اثر کود نانوپتاسیم بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی نعنافلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط تنش خشکی

فریبا ساعدی[۱]، علیرضا سیروس مهر[۱*] و تیمور جوادی[۲]

[۱] ایران، زابل، دانشگاه زابل، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت

[۲] ایران، سنندج، دانشگاه کردستان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی

تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۱۲

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات تنش کم‌آبی و کود نانو پتاسیم بر برخی خصوصیات رویشی و فیزیولوژیکی نعنافلفلی، تحقیقی در سال ۱۳۹۳ در شرایط گلخانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطوح مختلف کم‌آبی شامل سه سطح (آبیاری کامل(FC٪۱۰۰)،۸۰ درصد ظرفیت مزرعه (FC٪۸۰) و۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای(FC٪۶۰) و محلول‌پاشی نانوپتاسیم در چهار سطح (عدم محلول پاشی(T_1)، محلول پاشی(T_2: ۲)، (T_3: ۴) و (T_4: ۶ گرم در لیتر) اعمال گردید. صفات ارتفاع بوته، تعداد پنجه در گیاه، عملکرد تر و خشک بوته، درصد وزنی و عملکرد اسانس، کلروفیل a و b، رطوبت نسبی برگ (RWC)، پرولین و کربوهیدرات محلول در برگ اندازه‌گیری شدند. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارSAS تجزیه‌وتحلیل و مقایسه میانگین(به روش Duncan) شدند و ضرایب همبستگی ساده با نرم‌افزار SPSS بدست آمدند. نتایج حاصل نشان داد افزایش سطوح محلول‌پاشی نانوپتاسیم باعث بهبود معنی‌دار صفات ارتفاع بوته، تعداد پنجه در گیاه، عملکرد تر و خشک، درصد و عملکرد اسانس، کلروفیل a و b، رطوبت نسبی برگ (RWC)، و افزایش پرولین و کربوهیدرات گردید. تأثیر سطوح مختلف تنش کم‌آبی نشان داد تیمار آبیاری کامل(FC) بیشترین میانگین همه صفات را به‌جز کلروفیلb، پرولین و درصد وزنی اسانس به خود اختصاص داد. بطورکلی با افزایش تنش خشکی بر درصد وزنی اسانس افزوده شد. بیشترین میزان عملکرد خشک بوته (۴/۸۱g/plot)، عملکرد اسانس (۷/۵۲ g/plot) و کربوهیدرات محلول (۲/۱۳ µg/g fw) در محلول‌پاشی تیمار ۶ گرم در لیتر (T_4) نانوپتاسیم و به ترتیب در FC کامل، FC٪۸۰ و FC٪۶۰ بدست آمد. درمجموع محلول پاشی نانو پتاسیم اثر تنش کم‌آبی را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: تنش کم‌آبی، تنظیم‌کننده‌های اسمزی، نانو کود، نعنافلفلی

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۴۰۲۵۰۷۵، پست الکترونیکی: asirousmehr@uoz.ac.ir

مقدمه

گیاهان دارویی با منابعی سرشار از متابولیت‌های ثانویه، مواد مؤثره اساسی بسیاری از داروها را تأمین می‌کنند. هرچند بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه به‌صورت ژنتیکی کنترل می‌شوند، ولی ساخت آنها به‌شدت توسط عوامل محیطی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۵۰). طبق برآورد سازمان بهداشت جهانی ۸۰ درصد مردم دنیا برای مراقبت‌های بهداشتی اولیه به‌طور سنتی به گیاهان داروئی و تولیدات طبیعی وابسته هستند (۱۶). نعنا فلفلی(*Mentha piperita* L.) گیاهی دارویی متعلق به خانواده Lamiaceae می‌باشد که به دلیل خواص دارویی متعدد ازجمله اثر ضد تشنج، محرک، نیروبخش، کاهنده تراوش‌های معده، مسکن درد و زخم معده و نیز مصارف بهداشتی و خوراکی همواره موردتوجه

قرارگرفته است (۲۴). تولید جهانی این گیاه ۷۵۰۰ تن در سال است (۶۸). همچنین اسانس نعنا فلفلی دارای ترکیبات متنوع (۶۰و ۶۶) و باارزش اقتصادی بالا (۴۳) است که به مقدار زیاد در طعم‌دهنده‌ها و یا افزودنی‌های غذایی، خمیردندان و دیگر محصولات بهداشتی و فرمولاسیون دارویی به کار می‌رود (۶۸). منتون و منتول اصلی‌ترین جزء اسانس بوده و خواص ضدمیکروبی دارند (۲۸و ۶۶).

کمبود آب یکی از عوامل تنش‌زا و محدودکننده تولید گیاهان زراعی است. زیاد بودن میزان تبخیر و تعرق و محدودیت منابع آبی سبب بروز تنش خشکی در طول دوره رشد گیاهان زراعی می‌شود (۵۵). گیاهانی که تحت تأثیر عوامل استرس غیرزنده محیطی مانند خشکسالی، شوری بالای خاک، سرما، گرما و نور بالا در حال رشد هستند سبب استرس اکسیداتیو و تولید گونه‌های اکسیژن فعال می‌شوند (۳۴). محتوای نسبی آب (RWC) یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی مهم است که همبستگی خوبی با مقاومت به خشکی نشان می‌دهد (۲۶). غلظت کلروفیل به‌عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت منبع شناخته می‌شود، زیرا غلظت کلروفیل برگ یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک گیاه است (۳۳). گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، شوری، گرما و غیره با ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی با این تنش‌ها مقابله می‌کنند. مواد تنظیم‌کننده فشار اسمزی بیشتر اسیدهای آمینه، قندها و برخی یون‌های معدنی هستند. پرولین یکی از اسیدآمینه‌های فعال در پدیده تنظیم اسمزی می‌باشد که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش به سزایی دارد (۱۳). قندهای محلول به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی، ثبات دهنده غشاهای سلولی و حفظ‌کننده تورژسانس سلول‌ها عمل می‌کنند. در حقیقت، در گیاهانی که قندهای محلول در پاسخ به تنش تجمع می یابند، تنظیم اسمزی بهتر صورت می‌گیرد (۶۱).

مدیریت کودی بخش مهمی از مدیریت زراعت گیاهان دارویی و مؤثر در رشد و عملکرد کمی و کیفی آن می‌باشد. از بین عناصر غذایی ضروری گیاهان، پتاسیم علاوه بر افزایش در تولید و بهبود کیفیت محصولات باعث افزایش مقاومت گیاهان به کم‌آبی، شوری و انواع تنش‌ها گردیده و کارایی آب و کود را افزایش می‌دهد (۱۵). همچنین پتاسیم اثر اساسی روی فعالیت آنزیم، سنتز پروتئین، فتوسنتز،حرکات روزنه‌ای و تنظیم اسمزی در گیاه دارد (۴۵). استفاده از نانوکودها به‌منظور کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی می‌تواند گامی مؤثر به‌منظور دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط‌زیست باشد (۲۷). اثربخشی محلول‌پاشی ممکن است به دلیل نفوذ سریع و انتقال مواد مغذی به داخل گیاه باشد (۵۰). نانو کشاورزی شامل به کار بردن نانو ذرات در بخش کشاورزی است که موجب اثرات سودمند خاص در محصولات تولیدی می‌شود (۳۵). در تحقیقی متوجه شدند که کاربرد نانو کلات آهن در مقایسه با کلات آهن معمولی در ریحان، سبب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و پارامترهای رشدی شد در حالی که میزان پروتئین موجود در ریحان در اثر کاربرد کود نانو کاهش نشان داد (۲). فناوری نانو راه‌حل بالقوه برای افزایش ارزش محصولات کشاورزی و کاهش مشکلات زیست‌محیطی است. با استفاده از نانو ذرات و نانوپودرها، محققان می‌توانند کودهای آهسته‌رهش (slow release) و یا کنترل‌شده و انتشار با تأخیر را تولید کنند (۴۰). علاوه بر این، مطالعات متعدد نشان داده‌اند که نانوذرات می‌توانند اثر مفید بر رشد و نمو نهال داشته باشند (۵۹).

ازاین‌رو به نظر می‌رسد با به‌کارگیری نانوکودها به‌عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی کودی به‌تدریج و به‌صورت کنترل شده در خاک آزاد می‌شوند که در این حالت برای افزایش عملکرد کمی و کیفی نعنا فلفلی، استفاده از فناوری‌های نوین به‌ویژه نانوفناوری‌ها می‌تواند افق تازه‌ای پیش روی کشاورزی قرار دهد. همچنین با

توجه به مصارف متعدد نعنافلفلی در صنایع داروسازی، غذایی، آرایشی و بهداشتی و همچنین به لحاظ اهمیت آن در سلامت جامعه، بررسی عوامل مؤثر در رشد و نمو آن اهمیت دارد. هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر کود نانوکلات پتاسیم بر خصوصیات رویشی و فیزیولوژیکی نعنا فلفلی در شرایط تنش خشکی است.

مواد و روشها

این پژوهش در سال ۱۳۹۳ در شرایط گلخانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. در این تحقیق عامل تنش کم‌آبی شامل سه سطح (آبیاری کامل در حد ظرفیت مزرعه (**FC_1**)، ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای (**۸۰٪FC**) و ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای (**۶۰٪FC**) و عامل محلول‌پاشی نانو پتاسیم در چهار سطح شاهد (عدم محلول پاشی(**T_1**)، محلول پاشی ۲ (**T_2**)، ۴ (**T_3**) و ۶ (**T_4**) گرم در لیتر نانوپتاسیم) بود. برای آماده‌سازی محیط کشت از گلدان‌هایی با قطر ۲۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. خاک مورد استفاده در این آزمایش تجزیه شده و نتایج در جدول (جدول ۱)زیر ارائه می‌شود.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

نمونه	بافت خاک	(pH)	EC (ds/m)	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
خاک	سیلتی لومی	۸/۶	۹/۵	۰/۷۳	۹/۱۸	۱۱۰

بعد از اینکه نشاها به مرحله ۴ تا ۶ برگی رسیدند به گلدان منتقل و در هر گلدان ۵ بوته قرار داده شد. نشا مورد استفاده در این پژوهش از پژوهشکده گیاهان دارویی کرج تهیه شد. روش اعمال تیمارهای تنش کم‌آبی به‌صورت وزنی بود. به‌منظور تعیین منحنی رطوبتی، سه نمونه از خاک موردنظر به آزمایشگاه برده شد و درصد وزنی رطوبتی خاک (θm) با استفاده از فرمول زیر تعیین گردید (۴۸).

$$\%\boldsymbol{\theta} = \frac{\boldsymbol{w1-w2}}{\boldsymbol{w2}} \times 100 \qquad [۱]$$

w_1= جرم نمونه مرطوب

w_2- جرم نمونه خشک

در یک دستگاه محور مختصات مقادیر رطوبت و پتانسیل نسبت به یکدیگر رسم و بدین طریق منحنی رطوبتی خاک ترسیم گردید. جهت اعمال تیمارهای آبیاری، گلدان‌ها هرروز به‌وسیله ترازوی حساس توزین و با اضافه نمودن آب مصرفی (کاهش وزن هرکدام از گلدان‌ها) تیمارها اعمال گردید. هر گلدان در وزن تیمار مربوطه ثابت نگه‌داشته شد. کود نانو پتاسیم به‌کاربرده شده در این آزمایش نانوکلات پتاسیم ۲۷ درصد بود که از شرکت خضراء تهیه شد. تیمارهای کودی در آب مقطر تهیه‌شده و به‌صورت محلول پاشی طی سه مرحله (مرحله ۸ برگی، مرحله قبل از گلدهی و مرحله آغاز گلدهی) روی گیاه استعمال شدند. نتایج حاصل از آنالیز نمونه خاک آزمایشی در جدول ۱ آورده شده است. در این آزمایش صفاتی مانند عملکرد تر و خشک بوته، درصد و عملکرد اسانس، پنجه در گیاه و ارتفاع بوته و صفات فیزیولوژیکی چون میزان پرولین و کربوهیدرات محلول اندازه‌گیری شد. برای محاسبه عملکرد تر (گرم در گلدان) بوته‌های مورد نظر بعد از دوره گلدهی کامل کف بر، برداشت و وزن شدند. سپس عملکرد هر بوته در گلدان محاسبه گردید. اما برای عملکرد خشک، همان بوته‌های برداشت شده در آون به مدت ۴۸ ساعت و دمای ۷۵ درجه قرارگرفتند، آنگاه از آون خارج و مجدد وزن شدند. به این ترتیب عملکرد خشک بوته در گلدان نیز محاسبه شد.

در مرحله گلدهی اقدام به برداشت نمونه‌های تر شاخساره برای محاسبه صفات مورد نظر گیاه شد. مقداری از نمونه های تر برای اندازه‌گیری پرولین و کربوهیدرات به

آزمایشگاه منتقل شد و بقیه به‌دقت در سایه و به‌دوراز آفتاب مستقیم خشک شدند و استخراج اسانس با دستگاه کلونجر مدل فارماکوپه بریتانیا و از روش تقطیر با آب و بخار انجام شد. برای این کار ۴۰ گرم پودر خشک گیاه استفاده شد. بعد از استخراج اسانس، آنها را در ظروف کوچک شیشه‌ای ریخته و با ترازوی دقیق (در حد ۰۰۰۱/۰) وزن کرده و میزان اسانس و عملکرد اسانس اندازه‌گیری و محاسبه گردید.

برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ از هر بوته دو برگ جوان توسعه‌یافته و در موقعیتی یکسان جدا گردید. در آزمایشگاه بعد از تمیز کردن سطح برگ‌ها وزن تازه (FW) آن‌ها تعیین شد. نمونه‌ها به مدت چهار ساعت در ظروف حاوی آب مقطر در تاریکی و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد شناور شدند. بعد از آبگیری، برگ‌ها مجدد توزین تا وزن آماس (TW) تعیین شود. در ادامه وزن خشک برگ‌ها (DW) با قرارگیری در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد آون برای ۴۸ ساعت بدست آمد. از رابطه ۲ مقدار محتوای آب نسبی برگ محاسبه شد (۵۷).

$$\boldsymbol{RWC\%} = \frac{\boldsymbol{FW-DW}}{\boldsymbol{TW-DW}} \times \mathbf{100} \qquad [۲]$$

برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های کلروفیل از روش آرنون استفاده شد (۲۰). برای این کار مقدار ۰/۱ گرم از ماده تر (برگ) گیاه را جدا کرده و در هاون چینی ریخته ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به نمونه اضافه، سپس در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده و سپس به‌طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b توسط اسپکتروفتومتر مقدار جذب را قرائت و در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a و b برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر نمونه به دست آمد.

[۳]

Chlorophyll a= (12.7× A663 - 2.69× A645) V/W

Chlorophyll b= (22.9× A645 - 4.68×A663) V/W

v= حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A= جذب نور در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر

W= وزن‌تر نمونه برحسب گرم

سنجش پرولین به روش بیتس و همکاران (۲۲) انجام گردید. برای اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول کل از روش کرپسی و همکاران (۳۸) استفاده شد.

برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها (طرح آماری و مقایسه میانگین) از نرم‌افزار آماری SAS و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای Duncan انجام پذیرفت. برآورد ضرایب همبستگی پیرسون با کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد.

نتایج

ارتفاع و تعداد پنجه در بوته: نتایج ارائه شده در جدول تجزیه واریانس این صفات نشان داد که تیمار خشکی بر ارتفاع بوته و تعداد پنجه در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌داری داشت. اما اثر متقابل نانو پتاسیم و خشکی بر ارتفاع بوته و تعداد پنجه غیر معنی‌دار بود (جدول۲). مقایسه میانگین اثرات ساده تنش خشکی نشان داد که در تیمار شاهد تنش خشکی، بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۵۷/۲۸ سانتی‌متر و بیشترین تعداد پنجه در گیاه با میانگین ۸۳/۱۵ مشاهده شد. با افزایش روند کاهش میزان آب در دسترس از این مقادیر کاسته شد (جدول۳)، در حالی که مقایسه اثرات ساده محلول‌پاشی کود نانوپتاسیم نشان داد که با کاربرد نانوپتاسیم مقادیر این صفات افزایش یافت. بیشترین ارتفاع و تعداد پنجه در کاربرد ۶ گرم در لیتر نانو پتاسیم با میانگین ۶۳/۲۹سانتی‌متر و۴۴/۱۷ مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد نانوپتاسیم) به ترتیب ۲۸/۳۳ و ۹۸/۵۰ درصد افزایش نشان دادند (جدول۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نانوپتاسیم بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک نعنا فلفلی در شرایط تنش خشکی

		میانگین مربعات (MS)										
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته (cm)	تعداد پنجه در گیاه	کلروفیل a ($mg.g^{-1}fw$)	کلروفیل b ($mg.g^{-1}fw$)	پرولین (µmol/gfw)	کربوهیدرات (µg/gfw)	محتوای رطوبت نسبی(RWC)	عملکرد تر بوته (g/plot)	عملکرد خشک بوته (g/plot)	درصد وزنی اسانس(٪)	عملکرد اسانس (mg/plot)
تکرار	۲	۹۹/۸ ns	۴۴/۱ ns	۰/۲۶ **	۰/۰۳ ns	۰۰۰۵/۰ ns	۰۳۵/۰ ns	۰/۰۱ **	۴۲/۲ ns	۰۰۴/۰ ns	۰۴/۰ ns	۰۰۳/۰ ns
تیمار خشکی	۲	۹۳/۱۵۴ **	۰۲/۱۰۰ **	۰/۲۳ **	۰/۴ **	۱۵۸/۰ **	۸۶/۰ **	۰/۲۴ **	۳۳/۶۴ **	۳۰/۹ **	۰۱/۱ **	۵۹/۹ **
نانو پتاسیم	۳	۱۴۷/ ۹۲ **	۴۷/۱۳۲ **	۰/۴۴ **	۰/۲۳ **	۰۳/۰ **	۵۳/۰ **	۰/۰۰۷ **	۱۸/۸ **	۴۱/۶ **	۵۰/۰ **	۵۳/۳۱ **
خشکی*نانوپتاسیم	۶	۸۷/۴ ns	۳۶/۴ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۱ ns	۰۰۰۴/۰ ns	۰۵/۰ **	۰/۰۰۱ ns	۴۶/۲ ns	۰۱/۱ **	۰۰۶/۰ ns	۴۷/۰ **
خطا	۲۲	۰۰۳/۴	۵۹/۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰۰۰۴/۰	۰۱/۰	۰/۰۰۱	۱۳/۱	۰۲/۰	۰۱/۰	۰۷/۰
ضریب تغییرات cv%		۹۹/۶	۸۶/۹	۸/۴۸	۱۴/۸۸	۳۹/۳	۹۶/۷	۴/۴۸	۹۶/۸	۸۲/۶	۳۶/۶	۷۹/۵

ns. و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد

کلروفیل: طبق جدول تجزیه واریانس (جدول۲)، تنش خشکی و نانوپتاسیم بر میزان کلروفیل a وb در نعنافلفلی اثر معناداری در سطح احتمال یک درصد داشتند، اما اثرات متقابل آنها معنی‌دار نشد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش تنش خشکی از میزان کلروفیل a کاسته شد اما این روند برای کلروفیل b کاملاً برعکس بود و با افزایش خشکی مقدار این کلروفیل بیشتر شد (جدول۳).

با افزایش محلول‌پاشی بر میزان هر دو کلروفیل افزوده شد و بیشترین میزان کلروفیل در تیمار ۶ گرم در لیتر نانو-پتاسیم با میانگین ۱/۷۲ و ۰/۹۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر به ترتیب مربوط به کلروفیل a و b می‌باشند (جدول۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارهای خشکی و نانوپتاسیم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیک نعنافلفلی

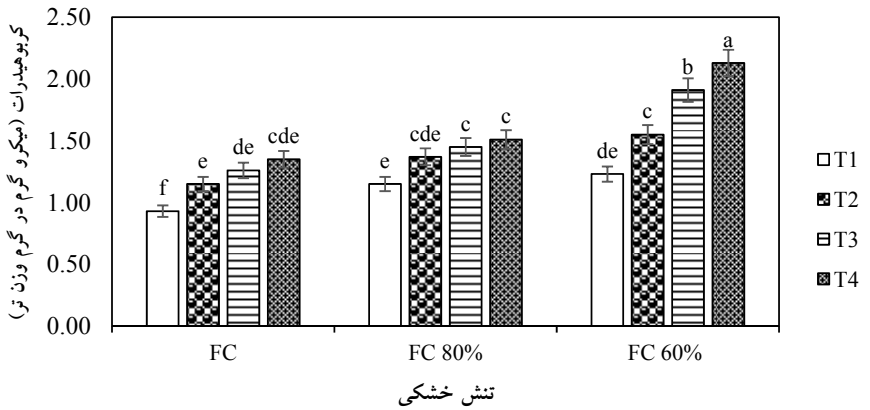
تیمارهای آزمایش	ارتفاع بوته (cm)	تعداد پنجه در گیاه	کلروفیلa ($mg.g^{-1}fw$)	کلروفیلb ($mg.g^{-1}fw$)	پرولین (µmol/gfw)	محتوای رطوبت نسبی(RWC) (%)	عملکرد تر بوته (g/plot)	درصد وزنی اسانس (%)
تیمار خشکی								
FC	۵۷/۲۸a	۸۳/۱۵a	۱/۶۱a	۰/۵۵c	۵۲/۰c	۰/۹۲a	۱۵/۱۴a	۸۲/۱b
٪۸۰FC	۳۶/۲۴b	۵۰/۱۲b	۱/۴۷b	۰/۷۶b	۶۳/۰b	۰/۸۱b	۹۱/۱۱b	۲۸/۲a
٪۶۰FC	۴۲/۲۱c	۰۸/۱۰c	۱/۳۳c	۰/۹۱a	۷۵/۰a	۰/۶۴c	۵۲/۹c	۳۷/۲a
نانوپتاسیم								
شاهد	۷۷/۱۹c	۵۵/۸d	۱/۲۰d	۰/۵۶d	۵۶/۰d	۰/۷۶b	۷۳/۱۰c	۸۴/۱d
۲ گرم در لیتر	۲۷/۲۴b	۱۱/۱۱c	۱/۳۹c	۰/۶۷c	۶۳/۰c	۰/۸۱a	۴۹/۱۱bc	۱۱/۲b
۴ گرم در لیتر	۴۵/۲۵b	۱۱/۱۴b	۱/۵۶b	۰/۷۹b	۶۶/۰b	۰/۸۲a	۲۹/۱۲ab	۳۰/۲a
۶ گرم در لیتر	۶۳/۲۹a	۴۴/۱۷a	۱/۷۲a	۰/۹۴a	۷۰/۰a	۰/۷۷b	۹۲/۱۲a	۳۷/۲a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون Duncan در سطح احتمال ۱درصد معنی‌داری نیستند.

محتوای رطوبت نسبی برگ: تیمارهای تنش خشکی و کود نانوپتاسیم بر محتوای رطوبت نسبی برگ گیاه نعنا-فلفلی در سطح احتمال یک درصد اثر معناداری داشتند (جدول ۲) ولی اثر متقابل آنها غیر معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در طی افزایش تنش خشکی و قرارگرفتن گیاه در معرض کمبود آبی بیشتر، مقدار رطوبت نسبی برگ نیز کاهش‌یافته و کمترین میزان رطوبت نسبی در تیمار ٪۶۰FC (تنش شدید) با ۰/۶۴ درصد رطوبت مشاهده شد (جدول۳). تیمارهای کودی تا حدی سبب تعدیل اثرات منفی ناشی از کاهش رطوبت نسبی برگ شدند و با افزایش غلظت نانوپتاسیم اندکی رطوبت نسبی برگ نیز افزایش پیدا کرد، البته در بیشترین غلظت نانوپتاسیم افزایش رطوبت نسبتاً کمتر بود به طوری‌که بیشترین رطوبت نسبی مربوط به غلظت ۴ و ۲گرم در لیتر نانوپتاسیم بود که به ترتیب ۰/۸۲ و۰/۸۱ درصد می‌باشند و هردو در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳).

پرولین: نتایج واریانس داده‌ها نشان داد که تنش خشکی و نانو پتاسیم بر میزان پرولین در نعنا فلفلی در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۲)، در حالی که اثرات متقابل آنها معنی‌دار نبود. طبق مقایسه میانگین‌ها با افزایش تنش خشکی بر میزان پرولین افزوده شده و بیشترین میزان پرولین در تنش شدید (٪۶۰ FC) با ۶۷/۳۰درصد افزایش نسبت به شاهد (FC) بدست آمد (جدول۳). تیمارهای کودی نشان دادند که با افزایش محلول‌پاشی بر میزان پرولین افزوده شد و بیشترین میزان در تیمار ۶ گرم در لیتر نانو پتاسیم با میانگین ۷/۰ میکرومول بر گرم وزن تر و افزایش ۲۰ درصدی نسبت به شاهد دیده شد (جدول ۳).

کربوهیدرات محلول در برگ : طبق نتایج اثرات تنش خشکی، کود نانوپتاسیم و اثر متقابل بین آنها بر میزان کربوهیدرات موجود در نعنا فلفلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسات میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین میزان کربوهیدرات حاصل از تیمار ۶ گرم درلیترنانوپتاسیم و تنش شدید (FC٪۶۰) با میانگین ۱۳/۲ میکروگرم بر گرم وزن‌تر بود (شکل۱). بطور کلی در سطوح تنش خشکی با افزایش مقدار تنش بر میزان کربوهیدرات افزوده شد و در سطوح کودی نیز با مصرف بیشتر کود، کربوهیدرات بیشتری تولید شد.



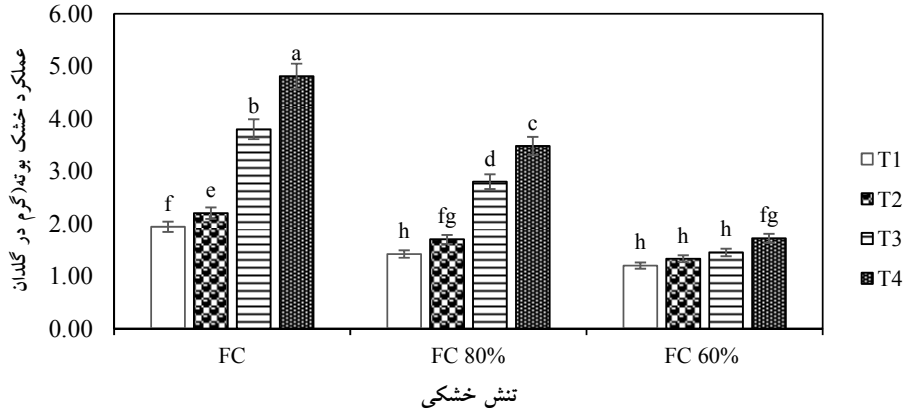
شکل۱- اثرمتقابل تنش خشکی و نانو پتاسیم بر کربوهیدرات محلول در برگ نعنا فلفلی

عملکرد تر و خشک بوته: اثرات ساده تنش خشکی و نانو پتاسیم بر عملکرد تر بوته در نعنا فلفلی تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت و اثرمتقابل تیمارها غیر معنی‌دار بود (جدول۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان عملکرد تر بوته در شرایط عدم تنش مشاهده شد و با افزایش تنش خشکی از میزان عملکرد تر بوته کاسته شد طوری که تنش شدید نسبت به عدم تنش ۵۰/۲۹ درصد کاهش نشان داد و بیشترین عملکرد تر بوته در شرایط کامل ظرفیت مزرعه با میانگین ۱۵/۱۴ گرم در گلدان مشاهده گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد سطوح مختلف نانوپتاسیم باعث افزایش میزان عملکرد تر بوته نعنا در گلدان شد و بیشترین میزان عملکرد در محلول پاشی ۶ گرم درلیتر بود که نسبت به شاهد و بدون محلول پاشی ۹۶/۱۶ درصد افزایش نشان داد (جدول۳).

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از این آزمایش نشان داد که اثر تنش خشکی، محلول‌پاشی نانوپتاسیم و اثر متقابل آنها بر عملکرد خشک بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۲). میانگین اثر متقابل تنش خشکی و نانوپتاسیم در این آزمایش نشان داد که تیمار شاهد خشکی و محلول‌پاشی ۶ گرم درلیتر نانو پتاسیم بیشترین عملکرد خشک (۴/۸۱ گرم در گلدان) را داشت (شکل۲). همچنین در طی بروز تنش خشکی و کاهش میزان آب تا حد ۶۰ درصد ظرفیت زراعی سطح کودی با غلظت ۶ گرم درلیتر نانو پتاسیم بیشترین عملکرد (۷۲/۱ گرم در گلدان) را داشت. به طورکلی در سطوح تنش خشکی و کاربرد نانو پتاسیم با افزایش کم‌آبی از میزان عملکرد کاسته شد ولی با افزایش میزان کاربرد نانوپتاسیم، کاهش کمتری در عملکرد مشاهده شد.

درصد وزنی و عملکرد اسانس: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده تنش خشکی و نانو پتاسیم در سطح احتمال یک درصد بر درصد وزنی اسانس در نعنا فلفلی معنی‌دار بود (جدول۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش تنش خشکی بر میزان اسانس افزوده شد و بیشترین مقدار اسانس بدست آمده از تیمار تنش متوسط

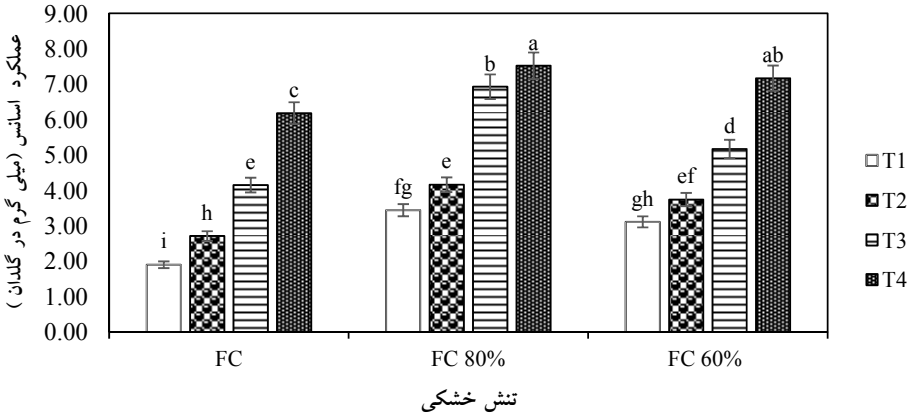
(۸۰درصد ظرفیت زراعی) می‌باشد که البته بین تنش متوسط (۸۰٪ FC) و تنش شدید (۶۰٪FC) از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و هردو در یک گروه آماری قرارگرفتند و تیمار تنش متوسط و شدید هرکدام نسبت به شاهد به ترتیب ۱۸/۲۰ درصد و ۲۱/۲۳ درصد افزایش نشان دادند (جدول۳).



شکل۲- اثرمتقابل تنش خشکی و نانوپتاسیم بر عملکرد خشک نعنا فلفلی

تیمارهای کودی نشان دادند که با افزایش سطح محلول‌پاشی نانو پتاسیم به میزان اسانس نعنا نیز افزوده شد طوری که بیشترین میزان اسانس از تیمار نانو پتاسیم ۶ گرم درلیتر بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد (بدون محلول پاشی)، ۲۵ درصد افزایش نشان داد (جدول۳).

اثر تنش خشکی، نانو پتاسیم و اثرات متقابل بین آنها تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد اسانس داشت (جدول۲). بیشترین عملکرد اسانس در تنش متوسط (۸۰٪FC) و شدید (۶۰٪ FC) و تیمار نانوپتاسیم ۶ گرم درلیتر مشاهده شد که نسبت به سایر تیمارها معنی‌دار شدند (شکل ۳).



شکل۳- اثرمتقابل تنش خشکی و نانوپتاسیم بر عملکرد اسانس نعنافلفلی

نتایج حاصل از همبستگی ساده صفات (جدول۴) نشان داد که بین ارتفاع بوته و تعداد پنجه با عملکرد تر و خشک بوته و کلروفیل a، در سطح یک درصد و با رطوبت نسبی در سطح پنج درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود

دارد و درواقع با افزایش کلروفیل a و رطوبت نسبی گیاه در نتیجه افزایش ارتفاع گیاه بر تعداد برگ و اندام هوایی اضافه شده و منجر به افزایش بیوماس می‌شود. بین عملکرد اسانس با کلروفیل a، پرولین و کربوهیدرات در سطح یک درصد و با کلروفیل b و رطوبت نسبی در سطح پنج درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. طبق جدول همبستگی صفات (جدول۴) کربوهیدرات و پرولین با کلروفیل a، ارتفاع بوته و عملکرد تر و خشک رابطه منفی داشتند که نشان می‌دهد هرچه شرایط رشدی گیاه بهتر باشد و رشد مناسبی می‌گیرد و تولید این مواد در گیاه کاهش می‌یابد (جدول۴). بین بازده اسانس و عملکرد اسانس نیز همبستگی مثبت دیده شد به این معنی که افزایش بازده اسانس باعث افزایش عملکرد اسانس می‌شود (جدول۴).

جدول۴ – ضرایب همبستگی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نعنافلفلی تحت تیمار نانوپتاسیم و تنش خشکی

	ارتفاع بوته	پنجه در گیاه	عملکرد تر بوته	عملکرد خشک بوته	درصد وزنی اسانس	عملکرد اسانس	کلروفیل a	کلروفیل b	محتوای رطوبت نسبی	پرولین	کربو هیدرات
ارتفاع بوته	۱										
پنجه در گیاه	۰/۹۳۱**	۱									
عملکرد تر بوته	۰/۸۲۱**	۰/۸۵۲**	۱								
عملکرد خشک بوته	۰/۸۵۲**	۰/۹۵۸**	۰/۹۲۵**	۱							
درصد وزنی اسانس	-۰/۰۱۷	۰/۰۷۷	-۰/۳۷۰	-۰/۰۶۵	۱						
عملکرد اسانس	۰/۴۱۱	۰/۵۶۲	۰/۱۳۵	۰/۴۵۳	۰/۸۰۴**	۱					
کلروفیل a	۰/۹۲۲**	۰/۹۷۲**	۰/۷۷۴**	۰/۸۸۵**	۰/۱۷۶	۰/۶۳۶*	۱				
کلروفیل b	۰/۰۳۱	۰/۰۹۱	-۰/۴۲۰	-۰/۰۹۳	۰/۹۴۰**	۰/۷۹۲**	۰/۲۰۱	۱			
رطوبت نسبی	۰/۶۳۶*	۰/۷۰۸*	۰/۲۵۹	۰/۵۳۵	۰/۷۰۱*	۰/۹۱۶**	۰/۷۹۶**	۰/۷۵۳**	۱		
پرولین	-۰/۱۹۰	-۰/۱۲۱	-۰/۵۸۹*	-۰/۲۸۱	۰/۹۱۰**	۰/۵۹۹*	-۰/۰۴۶	۰/۹۲۴**	۰/۵۴۱	۱	
کربوهیدرات	۰/۰۵۸	۰/۰۹۱	-۰/۴۳۰	-۰/۱۳۴	۰/۸۷۵**	۰/۶۸۷*	۰/۲۱۱	۰/۹۵۵**	۰/۷۳۴**	۰/۹۱۶**	۱

بحث

باتوجه به نتایج پژوهش حاضر، با افزایش تنش خشکی از ارتفاع بوته کاسته و با افزایش کاربرد کود پتاسیم بر ارتفاع بوته افزوده شده، در این مورد می‌توان بیان کرد که اختلاف ارتفاع در اغلب گیاهان ناشی از خصوصیات ژنتیکی و تغییر شرایط محیطی است و از آنجا که تقسیم و افزایش اندازه سلول به تنش خشکی بسیار حساس است لذا به نظر می‌رسد که در تیمارهای تحت تنش کم‌آبی، افزایش اندازه سلول تحت تأثیر قرارگرفته و با ممانعت از رشد طولی ساقه، سبب کاهش ارتفاع گیاه گردید. جعفرزاده و همکاران (۳) اعلام کردند که محلول‌پاشی کود نانو پتاسیم باعث افزایش ارتفاع بوته و تعداد پنجه بارور در گندم شد که نسبت به شاهد با عدم محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری نشان دادند. تحریک پنجه‌زنی و افزایش رشد رویشی در شرایط مصرف پتاسیم می‌تواند به نقش مثبت K^+ در پایداری آنزیم‌ها و پروتئین‌ها مربوط باشد (۱۱). حسنی و همکاران اعلام کردند که مصرف نانوپتاسیم نسبت به نانو - آهن و نانو روی سبب افزایش ارتفاع در گیاه نعنافلفلی شده است (۳۵). طبق نتایج گزارشات نظامی و همکاران گونه نعنافلفلی و سوسن در رژیم رطوبتی شاهد و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی تعداد استولون و پنجه بیشتری نسبت به گونه‌ی پونه داشتند در حالیکه در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی تعداد استولون و پنجه گونه سوسن غالباً بیشتر از دو گونه‌ی پونه و نعنافلفلی بوده است (۱۷).

در مورد اثر کاهنده تنش خشکی و اثر افزایشی کود پتاسیم بر میزان کلروفیل‌های a وb دلایل زیر مطرح می‌شوند. طبق گزارشی ارائه شده، کاهش میزان کلروفیل‌ها در اثر تنش خشکی به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در

سلول است که این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگدانه‌ها می‌گردند (۵۸). در تحقیقی که بر روی ۷ گونه تاج‌خروس (*Amaranthus*) انجام گرفت متوجه شدند که با افزایش تنش خشکی در سطوح مختلف مقدار کلروفیل a و b و کل کاهش نشان دادند به طوری‌که کاهش کلروفیل b بیشتر بود و کلروفیل a مقاومت بیشتری نسبت به خشکی از خود نشان داد (۳۷). در گیاهان گزارش‌های متفاوتی در رابطه با تأثیر تنش خشکی بر غلظت کلروفیل ارائه شده است. اما به نظر می‌رسد حفظ کلروفیل برگ و دوام فتوسنتز در شرایط تنش خشکی یکی از شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش باشد (۵۲). به نظر می‌رسد محتمل‌ترین علت افزایش غلظت کلروفیل در شاهد و تنش ملایم افزایش وزن مخصوص برگ باشد. بدین ترتیب که وقوع تنش ملایم با کاهش اندازه سلول سبب کاهش سطح برگ می‌گردد که نتیجه آن تجمع سلول‌های بیشتری در واحد وزن برگ و افزایش غلظت کلروفیل برگ است (۴۹). با این وجود در تنش‌های شدید ترکیباتی تولید و فرآیندهایی فعال می‌شوند که علی‌رغم افزایش وزن مخصوص برگ به کاهش غلظت کلروفیل نسبت به شاهد می‌انجامد. کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تشدید فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز، تولید ترکیبات فنلی، افزایش رادیکال‌های فعال اکسیژن و آسیب رساندن به غشاء کلروپلاست و اختلال در جذب نیتروژن از خاک به‌عنوان مهم‌ترین عوامل کاهنده غلظت کلروفیل در تنش‌های شدید شناخته شده‌اند (۶۲، ۶۳و ۶۵).

در تحقیقی که بر روی بابونه انجام گرفت اعلام شد که با افزایش تنش خشکی مقدار کلروفیل a و b افزایش یافت به‌طوری که کمترین مقدار کلروفیل‌ها در تیمار شاهد بدست آمد (۵۳). هم‌راستا با نتایج بدست آمده در رابطه با کلروفیل a و b در این تحقیق، صفی خانی اعلام کرد که در گیاه بادرشبویه تحت تنش خشکی با افزایش تنش از مقدار کلروفیل a کاسته شد و بر میزان کلروفیل b افزوده شد (۷) و نیز عباس‌زاده و همکاران اعلام کردند که با افزایش تنش خشکی در گیاه بادرشبویه مقدار کلروفیل a کاهش یافته و در عوض کلروفیل b افزایش نشان داد (۹).

رابطه آب با سلول گیاهی بستگی به حرکت یون پتاسیم دارد طوری‌که حفظ و تنظیم تورژسانس سلول و کنترل روزنه تحت تأثیر کمبود پتاسیم قرار می‌گیرد. پتاسیم در شرایط کمبود آب با افزایش گنجایش و حفظ آب توسط بافت گیاهی شرایط را قابل تحمل می‌کند و باعث بهبود پتانسیل اسمزی و افزایش فشار سلولی و بزرگ شدن سلول می‌شود (۵۶). طبق نتایج حاصل از این تحقیق محلول‌پاشی نعنافلفلی با نانوپتاسیم سبب افزایش مقدار کلروفیل‌ها شده است، طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل بدست آمده از محلول‌پاشی ۶ گرم در لیتر نانو پتاسیم می‌باشد که با گزارش‌های دیگر در این راستا هم‌خوانی دارد. قهرمانی و همکاران اعلام کردند محلول‌پاشی ریحان با نانوکلات‌پتاسیم (۶گرم در لیتر) و نانوکلات کلسیم (۲گرم در لیتر) سبب افزایش ترکیبات کلروفیل، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژی و عملکرد بذر شده است (۳۱).

از بارزترین علائم فیزیولوژیک کمبود رطوبت خاک، کاهش محتوای رطوبت نسبی در برگ‌ها ذکر شده است (۲۳). گرچه گیاهان در معرض تنش برای جذب آب از خاک به مکانیزم‌های مختلفی نظیر افزایش نسبت وزن ریشه به اندام هوایی متوسل می‌شوند بااین وجود احتمال می‌رود این مکانیزم‌ها قادر به جبران مقدار کافی آب نسبت به شرایطی که رطوبت فراهم است نمی‌باشند. پیامد کاهش جذب آب از خاک کاهش محتوی آب نسبی برگ خواهد بود. نتایج سایر محققان نیز بیانگر کاهش آب نسبی برگ در گیاهان در شرایط کمبود آب است (۴۷). در تحقیقی با بررسی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک آویشن تحت شرایط کمبود آب دریافتند که رطوبت نسبی برگ‌ها و تعداد روزنه‌ها کاهش و درصد اسانس و اجزای آن، و نسبت ریشه به ساقه و اندام هوایی افزایش‌یافته است

(۲۱). در بررسی دو گونه ریحان (*Ocimum basilicum*, *O. americanum*) با افزایش سطح خشکی به ۱۲۵ درصد FC، رطوبت نسبی به ۵۰ درصد کاهش یافته است (۳۹). نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج عباس‌زاده و همکاران (۹) روی بادرنجبویه و Rassam و همکاران (۵۴) روی زوفا نیز مطابقت دارد.

وجود پتاسیم در نگهداری آب بافت‌های گیاهی اهمیت خاصی دارد (۱۴). Egila و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که مصرف مقدار کافی از کود پتاسه در مقایسه با شرایط کمبود پتاسیم محتوای رطوبت برگ و روابط آبی گیاه را با کاهش پتانسیل اسمزی در بامیه بهبود بخشید، به طوری که منجر به پایداری میزان فتوسنتز خالص، تعرق و هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی و شرایط عاری از تنش شد. همچنین، آنها بیان کردند که در این گیاه مصرف مقدار کافی از کود پتاسه در شرایطی که پتانسیل آب گیاه پایین است منجر به حفظ میزان فتوسنتز خالص و افزایش نسبت فتوسنتز خالص به تعرق شد (۲۹).

افزایش غلظت پرولین در گیاهانی که تحت تنش قرار گرفته‌اند، نوعی سازگاری برای غلبه بر تنش می‌باشد (۴۴). پرولین تحت شرایط تنش می‌تواند عملکردهای متفاوتی مانند ایجاد تعامل اسمزی، حفاظت از ساختار پروتئینی و غشاء سلول، تثبیت ساختارهای درون‌سلولی و حذف رادیکال‌های آزاد را داشته باشد (۱۹و ۴۶). از آنجایی که پتاسیم یک فلز فعال برای راه‌اندازی فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها می‌باشد به احتمال زیاد در راه‌اندازی آنزیم تولیدکننده پرولین نیز بسیار فعال می‌باشد چرا که استعمال برگی پتاسیم به‌طور معنی‌داری محتوای پرولین گیاه ماش را افزایش داد (۶۷). عابدی بابا عربی و همکاران اعلام کردند که محلول‌پاشی پتاسیم و روی در شرایط تنش خشکی باعث تولید بیشتر پرولین، قندهای آزاد محلول، حفظ محتوای نسبی آب برگ و تولید سنبله بیشتر در گلرنگ شد (۸).

تغییرات کربوهیدرات‌های محلول براثر رابطه مستقیم آن‌ها با مسیرهای فیزیولوژیک مثل فتوسنتز، تنفس و انتقال اهمیت خاصی دارد. مقدار کلیه قندهای آزاد گیاهان تحت تنش در مراحل مختلف رشد (رویشی، بولتینگ و گلدهی) به‌طور معنی‌داری در مقایسه با گیاهان بدون تنش بالاتر است. علت زیاد شدن کربوهیدرات‌های محلول کل در اثر تنش زیاد این است که گیاه فشار اسمزی داخلی خود را بالا می‌برد تا بتواند از خاک مواد غذایی و آب جذب کند. توزیع مواد هیدروکربنی به‌طور مستقیم تحت تأثیر تنش-هایی مانند کمبود آب و به‌طور غیرمستقیم تحت تأثیر هورمون‌های گیاهی قرار می‌گیرند. تجمع ترکیبات آلی مانند کربوهیدرات‌ها و آمینواسیدها در سیتوپلاسم نقش مهمی در تنظیم فشار اسمزی گیاهان دارند (۳۰).

افزایش وزن اندام هوایی گیاه می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت فتوسنتزی باشد که خود سبب افزایش تعداد شاخه-های فرعی، تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ و ساقه می-شود (۲). در زمینهٔ اثر کود نانوپتاسیم بر افزایش عملکرد می‌توان اظهار داشت که کودهای نانو به دلیل ساختار خود و رهاسازی آرام ترکیباتشان تأثیر بسیاری در جذب عناصر توسط گیاهان دارند که سبب افزایش جذب عناصر، فتوسنتز بیشتر و تولید گیاه بیشتر می‌شود (۳۱). کود دهی برگی یا محلول‌پاشی در واقع اسپری کردن عناصر غذایی بر برگ و ساقه‌های گیاه و جذب آن‌ها از این مکان‌هاست (۴۱). استعمال برگی می‌تواند دسترسی گیاهان به عناصر غذایی را برای به دست آوردن عملکرد بالا تضمین کند. از دید اکولوژیکی، کود دهی برگی قابل قبول‌تر است چون مقادیر عناصر غذایی برای مصرف سریع‌تر به‌وسیله گیاه فراهم می‌شود (۶۴). نانوکودها مواد مغذی خود را به‌آرامی و به‌طور پیوسته رها می‌کنند، بنابراین کودهای نانو می-توانند میزان رهاسازی موادغذایی خود را تنظیم کنند. این مساله بازده استفاده از این کودهای نانو را بهبود می‌بخشد (۲۵). طی آزمایشی اثر نانو کلات پتاسیم و کلسیم را بر روی ویژگی‌های کمی و کیفی ریحان بررسی و دریافتند که

غلظت ۲ در هزار نانوکلسیم و ۶ در هزار نانوپتاسیم در مقایسه با نمونه شاهد بیشترین تأثیر مثبت را بر ارتفاع بوته، وزن خشک، سطح برگ، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، درصد پتاسیم و مقدار کلروفیل موجود در ریحان داشتند (۳۱).

کاهش عملکرد در طی افزایش سطح تنش خشکی می‌تواند مربوط به افزایش اختصاصی مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه باشد (۶۳). یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس سلول و کاهش سطح تعرق کنندگی گیاه می‌باشد. در این شرایط جذب مواد غذایی کند شده و رشد و توسعه سلول‌ها در اندام هوایی برگ و ساقه کم شده و ارتفاع ونیز حجم اندام هوایی گیاه کاهش می‌یابد (۱۲). در پژوهشی تأثیر کاربرد محلول‌پاشی کود نانوفرتایل حاوی اسید هیومیک بر گیاه نعنا فلفلی بررسی شد و نتایج نشان دادند که محلول‌پاشی در همه غلظت‌ها نسبت به شاهد سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه و وزن تر و خشک بوته شد (۵). با توجه به اثر معنی‌دار تنش خشکی بر درصد اسانس، بنا به نظر Penka (۱۹۷۸) (۵۱) عموماً تشکیل و تجمع اسانس در گیاهان در شرایط محیطی خشک‌تر تمایل به افزایش دارد. تراکم غده‌های مترشحه‌ی اسانس در اثر کاهش سطح برگ در شرایط تنش خشکی به‌عنوان دلیلی برای تجمع بیشتر اسانس در گیاه‌های ریحان و نعنا ذکر شده است (۱۰). نتایج مشابهی توسط اردکانی و همکاران (۱۳۸۶) (۱) در اثر کمبود آب بر کمیت و کیفیت گیاه بادرنجبویه گزارش شده است. آنها نتیجه گرفتند که برای تولید اسانس از این گیاه می‌توان از تنش ملایم (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) استفاده کرد. در آزمایش‌های حسنی و امید بیگی (۱۳۸۱) (۴) روی ریحان و لتچاتمو و همکاران (۱۹۹۴) (۴۲) روی آویشن، بیشترین درصد اسانس از رژیم آبی ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه به دست آمد. نتایج تحقیقات افکاری (۲۰۱۶) (۱۸) و سیروس مهر و روشن ضمیر (۱۳۹۳) (۶) نیز نشان دادند که با افزایش تنش کم‌آبی در گیاه ریحان میزان اسانس افزایش می‌یابد. به‌هرحال باتوجه به نتایج تحقیقات گذشته که در مورد گونه‌های معطر انجام شده است چنین نتیجه‌گیری می‌شود که تغییرات میزان اسانس در شرایط تنش خشکی بسیار متفاوت و کاملاً به نوع گونه مورد تنش بستگی دارد، لذا چنین استنباط می‌شود که ژنوتیپ گیاه مورد تنش نقش بسیار مهمی را در عکس‌العمل گیاه به شرایط تنش دارد (۱۰).

پتاسیم سبب می‌شود تا انتقال مواد فتوسنتزی به سمت برگها بیشتر شده و گیاهانی که کمبود پتاسیم دارند اغلب دارای نیتروژن زیاد و کمبود هیدرات‌های کربن هستند که این وضعیت تولید ریشه‌ها را کاهش می‌دهد و سبب کاهش عملکرد در گیاهان می‌شود (۳۲). حسن‌پور و همکاران (۲۰۰۸) اعلام کردند اثر سطوح مختلف پتاسیم و نیتروژن را بر افزایش میزان اسانس در گیاه تاناستوم (*Tanacetm balsamita*) بررسی کردند، بالاترین میزان اسانس در بالاترین میزان کود کاربردی به دست آمد. کاربرد همزمان این دو کود، در افزایش اسانس اثر معنی‌دار داشت. این محققان اعلام کردند که تغذیه مناسب گیاهان در قالب کودهای مختلف، سبب تقویت مسیرهای درگیر در تولید متابولیت‌های ثانویه می‌شود. به نظر می‌رسد که پتاسیم در ساختمان آنزیم‌هایی که در مسیرهای بیوشیمیایی درگیر در سنتز مواد مؤثره گیاهی مؤثر هستند، دخیل است. آن‌ها همچنین اظهار داشتند که همانطور که کمبود مواد غذایی سبب کاهش عملکرد و به دنبال آن کاهش میزان مواد مؤثره است، عدم توازن در کاربرد کودها نیز اثری مشابه داشته و سبب کاهش میزان اسانس تولیدی خواهد شد (۳۶).

کودهای مختلف با تأثیری که بر افزایش عملکرد گیاه می‌گذارند سبب افزایش میزان اسانس و عملکرد آن می‌گردند که در این آزمایش نیز محلول‌پاشی نانوپتاسیم تا حد زیادی سبب افزایش عملکرد خشک نعنا فلفلی و به‌تبع اسانس آن شد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این آزمایش نشان دادند که تنش خشکی اثر منفی بر رشد و ارتفاع، عملکرد تر و خشک، کلروفیل a و رطوبت نسبی نعنافلفلی دارد و تعداد پنجه‌های آن کاهش می‌یابد. این مساله را چنین می‌توان توجیه کرد که رشد رویشی ضعیف ناشی از کمبود آب، سبب افت در عملکرد نهایی شده است. براساس نتایج بدست آمده از این تحقیق می‌توان بیان کرد هرچند با کاهش میزان آب مصرفی در دسترس گیاه از عملکرد و رطوبت گیاه کاسته شده اما با محلول‌پاشی نانوپتاسیم در سطوح مختلف تا حد زیادی اثرات سوء تنش خشکی بر نعنافلفلی کاهش یافت. همچنین مشاهده شد با افزایش خشکی تا سطح ۶۰٪ FC میزان اسانس نیز افزایش یافته، ولی با تشدید تنش خشکی، عملکرد اسانس کاهش یافت. این کاهش عملکرد که به‌تبع کاهش رطوبت خاک می‌باشد ممکن است ناشی از اثرات زیان‌آور تنش خشکی بر رشد و عملکرد پیکر رویشی گیاه باشد. نتایج نشان داد تنش خشکی باعث افزایش کلروفیل b، پرولین و کربوهیدرات محلول در گیاه شد، طوری که بیشترین میزان این ترکیبات در تنش شدید مشاهده شد.

سپاسگزاری

هزینه اجرای این آزمایش از محل اعتبار پژوهانه شماره UOZ-GR-9517-21 معاونت محترم پژوهشی دانشگاه زابل تامین شده است.

منابع

۱- اردکانی، م. ر.، عباس‌زاده، ب.، شریفی عاشور آبادی، ا.، لباسچی، م. ح.، و پاک‌نژاد، ف.، ۱۳۸۶. بررسی اثر کمبود آب بر کمیت و کیفیت گیاه بادرنجبویه، (*Melissa officinalis* L.). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۳(۲)، صفحات ۲۶۱-۲۵۱.

۲- پیوندی، م.، میرزا، م.، و کمالی جامکانی، ز.، ۱۳۹۰. تأثیر نانو کلات آهن با کلات آهن بر رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مرزه *Satureja hortensis*. تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی-مولکولی،۲(۵)، صفحات ۳۲-۲۵.

۳- جعفرزاده، ر.، جامی معینی، م.، و حکم‌آبادی، م. ا.، ۱۳۹۲. اثر مصرف خاکی و محلول پاشی نانو کود پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم، دومین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی، ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، https://www.civilica.com/Paper-NCNCA02-NCNCA02_260.html.

۴- حسنی، ع.، و امیدبیکی، ر.، ۱۳۸۱. اثرات تنش آبی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه ریحان، دانش کشاورزی، ۱۲(۳)، صفحات ۶۰-۴۷.

۵- روستا، ح. ر.، حسین‌خانی، م.، و وکیلی شهربابکی، م. ع.، ۱۳۹۴. تأثیر کاربرد برگی کود نانوفرتایل حاوی اسید هیومیک بر رشد، عملکرد و غلظت عناصر غذایی در گیاه نعناع (*Mentha satiava*) در سیستم آکواپونیک، مجله علوم و فنون کشت های گلخانه‌ای، ۶ (۴)، صفحات ۱۰-۱.

۶- سیروس مهر، ع.، و روشن ضمیر، ف.، ۱۳۹۳. تأثیر تنش کم‌آبی و کود فسفر بر روی برخی از خصوصیات فیزیولوژیک و درصد اسانس ریحان(*Ocimum basilicum* L.) . زراعت (پژوهش و سازندگی)، ۱۰۵ صفحات ۱۴۰-۱۳۴.

۷- صفی‌خانی، ف.، حیدری شریف‌آباد، ح.، سیادت، س. ع.، شریفی عاشور آبادی، ا.، سید نژاد، س. م.، و عباس زاده، ب.، ۱۳۸۶. تأثیر تنش خشکی بر درصد و عملکرد اسانس و ویژگیهای فیزیولوژیک گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۳(۱)، صفحات ۹۹-۸۶.

۸- عابدی باباعربی، س.، موحدی دهنوی، م.، یدوی، ع.، ادهمی، ا.، ۱۳۹۰. تأثیر محلول پاشی روی و پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ در شرایط تنش خشکی، مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، ۴(۱)، صفحات ۷۵-۹۵.

۹- عباس‌زاده، ب.، شریفی عاشور آبادی، آ.، لباسچی، م. ح.، نادری حاجی‌باقر کندی، م.، و مقدمی، ف.، ۱۳۸۶. اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، قندهای محلول، کلروفیل و آب نسبی (RWC) بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.)، تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۳(۴)، صفحات ۵۰۴-۵۱۳.

۱۰-قانی دهکردی، ف.، قاسمی پیر بلوطی، ع.، حامدی، ب.، و ملک-پور، ف.، ۱۳۹۰. بررسی اثر سطوح مختلف آب و نیتروژن بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی بابونه اوراً

(*Matricaria aurea* L.). داروهای گیاهی،۲(۲)، صفحات ۱۱۱-۱۰۱.

۱۱- کمال نژاد، ج. ا.، فرهی آشتیانی، ص.، و قناتی، ف.، ۱۳۸۵. بررسی اثرات شوری و پتاسیم بر میزان رشد رویشی و زایشی در دو رقم جو ریحان و افضل، نشریه علوم دانشگاه تربیت‌معلم، ۶(۱)، صفحات ۶۹۶-۶۸۵.

۱۲- لطفی، م.، عباس‌زاده، ب.، و میرزا، م.، ۱۳۹۳. اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، پرولین، قندهای محلول و عملکرد ترخون (*Artemisia dracunculus* L.)، تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران،۳۰(۱)، صفحات ۲۹-۱۹.

۱۳- مجیدی هروان، ا.، ۱۳۷۲. مکانیزم فیزیولوژیکی مقاومت به تنگناهای محیطی، چکیده مقالات اولین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه تهران، صفحات ۱۳۴-۱۳۳.

۱۴- ملکوتی، م. ج.، ۱۳۷۷. روش جامع تشخیص و مصرف بهینه کودهای شیمیایی (چاپ سوم با بازنگری)، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۱۵- ملکوتی، م. ج.، و طهرانی، م. م.، ۱۳۸۴. نقش ریزمغذی ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی (عناصر خود با تأثیر کلان)، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

۱۶- موسوی نیک، م.، ۱۳۹۱. بررسی اثر سطوح مختلف کود گوگرد بر عملکرد کمّی و کیفی گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* L.) در شرایط تنش خشکی در منطقه بلوچستان، بوم‌شناسی کشاورزی، ۴ (۲)، صفحات ۱۸۲-۱۷۰.

۱۷- نظامی، س.، نعمتی، س. ح.، آرویی، ح.، و باقری، ع. ا.، ۱۳۹۵. تأثیر بررسی اثرات تنش کم‌آبی بر خصوصیات رویشی سه گونه نعناع، تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۹(۱)، صفحات ۷۴-۵۹.

18- Afkari, A., 2016. The Effects of Water Deficit Stress on Physiological and Biochemical Changes of Medicinal Plants *Ocimum basilicum* L. under Climatic Conditions in Ardabil, Iran. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR)*, 7(4), PP: 54-60.

19- Ain-Lhout, F., Zunzunegui, M., Diaz Barredas, M. C., Tirado, R., Clavijo, A., and Garcia Novo, F., 2001. Comparison of proline accumulation in two mediterranean shrubs subjected to natural and experimental water deficit. *Plant and Soil*, 230, PP: 175-183.

20- Arnon, A. N., 1976. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*. 23, PP: 112-121.

21- AttilaTátrai, Z., Sanoubar, R., Pluhár, Z., Mancarella, S., Orsini, F., and Gianquinto, G., 2016. Morphological and Physiological Plant Responses to Drought Stress in *Thymus citriodorus*. *International Journal of Agronomy*. 10, PP: 1-8.

22- Bates, I. S., Waldem, R. P., and Teare, I. D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39, PP: 205-207.

23- Beltrano, J., and Ronco, M. G., 2008. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus Glomus claroideum: Effect on growth and cell membrane stability. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 20(1), PP: 29-37.

24- Bupesh, G., Amutha, C., Nandagopal, S. G., aneshumar, A., Sureshkumar, P., and Murali, K. S., 2007. Antibacterial activity of *Mentha piperita* L. (Peppermint) from leaf extracts – a medicinal plant. *Acta Agriculturae Slovenica*. 89(1), PP: 9–73.

25- Chinnamuthu, C., 2009. Nanothecnology and agroecosystem. *Madras Agriculture Journal*. 96, PP: 17-31.

26- Colom, M. R., and Vazzana, C., 2003. Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. *Environmental and Experimental Botany*. 49, PP: 135-144.

27- Cui, H. C., Sun, Q., Liu, J., and Jiang, G. U., 2006. Applications of Nanotechnology in Agrochemical Formulation. Perpectiv, Challenges and Strategies, Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, *Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijig, China*, PP: 1-6.

28- Dai, J., Orsat, V., Raghavan, G. S. V., and Yaylayan, V., 2010. Investigation of various factors for the extraction of peppermint (*Mentha piperita* L.) leaves. *Journal of Food Engineering*. 96, PP: 540 – 3.

29- Egilla, N., Davies, F. T., and Boutton, T. W., 2005. Drought stress influences leaf water content, photosynthesis, and water use efficiency of Hibiscus Rosa – sinensis at three potassium concen trations. *Biomedical and Life Sciences*. 43 (1), PP: 135 – 140.

30- Flagella, Z., Pastore, D., Campanile, R. G., and Fonzo, N. D., 1995. The quantum yield or

photosynthetic Application to precision agriculture and crop physiology. *Journal of Special Publication*. 170, PP: 224-233.

31- Gahremani, A., Akbari, K., Yousefpour, M., and Ardalani, H., 2014. Effects of Nano Potassium and Nano-Calcium Chelated Fertilizers on Qualitative and Quantitative Characteristics of *Ocimum basilicum*. *International Journal for Pharmaceutical Research Scholars,* 3(12), PP: 325-241.

32- Gelder, H. V., and Van gelder, H. H. M., 1988. Influence of potassium fertilizer application level on oil production and quality in Mentha Piperita L. *Applied- plant science*. 2(2), PP: 68-71.

33- Ghosh, P. K., Ajay, K. K., Bandyopadhyay, M. C., Manna, K. G., Mandal, A. K., and Hati, K. M., 2004. Comprative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizerNPK on three cropping system in vertisols of semi-arid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity, *Bioresource Technology*. 95, PP: 85-93.

34- Gnanasekaran, N., and Kalavathy, S., 2017. Drought Stress Signal Promote the Synthesis of more Reduced Phenolic Compounds (Chloroform Insoluble Fraction) in Tridax procumbens. *Free Radicals and Antioxidants,* 7(1), PP: 128-136.

35- Hassani, A., Tajali, A. L., and Hosseni Mazinani, S. M., 2015. Study the Conventional Chemical Fertilizers and Nano-fertilizer of Iron, zinc and Potassium on Quantitative yield of Medicinal plant of Peppermint (*Mentha Piperita* L.) in Khuzestan. International Journal of Agriculture Innovations and Research (IJAIR), 3(4), PP: 1078-1082.

36- Hassanpour aghdam, M. B., Tabatabaie, S. J., Nazemiyeh, H., and Aflatuni, A., 2008. N and nutrition levels affect growth and essential oil content of costmary (*Tanacetum balsamita* L.). Food, Agriculture and Environment, 6(2), PP: 150-154.

37- Jomo, O. M., Netondo, G. W., and Musyimi, D. M., 2016. Drought inhibition of chlorophyll content among seven Amaranthus species. International Journal of AdvancedResearch in Science, Engineering and Technology (IJARSET), 3(2), PP: 1362-1371.

38- Kerepsi, I., Toth, M., and Boross, L., 1996. Water-soluble carbohydrates in dried plant. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 10, PP: 3235-3239.

39- Khalid, K. H. A., 2006. Influence of K water stress on growth, essential oil and chemical composition of Herb (*Ocimum* sp). *Agrophysics,* 20, PP: 289-296.

40- Kottegoda, N., Munaweera, I., Madusanka, M., and Karunaratne, V., 2011. A green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. Current Science, 101 (1), PP: 73-78.

41- Kuepper, G., 2003. Foliar fertilization. *NCAT Agriculture Speciallist, ATTRA Publication*, 10p.

42- Letchamo, W. R., Marquard, J., and Gosselin, A., 1994. Effects of water supply and light intensity on growth and essential oil of two *Thymus vulgaris* selections. Angewandte Botanik. 68, PP: 83-88.

43- Maffei, M., and Mucciarelli, M., 2003. Essential oil yield in peppermint/soybean strip intercropping. Field Crops Research. 84, PP: 229 – 40.

44- Manivannan, P., Jaleel, C. A., Sankar, B., Kishurekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G. M., and Panneerselvam, R., 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. Colloids and Surfaces, Biointerfaces, 59, PP: 141-149.

45- Marschner, P., 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. Academic Press, London, UK, PP: 178-189.

46- Molinari, H. B. C., Marur, C. J., Bespalhok, J. C., Kobayashi, A. K., Pileggi, M., Pereira, F. P .P., and Vieira, L. G. E., 2004. Osmotic adjustment in transgenic *Citrus* rootstocks (*Carrizo citrange*) overproducing proline, Plant Science.167, PP: 1375–1381.

47- Nautiyal, P. C., Rachaputi, N. R., and Joshi, Y. C., 2002. Moisture-deficit-induced changes in leafwater content, leaf carbon exchange rate and biomass production in groundnut cultivars differing in specific leaf area. Field Crop Research. 74, PP: 67-79.

48- Nguyen, T., Nguyet, N., Xuan, H., and Nguyen, H., 2013. Effects of irrigation regimes and fertilizers to Eh in the paddy soil of the red river delta, Vietnam. ARPN Journal of Agricultural and Biological Sciences, 8, PP: 201 – 205.

49- Nonami, H., Wu, Y., and Boyer, J. S., 1997. Decreased growth-induced water potential a primary cause of growth inhabitation at low water potentials. Plant Physiology, 114, PP: 501-509.

50- Omidbaigi, R., Hassani, A., and Sefidkon, F., 2003. Essential oil content and composition of sweet Basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 6, PP: 104-10.

51- Penka, M., 1978. Influence of irrigation on the contents of effective substances in officinal plants. Acta Horticulture, 73, PP: 181-198.

52- Pessarkli, M., 1999. Handbook of Plant and Crop Stress. *Marcel Dekker Inc*, 679 p.

53- Pirzad, A., Shakiba, M. R., Zehtab-Salmasi, S., Abolghasem Mohammadi, S., Darvishzadeh, R., and Samadi, A., 2011. Effect of water stress on leaf relative water content, chlorophyll, proline and soluble carbohydrates in *Matricaria chamomilla* L. Journal of Medicinal Plants Research, 5(12), PP: 2483-2488.

54- Rassam, G. H., Dadkhah, A., and Khoshnood Yazdi, A., 2014. Evaluation of Water Deficit on Morphological and Physiological Traits of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). Journal of Science Agronomy. 5(10), PP: 1-12.

55- Sadras, V. O., and Milroy, S. P., 1996. Soil–water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchanges: A review. Field Crops Research, 47, PP: 256-266.

56- Sarani1, M., Namrudi, M., Hashemi1, S. M., and Raoofi, M. M., 2014. The effect of drought stress on chlorophyll content, root growth, glucosinolate and proline in crop plants. International Journal of Farming and Allied Sciences, 3(9), PP: 994-997.

57- Schonfeld, M. A., Jhonson, R., Carver, B. F., and Mornhinweg, D. W., 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Science, 28, PP: 526-531.

58- Schutz, H., and Fangmier, E., .2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO2 and water limitation. Journal of Environ Pollution, 114, PP: 187-194.

59- Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., Tajbakhsh Shishvan, M., Seyed Sharifi, R., 2010. Effects of Nano-Iron Oxide Particles on Agronomic Traits of Soybean. Notulae Scientia Biologicae, 2(2), PP: 112-113.

60- Singh, R., Shushni, A. M., and Belkheir, A., 2011. Antibacterial and antioxidant activities of *Mentha piperita* L. *Arabian Journal of Chemistry*, 1, PP: 1- 5.

61- Slama, I., Ghnaya, T., Hessini, K., Messedi, D., Savoure, A., and Abdelly, C., 2007. Comparative study of the effects of mannitol and PEG osmotic stress on growth and solute accumulation in *Sesuvium portulacastrum.* Environmental and Experimental Botany, 61, PP: 10–17.

62- Smirnoff, N., 1993. The role active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation, New Phytologist. 125, PP: 27- 28.

63- Srinivasulu, M. R., and Chakrapani, R., 2011. Factors affecting seed germination and seedling growth of tomato plants cultured in vitro conditions. Journal of Chemical, Biological and Physical Science, 1 (2), PP: 328-334.

64- Stampar, F., Hudina, M., Dolenc, K., and Usenik, V., 1998. Influence of foliar fertilization on yield quantity and quality of apple (*Malus domestica* borkh), Improved crop quality by nutrient management, Improved crop quality by nutrient management, PP: 91-94.

65- Tambussi, E. A., Bartoli, C. G. Bettran, J., Guiamet, J. J., and Araus, J. C., 2000. Oxidative damage to thylakoids proteins in water stressed leaves of wheat (*Triticum sativum* L.). Plant Physiology, 108, PP: 398-404.

66- Tarhan, S., Telci, I., Tuncay, M. T., and Polatci, H., 2010. Product quality and energy consumption when drying peppermint by rotary drum dryer. Industrial Crops and Products, 32, PP: 420 – 7.

67- Thalooth, A. T., Tawfik, M. M., and Magda Mohamed, H., 2006. A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. World Journal Agricultur Sciences. 2(1), PP: 37-46.

68- Valmorbida, J., and Boaro, C. S. F., 2007. Growth and development of *Mentha piperita* L. in nutrient solution as affected by rates of potassium. Brazilian Archives of Biology and Technol. 50 (3), PP: 379 - 84.

Effect of nano-potassium fertilizer on some morpho-physiological characters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress

Saedi F.[1], Sirousmehr A.R.[1] and Javadi T.[2]

[1] **Dept. of Agronomy, Faculty of Agricultur, University of Zabol, Zabol, Iran**

[2] **Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, I.R. of Iran**

Abstract

An experiment was carried out in greenhouse condition in 2014 to assess the effects of water deficit stress and nano potassium fertilizer on some vegetative and physiological characteristics of peppermint. The experiment was conducted as factorial based on randomized complete block design with three replications. The levels of water deficit were; full field capacity (100%FC), 80 percent of field capacity (80%FC) and 60 percent of field capacity (60%FC). Also nano potassium foliar application were carried out with different concentrations; control (T_1), 2 g/L (T_2), 4 g/L (T_3) and 6 g/L (T_4). The measured properties were plant height, number of tillers per plant, fresh and dry yield, weight percent of essential oil and its yield, chlorophyll a, chlorophyll b, relative water content (RWC), prolin and total soluble carbohydrates. Data were analyzed using SAS software and means were compared with Duncan's test. The correlation coefficients were obtained by SPSS software. Results indicated that increasing the level of nano potassium fertilizer would significantly increase the plant height, number of tillers per plant, fresh and dry weight, yield and weight percent of essential oil, chlorophyll a, chlorophyll b, RWC, prolin and the total soluble carbohydrates. All properties except chlorophyll b, prolin and weight percent of essential oil reached to the maximum value by applying control treatment (100%FC). In general, the essential oil percentage were increased with increasing the drought stress. The maximum values of dry weight (4.81 g/plot), oil yield (7.52 g/plot) and total soluble carbohydrates (2.13 µg per g fresh weight) were obtained by foliar application of 6 g/L and also control, moderate stress and severe stress treatments, respectively. In general, the nano-potassium spray application reduced the effect of dehydration stress.

Key words: Nano fertilizer, Osmotic regulators, Peppermint, Water deficit stress