University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

The Effect of Drought Stress, Super Absorbent and Fertilizer on the Growth of Peppermint (*Mentha piperita* L.)

Bohlul Abbas zadeh[1]✉ | Masoumeh Layegh Haghighi[2] | Samaneh Asadi-Sanam[3] | Meysam Ansari[4]

1. Corresponding Author, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran. Iran. E-mail: babaszadeh@rifr-ac.ir
2. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran. Iran. E-mail: layeghhaghighi@rifr-ac.ir
3. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran. Iran. E-mail: asadisanam@rifr-ac.ir
4. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran. Iran. E-mail: mansari@rifr-ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 12 July 2023
Received in revised form
1 May 2024
Accepted 8 July 2024
Published online 30 September 2024

Keywords:
Essential oil
Peppermint
Morphological characters
Yield

ABSTRACT

Objective: Water deficit stress, permanent or temporary, limits the growth and distribution of natural vegetation and the performance of cultivated plants more than any other environmental factors.

Methods: To investigate the effect of water absorption, drought stress and chemical fertilizers on Mint, this experiment was conducted in 2019 at the Research Institute of Forests and Rangelands, in Karaj, Iran. The experiment was conducted as a split factorial experiment in the form of a randomized complete block design with three replications. The main factor was water absorption in two levels (use and no use) and the sub-factors were drought stress in three levels (90%FC, 60%FC and 30%FC) and chemical fertilizers (nitrogen and phosphor) in four levels (N_0P_0, N_0P_{150}, $N_{300}P_0$ and $N_{300}P_{150}$ kg/ha).

Results: A mean comparison of the interactions of the super adsorbent treatments with stress and chemical fertilizers indicated that the highest leaf yield was achieved with the use of super adsorbent*90%FC*$N_{300}P_0$. Application of super adsorbent*90%FC*N_0P_{150} had the highest inflorescence yield. A mean comparison of the interaction between super adsorbent, drought stress and chemical fertilizers indicated that the highest leaf essential oil percentage (2.9 %) was achieved in the treatment without super adsorbent*30%FC*$N_{300}P_{150}$. The use of super adsorbent*90%FC*N_0P_{150} had the highest leaf essential oil yield. Mean comparison of the interaction between super adsorbent, drought stress and chemical fertilizers indicated that the highest inflorescence essential oil percentage and yield with the average of 10.2 % and 30.3 kg/ha, respectively, were achieved in the treatment without super adsorbent*90%FC*$N_{300}P_0$.

Conclusion: Results indicated that mint is sensitive to water deficiency and sufficient moisture is necessary for its production.

Cite this article: Abbas zadeh, B., Layegh Haghighi, M., Asadi-Sanam, S., & Ansari, M. (2024). The Effect of Drought Stress, Super Absorbent and Fertilizer on the Growth of Peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Crops Improvement*, 26 (3), 645-667. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.362157.2832

© The Authors.
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.362157.2832

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۳۳۴۵

اثر تنش خشکی، سوپرجاذب و کود بر رشد نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

بهلول عباس‌زاده[۱]✉ | معصومه لایق حقیقی[۲] | سمانه اسدی صنم[۳] | میثم انصاری[۴]

۱. نویسنده مسئول، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: babaszadeh@rifr-ac.ir

۲. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: layeghhaghighi@rifr-ac.ir

۳. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: asadisanam@rifr-ac.ir

۴. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: mansari@rifr-ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

کلیدواژه‌ها:
اسانس
صفات مورفولوژیک
عملکرد
نعناع

چکیده

هدف: تنش کمبود آب به‌طور دایم یا موقت، در رشد و پراکنش پوشش طبیعی گیاهان و در عملیات کشت، بیش‌تر از سایر عوامل محیطی محدودکننده است.

روش پژوهش: به‌منظور بررسی اثر سوپرجاذب، تنش خشکی و کود شیمیایی بر ویژگی‌های رشد و عملکرد نعناع فلفلی، این پژوهش در سال ۱۳۹۶ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور–کرج اجرا گردید. این پژوهش با استفاده از طرح اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل استفاده از سوپرجاذب در دو سطح (مصرف و عدم مصرف) و عامل فرعی شامل آبیاری در سه سطح (۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و کودهای شیمیایی شامل فسفر و نیتروژن در چهار سطح (N_0P_0، N_0P_{150}، $N_{300}P_0$ و $N_{300}P_{150}$ کیلوگرم در هکتار) بودند.

یافته‌ها: مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش تیمارهای سوپرجاذب در تنش در کود نشان داد که بیش‌ترین عملکرد برگ مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در $N_{300}P_0$ بود. تیمار مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در N_0P_{150}، بیش‌ترین عملکرد گل را داشت. مقایسه میانگین اثر سه‌گانه تیمارها نشان داد که بیش‌ترین درصد اسانس برگ در تیمار عدم مصرف سوپرجاذب در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی در $N_{300}P_{150}$ با میانگین ۲/۹ درصد بود. بیش‌ترین درصد و عملکرد اسانس گل در تیمار عدم مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در $N_{300}P_0$ به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۰/۲ درصد و ۳۰/۳ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری و محاسبه شد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد، نعناع گیاه حساس به کمبود آب بوده و برای تولید آن وجود رطوبت کافی ضروری می‌باشد.

استناد: عباس‌زاده، بهلول؛ لایق حقیقی، معصومه؛ اسدی صنم، سمانه و انصاری، میثم (۱۴۰۳). اثر تنش خشکی، سوپرجاذب و کود بر رشد نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.). *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۶ (۳)، ۶۴۵-۶۶۷. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.362157.2832

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

خشکی و کم‌آبی به‌عنوان مهم‌ترین مشکل توسعه کشاورزی در ایران، یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های محیطی در تولید محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود که بر بسیاری از پاسخ‌های فیزیولوژیکی، مولکولی و سلولی گیاه تأثیر می‌گذارد (پارمون[1] و همکاران، ۲۰۱۹)، لذا انتخاب گونه‌های مناسب از نظر مقاومت به خشکی و کم‌آبی به‌دلیل سازگاری‌های فیزیولوژیک، ریخت‌شناسی و بیوشیمیایی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای اهمیت می‌باشد (گوشاسبی[2] و همکاران، ۲۰۲۰). کم‌آبیاری یک راه‌کار بهینه و یک روش آگاهانه برای تولید محصولات کشاورزی در شرایط کمبود آب است که در آن افزایش بهره‌وری آب، چه از راه کاهش میزان آب آبیاری در هر نوبت آبیاری و یا حذف آبیاری‌هایی است که بازدهی کم‌تری دارند، انجام می‌شود (مک‌کارتی[3] و همکاران، ۲۰۰۲؛ چالمرز[4] و همکاران، ۱۹۸۱). با توجه به اثرات مستقیم و مثبتی که تنش کم‌آبی روی فرایندهای فیزیولوژیک (ربی[5] و همکاران، ۲۰۱۲)، رشد و عملکرد (لاریبی[6] و همکاران، ۲۰۰۹) و تغییرات کمی و کیفی (فرات[7] و لوات[8]، ۱۹۹۹). مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد، می‌توان از این پتانسیل در تولید این گیاهان استفاده کرد. در شرایط کم‌آبی، گونه‌های فعال اکسیژن تولیدشده و منجر به خسارت اکسیداتیو و در نتیجه اختلال در اعمال فیزیولوژیک سلول‌ها (لاویسولو[9] و همکاران، ۲۰۱۰؛ لیسار[10] و همکاران، ۲۰۱۲) از جمله کاهش فتوسنتز (پینیرو[11] و چاوز[12]، ۲۰۱۰)، کاهش سطح برگ (ژو[13] و همکاران، ۲۰۲۰) و بسته‌شدن روزنه‌ها (گیل[14] و توتجا[15]، ۲۰۱۰) و تغییرات مورفولوژیک (لیسار[16] و همکاران، ۲۰۱۲) در گیاه می‌گردد که می‌تواند نوعی سازگاری به تنش‌های آبی و محیطی برای کاهش تعرق و مصرف کم‌تر آب باشد که درنهایت منجر به کاهش عملکرد کمی و کیفی گیاهان خواهد شد (گائو[17] و همکاران، ۲۰۲۰). از این‌رو، یافتن رهیافت‌هایی برای کاهش اثرهای منفی خشکی بر رشد گیاهان ضروریست.

انتظار می‌رود که عرضه عناصر غذایی به گیاهان، به‌ویژه عناصری که گیاه در شرایط تنش با کمبود آن مواجه است در کنار سوپرجاذب‌های رطوبتی به‌عنوان یک ابزار مناسب مدیریتی برای مصرف آب (کاسگو[18] و همکاران، ۲۰۰۸) بتواند مقاومت گیاه را به تنش‌ها، افزایش و ضمن بهره‌وری بهینه از منابع آب و خاک، رشد گیاه را بهبود ببخشد (مارشنر[19]، ۱۹۹۵). سوپرجاذب‌های رطوبتی با افزایش ظرفیت نگهداری آب و کاهش دور آبیاری می‌توانند با ایجاد قدرت رشد مطلوب، قدرت رقابتی محصول را افزایش داده و با فراهم‌نمودن رطوبت سطح خاک و بالا بردن نفوذپذیری خاک موجب کاهش فرسایش و رواناب می‌شوند و علاوه بر افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، موجب بهبود وضعیت تغذیه‌ای خاک

1. Parmoon
2. Goshasbi
3. McCarthy
4. Chalmers
5. Rebey
6. Laribi
7. Ferrat
8. Lovatt
9. Lovisolo
10. Lisar
11. Pinheiro
12. Chaves
13. Zhou
14. Gill
15. Tuteja
16. Lisar
17. Gao
18. Kasgo
19. Marschner

هم می‌شوند (شهید[1] و همکاران، ۲۰۱۲). کاربرد سوپرجاذب‌ها با ضریب جذب آب بسیار بالا و تخلیه تدریجی آب، عاملی در جهت مصرف بهینه کودهای شیمیایی هم است (مونی[2]، ۲۰۰۵). تغییرات قابل‌ملاحظه در قابلیت دسترسی به عناصر غذایی مختلف در خاک، یکی از اثرات تنش کم‌آبی است که اگر گیاه خوب تغذیه شده باشد، مقاومت بهتری به تنش کم‌آبی خواهد داشت (شتیوای[3] و تافیک[4]، ۲۰۰۷). فراهمی نیتروژن و فسفر با تأثیری که بر رشد شاخساره و ریشه، تولیدمثل، تولید پروتیین، واکنش‌های آنزیمی، ذخیره و انتقال انرژی شیمیایی (به‌صورت‌های ADP[5] و ATP[6]) دارند، می‌توانند موجب افزایش بیوسنتز ترکیبات ترپنوئیدی و تجمع اسانس در گیاهان دارویی و ازجمله نعناع فلفلی شوند (بارکر[7] و پیلبیم[8]، ۲۰۰۷).

نعناع فلفلی گیاهی علفی و چندساله متعلق به جنس *Mentha* و یکی از پرمصرف‌ترین گیاهان خانواده نعناعیان[9] است (سادات[10] و لادن مقدم[11]، ۲۰۱۹) که به‌دلیل اسانس ارزشمندی که داشته، اهمیت اقتصادی بالایی دارد و امروزه در سراسر جهان برای مصارف غذایی، دارویی، آرایشی، عطرسازی و پزشکی کشت می‌شوند (ویلدانگ[12] و کروتیو[13]، ۲۰۰۵). این گیاه از نظر دارویی، اسپاسمولیتیک، کمک‌کننده هضم غذا و ضدنفخ (امانی ماچیانی[14] و همکاران، ۲۰۱۸)، خنک‌کننده (ویلدانگ[15] و کراتیو[16]، ۲۰۰۵) و سرشار از آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی مانند ترکیب‌های فنلی است که در ویژگی آنتی‌اکسیدانی، ضد باکتریایی، ضد التهابی و سیستم دفاعی گیاه (وو[17] و همکاران، ۲۰۱۹) نقش مهمی دارد.

هرچند که کنترل کامل عومل محیطی مؤثر بر رشد و تولید متابولیت‌های ثانویه امکان‌پذیر نیست، اما می‌توان با استفاده از روش‌هایی، اثرات محیطی را به شکلی مدیریت کرد که گیاه تحت هر شرایطی، حداکثر توانایی خود را بروز دهد (یانگ[18] و همکاران، ۲۰۱۸). پژوهش‌های متعددی در این زمینه روی گیاهان دارویی خانواده نعناعیان صورت گرفته و نتایج نشان داده که معمولاً گیاهان این خانواده، تحت تنش کم‌آبی میزان ماده خشک تولیدی را کاهش و برخی از تغییرات فیزیولوژیک، ریخت‌شناسی، بیوشیمیایی و فیتوشیمیایی در این گیاهان به‌منظور افزایش مقاومت به تنش به‌وجود می‌آید (گارسیا-کاپاروس[19] و همکاران، ۲۰۱۹). از این‌رو و در این راستا، استفاده از سوپرجاذب در کنار مصرف کود را در شرایط کم‌آبی و آبیاری برای این گیاه با ارزش اقتصادی بالا انتخاب و مورد آزمون قرار گرفت.

۲. پیشینه پژوهش

تنش کم‌آبی منجر به کاهش ارتفاع بوته و فاصله میانگره و نیز، وزن خشک گیاه و محتوای نسبی آب برگ در پژوهش

1. Shahid
2. Monni
3. Sheteawi
4. Tawfik
5. Adenosine Diphosphate
6. Adenosine triphosphate
7. Barker
8. Pilbeam
9. Lamiaceae
10. Sadat
11. Ladan Moghadam
12. Wildung
13. Croteau
14. Amani Machiani
15. Wildung
16. Croteau
17. Wu
18. Yang
19. García-Caparrós

(گرگینی شبانکاره[1] و خراسانی‌نژاد، ۱۳۹۶)، کاهش معنی‌دار وزن خشک برگ نسبت به شاهد در پژوهش (تزیکه میاندار[2] و همکاران، ۲۰۱۲) و کاهش وزن خشک ساقه، ریشه، سطح برگ و ارتفاع ساقه در پژوهش (بصیری[3] و همکاران، ۲۰۲۰) در گیاه نعناع فلفلی[4] شد. رحیمی[5] و همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه بر این گیاه، بیان کردند که تنش کم‌آبی اثر معنی‌داری بر رشد، عملکرد و میزان مواد پرورده و رنگیزه‌های فتوسنتزی داشت. به‌طوری‌که با کاهش مقدار آب خاک، شاخص‌هایی مانند ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ‌ها، وزن تر و خشک برگ‌ها، ساقه و ریشه‌ها و عملکرد اسانس نعناع فلفلی کاهش یافت. این گونه نعناع با کمبود و کاهش دسترسی به آب در مرحله رشد رویشی (پیش از مرحله گلدهی) هم مطالعه شد که موجب ایجاد گیاهانی با ارتفاع کوتاه و هم‌چنین کوچک‌شدن سطح پهنک برگ (عبدی[6] و همکاران، ۲۰۱۹) شده است. در گزارشی چهار دوره آبیاری (صفر، ۲، ۴ و ۶ روزه) و چهار سطح سوپرجاذب (صفر، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ گرم در مترمربع) بر خصوصیات کیفی چمن اسپورت[7] مطالعه و نتایج آن نشان داد که با کاربرد ۳۰ گرم سوپرجاذب و دور آبیاری ۲ روزه، تیمارها خصوصیات مناسب خود را به نحو مناسبی حفظ کردند و در مقایسه با دور آبیاری یک‌روزه تا نزدیک به ۵۰ درصد در میزان آبیاری صرفه‌جویی نشان دادند (شیخ‌مرادی[8] و همکاران، ۱۳۹۰). با مطالعه پیشینه پژوهش‌ها در مصرف کودها، می‌توان گفت که عملکرد اندام هوایی و اسانس گیاه نعناع فلفلی به مقدار زیادی تحت تأثیر حاصلخیزی خاک و مسایل به‌زراعی (مدیریت آب و مواد غذایی به‌ویژه نیتروژن) قرار دارد (کشاورز[9] و همکاران، ۱۳۹۸) که دامنه تغییرات اسانس آن، بین ۰/۱ تا ۴ درصد است (فجر[10] و همکاران، ۲۰۱۷). اثر مثبت نوع و مقدار کودها (به‌ویژه نیتروژن) در میان عوامل مؤثر بر رشد این گیاه، اثرات قابل‌ملاحظه آن بر عملکرد کمی و کیفی اسانس نعناع فلفلی را نشان داد که توسط پژوهش‌گران مختلف گزارش شده است (کشاورز[11] و همکاران، ۲۰۱۸؛ سیف سهندی[12] و همکاران، ۱۳۹۸). از بین این پژوهش‌گران، سیف سهندی[13] و همکاران (۱۳۹۸) مصرف ۷۵ کیلوگرم اوره در هکتار در زراعت نعناع فلفلی را، به‌دلیل افزایش مقدار اسانس و کاهش میزان پولگون[14]، توصیه کردند. علاوه بر این، افزایش ارتفاع گیاه و مقدار منتول[15] در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و تیمار تلفیقی کود آلی و شیمیایی هم در نعناع[16] دیده شده است (ایزهار[17] و همکاران، ۲۰۱۵). اسانس نعناع[18] در رویشگاه و مزرعه با هم تفاوت دارد که در مطالعه بهارمست[19] و همکاران (۲۰۲۰) در گیلان بررسی شد که بیش‌ترین درصد اسانس در جمعیت کشت‌شده و بیش‌ترین صفات ریخت‌شناسی (طول برگ، ارتفاع بوته و تعداد میانگره) در جمعیت‌های رویشگاه طبیعی بود.

1. Gorgini
2. Tazikehmiyandare
3. Basiri
4. *Mentha piperita*
5. Rahimi
6. Abdi
7. *Cyndon dactylon*
8. Sheikhmoradi
9. Keshavarz
10. Fejér
11. Keshavarz
12. Seif Sahahndi
13. Seif Sahahndi
14. Pulegone
15. Menthol
16. *Mentha arvensis*
17. Izhar
18. *Mentha pulegium*
19. Baharmast

۳. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در مزرعه پژوهشی گیاهان دارویی مجتمع تحقیقاتی البرز وابسته به مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور واقع در پنج کیلومتری جنوب‌شرقی کرج در سال ۱۳۹۶، اجرا شد. پژوهش به‌صورت طرح اسپلیت- فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طراحی شد. پیش از اعمال تیمارهای کودی، نمونه‌برداری از خاک در سه تکرار انجام شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات تجزیه خاک موردآزمایش مزرعه در سال ۱۳۹۶

عمق نمونه‌برداری	بافت خاک	واکنش گل اشباع	هدایت الکتریکی	شن	لای	رس	نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	کربن آلی	ماده آلی
(سانتی‌متر)				(درصد)	(درصد)	(درصد)	(درصد)	(پی‌پی‌ام)	(پی‌پی‌ام)	(درصد)	(درصد)
صفر-۳۰	Clay	۷/۵	۱/۰۲	۲۵/۵	۳۸/۸	۳۵/۷	۰/۰۹	۸/۲	۵۸۰	۱/۳	۲/۳

در تیمارهای طراحی‌شده، عامل اصلی استفاده از سوپرجاذب در دو سطح (مصرف و عدم مصرف آن) و عامل‌های فرعی شامل آبیاری در سه سطح (۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و کودهای شیمیایی درشت‌مغذی فسفر و نیتروژن در چهار سطح (N_0P_0، N_0P_{150}، $N_{300}P_0$ و $N_{300}P_{150}$ کیلوگرم در هکتار) بودند. N_0P_0 به‌عنوان عدم مصرف کود یا شاهد در نظر گرفته شد. کودها در مرحله آماده‌سازی زمین و در عمق توسعه ریشه به کرت‌های مربوطه اضافه شد. کود فسفر از منبع سوپرفسفات‌تریپل و کود نیتروژن از منبع اوره ۴۶ درصد بود. مقادیر هر یک از کودهای شیمیایی براساس آزمون خاک محل آزمایش تعیین شد که به‌دلیل بالابودن پتاسیم قابل جذب خاک (۵۸۰ mg/kg)، عدم مصرف کود پتاسیم توسط آزمایشگاه توصیه شد.

ابعاد کرت‌ها دو در سه متر بود. فاصله بین کرت‌های اصلی از یکدیگر ۲/۵ متر و کرت‌های فرعی دو متر بود. آبیاری از طریق لوله‌کشی و به‌صورت غرقابی انجام شد. تعداد ۲۰ نشا در هر مترمربع کشت شد. از زمان انتقال نشاها تا استقرار کامل آن‌ها در زمین اصلی (به‌مدت دو هفته) اقدام به دو نوبت آبیاری کامل گردید، سپس اقدام به اعمال تیمارهای تنش به‌صورت وزنی شد. پیش از اعمال تنش، همه کرت‌ها به‌طور یکسان و یکنواخت آبیاری شدند. سپس اقدام به برداشت نمونه خاک از عمق توسعه ریشه (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) به فاصله ۲۴ ساعت از هم در طول دوره رشد گیاه گردید. نمونه‌های برداشت‌شده بلافاصله توزین و جهت تعیین درصد رطوبت به آون منتقل شد. به‌منظور کنترل رطوبت خاک، هر روز نمونه‌هایی از عمق توسعه ریشه از سطح خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متر برداشت گردید. پس از گذاشتن نمونه‌ها در آون و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، میزان رطوبت موجود در خاک مشخص و در صورت نیاز به آبیاری، اقدام به آبیاری تا رسیدن به ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی صورت گرفت. برای کنترل میزان آب مصرفی از کنتور استفاده شد. در طول مرحله رشد، وجین در چهار مرحله با دست انجام گرفت.

به‌منظور مطالعه صفات مورفولوژیک و عملکرد، در هر کرت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی برداشت و اندازه‌گیری‌ها انجام شد. برای ارزیابی عملکرد سرشاخه گلدار، تمام بوته‌های هر کرت پس از حذف اثر حاشیه، کف‌بر و پس از هواخشک‌شدن در سایه با ترازوی حساس توزین و ثبت شد. استخراج اسانس از برگ و گل‌های هواخشک به مقدار ۱۰۰ گرم با روش تقطیر با آب و به‌وسیله دستگاه کلونجر انجام شد (میکوئل[1] و همکاران، ۱۹۷۶). زمان استخراج اسانس برای تمام

1. Miquel

نمونه‌ها، دو ساعت بود. پس از اندازه‌گیری مقدار وزنی اسانس‌ها و تعیین بازده اسانس، عملکرد اسانس از حاصل‌ضرب بازده اسانس در عملکرد ماده خشک محاسبه شد.

تجزیه واریانس داده‌ها براساس طرح اسپلیت فاکتوریل انجام گرفت. پیش از تجزیه واریانس، آزمون نرمال‌بودن داده‌ها بررسی شد و تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن[1] در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. مورفولوژی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، برهم‌کنش سه عامل سوپرجاذب، تنش و کود بر تعداد پاجوش، طول و عرض برگ، طول گل‌آذین، قطر و تعداد گل‌آذین اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد نشان داد. این برهم‌کنش سه‌گانه بر ارتفاع گیاه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و بر قطر ساقه، تأثیر معنی‌دار نشان نداد. اثر سوپرجاذب بر طول برگ و گل‌آذین و قطر و تعداد گل‌آذین معنی‌دار بود. عامل تنش بر تمام صفات مورفولوژی اندازه‌گیری در سطح یک درصد اثر معنی‌دار داشت. اثر کود به‌جز دو صفت عرض برگ و قطر ساقه بر سایر صفات اندازه‌گیری‌شده در سطح یک درصد معنی‌دار بود. علاوه بر قطر ساقه، در هر سه برهم‌کنش دوگانه، طول برگ و گل‌آذین در برهم‌کنش سوپرجاذب در تنش و ارتفاع گیاه و طول برگ در برهم‌کنش سوپرجاذب در کود، اختلاف معنی‌دار نشان ندادند (جدول ۲).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر سوپرجاذب، تنش خشکی و کود شیمیایی بر صفات مورفولوژی نعناع فلفلی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		ارتفاع گیاه	تعداد پاجوش	طول برگ	عرض برگ	طول گل‌آذین	قطر ساقه	قطر گل‌آذین	تعداد گل‌آذین
بلوک	۲	۵/۳^{ns}	۳/۲^{ns}	۱/۰۶*	۰/۰۷^{ns}	۱۵/۳**	۰/۰۷^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۸۵۶/۸^{ns}
سوپرجاذب (S)	۱	۱۳۶/۱^{ns}	۱۱/۷^{ns}	۴/۲۵**	۰/۱۵^{ns}	۲۲/۲**	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۴۳**	۱۸۳۰/۱**
خطای S	۲	۲۱/۸	۱/۷	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸	۱۵۰/۳
تنش خشکی (D)	۲	۱۰۶۹۰/۶**	۳۹/۰۴**	۴/۳**	۰/۹۱**	۳۵/۸**	۰/۰۹**	۰/۳۵**	۱۱۸۱۲/۸**
کود NP (F)	۳	۱۵۸۳/۵**	۷/۹**	۳/۱۵**	۰/۰۲^{ns}	۱/۰۴**	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۲۲**	۱۰۱۰/۵**
S*D	۲	۷۶/۳**	۳/۴**	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۲۳**	۰/۰۴^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۷**	۷۷۸/۸**
S*F	۳	۳۳/۱^{ns}	۱/۲*	۰/۰۱۷^{ns}	۰/۲۹**	۱/۷۲**	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۴**	۲۲۳/۳**
D*F	۶	۱۳۳/۶**	۲/۷**	۰/۶۹**	۰/۰۸**	۳/۹۱**	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۱**	۸۸۲/۸**
S*D*F	۶	۴۰/۱*	۱/۸**	۰/۲۲**	۰/۲۲**	۲/۵۸**	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۱**	۲۳۳/۹**
خطا	۴۴	۱۵/۵	۰/۳۹	۰/۰۳	۰/۰۰۸	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۱۵/۴
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱۴/۹	۱۱/۵	۱۴/۹	۶/۱	۱۵/۹	۲۱/۷	۱۰/۱	۱۴/۹

ns، * و **: نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین اثر سه عامل سوپرجاذب در تنش در کود نشان داد که در تیمار مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در $N_{300}P_{150}$، ارتفاع، تعداد پاجوش و طول برگ به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۱۵/۷ سانتی‌متر، ۸/۷ عدد در هر گیاه و ۴/۹ سانتی‌متر بیش‌ترین بود. بیش‌ترین عرض برگ را تیمار عدم مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در N_0P_{150} با میانگین ۲ سانتی‌متر داشت. طول گل‌آذین در تیمار مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی

1. Duncan's multiple range test

در N_0P_0 با میانگین ۱۰/۳ سانتی‌متر بیش‌ترین بود. قطر و تعداد گل‌آذین در مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در N_0P_{150} به‌ترتیب با میانگین‌های ۱/۲ سانتی‌متر و ۱۲۴/۳ عدد در هر گیاه بیش‌ترین بود (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل سوپرجاذب در تنش خشکی در کود شیمیایی بر صفات مورفولوژی نعناع فلفلی

سوپرجاذب× تنش× کود	میانگین صفات						
	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تعداد پاجوش	طول برگ (سانتی‌متر)	عرض برگ (سانتی‌متر)	طول گل‌آذین (سانتی‌متر)	قطر گل‌آذین (سانتی‌متر)	تعداد گل‌آذین
$a_1b_1c_1$	۹۵^{cd}	۶/۳^{cde}	۴/۲^{b}	۱/۹^{ab}	۱۰/۳^{a}	۰/۹$^{c-f}$	۹۸/۷^{cd}
$a_1b_1c_2$	۸۹/۳^{de}	۸/۳^{ab}	۳/۹^{bcd}	۱/۵$^{d-g}$	۸/۹^{b}	۱/۲^{a}	۱۲۴/۳^{a}
$a_1b_1c_3$	۱۰۵/۷^{b}	۷^{cd}	۴/۷^{a}	۱/۸^{bc}	۸^{cd}	۰/۵^{hi}	۸۵/۷^{fg}
$a_1b_1c_4$	۱۱۵/۷^{a}	۸/۷^{a}	۴/۹^{a}	۱/۷^{cde}	۶/۳^{ghi}	۰/۵۶^{hi}	۱۰۷^{b}
$a_1b_2c_1$	۷۵^{fg}	۵/۳^{efg}	۳/۵^{efg}	۱/۴^{h}	۶/۵^{fgh}	۰/۹^{def}	۷۳^{h}
$a_1b_2c_2$	۶۹^{ghi}	۷^{cd}	۳/۹^{cd}	۱/۶^{def}	۸/۲^{cd}	۰/۹ef	۸۸/۳^{ef}
$a_1b_2c_3$	۸۶/۷^{e}	۵/۳^{efg}	۳/۱^{hi}	۱/۱^{i}	۷/۷^{ed}	۱/۱^{ab}	۷۸/۷^{gh}
$a_1b_2c_4$	۹۲/۷^{de}	۶^{def}	۴/۹^{a}	۱/۷^{cd}	۸/۳^{bcd}	۰/۸^{fg}	۹۵/۷^{de}
$a_1b_3c_1$	۴۶^{n}	۴^{hij}	۳/۲^{ghi}	۱/۴^{gh}	۵/۵^{jk}	۱/۰۶$^{a-d}$	۶۴^{i}
$a_1b_3c_2$	۵۳/۳^{m}	۴^{hij}	۳/۴$^{e-h}$	۱/۲^{i}	۶/۴^{ghi}	۱/۰۶$^{a-d}$	۷۷/۷^{h}
$a_1b_3c_3$	۶۰j-^{m}	۵/۳^{efg}	۴/۱^{bc}	۱/۷^{cde}	۵/۴^{jk}	۰/۷۳^{g}	۶۴/۷^{i}
$a_1b_3c_4$	۶۵$^{h-k}$	۴^{hij}	۳/۹^{bcd}	۱/۷^{cd}	۶/۴^{ghi}	۰/۹^{efd}	۵۳/۷^{j}
$a_2b_1c_1$	۸۹/۷^{de}	۴/۷^{ghi}	۳/۷^{def}	۱/۸^{bc}	۶/۴^{ghi}	۰/۴۳^{i}	۹۸/۳^{cd}
$a_2b_1c_2$	۹۴/۷^{cd}	۶/۷^{cd}	۳/۴^{efg}	۲^{a}	۷/۲^{ef}	۰/۵^{hi}	۱۰۶^{bc}
$a_2b_1c_3$	۱۰۱/۳^{bc}	۶/۳^{cde}	۴/۱^{bc}	۱/۶^{def}	۸/۵^{bc}	۰/۷^{gh}	۷۱/۷^{hi}
$a_2b_1c_4$	۱۱۴/۷^{a}	۶^{def}	۴/۸^{a}	۱/۴^{h}	۶/۶^{fgh}	۰/۵^{hi}	۹۲/۳^{def}
$a_2b_2c_1$	۷۸/۳^{f}	۴^{hij}	۲/۹^{ij}	۱/۵$^{d-g}$	۶/۱^{hij}	۰/۷^{gh}	۶۳/۷^{i}
$a_2b_2c_2$	۷۰/۳^{gh}	۵^{fgh}	۳/۵^{efg}	۱/۵^{fgh}	۹۶^{fgh}	۱/۰۳$^{b-e}$	۸۷/۳۳^{ef}
$a_2b_2c_3$	۸۹^{de}	۵/۳^{efg}	۳/۱^{hi}	۱/۷^{cd}	۶/۳۳^{ghi}	۰/۹^{ef}	۸۸/۳^{ef}
$a_2b_2c_4$	۱۰۳^{b}	۷/۳^{bc}	۳/۷^{de}	۱/۴^{gh}	۶/۹^{fg}	۰/۴^{i}	۱۰۴/۷^{bc}
$a_2b_3c_1$	۵۷^{lm}	۳^{j}	۲/۷^{j}	۱/۱۳^{i}	۴/۳^{m}	۰/۹$^{c-f}$	۶۴^{i}
$a_2b_3c_2$	۶۳i-l	۴/۳^{ghi}	۳/۱^{ghi}	۱/۵$^{e-h}$	۵/۱^{kl}	۱/۱^{abc}	۴۰/۷^{k}
$a_2b_3c_3$	۵۹^{klm}	۵/۳^{efg}	۳/۴^{fgh}	۱/۰۳^{i}	۴/۵^{lm}	۰/۷^{gh}	۳۱^{l}
$a_2b_3c_4$	۶۶/۳^{jhi}	۳/۷^{ij}	۳/۶^{def}	۱/۰۶^{i}	۵/۷^{jkl}	۰/۹^{ef}	۴۲/۳^{k}

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌هاست. (a_1= مصرف سوپرجاذب، a_2= عدم مصرف سوپرجاذب) (b_1= ۹۰درصد ظرفیت زراعی، b_2= ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، b_3= ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) (N_0P_0 =c_1، N_0P_{150}=c_2، $N_{300}P_0$=c_3، $N_{300}P_{150}$=c_4).

۴. ۲. ماده خشک

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش تیمارهای سوپرجاذب در تنش در کود بر عملکرد اندام‌های هوایی نعناع فلفلی معنی‌دار بود (جدول ۴). در بین تیمارها، برخلاف تیمار کود و تنش که بر عملکرد همه اندام‌ها اثر معنی‌دار داشت، عامل سوپرجاذب تنها بر عملکرد گل معنی‌دار بود. در بین برهم‌کنش دو تیمارها، برهم‌کنش دو عامل سوپرجاذب در کود در هیچ‌یک از صفات عملکرد اختلاف معنی‌دار نشان ندادند، اما برهم‌کنش سوپرجاذب با تنش تنها بر عملکرد برگ معنی‌دار نبود. اعمال کود در شرایط تنش هم بر عملکرد ساقه و عملکرد گل در سطح یک درصد معنی‌دار بود و بر عملکرد برگ اثر معنی‌دار نداشت (جدول ۴).

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر سوپرجاذب، تنش خشکی و کود شیمیایی بر عملکرد شاخساره نعناع فلفلی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		عملکرد برگ	عملکرد ساقه	عملکرد گل	عملکرد شاخساره
بلوک	۲	۱۰۳۴۱۲/۸^{ns}	۹۳۰۵۹/۴^{ns}	۷۶۲۵/۲^{ns}	۳۲۷۴۴۰/۲^{ns}
سوپرجاذب (S)	۱	۱۳۴۷۵/۳^{ns}	۱۱۰۰۱/۴^{ns}	۸۱۰۳۶/۷*	۸۷۵۳۶/۲^{ns}
خطای S	۲	۷۵۸۷۵/۳	۳۰۶۸۳/۷	۴۶۲۳/۳	۱۸۹۱۴۶/۱
تنش خشکی (D)	۲	۴۰۵۷۵۹۶/۲**	۳۵۴۸۹۵۱/۱**	۲۵۱۶۴۸/۸**	۱۹۰۷۰۹۵۴/۳**
کود NP (F)	۳	۵۲۸۴۳۲/۷*	۲۵۲۷۳۵۶/۵**	۱۷۲۲۴/۸**	۴۴۹۳۶۸۰/۸**
S*D	۲	۳۹۹۵۴۴/۱^{ns}	۲۵۰۵۵۶/۶**	۳۴۷۹۸/۱**	۹۵۸۹۷۶/۴*
S*F	۳	۲۱۳۲۴۹/۴^{ns}	۳۵۴۳۷/۵^{ns}	۹۴۹۳/۴^{ns}	۳۱۹۳۶۲/۵^{ns}
D*F	۶	۱۵۰۱۲۵/۸^{ns}	۱۱۹۵۷۵/۶**	۱۴۵۹۴/۱**	۳۰۲۱۴۹/۸^{ns}
S*D*F	۶	۵۲۲۵۲۰/۹*	۲۹۲۲۷۱/۹**	۱۸۱۹۷/۷**	۱۴۷۸۸۷۳/۳**
خطا	۴۴	۱۸۷۸۰۵/۸	۲۵۴۹۱/۶	۳۴۹۹/۱	۲۳۳۰۲۸/۱
ضریب تغییرات (درصد)	–	۲۷/۱	۹/۱	۱۷/۲	۱۳/۱

ns، * و **: نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

مقایسه میانگین برهم‌کنش سوپرجاذب در تنش در کود نشان داد که عملکرد برگ در مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در $N_{300}P_0$ با میانگین ۲۵۹۸/۳ کیلوگرم در هکتار و بعد از آن در تیمار عدم مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در N_0P_{150} با میانگین ۲۴۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین بود (جدول ۵). بیش‌ترین عملکرد ساقه در تیمار مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در $N_{300}P_{150}$ با میانگین ۲۶۳۰ کیلوگرم در هکتار و در تیمار عدم مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در $N_{300}P_{150}$ با میانگین ۲۶۱۶/۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. تیمار مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در N_0P_{150} بیش‌ترین عملکرد گل را با میانگین ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار داشت. عملکرد کل در تیمار مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در $N_{300}P_0$ با میانگین ۵۳۷۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین بود (جدول ۵).

نتایج همبستگی ساده ماده خشک برگ با ویژگی‌های مورفولوژیک، عملکرد ماده خشک و اسانس اندام‌های هوایی نعناع فلفلی در مصرف سوپرجاذب، کود و تنش شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) (جدول ۸) نشان داد که ماده خشک برگ در مصرف سوپرجاذب و کود با عملکرد ساقه (۰/۷۴** و ۰/۶۰*) و ارتفاع گیاه (۰/۷۶** و ۰/۶۵*) به‌ترتیب همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد (جدول ۸). در همین ترتیب تیماری، درصد اسانس گل با عملکرد برگ، همبستگی منفی (-۰/۵۳**) و مثبت (۰/۸۶**) معنی‌داری داشته است. در شرایط تنش هم، عملکرد برگ با عملکرد ساقه (۰/۸۱**) و ارتفاع گیاه (۰/۸۴**) رابطه مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۸).

۴. ۳. اسانس

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس مشاهده شد که اثر متقابل سوپرجاذب در تنش در کود بر درصد و عملکرد اسانس برگ و گل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). سوپرجاذب تنها بر درصد اسانس برگ و گل معنی‌دار شد و در مقابل تنش خشکی، تنها بر عملکرد اسانس اندام‌ها معنی‌دار بود. عامل تنش بر عملکرد اسانس برگ، عملکرد اسانس گل و عملکرد اسانس کل در سطح یک درصد اثر معنی‌دار داشت. استفاده از تیمار کود تنها بر گل (درصد و عملکرد اسانس)

اثر معنی‌دار داشت. در برهم‌کنش تیمارهای دوگانه، برهم‌کنش سوپرجاذب در تنش و تنش در کود در درصد و عملکرد اسانس برگ و گل معنی‌دار بود. برهم‌کنش سوپرجاذب در کود بر درصد و عملکرد اسانس گل در سطح یک درصد معنی‌دار بود، اما دو عامل سوپرجاذب در کود تنها بر گل معنی‌دار بود (جدول ۶).

با بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر سه عامل سوپرجاذب در تنش در کود مشاهده شد که بیش‌ترین درصد اسانس برگ در تیمار عدم مصرف سوپرجاذب در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی در $N_{300}P_{150}$ با میانگین ۲/۹ درصد وجود داشت (جدول ۷). بیش‌ترین درصد و عملکرد اسانس گل را تیمار عدم مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در $N_{300}P_0$ به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۰/۲ درصد و ۳۰/۳ کیلوگرم در هکتار داشت. عملکرد اسانس برگ در تیمار عدم مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در N_0P_{150} با میانگین ۵۲/۵ کیلوگرم در هکتار، بیش‌ترین بود (جدول ۷).

جدول ۵. مقایسه میانگین برهم‌کنش سوپرجاذب در تنش خشکی در کود شیمیایی بر عملکرد شاخساره نعناع فلفلی

میانگین صفات				
سوپرجاذب×تنش× کود	عملکرد برگ (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد ساقه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد گل (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد کل (کیلوگرم در هکتار)
$a_1b_1c_1$	۲۰۵۵^{ab}	۱۷۸۸/۳^{fg}	۳۷۸/۳^{bcd}	۴۲۲۱/۷$^{b-e}$
$a_1b_1c_2$	۱۴۹۱/۷$^{b-g}$	۱۵۸۸/۳^{ghi}	۵۰۰^{a}	۳۵۸۰$^{d-g}$
$a_1b_1c_3$	۲۵۹۸/۳^{a}	۲۲۸۳/۳^{bc}	۴۸۸/۵^{ab}	۵۳۷۰^{a}
$a_1b_1c_4$	۲۰۴۶/۷^{ab}	۲۶۳۰^{a}	۲۹۰^{def}	۴۹۶۶/۷^{ab}
$a_1b_2c_1$	۱۲۵۵$^{b-g}$	۱۳۳۰$^{h-k}$	۳۸۰^{bcd}	۲۹۶۵^{fgh}
$a_1b_2c_2$	۱۸۴۳/۳$^{a-e}$	۱۹۲۳/۳^{ef}	۴۷۰^{ab}	۴۲۳۶/۷$^{b-e}$
$a_1b_2c_3$	۲۰۰۵^{ab}	۲۱۱۶/۷^{cde}	۳۹۵$^{a-d}$	۴۵۱۶/۷^{abc}
$a_1b_2c_4$	۱۸۶۶/۷$^{a-d}$	۲۴۱۶/۷^{ab}	۴۱۸/۳^{abc}	۴۷۰۱/۷^{abc}
$a_1b_3c_1$	۷۳۶/۷^{g}	۸۵۰^{i}	۲۹۸/۳^{def}	۱۸۸۵^{i}
$a_1b_3c_2$	۹۵۵f^{g}	۱۱۴۸/۳^{k}	۳۴۶/۷^{cde}	۲۴۵۰^{hi}
$a_1b_3c_3$	۱۰۹۶/۷$^{d-g}$	۱۳۴۵$^{h-k}$	۲۹۸/۳^{def}	۲۷۴۰^{ghi}
$a_1b_3c_4$	۱۴۰۳/۳$^{b-g}$	۱۶۱۱/۷^{gh}	۲۶۵^{ef}	۳۲۸۰^{fgh}
$a_2b_1c_1$	۱۵۸۸/۳$^{b-f}$	۱۵۸۱/۷^{ghi}	۴۴۰^{abc}	۳۶۱۰$^{d-g}$
$a_2b_1c_2$	۲۴۲۳/۳^{a}	۲۲۴۶/۷^{bcd}	۴۷۱/۷^{ab}	۵۱۴۱/۷^{ab}
$a_2b_1c_3$	۱۹۹۱/۷^{abc}	۲۰۶۳/۳$^{c-f}$	۲۹۸/۳^{def}	۴۳۵۳/۳$^{b-e}$
$a_2b_1c_4$	۱۷۹۵$^{a-f}$	۲۶۱۶/۷^{a}	۴۲۶/۷^{abc}	۴۸۳۸/۳^{ab}
$a_2b_2c_1$	۱۸۲۵$^{a-e}$	۱۴۶۰^{hij}	۲۲۵^{fg}	۳۵۱۰^{efg}
$a_2b_2c_2$	۱۱۴۶/۷$^{c-g}$	۱۱۴۵^{k}	۳۹۵$^{a-d}$	۲۶۸۶/۷^{ghi}
$a_2b_2c_3$	۱۷۸۸/۳$^{a-f}$	۲۲۰۵$^{b-e}$	۴۴۳/۳^{abc}	۴۴۳۶/۷^{bcd}
$a_2b_2c_4$	۱۲۴۰$^{b-g}$	۲۲۰۵$^{b-e}$	۴۲۳/۳^{abc}	۳۸۶۸/۳$^{c-f}$
$a_2b_3c_1$	۱۰۱۱/۷^{efg}	۱۳۰۳/۳^{ijk}	۲۲۰^{fg}	۲۵۳۵^{hi}
$a_2b_3c_2$	۱۲۹۰$^{b-g}$	۱۳۳۳/۳$^{h-k}$	۱۴۵^{gh}	۲۷۶۸/۳^{ghi}
$a_2b_3c_3$	۱۳۹۰$^{b-g}$	۱۲۰۶/۷^{jk}	۱۳۰^{gh}	۲۷۲۶/۷^{ghi}
$a_2b_3c_4$	۱۵۳۵$^{b-g}$	۱۹۶۱/۷^{def}	۱۰۵^{h}	۳۶۰۱/۷$^{d-g}$

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌هاست. (a_1= مصرف سوپرجاذب، a_2= عدم مصرف سوپرجاذب) (b_1= ۹۰درصد ظرفیت زراعی، b_2= ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، b_3= ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) (N_0P_0 =c_1، N_0P_{150}=c_2، $N_{300}P_0$=c_3، $N_{300}P_{150}$=c_4).

جدول ۶. تجزیه واریانس اثر سوپرجاذب، تنش خشکی و کود شیمیایی بر درصد و عملکرد اسانس برگ و گل نعناع فلفلی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		درصد اسانس برگ	درصد اسانس گل	عملکرد اسانس برگ	عملکرد اسانس گل	عملکرد اسانس کل
بلوک	۲	۰/۰۵^{ns}	۰/۳۷^{ns}	۳۹/۲^{ns}	۲/۸۶^{ns}	۴۳/۶^{ns}
سوپرجاذب (S)	۱	۰/۶۴*	۱۹/۰۰۳*	۱۷۰/۶^{ns}	۸/۲۴^{ns}	۲۵۳/۸^{ns}
خطای S	۲	۰/۰۴	۰/۳^{ns}	۲۱/۷	۱۳/۰۵	۶۰/۳۶
تنش خشکی (D)	۲	۰/۲۷^{ns}	۰/۴۳^{ns}	۷۸۳/۲**	۴۴۲/۶**	۲۳۶۱/۱**
کود NP (F)	۳	۰/۱۴^{ns}	۵/۲۵**	۱۱۸/۳^{ns}	۱۱۳/۹**	۲۸۹/۱^{ns}
S*D	۲	۰/۷۵**	۱۴/۰۷**	۵۰۶/۹**	۳۷۲/۷**	۲۵۴/۹^{ns}
S*F	۳	۰/۲۳^{ns}	۶/۷۶**	۲۱/۱^{ns}	۶۸/۲**	۲۵/۴^{ns}
D*F	۶	۰/۸۲**	۵/۱۸**	۳۴۷/۱**	۵۸/۹**	۴۲۰/۸**
S*D*F	۶	۰/۴۶**	۹/۰۵**	۳۲۵/۴**	۴۲/۹**	۲۲۷/۹^{ns}
خطا	۴۴	۰/۱۳	۰/۸۳	۹۶/۹	۱۰/۷	۱۱۵/۶
ضریب تغییرات (درصد)	–	۲۰/۱	۲۱/۳	۳۳/۲	۲۲/۶	۲۴/۴

ns، * و **: نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۷. مقایسه میانگین برهم‌کنش سوپرجاذب در تنش خشکی در کود شیمیایی بر درصد و عملکرد اسانس نعناع فلفلی

سوپرجاذب× تنش× کود	میانگین صفات				
	درصد اسانس برگ (درصد)	درصد اسانس گل (درصد)	عملکرد اسانس برگ (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد اسانس گل (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد اسانس کل (کیلوگرم در هکتار)
$a_1b_1c_1$	۱/۴^{def}	۳/۱^{fgh}	۲۸/۹$^{b-f}$	۱۱/۴$^{e-h}$	۴۰/۳$^{c-h}$
$a_1b_1c_2$	۱/۹$^{b-e}$	۴/۹^{bcd}	۲۹/۲$^{b-f}$	۲۴/۴^{b}	۵۳/۷$^{a-e}$
$a_1b_1c_3$	۱/۶$^{c-f}$	۲/۶^{gh}	۴۲/۷^{abc}	۱۲/۹$^{d-g}$	۵۵/۵^{abcd}
$a_1b_1c_4$	۱/۷$^{c-f}$	۲/۳^{h}	۳۴/۸$^{a-e}$	۶/۲^{hi}	۴۱/۱$^{c-h}$
$a_1b_2c_1$	۲/۱^{bcd}	۳/۶$^{c-h}$	۲۶/۱$^{c-f}$	۱۳/۷^{def}	۳۹/۸$^{c-h}$
$a_1b_2c_2$	۲/۲^{bc}	۳/۷$^{c-h}$	۴۰/۲$^{a-d}$	۱۷/۶^{cde}	۵۷/۸^{abc}
$a_1b_2c_3$	۱/۹$^{b-e}$	۳/۳$^{d-h}$	۳۸/۶$^{a-d}$	۱۳/۱$^{d-g}$	۵۱/۷$^{b-f}$
$a_1b_2c_4$	۱/۵$^{c-f}$	۳/۹$^{c-h}$	۲۷/۵$^{b-f}$	۱۶/۴^{cde}	۴۳/۹$^{c-h}$
$a_1b_3c_1$	۲/۵^{ab}	۶/۱^{b}	۱۸/۹^{ef}	۱۷/۶^{cde}	۳۶/۵$^{d-h}$
$a_1b_3c_2$	۱/۳^{ef}	۴/۶$^{b-f}$	۱۲/۰۶^{f}	۱۵/۷^{cde}	۲۷/۸^{gh}
$a_1b_3c_3$	۱/۱^{f}	۳/۹$^{c-h}$	۱۲/۵^{f}	۱۱/۹$^{e-h}$	۲۴/۳^{h}
$a_1b_3c_4$	۱/۸^{cde}	۳/۳$^{d-h}$	۲۵/۲$^{c-f}$	۸/۹$^{f-i}$	۳۴/۲$^{e-h}$
$a_2b_1c_1$	۱/۶$^{c-f}$	۴/۸$^{b-e}$	۲۵/۹$^{c-f}$	۲۰/۵^{bc}	۴۶/۵$^{c-g}$
$a_2b_1c_2$	۲/۱^{bc}	۴/۱$^{c-g}$	۵۲/۵^{a}	۱۹/۲^{bcd}	۷۱/۷^{a}
$a_2b_1c_3$	۱/۹$^{b-e}$	۱۰/۲^{a}	۳۷/۱$^{a-e}$	۳۰/۳^{a}	۶۷/۵^{ab}
$a_2b_1c_4$	۱/۵$^{c-f}$	۳/۶$^{c-h}$	۲۸/۰۴$^{b-f}$	۱۵/۴^{cde}	۴۳/۵$^{c-h}$
$a_2b_2c_1$	۲/۱^{bcd}	۶/۲^{b}	۳۸/۱$^{a-d}$	۱۴/۱^{def}	۵۲/۱$^{a-f}$
$a_2b_2c_2$	۱/۹$^{b-e}$	۵/۲^{bc}	۲۲/۱^{def}	۲۰/۷^{bc}	۴۲/۸$^{c-h}$
$a_2b_2c_3$	۱/۸^{cde}	۴/۲$^{c-g}$	۳۲/۱$^{b-e}$	۱۸/۵^{bcd}	۵۰/۶$^{b-f}$
$a_2b_2c_4$	۱/۴^{def}	۳/۹$^{c-h}$	۱۸/۱^{ef}	۱۶/۶^{cde}	۳۴/۶$^{d-h}$
$a_2b_3c_1$	۱/۸$^{b-e}$	۳/۲$^{e-h}$	۱۸/۵^{ef}	۶/۹^{ghi}	۲۵/۵^{gh}
$a_2b_3c_2$	۱/۹$^{b-e}$	۴/۳$^{c-g}$	۲۵/۵$^{c-f}$	۶/۲^{hi}	۳۱/۷$^{f-h}$
$a_2b_3c_3$	۲/۱^{bcd}	۴/۰۵$^{c-h}$	۳۰/۱$^{b-f}$	۸/۲^{i}	۳۵/۴$^{d-h}$
$a_2b_3c_4$	۲/۹^{a}	۳/۹$^{c-h}$	۴۵/۶^{ab}	۴/۱^{i}	۴۹/۸$^{b-f}$

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌هاست. (a_1= مصرف سوپرجاذب، a_2= عدم مصرف سوپرجاذب) (b_1= ۹۰درصد ظرفیت زراعی، b_2= ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، b_3= ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) (N_0P_0 =c_1 ،N_0P_{150}=c_2 ،$N_{300}P_0$=c_3 ،$N_{300}P_{150}$=c_4).

جدول ۸. ضرایب همبستگی (پیرسون) عملکرد برگ با ویژگی های مورفولوژیک و عملکرد ماده خشک و اسانس نعناع فلفلی تحت تأثیر تیمارهای اعمال‌شده

	ضریب همبستگی (r)		
	مصرف سوپرجاذب	تنش در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی	مصرف کود
عملکرد ساقه	۰/۷۴**	۰/۸۱**	۰/۶۰*
عملکرد گل	۰/۴۱*	−۰/۱۵ns	۰/۰۷ns
درصد اسانس برگ	−۰/۰۸ns	۰/۲۵ns	−۰/۳۷ns
درصد اسانس گل	−۰/۵۳**	−۰/۲۹ns	۰/۸۶**
ارتفاع گیاه	۰/۷۶**	۰/۸۴**	۰/۶۵*
تعداد پاجوش	۰/۵۶**	۰/۳۲ns	۰/۲۹ns
طول برگ	۰/۴۸**	۰/۴۹*	۰/۳۸ns
عرض برگ	۰/۳۴*	−۰/۰۷ns	۰/۲۲ns
تعداد گل آذین	۰/۳۶*	−۰/۱۵ns	−۰/۳۴ns

ns، * و **: نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

۵. بحث

نتایج نشان داد که با مصرف سوپرجاذب در شرایط بدون تنش (۹۰ درصد ظرفیت زراعی) و با مصرف کود نیتروژن ($N_{300}P_{150}$) برخی صفات مورفولوژیک مانند ارتفاع، تعداد پاجوش و طول برگ بیش‌ترین و بدون مصرف کود نیتروژن (N_0P_{150})، گل آذین نعناع فلفلی (قطر و تعداد آن) در بیش‌ترین مقدار اندازه‌گیری شد (جدول ۳). افزایش تعداد پاجوش در اثر مصرف سوپرجاذب شاید به‌دلیل تأثیر مثبت رطوبت بالا در پاجوش‌زایی نعناع باشد و افزایش قطر گل‌آذین هم در شرایط ظرفیت زراعی مزرعه و مصرف سوپرجاذب، می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر مثبت رطوبت در باروری گلچه‌ها و فشردگی آن‌ها باشد. اثر افزایشی مثبت استفاده از سوپرجاذب بر تعداد گل‌آذین نیز می‌تواند ناشی از اثر مثبت آن بر تعداد پنجه و پاجوش به‌شمار رود. از طرفی، با استفاده از کود نیتروژن در تیمارهای ۹۰ و ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه، تعداد پاجوش آن بیش‌تر شد و در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه کاهش شدیدی داشت که نشان می‌دهد اگر کوددهی صورت گیرد، به‌دلیل بالارفتن نیاز رطوبتی اگر رطوبت کافی در اختیار گیاه نباشد، تعداد پاجوش که در افزایش تعداد گل‌آذین و تعداد شاخه و برگ و عملکرد اندام هوایی بیش‌ترین نقش را دارد، به‌شدت کاهش خواهد یافت. پایین‌آمدن تعداد و قطر گل‌آذین هم نشان‌دهنده تأثیر منفی کود به‌ویژه کود اوره بر مرحله زایشی و اندام‌های زایشی می‌باشد. در کل می‌توان گفت که پاجوش‌ها به‌همراه ارتفاع نعناع که در دریافت نور، امکان برداشت مکانیزه و امکان تولید گل‌های درشت‌تر نقش دارد، در شرایط بهینه رشد گیاه، بیش‌ترین مقدار را خواهند داشت. فسفر و نیتروژن، هردو عنصر تأثیرگذار بر صفات مورفولوژیک نعناع بودند اما اثر فسفر بر گل‌آذین مؤثرتر بود، به‌طوری‌که بر گل بیش‌تر از برگ تأثیرگذار بود که شاید دلیل اصلی آن، دیر آزادشدن و دیر جذب‌شدن فسفر و تأثیرگذاری ویژه آن بر اندام‌های زایشی باشد. یکی از تأثیرگذارترین عوامل محدودکننده محیطی بر رشد مورفولوژیک (گائو[1] و همکاران، ۲۰۲۰) فیزیولوژیک و تغذیه‌ای (ای هوما[2] و مادراموتو[3]، ۲۰۱۷) و عملکرد کمی و کیفی گیاهان (ژانگ[4] و همکاران، ۲۰۱۸)، تنش خشکی می‌باشد که

1. Gao
2. Ihuoma
3. Madramootoo
4. Zhang

درنهایت منجر به کاهش وزن تر و خشک اندام‌های گیاه به‌دلیل کاهش قابل‌توجه در فتوسنتز و سطح برگ (میزان‌زاده[1] و امام[2]، ۱۳۸۹) و نیز تورژسانس سلولی (سانکار[3] و همکاران، ۲۰۰۷) باشد. از این‌رو، افزایش توان گیاهان برای تحمل تنش‌های ناشی از کمبود آب در افزایش عملکرد مهم به‌نظر می‌رسد. اولین نشانه تنش خشکی در گیاه، بازدارندگی سریع رشد اندام هوایی به‌ویژه اندام‌های فتوسنتزکننده (ساقه و برگ‌ها) با کاهش توژسانس و در نتیجه رشد و توسعه سلول و به مقدار کم رشد ریشه به‌شمار می‌رود (نیومن[4]، ۲۰۰۸). به‌عبارتی اولین اثر محسوس کم‌آبی بر روی گیاهان را می‌توان از اندازه کوچک‌تر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد، به‌علاوه در شرایط کم‌آبی، جذب مواد و عناصر غذایی نیز کاهش یافته و بنابراین رشد و توسعه برگ‌ها محدود می‌گردد (سولیناس[5] و دیانا[6]، ۱۹۹۶) به‌طوری‌که کاهش سطح برگ یک واکنش اولیه به کمبود آب است (کافی[7] و همکاران، ۱۳۷۹). کمبود آب، تعداد برگ در گیاه، اندازه هر برگ و طول عمر برگ را به‌وسیله کاهش پتانسیل آب خاک کاهش می‌دهد (هونگ[8] و همکاران، ۲۰۰۸). علاوه بر تعداد برگ، سطح برگ نیز از مؤلفه‌هایی است که از کود نیتروژن تأثیر می‌پذیرد که در این زمینه می‌توان به گزارش‌های اعلام‌شده بر گیاه نعناع فلفلی اشاره کرد (گلدر[9]، ۱۹۸۸؛ گوش[10] و همکاران، ۱۹۹۳). گزارش‌های مشابهی از مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در نسبت‌های مختلف بر گیاه نعناع فلفلی شده است (نیاکان[11] و همکاران، ۲۰۰۳؛ گوش[12] و همکاران، ۱۹۹۳). بررسی سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی گیاه ریحان[13] نشان داد که بالاترین ارتفاع بوته از کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن حاصل شد (دادوند سراب[14] و همکاران، ۲۰۰۸). در تیمار و شرایط تنش هم، آلکایر[15] و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی اثرات آبیاری با اثر آبیاری کامل، مختصر و عدم انجام آبیاری بر گیاه نعناع فلفلی نتیجه گرفتند که تنش آبی طول میانگره‌ها و ارتفاع گیاه را کاهش می‌دهد. کوشکی[16] و همکاران (۲۰۲۱) کاهش ۳۳ درصدی ارتفاع نعناع فلفلی را در رژیم رطوبتی ۶۰ درصد گزارش کردند. بابایی[17] و همکاران (۲۰۱۰)، اثر چهار رژیم رطوبتی (۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) را بر گیاه آویشن باغی[18] بررسی کرده و مشاهده نمودند که با تشدید کمبود آب، ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی و طول و حجم ریشه کاهش نشان داد. در همین گونه دارویی، اجزای عملکرد و صفات رشدی گیاه در دور آبیاری برحسب روز (هفت، ۱۲ و ۱۷ روز به‌عنوان شاهد، دور ملایم و شدید) و استفاده از کودهای شیمیایی NPK (گوشاسبی[19] و همکاران، ۲۰۲۰) و نیز اعمال تنش‌های ملایم شوری (۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم) و خشکی (۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای FC) (فابریکی اورنگ[20] و همکاران، ۲۰۱۸) بررسی شد. نتایج،

1. Mizanzadeh
2. Imam
3. Sankar
4. Neumann
5. Solinas
6. Deiana
7. Kafi
8. Hong
9. Gelder
10. Ghosh
11. Niakan
12. Ghosh
13. *Ocimum basilicum*
14. Dadvand Sarab
15. Alkire
16. Koushki
17. Babaee
18. *Thymus vulgaris*
19. Goshasbi
20. Fabriki ourang

افزایش ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های جانبی در تیمار شاهد (هفت روز دور آبیاری) و کاهش ارتفاع گیاه و قطر شاخه اصلی و فرعی در برابر شرایط عدم تنش را نشان داد. در بررسی اثر سطوح مختلف نیتروژن (صفر، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره) و فسفر (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل) بر عملکرد فیزیولوژیک و برخی صفات ریخت‌شناسی گیاه زینتی- دارویی علف طلایی[1]، استفاده از ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر موجب زود گلدهی، افزایش طول دوره گلدهی و دستیابی به بیشینه شاخص‌های رشد در گیاه شد (صفری[2] و همکاران، ۲۰۲۲). با مطالعه گیاه دارویی کاکوتی کوهی[3] توسط حیدرزاده[4] و همکاران (۲۰۲۱) در شرایط اعمال آبیاری ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای، بیش‌ترین عملکرد مورفولوژیک گیاه در نیاز به آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) ثبت و اندازه‌گیری شد.

با افزایش شدت تنش خشکی هرچند در تیمارهای مصرف و بدون مصرف سوپرجاذب، شاهد کاهش عملکرد گل بودیم، اما شدت کاهش در تیمار بدون مصرف سوپرجاذب بسیار بیش‌تر بود. بیگدلی‌نسب و همکاران (۱۳۹۹)، سوپرجاذب نانوکامپوزیت با سه سطح صفر، ۲ و ۵ گرم در کیلوگرم خاک گلدان را بر ویژگی‌های رشد و مقابله با تنش خشکی در دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در چمن اسپورت[5] مطالعه و بررسی کردند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که به‌کاربردن سوپرجاذب در زمان تنش، موجب کاهش اثر تنش خشکی و بهبود صفات رنگ، تراکم، ارتفاع و ماده خشک اندام هوایی شد و توانست به گیاه کمک نماید که از شرایط تنش عبور نماید. جهان[6] و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی اثر مواد سوپرجاذب رطوبتی (۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) در کاهش اثر تنش خشکی در ذرت[7] با دو دور آبیاری هفت و ۱۴ روز، نتیجه گرفتند که ارتفاع بوته و درصد ماده خشک به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای سوپرجاذب قرار گرفت و با مصرف هر دو سطح، صفات رشد و عملکرد گیاه در دور آبیاری ۱۴ روز افزایش نشان داد. تأثیر مواد سوپرجاذب رطوبتی و میکوریز بر کاهش مصرف آب بر رشد و عملکرد سیب زمینی[8] در شرایط کم‌آبیاری در گزارش پرویزی[9] (۲۰۲۱) آمده است. آب آبیاری در سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی براساس تبخیر و تعرق و استفاده از سوپرجاذب با دو سطح (صفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) بود که با اعمال کم‌آبیاری، صفات رویشی و عملکرد کل کاهش پیدا کردند، اما با کاربرد سوپرجاذب، عملکرد کل در مقایسه با عدم استفاده از آن‌ها در شرایط تنش متوسط و شدید حدود ۹/۵ و ۱۰/۱ درصد افزایش داد.

نتایج ناشی از مصرف کودها بر عملکرد اندام‌های مختلف نشان داد که عملکرد گل تحت تأثیر فسفر قرار گرفت که در بیش‌ترین مقدار بود (تیمار مصرف سوپرجاذب در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و مصرف N_0P_{150})، اما عملکرد کل سرشاخه و سایر اندام‌ها تحت تأثیر کود نیتروژن و فسفر بوده و به هنگام مصرف هر دو کود با هم مقدار برگ و ساقه افزایش یافت. نیتروژن از جمله عناصری است که گیاهان در تمام دوره‌های فعالیت خود به آن نیاز دارند (خواجه‌پور[10]، ۱۳۷۸). در واقع این عنصر، یکی از محدودترین فاکتورهای مغذی است که بر محتوای کلروفیل، فرایند فتوسنتز و عملکرد تأثیرگذار است (والش[11] و والش، ۲۰۲۰). از طرفی، مناسب‌ترین میزان مصرف کود مقداری خواهد بود که علاوه بر افزایش عملکرد، موجب

1. *Solidago canadensis*
2. Safari
3. *Ziziphora clinopodioides*
4. Heidarzadeh
5. *Cyndon dactylon*
6. Jahan
7. *Zea mays*
8. *Solanum tuberosum*
9. Parvizi
10. Khajehpour
11. Walsh

کاهش مقدار متابولیت‌های ثانویه نیز نشود (مادر[1] و همکاران، ۱۹۹۳). فسفر هم، یکی از عناصر موردنیاز گیاهان زراعی است که به‌دلیل حضور در ساختمان ATP[2] نقش زیادی در متابولیسم و رشد گیاه دارد (رودرش[3] و همکاران، ۲۰۰۵). هم‌چنین، نقش اساسی و مستقیمی در انتقال انرژی، کربن‌گیری گیاه، کاهش زمان رسیدن محصول و استحکام بیش‌تر ساقه دارد (سالاردینی[4]، ۱۳۸۴). در واکنش عملکرد نعناع با مصرف کودها می‌توان به مطالعه نیاکان[5] و همکاران (۲۰۰۳) با مصرف سه سطح کود نیتروژن و فسفر (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر ماده خشک گیاه نعناع فلفلی، بیش‌ترین تعداد و ماده خشک برگ با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کودها و بیش‌ترین عملکرد ماده خشک در واحد سطح با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد. نعناع برای تولید یک تن از پیکر رویشی تازه (تا مرحله گلدهی) ۲۵ کیلوگرم نیتروژن، ۸ کیلوگرم اکسید فسفر و ۱۰ کیلوگرم اکسیدپتاسیم از خاک جذب می‌کنند. از این‌رو، نیاز غذایی نعناع تا مرحله گلدهی بسیار زیاد است. در پژوهشی که برای بررسی کود نیتروژن (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره) بر گیاه نعناع فلفلی در مزرعه تحقیقاتی شرکت داروسازی باریج اسانس کاشان انجام شده بود، بیش‌ترین عملکرد ماده خشک اندام هوایی در هکتار در زمان مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و در زمان شروع غنچه‌دهی به‌دست آمد (زینعلی[6] و همکاران، ۲۰۱۴). در بررسی تأثیر کودهای زیستی، عناصر ریزمغذی و کودهای شیمیایی بر عملکرد و عناصر موجود در نعناع فلفلی تحت تنش خشکی (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، بیش‌ترین مقدار ماده خشک (۱۴/۶ گرم) را در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی ثبت کردند (پارسا[7] و همکاران، ۲۰۱۹). محلول‌پاشی عناصر غذایی بر کمیت و کیفیت نعناع فلفلی در سطوح مختلف آبیاری توسط جوانمرد[8] و همکاران (۲۰۲۲) مطالعه و بررسی شد. سطوح آبیاری براساس سه سطح ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی بود. بیش‌ترین (۲۸۰/۵ گرم بر مترمربع) و کم‌ترین (۱۱۳/۷ گرم بر مترمربع) ماده خشک کل به‌ترتیب در شرایط نرمال آبیاری (شاهد) و تنش شدید بدون مصرف کود به‌دست آمد. ابراهیمی اسبورزی[9] و همکاران (۲۰۲۱) اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و انواع کودهای نیتروژن بر عملکرد ماده خشک و اسانس نعناع فلفلی را بررسی کردند. آبیاری در حد ظرفیت مزرعه و به‌ترتیب بعد از تخلیه ۲۵، ۴۰ و ۵۵ درصد آب قابل استفاده در منطقه ریشه به‌عنوان رژیم‌های آبیاری طراحی و اجرا شد. بالاترین عملکرد ماده خشک (۳۱۵۸/۳ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۲۵ درصد رطوبت قابل استفاده خاک و با کود اوره حاصل شد و تنش کم‌آبی شدید موجب کاهش ۴۴ درصدی عملکرد ماده خشک شد. کوشکی[10] و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری بر نعناع فلفلی به کاهش ۴۰ درصدی عملکرد ماده خشک اندام هوایی گیاه در رژیم رطوبتی ۶۰ درصد اشاره کردند. در همین رژیم رطوبتی، اندازه غلظت نیتروژن و فسفر هم به‌ترتیب ۱۷ و ۹ درصد کاهش پیدا کرد. آلکایر[11] و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی اثر آبیاری کامل، مختصر و عدم انجام آبیاری بر گیاه نعناع فلفلی نتیجه گرفتند که تنش آبی، وزن خشک برگ، ساقه و ریشه را کاهش می‌دهد. در دیگر گیاهان مورد پژوهش و بررسی از جمله گیاه مرزه[12]، عملکرد ماده خشک در تنش کم‌آبی (۴۰ و ۷۰ درصد

1. Mader
2. Adenosine triphosphate
3. Rudresh
4. Salardini
5. Niakan
6. Zeinali
7. Parsa
8. Javanmard
9. Ebrahimi-Sborezi
10. Koushki
11. Alkire
12. *Satureja sahandica*

تخلیه رطوبتی) در مقایسه با شرایط عدم تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه)، کاهش حدود ۷۰ درصدی نشان داد (محمدی[1] و همکاران، ۲۰۲۱). برای گیاه همیشه بهار[2]، مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، موجب افزایش عملکرد بیولوژیک شد (آرگانوسا[3] و همکاران، ۱۹۹۸). در همین گیاه، اثر سطوح مختلف نیتروژن موجب افزایش طول دوره گلدهی (بیتا[4]، ۲۰۱۱) و افزایش ماده خشک گل (عامری[5] و نصیری محلاتی[6]، ۱۳۸۷) شده است. در گیاه رزماری[7]، افزایش سطح استفاده از کود نیتروژن تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش زیست‌توده شد (سینگ[8]، ۲۰۱۲). مطالعه پژوهش‌گران روی اثر نیتروژن و فسفر بر عملکرد و ویژگی‌های کمی دو جمعیت اهلی و وحشی بابونه آلمانی[9] نشان داد که تیمارهای مختلف کودی اثر معنی‌داری بر ماده خشک شاخساره و ریشه گیاه داشته است (کرمی[10] و خوشخوی[11]، ۱۳۸۵). سیمون- سرکدی[12] و همکاران (۲۰۰۶) و سوریانو[13] و همکاران (۲۰۰۱) کاهش عملکرد اندام هوایی و دانه گیاه گشنیز[14] در شرایط تنش خشکی و یالسینتاس[15] (۱۹۹۵) افزایش عملکرد دانه آن را با کاربرد ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن گزارش کردند. لباسچی[16] و شریفی عاشورآبادی[17] (۲۰۰۴)، ضمن بررسی سطوح مختلف تنش خشکی (۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) بر گیاهان اسفرزه[18]، بومادران[19]، مریم‌گلی[20]، همیشه‌بهار و بابونه آلمانی گزارش کردند که با تشدید تنش خشکی، ماده خشک اندام هوایی گیاهان موردمطالعه کاهش یافت.

نتایج این پژوهش نشان داد که سوپرجاذب تنها بر درصد اسانس برگ و گل معنی‌دار شد و در مقابل تنش خشکی تنها بر عملکرد اسانس اندام‌ها معنی‌دار بود. بیش‌ترین درصد و عملکرد اسانس گل و برگ با عدم مصرف سوپرجاذب در شرایط بدون تنش (۹۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌ترتیب با نیتروژن ۳۰۰ و فسفر ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. هرچند در تیمارهای بدون تنش و تنش متوسط، درصد اسانس در تیمار بدون مصرف سوپرجاذب بالا بود، با افزایش شدت تنش به ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، درصد اسانس با مصرف سوپرجاذب افزایش نشان داد. افزایش بسیاری از متابولیت‌های ثانویه و اجزای اسانس در زمان تنش، نشان‌دهنده نقش حفاظتی این ترکیبات به‌عنوان عوامل آنتی‌اکسیدانی می‌باشند که در پژوهش‌های مختلف به افزایش مقدار منتون[21] و کل سزکویی‌ترپن‌ها[22] در نعناع‌ها گونه نعناع سبز[23] (چارلز[24] و همکاران،

1. Mohammadi
2. *Calendula officinalis*
3. Arganosa
4. Beata
5. Ameri
6. Nasiri Mahalati
7. *Rosmarinus officinalis*
8. Singh
9. *Chamomilla recutita*
10. Karami
11. Khoshkhoi
12. Simon- Sarkadi
13. Soriano
14. *Coriandrum sativum*
15. Yalcintas
16. Lebaschy
17. Sharifi Ashoorabadi
18. *Plantago ovata*
19. *Achillea millefolium*
20. *Salvia officinalis*
21. Menthone
22. Sesquiterpenes
23. *M. spicata*
24. Charles

۱۹۹۰) و درصد اسانس در نعناع پونه[1] تحت تنش کم‌آبی (هاشم‌پور[2] و همکاران، ۲۰۱۴) اشاره شده است. فراهمی نیتروژن با تأثیر بر توسعه سطح برگ، تثبیت کربن، افزایش غدد ترشحی اسانس و افزایش میزان ATP[3] و NADPH[4] موجب افزایش بیوسنتز ترکیبات ترپنوئیدی و تجمع اسانس در نعناع فلفلی می‌شود. برخی از سازوکارهای کارآمدی فیزیولوژیک گیاهان در جهت افزایش مقاومت نسبت به تنش کم‌آبی، افزایش سنتز و ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی و ترکیب‌های فیتوشیمیایی از جمله اسانس‌هاست که طی آن پتانسیل اسمزی بافت‌های تحت تنش در اثر انباشت گروهی از مواد اسمزی در سلول‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه فشار تورژسانس سلول‌ها در حد مطلوبی نگهداری می‌شود (شارما[5] و همکاران، ۲۰۱۹؛ موندیم[6] و پرینگل[7]، ۲۰۱۸).

در پژوهشی که در بررسی کود نیتروژن (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره) بر نعناع فلفلی در مزرعه تحقیقاتی شرکت داروسازی باریج اسانس کاشان انجام شده بود، بیش‌ترین عملکرد اسانس در زمان شروع غنچه‌دهی و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن اندازه‌گیری و ثبت شد؛ درصد اسانس در چین دوم نعناع نسبت به چین اول معنی‌دار و روند کاهشی داشته است (زینعلی[8] و همکاران، ۲۰۱۴). عملکرد اسانس برگ نعناع فلفلی در شرایط کم‌آبی ۹۰ (شاهد)، ۷۰ (تنش ملایم) و ۵۰ (تنش شدید) درصد رطوبت ظرفیت زراعی در واکنش به کودهای آلی در پژوهشی در ارومیه بررسی شد. شرایط تنش موجب افزایش عملکرد اسانس برگ در مرحله گلدهی کامل شد، درحالی‌که درصد اسانس به مقدار ۱/۶ درصد در شرایط ملایم تنش به حداکثر مقدار خود رسید (عزیزی[9] و همکاران، ۲۰۲۲). خیری[10] و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تأثیر تنش خشکی و جاسمونیک‌اسید روی صفات مورفولوژیک و فیتوشیمیایی نعناع فلفلی، به بیش‌ترین درصد اسانس در تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی دست یافتند. پارسا[11] و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی تأثیر کودهای زیستی، عناصر ریزمغذی و کودهای شیمیایی بر عملکرد و عناصر موجود در نعناع فلفلی در شرایط خشکی (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، بیش‌ترین درصد اسانس را به مقدار ۱/۶ درصد در تیمار آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ثبت کردند. محلول‌پاشی عناصر غذایی بر کمیت و کیفیت نعناع فلفلی در سطوح مختلف آبیاری توسط جوانمرد[12] و همکاران (۲۰۲۲) مطالعه و بررسی شد. سطوح آبیاری براساس سه سطح ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی بود. بیش‌ترین درصد (۲/۱) و عملکرد اسانس (۴/۵ گرم بر مترمربع) در شرایط تنش ۴۰ درصد (تنش خفیف) به‌دست آمد. در مطالعه‌ای هم، اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و انواع کودهای نیتروژن بر عملکرد ماده خشک و اسانس نعناع فلفلی بررسی شد. آبیاری در حد ظرفیت مزرعه و به‌ترتیب بعد از تخلیه ۲۵، ۴۰ و ۵۵ درصد آب قابل استفاده در منطقه ریشه به‌عنوان رژیم‌های آبیاری طراحی و اجرا شد. بیش‌ترین عملکرد اسانس (۷۴ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۲۵ درصد رطوبت قابل استفاده خاک با کود اوره به‌دست آمد که ۴۴ درصد کاهش داشت. این پژوهش‌گران نتیجه گرفتند که تنش آبی متوسط همراه با کاربرد کود نیتروژن (به‌ویژه اوره به تنهایی و یا به‌صورت تلفیقی با

1. *M. pulegium*
2. Hassanpour
3. Adenosine triphosphate
4. Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate
5. Sharma
6. Mundim
7. Pringle
8. Zeinali
9. Azizi
10. Kheiry
11. Parsa
12. Javanmard

ورمی‌کمپوست) سبب افزایش کیفیت اسانس نعناع شده است. افزایش کیفیت اسانس در اثر تنش کم‌آبی، موجب کاهش عملکرد اسانس شد (ابراهیمی اسبورزی[1] و همکاران، ۲۰۲۱). در دیگر گیاهان، عباس‌زاده[2] و همکاران (۱۳۸۶) و آرپناهی[3] و همکاران (۲۰۲۰)، در بررسی اثر تنش خشکی بر بادرنجبویه[4] و آویشن دنایی[5] به‌ترتیب، افزایش عملکرد اسانس را گزارش کردند. بیش‌ترین عملکرد اسانس (۱۸/۷ کیلوگرم در هکتار) همیشه‌بهار با کاربرد کود نیتروژن در چهار سطح (صفر، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار)، با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن اندازه‌گیری شد (پازوکی[6] و همکاران، ۲۰۱۶). گوشاسبی[7] و همکاران (۲۰۲۰) بیش‌ترین درصد اسانس آویشن باغی را در تیمار تنش آبیاری شدید (۱۷ روز دور آبیاری) در اعمال هفت، ۱۲ و ۱۷ روز دور آبیاری به‌عنوان به‌عنوان شاهد، دور ملایم و شدید همراه با کاربرد کودهای شیمیایی NPK ثبت کردند.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به‌طورکلی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که استفاده از سوپرجاذب بر عملکرد اسانس سرشاخه تأثیر مثبت نشان نداد. لذا با توجه به هزینه‌های مربوط به آن، استفاده از سوپرجاذب در نعناع مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشد. مصرف کود سوپرفسفات‌تریپل بر عملکرد اسانس و گل اثر مثبت داشت. از طرفی، بین عملکرد برگ با درصد اسانس گل و قطر گل‌آذین همبستگی منفی مشاهده شد که نشان می‌دهد گل و برگ با یکدیگر در رقابت هستند و در برنامه‌ریزی‌های دقیق اقتصادی و دارویی باید اهمیت این دو را جدا از هم دیده و با توجه به اهداف پیش‌بینی‌شده، اقدام به اعمال تیمارهای خاص نمود. تنش موجب افزایش درصد اسانس برگ و کاهش درصد اسانس گل گردید. پیشنهاد می‌گردد تأثیر تیمارهای اعمال‌شده بر روند تولید و تجمع اسانس و نیز خصوصیات کیفی اسانس‌ها بررسی شود و امکان برداشت پیش از گلدهی و یا برداشت چندچین در سال نعناع هم مورد آزمایش قرار گیرد. استفاده هم‌زمان و مقایسه انواع کودها و مخلوط با کودهای مورداستفاده در این پژوهش هم می‌تواند از دیگر پیشنهادهای این پژوهش باشد. در کل می‌توان گفت برای افزایش بهره‌وری در مصرف آب باید عامل یا عوامل محدودکننده تولید شناسایی و سپس برنامه‌ریزی و پژوهش در جهت ارتقای آن‌ها صورت گیرد.

۷. تشکر و قدردانی

از مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور به جهت حمایت مالی این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

1. Ebrahimi-Sborezi
2. Abbaszadeh
3. Arpanahi
4. *Melissa officinalis*
5. *Thymus daenensis*
6. Pazoki
7. Goshasbi

۹. منابع

بیگدلی نسب، حوا؛ سلگی، موسی و تقی‌زاده، مینا (۱۳۹۹). کاربرد اسید هیومیک و سوپرجاذب نانوکامپوزیت بر خصوصیات رشد و مقابله با تنش خشکی در چمن. *علوم باغبانی ایران*، ۵۱(۲)، ۳۸۷-۴۰۲.

خواجه‌پور، محمدرضا (۱۳۷۸). *اصول و مبانی زراعت*. اصفهان: مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان. ۳۸۶ ص.

سالاردینی، علی‌اکبر (۱۳۸۴). *حاصلخیزی خاک*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران. ۴۲۸ ص.

سیف سهندی، مهدی؛ نقدی بادی، حسن‌علی؛ مهرآفرین، علی؛ خلیقی سیگارودی، فرحناز و شریفی، محسن (۱۳۹۸). تغییرات میزان اسانس و اجزای اسانس گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در پاسخ به کاربرد نیتروژن. *گیاهان دارویی*، ۱۸(۴)، ۸۱-۹۲.

عباس‌زاده، بهلول؛ شریفی عاشورآبادی، ابراهیم؛ لباسچی، محمدحسین؛ نادری، محمود و مقدمی، فوزیه (۱۳۸۶). اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، قندهای محلول، کلروفیل و آب نسبی (R.W.C) بادرنجبویه. *فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۳(۴)، ۵۱۳-۵۰۴.

کافی، محمد؛ لاهوتی، مهرداد؛ زند، اسکندر؛ شریفی، حمیدرضا و گلدانی، مرتضی (۱۳۷۹). *فیزیولوژی گیاهی* (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۶۴ ص.

کشاورز، حامد؛ مدرس ثانوی، سید علی‌محمد؛ سفیدکن، فاطمه و مختصی بیگدلی، علی (۱۳۹۸). تأثیر حاصلخیزکننده‌های خاک بر ترکیبات فنلی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و عملکرد اندام‌های رویشی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش کم‌آبی. ۱۷(۴)، ۶۷۲-۶۶۱.

شیخ مرادی، فریده؛ ارجی، عیسی؛ اسماعیلی، اکبر و عبدوسی، وحید (۱۳۹۰). بررسی اثر دور آبیاری و پلیمر سوپرجاذب روی برخی خصوصیات کیفی چمن اسپورت. *علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۵(۲)، ۱۷۰-۱۷۷.

گرگینی شبانکاره، حسین و خراسانی‌نژاد، سارا (۱۳۹۶). اثر کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و اسانس گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت رژیم‌های کم‌آبی. *تولید گیاهان زراعی*، ۱۰(۴)، ۵۹-۷۴.

عامری، علی‌اکبر و نصیری محلاتی، مهدی (۱۳۸۷). اثرات سطوح مختلف نیتروزن و تراکم بر میزان تولید گل، مواد مؤثره و کارایی مصرف نور در گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*). *پژوهش و سازندگی*، ۲۱(۳)، ۱۳۳-۱۴۱.

میزان‌زاده، حجت‌اله و امام، یحیی (۱۳۸۹). بررسی شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای چهار رقم گندم دیم تحت شرایط تنش خشکی. *اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۲(۲)، ۱۰۵-۱۱۱.

کرمی، اکبر و خوشخوی، مرتضی (۱۳۸۵). اثرهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر عملکرد و ویژگی‌های کمی دو جمعیت اهلی و وحشی بابونه آلمانی (*Chamomilla recutita* L. Rauschert). *علوم و فنون باغبانی ایران*، ۷(۳)، ۱۸۱-۱۹۲.

References

Abbaszadeh, B., Sharifi Ashourabadi, E., Lebaschi, M. H., Naderi hajibagher Kandy, M., & Moghadami, F. (2008). The effect of drought stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and relative water contents of Balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *23*(4), 504-513. (In Persian).

Abdi, G., Shokrpour, M., & Salami, S. A. (2019). Essential oil composition at different plant growth development of Peppermint (*Mentha x piperita* L.) under water deficit stress. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *22*(2), 431-440.

Alkire, B. H., Simon, J. E., Palevitch, D., & Putievsky, E. (1993). Water management for midwestern peppermint (*Mentha piperita* L.) growing in highly organic soil, Indiana, USA. *Acta Horticulturae*, *344*, 544-556.

Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M. R., & Maggi, F. (2018). Evaluation of yield, essential oil content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Cleaner Production*, *171*, 529-537.

Ameri, A. A., & Nasiri Mahalati, M. (2006). Effects of nitrogen application and plant densities on flower yield, essential oils, and radiation use efficiency of Marigold (*Calendula officinalis* L.). *Pajouhesh and Sazandegi*, *2*(81), 133-144. (In Persian).

Arganosa, G. C., Sosulski, F. W., & Slikard, A. E. (1998). Effect of nitrogen levels and harvesting management on quality of oil in *Calendula officinalis*. *Indian Perfumer*, *33*(3), 182-195.

Arpanahi, A. A., Feizian, M., Mehdipourian, G. H., & Khojasteh, D. N. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improves essential oil and physiological parameters and nutritional values of *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. under normal and drought stress conditions. *European Journal of Soil Biology*, *100*, 103-217.

Azizi Balabiglou, S., Rahimi, A., Heydarzadeh, S., Holgoumi R., & Ataei, I. (2022). Effects of organic fertilizers on quantitative and qualitative traits of *Mentha piperita* L. under low water stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *38*(4), 669-680.

Babaee, K., Amini Dehaghi, 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.

Baharmast, Z., Kheiry, A., Sanikhani, M., & Soleimani, A. (2020). Study and comparison of morphological and phytochemical traits of *Mentha pulegium* L. in different habitats of Guilan province. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, *30*(2), 60-75.

Barker, A. V., & Pilbeam, D. J. (2007). Handbook of Plant Nutrition. CRC Press, Boca Raton, FL., USA.

Basiri, M., Ghamarnia, H., & Ghobadi, M. (2020). Effect of different deficit irrigation and salinity management on leaf, shoot and root growth of (*Mentha piperita* L.). *Water and Irrigation Management*, *10*(1), 1-14.

Beata, K. (2011). The effect of different nitrogen fertilization rates on yield in and quality of Marigold (*Calendula officinalis* L) material. *Acta Agroboanica*, *64*, 29-34.

Bigdelinasab, H., Solgi, M., & Taghizadeh, M. (2020). The application of humic acid and nanocamposite superabsorbant on growth characteristic and resistance to drought stress in turf grass. *Iranian Journal of Horticultural Science, 51(2),* 387-402. (In Persian).

Chalmers, D. J., Mitchell, P. D., & Van Heek, L. (1981). Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning [Trickle irrigation]. *Journal-American Society for Horticultural Science (USA)*, *106*, 307-312.

Charles, D. J., Joly, R. J., & Simon, J. E. (1990). Effects of osmotic stress on the essential oil content and composition of peppermint. *Phytochemistry*, *29*, 2837-2840.

Dadvand Sarab, M., Naghdi Badi, H., Nasri, M., Makkizadeh, M., & Omidi, H., (2008). Changes in essential oil content and yield of Basil in response to different levels of nitrogen and plant density. *Journal of Medicinal Plants*, *7*(27), 60-70.

Ebrahimi-Sborezi, H., Modarres-Sanavy, S. A. M., Baghbani-Arani, A., & Karami Borz-Abad, R. (2021). Effect of different irrigation regimes and fertilization on essential oil yield and composition of Peppermint essential oil (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, *52*(3), 663-675.

Fabriki ourang, S., & davoodnia, B. (2018). Changes in growth characteristics and secondary metabolites in *Thymus vulgaris* L. under moderate salinity and drought shocks. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, *6*(2), 27-39.

Fejér, J., Gruľová, D., & De-Feo, V. (2017). Biomass production and essential oil in a new bred cultivar of Peppermint (*Mentha×piperita* L.). *Industrial Crops and Products*, *109*, 812-817.

Ferrat, I. L., & Lovatt, C. J. (1999). Relationship between relative water content, nitrogen pools, and growth of (*Phaseolus vulgaris*) and (*Phaseolus Acutifolius*) a gray during water deficit. *Crop Science*, *39*, 467-74.

GAO, S., Wang, Y., Yu, S., Huang, Y., Liu, H., Chen, W., & He, X. (2020). Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of two *Adonis* species in Northeast China. *Scientia Horticulturae*, *259*, 108-795.

García-Caparrós, P., Romero, M. J., Llanderal, A., Cermeño, P., Lao, M. T., & Segura, M. L. (2019). Effects of drought stress on biomass, essential oil content, nutritional parameters, and costs of production in six Lamiaceae species. *Water*, *11*(3), 73.

Gelder, H. V., & VanGelder, H. H. M. (1988). Influence of nitrogen fertilizer application level on oil production and quality in *Mentha piperita* L.. *Applied. Plant. Science*, *2*(2), 68-71.

Ghosh, M. L., Chatterjee, S. K., Palevitch, D., Simon J. E., & Mathe, A. (1993). Physiological and biochemical indexing of synthesis of essential oil in *Mentha* spp growth in India. *Acta Horticulture*, *331*, 351-356.

Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*, 909-930.

Gorgini Shabankareh, H., & Khorasani nejad, S. (2018). Effects of different levels of vermicompost on morphophysiological and essential oil characteristics of Peppermint (*Mentha piperita* L.) under water deficit regimes. *Crop Production*, *10*(4), 59-74. (In Persian).

Goshasbi, F., Heidari, M., Sabbagh, S. K., & Makarian, H. (2020). Effect of irrigation interval, bio and non-biofertilizers on yield components and some of biochemical compounds in Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, *3*(1), 51-68.

Hassanpour, H., Khavari-Nejad, R. A., Niknam, V., Razavi, Kh., & Najafi, F. (2014). Effect of penconazole and drought stress on the essential oil composition and gene expression of *Mentha pulegium* L. (Lamiaceae) at flowering stage. *Acta Physiologiae Plantarum*, *36*, 1167-1175.

Heidarzadeh, A., Nazeri, V., & Tabrizi, L. (2021). Effect of salicylic acid application on quantitative and qualitative features of *Ziziphora clinopodioides* Lam. under water deficit stress condition. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *51*(4), 871-887.

Hong, S., Li-Ye, C., Jaleel, C. A., & Chang-Xing, Z. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C. R. Biologies*, *331*, 215-225.

Ihuoma, S. O., & Madramootoo, C. A. (2017). Recent advances in crop water stress detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, *141*, 267-275.

Izhar, M., Khan, M., Yasmin, T., & Yousaf Zahid, N. (2015). Differential effect of fertilizers on menthol contents in Mint (*Mentha arvensis*). *American Research Journal of Agriculture*, *1*(1), 55-60.

Jahan, M., Kamayestani, N., & Ranjbar, F. (2013). The feasibility of using superabsorbent moisture to reduce drought stress in corn in a low input system. *Agroecology*, *5*(3), 272-281.

Javanmard, A., Rahimi, M., Amani Machiani, M., Janmohammadi, M., & Habibi Machiani, R. (2022). Effects of nutrients foliar application on quantity and quality of Peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oil under different irrigation levels .*Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *38*(4), 651-668.

Kafi, M., Lahoti, M., Zand, A., Sharifi, H. M., & Goldani, M. (2000). *Plant physiology*. Mashhad: Academic Jihad Publications. 456p. (In Persian).

Karami, A., & Khoshkhoi, M. (2004). Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on yield and quantitative characteristics of cultivated and wild populations of German chamomile (*Chamomilla recutita* L. Rauschert). *Journal of Horticultural Science and Technology*, *7*(3), 181-192. (In Persian).

Kasgo, H., Durmus, A., & Kasgoz, A. (2008) Enhanced swelling and adsorption properties of AAm-AMPSNa/clay hydrogel nanocomposites for heavy metal ion removal. *Polymers for Advanced Technology*, *19*, 213-220.

Keshavarz, H., Modarres Sanavy, S. A. M., & Mehdipour Afra, M. (2018). Organic and chemical fertilizer affected yield and essential oil of two Mint species. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *21*(6), 1674-1681.

Keshavarz, H., Modarres Sanavy, S. A. M., Sefidkon, F., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2020). Effect of organic fertilizers and urea fertilizer on phenolic compounds, antioxidant activity, yield and yield components of Peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *17*(4), 661-672. (In Persian).

Khajehpour, M. R. (1999). *The principles and basics of agriculture*. Isfahan: Isfahan Industrial Branch, Academic Jihad Publishing Center. 386p. (In Persian).

Kheiry, A., Tori, H., & Mortazavi, N. (2017). Effects of drought stress and jasmonic acid elicitors on morphological and phytochemical characteristics of Peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *33*(2), 268-280.

Koushki, A., Alinejadian-Bidabadi, A., & Maleki, A. (2021). Effects of rice husk biochar and different irrigation regimes on growth, essential oil percentage, and concentration of some nutrients in Peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *37*(5), 733-752.

Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A., & Marzouk, B. (2009). Water deficit effects on Caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. *Industrial Crops and Products*, *30*(3), 372-379.

Lebaschy, M. H., & Sharifi Ashoorabadi, E. (2004). Application of physiological growth indices for suitable harvesting of *Hypericum perforatum*. *Pajouhesh & Sazandgi*, *3*(65), 65-75.

Lisar, S. Y. S., Motafakkerazad, R., Hossain, M. M., & Rahman, I. M. M. (2012). Water stress in plants. In *causes, effects and responses*. Edited by I. M. M. Rahman & H. Hasegawa. Croatia: InTech.

Lovisolo, C., Perrone, I., Carra, A., Ferrandino, A., Flexas, J., Medrano, H., & Schubert, A. (2010). Drought-induced changes in development and function of grapevine (*Vitis* spp.) organs and in their hydraulic and non-hydraulic interactions at the whole-plant level: a physiological and molecularm update. *Functional Plant Biology*, *37*(2), 98-116.

Mader, L., Pfiffner, U., & Nigeli, (1993). Effect of Tree farming systems (Bio - dynamic, Bio - organic, Conventional) on yield and quality of beet root (*beta vulgare* - Risi, Var. Esculental) in a seven year Crop rotation, *Acta Horticulture*, *339*, 11-31.

Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press London.

McCarthy, M. G., Loveys, B. R., Dry, P. R., & Stoll, M. (2002). Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying as irrigation management techniques for grapevines. *Deficit irrigation practices, FAO Water Reports*, *22*, 79-87.

Miquel, J., Richard, H., & Sandret, F. (1976). Volatile constituents of Moroccan thyme oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *24*, 833-835.

Mizanzadeh, H., & Imam, Y. (2010). Investigation of indices of leaf area, height, photosynthetic rate, stomatal conductance of four species of wheat under the drought tension. *Ecophysiology of Agricultural Plants*, *2*(2), 111-121. (In Persian).

Mohammadi, H., Pourmohammad, P., & Hazrati, S. (2021). Phytochemical and physiological study of *Satureja sahendica* Bornm. Essential oil and extract to water-deficit stress. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, *9*(1), 1-19.

Monni, S. (2005). Watter saturated super- absorbent polymers used in high strength concrete. *Journal of Otto- Graf*, *3*(16), 193-202.

Mundim, F. M., & Pringle, E. G. (2018). Whole-plant metabolic allocation under water stress. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 852.

Neumann, P. M. (2008). Coping mechanisms for crop plants in drought-prone environments. *Annals of Botany*, *101*, 901-907.

Niakan, M., Khavarynejad, R., & Rezaee, M. B. (2003). Effect of chemical fertilizer on quantity and quality of plant oil of Peppermint (*Mentha piperita* L.) in vegetative (leaf) and productive (flowering branches) phase. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *19*(1), 1-14.

Parmoon, G., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Hashemi, M., & Moosavi, A. (2019). Assessing photosynthetic performance of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) influenced by plant growth regulators and drought stress imposed at vegetative and reproductive stages. *Italian Journal of Agronomy*, *14*, 13-19.

Parsa, M., Kamaei, R., & Yousefi, B. (2019). Effects of different biofertilizers on elements, essential oil and yield of Peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *35*(5), 860-875.

Parvizi, Kh. (2021). Evaluation of the effect of superabsorbent materials and mycorrhizae on growing traits and yield of potato in deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *52*(3), 605-617.

Pazoki, A., Tavakoli Haghighat, H., & Rashidi Asl, A. (2016). Evaluation of Yield, Yield Components and Essential Oil Content of Marigold (*Calendula officinalis* L.) with the Use of Nitrogen and Vermicompost. *Journal of Crop Ecophysiology*, *39*(3), 629-644.

Pinheiro, C., & Chaves, M. M. (2010). Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? *Journal of Experimental Botany*, *62*, 869-882.

Rahimi, Y., Taleei, A., & Ranjbar, M. (2018). Long-term water deficit modulates antioxidant capacity of Peppermint (*Mentha piperita* L.). *Scientia Horticulturae*, *237*, 36-43.

Rebey, I. B., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F., & Marzouk, B. (2012). Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. *Industrial Crops and Products*, *36*(1), 238-245.

Rudresh, D. L., Shivaprakash, M. K., & Prasad. R. D. (2005). Tricalcium phosphate solubilizing abilities of *Trichoderma* spp. in relation to P uptake and growth and yield parameters of Chickpea (*Cicer arietinum* L.). C*anadian Journal of Microbiology*, *51*(3), 217-22.

Safari, A., Reezi, S., Etemadi, N., Nikbakht, A., Mohammadkhani, A., & Badalzadeh, A. (2022). Effect of different levels of nitrogen and phosphorous on some physiological and morphological traits of golden rod (*Solidago canadensis* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, *52*(4), 951-963.

Salardini, A. A. (2005). *Soil fertility*. Tehran: Tehran University Publications, 428p. (In Persian).

Sankar, B., Jaleel, C. A., Manivanna, P., Kishorekumor, A., Somasundaram, R., & Panneerselva, R. (2007). Droughtinduced biochemical modifications and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. *Acta Botanica Croatica*, *66*, 43-56.

Seif Sahandi, M., Naghdi Badi, H., Mehrafarin, A., Khalighi-Sigaroodi, F., & Sharifi, M. (2019). Changes in essential oil content and composition of Peppermint (*Mentha piperita* L.) in responses to Nitrogen application. *Journal of Medicinal Plants*, *18*(4), 81-98. (In Persian).

Shahid, S. A., Qidwai, A. A., Anwar, F., Ullah, I., & Rashid, U. (2012). Improvement in the water retention characteristics of sandy loam soil using a newly synthesized poly (acrylamide-co-acrylic acid)/AlZnFe2O4 superabsorbent hydrogel nanocomposite material. *Molecules*, *17*(8), 9397-9412.

Sharma, A., Shahzad, B., Kumar, V., Kohli, S. K., Sidhu, G., Bali, A. S., Handa, N., Kapoor, D., Bhardwaj, R., & Zheng, B. (2019). Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. *Biomolecules*, *9*(7), 285, 45.

Sheikhmoradi, F., Arji, I., Emaeili, A., & Abdosi, V. (2011). Evaluation the effects of cycle irrigation and super absorbent on qualitative characteristics of lawn. *Journal of Horticultural Science (Agricultural Sciences and Technology)*, *25*(2), 170-177. (In Persian).

Sheteawi, S. A., & Tawfik, K. M. (2007). Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on mung bean (*Vigna radiata*) growth and yield. *Journal of Applied Sciences Research*, *3*(3), 251-262.

Simon- Sarkadi, L., Kocsy, G., Varhegyi, A., Galiba, G., & Deronde, J. A. (2006). Effect of drought stress at supraoptimal temperature on polyamine concentrations in transgenic coriander with increased proline levels. *Indian journal of medical research*, *61*(11), 833-839.

Singh, M. (2012). Influence of organic mulching and nitrogen application on essential oil yield and nitrogen use efficiency of Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, *59*, 273-279.

Solinas, V., & Deiana, S. (1996). Effect of water and nutritional conditions on the *Rosmarinus officinalis* L. phenolic fraction and essential oil yields. *Italian Eppos*, *19*, 189-198.

Soriano, M. A., Villalobes, F. J., Fereres, E., Orgaz, F., & Saltin, M. (2001). Response of coriander grain yield to water stress applied during different phonological stage. *Journal of science and Technology of Agricultural and Natural Resources*, *164*(3), 515-525.

Tazikehmiyandare, M., Niyakan, M., & Ahmadigosefidi, M. (2012). Effect of pretreatment of salicylate on the growth and photosynthetic pigments parameters of Peppermint (*Mentha piperita* L.) under different levels of stiffness. *Journal of Plant Science Research*, *28*(4), 654-663.

Walsh, O. S., & Walsh, W. L. (2020). Seeding rate and nitrogen fertilizer rate effect on dryland no-till hard red spring wheat yield and quality. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, *3*, 1-10.

Wildung, M. R., & Croteau, R. B. (2005). Genetic engineering of peppermint for improved essential oil composition and yield. *Transgenic Research*, *14*(4), 365-372.

Wu, Z., Tan, B., Liu, Y., Dunn, J., Martorell Guerola, P., Tortajada, M., Cao, Z., & Ji, P. (2019). Chemical composition and antioxidant properties of essential oils from Peppermint, native spearmint and scotch spearmint. *Molecules*, *24*(15), 2825.

Yalcintas, G. (1995). *The effect of sowing dates and levels of nitrogen fertilizer on yield and some agricultural characteristics of Coriander.* Master thesis. Turkey: Ondokuz Mayis University, Institute of Natural and Applied Sciences. Department of Agronomy.

Yang, L., Wen, K. S., Ruan, X., Zhao, Y. X., Wei, F., & Wang, Q. (2018). Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Molecules*, *23*(4), 762.

Zeinali, H., Hosseini, H., & Shirzadi, M. H. (2014). Effects of nitrogen fertilizer and harvest time on agronomy, essential oil and menthol of *Mentha piperita* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *30*(3), 486-495.

Zhang, J., Jiang, H., Song, X., Jin, J., & Zhang, X. (2018). The responses of plant leaf CO_2/ H_2O exchange and water use efficiency to drought: a meta-analysis. *Sustainability*, *10*(551), 1-13.

Zhou, H., Zhou, G., He, Q., Zhou, L., Ji, Y., & Zhou, M. (2020). Environmental explanation of maize specific leaf area under varying water stress regimes. *Environmental and Experimental Botany*, *171*, 103932.