



Investigating the effect of using ultrasonic bath and acid washing on reducing the clogging of emitters in drip irrigation systems

Hossein Dehghanisani¹✉^{ID} | Seyed Majid Mirlatifi²^{ID}, Tahereh Rajabzadeh³^{ID}

1. Corresponding Author, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension, Organization (AREEO), Karaj, Alborz, Iran. E-mail: dehghanisani@yahoo.com

2. Department of Water Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: mirlat_m@modares.ac.ir

3. Department of Water Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: taherehrajabzadeh6@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Apr. 9, 2024

Revised: June. 15, 2024

Accepted: July. 8, 2024

Published online: Oct. 2024

Keywords:

Ultrasonic,
Acid Washing, C
Hemical Clogging,
Emitter.

ABSTRACT

Clogging of emitters is one of the main challenges for farmers using drip irrigation systems. Therefore, in the present study, solutions to reduce chemical clogging of emitters based on acid-washing methods and ultrasonic systems have been presented. The ultrasonic system, considered a type of green technology, has been proposed to mitigate emitter clogging in drip irrigation systems. In this regard, first, samples of emitters were selected from the chosen fields, and then they were grouped by measuring their discharge. Based on the measured discharge compared to the nominal discharge, the emitters were classified into five categories in terms of clogging: category 1 with 100% clogging, category 2 with 75-100% clogging, category 3 with 50-75% clogging, category 4 with 25-50% clogging, and category 5 with 0-25% clogging. Four treatments were applied for each category: (1) acid washing at pH = 3, (2) acid washing at pH = 5, (3) ultrasonic bath cleaning, and (4) ultrasonic-acid washing. A reduction in clogging of zero-grade emitters, when placed in an ultrasonic bath for 15 minutes, was approximately 45%. Based on the analysis of variance, it can be observed that, with a P-value of 0.1 and an F-value of 2.81, the use of the ultrasonic method significantly affects emitter clogging at a 90% confidence level. A comparison of clogging reduction after washing shows the significant superiority of the ultrasonic method over acid washing. The results revealed that the ultrasonic washing method only reduced physical clogging, while the acid washing method reduced chemical clogging. The ultrasonic system is an environmentally friendly and green technology proposed to reduce emitter clogging in drip irrigation systems.

Cite this article Dehghanisani, H., Mirlatifi, S. M., & Rajabzadeh, T. (2024) Investigating the effect of using ultrasonic bath and acid washing on reducing the clogging of emitters in drip irrigation systems, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (8), 1255-1271. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.374857.669690>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.374857.669690>





EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Clogging of emitters in drip irrigation systems implemented in the country is the biggest challenge facing these systems, which sometimes prevents their development in certain areas. If this problem is not managed effectively, it will significantly reduce the useful life of the irrigation systems. Complete or partial clogging decreases the uniformity of distribution, the average output flow rate of the emitters, and ultimately the irrigation efficiency. As a result, it increases the volume of water required for plant growth, leading to waste of water, energy costs, and fertilizer runoff. Additionally, the need for drainage becomes more critical, undermining the confidence of farmers. Therefore, all factors contributing to the clogging of emitters should be identified and minimized by implementing appropriate purification methods and chemical modifications of water. In the present study, solutions to reduce chemical clogging of emitters based on acid-washing methods and ultrasonic systems are presented. The ultrasonic system is a type of green technology and serves as a suggestion for reducing the clogging of emitters in drip irrigation systems.

Materials and Methods

First, the farms located in Alborz Province that faced problems with emitters were selected. After investigation, their emitters were replaced due to clogging and lack of necessary efficiency. To select emitter samples, a crop plot was chosen from the farm, and emitter samples were selected based on the ASAE standard. In this regard, the sample of emitters was first determined in the selected fields, and then the emitters were grouped by measuring their water yield. According to the measured water compared to the nominal flow, the emitters were divided into five categories in terms of clogging: 100% clogging, 75-100% clogging, 50-75% clogging, 25-50% clogging, and 0-25% clogging. Four treatments were applied for each category: acid washing at pH=3, acid washing at pH=5, washing emitters in an ultrasonic bath, and washing emitters using the ultrasonic-acid washing method.

Results and Discussion

The rate of reduction in clogging of class 1 emitters when placed in an ultrasonic bath for 15 minutes is about 40%. In the results for the ultrasonic bath of the second category, the reduction in emitter clogging is about 26%, which is less than that of the other two categories. The results for the ultrasonic bath in this category indicate that the droplet clogging rate was very low compared to the previous categories. Ultrasonic washing did not have a positive effect in this category, where the emitters had slight clogging, and it caused a decrease in the average water yield of the emitters. Comparing the ultrasonic results across different classifications shows that the reduction rate for emitters with clogging above 50% was significant. The comparison of the results from the simultaneous application of ultrasonic washing and acid washing across different categories demonstrated that the reduction of clogging in emitters is much more effective when clogging is above 50%. The higher the clogging, the greater the reduction observed. When using the ultrasonic bath, a significant decrease in clogging (about 45%) was achieved, which is important for two reasons. First, the duration of acid washing is considered to be one hour, whereas the ultrasonic bath took only 15 minutes. Second, no chemicals are used in ultrasonic washing, thereby protecting the environment and plant roots from chemical damage, which further supports the effectiveness of the ultrasonic bath method. In category one, a nearly identical behavioral similarity of the treatments in this category with those in category zero can be observed.

Conclusion

The comparison of the results shows that for clogging above 50%, ultrasonic washing is more effective across different categories and significantly reduces the clogging of emitters. In general, the results from the three washing models in the case study indicated that the clogging of emitters was a combination of physical and chemical clogging. Acid washing, ultrasonic washing, and the simultaneous use of acid washing and ultrasonic washing were all more effective for clogging levels above 50%. Comparing the amount of clogging reduction achieved after using the acid washing and ultrasonic methods demonstrates the significant superiority of the ultrasonic method over acid washing, primarily due to the higher percentage of physical clogging in the emitters compared to chemical clogging.

Author Contributions

Conceptualization, H. Dehghanisani. and S.M. Mirlatifi.; methodology, H. Dehghanisani. and S.M. Mirlatifi.; software, H. Dehghanisani. and T. Rajabzadeh.; validation, H. Dehghanisani. and S.M. Mirlatifi. and T. Rajabzadeh.; formal analysis, H. Dehghanisani.; investigation, S.M. Mirlatifi.; resources, H. Dehghanisani.; data curation, H. Dehghanisani.; writing—original draft preparation, H. Dehghanisani. and T. Rajabzadeh.; writing—review and editing, H. Dehghanisani. and S.M. Mirlatifi.; visualization, H.

Dehghanisani. and S.M. Mirlatifi; supervision, H. Dehghanisani; project administration, H. Dehghanisani; funding acquisition, H. Dehghanisani. and S.M. Mirlatifi. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data will be made available on request.

Acknowledgements

The present study was carried out with the financial support of the Iran National Science Foundation (INSF) (project No. 96009938).

Ethical considerations

The study was approved by the Ethics Committee of the Iran National Science Foundation (INSF) (project No. 96009938). The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

بررسی تأثیر استفاده از حمام اولتراسونیک و اسیدشویی بر کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

حسین دهقانی سانجی^۱ | سید مجید میرلطیفی^۲ | طاهره رجبزاده^۳

۱. نویسنده مسئول، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران. رایانامه:

dehghanisanij@yahoo.com

۲. گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران رایانامه: mirlat_m@modares.ac.ir

۳. گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران رایانامه: taherehrajabzadeh6@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	گرفتگی قطره‌چکان‌ها یکی از چالش‌های اساسی برای کشاورزانی است که از سیستم آبیاری قطره‌ای استفاده می‌کنند. از این‌رو، در پژوهش حاضر، راهکارهایی برای کاهش گرفتگی شیمیایی قطره‌چکان‌ها بر مبنای روش‌های اسیدشویی و سامانه اولتراسونیک ارائه شده است. سامانه اولتراسونیک نوعی فناوری سبز است و پیشنهادی برای کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه آبیاری قطره‌ای است. در همین راستا، ابتدا نمونه قطره‌چکان‌ها در مزارع منتخب تعیین، سپس با اندازه‌گیری آبدی آن‌ها نسبت به گروه‌بندی قطره‌چکان‌ها اقدام شد. با توجه به میزان آبدی اندازه‌گیری شده در مقایسه با دبی اسمی، قطره‌چکان‌ها از نظر گرفتگی به پنج رده مختلف تقسیم شدند (رده یک دارای گرفتگی ۱۰۰ درصد، رده ۲ دارای گرفتگی ۷۵ تا ۱۰۰ درصد، رده ۳ گرفتگی ۵۰ تا ۷۵ درصد، رده چهار گرفتگی ۲۵ تا ۵۰ درصد و رده پنج گرفتگی ۰ تا ۲۵ درصد). تعداد ۴ تیمار (تیمار اول، اسید شویی در سطح $pH=3$ ، تیمار دوم، اسید شویی در سطح $pH=5$ ، تیمار سوم، شستشو قطره‌چکان‌ها در حمام اولتراسونیک و تیمار چهارم، شستشو قطره‌چکان‌ها با روش اولتراسونیک-اسیدشویی)، برای هر رده اعمال شد. میزان کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌های رده صفر هنگام قرار گرفتن در حمام اولتراسونیک به مدت ۱۵ دقیقه حدود ۴۵ درصد حاصل شد. بر اساس تحلیل واریانس انجام شده مشاهده می‌شود با توجه مقدار $P\text{-value}=0.1$ و مقدار $F\text{-value}=2.81$ ، استفاده از روش اولتراسونیک بر روی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سطح معنی‌داری ۹۰٪ مؤثر است. مقایسه میزان کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها پس از شستشو، نشان‌دهنده برتری قابل‌توجه روش اولتراسونیک نسبت به روش اسیدشویی است. نتایج نشان داد در روش شستشوی اولتراسونیک فقط گرفتگی فیزیکی و در روش اسید شویی فقط گرفتگی شیمیایی کاهش پیدا کرده است. فناوری سامانه اولتراسونیک، پیشنهادی برای کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای است که عاری از آلودگی زیست‌محیطی و به نوعی فناوری سبز است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱/۲۱	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۳/۲۶	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۱۸	
تاریخ انتشار: آبان ۱۴۰۳	
واژه‌های کلیدی:	
اولتراسونیک،	
اسیدشویی،	
گرفتگی،	
قطره‌چکان.	

استناد: دهقانی سانجی؛ حسین، میرلطیفی؛ سیدمجید، و رجبزاده، طاهره (۱۴۰۳) بررسی تأثیر استفاده از حمام اولتراسونیک و اسیدشویی بر کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۵ (۸)، ۱۲۷۱-۱۲۵۵. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.374857.669690>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.374857.669690>

مقدمه

استفاده از سامانه‌های تحت فشار و خصوصاً آبیاری قطره‌ای یکی از گزینه‌های مؤثر در بالا بردن راندمان آبیاری و افزایش بهره‌وری آب کشاورزی است (Sarvari et al. 2019). سامانه‌های آبیاری قطره‌ای به این منظور طراحی شده‌اند تا آب با سرعت خیلی کم به گیاه برسد و این روند با معرفی قطره‌چکان‌های با آبدهی پایین ادامه دارد. کاملاً روشن است که برای این کار آب باید از روزنه و مسیر بسیار باریک در قطره‌چکان‌ها عبور کند که ممکن است موجب گرفتگی مسیر جریان آن‌ها شود. گرفتگی مسیر جریان توزیع یکنواخت آب را کاهش می‌دهد و هزینه‌های عملیاتی را به سبب جایگزینی و نیاز به نیروی کار بیشتر برای ردیابی و اصلاح قطره‌چکان‌های گرفته، بالا می‌برد (Rajabzadeh et al. 2020). اگر سامانه به‌خوبی برنامه‌ریزی و طراحی شده باشد، می‌تواند از گرفتگی قطره‌چکان‌ها جلوگیری کند. نصب تجهیزات مناسب برای جلوگیری از انسداد قطره‌چکان‌ها در شروع کار، از اصلاح بعدی آن‌ها به‌مراتب ارزان‌تر تمام می‌شود؛ بنابراین تشخیص مسائل بالقوه اولویت خاصی دارد (Ansari et al. 2015). مهم‌ترین مسئله در نگهداری سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، گرفتگی قطره‌چکان‌ها است. گرفتگی قطره‌چکان‌ها همیشه یکی از معضلات اساسی برای کشاورزانی است که از سامانه آبیاری قطره‌ای استفاده می‌کنند (Zamanian et al. 2011; Gholami Sefidkouhi and Barzegar Akhtekhaneh, 2014). گرفتگی قطره‌چکان‌ها به‌طور مستقیم با مسائل کیفی آب در ارتباط است. این امر مخصوصاً برای کشاورزان مناطق کم‌آب بیشتر اهمیت دارد. زیرا، عمدتاً آب آن‌ها شور بوده و یا دارای سختی بالایی است (Kiani et al. 2015). گرفتگی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای اجراشده در کشور به‌عنوان بزرگ‌ترین چالش این سامانه‌ها بوده که گاهی از توسعه این سامانه نیز در بعضی مناطق جلوگیری می‌کند (Soroush, 2023)، و یا تکنولوژی‌های توزیع و پخش آب به‌عنوان روش آبیاری جایگزین آبیاری قطره‌ای می‌شود، اگر این مشکل به‌خوبی مدیریت نشود، به‌طور چشم‌گیری عمر مفید سامانه‌های آبیاری را کاهش خواهد داد. در حقیقت گرفتگی کامل یا جزئی، یکنواختی پخش، متوسط دبی خروجی قطره‌چکان‌ها و در نهایت راندمان آبیاری را کاهش و در نتیجه حجم آب موردنیاز برای آبیاری را افزایش می‌دهد و موجب هدر رفتن هزینه‌های آب و انرژی و شسته شدن کود، نیاز به زهکشی و از همه مهم‌تر از بین بردن اعتماد کشاورزان می‌شود (Parvizi et al. 2023). لذا، باید کلیه عوامل مؤثر در گرفتگی قطره‌چکان‌ها شناسایی شده و سپس از طریق ارائه روش‌های مناسب تصفیه و اصلاح شیمیایی آب (حتی در شرایطی که آب از نظر کیفی دارای مشکل حاد نباشد)، به حداقل رسانده شوند (Megh, 2015). عوامل مؤثر در انسداد قطره‌چکان‌ها را می‌توان به سه گروه تقسیم‌بندی نمود که عبارت‌اند از: عوامل فیزیکی، عوامل شیمیایی و عوامل زیستی.

کیفیت آب آبیاری مهم‌ترین عاملی است که به‌طور مستقیم بر شکل‌گیری مواد رسوب‌کننده در قطره‌چکان تأثیر می‌گذارد (Lili et al. 2016). مهم‌ترین قسمت یک سامانه آبیاری قطره‌ای، بخش تصفیه آب آن است. خطر گرفتگی در سه گروه اصلی گرفتگی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی طبقه‌بندی می‌شود (Nakayama and Bucks, 1991). بر اساس تحقیقات انجام‌شده، حدود ۵۵ درصد از گرفتگی قطره‌چکان‌ها مربوط به عوامل فیزیکی، عوامل بیولوژیکی ۱۴ درصد و ۱۱ درصد عوامل ناشناخته و پارامترهای شیمیایی تنها در دو درصد موارد باعث انسداد قطره‌چکان‌ها شده‌اند. در ۱۸ درصد نیز ترکیبی از سه مورد مذکور عامل انسداد بوده است (Alizadeh, 2009). (Abdi and Fathi (2014) عملکرد عدم گرفتگی فیزیکی سه نوع قطره‌چکان تنظیم‌کننده فشار میکروفلاپر، کرونا و ادن را در مقیاس آزمایشگاهی بررسی کردند. نتایج نشان داد که قطره‌چکان‌های کرونا و ادن به‌ترتیب با دارا بودن نرخ گرفتگی ۱۲ و ۳۷ درصد بهترین و بدترین عملکرد عدم گرفتگی را دارا هستند. (Fathi and Abdi (2015) اثر دما بر عملکرد عدم گرفتگی قطره‌چکان‌های طولانی مسیر را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش دما تأثیر مثبتی بر کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها دارد. همچنین لوله قطره‌چکان‌دار و نوار آبیاری درزدار به‌ترتیب دارای کم‌ترین و بیش‌ترین نرخ گرفتگی می‌باشد. (Faryabi et al. (2017) انسداد نسبی قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای تحت شرایط استفاده از پساب حوضچه‌های پرورش ماهی را بررسی کردند. برای این منظور، سه تیمار آبیاری قطره‌ای شامل، قطره‌چکان‌های نتافیم و میکروفلاپر با دبی‌های ۴ و ۸ l/h استفاده شد. نتایج نشان داد که در هر دو تیمار استفاده از پساب، عملکرد قطره‌چکان‌های نتافیم به‌طور معنی‌داری بهتر از قطره‌چکان‌های میکروفلاپر بوده است. (Rezaei Rad et al. (2023) به بررسی اثر سولفوریک اسید بر کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها و تأثیر اسید خروجی بر خصوصیات شیمیایی در شهر قم پرداختند. نتایج نشان داد سولفوریک اسید تأثیر بسزایی در کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها دارد. ارزیابی خصوصیات شیمیایی خاک قبل و بعد از اسیدشویی نیز نشان از تغییر در این خصوصیات و کاهش شوری خاک به علت واکنش سولفوریک اسید با کربنات‌های موجود در خاک پس از اسیدشویی داشت. (Pei et al. (2014) تحقیقی را با هدف توضیح مکانیسم گرفتگی قطره‌چکان‌های آبیاری قطره‌ای، پس از استفاده از پساب انجام دادند. در این پژوهش پس از حذف اثر دما و فشار بر خروجی قطره‌چکان‌ها، چهار نوع قطره‌چکان تنظیم‌کننده فشار و چهار نوع قطره‌چکان



غیر تنظیم‌کننده فشار را از نظر میانگین تغییرات دبی قطره‌چکان (Dra) و ضریب یکنواختی کریستین سن (CU) و سرعت گرفتگی، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که Dra و CU در سه دوره کاربرد سامانه متفاوت بودند. در آغاز آزمایش Dra و CU به‌طور مکرر ۵ درصد نوسان داشتند و بعضی از قطره‌چکان‌ها پس از گذشت ۳۶ تا ۴۸ ساعت از اجرای سامانه مسدود شدند.

Song et al. (2017)، آزمایشات صحرائی در یک تصفیه‌خانه فاضلاب انجام دادند. آن‌ها یک سامانه آبیاری قطره‌ای با هدف بررسی مکانیسم کنترل و تأثیر فاضلاب تصفیه‌شده در گرفتگی زیستی قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده فشار را راه‌اندازی و تجهیز کردند. نتایج نشان داد که کلرزنی می‌تواند به‌طور مؤثری رشد میکروبی در مواردی که عامل گرفتگی زیستی است را کاهش دهد؛ بنابراین مواد انسداد زیستی به‌خوبی کنترل شده و ذرات جامد در مقایسه با تیمار غیر کلر شده، کاهش یافت و نسبت تخلیه Dra و ضریب یکنواختی CU افزایش یافت. Zhangzhong et al. (2018)، تأثیر مدل‌های آبیاری قطره‌ای بر گرفتگی شیمیایی با استفاده از آب شور در منطقه هیتائو چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد استفاده متناوب از آب شیرین و آب شور توانست گرفتگی شیمیایی در سامانه آبیاری قطره‌ای را کنترل نماید. Lv et al. (2023) تأثیر هوادهی و اقدامات منطقی از جمله انتخاب قطره‌چکان با سطح ورودی حصاری بزرگ و قرارگیری خروجی قطره‌چکان به سمت بالا را برای کند کردن گرفتگی قطره‌چکان در سامانه‌های آبیاری مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که هوادهی باعث تسریع نشست رسوب در ورودی کانال جریان، افزایش میزان گرفتگی ورودی کانال جریان و تشدید گرفتگی قطره‌چکان می‌شود.

در پژوهشی اثر اولتراسونیک برای رفع گرفتگی قطره‌چکان‌ها و تمیز کردن لوله‌های آبیاری قطره‌ای توسط یک سامانه سیار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ۷۳٪ تغییر مثبت در ضریب تغییرات (CV) خط قطره‌چکان (از ۱۰/۶٪ به ۲/۸۵٪) وجود دارد. علاوه بر این، نتایج این مطالعه تأیید کرد تمیز کردن قطره‌چکان‌ها به روش صدای اولتراسونیک بسیار مؤثر بوده و آن‌ها را کاملاً بازسازی می‌کند (Reinders and Van Niekerk, 2018).

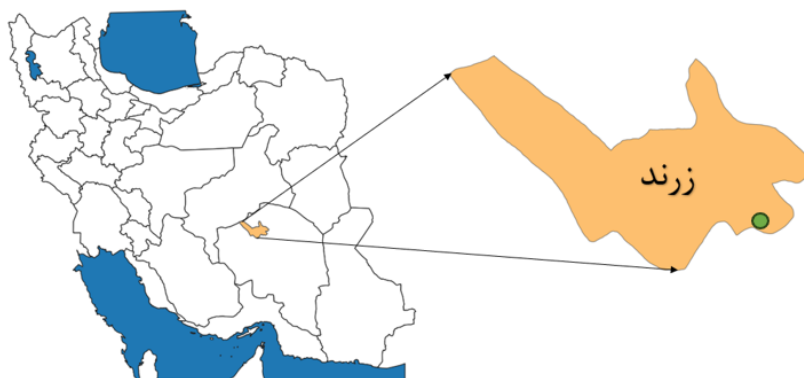
در این پژوهش سعی بر این است که با توجه به شناسایی مواد شیمیایی که باعث گرفتگی قطره‌چکان‌ها گردیده، نوع ماده شوینده یا اسید انتخاب گردیده و عملکرد آن با اجرای تیمارهای مختلف، جهت کاهش گرفتگی قطره‌چکان مورد بررسی قرار گیرد. در ادامه، عملکرد فناوری اولتراسونیک که عاری از آلودگی زیست‌محیطی و به‌نوعی فناوری سبز است، به‌عنوان روش پیشنهادی برای کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. با استفاده از فناوری اولتراسونیک اهداف زیر می‌تواند در پروژه‌های آبیاری قطره‌ای حاصل شود:

- آسیب کم‌تر به لوله وارد شده در نتیجه باعث افزایش عمر بیشتر سیستم قطره‌چکان‌ها می‌شود.
- کاهش و یا عدم کاربرد مواد شیمیایی و آلوده‌کننده‌های زیست‌محیطی برای شستشوی گرفتگی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای
- کاهش هزینه‌های حاصل از تعویض قطره‌چکان‌ها به دلیل گرفتگی
- به حداکثر رساندن عمر مفید سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

مواد و روش‌ها

مشخصات مزرعه انتخابی

شهرستان زرنند در شمال غربی استان کرمان واقع شده است. این شهرستان با مساحت ۸۲۶۰ کیلومترمربع و با ارتفاع متوسط ۱۵۵۰ متر از سطح دریا، در محدوده تقریبی ۳۰/۸۱۲۸ عرض شمالی و ۵۶/۵۶۳۹ طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). این شهرستان بر اساس شاخص خشکی UNEP دارای اقلیم خشک است. میانگین بارندگی سالانه این شهرستان ۱۴۰ میلی‌متر است. بخش عمده اراضی کشاورزی این شهرستان، تحت کشت پسته است. در پژوهش حاضر از داده‌های مزرعه‌ای ۶۰ هکتاری تحت کشت پسته، واقع در شهرستان زرنند با مختصات ۴۷۳۹۰۸ و ۳۳۸۹۰۷۷ استفاده شد. منبع آب این مزرعه یک حلقه چاه نیمه عمیق و سیستم آبیاری آن به‌صورت آبیاری قطره‌ای بود.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

نتایج تجزیه شیمیایی آب و شاخص‌های کیفیت آب در آبیاری قطره‌ای از دیدگاه سازمان خواربار جهانی و ناکایاما در جدول‌های (۱) تا (۳) ارائه شده است.

جدول ۱. نتیجه تجزیه شیمیایی آب

مقدار اندازه‌گیری شده	عوامل	مقدار اندازه‌گیری شده	عوامل
۰/۲۳	پتاسیم K (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)	۳/۷۷	هدایت الکتریکی EC (دسی‌زیمنس بر متر)
۲۳/۲	کلر محلول CL (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)	۷۳۶/۲۲	سختی کل TDS (بخش در میلیون)
۷/۲۶	بی‌کربنات HCO ₃ (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)	۷/۸۵	نسبت جذب سدیم SAR
۱۶/۳۱	سولفات SO ₄ (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)	۷/۳۵	اسیدیته PH
۳۶۳/۰۷۵	قلیائیت کل T.ALK (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)	۲۱/۲۹	سدیم Na (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)
۰/۶۲	بر B (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)	۶/۷۵	کلسیم Ca (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)
-	-	۷/۹۵	منیزیم Mg (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)

جدول ۲. شاخص کیفی آب در سامانه آبیاری قطره‌ای (ناکایاما و باکس، ۱۹۷۹)

خطر گرفتگی			عامل آلودگی	
زیاد	متوسط	کم		
بیش از ۱۰۰	۱۰۰-۵۰	۵۰	مواد جامد معلق (میلی‌گرم بر لیتر)	فیزیکی
بیش از ۸	۷-۸	۷	PH	
بیش از ۲۰۰۰	۵۰۰-۲۰۰۰	۵۰۰	نمک‌های محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	
بیش از ۱/۵	۰/۱-۱/۵	۰/۱	منگنز (میلی‌گرم بر لیتر)	شیمیایی
بیش از ۱/۵	۰/۲-۱/۵	۰/۲	آهن (میلی‌گرم بر لیتر)	
بیش از ۲	۰/۲-۲	۰/۲	سولفید هیدروژن (میلی‌گرم بر لیتر)	
بیش از ۳۰۰	۱۵۰-۳۰۰	۱۵۰	سختی (میلی‌گرم بر لیتر)	
بیش از ۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰-۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	باکتری (تعداد در سانتی‌متر مکعب آب)	بیولوژیکی

جدول ۳. شاخص کیفی آب در سامانه آبیاری قطره‌ای (سازمان خواربار جهانی FAO، ۱۹۸۹)

دارای محدودیت جدی	دارای محدودیت متوسط	فاقد محدودیت	عوامل
بیش از ۳	۰/۸-۳	۰-۰/۸	هدایت الکتریکی EC (دسی‌زیمنس بر متر)
بیش از ۲۰۰۰	۵۰۰-۲۰۰۰	۰-۵۰۰	کل املاح محلول TDS (بخش در میلیون)
بیش از ۹	۶-۹	۰-۶	نسبت جذب سدیم SAR
-	۶/۵-۸/۵	-	اسیدیته PH
بیش از ۹	۳-۹	۰-۳	سدیم Na (میلی‌اکی‌والانت بر متر)
بیش از ۰/۴	۰/۱-۰/۴	۰-۰/۱	آهن Fe (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)
بیش از ۰/۲	۰/۱-۰/۲	۰-۰/۱	سولفور (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)
بیش از ۱۰	۴-۱۰	۰-۴	کلر محلول CL (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)
بیش از ۲	۰/۵-۲	۰-۰/۵	بر B (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)



در این مرحله کیفیت آب از نظر پتانسیل گرفتگی شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت (ناکایاما و باکس ۱۹۸۶). تمایل آب به رسوب کربنات کلسیم در داخل سامانه آبیاری قطره‌ای از روی شاخصی به نام نمایه اشباع لانژیلر (LSI) مشخص شد. بدین ترتیب که از روی نتایج آزمایشگاهی تجزیه شیمیایی آب، ابتدا شاخص LSI محاسبه گردید. چنانچه مقدار عددی این شاخص مثبت باشد، نشان‌دهنده این است که در آب تمایل به رسوب کربنات وجود دارد. مقدار منفی برای این شاخص دال بر عدم تشکیل رسوب کربنات خواهد بود. نمایه لانژیلر از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{LSI} = \text{pHm} - \text{pHc} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، pHm بیانگر اسیدیته واقعی آب مورد استفاده در سامانه قطره‌ای و pHc اسیدیته محاسبه‌شده بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی آب است که از رابطه‌های (۲ و ۳) محاسبه می‌شود:

$$\text{pHc} = \text{p}(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}) + \text{p}(\text{Ca} + \text{Mg}) + \text{p}(\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{pHc} = (\text{PK}_2 - \text{PKC}) + \text{P}(\text{Ca}) + \text{P}(\text{ALK}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در این رابطه‌ها، $\text{p}(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K})$ نمایه مجموع کاتیون‌های آب بوده و بستگی به مجموع غلظت کاتیون‌های موجود در آب دارد و مقدار آن با توجه به مجموع کاتیون‌های موجود آب به دست می‌آید، $\text{p}(\text{Ca} + \text{Mg})$ نمایه کلسیم و منیزیم است و تنها بستگی به مجموع غلظت کلسیم و منیزیم آب دارد و مقدار آن با توجه به غلظت کلسیم به اضافه منیزیم به دست می‌آید، $\text{P}(\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)$ نمایه کربنات و بی‌کربنات است و مقدار آن بر اساس مجموع غلظت کربنات و بی‌کربنات موجود در آب به دست می‌آید، $(\text{PK}_2 - \text{PKC})$ حاصل مجموع غلظت‌های $(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na})$ برحسب میلی‌اکی‌والانت بر لیتر است، $\text{P}(\text{Ca})$ نتیجه غلظت Ca برحسب میلی‌اکی‌والانت بر لیتر و $\text{P}(\text{ALK})$ از مجموع $(\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)$ غلظت‌های برحسب میلی‌اکی‌والانت بر لیتر به دست می‌آید.

انتخاب نمونه‌های قطره‌چکان

برای انتخاب نمونه‌های قطره‌چکان، یک قطعه زراعی از مزرعه انتخاب و نمونه‌های قطره‌چکان بر اساس استاندارد ASAE ۱ انتخاب شدند. بر اساس این استاندارد ۴ لوله آبدار انتخاب و روی هر یک، چهار قسمت ابتدایی، ۱/۳، ۲/۳ و انتهای تعیین و نمونه‌های قطره‌چکان برداشت شدند (Camp et al. 1998). قطره‌چکان‌ها در دو مرحله جمع‌آوری شدند. در هر مرحله ۳۶۰ عدد قطره‌چکان جمع‌آوری و در کل ۷۲۰ عدد قطره‌چکان برای انجام آزمایش به محل تجهیز آزمون آزمایشگاهی در مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی ارسال شدند. قطره‌چکان‌های مورد استفاده در این مزرعه از نوع روی خط و با آبدهی اسمی ۴ لیتر در ساعت بودند.

نصب و راه‌اندازی آزمون آزمایشگاهی

آزمون آزمایشگاهی شامل، یک لوله نیمه‌اصلی، سه انشعاب لوله فرعی، شیر پلی‌اتیلن، درپوش انتهایی، رابط ۱۶ میلی‌متر، مخزن ذخیره آب، الکتروپمپ مدل ALFA-QB60، فشارسنج، شیر گازی و متعلقات مربوطه و لوله برگشت به همراه متعلقات مورد نیاز می‌باشد (شکل ۲). سایر وسایل لازم برای انجام آزمایش پانچ، قوطی‌های فلزی، کرنومتر، استوانه مدرج، pH متر، اسید و دستگاه شستشوی اولتراسونیک می‌باشند.

پس از آماده شدن آزمون آزمایشگاهی، روی لوله‌های فرعی سوراخ‌هایی به فاصله ۱۰ سانتی‌متر به وسیله پانچ برای نصب قطره‌چکان‌ها ایجاد شد. روی هر لوله فرعی، ۲۰ عدد قطره‌چکان و در مجموع، در سامانه ۶۰ عدد قطره‌چکان نصب گردید. سپس، مخزن پر از آب گردیده و الکتروپمپ آغاز به کار نمود. پس از تنظیم فشار سامانه روی ۱ بار، هم‌زمان با ثبت زمان به وسیله کرنومتر، قوطی‌های فلزی جهت جمع‌آوری آب خارج‌شده از قطره‌چکان‌ها در زیر آن‌ها قرار گرفتند. پس از گذشت زمان موردنظر، پمپ خاموش شده و حجم آب داخل قوطی‌ها به وسیله استوانه مدرج اندازه‌گیری و در فرم مخصوص یادداشت گردید. با داشتن حجم آب خارج‌شده از هر قطره‌چکان در زمان معین، دبی تک‌تک آن‌ها محاسبه و یادداشت گردید. در این مرحله، قطره‌چکان‌ها از روی لوله‌های فرعی خارج‌شده و روی یونولیت که از قبل شماره‌گذاری شده بود، نصب شدند. دلیل انجام این کار این است که بعداً با توجه به دبی قطره‌چکان‌ها بتوان آن‌ها را به‌طور مناسبی برای انجام تیمارها گروه‌بندی نمود. در گام بعدی، قطره‌چکان‌های باقی‌مانده برای اندازه‌گیری دبی روی آزمون نصب، دبی قطره‌چکان‌ها اندازه‌گیری و سپس، روی یونولیت نصب گردیدند.



شکل ۲. آزمون آزمایشگاهی

در جدول (۴)، مشخصات لوله‌های آزمون آزمایشی ارائه شده است.

جدول ۴. مشخصات لوله‌های آزمون آزمایشی

نوع لوله	جنس	قطر (میلی‌متر)	فشار قابل تحمل (اتمسفر)
لوله نیمه‌اصلی	۸۰ PE	۲۵	۱۰
لوله فرعی	۴۰ PE	۱۶	۴
لوله برگشت	۸۰ PE	۲۵	۱۰

دسته‌بندی قطره‌چکان‌ها بر اساس میزان دبی و قوانین آماری

پس از اندازه‌گیری دبی قطره‌چکان‌ها، جدول توزیع فراوانی تشکیل شده و گروه‌بندی قطره‌چکان‌ها انجام شد. تشکیل جدول توزیع فراوانی طی مراحل زیر صورت گرفت:

الف) پیدا کردن مقدار کمینه و بیشینه در مجموعه داده‌ها

ب) انتخاب تعدادی زیر فاصله یا خانه‌هایی به طول مساوی، به طوری که دامنه مقادیر بین بیشینه و کمینه را بدون داشتن فصل مشترک دربرگیرند. هر یک از این زیر فاصله‌ها را رده و دو سر هر رده را مرزهای آن رده می‌نامند. رده‌بندی با در نظر گرفتن این نکته انجام گرفت که هرگاه داده‌ها در دامنه وسیعی پراکنده شده باشند و تعداد زیادی از آن‌ها در بخش کوچکی از دامنه و تعداد نسبتاً کمی از آن‌ها در جاهای دیگر دامنه واقع باشند، قاعده مساوی گرفتن طول رده‌ها نامناسب است. استفاده از فواصل کوچک‌تر در جاهایی که داده‌ها شدیداً متمرکزند و فواصل بزرگ‌تر در جاهایی که داده‌ها متفرق‌اند، موجب می‌شود که اطلاعات کم‌تری در نتیجه گروه‌بندی از بین برود.

ج) شمارش تعداد مشاهدات موجود در هر رده. هر یک از اعداد حاصل از این شمارش‌ها را فراوانی رده‌ای یا فراوانی خانه‌ای می‌نامند. د) تعیین فراوانی نسبی هر رده با تقسیم فراوانی رده‌ای آن رده به تعداد کل مشاهدات.

در رده‌بندی سعی شد حتی‌الامکان فراوانی نسبی رده‌ها در یک محدوده باشد. سپس با توجه به فراوانی هر رده و تعداد تیمارها، قطره‌چکان‌های هر رده را به تعداد تیمارها تقسیم نموده و میانگین دبی هر گروه محاسبه شد. در این مرحله از تعداد کل قطره‌چکان‌هایی که دبی آن‌ها اندازه‌گیری شده بود، ۲۲ عدد به علت خرابی کنار گذاشته شدند، تعداد ۱۷ عدد نیز به خاطر داشتن دبی بیش از ۴ لیتر در ساعت حذف شدند. در واقع، این تعداد هیچ‌گونه گرفتگی نداشتند. در مجموع، تعداد ۶۶۹ قطره‌چکان برای گروه‌بندی باقی ماندند. مقدار کمینه دبی برابر صفر لیتر در ساعت و بیشینه دبی برابر ۴ لیتر در ساعت بود. با توجه به این که تعداد قطره‌چکان‌های با دبی صفر لیتر در ساعت یعنی گرفتگی کامل نسبتاً زیاد بود و قرار بود روی این قطره‌چکان‌ها یک تیمار متفاوت با بقیه انجام گیرد، لذا، آن‌ها را در یک رده به نام رده صفر قرار داده و بقیه قطره‌چکان‌ها را مطابق جدول ۵ رده‌بندی نموده و فراوانی آن‌ها شمارش گردید.

جدول ۵. رده‌بندی و فراوانی قطره‌چکان‌ها

نام رده	مشخصات رده (لیتر در ساعت)	فراوانی سری A	فراوانی سری B	فراوانی کل
صفر	G0 0=Q	۹۵	۹۷	۱۹۲
یک	G1 1<Q<0	۱۰۴	۱۲۷	۲۳۱
دو	G2 2<Q<1	۴۸	۵۲	۱۰۰
سه	G3 3<Q<2	۷۱	۴۹	۱۲۰
چهار	G4 4<Q<3	۱۴	۱۲	۲۶

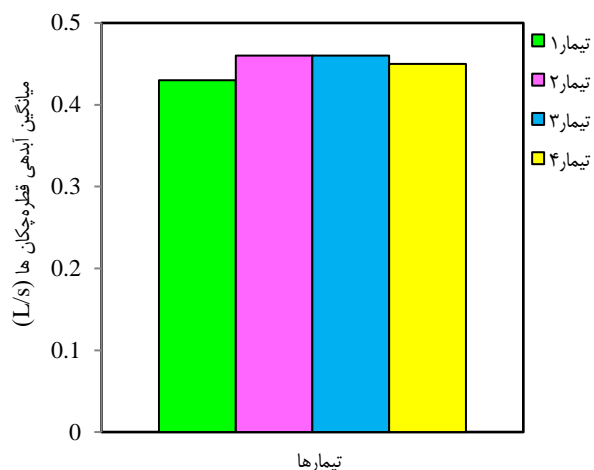
تیمارهای اعمال شده در آزمون آزمایشی

با توجه به میزان آبدهی اندازه‌گیری شده در مقایسه با دبی اسمی، قطره‌چکان‌ها از نظر گرفتگی به پنج رده مختلف تقسیم شدند، رده یک که دارای گرفتگی ۱۰۰ درصد بودند. به همین ترتیب رده‌های ۲ تا ۵ که دارای گرفتگی ۷۵ تا ۱۰۰ درصد، گرفتگی ۵۰ تا ۷۵ درصد، گرفتگی ۲۵ تا ۵۰ درصد و گرفتگی ۰ تا ۲۵ درصد بودند (جدول ۶). تعداد چهار تیمار برای رده‌های گرفتگی کمتر از ۱۰۰ درصد اعمال گردید. دو تیمار مربوط به اسیدشویی و دو تیمار مربوط به شستشوی اولتراسونیک. تیمار اول، اسیدشویی در سطح pH=3، تیمار دوم، اسیدشویی در سطح pH=5، تیمار سوم، شستشو قطره‌چکان‌ها در حمام اولتراسونیک و تیمار چهارم، شستشوی قطره‌چکان‌ها با روش اولتراسونیک-اسیدشویی، برای هر رده اعمال شد. با توجه به این نکته که اگر قطره‌چکان‌ها به‌طور شدید گرفتگی پیدا کرده باشند، ممکن است لازم باشد pH تا حد ۲ پایین آورده شود (Alizadeh, 2009). تیمارهای اسیدشویی تنها برای رده صفر به‌صورت، تیمار اول اسیدشویی با (pH=2) و تیمار دوم اسیدشویی با (pH=3) انجام شد. تیمارهای اسیدشویی برای رده‌های ۲ تا ۵ به این صورت در نظر گرفته شد: تیمار اول اسیدشویی با (pH=3) و تیمار دوم اسید شویی با (pH=5). در جدول (۶) گروه‌های تشکیل شده و میانگین آن‌ها ارائه شده است.

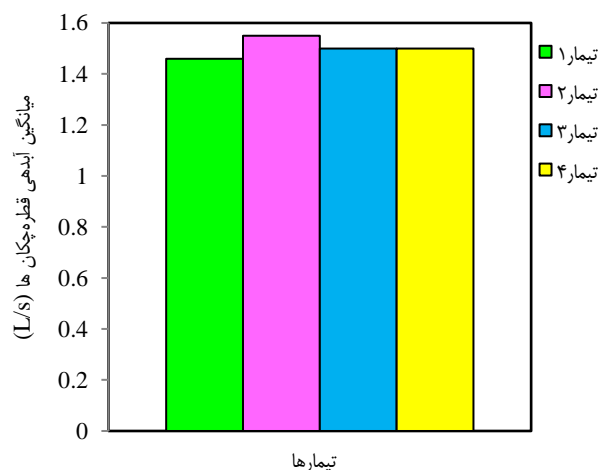
جدول ۶. گروه‌های تشکیل شده و میانگین آبدهی آن‌ها برای استفاده در تیمارهای مختلف در هر رده

نام رده	میزان گرفتگی (%)	مشخصات رده	میانگین تیمار ۱	میانگین تیمار ۲	میانگین تیمار ۳	میانگین تیمار ۴
صفر	۱۰۰	0=Q	۰	۰	۰	۰
یک	۱۰۰-۷۵	1<Q<0	۰/۴۳	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۴۵
دو	۷۵-۵۰	2<Q<1	۱/۴۶	۱/۵۵	۱/۵	۱/۵
سه	۵۰-۲۵	3<Q<2	۲/۴	۲/۴	۲/۳۵	۲/۳
چهار	۲۵-۰	4<Q<3	۳/۶	۳/۶	۳/۷	۳/۶

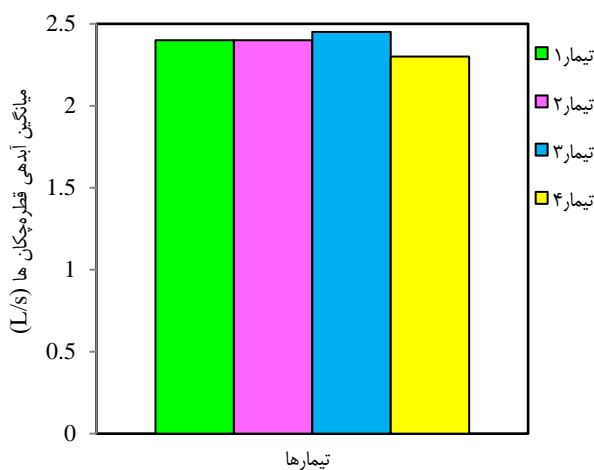
قطره‌چکان‌های دارای گرفتگی اولیه پیش از اعمال تیمارهای ۴ گانه به‌عنوان شاهد بودند. قطره‌چکان‌های مسدود شده به‌نحوی تقسیم‌بندی شدند که میانگین آبدهی قطره‌چکان‌ها در هر تیمار شاهد با میانگین آبدهی قطره‌چکان‌ها با تیمار شاهد دیگر در همان رده تقریباً یکسان و یا حداقل اختلاف را داشته باشند تا پس از انجام آزمایش‌ها بتوان نتایج را با هم مقایسه نمود. میانگین آبدهی قطره‌چکان‌های تیمارهای شاهد رده صفر همگی صفر می‌باشند، چون قطره‌چکان‌های این رده دچار گرفتگی کامل هستند لازم به ذکر است که منظور از آبدهی تیمار شاهد، میانگین آبدهی قطره‌چکان‌ها قبل از اعمال تیمارهای مختلف است. نتایج تقسیم‌بندی تیمارهای شاهد در رده‌های یک، دو، سه و چهار در شکل (۳ الف تا د) آورده شده است.



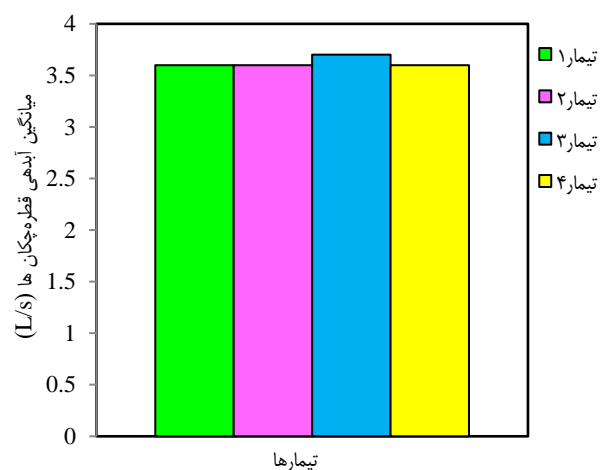
(ب) رده دو (G2)



(الف) رده یک (G1)



(د) رده چهار (G4)



(ج) رده سه (G3)

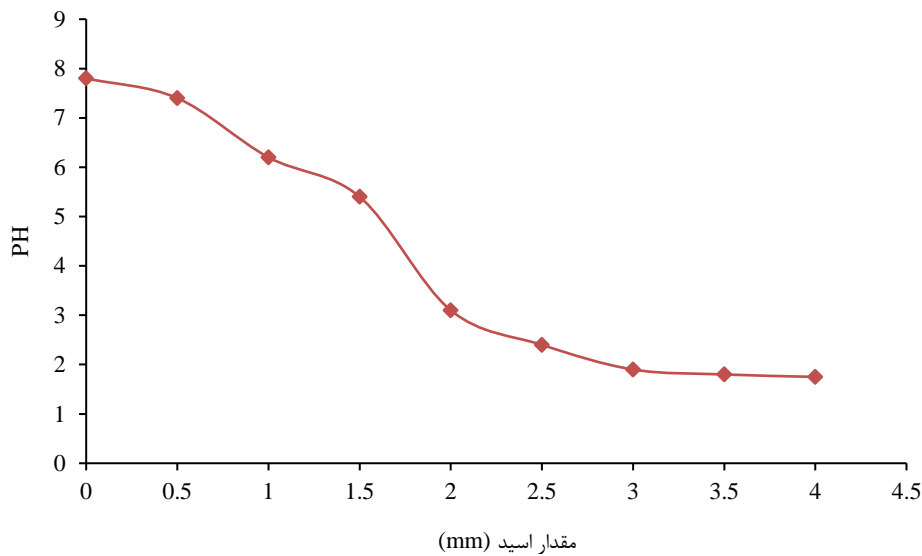
شکل ۳. میانگین آبدهی قطره‌چکان‌های تیمارهای شاهد در رده‌های مختلف

شناسایی تقریبی مواد گرفتگی داخل قطره‌چکان‌ها

برای بررسی مواد گرفتگی داخل قطره‌چکان‌ها، تعداد ۲۰ عدد از قطره‌چکان‌های رده صفر شکافته شد و مواد داخل آن‌ها جمع‌آوری گردید. سپس، این مواد در داخل اسیدسولفوریک خالص ریخته شد. پس از گذشت یک ساعت، مقداری مواد ته‌نشین شده در کف ظرف و مقداری مواد جامد معلق به صورت شناور در سطح مخلوط قابل مشاهده بود. این مسئله بیانگر این موضوع است که علاوه بر گرفتگی شیمیایی، گرفتگی فیزیکی نیز در کاهش دبی قطره‌چکان‌ها نقش داشته است (Alizadeh, 2009).

روش اسیدشویی

با توجه به در دسترس بودن و به صرفه بودن اسیدسولفوریک ۹۸٪ از این اسید استفاده گردید (Jahanghin, 2018). برای محاسبه مقدار اسید لازم جهت پایین آوردن pH آب، ابتدا، به روش تیتراسیون، فاکتور اسیدی (مقدار اسید لازم برای آن که pH آب را تا حد موردنظر پایین بیاورد)، محاسبه گردید. برای مشخص شدن میزان اسید لازم، ابتدا مخزن با ظرفیت ۱۰ لیتر آب پر شده و مقدار pH آب مخزن توسط pH متر قرائت گردید. سپس، مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر اسید داخل مخزن ریخته شده و پس از هم زدن مخزن، مقدار pH آب قرائت گردید و مراحل ذکر شده در بالا تکرار گردید و در نهایت نمودار (۴) از داده‌های به دست آمده برآزش گردید.



شکل ۴. منحنی تیتراسیون

با استفاده از نمودار بالا، ابتدا، مقدار اسید لازم برای این که pH آب مخزن را به ۳ برساند، با استفاده از تناسب به دست آمد و اسید داخل مخزن تزریق گردید. پس از تزریق اسید به داخل مخزن، آب را هم زده و مجدداً با pH متر، میزان pH آن برای اطمینان قرائت گردید. سپس، تیمارهای شماره ۱ از رده‌های ۱ تا ۳ که هر کدام شامل ۲۰ عدد قطره‌چکان بود، از داخل کیسه زیپ‌دار خارج شده و روی لوله‌های فرعی نصب شدند. در ادامه، الکتروپمپ روشن شده و اسیدشویی آغاز گردید. با توجه به این که اگر pH تا حد کم‌تر از ۴/۵ پایین نگه داشته شد، حتی‌الامکان باید زمان اسیدشویی از یک ساعت تجاوز نکند (Alizadeh, 2009). زمان اسیدشویی یک ساعت در نظر گرفته شد. پس از اتمام اسیدشویی، دبی قطره‌چکان‌های هر تیمار اندازه‌گیری شده و میانگین دبی هر تیمار محاسبه گردید. اسیدشویی تیمار ۱ رده ۴ نیز به همین روال انجام شد. پس از اتمام اسیدشویی و اندازه‌گیری دبی قطره‌چکان‌های این تیمار و یادداشت میانگین آن‌ها، مقدار اسید لازم برای این که pH آب مخزن را به ۵ برساند، با کمک منحنی تیتراسیون محاسبه گردیده و به مخزن تزریق شد. در مورد رده صفر، برای اسیدشویی تیمار ۱، pH آب مخزن را به ۲ کاهش داده و در مورد تیمار ۲، pH آب مخزن را به ۳ کاهش داده و بقیه مراحل اجرا شد. زمان برای تمامی تیمارهای اسیدشویی یک ساعت در نظر گرفته شد که بتوان میانگین تیمارها را پس از اسیدشویی با هم مقایسه نمود.

روش شستشوی اولتراسونیک

بر اساس بررسی منابع و با توجه به پتانسیل‌های داخل کشور، یک حمام اولتراسونیک برای انجام پژوهش حاضر تأمین شد (شکل ۵). حمام‌های اولتراسونیک شامل یک ژنراتور الکتریکی به همراه چندین مبدل اولتراسونیک است که به بدنه یک مخزن ساخته شده از جنس استیل نصب می‌شوند. ژنراتور اولتراسونیک وظیفه تولید یک سیگنال پیوسته را دارد که از طریق مبدل‌ها این سیگنال الکتریکی به ارتعاشات مکانیکی تبدیل شده و انرژی حاصل از این ارتعاشات به مایع درون مخزن منتقل می‌شود. درون مایع بر اثر این ارتعاشات، مقدار زیادی حباب میکروسکوپی ایجاد می‌گردد که از انفجار پی‌درپی و سریع این حباب‌ها انرژی بالایی بین سطح قطعه و مایع تمیزکننده به وجود می‌آید که در اصطلاح علمی کاویتاسیون نامیده می‌شود.

برای شستشوی قطره‌چکان‌ها با استفاده از حمام اولتراسونیک، ابتدا، دستگاه اولتراسونیک را به برق وصل نموده و قبل از روشن نمودن دستگاه نسبت به پر کردن آب در داخل مخزن دستگاه تا محل نشانه اقدام گردید. پس از روشن نمودن دستگاه، تنظیمات مربوطه انجام گردید. به این صورت که فرکانس دستگاه در بالاترین مقدار خود قرار گرفت و با روشن نمودن هیتر دستگاه دمای آب داخل مخزن به ۲۰ درجه سانتی‌گراد (دمای معمول محیط) رسانده شد و سپس هیتر خاموش گردید. با توجه به این که تیمار ۳ از هر رده برای شستشوی اولتراسونیک در نظر گرفته شده بود ابتدا قطره‌چکان‌های مربوط به هر رده از داخل کیسه زیپ‌دار خارج گردیده و روی لوله‌ای آبدۀ نمونه آزمایشگاهی نصب گردیدند. سپس پمپ روشن گردیده و فشار روی ۱ بار تنظیم گردید. جهت ثابت ماندن فشار انتهای لوله‌های لترال با بست انتهایی بسته‌شده و سپس لترال‌ها داخل دستگاه اولتراسونیک قرار گرفته و مهار گردیدند. در این مرحله تایمر دستگاه روی ۱۵ دقیقه تنظیم شده و دستگاه شروع به کار نمود. پس از اتمام زمان شستشو لوله آبدۀ خارج شده و نسبت به اندازه‌گیری دبی قطره‌چکان‌ها اقدام گردید. پس از محاسبه میانگین دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها، نسبت به بررسی و مقایسه با میانگین دبی قبل از شستشو اقدام گردید.



شکل ۵. نمایی از حمام اولتراسونیک مورد استفاده

نتایج و بحث

بررسی شستشوی اولتراسونیک در رده‌های صفر تا چهار

در جدول (۷)، نتایج بررسی شستشوی اولتراسونیک در رده‌های صفر تا چهار ارائه شده است. میزان کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌های رده صفر هنگام قرار گرفتن در حمام اولتراسونیک به مدت ۱۵ دقیقه حدود ۴۵ درصد حاصل شد که در نوع خود قابل توجه است. لازم به ذکر است که افزایش زمان حمام اولتراسونیک تأثیر چشم‌گیری در میزان کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها نداشت. میزان کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌های رده یک هنگام قرار گرفتن در حمام اولتراسونیک به مدت ۱۵ دقیقه حدود ۴۰ درصد است. در نتایج حمام اولتراسونیک رده دو میزان کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها حدود ۲۶ درصد است که نسبت به دو رده دیگر کمتر است. نتایج حمام اولتراسونیک در رده دو نشان می‌دهد که میزان کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها نسبت به رده‌های قبل بسیار کم بوده است، همان‌طور که میزان گرفتگی قطره‌چکان‌ها نیز نسبت به رده‌های قبل کمتر بوده است. شستشوی اولتراسونیک در رده دو که قطره‌چکان‌ها گرفتگی ناچیز داشته‌اند تأثیر مثبت نداشته و باعث کاهش میانگین آبدهی قطره‌چکان‌ها گردیده است.

جدول ۷. نتایج مطالعه شستشوی اولتراسونیک در رده‌های صفر تا چهار

رده‌ها	میانگین آبدهی قطره‌چکان‌های تیمار شاهد (لیتر بر ساعت)	میانگین آبدهی قطره‌چکان‌های تیمار بعد از اولتراسونیک (لیتر بر ساعت)	اختلاف میانگین آبدهی قبل و بعد (لیتر بر ساعت)
رده صفر	۰	۱/۸	۱/۸
رده ۱	-۰/۴۶	۲/۰۷	۱/۶۱
رده ۲	۱/۵	۲/۵۳	۱/۰۳
رده ۳	۲/۳۵	۲/۵۴	+۰/۱۹
رده ۴	۳/۷	۲/۶۵	-۱/۰۵

مقایسه نتایج شستشوی اولتراسونیک در رده‌های مختلف نشان می‌دهد که میزان کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها در گرفتگی‌های بالای ۵۰ درصد بسیار مؤثرتر بوده است. هرچه میزان گرفتگی بیش‌تر بوده، میزان کاهش گرفتگی نیز بیش‌تر شده، ولی در گرفتگی‌های حدود ۲۵ درصد مؤثر واقع نشده است. پژوهش مشابهی نتیجه گرفته شد که سیستم‌های رسوب‌زدای الکترونیک بر پایه امواج اولتراسونیک تأثیر فراوانی در کند کردن روند گرفتگی قطره‌چکان‌ها دارد که با نتایج پژوهش حاضر در تطابق است (Pirmoradian et al, 2012). در جدول ۸، نتایج تحلیل آماری میزان تأثیر روش اولتراسونیک بر کاهش میزان گرفتگی قطره‌چکان‌ها ارائه شده است.

جدول ۸. نتایج تحلیل آماری

Source	DF	SS	MF	F	P
t	۱	۲/۰۹۷۶	۲/۰۹۷۶	۲/۸۱	۰/۱
Error	۸	۵/۹۸۰۴	۰/۷۴۷۵		
Total	۹	۸/۰۷۸۰			

$$S = 0.864607 \quad R\text{-Sq} = 25.97\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 16.71\%$$

بر اساس تحلیل واریانس انجام شده مشاهده می‌شود با توجه مقدار P-value=0.1 و مقدار F-value=2.81، استفاده از روش

اولتراسونیک بر روی گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سطح معنی‌داری ۹۰٪ مؤثر است.

بررسی کاربرد هم‌زمان شستشوی اولتراسونیک و اسیدشویی در رده‌های صفر تا چهار

در جدول (۹)، نتایج بررسی کاربرد هم‌زمان شستشوی اولتراسونیک و اسیدشویی در رده‌های صفر تا چهار ارائه شده است. میزان کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌های رده صفر هنگام قرار گرفتن در حمام اولتراسونیک به همراه اسیدشویی به مدت ۳۰ دقیقه حدود ۵۶ درصد حاصل شد که در نوع خود قابل توجه است. میزان کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌های رده یک حدود ۴۵ درصد است. در نتایج رده دو ملاحظه می‌گردد میزان کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها حدود ۲۰ درصد بوده و مقدار کم‌تری در مقایسه با دیگر رده‌ها دارد. در نتایج رده‌های سه و چهار قابل ملاحظه است که کاربرد هم‌زمان حمام اولتراسونیک و اسیدشویی، تأثیر مثبتی بر گرفتگی‌های کم‌تر از ۵۰ درصد نداشته است. مطالعات نشان می‌دهد در سیستم آبیاری قطره‌ای با افزایش شدت گرفتگی قطره‌چکان‌ها تأثیر اسیدشویی بر رفع گرفتگی کاهش می‌یابد (Jahanghin et al, 2018)

جدول ۹. نتایج مطالعه کاربرد هم‌زمان حمام اولتراسونیک و اسیدشویی در رده‌های صفر تا چهار

اختلاف میانگین آبدهی قبل و بعد (لیتر بر ساعت)	میانگین آبدهی قطره‌چکان‌های تیمار بعد از اولتراسونیک (لیتر بر ساعت)	میانگین آبدهی قطره‌چکان‌های تیمار شاهد (لیتر بر ساعت)	رده‌ها
۲/۲۴	۲/۲۴	۰	رده صفر
۱/۷۹	۲/۲۴	-۰/۴۵	رده ۱
-۰/۸۱	۲/۳۱	۱/۵	رده ۲
-۰/۴۰۳	۱/۹۲	۲/۳	رده ۳
-۱/۶	۲	۳/۶	رده ۴

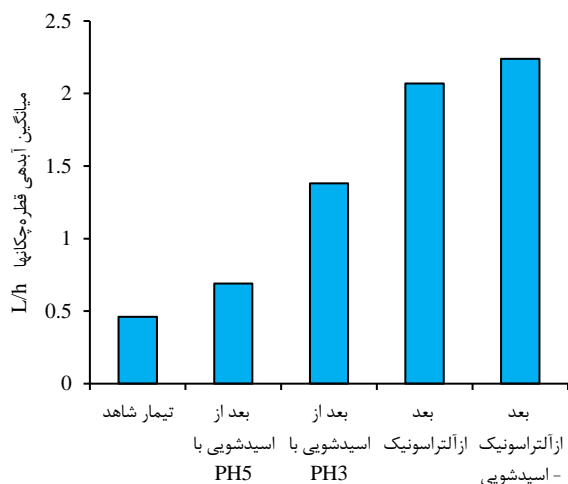
مقایسه نتایج مطالعه کاربرد هم‌زمان شستشوی اولتراسونیک و اسیدشویی در رده‌های مختلف نشان داد که میزان کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها در گرفتگی‌های بالای ۵۰ درصد بسیار مؤثرتر است و هرچه میزان گرفتگی بیش‌تر باشد، میزان کاهش گرفتگی نیز بیش‌تر است.

در هر رده، چهار تیمار شاهد در نظر گرفته شد که تیمارهای ۱ و ۲ جهت اسیدشویی در دو سطح مختلف pH، تیمار ۳، جهت شستشو با حمام اولتراسونیک و تیمار ۴ نیز جهت کاربرد هم‌زمان حمام اولتراسونیک- اسیدشویی مورد استفاده قرار گرفتند. اسیدشویی با pH=3، در تمامی رده‌ها باعث کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها شده است. در گرفتگی‌های بالای ۷۵ درصد، میزان کاهش گرفتگی بیش‌تر از گرفتگی‌های زیر ۷۵ درصد بوده است. این نتیجه می‌تواند به این دلیل باشد که در گرفتگی‌های بالای ۷۵ درصد، سهم گرفتگی شیمیایی بیش‌تر از این سهم در گرفتگی‌های زیر ۷۵ درصد بوده است.

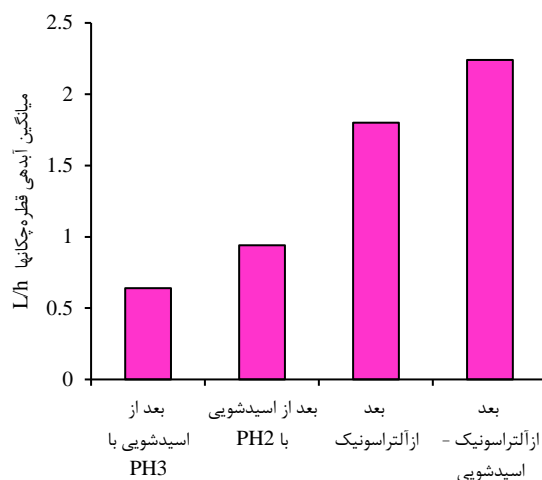
اسیدشویی با pH=5 در تمامی رده‌ها یکسان عمل نکرده، به‌نحوی که در گرفتگی‌های بالای ۵۰ درصد، موجب کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها شده است. در حالی که در گرفتگی‌های زیر ۵۰ درصد، نه‌تنها موجب افزایش میانگین آبدهی قطره‌چکان‌ها نشده، بلکه این میزان را کاهش نیز داده است. با توجه به این‌که در این دو آزمایش، زمان اسیدشویی ثابت و برابر یک ساعت در نظر گرفته شد، پس می‌توان نتیجه گرفت افزایش غلظت اسید در اسیدشویی باعث کاهش بیشتر گرفتگی قطره‌چکان‌ها گردیده است. بررسی‌های میدانی انجام شده نشان داد که کشاورز خود را به‌طور پیوسته ملزم به استفاده از سامانه کنترل مرکزی نکرده و در مورد شستشوی فیلترها و تعویض آن‌ها سهل‌انگاری کرده است.

با توجه به این مسئله و با در نظر گرفتن رفتار میانگین آبدهی قطره‌چکان‌های رده‌های مختلف، می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که گرفتگی قطره‌چکان‌ها در این پژوهش ترکیبی از گرفتگی فیزیکی و شیمیایی است. در مطالعه حاضر، در گرفتگی‌های ۷۵ درصد به بالا، سهم گرفتگی شیمیایی بیش‌تر از سهم آن در گرفتگی‌های کم‌تر از ۷۵ درصد است. توجه به رفتار قطره‌چکان‌ها از نظر تغییر میزان میانگین آبدهی قطره‌چکان‌ها در غلظت‌های مختلف اسیدشویی، افزایش اندک گرفتگی‌ها در اثر اسیدشویی در گرفتگی‌های زیر ۷۵ درصد و تبعیت نکردن میزان کاهش گرفتگی در رده‌های سه و چهار برعکس رده‌های قبل از یک قانون خاص، مؤید این مطلب است. کاهش میانگین آبدهی قطره‌چکان‌ها پس از اسیدشویی با pH=5 در گرفتگی‌های زیر ۵۰ درصد، می‌تواند به‌دلیل جابجا شدن موادی که عامل گرفتگی فیزیکی داخل قطره‌چکان هستند، اتفاق افتاده باشد.

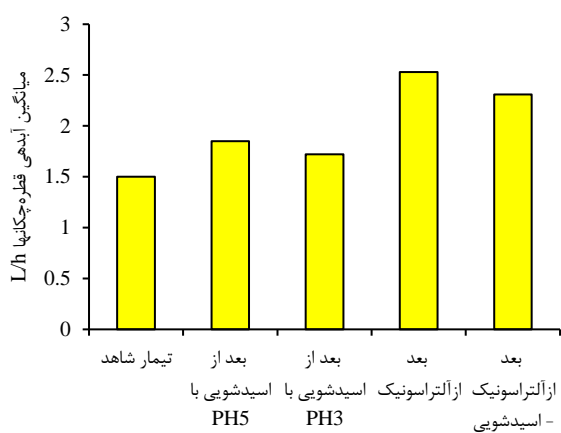
میزان کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌های رده صفر در هنگام اسیدشویی با $\text{pH}=3$ ، کم‌ترین میزان کاهش گرفتگی و در هنگام کاربرد هم‌زمان اسیدشویی - حمام اولتراسونیک، بیش‌ترین مقدار کاهش گرفتگی را دارا است (شکل ۶ الف). پژوهشگران متعددی بیان داشتند برای جلوگیری از رسوب شیمیایی می‌توان با پایین نگه‌داشتن pH ، گرفتگی قطره‌چکان‌ها را کاهش داد (Ahmadaali et al. 2009; Gholami Sefidkouhi and Barzegar Akhtekhaneh, 2014). در پژوهشی نتیجه گرفته شد کاهش اسیدیته آب آبیاری به‌وسیله تزریق اسیدهای سولفوریک و نیتریک به درون لوله‌های سامانه آبیاری، به‌طور چشمگیری انسداد خروجی‌ها را کاهش می‌دهد که در تطابق با یافته‌های مطالعه حاضر است (Mostafazadeh-Fard and Moayyedinia, 2000; Rezaei Rad et al, 2023).



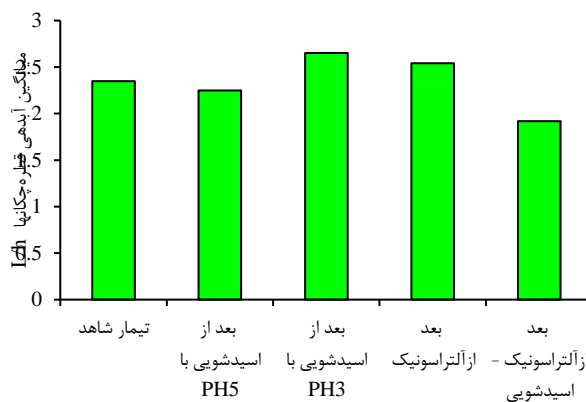
(ب)



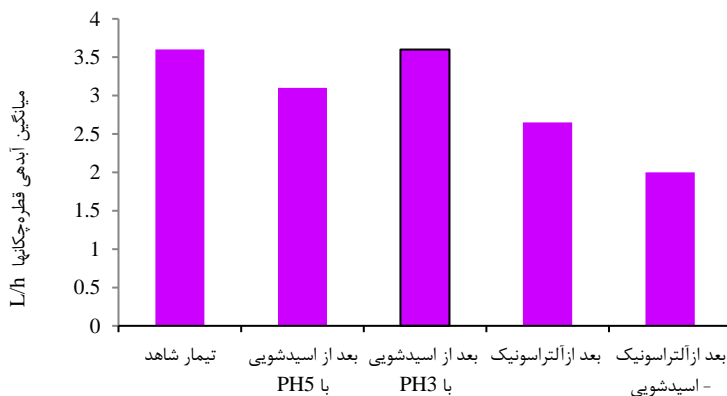
(الف)



(د)



(ج)



(ه)

شکل ۶ الف تا ه) نتایج بررسی روش‌های کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها در رده‌های صفر تا چهار



در شکل (۶) الف تا ه، نتایج مطالعه روش‌های کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها در رده‌های صفر تا چهار نشان داده شده است. هنگام استفاده از حمام اولتراسونیک میزان کاهش گرفتگی قابل توجهی (حدود ۴۵ درصد) حاصل شد که این مسئله به دو دلیل حائز اهمیت است. مورد اول این که زمان اسیدشویی یک ساعت در نظر گرفته شده، ولی زمان استفاده از حمام اولتراسونیک ۱۵ دقیقه بود (شکل ۸ الف). مورد دوم این که در هنگام استفاده از اولتراسونیک هیچ ماده شیمیایی مورد استفاده قرار نگرفته، بنابراین محیط‌زیست و ریشه گیاه از آسیب شیمیایی مصون می‌مانند که این امر کارایی روش حمام اولتراسونیک را به اثبات می‌رساند. در رده یک، شباهت رفتاری تقریباً یکسان تیمارهای این رده با رده صفر قابل ملاحظه است (شکل ۶ ب).

در رده دو نمی‌توان ادعا کرد که افزایش غلظت اسید، موجب افزایش میزان کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها گردیده است. نکته قابل توجه این است که در هنگام کاربرد هم‌زمان اسیدشویی - حمام اولتراسونیک نیز بالاترین میزان کاهش گرفتگی اتفاق نیفتاده است. میزان گرفتگی شیمیایی این رده نسبت به رده‌های قبل کم‌تر است. علاوه بر این، در این رده برعکس رده‌های قبل، بیش‌ترین میزان کاهش گرفتگی مربوط به استفاده از حمام اولتراسونیک است (شکل ۸ ج). در رده‌های سه و چهار، یعنی گرفتگی‌های زیر ۵۰ درصد، استفاده از اولتراسونیک به‌تنهایی یا همراه اسیدشویی خیلی مؤثر واقع نشده و همین‌طور اسیدشویی نیز تأثیر ناچیزی در کاهش میزان گرفتگی داشته است. دلیل مشاهده کاهش میانگین آبدهی می‌تواند به علت جابجا شدن مواد عامل گرفتگی فیزیکی در قطره‌چکان‌ها باشد (شکل ۶ د و ه).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از سه مدل شستشو بر روی قطره‌چکان‌های مسدود شده در نتیجه گرفتگی فیزیکی و شیمیایی نشان داد که اسیدشویی در محیطی با pH=3، گزینه مناسب‌تری برای کاهش میزان گرفتگی قطره‌چکان‌ها نسبت به اسیدشویی با pH=5 است. نتایج تأیید کرد اسیدشویی برای گرفتگی‌های بالای ۷۵ درصد با ۷۵ درصد گرفتگی شیمیایی بیش‌تر، در مقایسه با گرفتگی‌های زیر ۷۵ درصد، مؤثرتر است. نتایج حاصل از سه مدل شستشو در مطالعه موردی انجام شده نشان داد که گرفتگی قطره‌چکان‌ها ترکیبی از گرفتگی فیزیکی و شیمیایی بود و اسیدشویی، اولتراسونیک و کاربرد هم‌زمان اسیدشویی - اولتراسونیک برای گرفتگی‌های بالای ۵۰ درصد مؤثرتر واقع شدند و هرچه میزان گرفتگی بیش‌تر بود، میزان کاهش گرفتگی بیش‌تری پس از شستشو اتفاق افتاد. در طرح‌هایی که گرفتگی قطره‌چکان‌ها ترکیبی از گرفتگی فیزیکی و شیمیایی است، شستشوی اولتراسونیک - اسیدشویی گزینه مناسبی برای کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها نسبت به اسیدشویی است. پیشنهاد می‌گردد طرح‌های دیگری با ترکیبی از گرفتگی‌های فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیک مورد بررسی قرار گرفته و رفتار قطره‌چکان‌ها از نظر تغییر میزان آبدهی، پس از شستشوی اولتراسونیک با مطالعه حاضر مقایسه و نتایج مورد بررسی قرار گیرد با توجه به این که با استفاده از حمام اولتراسونیک می‌توان بدون کاربرد مواد شیمیایی و آلوده‌کننده، نسبت به کاهش قابل توجه گرفتگی قطره‌چکان‌ها در آبیاری اقدام نمود، لذا توصیه می‌گردد نسبت به ساخت حمام اولتراسونیک به شکل دایره یا مربع اقدام گردیده و به‌صورت استیجاری در اختیار کشاورزان قرار گیرد. به این صورت کشاورزان می‌توانند با اجاره دستگاه لوله‌های آبدی به همراه قطره‌چکان‌های نصب‌شده در روی آن‌ها را به مدت چند دقیقه داخل حمام اولتراسونیک قرار داده و موجب کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها به میزان قابل توجهی گردند.

سپاسگزارى

پژوهش حاضر مستخرج از طرح با کد ۹۶۰۰۹۹۳۸ و با حمایت مالی بنیاد ملی علم ایران (Iran National Science Foundation: INSF) انجام شده است.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Aali, K. A., Liaghat, A., & Dehghanisani, H. (2009). The effect of acidification and magnetic field on emitter clogging under saline water application. *Journal of Agricultural Science*, 1(1), 132.
- Abdi, C., & Fathi, P. (2014). Laboratorial evaluating of physical anti-clogging performance of Micro flapper, Corona and Eden emitters in drip irrigation. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 3(4), 63-71.
- Ansari, s. F., & Boroomand, N. S. (2015). The Effect of Fertigation on Clogging of Emitters in Drip Irrigation

System.

- Alizadeh, A. (2001). Principles and practices of drip Irrigation. Publication of Imam Reza (A), 450.
- Faryabi, A., Ghorbani, B., Maroufpoor, E., & Bahrami Kamangar, B. (2017). Partial clogging evaluation of emitters under drip irrigation using aquaculture effluent. *Iranian Water Researches Journal*, 11(4), 45-54.
- Jahangin, J. (2017). Evaluating the effect of acid washing on reducing the clogging of drippers in subsurface drip irrigation. Master's thesis. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
- Karamzadi, M. (2018). Water and sustainable development in central asia. *Central Asia and The Caucasus Journal*, 24(102), 155-184.
- Reinders, F. B., & Van Niekerk, A. S. (2018). Technology smart approach to keep drip irrigation systems functional. *Irrigation and drainage*, 67(1), 82-88.
- Kiani, A., Hezarjaribi, A., Dehghan, T., & Khoshravesh, M. (2015). An investigation of emitters clogging under magnetic field and water quality. *Water and Soil*, 29(1), 48-57.
- Lv, C., Zhang, E., Gan, H., Niu, W., Ali, S., Dong, A., ... & Sun, D. (2023). Aerated drip irrigation increased the emitter clogging risk of the Yellow River water drip irrigation. *Irrigation and Drainage*, 72(1), 3-20.
- Lili, Z., Yang, P., Ren, S., Li, Y., Liu, Y., & Xia, Y. (2016). Chemical clogging of emitters and evaluation of their suitability for saline water drip irrigation. *Irrigation and Drainage*, 65(4), 439-450.
- Megha, P. U., Kavva, P., Murugan, S., & Harikumar, P. S. (2015). Sanitation mapping of groundwater contamination in a rural village of India. *Journal of Environmental Protection*, 6(01), 34.
- Nakayama, F. S., & Bucks, D. A. (1991). Water quality in drip/trickle irrigation: a review. *Irrigation science*, 12, 187-192.
- Mostafazadeh, B., & Nia, A. H. M. (2000). The effect of different chemical components of irrigation water on emitter clogging in trickle irrigation. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 31(3), 497-511.
- Parvizi, H., Parnian, A., Hatami, H., & Rahimian, M. H. (2023). Effects of Pressure Changes and Type of Emitter on the Performance of Drip Irrigation Systems in Pistachio Orchards of Yazd Province. *Journal of Water Research in Agriculture*, 37(1), 17-33.
- Pei, Y., Li, Y., Liu, Y., Zhou, B., Shi, Z., Jiang, Y. 2014. Eight emitters clogging characteristics and its suitability under on-site reclaimed water drip irrigation. *Irrigation science*. 32(2): 141-157.
- Pirmoradian, Nader and Neshagar, Hossein and Hanar, Mohammadreza. 2013. Yinvin's solutions to prevent the environmental risks of acid washing in drip irrigation systems, Iran's international conference on environmental crises and its improvement solutions, Kish Island, Iran.
- Rajabzadeh, T., Mirilatifi, S.M. and Dehghani Sanij, H. 2019. Evaluation of acid washing management to remove clogging of drippers, a case study: Kerman province, the first national conference on low irrigation and use of unconventional water in agriculture in dry areas, Mashhad, Iran.
- Rezaei Rad, H., Hooshmand, A., Pourgholam-Amiji, M., & Doust Mohammadi, M. M. (2023). Evaluation of the Effect of Acid Washing on the reduction of Dripper Clogging, Drip Irrigation System Efficiency and Soil Chemical characteristics. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 17(1), 87-101.
- Samadi, M., Khoshravesh, M., & Gholami Sefidkouhi, M. A. (2018). Investigation the Effect of Electromagnetic on Emitters Clogging at Irrigation with Agricultural Wastewater. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 12(2), 355-364.
- Sarvari, F., Naibzadeh, H., Azimi, H., Dastgerdi, S., Sigari, A. and Arab, A. 2018. New methods of irrigation of agricultural products and optimal use of water resources (drip irrigation method), National Symposium of Belde Ferdous Aqueduct, Birjand.
- Song, P., Li, Y., Zhou, B., Zhou, C., Zhang, Z., & Li, J. (2017). Controlling mechanism of chlorination on emitter bio-clogging for drip irrigation using reclaimed water. *Agricultural Water Management*, 184, 36-45.
- Soroush, F. (1402). A review of clogging management in non-conventional water drip irrigation systems: challenges, strategies and best practices, 16th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction, Kerman, Iran.
- Zamanian, M., Hosseinpour, F., Mirzaei, S.M.J. and Porwaazi, 2010. Investigating the risk of chemical clogging of drippers in drip irrigation systems fed from the underground water resources of the Kangavar plain, the 5th national conference on watershed management and water and soil resources management, Kerman.
- Zhangzhong, L., Yang, P., Zheng, W., Wang, C., Zhang, C., & Niu, M. (2018). Effects of drip irrigation models on chemical clogging under saline water use in Hetao District, China. *Water*, 10(3), 345.