Research Paper

Evaluation of Moisture Advance Front Pattern in Subsurface Drip Irrigation with Continuous and Pulse Flow

Nazir Karimi[1], Bakhtiar Karimi[2]*

1. Former MSc Student of Water Science and Engineering , College of Agricultural, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
2. Assistant Prof. of Water Science and Engineering, College of Agricultural, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 2019/01/28
Revised: 2019/07/03
Accepted: 2020/12/19

Use your device to scan and read the article online

DOI:
10.30495/wej.2022.20462.2120

Keywords:
Continuous Irrigation, Irrigation Management, on-off Irrigation, Subsurface Drip Irrigation, Wetted Bulb

Abstract

Introduction: Surface and subsurface drip irrigation (SDI) is widely used in arid and semi-arid regions due to water saving. The precise design of these systems requires a precise understanding of the wetting advances pattern under different condition.

Methods: In order to investigate the moisture distribution pattern in SDI, the laboratory experiments were carried out in a transparent polycarbonate box (0.5m *1.22m * 3m) using three different soil textures (i.e. fine, medium, coarse). The drippers were installed at 2 different soil depths (i.e. 15cm and 30 cm). The emitter outflows rates were considered as 2, 4 and 6 lit/hr. Also, these experiments were conducted for two continuous and pulse flow. In SDI with pulse application, the pulse cycles were considered 30-30, 20-40 and 40-20 min. The first number was the irrigation time (on) and the second number was the rest time (off) of the system in each cycle.

Findings and Conclusion: The results of this research showed that the moisture advance pattern moved more horizontally with increasing the rest time for SDI with pulse application. Also, horizontal distribution of moisture front (for the same water volume) for low emitter outflow was more than emitter with high outflow rate. As well as, the maximum depth of wetted front was related to emitters with higher outflow rate in the coarse texture, and in fine texture is related to lesser outflow rate. The results indicated that the horizontal distribution for pulse ratio 20-40 (these values varied from 68.38 to 93.66 cm) was more than two other pulses (these values ranged between 64.91-85.94 and 66.4-81.19 cm for pulse ratio 40-20 and 30-30, respectively) and continuous application (these values varied from 60.6 to 83.82 cm).

Citation: Karimi N, Karimi B. Evaluation of moisture advance front pattern in subsurface drip irrigation with continuous and pulse flow. Water Resources Engineering Journal. 2022;14 (51):21-38

***Corresponding author:** Bakhtiar Karimi
Address: Dept. of Water Science and Engineering, College of Agricultural, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
Tell: +989379832124
Email: bakhtiar.karimi@uok.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Drip irrigation system with high efficiency is one of these new irrigation systems that have numerous inherent capabilities. According to accurate control and suitable management in the drip irrigation system, irrigation efficiency can be maintained at a high level. In some areas, due to the climatic conditions of the region and intense sunlight, a large part of the applied water volume is lost due to evaporation from the soil surface. According to the population growth rate, the demand for producing food increase despite the scarce water resources. Drip irrigation systems is one of the most efficient systems that usually recommended to overcome this problem and enhancing the water use efficiency as they minimize water losses via eliminating the surface runoff, deep percolation and evaporation from the soil surface. With a good design and correct operation of the systems, it plays significant role in uniform water distribution between the emitters and laterals that can increase the efficiency of the water/fertilizer use, and reduce water application losses. In designing drip irrigation systems, the dimensions of the wetted pattern in horizontal and vertical directions are two main factors for optimizing emitter spacing, lateral placement and installation depth of emitters. According to the literature review that have been conducted in the field of the moisture front pattern under pulse and continuous subsurface drip system (SDI), it is clear that a comprehensive and complete study has not been carried on the effect of the irrigation mode (continuous and pulse) on soil texture, different discharges and different installation depths (drippers). According to the studies conducted in the field of wetting bulb pattern, it is clear various studies have been related to the surface drip irrigation with pulse and continuous application and limited studies have been conducted on subsurface irrigation. Therefore, the main purpose of this study is to compare the moisture front pattern in the subsurface drip irrigation system with continuous and pulse mode. Also, the change of flow on-off time in the pulse system is one of the influential factors on the wetting pattern, which in this study was comprehensively evaluated under different scenarios. Finally the best pulse cut-off time considered for the pulse drip irrigation system.

Materials and Methods

The experiments were conducted in the water science and engineering department of the Agricultural College of University of Kurdistan, Iran. In order to evaluate the wetting front pattern in SDI, the laboratory experiments were conducted in a transparent polycarbonate container (0.5m *1.22m * 3m) using three different soil textures (i.e. heavy, medium, light). The drippers were installed at 2 different soil depths (i.e. 15cm and 30 cm). The emitter outflows rates were considered as 2, 4 and 6 lit/hr. Also, these experiments were conducted for two continuous and pulse flow. In SDI with pulse application, the pulse cycles were considered 30-30, 20-40 and 40-20 min. The first number was the irrigation time (on) and the second number was the rest time (off) of the system in each cycle. In this study, at the end of each experiment, by providing photos of moisture bulb, water distribution was measured in the horizontal and vertical directions.

Findings

The results of this study showed that in the subsurface continuous and pulse drip irrigation system with pulse ratio of 40-20 in lower outflow (e.g. 2 liters per hour) the horizontal distribution will be higher than the vertical distribution in all investigated treatments but vertical distribution will be higher than horizontal distribution for higher discharge (e.g. 6 liters per hour). In pulse irrigation with pulse ratio of 30-30 vertical distribution (for all discharges and soil textures) will be more than horizontal distribution and for pulse ratio of 20-40 horizontal distribution (for all treatments) will be more than vertical distribution. In

general, it can be stated that by increasing cutting-off time, the moisture horizontal distribution increases and water advances front moves more towards the horizon. The results of this study showed that in the subsurface drip irrigation (with continuous and pulse mode) for the equal applied water volume, the horizontal distribution of the moisture front will be relatively higher for lower outflow than higher outflow. The results of this study also indicated that in the continuous and pulse subsurface drip irrigation system for an equal applied water volume, the maximum wetting depth in light texture is related higher discharge and in heavy texture related low discharge.

Discussion

The results of this study showed that in continuous and pulse subsurface drip systems for all investigated outflow rates, the highest horizontal distribution and wetting depth are related to light texture and the lowest horizontal distribution and wetting depth are related to heavy texture because the heavy texture have considerable percentage of clay. It causes that absorption capacity of water by soil particles will be higher and the water movement will be slower than light texture in different directions. The results of this research demonstrated that in the continuous and pulse subsurface drip irrigation for the equal applied water volume, the horizontal distribution of the moisture front will be relatively higher for lower outflow than higher outflow because in the subsurface drip system, the water movement in the horizontal direction will be more dependent on the matrix force of the soil and water in lower discharge has more opportunity to move horizontally than high discharges. But in higher outflow, due to the high outflow rate and water volume, water does not have the enough opportunity for horizontal distribution and finally, the gravity force prevails and causes the water move in vertical direction.

Conclusion

In general, the results of this study showed that by changing the soil type, outflow rate, the emitter installation depth and irrigation application mode (pulse and continuous), the values of the moisture adavnces front significantly change in different directions. The results showed that in the pulse subsurface drip irrigation system, by increasing rest time in each cycle, horizontal distribution increases, therefore the distance between the emitter and dripper can be more considered. The results also showed that the lowest and highest water rise is related to light texture and medium-heavy texture in the subsurface irrigation system, respectively. Therefore, according to these results, it is clear the emitter installation depth should be considered less that in sandy soils (because water is less rising) so that water can easily reach the soil surface and deepercolation losses are also reduced. Also, the emitter installation depth can be considered more for medium and heavy soils.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Bakhtiar Karimi.
Methodology and data analysis: Nazir Karimi.
Supervision and final writing: Bakhtiar Karimi.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

ارزیابی الگوی جبهه پیشروی رطوبت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با جریان پیوسته و پالسی

نظیر کریمی[۱]، بختیار کریمی*[۲]
۱.. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۲. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۸
تاریخ داوری: ۱۳۹۸/۰۴/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۷

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

DOI:
10.30495/wej.2022.20462.2120

واژه‌های کلیدی:
آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، آبیاری پیوسته، آبیاری قطع- وصلی، پیاز رطوبتی، مدیریت آبیاری

چکیده

مقدمه: آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل صرفه جویی در مصرف آب کاربرد گسترده‌ای در مناطق خشک و نیمه خشک دارد. طراحی دقیق این سیستم‌ها نیازمند فهم دقیق الگوی پیشروی رطوبت تحت شرایط مختلف می باشد.

روش: به منظور بررسی الگوی جبهه پیشروی رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، داده‌های آزمایش‌ها در یک مدل فیزیکی از جنس پلی‌کربنات به ابعاد ۰/۵×۱×۳ متر و بر روی سه نوع بافت خاک (سبک، متوسط و سنگین)، با سه نوع دبی قطره چکان (۲، ۴ و ۶ لیتر در ساعت)، در دو عمق مختلف نصب قطره‌چکان (۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری) انجام شد. آزمایش‌ها برای دو نوع سیستم آبیاری پیوسته و پالسی صورت گرفت. در آبیاری پالسی، زمان قطع و وصل پالس‌ها مقادیر ۳۰-۳۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد که عدد اول زمان آبیاری و عدد دوم زمان استراحت سیستم در هر چرخه خواهد بود.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با جریان پالسی با افزایش زمان استراحت در هر چرخه، پیاز رطوبتی پهن‌تر و جبهه پیشروی بیشتر در جهت افقی حرکت می‌کند. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که در سیستم آبیاری با کاربردهای پیوسته و پالسی به ازای یک حجم آب مساوی، توزیع افقی جبهه پیشروی رطوبت در دبی‌های کم نسبت به دبی زیاد بیشتر خواهد بود و بیشترین عمق خیس شدگی در بافت سبک مربوط به دبی زیاد می‌باشد و در بافت سنگین مربوط به دبی کم می‌باشد. نتایج نشان داد در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی برای دبی و بافت‌های مختلف توزیع افقی جبهه پیشروی رطوبت در آبیاری پالسی ۴۰-۲۰ (این مقادیر بین ۹۳/۶۶-۶۸/۳۸ سانتیمتر متغیر می‌باشد) بیشتر از دو پالس دیگر(این مقادیر برای پالس۲۰-۴۰ بین ۸۵/۹۴-۶۴/۹۱ سانتیمتر و برای ۳۰-۳۰ بین ۸۱/۱۹-۶۴/۴ سانتیمتر نوسان دارد) و پیوسته (این مقادیر بین ۸۳/۸۲-۶۰/۶ سانتیمتر متغیر می‌باشد) خواهد بود.

* **نویسنده مسئول:** بختیار کریمی
نشانی: گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
تلفن: ۰۹۳۷۹۸۳۲۱۲۴
پست الکترونیکی: bakhtiar.karimi@uok.ac.ir

مقدمه

همراه با توسعه‌ی اقتصادی و اجتماعی در نواحی خشک، و افزایش نیاز به منابع آبی جدید، نیاز به سامانه‌های به روز با قابلیت افزایش بازده‌ی مصرف آب نیز فزونی می‌یابد (۱۰، ۲۱). آبیاری قطره‌ای با داشتن راندمان بالا یکی از این سامانه‌های نوین آبیاری است. که می‌توان با توجه به قابلیت‌های ذاتی آن از یک سو بیشترین کنترل را اعمال نمود و از سوی دیگر با مدیریت آگاهانه بازده آبیاری را در حد بالایی حفظ کرد (۱۳، ۲۰). در بعضی از مناطق به دلیل شرایط اقلیمی منطقه و تابش شدید آفتاب، در روش آبیاری قطره‌ای سطحی، بخش زیادی از آب داده شده به درختان به دلیل تبخیر از سطح خاک تلف می‌شود. به همین دلیل استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای زیر-سطحی به عنوان گزینه‌ای جهت رفع این مشکلات مطرح می‌باشد. در حال حاضر محققان با ارزیابی سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیان داشتند استفاده از این سیستم در سال‌های اخیر موجب بهبود وضعیت راندمان آبیاری شده است. در چند سال اخیر استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در کشورمان از طرف متولیان بخش کشاورزی مورد توجه قرار گرفته و با شمردن قابلیت‌های بسیار زیاد برای این سیستم نسبت به سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی، کشاورزان را برای استفاده از این سیستم آبیاری برای مزارع و باغات ترغیب نموده‌اند (۱، ۱۱، ۱۶). آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI[1]) اولین بار در سال ۱۹۵۹ در کالیفرنیا مطرح شد و به تدریج با بهبود مصالح روش آبیاری قطره‌ای، این روش نیز توسعه یافت (۱۱). از جمله محاسن این سیستم می‌توان به کارایی مصرف آب بالاتر، آلودگی کمتر آب‌های زیرسطحی به دلیل آبشویی کمتر نیترات‌ها، کاهش خطرات شوری به دلیل نگهداری زیاد رطوبت خاک و دور آبیاری کوتاه‌تر، یکنواختی بهتر پخش آب اشاره کرد (۱۶). سیستم آبیاری قطره‌ای اعم از آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی، از لحاظ کاربرد آبیاری به دو روش کلی کاربرد آبیاری پیوسته و پالسی قابل اجرا است. آبیاری قطره‌ای پالسی یا متناوب یکی از روش‌های آبیاری است که کاربرد حجم پایین آب را به همراه دارد. آبیاری پالسی مجموعه‌ای از چرخه‌ها معرفی شده است که هر کدام از چرخه‌ها از یک فاز آبیاری و یک فاز استراحت تشکیل شده است (۱۳، ۱۴، ۲۴). با توجه به اینکه تحقیقات زیادی در زمینه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی صورت گرفته است، اکثر آن‌ها عملکرد محصول و مصرف آب این روش را با روش‌های دیگر آبیاری مورد مقایسه قرار داده‌اند. تعداد محدودی از آن‌ها نیز توزیع رطوبت را در محیط اطراف ریشه گیاه مورد بررسی قرار داده‌اند و نتایج را به صورت کمی آورده‌اند و هنوز مطالعه جامع و کاملی صرفا برای پیش‌بینی توزیع جبهه پیشروی رطوبت و تعیین عمق نصب بهینه در سیستم آبیاری قطره‌ای زیر-سطحی صورت نگرفته است (۱۱). لذا در این پژوهش با توجه به اهمیت و کاربرد شناسایی توزیع جبهه پیشروی رطوبت در طراحی و مدیریت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، مقدار توزیع جبهه پیشروی رطوبت در جهت‌های مختلف در تیمارهای مختلف با کاربردهای پیوسته و پالسی بررسی و با هم مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین با توجه به اینکه اکثر تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، اغلب مرتبط با آبیاری پیوسته می‌باشد (۲، ۵، ۹، ۱۲) و مطالعات محدودی برای آبیاری پالسی صورت گرفته است (۴، ۶، ۸، ۱۸، ۱۹)، لذا در این تحقیق عملکرد این سیستم از نظر الگوی جبهه پیشروی رطوبت در پالس‌های مختلف آبیاری (۳۰-۳۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۲۰) بررسی و مورد ارزیابی قرار گرفت. سزن و همکاران (۲۲) نشان دادند که استفاده مناسب از سیستم آبیاری قطره‌ای نیازمند حصول اطلاعات مربوط به الگوی توزیع آب ایجاد شده در خاک می‌باشد، این نوع اطلاعات در انتخاب اندازه قطره‌چکان مؤثر بوده و در چگونگی تنظیم شدت جریان خروجی از آن نقش مهمی دارد. همچنین این نوع اطلاعات در به حداقل رساندن میزان نفوذ عمقی سیستم تأثیر می‌گذارد. همچنین مطالعات وسیعی در زمینه بررسی جبهه پیشروی رطوبت در سیستم قطره‌ای صورت گرفته است که می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد. بن‌اشر (۲) نشان داد که به ازای یک مقدار آب آبیاری داده شده، حجم خیس شده خاک در سیستم SDI نسبت به سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی دارای رطوبت کمتری است و همچنین تلفات نفوذ عمقی در سیستم SDI کمتر است. همچنین اکرامنیا (۳) در بررسی انواع قطره-چکان نشان داد که نفوذپذیری در خاک‌های شنی به گونه‌ای عمده تابع نیروی ثقل است حال آنکه در خاک‌های رسی، عامل اصلی و تعیین‌کننده شکل پیاز رطوبتی خاک، نیروی موئینگی است. شریف بیان الحق (۲۳) طی تحقیقات خود نشان داد حجم آب آبیاری تأثیر مستقیمی بر روی حجم جبهه رطوبتی دارد و با افزایش حجم اعمال شده، حجم خاک مرطوب نیز افزایش خواهد داشت. تأثیر حجم آب کاربردی بر ابعاد پیاز رطوبتی بیشتر از دبی قطره‌چکان بوده و در خاک‌های با بافت سنگین نسبت به خاک‌های بافت سبک، سطح خیس‌شده افزایش و عمق پیشروی کاهش خواهد داشت. ایشان اظهار داشتند، با افزایش شیب زمین، عمق نفوذ جبهه رطوبتی کاهش می-یابد. بعد از آبیاری جبهه حرکت افقی آب برای یک خاک شنی لومی خیلی کمتر از جبهه پیشروی عمودی آب است. اما برای یک خاک سیلتی لومی جبهه پیشروی آب در جهت افقی و عمودی یکنواخت می‌باشد. در کل حرکت آب در خاک‌های سنگین بافت خیلی محدود است، اما حرکت عمودی در یک خاک با بافت سبک قابل توجه است. همچنین گریمس و همکاران (۷) به ارزیابی سیستم SDI با دو دبی متفاوت پرداختند و نتایج نشان داد که حرکت افقی آب بیشتر در دبی ۴ لیتر در ساعت رخ می‌دهد و بیشترین حرکت عمودی جبهه رطوبتی در دبی ۲ لیتر در ساعت می‌باشد. همچنین بیان کردند که در سیستم SDI تجمع نمک در نزدیکی سطح زمین و در جوار گیاه بیشتر است و در مقابل توزیع مجدد آب در سیستم SDI نسبت به سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی بیشتر است. آنها نشان دادند که عملکرد گیاه برای سیستم SDI در مقایسه با آبیاری قطره‌ای سطحی ۴ تا ۷ درصد بیشتر است و وضعیت رطوبت گیاه مناسب‌تر و تلفات تبخیر نیز کمتر خواهد بود. محمدبیگی و همکاران (۱۹) در تحقیقی نشان دادند که مؤلفه افقی و عمودی جبهه پیشروی رطوبت در سامانه آبیاری قطره‌ای پالسی نسبت به سامانه پیوسته بیشتر خواهد بود.

[1] -Subsurface drip irrigation

ایشان نشان دادند که افزایش مؤلفه‌های افقی و عمودی رطوبت در آبیاری پالسی را می‌توان این‌طور استدلال کرد که کاربرد متناوب آب در آبیاری قطره‌ای باعث می‌شود که جبهه پیشروی با آب کمتری نسبت به جریان مداوم تکمیل گردد. توکلی (۲۶) نشان داد، مؤلفه عمودی جبهه رطوبتی در آبیاری پالسی نسبت به آبیاری پیوسته در زمانی برابر با زمان آبیاری، بزرگتر بود. هرچند این اختلاف عملاً در زمان طولانی‌تر از بین می‌رود. میلر و همکاران (۱۸) در تحقیقاتی که بر روی یک خاک لومی در استرالیا انجام گردید، نشان دادند که استفاده از سیستم SDI (با عمق نصب ۰/۲ متر) به صورت پیوسته و متناوب از نظر الگوی خیس‌شدگی در سطح خاک تفاوت چندانی ندارد. فرجزاده (۶) ابعاد جبهه رطوبتی در جریان پالسی و پیوسته را مقایسه نمود و نتایج نشان داد که پس از اتمام آبیاری گسترش عرضی و عمقی جبهه رطوبتی در جریان پالسی نسبت به پیوسته بیشتر است. نتایج تحقیقات اسماعیل و همکاران (۸) نشان داد که در آبیاری پالسی، عرض خیس‌شدگی نسبت به سیستم آبیاری پیوسته افزایش می‌یابد ولی عمق خیس‌شدگی کاهش می‌یابد. این نتایج مزایای جریان پالسی را برای کاهش تلفات نفوذ عمقی نشان می‌دهد. الماغلو و دیمن توپولوس (۴) در تحقیقی به بررسی توزیع الگوی پیشروی رطوبت و تلفات آب به وسیله نفوذ عمقی زیر منطقه توسعه ریشه تحت تأثیر آبیاری قطره‌ای پالسی پرداختند. برای این منظور از یک مدل جریان استوانه‌ای که ترکیبی از تبخیر از سطح خاک و استخراج آب توسط ریشه گیاه برای دو نوع خاک و دو دبی را شامل می‌شد، استفاده کردند. نتایج نشان داد توزیع عمودی جبهه پیشروی برای آبیاری پالسی بزرگ‌تر از آبیاری پیوسته در یک زمان مساوی از آبیاری بود و این اختلاف در زمان‌های زیاد آبیاری مشهودتر می‌باشد. با توجه به تحقیقاتی که در زمینه گسترش جبهه پیشروی رطوبت برای آبیاری پالسی و پیوسته در سامانه قطره‌ای زیرسطحی صورت گرفته است، مشخص می‌شود هنوز مطالعه جامع و کاملی در ارتباط تأثیر نوع کاربرد آبیاری(پیوسته و پالسی) برای بافت‌ها و دبی‌های مختلف در اعماق مختلف نصب (قطره‌چکان) صورت نگرفته است. با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه الگوی پیاز رطوبتی مشخص است که بیشتر تحقیقات صورت گرفته مربوط به سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی با کاربرد پالسی و پیوسته می‌باشد و مطالعات محدودی در زمینه آبیاری زیر سطحی انجام شده است.

اهداف پژوهش

۱. مقایسه الگوی جبهه پیشروی رطوبت در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با جریان پیوسته و پالسی می‌باشد.
۲. بررسی تغییر زمان قطع و وصل جریان در سیستم آبیاری پالسی بر روی الگوی جبهه پیشروی رطوبت برای سناریوهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت
۳. تعیین بهترین زمان قطع و وصل پالس برای سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی.

روش تحقیق

به منظور انجام آزمایش‌ها در این تحقیق ، یک مدل فیزیکی مکعب مستطیل با ابعاد ۳×۱×۰/۵ متر در دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان مورد استفاده قرار گرفت. به منظور مشاهده و اندازه‌گیری جبهه پیشروی رطوبت، صفحه جلویی مدل از جنس پلی‌کربنات تخت و سایر قسمت‌های آن از جنس فلز ساخته شد. مدل ساخته شده به سه بخش مساوی تقسیم گردید و همزمان سه آزمایش انجام می‌گرفت. به منظور محاسبه جبهه پیشروی رطوبت در جهت‌های مختلف، قسمت جلویی مدل به وسیله متر مدرج و به صورت کاملاً تراز در دو جهت افقی و عمودی نصب گردید. همچنین به منظور جلوگیری از جریانات ترجیحی در حین آزمایش، با بکار بردن جلا رنگ بر روی سطح پلی‌کربنات تخت و سپس پاشیدن شن‌های زبر بر روی آن یک سطح نسبتاً زبر ایجاد گردید به گونه‌ای که جلا رنگ شفافیت صفحه جلویی مدل را حفظ کرده بود (۲۵). کلیه لوازم و تجهیزات یک سیستم آبیاری قطره‌ای متناسب با شرایط واقعی مزرعه در مدل فیزیکی شبیه‌سازی گردید. بطوری که آب به وسیله پمپ و از طریق لوله‌های پلی‌اتیلن (لوله اصلی با قطر ۳۲ میلیمتر و لوله نیمه اصلی و لاترال به ترتیب با قطرهای ۲۰ و ۱۶ میلیمتر) از یک مخزن ۲۰۰ لیتری به قطره‌چکان‌ها منتقل گردید. همچنین در مسیر انتقال آب از شیر فلکه (به منظور هدایت جریان)، فیلتر توری (به منظور جلوگیری از گرفتگی قطره‌چکان‌ها و عدم یکنواختی توزیع)، فشارسنج (به منظور اعمال یک فشار ثابت در کلیه آزمایش‌ها) و شیر قطع و وصل جریان (به منظور کنترل جریان به داخل هر محفظه) استفاده گردید. نکته مهمی که در آزمایش‌ها رعایت گردید این بود که قطره‌چکان‌ها به‌صورت مستقیم در اعماق خاک قرار داده نشد، به دلیل اینکه قرارگیری قطره‌چکان به صورت مستقیم در داخل خاک باعث ایجاد یک حفره نسبتا بزرگ می‌شود و این امر موجب ایجاد خطا در آزمایش می‌گردد. برای جلوگیری از این مسئله، قطره‌چکان‌ها در سطح خاک قرار می‌گرفتند و از طریق یک لوله انتقال دهنده باریک آب به عمق‌های مشخص خاک منتقل گردید. کلیه آزمایش‌ها در فشار ثابت ۲ بار انجام شد و با توجه به اینکه مقدار دبی خروجی خیلی کم بود به منظور کاهش فشار وارده به سیستم یک مجموعه بای‌پس[2] نیز طراحی گردید (۲۴، ۱۲). در شکل ۱ نمای کاملی از موقعیت قرارگیری کلیه تجهیزات مورد استفاده در این تحقیق آورده شده است. آزمایش‌ها بر روی سه نوع بافت خاک (سبک، متوسط و سنگین) که مشخصات فیزیکی آن‌ها در جدول ۱ آمده است. همچنین در این تحقیق سه نوع دبی قطره چکان (۲، ۴ و ۶ لیتر در ساعت) مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به رایج بودن نوع قطره‌چکان در بازار منطقه، از قطره‌چکان نتافیم استفاده گردید که مشخصات فنی آن در جدول ۲ آمده است. همچنین این آزمایش‌ها برای دو نوع جریان پیوسته و پالسی صورت گرفت که در آبیاری پالسی، زمان قطع و وصل پالس‌ها ۳۰-۳۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۲۰ دقیقه لحاظ گردید. که عدد اول زمان آبیاری و عدد دوم زمان استراحت سیستم در هر چرخه بود.

[2] -By pass

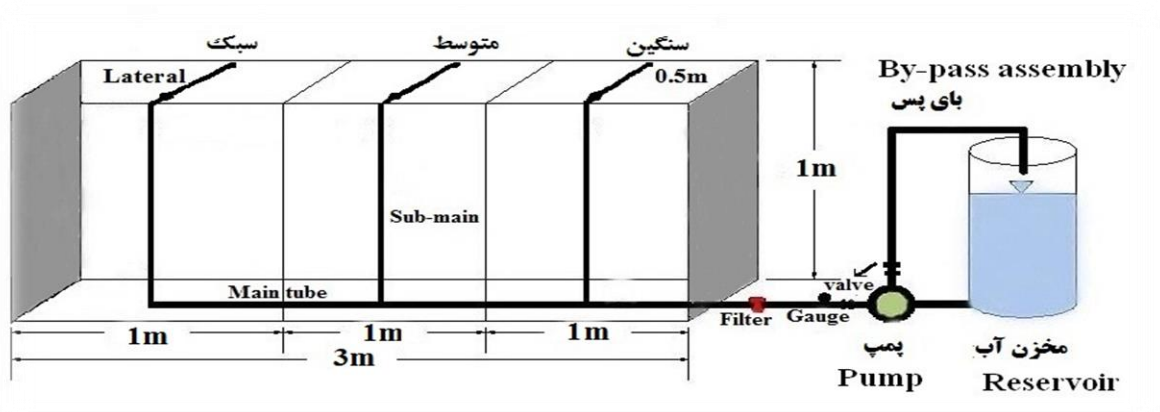
در این تحقیق به منظور محاسبه ابعاد افقی و عمودی پیاز رطوبتی، در زمان‌های مختلف آبیاری تا اتمام آبیاری (۴ ساعت) جبهه پیشروی آب بر روی صفحه پلی‌کربنات تخت ترسیم گردید. در پایان هر آزمایش از مدل عکس‌هایی فراهم گردید و با استفاده از نرم‌افزار گرافر، مختصات کلیه نقاط جبهه پیشروی محاسبه گردید و سپس با داشتن مختصات نقاط و استفاده از نرم‌افزار اکسل، توزیع جبهه پیشروی در جهات مختلف در زمان‌های مختلف حین آبیاری در سامانه قطره‌ای زیرسطحی محاسبه گردید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک‌های مورد استفاده در این تحقیق

نمونه خاک	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت خاک	$\rho_b(\frac{gr}{cm^3})$	$K_S(\frac{cm}{hr})$
بافت سنگین	۲۶	۲۶	۴۸	Clay	۱/۳	۰/۸۵
بافت متوسط	۵۰	۱۸	۳۲	Sandy clay loam	۱/۳۶	۰/۹۲
بافت سبک	۸۲	۶	۱۲	Loamy sand	۱/۵۳	۳/۹۵

جدول ۲- خصوصیات فنی قطره‌چکان‌های مورد استفاده در این تحقیق

پارامتر	قطره‌چکان نتافیم با دبی ۲ لیتر در ساعت	قطره‌چکان نتافیم با دبی ۴ لیتر در ساعت
ضریب یکنواختی توزیع	۹۸	۹۹
درصد ضریب تغییرات ساخت قطره چکان	۰/۰۳۲	۰/۰۱۷



شکل ۱- طرح شماتیک از مدل فیزیکی به همراه اتصالات مربوطه

نتایج و بحث

در این تحقیق در پایان هر آزمایش با فراهم کردن عکس‌هایی از پیاز رطوبتی توزیع آب در جهت افقی، عمودی و همچنین صعود آب به سطح خاک (برای آبیاری زیر سطحی) به‌صورت دقیق محاسبه گردید. نتایج شکل ۲ نشان داد، در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با جریان پیوسته و پالسی با نسبت۲۰-۴۰ در تمامی تیمارها در دبی‌های کم (دبی ۲ لیتر در ساعت) توزیع افقی نسبت به توزیع عمودی بیشتر خواهد بود اما در دبی‌های زیاد (دبی ۶ لیتر در ساعت) توزیع عمودی نسبت به توزیع افقی بیشتر خواهد بود. در جریان پالسی با نسبت ۳۰-۳۰ توزیع عمودی (برای تمامی دبی‌ها و بافت‌ها) نسبت به توزیع افقی بیشتر خواهد بود و در جریان پالسی ۴۰-۲۰ توزیع افقی (برای تمامی تیمارها) نسبت به توزیع عمودی بیشتر خواهد بود. به طور کلی می‌توان بیان داشت، با افزایش زمان قطع جریان پیاز رطوبتی پهن‌تر و جبهه پیشروی بیشتر به سمت افق حرکت می‌کند. مطابق شکل (۳)، در سیستم قطره‌ای زیرسطحی با کاربرد پیوسته و پالسی ۲۰-۴۰ و ۴۰-۲۰ در تمامی خاک‌ها بیشترین توزیع افقی آب به ازای یک حجم آب مساوی مربوط به دبی‌های کم (دبی ۲ لیتر در ساعت) می‌باشد و در کاربرد پالسی با نسبت ۳۰-۳۰ موقعی که قطره‌چکان در عمق ۱۵ سانتی‌متری است در تمامی خاک‌ها توزیع افقی در دبی های کم نسبت به دبی‌های زیاد بیشتر است و زمانی‌که قطره‌چکان در عمق ۳۰ سانتی‌متری است بیشترین توزیع افقی مربوط به دبی ۴ خواهد بود. پس به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با کاربردهای پیوسته و پالسی به ازای یک حجم آب مساوی، توزیع افقی جبهه پیشروی رطوبت در دبی‌های کم نسبت به دبی زیاد نسبتاً بیشتر خواهد بود. دلیل این خواهد بود که در سیستم قطره‌ای زیرسطحی حرکت آب در جهت افقی بیشتر وابسته به پتانسیل ماتریک خاک خواهد بود و با توجه به اینکه در دبی‌های کم شدت پخش آب کم خواهد بود، آب فرصت بیشتری برای حرکت در

جهت افق دارند و به همین دلیل توزیع افقی آب در دبی کم نسبت به دبی زیاد بیشتر خواهد بود اما در دبی‌های زیاد با توجه به اینکه شدت پخش و حجم آب زیاد است در این حالت آب فرصت لازم برای توزیع افقی را ندارد و در این حالت نیروی ثقل غالب می‌شود. این نتایج با تحقیق کریمی (۱۱) همخوانی دارد. مطابق شکل (۴) نتایج نشان داد، در سیستم قطره‌ای زیرسطحی (عمق نصب ۱۵ سانتی‌متری قطره‌چکان) با جریان پیوسته به ازای یک حجم آب مساوی در تمامی بافت‌ها در انتهای آبیاری بیشترین عمق خیس شدگی مربوط به دبی های زیاد می‌باشد در حالیکه قطره‌چکان در عمق ۳۰ سانتی‌متری قرار بگیرد در بافت سبک بیشترین عمق خیس شدگی مربوط به دبی ۶ لیتر در ساعت و در بافت سنگین مربوط به ۲ لیتر در ساعت می‌باشد. همچنین مطابق با شکل (۴) نتایج نشان داد، در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (Z=۱۵cm) با کاربرد پالسی ۲۰-۴۰ به ازای یک حجم آب مساوی در انتهای آبیاری بیشترین عمق خیس‌شدگی در بافت سبک مربوط به دبی زیاد (دبی ۶ لیتر در ساعت) و در بافت سنگین مربوط به دبی کم (دبی ۲ لیتر در ساعت) می‌باشد و موقعی که قطره‌چکان در عمق ۳۰ سانتی‌متری است بیشترین عمق خیس-شدگی در بافت سبک مربوط به دبی ۶ لیتر در ساعت می‌باشد. زیرا در بافت سنگین و برای دبی‌های کم علی‌رغم نفوذپذیری پایین خاک، آب فرصت لازم برای نفوذ را دارد اما در بافت سبک چون نفوذپذیری خاک زیاد است هرچه دبی بیشتر باشد نفوذ عمودی آب نیز بیشتر می‌گردد. همچنین در سیستم قطره‌ای زیرسطحی (Z=۱۵cm) با کاربرد پالسی ۳۰-۳۰ بیشترین عمق خیس‌شدگی در بافت سبک مربوط به دبی ۴ لیتر در ساعت و در بافت سنگین مربوط به دبی کم ۲ لیتر در ساعت می‌باشد و هنگامی که قطره‌چکان در عمق ۳۰ سانتی‌متری است در تمامی بافت‌ها بیشترین عمق خیس‌شدگی مربوط به دبی ۴ می‌باشد. همچنین در سیستم قطره‌ای زیرسطحی (Z=۱۵cm) با کاربرد پالسی ۴۰-۲۰ بیشترین عمق خیس‌شدگی در تمامی بافت‌ها مربوط به دبی ۴ لیتر در ساعت می‌باشد و هنگامی که قطره‌چکان در عمق ۳۰ سانتی‌متری است بیشترین عمق خیس‌شدگی در بافت سبک مربوط به دبی زیاد (دبی ۶ لیتر در ساعت) و در بافت سنگین مربوط به دبی کم (دبی ۲ لیتر ساعت) می‌باشد. به طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت که در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با کاربردهای پیوسته و پالسی به ازای یک حجم آب مساوی در انتهای آبیاری بیشترین عمق خیس شدگی در بافت سبک مربوط به دبی زیاد می‌باشد و در بافت سنگین مربوط به دبی کم می-باشد. دلیل این امر این است که در بافت سبک چون تخلخل بین ذرات درشت و گرادیان ثقلی زیاد است هر چقدر شدت آب زیاد باشد نفوذ عمقی بیشتر و خاک ظرفیت لازم برای عبور آب بیشتر را دارد. ولی در بافت سنگین بدلیل اینکه منافذ بین ذرات ریزتر و چسبندگی بین ذرات بیشتر است هرچقدر شدت آب کم باشد آب فرصت لازم برای نفوذ عمقی خواهد داشت در نتیجه هر چقدر دبی قطره‌چکان در بافت‌های سنگین کم باشد عمق خیس‌شدگی بیشتر خواهد بود و بر عکس در خاک‌های رسی با افزایش دبی، خاک ظرفیت لازم برای عبور آب زیاد را ندارد. نتایج شکل‌های (۵ و ۶) نشان داد که در سیستم‌های قطره‌ای زیرسطحی با کاربرد پیوسته و پالسی در تمام دبی‌های مورد بررسی بیشترین توزیع افقی و عمق خیس شدگی مربوط به بافت سبک می‌باشد و کمترین توزیع افقی و عمق خیس شدگی مربوط به بافت سنگین می‌باشد. دلیل این امر این است که در بافت سنگین به دلیل وجود درصد بالای رس، ظرفیت جذب آب توسط ذرات خاک بیشتر و حرکت آب در جهات مختلف نسبت به بافت سبک کندتر خواهد بود. نکته مهمی که بایستی به آن اشاره کرد این است که اختلاف عمق خیس شدگی بافت سبک نسبت به بافت متوسط و سنگین بیشتر از اختلاف توزیع افقی بافت سبک نسبت به دو بافت دیگر می‌باشد. مطابق شکل (۷) نتایج نشان داد، در سیستم قطره‌ای زیرسطحی با جریان پیوسته و پالسی در تمام دبی‌ها در انتهای آبیاری کمترین خیز ایستابی مربوط به بافت سبک می‌باشد و بیشترین خیز آب مربوط به بافت متوسط و سنگین می‌باشد. دلیل این مطلب این است که در این بافت‌ها (متوسط و سنگین) درصد رس بالاست و خاصیت موئینگی بیشتر خواهد بود و متناسب با آن خیز ایستابی در این بافت‌ها نسبت به بافت سبک بیشتر خواهد بود. مطابق شکل (۸) نتایج نشان داد، در سیستم‌های قطره‌ای زیرسطحی در دبی و بافت‌های مختلف توزیع افقی جبهه پیشروی رطوبت در کاربرد آبیاری پالسی ۴۰-۲۰ نسبتاً بیشتر از دو پالس دیگر(۲۰-۴۰ و ۳۰-۳۰) و پیوسته خواهد بود که در دبی‌های زیاد این اختلاف به وضوح دیده می‌شود و همچنین توزیع افقی جبهه پیشروی دو پالس دیگر از کاربرد پیوسته نسبتاً بیشتر خواهد بود که در بافت‌های متوسط و سنگین این اختلاف به وضوح دیده خواهد شد. همچنین مطابق با شکل ۸ می‌توان نتیجه گرفت که در سیستم‌های قطره‌ای زیرسطحی در دبی و بافت‌های مختلف عمق خیس شدگی جبهه پیشروی رطوبت در کاربرد آبیاری پالسی ۳۰-۳۰ بیشتر از دو پالس دیگر و پیوسته خواهد بود که در تمامی دبی‌ها و بافت‌ها این اختلاف به وضوح دیده می‌شود و همچنین عمق خیس شدگی جبهه پیشروی کاربرد آبیاری پیوسته از کاربردهای پالسی (۲۰-۴۰ و ۴۰-۲۰) نسبتاً بیشتر خواهد بود که در بافت‌های سبک این اختلاف به وضوح دیده می‌شود.

نتیجه گیری

ارائه راهکارهای مدیریتی در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دلیل افزایش راندمان آب و کاهش مصرف آب، امری منطقی به نظر می‌رسد. در این تحقیق که در قالب یک تحقیق آزمایشگاهی به انجام رسید الگوی جبهه پیشروی رطوبت در جهات مختلف برای سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با کاربردهای پیوسته و پالسی (برای خاک‌ها و دبی‌های مختلف) مورد ارزیابی قرار گرفت. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که با تغییر نوع خاک، مقدار دبی، تغییر عمق نصب قطره‌چکان و روش کاربرد آبیاری(پالسی و پیوسته)، مقادیر توزیع جبهه پیشروی در جهات مختلف به صورت قابل توجهی تغییر می‌کند . نتایج نشان داد که در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با جریان پالسی با افزایش زمان استراحت در چرخه، پیاز رطوبتی پهن‌تر و جبهه پیشروی بیشتر به سمت افق حرکت می‌کند پس متناسب با آن می‌توان فاصله بین قطره‌چکانها را بیشتر در نظر گرفت. همچنین در این سیستم با کاربردهای پیوسته و پالسی به ازای

یک حجم آب مساوی، توزیع افقی جبهه پیشروی رطوبت در دبی‌های کم نسبت به دبی زیاد نسبتاً بیشتر خواهد بود و بیشترین عمق خیس شدگی در بافت سبک نسبتاً مربوط به دبی زیاد می‌باشد. به طور کلی در بافت‌های سبک بایستی به گونه‌ای مدیریت شود که تلفات نفوذ عمقی بیشتر نشود (چون عمق خیس شدگی بیشتر است). همچنین نتایج نشان داد که در سیستم آبیاری زیر سطحی کمترین صعود آب به سطح خاک مربوط به بافت سبک می‌باشد و بیشترین خیز ایستابی مربوط به بافت متوسط و سنگین می‌باشد. پس با توجه با این نتایج مشخص می‌گردد که در خاک‌های شنی (چون خیز آب کمتر می‌باشد) بایستی عمق نصب قطره‌چکان‌ها کمتر در نظر گرفته شود تا آب به راحتی به سطح خاک برسد و متناسب با آن تلفات نفوذ عمقی نیز کمتر شود و برای خاک‌های متوسط و سنگین می‌توان عمق نصب قطره‌چکان را (متناسب با شرایط موجود) بیشتر در نظر گرفت. پس نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در سیستم آبیاری پالسی با تغییر نسبت پالس، می‌توان بهترین توزیع افقی و عمودی جبهه رطوبتی را با توجه شرایط مزرعه و نوع گیاه تعیین کرد. مثلاً در خاک‌های رسی که عمق خیس شدگی کمتر است بهتر است از نسبت پالس۳۰-۳۰ استفاده گردد تا عمق خیس شدگی بیشتر گردد و برای حالتی که هدف افزایش توزیع افقی می‌باشد بهتر است از نسبت پالس ۴۰-۲۰ استفاده گردد. پس به طور می‌توان نتیجه گرفت که مطالعه الگوی پیشروی جبهه رطوبت در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌تواند در جهت مدیریت بهینه آب در مزرعه و افزایش راندمان کاربرد آب و جلوگیری از تلفات عمقی مفید واقع شود. با توجه به اینکه در این تحقیق، به ارزیابی جبهه پیشروی رطوبت برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با کاربرد پالسی و پیوسته پرداخته شد و همچنین با توجه عوامل تاثیرگذار متعددی که بر روی جبهه پیشروی رطوبت وجود دارد، توصیه می‌گردد تحقیقات مشابهی بروی الگوی پیاز رطوبتی برای اراضی شیبدار و همچنین برای خاکهای لایه لایه با کاربرد پیوسته و پالسی برای سیستم آبیاری سطحی و زیرسطحی نیز صورت پذیرد.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

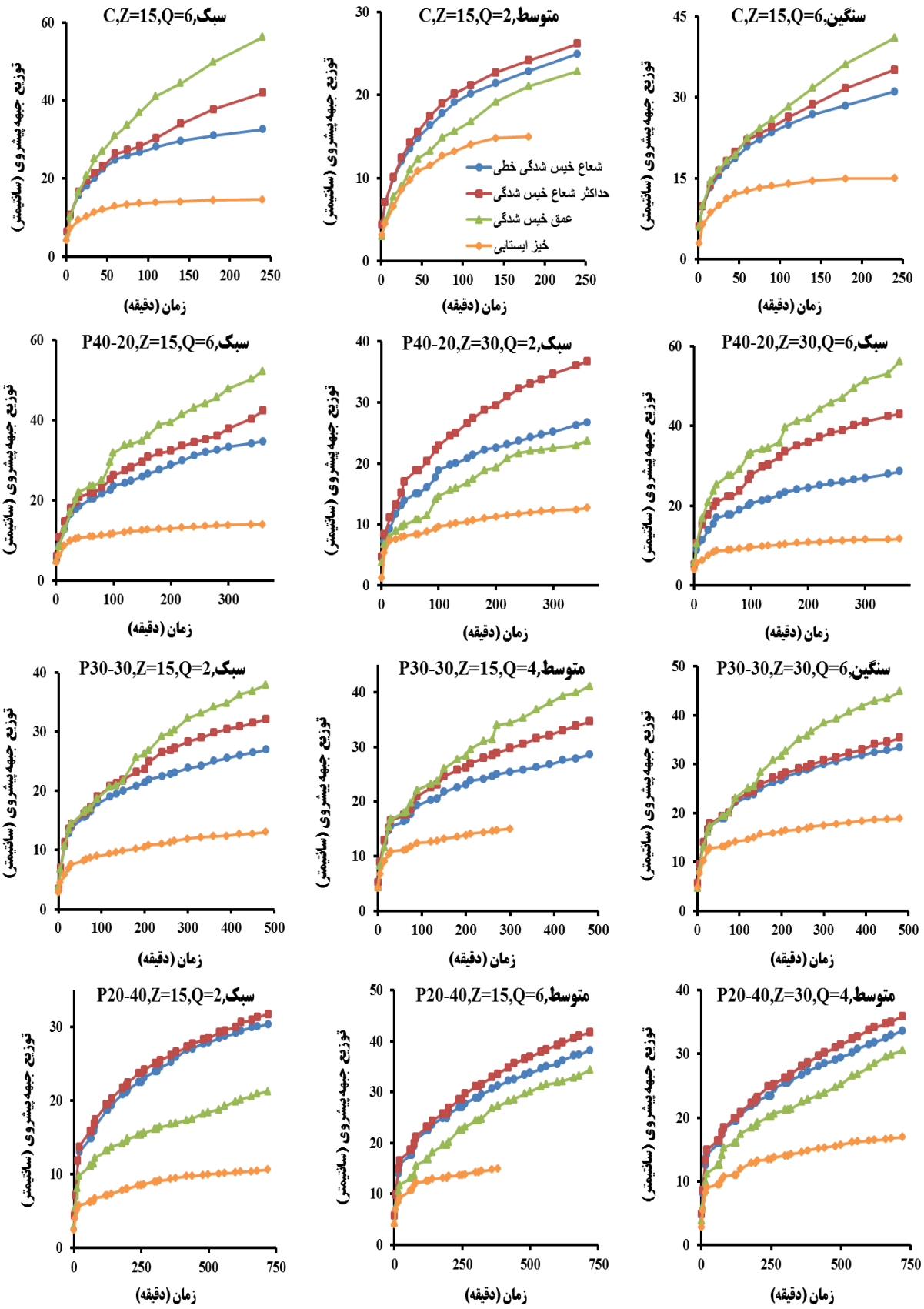
هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

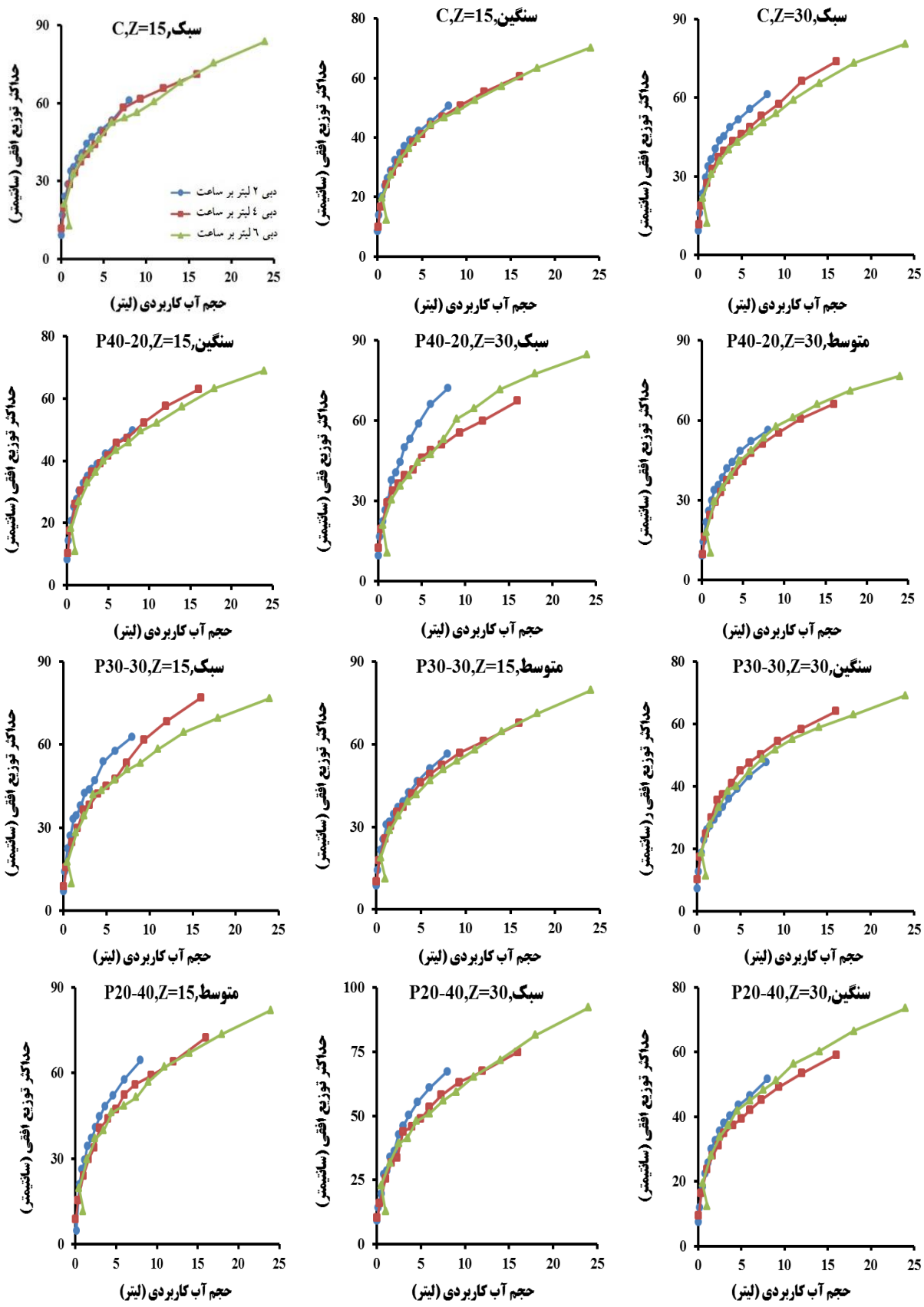
طراحی و ایده‌پردازی: بختیار کریمی؛ روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: نظیر کریمی ؛
نظارت و نگارش نهایی: بختیار کریمی.

تعارض منافع

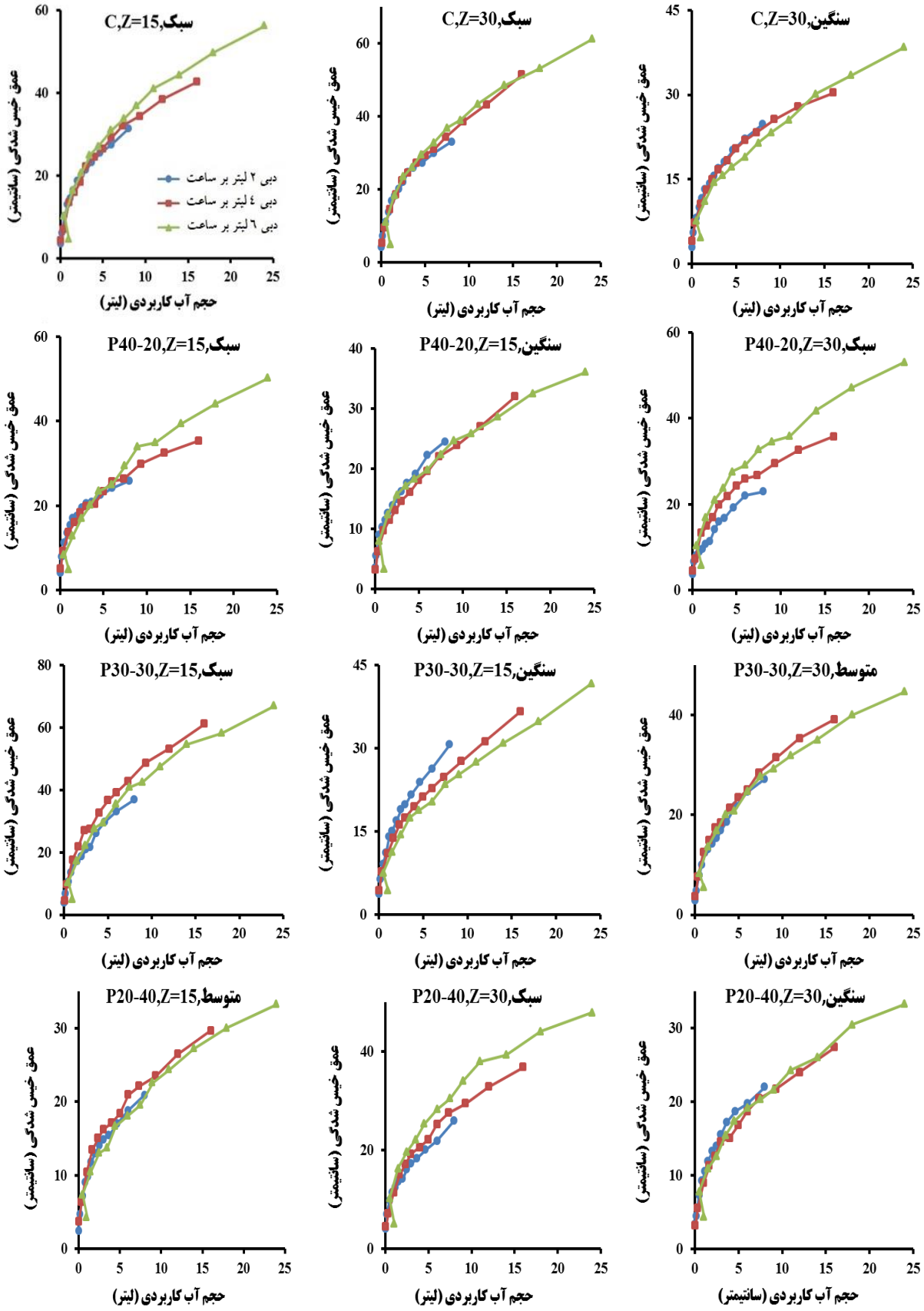
بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.



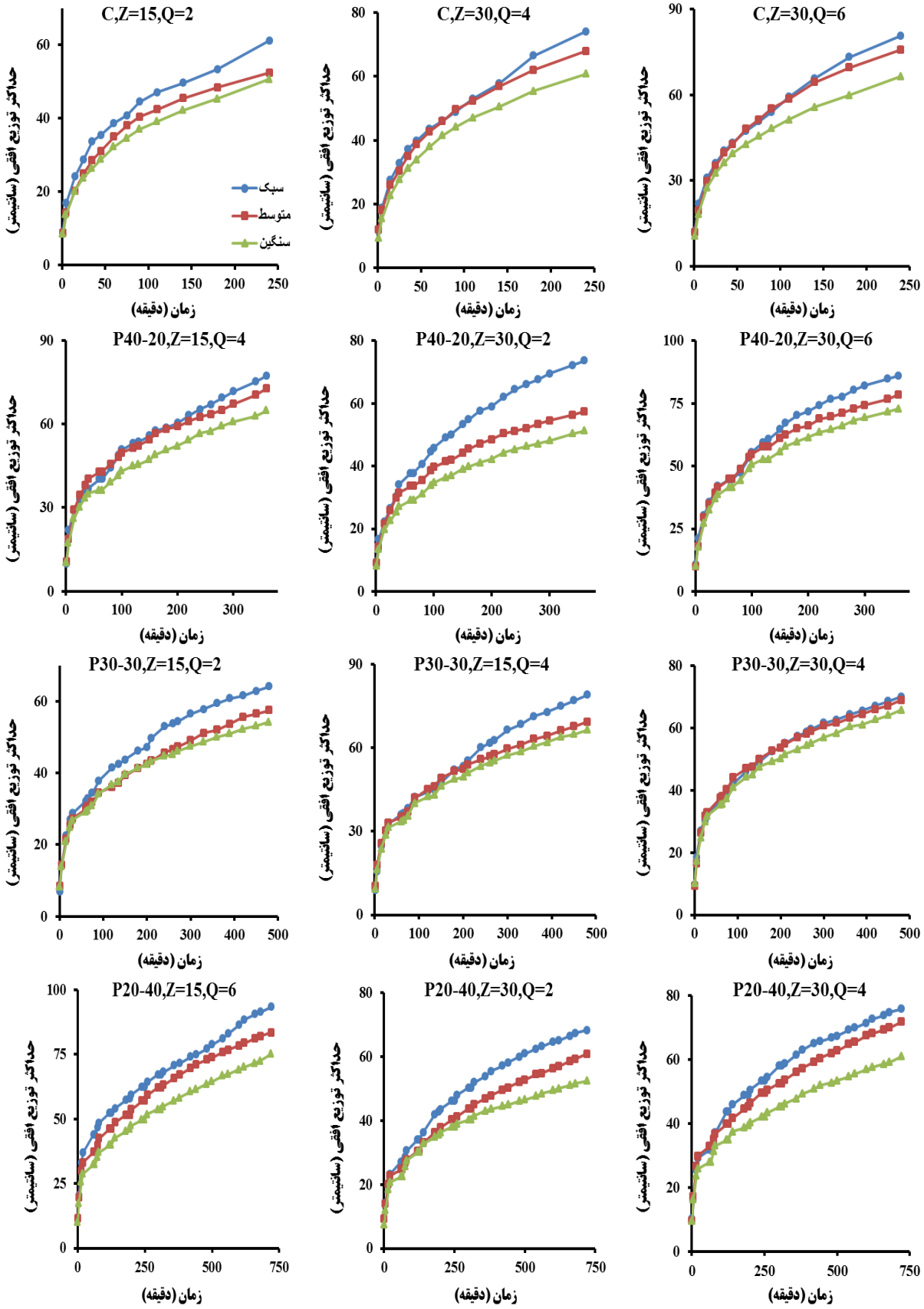
شکل ۲- مقایسه جبهه پیشروی رطوبت بین جهات مختلف در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی



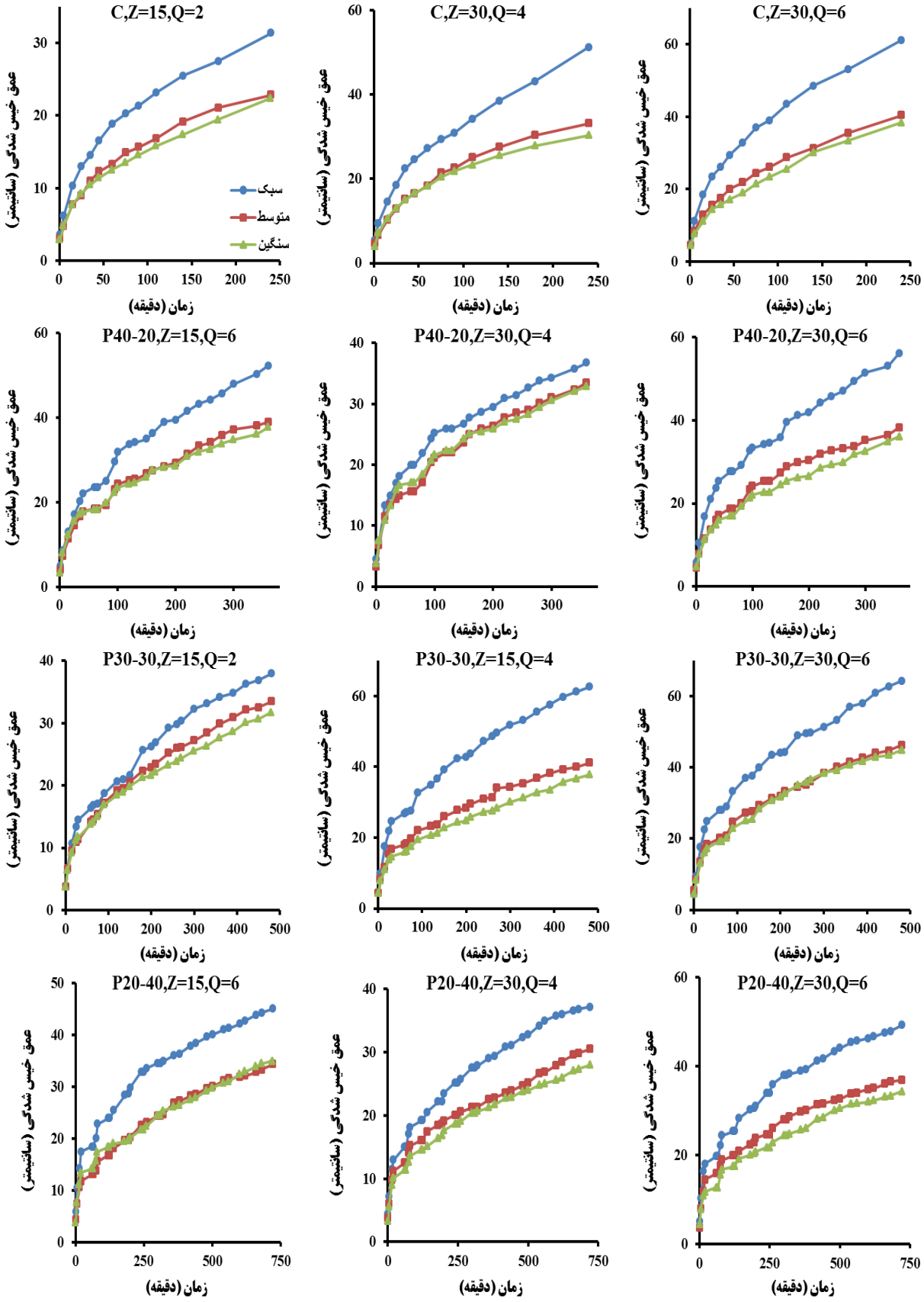
شکل ۳- تأثیر دبی قطره‌چکان به ازای حجم یکسان آب کاربردی بر روی توزیع افقی جبهه پیشروی رطوبت در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی



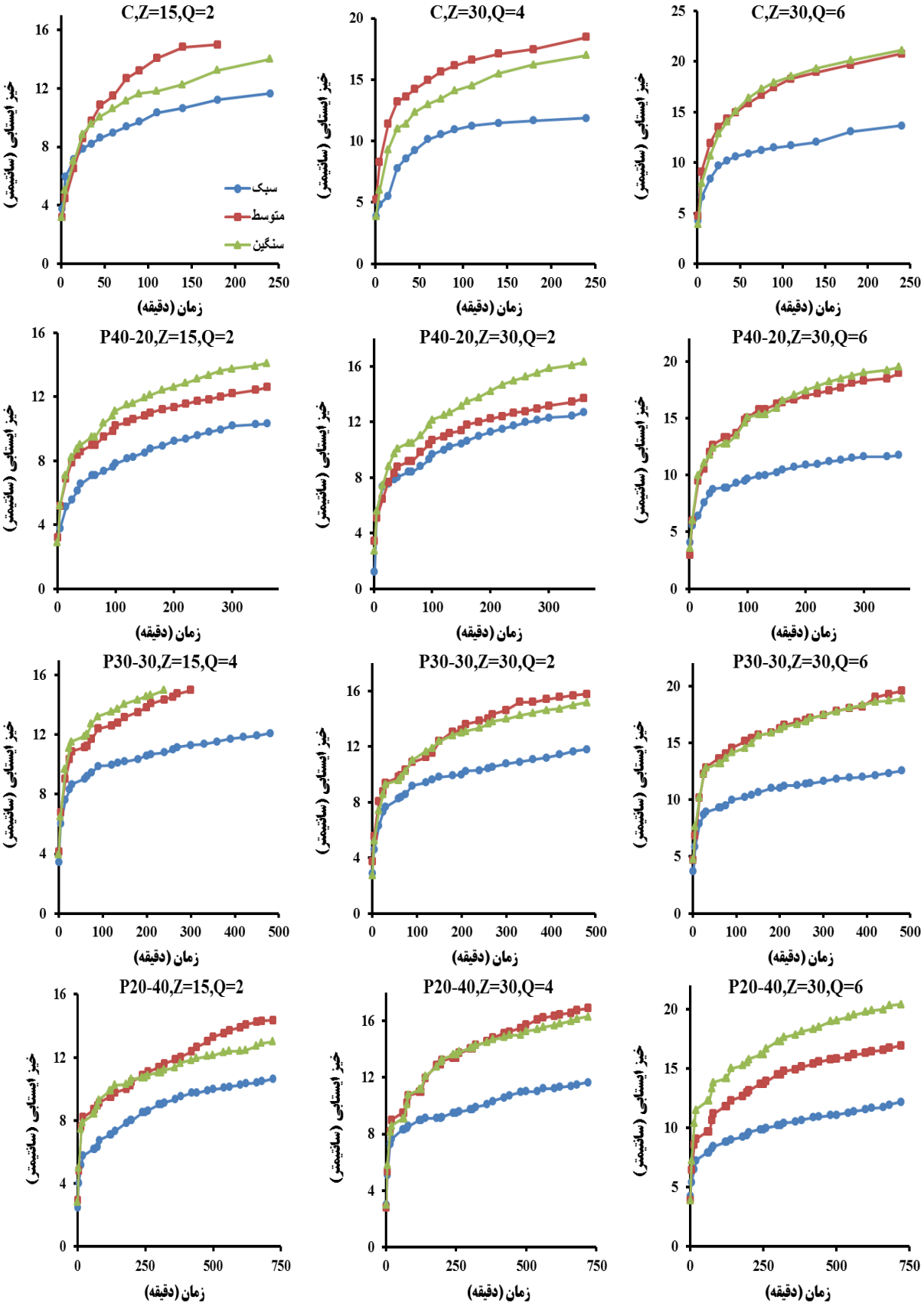
شکل ٤- تأثیر دبی قطره‌چکان به ازای حجم یکسان آب کاربردی بر روی عمق خیس‌شدگی جبهه پیشروی رطوبت در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی



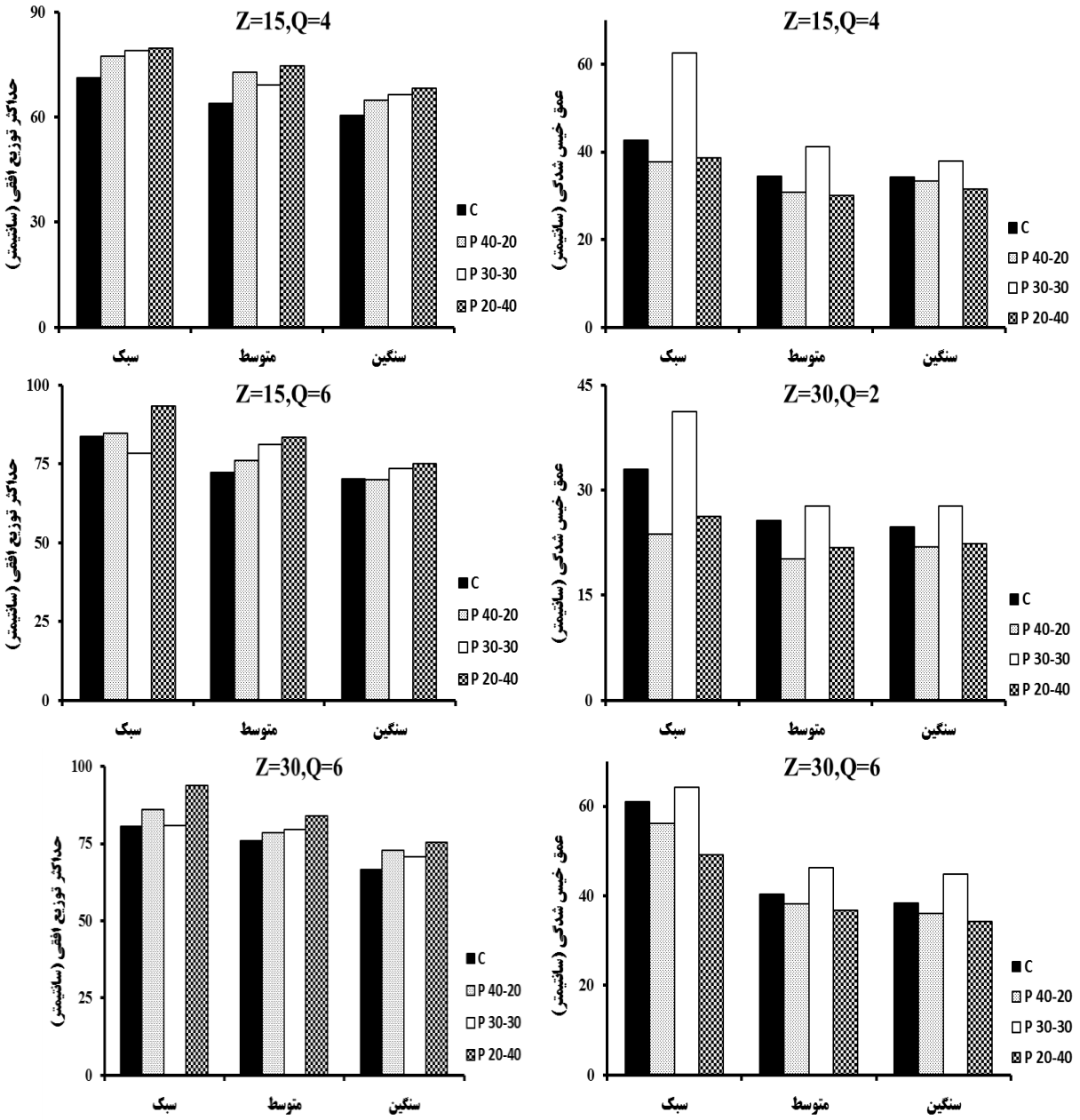
شکل ۵- تأثیر بافت خاک بر روی توزیع افقی جبهه پیشروی رطوبت در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی



شکل ٦- تأثیر بافت خاک بر روی عمق خیس‌شدگی جبهه پیشروی رطوبت در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی



شکل ۷- تأثیر بافت خاک بر روی خیز ایستابی جبهه پیشروی رطوبت در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی



شکل ۸- تأثیر کاربرد آبیاری بر روی توزیع افقی و عمق خیس‌شدگی جبهه پیشروی رطوبت در سامانه قطره‌ای زیرسطحی

References

1. Bagheri, R., Hesam, M., Kiani, A.R. and Hezarjaribi, A., 2015. Emitters subsurface distribution of soil moisture the soil in different tissues. Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 9(3), pp.399-406. (In Persian)
2. Ben-Asher, J., Charach, C.H. and Zemel, A., 1986. Infiltration and water extraction from trickle irrigation source: The effective hemisphere model. Soil Science Society of America Journal, 50(4), pp.882-887.
3. Ekramnia, F. 1997. Evaluating of kinds of emitters and technical and economical instructions to select the suitable emitter. M.Sc Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. 114p. (In Persian)
4. Elmaloglou, S. and Diamantopolous, E. 2007. Wetting front advance patterns and water losses by deep percolation under the root zone as influenced by pulsed drip Irrigation. Agricultural Water Management.90:160-163.
5. Elnesr, M.N. and Alazba, A.A., 2019. Computational evaluations of HYDRUS simulations of drip irrigation in 2D and

3D domains (i-Surface drippers). Comp. Electron. Agric. 162, pp.189-205.
6. Farajzadeh, K. 2015. Simulation of pulsed drip irrigation and determination of the wetted diameter and depth and the most suitable on-off ratio. M.Sc Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. 110p. (In Persian)
7. Grimes, D.W., Munk, D.S. and Goldhamer, D.A., 1990. Drip irrigation emitter depth placement in a slowly permeable soil. In Visions of the future-Proceedings of the 3rd National Irrigation Symposium-ASAE Pub. 4-90. (pp. 248-254). American Society of Agricultural Engineers.
8. Ismail, S.M., EL-Abdeen, T.Z., Omara, A.A. and Abdel-Tawab, E., 2014. Modeling the soil wetting pattern under pulse and continuous drip irrigation. American-Eurasian Journal Agricultural & Environment Science, 14(9), pp.913-922.
9. Kanda, E.K., Senzanje, A. and Mabhaudhi, T., 2020. Soil water dynamics under Moistube irrigation. Phys. Chem. Earth, Pt A/B/C, p.102836.
10. Karimi, B., Mirzaei, F. and Sohrabi, T., 2013a. Evaluation of moisture front redistribution in surface and subsurface drip irrigation systems. Water and Soil Science, 23(3), pp.183-192.
11. Karimi, B. 2013b. Optimization and management of moisture and nitrate distribution in surface and subsurface drip irrigation systems using dimensional analysis. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. 185p. (In Persian)
12. Karimi, B., Mohammadi, P., Sanikhani, H., Salih, S.Q. and Yaseen, Z.M., 2020. Modeling wetted areas of moisture bulb for drip irrigation systems: An enhanced empirical model and artificial neural network.
13. Karimi, B., Karimi, N., Shiri, J. and Sanikhani, H., 2021. Modeling moisture redistribution of drip irrigation systems by soil and system parameters: regression-based approaches. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, pp.1-16.
14. Karmelli, D., and Peri, G. 1974. Basic principles of pulse irrigation. American Society of Civil Engineers, Proceedings of the Irrigation and Drainage Division Journal. 100: 309-319.
15. Kisi, O., Khosravinia, P., Heddam, S., Karimi, B. and Karimi, N., 2021. Modeling wetting front redistribution of drip irrigation systems using a new machine learning method: Adaptive neuro-fuzzy system improved by hybrid particle swarm optimization–Gravity search algorithm. Agricultural Water Management, 256, p.107067.
16. Lamm, F. R., Ayars, J. E. and Nakayama, F. S. 2007. Microirrigation for crop production-design, operation and management. Elsevier Publications. 608 pages.
17. Malek, K., Peters, R.T., 2011. Wetting pattern models for drip irrigation: new empirical model. J. Irrig. Drain. Eng. 137, 530–536.
18. Miller, M. L., Charlesworth, P. B., Katupaitiya, A. and Muirhead, W. A. 2000. A comparison of new and conventional subsurface drip irrigation systems using pulsed and continuous irrigation management. Proceeding of Conference Irrigation Association Australia, May 23-25, 2000. Melbourne, Australia. pp: 391-397.
19. Mohammadbeigi, A., Mirzaei, F., and Ahraf, N. 2017. Simulation of soil moisture distribution under drip irrigation pulsed and continuous in dimensional analysis method. Iran. J. Water Soil Cons. 23: 6. 163-180. (In Persian)
20. Nasseri, A., Babazadeh, H. and Nakhjevani, S., 2011. Drip Discharge Selection Based on Moisture Distribution Analysis. Journal of Soil and Water Resources Conservation, 1(1), pp.29-42.
21. Saefuddin, R., Saito, H. and Šimůnek, J., 2019. Experimental and numerical

evaluation of a ring-shaped emitter for subsurface irrigation. Agric. Water Manag. 211, pp.111-122.
22. Sezen, S.M., Yazar, A. and Eker, S., 2006. Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. Agricultural Water Management, 81(1-2), pp.115-131.
23. Sharif-Bayanolhagh, M.H. 1998. Soil moisture distribution from a point source in sloping fields. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. 126p. (In Persian)
24. Shiri, J., Karimi, B., Karimi, N., Kazemi, M.H. and Karimi, S., 2020. Simulating wetting front dimensions of drip irrigation systems: Multi criteria assessment of soft computing models. Journal of Hydrology, 585, p.124792.
25. Solat, S., Alinazari, F., Maroufpoor, E., Shiri, J. and Karimi, B., 2021. Modeling moisture bulb distribution on sloping lands: Numerical and regression-based approaches. Journal of Hydrology, p.126835.
26. Tavakoli, A. 2010. Moisture advance front pattern and water losses due to deepercolation under root development zone influenced by pulsed drip irrigation. National Conference on Water, Soil, Plant and Mechanization of Agriculture, Islamic Azad University, Dezfol Unit, Khuzestan, Iran. 2767p. (In Persian)