشی مطمئن در صرفه‌جویی مصرف آب در کشاورزی نام می‌برند و سیاست‌گذاری دولت در راستای توسعه گلخانه‌ها در برنامه‌های پنج ساله وزارت جهاد کشاورزی دنبال می‌شود. بافت‌های تمام موجودات زنده از آب تشکیل شده است که این اصل، مسئله رطوبت را برای گیاهان حیاتی می‌کند. در گیاهان گلخانه‌ای، به دلیل کنترلی بودن محیط رشد، می‌توان رطوبت گیاه را مدیریت کرد. بخش مهمی از هدر رفت آب از بافت گیاه به رطوبت گلخانه و بستر کشت وابسته است. از این‌رو با مدیریت صحیح عوامل تولید می‌توان به بالاترین سطح صرفه‌جویی آب در کشاورزی گلخانه‌ای دست یافت. شاید سوالی که برای پرورش دهنده گیاه گلخانه‌ای مطرح شود، این باشد که چه نوع و چه مقدار آب برای آبیاری نیاز است. به‌عبارت دیگر کیفیت و کمیت آب گیاهان گلخانه‌ای را چگونه می‌توان تشخیص داد؟ در این نشریه به تأثیر آب بر فیزیولوژی رشد گیاه، بسترهای کشت، کشت‌های بدون خاک، سیستم‌های آبیاری، کودآبیاری و در پایان روش محاسبه نیاز آبی گیاهان گلخانه‌ای پرداخته شده است.

فصل اول

مفاهیم آب، بستر و کشت بدون خاک

1- آب

آب در مفهوم عام به نام رطوبت، از دو راه اصلی یعنی بستر کشت و هوا وارد چرخه زندگی گیاه می‌شود. به دلیل وجود آب در بافت‌های تمام موجودات زنده، همه‌ی واکنش‌های شیمیایی وابسته به آب است. از این‌رو توزیع گیاهان در سطح زمین بیش از هر عامل واحد دیگری با موجودیت آب کنترل می‌شود (علیزاده، 1387). رطوبت برای گیاهان، به‌ویژه برای محصولات گلخانه‌ای بسیار مهم است. امروزه از روش‌های موثر آبیاری در گلخانه‌ها به‌ویژه در اقلیم‌های مدیترانه‌ای، برای بهره‌وری بیشتر آب استفاده می‌شود (Nikolaou et al., 2021). در این فصل، مفهوم رطوبت از دو دیدگاه بستر و هوا بررسی می‌شود.

1-1- رطوبت بستر

آب توسط ریشه جذب و از راه روزنه‌های برگ خارج می‌شود. حاصل این پدیده، جریانی از آب بین ریشه و برگ است. یکی از اثرات جریان پیوسته آب، تامین آب و مواد غذایی نیازمند گیاه از محیط ریشه است. از این‌رو آب یکی از مهمترین عامل تاثیر گذار بر دسترسی به مواد غذایی موجود در بستر کشت گیاه است (Clark et al., 2009). مقدار آب از دست داده شده به شرایط بستر کشت، جریان هوا، رطوبت نسبی و دمای هوا بستگی دارد (Nelson, 2003).

مقدار آب قابل دسترس برای جذب ریشه، با محتوای آب خاک[1] در ارتباط است (Kirkham, 2005). مناسب‌ترین وضعیت رطوبت بستر کشت برای استفاده گیاه حد ظرفیت

[1] Soil's water budget

زراعی[1] است. مقدار رطوبتی که یک بستر کشت اشباع شده پس از خارج شدن آب ثقلی در خود نگه می‌دارد، ظرفیت زراعی نام دارد. ظرفیت زراعی بالاترین اندازه رطوبت بستر کشت برای استفاده گیاه است. پایین‌ترین اندازه رطوبت بستر کشت برای استفاده گیاه نقطه پژمردگی است. اندازه‌ای از رطوبت بستر کشت که گیاه نتواند حتی در طول شب آبی را که در طول روز تعریق نموده است را جبران نماید، نقطه پژمردگی دائم[2] نام دارد. نقطه پژمردگی دائم نه تنها تابعی از نوع بستر کشت، بلکه به دمای هوا، کمبود رطوبت در هوا، توزیع ریشه‌ها در بستر کشت، و از همه مهم‌تر گونه گیاهی است. به‌عبارت دیگر حد ظرفیت زراعی، اغلب تنها به ویژگی‌های بستر کشت بستگی دارد، درحالی‌که حد رطوبت نطقه پژمردگی، ضمن ویژگی‌های بستر کشت، به نوع گونه، تراکم سیستم ریشه و وضعیت اقلیمی نیز وابسته است (سلگی و همکاران، 1396). مقدار رطوبت بستر کشت یک تا 3 روز بعد از آبیاری، به رطوبت ظرفیت زراعی می‌رسد (البته زمانی که تبخیر از سطح اثرگذار نباشد). این شاخص به صورت درصد آب در وزن خشک، یا حجم بستر کشت بیان می‌شود. از دیدگاه تئوری مقدار رطوبتی که بین دو حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم در بستر کشت وجود دارد، ظرفیت آبی موجود برای گیاه یا آب قابل دسترس[3] نامیده می‌شود. تمام مقدار آبی که بین دو حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم است، به آسانی قابل استفاده گیاه نبوده بلکه بسته به نوع گیاه فقط 40 تا 75 درصد آن می‌تواند به آسانی جذب گیاه شود، به آن آب سهل الوصول[4] گفته می‌شود که مقدار آن برای گیاهان مختلف، متفاوت است. برای آنکه بتوانیم مقدار آب سهل الوصول را تخمین بزنیم از مفهوم بیشینه کمبود مجاز[5] استفاده می‌شود. بیشینه کمبود مجاز بدون بعد است که مقدار آن بستگی به ویژگی‌های گیاه دارد. برای نمونه برای سبزی‌ها مقدار آن نزدیک به 0/5 است (دلقندی، 1396).

آب موجود در منافذ موئین بستر کشت را آب موئینگی می‌نامند. قدرت نگه‌داری آب در منافذ موئینه بستر کشت به قطر آن‌ها بستگی دارد. با کاهش قطر منافذ، پیوند آب محکم‌تر شده و پتانسیل مکش بیشتر (منفی‌تر) می‌شود. گیاهانی که در بستر کشت رشد می‌کنند،

[1] Field capacity (FC)
[2] Permanent wilting point (PWP)
[3] Available water (AW)
[4] Readily available water (RAW)
[5] Maximum allowable deficiency (MAD)

ابتدا آبی را که با پیوند ضعیف به سطح ذرات متصل شده جذب می‌کنند. این آب دارای کم‌ترین مکش (کمتر منفی) است به‌راحتی جذب ریشه می‌شود. سرانجام به نقطه‌ای می‌رسد که آب بسیار محکم به ذرات متصل شده و ریشه‌ها توانایی جذب را ندارند که به این وضعیت رطوبت بستر کشت نقطه پژمردگی می‌گویند. در نقطه پژمردگی دائم، پژمردگی گیاه غیر قابل برگشت بوده و گیاه از بین می‌رود. خسارت ناشی از تنش آب بر سلول گیاه مربوط به اثرات زیان‌بار پسابیدگی (خروج آب از درون سلول) بر پروتوپلاسم است (شکل 1-1).

یکی دیگر از واکنش‌های بسیار مهم گیاهان به تنش آبی، کاهش پتانسیل اسمزی سلول در اثر تجمع مواد محلول است. به این فرایند تنظیم اسمزی[1] گفته می‌شود. یکی از آثار نخست کمبود آب، کاهش رشد رویشی است (خوش‌گفتارمنش، 1386).

شکل 1-1- خسارت ناشی از تنش آب در ارتباط با اثرات زیان بار پسابیدگی بر پروتوپلاسم (پتانسیل محلول=Ψs = پتانسیل سلول =Ψcell، پتانسیل پرتوپلاست =Ψ p)

1-2- رطوبت هوا

بیشترین تعرق گیاهی (بیرون رفتن آب از گیاه به صورت بخار) از مسیر روزنه‌های برگ انجام می‌شود. به عنوان نمونه بر اساس تحقیقات انجام شده در گیاهان سورگوم و سویا نشان داده شد که نزدیک به 95 درصد آب از راه تبخیر- تعرق خارج می‌شود (Kirkham, 2005). میزان تبخیر- تعرق به مقدار تابش خورشید و رطوبت نسبی هوا بستگی دارد. رطوبت موجود در هوا به چهار صورت قابل بیان است:

[1] Osmotic adjustment

رطوبت واقعی[1](AH): رطوبت واقعی موجود در هوا است و به‌صورت کیلوگرم بخارآب به کیلوگرم هوای خشک بیان می‌شود.

فشار بخار (e_a): به مقدار بخارآب موجود در هوا گفته می‌شود که در تماس با اجسام است. به این معنی زمانی که بخارآب در هوا به حد اشباع برسد، در شب‌های سرد، امکان تبدیل آن به مایع و در نتیجه تشکیل نقطه شبنم در شاخساره گیاهان وجود دارد. در حالت رطوبت اشباع هوا، فشار بخار به حد اشباع می‌رسد (e_s): زمانی که دمای هوا افزایش می‌یابد، ظرفیت نگهداری بخارآب در آن افزایش، در نتیجه فشار بخار اشباع آب افزایش می‌یابد.

رطوبت نسبی هوا[2] (RH): به رطوبت موجود در بخشی از هوای اطراف گیاه به رطوبت اشباع هوا در آن دما گفته می‌شود. رطوبت نسبی با تغییرات دمایی تغییر می‌کند و برحسب درصد بیان می‌شود.

$$RH = 100(\frac{e_a}{e_s}) \quad (1)$$

که در آن: e_a = فشار بخار موجود در هوا و e_s = فشار بخار در حد اشباع است.

کمبود فشار بخار[3](VPD) یا کمبود اشباع[4]: به مقدار بخارآب موجود در هوا، در دمایی معین گفته می‌شود که بتواند رطوبت هوا را پیش از رسیدن به حد اشباع جذب نماید و توانایی گیاه برای تبخیر- تعرق و فرایند جذب آب را نشان می‌دهد. همچنین به این اصطلاح قدرت هوای خشک نیز می‌گویند. این عبارت بیشتر برای فرایندهای بیولوژیکی استفاده می‌شود. کمبود فشار بخار تحت تأثیر تبخیر- تعرق قرار می‌گیرد. اتمسفر معمولاً در شرایط غیراشباع قرار دارد. از کسر رطوبت اشباع به رطوبت موجود در هوا، مقدار کمبود فشار بخار به دست می‌آید (Castilla, 2013):

$$VPD = e_s - e_a \quad (2)$$

گیاهان معمولا به دنبال پیش آمدن کمبودهای آنی آب، برای ایجاد تعادل بین مقدار دفع آب از سطح برگ (تعرق) و مقدار تأمین آب از ریشه، اقدام به بستن روزنه‌ها می‌کنند. مشخص شده‌است که باز و بسته شدن روزنه‌ها به رطوبت نسبی محیط حساس است.

[1] Absolute humidity (AH)
[2] Relative humidity (RH)
[3] Vapour pressure deficit (VPD)
[4] Saturation defici

تشخیص نخست تنش آب در برگ‌ها از راه تأثیر آن در فتوسنتز انجام می‌شود (احمدی و همکاران، 1386).

2- بستر کشت بدون خاک

بستری که در آن خاک‌دانه (رس) به‌کار رفته باشد، کشت خاکی نامیده می‌شود، و در غیر این صورت به کشت بدون خاک معروف است (برای مطالعه بیشتر به کتاب اصول مدیریت گلخانه به تالیف دکتر ولی کریمی مراجعه شود). نکته قابل توجه در هنگام تهیه بستر کشت این است که باید سبک (وزن مخصوص کم) باشد (جدول 1-1).

جدول 1-1- وزن مخصوص ظاهری و درصد منافذ برخی از مهم‌ترین مواد بستر کشت (Pardossi et al., 2011)

نوع بستر کشت	واحد	وزن مخصوص ظاهری	درصد منافذ
پیت روشن	g/cm^3	0/06 – 1	90 – 95
پیت سیاه	g/cm^3	1 – 0/15	85 – 90
ورمیکولایت	g/cm^3	0/09 – 0/15	90 – 95
پرلیت	g/cm^3	0/08 – 0/12	85 – 90
پشم سنگ	g/cm^3	0/094 – 0/097	80 – 90
پوکه معدنی (رس منبسط شده)	g/cm^3	0/6 – 0/9	85 – 90
پامیس	g/cm^3	0/65 – 0/9	65 – 75
ایده‌ال (ترکیبی از مواد بستری)	g/cm^3	0/19 – 0/7	50 – 85

2-1- مواد بستری با ترکیبات آلی (گیاهی)

2-1-1- کمپوست پوست درخت

پوست درختان پهن‌برگ[1] (مثل توسکا، بلوط، بید، صنوبر، تبریزی، راش و غیره)، سوزنی‌برگان[2] (مثل کاج، نراد، سرخدار و غیره) و خاک‌برگ[3] از جمله موادی هستند که به‌صورت کمپوست می‌توانند به‌عنوان محیط کشت استفاده شوند.

[1] Hardwood bark
[2] Softwood bark
[3] Leaf mould

2-1-2- پیت و کوکوپیت

پیت بستر کشت در تولید بیشتر گیاهان گلدانی است. نوع دیگری از ماده‌آلی که به‌صورت تجاری در سطح وسیع در کشت‌های بدون خاک استفاده می‌شود، کوکوپیت نام دارد. این بستر کشت به‌صورت قالب‌های فشرده شده معمولا 5 کیلوگرمی (در حالت خیس شده به‌حجم 70 لیتر) عرضه می‌شود (شکل 1-2).

شکل 1-2- بستر کشت کوکوپیت (تصویر راست) و پیت (تصویر چپ)

2-2- مواد بستری با ترکیبات معدنی

2-2-1- پرلیت

پرلیت ماده‌ای بسیار سبک، اسفنجی، دارای منافذ زیاد و تهویه عالی است. قطر ذرات آن از ریز تا درشت متفاوت است. اندازه قطر پرلیت باغبانی بین 1/6 تا 3 میلی‌متر و برای گلخانه‌ها 1/5 تا 2/5 میلی‌متر است. بسترهای کشت کیسه‌ای پرلیت[1] در ابعاد به عرض 20-15 سانتی‌متر و به طول 120 سانتی‌متر و به وزن 40 لیتری به بازار عرضه می‌شود (شکل 1-3).

شکل 1-3- بستر کشت پرلیت

[1] Bag culture

2-2-2- پوکه معدنی[1] (رس پخته)

دانه‌های رس با حرارت دادن می‌تواند به قطر نزدیک به 0/2 تا 3 سانتی‌متر تبدیل شوند (شکل 1-4). این ماده برخلاف رس، ظرفیت تبادل کاتیونی پایینی دارد و تقریبا خنثی است. هدف از بکار گیری این ماده در تهیه بستر، افزایش منافذ هوا و زهکشی است.

شکل 1-4- بستر کشت پوکه معدنی

2-2-3- شن و ماسه

شن استفاده شده برای بسترهای کشت، به قطر 0/2 تا 2 میلی‌متر و ماسه 2 تا 5 میلی‌متر است. این مواد برای تغییر وزن مخصوص ظاهری استفاده می‌شود. کاربرد شن و ماسه برای جلوگیری از فشرده شدن بستر است. در بسترهای کشت گلدانی به دلیل سنگین شدن گلدان، این مواد معمولا به مقدار خیلی کم استفاده می‌شوند (Raviv and Lieth, 2008).

2-2-4- ورمی‌کولایت

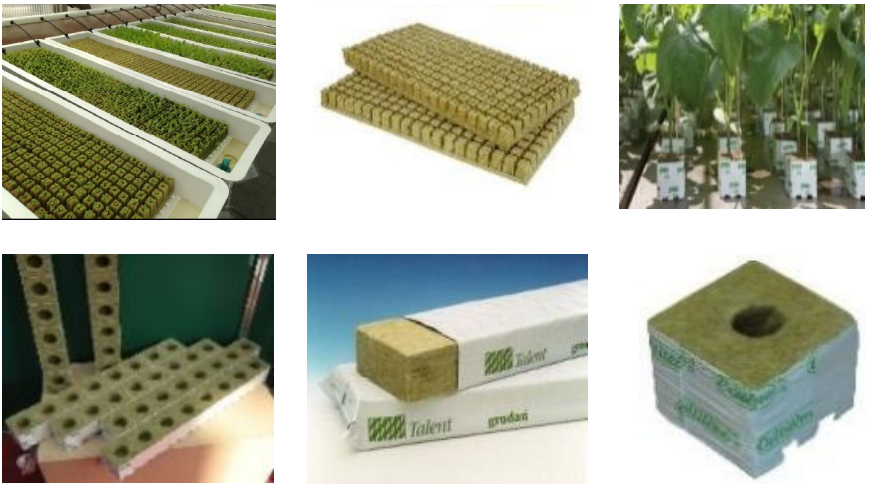
این کانی از ترکیبات میکا و دارای سیلیکات‌های منیزیم، آلومینیوم و آهن است. PH آن بین 6/3 تا 7/8 است. ورمی‌کولایت در اندازه‌های مختلف از ریز برای جوانه زدن بذور تا درشت (قطر 6 میلی‌متر) وجود دارد. اما اندازه استفاده شده در باغبانی، قطر ذرات بین 2 تا 3 میلی‌متر است (شکل 1-5).

[1] Expanded clay

شکل 1-5- بستر کشت ورمی‌کولایت

5-2-2- پشم سنگ[1]

پشم سنگ مخلوط فشرده سنگ‌های بازالتی، سنگ آهک و زغال سنگ در حرارت 1600 درجه سانتی‌گراد است. معمولا بصورت قالب‌های مکعبی شکل در ابعاد به ارتفاع 10- 7/5 سانتی‌متر، به عرض 20-15 سانتی‌متر و به طول 100 سانتی‌متر عرضه می‌شود. PH آن بین 7 تا 8 است. نوع گرانوله آن می‌تواند دوباره استفاده شود (Kafkafi and Tarchitzky, 2011).

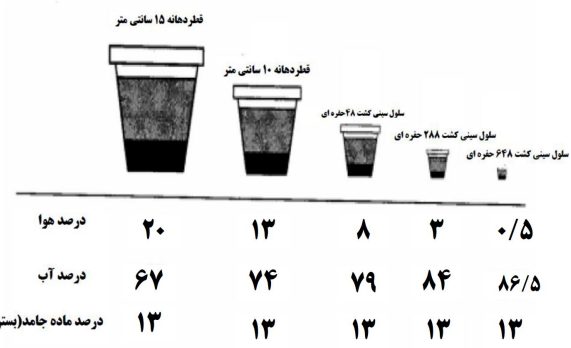


شکل 1-6- قالب‌های کشت پشم سنگ

[1] Rockwool or Stonewool

2-3- ظروف کشت[1]

با توجه به نوع گیاه می‌توان از انواع مختلف ظروف کشت استفاده کرد. نکته قابل توجه این‌که با کاهش ارتفاع ظروف، درصد هوا کاهش و درصد آب افزایش می‌یابد (شکل 1-7). از معروف‌ترین ظروف کشت می‌توان به گلدان، جعبه‌های کشت، ظروف فلزی، کیسه‌های پلاستیکی، بلوک‌های پیتی و کارتن‌های فشرده (کارتن پلاست) اشاره کرد.



درصد هوا	۲۰	۱۳	۸	۳	۰/۵
درصد آب	۶۷	۷۴	۷۹	۸۴	۸۶/۵
درصد ماده جامد(بستر)	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳

شکل 1-7- ارتفاع ظروف کشت و ارتباط آن با نسبت هوا و آب (طباطبائی و ملکوتی، 1384) (در این مثال بستر کشت به نسبت 1 : 1 پیت و ورمی کولایت است)

قطر مناسب پایین گلدان به نسبت سه چهارم و ارتفاع آن چهار پنجم قطر دهانه گلدان است. برای نمونه اگر قطر دهانه گلدان 20 سانتی‌متر باشد، در آن صورت قطر پایین گلدان 15 سانتی‌متر و ارتفاع گلدان 16 سانتی‌متر است (جلیلی مرندی، 1382).

2-4- ترکیب بسترهای کشت بدون

براساس تجربیات بیشتر استفاده‌کنندگان از بسترهای کشت غیرخاکی، می‌توان از ترکیب 50 درصد پیت (یا کوکوپیت) + 25 درصد پوکه معدنی (یا ورمی‌کولایت) + 25 درصد پرلیت به‌عنوان مناسب‌ترین ترکیب مخلوط‌های گلدانی اشاره کرد. البته ترکیبات مذکور بر حسب نوع گیاه می‌تواند متغیر باشد (طباطبائی و ملکوتی، 1384).

[1] Containers

3- خواص فیزیکی بستر کشت بدون خاک

خواص فیزیکی بسترهای کشت بدون خاک شامل بررسی برخی عوامل مهم مانند سبکی و سنگینی بستر (وزن مخصوص)، قدرت نگهداری آب و هوا است. وزن مخصوص ظاهری یکی از مهم‌ترین عوامل تشخیص سبکی و برخی ویژگی‌های مهم مانند درصد خلل و فرج، نگهداری آب و حجم هوای بستر کشت است (Raviv and Lieth, 2008). وزن مخصوص ظاهری بستر کشت بدون خاک یعنی نسبت حجمی بستر خشک شده به حجم بستر بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب است (Raviv et al., 2004).

شکل 1-8- لوازم اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری و حقیقی بستر کشت بدون خاک

4- انواع روش‌های کشت بدون خاک

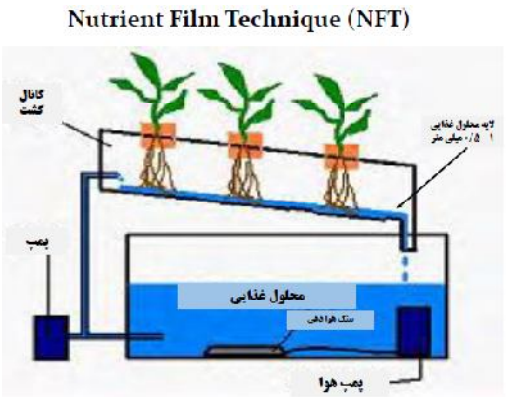
به همه روش‌های کشت گیاه، که در آن‌ها کلوئید یا رس (خاک) در بستر استفاده نشود، کشت بدون خاک گفته می‌شود. برای کشت‌های بدون خاک، تقسیم‌بندی‌های زیادی انجام شده است. تقریبا تمامی آن‌ها، براساس نوع مواد بستری است. از این‌رو، کشت بدون خاک به دو گروه اصلی به نام کشت در مواد بستری[1] و بدون مواد بستری تقسیم می‌شود (جدول 1-3). امروزه به این دو گروه، در اصطلاح عام، هیدروپونیک گفته می‌شود. مواد بستری مخلوط شدنی با همدیگر را کشت در مواد دانه‌بندی[2] یا مواد جامد می‌گویند. بیشترین روش آبیاری در کشت‌های مواد جامد، قطره‌ای است. با توجه به اهداف تولید، طراحی هر کدام از سیستم‌های کشت بدون خاک می‌تواند متفاوت باشد (شکل‌های 1-9 تا 13).

[1] Media Culture
[2] Aggregate or Substrate or Media Culture

جدول 1-3- انواع سیستم‌های کشت بدون خاک بر اساس تقسیم بندی لارسن (Jones, 2005)

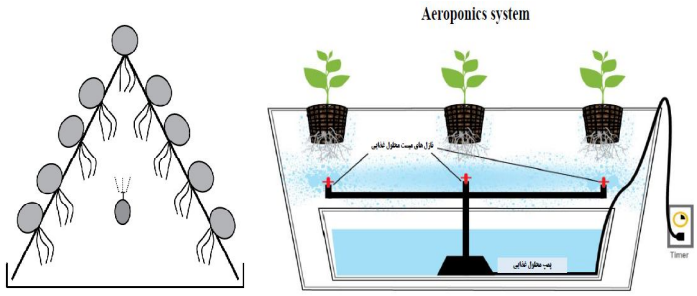
بدون مواد بستری (Non aggregate)	دارای مواد بستری (Media Culture)		
هیدروپونیک یا کشت در آب (Water Culture)	مخلوط	آلی	معدنی
جریان لایه نازک از محلول غذایی (NFT) (هیدروپونیک)	پیت ماس + ورمیکولیت + پرلیت	پیت ماس	پشم سنگ
	پیت ماس+ کمپوست پوست درخت + پرلیت	کوکو پیت	پرلیت
هوا کشت یا ایروپونیک (Aeroponics)	کوکوپیت + پرلیت	کمپوست پوست درخت	شن

ارتفاع محلول غذایی در کانال NFT[1] کمتر از 2 سانتی‌متر و در جریان عمیق (DFT)[2] بین 5 تا 15 سانتی‌متر است. جنس کانال در NFT می‌تواند از آلومینیوم، پلاستیک، لوله پلی‌کا باشد. بیشتر طول کانال در این سیستم 20 متر و حداقل شیب 0/3 و حداکثر 2 درصد است. مرگ ریشه یکی از معایب این سیستم است، که در اثر گرفتگی کانال توسط ریشه‌های گیاه (عدم تهویه) ایجاد می‌شود (Raviv and Lieth, 2008).

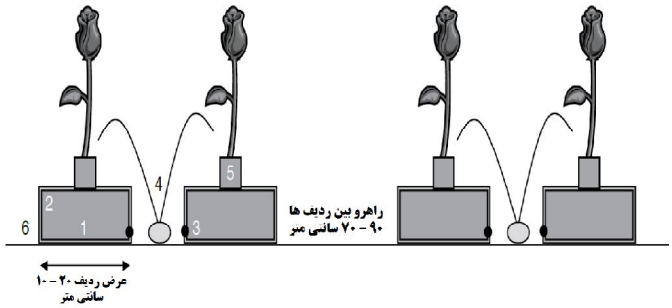


شکل 1-9- سیستم لایه نازک محلول غذایی (NFT)

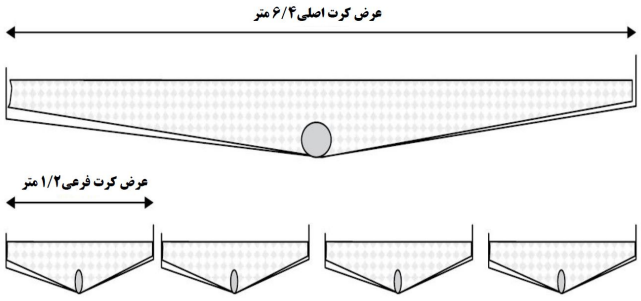
[1] Nutrient Film Technique (NFT)
[2] Deep Flow Technique



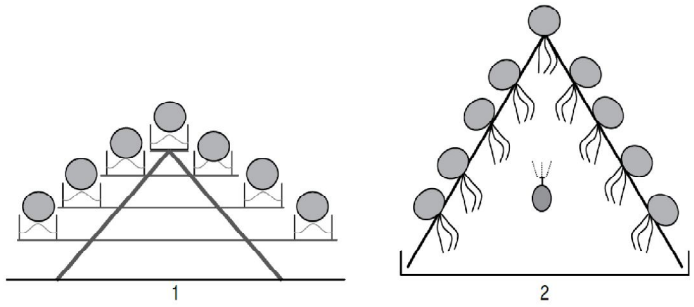
شکل 1-10- سیستم هوا کشت یا ایروپونیک (این سیستم پیشرفته‌ترین نوع تغذیه و در مقابل پرخطرناک‌ترین است (قطع ناگهانی برق))



شکل 1-11- سیستم کشت در مواد دانه‌بندی برای گیاهانی مانند گل رز، خیار و گوجه‌فرنگی (Raviv and Lieth, 2008)



شکل 1-12- سیستم کرتی کشت در مواد جامد برای گیاهانی مانند داودی، میخک، آلسترومریا، لیلیوم و فریزیا



۱– سیستم NFT طبقه ای
۲– سیستم ایروپونیک با استفاده از قالب های پلی استرن

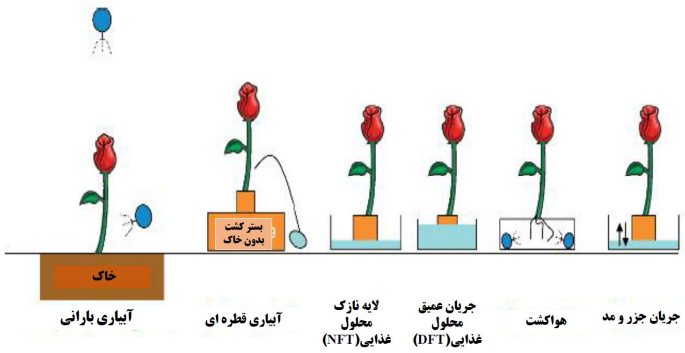
شکل 1-13- کشت‌های عمودی یا طبقاتی برای بهره‌وری بیشتر از فضای کشت در گلخانه (Raviv and Lieth, 2008)

فصل دوم

سامانه آبیاری و کود آبیاری کشت‌های گلخانه‌ای

1- روش‌های آبیاری

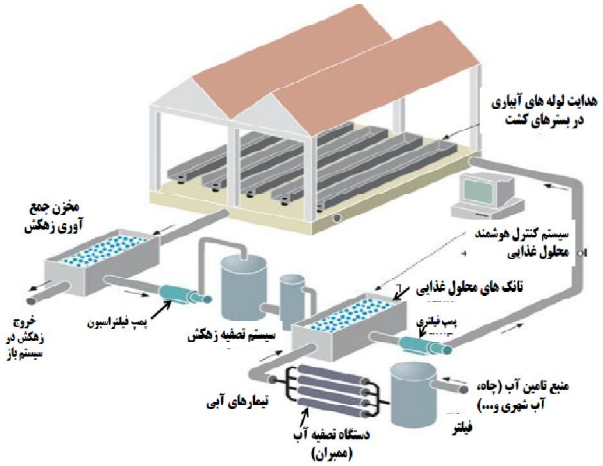
روش غالب آبیاری گیاهان گلخانه‌ای در سیستم کشت خاکی شامل آبیاری قطره‌ای، بارانی، جوی پشته‌ای و غرقابی است. اما در کشت‌های بدون خاک با توجه به نوع کشت و گیاه، از روش‌های ویژه آبیاری استفاده می‌شود (شکل 2-1).



شکل 2-1- روش‌های مختلف آبیاری گیاهان گلخانه‌ای

2- اجزاء سیستم آبیاری و تغذیه

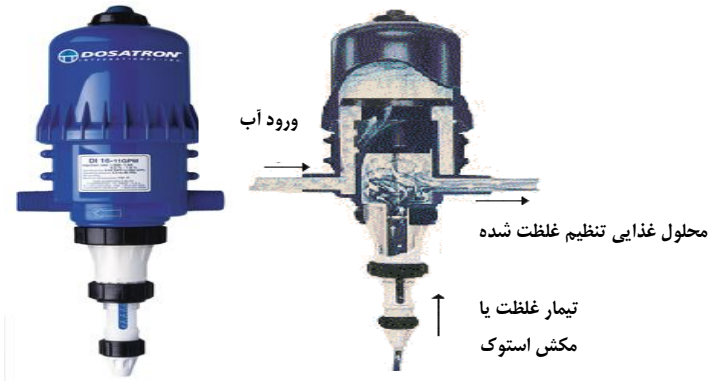
همان‌طور که اشاره شد، سیستم آبیاری تحت فشار قطره‌ای فراوان‌ترین روش آبیاری در گلخانه‌ها است. اجزای مختلف این سیستم در شکل‌های (2-2 تا 6) نشان داده شده است.



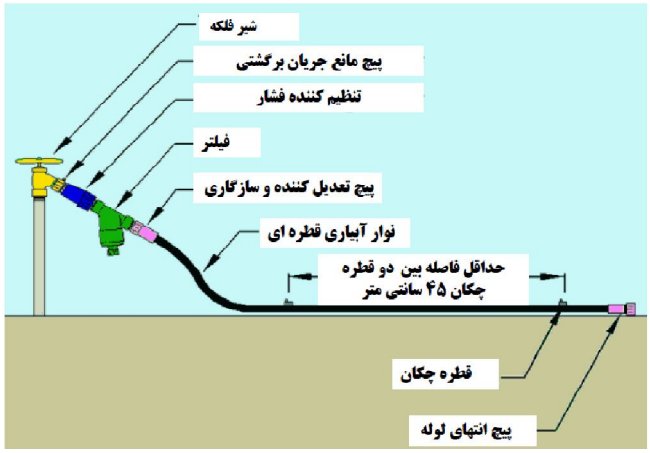
شکل 2-2- طرح شماتیک سیستم آبیاری و کوددهی (کودآبیاری) در گلخانه

شکل 2-3- مخازن سیستم کودآبیاری در گلخانه

شکل 2-4- دستگاه‌های فیلتراسیون و تصفیه آب



شکل 2-5- دستگاه تنظیم غلظت (تزریق کود) مواد غذایی در سیستم آبیاری



شکل 2-6- اجزا تشکیل‌دهنده لوله آبیاری قطره‌ای

سیستم آبیاری و کوددهی (کودآبیاری) از هشت قسمت اصلی تشکیل می‌شود (شکل 2-2 و7):

1- منبع تأمین آب: منشأ آن می‌تواند آب‌های سطحی، زیرزمینی (چاه) و آب باران باشد.

2- دستگاه‌های فیلتراسیون و تصفیه (شکل 2-4): این دستگاه‌ها پیش از مخازن تهیه

محلول غذایی نصب می‌شوند.

3- تانکرهای تهیه محلول غذایی: حجم آن باید به‌اندازه‌ای باشد که حداقل یک دوره آبیاری گیاهان گلخانه را تأمین نماید.

4- دستگاه تنظیم غلظت مواد غذایی[1]: آب آبیاری از یک سمت و محلول غذایی غلیظ (استوک) از سمت زیرین وارد دستگاه شده و پس از تنظیم شدن غلظت کودآبیاری، از سمت دیگر دستگاه خارج و وارد شبکه آبیاری می‌شود (شکل 2-5)، به این دستگاه تزریق کود[2] نیز گفته می‌شود.

5- مرکز کنترل آبیاری یا کودآبیاری (شکل 2-2 و 7):

5-1- دستگاه پروب[3]: برای تنظیم pH، EC، بازیافت مواد غذایی و زهکش بکار می‌رود.

5-2- آب‌سنج[4]: برای کنترل مقدار تزریق مواد غذایی غلیظ (استوک‌ها) و مقدار آبی که در ردیف‌های کشت جریان می‌یابد، به‌کار می‌رود.

5-3- سیستم کنترلی[5]: برای تنظیم برنامه غلظت کودآبیاری بکار می‌رود که برای هر گیاه دامنه خاصی تعریف می‌شود.

5-4- حس‌گرهای هواشناسی[6]: برای پیش‌بینی مقدار تبخیر- تعرق گیاهی بکار می‌رود (شکل 2-7).

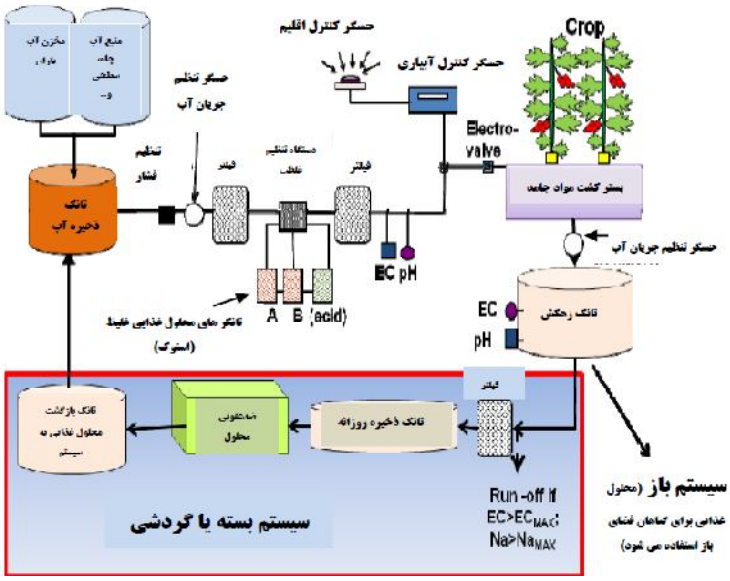
6- لوله‌های اصلی و فرعی لوازم هدایت آب[7]

7- انشعابات لوله‌های میکرو که شامل نازل‌ها و قطره‌چکان‌ها است (شکل 2-6).

8- مخزن جمع‌آوری زهکش: پس از آبیاری (کودآبیاری) مقداری از آب زهکشی شده در مخزن مخصوص جمع‌آوری می‌شود. اگر سیستم کودآبیاری باز باشد، آب جمع شده به بیرون از سیستم هدایت می‌شود (سیستم آبیاری باز). در حالت سیستم کودآبیاری بسته (گردشی) دوباره تصفیه، ضدعفونی و به سیستم کنترل آبیاری یا کودآبیاری (اتوماسیون) انتقال می‌یابد.

---

[1] Dosing machine
[2] Injector device
[3] Probes
[4] Water meters
[5] Computer program
[6] Climate sensors
[7] Hydraulic components



شکل2-7- نمونه طرحی از سیستم کشت بدون خاک باز و بسته در بستر کشت مواد جامد (Substrate)

3- مدیریت کود آبیاری و تغذیه در کشت‌های گلخانه‌ای

در سیستم‌های تغذیه کشت‌های گلخانه‌ای به‌ویژه روش کشت بدون خاک از دو سیستم کودآبیاری باز (غیر گردشی) و سیستم کود آبیاری بسته (گردشی) استفاده می‌شود (شکل 2- 7).

3-1- سیستم کود آبیاری باز

در این سیستم بعد از اتمام آبیاری، زهکشی محلول غذایی از مدار تغذیه گیاه خارج و به سیستم بر نمی‌گردد (شکل 2-2 و7).

3-2- سیستم کود آبیاری بسته (گردشی)

در سیستم کود آبیاری گردشی، زهکش محلول غذایی دوباره به مدار تغذیه گیاهی برمی‌گردد. این سیستم نیاز به کنترل دقیق برنامه غذایی دارد. این سیستم به‌علت تخصصی بودن نیاز به دانش و تجربه کافی برای مدیریت دارد.

معمولا در آب همراه با بی‌کربنات ($HCO3^-$)، یون‌های کلسیم و منیزیم نیز وجود دارد.

بی‌کربنات (HCO_3) باعث افزایش pH محیط ریشه می‌شود. از این‌رو بی‌کربنات باید در کشت‌های بدون خاک توسط اسید خنثی شود. بخشی از اسیدی شدن آب توسط برخی از کودهای با خاصیت اسیدزایی انجام می‌شود. به‌عنوان یک قانون کلی برای خنثی سازی آب، به ازای هر میلی‌مول بی‌کربنات، یک میلی‌مول اسید نیاز است. معمولا به‌ترتیب اولویت از اسید فسفریک (به خاطر تأمین بخشی از فسفر گیاه) و اسید نیتریک برای این منظور استفاده می‌شود. غلظت اسیدها در تانکرها با توجه به نوع فناوری طراحی سیستم گردشی، معمولا 150-100 میلی‌مول در لیتر تهیه می‌شود. در کشت بدون خاک گل رز، آب آبیاری باید از نظر غلظت بی‌کربنات (HCO_3^-)، سولفات، نیترات، یون‌های کلسیم، منیزیم و پتاسیم به شاخص استاندارد کیفیت محلول‌های غذایی تبدیل شود. استاندارد غلظت بی‌کربنات، نیترات، پتاسیم برابر 0/5 میلی‌مول بر لیتر و سولفات، کلسیم و منیزیم برابر 0/25 میلی‌مول بر لیتر است. برای آسانی محاسبات، اعداد اعشاری به عدد صحیح گرد می‌شود. همچنین غلظت اسیدها در 2 و غلظت کلسیم و منیزیم در عدد 4 ضرب می‌شود (Hoog, 2001).

نمونه 1- نتایج آزمایش آب در کشت بدون خاک گل رز، برای بی‌کربنات (HCO_3^-)، کلسیم و منیزیم به ترتیب 4/7، 1/9 و 0/4 میلی‌مول بر لیتر است، فرمول غلظت استاندارد آب برای بی‌کربنات، کلسیم و منیزیم را محاسبه نمایید.

حل:

میلی‌مول بر لیتر بی‌کربنات 4/7 - 0/5 = 4/2

عدد حاصل در 2 ضرب می‌شود تا به شاخص استاندارد، یعنی به 8 تبدیل شود (عدد گرد شده است).

میلی‌مول بر لیتر کلسیم 1/9 - 0/25 =1/65

عدد حاصل در 4 ضرب، تا به شاخص استاندارد یعنی به 7 تبدیل شود.

میلی‌مول در لیتر منیزیم 0/4 - 0/25 = 0/15

عدد حاصل در 4 ضرب تا به شاخص استاندارد، یعنی به 1 تبدیل شود.

فرمول غلظت استاندارد آب برای بی‌کربنات، کلسیم و منیزیم به ترتیب 7،8 و1 میلی‌مول بر لیتر است.

فصل سوم

کیفیت آب کشت‌های گلخانه‌ای

1- کیفیت آب

کیفیت آب آبیاری، با کمیت و کیفیت محصول رابطه مستقیم دارد. شاخص کیفیت به منبع تأمین آب، اراضی و اقلیم منطقه بستگی دارد. معمولا مقدار سدیم، کلسیم، کلر و گوگرد در آب چاه بیشتر از آب‌های سطحی و باران است. تهیه محلول‌های غذایی در کشت‌های بدون خاک به کیفیت آب وابسته است. بیشتر آبی که برای سیستم آبیاری گلخانه‌ها (قطره‌ای) استفاده می‌شود، هم‌زمان تغذیه گیاه را نیز در برمی‌گیرد (کودآبیاری). استاندارد رده‌بندی کیفیت آب گیاهان گلخانه‌ای شامل برخی شاخص‌های مهم تعیین کننده است (جدول 3-1). کیفیت آب برای سیستم کود آبیاری از دو منظر تأثیر کیفیت بر تغذیه گیاه و اثرات متقابل کود و آب در سیستم کود آبیاری، مهم است. غلظت نمک‌ها به‌ویژه سدیم در آب آبیاری بسیار مهم است. نسبت جذب سدیمی[1] (SAR) معمول‌ترین روش ارزیابی پتانسیل خسارت‌زایی سدیم در کود آبیاری است. زیادی سدیم باعث ایجاد مشکلات متعدد شوری و سمیت می‌شود. اگر غلظت سدیم در اطراف ریشه زیاد باشد، سبب کاهش کمی و کیفی عملکرد می‌شود. اگر سدیم انباشته شده در اطراف ریشه بیشتر از حد مجاز گیاهان گلخانه‌ای باشد (جدول 3-2)، لازم است هر چه سریع‌تر پاک‌سازی (آبشویی) شود. چون سدیم در ناحیه رشد طولی ریشه، با کلسیم در جذب شدن رقابت می‌کند، از این‌رو ضمن مانع طویل شدن ریشه، باعث کمبود آن نیز می‌شود (Sonneveld and Voogt, 2009). ممکن است اندازه‌گیری تمام شاخص‌های شیمیایی مقدور نباشد، در این شرایط می‌توان با چند عامل اصلی به کیفیت آب پی‌برد (جدول 3-3). با این وجود، در تشریح استاندارد خواص شیمیایی آب، در کنار عناصر مهم، ارتباط برخی از آن‌ها با شوری، قلیائیت، سختی و نسبت جذب سدیمی بررسی می‌شود (جدول 3-4).

[1] Sodium Adsorption Ratio

جدول 3-1- استاندارد طبقه‌بندی کیفیت آب برای آبیاری و تغذیه گیاهان گلخانه‌ای (van der Lugt, 2016)

طبقه‌بندی کیفیت	EC (mS/cm)	TDS (ppm)	سدیم یا کلر (mmol/l)	سدیم (ppm)	کلر (ppm)	بر (ppm)	سولفات (ppm)	مناسب برای هیدروپونیک	مناسب برای استفاده
1	کمتر از 0/5	کمتر از 175	کمتر از 1/5	کمتر از 34	کمتر از 53	کمتر از 0/33	کمتر از 100	++ (عالی)	همه گیاهان گلخانه‌ای
2	0/5 – 1	175-525	1/5 – 2/5	34 - 57	53 - 87	0/33-0/67	100 - 200	+(خوب تا متوسط)	برای سیستم تغذیه بسته مناسب نیست
3	1 - 1/5	525-1400	2/5 – 4	57 - 92	87 - 142	0/67-1	200 - 300	±(متوسط تا ضعیف)	نامناسب برای گیاهان حساس به شوری (نامناسب برای هیدروپونیک)
4	بیش از 1/5	1400-2100	بیش از 4/5	بیش از 104	بیش از 160	1-1/25	بیش از 300	- غیر قابل استفاده	غیر مناسب برای گیاهان گلخانه‌ای

جدول 3-2- غلظت بحرانی سدیم در برخی از گیاهان گلخانه‌ای (van der Lugt, 2016)

نام گیاه	حداکثر غلظت قابل قبول سدیم در ناحیه ریشه	
	(mmol/l)	(ppm)
گوجه‌فرنگی	8	184
خیار	6	138
فلفل	6	138
بادمجان	6	138
ملون‌ها	6	138
رز	4	92
ژربرا	4	92
میخک	4	92
ارکیده‌ها	1	23

جدول3-3- سطح مطلوب شاخص‌های کیفیت آب آبیاری در گیاهان گلخانه‌ای (Kafkafi and Tarchitzky, 2011)

شاخص کیفیت	واحد	دامنه مطلوب
pH	--	7/5 – 6 برای کشت خاکی و 6/5 – 5/5 برای کشت بدون خاک (هیدروپونیک)
شوری (EC)	mmhos/cm	1.5> سبزی و صیفی (گل و گیاه کمتر از 1)
قلیایت	meq/ L CaCO3	0/75 – 2/6
سختی	mg/l CaCO3	100 – 150
نسبت جذب سدیمی (SAR)	[meq L-1]½	4/5 -7/9
کلسیم (Ca)	ppm	40 – 100
منیزیم (Mg)	ppm	30 – 50
سدیم (Na)	ppm	کمتر از 50
نیتروژن نیتراتی (NO_3-N)	ppm	0 – 10
نیتروژن آمونیومی (NH_4-N)	ppm	1 -40
مجموع نیتروژن	ppm	10 – 50
سولفات (SO4)	ppm	کمتر از 50
کلرید (Cl^-)	ppm	کمتر از 100 – 150
بر (B)	ppm	کمتر از 0/5
فلوراید (F^-)	ppm	کمتر از 0/75

جدول 3-4- شاخص‌های شیمیایی آب برای آبیاری محصولات گلخانه‌ای بر اساس استاندارد شماره یک اشاره شده در جدول 3-1 (Robbins, 2010)

پارامتر	واحد	حد مطلوب	حداکثر مجاز
هدایت الکتریکی (EC)	میکرو موس بر سانتی‌متر	0 – 300	گیاهان (نشاء)کشت شده در سلول‌های کشت (Plugs) 750 گیاهان گلخانه‌ای 1250 گیاهان خزانه‌ای (Nursery) 1500
مجموع نمک‌های محلول (TDS)	پی پی ام	0- 192	گیاهان (نشاء)کشت شده در سلول‌های کشت (Plugs) 480 گیاهان گلخانه‌ای 800 گیاهان خزانه‌ای (Nursery) 960
اسیدیته (pH)	----------	5/2 – 6/8	حد بالایی 8 (در برخی منابع حداکثر تا 7/5) حد پایینی 4/5
قلیائیت	پی پی ام ($CaCO_3$)	(نشاء) کشت شده در سینی‌های کشت (Plugs) 0-60 گیاهان گلخانه‌ای 0-100 گیاهان خزانه‌ای (Nursery) 0 – 140	200 (90 برای گیاهان حساس به سوختگی برگ)
بیکربنات (HCO_3)	پی پی ام	30 – 50	150
	میلی اکی والان بر لیتر	0/5 – 0/8	2/4
سختی	پی پی ام ($CaCO_3$)	20 – 150	200
سدیم	پی پی ام	0 – 30	50 (در مجموع نمک‌ها کمتر از 10 در صد باشد)
	میلی اکی والان بر لیتر	0 – 1/3	2/2
نسبت جذب سدیمی (SAR)	---------	0 – 3	گیاهان گلخانه‌ای 4 گیاهان خزانه‌ای (Nursery) 6
کلسیم	پی پی ام	40 – 100	120
	میلی اکی والان بر لیتر	2 – 5	6
منیزیم	پی پی ام	5 - 25	50
	میلی اکی والان بر لیتر	0/4 – 2/1	4/2

ادامه جدول 3-4- شاخص‌های شیمیایی آب برای آبیاری محصولات گلخانه‌ای بر اساس استاندارد شماره یک اشاره شده در جدول 3-1 (Robbins, 2010)

پارامتر	واحد	حد مطلوب	حداکثر مجاز
نیتروژن (N03 - N)	پی پی ام	10 – 0 (در برخی منابع حداکثر تا 5)	50
	میلی اکی والان بر لیتر	0 – 0/7	3/6
فسفر (H2P04 - P)	پی پی ام	0 -1	5
پتاسیم	پی پی ام	1 -10	10 (در برخی منابع حداکثر تا 5)
	میلی اکی والان بر لیتر	0/02 – 0/2	0/25
سولفات	پی پی ام	25 - 200	240
	میلی اکی والان بر لیتر	0/5 – 4/2	5
آهن	پی پی ام	1 – 3	5 (برای گیاهان حساس به برگ سوزی کمتر از 1)
منگنز	پی پی ام	0/2 – 1	1
بر	پی پی ام	0/2 – 0/5	2
کلر	پی پی ام	1 - 50	140
	میلی اکی والان بر لیتر	0/03 – 1/4	3/9
فلوئور	پی پی ام	0 – 1	1
آلومینیوم	پی پی ام	0 – 5	5
مولیبدن	پی پی ام	0 – 0/05	0/07
روی	پی پی ام	0 – 0/2	2
مس	پی پی ام	0/05 – 0/15	0/2

کیفیت آب افزون‌بر خواص شیمیایی، به شاخص‌های فیزیکی و بیولوژیکی نیز بستگی دارد. شاخص فیزیکی شامل دمای آب و معلق بودن ذرات جامد به‌صورت سوسپاسیون است. ذرات جامد آب در مسدود شدن نازل‌های آبیاری قطره‌ای تأثیر دارند. دمای آب برای گیاهان برگ زینتی بسیار دارای اهمیت است. زیرا دماهای کم و زیاد، باعث ایجاد لکه‌های سوخته در برگ‌ها می‌شود و ارزش کیفی آن‌ها را پایین می‌آورد. بهترین دما برای آبیاری بیشتر گیاهان گلخانه‌ای، هم دمای اتاق (20-15درجه سانتی‌گراد) است. عوامل بیولوژیکی آب را جلبک‌ها، میکروب‌ها و موجودات بیماری‌زا تشکیل می‌دهند. جلبک‌ها و میکروب‌ها باعث مسدود شدن لوازم و ادوات آبیاری می‌شود.

1-1- آزمون جار[1]

آزمون جار پیش از آزمایش کیفی آب انجام می‌شود. در این آزمون مقدار نزدیک به 1 تا 2 لیتر آب در داخل ظرف تمیز ریخته می‌شود و پس از یک شبانه روز بازبینی می‌شود. اگر در این مدت رسوب تشکیل شود و یا هم‌زمان با بهم‌زدن آب به رنگ شیری در آید، احتمال ناسازگاری عناصر غذایی وجود دارد.

1-2- کیفیت آب و سیستم آبیاری تحت فشار (آبیاری قطره‌ای)

کارایی سیستم‌های آبیاری تحت فشار، همواره به کیفیت آب بستگی دارد. آب‌های مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران، اغلب کیفیت مطلوبی ندارند. از این‌رو گرفتگی و انسداد قطره‌چکان‌ها از مشکلات رایج این گونه آب‌ها است. عوامل تهدیدکننده سیستم‌های آبیاری تحت فشار به سه دسته فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی تقسیم می‌شوند (مشایخان، 1391).

1-2-1- عوامل فیزیکی

شایع‌ترین دلیل گرفتگی فیزیکی قطره‌چکان‌ها، ذرات معلق به نام کدری یا تیرگی

[1] Jar test

آب[1] است. تیرگی مجموع مواد معلق جامد[2] (TSS) شامل شن، سلیت، رس و تمامی مواد نامحلول است که بیشتر در منابع آب‌های سطحی یافت می‌شود. از آنجایی‌که قطر دهانه خروجی روزنه‌ها و قطره‌چکان‌ها بسیار کوچک است، این ذرات معلق می‌توانند باعث انسداد شوند. در شرایط ویژه ذرات در ابعاد ریز می‌توانند پس از بهم چسبیدن توده‌های بزرگتری را تشکیل و موجب گرفتگی شوند. تیرگی آب یکی از راه‌های معمول پیش‌بینی وجود ذرات معلق در آب است، ولی تنها مشخصه‌ی دقیق برای تعیین پتانسیل گرفتگی آب نیست. با نصب دستگاه صافی می‌توان از گرفتگی و انسداد قطره‌چکان‌ها جلوگیری شود.

1-2-2- عوامل بیولوژیکی

شیوه عمل سیستم آبیاری قطره‌ای به‌گونه‌ای است که باعث ایجاد محیط مناسب برای رشد باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها شده و در اثر تجمع این مواد زنده، لجن تشکیل می‌شود. لجن‌ها به شکل مستقیم و یا با چسبانیدن ذرات معلق به هم‌دیگر، موجب تشکیل توده‌های بزرگ‌تری می‌شوند که باعث گرفتگی قطره‌چکان‌ها می‌شوند. این پدیده زمانی تشدید می‌شود که عناصری مانند منگنز، سولفیدها، آهن و فسفر در آب زیاد باشد. ضدعفونی (کلرزنی)، یکی از راه‌های مهم جلوگیری از گرفتگی بیولوژیک قطره چکان‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای است.

1-2-3- عوامل شیمیایی

رسوب مواد معدنی یکی از مهم‌ترین دلایل گرفتگی قطره چکان‌ها است. رسوب زمانی اتفاق می‌افتد که حلالیت مواد به هر دلیلی کاهش یابد. میزان حلالیت مواد معدنی در آب به عواملی مانند دمای آب، pH، پتانسیل اکسیداسیون - احیاء، غلظت عناصر معدنی و واکنش متقابل کودها بستگی دارد. موادی که از راه رسوب و لایه‌گذاری موجب انسداد قطره چکان‌ها می‌شوند، شامل کربنات‌ها، سولفات‌های کلسیم و منیزیم، آهن و منگنز هستند. در بین آن‌ها، رسوب کربنات کلسیم از همه مهم‌تر و چشم‌گیرتر است. آبی که

[1] Turbidity
[2] Total suspended solid

دارای سطح بالایی از عناصر رسوب‌گذار و pH بالا (بیشتر از 7) باشد، پتانسیل زیادی برای انسداد قطره چکان‌ها دارد. از این‌رو افزودن کود به مخزن کود آبیاری می‌تواند برهم‌کنش شیمیایی عناصر موجود در آب را افزایش دهد که نتیجه آن، رسوبات و گرفتگی قطره‌چکان‌ها است. پیش از افزودن هر نوع کود به سیستم آبیاری، توصیه می‌شود تجزیه آب و آزمایش مخلوط کردن مواد در مقیاس کوچک (آزمون جار) نیز انجام گیرد. به‌طور کلی در باره منابع آب‌های سطحی (رودخانه‌ها و استخرهای ذخیره آب) گرفتگی و انسداد بیشتر از نوع بیولوژیکی و فیزیکی است. درحالی که در منابع آب‌های زیر زمینی (چاه‌ها و قنوات)، پتانسیل بالای گرفتگی قطره‌چکان‌ها از نوع شیمیایی است. برای جلوگیری از این پدیده، موارد زیر باید رعایت شود: 1- تجزیه آب و تفسیر آن از نظر استعداد رسوب‌گذاری و گرفتگی (جدول 3-5)، 2- در صورت مشکوک بودن نتایج آزمایش آب، استفاده از دستگاه تصفیه، 3- ضدعفونی کردن آب به‌منظور حذف ریزجانداران زنده، 4- پایین نگه‌داشتن pH آب و 5- شستشوی پی‌درپی لوله‌ها و تعویض به‌موقع صافی دستگاه‌های تصفیه آب.

جدول 3-5- ارزیابی ویژگی‌های شیمیایی آب برای استعداد رسوب گذاری (Kafkafi and Tarchitzky, 2011)

شاخص‌های ارزیابی		احتمال رسوب گذاری		
	واحد	کم	متوسط	زیاد
pH	--	کمتر از 7	7-8	بیشتر از 8
آهن دو ظرفیتی	میلی گرم در لیتر	کمتر از 0/2	0/2 – 1/5	بیشتر از 1/5
منگنز	میلی گرم در لیتر	کمتر از 0/1	0/1 – 1/5	بیشتر از 1/5
کل مواد جامد (TDS)	میلی گرم در لیتر	کمتر از 500	500 - 2000	بیشتر از 2000
کل مواد جامد معلق (TSS)	میلی گرم در لیتر	کمتر از 50	50 – 100	بیشتر از 100
سختی آب*	کربنات کلسیم	کمتر از 120	120 – 180	بیشتر از 180
تعداد باکتری	تعداد در لیتر	کمتر از 10000	10000 - 50000	بیشتر از 50000

* کربنات کلسیم کمتر از 60 میلی گرم در لیتر، آب سبک، بین 120 – 60 آب با سختی متوسط و بالاتر از 180 آب خیلی سخت

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های شیمیایی ارزیابی رسوب‌گذاری آب‌ها، کربنات‌های کلسیم و منیزیم است. به‌دلیل وجود بسترهای کربنات کلسیم در ایران، آب‌هایی که در این بسترها ذخیره و یا از آن‌ها عبور می‌کنند، دارای مقدار زیادی کربنات کلسیم و یا منیزیم هستند. تجزیه آب این سودمندی را دارد که مشخص می‌نماید که آب‌های سخت بر جداره تأسیسات حرارتی و آبیاری، رسوبات کربناتی گذاشته و باعث خسارت دیدن جدار تأسیسات، گرفتگی روزنه‌ها و قطره‌چکان‌ها، کاهش راندمان آبیاری و در نهایت کاهش عمر مفید سیستم می‌شود. البته سختی آب، نشان‌دهنده همه‌ی املاح محلول در آب نبوده و تنها به برخی از آنیون‌ها و کاتیون‌ها اشاره دارد. سختی آب در درجه اول به ترکیبات کلسیم و منیزیم و سپس به میزان کمتری به سایر یون‌های فلزی با ظرفیت زیاد مانند سرب، استرنسیم، باریم و غیره، مرتبط است. واحد سختی بر حسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم بیان می‌شود.

ترکیبات کلسیمی، به میزان کمی در آب حل می‌شوند، ولی حضور مواد اسیدی مانند H^+ سبب افزایش حلالیت آن‌ها می‌شود. حضور گاز کربنیک در محیط ریشه و حل شدن آن در آب براساس واکنش $H_2O + CO_2 \Leftrightarrow H_2CO_3$ سبب اضافه شدن اسید کربنیک به آب می‌شود. اسید کربنیک در آب براساس واکنش $H_2CO_3 \Leftrightarrow H^+ + HCO^{3-}$ تجزیه شده و یون عامل اسیدی (H^+) را به محیط اضافه می‌کند. H^+ سبب حل شدن کربنات کلسیم براساس واکنش زیر

$$CaCO_3 + H^+ \Leftrightarrow Ca^{2+} + HCO^{3-}$$

می‌شود که نتیجه آن کاهش رسوب‌گذاری در سیستم آبیاری است.

در آب‌های زیر زمینی و خاک‌های آلی[1] با pH کمتر از 7 و بدون اکسیژن محلول، اثرات مسدودکنندگی آهن بیشتر است. این آب‌ها دارای آهن فرو (Fe^{+2}) محلول در آب هستند. باکتری‌هایی موجود در آب مانند *Gallionella sp. leptolhris, Sphaerotihus, Pseudomonas* و *Enterobacter* آهن محلول فرو را با عمل اکسیداسیون به آهن نامحلول فریک (Fe^{+3}) تبدیل می‌کنند. این باکتری‌ها همراه با باکتری‌های میله‌ای نوعی ژل محکم آهنی در مسیر آب (لوله‌ها و قطره‌چکان‌ها) تولید می‌کنند که باعث انسداد آن‌ها می‌شوند. آهن فرو به مقدار بیش از 1/5 گرم

[1] Muck

در متر مکعب آب، بسیار مستعد رسوب‌گذاری است (Nakayama and Bucks, 1991).

سه روش برای جلوگیری از تشکیل رسوب آهن به‌کار می‌رود: 1- اضافه نمودن ماده‌ای به نام گاز کلر[1] همراه با هیدروسیکلون در دیسک‌های صافی‌ها، 2- نصب صافی شن برای حذف رسوبات آهن و 3- باز پس کردن[2] صافی‌های نخست به منظور اطمینان از حذف رسوبات آهن (دوباره صاف کردن).

کربنات‌های آهن در آب بسیار نامحلول است. از این‌رو آب‌هایی که دارای کربنات و بی‌کربنات زیاد هستند، باعث تشکیل رسوبات کربنات آهن می‌شوند، نتیجه آن کاهش شدید قابلیت استفاده آهن برای گیاه و بروز کلروز آهن در برگ‌ها می‌شود. کاهش pH آب می‌تواند از بروز کلروز آهن جلوگیری نماید. اثرات کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها در بسترهای کشت (به‌ویژه خاک) باعث افزایش شدید pH بستر (خاک) و رسوب کاتیون‌های کلسیم و منیزیم و برخی عناصر مهم می‌شود.

3-1- واکنش متقابل فسفر، کلسیم و آهن در کود آبیاری

استفاده از کودهای فسفره در کود آبیاری به کیفیت آب و pH آن وابسته است. به این معنی که غلظت کلسیم و pH پایین آب برای جلوگیری از رسوبات فسفات کلسیم بسیار مهم است. این شرایط برای آب‌های دارای آهن شدیدتر می‌شود؛ زیرا فسفر در pH بیش از 4 با آهن و در pH بیش از 5/5 با کلسیم رسوب می‌کند. از این‌رو در آب‌هایی که آهن محلول بیش از حد مجاز باشد، نباید از فسفر در آبیاری قطره‌ای استفاده نمود. مگر اینکه آبیاری زیرزمینی باشد. غلظت آهن فرو در آب نرم یا بدون بی‌کربنات (HCO_3-) نباید بیش از 5 میلی‌گرم در لیتر (100 µmol/l) باشد. زیرا غلظت زیاد (آهن فرو) در اثر پایین آمدن pH به برگ‌ها صدمه می‌زند (تبدیل آهن فرو به فریک باعث تشکیل H^+ می‌شود).

کودهای فسفره ممکن است اثرات خورندگی بر روی فلزات و لوله‌های آبیاری داشته باشند. یکی از اثرات این پدیده، تشکیل ماده چسبناک فسفات آهن (به رنگ شکلاتی) در

[1] Cl gas
[2] Backup filters

لوله‌های آبیاری است که همه صافی‌ها و قطره چکان‌ها را مسدود می‌کند (Kafkafi and Tarchitzky, 2011). کودهای فسفر، علاوه بر کلسیم و آهن با منیزیم نیز ماده‌ای ژله‌ای تولید می‌کند، که باعث انسداد مسیر آب می‌شود. با این وجود، استفاده از کودهای پلی‌فسفات می‌تواند مانع تشکیل ژل شود. یکی از این کودها، نمک آمونیوم پلی فسفات (APP) است (جدول 3-6).

جدول 3-6- درصدآمونیوم پلی فسفات (APP) در آب آبیاری برای جلوگیری از تشکیل ژل (Noy and Yoles, 1979)

غلظت کلسیم در آب آبیاری (میلی‌اکی والان در لیتر)	حداقل غلظت آمونیوم پلی فسفات در آب آبیاری (درصد)
کمتر از 2	کمتر از 1
2 – 5	1
5 – 8	2/5
8 – 11	4

2- روش‌های کاهش رسوب‌گذاری در سیستم‌های آبیاری تحت فشار

2-1- اسید شویی

برای شستشوی رسوبات ناشی از مواد شیمیایی درون لوله‌ها و قطره‌چکان‌ها از اسید استفاده می‌شود. منشاء این رسوبات، یا از آب آبیاری (بی‌کربنات و کربنات کلسیم زیادتر از 200 میلی‌گرم در لیتر) و یا از کودهای نامرغوب است. برای کاهش رسوبات ناشی از بی‌کربنات‌ها، از اسیدهای ضعیف مانند اسید فسفریک به هر دو منظور برای کاهش pH محلول و تامین فسفر گیاه استفاده می‌شود.

2-2- استفاده از کودهایی با خاصیت اسیدزایی

استفاده از کودهایی با خاصیت اسیدزایی ضمن شستشوی لوله‌های آبیاری، قطره‌چکان‌ها، باعث افزایش جذب عناصر کم مصرف نیز می‌شود. این کودها افزون‌بر رفع مشکل انسداد قطره‌چکان‌ها، برای اصلاح ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک نیز مفید هستند.

فصل چهارم

مدیریت کیفیت آب در گلخانه

از شاخص‌های مهم کیفیت آب برای آبیاری و کودآبیاری، اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیمی (SAR) هستند. نسبت جذب سدیمی، باید کمتر از 6 باشد. آب با EC کمتر از 0/8 میلی‌موس بر سانتی‌متر برای کودآبیاری خیار، گوجه فرنگی، کاهو، فلفل، بادمجان و بسیاری از سبزی‌ها مناسب است. EC بین 2/2- 0/8 میلی‌موس بر سانتی‌متر با مدیریت دقیق آبیاری قابل استفاده است، اما EC بیشتر از2/2 میلی موس بر سانتی‌متر برای آبیاری سبزی‌های گلخانه‌ای توصیه نمی‌شود. pH آب برای بسیاری از سبزی‌های گلخانه‌ای بین 6/5 - 5/5 است.

1- عملیات ویژه مدیریت آب

برای این‌که بتوان از آب و بسترکشت به‌طور مطلوب استفاد کرد، باید به برخی موارد مهم توجه ویژه شود. ابتدا بستر کشت باید سیستم زهکش مناسبی داشته باشد. هرگز به بستر کشت اجازه خشک شدن شدید داده نشود. در گیاهانی که نیاز به آب با کیفیت عالی (EC کمتر) دارند، رطوبت محیط ریشه باید بالاتر نگهداری شود. آبشویی دوره‌ای به‌منظور حذف نمک‌های بستر کشت انجام شود (جدول 4-1). تجزیه آب، خاک، بستر و گیاه به‌منظور ردیابی وضعیت عناصر در دوره‌های معین انجام شود. تجزیه آب به‌ویژه برای برخی عناصر آلوده‌کننده مانند سدیم، بر، آهن و سطح بی‌کربنات (به‌منظور محاسبه مقدار اسید برای کاهش اسیدیته) انجام شود (جدول 4-2). EC آب بیش از 2/3 میلی‌موس بر سانتی‌متر برای آبیاری گیاهان گلخانه‌ای مناسب نیست. مگر این‌که به آن، آب با کیفیت بسیار بالا مانند آب باران، اضافه شود.

جدول 4-1- نیاز آبشویی بسترهای کشت، بر اساس کیفیت آب آبیاری (Mohyuddin, 1991)

EC آب (mmhos/cm)	غلظت نمک‌ها یا مجموع مواد جامد محلول (ppm)	نیاز آبشویی (درصد)	فواصل بین آبشویی (هفته)	طبقه‌بندی آب از نظر کیفیت
0/35	245	5	12	عالی
0/4	280	6	9	خیلی خوب
0/6	420	7/5	6	خوب
1	700	12/5	4	نسبتا خوب و متوسط
1/4	980	17/5	3	قابل قبول
1/8	1280	22/5	2	قابل قبول(مشکوک)
2/2	1540	27/5	1	غیر قابل قبول

جدول 4-2- بیشینه غلظت مجاز یون‌های محلول در آب (ppm)، برای آبیاری بسترهای کشت بدون خاک (پیت، کوکو پیت، پشم سنگ و NFT) (Mohyuddin, 1991)

نام یون	نماد شیمیایی	بستر کشت جامد (پیت، پشم سنگ، کوکو پیت + پرلیت)	NFT
نیترات	$N0_3^-$	5	5
فسفر	$H_2P0_4^-$	5	5
پتاسیم	K^+	5	5
کلسیم	Ca^{++}	120	60
منیزیم	Mg^{++}	40	25
کلر	Cl^-	50	30
سولفات (گوگرد)	SO_4^{--}	200	100
بیکربنات	HCO_3^-	30 – 60	30 – 60
سدیم	Na^+	100	50
آهن	F^{+++}	3	2
بر	B	0/5	0/25
روی	Zn^{++}	0/5	0/3
منگنز	Mn^{++}	1	0/5
مس	Cu^{++}	0/2	0/1
مولیبدن	Mo	0/02	0/01
فلوراید	F^-	1	1
آلومینیوم	Al^{+++}	5	5
pH	H^+	5 - 7	5 - 7

برای عناصر موجود در آب، توصیه‌های کلی زیر را می‌توان ارائه کرد (Mohyuddin, 1991):

1-1- سدیم، فسفر و پتاسیم

هر چند که این عناصر با هدف تغذیه و به‌صورت کود به آب اضافه می‌شود، اما غلظت زیاد آن‌ها دلیل بر آلودگی آب آبیاری است.

1-2- کلسیم و منیزیم

وجود این عناصر در آب آبیاری، برای تغذیه بسیاری از گیاهان گلخانه‌ای مفید است. سطح بالای آن‌ها در آب آبیاری باعث سمیت گیاه نمی‌شود. اما باعث سختی آب و مشکلات مربوط به گرفتگی قطره‌چکان‌ها می‌شود.

1-3- بی کربنات

بی‌کربنات‌ها در غلظت زیاد، باعث سمیت نمی‌شوند. اما در غلظت بیشتر از 250 ppm باعث مشکلاتی در رشد گیاه می‌شوند و بویژه pH بستر کشت را بالا می‌برند. رسوب کربنات کلسیم و منیزیم یکی دیگر از معایب غلظت زیاد بی‌کربنات است.

1-4- آهن

ریشه تمایلی به جذب ترکیب اکسید آهن در آب آبیاری ندارد. از این‌رو وجود این عنصر در آب کمکی به تغذیه گیاهی نمی‌کند. با این وجود، باعث رسوبات هیدروکسید آهن بی‌شکل می‌شود. در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، غلظت این عنصر نباید بیش از 0/25 ppm باشد.

1-5- بور

بور می‌تواند برای گیاه کاملا سمی باشد. از این‌رو غلظت این عنصر در آب آبیاری باید به‌دقت کنترل شود. غلظت مجاز بور در کشت‌های بدون خاک باز و بسته به ترتیب کمتر از 0/5 ppm و 0/25 ppm است.

1-6- روی

روی در آب‌های در تماس با اجسام گالوانیزه (مانند آب باران جمع‌آوری شده از سقف گلخانه) مشاهده می‌شود. این عنصر ممکن است در سیستم‌های تغذیه گردشی (بسته) انباشته شود.

1-7- منگنز

هر چند که منگنز بیشتر در ضدعفونی کردن به روش بخاردهی، مشکل ایجاد می‌کند، اما عقیده بر این است غلظت بالای منگنز، باعث سمیت گیاه نیز می‌شود.

1-8- مس

زمانی که بستر کشت آلی باشد، ممکن است سطح غلظت مس بیش از 0/2 ppm باشد.

1-9- آلومینیوم، مولیبدون و فلور

این سه عنصر یعنی آلومینیوم، مولیبدون و فلور، در غلظت زیاد در منابع آبی یافت نمی‌شوند. با این وجود، فلور می‌تواند برای گیاهان تک لپه مانند لیلیوم، دراسنا و سنجافی (گندمی) خسارت زیادی وارد نماید.

1-10- سدیم

اگر مقدار سدیم در آب بیش از 100 ppm باشد، در آن صورت استفاده از دستگاه آب شیرین‌کن یا اسمز معکوس لازم است.

1-11- pH آب

دسترسی و قابلیت جذب بسیاری از عناصر غذایی به غلظت H^+ ریزوسفر (محیط آبی اطراف ریشه) بستگی دارد. برای نمونه عناصری مانند آهن، منگنز، کلسیم و فسفر در pH

کم بسیار حلال و قابل جذب هستند، در حالی‌که مولیبدن در pH زیاد، حلالیت و جذب بیشتری دارد. pH زیاد آب‌های ایران، بیشتر مربوط به کربنات‌ها است. از این‌رو برای کشت‌های گلخانه‌ای اسیدی نمودن آب (کاهش pH) یک امر ضروری است. لازم به یادآوری است که pH کمتر از 5 برای بسترهای کشت پشم سنگ مضر است. موارد مربوط به اصلاح آب، برای آبشویی بسترهای کشت نیز صدق می‌کند. توصیه می‌شود که اصلاح آب در سیستم‌های گردشی (بسته) بسیار جدی و سخت گیرانه دنبال شود.

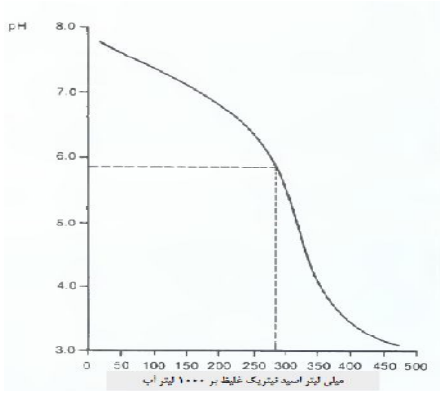
1-11-1- کاهش pH آب‌های قلیایی

همان‌طورکه اشاره شد، بسیاری از آب‌های ایران قلیایی است. عامل قلیائیت آب، کربنات‌ها هستند، که ممکن است به‌صورت آب سخت (کربنات کلسیم و منیزیم) و آب نرم (دارای سدیم بالا) باشد. به‌طورکلی آب نرم، برای رشد و پرورش گیاه (به‌ویژه گیاهان گلخانه‌ای) مناسب نیست. آب سخت می‌تواند برای پرورش گیاه استفاده شود، اما زیادی کلسیم می‌تواند باعث مشکلات رسوب‌گذاری شود، که با اسیدی کردن، برطرف می‌شود. خاطر نشان می‌شود که pH آب، خواص و تأثیرگذاری محلول‌پاشی را نیز، تحت شعاع قرار می‌دهد. بسیاری از محلول‌پاشی‌ها در pH کم، تأثیر طولانی‌تری نسبت به pH زیاد دارند. زمانی که از آب دارای کلسیم بالا (قلیایی و سخت) برای سیستم‌های مه‌پاشی (میست) استفاده می‌شود، به‌دلیل رسوبات سفید رنگ کربنات کلسیم بر روی برگ‌ها، فتوسنتز کاهش می‌یابد. همچنین آبیاری گیاهان با این نوع آب، باعث تجمع کلسیم در بسترهای کشت می‌شود. مگر اینکه آبشویی با محلول‌های غذایی با نیتروژن زیاد[1] انجام شود.

کربنات‌ها و بی‌کربنات، در هنگام مخلوط شدن با کودها، به‌ویژه در pH بیش از 8/3، باعث رسوب‌گذاری در محلول‌های غذایی می‌شود. اسیدی کردن آب با استفاده از اسیدهای فسفریک، سولفوریک و نیتریک، باعث خنثی شدن اثرات مخرب کربنات‌ها و بی‌کربنات می‌شود. اسید فسفریک 85 درصد، برای خنثی کردن 60 میلی‌گرم در لیتر بی‌کربنات، به نسبت 7 میلی‌لیتر در 100 لیتر آب ترزیق می‌شود که این اسید مقداری فسفر گیاه را نیز تأمین می‌کند. اسید نیتریک غلیظ (70 درصد) برای کاهش pH آب

[1] Heavy nitrogenous feeding

استفاده می‌شود. این اسید مقداری نیتروژن گیاه را نیز تأمین می‌کند. اگر برای 1000 لیتر آب 1000 میلی‌لیتر اسید نیتریک (1 لیتر اسید) اضافه شود، در آن صورت 220 میلی‌گرم در لیتر نیتروژن تأمین می‌شود. همچنین اگر آبی دارای 100 میلی‌گرم در لیتر کلسیم باشد، برای رساندن pH آب به 5/9 باید 275 میلی‌لیتر اسید نیتریک به 1000 لیتر آب اضافه شود (شکل 4-1). مقدار دقیق اسید تزریقی با آزمایش آب تعیین می‌شود. اسید سولفوریک نیز همانند اسید نیتریک و فسفریک برای کاهش pH آب استفاده می‌شود. مقدار آن بر اساس کیفیت آب قابل محاسبه است. نکته قابل توجه این است که اگر مقدار سولفات‌ها در آب بیش از 100 میلی‌گرم در لیتر باشد، نباید از اسید سولفوریک برای کاهش pH آب استفاده شود. از هیدروکلریک اسید به دلیل داشتن کلر نباید برای کاهش pH آب استفاده شود.



شکل 4-1- اثر اسید نیتریک بر کاهش pH آب (Mohyuddin, 1991)

1-12- آلودگی‌های آب

انواع مختلف آلودگی‌ها، می‌تواند برای رشد گیاهان مضر باشد. برای نمونه استفاده از علف‌کش پیکلورام (توردون)، می‌تواند منابع آبی را آلوده و باعث خسارت شدید به محصول شود. بهترین روش برای تشخیص آلودگی آب آبیاری، به‌ویژه برای گوجه‌فرنگی و لوبیا، آزمون بیولوژیک است. رشد کج و معوج، همراه با برگ‌های نازک و باریک، نشانی از آلودگی آب و بستر کشت است (Mohyuddin, 1991).

13-1- ضدعفونی آب

برای ضدعفونی آب در کشت‌های بدون خاک، از لامپ‌های دارای اشعه ماروراء بنفش (UV) و یا از سیستم حرارتی تا دمای 95 درجه سانتی گراد استفاده می‌شود.

2- تیمار آب

تیمارهای آبی، برای افزایش کیفیت آب استفاده می‌شوند. برخی از تیمارهای آبی شامل، تقطیر، سختی‌گیرهای آب، یون‌زدایی، دستگاه آب شیرین‌کن (اسمز معکوس) و تیمارهای شیمیایی هستند (Mohyuddin, 1991).

2-1- تقطیر[1]

بر پایه بخار آب و معیان کار می‌کند و آب حاصل از آن، دارای EC کمتر از 0/1 dS/m و PH نزدیک خنثی است. این روش بسیار گران، و برای کاربری گلخانه مناسب نیست.

2-2- سختی‌گیرهای آب[2]

سختی‌گیرهای آب به منظور کاهش سختی آب، به روش تبادل کاتیون‌های دو ظرفیتی ($Ca^{++} + Mg^{++}$) با سدیم (Na^{+}) در تعادل با بار الکتریکی انجام می‌شود. این روش برای آبیاری گیاهان گلخانه‌ای استفاده نمی‌شود و تنها کاربری آن برای سیستم‌های دیگ بخار است.

2-3- یون زدایی[3]

یون‌زدایی مشابه دستگاه سختی‌گیر عمل می‌نماید با این تفاوت که عبور آب از دو لایه تبادلی انجام می‌شود. نخست تبادلات کاتیونی محلول، برای هیدروژن (H^{+}) و سپس برای

[1] Distillation
[2] Water Softeners
[3] Deionization

هیدروکسید (OH^-) انجام می‌شود. نتیجه اینکه EC آب کم می‌شود. این روش به دلیل نیاز به دستگاه‌های پیچیده، استفاده نمی‌شود، اما برای برخی گل‌های شاخه بریدنی، ممکن است استفاده شود.

2-4- اسمز معکوس[1]

فرایند تصفیه آبی است که در آن از فشار برای معکوس نمودن جریان اسمزی آب از درون یک غشای نیمه تراوا برای تولید آب خالص و حذف یون‌ها، مولکول‌ها و ذرات بزرگ‌تر حل شده در آب استفاده می‌شود. این روش هر چند که پر هزینه بوده، اما برای کشت‌های هیدروپونیک (کشت بدون خاک) مناسب است.

2-5- تیمارهای شیمیایی

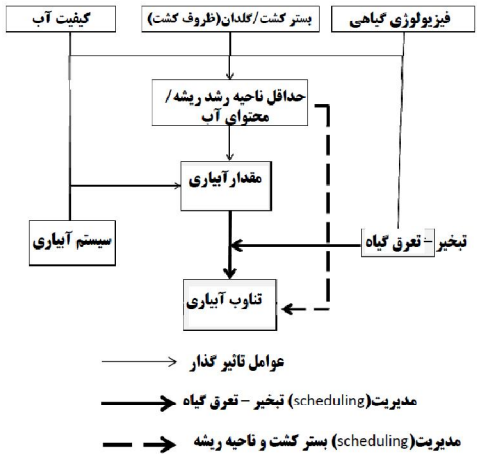
برخی از مواد که برای تیمار شیمیایی استفاده می‌شوند شامل انعقادکننده‌های ذرات جامد معلق در آب (رس، سیلت و مواد آلی) مانند سولفات آلومینیوم (این ماده برای گیاه می‌تواند سمی و نیز باعث کاهش pH محلول غذایی شود) و متافسفات سدیم برای جلوگیری از رسوب کلسیم، منیزیم و آهن در آب آبیاری است.

[1] Reverse osmosis

فصل پنجم

مدیریت کمیت آب در گلخانه

به دلیل استفاده نکردن از خاک در کشت‌های هیدورپونیک، نشانه‌های سوء مدیریت در آبیاری به‌سرعت در گیاه نمایان می‌شود. از این‌رو آبیاری بیش از اندازه و یا کمتر، نشان از ضعف مدیریت آبیاری است. مدیریت کمیت آب در گلخانه شامل عوامل مربوط به گیاه، بسترکشت و گلخانه است. برای محاسبه نیاز آبی به دو شاخص اصلی تعیین مقدار آب لازم برای آبیاری[1] و تناوب آبیاری[2] نیاز است. در تعیین مقدار آب آبیاری، عواملی مانند فیزیولوژی گیاهی، کیفیت آب، نوع طراحی سیستم آبیاری تاثیرگذار هستند (شکل 5-1)، در حالی‌که تناوب آبیاری به وضعیت جذب آب از بستر (به‌شدت وابسته به تبخیر- تعرق تا بیش از 90 درصد) بستگی دارد (Saha et al., 2008).



شکل 5-1- چارچوب برنامه‌ریزی آبیاری در کشت‌های بدون خاک گیاهان گلخانه‌ای (Saha et al., 2008)

[1] Irrigation dose
[2] Irrigation frequency

نیاز آبی با توجه به نوع اقلیم، جنس بستر (خاکی و غیر خاک)، گونه گیاهی، مرحله رشد گیاه و سرانجام نوع سازه گلخانه‌ای متفاوت است. مهم‌ترین اثر اقلیم بر نیاز آبی گیاه، بر میزان تبخیر- تعرق[1] است. تبخیر - تعرق به تلفیق دو فرایند تعرق از گیاه و تبخیر از سطوح گیاه، خاک، محیط آبی و انتقال آن به اتمسفر گفته می‌شود. تبخیر- تعرق گیاهان تحت تاثیر عوامل اقلیمی و گیاهی است. عوامل اقلیمی شامل نور، دما، رطوبت نسبی هوا و تهویه گلخانه است. عوامل دیگری که به‌طور غیر مستقیم بر مقدار تبخیر- تعرق گیاهان در گلخانه اثر می‌گذارند، شامل عوامل مدیریتی و شرایط خاک (شوری، فقر غذایی، آلودگی به آفات و بیماری‌ها) است (انتصاری و همکاران، 1386).

نیاز آبی خالص گیاهان در گلخانه با روش کنترل رطوبت خاک و نصب دستگاه‌های اندازه‌گیری رطوبت مانند تانسیومتر و دستگاه انعکاس‌سنج زمانی[2] (TDR) تعیین می‌شود. برای تعیین آب موردنیاز گیاهان گلخانه‌ای براساس شاخص‌های اقلیمی مانند تشعشع، رطوبت نسبی، دما و شاخص‌های گیاهی مانند شاخص سطح برگ[3] (LAI)، مقاومت روزنه‌ای، ارتفاع گیاه، شکل، رنگ و زاویه برگ‌ها و میزان سایه‌اندازی گیاه مدل‌هایی توسط محققان پیشنهاد شده است. روشن است که تحقیقات انجام شده برای شرایط کنترل شده (گلخانه) نسبت به فضای باز بسیار کمتر است (انتصاری و همکاران، 1386).

محاسبات نیاز آبی گیاهان گلخانه‌ای در کشت‌های بدون خاک

محاسبات نیاز آبی گیاهان گلخانه‌ای بر اساس مدیریت بستر کشت، تعیین مقدار آب برای هر دوره آبیاری (دوز آبیاری)، تناوب آبیاری، سیستم تهویه و خنک‌کنندگی به‌شرح زیر توضیح داده می‌شود.

1- مدیریت بسترکشت

منظور از مدیریت بستر شامل بررسی وضعیت بستر کشت از جنبه‌ی شاخص‌های رطوبتی و انتخاب نوع و مقدار بستر کشت است.

[1] Evapotranspiration (ET)
[2] Time domin refectometry (TDR)
[3] Leaf area index (LAI)

آب قابل ذخیره[1] در بسترهای کشت بدون خاک با اصطلاحاتی مانند منافذ کل، ظرفیت گلدانی[2]، منافذ اشغال شده توسط هوا و آب بیان می‌شود. ظرفیت گلدانی برابر است با مقدار آب نگهداری شده بعد از خروج آب ثقلی در بستر کشت به حالت اشباع است. این مقدار آب به جنس بستر بستگی دارد. آب سهل الوصول[3] زیر مجموعه آب قابل دسترس است و مقدار آبی است که در محدوده پتانسیل ماتریس منفی 1 تا منفی 10 کیلوپاسکال قرار دارد. مقدار آن از 7 تا 35 درصد با توجه به نوع بستر و وزن مخصوص ظاهری متغییر است. رابطه‌ای بین عملکرد محصول و ظرفیت نگهداری آب بستر بدون خاک وجود دارد. به‌عبارت دیگر، بستری که دارای ظرفیت نگهداری آب بیشتر همراه با تهویه مناسب باشد، گیاهان رشد مناسب و عملکرد بهتری خواهند داشت (Vaughn et al., 2011).

1-1- محاسبه آب قابل دسترس گیاه

میزان آب قابل دسترس گیاه[4] (AW_{cont}) در بستر کشت بدون خاک به شکل هندسی ظرف، به‌ویژه ارتفاع گلدان (ظرف کشت) بستگی دارد که بر میزان زهکش[5] تاثیر دارد. هر چه ارتفاع گلدان بیشتر باشد، نیاز به زهکش بیشتر خواهد شد و در نتیجه ظرفیت بستر برای نگهداری آب کمتر می‌شود (فصل اول).

میزان آب قابل دسترس گیاه از معادله‌ی زیر محاسبه می‌شود (Pardossi et al., 2011).

$$AW_{cont} = 0/832 \times AW - 52/95 \times h_{cont} + 21/67 \qquad (1)$$

که در آن: AW_{cont}: مقدار آب قابل دسترس ظروف کشت (درصد)، AW: آب سهل الوصول (درصد) و h_{cont}: ارتفاع ظرف کشت یا گلدان (متر) است.

[1] Water storage
[2] Water container capacity
[3] Water available to the crop (AW)
[4] Water available to the crop (AW_{cont})
[5] Drainage

2-1- محاسبه حجم بستر

حجم بستر با استفاده رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود (Pardossi et al., 2011):

$$V_{cont} = L \times W \times h_{cont} \times 1000 \quad (2)$$

که در آن: V_{cont}: حجم بستر (لیتر بر متر مربع)، L: طول ظرف یا بستر (متر)، W: عرض ظرف یا بستر (متر) و h_{cont} : ارتفاع ظرف کشت (متر) است.

جدول 5-1- حجم آب و هوای انواع بسترهای کشت غیرخاکی (Pardossi et al. 2011) (اندازه‌گیری هوا در فشار 1- کیلو پاسکال برای ستون درصد حجمی هوا و مکش 1- تا 10- کیلوپاسکال برای ستون درصد حجمی آب)

نوع بستر کشت	پتانسیل ماتریک (کیلوپاسکال)						درصد حجمی هوا (AC %)	درصد حجمی آب (AW %)
	0	-1	-3	-5	-7/5	-10		
کوکوپیت	93	70	44	40	37	35	23	35
پیت	90	72	46	41	37	35	18	37
پرلیت	95	35	31	34	25	22	60	13
پامیس	69	41	37	36	35/5	35	28	6
پشم سنگ	97	82	7	6	5	4	15	78
پیت + پرلیت	75	54	40	36	33	30	21	24
پامیس + پیت	77	51	43	37	35	32	26	19

توضیح اینکه درصد حجمی آب و هوا در ستون‌های سمت چپ نشان از حالت خشک و پیش از قرار گرفتن در ظروف کشت است (خواص اولیه بستر).

جدول 5-2- محتوای حجم آب و هوای (درصد) بسترهای مختلف کشت (Pardossi et al., 2011)

			انواع ظروف کشت								
	ابعاد ظرف	واحد	قالب کشت (Slab)	کیسه ای نوع 1	کیسه ای نوع 2	سکویی نوع 1	سکویی نوع 2	سکویی نوع 3	گلدان قطر دهانه 16 سانتی نتر	گلدان قطر دهانه 24 سانتی	گلدان قطر دهانه 32 سانتی
مشخصات ظروف کشت	ارتفاع	متر	0/075	0/15	0/2	0/2	0/3	0/4	0/14	0/21	0/29
	طول	متر	1	0/2	0/2	0/4	0/3	0/4	-	-	-
	عرض	متر	0/15	1	1	1	1	1	0/16	0/24	0/32
	حجم	لیتر	11/25	30	40	80	90	160	2/81	9/5	23/31
	برخی از مشخصات فیزیکی بستر متناسب با ظروف کشت مورد اشاره										
پیت	حجم آب	درصد	-	77	75	75	70	66	78	74	70
	حجم هوا	درصد	-	17	20	20	25	29	17	21	24
	آب قابل دسترس	درصد	-	43	40	40	35	31	43	39	36
پرلیت	حجم آب	درصد	-	55	50	50	44	41	56	49	44
	حجم هوا	درصد	-	45	50	50	56	59	44	51	56
	آب قابل دسترس	درصد	-	33	28	28	22	19	35	27	23
پامیس	حجم آب	درصد	-	49	46	46	44	42	50	46	44
	حجم هوا	درصد	-	24	26	26	29	31	23	27	29
	آب قابل دسترس	درصد	-	14	12	12	9	7	15	11	9

ادامه جدول 5-2- محتوای حجم آب و هوای (درصد) بسترهای مختلف کشت (Pardossi et al., 2011)

			انواع ظروف کشت								
		واحد	قالب کشت (Slab)	کیسه ای نوع 1	کیسه ای نوع 2	سکویی نوع 1	سکویی نوع 2	سکویی نوع 3	گلدان قطر دهانه 16 سانتی نتر	گلدان قطر دهانه 24 سانتی	گلدان قطر دهانه 32 سانتی
			برخی از مشخصات فیزیکی بستر متناسب با ظروف کشت مورد اشاره								
کوکوپیت	حجم آب	درصد	84	77	74	74	69	64	78	73	69
	حجم هوا	درصد	14	21	24	24	29	33	20	25	29
	آب قابل دسترس	درصد	50	42	39	39	34	30	43	39	35
پشم سنگ	حجم آب	درصد	91	85	81	81	72	63	86	80	73
	حجم هوا	درصد	11	17	21	21	30	40	16	22	29
	آب قابل دسترس	درصد	88	82	77	77	68	59	83	76	69
پیت + پرلیت	حجم آب	درصد	67	61	58	58	55	52	61	58	55
	حجم هوا	درصد	12	18	21	21	24	27	18	21	24
	آب قابل دسترس	درصد	37	31	28	28	25	22	31	28	25
پیت + پامیس	حجم آب	درصد	67	59	57	57	53	50	60	56	53
	حجم هوا	درصد	14	22	24	24	28	31	21	25	28
	آب قابل دسترس	درصد	35	28	25	25	21	19	28	24	22

2- محاسبات تعیین مقدار آب برای هر دوره آبیاری (دوز آبیاری)

مقدار آب برای آبیاری با دو اصطلاح آب خالص[1] (I_{net}) و آب واقعی (ناخالص) یا آب گیاهی[2] (I_{gross}) بیان می‌شود، که واحد هر دو بر حسب لیتر بر متر مربع است.

2-1- محاسبه آب خالص ظروف کشت (گلدان)

آب خالص در گلدان با استفاده از رابطه زیر به شرح زیر محاسبه می‌شود (Pardossi et al., 2011):

$$I_{net} = \frac{AW_{cont}}{100} \times V_{cont} \times f \quad (3)$$

که در آن: AW_{cont} درصد آب قابل استفاده بستر کشت جامد است که از جدول (5-2) نیز قابل محاسبه است و F: ضریب ویژه آبیاری گیاه[3] که برای گیاهان مختلف بین 0/05 تا 1 متغییر است. f کمتر به معنی نوسانان رطوبتی کمتر در بستر کشت و در نتیجه فواصل آبیاری بیشتر می‌شود (صرفه‌جویی در مصرف آب). از این‌رو f بایستی بر مبنای ویژگی هیدرولیکی بسترکشت، نوع طرح سیستم آبیاری، نحوه توزیع یکنواخت آب در بستر، کمترین، مدت زمان هر رویداد آبیاری و فیزیولوژی گیاه انتخاب شود.

2-2- محاسبه آب ناخالص گلدان (ظروف کشت)

به‌طور کلی مقدار آب ناخالص به این دلایل بیشتر از آب خالص است: الف) متفاوت بودن تبخیر و تعرق در گیاهان مختلف، ب) تفاوت آب‌دهی هر کدام از نازل‌ها و گرفتگی آن‌ها و ج) نیاز به جلوگیری از تجمع نمک‌ها در اطراف ریشه از طریق آبشویی.

آب ناخالص از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Pardossi et al., 2011):

$$I_{gross} = I_{net} \times K_s \quad (4)$$

[1] Net irrigation
[2] Gross or actual irrigation
[3] Crop-specific irrigation coefficient

در این رابطه K_S : ضریب ایمنی بستر (بدون واحد) است. K_S به گونه گیاه، یکنواختی آبیاری و نیز به خطر شوری بستر بستگی دارد که دامنه آن بین 1/15 تا 2 متغییر است. به‌عبارت دیگر زمانی که توزیع آب یکنواخت، گیاه یکنواخت (تک محصول)، آب استفاده شده با شوری کم و تحمل گیاه به شوری بالاتر باشد، ضریب ایمنی بستر برابر 1/15 است. اما در شرایطی مانند تنوع بزرگ بین گیاهی در ET[1]، عدم یکنواختی آبیاری و استفاده از آب شور برای گیاهان حساس به شوری، مقدار K_S در دامنه 2 قرار دارد.

3-2- محاسبه کسر آبشویی بستر[2] (مقدار زهکش بستر)

در هر آبیاری مقدار آب از پایین بستر می‌بایست زهکش شود. کسر زهکش[3] درصد نسبت بین آب استفاده شده در هر دوره آبیاری و مقدار خارج شده از ته ظرف (گلدان) است. کسر زهکشی تقریبا معادل کسر آبشویی (LF) است (DF = LF)که از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Pardossi et al., 2011):

$$LF = 100\frac{(I_{gross}-I_{net})}{I_{gross}} \quad (5)$$

زمانی که K_S برابر 1/15 باشد، DF برابر 0/13 (13 درصد) است. زمانی که K_S برابر 2 باشد، DF برابر 0/5 (50 درصد) است. این به معنی این‌که برای گیاهان حساس به شوری، آبشویی 50 درصدی ممکن است اعمال شود.

در کل صرف نظر از گیاهان با شرایط رشد ویژه (حساس به شوری)، توصیه عمومی این‌که بهترین شرایط برای آبیاری زمانی فراهم می‌شود که K_S برابر 1/3 و میزان زهکش (آبشویی) بستر 23 درصد باشد.

در سیستم‌های آبیاری باز مقدار زهکش (LF = DF) بین 20 تا 50 درصد متغیر است. در سیستم‌های آبیاری بسته، آب استفاده شده به مقدار آب جذب شده (در ارتباط با تبخیر - تعرق) بستگی دارد. در حالی‌که زهکش (D) به‌طور کامل در سیستم در گردش

[1] large inter-plant variability in ET
[2] Leaching fraction
[3] Drain fraction (DF)

است و خارج نمی‌شود. در این سیستم آبشویی بسیار ناچیز و قابل چشم پوشی است.

نکته قابل توجه این‌که زهکش مقدار آبی است که بعد از هر آبیاری از ته ظرف کشت (گلدان) خارج می‌شود اما آبشویی مقدار آبی است که برای نمک‌زدایی (شوری بستر) استفاده می‌شود. در محاسبات مربوط به تعیین مقدار آب برای هر دوره آبیاری (دوز آبیاری) واژه زهکش تقریبا با آبشویی یکسان است. اما در محاسبات مربوط به تناوب آبیاری، آبشویی همان مقدار آب لازم برای شستشوی املاح و نمک‌های مضر بستر است که با زهکش فرق دارد.

2-4- محاسبه زمان‌بندی کارکرد قطره‌چکان‌ها

زمان کار کرد قطره‌چکان‌ها در بسترهای کشت بدون‌خاک بسیار کم (در حد چند ثانیه تا چند دقیقه) است. این زمان به تراکم قطره‌چکان‌ها (تعداد قطره‌چکان در واحد سطح) و شدت آب‌دهی قطره‌چکان (r) بستگی دارد.

مدت زمان کارکرد قطره‌چکان‌ها از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Pardossi et al., 2011):

$$I_{time} = \frac{I_{gross} \times 3600}{d \times r} \quad (6)$$

که در آن d: تعداد قطره‌چکان‌ها در متر مربع، r[1]: شدت آبدهی قطره‌چکان یا میزان گذرآب در هر قطره‌چکان (لیتر در ساعت) و I_{time}: مدت زمان کارکرد قطره‌چکان‌ها در هر بار روشن شدن (ثانیه) است.

3- محاسبات تناوب آبیاری[2]

به‌طور کلی تناوب آبیاری از تقسیم تبخیر- تعرق گیاهی به آب خالص (نه آب ناخالص) محاسبه می‌شود. از این‌رو اگر تبخیر- تعرق بر اساس روزانه محاسبه شود، در نتیجه تعداد آبیاری (تناوب) نیز به‌صورت روزانه محاسبه می‌شود. عموما گیاهان گلخانه‌ای در کشت‌های بدون خاک، روزانه چندین نوبت آبیاری می‌شوند و نخستین آبیاری در

[1] Dripper discharge rate
[2] Irrigation frequency

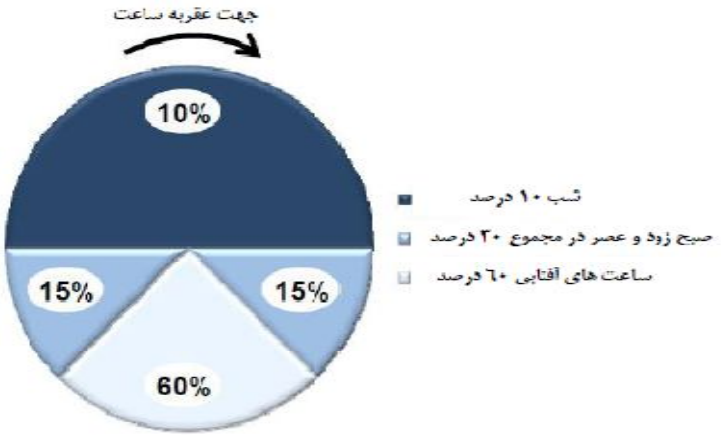
ابتدای صبح شروع می‌شود. با در نظر گرفتن این موضوع، تناوب آبیاری بر اساس شاخص‌هایی مانند زمان‌بندی آبیاری، تبخیر و تعرق روزانه، بررسی وضعیت ناحیه ریشه (مقدار رطوبت و پتانسیل ماتریس) محاسبه می‌شود (Pardossi et al., 2009).

3-1- محاسبه تعداد آبیاری[1] (تناوب آبیاری)

تناوب آبیاری طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود (Pardossi et al., 2011).

$$\text{تناوب آبیاری} = \frac{\text{تبخیر و تعرق گیاهی}}{\text{آب خالص}} \quad (7)$$

در گیاهان گلخانه‌ای بیش از 90 درصد تبخیر- تعرق در روز اتفاق می‌افتد (شکل 2-5). با فرض بر اینکه تبخیر- تعرق به‌صورت روزانه محاسبه شود، در نتیجه تناوب آبیاری هم باید به‌صورت روزانه محاسبه شود. آبیاری شبانه ممکن است در گلخانه‌هایی که بخاری‌ها در شب روشن است و یا در فصول گرم سال به‌دلیل تبخیر و تعرق گیاهی، انجام شود. آبیاری شبانه به نمو (افزایش کمی و کیفی) میوه کمک می‌کند اما این آبیاری در روزهایی که نوسانات رطوبتی زیاد است، ممکن است باعث شکاف خوردگی میوه شود.



شکل 5-2- سهم زمان‌بندی سیستم آبیاری در مدت 24 ساعت شبانه روز (Pardossi et al., 2011)

[1] Number of irrigations

2-3- محاسبه تبخیر- تعرق گیاهان گلخانه‌ای

تبخیر- تعرق [1](ET): تبخیر- تعرق بر حسب شرایط اقلیمی منطقه (دما، تابش، رطوبت، باد و دی‌اکسید کربن)، آب قابل‌دسترس در خاک و بستر کشت تغییر می‌کند. تبخیر- تعرق در گلخانه‌ها به مقدار رطوبت موجود در هوای داخل و بیرون گلخانه بستگی دارد (انتصاری و همکاران، 1386).

روش‌های مختلفی برای محاسبه تبخیر- تعرق گیاهی وجود دارد، اما رابطه رایج و استاندارد معادله پیشنهادی FAO است که بر اساس شاخص سطح برگ، میزان تابش و کمبود فشار بخار تعریف می‌شود.

تبخیر- تعرق مؤثر گیاه[2] از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود (Pardossi et al., 2011):

$$ET = A \times \frac{R_{int}}{\lambda} + B \times LAI \times VPD \quad (8)$$

که در آن ET: تبخیر- تعرق مؤثر گیاه (میلی‌متر)، A و B: ضرایب تجربی[3] ($kg\ m^{-2}\ h^{-}$ ^{1} kPa^{-1}) که از جدول (3-5) بدست می‌آید، LAI: شاخص سطح برگ (بدون واحد)، R_{int}: تابش دریافتی ($MJ\ m^{-2}\ h^{-1}$)، VPD: کمبود فشار بخار (kPa) و λ : گرمای نهان بخار آب که برابربا 2/45 مگاژول بر متر مربع ($MJ\ m^{-2}$) است.

$$R_{int} = 1 - exp^{-k.LAI} \quad (9)$$

که در آن K : ضریب ویژه گیاهی در شرایط انقطاع نور[4] (بدون واحد) است.

[1] Evapotranspiration (ET)
[2] Effective crop evapotranspiration
[3] Empirical coefficients
[4] Crop-specific light interception coefficient

جدول 5-3- مقدار ضریب A، B و LAI در برخی از محصولات مهم گلخانه‌ای (Pardossi et al., 2011)

نام محصول	شرایط رشد	LAI	A	B
خیار	منطقه مدیترانه (آلمریا) – بستر کشت پرلیت در گلدان	0/5 – 2/6	0/24 – 0/42	0/032 – 0/055
گوجه فرنگی	منطقه مدیترانه (آلمریا) – بستر کشت پرلیت در گلدان	2/5	0/58	0/025
کدو خورشتی	منطقه مدیترانه (ایتالیا) – بستر کشت پامیس	0/5 – 5/5	0/63	0/009
گل رز	منطقه مدیترانه (یونان) – بستر کشت پرلیت در گلدان	2/5 – 3/5	0/236	0/026
ژربرا	منطقه مدیترانه (آلمریا) – بستر کشت پشم سنگ	1– 2/2	0/55	0/019
بگونیا	گیاهان گلدانی (آپارتمانی)	2/7	0/2	0/026
سیکلامن		2/9	0/32	0/019
ختمی ژاپنی		2/4	0/37	0/037
گل حنا		5/1	0/67	0/013
شعمدانی		5/7	0/61	0/017
بنت القنسل		2	0/12	0/017
شفلرا		4/4	0/6	0/014
گاردنیا		4/5	0/46	0/019

محاسبه تبخیر- تعرق گیاهان گلخانه‌ای که بصورت ردیفی کشت می‌شوند، با استفاده از رابطه‌ی زیر است (De Graaf, 1988):

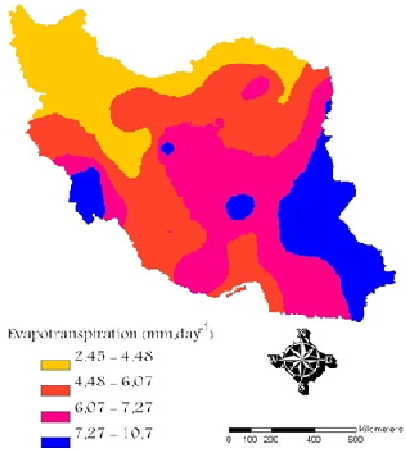
$$ET = \frac{h}{m} \times [a \times R + b \times \sum_{1440}^{1} min_i\,(T_t - T_a)] \qquad (10)$$

که در آن h: ارتفاع واقعی گیاه (متر)، m: حداکثر ارتفاع گیاه (متر)، R: تابش نور به درون گلخانه (مگا ژول بر متر مربع ساعت)، a و b: ضرایب تجربی و قابل محاسبه از جدول 5-3 (بدون واحد)، Min_i: اختلاف افزایش دمای لوله‌های گرمایشی و گلخانه و (T_t) و (T_a): دمای هوای گلخانه پیش از گرم شدن لوله‌ها (T_a) و بعد از گرم شدن لوله‌ها (T_t) (درجه سانتی‌گراد) است.

به عنوان نمونه مقدار b برای خیار و گوجه فرنگی در شرایط کشور هلند $0/22 \times 10^{-4}$ است.

با توجه به اینکه در گلخانه‌های با سیستم گرمایشی، تابش نور خورشید به داخل گلخانه باعث تشدید تبخیر- تعرق گیاهان می‌شود، از این‌رو رابطه (10) عملی‌ترین روش محاسبه تبخیر- تعرق است.

هدف از نشان دادن این روابط در این فصل، آشنایی با عوامل موثر بر تبخیر- تعرق است. محاسبات تبخیر- تعرق از بحث‌های تخصصی آبیاری است که از توان این نشریه خارج است. با این وجود، برای کمک به برآورد تبخیر- تعرق روزانه در اقلیم‌های مختلف ایران، از شکل (5-3) می‌توان کمک گرفت.



شکل 5-3- پهنه‌بندی تبخیر- تعرق مرجع روزانه در ایران (زارع ابیانه و همکاران، 1389)

3-3- تجهیز ناحیه ریشه به حس‌گرها

وجود حس‌گرها در اطراف ریشه با توجه به کنترل میزان رطوبت و پتانسیل ماتریس بستر کشت، می‌تواند به تعیین دور و زمان آبیاری در گیاهان کمک نماید (Pardossi et al., 2009). امروزه ابزارهایی مانند حس‌گرهای نوترونی، TDR[1] برای تعیین اعلام زمان آبیاری استفاده می‌شود که این ابزارها می‌تواند به سیستم هشداردهنده پیامکی (SMS) مجهز باشند. آستانه

[1] Time-domain reflectometry

بحرانی حجم آب و پتانسیل ماتریک (ψm) بستگی به گونه گیاهی و نوع بستر دارد. دامنه ψm در بسترهای کشت بدون خاک بین 4- تا 10- کیلوپاسکال است (جدول 5-1). برای نمونه در پرلیت در مکش ماتریک (ماتریس) 5- کیلوپاسکال، میزان رطوبت بستر کشت 34 درصد است.

4-3- محاسبه حجم آبشویی[1]

در شرایط تنش شوری بستر کشت به دلیل نوسانات EC، لازم است برای پاک‌سازی (حذف املاح و نمک‌ها) آبشویی بستر انجام شود. حجم آبشویی بستر از روابط (11 و 12) محاسبه می‌شود:

$$LR = \frac{LF}{1 - LF} \quad (11)$$

$$W = ET \times (1 + LR) \quad (12)$$

که در آن LR: نیاز آبشویی[2] (لیتر)، LF: کسر آبشویی (میزان زهکش بستر) و W: کل آب نیازمند برای آبشویی (لیتر بر متر مربع) است.

4- محاسبات سیستم خنک‌کنندگی گلخانه

سیستم خنک‌کنندگی گلخانه شامل سیستم‌های تهویه، سایه‌بان و مه‌پاشی است. تهویه گلخانه با توجه به شرایط اقلیمی می‌تواند تهویه طبیعی، مکانیکی و سیستم بسته با استفاده از هواسازها یا سیستم‌های OPAC[3] باشد. سیستم فن و پد برای مناطق خشک و سیستم بسته برای مناطق گرم و مرطوب مناسب است (برای اطلاعات بیشتر درباره سیستم‌های تهویه و خنک‌کنندگی گلخانه‌ها به کتاب اصول و مبانی عملیات ساخت گلخانه به تالیف دکتر ولی کریمی مراجعه شود).

4-1- سیستم تهویه مکانیکی

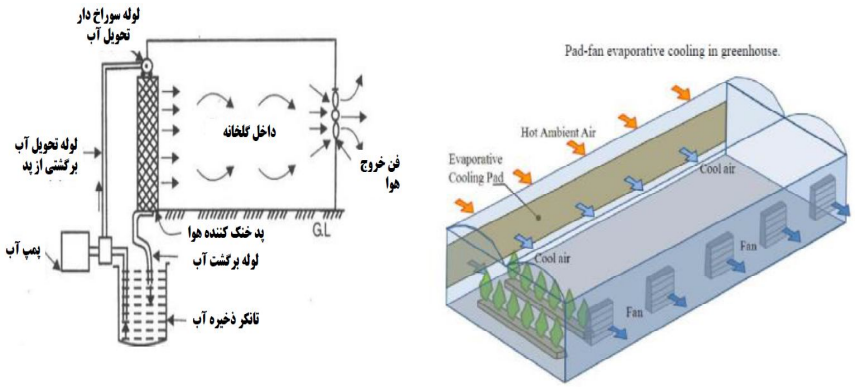
این سیستم شامل خنک‌سازی گلخانه با استفاده از روش تبخیر آب (فن و پد) و

[1] Water requirement for leaching
[2] Leaching requirement (LR)
[3] Oval pipe air conditioner (OPAC)

سیستم آب‌پاشی (مه‌پاشی و میست) است.

4-1-1- سیستم خنک سازی گلخانه با استفاده از روش تبخیر آب (فن و پد)

مبنای سیستم فن و پد بر خنک شدن هوا در اثر تبخیر آب (جذب حرارت بیشتر در اثر گرمای نهان بالا) استوار است. همزمان با ورود هوای خشک از میان شبکه‌های مرطوب پد به درون گلخانه، ضمن از دست دادن حرارت، رطوبت درون گلخانه افزایش می‌یابد (شکل 4-5). به‌عنوان‌نمونه در اقلیم مدیترانه‌ای (تابستان گرم و خشک) این سیستم باعث کاهش دمای گلخانه به‌اندازه 3-6 درجه سانتی‌گراد می‌شود (Urban, 1997a). کارایی این سیستم به درجه خشکی هوا بستگی دارد. یعنی هرچه هوا خشک‌تر باشد، قدرت خنک‌کنندگی سیستم بیشتر خواهد بود. به‌عنوان‌نمونه در منطقه‌ای که مقدار رطوبت نسبی کمتر از 20 درصد باشد، ممکن است مقدار خنک‌کنندگی به بیش از 10 درجه سانتی‌گراد برسد (Hanan, 1998). فاصله بین فن و پد، یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در کارایی این سیستم است. از این‌رو به‌منظور جلوگیری از ایجاد اختلاف زیاد دما و رطوبت در نقاط مختلف گلخانه، نباید فاصله بین فن و پد بیش از 40 متر باشد (Urban, 1997a). ردیف‌های کشت در این سیستم باید موازی با جریان هوای گلخانه باشد (شکل 4-5). خنک‌سازی گلخانه به روش تبخیر و تعرق بخشی از فرایند کاهش دمای هوا و گیاهان است.



شکل 4-5- طرح شماتیک سیستم خنک‌کننده تبخیری (سیستم فن و پد)

کیفیت آب استفاده شده در این سیستم، یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر کارایی آن است. به دلیل اینکه آب بی‌کیفیت (املاح بالا)، تجمع نمک‌ها بر روی پدها را بیشتر می‌کند و باعث مسدود شدن شبکه‌های آن می‌شود. در نتیجه برای شستشوی پدها آب زیاد (باکیفیت) مصرف می‌شود. از این‌رو هزینه زیاد مصرف آب، توجیه اقتصادی این سیستم خنک‌کنندگی را کم می‌نماید. اگر آب جریان یافته در پدها به‌صورت چرخشی باشد، حتماً باید با مواد بیواسیدی برای تصفیه و جلوگیری از رشد جلبک‌ها تیمار شود (ASAE, 1988).

مثال 1- نیاز آبی سیستم تهویه گلخانه در شرایط فن و پد را با مشخصات ذیل محاسبه نمایید.

گلخانه تک‌واحدی تونلی به طول 30 و عرض دهانه 15 متر

ضخامت پد سلولزی استفاده شده 10 سانتی‌متر

حل:

1- محاسبه تعداد فن موردنیاز

با توجه به اینکه بیشترین فاصله جانبی دو فن در دیواره گلخانه برابر 7/6 متر است (قانون کلی)، از این‌رو با تقسیم عرض گلخانه (15متر) به عدد 7/6 متر تعداد فن به دست می‌آید (Castilla, 2013).

$$\text{تعداد فن} = \frac{\text{عرض گلخانه}}{7/6} = \frac{15}{7/6} = 2 \qquad (13)$$

توضیح اینکه در گلخانه‌های تجاری چنددهانه (مالتی اسپن) با تقسیم عرض هر واحد گلخانه به عدد 7/6 تعداد فن برای هر واحد به دست می‌آید، سپس عدد حاصل به تعداد تونل‌ها (دهانه) گلخانه ضرب می‌شود.

2- محاسبه مساحت پد موردنیاز

با توجه به اینکه توان تبادل هوا در پد به ضخامت 10 سانتی‌متر، 75 مترمکعب در دقیقه بر مترمربع است. می‌توان از رابطه (14) مساحت پد را محاسبه نمود (Castilla, 2013):

(14)
$$\text{مساحت پد} = \left(\frac{\text{ظرفیت فن}}{\text{حجم هوای تبادلی}}\right) \times \text{تعداد فن}$$

واحد مساحت پد، ظرفیت فن و حجم هوای تبادلی به ترتیب مترمربع، مترمکعب هوا در دقیقه و مترمکعب هوا در دقیقه بر مترمربع است (برای آشنایی با محاسبات ظرفیت فن، حجم هوای تبادلی و سایر محاسبات طراحی سیستم‌های تهویه و خنک‌کنندگی گلخانه، به کتاب اصول و مبانی عملیات ساخت گلخانه، به تالیف دکتر ولی کریمی مراجعه شود).

$$\text{مساحت پد} = \left(\frac{\text{متر مکعب در دقیقه } 630}{\text{مترمربع/متر مکعب در دقیقه } 75}\right) \times 2 = 16/8\ m^2$$

مساحت یا سطح پد برابر 16/8 متر مربع است.

3- محاسبه ارتفاع پد

پد باید عرض گلخانه را پوشش بدهد. در این نمونه عرض گلخانه 15متر است. ارتفاع پد (متر) از تقسیم مساحت (سطح) پد (مترمربع) به عرض گلخانه (متر) بدست می‌آید:

(15)
$$\text{ارتفاع پد} = \frac{\text{سطح پد}}{\text{عرض گلخانه}} = \frac{16/8}{15} = 1/1\ \text{m} \quad \text{ارتفاع پد}$$

4- محاسبه شدت آبدهی پمپ آب پد

استاندارد جریان آب از سطح پد به ضخامت 10 سانتی‌متری برابر 6/2 لیتر در دقیقه بر متر سطح پد (Lpm/m) است. از این‌رو با ضرب آن به طول پد (عرض گلخانه)، ظرفیت یا شدت آبدهی پمپ آب پد به دست می‌آید:

(16) شدت آبدهی پمپ آب پد = طول پد (متر) x استاندارد جریان آب از سطح پد (لیتر در دقیقه بر متر)

شدت آبدهی پمپ آب پد =6/2×15 = 93 لیتر در دقیقه

5- محاسبه حجم مخزن تأمین آب پد

استاندارد ظرفیت تأمین آب برای پد 10 سانتی‌متری برابر 30/5 لیتر بر مترمربع است.

حجم مخزن تأمین آب پد از رابطه (17) محاسبه می‌شود:

(17) سطح پد (متر) x استاندارد ظرفیت تأمین آب برای پد (لیتر بر متر مربع)= حجم مخزن تامین آب پد

حجم مخزن تأمین آب پد = 30/5 × 16/8 = 512/4 لیتر

حجم آب مورد نیاز سیستم خنک‌کنندگی فن و پد به مدت زمان تخلیه مخزن آب پد بستگی دارد. به‌عبارت دیگر تبخیر آب از سطح پد (کاهش آب برگشتی از پد به مخزن)، مقدار آب مورد نیاز سیستم فن و پد خواهد شد. البته نوسانات شوری آب می‌تواند باعث رسوبات در سطح پد شود که در زمان‌های معین باید آبشویی پد انجام شود. این مقدار آب (آبشویی) افزون‌بر آب تبخیر شده از سطح پد، نیاز آبی سیستم تهویه و خنک کنندگی به روش فن و پد خواهد بود.

4-1-2- سیستم آب‌پاشی (مه پاشی و میست)

دو عبارت مه‌پاش و میست، هرچند که در اصطلاح عامیانه به‌عنوان واحد بکار می‌رود، اما از نظر مفهوم علمی با هم فرق می‌کنند. قطر قطرات آب در حالت مه‌پاش[1] کمتر از میست[2] است. هدف از سیستم مه‌پاش و میست، افزایش رطوبت نسبی هوا و خنک کردن گلخانه است. برای بیشتر شدن کارایی این سیستم، قطر قطرات آب در حالت مه پاش در شرایط ایده‌ال از 0/5 تا 50 میکرو متر است (ASAE, 2002). قطرات آب به‌اندازه‌ای کوچک هستند که در هوا بخار شده و باعث جذب انرژی حرارتی هوای گلخانه و خنکی آن می‌شود. هر چقدر هوای داخل گلخانه خشک‌تر باشد، کارایی این سیستم همانند فن و پد بهتر می‌شود. برای نمونه در اقلیم مدیترانه‌ای نزدیک به 6 درجه سانتی‌گراد و برای اقلیم‌های هوای خیلی خشک، می‌تواند بیش از 7 تا 10 درجه سانتی‌گراد دمای گلخانه را کاهش دهد (Conellan, 2002).

[1] Fogging
[2] Misting

4-1-2-1- سیستم فشار بالا (مه‌پاش)

این سیستم در فشار بیشتر از 7 مگاپاسکال کار می‌کند. از این‌رو برای تحمل فشار، لوله‌های این سیستم باید از مس یا فولاد باشد. دو نوع نازل در این لوله‌ها وجود دارد. یکی نازل‌هایی که قطرات آب را به‌اندازه یک میکرو متر پودر می‌کند و دیگری نازل‌های که قطرات آب را به‌اندازه 10میکرومتر پودر می‌کند. نوع دوم بیشتر در گلخانه‌های پیشرفته استفاده می‌شود. این سیستم با کارکرد 6 ساعت در روز و با شدت پخشش آب به میزان 7 لیتر در ساعت در نازل‌ها می‌تواند 4/2- 2/5 لیتر در مترمربع آب در روز مصرف نماید (Urban, 1997a).

4-1-2-2- سیستم فشار پایین (میست)

این سیستم با فشار کمتر از 0/5 مگاپاسکال کار می‌کند. قطرات آب به‌اندازه 20 تا 100 میکرومتر پودر می‌شود. این سیستم با کارکرد 6 ساعت در روز و شدت خروجی آب از نازل‌ها بین 10 تا 120 لیتر در ساعت، می‌تواند 18- 0/6 لیتر در مترمربع در روز آب مصرف نماید (Urban, 1997a).

لازم به یادآوری است که محاسبات دقیق نیاز آبی سیستم‌های تأمین رطوبت گلخانه ارتباط مستقیم به پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق، تهویه و وضعیت رطوبت نسبی هوای اطراف گلخانه دارد.

مثال 2- برنامه نیاز آبی گل شاخه بریده ژربرا، در بستر کشت پرلیت (کیسه‌ای) با مشخصات زیر را محاسبه نمایید.

نوع گیاه : ژربرا

فصل رویشی و برداشت: تمام طول سال

تراکم کشت: 6 گیاه در هر متر مربع (هر واحد کیسه کشت برای یک متر مربع (1 slab m^{-2}) و برای هر گیاه یک نازل (قطره‌چکان) نصب شود. از این‌رو 6 قطره‌چکان در هر متر مربع نیاز است.

شدت آب‌دهی هر قطره‌چکان (r): 4 لیتر در ساعت

ضریب مخصوص گیاهی برای محاسبه نیاز آبی خالص[1] (f): 0/05

ضریب ایمنی بستر (K_S): 1/3

تبخیر- تعرق = 3 میلی‌متر (لیتر در متر مربع)

حل:

الف - محاسبات مربوط به دوز آبیاری

1- محاسبه حجم بستر و میزان آب قابل دسترس

حجم بستر کشت (V_{cont} معادله شماره 2) = 1 (طول کیسه کشت) × 0/15 (عرض کیسه) × 0/15 (ارتفاع بستر) x 1000 = 22/5 لیتر.

میزان آب قابل دسترس ظرف کشت (AW_{cont}) = 33 درصد یا 0/33 (جدول 8-2)

2- محاسبه آب خالص

$I_{net} = AW_{cont} \times V_{cont} \times f$

نیاز آبی خالص (I_{net}) = 0/33 × 22/5 ×0/05 = 0/ 371 لیتر در متر مربع

3- محاسبه آب ناخالص

$I_{gross} = I_{net} \times K_s$

نیاز آبی ناخالص (I_{gross}) =0/371 × 1/3 = 0/482 ≈0/ 5 لیتر در متر مربع

4- مدت زمان کارکرد قطره‌چکان‌ها در هر بار روشن شدن

$$I_{time} = \frac{I_{gross} \times 3600}{d \times r}$$

$$I_{time} = \frac{0/5 \times 3600}{6 \times 4}$$

I_{time} = 75 ثانیه

[1] Crop irrigation coefficient

هر بار روشن شدن سیستم آبیاری، قطره‌چکان‌ها 75 ثانیه کار می‌کنند.

ب- محاسبه تناوب آبیاری

1- محاسبه تبخیر و تعرق گیاهی

برپایه معلومات مسئله، تبخیر- تعرق گیاهی(ET) = 3 لیتر در متر مربع

2- محاسبه تعداد آبیاری

$$N_i = \frac{ET}{I_{net}} = \frac{3}{0/371} = 8/08 \approx 8$$

در طول روز باید 8 بار سیستم آبیاری روشن شود.

3- زمان‌بندی تعداد و ساعات کار کرد قطره‌چکان‌ها در مدت 24 ساعت شبانه روز (جدول 5 -4)

جدول 5-4- برنامه زمان‌بندی آبیاری در مدت 24 ساعت فصل تابستان برای گیاه ژربرا در مناطق مدیترانه (Pardossi et al., 2011)

زمان	اختلاف زمانی (ساعت)	تعداد آبیاری	دوره زمانی بین دو آبیاری (دقیقه)
صبح زود (هنگام طلوع)	---	1	---
ساعت 8 تا 10	2	1 (ساعت 9 صبح)	---
ساعت 10 تا 16	6	4	90
ساعت 16 تا 20	4	1 (ساعت 18 عصر)	---
نیمه شب (نزدیک به12 شب)	---	1	---
جمع		**8**	**---**

اگر از این الگو (جدول 5-4) برای آبیاری گیاهان گلخانه‌ای در کشت بدون خاک برای فصول سال پیروی شود، بر آورد می‌شود که دفعات آبیاری برای مناطق مدیترانه‌ای

(تبخیر - تعرق نزدیک به 3 لیتر در متر مربع) تقریبا 1700 مرتبه در سال خواهد شد (البته اگر تعداد آبیاری در فصل پاییز، زمستان و بهار به‌ترتیب 3، 2 و 6 بار در روز فرض شود). با این وجود، به عنوان قانون کلی تعداد دور آبیاری به مقدار تابش جهانی آفتاب (W/m^2) نیز بستگی دارد (جدول 5-5).

جدول 5-5- تعداد دور آبیاری گیاهان گلخانه‌ای با توجه به تابش جهانی (Lee., 2010)

تابش جهانی (وات بر متر مربع)	دور آبیاری در ساعت (تعداد)
200	1
600	4
800	6
1000	7 - 8

ج- محاسبات نیاز زهکش و آبشویی بستر

$$LF=100\ \frac{(I_{gross}-I_{net})}{I_{gross}}$$

$$LF = 100\ (\frac{0/5\ -0/371}{0/5}) \approx 26 = 0/26$$

زهکشی بستر 26 درصد است. یعنی بیشترین مقدار خروج آب از زیر بستر کشت 26 درصد در هر دور آبیاری است.

$$LR=\frac{LF}{1-LF}$$

$$LR\ =\ \frac{0/26}{1-0/26}\ =\ 0/35$$

$$W\ =\ ET\ \times\ (1\ +\ LR)$$

$$W\ =\ 3\ \times\ (1\ +\ 0/35)$$

$W\ =\ 4$ لیتر بر متر مربع

یعنی برای شستشوی بستر (پاک‌سازی املاح و نمک‌ها) به 4 لیتر بر متر مربع آب آبیاری نیاز خواهد شد. فواصل بین آبشویی با توجه به کیفیت آب مشخص می‌شود (به جدول 4-1 فصل 4 مراجعه شود).

د- محاسبات تابش‌سنجی

1- محاسبه مقدار تابش موردنیاز برای ورود به گلخانه (سولاریمتری) با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود (Pardossi et al., 2011):

ضریب مخصوص گیاهی برای محاسبه تابش (k_C): 0/65

$$K_c = \frac{ET_c}{Erpan 0/8\ 8} \quad (18)$$

$$ET_c = I \pm \vec{q}$$

که در آن Erpan: مقدار آب بخار شده از تشتک تبخیر (میلی‌متر در روز)، که ارتباط مستقیم با دما و تابش دارد، ET_c: تبخیر و تعرق گیاهی (میلی‌متر)، I: آبیاری (میلی‌متر) و $\vec{q}$: نوسانات رطوبتی خاک (میلی‌متر). مقدار تابش نور خورشید (R_t) بر پایه رابطه (19) محاسبه می‌شود (Pardossi et al., 2011):

$$R_t = \frac{I_{net} \times \lambda}{K_c} \quad (19)$$

$$R_t = \frac{0/38 \times 2/45}{0/65} = 1/43\ MJm^{-2}$$

مقدار تابش نور خورشید به گیاه باید 1/43 مگاژول بر متر مربع باشد. به‌عبارت دیگر اگر شدت نور ورودی به گلخانه بیشتر از این عدد باشد، نیاز به سایه‌بان خواهد بود و در شرایط کمتر از این مقدار نیاز به روشنایی مصنوعی است.

ه- تنظیم دستگاه‌های هواشناسی

آستانه بحرانی دستگاه‌های هواشناسی باید بر مبنای میزان تبخیر- تعرق 0/371 لیتر در متر مربع تنظیم شود. به عبارت دیگر زمانی که تبخیر- تعرق گیاهی به مرز 0/371 لیتر در متر مربع برسد، آبیاری شروع می‌شود.

و- محاسبه نیاز آبی سالیانه

نیاز آبی سالیانه برپایه معادله (20) محاسبه می‌شود (Pardossi et al., 2011):

$$W_I = N \times I_{gross} \quad (20)$$

که در آن N: تعداد آبیاری در سال و W_I: نیاز آبیاری سالیانه گیاه (لیتر بر متر مربع) است.

$W_I = 1700 \times 0/5 = 850$ litres/m^2

$W_I = 850 \times 10000 = 8500000$ litres/m^2/ha

$W_I = 8500$ مترمکعب در هکتار

یعنی کل آب لازم برای آبیاری گل شاخه بریدنی ژربرا در بستر کشت کیسه‌ای[1] 8500 متر مکعب در سال است. اگر مقدار آب لازم برای آبشویی نوسانات شوری بستر، به آن اضافه شود، به عنوان نمونه اگر آب با EC نزدیک به 0/6 دسی زیسمن بر متر برای آبیاری استفاده شود، در آن صورت بر اساس جدول 4-1 فصل چهارم هر 6 هفته یک‌بار نیاز به آبشویی بستر خواهد شد. در این نمونه آبشویی بستر 4 لیتر بر متر مربع محاسبه شد. از این‌رو نیاز به آبشویی سالیانه تقریبا 350 متر مکعب در هکتار در سال خواهد بود. با اضافه شدن آبشویی بستر به کل آب موردنیاز گل ژربرا، نیاز آبی سالیانه 8850 متر مکعب در هکتار در سال (بدون احتساب سیستم‌های خنک‌کنندگی و تأمین رطوبت گلخانه) خواهد شد.

به‌طورکلی می‌توان گفت که نیاز آبی سالیانه گیاهان گلخانه‌ای برای محصولات کشت خاکی دارای دوره رشد کوتاه مانند سبزی‌های برگی محدوده 200-150 میلی‌متر (لیتر بر متر مربع) و برای محصولات کشت‌های بدون خاک مانند خانواده سولاناسه (گوجه فرنگی، فلفل، بادمجان) و خانواده کوکوربیتاسه (خیار، طالبی، خربزه، هندوانه) محدوده 1500-1000 میلی‌متر (لیتر بر متر مربع) است (Pardossi et al., 2011).

[1] Bag culture

نتیجه‌گیری

محدودیت‌ها و مشکلات ناشی از خاک (شوری و امکان آلودگی به بسیاری از عوامل بیماری و آفت گیاهی، بذور علف‌های هرز) باعث می‌شود که گرایش به کشت‌های بدون خاکی یا هیدروپونیک رونق یابد. در حال حاضر بیشترین عملکرد گیاهان گلخانه‌ای در کشت‌های بدون خاک بدست می‌آید. بسیاری از گل‌های شاخه بریده، سبزی - صیفی و برخی میوه‌ها در کشت‌های بدون خاک پرورش داده می‌شوند. از این‌رو نیاز به منابع فارسی برای درک صحیح از مدیریت آب و آبیاری در این نوع کشت‌ها روز به روز محسوس‌تر می‌شود. همچنین در راستای توسعه گلخانه‌ها در کشور، دسترسی به نشریات فارسی برای کمک به برنامه‌ریزی کلان مدیریت کاهش مصرف آب بیشتر احساس می‌شود. هدف این نشریه با توجه به پژوهش‌های اندک داخلی در حوزه گیاهان گلخانه‌ای، ارائه راهکار عملی برای محاسبه نیاز آبی است. با توجه به مباحث مطرح شده در این نشریه، این‌گونه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نیاز آبی شامل مجموع آب مربوط به گیاه، بسترکشت (آبشویی) و سیستم خنک‌کنندگی گلخانه است.

منابع

احمدی، ع.، احسان‌زاده، پ. و جباری، ف. 1386. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی گیاهی (تالیف هاپکینز). جلد اول (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران، 652 صفحه.

انتصاری، م.، حیدری، ن.، خیرابی، ج.، علایی، م.، فرشی، ع.ا.، وزیری، ژ.، دهقانی سانیچ، ح.، سادات میری، م.ح.، کاظمی، پ. و میرلطفی، م. 1386. کارآیی مصرف آب در کشت گلخانه‌ای. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، 208 صفحه.

جلیلی مرندی، م. 1382. ازدیاد نباتات. انتشارات جهاد دانشگاهی آذربایجان غربی، 469 صفحه.

خوش گفتار منش، ا.ح. 1386. مبانی تغذیه گیاه. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، 462 صفحه.

دلقندی، م. 1396. جزوه درسی آبیاری عمومی. دانشگاه صنعتی شاهرود، 115 صفحه.

زارع ابیانه، ح.، بیات ورکشی، م.، سبزی پرور، ع.ا.، معروفی، ص. و قاسمی، ع. 1389. ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و پهنه‌بندی آن در ایران، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، 74: 110-95.

سلگی، س.، صالحی، ع.، پوربابایی، ح.، شعبانپور، م. و علوی، س.ج. 1396. برآورد رطوبت زراعی و نقطه پژمردگی با استفاده از برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در خاک‌های جنگلی. جنگل و فرآورده‌های چوب. مجله منابع طبیعی ایران، دوره 70: 1: 103 -110.

طباطبائی، س.ج. و ملکوتی، م.ج. 1384. تهیه بستر کشت، تغذیه و آبیاری در محصولات گلخانه‌ای (ترجمه). معاونت امور باغبانی. انتشارات سنا، 250 صفحه.

علیزاده، ا. 1387. رابطه آب و خاک و گیاه. ویرایش سوم. دانشگاه امام رضا، 484 صفحه.

کریمی، و. 1395. اصول و مبانی عملیات ساخت گلخانه. انتشارات مولف، 300 صفحه.

کریمی، و. 1400. اصول مدیریت گلخانه (راهنمای تولید محصولات گلخانه‌ای). انتشارات گلخانه، 540 صفحه.

مشایخان، ش. 1391. راهکارهای بهبود کیفیت آب، خاک و جلوگیری از گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای – مجله کشاورز، 391 : 61 -60.

American Society of Agricultural Engineers (ASAE) .1988. Heating,

Ventilating and Cooling Greenhouses. ASAE Standards. ASAE, St Joseph Charter Township, Michigan.

American Society of Agricultural Engineers (ASAE) .2002. Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses. ASAE Standards. ASAE, St Joseph Charter Township, Michigan.

Castilla, N. 2013. Greenhouse Technology and Management, 2nd Edition. CABI press. Pp.374.

Clark, J.S., J. Campbell., H.H. Grizzle., V. Acostamartinez and Zak, J.C. 2009. Soil microbial community response to drought and precipitation variability in the Chihuahuan Desert. Microb. ecol. 57: 248-260.

Conellan, G.J. 2002. Selection of greenhouse design and technology options for high temperature regions. Acta Horticulturae 578, 113–117.

Hanan, J.J. 1998. Greenhouses: Advanced Technology for Protected Cultivation. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Hoog Jr, J.D. 2001. Handbook for Modern Greenhouse Rose Cultivation. International Cut Flower Growers Association. Wageningen university publishers. Pp : 229.

Kafkafi, U. and Tarchitzky, J. 2011. Fertigation: A Tool for Efficient Fertilizer and Water Management. International Fertilizer Industry Association (IFA) and International Potash Institute (IPI) Publishers. Paris. Pp: 141.

Kirkham, M.B. 2005. Principles of soil and plant water relations. Elsevier academic press. Pp:519.

Lee, A. 2010. Improving tomato fruit quality. Practical hydroponic and greenhouse. p:53- 59.

Mohyuddin, M. 1991. Commercial Greenhouse Vegetable Production Guide. Alberta Agriculture publishers. Pp :80.

Nakayama, F.S. and Bucks, D.A. 1991. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. Irrigation Science 12: 187-192.

Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management. 6ed. Upper Saddle River. NJ Prentice Hall.

Nikolaou, G., D. Neocleous., A. Christou., P. Polycarpou., E. Kitta and Katsoulas. N. 2021. Energy and Water Related Parameters in Tomato and Cucumber Greenhouse Crops in Semiarid Mediterranean Regions. A Review, Part II: Irrigation and Fertigation. Horticulturae. 7: 1-20.

Noy, J. and Yoles, D. 1979. Precipitates formed by APP 11-37-0 in irrigation water. Hassadeh 59:2129-2130 (In Hebrew).

Pardossi, A,. G. Carmassi., C. Diara., L. Incrocci., R. Maggini and Massa. D. 2011. Fertigation and Substrate Management in Closed Soilless Culture. University of Pisa. Italy. Project No: KBBE- 2007-1-2-04. Pp :64.

Pardossi, A., Incrocci, L., Incrocci, G., Malorgio, F., Battista, P., Bacci, L., Rapi, B., Marzialetti, P., Hemming, J. and Balendonck, J. 2009. Root zone

sensors for irrigation management in intensive agriculture. Sensors 9:2809–2835.

Raviv, M. and Lieth, J.H. 2008. Soilless Culture Theory and Practice. Elsevier. Printed and bound in the United States of America. Pp: 625.

Raviv, M., Wallach, R. and Blom, T.J. 2004. The effect of physical properties of soilless media on plant performance – A review. Acta Hort. (ISHS), 644, 251–259.

Robbins, J. 2010. Irrigation Water for Greenhouses and Nurseries. Printed by University of Arkansas Cooperative Extension Service Printing Services. Pp : 6.

Ruijs, M. 2011. Soilless culture in Dutch greenhouse tomato; History, economics and current issues. Workshop "Efficient water and fertilizer use in greenhouse tomato production". Wageningen UR Greenhouse Horticulture and LEI Wageningen UR. Pp : 4.

Saha, U.K., Papadopoulos, A.P., Hao, X. and Khosla, S. 2008. Irrigation strategies for greenhouse tomato production on rockwool. HortScience 43:484–493.

Sonneveld, C. and Voogt, W. 2009. Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer Science. Pp. 432.

Urban, L. 1997a. Introduction a la Production Sous Serre: la Gestion du Climat (Tome 1). Tec-Doc, Paris.

Van der Lugt, G. 2016. Nutrient solutions for greenhouse crops. SQM publishers. Pp: 94.

Vaughn S. F., Deppe N. A., Palmquist D.E. and Berhow M.A. 2011. Extracted sweet corn tassels as a renewable alternative to peat in greenhouse substrates , Industrial Crops and Products. vol. 33, p. 514–517.