Journal of Soil Management and Sustainable Production

Print ISSN: 2322-1267
Online ISSN: 2322-1275

Soil Science Society of Iran

Effect of hydrogel and urea on nitrogen uptake and growth indices of *Mentha*

Maryam Ghahrie[1], Mojtaba Norouzi Masir[*2], Mehdi Taghavi[3], Mohammad Mahmoodi Sourestani[4]

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: ghahriemaryam@yahoo.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: m.norouzi@scu.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Chemistry, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: m.taghavi@scu.ac.ir
4. Associate Prof., Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: m.mahmoodi@scu.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 04.06.2023
Revised: 08.31.2023
Accepted: 09.05.2023

Keywords:
Hydrogel,
Mentha,
Urea,
Yield

ABSTRACT

Background and Objectives: Nutrient deficiency is one of the common problems in the world's soils, predominantly calcareous soils. Hence, the application of new ways, including slow release fertilizer, is increasing to improve the nutritional status of nutrients. Superabsorbent hydrogels are hydrophilic polymer gels that can absorb large amounts of water. Hydrogels are colorless, odorless and non-polluting for the environment, and they can be used for up to five years. Medicinal plants have a particular value and importance in people's health. Peppermint, with the scientific name *Mentha piperita* L., is a perennial and herbaceous plant belonging to the mint family. The present study was carried out to investigate the effects of hydrogel and nitrogen on some growth parameters of *Mentha*.

Materials and Methods: This research was carried out in the form of pot cultivation and factorial experiment in the form of a randomized complete block design with three replications (each experimental plot four replications) in the greenhouse of the Faculty of Agriculture of Shahid Chamran University of Ahvaz in 2017. Hydrogel in amounts of 0 (control), 0.005 and 0.01% and urea fertilizer at three levels (100, 200 and 300 kg/ha) were the treatments of this experiment (108 pots). During the trial (9 months period), pH, dissolved organic carbon and soil nitrogen and the amount of chlorophyll a and b in mint were measured. The aerial part of the plant was harvested before flowering, and the amount of nitrogen in the aerial part of the plant was measured. Also, the amount of nitrogen in the soil was measured.

Results: The results showed that the lowest pH, the maximum of DOC and soil nitrogen were obtained at the level of 0.01% of hydrogel treatment. The maximum yield of *Mentha* was obtained at the level of 0.01% of hydrogel treatment. The utilization of hydrogel and nitrogen fertilizer had a considerable impact on the nitrogen concentration and uptake.

Conclusions: The results of this study showed that the use of hydrogel at 0.01% by weight and 200 kg/ha of urea can have a useful and effective role in improving nitrogen uptake in *Mentha*. Based on these experimental results, it could be concluded that the increase in the amount of nitrogen in the *Mentha* plant was due to the increase in the amount of nitrogen in the

soil which per se caused better uptake and impact on yield. The utilization of hydrogel in combination with chemical fertilizers is a practical approach to mitigate environmental issues associated with the use of chemical fertilizers.

Cite this article: Ghahrie, Maryam, Norouzi Masir, Mojtaba, Taghavi, Mehdi, Mahmoodi Sourestani, Mohammad. 2024. Effect of hydrogel and urea on nitrogen uptake and growth indices of *Mentha*. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 13 (4), 1-28.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJSMS.2024.18340.1971
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
شاپا چاپی: ۱۲۶۷-۲۳۲۲
شاپا آنلاین: ۱۲۷۵-۲۳۲۲
انجمن علوم خاک ایران

تأثیر هیدروژل و اوره بر جذب نیتروژن و شاخص‌های رشدی نعناع

مریم قهریه[۱]، مجتبی نوروزی مصیر*[۲]، مهدی تقوی[۳]، محمد محمودی سورستانی[٤]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: ghahriemaryam@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: m.norouzi@scu.ac.ir
۳. استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: m.taghavi@scu.ac.ir
٤. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: m.mahmoodi@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۰۱/۱۷
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۲/۰٦/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۰٦/۱٤

واژه‌های کلیدی:
اوره،
عملکرد،
هیدروژل،
نعناع

چکیده

سابقه و هدف: کمبود عناصر مغذی مورد نیاز گیاه، یکی از مشکلات رایج در خاک‌های سراسر دنیا به ویژه خاک‌های کشورمان ایران است. از این‌رو، استفاده از روش‌های نوین مانند کود آهسته‌رهش بر پایه هیدروژل جهت بهبود وضعیت تغذیه‌ای عناصر غذایی در محصولات زراعی رو به افزایش است. هیدروژل‌های سوپرجاذب، ژل‌های پلیمری آبدوست هستند که می‌توانند مقادیر بسیار زیادی آب را در خود جذب کنند. هیدروژل‌ها بی‌رنگ، بی‌بو و بدون خاصیت آلایندگی برای محیط‌زیست می‌باشند و عمر مفید آن‌ها تا ۵ سال پس از کاربردشان می‌باشد. گیاهان دارویی ارزش و اهمیت خاصی در سلامتی مردم دارند. نعناع فلفلی با نام علمی *Mentha piperita* L. گیاهی چندساله و علفی متعلق به تیره نعناعیان است. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر هیدروژل و کود شیمیایی اوره بر برخی ویژگی‌های رشدی گیاه نعناع انجام شده است.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به صورت کشت گلدانی و آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار (هر کرت آزمایشی ٤ تکرار)، در سال ۱۳۹۷ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به اجرا درآمد. هیدروژل در مقادیر صفر (شاهد)، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۱ درصد وزنی و کود اوره در ۳ سطح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) تیمارهای این آزمایش را تشکیل دادند (۱۰۸ گلدان). طی دوره آزمایش (دوره ۹ ماهه)، پ. هاش، کربن آلی محلول و نیتروژن خاک و میزان کلروفیل a و b در نعناع اندازه‌گیری شد. بخش هوایی گیاه قبل از گلدهی برداشت و مقدار نیتروژن در اندام هوایی گیاه، اندازه‌گیری شد. هم‌چنین مقدار نیتروژن خاک نیز اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کم‌ترین پ.هاش، بیش‌ترین کربن آلی محلول و نیتروژن خاک در تیمار هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی به‌دست آمد. بیش‌ترین مقدار عملکرد نعناع در تیمار هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی به‌دست آمد. غلظت و جذب نیتروژن تحت‌تأثیر هیدروژل و کود شیمیایی اوره (۰/۰۱ درصد وزنی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: نتایج این بررسی نشان داد که کاربرد هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار اوره می‌توانند نقش مفید و مؤثری در بهبود جذب نیتروژن در گیاه دارویی نعناع داشته باشند. با توجه به نتایج این آزمایش، می‌توان عنوان کرد که افزایش مقدار نیتروژن در گیاه نعناع ناشی از افزایش مقدار نیتروژن خاک و در نتیجه جذب بهتر و تأثیرگذاری بر عملکرد بوده است. استفاده از هیدروژل به همراه کود شیمیایی تا حد چشمگیری باعث کاهش مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی می‌گردد.

استناد: قهریه، مریم، نوروزی مصیر، مجتبی، تقوی، مهدی، محمودی سورستانی، محمد (۱۴۰۲). تأثیر هیدروژل و اوره بر جذب نیتروژن و شاخص‌های رشدی نعناع. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۳ (۴)، ۲۸-۱.
DOI: 10.22069/EJSMS.2024.18340.1971

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

گیاهان برای تولید کمی و کیفی بهینه با توجه به شرایط اقلیمی و منطقه‌ای و سایر عوامل مؤثر در کشاورزی به تغذیه مطلوب نیازمندند. از این‌رو برای دستیابی به محصولات کشاورزی سالم و باارزش مواد غذایی بالا از مواد شیمیایی کشاورزی مانند کودهای شیمیایی استفاده می‌شود اما استفاده بی‌رویه از این نهاده‌ها باعث افزایش هزینه و آلودگی محیط‌زیست می‌گردد.

از آنجایی‌که ایران کشوری با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و همواره با مشکل کمبود آب روبرو است، بنابراین مشکلات ناشی از تنش خشکی و تأثیر آن بر کاهش عملکرد محصولات مختلف و ارایه راهکارهای مناسب برای تامین نیاز آبی گیاه اهمیت دارد. برای بهبود نفوذ آب در خاک و یا حفظ ذخیره رطوبت در خاک، می‌توان از مواد طبیعی مانند کود سبز، خاکپوش گیاهی (مالچ)، پرلیت، کاه و کلش، بقایای گیاهی و یا فضولات دامی استفاده کرد. اعمال مدیریت صحیح و به‌کارگیری راهکارهای پیشرفته به‌منظور حفظ ذخیره رطوبتی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک از جمله اقدامات مؤثر برای افزایش راندمان آبیاری و در نتیجه بهبود بهره‌برداری از منابع آب کشور می‌باشد. با توجه به مسائل بیان شده، به کارگیری مدیریت‌های صحیح و استفاده از روش‌های پیشرفته به منظور افزایش تولید و حفظ ذخایر رطوبتی اهمیت پیدا می‌کند. استفاده از شیوه‌های نوین مدیریت زراعی در الگوی مصرف آب، به منظور بهره‌برداری از منابع محدود آبی و افزایش راندمان آبیاری وعملکرد گیاه ضروری می‌باشد. یکی از راهکارهای استفاده بهینه از منابع آب و حفظ آن و هم‌چنین تغذیه گیاه استفاده از سوپر جاذب (هیدروژل) می‌باشد.

پلیمرهای سوپرجاذب از این قابلیت برخوردارند که به اندازه ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر وزنی در خود آب ذخیره و به هنگام نیاز آن را در اختیار گیاه قرار دهند و نیز از آبشویی مواد غذایی خاک به هنگام آبیاری جلوگیری کنند. استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب تاکنون در بسیاری از پژوهش‌ها برای تولید در مناطق خشک مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است (۱). هیدروژل‌ها گروهی از پلیمرهای شبکه‌ای هستند که زنجیره‌های آن‌ها با اتصالات عرضی به یکدیگر متصل شده و یا کمپلکس‌های پلیمری هستند که از طریق پیوندهای هیدروژنی و یا نیروی بین مولکولی تشکیل می شوند. هیدروژل‌ها به دلیل داشتن ساختار سه‌بعدی خاص خود نامحلول باقی می‌مانند. الهدادی و همکاران (۲۰۰۵) در آزمایش‌های خود روی گیاه سویا، افزایش عملکرد و وزن ۱۰۰ دانه سویا را تحت‌تأثیر پلیمر سوپرجاذب A200 به میزان ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده کردند (۲).

نیتروژن یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات است. میانگین مقدار نیتروژن در ماده خشک گیاهان ۱-۲ درصد و گاهی به ٤-٦ درصد نیز می‌رسد. عکس‌العمل‌های گیاه نسبت به نیتروژن به‌صورت، افزایش رشد سبزینه‌ای، رشد و توسعه متعادل گیاه، افزایش در شدت رنگ سبز برگ‌ها، افزایش میزان پروتئین‌های گیاهی و افزایش تولید میوه و دانه مشاهده می‌شود. با این حال، زیادی نیتروژن در خاک به‌ویژه در اواخر دوره رشد، سبب افزایش رشد سبزینه‌ای نسبت به رشد اندام‌های تولیدمثلی و هم‌چنین نسبت به رشد ریشه و کاهش ذخایر در گیاهان ریشه‌ای می‌گردد.

گیاهان دارویی و خواص آن‌ها، قرن‌ها پیش شناخته شده‌اند. در واقع استفاده از این گیاهان به‌عنوان منبعی جهت رهایی از بیماری‌ها، هنری به قدمت بشریت است. بنابراین، با وجود پژوهش‌های فراوان صورت گرفته پیرامون تأثیر هیدروژل بر رشد و عملکرد گیاه، تاکنون در زمینه تأثیر هیدروژل و عناصر

غذایی بر رشد و عملکرد نعناع فلفلی و ویژگی‌های خاک مطالعات زیادی انجام نشده است. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تأثیر هم‌زمان هیدروژل و کود اوره بر صفات رشدی نعناع انجام گردیده است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت مرکب (۳۰-۰ سانتی‌متری) تهیه و بعد از هوا خشک شدن برخی ویژگی‌های آن شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (۳)، قابلیت هدایت الکتریکی و pH خاک در عصاره ۲/۵ :۱ خاک به آب، مواد آلی به روش والکلی و بلک، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون، فسفر قابل‌دسترس به روش اولسن، پتاسیم قابل‌دسترس با استفاده از استات آمونیوم، و نیتروژن به روش کجلدال و طیف‌سنجی هیدروژل (FT-IR) تعیین گردیدند (٤). برای اسانس‌گیری، ۳۰ گرم پودر سرشاخه گیاه نعناع فلفلی به‌طور دقیق توزین کرده و به روش تقطیر با آب)، اسانس آن با استفاده از کلونجر (به‌مدت ۳ ساعت) استخراج شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است (جدول ۱). این مطالعه تحت شرایط کشت در گلدن و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل هیدروژل بر پایه اکریلیک اسید در سه سطح (صفر، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۱ درصد وزنی) و کود نیتروژن از منبع اوره در سه سطح (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) در سه تکرار بود. کربن آلی محلول خاک در سوسپانسیون ۱ به ٤ خاک و آب مقطر اندازه‌گیری شد، به این ترتیب که ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به ۵ گرم خاک اضافه شد و به‌مدت ۱٦ ساعت در دمای اتاق تکان داده شد. سپس عصاره‌ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن ٤۲ صاف گردید و کربن آلی محلول عصاره‌ها با استفاده از دستگاه کربن آنالایزر اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 1. Some chemical and physical properties of soil.

بافت خاک Soil Texture	pH	EC ($dS\ m^{-1}$) Electrical conductivity (dSm^{-1})	نیتروژن کل (٪) Total Nitrogen (%)	پتاسیم قابل تبادل ($mg\ kg^{-1}$) Exchangeable potassium ($mgkg^{-1}$)	فسفر قابل‌دسترس ($mg\ kg^{-1}$) Available phosphorus ($mgkg^{-1}$)	کربن آلی (٪) Organic carbon (%)	کربنات کلسیم معادل (٪) Calcium carbonate equivalent (%)
Clay Loam	7.8	1.7	0.05	267	11	0.25	42

طرز تهیه هیدروژل سوپر جاذب: ابتدا یک بشر یک لیتری در حمام یخ قرار داده و به آن ۱۰۰ میلی‌لیتر اکریلیک اسید اضافه گردید. به محتوای بشر ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ٤۰٪ وزنی پتاسیم هیدروکسید اضافه و توسط همزن مغناطیسی همزده تا کاملا مخلوط شود. سپس، ۲۲ گرم اوره، ٦ گرم N،N- متیلن بیس اکریل‌آمید و ۱۰ گرم سوکسنیک‌دی‌هیدرازید اضافه و توسط همزن مغناطیسی در دمای اتاق همزده شد. پس از آن‌که تمام مواد حل گردید مخلوط واکنش به یک بالن ۵۰۰ میلی‌لیتر سه‌دهانه‌ای مجهز به همزن مکانیکی، گاز نیتروژن و کندانسور منتقل شد و بالن نیز در حمام روغن قرار داده شد. قبل از افزودن آغازگر، گاز نیتروژن به مدت ۳۰ دقیقه در محلول دمیده تا حباب‌های اکسیژن خارج شوند. در یک بشر

دیگر ۲/۵ گرم پرسولفات پتاسیم در آب مقطر حل و کم‌کم به بالن اولیه اضافه شد. حمام روغن به مدت ٤ ساعت در دمای ٦٠ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد تا فرآیند پلیمرشدن کامل شود. سپس هیتر خاموش تا دمای واکنش به دمای محیط رسید، مشاهده شد که پس از ۱ ساعت ژل تشکیل گردید. ژل حاصله چندین بار با آب مقطر شسته و به یک بشر حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر اتانول ریخته شد تا آب‌زدایی شود. ژل به مدت ٢٤ ساعت در این شرایط نگهداری شد. ژل فیلترشده و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت خشک و سپس آسیاب گردید (۵).

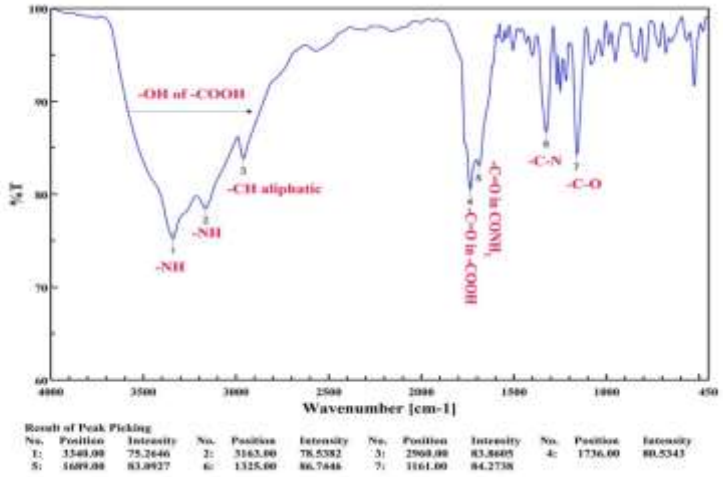
طیف‌های مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) به‌وسیله دستگاه (Bruker SP1100 و Bruker Tensor 27)، در دانشکده داروسازی دانشگاه جندی شاپور اهواز ثبت شده‌اند. طیف‌ها با تهیه قرص پتاسیم برمید (KBr) گرفته شده‌اند. فرکانس‌های انتقالی ارتعاشی در واحد عدد موجی (cm^{-1}) بوده است.

خاک تهیه شده پس از گذراندن از الک دو میلی‌متری در گلدان‌های ٦ کیلوگرمی توزیع و تیمار هیدروژل و اوره به آن‌ها اضافه گردید. برای این منظور ابتدا محلول اشباع از کود در آب تهیه گردید. سپس محلول اشباع روی هیدروژل ریخته شد و تا تورم کامل هیدروژل هم زده شد و هیدروژل بارگیری شده جهت اضافه کردن به گیاه استفاده گردید. ریزوم نعناع فلفلی *Mentha piperita* L. از مزرعه آموزشی باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز تهیه و در عمق ۱-۲ سانتی‌متری خاک کشت گردید. رطوبت خاک گلدان‌ها طی دوره آزمایش از طریق وزنی تقریباً در حد ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) نگه داشته شد. گلدان‌ها تا مرحله برداشت در گلخانه با رعایت شرایط آبیاری مورد نیاز نگهداری شدند.

مدیریت کودی بر اساس آزمون خاک انجام شد (٦). برای تعیین وزن خشک اندام هوایی گیاه، اندام هوایی نعناع از سطح خاک جدا و به مدت ٤٨ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون، خشک و سپس توسط ترازو با دقت دو رقم اعشار توزین شد. در انتهای مرحله رسیدگی، نیتروژن اندام هوایی بعد از هضم خشک نمونه‌ها توسط روش کجلدال (٤) قرائت گردید. مقادیر کلروفیل a و b به روش آرنون (۷) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد. میزان کلروفیل و شمار برگ و سطح برگ (روش وزنی) و میزان عملکرد ریشه و اندام هوایی و جذب نیتروژن در گیاه اندازه‌گیری گردید. جذب نیتروژن از حاصل‌ضرب غلظت نیتروژن (روش کجلدال) در عملکرد گیاه به‌دست آمد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح پنج درصد و ترسیم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

طیف FT-IR هیدروژل در شکل ۱ نشان داده شده است. پیک‌های ناحیه cm^{-1} ۳۳٤۰ و ۳۱٦۳ مربوط به ارتعاش‌های کششی گروه آمین (N-H–)، پیک cm^{-1} ۲۹۸٦ مربوط به ارتعاشات کششی هیدروژن‌های آلیفاتیک (C-H)، دو پیک قوی در ناحیه cm^{-1} ۱۷۳٦ و cm^{-1} ۱٦۸۹ به‌ترتیب ارتعاش‌های کششی گروه‌های کربونیل کربوکسیلیک اسید و آمید، پیک قوی در ناحیه cm^{-1} ۱۳۲۵ که نشان‌دهنده پیک ارتعاش کششی گروه‌های آمین (C-N) و پیک قوی در ناحیه cm^{-1} ۱۱٦۱ که مشخصه ارتعاش‌های کششی گروه‌های هیدروکسیل اتری (C-O) می‌باشند.



شکل ۱- طیف FT-IR.

Figure 1. FT-IR spectrum.

تأثیر هیدروژل و نیتروژن بر مقدار pH، نیترون و کربن آلی محلول خاک: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار تیمارها بر مقدار pH، نیتروژن خاک و کربن آلی محلول بود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر هیدروژل و نیتروژن بر pH، کربن آلی محلول و نیتروژن خاک.

Table 2. Analysis of variance of hydrogel and nitrogen effect on pH, dissolve organic carbon and soil nitrogen.

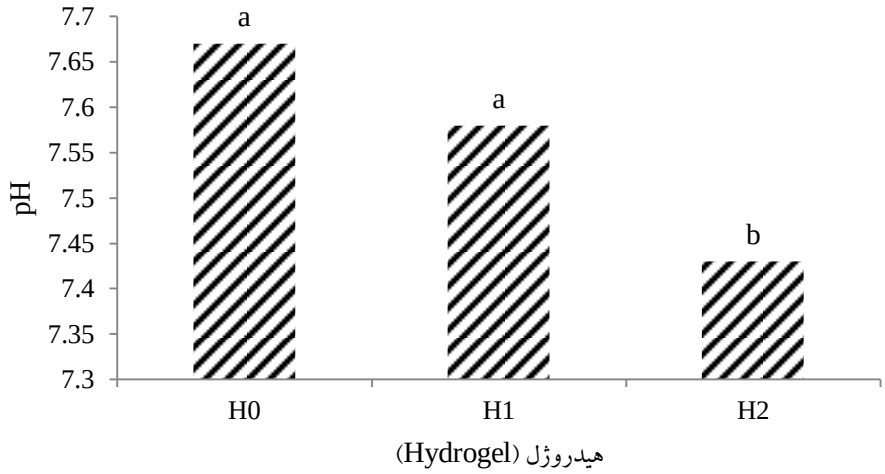
منبع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean Square		
		pH	نیتروژن خاک Soil nitrogen	کربن آلی محلول Dissolve organic carbon
هیدروژل Hydrogel	2	0.134^{**}	0.0002^{**}	14.38^{**}
نیتروژن Nitrogen	2	0.007^{ns}	0.0006^{**}	12.15^{**}
هیدروژل * نیتروژن Hydrogel * Nitrogen	4	0.002^{ns}	0.000007^{*}	0.04^{ns}
خطا Error	18	0.002	0.000002	0.44
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)	-	0.72	3.29	4.07

** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱، * معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ns غیرمعنی‌دار

** is significant at 1%, * is significant at 5%, ns is nonsignificant

pH خاک: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر هیدروژل بر pH خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). هیدروژل، pH خاک را در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد هیدروژل) به‌طور معنی‌داری کاهش داد (شکل ۲). هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی بیش‌ترین تأثیر را بر کاهش pH خاک داشت (شکل ۲).

انحلال هیدروژل می‌تواند باعث کاهش pH خاک شود، به این صورت که هیدروژل به سرعت با خاک وارد واکنش شده و در نتیجه با ایجاد شرایط اسیدی، pH خاک را کاهش می‌دهند. درواقع هیدروژل به دلیل داشتن گروه‌های عاملی کربوکسیلی و آزادسازی هیدروژن آن‌ها در محیط خاک باعث کاهش pH خاک می‌شود.



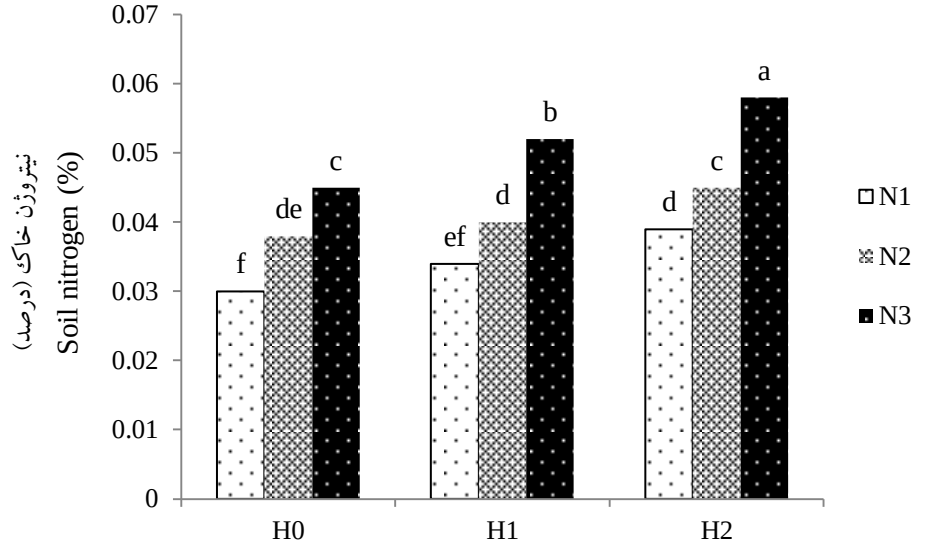
شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر هیدروژل بر pH خاک.

H_0: شاهد، H_1: ۰/۰۰۵ درصد وزنی هیدروژل و H_2: ۰/۰۱ درصد وزنی هیدروژل.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 2. Mean comparison effect of treatments on soil pH.
H_0: Control, H_1: Hydrogel (0.005%), H_2: Hydrogel (0.01%).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test (P≤0.05).

نیتروژن خاک: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی هیدروژل و نیتروژن بر نیتروژن خاک در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). هم‌چنین، نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل هیدروژل و نیتروژن بر نیتروژن خاک در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). هیدروژل و نیتروژن، نیتروژن خاک را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ۳). هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی و کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش نیتروژن خاک داشتند (شکل ۳). ژلکود نیتروژن علاوه‌بر ایجاد محیطی مناسب برای فعالیت ریشه و ریزجانداران سبب آزادسازی نیتروژن در خاک می‌شود. به گونه‌ای که بیش‌ترین مقدار نیتروژن در خاک تیمار شده با هیدروژل (۰/۰۱ درصد وزنی) و کود شیمیایی اوره (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل هیدروژل و اوره بر نیتروژن خاک.

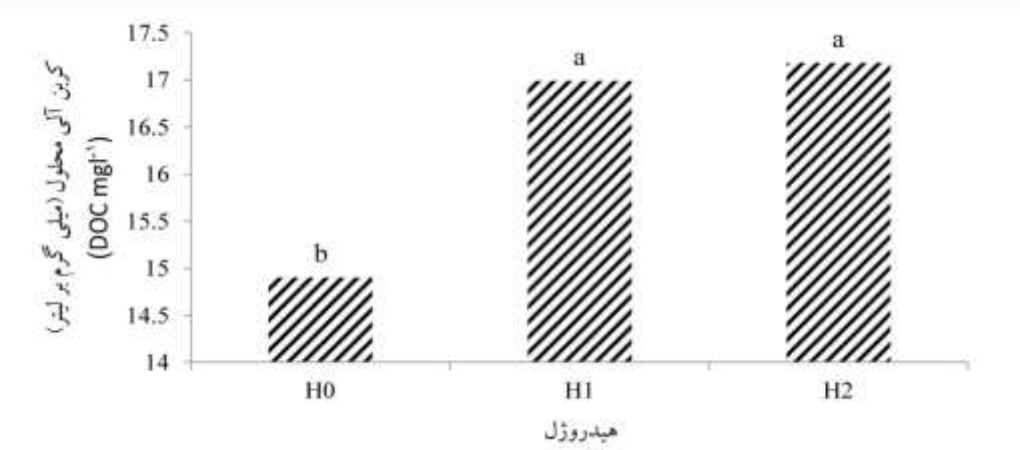
H_0: شاهد، H_1: ۰/۰۰۵ درصد وزنی هیدروژل و H_2: ۰/۰۱ درصد وزنی هیدروژل. N_1: کود شیمیایی اوره به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، N_2: کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و N_3: کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 3. Mean comparison interaction effect of hydrogel and urea on soil nitrogen.
H_0: control, H_1: Hydrogel (0.005%), H_2: Hydrogel (0.01%), N_1: Chemical fertilizer of Urea (100 Kg/ha), N_2: Chemical fertilizer of Urea (200 Kg/ha), N_3: Chemical fertilizer of Urea (300 Kg/ha).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test (P≤0.05).

کربن آلی محلول خاک: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی هیدروژل و نیتروژن بر کربن آلی محلول خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). هیدروژل، کربن آلی محلول خاک را در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد هیدروژل) به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ٤). هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش کربن آلی محلول خاک داشت. با این وجود تفاوت معنی داری بین هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی با هیدروژل به مقدار ۰/۰۵ درصد وزنی وجود نداشت (شکل ٤). هم‌چنین، نیتروژن از منبع کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش کربن آلی محلول خاک داشت (شکل ۵).

با توجه به تحریک ریشه توسط هیدروژل و کود شیمیایی اوره، و افزایش ترشحات ریشه‌ای (۸ و ۹) و مواد آلی (۱۰) و افزایش فعالیت ریزجانداران میزان کربن آلی محلول خاک افزایش می‌یابد. از طرف دیگر بسته به نوع گیاه، ریشه گیاهان ٦۰-۳۰ درصد کربن خالص فتوسنتز را دریافت کرده که حدود ۲۰ درصد آن را به صورت ترشحات به ناحیه ریزوسفر آزاد می‌کند (۱۱). به نظر می‌رسد که هیدروژل با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند تخلخل و رطوبت، بستر مناسبی برای فعالیت ریشه و میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌کنند. به‌علاوه افزایش فعالیت ریشه و میکروارگانیسم‌ها سبب افزایش مقدار کربن آلی خاک می‌شود. لی و ژانگ (۲۰۱۳) اعلام کردند در رابطه با افزایش تخلخل کل خاک در حضور سوپرجاذب می‌توان چنین بیان کرد که فرآیند تورم پلیمر در حضور آب منجر به افزایش حجم خاک، کاهش چگالی و افزایش تخلخل می‌گردد (۱۲).

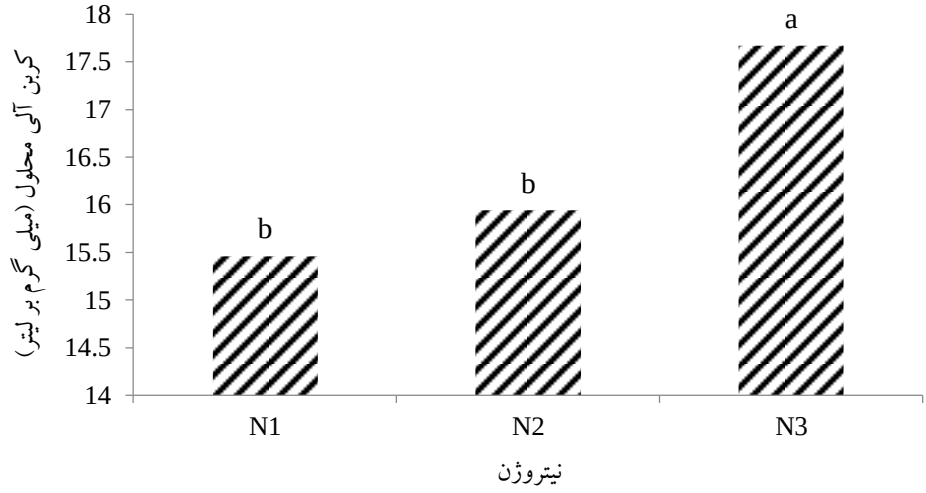


شکل ٤- مقایسه میانگین تأثیر هیدروژل بر کربن آلی محلول خاک.

H_0: شاهد، H_1: ۰/۰۰۵ درصد وزنی هیدروژل و H_2: ۰/۰۱ درصد وزنی هیدروژل.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 4. Mean comparison effect of hydrogel on dissolve organic carbon.
H_0: control, H_1: Hydrogel (0.005%), COM5: Hydrogel (0.01%).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test (P≤0.05).



شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر نیتروژن بر کربن آلی محلول خاک.

N_1: کود شیمیایی اوره به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، N_2: کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و N_3: کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 5. Mean comparison effect of urea on dissolve organic carbon.
N_1: Chemical fertilizer of Urea (100 Kg/ha), N_2: Chemical fertilizer of Urea (200 Kg/ha), N_3: Chemical fertilizer of Urea (300 Kg/ha).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test (P≤0.05).

تأثیر هیدروژل و نیتروژن بر عملکرد نعناع: نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر عملکرد ریشه و اندام هوایی نعناع در (جدول ۳) ارائه شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر هیدروژل و نیتروژن بر عملکرد نعناع.

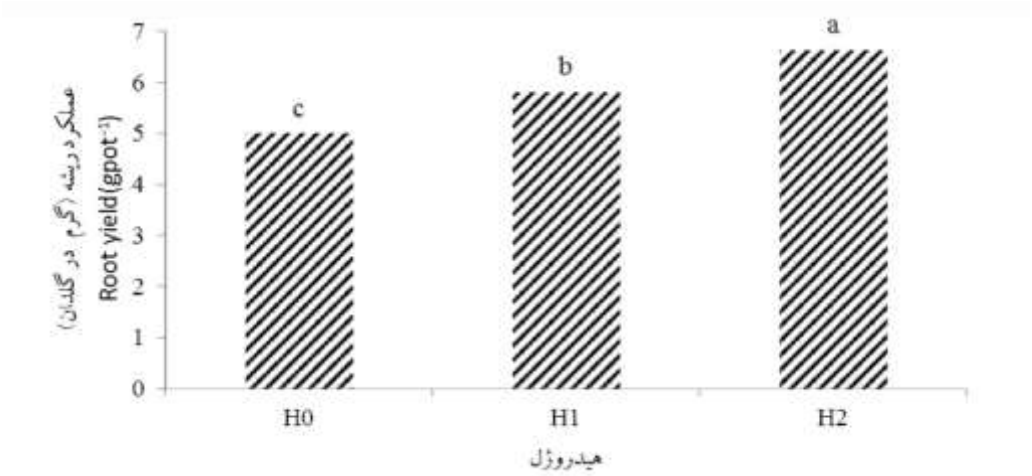
Table 3. Analysis of variance of hydrogel and nitrogen effect on *Mentha* yield.

منبع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean Square	
		عملکرد ریشه Root yield	عملکرد اندام هوایی Shoot yield
هیدروژل Hydrogel	2	5.99^{**}	26.84^{**}
نیتروژن Nitrogen	2	1.53^{*}	2.08^{ns}
هیدروژل * نیتروژن Hydrogel * Nitrogen	4	0.18^{ns}	0.25^{ns}
خطا Error	18	0.35	0.74
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)	-	10.27	8.01

** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱، * معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ns غیرمعنی‌دار

** is significant at 1%, * is significant at 5%, ns is nonsignificant

عملکرد ریشه نعناع: نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ نشان می‌دهد که اثر اصلی هیدروژل و نیتروژن بر عملکرد ریشه نعناع معنی‌دار بود. هیدروژل، عملکرد ریشه نعناع را در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد هیدروژل) به‌طور معنی‌داری (۱٦ تا ۳۲ درصد) افزایش داد (شکل ٦). هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش عملکرد ریشه نعناع داشت (شکل ٦). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که نیتروژن از منبع کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش عملکرد ریشه نعناع داشت (شکل ۷).

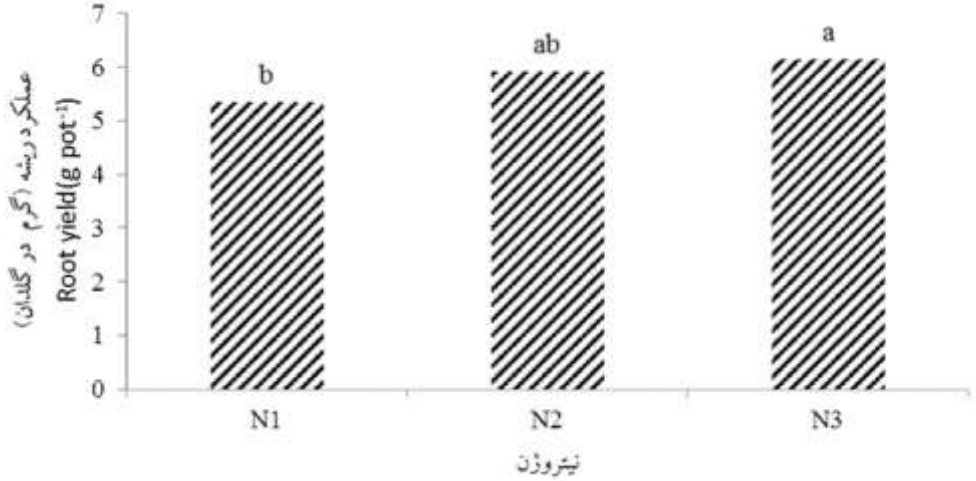


شکل ٦- مقایسه میانگین تأثیر هیدروژل بر عملکرد ریشه نعناع.

H_0: شاهد، H_1: ۰/۰۰۵ درصد وزنی هیدروژل و H_2: ۰/۰۱ درصد وزنی هیدروژل.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 6. Mean comparison effect of hydrogel on root yield.
H_0: control, H_1: Hydrogel (0.005%), H_2: Hydrogel (0.01%).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test (P≤0.05).



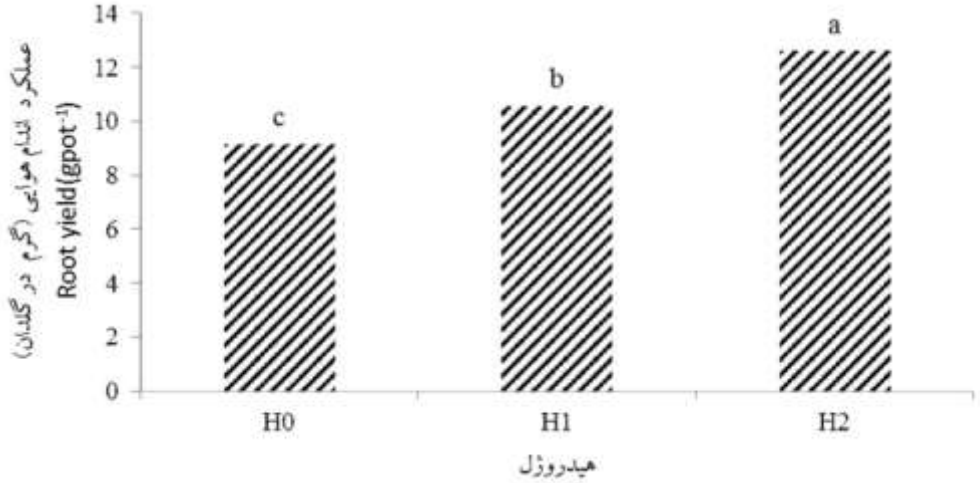
شکل ۷- مقایسه میانگین تأثیر نیتروژن بر عملکرد ریشه نعناع.

N_1: کود شیمیایی اوره به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، N_2: کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و N_3: کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 7. Mean comparison effect of hydrogel on root yield.
N_1: Chemical fertilizer of Urea (100 Kg/ha), N_2: Chemical fertilizer of Urea (200 Kg/ha), N_3: Chemical fertilizer of Urea (300 Kg/ha).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test (P≤0.05).

عملکرد اندام هوایی نعناع: نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ نشان می‌دهد که اثر هیدروژل بر عملکرد اندام هوایی نعناع معنی‌دار بود. هیدروژل، عملکرد اندام هوایی نعناع را در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد هیدروژل) به‌طور معنی‌داری (۱۵ تا ۳۷ درصد) افزایش داد (شکل ۸). هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش عملکرد اندام هوایی نعناع داشت (شکل ۸).



شکل ۸- مقایسه میانگین تأثیر هیدروژل بر عملکرد اندام هوایی نعناع.

H_0: شاهد، H_1: ۰/۰۰۵ درصد وزنی هیدروژل و H_2: ۰/۰۱ درصد وزنی هیدروژل.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 8. Mean comparison effect of hydrogel on shoot yield.
H_0: control, H_1: Hydrogel (0.005%), H_2: Hydrogel (0.01%).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test ($P \leq 0.05$).

ضیایی و همکاران (۲۰۱٦) بیان می‌دارند سوپرجاذب با نگهداشت آب در ناحیه ریشه باعث بازماندن روزنه‌ها به‌مدت طولانی‌تر، تثبیت مناسب دی‌اکسیدکربن، افزایش وزن اندام هوایی و به تبع افزایش عملکرد گیاه و کارآیی مصرف آب می‌شود (۱۳). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که به حداکثر رساندن محصول گیاهان یکی از برتری‌های اصلی سوپرجاذب‌ها محسوب می‌شود (۱٤).

تأثیر هیدروژل و نیتروژن بر برخی ویژگی‌های رشدی نعناع: نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آزمایش بر برخی ویژگی‌های رشدی نعناع در جدول ٤ ارائه شده است.

جدول ٤- تجزیه واریانس تأثیر هیدروژل و نیتروژن بر برخی ویژگی‌های نعناع.

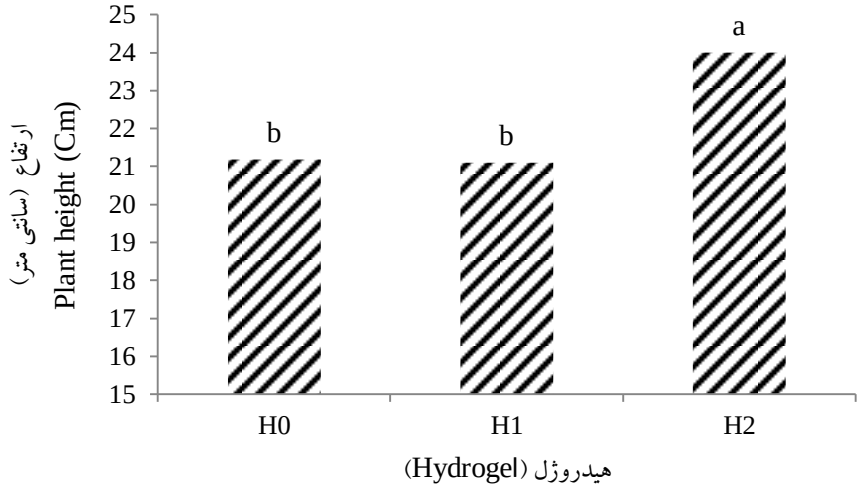
Table 4. Analysis of variance of hydrogel and nitrogen effect on some characteristics of *Mentha* yield.

منبع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean Square		
		ارتفاع Plant height	سطح برگ Leaf area	تعداد برگ Leaf number
هیدروژل Hydrogel	2	20.32^{**}	542398.84^{**}	15007^{**}
نیتروژن Nitrogen	2	3.82^{*}	69011.93^{**}	3888.11^{**}
هیدروژل * نیتروژن Hydrogel* Nitrogen	4	1.19^{ns}	20716.39^{*}	1022.44^{**}
خطا Error	18	0.77	6382.51	199.77
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)	-	3.95	5.35	5.62

** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱، * معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ns غیرمعنی‌دار

** is significant at 1%, * is significant at 5%, ns is nonsignificant

ارتفاع گیاه: نتایج تجزیه واریانس در جدول ٤ نشان می‌دهد که اثر اصلی هیدروژل و نیتروژن بر ارتفاع گیاه نعناع معنی‌دار بود. هیدروژل، ارتفاع نعناع را در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد هیدروژل) به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۹). هیدروژل به مقدار ۰/۰۰۵ درصد وزنی بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش ارتفاع نعناع داشت (شکل ۹). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که نیتروژن از منبع کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش (۱۰ درصد) ارتفاع نعناع داشت (شکل ۱۰). به نظر می‌رسد که هیدروژل با تغییر شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و هم‌چنین تأثیر بر pH و قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک سبب افزایش ارتفاع گیاه شده است. به‌علاوه هیدروژل با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند تخلخل و رطوبت، بستر مناسبی برای فعالیت ریشه و میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌کنند. به‌علاوه افزایش فعالیت ریشه و میکروارگانیسم‌ها سبب افزایش مقدار کربن آلی خاک می‌شود. کود اوره به طور معنی‌داری سبب افزایش ارتفاع بوته و تعداد برگ در ساقه نعناع فلفلی می‌گردد که می‌تواند ناشی از افزایش جذب نیتروژن باشد زیرا این عنصر با تأثیر بر فرآیند فتوسنتز و تقسیم سلولی منجربه ازدیاد رشد رویشی و سطح سبز گیاه می‌شود (۱۵).

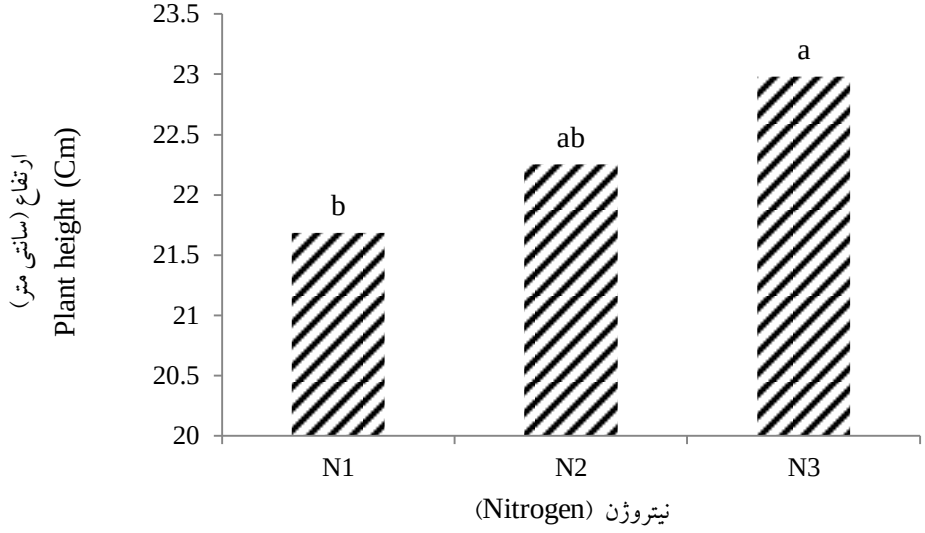


شکل ۹- مقایسه میانگین تأثیر هیدروژل بر ارتفاع نعناع.

H_0: شاهد، H_1: ۰/۰۰۵ درصد وزنی هیدروژل و H_2: ۰/۰۱ درصد وزنی هیدروژل.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 9. Mean comparison effect of hydrogel on plant height.
H_0: control, H_1: Hydrogel (0.005%), H_2: Hydrogel (0.01%).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test (P≤0.05).



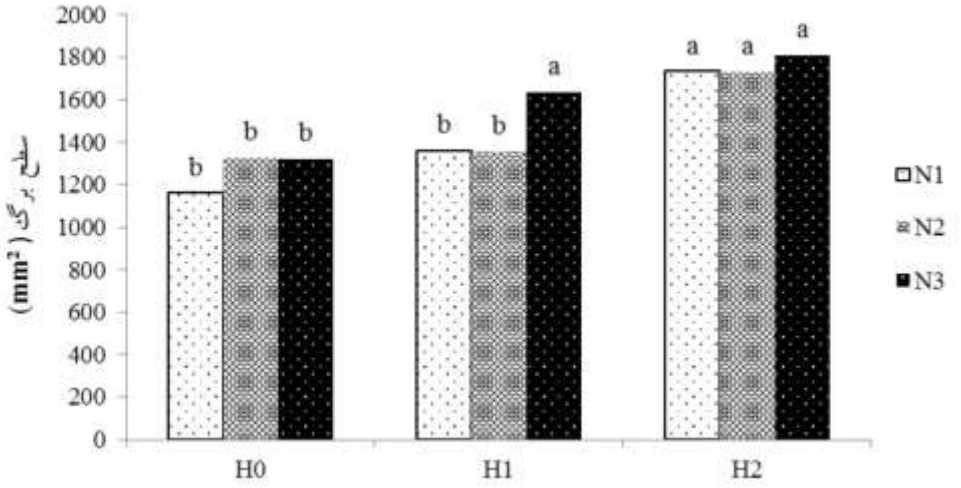
شکل ۱۰- مقایسه میانگین تأثیر نیتروژن بر ارتفاع نعناع.

N_1: کود شیمیایی اوره به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، N_2: کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و N_3: کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 10. Mean comparison effect of nitrogen on plant height.
N_1: Chemical fertilizer of Urea (100 Kg/ha), N_2: Chemical fertilizer of Urea (200 Kg/ha), N_3: Chemical fertilizer of Urea (300 Kg/ha).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test (P≤0.05).

سطح برگ نعناع: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر اصلی هیدروژل و نیتروژن بر سطح برگ نعناع در سطح یک درصد معنی‌دار بود(جدول ٤). هم‌چنین، نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل هیدروژل و نیتروژن بر سطح برگ نعناع در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). هیدروژل و نیتروژن، سطح برگ نعناع را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ١١). ژلکود ٠/٠١ درصد وزنی در هر سه سطح و ژلکود ٠/٠٠٥ درصد وزنی و کود شیمیایی اوره به مقدار ٣٠٠ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش سطح برگ نعناع داشتند (شکل ١١).



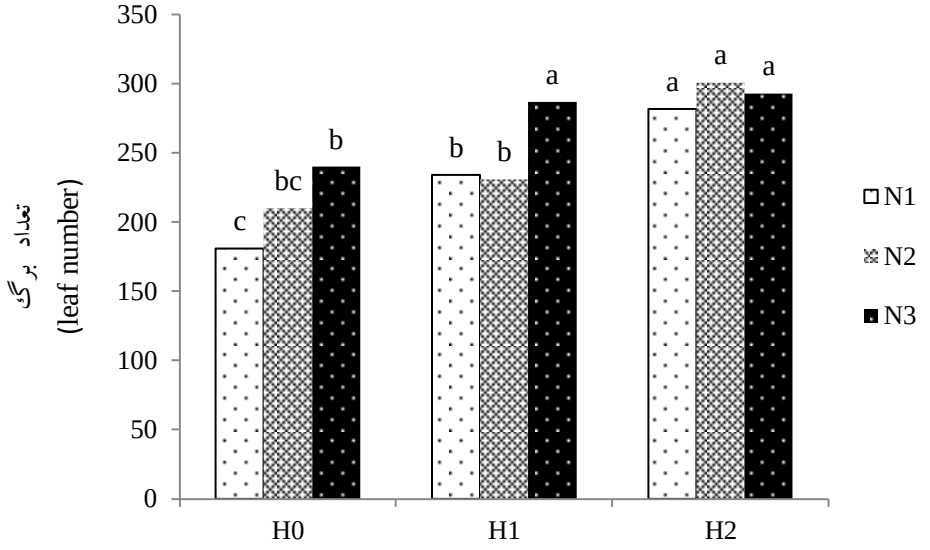
شکل ١١- مقایسه میانگین اثر متقابل هیدروژل و نیتروژن بر سطح برگ نعناع.

H_0: شاهد، H_1: ٠/٠٠٥ درصد وزنی هیدروژل و H_2: ٠/٠١ درصد وزنی هیدروژل. N_1: کود شیمیایی اوره به مقدار ١٠٠ کیلوگرم در هکتار، N_2: کود شیمیایی اوره به مقدار ٢٠٠ کیلوگرم در هکتار و N_3: کود شیمیایی اوره به مقدار ٣٠٠ کیلوگرم در هکتار.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ٥٪ می‌باشند.

Figure 11. Mean comparison interaction effect of hydrogel and nitrogen on leaf area.
H_0: control, H_1: Hydrogel (0.005%), H_2: Hydrogel (0.01%), N_1: Chemical fertilizer of Urea (100 Kg/ha), N_2: Chemical fertilizer of Urea (200 Kg/ha), N_3: Chemical fertilizer of Urea (300 Kg/ha).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test (P≤0.05).

تعداد برگ نعناع: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر اصلی هیدروژل و نیتروژن بر شمار برگ نعناع در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). هم‌چنین، نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل هیدروژل و نیتروژن بر شمار برگ نعناع در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). هیدروژل و نیتروژن، شمار برگ نعناع را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ١٢). هیدروژل به مقدار ٠/٠١ درصد وزنی و کود شیمیایی اوره در هر سه سطح و هیدروژل به مقدار ٠/٠٠٥ درصد وزنی و کود شیمیایی اوره به مقدار ٣٠٠ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش شمار برگ نعناع داشتند (شکل ١٢).



شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثر متقابل هیدروژل و نیتروژن بر تعداد برگ نعناع.

H_0: شاهد، H_1: ۰/۰۰۵ درصد وزنی هیدروژل و H_2: ۰/۰۱ درصد وزنی هیدروژل. N_1: کود شیمیایی اوره به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، N_2: کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و N_3: کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار. حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 12. Mean comparison interaction effect of hydrogel and nitrogen on leaf number. H_0: control, H_1: Hydrogel (0.005%), H_2: Hydrogel (0.01%), N_1: Chemical fertilizer of Urea (100 Kg/ha), N_2: Chemical fertilizer of Urea (200 Kg/ha), N_3: Chemical fertilizer of Urea (300 Kg/ha). Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test ($P \leq 0.05$).

نیتروژن سبب افزایش تعداد شاخه و برگ در گیاه نعناع فلفلی می‌شود و علاوه بر تعداد برگ، سطح برگ نیز تحت‌تأثیر کود نیتروژنه قرار می‌گیرد (۱٦). دلایل اثر نیتروژن بر افزایش رشد برگ را به نقش مثبت این عنصر در پدیده فتوسنتز از طریق شرکت در ساختار کلروفیل و در نهایت تولید کربوهیدرات‌های لازم جهت سوخت و ساز و رشد و همین‌طور نقش آن در ساختار ماکرومولکول‌هایی مانند پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه و اسیدهای نوکلئیک نسبت داده‌اند (۱٦).

تأثیر هیدروژل و نیتروژن بر رنگدانه‌های فتوسنتزی: نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آزمایش بر کلروفیل نعناع در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- تجزیه واریانس هیدروژل و نیتروژن بر رنگدانه‌های فتوسنتزی.

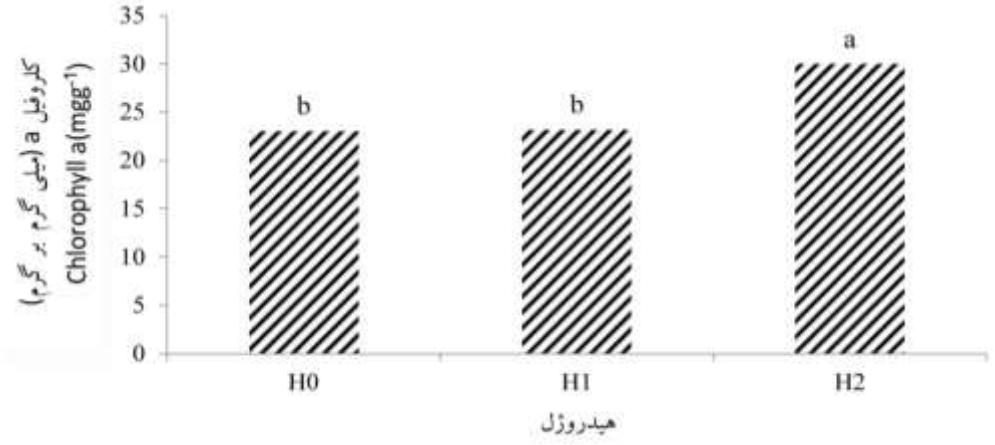
Table 5. Analysis of variance of hydrogel and nitrogen effect on Chlorophyll.

منبع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean Square	
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b
هیدروژل Hydrogel	2	133.49**	138.38**
نیتروژن Nitrogen	2	28.53**	20.87**
هیدروژل * نیتروژن Hydrogel* Nitrogen	4	5.22ns	8.52**
خطا Error	18	4.54	0.93
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)	-	8.11	3.86

** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱، * معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ns غیرمعنی‌دار

** is significant at 1%, * is significant at 5%, ns is nonsignificant

کلروفیل a: نتایج تجزیه واریانس درجدول ۵ نشان می‌دهد که اثر اصلی هیدروژل و نیتروژن بر میزان کلروفیل a نعناع معنی‌دار بود. هیدروژل، میزان کلروفیل a نعناع را در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد هیدروژل) به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۱۳). هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش میزان کلروفیل a نعناع داشت (شکل ۱۳). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که نیتروژن از منبع کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش میزان کلروفیل a نعناع داشت (شکل ١٤).

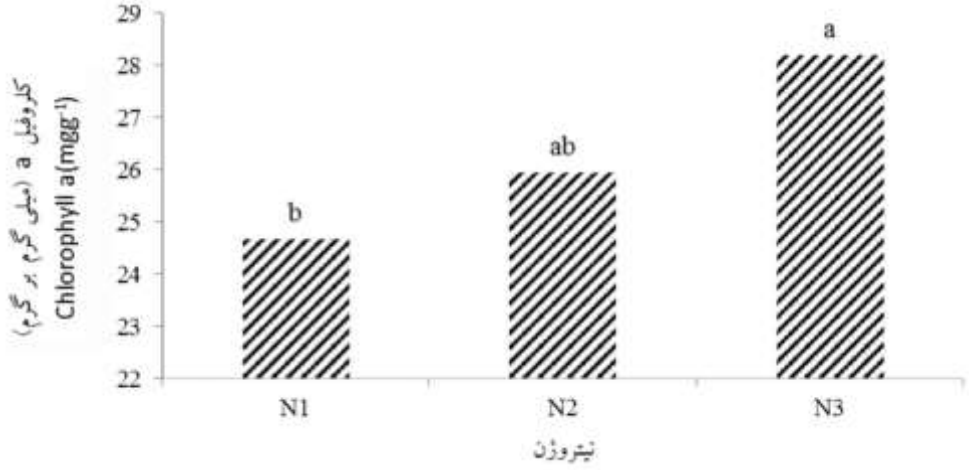


شکل ۱۳- مقایسه میانگین تأثیر هیدروژل بر کلروفیل a.

H_0: شاهد، H_1: ۰/۰۰۵ درصد وزنی هیدروژل و H_2: ۰/۰۱ درصد وزنی هیدروژل.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 13. Mean comparison effect of nitrogen on Chlorophyll a.
H_0: control, H_1: Hydrogel (0.005%), H_2: Hydrogel (0.01%).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test (P≤0.05).



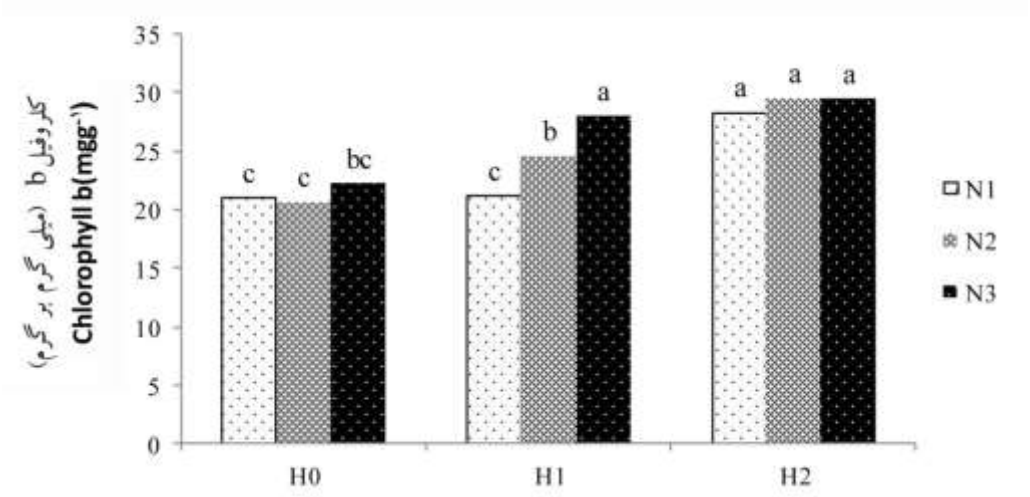
شکل ١٤- مقایسه میانگین تأثیر نیتروژن بر کلروفیل a.

N_1: کود شیمیایی اوره به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، N_2: کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و N_3: کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 14. Mean comparison effect of nitrogen on Chlorophyll a.
N_1: Chemical fertilizer of Urea (100 Kg/ha), N_2: Chemical fertilizer of Urea (200 Kg/ha), N_3: Chemical fertilizer of Urea (300 Kg/ha).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test (P≤0.05).

کلروفیل b: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر اصلی هیدروژل و نیتروژن بر میزان کلروفیل b نعناع در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول۵). هم‌چنین، نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل هیدروژل و نیتروژن بر میزان کلروفیل b نعناع در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). هیدروژل و نیتروژن، کلروفیل b نعناع را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ١٤). هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی و کود شیمیایی اوره در هر سه سطح و هیدروژل به مقدار ۰/۰۰۵ درصد وزنی و کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش میزان کلروفیل b نعناع داشتند (شکل ١٤).



شکل ۱۵- مقایسه میانگین اثر متقابل هیدروژل و نیتروژن بر کلروفیل b.

H_0: شاهد، H_1: ۰/۰۰۵ درصد وزنی هیدروژل و H_2: ۰/۰۱ درصد وزنی هیدروژل. N_1: کود شیمیایی اوره به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، N_2: کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و N_3: کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 15. Mean comparison interaction effect of hydrogel and nitrogen on Chlorophyll b.
H_0: control, H_1: Hydrogel (0.005%), H_2: Hydrogel (0.01%), N_1: Chemical fertilizer of Urea (100 Kg/ha), N_2: Chemical fertilizer of Urea (200 Kg/ha), N_3: Chemical fertilizer of Urea (300 Kg/ha).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test (P≤0.05).

هم‌چنین سوپر جاذب به‌عنوان یک ماده جذب‌کننده آب و سایر محلول‌ها عمل می‌کند، در جلوگیری از شستشوی عناصر غذایی از اطراف ریشه گیاه اثر مثبت داشته و باعث افزایش محتوای کلروفیل برگ می‌شود (۱۷).

اثر هیدروژل و نیتروژن بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی نعناع: نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آزمایش بر غلظت و جذب نیتروژن و درصد اسانس نعناع در جدول ٦ ارائه شده است.

جدول ٦- تجزیه واریانس تأثیر هیدروژل و نیتروژن بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی نعناع.

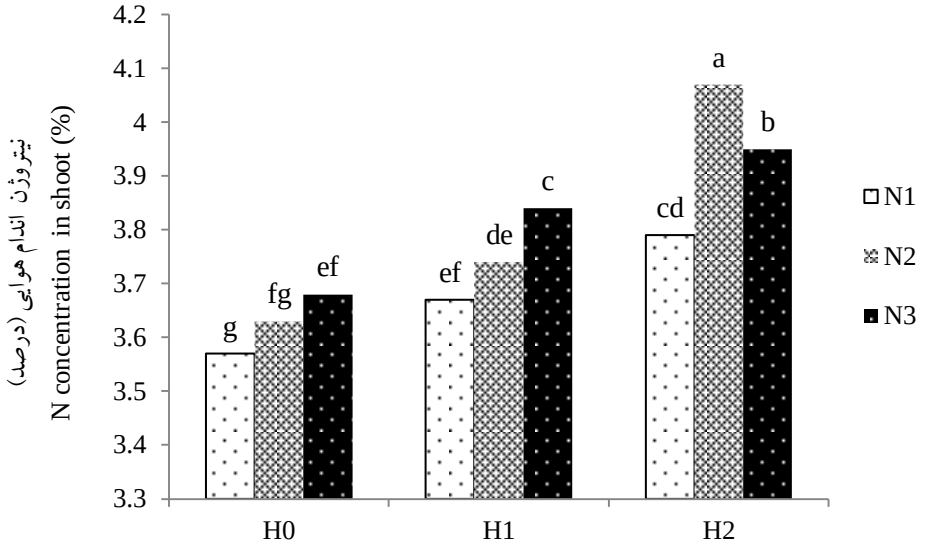
Table 6. Analysis of variance of hydrogel and nitrogen effect on some quality characteristics of *Mentha*.

منبع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean Square			
		غلظت نیتروژن اندام هوایی N concentration in shoot	جذب نیتروژن اندام هوایی N uptake in shoot	درصد اسانس Essence	عملکرد اسانس Essence yield
هیدروژل Hydrogel	2	0.21**	0.06**	0.48**	0.01**
نیتروژن Nitrogen	2	0.059**	0.005*	0.16**	0.002**
هیدروژل * نیتروژن Hydrogel* Nitrogen	4	0.015**	0.0001ns	0.03**	0.0001ns
خطا Error	18	0.0006	0.001	0.002	0.0003
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)	-	0.65	8.18	2	11.61

** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱، * معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ns غیرمعنی‌دار

** is significant at 1%, * is significant at 5%, ns is nonsignificant

غلظت نیتروژن در اندام هوایی نعناع: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر اصلی هیدروژل و نیتروژن بر غلظت نیتروژن اندام هوایی نعناع در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٦). هم‌چنین، نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل هیدروژل و نیتروژن بر غلظت نیتروژن اندام هوایی نعناع در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٦). هیدروژل و نیتروژن، غلظت نیتروژن اندام هوایی نعناع را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ١٦). هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی و کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش غلظت نیتروژن اندام هوایی نعناع داشتند. این رخداد به علت افزایش قابلیت دسترسی نیتروژن و در نتیجه افزایش جذب آن توسط گیاه نعناع فلفلی بوده است (شکل ١٦).

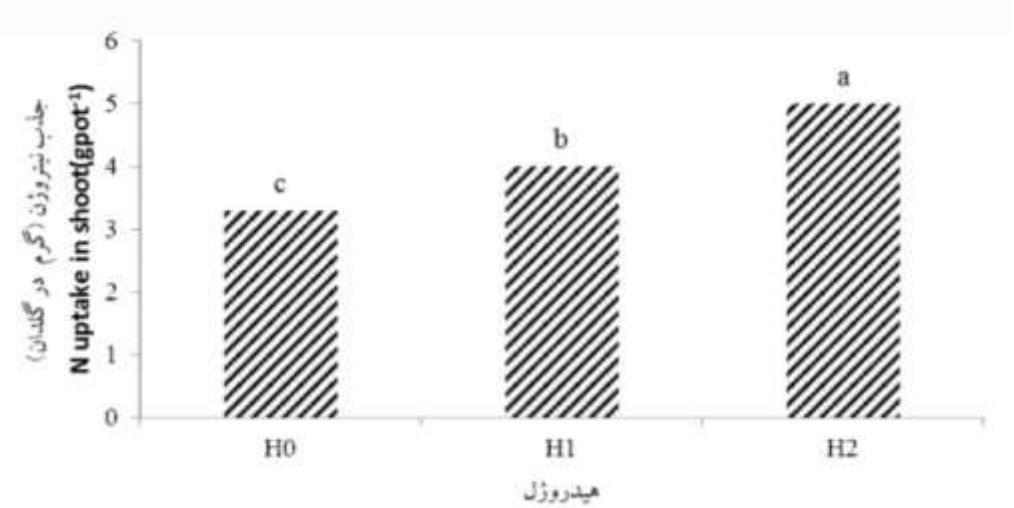


شکل ١٦- مقایسه میانگین اثر متقابل هیدروژل و نیتروژن بر غلظت نیتروژن اندام هوایی نعناع.

H_0: شاهد، H_1: ۰/۰۰۵ درصد وزنی هیدروژل و H_2: ۰/۰۱ درصد وزنی هیدروژل. N_1: کود شیمیایی اوره به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، N_2: کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و N_3: کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار. حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 16. Mean comparison interaction effect of hydrogel and nitrogen on N concentration in shoot. H_0: control, H_1: Hydrogel (0.005%), H_2: Hydrogel (0.01%), N_1: Chemical fertilizer of Urea (100 Kg/ha), N_2: Chemical fertilizer of Urea (200 Kg/ha), N_3: Chemical fertilizer of Urea (300 Kg/ha). Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test ($P \leq 0.05$).

جذب نیتروژن در اندام هوایی نعناع: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر اصلی هیدروژل و نیتروژن بر جذب نیتروژن اندام هوایی نعناع در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٦). هیدروژل، جذب نیتروژن اندام هوایی نعناع را در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد هیدروژل) به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ١٧). هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش میزان جذب نیتروژن اندام هوایی نعناع داشت (شکل ١٧). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که نیتروژن از منبع کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش جذب نیتروژن اندام هوایی نعناع داشت (شکل ١٨).

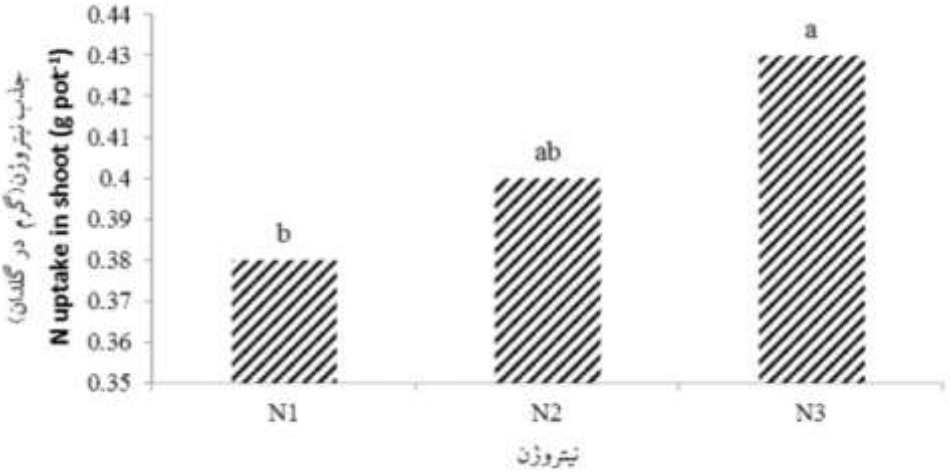


شکل ۱۷- مقایسه میانگین تأثیر هیدروژل بر جذب نیتروژن اندام هوایی نعناع.

H_0: شاهد، H_1: ۰/۰۰۵ درصد وزنی هیدروژل و H_2: ۰/۰۱ درصد وزنی هیدروژل.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 17. Mean comparison effect of hydrogel on N Uptake in shoot (g/pot).
H_0: control, H_1: Hydrogel (0.005%), H_2: Hydrogel (0.01%).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test (P≤0.05).



شکل ۱۸- مقایسه میانگین تأثیر نیتروژن بر جذب نیتروژن در اندام هوایی نعناع.

N_1: کود شیمیایی اوره به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، N_2: کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و N_3: کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار.

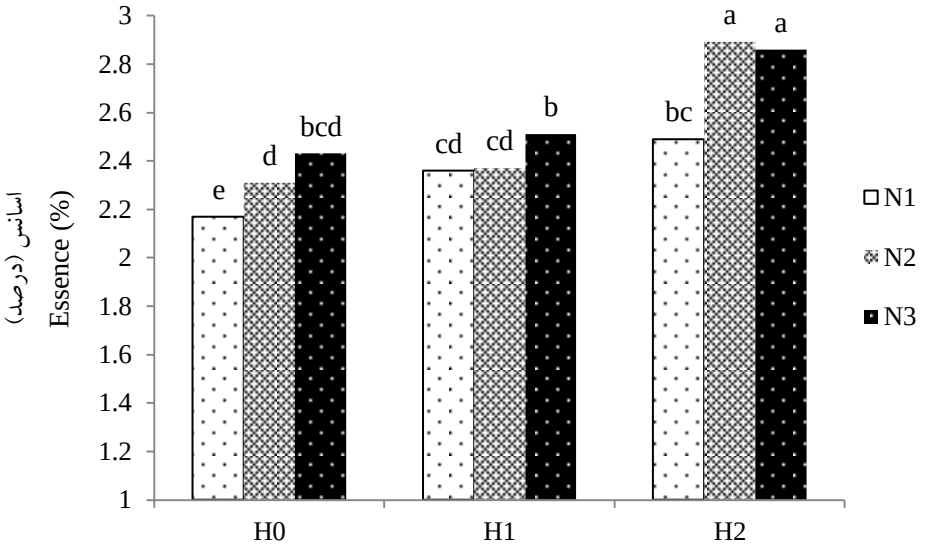
حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 18. Mean comparison effect of nitrogen on N Uptake in shoot (g/pot).
N_1: Chemical fertilizer of Urea (100 Kg/ha), N_2: Chemical fertilizer of Urea (200 Kg/ha), N_3: Chemical fertilizer of Urea (300 Kg/ha).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test (P≤0.05).

خاک تیمار شده با هیدروژل و نیتروژن غلظت بیش‌تری از نیتروژن خاک را در مقایسه با شاهد داشتند (شکل ۲)، که این رخداد با افزایش معنی‌دار غلظت و جذب نیتروژن در این تیمارها همراه بوده است. افزایش غلظت و جذب نیتروژن در نعناع کشت شده در تیمارهای هیدروژل و نیتروژن در مقایسه با شاهد می‌تواند به‌دلیل افزایش قابلیت دسترسی نیتروژن (شکل ۲) باشد.

به‌علاوه، ژلکود نیتروژن به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بیش‌ترین غلظت نیتروژن در خاک را به خود اختصاص داد که این رخداد با افزایش معنی‌دار غلظت و جذب نیتروژن نعناع در این تیمار همراه بوده است (شکل ۲).

درصد اسانس نعناع: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر اصلی هیدروژل و نیتروژن بر درصد اسانس نعناع در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٦). هم‌چنین، نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل هیدروژل و نیتروژن بر درصد اسانس نعناع در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٦). هیدروژل و نیتروژن، درصد اسانس نعناع را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ۱۹). هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی و کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (۱۱/۵ درصد افزایش) بیشترین تأثیر را بر افزایش درصد اسانس نعناع داشتند (شکل ۱۹).



شکل ۱۹- مقایسه میانگین اثر متقابل هیدروژل و نیتروژن بر درصد اسانس نعناع.

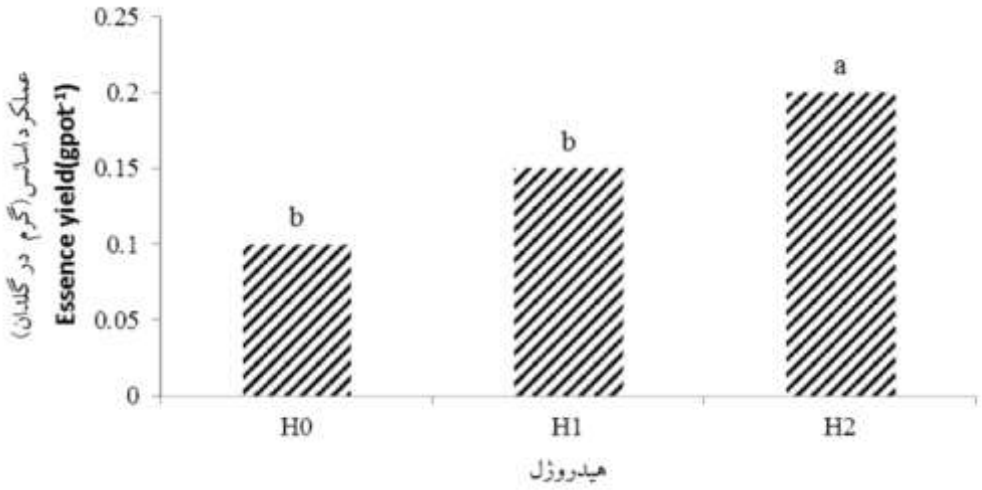
H_0: شاهد، H_1: ۰/۰۰۵ درصد وزنی هیدروژل و H_2: ۰/۰۱ درصد وزنی هیدروژل. N_1: کود شیمیایی اوره به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، N_2: کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و N_3: کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 19. Mean comparison interaction effect of hydrogel and nitrogen on Essence (%).
H_0: control, H_1: Hydrogel (0.005%), H_2: Hydrogel (0.01%), N_1: Chemical fertilizer of Urea (100 Kg/ha), N_2: Chemical fertilizer of Urea (200 Kg/ha), N_3: Chemical fertilizer of Urea (300 Kg/ha).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test ($P \leq 0.05$).

عملکرد اسانس نعناع: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر اصلی هیدروژل و نیتروژن بر عملکرد اسانس نعناع در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٦). هیدروژل، عملکرد اسانس نعناع را در مقایسه با تیمار شاهد (بدون کاربرد هیدروژل) به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۲۰). هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش عملکرد اسانس نعناع داشت (شکل ۲۰).

هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که نیتروژن از منبع کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش عملکرد اسانس نعناع داشت (شکل ۲۱). چنان‌چه در شکل ۱۹ مشاهده می‌شود که درصد اسانس در هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی و تیمار کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین مقدار بود.

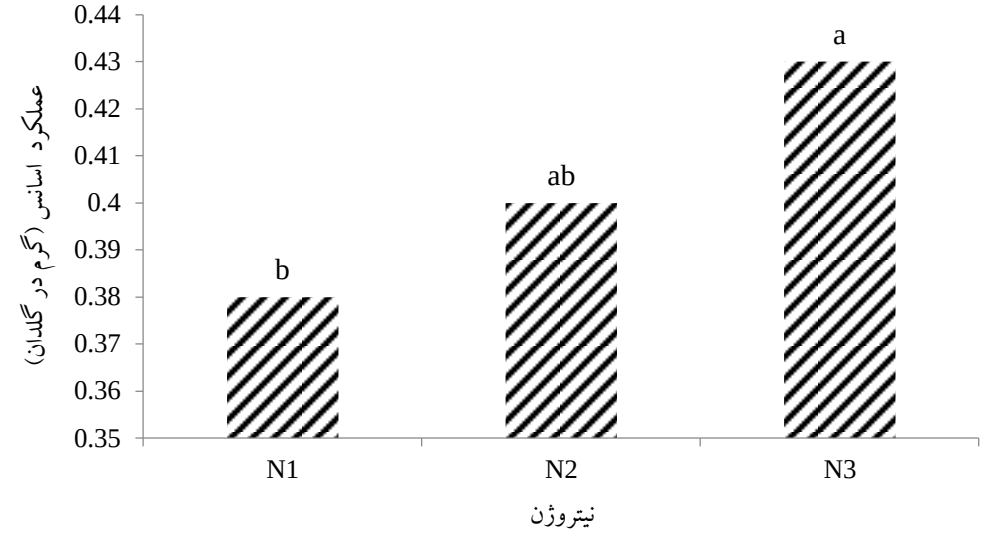


شکل ۲۰- مقایسه میانگین تأثیر هیدروژل بر عملکرد اسانس نعناع.

H_0: شاهد، H_1: ۰/۰۵درصد وزنی هیدروژل و H_2: ۰/۰۱ درصد وزنی هیدروژل.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 20. Mean comparison effect of hydrogel on N Uptake in shoot (g/pot).
H_0: control, H_1: Hydrogel (0.005%), H_2: Hydrogel (0.01%).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test (P≤0.05).



شکل ۲۱- مقایسه میانگین تأثیر نیتروژن بر عملکرد اسانس نعناع.

N_1: کود شیمیایی اوره به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، N_2: کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و N_3: کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Figure 21. Mean comparison effect of nitrogen on N Uptake in shoot (g/pot).
N_1: Chemical fertilizer of Urea (100 Kg/ha), N_2: Chemical fertilizer of Urea (200 Kg/ha), N_3: Chemical fertilizer of Urea (300 Kg/ha).
Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test ($P \leq 0.05$).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت هیدروژل و نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد، غلظت و جذب نیتروژن در گیاه نعناع بود. کاربرد هیدروژل و اوره می‌توانند نقش مفید و مؤثری در بهبود جذب نیتروژن و درصد اسانس در گیاه دارویی نعناع داشته باشند. تیمار هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی و کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با شاهد، شرایط مناسب‌تری را در خاک مهیا کرده و از طریق جذب نیتروژن توسط ریشه نعناع، موجب افزایش رشد و نمو گیاه شد. بیش‌ترین تأثیر تیمارها بر افزایش غلظت نیتروژن اندام هوایی و درصد اسانس نعناع به ترتیب مربوط به هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی و کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و هیدروژل به مقدار ۰/۰۱ درصد وزنی و کود شیمیایی اوره به مقدار ۳۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. با توجه به نتایج این آزمایش، می‌توان عنوان کرد که افزایش مقدار نیتروژن در گیاه نعناع ناشی از افزایش مقدار نیتروژن خاک و در نتیجه جذب بهتر و تأثیرگذاری بر عملکرد بوده است. به‌دلیل مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی، می‌توان از هیدروژل به همراه کود شیمیایی استفاده کرد.

منابع

1. Bryan, C., Fitch, S. K., Arosemena, J., & Theseira, G.W. (1989). Effects of a conditioner on soil physical properties. *Soil Sciences Society American Journal*, 53, 1536-1539.
2. Allahdadi, I., Yazdani, F., Akbar, G. A., & Behbahani, S. M. (2005). Evaluation of the effect of different rates of superabsorbent polymer (Superab A200) on soybean yield and yield components (Glysin max l.) 3rd Specialized Training Course and Seminar on the Application of Superabsorbent Hydrogel in Agriculture. *Iran*. (20-32 Pp). [In Persian]
3. Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle size analysis, hydrometer method. P 404-408, In A. Klute et al (eds). Methods of soil analysis. 2nd ed. Part 1. America Society of Agronomy, Madison.
4. Page, A. L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (1982). Methods of Soil Analysis. Part II, 2nd Ed., American Society of Agronomy, Madison.
5. Cheng, D., Liu, Y., Yang, G., & Zhang, A. (2018). Water-and fertilizer-integrated hydrogel derived from the polymerization of acrylic acid and urea as a slow-release N fertilizer and water retention in agriculture. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66 (23), 5762-5769.
6. Malakouti, M. J., & Gheibi, M. N. (2000). Determination of critical levels of nutrients in soil, plant and fruit for the quality and yield improvements in strategic crops of Iran. Pp. 92. High Concoil for Appropriate Use of Pesticides and Chemical Fertilizers, Ministry of Agriculture. [In Persian]
7. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy journal*. J. 23, 112-121.
8. Kurepa, J., Paunesku, T., Vogt, S., Arora, H., Rabatic, B. M., Lu, J., & Smalle, J. A. (2010). Uptake and distribution of ultrasmall anatase TiO_2 Alizarin red S nanoconjugates in Arabidopsis thaliana. Nano Letters, 10 (7), 2296-2302.
9. Peralta-Videa, J. R., Hernandez-Viezcas, J. A., Zhao, L., Diaz, B. C., Ge, Y., Priester, J. H., Ann Holden, P., & Gardea-Torresdey, J. L. (2014). Cerium dioxide and zinc oxide nanoparticles alter the nutritional value of soil cultivated soybean plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 80, 128-135.
10. Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 233-266.
11. Hinsinger, P., Plassard, C., & Jaillard, B. (2006). Rhizosphere: a new frontier for soil biogeochemistry. *Journal of Geochemical Exploration*, 88(1), 210-213.
12. Lei, O., & Zhang, R. (2013). Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties. *Journal of Soils and Sediments*, 13, 1561-1572.
13. Ziaei, A., Moghaddam, M., & Kashefi B. (2016). The effect of superabsorbent polymers on morphological traits of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) under drought stress. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 7 (2), 99-111. [In Persian with English Abstract]
14. Zangooei Nasab, Sh., Emami, H., Astaraei, A. R., & Yari, A. R. (2013). Effects of stockosorb hydrogel and irrigation intervals on some soil physical properties and growth of haloxylon seedling. *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 3 (1), 167-182. [In Persian with English Abstract]
15. Saikia, S. P., Dutta, S. P., Goswami, A., Bhau, B. S., & Kanjilal, P. B. (2010). Role of Azospirillum in the Improvement of Legumes. In Microbes for Legume Improvement (pp. 389-408). Springer, Vienna.
16. Hornok, L. (2006). Effect of different rate of nitrogen on (*Mentha piperita* L.). *Agricultural Research*, 55 (5), 119-130.
17. Khadem, S. A., Galavi, M., Ramordi, M., Mousavi, S. R., Rousta, M. J., & Rezvani-Moghadam, P. (2010). Effect of animal manure and superabsorbent polymer on corn leaf relative water content, cell membrane stability and leaf chlorophyll content under dry condition. *Australian Journal of Crop Science*, 4 (8), 642-647.