بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه‌ی دکتری رشته‌ی مهندسی آب گرایش آبیاری و زهکشی

عنوان پایان‌نامه

ارزیابی عدم قطعیت در پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

استادان راهنما:

دکتر روح‌اله فتاحی

دکتر سعید برومندنسب

استادان مشاور:

دکتر شایان شامحمدی

دکتر کاوه پروانک

پژوهشگر:

محمد زمانیان

مهرماه ۱۳۹۲

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان‌نامه آقای محمد زمانیان جهت اخذ درجه دکتری رشته مهندسی آب گرایش آبیاری و زهکشی با عنوان: **ارزیابی عدم قطعیت در پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای** در تاریخ ۹۲/۷/۹ با حضور هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. **استادان راهنمای پایان‌نامه:**

دکتر روح‌اله فتاحی با مرتبه علمی استادیاری امضاء

دکتر سعید برومندنسب با مرتبه علمی استادی امضاء

۲. استادان مشاور پایان‌نامه:

دکتر شایان شامحمدی با مرتبه علمی دانشیاری امضاء

دکتر کاوه پروانک با مرتبه علمی استادیاری امضاء

۳. **اساتید داور پایان‌نامه:**

دکتر بهزاد قربانی با مرتبه علمی دانشیاری امضاء

دکتر محمدرضا نوری امامزاده‌ئی با مرتبه علمی استادیاری امضاء

دکتر بهروز مصطفی‌زاده فرد با مرتبه علمی استادی امضاء

دکتر حسین دهقانی سانیج با مرتبه علمی استادیاری امضاء

دکتر سیدحسن طباطبائی

معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی

دانشکده کشاورزی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات

و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه

متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

تشکر و قدردانی

تقدیم اثر

چکیده

بزرگ‌ترین مشکل در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، گرفتگی قطره‌چکان‌ها می‌باشد. بررسی سامانه‌های در حال بهره‌برداری نشان می‌دهد که میزان گرفتگی قطره‌چکان‌ها و مشکلات متعاقب آن عموماً بیشتر از میزان پیش‌بینی شده در مرحله طراحی این سامانه‌ها می‌باشد. در واقع بین گرفتگی بالقوه و بالفعل قطره‌چکان‌ها در این سامانه‌ها عدم قطعیت وجود دارد. برای ارزیابی عدم قطعیت کیفی و کمی در پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها، ۱۰ سامانه در نقاط مختلف کشور شامل شهرکرد، برازجان، ایذه، دامغان، ساری، قم، نهاوند، تالش، سمیرم و شاهین‌شهر که از نظر شرایط اقلیمی و خصوصیات کیفی آب متفاوت بودند انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفتند. با استفاده از خصوصیات کیفی آب سامانه‌ها، پتانسیل گرفتگی قطره‌چکان‌ها توسط طبقه-بندی‌های موجود تعیین شد. تعداد ۵۰ قطره‌چکان مسدود از هر سامانه جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شد. در آزمایشگاه برای تعیین شکل و اندازه رسوبات عامل انسداد از تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی (Scanning Electron Microscopy) با مقیاس‌های ۱۰ و ۵۰ میکرون استفاده شد و هم‌چنین برای تعیین عناصر تشکیل‌دهنده این رسوبات شامل سیلیسیوم، کلسیم، منیزیم، آهن، آلومینیم، اکسیژن، کربن، سدیم، پتاسیم، گوگرد، کلر از EDAX میکروسکوپ الکترونی استفاده شد. منشاء گرفتگی قطره‌چکان‌های مسدود شده در هر سامانه نیز با استفاده از آنالیز ترکیبات شیمیایی رسوبات عامل انسداد و مشاهدات عینی از طریق شرایط عملکرد قطره‌چکان‌ها در سامانه مشخص شد. در هر سامانه عدم قطعیت کیفی با شناسایی منابع عدم قطعیت، طرح پرسش‌های مرتبط و امتیازدهی تعیین گردید. هم‌چنین مدلی برای پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها با استفاده از خصوصیات کیفی آب ارائه و توسط داده‌های میدانی واسنجی گردید و عدم قطعیت کمی آن توسط روش شبیه‌سازی مونت کارلو (Monte Carlo Simulation) محاسبه گردید. برای مدل پیش‌بینی، آنالیز حساسیت نیز انجام شد تا مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر گرفتگی در مدل تعیین گردند. نتایج ارزیابی پتانسیل گرفتگی قطره‌چکان‌ها نشان داد که برای سامانه‌های شهرکرد، ایذه، دامغان، نهاوند، تالش و سمیرم پتانسیل گرفتگی شیمیایی و برای سامانه‌های برازجان، ساری، قم و شاهین‌شهر پتانسیل گرفتگی ناشی از تأثیر توام عوامل سه‌گانه (فیزیکی- شیمیایی- بیولوژیکی) پیش‌بینی می‌شود. نتایج تصویربرداری‌های SEM از شکل و اندازه رسوبات عامل انسداد نشان داد که انسداد قطره‌چکان‌ها عمدتاً به‌صورت تدریجی و به-مرور زمان صورت گرفته است. درصد بالای عناصری مانند آهن، گوگرد و فسفر در ترکیبات شیمیایی رسوبات عامل انسداد برخی از سامانه‌ها نتیجه کودآبیاری غیر اصولی در آنها است. برای سامانه‌های مورد ارزیابی، نتایج گرفتگی واقعی با بیشترین میزان درصد وقوع برای گرفتگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و تأثیر توام عوامل سه‌گانه نیز نشان داد که در سامانه‌های شهرکرد، ایذه، دامغان، نهاوند، سمیرم و شاهین‌شهر گرفتگی واقعی به‌صورت فیزیکی، در سامانه‌های برازجان و ساری به‌صورت شیمیایی، در سامانه تالش به‌صورت بیولوژیکی و در سامانه قم به‌صورت گرفتگی ناشی از تأثیر توام عوامل سه‌گانه رخ داده است. بنابراین در پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در تمامی سامانه‌های مورد ارزیابی عدم قطعیت وجود دارد. با شناسایی منابع عدم قطعیت و طرح پرسش‌های مرتبط و امتیازدهی، آنالیز عدم قطعیت کیفی در سامانه‌های شهرکرد، برازجان، ایذه، دامغان، ساری، قم، نهاوند، تالش، سمیرم و شاهین‌شهر انجام شد که به‌ترتیب ۴۶، ۶۰، ۶۸، ۴۷، ۵۹، ۶۶، ۵۵، ۶۹، ۵۹ و ۴۹ درصد تعیین شد. از بین پارامترهای ورودی به مدل شامل TSS، EC، TDS، pH، Na، Ca، Mg، Fe، Mn، HCO_3، CO_3، تعداد باکتری‌ها (BN)، دمای هوا (T_{air})، دمای آب (T_{water})، مدت زمان بهره‌برداری از سامانه (O_t)، شاخص اشباع لانژیلر (LSI)، شاخص رایزنر (RI) و شاخص اشباع استیف- دیویس (S&DSI) ابتدا پیش‌پردازش صورت گرفت تا بهترین ترکیب آنها برای ورود به مدل انتخاب گردند که در نهایت پارامترهای کیفی آب شامل pH، غلظت کل مواد محلول، منیزیم و سدیم برای ورود به مدل انتخاب شدند. سه مدل برای پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها با استفاده از خصوصیات کیفی آب بر اساس بیشترین مقدار ضریب تبیین (R^2) و کمترین مقدار درصد خطای نسبی (E) ارائه و با استفاده از داده‌های میدانی جمع‌آوری شده واسنجی گردید. متوسط عدم قطعیت کمی برای دو مدلی که بیشترین ضریب تبیین و کمترین درصد خطای نسبی را داشتند با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو، ۶۱ درصد محاسبه گردید. هم‌چنین آنالیز حساسیت برای این مدل‌ها نشان داد که pH حساس‌ترین متغیر ورودی از کیفیت آب در مدل پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای می‌باشد.

کلمات کلیدی: گرفتگی قطره‌چکان‌ها، عدم قطعیت کیفی و کمی، پیش‌پردازش پارامترها، شبیه‌سازی مونت کارلو.

فهرست مطالب

عنوان شماره صفحه

فصل اول- مقدمه

۱-۱ کلیات ۸
۱-۱-۱ خردآبیاری ۹
۱-۱-۲ مزایا و معایب آبیاری قطره‌ای ۹
۱-۱-۳ اجزای تشکیل‌دهنده سامانه آبیاری قطره‌ای ۱۰
۱-۱-۴ روش‌های طبقه‌بندی قطره‌چکان‌ها ۱۱
۱-۲ وضعیت آبیاری قطره‌ای در جهان ۱۲
۱-۳ وضعیت آبیاری قطره‌ای در ایران ۱۳
۱-۴ عوامل مؤثر بر گرفتگی قطره‌چکان‌ها ۱۴
۱-۴-۱ عوامل فیزیکی مؤثر بر گرفتگی قطره‌چکان‌ها ۱۵
۱-۴-۲ عوامل شیمیایی مؤثر بر گرفتگی قطره‌چکان‌ها ۱۵
۱-۴-۳ عوامل بیولوژیکی مؤثر بر گرفتگی قطره‌چکان‌ها ۱۷
۱-۵ روش‌ها و معیارهای ارزیابی پتانسیل گرفتگی قطره‌چکان‌ها ۱۷
۱-۶ عدم قطعیت و عوامل مؤثر بر آن ۱۸
۱-۷ ضرورت انجام تحقیق ۲۱
۱-۸ اهداف اصلی طرح ۲۲
۱-۹ ارائه فرضیات ۲۲

فصل دوم- بررسی منابع

۲-۱ بررسی مشکلات گرفتگی قطره‌چکان‌ها در داخل کشور ۲۳
۲-۲ بررسی مشکلات گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سایر نقاط دنیا ۳۰
۲-۳ آنالیز عدم قطعیت ۳۹

فصل سوم- مواد و روش‌ها

۳-۱ موقعیت و مشخصات اقلیمی سامانه‌ها ۴۵
۳-۲ مشخصات اجرایی سامانه‌ها ۴۷
۳-۳ بررسی کیفیت آب ۵۰
۳-۳-۱ شاخص اشباع لانژیلر ۵۲
۳-۳-۲ شاخص رایزنر ۵۳
۳-۳-۳ شاخص اشباع استیف- دیویس ۵۴
۳-۴ تعیین منشاء گرفتگی قطره‌چکان‌ها ۵۵
۳-۵ آنالیز عدم قطعیت ۵۶
۳-۵-۱ آنالیز عدم قطعیت کیفی ۵۶
۳-۵-۲ آنالیز عدم قطعیت کمی ۶۸

عنوان شماره صفحه

فصل چهارم- نتایج و بحث

۴-۱ آنالیز کیفیت آب و پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها ۶۹
۴-۱-۱ شاخص‌های رسوب کربنات کلسیم ۸۰
۴-۱-۲ بررسی روابط شاخص‌های ارزیابی رسوب‌گذاری با خصوصیات کیفی آب ۸۲
۴-۲ ارزیابی گرفتگی بالفعل در سامانه‌های مورد بررسی ۸۴
۴-۲-۱ تأثیر موقعیت مکانی قطره‌چکان‌های مسدود شده روی لوله‌های فرعی ۸۴
۴-۲-۲ الگوی تجمع رسوبات درون قطره‌چکان‌ها ۸۶
۴-۲-۳ شکل و اندازه رسوبات در قطره‌چکان‌ها ۱۰۳
۴-۲-۴ آنالیز شیمیایی رسوبات درون قطره‌چکان‌ها ۱۰۸
۴-۲-۵ تعیین منشاء گرفتگی قطره‌چکان‌ها ۱۰۹
۴-۳ آنالیز عدم قطعیت ۱۱۸
۴-۳-۱ آنالیز عدم قطعیت کیفی ۱۱۸
۴-۳-۲ آنالیز عدم قطعیت کمی ۱۳۱
۴-۴ نتیجه‌گیری ۱۳۷
۴-۵ پیشنهادات ۱۳۸
۴-۶ منابع ۱۳۹

فهرست شکل‌ها

عنوان شماره صفحه

فصل دوم- بررسی منابع

شکل ۲-۱ توزیع سرعت جریان در یک واحد قطره‌چکان A_1 حاصل از مدل آشفته تحت فشار ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب (دلقندی و همکاران، ۱۳۸۹) ۳۰
شکل ۲-۲ توزیع سرعت جریان در یک واحد قطره‌چکان B حاصل از مدل آشفته تحت فشار ۱۶/۳۳ متر ارتفاع آب (دلقندی و همکاران، ۱۳۸۹) ۳۰
شکل ۲-۳ رشد جلبک روی قطره‌چکان‌های آزمایشی ریبیرو و همکاران (۲۰۰۸) ۳۷
شکل ۲-۴ شمارش جمعیت عوامل گرفتگی بیولوژیکی در فصل آبیاری (دهقانی سانیج و همکاران، ۲۰۰۴) ۴۱
شکل ۲-۵ تغییرات pH و هدایت الکتریکی در فصل آبیاری (دهقانی سانیج و همکاران، ۲۰۰۵) ۴۱
شکل ۲-۶ تغییرات جمعیت جلبک‌ها و پروتوزوا و نیز دمای آب در فصل آبیاری (دهقانی سانیج و همکاران، ۲۰۰۵) ۴۱
شکل ۲-۷ تغییرات برخی از خصوصیات کیفی آب در طول فصل آبیاری (اولداحمد و همکاران، ۲۰۰۷) ۴۲
شکل ۲-۸ تغییرات دمای آب در طول فصل آبیاری (لی و همکاران، ۲۰۱۲) ۴۲
شکل ۲-۹ تغییرات دبی لوله‌های فرعی برای انواع مختلف قطره‌چکان (EM) با تزریق کلر (دهقانی سانیج و همکاران، ۲۰۰۵) ۴۳
شکل ۲-۱۰ تأثیر شرایط مختلف فیلتراسیون و اصلاح شیمیایی آب رودخانه کلرادو روی تعداد باکتری‌ها در نمونه‌های آب (گیلبرت و همکاران، ۱۹۸۲) ۴۴

فصل سوم- مواد و روش‌ها

شکل ۳-۱ موقعیت نقاط نمونه‌برداری در نقشه اقلیمی کشور (اقلیم‌نمای یونسکو) ۴۷
شکل ۳-۲ مقادیر C در مقابل هدایت الکتریکی و درجه حرارت ۵۳
شکل ۳-۳ مقادیر K به ازای هدایت الکتریکی و درجه حرارت ۵۵

فصل چهارم- نتایج و بحث

شکل ۴-۱ غلظت کل مواد معلق در آب سامانه‌های مختلف و پتانسیل گرفتگی ناشی از این پارامتر ۷۱
شکل ۴-۲ غلظت کل مواد محلول در آب سامانه‌های مختلف و پتانسیل گرفتگی ناشی از این پارامتر ۷۱
شکل ۴-۳ مقادیر هدایت الکتریکی آب سامانه‌های مختلف و پتانسیل گرفتگی ناشی از این پارامتر ۷۲
شکل ۴-۴ مقادیر pH آب سامانه‌های مختلف و پتانسیل گرفتگی ناشی از این پارامتر ۷۲
شکل ۴-۵ غلظت آهن موجود در آب سامانه‌های مختلف و پتانسیل گرفتگی ناشی از این پارامتر ۷۳
شکل ۴-۶ غلظت منگنز موجود در آب سامانه‌های مختلف و پتانسیل گرفتگی ناشی از این پارامتر ۷۳
شکل ۴-۷ غلظت کلسیم موجود در آب سامانه‌های مختلف و پتانسیل گرفتگی ناشی از این پارامتر ۷۴
شکل ۴-۸ غلظت منیزیم موجود در آب سامانه‌های مختلف و پتانسیل گرفتگی ناشی از این پارامتر ۷۴
شکل ۴-۹ تعداد باکتری‌های موجود در آب سامانه‌های مختلف و پتانسیل گرفتگی ناشی از این پارامتر ۷۵
شکل ۴-۱۰ جمع نمرات کیفیت آب سامانه‌های مختلف و پتانسیل گرفتگی ناشی از ترکیب عوامل مختلف ۷۷
شکل ۴-۱۱ دمای آب سامانه‌های مختلف مورد ارزیابی قبل و بعد از واحد کنترل مرکزی و انتهای لوله فرعی ۷۹
شکل ۴-۱۲ مقادیر LSI و احتمال رسوب‌گذاری کربنات کلسیم در سامانه‌های مختلف ۸۰
شکل ۴-۱۳ مقادیر RI و شدت رسوب‌گذاری کربنات کلسیم در سامانه‌های مختلف ۸۱
شکل ۴-۱۴ مقادیر S&DSI و شدت رسوب‌گذاری کربنات کلسیم در سامانه‌های مختلف ۸۱
شکل ۴-۱۵ درصد قطره‌چکان‌های مسدود شده در قسمت‌های مختلف لوله‌های فرعی سامانه‌ها بجز برازجان ۸۶

عنوان شماره صفحه

شکل ۴-۱۶ درصد قطره‌چکان‌های گرفته شده در قسمت‌های مختلف لوله‌های فرعی سامانه برازجان ۸۶
شکل ۴-۱۷ شماتیک مسیر جریان قطره‌چکان‌ها در تحقیق یان و همکاران (۲۰۰۹) ۸۷
شکل ۴-۱۸ شماتیک مسیر جریان قطره‌چکان‌ها در تحقیق یان و همکاران (۲۰۱۰) ۸۸
شکل ۴-۱۹ دهانه و مسیر جریان ورودی و خروجی قطره‌چکان‌ها در سامانه شهرکرد ۸۸
شکل ۴-۲۰ نمونه‌هایی از الگوی تشکیل رسوبات سفید رنگ و گل و لای در دهانه خروجی قطره‌چکان‌ها در سامانه شهرکرد ۸۸
شکل ۴-۲۱ نمونه‌هایی از الگوی تجمع رسوبات در مسیرهای جریان ورودی و خروجی قطره‌چکان‌ها در سامانه شهرکرد ۸۹
شکل ۴-۲۲ نمایی شماتیک و واقعی از مسیر جریان و دهانه ورودی و خروجی قطره‌چکان‌ها در سامانه برازجان ۸۹
شکل ۴-۲۳ نمونه‌هایی از الگوی تجمع رسوبات در دهانه خروجی قطره‌چکان‌ها در سامانه برازجان ۹۰
شکل ۴-۲۴ نمونه‌هایی از الگوی تجمع رسوبات در مسیر جریان قطره‌چکان‌ها در سامانه برازجان ۹۰
شکل ۴-۲۵ مسیر جریان و دهانه ورودی و خروجی قطره‌چکان‌ها در سامانه ایذه ۹۱
شکل ۴-۲۶ نمونه‌هایی از انسداد دهانه ورودی و خروجی قطره‌چکان‌ها در سامانه ایذه ۹۱
شکل ۴-۲۷ نمونه‌هایی از الگوی تجمع رسوبات در مسیرهای جریان قطره‌چکان‌ها در سامانه ایذه ۹۲
شکل ۴-۲۸ دهانه و مسیر جریان ورودی و خروجی قطره‌چکان‌های مورد استفاده در دامغان ۹۳
شکل ۴-۲۹ نمونه‌هایی از الگوی تشکیل رسوبات در دهانه خروجی قطره‌چکان‌ها در سامانه دامغان ۹۳
شکل ۴-۳۰ نمونه‌هایی از الگوی تجمع رسوبات در مسیر جریان ورودی قطره‌چکان‌ها در سامانه دامغان ۹۴
شکل ۴-۳۱ دهانه و مسیر جریان ورودی و خروجی قطره‌چکان‌ها در سامانه ساری ۹۴
شکل ۴-۳۲ نمونه‌هایی از انسداد دهانه ورودی و خروجی قطره‌چکان‌ها در سامانه ساری ۹۵
شکل ۴-۳۳ نمونه‌هایی از الگوی تجمع رسوبات در مسیر جریان قطره‌چکان‌ها در سامانه ساری ۹۵
شکل ۴-۳۴ مسیر جریان و دهانه ورودی و خروجی قطره‌چکان‌ها در سامانه قم ۹۶
شکل ۴-۳۵ نمونه‌هایی از انسداد کامل ناشی از تجمع رسوبات در دهانه ورودی قطره‌چکان‌ها در سامانه قم ۹۶
شکل ۴-۳۶ نمونه‌هایی از الگوی تجمع رسوبات در مسیر جریان قطره‌چکان‌ها در سامانه قم ۹۷
شکل ۴-۳۷ مسیر جریان و دهانه ورودی و خروجی قطره‌چکان‌های سامانه نهاوند ۹۸
شکل ۴-۳۸ نمونه‌هایی از انسداد ناشی از تجمع رسوبات در دهانه خروجی قطره‌چکان‌ها در سامانه نهاوند ۹۸
شکل ۴-۳۹ نمونه‌هایی از الگوی تجمع رسوبات در مسیر جریان قطره‌چکان‌ها در سامانه نهاوند ۹۹
شکل ۴-۴۰ دهانه ورودی و خروجی میکروجت‌های سامانه تالش ۹۹
شکل ۴-۴۱ نمونه‌هایی از تجمع جلبک در دهانه خروجی میکروجت‌ها در سامانه تالش ۱۰۰
شکل ۴-۴۲ نمونه‌هایی از الگوی تجمع جلبک در مسیر جریان میکروجت‌ها در سامانه تالش ۱۰۰
شکل ۴-۴۳ مسیر جریان و دهانه ورودی و خروجی قطره‌چکان‌ها در سامانه سمیرم ۱۰۱
شکل ۴-۴۴ نمونه‌هایی از انسداد دهانه خروجی قطره‌چکان‌ها در سامانه سمیرم ۱۰۱
شکل ۴-۴۵ نمونه‌هایی از الگوی تجمع رسوبات در مسیر جریان ورودی و خروجی قطره‌چکان‌ها در سامانه سمیرم ۱۰۲
شکل ۴-۴۶ دهانه ورودی و خروجی و مسیر جریان خروجی‌های بابلر در سامانه شاهین‌شهر ۱۰۲
شکل ۴-۴۷ نمونه‌هایی از انسداد دهانه خروجی بابلرها در سامانه شاهین‌شهر ۱۰۳
شکل ۴-۴۸ نمونه‌هایی از الگوی تجمع رسوبات در روزنه مسیر جریان بابلرها در سامانه شاهین‌شهر ۱۰۳
شکل ۴-۴۹ شکل‌گیری بیوفیلم در مسیر جریان طی زمان‌های مختلف (یان و همکاران، ۲۰۱۰) ۱۰۴
شکل ۴-۵۰ شکل‌گیری بیوفیلم روی سطوح PVC طی زمان‌های مختلف (جانجاروئن و همکاران، ۲۰۱۳) ۱۰۴
شکل ۴-۵۱ تصاویر رسوبات عامل انسداد قطره‌چکان‌ها در سامانه شهرکرد توسط SEM ۱۰۵

عنوان شماره صفحه

شکل ۴-۵۲ تصاویر رسوبات عامل انسداد قطره‌چکان‌ها در سامانه برازجان توسط SEM ۱۰۵
شکل ۴-۵۳ تصاویر رسوبات عامل انسداد قطره‌چکان‌ها در سامانه ایذه توسط SEM ۱۰۵
شکل ۴-۵۴ تصاویر رسوبات عامل انسداد قطره‌چکان‌ها در سامانه دامغان توسط SEM ۱۰۶
شکل ۴-۵۵ تصاویر رسوبات عامل گرفتگی قطره‌چکان‌های سامانه ساری توسط SEM ۱۰۶
شکل ۴-۵۶ تصاویر رسوبات عامل انسداد قطره‌چکان‌ها در سامانه قم توسط SEM ۱۰۶
شکل ۴-۵۷ تصاویر رسوبات عامل گرفتگی قطره‌چکان‌های سامانه نهاوند توسط SEM ۱۰۷
شکل ۴-۵۸ تصاویر رسوبات عامل انسداد قطره‌چکان‌ها در سامانه تالش توسط SEM ۱۰۷
شکل ۴-۵۹ تصاویر رسوبات عامل انسداد قطره‌چکان‌ها در سامانه سمیرم توسط SEM ۱۰۷
شکل ۴-۶۰ تصاویر رسوبات عامل انسداد قطره‌چکان‌ها در سامانه شاهین‌شهر توسط SEM ۱۰۸

فهرست جدول‌ها

عنوان شماره صفحه

فصل اول- مقدمه

جدول ۱-۱ روند توسعه آبیاری قطره‌ای در کشور در دوره‌های زمانی مختلف (گزارشات اداره کل توسعه روش‌های نوین آبیاری، ۱۳۷۹) ۱۴
جدول ۱-۲ معیارهای کیفی آب از نظر کاربری در سامانه آبیاری قطره‌ای (بوکز و همکاران، ۱۹۷۹) ۱۷
جدول ۱-۳ معیارهای کیفی آب از نظر کاربری در سامانه آبیاری قطره‌ای (بوسول، ۱۹۹۳) ۱۸
جدول ۱-۴ معیارهای کیفی آب از نظر کاربری در سامانه آبیاری قطره‌ای (کاپرا و سیکولون، ۱۹۹۸) ۱۸
جدول ۱-۵ مقایسه ویژگی‌های عدم قطعیت کمی و کیفی (چن و همکاران، ۲۰۰۷) ۱۹

فصل دوم- بررسی منابع

جدول ۲-۱ درصد موارد گرفتگی قطره‌چکان‌های آبیاری قطره‌ای در اثر عوامل مختلف (گیلبرت و همکاران، ۱۹۷۹) ۳۱
جدول ۲-۲ درصد حضور انواع مختلف باکتری‌ها در نمونه آب و رسوبات موجود در قطره‌چکان‌ها تحت شرایط مختلف تصفیه (گیلبرت و همکاران، ۱۹۸۲) ۳۲
جدول ۲-۳ معیارهای کیفی آب از نظر کاربری در سامانه آبیاری قطره‌ای (بوکز و همکاران، ۱۹۷۹) ۳۳

فصل سوم- مواد و روش‌ها

جدول ۳-۱ موقعیت و مشخصات اقلیمی سامانه‌ها ۴۵
جدول ۳-۲ مشخصات اجرایی سامانه‌های مورد ارزیابی ۴۷
جدول ۳-۳ طبقه‌بندی کیفی آب ناشی از تأثیر توام عوامل سه‌گانه فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی (بوکز و همکاران، ۱۹۷۹) ۵۱
جدول ۳-۴ احتمال رسوب‌گذاری به ازای مقادیر مختلف LSI ۵۳
جدول ۳-۵ احتمال رسوب‌گذاری به ازای مقادیر مختلف RI ۵۳
جدول ۳-۶ بررسی منابع عدم قطعیت کیفی در سامانه‌های مورد ارزیابی ۶۰
جدول ۳-۶ ادامه بررسی منابع عدم قطعیت کیفی در سامانه‌های مورد ارزیابی ۶۲
جدول ۳-۶ ادامه بررسی منابع عدم قطعیت کیفی در سامانه‌های مورد ارزیابی ۶۵

فصل چهارم- نتایج و بحث

جدول ۴-۱ مشخصات منبع آبی سامانه‌های مورد ارزیابی ۷۰
جدول ۴-۲ کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی حوزه‌های در برگیرنده سامانه‌های مورد ارزیابی (طرح جامع آب کشور، ۱۳۷۹) ۷۶
جدول ۴-۳ کیفیت آب سامانه‌های دامغان و شاهرود (نادری و همکاران، ۱۳۸۷) ۷۶
جدول ۴-۴ پیش‌بینی خطر گرفتگی قطره‌چکان‌های سامانه تحت عوامل مختلف ۷۷
جدول ۴-۵ پیش‌بینی پتانسیل گرفتگی قطره‌چکان‌ها در تحقیق نادری (۱۳۸۷) ۷۸
جدول ۴-۶ احتمال رسوب‌گذاری کربنات کلسیم بر اساس شاخص‌های مختلف در سامانه‌های مورد ارزیابی ۸۲
جدول ۴-۷ ضرایب، متوسط درصد خطای نسبی و ضریب تبیین مدل‌های پیش‌بینی LSI ۸۳
جدول ۴-۸ ضرایب، متوسط درصد خطای نسبی و ضریب تبیین مدل‌های پیش‌بینی RI ۸۳
جدول ۴-۹ ضرایب، متوسط درصد خطای نسبی و ضریب تبیین مدل‌های پیش‌بینی S&DSI ۸۴
جدول ۴-۱۰ درصد قطره‌چکان‌های مسدود شده در سامانه‌های مورد ارزیابی ۸۴
جدول ۴-۱۱ درصد قطره‌چکان‌های مسدود شده در قسمت‌های مختلف لوله‌های فرعی تمامی سامانه‌ها بجز برازجان ۸۵

عنوان شماره صفحه

جدول ۴-۱۲ درصد قطره‌چکان‌های مسدود شده در قسمت‌های مختلف لوله‌های فرعی در سامانه برازجان ۸۵
جدول ۴-۱۳ آزمون t-test درصد قطره‌چکان‌های گرفته شده در یک سوم ابتدایی، میانی و انتهایی لوله‌های فرعی ۸۵
جدول ۴-۱۴ رابطه بین گرفتگی قطره‌چکان‌ها با قطر مجرای عبور آب (وان لیئر و همکاران، ۱۹۹۹) ۸۷
جدول ۴-۱۵ درصد وزنی عناصر موجود در رسوبات عامل انسداد قطره‌چکان‌ها در سامانه مورد ارزیابی ۱۰۸
جدول ۴-۱۶ درصد گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه شهرکرد در اثر عوامل مختلف ۱۱۰
جدول ۴-۱۷ درصد گرفتگی قطره‌چکان‌های سامانه برازجان در اثر عوامل مختلف ۱۱۱
جدول ۴-۱۸ درصد گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه ایذه در اثر عوامل مختلف ۱۱۲
جدول ۴-۱۹ درصد گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه دامغان در اثر عوامل مختلف ۱۱۳
جدول ۴-۲۰ درصد گرفتگی قطره-چکان‌ها در سامانه ساری در اثر عوامل مختلف ۱۱۳
جدول ۴-۲۱ درصد گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه قم در اثر عوامل مختلف ۱۱۴
جدول ۴-۲۲ درصد گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه نهاوند در اثر عوامل مختلف ۱۱۵
جدول ۴-۲۳ درصد گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه تالش در اثر عوامل مختلف ۱۱۵
جدول ۴-۲۴ درصد گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه سمیرم در اثر عوامل مختلف ۱۱۶
جدول ۴-۲۵ درصد گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه شاهین‌شهر در اثر عوامل مختلف ۱۱۷
جدول ۴-۲۶ عدم قطعیت ناشی از گرفتگی پیش‌بینی و بالفعل در سامانه‌های مورد ارزیابی ۱۱۷
جدول ۴-۲۷ تأثیر منابع مختلف عدم قطعیت در پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه شهرکرد ۱۱۹
جدول ۴-۲۸ تأثیر منابع مختلف عدم قطعیت کیفی در پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه برازجان ۱۲۰
جدول ۴-۲۹ تأثیر منابع مختلف عدم قطعیت کیفی در پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه ایذه ۱۲۱
جدول ۴-۳۰ تأثیر منابع مختلف عدم قطعیت کیفی در پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه دامغان ۱۲۳
جدول ۴-۳۱ تأثیر منابع مختلف عدم قطعیت کیفی در پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه ساری ۱۲۴
جدول ۴-۳۲ تأثیر منابع مختلف عدم قطعیت کیفی در پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه قم ۱۲۵
جدول ۴-۳۳ تأثیر منابع مختلف عدم قطعیت کیفی در پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه نهاوند ۱۲۶
جدول ۴-۳۴ تأثیر منابع مختلف عدم قطعیت کیفی در پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه تالش ۱۲۷
جدول ۴-۳۵ تأثیر منابع مختلف عدم قطعیت کیفی در پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه سمیرم ۱۲۸
جدول ۴-۳۶ تأثیر منابع مختلف عدم قطعیت کیفی در پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه شاهین‌شهر ۱۳۰
جدول ۴-۳۷ مقادیر ضریب همبستگی ساده متغیرهای مستقل و وابسته ۱۳۲
جدول ۴-۳۸ نتایج آزمون رگرسیون گام به گام برای پیش‌پردازش متغیرهای ورودی به مدل ۱۳۳
جدول ۴-۳۹ ضرایب، متوسط درصد خطای نسبی و ضریب تبیین مدل‌های ارائه شده ۱۳۴
جدول ۴-۴۰ برخی از مشخصات آماری متغیرهای مستقل ۱۳۵
جدول ۴-۴۱ ماتریس همبستگی متغیرهای مستقل ۱۳۵
جدول ۴-۴۲ مشخصات آماری نتایج مدل‌های پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها پس از تحلیل مونت کارلو ۱۳۵
جدول ۴-۴۳ ضرایب حساسیت نرمال پارامترهای ورودی به مدل‌های پیش‌بینی گرفتگی قطره‌چکان‌ها ۱۳۶

فصل اول

مقدمه

۱-۱ کلیات

تقاضای روز افزون جامعه بشری برای غذا و پوشاک مستلزم افزایش سطح زیر کشت اراضی و میزان تولید محصولات کشاورزی است. عامل اساسی محدودکننده توسعه سطح زیر کشت در بیشتر نقاط دنیا به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب می‌باشد. این نکته باعث گردیده تا امروزه تلاش گسترده‌ای در جهت افزایش کارایی مصرف آب صورت گیرد تا استفاده بهینه از منابع محدود آب به‌عمل آید. یکی از تلاش‌هایی که در این زمینه بسیار مورد توجه قرار دارد افزایش راندمان کاربرد در مزارع است. بدین منظور روش‌های آبیاری تحت فشار به‌ویژه آبیاری قطره‌ای (Drip Irrigation, Trickle Irrigation) به‌عنوان روش‌های مدرن آبیاری در حال توسعه می‌باشند (ضیاء تباراحمدی، ۱۳۷۱ و علیزاده، ۱۳۸۰).

آبیاری قطره‌ای به کلیه روش‌هایی گفته می‌شود که در آنها آب به مقدار کم و در حدود یک الی ۱۰ لیتر در ساعت به آرامی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. به‌همین دلیل این روش‌ها را آبیاری با حجم کم (Low Volume Irrigation) نامیده‌اند. در آبیاری قطره‌ای آب در یک سامانه لوله در مزرعه توزیع می‌شود و دستگاه یا وسیله مکانیکی که آب از آن خارج می‌شود، خروجی یا قطره‌چکان (Emitter) نام دارد. قطره‌چکان ممکن است بر سطح خاک قرار گیرد و یا این‌که خروجی در زیر سطح خاک باشد. هم‌چنین خروج آب ممکن است به‌صورت قطرات مجزا، پیوسته و یا جریان باریک باشد. خروجی، فشار آب را کاهش داده و به حدود ۰/۲ تا ۲ اتمسفر می‌رساند. در آبیاری قطره‌ای پخش آب در ناحیه محدودی از اطراف گیاه صورت می‌گیرد و مزرعه به‌صورت موضعی خیس می‌شود. خردآبیاری (Micro Irrigation) تعریف جامع‌تری از آبیاری قطره‌ای است که در آن خروجی تنها به‌شکل قطره‌چکان نیست بلکه شامل اسپری، بابلر و میکروجت نیز می‌شود که جریان بیشتری از این خروجی‌ها خارج می‌شود اما در کل خیس‌شدگی مزرعه به‌صورت موضعی انجام می‌شود (لیاقت و ملایی کندلوس، ۱۳۸۸).

۱-۱-۱ خردآبیاری

به کلیه روش‌هایی اطلاق می‌شود که در آنها آب مورد نیاز گیاه با جریان اندک و در مدت زمان طولانی به‌صورت قطرات مجزا، پیوسته و اسپری (Spray) با فشار کم در سطح خاک یا زیر سطح خاک تأمین می‌شود. برخی از روش‌های خردآبیاری عبارتند از (ضیاء تباراحمدی، ۱۳۷۱):

الف) آبیاری قطره‌ای سطحی

در روش آبیاری قطره‌ای سطحی (Surface Drip and Trickle Irrigation) پخش آهسته آب بر سطح به‌صورت قطرات مجزا، پیوسته و اسپری از طریق قطره‌چکان‌هایی که در طول خط لوله فرعی (Lateral) قرار دارند صورت می‌گیرد. در آبیاری قطره‌ای سطحی شدت خروجی قطره‌چکان‌ها با پخش نقطه‌ای، کمتر از هشت لیتر در ساعت با خروجی منفرد می‌باشد و شدت خروجی برای قطره‌چکان‌های با پخش نواری معمولاً کمتر از ۱۲ لیتر در ساعت در هر متر طول خط فرعی می‌باشد.

ب) آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (Subsurface Drip Irrigation) پخش آهسته آب در زیر سطح خاک با قطره‌چکان‌هایی که دبی آنها در حدود آبیاری قطره‌ای سطحی است صورت می‌گیرد. این روش با آبیاری زیرزمینی متداول که در آن ناحیه ریشه گیاه با کنترل سطح ایستابی آبیاری می‌شود متفاوت است و نباید با آن اشتباه گرفته شود. آبیاری با لوله تراوا، نمونه‌ای از این نوع آبیاری می‌باشد که در منطقه ریشه نصب شده و آب تحت فشار کم در آن جریان یافته و با تراوش از خود موجب مرطوب شدن آن منطقه می‌گردد.

ج) آبیاری فواره‌ای

در روش آبیاری فواره‌ای (Bubbler Irrigation) پخش آب بر سطح خاک به‌صورت جریان باریک یا فواره با آبدهی بیشتر از آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی و کمتر از ۲۳۵ لیتر در ساعت صورت می‌گیرد. دبی این قطره‌چکان‌ها از سرعت نفوذ نهایی آب در خاک بیشتر است و ایجاد یک حوضچه برای نگهداری یا کنترل رواناب ضروری می‌باشد.

د) آبیاری اسپری

در این روش پخش آب به‌وسیله یک مه‌پاش (Mist) کوچک بر سطح خاک صورت می‌گیرد. هوا نقش اساسی را در پخش آب ایفا می‌کند. آبدهی قطره‌چکان‌های اسپری معمولاً کمتر از ۱۷۵ لیتر در ساعت می‌باشد.

۱-۱-۲ مزایا و معایب آبیاری قطره‌ای

آبیاری قطره‌ای نیز مانند هر روش دیگری دارای مزایا و معایبی است. این مزایا و معایب عمدتاً از نظر فنی، اقتصادی و یا عوامل مربوط به رشد گیاه است. بنابراین در هنگان انتخاب روش آبیاری قطره‌ای و یا طراحی و اجرای این روش لازم است این جنبه‌ها نیز مورد ارزیابی قرار گیرد و تنها در صورتی که مزایای سامانه بیشتر از معایب آن باشد به مرحله اجرا گذاشته شود. به‌طور کلی در حال حاضر آبیاری قطره‌ای بیشتر در موارد زیر کاربرد دارد (علیزاده، ۱۳۸۲):

- در وضعیتی که مقدار آب کم یا هزینه تأمین آن زیاد باشد.
- در زمین‌های شنی و یا در مناطقی که نتوان زمین را برای سایر روش‌های آبیاری آماده کرد.

- در مورد گیاهانی که محصول آن را بتوان با قیمت زیاد به فروش رساند.

الف) مزایای آبیاری قطره‌ای

آبیاری قطره‌ای در مقایسه با روش‌های آبیاری بارانی و سطحی دارای مزایایی است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (علیزاده، ۱۳۸۰):

- بهره‌گیری بیشتر از منابع آبی
- رشد بهتر گیاه و افزایش محصول
- کاهش زیان وارده به گیاه در اثر استفاده از آب‌های با کیفیت پایین (پساب‌ها و آب‌های شور)
- امکان بکارگیری کود و سم همراه آب آبیاری
- جلوگیری از رویش علف‌های هرز
- نیاز به نیروی انسانی کمتر
- بالا بودن راندمان آبیاری
- جلوگیری از ایجاد رواناب سطحی و نیز نفوذ عمقی

ب) معایب آبیاری قطره‌ای

برخلاف موفقیت‌هایی که در آبیاری قطره‌ای حاصل شده است این روش معایبی نیز به‌همراه دارد که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (علیزاده، ۱۳۸۰):

- گرفتگی قطره‌چکان‌ها با املاح و مواد معلق
- زیان‌های ناشی از جوندگان مانند موش و سایر حیوانات
- تجمع نمک در سطح خاک
- حرکت محدود آب در خاک و عدم امکان توسعه زیاد ریشه
- محدودیت‌های فنی و اقتصادی
- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالا نسبت به سایر روش‌های آبیاری

۱-۱-۳ اجزای تشکیل‌دهنده سامانه آبیاری قطره‌ای

تعداد لوازم قابل دسترس سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در جهان زیاد است و انواع آن به سرعت در حال تغییر می‌باشد. در سال‌های اخیر تغییرات و پیشرفت‌های زیادی در اجزای تشکیل‌دهنده این سامانه‌ها به‌وجود آمده است. به‌طوری که به‌موجب نیاز و یا وضعیت مزرعه، سامانه‌های گوناگونی طراحی و اجرا می‌شود. از بین تمام لوازم آبیاری قطره‌ای، خروجی‌ها مهم‌ترین قسمت این سامانه‌ها محسوب می‌شوند (صادقی، ۱۳۸۴).

الف) واحد کنترل مرکزی و تأمین فشار

در سامانه آبیاری قطره‌ای وظیفه تصفیه آب، اندازه‌گیری فشار و هم‌چنین تعیین مدت زمان آبیاری بر عهده واحد کنترل مرکزی است. این واحد شامل پمپ، شیر تنظیم فشار، شیر یکطرفه، صافی‌ها، مخزن تزریق کود و مواد شیمیایی، فشارسنج و غیره می‌باشد. با توجه به وظیفه این واحد در آبیاری قطره‌ای طراحی و شناخت اجزای آن بسیار ضروری است.

ب) سامانه توزیع آب

شبکه توزیع آب در سامانه‌های قطره‌ای متشکل از لوله‌هایی با قطرهای متفاوت می‌باشد. این شبکه از پمپ شروع شده و به قطره‌چکان‌ها که آخرین اتصالات به‌شمار می‌روند ختم می‌شود.

اولین لوله‌ای که آب را از پمپ دریافت می‌کند لوله اصلی (Main pipe) بوده که به‌تدریج به لوله‌های نیمه-اصلی (Submain pipe) یا مانیفلد (Manifold) و سپس لوله‌های فرعی منتهی می‌گردد. لوله‌های اصلی و نیمه‌اصلی معمولاً ثابت بوده و در زیر زمین و عمق مناسب کار گذاشته می‌شوند. جنس این لوله‌ها می‌تواند پی وی سی، آزبست و یا پلی‌اتیلن باشد. قطر لوله‌های اصلی و نیمه‌اصلی بیشتر مواقع بین ۴۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر متغیر است که انتخاب نوع و قطر آنها در طراحی به دبی لوله‌های فرعی، ملاحظات اقتصادی و شرایط محیطی و زراعی بستگی دارد. لوله‌های نیمه‌اصلی هم‌چنین بسته به مورد ممکن است به اتصالاتی مانند فشارشکن، تنظیم‌کننده جریان، شیرفلکه دستی یا اتوماتیک، صافی و سایر وسایل دیگر مجهز باشند. لوله‌های فرعی نیز بیشتر از جنس پلی‌اتیلن ساخته شده و قطر آنها می‌تواند بین ۱۰ تا ۲۶ میلی‌متر باشد اما رایج‌ترین آن قطر ۱۶ میلی‌متر است. در طراحی سامانه و انتخاب قطر و طول لوله‌ها ملاحظات هیدرولیکی باید به‌صورتی بسیار دقیق مدنظر قرار گیرد. انتخاب اتصالات مناسب نظیر زانو، سه راه، رابط، کمربند، تبدیل و غیره هم بخش مهم دیگری از طراحی سامانه آبیاری قطره‌ای است که لوله‌های اصلی، نیمه‌اصلی و فرعی را به یکدیگر مرتبط می-کند. امروزه بیشتر از اتصالاتی استفاده می‌شود که دارای حداقل افت فشار باشند.

ج) خروجی‌ها یا قطره‌چکان‌ها

قطره‌چکان‌ها یا خروجی‌ها آخرین قسمت از یک سامانه آبیاری قطره‌ای هستند که باید ضمن مستهلک کردن فشار اضافی، آب را به محل مورد نظر در مزرعه تحویل دهند. قطره‌چکان‌ها آب را به شکل‌های مختلفی مانند قطره، جریان پیوسته یا منقطع و یا فوران خارج می‌نمایند. تاکنون انواع و اقسام بسیار متنوع از قطره‌چکان‌ها طراحی و ساخته شده است و همواره کوشش بر آن بوده که ضمن ارزان بودن قیمت و عدم حساسیت به تغییر درجه حرارت، عاری از مشکل گرفتگی باشند و در عین حال بتوانند آب را به‌صورت یکنواخت در اختیار گیاه قرار دهند. امروزه تنوع در ساخت قطره‌چکان‌ها به‌قدری زیاد است که به‌سختی می‌توان آنها را در گروه-هایی طبقه‌بندی کرد زیرا ممکن است در یک قطره‌چکان ترکیبی از مکانیزم‌های مختلف بکار رود.

۱-۱-۴ روش‌های طبقه‌بندی قطره‌چکان‌ها

قطره‌چکان‌ها را می‌توان بر اساس برخی از خصوصیات فنی، ساختمانی و هیدرولیکی مانند نحوه کاهش فشار آب، نوع جریان آب در داخل قطره‌چکان، نحوه اتصال به لوله، قابلیت شستشو، حساسیت در مقابل گرفتگی و قابلیت تنظیم فشار طبقه‌بندی نمود (صحاف‌امین و فرشی، ۱۳۷۸)

الف) بر اساس نحوه نصب روی لوله

- قطره‌چکان‌های داخل خط (In-Line) که کارخانه سازنده آنها را به فواصل مشخص و یا بر اساس سفارش در داخل لوله فرعی جای‌گذاری می‌کند.
- قطره‌چکان‌های خارج خط (On-Line) که به‌صورت جداگانه ساخته شده و روی خط لوله نصب می‌شوند. برای این منظور لوله فرعی سوراخ شده و قسمت تیزه‌ای قطره‌چکان به داخل لوله فرو برده می‌شود.

ب) بر اساس مستهلک کردن فشار

- طولانی‌مسیر (Long path) که با طولانی کردن مسیر عبور آب از طریق لوله‌های باریک باعث از بین رفتن فشار می‌شوند مانند انواع لوله‌های اسپاگتی شکل که به‌عنوان قطره‌چکان به لوله‌های فرعی متصل می‌شوند.
- قطره‌چکان‌های معوج مسیر (Tortuous path) که با ایجاد پیچ و خم در مسیر حرکت آب در داخل قطره‌چکان باعث افت انرژی می‌گردند.
- گردابی (Vortex) که در این قطره‌چکان‌ها آب طی خروج حالت چرخشی و گردابی پیدا کرده و مقدار زیادی از انرژی فشاری خود را مستهلک می‌نماید.
- روزنه‌ای (Oriffice) که در روزنه‌های لبه‌تیز میزان افت انرژی بستگی به شکل و حالت آن داشته که از این خاصیت در قطره‌چکان‌های نوع روزنه‌ای برای کاهش فشار استفاده شده است.

ج) بر اساس قابلیت شستشو

- قطره‌چکان‌های خودشوینده (Flushing) که در آنها آب به‌صورت منقطع و به اصطلاح فلاشی خارج می‌شود.
- قطره‌چکان‌های با جریان پیوسته (Continuous) که در حین این‌که آب به‌صورت جریان کوچک و پیوسته از آن خارج می‌شود اما سرعت آب در حدی است که مانع گرفتگی مسیر می‌شود.

د) بر اساس یکنواختی پخش آب

- قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده (Compensating)، دارای مکانیزمی هستند که با تغییر فشار آب، دبی خروجی از آنها ثابت باقی می‌ماند. اکثر این قطره‌چکان‌ها شوینده نیز می‌باشند و خود به خود مسیر حرکت آب را تمیز نگه می‌دارند.
- قطره‌چکان‌های غیر تنظیم‌کننده (Non-Compensating) که با تغییر فشار در داخل لوله دبی خروجی از آن تغییر می‌کند.

ه) بر اساس رژیم جریان آب در داخل قطره‌چکان‌ها

- جریان خطی که زبری جداره اثر چندان زیادی بر عدد رینولدز (Re)، ضریب اصطکاک و در نتیجه در شدت جریان ندارد ولی تغییرات درجه حرارت در این جریان با تأثیری که در لزجت آب می‌گذارد باعث تغییرات شدیدی در میزان جریان می‌گردد.
- جریان ناپایدار
- جریان نیمه‌متلاطم
- جریان متلاطم که ضریب اصطکاک مقدار نسبتاً پایینی بوده و میزان آن به زبری جداره مسیر آب بستگی دارد و تغییرات درجه حرارت در آن تأثیر چندانی ندارد.

۱-۲ وضعیت آبیاری قطره‌ای در جهان

یک گروه کاری از کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی بررسی آماری آبیاری قطره‌ای را در سطح جهان در دهه ۱۹۹۱-۱۹۸۱ به‌عهده گرفت که نتایج آن در پانزدهمین اجلاس این کمیسیون در سال ۱۹۹۳ انتشار یافت (ابوت، ۱۹۸۸). بر اساس این گزارش وسعت کل اراضی دنیا که تا سال ۱۹۹۱ با روش قطره‌ای آبیاری

می‌شدند بالغ بر ۱۷۶۸۹۸۷ هکتار برآورد شده است که نسبت به پنج سال قبل از آن (۱۹۸۶) حدود ۶۳ درصد و نسبت به ۱۰ سال قبل از آن (۱۹۸۱) بیش از ۳۲۹ درصد رشد داشته است (بوکز، ۱۹۹۳ و بوکز و همکاران، ۱۹۸۲). آمریکا با حدود ۶۰۶۰۰۰ هکتار آبیاری قطره‌ای در صدر کشورهای دنیا در بکارگیری این روش می‌باشد. سطح تحت آبیاری قطره‌ای در این کشور نسبت به سال ۱۹۸۶ حدود ۵۵ درصد افزایش داشته است. در وضعیت کنونی، اسپانیا با ۱۶۰۰۰۰ هکتار آبیاری قطره‌ای مقام دوم را دارا می‌باشد که گسترش وسعت این اراضی نسبت به سال ۱۹۸۶ قریب به ۴۲ درصد رشد داشته است. استرالیا، آفریقای جنوبی و فلسطین اشغالی به‌ترتیب با ۱۴۷۰۰۰، ۱۴۴۰۰۰ و ۱۰۴۰۰۰ هکتار آبیاری قطره‌ای از دیگر کشورهای پیش‌رو در این زمینه به‌شمار می‌روند. در زمینه خردآبیاری نیز کشورهای آمریکا، اسپانیا، استرالیا، آفریقای جنوبی و اسراییل از نظر سطح زیر کشت در جهان پیش‌رو می‌باشند. وسعت زمین‌های کشت شده با روش‌های خردآبیاری در پنج ساله ۱۹۸۶-۱۹۸۱ آفریقای جنوبی ۲/۵ و در برخی از کشورها مانند تایلند ۱۱ برابر افزایش پیدا کرده است. هر چند هنوز فقط ۰/۸ تا یک درصد از کل اراضی آبی دنیا با روش قطره‌ای آبیاری می‌شوند و این رقم نسبت به روش‌های آبیاری سطحی بسیار ناچیز می‌باشد اما درصد این اراضی در کشورهای مختلف بیان‌گر این واقعیت است که هرجا آب به‌لحاظ کمی و یا کیفی وضعیت بحرانی داشته است این روش گسترش بیشتری پیدا کرده است. مثلاً در سال ۱۹۹۱ در قبرس بیش از ۷۱ درصد اراضی فاریاب به روش قطره‌ای آبیاری می‌شدند و یا این رقم در کشورهای کم‌آبی مانند فلسطین اشغالی و اردن به‌ترتیب ۴۸ و ۲۱ درصد بوده است (ابوت، ۱۹۸۸؛ بوکز، ۱۹۹۳ و بوکز و همکاران، ۱۹۸۲).

۱-۳ وضعیت آبیاری قطره‌ای در ایران

در ایران سطح زیر کشتی که در چرخه کشاورزی قرار دارد سالانه حدود ۱۸ میلیون هکتار می‌باشد که سطح زیر کشت آبی ۷/۵ میلیون هکتار است و بقیه به کشت دیم و آیش اختصاص دارد. این امر نشان می‌دهد که با وجود اراضی قابل کشت، به دلیل محدودیت منابع آب هر ساله بخشی از آنها فاریاب شده و بعضی اراضی که دسترسی به آب مطمئن ندارند به امید بارندگی به‌صورت دیم کشت می‌شوند (ولی‌زاده، ۱۳۸۲). طبق گزارش-های اعلام شده توسط کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران (ولی‌زاده، ۱۳۸۲)، راندمان فعلی آبیاری در اراضی یکپارچه حدود ۳۲ درصد و در اراضی غیر یکپارچه حدود ۲۰ درصد است. این بدان معنی است که حدود ۷۰ الی ۸۰ درصد از آب مصرفی در هر مزرعه از دسترس کشاورز خارج می‌شود. اگر تاریخ طولانی آبیاری در جهان مرور گردد، مشاهده می‌شود که در سال‌های اخیر روش‌های جدید و متعدد آبیاری در راستای بالا بردن راندمان کاربرد آب ابداع شده است (ابوت، ۱۹۸۸ و بوکز، ۱۹۹۳). از سال ۱۹۱۰ آبیاری بارانی و از نیمه دوم قرن بیستم به این سو، آبیاری قطره‌ای در کشورهای پیشرفته صنعتی در سطح وسیع برای واحدهای زراعی و باغی مورد استفاده قرار گرفته و تا به امروز با شتاب زیادی در حال گسترش است. این دو روش آبیاری به دلیل نوع جریان آب در سامانه، آبیاری تحت فشار نام‌گذاری شده‌اند (ابوت، ۱۹۸۸ و بوکز و همکاران، ۱۹۸۲). در ایران گسترش سامانه‌های تحت فشار از چند سال پیش موضوع بحث روز سازمان‌های برنامه‌ریز کشاورزی بوده است. اولویت اول وزارت جهاد کشاورزی در برنامه بیست ساله، توسعه آبیاری تحت فشار بوده و پیش-بینی شده است که در این مدت حدود ۸۰۰ هزار هکتار از اراضی تحت پوشش قرار گیرد. هر چند آمار رسمی از سطح زیر کشت به روش قطره‌ای در ایران وجود ندارد اما داده‌های منتشر شده توسط کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی نشان می‌دهد که در سال ۱۹۸۰ حدود ۸۰۰ هکتار با این روش آبیاری می‌شد. بر اساس