Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 44, No. 4, Winter 2022, p. 29-44

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

The Role of Aquasource Moisture Absorbent in Water Productivity of Peppermint (Mentha piperita)

S. Sepehri Sadeghian[1*], N. Abbasi[2] and M.M. Nakhjavanimoghaddam[3]

1*- Corresponding Author, Assistant Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. *(s.sepehri@aeri.ir)*

2- Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

3- Assistant Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 10 July 2020
Revised: 6 February 2021
Accepted: 9 February 2021

Keywords:
Moisture-absorbing polymer, Plant available water, Yield, Yield components.

TO CITE THIS ARTICLE:

Sepehri Sadeghian, S., Abbasi, N., Nakhjavanimoghaddam, M. (2021). 'The Role of Aquasource Moisture Absorbent in Water Productivity of Peppermint (Mentha piperita)', Irrigation Sciences and Engineering, 44(4), pp. 29-44. doi: 10.22055/jise.2021.34154.1922.

Introduction

Drought and water shortage in Iran is a climatic fact and due to the growing need for water in different sectors, this problem will become more acute in the coming years. Therefore, managing water consumption and applying advanced techniques in the agricultural sector as the largest consumer of water in the country, can be very helpful. One of the most effective strategies to improve water productivity in agricultural sector is to use hydrogel polymers to improve soil texture, increase soil water retention, reduce erosion and increase germination (Nirmala and Guvvali, 2019). However, in general, due to differences in the synthesis and chemical structure of polymers, the water uptake and storage capacity of these hydrophilic polymers are different, and hence their effect on changes in soil moisture and storage capacity will be very different (Yu et al ., 2017). The aim of this study was to investigate the effect of different levels of Aquasource hydrogel on yield, yield components and water productivity of peppermint (Mentha piperita) at different irrigation intervals.

Methodology

In order to evaluate the effect of Aquasource hydrogel on yield, yield components and water productivity of peppermint, factorial experiments were carried out in completely randomized design with 3 replications. Factors were different levels of Aquasource (0 (control), 0.5, 1 and 2% by weight of polymer/soil) and three irrigation intervals (2, 4 and 6 days). Moreover, the efficiency of this polymer was evaluated by examining some soil physical properties before planting and after harvest. The hydrogel used in this study was Aquasource, a product of Armenia. Aquasource is a new generation of potassium-based polymers that is sterile, non-toxic, biodegradable, free of acrylamide compounds and stable in a wide range of climatic conditions.

Findings

The results of variance analysis and mean comparisons based on Duncan's test showed that yield and yield components of peppermint were affected by the use of Aquasource hydrogel (Table 1). Application of 0.5 (% w/w) of hydrogel did not have a significant effect on aerial body weight, leaf weight and essential oil of peppermint compared to control treatment, but it affected the weight and root length parameters. Increasing the consumption of hydrogel to 1 and 2 (% w/w) reduced the yield and yield components of pepermint compared to the 0.5 (% w/w) treatment, and in some cases these values were even lower than those of the control treatment. The highest and lowest root weights with values of 1.122 and 0.223 (kg/m^2) were obtained in 0.5 and 2 (% w/w) treatments, respectively, in the 2-day irrigation interval. Besides, the highest (33.4 cm) and lowest (10.6 cm) root lengths were obtained in 0.5 and 2 (% w/w) treatments, respectively, in the 2-day irrigation interval. Increases in root length and weight have been reported with the use of hydrogel polymers in chickpea plants (Farhadian and Eisvand, 2017) and sugar beet (Khalili and Hamzeh, 2019). Due to its expansion and contraction, hydrogel improves the physical condition and pores of the soil, and on the other hand, due to water retention and making it available to the plant, hydrogel improves root growth. The highest leaf weight and essential oil percentage with values of 630.6 (g/m^2) and 0.26% were obtained in the control treatment in the 2-day irrigation interval, which were in the same statistical group with the 0.5 (% w/w) treatment. The lowest leaf weight and essential oil percentage were obtained with values of 79.6 (g/m^2) and 0.57% in the 2 (% w/w) treatment in the 2-day irrigation interval. Abedi-Kopai and Masforosh (2009) also stated that the optimal limit of using A-200 hydrogel polymer in greenhouse cucumber cultivation is 4 grams of hydrogel per kilogram of soil. They reported that increasing hydrogel consumption reduced yield, which they attributed to the reduced soil ventilation. On the other hand, the use of Aquasource significantly reduced water consumption. Therefore, the use of Aquasource at 0.5 and 1 (%w/w) levels led to an increase in water productivity (WP). The highest WPs for leaf (3.08 kg/m^3) and essential oil (0.159 cc/lit) production were obtained in the 1 (% w/w) treatment in the 4-day irrigation interval. The lowest WPs in leaf and essential oil production were achieved with the highest level of hydrogel application (Table 1).

Table 1- Comparison of simple and interaction effects of hydrogel levels and irrigation intervals on yield and yield components of peppermint

Parameters	Irrigation interval (day)	Hydrogel level (%w/w)				Average
		0	0.5	1	2	
Leaf weight (gr/m^2)	2	630.6 a	627.4 a	541.4 b	79.6 e	469.7 A
	4	506.4 b	507.4 b	442.6 c	249.5 d	426.5 B
	6	432.1 c	443.7 c	399.2 c	294.1 d	392.3 C
	Average	523.0 A	526.2 A	461.1 B	207.7 C	
Essential oil (%)	2	2.06 a	2.03 a	1.33 b	0.57 e	1.50 A
	4	1.86 a	1.87 a	1.80 a	0.93 cd	1.62 A
	6	1.20 bc	1.13 bc	0.80 de	0.70 de	0.96 B
	Average	1.71 A	1.68 A	1.31 B	0.73 C	
Water consumption (mm)	2	247.2 a	222.1 b	179.0 cd	86.4 g	183.7 A
	4	200.7 bc	172.7 d	144.2 ef	127.6 f	161.3 B
	6	185.9 cd	162.9 de	138.5 f	126.7 f	153.5 B
	Average	211.3 A	185.9 B	153.9 C	113.6 D	
WP for leaf production (kg/m^3)	2	2.55 ab	2.83 ab	3.06 a	0.96 d	2.35 B
	4	2.53 ab	2.94 a	3.08 a	1.98 c	2.63 A
	6	2.33 bc	2.72 ab	2.88 ab	2.36 bc	2.57 AB
	Average	2.47 B	2.83 A	3.00 A	1.76 C	
WP for essential oil production (cc /lit)	2	0.107 cde	0.117 bcd	0.096 def	0.085 ef	0.101 B
	4	0.119 bc	0.140 ab	0.159 a	0.093 ef	0.127 A
	6	0.082 f	0.088 ef	0.074 f	0.073 f	0.079 C
	Average	0.103 A	0.114 A	0.110 A	0.083 C	

*- Similar letters in each column indicate a difference between the means at the 5% probability level based on the Duncan's test.

Examination of some soil physical parameters showed that the use of Aquasource and increasing the level used, increased the moisture at saturated condition (SC) and field capacity (FC) (Fig. 1). The highest amounts of SC (53.7 %V) and FC (31.7 %V) were obtained with the use of 2 (% w/w) of Aquasource, and the control treatment had the lowest amounts of SC (32.5 %V) and FC (20.6 %V). Besides, with the use of Aquasource and increasing the level of its use, the amount of moisture at the permanent wilting point (PWP) increased. In addition, the highest (13.8 %V) and lowest (7.7 %V) amounts of plant available water (AW) were achieved at the 0.5 and 2 (% w/w) treatments, respectively (Sepehri et al., 2020).

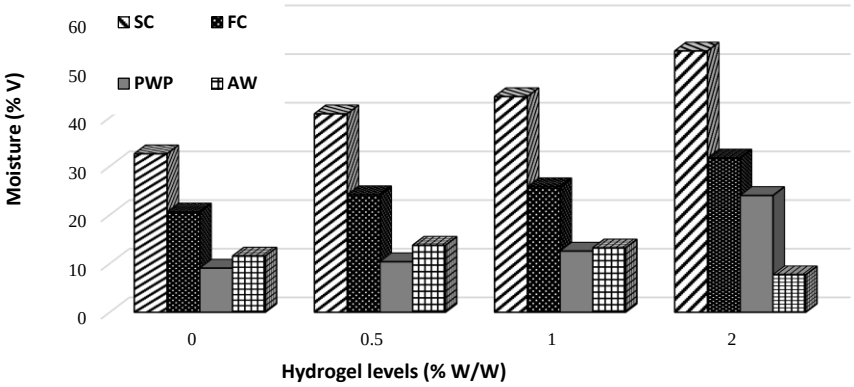


Fig. 1- Moisture of soil samples before planting due to the application of different levels of Aquasource hydrogel

The results of the t-test showed that the SC and FC of soil samples in the 2-day irrigation interval by using the highest level of Aquasource (2% w/w) after the end of the planting period have significant differences with pre-planting conditions. Therefore, the hydrogel used in this condition has lost some of its efficiency in several cycles of wetting and drying. However, these two parameters did not differ significantly from pre-planting conditions at the other levels of using Aquasource (0.5 and 1 % w/w) and at other irrigation intervals (4- and 6-day). In addition, the amounts of PWP and AW after the end of planting period were not significantly different from the pre-planting conditions at any of the levels of hydrogel use and irrigation intervals.

Conclusion

Application of 0.5 (% w/w) of Aquasource hydrogel polymer had no significant effect on leaf weight and essential oil of peppermint. The use of higher amounts of this hydrogel (1 and 2% w/w) had some negative effects on leaf weight and plant essential oil. However, the use of Aquasource and increasing the levels used from 0 to 2 (% w/w) significantly reduced the water consumption of peppermint. Therefore, with the use of Aquasource, the moisture in the soil-polymer system was higher than the control treatment (without the use of Aquasource), and with the increase in the amounts of polymer used, the moisture also increased. However, considering that the lowest water productivity was achieved at the highest level of polymer application, it can be concluded that although Aquasource has a good ability to absorb water, it is not able to drain moisture properly and stored water is not well available to the plant. Furthermore, the efficiency of Aquasource at the end of the planting period, in the short irrigation interval and in the conditions of application of high levels of hydrogel, was somewhat reduced. Therefore, the use of Aquasource hydrogel in appropriate amounts (about 0.5 to 1% by weight of hydrogel/soil) in arid and semi-arid regions without proper water resources can lead to a reduction in water consumption and ultimately improve water productivity. However, in order to exploit this polymer optimally, determining the appropriate amount of its use according to the type of plant and determining the appropriate irrigation interval have decisive roles.

Acknowledgement

The authors would like to thank Agricultural Engineering Research Institute for supporting this research.

References

1- Abedi-Koupai, J. and Mesforoush, M., 2009. Evaluation of superabsorbent polymer application on yield, water and fertilizer use efficiency in cucumber (Cucumis Sativus). *Iranian Journal of irrigation and drainage.* 2 (3), pp. 100-111. (In Persian).

2- Farhadian, K. and Eisvand, H. R., 2017. Effects of mycorrhiza and superabsorbent on root morphological characteristics and yield of chickpea (Cicer arietinum L.) under rain-fed conditions. *Journal of Crop Production.* 10 (2), pp. 61-73. (In Persian).

3- Khalili, M. and Hamze, H., 2019. Effect of super-adsorbent and irrigation levels on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (Beta vulgaris). *Journal of Crop Ecophysiology.* 13 (3), pp. 395-412. (In Persian).

4- Nirmala, A. and Guvvali, T., 2019. Hydrogel/superabsorbent polymer for water and nutrient management in horticultural crops-review. *International Journal of Chemical Studies.* 7 (5), pp. 787-795.

5- Sepehri, S., Abbasi, N. and Nakhjavanimoghaddam, M.M., 2020. Investigating the effects of aquasource super-absorbent on water productivity of peppermint (Mentha piperita). *Final Research Report, Agricultural Engineering Research Institute.* No: 58502. (In Persian).

6- Yu, J., Shi, J. G. and Ma, X., 2017. Superabsorbent Polymer properties and concentration effects on water retention under drying conditions. *Soil Science Society of America Journal.* 81, pp. 889-901.

© 2022 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ٤٤، شماره‌ی٤، زمستان ١٤٠٠، مقاله پژوهشی، ص. ٤٤-٢٩

نقش جاذب رطوبت آکواسورس در بهره‌وری مصرف آب گیاه نعناع فلفلی

سالومه سپهری صادقیان[1*]، نادر عباسی[2] و محمد مهدی نخجوانی مقدم[3]

۱*-نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. s.sepehri@aeri.ir

۲- استاد پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

دریافت: ۱۳۹۹/۴/۲۰ بازنگری:۱۳۹۹/۱۱/۱۸ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۱

چکیده

محدودیت منابع آب شیرین در ایران به‌صورت یک معضل جدی در آمده به‌طوری‌که، به‌کارگیری فنون پیشرفته مانند کاربرد پلیمرهای جاذب رطوبت برای بهبود بهره‌وری مصرف آب اهمیت به‌سزایی دارد. هدف از تحقیق حاضر ارزیابی اثر کاربرد هیدروژل آکواسورس بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه نعناع‌فلفلی و سنجش کارآیی این پلیمر در پایان یک دوره کشت می‌باشد. آکواسورس نسل جدیدی از پلیمرهای هیدروژل بر پایه پتاسیم بوده که زیست‌تجزیه‌پذیر و فاقد ترکیبات آکریل‌آمید است. به این منظور آزمایش‌هایی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد، که فاکتور اول چهار سطح کاربرد آکواسورس (صفر، نیم، یک و دو درصد وزنی پلیمر/خاک) و فاکتور دوم سه دور آبیاری (دو، چهار و شش روز) بود. نتایج نشان داد که کاربرد دو درصد وزنی آکواسورس در دورهای آبیاری دو، چهار و شش روز سبب بیشترین کاهش در مقدار آب مصرفی به‌ترتیب به‌میزان ٦٥، ٣٦ و ٣٢درصد نسبت به تیمار شاهد شد. از طرفی بیشترین افزایش بهره‌وری مصرف آب با کاربرد نیم درصد وزنی آکواسورس به‌دست آمد، به‌طوری‌که در دورهای آبیاری دو، چهار و شش روز به‌ترتیب افزایش بهره‌وری مصرف آب به میزان ۱/۱، ۱/۱٦ و ۱/۱۷ برابر نسبت به شاهد حاصل شد. افزایش سطح کاربرد هیدروژل به ۲درصد وزنی علی‌رغم کاهش میزان آب مصرفی به‌علت ایجاد شرایط نامطلوب برای رشد گیاه، کاهش بهره‌وری مصرف را به همراه داشت. ارزیابی عملکرد آکواسورس در پایان دوره کشت نشان داد که این پلیمر تا حد زیادی قادر به حفظ عملکرد بوده و قابلیت استفاده در کشت‌های متوالی را دارد.

کلید واژه‌ها: پلیمر جاذب رطوبت، رطوبت قابل استفاده گیاه، عملکرد، اجزای عملکرد.

مقدمه

خشکسالی و کم آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، این مشکل در سال‌های آینده حادتر نیز خواهد شد. از این رو مدیریت مصرف آب و به‌کارگیری فنون پیشرفته در بخش کشاورزی، می‌تواند بسیار راه‌گشا باشد. یکی از راه‌کارهای مؤثر و عملی به‌منظور مدیریت بهتر آب مصرفی، کاربرد مواد جاذب رطوبت به‌عنوان مثال پلیمرهای هیدروژل است. با توجه به اینکه کشور ما ایران جزء کشورهای خشک و نیمه خشک است، بررسی امکان کشت گیاهان دارویی در مناطق مختلف کشور که با کمبود بارش مواجه هستند از اهمیت خاصی برخوردار بوده و بهبود مدیریت مصرف آب در این حوزه، موضوعی حائز اهمیت می‌باشد. از جمله گیاهان دارویی با ارزش در ایران، گیاه نعناع فلفلی با نام علمی Mentha piperita است که خواص دارویی متعددی دارد (Nezami et al., 2016). این گیاه حساس به کم‌آبی بوده و به دلیل داشتن ریشه‌های افشان قادر به نفوذ به عمق خاک نیست و در اثر کم‌آبی دچار تنش می‌گردد ، البته باید در نظر داشت که وجود رطوبت بیش از حد نیاز گیاه در خاک نیز، کاهش رشد را به دنبال خواهد داشت (Capuzzo and Maffei, 2016). بنابراین بهبود ظرفیت نگهداشت آب در خاک با بهره‌گیری از پلیمرهای هیدروژل می‌تواند منجر به شکل‌گیری محیط مناسبی برای رشد این گیاه گردد. هیدروژل‌ها مواد نرم متشکل از شبکه‌های سه بعدی هستند که توسط پلیمرهای آب‌دوست دارای اتصالات عرضی شکل گرفته‌اند. چنین ویژگی‌هایی هیدروژل‌ها را قادر به جذب و نگه داشتن مقادیر زیادی آب بدون حل شدن می‌کند (Vasconcelos et al., 2019). استفاده از هیدروژل در مناطق خشک و نیمه خشک باعث بهبود بافت خاک، افزایش نگهداشت آب در محیط رشد گیاه، بهبود راندمان آبیاری،

DOI: 10.22055/JISE.2021.34154.1922

افزایش بهره‌وری آب، کاهش فرسایش، افزایش جوانه‌زنی و رشد سریع‌تر گیاهان می‌شود (Nirmala and Guvvali, 2019). اثر کاربرد پلیمر آ–۲۰۰ را بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه آفتابگردان در شرایط کشت گلخانه ای توسط Nazarli et al. (2010) بررسی شد. مقادیر پلیمر مورد استفاده شامل پنج سطح ۰، ۰/۷۵، ۰/۱۵۰، ۲/۲۵ و سه گرم بر کیلوگرم خاک بوده که در مرحله هشت برگی آفتابگردان به گلدان‌ها اضافه گردید. تیمارهای سطوح آبیاری نیز با وزن‌کشی روزانه گلدان‌ها و در مقادیر ۰/۷۵، ۰/۵۰ و ۰/۲۵ ظرفیت زراعی اعمال شد. نتایج نشان داد که کاربرد پلیمر سوپر جاذب و افزایش سطح مورد استفاده سبب افزایش معنی‌داری در عملکرد، تعداد و کلروفیل برگ‌ها، وزن ۱۰۰ دانه و کارآیی مصرف آب گیاه آفتابگردان شد. ارزیابی اثر بافت خاک (سه نوع بافت خاک لوم شنی، لوم و لوم رسی) و سطوح پلیمر آ–۲۰۰ (صفر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸ درصد وزنی بر اساس وزن خاک خشک) بر خصوصیات زراعی و عملکرد زعفران توسط Khorramdel et al. (2014) انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بالاترین وزن کلاله مربوط به بافت لوم شنی با ۰/۸ درصد وزنی پلیمر بود. نتایج تحقیقات Essawy et al. (2016) روی پلیمر هیدروژل جدیدی تحت عنوان CTS که بر پایه کیتوسان تهیه شده است، نشان داد که این پلیمر قادر به افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک بوده و سبب آزادسازی کنترل شده مواد غذایی می‌گردد. بررسی پنج نمونه مختلف از پلیمرهای هیدروژل نشان داد که این پلیمرها تا حدودی سبب بهبود نگهداشت آب در خاک شده و افزودن این مواد به خاک باعث کاهش هدر رفت آب به علت تبخیر از خاک می‌گردد، این مسئله به خصوص برای هیدروژل‌هایی با سایز ذرات بزرگتر مشهودتر است (Yu et al., 2017). اثر کاربرد پلیمر هیدروژل سلولزی بر زراعت گیاه لوبیا تحت شرایط تنش خشکی در منطقه جنوب ایتالیا توسط Satriani et al. (2018) بررسی شد. مقادیر پلیمر مورد استفاده ۰، ۵ و ۱۰ گرم مخلوط با خاک بود. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص کارآیی مصرف آب گیاه به شکل معنی‌داری با استفاده از پلیمر در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. نتایج تحقیقات Vasconcelos et al. (2019) نشان داد که استفاده از کامپوزیت هیدروژل نوینی مبتنی بر نشاسته به شکل معنی‌داری سبب بهبود شرایط خاک برای رشد گیاه گردید. ایشان گزارش کردند که استفاده از مقادیر کم هیدروژل (کمتر از ۰/۷۵ درصد وزنی) سبب افزایش رشد ریشه هندوانه شده و به‌طور کلی پروسه رشد گیاه را در دو بافت رسی و شنی بهبود بخشیده است. تحقیقات روی پلیمر هیدروژل زیست تخریب‌پذیر جدیدی تحت عنوان SAH در هند نشان داد که این هیدروژل قابلیت جذب آب تا حدود ۶۰۰ میلی لیتر بر گرم را داشته و قابلیت نگهداشت آب در خاک را به میزان ۳۵ درصد بهبود می‌بخشد. هم‌چنین کاربرد این پلیمر سبب افزایش تخلخل خاک به میزان هفت درصد و بهبود رشد نخود شده است (Warker and Kumar, 2019).

در خصوص اثر کاربرد پلیمرهای هیدروژل بر عملکرد گیاهان مطالعه‌های متعددی انجام شده و با گزارش شواهدی از اثرات مثبت این پلیمرها بر کاهش مصرف آب و یا بهبود عملکرد گیاهان، طیف وسیعی از این نوع محصولات روانه بازار شده و در اختیار بهره‌برداران قرار گرفته است. لیکن شایان ذکر است که به‌طور کلی به دلیل تفاوت در نحوه سنتز و ساختار شیمیایی پلیمرها، ظرفیت جذب و نگهداری آب در این پلیمرهای آب‌دوست متفاوت بوده و به دنبال آن اثر آن‌ها بر تغییرات رطوبت و ظرفیت نگهداشت خاک‌ها نیز بسیار متفاوت خواهد بود. هم‌چنین اثر ترکیب و میزان املاح خاک یا آب آبیاری، میزان رس در بافت‌های مختلف خاک و نوع گیاه نیز در بررسی کارآیی یک پلیمر هیدروژل اثرگذار می‌باشد (Yu et al., 2017). پلیمر آکواسورس (Aquasource) نسل جدیدی از پلیمرهای هیدروژل بر پایه پتاسیم و دارای استانداردهای بالای اکولوژیکی بوده که تا کنون مطالعه‌های جامعی در خصوص کارآیی این پلیمر در سیستم آب/خاک/گیاه صورت نگرفته است. هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف هیدروژل آکواسورس بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه نعناع فلفلی در فواصل مختلف آبیاری (دو، چهار و شش روز) می‌باشد. هم‌چنین در پایان یک دوره کاشت، کارآیی این پلیمر با مقایسه و تحلیل برخی ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌های خاک در تیمارهای مختلف انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر پلیمر هیدروژل آکواسورس برعملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه نعناع فلفلی تحقیقی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در محل گلخانه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی در شهرستان کرج انجام شد. دو فاکتور اصلی در طرح آماری مورد استفاده عبارتند از سه دور آبیاری متفاوت (دو، چهار و شش روز) و چهار درصد وزنی از آکواسورس در سطوح صفر (شاهد)، نیم، یک و دو درصد وزنی پلیمر/خاک. هدف از اعمال دورهای آبیاری متفاوت ارزیابی توانایی هیدروژل مورد استفاده در رهاسازی تدریجی آب است. به‌طور کلی هدف اصلی از افزودن پلیمرهای جاذب رطوبت به خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و افزایش دور آبیاری است (Schmidt, 2019). تعداد ۳۶ گلدان با استفاده از خاکی با بافت لوم رسی پر شده و مقادیر مشخصی از هیدروژل آکواسورس (با توجه به درصدهای وزنی عنوان شده) در هر گلدان استفاده شد. سپس نشاهای نعناع فلفلی به گلدان‌ها منتقل شده و با توجه به حساس بودن نشاها پس از دو هفته از استقرار آنها، تیمارهای آبیاری اعمال گردید. پیش از شروع مطالعات در گلخانه،

میزان رطوبت در حد ظرفیت زراعی برای مخلوط خاک و درصدهای مختلف هیدروژل (صفر، نیم، یک و دو درصد وزنی پلیمر/خاک) با استفاده از دستگاه صفحات فشاری در آزمایشگاه خاک و آب مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی تعیین گردید. میزان رطوبت در حد ظرفیت زراعی با کاربرد صفر، نیم، یک و دو درصد وزنی پلیمر/خاک به‌ترتیب به میزان ۲۰/۶۲، ۲۴/۱۷، ۲۵/۸۰ و ۳۱/۷۰ درصد به‌دست آمد. میزان آبیاری در هر دور بر اساس تأمین میزان کمبود رطوبت تا حد ظرفیت زراعی تعیین شد. به این منظور قبل از هر آبیاری میزان رطوبت در هر گلدان با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج PMS 714 اندازه‌گیری شد، ضمناً این دستگاه قبل از اعمال تیمارها برای خاک مورد استفاده و مخلوط خاک و هیدروژل در محیط آزمایشگاه کالیبره گردید.

اندازه‌گیری عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت محصول مورد ارزیابی شامل وزن اندام هوایی و ریشه گیاه، ارتفاع بوته و طول ریشه و درصد اسانس در برگ بود. برای استخراج اسانس نمونه‌ها از دستگاه اسانس‌گیر استفاده شد. هم‌چنین اثر کاربرد سطوح مختلف هیدروژل آکواسورس بر میزان آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب در تولید برگ و اسانس نیز مطابق با رابطه (۱) بررسی شد. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS(V.21) و مقایسات میانگین‌ها با کمک آزمون دانکن ($P<0.05$) انجام گردید.

$$WP = \frac{Y}{IRR+P} \quad (۱)$$

که در آن WP بهره‌وری مصرف آب (g/m^3)، Y عملکرد محصول (g)، IRR حجم آب آبیاری (m^3) و P حجم بارش (m^3) می‌باشد (Zand-Parsa et al., 2019).

برای بررسی اثر زمان و سیکل‌های متعدد تر و خشک شدن بر کارآیی هیدروژل آکواسورس مقایسه‌ای بین برخی پارامترهای فیزیکی خاک قبل از کاشت گیاهان و بعد از برداشت محصول صورت گرفت. بدین منظور میزان رطوبت نمونه‌ها در نقاط اشباع، ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم با استفاده از دستگاه صفحات فشاری در دو مرحله قبل از کاشت و بعد از برداشت محصول تعیین شده و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS(V.21) و آزمون T-Test انجام گردید.

پلیمر هیدروژل مورد بررسی در این تحقیق با نام تجاری آکواسورس، محصول کشور ارمنستان است. این پلیمر ماده‌ای استریل، غیرسمی و دارای استاندارد بالای اکولوژیکی بوده و در گستره وسیعی از شرایط اقلیمی و دما پایدار است. پلیمر آکواسورس بر پایه پتاسیم، فاقد ترکیبات آکریل آمید و زیست‌تخریب‌پذیر بوده که پس از پایان دوره زمانی پایداری، این پلیمر به آب، دی‌اکسیدکربن، آمونیاک و ترکیبات پتاسیم که قابل استفاده توسط گیاه هستند، تجزیه می‌گردد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول‌های (۱) و (۲) و مشخصات کلی پلیمر آکواسورس در جدول (۳) ارائه شده‌اند.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی نمونه خاک مورد استفاده

Table 1- Physical characteristics of the soil sample

Sand	Silt	Clay	FC (%)	PWP (%)
25.98	44.66	29.36	20.62	9.07

جدول ۲- مشخصات شیمیایی نمونه خاک مورد استفاده

Table 2- Chemical characteristics of the soil sample

EC (dS/m)	pH	Cations (meq/lit)			Sum of cations	Anions (meq/lit)			Sum of anions
		Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^{+}		HCO_3^{-1}	CL^{-1}	SO_4^{-2}	
2.12	7.01	3.8	10.35	8.2	22.35	5	6.25	8.17	19.42

جدول ۳- مشخصات کلی پلیمر هیدروژل آکواسورس

Table 3 - General specifications of Aquasource hydrogel polymer

Shape	Size of fraction	pH of aqueous solution	Density (g/cm^3)	Moisture	Swelling Index in tap water (g/g)
White granules	1µm- 3mm	6-7	0.5	<10%	1:400

DOI: 10.22055/JISE.2021.34154.1922

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد نعناع فلفلی و بهره‌وری مصرف آب محصول در جداول (۴) و (۵) نمایش داده شده‌اند. همانگونه که در جداول (۴) و (۵) قابل مشاهده است، تیمارهای کاربرد سطوح مختلف هیدروژل، دورهای آبیاری مختلف و اثر متقابل این دو عامل بر پارامترهای وزن و طول ریشه، وزن برگ، درصد اسانس، میزان آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب در تولید برگ و اسانس اثر معنی داری داشته اند. پارامتر وزن اندام هوایی گیاه تحت تأثیر سطوح هیدروژل و دور آبیاری قرار گرفت، لکن این پارامتر از اثر متقابل سطوح هیدروژل و دورهای آبیاری اثر نپذیرفته است. نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ساده و متقابل سطوح هیدروژل و دور آبیاری بر پارامترهای عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نعناع فلفلی در جدول ۶ نمایش داده شده است. نتایج مقایسه میانگین‌ها مربوط به اثر ساده فاکتورهای دور آبیاری و سطوح هیدروژل در جدول (۶) نشان داد که افزایش دور آبیاری از دو به چهار روز اثر معنی‌داری بر وزن ریشه گیاه نعناع نداشت، لیکن افزایش دور آبیاری به شش روز میزان وزن ریشه را کاهش داد. استفاده از هیدروژل آکواسورس به میزان نیم درصد وزنی سبب افزایش معنی‌دار وزن ریشه نسبت به تیمار شاهد شد. با افزایش سطح کاربرد هیدروژل تا یک درصد وزنی، تفاوت معنی‌داری در وزن ریشه نسبت به تیمار شاهد ایجاد نشد. افزایش بیشتر میزان هیدروژل تا دو درصد وزنی کاهش وزن ریشه را نسبت به تیمار شاهد به همراه داشت. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل دور آبیاری و سطوح هیدروژل جدول (۶) نشان داد که در دور آبیاری طولانی‌تر استفاده از آکواسورس اثر بیشتری بر میزان افزایش رشد ریشه داشته است. در سطح نیم درصد وزنی هیدروژل وزن ریشه نسبت به شاهد در دور آبیاری دو، چهار و شش روز به‌ترتیب در حدود هشت، ۱۵ و ۱۶ درصد افزایش یافت. به طور کلی بیشترین وزن ریشه در دور آبیاری دو روز و نیم درصد وزنی هیدروژل و کمترین مقدار وزن ریشه نیز در دور آبیاری دو روز و در سطح دو درصد وزنی هیدروژل حاصل شد.

جدول ٤- تحلیل واریانس عملکرد و اجزای عملکرد نعناع فلفلی تحت تیمارهای مختلف

Table 4- Variance analysis of yield and yield components of peppermint under different treatments

Sources of changes	Degree of freedom	Average of squares				
		Root weight (kg/m^2)	Root length (cm)	Aerial weight (kg / m^2)	Leaf weight (gr/m^2)	Essential oil (%)
Hydrogel levels (A)	3	0.48 **	631.4 **	0.78 **	204830.1 **	1.86 **
Irrigation interval (B)	2	0.19 **	128.6 **	0.19 *	18098.3 **	1.48 **
A×B	6	0.11 **	26.0 **	0.05 ns	30839.6 **	0.23 **
Error	22	0.004	4.69	0.05	965.2	0.02
Coefficient of variation (%)	-	21.6	14.9	20.5	17.1	18.9

ns= non-significant, ** and * are significant at 1% and 5%, respectively.

جدول ٥- تحلیل واریانس آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب نعناع فلفلی تحت تیمارهای مختلف

Table 5- Variance analysis of water consumption and water productivity of peppermint under different treatments

Sources of changes	Degree of freedom	Average of squares		
		Water consumption (mm)	Water productivity for leaf production (kg/m^3)	Water productivity for essential oil production (cc/lit)
Hydrogel levels (A)	3	16028.4 **	2.71 **	0.002 **
Irrigation interval (B)	2	2940.9 **	0.25 *	0.007 **
A×B	6	2084.5 **	0.48 **	0.001 **
Error	22	175.0	0.088	0.001
Coefficient of variation (%)	-	17.0	13.3	20.8

ns= non-significant, ** and * are significant at 1% and 5%, respectively.

جدول ٦- مقایسه میانگین‌های اثر ساده و متقابل سطوح هیدروژل و دور آبیاری بر پارامترهای عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نعناع فلفلی

Table 6- Comparison of simple and interaction effects of hydrogel levels and irrigation intervals on yield and yield components of peppermint

Parameters	Irrigation interval (day)	Hydrogel level (%w/w)				Average
		0	0.5	1	2	
Root weight (kg/m^2)	2	1.036 a	1.122 a	1.030 a	0.223 e	0.853 A
	4	0.899 b	1.053 a	0.917 b	0.517 d	0.847 A
	6	0.610 cd	0.723 c	0.612 cd	0.573 d	0.630 B
	Average	0.848 B	0.966 A	0.852 B	0.438 C	
Root length (cm)	2	32.4 a	33.4 a	31.6 a	10.6 e	26.98 A
	4	27.8 b	32.0 a	25.2 bc	12.4 e	24.35 B
	6	22.6 cd	26.7 b	20.4 d	12.2 e	20.48 C
	Average	27.59 B	30.69 A	25.71 B	11.76 C	
Aerial weight (kg / m^2)	2	1.106 a	1.158 a	0.946 ab	0.230 d	0.860 A
	4	0.788 ab	0.848 ab	0.639 b	0.322 cd	0.663 AB
	6	0.639 bc	0.702 b	0.564 bcd	0.283 cd	0.548 B
	Average	0.844 A	0.902 A	0.734 A	0.278 B	
Leaf weight (gr/m^2)	2	630.6 a	627.4 a	541.4 b	79.6 e	469.7 A
	4	506.4 b	507.4 b	442.6 c	249.5 d	426.5 B
	6	432.1 c	443.7 c	399.2 c	294.1 d	392.3 C
	Average	523.0 A	526.2 A	461.1 B	207.7 C	
Essential oil (%)	2	2.06 a	2.03 a	1.33 b	0.57 e	1.50 A
	4	1.86 a	1.87 a	1.80 a	0.93 cd	1.62 A
	6	1.20 bc	1.13 bc	0.80 de	0.70 de	0.96 B
	Average	1.71 A	1.68 A	1.31 B	0.73 C	

*- Similar letters in each column indicate a difference between the meanings at the 5% probability level based on the Duncan's test.

اثر ساده سطوح هیدروژل آکواسورس و دور آبیاری و اثر متقابل آنها بر پارامتر طول ریشه نیز روند مشابهی نسبت به وزن ریشه داشت (جدول ۶). بیشترین طول ریشه در دور آبیاری دو روز و نیم درصد وزنی هیدروژل و کمترین طول ریشه مربوط به دور آبیاری دو روز و دو درصد وزنی هیدروژل بود. در دوره‌های آبیاری دو، چهار و شش روز افزایش طول ریشه در سطح نیم درصد وزنی آکواسورس به‌ترتیب برابر با سه، ۱۳ و ۱۵ درصد حاصل شد. بنابراین کاربرد هیدروژل در سطح نیم درصد وزنی منجر به افزایش وزن و طول ریشه نسبت به تیمار شاهد شد، لیکن افزایش سطح هیدروژل به دو درصد وزنی منجر به کاهش معنی‌دار این دو پارامتر در تمامی دورهای آبیاری شد. این موضوع نشان‌دهنده جذب زیاد آب توسط هیدروژل در سطوح بالا می‌باشد، در حالی‌که این رطوبت قابل استفاده توسط گیاه نبوده و سبب ایجاد فضای نامناسب برای رشد ریشه شده است. این موضوع خصوصاً در دوره‌های آبیاری کوتاه‌تر مشهود است، در دوره‌های آبیاری بیشتر زمان کافی برای تبخیر آب و کاهش رطوبت خاک فراهم بوده و شرایط بهتری برای رشد ریشه حاصل شده است. اگرچه با کاهش آب قابل دسترس، به‌طورکل رشد گیاه کاهش می‌یابد، اما ریشه در مقایسه با اندام هوایی در این شرایط از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار است. توسعه ریشه‌های گیاه علاوه بر اینکه یک صفت ژنتیکی می‌باشد، به وضعیت محیطی که در آن رشد می‌کند نیز وابسته است. در شرایط کمبود آب در دسترس، فرآورده‌های فتوسنتزی بیشتری بـه ریشه‌ها نسبت به شاخه‌ها تخصیص داده شده و در صورتی که کمبود رطوبت ادامه یابد، با بسته شدن روزنه‌ها، باعث کاهش رشد رویشی و افزایش رشد ریشه‌ها می‌شود (Islam et al., 2011). افزایش طول ریشه با کاربرد پلیمرهای هیدروژل در گیاهان نخود و چغندرقند گزارش شده است (Farhadian and Eisavand, 2017; Khalili and Hamze, 2019). این محققان بیان کردند که هیدروژل به‌واسطه انبساط و انقباض، سبب بهبود شرایط فیزیکی و خلل و فرج خاک شده و از سویی دیگر به دلیل نگهداری آب و در دسترس قرار دادن آن برای گیاه سبب بهبود رشد ریشه می‌گردد. این موضوع در تحقیق حاضر نیز مشاهده شد، به طوری که با کاربرد آکواسورس در سطح نیم درصد افزایش وزن ریشه در دورهای آبیاری طولانی‌تر در مقایسه با تیمار شاهد بیشتر از افزایش وزن اندام هوایی در تیمار هیدروژل نسبت به تیمار شاهد بود. به این ترتیب کاربرد هیدروژل آکواسورس بر پارامتر وزن ریشه بیش از وزن اندام هوایی و برگ گیاه اثرگذار بود.

DOI: 10.22055/JISE.2021.34154.1922

بیشترین و کمترین وزن اندام هوایی به ترتیب در نیم و دو درصد وزنی هیدروژل در کوتاهترین دور آبیاری به‌دست آمد (جدول ۶). مقایسه‌ی میانگین‌های اثر ساده دوره‌های مختلف آبیاری نشان داد که افزایش دور آبیاری به شش روز سبب کاهش معنی‌دار وزن اندام هوایی نعناع فلفلی شد، هم‌چنین بررسی اثر ساده سطوح هیدروژل نشان دهنده این موضوع است که در بیشترین میزان مصرف ماده (دو درصد وزنی) وزن اندام هوایی به شکل معنی‌داری کاهش یافته و گیاه قادر به رشد مطلوب نبوده است. وزن اندام هوایی در نیم درصد وزنی هیدروژل در دورهای آبیاری دو، چهار و شش روز نسبت به تیمار شاهد به ترتیب به میزان چهار، هفت و نه درصد افزایش یافت. همان‌طور که مشاهده می‌شود با مصرف نیم درصد وزنی هیدروژل، درصد افزایش وزن اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد به میزان درصد افزایش وزن ریشه نبوده است و به عبارتی کاربرد هیدروژل بر اندام زیرزمینی بیشتر از اندام هوایی اثر داشته است (جدول ۶). بر اساس جدول (۶)، مقایسه میانگین‌های اثر ساده دور آبیاری نشان داد دورهای مختلف بر میزان وزن برگ اثر داشته‌اند، به طوری‌که با افزایش دور آبیاری میزان وزن برگ کاهش یافت. مطالعه‌های قبلی روی گیاهان دارویی نشان داده که کاهش آب قابل دسترس در شوید، گشنیز و رازیانه در شرایط گلخانه‌ای منجر به کاهش ارتفاع و تعداد شاخه جانبی، در مرزه سبب کاهش ارتفاع، تعداد شاخه جانبی، وزن اندام هوایی، ریشه، برگ و ساقه و در رزماری و مریم گلی سبب کاهش تعداد شاخه جانبی، ارتفاع و وزن ریشه و اندام هوایی گردید (Amiri et al., 2012; Eskandari, 2013; Hassan et al., 2013; Bettaieb et al., 2009). یافته‌های این محققان با نتایج حاصل از این تحقیق در خصوص اثر ساده دوره‌های آبیاری بر پارامترهای عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نعناع فلفلی هم‌خوانی دارد. با کاهش آب قابل دسترس، نقصان مواد فتوسنتزی بـه علت کاهش سطح برگ رخ می‌دهد که منجر به کاهش انتقال مواد بـه سمت گل‌ها نیز می‌گردد. بنابراین، وزن خشک برگ در واحد سطح کاهش یافته و سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی می‌گردد. با کاهش مواد فتوسنتزی، تعداد ساقه فرعی کاهش یافته و میزان وزن ساقه در واحد سطح و در نهایت وزن اندام هوایی کل گیاه کاهش می‌یابد. کاهش وزن خشک تحت کمبود آب می‌تواند در نتیجه کاهش در محتوای کلروفیل و در نتیجه کارایی فتوسنتز باشد (Khalid, 2006).

بنابراین افزایش وزن اندام‌هوایی در دور آبیاری طولانی‌تر در تیمار نیم درصد وزنی آکواسورس نسبت به تیمار شاهد، نشان دهنده تعدیل اثرات منفی کاهش آب قابل دسترس با کاربرد این پلیمر می‌باشد. مقایسه میانگین‌های اثر ساده سطوح هیدروژل بر وزن برگ نشان داد که تیمار شاهد و نیم درصد وزنی هیدروژل در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۶). در سطوح یک و دو درصد وزنی کاهش عملکرد نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد، که نشان می‌دهد شرایط بهینه رشد در این تیمارها فراهم نشده و هیدروژل علی‌رغم جذب رطوبت قادر به آزادسازی بهینه رطوبت به‌صورت تدریجی نبوده است. پژوهش‌های انجام گرفته توسط سایر محققین در ذرت دانه‌ای، شوید و خیار گلخانه‌ای حاکی از بهبود صفات رشدی گیاهان با کاربرد پلیمرهای هیدروژل می‌باشد (Lotfi-Agha et al., 2017; Shekofteh et al., 2016; Abedi-Koupai and Mesforoush, 2009).

در پژوهش حاضر نیز بهبود برخی پارامترهای رشد با کاربرد پلیمر هیدروژل در سطوح نیم و یک درصد وزنی پلیمر/خاک مشاهده شد. لکن کاربرد مقادیر بیشتر (دو درصد وزنی) اثر بازدارندگی داشته و سبب کاهش معنی‌دار پارامترهای رشدی گردید. این مسئله حاصل ایجاد شرایط نامطلوب برای رشد ریشه بوده که در نهایت سبب کاهش بهره وری مصرف آب نیز شد. پلیمرهای هیدروژل باعث بازماندن روزنه‌ها به مدت طولانی می‌شوند و سپس باعث تثبیت مناسب دی‌اکسیدکربن و افزایش عملکرد گیاه می‌گردند (Keshavarz et al., 2012). نتایج تحقیق Safari et al. (2017) نشان داد که کاربرد ۱۰ و ۳۰ گرم در متر مربع سوپرجاذب سبب بهبود صفات رشدی زعفران شده است، لیکن افزایش سطح استفاده از سوپرجاذب تا ۵۰ گرم بر متر مربع اثرات منفی بر رشد و عملکرد زعفران داشت. Abedi-Koupai و Meshforoush (2017) نیز حد بهینه استفاده از پلیمر سوپر آب آ– ۲۰۰ در کشت خیار گلخانه ای را چهار گرم هیدروژل بر کیلوگرم خاک عنوان کرده و گزارش نمودند افزایش مقدار مصرف هیدروژل تا شش گرم بر کیلوگرم، کاهش عملکرد را به همراه داشته و علت آن را کاهش تهویه خاک دانستند. Najafi-Alishah et al. (2013) نیز گزارش کردند که با افزایش سطح استفاده از سوپرجاذب آکواسورب از دو به چهار و هشت گرم در کیلوگرم خاک، کاهش عملکرد خیار مشاهده شد. ایشان دلیل این مسئله را جذب زیاد آب توسط پلیمر سوپرجاذب و در پی آن سرد شدن خاک و آسیب به رشد گیاه دانستند. در پژوهش حاضر نیز با افزایش میزان کاربرد هیدروژل از نیم به یک درصد وزنی و بالاتر کاهش عملکرد رخ داد. درصد اسانس نعناع فلفلی تحت تأثیر اثرهای ساده دور آبیاری و سطوح هیدروژل قرار گرفت (جدول ۶). افزایش دور آبیاری به شش روز و همچنین افزایش سطح هیدروژل تا دو درصد وزنی سبب کاهش معنی‌دار درصد اسانس شدند. بررسی اثر متقابل سطوح هیدروژل و دور آبیاری نشان می‌دهد که کاربرد هیدروژل تا نیم درصد وزنی اثر معنی‌داری بر درصد اسانس در دورهای مختلف آبیاری نداشت. افزایش سطح استفاده از هیدروژل به یک درصد وزنی در دورهای آبیاری دو و شش روز منجر به کاهش معنی‌دار درصد اسانس شده و بیشترین سطح کاربرد هیدروژل (دو درصد وزنی) در تمامی دورهای آبیاری کاهش درصد اسانس را به همراه داشت. نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ساده و متقابل سطوح هیدروژل و دور آبیاری بر میزان آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب گیاه در تولید برگ و اسانس در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های اثر ساده و متقابل سطوح هیدروژل و دور آبیاری بر میزان آب مصرفی و بهره‌وری مصرف آب در تولید برگ و اسانس

Table 7- Comparison of simple and interaction effects of hydrogel levels and irrigation intervals on water consumption and water productivity (WP) of peppermint

Parameters	Irrigation interval (day)	Hydrogel level (%w/w)				Average
		0	0.5	1	2	
Water consumption (mm)	2	247.2 a	222.1 b	179.0 cd	86.4 g	183.7 A
	4	200.7 bc	172.7 d	144.2 ef	127.6 f	161.3 B
	6	185.9 cd	162.9 de	138.5 f	126.7 f	153.5 B
	Average	211.3 A	185.9 B	153.9 C	113.6 D	
WP for leaf production (kg/m^3)	2	2.55 ab	2.83 ab	3.06 a	0.96 d	2.35 B
	4	2.53 ab	2.94 a	3.08 a	1.98 c	2.63 A
	6	2.33 bc	2.72 ab	2.88 ab	2.36 bc	2.57 AB
	Average	2.47 B	2.83 A	3.00 A	1.76 C	
WP for essential oil production (cc /lit)	2	0.107 cde	0.117 bcd	0.096 def	0.085 ef	0.101 B
	4	0.119 bc	0.140 ab	0.159 a	0.093 ef	0.127 A
	6	0.082 f	0.088 ef	0.074 f	0.073 f	0.079 C
	Average	0.103 A	0.114 A	0.110 A	0.083 C	

*- Similar letters in each column indicate a difference between the meanings at the 5% probability level based on the Duncan's test.

همانگونه که در جدول (۷) مشاهده می‌شود کاربرد آکواسورس سبب کاهش معنی‌دار میزان آب مصرفی شده داده است. بررسی اثر ساده سطوح مختلف هیدروژل نشان می‌دهد که بیشترین مقدار آب مصرفی در تیمار شاهد و کمترین میزان مصرف آب مربوط به بیشترین سطح استفاده از هیدروژل (دو درصد وزنی) بوده است. بررسی اثر متقابل فاکتورهای دور آبیاری و سطوح هیدروژل نیز نشان می‌دهد که بیشترین مصرف آب در تیمار شاهد در کوتاهترین دور آبیاری حاصل شده است. کمترین میزان مصرف آب نیز مربوط به سطح دو درصد وزنی هیدروژل در دور آبیاری شش روز بوده است.

مطابق جدول (۷) مقایسه میانگین‌های بهره‌وری مصرف آب در تولید برگ و اسانس برای اثر ساده سطوح هیدروژل نشان می‌دهد که کاربرد آکواسورس در سطوح نیم و یک درصد وزنی سبب افزایش بهره‌وری مصرف آب شد. بیشترین بهره‌وری مصرف آب در تولید برگ در سطح یک درصد وزنی هیدروژل و بیشترین بهره‌وری مصرف آب در تولید اسانس در سطح نیم درصد وزنی هیدروژل حاصل شد. کمترین بهره‌وری مصرف آب در تولید برگ و اسانس در بیشترین سطح کاربرد هیدروژل حاصل شد. بررسی اثر متقابل دور آبیاری و سطوح هیدروژل نشان می‌دهد که بیشترین بهره‌وری مصرف آب در تولید برگ و اسانس در تیمار یک درصد وزنی هیدروژل در دور آبیاری چهار روز حاصل شده‌است (جدول ۷). میزان عملکرد نعناع فلفلی در مقابل میزان آب مصرفی در سطوح مختلف کاربرد هیدروژل آکواسورس در شکل (۱) نمایش داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که علیرغم کاهش مصرف آب در سطوح یک و دو درصد وزنی پلیمر/خاک، با توجه به اینکه شیب کاهش عملکرد در این سطوح بیشتر از شیب کاهش مصرف آب است، در نهایت شاهد کاهش بهره‌وری مصرف آب در تولید برگ و اسانس در گیاه نعناع فلفلی هستیم.

Rashidi et al. (2017) بیان کردند که کاربرد سوپرجاذب‌های آکریل‌آمید و سوپرآب سبب کاهش حجم آب مصرفی چمن به ترتیب به میزان ۳۲/۵ و ۴۷/۹ درصد نسبت به نمونه شاهد شد، که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. هم‌چنین گزارش شده است که کارآیی مصرف آب خیار گلخانه‌ای و ذرت دانه‌ای با کاربرد سوپرجاذب افزایش یافته‌است (Abedi-Koupai and Mesforoush, 2009; Khalili et al., 2021; Aghayari et al., 2015).

Abedi-Koupai و Meshforoush (2009) عنوان کردند که بیشترین کارایی مصرف آب در تولید خیار گلخانه‌ای در سطح چهار گرم سوپرجاذب بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد و با افزایش بیشتر مقدار سوپرجاذب، کارآیی مصرف آب کاهش یافت. هم‌چنین Najafi-Alishah et al. (2013) گزارش کردند که در دوره‌های آبیاری کوتاه با مصرف سطوح بالای پلیمر آکواسورب، کارآیی مصرف آب خیار گلخانه‌ای کاهش یافت. ایشان این مسئله را مرتبط با وجود رطوبت زیاد در خاک در این تیمارها و ایجاد شرایط نامطلوب برای رشد گیاه به دلیل تهویه نامناسب و کاهش دمای خاک دانستند. در تحقیق حاضر نیز در سطوح نیم و یک درصد وزنی هیدروژل، افزایش بهره‌وری مصرف آب حاصل شد، ولی با افزایش مصرف هیدروژل تا دو درصد وزنی مقدار بهره‌وری مصرف آب کاهش یافت. دلیل این امر این است که علیرغم استفاده کمتر از آب در سطوح بیشتر هیدروژل، گیاه قادر به استفاده از رطوبت خاک نبوده و در این تیمارها کاهش عملکرد باعث کاهش بهره‌وری مصرف آب شده است.

DOI: 10.22055/JISE.2021.34154.1922

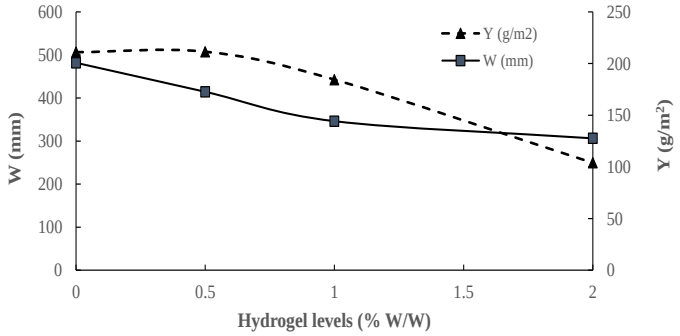


Fig. 1- The yield of peppermint versus the amount of water consumed at different levels of application of Aquasource hydrogel

شکل ۱- میزان عملکرد نعناع فلفلی در مقابل میزان آب مصرفی در سطوح مختلف کاربرد هیدروژل آکواسورس

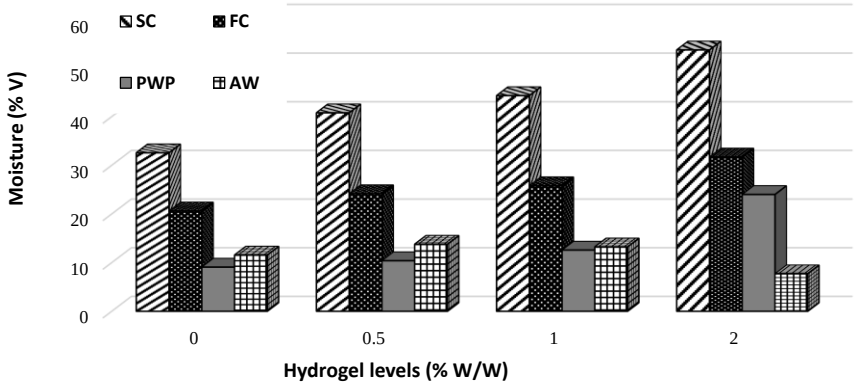


Fig .2- Moisture of soil samples at saturated condition (SC), field capacity (FC), permanent wilting point (PWP) and plant available water (AW) before planting due to the application of different levels of Aquasource hydrogel

شکل ۲- رطوبت نمونه‌های خاک در شرایط اشباع (SC)، ظرفیت زراعی (FC)، پژمردگی دائم (PWP) و رطوبت قابل استفاده گیاه (AW) قبل از کاشت در اثر کاربرد سطوح مختلف هیدروژل آکواسورس

بررسی حفظ کارآیی هیدروژل آکواسورس در پایان یک دوره کاشت محصول

میزان رطوبت نمونه‌های خاک قبل از کاشت در نقاط اشباع، حد ظرفیت زراعی، پژمردگی دائم و نیز رطوبت قابل استفاده گیاه در اثر کاربرد سطوح مختلف هیدروژل آکواسورس در شکل (۲) نشان داده شده‌اند. مشاهده می‌شود که کاربرد آکواسورس و افزایش سطح مورد استفاده، سبب افزایش میزان رطوبت در نقاط اشباع و ظرفیت زراعی شده است. بیشترین میزان رطوبت اشباع و ظرفیت زراعی در تیمار دو درصد وزنی آکواسورس به ترتیب به میزان ۵۳/۶۸ و ۳۱/۷۰ درصد حجمی حاصل شد. از طرفی با کاربرد آکواسورس و افزایش میزان استفاده از آن، میزان رطوبت در نقطه پژمردگی دائم نیز افزایش یافت و بیشترین رطوبت در حد پژمردگی دائم به میزان ۲۴ درصد حجمی در تیمار دو درصد وزنی آکواسورس به‌دست آمد. بیشترین و کمترین میزان رطوبت قابل استفاده گیاه نیز به ترتیب در تیمارهای نیم و دو درصد وزنی هیدروژل به میزان ۱۳/۷۸ و ۷/۷۰ درصد حجمی به‌دست آمد (Sepehri et al., 2020). مقدار رطوبت نمونه‌های خاک در نقاط رطوبتی ذکر شده، پس از یک دوره کاشت گیاه نعناع فلفلی نیز با استفاده از دستگاه صفحات فشاری تعیین شد. تحلیل آماری پارامترهای ذکر شده و مقایسه رطوبت‌ها در دو مرحله قبل از کاشت و پایان دوره کاشت بر اساس آزمون T-Test در جدول (۸) نشان داده شده است. نتایج آزمون T-Test نشان داد که پارامترهای درصد حجمی رطوبت در حالت اشباع و حد ظرفیت زراعی نمونه‌های خاک در دور آبیاری دو روز در شرایط استفاده از بالاترین سطح هیدروژل آکواسورس (دو درصد وزنی) پس از پایان دوره کاشت محصول دارای تفاوت معنی‌داری با شرایط قبل از کاشت هستند (جدول ۸).

جدول ۸- تحلیل آماری پارامترهای فیزیکی خاک بر اساس آزمون T-Test

Table 8 - Statistical analysis of soil physical parameters based on T-Test

Moisture (%V)	Irrigation interval (day)	Hydrogel level (%w/w)							
		0		0.5		1		2	
		average	t-test	average	t-test	average	t-test	average	t-test
Saturated point	2	32.49	0.040 ns	40.12	0.482 ns	42.68	1.121 ns	50.38	3.794 *
	4	32.51	0.028 ns	40.35	0.325 ns	42.72	0.944 ns	51.02	2.67 ns
	6	32.47	0.064 ns	40.57	0.133 ns	43.92	0.224 ns	51.40	2.58 ns
Field capacity	2	20.52	0.155 ns	24.01	0.235 ns	25.21	1.840 ns	29.61	5.292 *
	4	20.56	0.093 ns	24.06	0.174 ns	25.65	1.40 ns	31.33	0.764 ns
	6	20.54	0.129 ns	24.07	0.153 ns	25.67	0.949 ns	31.41	0.311 ns
Permanent wilting point	2	9.03	0.061 ns	10.30	0.974 ns	12.07	0.517 ns	23.12	1.181 ns
	4	9.05	0.036 ns	10.32	0.897 ns	12.48	0.869 ns	23.86	0.890 ns
	6	9.02	0.095 ns	10.34	0.934 ns	12.49	0.836 ns	23.90	0.923 ns
Plant available water	2	11.48	0.123 ns	13.71	0.101 ns	13.14	0.184 ns	6.49	1.380 ns
	4	11.51	0.078 ns	13.75	0.052 ns	13.17	0.127 ns	7.48	0.212 ns
	6	11.52	0.060 ns	13.73	0.076 ns	13.19	0.091 ns	7.51	0.150 ns

ns= non-significant, ** and * are significant at 1% and 5%, respectively.

بنابراین هیدروژل مورد استفاده در این شرایط در سیکل‌های متعدد تر و خشک شدن تا حدودی کاهش کارآیی داشته است. لیکن این دو پارامتر در سایر سطوح مورد استفاده از آکواسورس و در سایر دورهای آبیاری تفاوت معنی‌داری با شرایط قبل از کاشت، نداشته‌اند. هم‌چنین پارامترهای درصد حجمی رطوبت در نقطه پژمردگی دائم و میزان آب قابل استفاده گیاه بعد از پایان برداشت محصول نیز در هیچ یک از سطوح استفاده از هیدروژل و دور آبیاری مورد مطالعه، تفاوت معنی‌داری با شرایط قبل از کاشت نداشتند. در دور آبیاری دو روز، سیکل‌های تر و خشک شدن افزایش یافته و آبیاری در زمانی اتفاق افتاده است که هیدروژل سیکل خشک شدن را کامل طی نکرده است. در سطوح بالای استفاده از هیدروژل آکواسورس (دو درصد وزنی) نیز به دلیل عدم تعامل مناسب بین پلیمر و ذرات خاک، تبادل رطوبت اتفاق نیفتاده است. بنابراین در این شرایط نیز به علت عدم تکمیل سیکل خشک شدن پلیمر در زمان آبیاری مجدد، احتمالاً همگنی پلیمر تحت تأثیر قرار گرفته و این موضوع بر کارآیی و پایداری آن اثر منفی داشته است.

نتیجه‌گیری

کاربرد نیم درصد وزنی هیدروژل آکواسورس اثر معنی‌داری بر وزن برگ و درصد اسانس نعناع فلفلی نداشته و استفاده از مقادیر بیشتر این پلیمر (یک و دو درصد وزنی) تا حدودی اثرات منفی بر عملکرد برگ و اسانس گیاه داشت. لیکن، کاربرد این هیدروژل و افزایش سطوح مورد استفاده از آن از صفر تا دو درصد وزنی، سبب کاهش معنی‌دار میزان آب مصرفی گیاه نعناع فلفلی شد. بنابراین با کاربرد آکواسورس رطوبت موجود در سیستم خاک/ پلیمر بیش از تیمار شاهد بوده و با افزایش مقدار استفاده از پلیمر، این رطوبت نیز افزایش یافته است. ولی، با توجه به اینکه کمترین بهره‌وری مصرف آب در تولید محصول نیز در بیشترین سطح پلیمر حاصل شد، می‌توان نتیجه گرفت، که علیرغم آنکه آکواسورس در جذب آب توانایی خوبی دارد، لکن قادر به تخلیه مطلوب رطوبت نبوده و آب ذخیره شده به خوبی در دسترس گیاه قرار نمی‌گیرد. به این ترتیب علی‌رغم کاهش مصرف آب در سطوح بالای استفاده از پلیمر، با توجه به اینکه شیب کاهش عملکرد در این سطوح بیشتر از شیب کاهش مصرف آب است، در نهایت شاهد کاهش بهره‌وری مصرف آب در تولید برگ و اسانس در گیاه نعناع فلفلی هستیم. هم‌چنین کارآیی هیدروژل آکواسورس در پایان یک دوره کاشت، در دور آبیاری کوتاه و در شرایط کاربرد سطوح بالای هیدروژل، تا حدودی تأثیر منفی پذیرفت. بنابراین، استفاده از هیدروژل آکواسورس در مقادیر کم (حدود نیم تا یک درصد وزنی هیدروژل/خاک) در مناطق خشک و نیمه خشک و فاقد منابع آبی مناسب، می‌تواند منجر به کاهش مصرف آب شده و در نهایت بهره‌وری مصرف آب را بهبود بخشد. لیکن به منظور بهره‌برداری بهینه از این پلیمر، تعیین میزان مناسب استفاده از آن با توجه به نوع محصول و تعیین دور آبیاری مناسب نقش تعیین‌کننده‌ای دارد.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله، نگارندگان، از مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به پاس فراهم آوردن امکان این تحقیق قدردانی می‌نمایند.

References

1- Abedi-Koupai, J. and Mesforoush, M., 2009. Evaluation of superabsorbent polymer application on yield, water and fertilizer use efficiency in cucumber (Cucumis Sativus). *Iranian Journal of lrrigation and drainage.* 2 (3), pp. 100-111. (In Persian).

2- Aghayari, F., Khalili, F. and Ardakani, M. R., 2015. Effect of different irrigation methods and superabsorbent polymer on yield and water productivity of corn. *Journal of Plant Ecophysiology.* 8 (24), pp. 35-48. (In Persian).

3- Amiri, A. R., Rezvani-Moghaddamm P. and Ehyaee, H. R., 2012. The effects of drought stress on morphological traits and yield of three medicinal plants (Coriandrum sativum, Foeniculum vulgare and Anethum graveolens) in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research.* 10 (1), pp. 116-124. (In Persian).

4- Bettaieb, I., Zakhama, N., Aidi Wannes, W., Kchouk, M.E. and Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on Salvia officinalis fatty acids and essential oils composition. *Scientia Horticulturae Journal.* 120 (2), pp. 271-275.

5- Capuzzo, A. and Maffei, M., 2016. Molecular fingerprinting of peppermint (Mentha piperita) and some Mentha hybrids by sequencing and RFLP analysis of the 5S rRNA Non-Transcribed Spacer (NTS) region. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology.* 150 (2), pp. 236-243.

6- Eskandari, M., 2013. Changes in growth parameters and essential oil content of Satureja bachtiarica Bunge under the effects of 28-Homobrassinolid and drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants.* 29 (1), pp. 176-186. (In Persian).

7- Essawy, H., Ghazy, M., El-Hai, F. and Mohamed, M., 2016. Superabsorbent hydrogels via graft polymerization of acrylic acid from chitosan-cellulose hybrid and their potential in controlled release of soil nutrients. *International Journal of Biological Macromolecules.* 89, pp. 144-151.

8- Farhadian, K. and Eisvand, H. R., 2017. Effects of mycorrhiza and superabsorbent on root morphological characteristics and yield of chickpea (Cicer arietinum L.) under rain-fed conditions. *Journal of Crop Production.* 10 (2), pp. 61-73. (In Persian).

9- Hassan, F.A.S., Bazaid, S. and Ali, E.F., 2013. Effect of deficit irrigation on growth, yield and volatile oil content on Rosmarinus officinalis L. *Journal of Medicinal Plants Studies.* 1(3), pp. 12-21.

10- Islam, M., Xue, X., Mao, S., Ren, C., Eneji, A. and Hu, Y., 2011. Effects of water saving super-absorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in corn (Zea mays L.) under drought stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 91 (5), pp. 813-819.

11- Keshavarz, L., Farahbakhsh, H., and Golkar, P., 2012. The effects of drought stress and super absorbent polymer on morphphysiological traits of pearl millet (Pennisetum glaucum). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences.* 3(1), pp. 148-154.

12- Khalid, K. A., 2006. Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (Ocimum sp.). *International Agrophysics*. 20 (4), pp. 289-96.

13- Khalili, F., Aghayari, F., Ardakani, M. R. 2021. Simultaneous impact of deficit irrigation methods and superabsorbent polymer on morphological, physiological and yield characteristics of corn. *Water and Soil Science.* 31 (3): 15-29. (In Persian).

14- Khalili, M. and Hamze, H., 2019. Effect of super-adsorbent and irrigation levels on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (Beta vulgaris). *Journal of Crop Ecophysiology.* 13 (3), pp. 395-412. (In Persian).

15- Khorramdel, S., Cheshm, R., Amin-Ghafori, A. and Esmaielpour, B., 2014. Evaluation of soil texture and superabsorbent polymer impacts on agronomical characteristics and yield of saffron. *Journal of Saffron Research.*1 (2), pp. 120-135. (In Persian).

16- Lotfi-Agha, M., Marashi, K. and Babaie-Nejad, T., 2017. Effect of super absorbent polymer values and low irrigation on yield and some biochemical characteristics of corn (Zea mays L). *Crop Physiology Journal.* 9 (34), pp. 97-109. (In Persian).

17- Najafi-Alishah, F., Golchin, A. and Mohebi, M., 2013. Aquasorb water-absorbing polymer and irrigation frequency on yield, water use efficiency and growth indices of greenhouse cucumber. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture.* 4 (15), pp. 1-13. (In Persian).

18- Nazarli, H., Zardashti, M. R., Dravishzadeh, R. and Najafi, S., 2010. The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits of sunflower under greenhouse condition. *Notulae Scientia Biologicae.* 2(4), pp. 53-58.

19- Nezami, S., Nemati, H., Arouyi, H. and Bagheri, A., 2016. Effect of soil moisture regimes under controlled conditions on growth and biomass in Mentha species. *Journal of Plant Production Research.* 23 (2), pp. 51-71. (In Persian).

20- Nirmala, A. and Guvvali, T., 2019. Hydrogel/superabsorbent polymer for water and nutrient management in horticultural crops-review. *International Journal of Chemical Studies.* 7 (5), pp. 787-795.

21- Rashidi, M., Bahrami, H. and Ghorbani-Vaghei, H., 2017. Investigating the effect of subsurface irrigation system, sprinkler and superabsorbent polymers on quantitative and qualitative characteristics of turf grass. *Journal of Water and Soil Conservation*. 7 (14), pp. 71-85. (In Persian).

22- Safari, M., Khajoui, G., Maghsoudi-Moud, A. and Mohammadi-Nejhad, G., 2017. Effect of different rates and application methods of super-absorbent polymer in saffron cultivation under different irrigation levels. *Journal of Saffron Research.* 5 (2), pp. 231-246. (In Persian).

23- Satriani, A., Catalano, M. and Scalcione, E., 2018. The role of superabsorbent hydrogel in bean crop cultivation under deficit irrigation conditions: A case-study in Southern Italy. *Agricultural Water Management.* 195 (1), pp. 114-119.

24- Schmidt, B., 2019. Hydrophilic Polymers. *Polymers.* 11, pp. 693-697.

25- Sepehri, S., Abbasi, N. and Nakhjavanimoghaddam, M.M., 2020. Investigating the effects of aquasource super-absorbent on water productivity of peppermint (Mentha piperita). *Final Research Report, Agricultural Engineering Research Institute.* No: 58502. (In Persian).

26- Shekofteh, H., Salari, N. and Abdi, S., 2016. Effect of different ratios of nitrate to ammonium and super absorbent polymer on the yield of medicinal plant dill (Anethum Graveolens l.). *Plant Production Technology.* 15 (2), pp. 55-68. (In Persian).

27- Vasconcelos, M., Gomes, R., Sousa, A., Moreira, F., Rodrigues, F., Fajardo, A. and Neto, L., 2019. Superabsorbent hydrogel composite based on starch/rice husk ash as a soil conditioner in melon (Cucumis Melo l.) seedling culture. *Journal of Polymers and the Environment.* 28, pp. 131-140.

28- Warker, S. and Kumar, A., 2019. Synthesis and assessment of carboxymethyl tamarind kernel gum based novel superabsorbent hydrogels for agricultural applications. *Polymer*. 182, pp. 1-10.

DOI: 10.22055/JISE.2021.34154.1922

29- Yu, J., Shi, J. G. and Ma, X., 2017. Superabsorbent Polymer properties and concentration effects on water retention under drying conditions. *Soil Science Society of America Journal.* 81, pp. 889-901.

30- Zand-Parsa, Sh., Ghasemi Saadat Abadi, G., Mahbod, M. and Sepaskhah, A. R. 2019. Estimation of wheat water productivity and water use efficiency (Shiraz cultivar) under different amounts of deficit irrigation and nitrogen deficiencies. *Journal of Water and Soil Science*. 24 (2): 181-195. (In Persian).