



Performance Evaluation of a Tape Drip Irrigation System in Forage Maize Cultivation under Different Layout Arrangements

M. Karami Moghadam * , **H. Afshar**, and **A. Haghayeghi Moghadam**

Associate Prof., Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.

m_karami_mo@yahoo.com

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.

afsharch@yahoo.com

Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.

sahm51@yahoo.com

Article Info

Research Article

Received: December 21, 2025

Accepted: March 18, 2026

Keywords: Discharge variation, Dispersion uniformity percentage, Emitter clogging

Corresponding author's email:
m_karami_mo@yahoo.com

Abstract

In the present study, the performance of a drip irrigation system for silage maize cultivation was evaluated. The experiment was conducted as a split-plot arrangement within a randomized complete block design with three replications. The main plots consisted of two planting configurations, A1 and A2. In both configurations, four planting rows were established; however, in configuration A1, the row spacing was 75 cm, whereas in configuration A2, the spacing between every two adjacent rows was 30 cm. Furthermore, in the first configuration, four drip tapes with 75 cm spacing were used, while in the second configuration, two drip tapes with 1.5 m spacing were applied. The subplots included two emitter discharge rates: $Q_1=1.5$ and $Q_2=2.5$ L.h⁻¹. The results demonstrated that the arrangement of irrigation tapes had a significant effect on discharge variation, dispersion uniformity percentage, and clogging percentage at the 5%, 1%, and 5% levels, respectively. In addition, emitter discharge rate significantly affected discharge variation and dispersion uniformity percentage at the 1% probability level. The interaction effect between planting arrangement and emitter discharge rate was significant only for discharge variation at the 5% probability level. The findings further revealed that, in the absence of the SFI filtration system, complete emitter clogging would occur after approximately 29 to 36 irrigation events. In contrast, the application of SFI filtration reduced clogging levels in different treatments by 26.7% to 37.7%. Evaluation of the distribution uniformity coefficient indicated that its values ranged from 83% to 96% across treatments, corresponding to moderate to high system performance. Ultimately, treatment A2Q2 was identified as the superior treatment, achieving a yield of 27.07 t.ha⁻¹ and a water productivity of 11.21 kg.m⁻³.

Cite this article: Karami Moghadam, M., Afshar, H. and Haghayeghi Moghadam, A., 2026. Performance Evaluation of a Tape Drip Irrigation System in Forage Maize Cultivation under Different Layout Arrangements. *Journal of Water Research in Agriculture*, 39(4), pp. 391-403.






نشریه پژوهش آب در کشاورزی

wra.areeo.ac.ir://https

ارزیابی عملکرد سامانه آبیاری قطره‌ای تیپ در کشت ذرت علوفه‌ای با آرایش‌های مختلف

مهدی کرمی مقدم* , هادی افشار و ابوالقاسم حقایقی مقدم

دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات و آموزش

کشاورزی، مشهد، ایران. m_karami_mo@yahoo.com

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات و آموزش

کشاورزی، مشهد، ایران. afsharch@yahoo.com

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات و آموزش

کشاورزی، مشهد، ایران. sahm51@yahoo.com

اطلاعات مقاله

چکیده

مقاله پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۴/۹/۳۰

پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۷

واژه‌های کلیدی: تغییرات دبی،
ضریب یکنواختی پخش، گرفتگی
روزنه‌ها

آدرس ایمیل نویسنده مسئول:

m_karami_mo@yahoo.com

در این پژوهش، عملکرد سامانه آبیاری قطره‌ای در کشت ذرت علوفه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل دو آرایش کشت A₁ و A₂ بود. در هر دو آرایش، چهار خط کاشت در نظر گرفته شد؛ با این تفاوت که در آرایش A₁ فاصله خطوط کاشت ۷۵ سانتی‌متر و در آرایش A₂ فاصله هر دو خط کاشت ۳۰ سانتی‌متر بود. همچنین، در آرایش اول از چهار نوار تیپ با فاصله ۷۵ سانتی‌متر و در آرایش دوم از دو نوار تیپ با فاصله ۱/۵ متر استفاده شد. کرت‌های فرعی نیز شامل دو دبی روزنه ۱/۵ و ۲/۵ Q₁ و Q₂ لیتر در ساعت بود. نتایج نشان داد که آرایش نوارهای آبیاری اثر معنی‌داری بر شاخص‌های تغییرات دبی، ضریب یکنواختی پخش و درصد گرفتگی داشت و این اثر به ترتیب در سطوح ۵٪، ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بود. همچنین، دبی روزنه تأثیر معنی‌داری بر تغییرات دبی و ضریب یکنواختی پخش در سطح ۱٪ نشان داد. اثر متقابل آرایش کشت و دبی روزنه نیز تنها بر تغییرات دبی در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. نتایج نیز نشان داد که در صورت عدم استفاده از سامانه فیلتراسیون، گرفتگی کامل روزنه‌ها پس از حدود ۲۹ تا ۳۶ نوبت آبیاری رخ خواهد داد. در مقابل، به کارگیری اسکرین فیلتر خودشوینده هوشمند موجب کاهش میزان گرفتگی در تیمارهای مختلف به میزان ۲۶/۷٪ تا ۳۷/۷٪ شد. بررسی شاخص یکنواختی پخش نشان داد که مقادیر این شاخص در تیمارهای مختلف بین ۸۳٪ تا ۹۶٪ متغیر بوده و در طبقه‌بندی عملکرد سامانه، در محدوده متوسط تا زیاد قرار می‌گیرد. در نهایت، تیمار A₂Q₂ با عملکرد ۲۷/۰۷ تن در هکتار و بهره‌وری آب ۱۱/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب، به عنوان تیمار برتر معرفی شد.

استاد: کرمی مقدم، مهدی، افشار، هادی، و حقایقی مقدم، ابوالقاسم، ۱۴۰۴. ارزیابی عملکرد سامانه آبیاری قطره‌ای تیپ در کشت ذرت علوفه‌ای با آرایش‌های مختلف. نشریه پژوهش آب

در کشاورزی، ۳۹ (۴)، صص. ۳۹۱-۴۰۳



DOI : <https://doi.org/10.22092/jwra.2026.371797.1104>

این سامانه‌ها، گرفتگی قطره‌چکانها و طراحی هیدرولیکی غیراصولی است.

ما و همکاران (۲۰۲۴) و لی و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقاتی تأثیر شستشوی دوره‌ای لترال‌ها بر میزان گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با آب دارای غلظت بالای رسوبات معلق مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد در سامانه بدون شستشو، کاهش دبی قطره‌چکان‌ها تا بیش از ۳۰ درصد مشاهده می‌شود. همچنین اجرای شستشوی روزانه لترال‌ها سبب کاهش محسوس گرفتگی و بهبود یکنواختی پخش ۱۲ تا ۱۸ درصد می‌شود. قندور و همکاران (۲۰۲۴) برای استفاده از آب‌شور زیرزمینی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی، یک رویکرد نوآورانه به نام اولتراسونیک برای پیشگیری از گرفتگی قطره‌چکان‌ها معرفی کردند. لی و همکاران (۲۰۲۵) عملکرد هیدرولیکی سامانه آبیاری قطره‌ای بر پایه فناوری آبیاری قطره‌ای هوادهی شده با میکرو حباب‌ها و نانو حباب‌ها را مورد بررسی قرار دادند. الگوهای گرفتگی قطره‌چکان‌ها و میزان یکنواختی سامانه در دو حالت آبیاری قطره‌ای بدون هوادهی و آبیاری تلفیقی (آب-کود-هوا) مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد تلفیق به‌طور قابل توجهی باعث تغییر ساختار میکروسکوپی و تنوع میکروبی درون قطره‌چکان‌های گرفته می‌شوند. این تغییر موجب کاهش میزان گرفتگی و تأخیر در روند انسداد قطره‌چکان‌ها از انواع مختلف شده و در نتیجه طول عمری کاری آن‌ها را تا ۲۹ درصد افزایش می‌دهد.

صدقاتی (۱۳۸۰) عملکرد سامانه‌های آبیاری موجود در باغات پسته رفسنجان را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج او نشان داد یکنواختی توزیع سامانه‌های مورد بررسی، در بازه ۴۷ تا ۵۹ درصد قرار دارد و عملکرد را ضعیف تا متوسط ارزیابی کردند.

نصرالهی و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی عملکرد هیدرولیکی قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده و غیرتنظیم‌کننده فشار، گزارش کردند با افزایش دمای آب آبیاری، دبی قطره-چکان‌های غیرتنظیم‌کننده فشار، افزایش می‌یابد.

در آبیاری قطره‌ای یکنواختی دبی خروجی قطره-چکان‌ها، راندمان سامانه را بالا می‌برد. عواملی نظیر فشار، ویژگی‌های فیزیکی قطره‌چکان و گرفتگی بر روی یکنواختی تأثیر می‌گذارند (پیتس و همکاران، ۱۹۹۰). گرفتگی قطره‌چکان‌ها علاوه بر اینکه به خصوصیات ساخت روزنه بستگی دارد، کارکرد فیلتراسیون نیز روی آن تأثیرگذار است. علاوه بر عوامل بالا، مدیریت سامانه نیز عامل مهمی در عملکرد مناسب آبیاری قطره‌ای به شمار می‌آید. مدیریت سامانه با تنظیم ساعات آبیاری، دور آبیاری، کنترل فشارها، نظارت کلی بر عملکرد سامانه و کاربرد صحیح کود و دیگر مواد شیمیایی نقش مهمی در بازده کاربرد و عملکرد دارد. به همین دلیل وضعیت کارکرد سامانه باید مورد ارزیابی قرار گیرد (پیتس و همکاران، ۱۹۹۰).

کاپرا و سایکولون (۱۹۹۸) باهدف تعیین پارامترهای مؤثر در گرفتگی قطره‌چکان‌ها، پژوهشی در جنوب ایتالیا انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد کیفیت آب و موقعیت قطره‌چکان روی لترال، در میزان گرفتگی آن تأثیرگذار است. دهقانی سانچ و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیق خود از قطره‌چکان‌هایی با خصوصیات هیدرولیکی و فیزیکی متفاوت و آب‌شور به‌صورت آبیاری روزانه و شبانه در منطقه اشتهاورد و سیرجان، استفاده کردند. نتایج نشان داد گرفتگی قطره‌چکان‌ها در صورت استفاده از آب‌شور در شب و آبدهی کمتر از سه لیتر بر ساعت، کاهش می‌یابد.

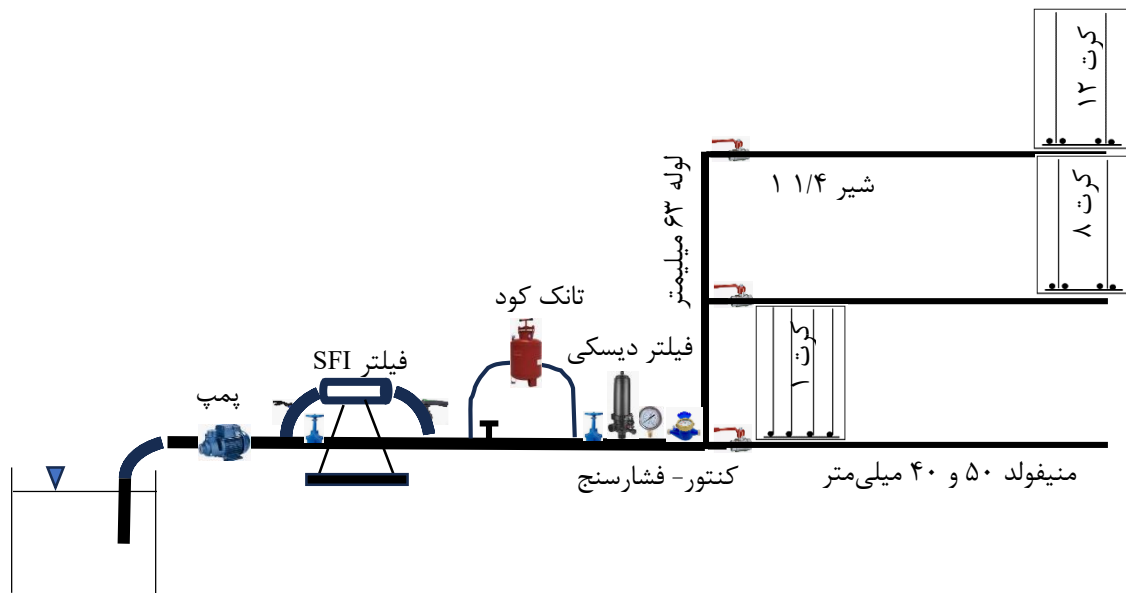
محمد و همکاران (۲۰۲۱) معتقدند به علت اینکه کودها حاوی یون‌هایی هستند که با یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} موجود در آب‌شور واکنش داده و رسوب تشکیل می‌دهند، آبیاری همراه با کود می‌تواند گرفتگی و رسوب‌گذاری قطره‌چکان‌ها را بیش‌ازپیش تشدید کند. فرناندو و همکاران (۲۰۲۴) عملکرد سامانه‌های آبیاری موضعی شامل آبیاری قطره‌ای و مینی اسپری در مزارع نارگیل را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد علت اصلی عملکرد ضعیف

پژوهش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل دو آرایش کشت A_1 و A_2 بود. در هر دو آرایش کاشت چهار خط کاشت وجود داشت با این تفاوت که در آرایش A_1 ، فاصله خطوط کاشت ۷۵ سانتیمتر و در آرایش A_2 ، فاصله هر دو خط کاشت ۳۰ سانتیمتر بود (شکل ۱-ب). تفاوت دیگر این دو آرایش در تعداد نوارهای تیپ پلاک‌دار (ساخت شرکت رام پلاست شرق) بود که آرایش اول شامل چهار نوار تیپ و آرایش دوم دارای دو نوار تیپ بود؛ بنابراین در آرایش اول فاصله نوار تیپ‌ها ۷۵ سانتیمتر و در آرایش دوم ۱/۵ متر (یک در میان) بود (شکل ۱-ب). کرت فرعی شامل دو سطح دبی روزنه شامل چهار تیمار و با در نظر گرفتن سه تکرار، تعداد کرت‌ها ۱۲ عدد هست. ابعاد هر کرت ۳×۸ متر یا ۲۴ متر مربع است. توزیع فشار در لوله ۱۶ میلی‌متر ممکن است در آرایش‌های مختلف متفاوت باشد. این موضوع می‌تواند در گرفتگی روزنه‌ها و یکنواختی پخش اثر بگذارد.

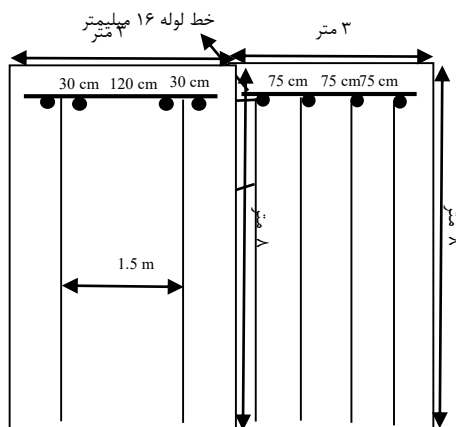
هزارجریبی و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی عملکرد قطره-چکان‌های مختلف به این نتیجه رسیدند که فارغ از اعداد داخل کاتالوگ، طراحی سامانه آبیاری قطره‌ای به‌ویژه رابطه دبی-فشار باید بر اساس نتایج واقعی آزمایشگاهی باشد. همان‌طور که در مطالعات پیشین مشاهده می‌شود عوامل مختلفی روی گرفتگی قطره‌چکان‌ها مؤثر است. در این مطالعات به عواملی نظیر موقعیت قطره‌چکان روی لترال، ویژگی‌های فیزیکی قطره‌چکان، کیفیت آب و غیره اشاره شده ولی به نظر می‌رسد تأثیر آرایش نوارهای آبیاری مورد بررسی قرار نگرفته است. در این تحقیق با بکار بردن نوارهای تیپ پلاک‌دار با دبی مختلف و نوع خاصی از فیلتراسیون، میزان گرفتگی، یکنواختی توزیع و تغییرات دبی روزنه‌های نوارهای تیپ در آرایش‌های مختلف این نوارها، بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای یک طرح کشت ذرت علوفه‌ای در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (طرق) انجام شد. شکل (۱-الف) تجهیزات سامانه آبیاری را نشان می‌دهد. از آبیاری اول تا هفتم از فیلتراسیون در سامانه استفاده نشد تا اثر عدم استفاده از فیلتراسیون در گرفتگی روزنه‌ها مشخص شود. پس از آن در نوبت هشتم، فیلتراسیون در مدار قرار گرفت و ارزیابی سامانه در این نوبت انجام شد. این



الف



آرایش A₂

آرایش A₁

ب

شکل ۱- الف) نمای طرح، ب) آرایش نوارهای تیپ

Figure 1- (a) Layout of the experimental design, (b) Arrangement of the tape laterals



شکل ۲- اسکرین فیلتر SFI
Figure 2- SFI screen filter

فیلتراسیون

فیلتراسیون شامل یک فیلتر دیسکی و نوع خاصی از فیلتراسیون به نام اسکرین فیلتر خود شوینده SFI بود. اسکرین فیلتر SFI ساخت شرکت پژواک صنعت فراهان بوده و بعد از آبیاری نوبت هفتم در مدار قرار گرفت.

مشخصات اقلیمی

عرض جغرافیای ایستگاه ۳۶ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و طول آن ۵۹ درجه و ۴۰ دقیقه و ارتفاع آن از سطح دریا ۹۸۵ متر است. بر اساس داده‌های هواشناسی ۳۰ ساله حداقل دمای مطلق ماهانه ۲۸- و حداکثر مطلق آن ۴۱/۶ درجه سانتی‌گراد بوده است. متوسط حداقل دمای ماهانه ۶/۵ و متوسط حداکثر آن ۲۱ درجه است. ماه مرداد با دمای متوسط حداقل ۱۷/۹ و حداکثر ۳۴/۴ درجه گرم‌ترین و بهمن‌ماه با حداقل ۵/۱- و حداکثر ۶/۷ درجه سردترین ماه سال است. میانگین بارندگی سالانه در محل آزمایش حدود ۲۵۰ میلی‌متر است که از این بابت نمونه یک منطقه نیمه‌خشک تا خشک به حساب می‌آید.

مشخصات خاک

با ایجاد نیمرخ خاک در مزرعه تا عمق ۸۰ سانتیمتری، در لایه‌های ۰-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰ و ۶۰-۸۰ سانتیمتر کلیه پارامترها شامل بافت خاک، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی اندازه‌گیری شد (جدول ۱). بافت خاک، سیلتی لوم و لوم است.

به ادعای شرکت سازنده، این اسکرین فیلترهای خود شوینده انعطاف‌پذیری بالایی نسبت به آلوده شدن ناگهانی آب در فیلتراسیون کشاورزی دارند. همچنین با قابلیت انعطاف‌پذیری بالا در نوع مش و کاتریج آن می‌توان در بخش‌های متفاوت انواع آبیاری از آن استفاده کرد. اسکرین فیلترهای خود شوینده هوشمند شرکت دانش‌بنیان پژواک صنعت فراهان مجهز به پنل الکترونیکی بوده، دارای کاتریج داخلی تماماً استیل، دارای پیش‌تصفیه و توری دولایه استیل هستند که در نوع خود منحصر به فرد بوده و با قابلیت‌های اضافی و سفارشی در انواع سایزهای ۶ الی ۱۶۰۰ لیتر بر ثانیه آب را تصفیه می‌کنند. این فیلترها بدون نیاز به سرویس کوتاه‌مدت و تأمین و نگهداری ثابت، بسیار مقرون‌به‌صرفه بوده و با قابلیت خودشویندگی اتومات، حجم عملیات آبیاری را کاهش داده و با کیفیت بسیار مطلوب‌تر از سایر فیلترها، عملیات فیلتراسیون را به‌درستی انجام می‌دهد. شستشوی خودکار اسکرین فیلتر پس از ایجاد یک میزان افت فشار مشخص قابل تنظیم قبل و بعد از فیلتر، انجام می‌شود. در این پژوهش برای خودشویندگی افت مجاز فشار روی ۰/۷ بار تنظیم شد. با نمونه‌گیری از آب قبل و بعد از این نوع فیلتر، عملکرد آن بر روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری نیز بررسی شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک

Table 1- Physical properties of the soil

رطوبت حجمی خاک (درصد) Soil Volumetric Water Content (%)			وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب) Bulk density (gr/cm ³)	بافت خاک Soil texture	درصد ذرات خاک The percentage of soil particles			عمق لایه (سانتیمتر) Layer depth (cm)
قابل دسترس Available water	نقطه پژمردگی Wilting point	ظرفیت زراعی Field capacity			سیلت Silt	رس Clay	شن Sand	
15.79	12.20	27.99	1.41	سیلتی لوم (Silt-Loam)	58	14	28	0-20
17.20	12.70	29.90	1.51	سیلتی لوم (Silt-Loam)	54	22	24	20-40
13.62	13.30	26.92	1.45	لوم (Loam)	50	24	26	40-60
13.91	9.80	23.71	1.42	لوم (Loam)	46	18	36	60-80

کیفیت آب آبیاری

(Mn²⁺)، آهن (Fe²⁺)، سولفید هیدروژن (H₂S)، کربنات کلسیم (CaCO₃)، قابلیت هدایت الکتریکی (Ec)، کلسیم (Ca²⁺)، منیزیم (Mg²⁺)، سدیم (Na⁺)، بی‌کربنات (HCO₃⁻)، کلر (Cl⁻) و نسبت جذب سدیم (SAR) در نمونه آب قبل و بعد از فیلتراسیون اندازه‌گیری شد.

برای بررسی اثر فیلتراسیون SFI در بهبود کیفیت آب آبیاری، پارامترهای کل مواد جامد معلق (TSS)، کل مواد محلول (TDS)، خاصیت اسیدی (PH)، منگنز

آنالیز فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری

پارامترها در آب قبل و بعد از فیلتراسیون SFI در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

جداول (۲) و (۳) معیارهای پتانسیل گرفتگی روزنه‌ها در آبیاری قطره‌ای (کوتور، ۲۰۰۴) و مقادیر این

جدول ۲- مقادیر پارامترهای مؤثر در گرفتگی روزنه‌ها، قبل و بعد از فیلتر SFI

Table 2- The parameters affecting emitter clogging before and after the SFI filter

فاکتور Factor	میزان قبل از فیلتر SFI Before SFI	میزان بعد از فیلتر SFI After SFI	میزان خطر گرفتگی روزنه‌ها Emitter clogging risk		
			هیچ None	کم تا متوسط Low to Medium	زیاد High
TSS (mg/l)	150	10	<50	50-100	>100
PHa	8	8.2	<7	7-8	>8
TDS (mg/l)	745	230	<500	500-2000	>2000
Ec (dS/m)	0.83	0.84	<0.7	0.7-3	>3

جدول ۳- مقادیر معمول فاکتورها در آب آبیاری و مقادیر آن‌ها قبل و بعد از فیلتر SFI

Table 3- Typical values of factors in irrigation water and their values before and after the SFI filter

فاکتور Factor	قبل از فیلتر SFI Before SFI	بعد از فیلتر SFI After SFI	مقدار معمول Normal
Ca ²⁺	3.3	2.9	0-20 meq/l
Mg ²⁺	2.7	2.9	0-5 meq/l
Na ⁺	4.3	4.1	0-40 meq/l
HCO ₃ ⁻	4.1	3.5	0-10 meq/l
Cl ⁻	2.6	2.6	0-30 meq/l
SAR	2.5	2.4	0-15 (meq/l) ^{0.5}



شکل ۳- اندازه‌گیری دبی روزنه

Figure 3- Measurement of emitter discharge

همان‌طور که در جدول (۲) مشخص است، فیلتر SFI، مقادیر اکثر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب که در گرفتگی روزنه‌ها نقش دارند، کاهش داده است. مقادیر جدول (۳) نیز نشان می‌دهد این فاکتورها قبل و بعد از فیلتر SFI، در محدوده مطلوب جهت آبیاری قطره‌ای قرار دارند.

اندازه‌گیری شاخص‌های ارزیابی

پس از پایداری سامانه در آبیاری نوبت‌های اول، هفتم و هشتم و کنترل فشار با فشارسنج، با جمع‌آوری آب در قوطی‌ها در مدت‌زمان پنج دقیقه، اندازه‌گیری دبی روزنه‌ها انجام شد (شکل ۳). برای هر کرت، دبی در ۱۰ روزنه روی نوارهای تیپ در قسمت‌های ابتدایی، میانی و چارک انتهایی نوار اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری دبی در آبیاری اول و هفتم برای پایش گرفتگی کامل روزنه‌ها (در صورت استفاده نکردن از فیلتر SFI) انجام شد.

با استفاده از دبی‌های اندازه‌گیری شده در نوبت آبیاری هشتم، پارامترهای ضریب تغییرات ساخت، ضریب تغییرات دبی، ضریب یکنواختی پخش و ضریب گرفتگی محاسبه و با استفاده از نرم‌افزار SPSS آنالیز واریانس صورت گرفت.

ضریب تغییرات ساخت

چنانچه تعدادی از قطره‌چکان‌های ساخت یک کارخانه در شرایط یکسان فشار و دما مورد آزمایش و آبدهی آن‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گیرد، مشاهده خواهد شد که عموماً مقادیر آبدهی اندازه‌گیری شده با هم مساوی نبوده و با یکدیگر اختلاف دارند. برای تعریف تفاوت بین خروجی از قطره‌چکان‌های ساخت یک کارخانه با یکدیگر از ضریب تغییرات ساخت (CV) به صورت زیر استفاده می‌شود (ASAE, 2003).

$$CV = \frac{S_d}{q_a} \quad (1)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_a)^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$q_a = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n} \quad (3)$$

که در آن‌ها: q_i (L/hr) دبی اندازه‌گیری شده روزنه‌ها (قطره‌چکان‌ها)، q_a (L/h) دبی متوسط روزنه‌ها، S_d (L/h) انحراف معیار دبی‌های اندازه‌گیری شده و n تعداد روزنه‌های مورد آزمایش است.

ضریب تغییرات دبی

شاخص ارزیابی تغییرات دبی (ΔQ) در قطره-چکان‌ها یا روزنه‌ها، مقایسه حداکثر و حداقل دبی در قطره-چکان‌ها بوده که به صورت رابطه (۴) به دست می‌آید (چوپان و امامی، ۱۳۹۹):

$$\Delta Q = \left(\frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_{\max}} \right) \times 100 \quad (4)$$

که در آن: q_{\max} (L/hr) و q_{\min} (L/hr) به ترتیب دبی حداکثر و حداقل است.

ضریب یکنواختی پخش

در یک سامانه آبیاری قطره‌ای برای آنکه بتوان رابطه‌ای بین عمق خالص و ناخالص آبیاری را در منطقه ریشه به دست آورد، باید ضریب یکنواختی آن مشخص شود. از آنجاکه یکنواختی پخش آب یکی از دو جزو مؤثر بر راندمان آبیاری است، بنابراین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پارامتر بر اساس رابطه کلرو و کارملی (۱۹۷۴) به صورت رابطه زیر ارائه می‌شود:

$$EU = \frac{q_n}{q_a} \times 100 \quad (5)$$

که در آن: q_n متوسط دبی روزنه‌ها در چارک پایین و q_a دبی متوسط روزنه‌های مورد آزمایش بر حسب لیتر بر ساعت است.

ضریب گرفتگی

درصد گرفتگی روزنه یا قطره‌چکان به صورت رابطه زیر به دست می‌آید (معروف‌پور و همکاران، ۲۰۲۱):

$$Cr = \frac{q_{in} - q_{ex}}{q_{in}} \times 100 \quad (6)$$

که در آن: Cr (%) درصد گرفتگی در مقطع زمانی مورد نظر نسبت به ابتدای فصل، q_{in} (L/hr) دبی متوسط اولیه فصل برای روزنه‌های مورد نظر و q_{ex} (L/hr) دبی متوسط این روزنه‌ها در آبیاری نوبت هفتم هست. طبقه‌بندی توصیفی این پارامترها در جدول (۴) آمده است (کاپرا و سایکولون، ۱۹۹۸، وی و همکاران، ۲۰۰۸).

جدول ۴- طبقه‌بندی توصیفی شاخص‌ها

Table 4- Descriptive classification of the indices

شاخص هیدرولیکی Hydraulic index	طبقه‌بندی Classification		
	کم Low	متوسط Medium	زیاد High
CV	<0.05	--	>7
Cr	--	--	>25
EU	>71	71-89	>89

نتایج و بحث
 آنالیز تجزیه واریانس و آرایش جدول ۵ خلاصه نتایج تجزیه واریانس تغییرات دبی، ضریب یکنواختی و درصد گرفتگی در نوبت آبیاری

هشتم (میانگین مربعات) را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، مؤلفه تکرار در سطح پنج درصد بر روی ضریب یکنواختی پخش تأثیر معنی‌دار داشته و بر روی متغیرهای تغییرات دبی و درصد گرفتگی غیر معنی‌دار است.

جدول ۵- خلاصه نتایج تجزیه واریانس تغییرات دبی، ضریب یکنواختی و درصد گرفتگی در نوبت آبیاری هشتم (میانگین مربعات)
Table 5- Summary of analysis of variance results for discharge variation, dispersion uniformity percentage, and clogging percentage at the eighth irrigation event (mean squares)

مؤلفه Component	درجه آزادی Degree of freedom	تغییرات دبی (ΔQ) Discharge variation	ضریب یکنواختی پخش (EU) Dispersion uniformity percentage	درصد گرفتگی (Cr) Clogging percentage
تکرار (R)	2	1.73 ^{ns}	19.29*	0.766 ^{ns}
آرایش نوارها (A)	1	53.93*	126.36**	15.939*
خطا (a)	2	0.845	0.123	0.309
دبی روزنه (Q)	1	226.548**	120.967**	3.597 ^{ns}
A×Q	1	53.94*	1.009 ^{ns}	0.468 ^{ns}
خطا (b)	4	3.089	3.672	0.842
ضریب تغییرات (CV)		27.3	5.9	10.4

ns و *، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار است

واریانس، پارامتر آرایش نوارها (A) بر روی ضریب تغییرات یکنواختی پخش (EU) در سطح یک درصد و بر روی تغییرات دبی (ΔQ) و درصد گرفتگی (Cr) در سطح پنج درصد معنی‌دار است.

جدول (۶) مقایسه میانگین تغییرات دبی، ضریب یکنواختی و درصد گرفتگی در تکرارهای مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، تکرار سه و تکرار یک به ترتیب با ۹۰/۵۸ و ۸۶/۷۲ درصد، بیشترین و کمترین ضریب یکنواختی پخش را دارد. با توجه به جدول تجزیه

جدول ۶- میانگین تغییرات دبی، ضریب یکنواختی و درصد گرفتگی در تکرار مختلف (آبیاری هشتم)

Table 6- Mean values of discharge variation, dispersion uniformity percentage, and clogging percentage under different replications (eighth irrigation event)

تکرار (R)	تغییرات دبی (ΔQ) (%) Discharge variation	ضریب یکنواختی پخش (EU) (%) Dispersion uniformity percentage	درصد گرفتگی (Cr) (%) Clogging percentage
1	19.947	86.72 ^{bc}	14.30
2	20.952	90.47 ^{ab}	14.39
3	21.185	90.58 ^a	15.10

می‌تواند توزیع بهتر جریان با لوله ۱۶ میلی‌متر بین چهار نوار آبیاری تیپ نسبت به دو نوار تیپ باشد. همان‌طور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود درصد گرفتگی در آرایش نوارهای A₁ با ۱۵/۷۵ درصد گرفتگی (گروه a)، بیشتر از آرایش نوارهای A₂ با ۱۳/۴۴ درصد گرفتگی (گروه b) است. همان‌طور که قبلاً آمده است آرایش A₂ دارای تغییرات دبی بیشتر و ضریب یکنواخت پخش کمتری بود. این مسئله باعث شد تا در انتهای کرت‌هایی با آرایش A₂

جدول (۷) مقایسه میانگین این پارامترها را در آرایش‌های مختلف نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، تغییرات دبی در آرایش نوارهای A₂ (یک‌درمیان) نسبت به آرایش نوارهای A₁ بیشتر است. آرایش A₂ با تغییرات دبی ۲۲/۸۱ درصد در گروه a و آرایش A₁ با تغییرات دبی ۱۸/۵۷ درصد در گروه b قرار دارد. ضریب یکنواختی پخش (EU) در آرایش A₁ (۹۲/۵) درصد در گروه a بیشتر از آرایش A₂ (۸۶/۰۱) درصد در گروه b هست. علت آن

رشد ذرت علوفه‌ای حدود ۱۰ درصد کمتر از دیگر قسمت‌های کرت باشد.

جدول ۷- میانگین تغییرات دبی، ضریب یکنواختی و درصد گرفتگی در آرایش مختلف نوارهای تیپ (آبیاری هشتم)

Table 7- Mean values of discharge variation, dispersion uniformity percentage, and clogging percentage under different drip tape arrangements (eighth irrigation event)

ضریب یکنواختی پخش (EU) Dispersion uniformity percentage	تغییرات دبی (ΔQ) Discharge variation	درصد گرفتگی (Cr) Clogging percentage	آرایش (Layout)
92.50 ^a	18.57 ^b	15.75 ^a	A ₁
86.01 ^b	22.81 ^a	13.44 ^b	A ₂

یکنواختی پخش ۸۶/۰۸ درصد است. نوارهای تیپ با دبی روزنه $Q_2=2.5$ L/hr دارای مقدار تغییرات دبی ۲۵/۰۴ درصد و ضریب یکنواختی پخش ۹۲/۴۳ درصد است. دبی روزنه بر روی درصد گرفتگی تأثیر معنی‌داری ندارد. این نشان می‌دهد نوارهای تیپ با دبی روزنه‌های ۱/۵ L/hr و ۲/۵ L/hr به یک اندازه در معرض خطر گرفتگی قرار دارند.

همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس مشخص است، دبی روزنه بر روی تغییرات دبی (ΔQ) و ضریب یکنواختی پخش (EU) در سطح یک درصد معنی‌دار است. جدول (۸) میانگین تغییرات دبی (ΔQ)، ضریب یکنواختی پخش (EU) و درصد گرفتگی (Cr) را در دبی‌های مختلف روزنه نشان می‌دهد. نوارهای تیپ با دبی $Q_1=1.5$ L/hr دارای مقدار تغییرات دبی ۱۶/۳۵ درصد و ضریب

جدول ۸- مقایسه میانگین تغییرات دبی، ضریب یکنواختی و درصد گرفتگی در دبی‌های مختلف روزنه (آبیاری هشتم)

Table 8- Comparison of mean discharge variation, dispersion uniformity percentage, and clogging percentage for different emitter discharge rates (eighth irrigation event)

ضریب یکنواختی پخش (EU) Dispersion uniformity percentage (%)	تغییرات دبی (ΔQ) (%)	درصد گرفتگی (Cr) Clogging percentage (%)	Q
86.08 ^b	16.35 ^b	15.14	Q ₁
92.43 ^a	25.04 ^a	14.05	Q ₂

گروه c قرار دارند. این نشان می‌دهد فارغ از نوع آرایش نوارها، نوارهای دارای روزنه با دبی Q_2 دارای تغییرات دبی بیشتری هستند.

با توجه به جدول (۱)، مقادیر ضریب یکنواختی پخش و درصد گرفتگی برای نوبت هشتم مطلوب محسوب می‌شود. همان‌طور که از نتایج این پژوهش مشخص است، عوامل مختلفی ممکن است بر روی ضریب یکنواختی پخش و درصد گرفتگی نقش داشته باشند. این نتیجه با نتیجه پیتس و همکاران، (۱۹۹۰) مطابقت دارد.

با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل مؤلفه‌های آرایش نوارها و دبی روزنه ($A \times Q$) فقط بر روی تغییرات دبی (ΔQ) در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. جدول (۹) مقادیر میانگین پارامترهای مختلف را در فاکتور اثر متقابل نشان می‌دهد.

اثر متقابل A_2Q_2 دارای بیشترین درصد تغییرات دبی (۲۹/۲۸ درصد) و اثر متقابل A_1Q_1 و A_2Q_1 دارای کمترین درصد تغییرات (۱۶/۳۵ درصد) می‌باشند. اثر متقابل A_2Q_2 در گروه a، A_1Q_2 در گروه b و A_1Q_1 و A_2Q_1 در

جدول ۹- میانگین تغییرات دبی، ضریب یکنواختی و درصد گرفتگی در فاکتور اثر متقابل (آبیاری هشتم)

Table 9- Mean values of discharge variation, dispersion uniformity percentage, and clogging percentage for the interaction effect factor (eighth irrigation event)

درصد گرفتگی (Cr) (%) Clogging percentage	ضریب یکنواختی پخش (%) (EU) Dispersion uniformity percentage	تغییرات دبی (AQ) (%) Discharge variation	AQ
16.10	89.04	16.35 ^c	A ₁ Q ₁
15.40	95.97	20.80 ^b	A ₁ Q ₂
14.19	83.13	16.35 ^c	A ₂ Q ₁
12.70	89.90	29.28 ^a	A ₂ Q ₂

گرفتگی انجام شد. جدول (۱۰) درصد گرفتگی در نوبت-های اول، هفتم و هشتم و پیش‌بینی زمان گرفتگی کامل روزنه‌های تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشخص شده است، در تیمارهای مختلف در آبیاری نوبت هفتم روزنه‌ها بین ۱۹/۳۷ تا ۲۴ درصد گرفتگی دارند. همچنین پیش‌بینی می‌شود در صورت استفاده نکردن از فیلتراسیون SFI، پس از ۲۹ تا ۳۶ نوبت آبیاری، گرفتگی کامل روزنه‌ها رخ دهد. چوپان و امامی (۱۳۹۹) برای قطره‌چکان ایران‌دریپ اعلام کردند در صورت استفاده از آب چاه، پس از ۳۳ نوبت آبیاری، انسداد کامل قطره‌چکان‌ها رخ خواهد داد. همچنین گزارش کردند انسداد روزنه‌ها یا قطره‌چکان‌ها، حاصل انباشتگی و به دام افتادن ذرات ماسه در مسیر آن‌هاست.

ضریب تغییرات ساخت

برای محاسبه ضریب تغییرات ساخت، از هر کدام از روزنه‌های ۱/۵ و ۲/۵ لیتر بر ساعت، تعداد یازده روزنه انتخاب شد. مقدار ضریب یکنواختی برای هر دو نوع روزنه کمتر از ۰/۰۵ شد که با توجه به جدول ۱، مقدار کم محسوب می‌شود.

زمان کامل گرفتگی

همان‌طور که آمده است فیلتراسیون SFI از بعد آبیاری هفتم وارد مدار شد. چنانچه آبیاری بدون استفاده از این نوع فیلتر ادامه یابد، گرفتگی کامل روزنه‌ها پس از چند نوبت آبیاری رخ خواهد داد. اندازه‌گیری دبی و محاسبه درصد گرفتگی نوبت هفتم برای پیش‌بینی زمان کامل

جدول ۱۰- پیش‌بینی زمان گرفتگی کامل روزنه‌ها

Table 10- Predicted time to complete emitter clogging

اثر فیلتراسیون در کاهش گرفتگی (درصد) The effect of filtration in reducing clogging (%)	پیش‌بینی زمان گرفتگی (نوبت) Clogging time prediction (event)	درصد گرفتگی (نوبت هشتم) Cr (event 8)	درصد گرفتگی (نوبت هفتم) Cr (event 7)	درصد گرفتگی (نوبت اول) Cr (event 1)	تیمار
32.9	29	16.1	24	0.67	A ₁ Q ₁
26.7	36	14.19	19.37	1.33	A ₁ Q ₂
34.7	30	15.40	23.59	4	A ₂ Q ₁
37.7	34	12.70	20.4	0.05	A ₂ Q ₂

مختلف بین ۲۶/۷ تا ۳۷/۷ درصد کاهش یافته است. به عبارتی اضافه شدن فیلتر باعث شده به روزنه‌ها فرصت خودشویندگی و رفع گرفتگی را بدهد (چوپان و امامی، ۱۳۹۹).

اثر فیلتراسیون در کاهش گرفتگی

در مدار قرار گرفتن فیلتراسیون SFI در آبیاری هشتم علاوه بر اینکه از ادامه روند افزایشی گرفتگی روزنه‌ها ممانعت کرده، باعث کاهش درصد گرفتگی نیز شده است. ستون آخر در جدول ۱۰، میزان کاهش گرفتگی در آبیاری هشتم نسبت به آبیاری هفتم را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است میزان گرفتگی در تیمارهای

عملکرد و بهره‌وری آب

تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، با این حال تیمار A₂Q₂ بیشترین عملکرد را داراست. از لحاظ بهره‌وری آب نیز این تیمار به همراه تیمار A₂Q₁، بیشترین مقدار را دارا هستند.

جدول (۱۱) میانگین آب مصرفی، عملکرد ذرت علوفه‌ای و بهره‌وری آب را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. مقدار عملکرد و بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف

جدول ۱۱- مقایسه میانگین عملکرد و بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف

Table 11- Comparison of mean yield and water productivity across different treatments

بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) Water efficiency (kg/m ³)	عملکرد (تن در هکتار) Yield (ton/ha)	آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) Water used (m ³ /ha)	AQ
10.68	70.71	6620.81	A ₁ Q ₁
9.17	62.75	6845.85	A ₁ Q ₂
11.94	71.72	6003.85	A ₂ Q ₁
11.21	72.07	6423.91	A ₂ Q ₂

همچنین نتایج بیانگر آن است که استفاده از سامانه فیلتراسیون SFI نقش مؤثری در کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها داشته و توانسته است میزان گرفتگی را در تیمارهای مختلف به‌طور قابل توجهی کاهش دهد. در مقابل، عدم استفاده از فیلتراسیون مناسب می‌تواند در مدت نسبتاً کوتاهی منجر به انسداد کامل روزنه‌ها و افت شدید یکنواختی پخش شود؛ بنابراین، تلفیق طراحی مناسب آرایش کاشت با سامانه فیلتراسیون کارآمد، می‌تواند راهکاری مؤثر برای افزایش طول عمر کاری نوارهای تیپ، بهبود یکنواختی توزیع و ارتقای بهره‌وری آب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای باشد.

در مجموع، تیمار A₂Q₂ با برخورداری از کمترین میزان گرفتگی، یکنواختی پخش مطلوب، عملکرد بالاتر محصول و بهره‌وری بیشتر آب، به‌عنوان مناسب‌ترین آرایش برای کشت ذرت علوفه‌ای در شرایط این پژوهش معرفی شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که توجه به آرایش کاشت و نحوه استقرار نوارهای آبیاری، در کنار پارامترهای متداول طراحی و بهره‌برداری، می‌تواند به‌عنوان رویکردی مؤثر در مدیریت گرفتگی قطره‌چکان‌ها و بهبود عملکرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اینکه ذرت علوفه‌ای با آرایش‌های دیگری نیز کشت می‌شود، تأثیر این آرایش‌ها نیز می‌تواند در پژوهش‌های آینده مورد بررسی قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

گرفتگی قطره‌چکان‌ها همچنان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای به شمار می‌رود و می‌تواند به‌طور مستقیم یکنواختی توزیع آب، راندمان کاربرد آب و عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار دهد. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که عوامل متعددی از جمله کیفیت آب، ویژگی‌های هیدرولیکی و فیزیکی قطره‌چکان، موقعیت قطره‌چکان روی لترال، فشار کارکرد، مدیریت بهره‌برداری، نوع کود مصرفی، شستشوی لترال‌ها و عملکرد سامانه فیلتراسیون در میزان گرفتگی و یکنواختی پخش مؤثر هستند. با این حال، در میان پژوهش‌های انجام‌شده، نقش آرایش کاشت و نحوه استقرار نوارهای آبیاری به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر رفتار هیدرولیکی سامانه، کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

نتایج این پژوهش نشان داد که آرایش کاشت و نحوه استقرار نوارهای تیپ می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر تغییرات دبی، یکنواختی پخش و میزان گرفتگی قطره‌چکان‌ها داشته باشد. به‌گونه‌ای که تغییر آرایش نوارها سبب بهبود عملکرد هیدرولیکی سامانه و کاهش شدت گرفتگی شد. این موضوع نشان می‌دهد که آرایش کاشت، علاوه بر نقش زراعی، می‌تواند به‌عنوان یک عامل مدیریتی مؤثر در کاهش افت عملکرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نیز مطرح باشد.

تعارض منافع

به‌جز نوارهای تیپ پلاک‌دار، انواع دیگر نوارهای تیپ مورد

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این

توجه قرار گیرد.

مسئله مورد تأیید نویسندگان مقاله است.

فهرست منابع

۱. چوپان، یحیی، و امامی، سمیه. ۱۳۹۹. بررسی تغییرات دبی در قطره‌چکان‌های مختلف در اثر اعمال فاضلاب تصفیه‌شده. *نشریه مهندسی عمران امیرکبیر*، ۵۲ (۴)، صص. ۷۸۳-۷۹۶.
DOI: 10.22060/CEEJ.2018.14863.5764
۲. صدراقتی، ناصر. ۱۳۸۰. ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری میکرو (قطره‌ای و بابلر) موجود در باغ‌های پسته. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
۳. نصرالهی، علی‌حیدر، بهزاد، مجید، برومندنسب، سعید، و رمضانی مقدم، جواد. ۱۳۹۱. بررسی عملکرد هیدرولیکی قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده و غیرتنظیم‌کننده فشار در فشار و دماهای مختلف. *علوم و مهندسی آبیاری*، ۳۵ (۳)، صص ۲۷-۳۵.
DOI: 20.1001.1.25885952.1391.35.3.4.2
۴. هزارجریبی، ابوطالب، قربانی نصرآباد، قربان، فضل‌اولی، رامین، و عابدین‌پور، میثم. ۱۳۹۲. بررسی عملکرد هیدرولیکی سه نوع قطره‌چکان خارجی تنظیم‌شونده در فشارهای کارکرد مختلف. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۰ (۱)، صص. ۱۹۹-۲۱۱.
DOI: 20.1001.1.23222069.1392.20.1.11.9
5. ASAE standards, 2003. Design and installation of micro-irrigation systems (EP405.1). St. Joseph, Mich. :ASAE.
6. Capra, A. and Scicolone, B. 1998. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 70, pp.355-365.
DOI: https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0287
7. Choopan, Y. and Emami, S. 2020. Investigating discharge variation in various emitters due to the effect of refined wastewater. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 52(4), PP.783-796. **doi: 10.22060/ceej.2018.14863.5764**
8. Couture, I. 2004. Analyse d'eau pour fin d'irrigation. MAPAQ Montérégie-Est AGRI-VISION, 1-8.
9. Dehghani-sanij, H., H. Anyoji., H. Riyahi, and W. Abou el Hasan. 2007. Effect of emitter characteristics and irrigation schemes on emitter clogging under saline water use. *Journal of Arid Land Studies*, 16(4), pp.225-233.
10. Fernando, B.H.R., Ranasinghe, C.S., Pathmarajah, S. and Mowjood, M.I.M. 2024. Performance evaluation of micro-irrigation systems in coconut plantations. *Tropical Agricultural Research*, 35(2), pp.107-118. **DOI:10.4038/tar.v35i2.8742**
11. Ghandour, A., Mohamed, Y. and AWAAD, M. A. 2024. Ultra-sonication treatment for saline groundwater: A new innovative approach for preventing emitter clogging in surface drip irrigation systems. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences*, 5(2), PP.85-96.
DOI:10.5281/zenodo.11299047
12. Hezar-Jaribi, A. T., Ghorbani Nasrabad, Gh., Fazl Oula, R. and Abedinpour, M. 2013. Evaluation of hydraulic performances of various drippers under different operation pressures and lab condition. *Journal of Water and Soil Conservation*, 20 (1), pp.199-211.
DOI: 20.1001.1.23222069.1392.20.1.11.9
13. Li, N., Kang, Y., Li, X., Wan, S., Zhang, C. and Wang, X. 2019. Lateral flushing with fresh water reduced emitter clogging in drip irrigation with treated effluent. *Irrigation Science*, 37(5):627-635. **DOI: https://doi.org/10.1007/s00271-019-00637-3**
14. Li, P., Wang, X., Zhang, C., Chen, K., Junejo, A. R., Liu, J. and Li, H. 2025. Effects of Water-Fertilizer-Gas Coupling on Emitter Clogging and Uniformity of Drip Irrigation System. *Horticulturae*, 11(3):333. **DOI: https://doi.org/10.3390/horticulturae11030333**

15. Ma, C., Jiang, C., Li, Y., Shi, N., Liu, S., Hu, X., and Muhammad, T. 2024. Effect of lateral flushing on emitter clogging in drip irrigation using high-sediment water. *Agricultural Water Management*, 293:108702. DOI: [10.1016/j.agwat.2024.108702](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108702)
16. Maroufpoor, E., Aminpour, Y., Kamangar, B.B. and Bargués, J.P. 2021. Clogging rate of pressure compensating emitters in irrigation with rainbow trout fish farm effluent. *Irrigation Science*, 39(2):223-233. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-020-00697-w>
17. Muhammad, T., Zhou, B., Liu, Z., Chen, X. and Li, Y. 2021. Effects of phosphorus-fertigation on emitter clogging in drip irrigation system with saline water. *Agricultural Water Management*, 243:106392. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106392>
18. Nasrolahi, A. H., Behzad, M., Boroumannasab, S. and Ramazani-Moghadam, J. 2012. Hydraulic performance of the emitter of regulator and non-regulating pressure at various pressure and temperatures. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 35(3), pp.27-35. DOI: [20.1001.1.25885952.1391.35.3.4.2](https://doi.org/10.1001.1.25885952.1391.35.3.4.2)
19. Pitts, D. J., Haman, D. Z. and Smajstrla, A.G. 1990. Causes and prevention of emitter plugging In micro-irrigation Systems. University of Florida. Bulletin: 258. DOI: <https://doi.org/10.32473/edis-ae032-1993>
20. Wei, Q., Shi, Y., Lu, G., Dong, W. and Huang, S. 2008. Rapid evaluations of anticlogging performance of drip emitters by laboratorial short-cycle tests. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(3), pp.298-304. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2008\)134:3\(298\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:3(298))