

The Effect of Superabsorbent Polymer on Quantitative and Qualitative Characteristics of Valerian (*Valeriana officinalis* L.) under Drought Stress

M. Azizi^{1,2*}, S. Beigi¹, Z. Safaei¹, M. Mansoori³

1- Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Research Institute of Medicinal Plant, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University of Ardabil, Ardabil, Iran

(*- Corresponding author's Email: Azizi@um.ac.ir)

Received: 16 January 2017

Revised: 15 February 2023

Accepted: 04 April 2020

Available Online: 05 April 2021

How to cite this article:

Azizi, M., Beigi, S., Safaei, Z., & Mansoori, M. (2025). The effect of superabsorbent polymer on quantitative and qualitative characteristics of valerian (*Valeriana officinalis* L.) under drought stress. *Journal of Horticultural Science*, 39(2), 203-216. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2021.59445.0>

Introduction

Medicinal plants are economical important plants that are used in traditional medicine and industry as raw or processed materials. Valerian (*Valeriana officinalis* L.) is one of the important medicinal plants which belong to Valerianaceae family. The valerian rhizome and roots have been considered as a valuable medicinal plant that essential oil content (between 0.1 to 2 percent) varied according to climatic conditions of production location. Valerian needs a lot of water during the growth period and enough moisture around the roots and rhizome increase root yield. Iran is situated in an arid and semi-arid region. When a plant's minimum water requirement is not met, it experiences drought stress, which can cause severe and often irreversible damage to the crop. One effective method for improving irrigation efficiency under such conditions is the use of superabsorbent polymers. These hydrocarbon-based materials can retain large amounts of water or aqueous solutions in the plant root zone, thereby mitigating the negative effects of drought stress. Their application can enhance plant growth, extend irrigation intervals, reduce water loss, and lower irrigation costs. Generally, water efficiency, dry matter production and root development, are positive reactions to the use of superabsorbent. In this regard, Stockosorb® copolymer is potassium-based nutrients that have a high ability to absorb water and nutrients and high strength polymer maintained the water has been proven. The aims of this investigation were to study the effects of Stockosorb® hydrophilic polymers, on some morphological (root dry weight and yield, leaf area), biochemical (chlorophyll a, b), physiological (electrolyte leakage, leaf relative water content) characteristics and essential oil content and yield of valerian under drought stress.

Materials and Methods

This research was conducted in field (1×1 m²) at Department of Horticultural Science, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. The research was set out in a factorial experiment based on completely randomized block design. The Stockosorb® hydrophilic polymer at four concentrations (0, 100, 200, 300 gr/m²) and two irrigation period (6 and 10 day) with three replications were set as treatments and leaf area, root dry weight and yield, chlorophyll a, b, electrolyte leakage, leaf relative water content and essential oil content and yield were evaluated at the end of the growth period. The seeds of *Valeriana officinalis* were sown in protected open field for seedling production and the seedling were transplanted to the field at four-leaf stage



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.59445.0>

(10 plant per plot). Stockosorb® mixed with soil, after weighing the polymers based on determined concentration. After seedling establishment, all plots were irrigated with a determined amount and equal of water.

Results and Discussion

The results showed, using Stockosorb® superabsorbent polymer be useful for water supply the plant in water stress condition. Application of this substance on some morphological, biochemical and physiological characteristics and valerian essential oil, was significant at 1% and superior to the control. According to the results obtained, Stockosorb® 300 g.m⁻² with irrigation period 6 days interval, increased leaf area, root dry yield, leaf relative water content, chlorophyll a and essential oil yield. While, the highest valerian root dry weight and essential oil content were obtained with application of Stockosorb® 200 g.m⁻² and irrigation period of 6 days interval. The highest electrolyte leakage was related to control and irrigation period 10 days interval and the maximum chlorophyll b was belonged to Stockosorb® 100 g.m⁻² with irrigation period 10 days interval.

Conclusions

Since the ultimate goal in cultivating valerian, as with other essential oil-bearing plants, is to optimize both yield and essential oil content, the findings of this study recommend the application of 300 g/m² Stockosorb polymer combined with a 6-day irrigation interval. This approach effectively mitigates drought stress and enhances all evaluated growth and yield characteristics in valerian. The highest root dry weight under drought stress was related to more accessible and preservatives water in characteristics the root zone and it found by using the middle concentrations (200 gr/m²) super absorbent polymer and irrigation period shorter (6 day). Using of mentioned treatments, according to the middle water stress, leads to increased valerian essential oil. The best root dry yield, essential oil yield, electrolyte leakage, chlorophyll a and %RWC with sufficient amounts of water and better growth conditions were achieved by application of 300 g.m⁻² Stockosorb® and irrigation period 6 days interval. In general, superabsorbent polymer was able to increase irrigation period and this was evident in qualitative and quantitative results related to the valerian in the treatment of 300 gr/m² with irrigation period 10 day and 100 g.m⁻² of polymer 6 day irrigation period. The results showed that superabsorbent polymers can enhance plant performance by influencing plant metabolic processes and providing protection against environmental stresses. Their application reduces the adverse effects of stress, contributing to the preservation and improvement of the plant's economic yield.

Keywords: Essential oil, Performance, Root, Stockosorb®

تأثیر پلیمر سوپرجاذب تحت تنش خشکی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی سنبل الطیب (*Valeriana officinalis* L.)

مجید عزیزی^{۱،۲*} - سمیه بیکی^۱ - زینب صفایی^۱ - میثم منصوری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۶

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده کشت گیاهان است که باعث کاهش عملکرد در محصولاتی می‌شود که به‌صورت دائم یا دوره-ای در معرض آن قرار می‌گیرند. یکی از راهکارهای افزایش بازده آبیاری و استفاده بهینه از بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب است. در این تحقیق، تأثیر سطوح مختلف پلیمر استاکوزورب (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم بر مترمربع) و دور آبیاری (۶ و ۱۰ روز)، به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار، روی برخی خصوصیات ریخت‌شناختی (سطح برگ، وزن و عملکرد خشک ریشه)، بیوشیمیایی (میزان و عملکرد اسانس)، فیزیولوژیکی (نشت الکترولیت، میزان نسبی آب برگ، میزان کلروفیل a و b) گیاه دارویی سنبل‌الطیب (*Valeriana officinalis* L.) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اثر ساده و متقابل این دو تیمار بر تمام صفات مورد ارزیابی معنی‌دار بود. استاکوزورب سطح ۳۰۰ گرم بر مترمربع با دور آبیاری شش روز در مقایسه با سایر تیمارها، منجر به افزایش سطح برگ (۲۰۴/۹۶ سانتی‌مترمربع)، عملکرد خشک ریشه (۰/۲۳ گرم بر مترمربع)، محتوای نسبی آب برگ (۱۱/۶۵ درصد)، کلروفیل a (۰/۶۴ میلی‌گرم بر گرم) و عملکرد اسانس (۳/۱۴ گرم بر مترمربع) گردید، درحالی‌که بیشترین وزن خشک ریشه (۱۸/۳۷ گرم بر گیاه) و درصد اسانس (۰/۶۹ درصد حجمی / وزنی) در تیمار استاکوزورب در سطح ۲۰۰ گرم بر مترمربع و دور آبیاری شش روز به دست آمد. بیشترین نشت الکترولیت (۸۳/۵۴ میکرو زیمنس بر سانتی متر) و حداکثر میزان کلروفیل b (۰/۲۶ میلی‌گرم بر گرم) به‌ترتیب مربوط به شاهد و استاکوزورب ۱۰۰ گرم بر مترمربع با دور آبیاری ۱۰ روز بود. براساس نتایج این تحقیق، استفاده از پلیمر استاکوزورب در سطح ۳۰۰ گرم بر مترمربع و دور آبیاری شش روز جهت مهار تنش خشکی و بهبود تمامی صفات اندازه-گیری‌شده در سنبل‌الطیب پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، استاکوزورب، ریشه، عملکرد

مقدمه

گیاهان دارویی از گیاهان مهم اقتصادی هستند که به‌صورت خام یا فرآوری‌شده در طب سنتی و مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرند (Omid-Baigi, 2006). سنبل‌الطیب با نام علمی *Valeriana L. officinalis* متعلق به خانواده Valerianaceae است. در بسیاری از

تحقیقات مقدار اسانس استخراج‌شده از ریشه‌ها (براساس وزن خشک ریشه) در گونه‌های مختلف و تحت شرایط اقلیمی مختلف بین ۰/۱ تا ۲ درصد گزارش شده است (Bos et al., 2000; Letchamo et al., 2004). این گیاه در طب سنتی برای رفع خستگی، اثرات آرام‌بخشی و همچنین درمان تشنج، دردهای عصبی و عضلانی استفاده شده و در فارماکوپه بسیاری از کشورها مانند آلمان، ریشه سنبل‌الطیب برای درمان بی‌قراری و اختلالات خواب پذیرفته شده است (Gruenwald et al., 2000; Hadley & Petry, 2003; Naghdi-badi et al., 2012).

سنبل‌الطیب با میانگین وزن خشک ریشه نه گرم (Mohammadi, 1993)، در طول دوره رویش به آب نسبتاً زیادی

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۲- پژوهشکده گیاهان دارویی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۳- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

*- نویسنده مسئول:

(*- Corresponding author's Email: Azizi@um.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.59445.0>

نیاز داشته و رطوبت کافی اطراف ریشه و ریزوم سبب افزایش عملکرد ریشه می‌گردد، درحالی‌که آب‌ایستایی سبب کاهش عملکرد و کاهش مواد مؤثره در ریزوم‌ها می‌گردد و ضروری است که از تجمع آب زیاد در اطراف ریشه جلوگیری شود (Omid-Baigi, 2006). حدود ۹۰ درصد از آب مصرفی در کشور ایران صرف تولیدات کشاورزی می‌شود، با توجه به این نکته که کشور ایران در زمره کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان همواره با مشکل کمبود آب روبه‌رو است و در صورتی‌که حداقل نیاز آبی گیاه فراهم نشود، گیاه با تنش خشکی مواجه شده و صدمات جبران‌ناپذیری به محصول وارد می‌آید، بنابراین اعمال مدیریت‌های صحیح و حفظ ذخایر رطوبتی اهمیت خاصی پیدا می‌کند. یکی از راهکارهای استفاده از منابع بهینه آب و حفظ آن، استفاده از اصلاح‌کننده‌های مصنوعی به نام پلیمرهای سوپرجاذب^۱ است. پلیمرهای سوپرجاذب از جنس هیدروکربن هستند، چندین برابر وزن خود آب جذب کرده و قابلیت نگهداری و ذخیره‌سازی آب در خاک را افزایش داده (Ghasemi & Khoshkhoo, 2008) و هنگام تنش خشکی، آب داخل پلیمرها به تدریج تخلیه شده و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی و بدون نیاز به آبیاری مجدد مرطوب می‌ماند، لذا با افزایش نگهداشت آب و اصلاح محیط ریشه گیاه و امکان افزایش دور آبیاری و جلوگیری از آشفته‌ی عناصر و کودهای محلول در آب و با کاهش اتلاف آب و کاهش هزینه‌های آبیاری و حفظ گیاه از تنش‌ها به رشد مطلوب گیاه کمک می‌نمایند (Abedi-Koupai et al., 2008; Abedi-Koupai & Mesforoush, 2009) به‌طور کلی، کارایی در مصرف آب، تولید مواد خشک و توسعه ریشه، واکنش‌های مثبت گیاه به کاربرد سوپرجاذب‌ها هستند (Razban & Pirzad, 2011; Shooshtarian et al., 2010) استاکوزورب، کوپلیمر آزاد و مغذی بر پایه پتاسیم می‌باشد (Ghebru et al., 2007) که توانایی بالایی در جذب آب و مواد مغذی داشته و قدرت بالای این پلیمر در نگهداری و حفظ آب به اثبات رسیده است (Montazer, 2008). در همین راستا و در سایر تحقیقات، استفاده از سوپرجاذب باعث افزایش وزن ریشه، ارتفاع و وزن گیاه زنیان شد (Sabbagh et al., 2015). فاضلی‌رستم پور و همکاران (Fazeli-Rostampour et al., 2011) گزارش کردند که استفاده از سوپرجاذب در گیاه ذرت بر شاخص کلروفیل اثرات معنی‌دار، ولی بر محتوای نسبی آب برگ اثر معنی‌داری نداشت. اثر متقابل آبیاری (تنش خشکی) و پلیمرهای سوپرجاذب، کاهش عملکرد زیست‌توده کل، میزان کلروفیل a و b، کلروفیل کل و پروتئین در بابونه آلمانی را در شرایط کمبود آب اصلاح نمودند (Lutts et al., 1995). همچنین کاربرد پلیمرهای تراکوتم و پلیمر گیاهی اسفرزه

منجر به افزایش سطح برگ و خصوصیات رشدی در شرایط تنش خشکی گردید (Beigi et al., 2015). در تحقیقی دیگر روی گیاه رزماری، استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب در شرایط تنش خشکی باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه گردید (Zargari, 1991). میزان اسانس آویشن (Poramini et al., 2013) و ریحان (Beigi et al., 2015) نیز با استفاده از سوپرجاذب (به ترتیب ۰/۵ گرم و ۰/۳ درصد) افزایش یافت. با توجه به اهمیت آبیاری در گیاه سنبل‌الطیب و عدم انجام تحقیقات در مورد تأثیر تنش خشکی و تأثیر کاربرد پلیمرهای سوپرجاذب بر جنبه‌های مختلف عملکرد، به‌خصوص ریشه و نیز اسانس گیاهان دارویی، هدف از این مطالعه ارزیابی برخی خصوصیات ریخت‌شناختی (سطح برگ، وزن و عملکرد خشک ریشه)، خصوصیات بیوشیمیایی (میزان و عملکرد اسانس)، خصوصیات فیزیولوژیکی (نشت الکترولیت، میزان نسبی آب برگ، میزان کلروفیل a و b) گیاه دارویی سنبل‌الطیب تحت تأثیر پلیمرهای استاکوزورب در شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در کرت‌هایی با ابعاد ۱×۱ مترمربع به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید و تأثیر سه سطح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم بر مترمربع پلیمر سوپرجاذب استاکوزورب تحت تأثیر دو دور آبیاری (۶ و ۱۰ روز) روی برخی صفات گیاه سنبل‌الطیب در مرحله گل‌دهی مورد بررسی قرار گرفتند. ابتدا بذور سنبل‌الطیب در نیمه دوم تیرماه جهت پرورش نشاء در زمین کشت گردید. به‌دلیل نیاز به نور و رطوبت جهت تسریع در جوانه‌زنی بذور، روی بذور حداکثر با ۱/۰ سانتی متر خاک‌برگ و سطح خزانه با پوشش‌های مناسبی پوشانده شد. سوپرجاذب بعد از توزین براساس غلظت‌های تعیین‌شده (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم بر مترمربع) با خاک کرت‌ها (جدول ۱) مخلوط گردید، سپس گیاهان در مرحله چهاربرگی (اواخر شهریورماه) داخل کرت‌ها نشاء گردیدند (۱۰ بوته به‌عنوان مشاهده در هر کرت با فواصل ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف). بعد از استقرار نشاء، آبیاری تمامی تیمارها با فواصل شش و ۱۰ روز با یک میزان آب مشخص برای تمامی کرت‌ها انجام شد. ریزوم‌ها و ریشه‌ها، سال بعد در فصل پائیز (اواخر مهر) سال بعد جمع‌آوری گردیدند.

جدول ۱- آنالیز خاک زمین مورد استفاده
Table 1-The soil analysis of used field

هدایت الکتریکی EC (DS.m ⁻¹)	مواد آلی Organic materials (%)	کربن آلی Organic C (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	نیتروژن N (%)	اسیدیته pH	بافت خاک Soil texture
1.21	0.64	0.37	0.002	0.023	0.064	7.8	لومی شنی Sandy loam

حاوی دیسک‌های برگی، در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۱۵ دقیقه اتوکلاو شده و پس از خنک شدن در دمای اتاق، مجدداً هدایت الکتریکی محلول (C₂) اندازه‌گیری شد و میزان نشت الکترولیت از غشاء توسط معادله (۳) محاسبه گردید (Lutts et al., 1995).

(۳)
$$= \left(\frac{C_1}{C_2} \right) \times 100$$
 نشت الکترولیت از غشاء (درصد)
جهت اندازه‌گیری میزان اسانس (به روش حجمی/وزنی)، ۴۵ گرم از ریشه‌های هر نمونه، پس از خشک شدن کامل در دمای ۴۰ درجه، جهت استخراج اسانس توسط دستگاه کلونجر و با روش تقطیر با آب به مدت چهار ساعت در یک مرحله مورد استفاده قرار گرفت. عملکرد اسانس از حاصل ضرب محتوای اسانس گیاهان در وزن خشک مربوطه محاسبه شده و براساس میلی‌لیتر در تک‌بوته مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری JMP8، مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثرات ساده و متقابل تیمارها (دور آبیاری و سطوح مختلف سوپرجاذب استاکوزورب) برای تمام صفات مورد بررسی در این تحقیق، اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. طبق جدول مقایسه میانگین (جدول ۳)، مربوط به اثرات متقابل تیمارها، کمترین مقادیر به‌دست‌آمده در مورد تمام صفات اندازه‌گیری‌شده به‌غیر از نشت الکترولیت مربوط به شاهد با دور آبیاری ۱۰ روز بود.

اثر تیمارها بر صفات مورد اندازه‌گیری سطح برگ

یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش آماس و در نتیجه کاهش تقسیم و توسعه سلول به‌ویژه در برگ‌ها و در نهایت کوچک‌تر شدن اندازه آن‌ها می‌باشد. به نظر می‌رسد که تنش خشکی باعث کاهش قدرت رشد سلولی شده و کاهش سطح برگ، کاهش کلروفیل و فتوسنتز را به همراه داشته است (Selahvarzi et al., 2008). تغییر در سطح برگ در کاهش جذب تشعشع مؤثر بوده و کاهش میزان

سطح برگ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سطح‌برگ‌سنج مدل Delta T اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن و عملکرد ریشه-های خشک، ریشه‌های گیاه پس از خشک کردن در دمای ۴۰ درجه (Upton et al., 1999) با استفاده از ترازوی دیجیتالی مدل AND GF-3000 با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید. به‌منظور اندازه‌گیری میزان کلروفیل a و b، در این آزمایش، روش در و همکاران مورد استفاده قرار گرفت (Dere et al., 1998). ابتدا ۰/۱ گرم نمونه برگی تازه را در هاون چینی کوبیده و سپس در پنج میلی‌لیتر حلال متانول ۹۶ درصد حل گردید. عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه توسط دستگاه سانتریفیوژ مدل HERMLE Z200A، سانتریفیوژ شده، سپس توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل CECIL CE2502، میزان جذب در طول موج‌های ۶۵۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۶۶ نانومتر برای کلروفیل b قرائت شد. عدد به‌دست‌آمده از هر طول موج جهت تعیین غلظت هر کدام از رنگیزه‌ها در معادله‌های زیر قرار گرفت.

$$\begin{aligned} Ca &= 15.65(A666) - 7.340(A653) \\ Cb &= 27.05(A653) - 11.21(A666) \\ Ct &= Ca + Cb \end{aligned} \quad (۱)$$

جهت تعیین محتوای نسبی آب برگ، از جوانترین برگ بالغ در هر بوته، ۱۰ عدد دیسک برگی تهیه و برای تعیین وزن تر، نمونه‌ها بلافاصله توزین گردید (FW). سپس تمام نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و تاریکی در آب مقطر غوطه‌ور گردیده و پس از آن، وزن اشباع آن‌ها اندازه‌گیری شد (TW). سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند و سپس وزن خشک آن‌ها تعیین گردید (DW). با استفاده از معادله (۲)، محتوای نسبی آب برگ (RWC) محاسبه گردید (Schonfeld et al., 1988).

$$RWC(\%) = \left[\frac{FW - DW}{TW - DW} \right] \times 100 \quad (۲)$$

به‌منظور تعیین پایداری غشاء سلول در برگ‌ها، از اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیتی استفاده گردید. به این منظور، ۱۰ عدد دیسک برگی از جوان‌ترین برگ بالغ در هر بوته تهیه و بلافاصله دو بار با آب مقطر شست‌وشو داده شد و سپس داخل ظروف درب‌دار پلاستیکی حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی محلول (C₁) اندازه‌گیری شد. پس از آن، ظروف

حرارت برگ و در نهایت کاهش سرعت تعرق را به دنبال خواهد داشت (Sodaiezhadeh et al., 2016). با توجه به نتایج به دست آمده (جدول ۳) در این تحقیق، بیشترین سطح برگ (۲۰۴/۹۶ سانتی متر مربع) در تیمار اثر متقابل استاکوزورب ۳۰۰ گرم در مترمربع با دور آبیاری شش روز به دست آمد و کمترین سطح برگ مربوط به شاهد با دور آبیاری ۱۰ روز بود. نتایج نشان می‌دهند که در دور آبیاری شش روز، با کاهش میزان سوپرجاذب به گرم بر مترمربع ۱۰۰، مهار تنش خشکی در صفت سطح برگ با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. طبق نتایج حاصل، پلیمر مورد استفاده در غلظت بیشتر (۳۰۰ گرم بر مترمربع) و دور آبیاری کوتاه‌تر (شش روز) توانایی ایجاد سطح برگ مطلوب در سنبل‌الطیب را دارا بود و منجر به افزایش تقریباً ۱/۵ برابری سطح برگ نسبت به شاهد با دور آبیاری شش روز شد. در دور آبیاری ۱۰ روز، سطوح مختلف سوپرجاذب (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم در

مترمربع) نسبت به شاهد، در مهار تنش خشکی برای صفت سطح برگ یکسان عمل نموده و تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نگردید، اما با حفظ ۱/۵ برابری سطح برگ نسبت به شاهد، منجر به جلوگیری از آثار مخرب تنش خشکی در صفت سطح برگ گردید. براساس نتایج حاصل، سوپرجاذب با افزایش دور آبیاری نیز توانایی مقابله با تنش خشکی را دارا بود. کاهش سطح برگ در اثر تنش خشکی در گیاهان دارویی ننا (Abbaszadeh et al., 2008)، بومادران (Sharifi Ashoorabadi et al., 2009) و همچنین تأثیر مثبت استفاده از سوپرجاذب بر سطح برگ گیاهان در شرایط تنش خشکی توسط قاسمی و خوشخوی (Ghasemi & Khoshkhoo, 2008) و فاضلی‌رستم‌پور و همکاران گزارش شده است (Fazeli-Rostampour et al., 2011).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات دور آبیاری (روز) و سطوح پلیمر سوپرجاذب روی برخی خصوصیات ریخت‌شناختی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و اسانس سنبل‌الطیب

Table 2- The ANOVA results for the effects of irrigation period (day) and superabsorbent polymer levels on some morphological, biochemical, physiological characteristic, and essential oil traits of *Valeriana officinalis*

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	سطح برگ Leaf area	وزن خشک ریشه Root dry weight	عملکرد خشک ریشه Root dry yield	کلروفیل a Chlorophyll a content	کلروفیل b Chlorophyll content b	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	محتوای آب نسبی برگ RWC	میزان اسانس Essential oil content	عملکرد اسانس Essential oil yield
تکرار Replication	2	291.79 ^{ns}	1.78 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	49.60 ^{ns}	39 ^{ns} .1	0.001 ^{ns}	0.002 ^{ns}
سطح پلیمر سوپرجاذب Superabsorbent polymer level (SPL)	3	2373.54 ^{**}	76.95 ^{**}	0.0122 ^{**}	0.0333 ^{**}	0.0145 ^{**}	4618.47 ^{**}	74 ^{**} .31	0.168 ^{**}	0.315 ^{**}
دور آبیاری Irrigation period (IP)	1	25544.72 ^{**}	215.52 ^{**}	0.0408 ^{**}	0.0220 ^{**}	0.0334 ^{**}	1181.46 ^{**}	08 ^{**} .61	0.158 ^{**}	0.968 ^{**}
SPL × IP	3	1171.51 ^{**}	48.53 ^{**}	0.0023 ^{**}	0.0089 ^{**}	0.0050 ^{**}	162.48 [*]	89 ^{**} .3	0.019 ^{**}	0.187 ^{**}
خطا	14	249.93	1.07	1.6369	0.0016	0.002	44.27	63.0	۵۰.000	0.004

ns, *, **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال $p \leq 0.05$ و $p \leq 0.01$ و $p \geq 0.1$

ns, *, **: non- significant, and significant at the of $p \leq 5\%$ and $p \leq 1\%$ levels, respectively.

جدول ۳- اثرات ساده و متقابل دور آبیاری (روز) و غلظت‌های پلیمر سوپرجاذب روی برخی صفات ریخت‌شناختی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی سنبل‌الطیب

Table 3- The simple and interaction effects of irrigation period (day) and superabsorbent polymer levels on some morphological, biochemical, physiological characteristic and essential oil of <i>Valeriana officinalis</i>						
تیمارها Treatment	سطح برگ Leaf area (cm ²)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g.plant ⁻¹)	کلروفیل a Chlorophyll content a (mg.g ⁻¹)	کلروفیل b Chlorophyll content b (mg.g ⁻¹)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage (μS.cm ⁻¹)	محتوای آب نسبی برگ RWC (%)
استاکوزورب						
Stockosorb (g.m ⁻²)						
0	118.64 c*	3.35 d	0.39 c	0.14 c	17.54 d	3.51 d
100	132.60 bc	4.99 c	0.50 b	0.22 a	38.80 c	4.86 c
200	150.63 ab	11.14 a	0.50 b	0.19 ab	53.96 b	6.31 b
300	163.90 a	9.01 b	0.57 a	0.17 bc	83.50 a	8.88 a
فواصل آبیاری						
Irrigation period (day)						
6	174.07 a	10.12 a	0.52 a	0.17 a	52.35 a	7.48 a
10	108.82 b	4.12 b	0.46 b	0.19 a	44.55 b	4.29 b
استاکوزورب × فواصل آبیاری						
Stockosorb (g.m ⁻²) × irrigation period (day)						
0×6	166.33 b	4.92 d	0.43 c	0.14 c	50.99 c	4.79 cd
100×6	151.06 bc	7.05 c	0.48 bc	0.17 bc	41.99 c	5.79 c
200×6	173.92 b	18.37 a	0.53 b	0.22 ab	28.94 d	7.71 b
300×6	204.96 a	10.14 b	0.64 a	0.16 c	11.26 e	11.65 a
0×10	70.96 e	1.78 f	0.35 d	0.15 c	83.54 a	2.22 e
100×10	114.14 d	2.93 ef	0.52 b	0.26 a	65.94 b	3.93 d
200×10	127.34 cd	3.92 de	0.46 bc	0.17 bc	48.45 c	4.91 cd
300×10	122.84 d	7.87 c	0.50 b	0.19 bc	23.82 d	6.12 c

* تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری (آزمون LSD) در سطح احتمال $p \leq 0.05$ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* There no significant difference statistically at the $p \leq 5\%$ probability level (LSD test) between the treatments with at least one letter in common.

وزن خشک ریشه

آبیاری (شش روز)، افزایش یافت (۱۸/۳۷ گرم در گیاه) (شکل ۱) و کمترین وزن خشک ریشه (۲/۹۳ گرم در گیاه) مربوط به شاهد با دور آبیاری ۱۰ روز بود. وزن خشک ریشه در تیمار ۱۰۰ گرم در مترمربع سوپرجاذب با دور آبیاری شش روز و ۳۰۰ گرم در مترمربع سوپرجاذب با دور آبیاری ۱۰ روز، تفاوت معنی‌داری نداشت. بنابراین با دور آبیاری بیشتر، نیاز به غلظت بالاتر سوپرجاذب جهت مهار تنش خشکی برای این صفت می‌باشد. به همین دلیل، نتایج کاربرد ۱۰۰ گرم در مترمربع سوپرجاذب با شاهد در دور آبیاری ۱۰ روز تفاوت معنی‌داری را از نظر صفت وزن خشک ریشه نشان ندادند. در این آزمایش مشخص گردید که بوته‌های گیاه سنبل‌الطیب که تحت تنش خشکی قرار داشتند با تولید ریشه‌های نازک‌تر در پاسخ به تنش خشکی از یک راهبرد مناسب استفاده کرده و بدین وسیله جذب عناصر غذایی را با حداقل صرف انرژی ادامه دادند. کاهش وزن خشک ریشه با افزایش تنش خشکی در سایر تحقیقات در گیاه دارویی آویشن (Babae et al., 2010) و رزماری (Petropoulos et al., 2008) و همچنین کاهش

مطالعه در مورد اثر تنش رطوبتی خاک بر توسعه سیستم ریشه‌ای گونه‌های گیاهی مختلف به‌عنوان معیاری جهت تعیین مقاومت به خشکی و پتانسیل تولید در شرایط تنش می‌باشد. اگرچه کل رشد گیاه در خلال تنش خشکی کاهش می‌یابد، ریشه در مقایسه با رشد اندام‌های هوایی، به‌خصوص رشد برگ‌ها، در این شرایط از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار است (Vahidi et al., 2012). توسعه ریشه‌های گیاه علاوه بر اینکه یک صفت ژنتیکی می‌باشد، به وضعیت محیطی که در آن رشد می‌کند نیز وابسته است (Alizadeh, 1995). کاهش معنی‌دار ماده خشک ریشه در اثر افزایش تنش خشکی، دلالت بر تحت تأثیر قرار گرفتن ریشه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزاء گیاه در اثر این پدیده محیطی دارد. همچنان که در اثر تنش خشکی، فتوسنتز برگ کاهش پیدا می‌کند، به‌دنبال آن رشد ریشه به‌طور اجتناب‌ناپذیری متوقف می‌گردد (Mokhtari & Baradaran, 2011). بررسی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که وزن خشک ریشه با استفاده از پلیمر استاکوزورب ۲۰۰ گرم در مترمربع و کاهش دور

وزن تر و خشک ریشه در گیاه مرزه نیز به اثبات رسیده است (Mirza *et al.*, 2004).

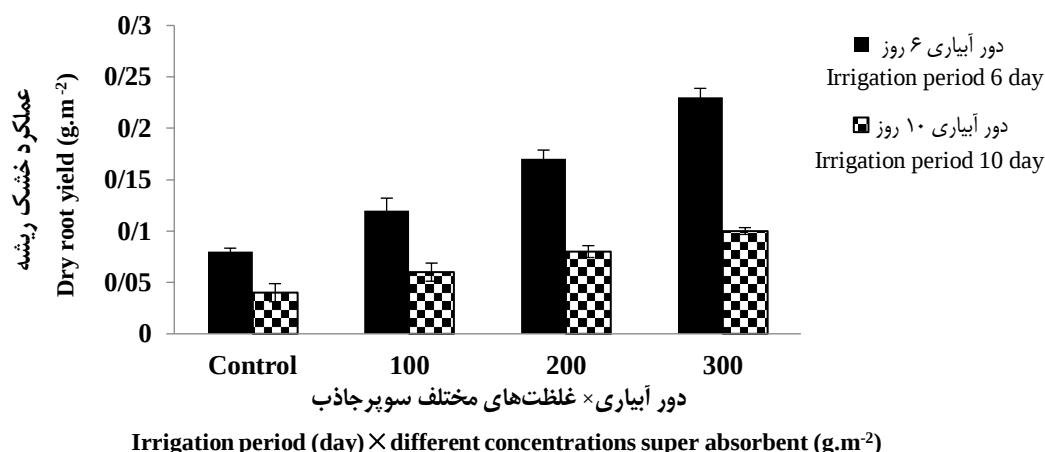
عملکرد خشک ریشه

رشد رویشی در گیاهان تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد که از مهم‌ترین این عوامل میزان آب در دسترس می‌باشد. عملکرد گیاه رابطه مستقیمی با سطح برگ و میزان کلروفیل برگ‌ها دارد (Vahidi *et al.*, 2012). در شرایط تنش، کاهش ماده خشک می‌تواند به دلیل فشار آماس سلول، ناشی از کاهش سطح برگ گیاه و همچنین کاهش نرخ فتوسنتزی به دلیل محدودیت‌های بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از قبیل کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی به خصوص کلروفیل‌ها باشد (Lawlor & Cornic, 2002). نتایج این تحقیق نشان داد (شکل ۲) که پلیمر استاکوزورب ۳۰۰ گرم بر مترمربع و دور

آبیاری کوتاه‌تر (شش روز)، از طریق افزایش سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ (RWC) و در نتیجه مهیا ساختن نیازهای رشدی گیاه، منجر به افزایش عملکرد ریشه‌ها و ریزوم‌های گیاه سنبل‌الطیب (۲۳/۰ گرم بر مترمربع) گردید. کاهش عملکرد ریشه خشک با کاهش مقدار سوپرجاذب مشاهده گردید و با افزایش دور آبیاری به ۱۰ روز، کاهش عملکرد خشک ریشه با کاهش مقدار سوپرجاذب شدیدتر بود. دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد سوپرجاذب در غلظت‌های ۲۰۰ و ۱۰۰ گرم بر مترمربع با شاهد اختلاف معناداری را نشان نداد، بنابراین نتایج نشان می‌دهد که جهت افزایش عملکرد ماده خشک تحت شرایط تنش خشکی بیشتر، نیاز به مقادیر بیشتری سوپرجاذب می‌باشد. کاهش معنی‌دار ماده خشک ریشه در اثر تنش خشکی در مرزه (Mokhtari & Baradaran, 2011) در سایر تحقیقات نیز به اثبات رسیده است.



شکل ۱- ریشه سنبل‌الطیب با تیمار استاکوزورب ۳۰۰ گرم در مترمربع و دور آبیاری شش روز (راست) و شاهد با دور آبیاری ۱۰ روز (چپ)
Figure 1-The valerian root treated with Stockosorb 300 g.m⁻² and 6 days irrigation period (right) and control plant treated with 10 days irrigation period (left)



شکل ۲- اثر متقابل دور آبیاری (روز) × سطوح مختلف سوپرجاذب بر عملکرد ریشه خشک گیاه سنبل‌الطیب
Figure 2- The interaction effects of irrigation period (day) × different levels of superabsorbent on the dry root of valerian (LSD, $p \leq 5\%$)

میزان کلروفیل a و b (mg.g⁻¹)

۲۰۰ گرم بر مترمربع) در دور آبیاری ۱۰ روز نسبت به شاهد با دور آبیاری شش روز توانایی مهار تنش خشکی و افزایش محتوای نسبی آب برگ را دارا بود. نتایج این پژوهش نشان داد که با اعمال تنش خشکی بیشتر (دور آبیاری ۱۰ روز) و بدون استفاده از سوپرجاذب (شاهد)، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت (جدول ۳) و کمترین پتانسیل آب برگ متعلق به شاهد (بدون پلیمر استاکوزورب و آبیاری ۱۰ روز) بود. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده، محتوای نسبی آب برگ، در بالاترین مقدار سوپرجاذب (۳۰۰ گرم بر مترمربع) با دوره‌های آبیاری متفاوت (۶ و ۱۰ روز)، افزایش تقریباً ۲/۵ برابری را نسبت به شاهد هر تیمار نشان داد. نتایج این تحقیق با نتایج کاهش رطوبت نسبی آب برگ با تنش خشکی در گیاه یونجه (Li Wen et al., 2006) و سنبل الطیب (Kubis et al., 2014) مطابقت داشت.

نشت الکترولیت

پایداری غشاء از خصوصیات فیزیولوژیک است که تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد. تنش‌های محیطی از طریق ایجاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن در داخل سلول، موجب کاهش پایداری غشاء و نشت مواد سیتوپلاسمی از آن شده و افزایش نسبت هدایت الکتریکی بعد از اتوکلاو را به دنبال دارد. توانایی هر چه بیشتر خنثی-سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن و حفظ پایداری غشاهای سلولی، باعث حفظ و تداوم فعالیت‌های حیاتی سلول و در نهایت تولید مواد فتوسنتزی بیشتر خواهد شد (Azari et al., 2012). در این تحقیق، بیشترین پایداری غشاء در تیمار استاکوزورب ۳۰۰ گرم بر مترمربع با دور آبیاری شش روز مشاهده گردید و تنش خشکی در شاهد (بدون کاربرد پلیمر سوپرجاذب)، با افزایش دور آبیاری (۱۰ روز) باعث افزایش معنی‌دار درصد نشت الکترولیت‌ها از غشاء در گیاه سنبل الطیب شد. با توجه به نتایج به دست آمده در هر دو دور آبیاری (۶ و ۱۰ روز)، تیمار سوپرجاذب در مقدار ۱۰۰ گرم بر مترمربع توانایی حفظ پایداری غشاء و کاهش نشت الکترولیت، به صورت مؤثر را دارا نبود، در صورتی که نتایج جلوگیری از افزایش نشت الکترولیت در تیمار سوپرجاذب با مقدار ۳۰۰ گرم بر مترمربع و دور آبیاری ۱۰ روز با مقدار ۲۰۰ گرم بر مترمربع سوپرجاذب و دور آبیاری شش روز، برابری داشت. افزایش میزان نشت الکترولیت با افزایش تنش خشکی، در گیاهان ماریتیغال (Daliri et al., 2010) و سنبل الطیب (Mustafavi et al., 2015) در سایر تحقیقات هم‌سو با نتایج این پژوهش بود.

تغییرات محتوای رطوبتی برگ و غلظت کلروفیل a و b به عنوان یک واکنش کوتاه مدت به تنش و معیاری از توان حفظ قدرت منبع در شرایط تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Saneoka et al., 2004). نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a (۰/۶۴ میلی گرم بر گرم) مربوط به تیمار اثر متقابل استاکوزورب ۳۰۰ گرم بر مترمربع و دور آبیاری شش روز بود و با کاهش مقدار سوپرجاذب و افزایش دور آبیاری، مقدار کلروفیل a کاهش یافت، در صورتی که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای حاوی سوپرجاذب با غلظت کمتر (۲۰۰ و ۱۰۰ گرم بر مترمربع) با دوره‌های آبیاری متفاوت مشاهده نگردید. کمترین مقدار کلروفیل a به ترتیب متعلق به شاهد با دور آبیاری ۱۰ و ۶ روز بود. به نظر می‌رسد که دلیل کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی، افزایش تخریب این رنگیزه‌ها و یا کاهش ساخت آن‌ها و نیز اختلال در فعالیت رنگیزه‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌باشد (Moslemi, 2010). نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی، رابطه بین سطح برگ و میزان کلروفیل به صورت کاهشی بود و سوپرجاذب به عنوان یک ماده جذب کننده آب و سایر محلول‌ها در جلوگیری از شست و شوی نیتروژن از اطراف ریشه گیاه اثر مثبت داشته و وجود نیتروژن باعث افزایش رنگ گردیده است (Sheikhi et al., 2009).

بیشترین میزان کلروفیل b (۰/۲۶ میلی گرم بر گرم) مربوط به اثر متقابل تیمار استاکوزورب ۱۰۰ گرم بر مترمربع و دور آبیاری ۱۰ روز بود. کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی در گیاه ماریتیغال (Daliri et al., 2010) و اثرات مثبت سوپرجاذب با وجود تنش خشکی در گیاه بابونه (Razban & Pirzad, 2011) هم‌سو با نتایج این تحقیق گزارش شده است.

محتوای نسبی آب (RWC)

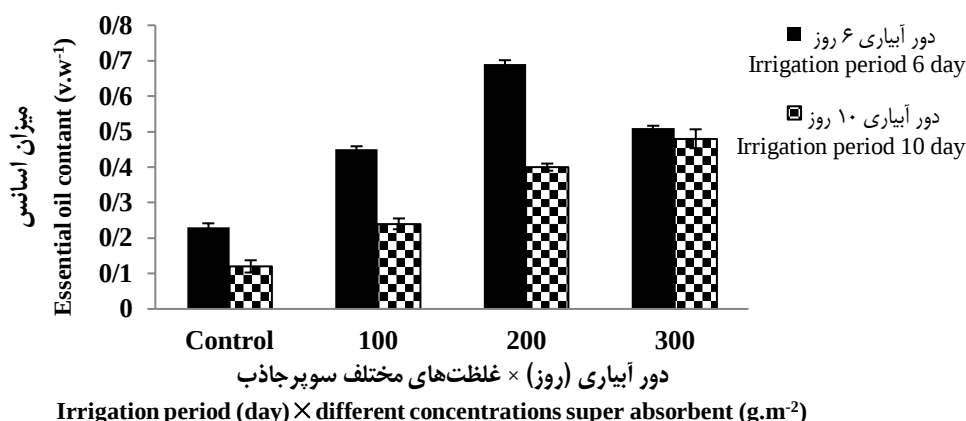
محتوای نسبی آب معرف بسیار خوبی از وضعیت آبی گیاه است که به عنوان یک شاخص انتخابی جهت تحمل به خشکی پیشنهاد شده است (Teulate et al., 1997). کاهش محتوای نسبی آب بین گیاهان و گونه‌های مختلف، متفاوت بوده و افت کمتر محتوای نسبی آب در اثر تنش خشکی، نشان دهنده ثبات عملکرد بالاتر گیاه است (Sheikhi et al., 2009). کاهش رشد و فعالیت ریشه و افزایش میزان تبخیر و تعرق در گیاه از عوامل دخیل در کاهش محتوای نسبی آب شناخته شده‌اند (Tarumingkeng & Coto, 2003).

با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین محتوای نسبی آب برگ در راستای افزایش سطح برگ و افزایش عملکرد خشک ریشه، در اثر متقابل تیمار پلیمر استاکوزورب ۳۰۰ گرم بر مترمربع و دور آبیاری شش روز حاصل گردید. همچنین مقادیر بالای سوپرجاذب (۳۰۰ و

میزان و عملکرد اسانس

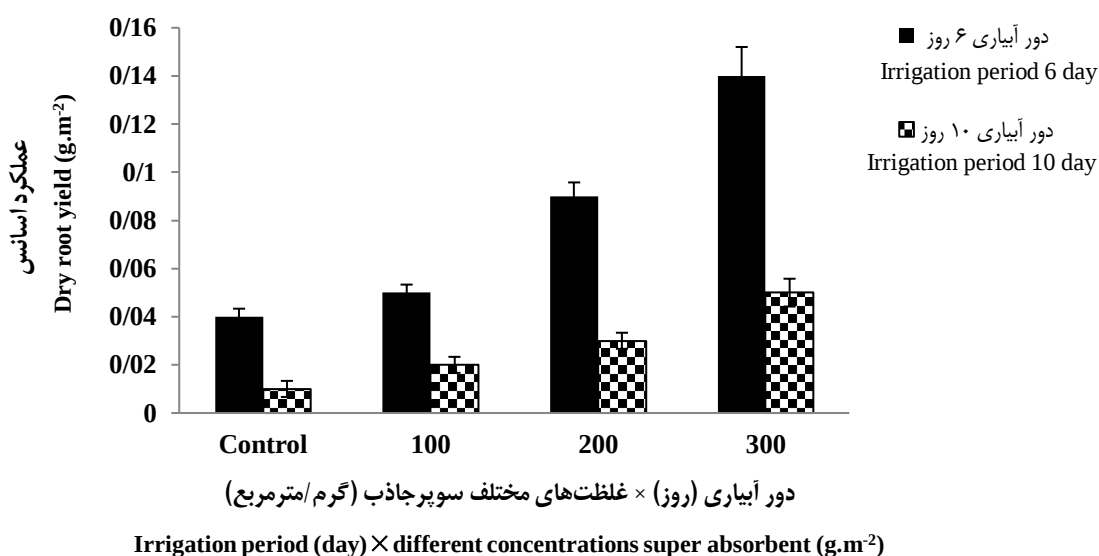
و بیوشیمیایی بسیاری هستند و این مواد باعث جلوگیری از عمل اکسیداسیون در سلول‌ها و در نهایت کمک به مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌گردد، اما عملکرد اسانس، به علت کاهش عملکرد گیاه و اثر متقابل میزان اسانس با عملکرد گیاه، در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد (Aliabadi et al., 2009).

تنش خشکی، درصد اسانس اکثر گیاهان دارویی (البته نه همه آن‌ها) را افزایش می‌دهد، چون در موارد تنش‌های محیطی در اثر بیان ژن بعضی آنزیم‌ها در گیاه، اغلب متابولیت‌های بیشتری مانند ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها، اسانس‌ها تولید شده که دارای خواص زیست‌فعال



شکل ۳- اثر متقابل دور آبیاری (روز) × غلظت‌های مختلف سوپرجاذب بر میزان اسانس گیاه سنبل‌الطیب

Figure 3- The interaction effects of irrigation period (day) × different levels of superabsorbent on the essential oil content of valerian (LSD, $p \leq 5\%$)



شکل ۴- اثر متقابل دور آبیاری (روز) × غلظت‌های مختلف سوپرجاذب بر عملکرد اسانس گیاه سنبل‌الطیب

Figure 4- The interaction effects of irrigation period (day) × different amounts of superabsorbent on the essential oil of valerian (LSD, $p \leq 5\%$)

مقدار اسانس را به خود اختصاص داد (شکل ۳) و تنش شدید در شاهد با دور آبیاری ۱۰ روز منجر به کاهش میزان اسانس ریشه گیاه سنبل-الطیب گردید، درحالی‌که بیشترین عملکرد اسانس به تیمار

نتایج حاصل از اثر متقابل پلیمر سوپرجاذب و دور آبیاری در گیاه سنبل‌الطیب نشان داد که پلیمر استاکوزورب در غلظت متوسط (۲۰۰ گرم بر مترمربع) همراه با کمترین دور آبیاری (شش روز) بالاترین

افزایش یافتند. نتایج مربوط به بررسی محتوای نسبی آب برگ نشان داد که با افزایش تنش خشکی (دور آبیاری ۱۰ روز) و به‌ویژه بدون استفاده از تیمار پلیمر سوپرجاذب (شاهد) محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت، در صورتی که با استفاده از تیمار سوپرجاذب در مقادیر بالاتر (۲۰۰ و ۳۰۰ گرم در مترمربع)، تنش خشکی برای هر دو دور آبیاری (۶ و ۱۰ روز) مهار گردید.

با به‌کارگیری تیمار ۳۰۰ گرم در مترمربع سوپرجاذب، وزن خشک ریشه با کمتر قرار گرفتن در معرض تنش خشکی، به‌دلیل قابل دسترس‌تر بودن آب و مواد نگه‌دارنده آب در منطقه ریشه، با استفاده از غلظت متوسط (۲۰۰ گرم در مترمربع) پلیمر سوپرجاذب و دور آبیاری کوتاه‌تر (شش روز)، بالاترین مقدار را به خود اختصاص داد و از آنجایی که در بعضی گیاهان دارویی، تنش متوسط آبی منجر به افزایش اسانس آن‌ها می‌گردد، استفاده از مقدار مذکور، میزان اسانس سنبل‌الطیب را نیز افزایش داد.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از پلیمر استاکوزورب علاوه‌بر مهار تنش خشکی به‌دلیل قابلیت نگه‌داری آب جذب‌شده تحت فشار و قرار دادن آن در دسترس ریشه به‌محض نیاز گیاه، قادر به افزایش دور آبیاری می‌باشد و این موضوع در نتایج کمی و کیفی مربوط به گیاه سنبل‌الطیب در تیمار ۳۰۰ گرم در مترمربع پلیمر با دور آبیاری ۱۰ روز و ۱۰۰ گرم با دور آبیاری شش روز کاملاً مشهود بود. بنابراین این امکان وجود دارد که با افزایش سطح این پلیمر تا حدی که منجر به کاهش عملکرد ریشه به‌علت آب‌ایستایی نشود و یا با استفاده از سایر پلیمرهای سوپرجاذب، بتوان با افزایش دور آبیاری، حداکثر کمیت و کیفیت را در تمام صفات گیاه سنبل‌الطیب حاصل نمود، که نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه دارد. کاهش استفاده از آب تا زمانی که از آستانه عملکرد اقتصادی گیاه کاسته نشود، ضروری است و نتایج این پژوهش نشان داد که پلیمرهای سوپرجاذب توانایی افزایش عملکرد گیاهان از طریق تغییرات متابولیسمی گیاه و حفاظت آن‌ها در برابر تنش‌های محیطی را دارا بوده و کاربرد آن‌ها باعث کاهش اثرات تنش در گیاهان شده و منجر به حفظ بقاء و تولید عملکرد اقتصادی گیاهان می‌گردد.

استاکوزورب ۳۰۰ گرم بر مترمربع و دور آبیاری شش روز اختصاص یافت (شکل ۴). در همین راستا، محمدی عنوان نمود که میزان اسانس سنبل‌الطیب تحت تنش ملایم افزایش می‌یابد (Mohammadi, 1993). افزایش میزان اسانس در اثر تنش خشکی در دو گونه ریحان شیرین و آمریکایی نیز گزارش شد (Khalid et al., 2006). افزایش میزان اسانس و کاهش عملکرد آن در اثر تنش خشکی، در دو گونه مختلف علف لیمو (Fatima et al., 2005) و بادرنجبویه (Aliabadi et al., 2009) نیز در تحقیقات دیگر به اثبات رسیده است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تیمار دور آبیاری و استفاده از پلیمر سوپرجاذب تأثیر معنی‌داری بر تمام صفات مورد ارزیابی داشت. با توجه به اینکه سنبل‌الطیب گیاه دارویی با نیاز آبی نسبتاً بالا می‌باشد، تنش خشکی، طی دوره‌های آبیاری متفاوت، مشخصه‌های ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و اسانس این گیاه را تحت تأثیر قرار داد و پلیمر سوپرجاذب منجر به مهار تنش خشکی و بهبود شرایط کمی و کیفی گیاه گردید. استاکوزورب در بیشترین مقدار (۳۰۰ گرم در مترمربع) با حفظ ۱/۵ برابری سطح برگ نسبت به شاهد (با دور آبیاری ۶ و ۱۰ روز)، منجر به جلوگیری از آثار مخرب تنش خشکی در صفت سطح برگ گردید. عملکرد خشک ریشه و عملکرد اسانس در یک راستا و با کاربرد ۳۰۰ گرم در مترمربع استاکوزورب و دور آبیاری کوتاه‌تر (شش روز) به‌دلیل مهیا بودن شرایط رشدی بهتر در حضور مقادیر کافی آب، افزایش یافت. بیشترین مقدار سوپرجاذب (۳۰۰ گرم در مترمربع) با دور آبیاری شش روز، بهترین نتیجه را در صفت نشت الکترولیت نشان داد. جهت افزایش پایداری غشاء سلول و کاهش نشت الکترولیت، با افزایش دور آبیاری، باید سوپرجاذب در مقادیر بالاتری مورد استفاده قرار گیرد. بیشترین مقدار کلروفیل a و b به‌ترتیب در تیمار ۳۰۰ و ۱۰۰ گرم در مترمربع سوپرجاذب با دور آبیاری ۶ و ۱۰ به دست آمد. کلروفیل a و b در شرایط تحت تنش بیشتر (دور آبیاری ۱۰ روز) با به‌کارگیری تیمار سوپرجاذب در تمام مقادیر نسبت به شاهد با دور آبیاری ۶ و ۱۰ روز

References

1. Abbaszadeh, B., Sharifi Ashoorabadi, E., Ardakani, M.R., & Aliabadi, F.H. (2008). *Effect of drought stress on quantitative and qualitative of mint*. Abstracts Book of 5th International Crop Science Congress and Exhibition, Korea p. 23.
2. Abedi-Koupai, J., Sohrab, F., & Swarbrick, G. (2008). Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. *Journal Plant Nutrition*, 31, 317-331. <https://doi.org/10.1080/01904160701853928>
3. Abedi-Koupai, J., & Mesforoush, M. (2009). Evaluation of superabsorbent polymer application on yield, water and fertilizer use efficiency in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Irrigation and Drainage*, 3(2), 100-111. (in Persian with English abstract)

4. Aliabadi, F.H., Valadabadi, S.A.R., Daneshian, J., & Khalvati, M.A. (2009). Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. *Journal Medicinal Plant Reserch*, 3(5), 329–33. <http://www.academicjournals.org/JMPR>
5. Alizadeh, A. (1995). *Soil and Plant Water Relations*. 2th ed. Astan Quds Razavi Publications, Mashhad, Iran. pp 376. (in Persian)
6. Azari, A., Modares Sanavi, S.A.M., Askari, H., Ghanati, F., Naji, A.M., & Alizadeh, B. (2012). Effect of salt stress on morphological and physiological traits of two species of rapeseed (*Brassica napus* and *B. rapa*), *Iranian Journal of Crop Sciences*, 14(2), 121-135. (in Persian). <https://doi.org/10.15625540.1391.14.2.3.6>
7. Babaee, K., Amini-Dahghi, M., Modares-Sanavi, S.A.M., & Jabbari, R. (2010). Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(2), 239-251. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6939>
8. Beigi, S., Azizi, M., Nemati, S.H., & Rowshan, V. (2015). Effect of terracottem superabsorbent and *Plantago ovata* mucilage on some morphological, biological properties, water use efficiency and essential oil in *Ocimum basilicum* L. var. "Keshkeny levelu". *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(5), 763-775. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.103613>
9. Bos, R., Henderiks, H., Prass, N., Stojanova, A.S.N, & Georgiev, E.V. (2000). Essential oil composition of *Valeriana officinalis* ssp collina cultivated in Bulgaria. *Journal of Essential Oil Research*, 12, 313-316. <https://doi.org/10.1080/10412905.2000.9699524>
10. Dere, S., Gunes, T., & Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Journal of Botany*, 22, 13-17.
11. Daliri, R., Shokrpour, M., Asghari, A., Sphandyare, E.A., & Seiedsharifi, R. (2010). Evaluate different ecotypes *Silybum marianum* in terms of drought tolerance in the hydroponic medium. *Journal Science and Technology. Greenhouse Culture*, 1(1), 9-17. (in Persian)
12. Fatima, S., Farooqi, A.H.A., & Sangwan, R.S. (2005). Water stress mediated modulation in essential oil, proline and polypeptide profile in palma- rosa and citronella java. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 11(1), 153.
13. Fazeli-Rostampour, M., Saghe-Eslami, M.J., & Mousavi, Gh.R. (2011). Effect of drought stress and superabsorbent on relative water content and leaf chlorophyll index and its relationship with grain yield in corn. *Journal of Crop Physiology, Islamic Azad University*, 2(1), 19-31. (in Persian)
14. Ghasemi, M., & Khoshkhoo, M. (2008). Effects of superabsorbent polymer on irrigation interval and growth and development of chrysanthemum (*Dendranthema × grandiflorum* kitam syn. *Chrysanthemum morifolium* ramat.). *Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(2), 65-82. (in Persian)
15. Ghebru, M.G., Du Toit, E.S., & Steyn, J.M. (2007). Water and nutrient retention by Aquasoil® and Stockosorb® polymers. *South African Journal of Plant and Soil*, 24(1), 32-36. <http://doi.org/10.1080/02571862.2007.10634778>
16. Gruenwald, J., Brendler, T., & Jaenicke, C. (2000). *PDR for Herbal Medicine*. Medical Economics Company. USA. pp 783-785.
17. Hadley, S., & Petry, J.J.V. (2003). Valerian. *American Family Physician*, 67(8), 1755-1758.
18. Khalid, Kh.A. (2006). Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *International Agrophysics*, 20(4), 289-296.
19. Kubis, J., Floryszak-Wieczorek, J., & Arasimowicz-Jelonek, M. (2014). Polyamines induce adaptive responses in water deficit stressed cucumber roots. *Journal of Plant Research*, 127, 151-158. <https://doi.org/10.1007/s10265-013-0585-z>
20. Lawlor, D.W., & Cornic, G. (2002). Photosynthtic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higer plant. *Cell and Enviroment*, 25, 275-249. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x>
21. Letchamo, W., Ward, W., Heard, B., & Heard, D. (2004). Essential oil of *Valeriana officinalis* L. cultivars and their antimicrobial activity as influenced by harvesting time under commercial organic cultivation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(12), 3915-3919. <https://doi.org/10.1021/jf0353990>
22. Li Wen, R., Zhang, S.Q., & Shan, L. (2006). *Effect of water stress on chlorophyll fluorescence parameters and activity of antioxidant enzyme in alfalfa (Medicago sativa L.) seedlings*. In: The First International Conference on the Theory and Practices in Biological Water Saving (ICTPB), Beijing China.
23. Lutts, S., Kinet, J.M., & Bouharmont, J. (1995). Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany*, 46, 1843–1852. <https://doi.org/10.1093/jxb/46.12.1843>
24. Mirza, M., Bahernik, Z., & Abaszadeh, B. (2004). Evaluation of quantitative and qualitative changes savory essential oil (*Satureja hortensis* L.) during drought on the farm. *Research Institute of Forests and Rangelands*, 21, 76-88. (in Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.139161.903>

25. Mohammadi, Gh. (1993). *Result of Culture of Medicinal Plants in first stage*. Research Institute of Forests Rangelands Iran. pp. 45.
26. Mokhtari, A., & Baradaran, R. (2011). *The effect of drought stress on some growth indices of Savory*. p. 1-5. In the First Regional Conference Ecophysiology of Crops, 18 May. Islamic Azad University Branch of Shushtar, Shushtar, Iran. (in Persian)
27. Montazer, A.A. (2008). Stockosorb® effect of superabsorbent polymers on soil infiltration parameters in advance and furrow irrigation method. *Journal of Soil and Water. Agricultural Sciences and Technology*, 22(2), 342-357. (in Persian)
28. Moslemi, Z. (2010). Effect of super absorbent polymer and bio-fertilizers on corn growth and yield under normal and drought conditions. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University Branch of Karaj, Karaj, Iran. pp. 100. (in Persian).
29. Mustafavi, S.H., Shekari, F., Nasiri, Y., & Hatami-Maleki, H. (2015). Nutritional and biochemical response of water-stressed valerian plants to foliar application of spermidine. *Biological Forum- an International Journal*, 7(1), 1811-1815.
30. Naghdi-Badi, H., Lotfi-Zad, M., Ghavami, N., Mehrafarin, A., & Khavazi, K. (2012). Response quality and quantity herb valerian (*Valeriana officinalis* L.) to use biological and chemical fertilizers phosphorus. *Journal of Medicinal Plants*, 2(46), 25-37. (in Persian). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2013.12.46.3.6>
31. Omid-Baigi, R. (2006). *Production and Processing of Medicinal Plants*. 5th ed. Vol 3. Behnashr Publications, Mashhad, Iran. pp. 397. (in Persian)
32. Razban, M., & Pirzad, A.R. (2011). Evaluate the effect of varying amounts of super absorbent under different irrigation regimes on growth and water deficit tolerance of german chamomile (*Matricaria Chamomilla*), as a second crop *Journal Sustainable Agricultural Production Science*, 21(4), 137-123. (in Persian with English abstract)
33. Petropoulos, S.A., Daferera, D., Polissiou, M.G., & Passam, H.C. (2008). The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. *Science Horticultural*, 115(4), 393-397.
34. Poramini, P., Habibi, H., Fatocian, M.H., & Falah-Nosratabadi, A. (2013). *Biological fertilizer and super absorbent Thiobacillus impact on yield and quality of thyme and daenensis*. Congress 1th on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, Hamedan, Iran. p. 1-11.
35. Sabbagh, E., Daneshian, J., Sayfzadeh, S., Sabbagh Sharaf Abadi, S.K., & Fanaei, H.R. (2015). Influence of super absorbent, drought stress and nitrogen fertilizer on some characteristic of *Trachyspermum ammi*. *Biological Forum Journal*, 7(1), 1023-1029.
36. Saneoka, H., Moghaieb, R.E.A., Premachandra, G.S., & Fujita, K. (2004). Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. *Environmental and Experimental Botany*, 52, 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.01.011>
37. Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B.F., & Marhinweg, D.W. (1988). Water relations in winter wheat as drought resistance indication. *Crop Science*, 28, 526-531. <https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800030021x>
38. Selahvarzi, Y., Tehranifar, A., & Gezanchian, A. (2008). Search physio-morphological changes under drought stress and rewatering in endemic and exotic. *Journal of Horticultural Science and Technology*, 9(3), 193-204. (in Persian)
39. Sharifi Ashoorabadi, E., Lebaschi, M.H., Naderi, B., & Allahverdi Mamaghani, B. (2009). Effect of water deficit on yield and essential oil in (*Achillea millefolium* L.). *Journal of Enviromental Science*, 7(1), 194-204. (in Persian with English abstract)
40. Sheikhi, M., Sajedi, N.A., & Jiryaee, M. (2009). The effect of water stress on agrophysiological characteristics of different hybrids of corn. *Journal of Modern Agriculture*, 3(3), 275-286. (in Persian)
41. Shooshtarian, S., Abedi-Kupai, A., & Tehranifar, A. (2010). Evaluation of application of superabsorbent polymers in green space of arid and semi-arid regions with emphasis on Iran. *International Journal of Forest, Soil and Erosion*, 2, 24-36. <https://www.researchgate.net/publication/303939893>
42. Sodaeizadeh, H., Shamsaei, M., Tajamolian, M., Mirmohamadi-Meibodi, S.A., & Hakimzadeh, M.A. (2016). Effect of drought stress on morphological and physiological traits *Satureja hortensis*. *Plant Process and Function*, 5(15), 1-12. (in Persian)
43. Taruminkeng, R.C., & Coto, Z. (2003). Effects of drought stress on growth and yield of soybean. Kisman, Science Philosophy. pp. 702, Term paper, Graduate School, Borgor Agricultural University (Institute Pertainian Borgor), December 2003.
44. Teulate, B., Rekika, D., Nachit, M.M., & Monneveux, P. (1997). Comparative osmotic adjustments in barley and tetraploid wheats. *Plant Breeding*, 116, 519-523. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1997.tb02183.x>

45. Upton, R., Petrone, C., Swisher, D., Goldberg, A., Mc Guffin, M., & Pizzorno, N.D. (1999). *Valerian root valeriana officinalis analytical, quality control, and therapeutic monograph*. pp. 28 in Santa cruz, CA: American herbal pharmacopoeia (AHP).
46. Vahidi, H., Ragabi, A., Hagseidhadi, M.R., & Talghani, D. (2012). *Effects of water stress on some physiological traits and yield of sugar beet*. p. 5. Agronomy and plants Breeding Science of Iran, 12th Congress, Islamic Azad University Branch of Karaj, Karaj, Iran. (in Persian)
47. Zargari, A. (1991). *Medicinal Plants*. 5th ed. Vol 3. Tehran: Tehran University Publications, Tehran, Iran. pp. 759. (in Persian)