اولین کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای
۲۶ مهرماه ۱۳۸۶

# اصول طراحی، برنامه‌ریزی و مدیریت بهره‌برداری از سیستم‌های آبیاری میکرو در گیاهان گلخانه‌ای

*مهدی اکبری و حسین دهقانی سانیج*[1]

**چکیده**

با توجه به نقش مهم و حیاتی آب در تأمین امنیت غذایی، ضروری است که زمینه‌های لازم برای استفاده بهینه از منابع آب نیز فراهم آید. در کشورهایی مانند ایران که آب یک عامل محدود کننده می‌باشد و آبیاری یک عنصر اساسی در تولید محصولات کشاورزی است، بکارگیری روشهای علمی و نوین به منظور آبیاری و استفاده بهینه از منابع آب امری اجتناب ناپذیر است. امروزه روش‌های آبیاری میکرو بطور گسترده‌ای در سطح جهان گسترش یافته و بیش از شش میلیون هکتار از اراضی کشاورزی در مناطق مختلف جهان به این شیوه آبیاری می‌شوند. از اینگونه روش‌های آبیاری نه تنها در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، بلکه در مناطق مرطوب نیز برای صرفه‌جویی مصرف آب در محصولات زراعی، باغی و گلخانه‌ای استفاده می‌گردد. علی رغم مزایای بسیار مفیدی که انواع این سیستم‌ها در افزایش تولید و بالا بردن کارایی مصرف آب دارند، هنوز فعالیت چندانی در کشور برای توسعه و کاربرد صحیح این سیستم‌ها در سطح گلخانه‌ها صورت نگرفته است. آمار وارقام توسعه سیستم‌های آبیاری میکرو در سطح کشور حاکی از آن است که درصد بسیار زیادی از زراعت‌های حاضر که با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای آبیاری می‌شوند را باغات تشکیل می‌دهد و تنها در موارد محدود از این سیستم برای انجام آبیاری در گلخانه‌ها و مزارع سبزی و صیفی استفاده می‌شود. روشهای آبیاری میکرو به رغم مزایای بالایی که دارند، در شرایط طراحی و اجرای نامناسب و کاربرد آب‌های با کیفیت پایین با محدودیت‌هایی مواجه بوده و به مدیریت‌های خاصی نیاز دارند. ارزیابی‌های صورت گرفته بر روی سیستم‌های مختلف آبیاری میکرو اجرا شده در کشور مبین وجود مشکلات طراحی، اجرا و مدیریت بهره‌برداری است. این مسایل و مشکلات باعث شده است تا ضمن کاهش اعتماد کشاورزان، سیستم‌ها با مشکل پایین بودن بازده کاربرد و یکنواختی توزیع آب و افزایش هزینه نگهداری سیستم مواجه گردند. از آنجائیکه آبیاری میکرو در کشور ما سابقه چندانی ندارد و هنوز در مراحل اولیه تکوین و گسترش است، آشنایی کشاورزان، محققان و کارشناسان آب و خاک کشور نیز با آن زیاد نمی‌باشد و این خلاء شاید یکی از مسایل و عوامل موجود در راه توسعه این سیستم‌ها در کشور باشد. سیستم‌های آبیاری میکرو در صورت طراحی،

۱- اعضاء هیات علمی بخش آبیاری تحت فشار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج

اجراء و بهره‌برداری صحیح موجب کاربرد بهینه آب، کود و سم می‌شوند. همچنین با کاربرد صحیح روش‌های آبیاری مذکور تلفات ناشی از رواناب، نفوذعمقی، تبخیر از سطح خاک به حداقل می‌رسد. استفاده صحیح از این روش‌ها در گیاهان گلخانه‌ای می‌تواند نقش موثری در تأمین امنیت غذایی، صرفه‌جویی مصرف آب، انرژی، کود و حفاظت از محیط زیست ایفا نماید. با توجه به چشم انداز رضایت بخش و امیدوار کننده توسعه روش‌های آبیاری میکرو در گیاهان گلخانه‌ای، ضرورت آشنایی با اصول طراحی، اجراء و بهره‌برداری صحیح این گونه روش‌های آبیاری در گلخانه‌ها احساس می‌شود.

**واژه های کلیدی:** روش‌های آبیاری، گلخانه، آبیاری قطره‌ای، مدیریت آبیاری، اصول طراحی، بهره‌برداری

**مقدمه**

اصولاً هدف از آبیاری مجموعه اقداماتی است که باعث می‌شود آب به اندازه مورد نیاز، در زمان مورد نیاز و در محل مورد نیاز در اختیار گیاه قرار گیرد. با اعمال مدیریت صحیح آبیاری می‌توان از تلفات بیش از حد آب جلوگیری کرد. لیکن، افزایش عملکرد محصولات کشاورزی در واحد سطح بدون در نظر گرفتن سایر نهاده‌های تولید نظیر، بذور اصلاح شده، کود و سموم شیمیایی و نحوه عملیات کاشت، داشت و برداشت امکان پذیر نخواهد بود. بالا بردن بازده آبیاری هر چند که بسیار مهم است ولی تنها بخش مهندسی سیستم‌های کشاورزی را شامل می‌شود و باید به بخش زراعی نیز توجه شود. مهمترین شاخص که اخیراً مطرح شده است، بهره‌وری مصرف آب (water productivity) می‌باشد که نوعی رابطه کمی میان رشد گیاه و مصرف آب بوده و تولید به‌ازای هر واحد آب مصرف شده را نشان می‌دهد. این شاخص برابر است با نسبت محصول تولیدی به مجموع آب تأمین شده برای گیاه و قطعاً افزایش بازده‌های آبیاری اعم از بازده انتقال، توزیع و کاربرد آب در مزرعه در این خصوص نقش اساسی دارد، زیرا هر قدر بتوان این بازده‌ها را با انجام عملیات مهندسی آبیاری و کاربرد فنون آبیاری جدید افزایش داد، میزان آب مصرفی گیاه بهینه و واقعی‌تر شده و کمک به افزایش این ضریب خواهد نمود. بنابراین بایستی توجه کرد که بدون انجام فعالیت‌های مهندسی و زیر بنایی آب و خاک و بهبود بازده‌های آبیاری این شاخص بهبود نخواهد یافت. لیکن، بعد دیگر این شاخص همانطور که اشاره شد، مقدار محصول تولیدی است که به نحو مستقیم تحت تأثیر تکنیک‌ها و روش‌های آبیاری از یک طرف و مسایل به نژادی می‌باشد. در حقیقت تلفیق امور مهندسی آبیاری توأم با بهبود و ارتقاء دانش زراعی هر دو مستلزم حصول به شاخص مطلوب بهره‌وری آب می‌باشد (۱و۳).

زراعت‌های گلخانه‌ای به جهت افزایش قابل توجه کارایی مصرف آب به عنوان بخشی نسبتاً پایدار در کشاورزی در سراسر جهان به شمار می‌روند (Enoch and Enoch, 1999; Von Eslner et al., 2000). در ایران نیز زراعت‌های گلخانه‌ای در دهه گذشته بواسطه محدویت منابع آب کشور و نیاز روز افزون به مواد غذایی به سرعت توسعه یافته است، لیکن منابع آبی با کیفیت مناسب هنوز به عنوان یکی از عوامل محدود کننده می‌باشد. بررسی‌ها نشان‌دهنده آن است که مدیریت آبیاری و مصرف آب در گلخانه‌های کشور بیشتر مبتنی بر تجربه و آزمون و خطا توسط بهره‌برداران این گلخانه‌ها بوده و مبانی علمی ندارد. از مهمترین مزایای کشت‌های گلخانه‌ای، امکان تولید در طول سال می‌باشد، در حالیکه در زراعت‌های مزرعه‌ای این امر ممکن نمی‌باشد (Von Zabeltite., 1999). آبیاری یکی از

مهمترین عوامل موثر در عملکرد و کیفیت محصولات گلخانه‌ای می‌باشد و به همین دلیل است کـه سیـستم آبیـاری باید آب مورد نیاز گیاه را در زمان مورد نیاز و به میزان مورد نیاز برای گیاه تامین نمایـد (Harmanto et al., 2005). مطالعات متعددی صورت گرفته تا آب آبیاری با حداکثر بازده ممکن در زراعت‌های گلخانه‌ای مـورد اسـتفاده قـرار گیرد. استفاده از آبیاری قطره‌ای همراه با کود آبیاری باعث افزایش بازده مصرف آب و کود شده و عملکرد و کیفیت محصول را نیز بهبود می‌بخشد (Papadopoulos., 1991).

میزان آب مورد نیاز در شرایط گلخانه یکی از پارامترهای اصلی مدیریت آبیاری و برنامه‌ریـزی آبیـاری اسـت. از طرف دیگر تبخیر و تعرق پتانسیل و ضریب گیاهی در شرایط گلخانه هنوز مـورد سـئوال مـی‌باشـد. لـذا محقیقـین مختلف از جمله کیدرا و همکاران (Kidra et al., 1994) از یک رابطه ساده بین تشعشع خورشید (روزانه) و میـزان تبخیر از تشتک‌های کوچک که در نقاط مختلف گلخانه قرار داده بودند برای آبیـاری گوجـه فرنگـی در گلخانـه بـا روش آبیاری قطره‌ای استفاده نمودند. تحقیقات زیادی روی نیاز آبـی گیاهـان در شـرایط گلخانـه‌ای در اقلـیم‌هـای معتدل انجام شده است. در ایرلند گزارش شده است که مصرف آب گوجـه فرنگـی در حـدود $m^3/m^2$ ۰/۹-۰/۵ در سال می‌باشد (Papadoponlos., 1991). مطالعه دیگری نشان داده است که نیاز آبی گوجه فرنگی در شرایط آبیـاری با شوری‌های مختلف بین ۱/۰۳ – ۰/۱۹ لیتر برای هر گیاه در روز تغییر می‌کند. بررسی دیگری نشان داده اسـت کـه حجم آب آبیاری به فصل کاشت و مرحله رشد گیاه گوجه فرنگی بستگی دارد (Tuzel et al., 1994). گیاهـانی کـه تازه به گلخانه انتقال یافته‌اند دارای نیاز آب آبیاری پایینی به میزان ۰/۰۵۱ لیتر در روز بوده، لـیکن در شـرایط رشـد سبزینگی کامل و برای روزهای آفتابی این رقم در حدود ۲/۷۱ لیتر در روز افزایش یافته است (Shyder., 1992).

مدیریت مناسب آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای برای جلوگیری از تنش‌های گیاهی و کاهش عملکـرد محـصول بسیار با اهمیت می‌باشد. با مدیریت مناسب می‌توان آب مورد نیاز گیاه در ناحیه ریشه را تـامین نمـود و همزمـان از آبشویی عمقی مواد غذایی جلوگیری کرد(Ynan et al., 2004). نتایج یک تحقیق در هندوستان نشان داده اسـت کـه نیاز آبی گیاهان در گلخانه‌ها دارای تغییراتی منطبق بـر میـزان تـشتع خورشـیدی در گلخانـه اسـت. بـرای زراعـت گوجه‌فرنگی در گلخانه میزان نیاز آبی برای مراحل مختلف رشد گیاه بین ۰/۸۹ تا ۲/۳۱ لیتر در روز برای هـر گیـاه تعیین شده است (Ynan et al., 2001). نتایج تحقیقات گلخانه‌ای مدیریت آبیاری قطره‌ای در تایلنـد نـشان داد کـه کاربرد روش آبیاری قطره‌ای به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه (به روش پنمن مانیت )، بیـشترین عملکـرد و کـارایی مصرف آب را داشته است (Ynan et al., 2001). با توجه به اینکه در روش آبیاری قطره‌ای باید آب مـورد نیـاز بـه مقدار مورد نیاز و در زمان مورد نیاز به گیاه داده شود و این امر در شرایط گلخانه‌ای نیز یکی از پارامترهـای اصـلی طراحی سیستم آبیاری می‌باشد لذا در صورت عدم دسترسی به مقادیر تبخیر-تعرق در داخل گلخانه‌ها، مـی‌تـوان از مقادیر تبخیر-تعرق خارج از گلخانه استفاده نمود. با توجه به نتایج تحقیقات انجام شـده در جهـان مقـدار تبخیـر-تعرق داخل گلخانه بین ۰/۵۵ تا ۰/۸۵ مقدار آن در خارج گلخانه بوده و ضریب ۰/۷ بدین منظور قابل توصیه است.

**برآورد آب مورد نیاز گیاهان در گلخانه**

اصولی که در تعیین آب مورد نیاز گیاهان در داخل و خارج گلخانه به کار می‌رود شامل تبخیر و تعرق پتانـسیل، تعیین ضریب گیاهی و برآورد رطوبت خاک می‌باشد. به‌طورکلی آب خالص مورد نیاز گیاهان تحت تأثیر دو فاکتور

عمده قرار دارد که شامل تبخیر و تعرق پتانسیل ($ET_O$) و ضریب گیاهی ($K_C$) است. در صورت عدم دسترسی به مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل در داخل گلخانه، نیاز خالص آب آبیاری در داخل گلخانه از رابطه زیر برآورد می‌گردد:

$$ET_{c-gr} = ET_o \times 0.7 \times K_c \quad (۱)$$

که در آن:

$ET_{c-gr}$ : نیاز خالص آب آبیاری گیاه در داخل گلخانه (mm)

$ET_o$ : تبخیر و تعرق پتانسیل (چمن) در خارج گلخانه (mm)

$K_c$ : ضریب گیاهی

در شرایطی که اندازه‌گیری‌های مستقیمی از تبخیر و تعرق پتانسیل وجود ندارد با استفاده از روابط علمی، تجربی و به کارگیری اطلاعات هواشناسی منطقه می‌توان مقدار آن را برآورد نمود.

**نیاز آبشویی**

املاحی که توسط آب آبیاری وارد محیط خاک شده، پس از جذب آب توسط گیاه در محیط خاک باقی می‌ماند. درصورتی‌که این املاح با آبیاری‌های بعدی شستشو نشوند و همچنان در خاک باقی بمانند می‌توانند به تدریج محیط ریشه را آلوده ساخته و قابلیت زراعی خاک را کاهش دهند. این موضوع در آبیاری گیاهان گلخانه‌ها با استفاده از آبیاری میکرو که نفوذ عمقی در حداقل مقدار می‌باشد از اهمیت زیادی برخوردار است، لذا با توجه به حساسیت گیاهان گلخانه‌ای، در نظر گرفتن نیاز آبشویی ضروری بوده و از رابطه زیر برآورد می‌گردد:

$$LR = \frac{EC_w}{2(Max.EC_e)} \quad (۲)$$

LR: نسبت آب آبشویی به آب آبیاری

Ecw: هدایت الکتریکی آب آبیاری

Max.Ece: حداکثر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک که رشد گیاه متوقف می‌گردد.

**حداکثر عمق خالص آب آبیاری(dx)**

با توجه به اینکه در آبیاری قطره‌ای فقط بخشی از سطح خاک خیس می‌شود، مقدار آب ذخیره شده در خاک محدود می‌باشد. حداکثر عمق خالص آبیاری در هر نوبت برابر مقدار آبی است که باید به خاک داده شود تا کمبود رطوبت خاک را تا حد MAD جایگزین کند.MAD کمبود مجاز رطوبت به لحاظ مدیریت آبیاری است که مقدار آن به خاک، گیاه و رابطه بین آب، عملکرد و هزینه بستگی دارد که در روش آبیاری قطره‌ای در گلخانه‌ها حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد در نظر گرفته می‌شود.

$$dx = \frac{MAD \times Wa \times Z \times Pw}{100 \times 100} \quad (۳)$$

dx: حداکثر عمق خالص آب آبیاری، mm

MAD : کمبود رطوبت مجاز، درصد

Wa: کل آب قابل استفاده خاک mm/m

Z: عمق خاک ناحیه ریشه گیاه (m)

Pw: درصد خیس شده از سطح کل،درصد

**حداکثر دور آبیاری( $F_i$ )**

در آبیاری میکرو حداکثر دور آبیاری تابعی از حداکثر عمق خاص آب آبیاری و آب مصرفی روزانه گیاه در گلخانه می‌باشد و از رابطه زیر برآورد می‌گردد.

$$F_i = \frac{d_x}{ET_{c-gr}} \qquad (٤)$$

دور آبیاری در گلخانه با توجه به میزان تخلیه مجاز توسط گیاه و تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه در گلخانه تعیین می‌شود و معمولاً به صورت روزانه یا چند نوبت در روز است.

**نیاز خالص آب آبیاری(In)**

عمق خالص آب در هر دور آبیاری برای تأمین آب مصرفی گیاه از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$I_n = dx \times F_i \qquad (٥)$$

$I_n$: عمق خالص آبی که در هر دور آبیاری توزیع می‌شود (mm)

$F_i$: دور آبیاری انتخابی (day)

**نیاز ناخالص آب آبیاری(Ig)**

مقدارآب آبیاری شامل تلفات غیر قابل اجتناب نفوذ عمقی نیز گردد. آن قسمت از نفوذ عمقی که برای شستشوی خاک گلخانه انجام می‌گیرد جزء تلفات محسوب می‌شود. برای محاسبهٔ عمق ناخالص آبیاری در گلخانه، باید ضمن استفاده از روش محاسباتی صحیح، سیستم آبیاری قطره‌ای نیز دارای طراحی مناسب، برنامه‌ریزی دقیق، نگهداری و مراقبت کافی باشد. درصورتی که $LR<0.1$ مقدار نیاز آبشویی در محاسبات منظور نمی‌شود. اگر $Tr > \frac{1}{1-LR}$ و LR $> 0.1$ باشد، عمق ناخالص از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$I_g = \frac{I_n}{Eu(1 - LR)} \qquad (٦)$$

$I_g$ : عمق ناخالص آب آبیاری (mm)

Eu: یکنواختی ریزش توسط قطره چکانها، (٪)

LR: نیاز آبشوئی در آبیاری میکرو، اعشار

Tr: نسبت تعرق در دوره مصرف حداکثر

Tr: عبارتست از نسبت ارتفاع آبی که واقعاً به مصرف تعرق می‌رسد.

**حجم ناخالص آب مورد نیاز هر گیاه**

حجم ناخالص آب مورد نیاز روزانه گیاه از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$G = \frac{S_p \times S_r \times I_g}{F_i} \quad (۷)$$

$S_p$: فاصله بین گیاهان روی ردیف (m)

$S_r$: فاصله بین ردیف (m)

$F_i$: دور آبیاری انتخابی در گلخانه(day)

G: حجم ناخالص آب مورد نیاز روزانه هر گیاه (l/day)

**زمان پخش آب ( ساعت آبیاری ) $T_a$**

زمان آبیاری مورد نیاز برای هر گیاه گلخانه‌ای به حجم ناخالص آب مورد نیاز گیاه، تعداد و دبی قطره چکان مورد استفاده برای گیاه بستگی دارد و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$T_a = \frac{G}{E \times q_a} \quad (۸)$$

E: تعداد قطره چکان مورد نیاز برای هر گیاه گلخانه‌ای

$q_a$: آبدهی هر قطره چکان ( l/h )

$T_a$: ساعت آبیاری روزانه (hr)

**ظرفیت سیستم**

ظرفیت سیستم آبیاری با توجه به سطحی از گلخانه که قرار است بطور همزمان آبیاری شود و شدت جریان قابل دسترس در گلخانه تعیین می‌گردد. لذا حداکثر ظرفیت سیستم آبیاری گلخانه برابر با شدت جریان قابل دسترس خواهد بود. در اکثر مواقع امکان تأمین ظرفیت سیستم با فشار مورد نیاز توسط پمپ موجود در منبع آب آبیاری فراهم است، در این صورت لازم است که دبی قابل دسترس در فشار مورد نیاز اندازه‌گیری شود، چون دبی پمپ چاه در حالت جریان آزاد بیش از مقدار شدت جریان در حالت تحت فشار خواهد بود.

**اجزا سیستم آبیاری قطره‌ای**

هر سیستم آبیاری قطره‌ای شامل قطره‌چکان، لوله‌های لترال یا آبده، لوله‌های مانیفولد، لوله‌های اصلی و نیمه-اصلی، شیرهای قطع و وصل، اتصالات و وسایل وابسته به سیستم کنترل مرکزی می‌باشد که در ادامه تشریح می-گردند:

**قطره چکان**

قطره‌چکان آخرین قطعه یا وسیله آبیاری قطره‌ای است که آب از آن به اشکال مختلف خارج می‌شود. وظیفه قطره‌چکان در داخل یا خارج گلخانه، تأمین و توزیع نیاز آبی روزانه گیاه است. قطره چکان باید دارای ویژگی عمده زیر باشد:

- نسبت به مسدود شدن مقاوم باشد.
- دبی خروجی از آن در طول دوره کاری تغییر نکند.

- ساده باشد تا پس از تنظیم‌های اولیه نیاز به تنظیم، تمیز کردن و بازدید مجدد نباشد.
- دبی آن کمتر از نفوذ پذیری خاک و یا هماهنگ با آن باشد.

مشخصات هیدرولیکی قطره‌چکانها باید به نحوی انتخاب شود تا مقدار دبی خروجی در سرتاسر گلخانه نسبتاً یکنواخت باقی بماند. علاوه بر این عوامل محیطی و فصلی مانند تغییرات دما نیز بر خصوصیات جریان موثر می‌باشد. لذا بخشی از طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای را بررسی خصوصیات قطره‌چکانها و عوامل موثر بر جریان آب و در نهایت انتخاب مناسب ترین نوع قطره چکان تشکیل می‌دهد. البته انتخاب قطره‌چکان تنها به دلایل هیدرولیکی نبوده بلکه عواملی مانند ساده بودن، ارزانی، مهیایی و دوام قطره‌چکان نیز در آن دخالت دارند. جهت انتخاب نوع قطرچکان باید مشخصات هیدرولیکی قطره‌چکان به شرح ذیل بررسی شود.

***مشخصات هیدرولیک خروجی‌ها***

یکی از مشخصات هیدرولیک خروجی‌ها ضریب تغییرات ساخت[1] می‌باشد. این شاخص یکی از پارامترهای مهم و موثر در طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای و انتخاب قطره‌چکان مناسب در شرایط گلخانه می‌باشد. ضریب تغییرات ساخت را می‌تواند با اندازه‌گیری میزان آبدهی در قطره‌چکانهای مختلف و استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود (۷و۸).

$$C_v = \frac{s}{q} = \frac{\sqrt{(q_1{}^2 + q_2{}^2 + ..... + q_n{}^2) - n(\overline{q})^2}}{\overline{q}\sqrt{n-1}} \qquad (۹)$$

که درآن:

$\overline{q}$: متوسط دبی قطره چکانها (l/h)

$q_1$، $q_2$، $q_n$: دبی هریک ازقطره چکانها (l/h)

n: تعداد قطره‌چکانها مورد آزمایش

S: انحراف معیار دبی قطره‌چکانها

مؤلفه‌های مختلف رابطه فوق به شرح ذیل تعیین می‌گردند:

***متوسط دبی قطره‌چکان***

برای اندازه‌گیری دبی قطرچکانها درفشار معین تعدادی از قطره چکان‌ها مورد آزمایش قرار می‌گیرد. متوسط عددی دبی در تمام قطره چکانهای مورد آزمایش تحت فشار و دمای مشخص از معادله زیر بدست می آید (٦و۸):

$$\overline{q} = \frac{q_1 + q_2 + q_3 + ... + q_n}{n} \qquad (۱۰)$$

***انحراف از معیار***

انحراف از معیار دبی در قطره چکانها یک شاخص آماری است که نشان می‌دهد تغییرات دبی در قطره چکانهای مختلف چگونه است . این معیار از فرمول زیر محاسبه می‌شود(٦و۷):

$$S = \sqrt{\frac{q_1^2 + q_2^2 + ...q_n^2 - n(\overline{q}^2)}{(n-1)}} \qquad (۱۱)$$

1- Manufacturing Coefficient of Variation

همانطوری که قبلاً اشاره گردید ضریب تغییرات ساخت قطره چکان یکی از شاخص‌های موثر در انتخاب قطره‌چکانها برای شرایط مختلف از جمله گلخانه‌ها می‌باشد. عوامل موثر بر ضریب تغییرات ساخت عبارتند از نوع موادی که قطره‌چکان با آن ساخته می‌شود، قالبهای بکار رفته، دما و فشاری که مواد با آن قالب‌ریزی می‌شوند و نیز سایر عملیاتی که در ساخت قطره‌چکان در کارخانه اعمال می‌شود (۸). این شاخص برای مشخص کردن تغییراتی است که فقط در اثر ساخت قطره‌چکان ممکن است وجود داشته باشد و اساس طبقه‌بندی کیفی قطره چکانها است. محدوده تغییرات این شاخص در جدول ۱ ارائه شده است (۸).

**جدول۱:** طبقه‌بندی قطره‌چکانها بر اساس ضریب تغییرات ساخت

| **انواع قطره‌چکانهای مجرادار ومنفذدار** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| عالی | خوب | خوب تا متوسط | ضعیف | معمولا غیرقابل قبول |
| ۰/۰٤$C_v$< | ۰/۰۷< $C_v$< ۰/۰٤ | ۰/۰۷<$C_v$<۰/۱۱ | ۰/۱۵<$C_v$<۰/۱۱ | <$C_v$۰/۱۵ |
| **لوله‌های سوراخ‌دار (لوله‌های دو جدار)** | | | | |
| خوب | | متوسط | | ضعیف تا غیر قابل قبول |
| ۰/۱$C_v$< | | ۰/۲<$C_v$<۰/۱ | | <$C_v$۰/۲ |

***یکنواختی پخش***

ضریب یکنواختی پخش (Emission Uniformity) یکی دیگر از شاخص‌هایی است که تغییرات دبی در اثر ساخت قطره‌چکانها را بصورت عددی ارایه می‌نماید. این ضریب از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$EU = \frac{q'_n}{\overline{q}} \times 100 \qquad (۱۲)$$

EU: یکنواختی پخش (٪)

$q'_n$ = متوسط دبی دریک چهارم قطره‌چکانهائی که پایین‌ترین دبی‌ها را دارا می‌باشند (l/h)

یکنواختی پخش (EU)یکی از شاخص‌های موثر در انتخاب قطره‌چکان برای شرایط مختلف از جمله گلخانه‌ها می‌باشد که نقش موثری در بازده آبیاری دارد و محدوده آن در جدول ۲ نشان داده شده است (۳و٦).

جدول ۲: طبقه بندی کیفی یکنواختی پخش در قطره‌چکان‌ها

| ***EU (در صد)*** | ***درجه کیفی*** |
|---|---|
| EU> ۹۰ | عالی |
| ۸۰-۹۰ | خوب |
| ۷۰-۸۰ | نسبتا خوب |
| EU< ۷۰ | ضعیف |

درصورتی‌که یکنواختی پخش در مورد تمام قطره‌چکانها یا یک زیر واحد و یا یک لترال بکار برده شود، در این صورت EU ترکیبی از تغییرات ساخت و اختلاف فشار در سیستم یا لوله لترال است.

***ضریب یکنواختی کریستیانسن***

ضریب یکنواختی (Uniformity Coefficient) که با علامت CU نشان داده می‌شود معیار دیگری برای دبی قطره‌چکانها می‌باشد که از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$CU = 100(1 - \frac{\sum |x|}{\overline{q} \times n}) \qquad (۱۳)$$

که درآن:

CU: ضریب یکنواختی کریستیانسن (٪)

X: انحراف هرکدام از مشاهدات از مقدار متوسط یعنی $\overline{q}$

ضریب یکنواختی (CU) شاخصی است که با آن یکنواختی توزیع آب در مزرعه از نظر کمی مشخص می‌شود. بدیهی است CU بیشتر دلیل بر توزیع یکنواخت‌تر آب و کارکرد بهتر سیستم آبیاری می‌باشد. معمولا ضریب یکنواختی بیشتر از ۸۵ درصد نشان دهنده توزیع آب با یکنواختی خوب است (۷). در مواردی که ضریب یکنواختی(CU) برای تمام قطره‌چکانها، زیر واحد و یا یک لترال مورد استفاده قرار گیرد، هم تغییرات ساخت و هم اثر تغییرات فشار در آن لحاظ می‌گردد .

***رابطه دبی-فشار قطره‌چکان***

یکی دیگر از پارامترهای هیدرولیکی قطره‌چکانها رابطه دبی- فشار قطره‌چکان می‌باشد. واژه ای که بنام نمای فشار یا توان فشار در معادله دبی مطرح است با اهمیت ترین مشخصه هیدرولیکی قطره چکان است که در انتخاب قطره‌چکان برای شرایط مختلف از جمله گلخانه‌ها نقش موثری دارد، زیرا با داشتن این نمایه به سادگی می‌توان از روی معادله زیر مقدار دبی قطره چکان را محاسبه کرد (٦).

$$q = kH^x \qquad (۱٤)$$

که در آن :

q: دبی قطره چکان

K: ضریب معادله قطره چکان

H: فشاری که قطره چکان در آن وضعیت کار می کند

x : نمای فشار

معمولاً مقدار x بین صفر تا یک متغیر است. هر چه x بزرگتر باشد نشان دهنده این است که دبی قطره چکان نسبت به تغییرات فشار حساستر است. بنابراین قطره‌چکانهایی نسبت به تغییرات فشار مقاوم هستند که x در آنها کوچک باشد. قطره‌چکانهایی که نمای فشار در آنها کمتر از ۰/۵ باشد بعنوان قطره چکان تنظیم کننده فشار

معروف هستند. برای بدست آوردن x کافی است مقادیر دبی را در دو فشار مختلف P1 و P2 اندازه‌گیری کنیم چنانچه این مقادیر q1 و q2 باشد x برابر خواهد بود با (٦):

$$x = \log(\frac{q_1}{q_2}) / \log(\frac{P_1}{P_2}) \qquad (۱۵)$$

پس از تعیین نمای معادله دبی– فشار (x) به سادگی می‌توان مقدار ضریب معادله دبی – فشار قطره‌چکان (K) را تعیین نمود. اطلاع از نمای فشار در معادله قطره‌چکان از این جهت نیز حایز اهمیت است که می‌توانیم تغییرات دبی حاصل از تغییرات فشار که به دلیل افت اصطکاک و اختلاف ارتفاع بوقوع می‌پیوندند را بدست آوریم. اگر دبی (q1) در فشار P1 مشخص باشد ، مقداردبی ( q2) در یک فشاردیگر ( P2) برابر است با :

$$q_2 = q_1(\frac{P_2}{P_1})^x \qquad (۱۶)$$

این شاخص‌ها و مشخصات هیدرولیکی همراه با سایر عوامل از جمله مقاومت به گرفتگی، ساده بودن، ارزانی، مهیایی و دوام قطره‌چکان راهنمای خوبی جهت انتخاب قطرچکان مناسب برای شرایط مختلف از جمله گلخانه‌ها می‌باشد. با توجه به کم بودن تغییرات فشار در گلخانه‌ها، نیازی به قطره‌چکانهای تنظیم کننده فشار نمی‌باشد.

**آرایش لوله‌های لترال یا آبده**

لوله‌های لترال عمدتاً در جهت کمترین شیب اراضی قرار داده می‌شوند تا اختلاف ارتفاع باعث کاهش یکنواختی توزیع آب در قطره‌چکانها (که روی این لوله قرار دارند) نگردد. این لوله آب را از مانیفولدها گرفته و به قطره‌چکانها منتقل می‌نماید. افت فشار در این لوله‌ها بسیار مهم است. تغییرات فشار در این لوله‌ها مستقیماً روی یکنواختی توزیع آب توسط قطره‌چکان‌ها تاثیر می‌گذارد. لذا طول این لوله نباید بیش از مقدار توصیه شده توسط کارخانه سازنده باشد. حداکثر افت فشار مجاز در این لوله‌ها برابر۰/۵۵ افت فشار مجاز در سیستم آبیاری است. این ضوابط در خصوص طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای در گلخانه‌ها نیز صادق می‌باشد. افت فشار در این لوله‌ها را می‌توان به کمک معادله هیزن ویلیامز به شرح ذیل برآورد نمود:

$$h_f = k \times (\frac{Q}{C})^{1.852} \frac{L}{D^{4.87}} \qquad (۱۷)$$

افت فشار در لوله (m)

k: ضریب ثابت مساوی $۱/۲۱ \times ۱۰^{۱۰}$

Q: میزان جریان داخل لوله برحسب (l/sec)

C: ضریب اصطکاک ( ۱٤۰)

D : قطر داخلی لوله (mm)

با توجه به اینکه جریان آب در طول لوله لترال یا آبده توسط قطره‌چکانها خارج می‌شود، شدت جریان آب در این لوله بطور تدریجی کاهش می‌یابد لذا یک ضریب کاهش جریان (f) در افت فشار محاسبه شده ضرب می‌گردد. با توجه به دلایل فوق دبی قطره‌چکانها در طول لوله متفاوت می‌باشد و دبی متوسط در وسط لوله اتفاق نمی‌افتد بلکه در فاصله ۰/٤ از ابتدای لوله اتفاق خواهد افتاد. اگر چه سطح گلخانه‌ها نسبتاً مسطح است، لیکن در صورتی که

لوله‌های لترال در سراشیبی یا سربالایی قرار گیرد وضعیت یکنواختی توزیع آب بهم خواهد خورد. متوسط فشار وروردی به لترال را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$\overline{H}_i = H_{li} - 0.77\,\Delta H_l \pm \Delta Z_l/2 \qquad (۱۸)$$

$H_{li}$: فشار ورودی به لوله لترال (m)

$\Delta H_l$: افت فشاردر لوله لترال (m)

$\Delta Z_l$: اختلاف ارتفاع دو سر لوله لترال (m)

***افت فشار در لوله‌های مانیفولد***

افت فشار در این لوله مشابه با لوله‌های لترال محاسبه می‌شود. در این لوله‌ها نیز شدت جریان بطور تدریجی کاهش می‌یابد. حداکثر افت مجاز در این لوله‌ها ۰/٤٥ افت فشار مجاز در سیستم است. طول مانیفولد عمدتاً توسط اندازه گلخانه تعیین می‌شود.

**آرایش شبکه لوله‌های اصلی و نیمه اصلی در سیستم آبیاری**

در یک سیستم آبیاری قطره‌ای در گلخانه، شبکه لوله‌های اصلی و لوله‌های نیمه اصلی که آب را از منبع ذخیره با فشار مناسب به لوله‌های مانیفولد در داخل گلخانه منتقل می‌نماید از اهمیت زیادی برخوردار هستند. طراحی این بخش از سیستم با روش کاملاً مهندسی و با استفاده از حداکثر شیب اراضی، به نحوی انجام می‌گردد تا مجموعه سیستم به لحاظ اقتصادی در شرایط بهینه قرار داشته باشد. لوله‌های اصلی وظیفه انتقال آب از منبع آب به داخل لوله‌های نیمه اصلی را بعهده دارند. همچنین لوله‌های نیمه اصلی وظیفه انتقال آب از لوله‌های اصلی به مانیفولدها را عهده‌دار هستند. از فاکتورهای مهم قطر لوله اصلی و نیمه اصلی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- حداکثر سرعت جریان آب در لوله اصلی و نیمه اصلی نباید بیشتر از ۱/۵ متر بر ثانیه باشد ($V_{max}$).
- افت فشار در لوله اصلی و نیمه اصلی نباید بیشتر از ٤ متر در ۱۰۰ متر باشد.

قطر لوله اصلی و نیمه اصلی را می‌توان از رابطه زیر تعیین نمود:

$$Q = A \times V_{max} = \frac{\pi D^2}{4} \times V_{max} \qquad (۱۹)$$

در رابطه فوق قطر لوله مجهول اصلی است لذا، با توجه به قطر لوله‌های موجود در بازار یک قطر انتخاب و سرعت جریان محاسبه و با سرعت مجاز کنترل می‌شود. برای برآورد افت فشار در این لوله‌ها می‌توان از فرمول هیزن ویلیامز (رابطه ۱۷) نیز استفاده نمود.

در تعیین قطر لوله‌های اصلی و نیمه اصلی باید به مسایل اقتصادی توجه نمود. در این صورت ممکن است از نظر اقتصادی بهتر باشد که لوله اصلی یا نیمه اصلی از چندین قطر تشکیل شود.

**ادوات و تجهیزات کنترل مرکزی**

کنترل مرکزی یک سیستم آبیاری قطره‌ای درگلخانه و مزرعه مشابه بوده و به مجموعه ادواتی گفته می‌شود که در شبکه لوله‌ها بین تاسیسات آبگیر و نقطه ورودی لوله‌های توزیع کننده نصب می‌شوند. این تجهیزات شرایط فشار

و دبی را کنترل می‌کنند تا آب آبیاری به میزان لازم و یکنواخت در لوله‌های آبده توزیع شود. تجهیزات کنترل مرکزی عمدتاً شامل ادوات تصفیه آب، تجهیزات تنظیم کننده فشار، شیرهای مختلف، کنتور آب، تزریق کننده‌های کود، سم و مواد شیمیایی، دماسنج حرارتی و تجهیزات خودکار یا کنترل از راه دور می‌باشند. با توجه به اهمیت وسایل تصفیه آب در ارتباط با مساله گرفتگی خروجی‌ها در ادامه به تشریح این وسایل و راهکارهای جلوگیری از گرفتگی قطره‌چکانها پرداخته می‌شود .

**ادوات و تجهیزات تصفیه آب**

تصفیه آب در آبیاری قطره‌ای در گلخانه یا مزرعه یک ضرورت غیر قابل اجتناب است و روشها و تمهیداتی مختلفی جهت جلوگیری از انسداد قطره چکانها و لوله‌های آبیاری به کار گرفته می‌شود. با توجه به عامل گرفتگی قطره‌چکانها، تجهیزات مختلفی از جمله حوضچه‌های رسوب، جداکننده‌های گریز از مرکز، فیلترهای شنی و توری یا دیسکی جهت تصفیه فیزیکی و تزریق کننده‌های شیمیایی جهت تصفیه شیمیایی آب بکار گرفته می‌شود. در تصفیه فیزیکی مواد درشت آلی و غیر آلی معلق در آب از آن خارج می‌شود. تصفیه شیمیایی شامل اضافه کردن یک یا چند ماده شیمیایی به آب است تا از بروز واکنشهای شیمیایی و بیولوژیکی در داخل آب جلوگیری نماید.

**دلایل گرفتگی خروجی‌ها در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای**

کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری نقش موثری در انسداد خروجی‌ها دارد. در نتیجه هرگونه اقدام فنی یا مدیریتی باید در ارتباط با این عوامل باشد. عوامل مؤثر در انسداد قطره‌چکانها را می‌توان به سه گروه عوامل فیزیکی، عوامل شیمیایی و عوامل زیستی (بیولوژیک) تقسیم‌بندی نمود که در ادامه تشریح می‌شوند:

**گرفتگی فیزیکی**

انسداد فیزیکی ممکن است توسط مواد معلق مانند شن، لای، رس یا مواد پلاستیکی، مواد آلی از قبیل بقایای گیاهی و حیوانی و بقایای میکروبی ( جلبکها ، دیاتومه‌ها ، لاروها و غیره) باشد. شن و لای معمولا از کانالها و یا چاههای آب به داخل سیستم راه پیدا می‌کنند. در هنگام نصب لوله‌ها و اتصالات نیز ممکن است این ذرات وارد لوله‌ها شوند که تقریبا امری غیر قابل اجتناب بوده و اگر قبل از استفاده از سیستم آبیاری، عمل شستشوی قسمت‌های مختلف سیستم آبیاری انجام نشود، این ذرات به چکانده‌ها راه یافته و موجب گرفتکی چکانده‌ها خواهند شد. لذا تنها راه جلوگیری از این نوع گرفتگی، انجام فیلتراسیون صحیح (از ورود ذراتی به اندازه یک دهم مجرای عبور قطره‌چکان به سیستم باید جلوگیری شود) و ممانعت از ورود این اجزا به داخل سیستم آبیاری است. ذرات شن و ماسه ممکن است بسیار ریز بوده و به تنهایی بتوانند از روزنه‌های قطره چکان خارج شوند اما در بسیاری موارد این ذرات توسط لجن حاصله از رشد برخی از باکتریها به یکدیگر چسبیده و ذرات درشتی را تشکیل می‌دهند که نمی‌توانند از روزنه خروجی قطره‌چکان خارج شوند. باکتریهای مذکور معمولا در آب چاههای سطحی و نیمه عمیق وجود دارد. بنابراین در حالی که ذرات شن خود ممکن است بسیار ریز باشند اما توده‌های ایجاد شده

به کمک باکتریها از مجرای عبور جریان در قطره‌چکان بزرگتر شده و در داخل آن محبوس می‌شوند. شستشوی مداوم سیستم آبیاری همراه با کنترل شیمیایی می‌تواند نقش موثری در کاهش گرفتگی قطره‌چکانها ایفا نماید.

**گرفتگی شیمیایی**

کیفیت شیمیایی آب در این نوع گرفتگی بسیار مهم است. یونهای محلول موجود در آب می‌توانند با یکدیگر وارد واکنشهای شیمیایی شده و مواد غیر محلول ایجاد نمایند. خطر گرفتگی خروجی‌ها بر اساس کیفیت آب آبیاری به صورت جدول شماره ۳ ارائه شده که می‌تواند بعنوان راهنما مورد استفاده قرار گیرد(٤).

**جدول ۳:** خطر گرفتگی خروجی‌ها با آبهایی که کیفیت مختلف دارند

| آلودگی | | خطر گرفتگی | | |
|---|---|---|---|---|
| نوع | عامل | کم | متوسط | زیاد |
| فیزیکی: | مواد جامد معلق (PPM) | <۵۰ | ۵۰-۱۰۰ | >۱۰۰ |
| شیمیایی: | PH | <۷ | ۷-۸ | >۸ |
| | مواد محلول (PPM) | <۵۰۰ | ۵۰۰-۲۰۰۰ | >۲۰۰۰ |
| | منگنز(PPM) | <۰/۱ | ۰/۱-۱/۵ | >۱/۵ |
| | آهن(PPM) | <۰/۱ | ۰/۱-۱/۵ | >۱/۵ |
| | سولفید هیدروژن(PPM) | <۰/۵ | ۰/۵-۲ | >۲ |
| بیولوژیکی: | باکتری‌ها (حداکثر تعداد در میلی‌لیتر) | <۱۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰-۵۰۰۰۰ | >۵۰۰۰۰ |

رسوب کربنات کلسیم معمول‌ترین ماده‌ای است که در آبهای کربناته و بی‌کربناته مناطق خشک و نیمه خشک به وجود می‌آید. برای بررسی امکان رسوب کربنات کلسیم و منیزیم می‌توان از شاخص اشباع لانژیلر (LSI) بهره گرفت. اگر مقدار عددی آن مثبت باشد نشان دهنده این است که آب پتانسیل رسوب کربنات کلسیم را دارد. LSI عبارت است از اختلاف بین اسیدیته آب آبیاری (PHm) و PHC یعنی:

$$LSI=PHm-PHc \quad (۱۹)$$

pHc: اسیدیته محاسبه شده بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی آب با استفاده از فرمول ذیل:

$$pHc = p(Ca + Mg + Na + K) + p(Ca + Mg) + p(CO3 + HCO3) \quad (۲۰)$$

در این فرمول $p(Ca + Mg + Na + K)$ نمایه کاتیون‌های آب است و بستگی به مجموع غلظت کاتیون‌های موجود در آب دارد. مقدار $p(Ca + Mg)$ نیز که نمایه کلسیم و منیزیم است که فقط به مجموع غلظت کلسیم و منیزیم آب بستگی دارد. به همین طریق $p(CO3 + HCO3)$ نمایه کربنات و بی‌کربنات است که بستگی به مجموع غلظت کربنات و بی‌کربنات موجود در آب داشته و مقدار آن نیز از جدول مربوطه بدست می‌آید (۳).

معمول‌ترین روش جهت کاهش تشکیل رسوب کربنات کلسیم افزودن اسید به آب آبیاری است. اسید با بی‌کربنات موجود در آب ترکیب می‌شود، نتیجه این فعل و انفعال آن خواهد بود که غلظت بی‌کربنات و کربنات

کاهش می‌یابد. در غیاب بی‌کربنات رسوب کربنات کلسیم و منیزیم به سهولت تشکیل نخواهد شد. متداولترین اسیدهایی که برای این منظور به کار می‌رود، اسید سولفوریک و اسید سولفورو می‌باشد این دو اسید هر دو در کنترل pH مؤثرند (٤). بهترین راه برای تشخیص مقدار اسیدی که بایستی اضافه شود، روش تیتراسیون است. به هر حال مقدار اسید به کار برده شده، نبایستی منجر به کاهش بیش از حد pH شود زیرا اگر pH کمتر از ٦ شود باعث وارد ساختن خسارت به لوله و اتصالات خواهد شد.

**گرفتگی بیولوژیکی**

گرفتگی بیولوژیکی در اثر رشد موجودات زنده در سیستم آبیاری قطره‌ای ایجاد می‌شود. روش استاندارد برای کنترل رشد این موجودات عبارتست از تزریق یک ترکیب شیمیایی که سبب از بین رفتن و یا مانع از رشد و تکثیر این موجودات شود. از معمولترین ترکیباتی که در این خصوص مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌توان به گاز کلر، محلول هیپوکلریت، آکرولین و سولفات مس اشاره کرد. رشد جلبکها یا دیگر گیاهان آبزی در اکثر منابع آب سطحی مشهود است، برای کنترل این جلبکها به خصوص در مخازن آب می‌توان از سولفات مس استفاده کرد(٤). این ماده را می‌توان هم به صورت پودر در سطح مخزن پخش کرد و یا به صورت سنگهای آبی رنگ در نقاط مختلف مخزن به صورت شناور قرار داد. غلظت سولفات مس برای کنترل رشد جلبکها از ۰/۵ تا ۲ میلی گرم در لیتر بسته به نوع جلبک متفاوت است. البته جلبکهای سبز فقط در روشنایی مناسب رشد می‌کنند و نمی‌توانند درون لوله‌های سیاه پلی‌اتیلن و خروجی‌ها رشد نمایند. جهت خارج کردن بقایای جلبکهای مرده بایستی نسبت به شستشوی سیستم اقدام نمود.

بطور خلاصه پتانسیل گرفتگی را می‌توان از تجزیه کیفی آب تخمین زد. برای جلوگیری از گرفتگی احتیاج به صاف کردن و اصلاح شیمیایی آب، مدیریت خوب در کود دهی و روان سازی حرکت آب در خطوط لوله‌ها می‌باشد. اصلاح شیمیایی شامل کلرزنی، بکارگیری اسید برای کم کردن pH و کاهش رسوبات شیمیایی، جلوگیری از تشکیل اکسید آهن و ممانعت از آب ماندگی برای کنترل رشد جلبکها می‌باشد. بنابراین سیستم‌های آبیاری قطره-ای در گلخانه‌ها نسبت به روش‌های سنتی به مدیریت بسیار بالا احتیاج دارند. در این مدیریت بایستی به اصول طراحی سیستم آبیاری و انتخاب قطره‌چکان مناسب در گلخانه توجه شود و ضمن برنامه‌ریزی صحیح آبیاری، کود و سم برای گیاه مورد نظر در گلخانه، به مسایل و مشکلات بهره‌برداری از سیستم آبیاری از جمله بازرسی منظم و اندازه‌گیری مداوم مقدار آب و فشارلازم برای کار کردن منظم سیستم آبیاری پرداخته شود. عدم توجه به مشکلات گرفتگی خروجی‌ها در سیستم‌های قطره‌ای علاوه بر کاهش یکنواختی پخش آب در گلخانه، افزایش ساعات کارکرد سیستم و تعویض پیوسته خروجی‌ها، موجب افزایش هزینه‌های جاری سیستم نیز می‌گردد.

## منابع


۱- صدرقائن، و میر لطیفی،م.۱۳۷٦. ارزیابی مشخصه‌های هیدرولیکی خروجی‌ها، لوله‌ها و اتصالات مورد استفاده در آبیاری قطره‌ای (ساخت داخل کشور). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

۲- علیزاده، ا. ۱۳۷٤). اصول طراحی سیستم‌های آبیاری. چاپ دوم، انتشارات آستان قدس رضوی مشهد، ۵۳۹ ص.

۳- علیزاده،ا. ۱۳۷٦. اصول و عملیات آبیاری قطره‌ای. چاپ اول، انتشارات آستان قدس رضوی مشهد، ٤٥ ص.

٤- فرزانه، ع. ۱۳۷٤. دستورالعمل بهره‌برداری و نگهداری از سیستم آبیاری میکرو: بخش اول فعل و انفعالات شیمیایی آب و معضل گرفتگی قطره‌چکانها در سیستم آبیاری قطره‌ای. ترجمه نشریه شماره50190-BIRD RAIN.

۵- میرلطیفی، م .، تجریشی، م. و طاهرپور، م.۱۳۷۷. بررسی علل گرفتگی خروجی‌ها در آبیاری قطره‌ای و ارتباط آن با کیفیت آب در مناطق رفسنجان و جهرم. گزارش پژوهشی نهایی طرح تحقیقاتی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی.

6- ASAE Standards 1994. Design and installation of micro irrigation systems. EP 405.1. DEC93.

7- ASAE standards 1995. Field evaluation of micro irrigation systems. EP458.

8- Bralits, Vincent, WU., Pai, I. and Gitlin, Harris, 1981. Manufacturing Variation and Drip irrigation a uniformity, trans., ASAE, Vol, 24, No. 3, PP:113-119.

9- Enoch, H.Z., and Enoch, Y.1999. The history and geography of the greenhouse. In: Stanhil, G., Enoch, H.Z. (Eds.), Greenhouse Ecosystems. Ecosystems of the World 20. Elsevier, Amsterdam, pp. 1–15.

10- Harmanto, Salokhe, V.M., Babel, M.S. and Tantau, H.J. 2005. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. Agricultural Water Management (71): 225–242.

11- Kirda, C., Cevik, B. and Tulucu, K.1994. A simple method to estimate the irrigation water requirement of greenhouse grown tomato. Acta Hort. (ISHS) 366: 373–380.

12- Papadopoulos, A.P. 1991. Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media. Agriculture Canada Publication 1865/E.

13- Snyder, R.G. 1992. Greenhouse Tomato Handbook, Publication No. 1828. Mississippi State University, Cooperative Extension Service, USA, 30 pp.

14- Tuzel, Y., Ul, M.A. and Tuzel, I.H. 1994. Effects of different irrigation intervals and rates on spring season glasshouse tomato production: II. Fruit quality. Acta Hort. (ISHS) 366, 389–396.

15- von Eslner, B., Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Mistriotis, A., von Zabeltizt Chr. and Gratraud, J. 2000. Mechanical properties of covering materials for greenhouses. Part 1. General overview. J. Agric. Eng. Res. (67): 81–96.

16- Von Zabeltitz, Chr.1999. Greenhouse Structures, Ecosystems of the World's 20 Greenhouses. Elsevier, Amsterdam.

17- Yuan, B.Z., Sun J. and Nishiyama, S. 2004. Effect of Drip Irrigation on Strawberry Growth and Yield inside a Plastic Greenhouse Biosystems Engineering. 87 (2): 237–245.

18- Yuan, B.Z., Kang, Y. and Nishiyama, S. 2001. Drip irrigation scheduling for tomatoes in unheated greenhouse. Irrigation Science, (20): 149–154.