



## Influence of drought stress on the growth of African basil (*Ocimum gratissimum*).

Hamide Fatemi<sup>1</sup>, Majid Azizi\*<sup>2</sup>, Mohammadhossein Ravanbakhsh<sup>3</sup>

- 1- Researcher, Department of Horticulture, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
- 2- Full Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
- 3- Institute of Environmental Biology, Ecology and Biodiversity Group, Utrecht University, Utrecht, Netherlands

\*Corresponding author: [azizi\\_majid@yahoo.com](mailto:azizi_majid@yahoo.com)

(Received: 8 May 2023

Revised: 15 June 2023

Accepted: 21 June 2023)

### Extended Abstract

- 1. Introduction:** Increasing drought due to global climate change will reduce plant growth and thus reduce food production in natural ecosystems and agricultural systems. In response, plants undergo several physiological and morphological modifications like reduced transpiration and photosynthesis rate, osmotic adjustments, suppressed root and shoot growth, overproduction of reactive oxygen species (ROS), modified stress signalling pathways, and senescence. To cope with these challenges, plant scientists will need to begin producing novel crop varieties that have increased yield, that are tolerant to abiotic stresses, and that have improved water and nutrient uptake efficiencies. Among the methods available, knowing about the response of different plant species to drought stress and selecting resistant species is considered one of the efficient solutions. Basil is one of the most popular and valuable vegetables, widely used around the world. It is marketed both in fresh and dried form for use in the spice and food industries and also as a medicinal plant with applications in the perfume, cosmetic, and pharmaceutical industries. This plant grows under warm conditions, but it is so sensitive to drought stress. The significant reduction under drought stress is widely reported.
- 2. Materials and Methods:** First, a pre-test comparing two species, *Ocimum basilicum* and *O. gratissimum*, the results showed that the plant weight and chlorophyll in *O. gratissimum* species are significantly higher than *O. basilicum*. Then, the main study was conducted to investigate the response of *O. gratissimum* species to drought stress in the climatic conditions of Mashhad. In this research, seedlings of this species were prepared in the greenhouse and then transferred to pots, and after the complete establishment of water stress was applied, and the plants were kept until the flowering stage. The drought-stressed plants received half the amount of water compared to the control plants. All cultivation practices were carried out uniformly for all pots, and no fertilizers or additional substances were applied to the plants during the experiment. Then the morphological characteristics (wet and dry weight of the plant, height, leaf area, and root volume), chlorophyll, relative water content, antioxidant activity, phenol and flavonoid content, vitamin C content, and concentration of nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium, iron, zinc, manganese) were measured.
- 3. Results and Discussion:** The results of this research showed that fresh weight, dry weight, height, leaf area, root volume, and stem diameter decreased by 61, 55, 51, 52, 11, and 35% respectively, in stressed plants compared to the control. The indicators related to chlorophyll fluorescence were affected by drought stress in this plant, and except for Fm and Fv/Fm, where Ft and F0 increased by 20% and 24%, respectively, compared to the control plants. Photosynthesis in these plants showed a significant decrease of 31% under the influence of the decrease in irrigation water, which was completely predictable. Drought stress in this type of basil could not show significant effects on antioxidant capacity and vitamin C, while the amount of total phenol, total flavonoid, and chlorophyll showed a significant difference from control plants. Chlorophyll increased by 5% in stressed plants, but total phenol and total flavonoid showed a significant decrease of 7% and 6%, respectively, compared to the control plants. In this experiment, the amount of proline was affected by drought stress and increased by 55%. The activity of the peroxidase enzyme also showed an increase of 68% in this plant under the stress of low irrigation. Membrane leakage

was also recorded at higher numbers in this plant under stress, increasing by up to 44%. According to the findings of this research, the concentration of macro and micro elements, except for iron, was affected by stress. Thus, the content of nitrogen, manganese, zinc, phosphorus, and potassium in the plants that received less water decreased by 15, 31, 31, 21, and 22% respectively, compared to the control plants. It seems that in *O. gratissimum*, drought stress significantly decreases photosynthesis and macro and microelements, and finally biomass.

**4. Conclusions:** It seems that in normal conditions, *O. gratissimum* performs better than *O. basilicum*. Under drought stress quality and biomass of *O. gratissimum* are significantly affected, and the absorption of nutrients is more impacted than other indicators, such as metabolites, but more research is needed with the presence of other species in different weather conditions and different degrees of stress.

**Keywords:** Antioxidant activity, Flavonoid, Nutrient, Phenol.

Citation: Fatemi, H., Azizi, M. & Ravanbakhsh, M.H. (2025). Influence of drought stress on the growth of African basil (*Ocimum gratissimum*). *Journal of Vegetables Sciences*, 17(1), 169-178. doi: 10.22034/iuvs.2023.2001866.1285

**Copyrights:**

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





## بررسی تأثیر خشکی بر رشد، خواص کیفی و عناصر در گیاه ریحان آفریقایی (*Ocimum gratissimum*)

حمیده فاطمی<sup>۱</sup>، مجید عزیزی<sup>۲\*</sup>، محمد حسین روانبخش<sup>۳</sup>

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

۲- استاد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- گروه اکولوژی و تنوع زیستی، دانشگاه اوتراخت، اوتراخت، ایران

\*نویسنده مسئول: [azizi\\_majid@yahoo.com](mailto:azizi_majid@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸

### چکیده

انتخاب گونه‌های مقاوم و متناسب با اقلیم هر منطقه یکی از راه‌کارهای کارآمد تحت تنش به حساب می‌آید. بدین منظور این پژوهش با هدف بررسی پاسخ گونه *O. gratissimum* به تنش خشکی در بهار و تابستان ۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. در ابتدا پیش‌تست اولیه بر روی گونه رایج *O. basilicum* و *O. gratissimum* انجام و نتایج نشان داد که وزن بوته و شاخص سبزی‌نگی در گونه *O. basilicum* نسبت به *O. gratissimum* بطور معنی‌داری بالاتر است. در مرحله دوم تأثیر تنش خشکی بر گونه *O. gratissimum* بررسی شد. در ابتدا نشاها تهیه و سپس به گلدان منتقل شدند و پس از استقرار کامل تنش خشکی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) اعمال و گیاهان تا مرحله گلدهی نگهداری شدند. سپس صفات وزن تر و خشک گیاه، ارتفاع، سطح برگ، حجم ریشه، شاخص سبزی‌نگی، نشت غشا، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوی فنل و فلاونوئید، ویتامین ث، فعالیت آنزیم پراکسیداز، پرولین و غلظت عناصر غذایی (نیترژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز) اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد وزن تر، وزن خشک، ارتفاع، سطح برگ، و قطر ساقه به ترتیب ۶۱، ۵۵، ۵۱، ۵۲، و ۳۵ درصد در گیاهان تحت تنش نسبت به شاهد کاهش یافتند. گیاهان در شرایط تنش میزان شاخص سبزی‌نگی بالاتر اما میزان فنل و فلاونوئید پایینتری را ثبت کردند. علاوه بر این محتوای عناصر نیترژن، منگنز، روی، فسفر و پتاسیم تحت تنش به ترتیب ۱۵، ۳۱، ۳۱، ۲۱ و ۲۲ درصد نسبت به گیاهان شاهد کاهش یافت. به نظر می‌رسد جذب عناصر غذایی بیش از شاخص‌های دیگر مانند متابولیت‌ها تحت تأثیر تنش قرار گرفته است که این مسئله نیاز به بررسی بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی: عناصر غذایی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل، فلاونوئید.

استناد: فاطمی، ح.، عزیزی، م. و روانبخش، م. ح. (۱۴۰۴). بررسی تأثیر خشکی بر رشد، خواص کیفی و عناصر در گیاه ریحان آفریقایی (*Ocimum gratissimum*). علوم سبزی‌ها، ۱۷(۱)، ۱۶۹-۱۷۸.

### حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

جنس *Ocimum* L. متعلق به خانواده Lamiaceae، گیاهانی یکساله و چند ساله بومی آفریقا، آسیا، آمریکای مرکزی و جنوبی است، اما به طور گسترده در سراسر جهان منتشر شده‌اند (Maddi *et al.*, 2019). گیاه ریحان جز گیاهان باغی محبوب و ارزشمند است که در سراسر جهان به عنوان یک گیاه دارویی، زینتی و ادویه‌ای استفاده می‌شود (Rahman *et al.*, 2021; Roupael *et al.*, 2021; Rihan *et al.*, 2017). عرضه آن به بازار به دو صورت خشک و تازه در صنایع ادویه و غذایی می‌باشد (Acosta-Pérez *et al.*, 2020) و همانطور برای تولید اسانس در مقیاس صنعتی (Lazarević *et al.*, 2021) با کاربری در صنایع عطر، لوازم آرایشی و دارویی از این گیاه استفاده می‌شود (Acosta-Pérez *et al.*, 2020). علاوه بر این اسانس حاوی اجزای معطر و فرار با فعالیت‌های ضد باکتری، ضد قارچ و نماتدکش و دافع حشرات است (Acosta-Pérez *et al.*, 2020). که پتانسیل کاربرد در صنایع تولید حشره‌کش‌های زیستی را نیز داراست. ریحان گیاهی است که در شرایط گرم و آفتابی بهترین رشد را دارد (Damalas *et al.*, 2019). با این حال، نسبت به تنش خشکی بسیار حساس است (Pirbalouti *et al.*, 2017; Damalas *et al.*, 2019). کاهش قابل توجه رشد گیاهان تحت تنش خشکی یک پدیده شناخته شده و به‌طور گسترده گزارش شده است که گونه‌های ریحان نیز از این قاعده مستثنی نیستند. بنابراین، تأثیر تنش خشکی بر وزن تر و خشک گیاه ریحان توسط بسیاری از محققان گزارش شده است، بطور مثال Damalas و همکاران (2019) گزارش کردند شرایط تنش خشکی در گیاهان ریحان باعث کاهش وزن تر (۳/۴۸٪) و وزن خشک (۶/۵۰٪) نسبت به گیاهان شاهد شد. Khaled و همکاران (۲۰۰۶) تأثیر تنش آبی را بر رشد رویشی، اسانس، پرولین، کربوهیدرات کل، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و محتوای پروتئین دو گونه *O. basilicum* L. و *O. americanum* L. بررسی کردند. وزن تر و خشک گیاهان به طور معنی داری تحت تأثیر تنش آبی قرار

خشکی به‌عنوان یک تهدید بزرگ در بسیاری از مناطق جهان بسیاری از فرآیندها در گیاهان را مختل می‌کند (Daryanto *et al.*, 2016). شیوع کم‌آبی به دلیل وقوع بارندگی کم یا عدم وجود بارندگی است که در نتیجه رطوبت خاک و پتانسیل منفی در قسمت‌های هوایی گیاه مانند برگ‌ها و ساقه‌ها ایجاد می‌شود (Ristvey *et al.*, 2019). هنگامی که این اتفاق می‌افتد، سرعت از دست دادن آب از طریق تعرق از برگ‌ها از سرعت جذب آب از طریق ریشه در محیط‌های خشک پیشی می‌گیرد (Goche *et al.*, 2020). علائم تنش خشکی معمول در گیاهان شامل پیچیدگی برگ، زرد شدن برگ‌ها، سوختن برگ‌ها، و پژمردگی دائمی است (Corso *et al.*, 2020). علاوه بر این گیاهانی که در این شرایط با چالش‌های زیادی در سطح بیوشیمیایی و مولکولی روبرو هستند که در تمامی این موارد در نهایت منجر به ممانعت از رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Ahmad *et al.*, 2018). تنش خشکی با برهم زدن مکانیسم برداشت نور، تاثیر منفی بر آنزیم روبیسکو و متابولیسم رنگدانه‌های فتوسنتزی سبب کاهش فتوسنتز به‌عنوان کارخانه تولیدی گیاه می‌شود (Chowdhury *et al.*, 2016; Sharma & Zheng.T, 2019). کاهش جوانه‌زنی و کاهش جابجایی جذب و تثبیت کربن (Zlatev & Lidon, 2012)، کاهش زمان گلدهی و تأثیر بر اندام‌های تولید مثلی، عقیمی دانه گرده (Sehgal *et al.*, 2018) از تأثیرات منفی دیگر این تنش مخرب به حساب می‌آیند. علاوه بر این، تنش خشکی می‌تواند به شدت بر الگوی تولید متابولیت‌های ثانویه نیز تأثیر بگذارد (Jiang *et al.*, 2010; Radwan *et al.*, 2017). خشکسالی منجر به تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) شده (Gharibi *et al.*, 2016) که گیاهان برای مقابله با استرس اکسیداتیو، مکانیسم‌های مولکولی و بیوشیمیایی متفاوتی برای از بین بردن رادیکال‌های آزاد از جمله سیستم‌های آنزیمی و غیر آنزیمی را به کار می‌برند (Tohidi *et al.*, 2017).

ابتدا بذور گونه *O. gratissimum* از بانک بذر در کشور آلمان تهیه شد. سپس در اسفند ماه سال ۱۴۰۱ سه عدد بذر در هر خانه سینی کشت حاوی پرلایت و کوکوپیت به نسبت ۹:۱ کشت و در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با دمای ۲۵ درجه سلسیوس و نسبت ساعات روز به شب ۱۶:۸ نگهداری شدند، پس از اینکه نشاهای به مرحله چهار برگی در اواسط فروردین رسیدند به گلدان‌های ۴ کیلویی حاوی خاک لومی و کود دامی منتقل شدند و تا مرحله گلدهی در شرایط فضای باز نگهداری شدند. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری کامل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بودند. تیمار مورد نظر پس از استقرار کامل گیاهان در مرحله شش برگی شروع شد و تا مرحله برداشت با توجه به ظرفیت زراعی گیاهان آبیاری شدند. تمامی عملیات داشت برای گلدان‌ها بصورت یکسان انجام شد و هیچگونه کود و ماده دیگری در حین آزمایش به گیاهان اضافه نشد.

#### اندازه‌گیری میزان فتوسنتز، شاخص سبزی‌نگی و فلورسانس کلروفیل

اندازه‌گیری شاخص سبزی‌نگی با دستگاه SPAD مدل SPAD 502 Plus، فتوسنتز با دستگاه لایکور LCA 4 و فلورسانس کلروفیل با دستگاه فلورمتر (OSI-F1 chlorophyll Flurometer) در روشنایی و شاخص-های F0 (فلورسانس اولیه)، Ft (فلورسانس پایدار) و FV/Fm (حداکثر کارایی کوانتومی فتوسنتز دو) دو هفته قبل برداشت در سه تکرار اندازه‌گیری شدند.

#### صفات مورفولوژیک و عملکردی

پس از گذشت سه ماه و ظهور اولین ساقه گل بوته‌های ریحان از محل طوقه از سطح خاک توسط قیچی باغبانی چیده شدند و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردیدند، شاخساره و ریشه به طور جداگانه توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردید. سپس جهت اندازه‌گیری وزن خشک به طور جداگانه در پاکت کاغذی قرار گرفته و به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس منتقل شدند. پس از گذشت این مدت،

گرفتند. برای هر دو گونه تحت تنش آبی، درصد اسانس، ترکیبات اصلی اسانس، پرولین و محتوای کربوهیدرات کل افزایش و محتوای نیتروژن، پتاسیم و فسفر پروتئین کاهش یافت. در پژوهش دیگری کاهش ۳۴ درصدی توده خشک به دلیل تنش خشکی در این گیاه نیز گزارش شد (Radácsi et al., 2010). به طور مشابه، چندین نویسنده دیگر نیز کاهش قابل توجه عملکرد گیاه ریحان در تنش خشکی گزارش کرده‌اند (kordi et al., 2013; Ghanbari et al., 2013; Asghari et al., 2023; Sadat et al., 2023).

بیشتر مطالعات انجام شده بر روی گونه *O. basilicum* انجام شده است و مطالعات بسیار اندکی بر روی گونه *O. gratissimum* صورت پذیرفته است. با توجه به پتانسیل و کاربرد بالای این گیاه در صنایع مختلف، تنوع بالای گونه‌های مختلف و شرایط مساعد آب و هوایی ایران برای پرورش این گیاه و مشکل کم آبی در دشت ایران به نظر می‌رسد بررسی و کشت گونه‌های دیگر این جنس ضروری است. با این رویکرد گونه *O. gratissimum* انتخاب و در شرایط آب و هوایی مشهد کشت و صفات مختلف آن در شرایط تنش مورد بررسی قرار گرفت.

#### مواد و روش‌ها

##### آزمایش اول

در یک آزمایش اولیه در ابتدا سه عدد بذر دو گونه *O. basilicum* و *O. gratissimum* در گلدان‌های ۲۵۰ گرمی حاوی خاک و کود دامی کشت شدند و در شرایط گلخانه با دمای ۲۵ درجه سلسیوس و طول روز ۱۶ به ۸ نگهداری شدند پس از رشد گیاهچه‌ها یکی از گیاهچه‌ها حفظ و باقی تنک شدند و تمامی گلدان‌ها در شرایط یکسان بطور مرتب آبیاری شدند. پس از حدود دو ماه شاخص سبزی‌نگی آنها با دستگاه اسپد مدل SPAD 502 Plus، اندازه‌گیری و وزن تر بوته با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

##### آزمایش دوم

تهیه بستر، کشت بذر و اعمال تنش خشکی

قرائت شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد آن بدست آمد.

#### اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی تام

برای سنجش محتوی ترکیبات فنلی، فلاونوئید و آنتی-اکسیدان ابتدا عصاره‌گیری انجام شد. اندام هوایی گیاهان پس از انتقال به آزمایشگاه در سایه خشک شدند و عصاره متانولی ۱۰ درصد به روش خیساندن مطابق روش Lein و همکاران (۱۹۹۹) آماده شد و پس از سانتریفیوژ برای استفاده در مراحل بعدی در یخچال ۲۰- نگهداری شد. برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی-اکسیدانی، ابتدا ۱۵ میکرولیتر از عصاره‌ها با دو میلی لیتر از محلول متانولی DPPH (۰/۰۱ مولار) مخلوط شد و سپس میزان جذب پس از ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و تاریکی به کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Photonix Ar5 ساخت ایران و در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت گردید (Akowuah et al., 2009). فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل به صورت درصد پاک‌کنندگی رادیکال DPPH با رابطه زیر (۲) محاسبه شد.

$$I = \frac{(A_i - A_t)}{A_t} \times 100 \quad (2)$$

که در آن I میزان به دام انداختن رادیکال DPPH، Ai عدد جذب نمونه شاهد و At عدد جذب نمونه مورد آزمایش است.

#### اندازه‌گیری محتوی فنل کل

محتوای فنلی کل عصاره‌ها با استفاده از روش Marvino و همکاران (۲۰۰۵) اندازه‌گیری شد. در ابتدا به ۱۰۰ میکرولیتر عصاره ۷۵۰ میکرولیتر از شناساگر فولین سیکالتو (رقیق شده با نسبت ۱،۱۰) اضافه و پس از پنج دقیقه چهار میلی‌لیتر از سدیم کربنات ۷/۵ درصد (وزنی-حجمی) به مخلوط اضافه شده و پس از قرار دادن مخلوط آزمایش به مدت ۹۰ دقیقه در دمای اتاق و تاریکی، میزان جذب در طول موج ۷۵۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Photonix Ar5 ساخت ایران قرائت شد. میزان فنل کل با استفاده از استاندارد اسید گالیک محاسبه و با واحد میلی‌گرم اسیدگالیک بر گرم وزن خشک ارائه شد.

وزن خشک آن‌ها نیز توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردید.

پس از برداشت بوته‌ها و انتقال به آزمایشگاه سطح برگ با استفاده دستگاه سطح برگ سنج مدل Winarea-ut-11 ساخت ایران اندازه‌گیری شد. ارتفاع و قطر ریشه گیاهان ریحان با استفاده از خط کش و کولیس دیجیتالی و حجم ریشه نیز به روش حجمی اندازه‌گیری شد.

#### شاخص نشت غشا

برای اندازه‌گیری نشت غشا ابتدا برگ‌های تازه گیاه سه بار با آب دیونیزه شست و شو و در ظروف سربسته حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر روی شیکر قرار داده شد. پس از این مدت میزان جذب آب در طول موج ۲۸۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Photonix Ar5 ساخت ایران قرائت شد (Lt). و سپس نمونه اتوکلاو شدند و مجدداً میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۲۸۰ نانومتر قرائت شد (L0). برای محاسبه از فرمول زیر (۱) استفاده شد (Redman et al., 1986).

$$\text{نشت غشا (۱)} = (Lt/L0) * 100$$

#### پرولین

محتوی پرولین با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد. در ابتدا ۰/۵ گرم بافت برگ تازه را همراه با ده میلی‌لیتر سولفوسالسیلیک اسید ۳ درصد در یک هاون چینی به مدت سه دقیقه سائیده و محلول حاصل را با کاغذ صافی (واتمن شماره دو) صاف کردیم. سپس دو میلی‌لیتر از محلول صاف شده و دو میلی‌لیتر نین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص در یک لوله آزمایش مخلوط و لوله‌ها را یک ساعت در دمای ۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار دادیم. سپس پس از سرد شدن چهار میلی‌لیتر تولون به مخلوط حاصل اضافه گردید و هر کدام از لوله‌ها ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس شد. پس از تشکیل دو فاز جداگانه، میزان جذب فاز رنگی با دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Photonix Ar5 ساخت ایران با طول موج ۵۲۰ نانومتر

### اندازه‌گیری محتوی فلاونوئید کل

محتوی فلاونوئیدی بر اساس روش Beketove و همکاران (۲۰۰۵) سنجیده شد. در ابتدا به ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره‌ها، ۴/۵ میلی لیتر اتانول ۹۰ درصد، ۲۰۰ میکرو لیتر کلرید آلومینیوم دو درصد و ۱۰۰ میکرو لیتر اسید استیک ۳۳ درصد اضافه شد و پس از ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و تاریکی میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۱۴ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Photonix Ar5 ساخت ایران قرائت شد. میزان فلاونوئید کل با استفاده از استاندارد کوئرسیتین محاسبه و با واحد میلی گرم کوئرسیتین بر گرم وزن خشک ارائه شد.

### اندازه‌گیری محتوی آنزیم پراکسیداز

برای استخراج عصاره پروتئینی، ۰/۲ گرم از بافت تازه گیاهی را در هاون چینی سائیده و سپس یک میلی لیتر بافر تریس-اسیدکلریدریک، ۰/۰۵ مولار با pH=۷/۵ به آن اضافه و مخلوط حاصل را به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ کرده و محلول رویی برای اندازه‌گیری آنزیم مورد استفاده قرار گرفت (Sudhakar et al., 2001). فعالیت آنزیم با استفاده از روش Maehly و Chance (۱۹۵۵) اندازه‌گیری شد. در این روش، مخلوط واکنش (۱/۱۸ میلی لیتر) شامل بافر فسفات پتاسیم (۱۰۰ میلی مولار، گایاکول (۱۰ میلی مولار)، پراکسید هیدروژن (۷۰ میلی مولار)، ۱۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی تهیه شد. سپس جذب نور در طول موج ۴۷۰ نانومتر و به مدت ۱ دقیقه با فواصل ۳۰ ثانیه توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Photonix Ar5 ساخت ایران اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیمی با استفاده از فرمول قانون بیر لامبرت و با ضریب خاموشی گایاکول پراکسیداز  $\text{mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$  بر حسب  $\mu\text{M/g FW.min}$  محاسبه شد.

### اندازه‌گیری محتوی ویتامین ث

برای اندازه‌گیری ویتامین ث از برگ ریحان از روش Omaye و همکاران (۱۹۷۹) استفاده شد، بدین منظور یک گرم از نمونه‌های پودر شده در ازت در یک

میلی لیتر تری کلرو استیک اسید ۱۰ درصد هضم گردیدند و به مدت ۲۰ دقیقه در ۲۱۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. از محلول روشن‌آور ده میکرو لیتر برداشته شد و یک میلی لیتر معرف دی نیترو فنیل هیدرازین-سولفات مس-تیورا آتش میلی مولار اضافه و به مدت سه ساعت در بن‌ماری در دمای ۳۱ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس ۱۱۰ میکرو لیتر اسید سولفوریک ۴۱ درصد به نمونه‌ها اضافه شد و جذب نمونه‌ها و استاندارد در طول موج ۱۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Photonix Ar5 ساخت ایران قرائت گردید. محتوای ویتامین ث براساس منحنی استاندارد میلی گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه گردید.

### اندازه‌گیری عناصر

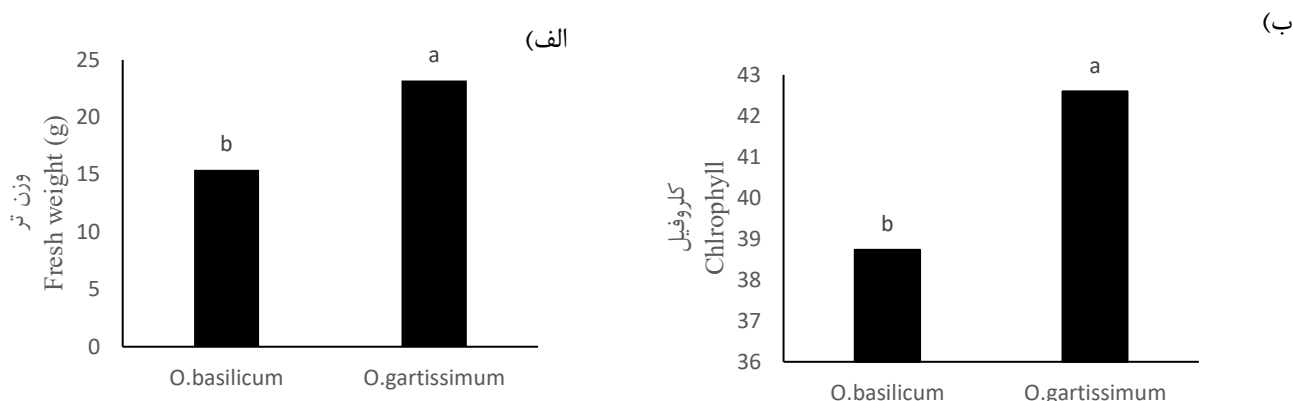
اندازه‌گیری عنصر نیتروژن با استفاده از دستگاه کج‌دال انجام شد. سنجش عناصر فسفر، پتاسیم، روی، منگنز و آهن با دستگاه ICP انجام شد. در این روش ۰/۱۲۵ گرم بافت برگ خشک در ۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ به مدت ۲۴ ساعت در زیر هود نگهداری شد. سپس حجم محلول به ۵۰ میلی لیتر رسانده و از کاغذ صافی عبور و محلول شفاف رویی را برای تزریق در دستگاه ICP مدل Spectro Arcos- 76004555 plasma استفاده شد.

### آنالیز آماری

پس از جمع‌آوری، داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 با استفاده از آنزیم t استیودنت آنالیز شدند.

### نتایج و بحث

از آنجایی که گزارش بسیار اندکی از کشت این گونه در ایران ارائه شده است. این آزمایش اولیه به منظور مقایسه با گونه رایج کشت شده *O. basilicum* در ایران به-صورت پیش تست اولیه انجام شد و نتایج آزمایش نشان داد که وزن تر بوته و کلروفیل در گونه *O. gratificimum* به‌طور معنی‌داری بالاتر از *O. gratificimum* است (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه وزن تر (الف) و شاخص سبزیگی (ب) در دو گونه ریحان  
 Figure 1. Comparison of fresh weight (a) and chlorophyll (b) in two species of basil

### آزمایش دوم

آبی متوسط و شدید را گزارش کردند. Javanmard و همکاران (۲۰۲۲) نیز بیان کردند که وزن تر و خشک بالنگو (*Lallemantia iberica*) تحت تنش آب متوسط به میزان ۱۴/۹ درصد و ۱۵/۳ درصد کاهش یافت و در شرایط تنش شدید آبی به میزان ۳۳/۹ درصد و ۳۴/۲ درصد کاهش یافت. Liu و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تنش آبی منجر به کاهش وزن تر گیاهان مریم‌گلی در شرایط تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید شد. علاوه بر این، Ekren و همکاران (۲۰۱۲) به کاهش قابل توجه وزن تر گیاه *O. basilicum* در شرایط تنش آبی اشاره کرد که نشان می‌دهد این گونه به تنش آبی حساس است. مطالعات دیگر نیز کاهش ارتفاع در اثر تنش خشکی را در ریحان گزارش کرده اند (Mulugeta and Radácsi, 2022; Damalas et al., 2019; Radácsi et al., 2020). در تحقیق حاضر، صفت ارتفاع نیز بشدت تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفت که هم از لحاظ آماری و هم از لحاظ بصری کاملاً مشهود بود (شکل ۳)، محققین علت این پدیده را کاهش انرژی آزاد آب در اثر تنش نسبت دادند و در نتیجه گیاه برای جذب آب نیاز به صرف انرژی بیشتری دارد، بنابراین بخشی از انرژی لازم جهت رشد نمو را صرف بدست آوردن آب می‌کند و ارتفاع بعنوان یکی از صفات مهم تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Ghaemi et al., 2019). البته برخی محققین علت کاهش ارتفاع را بعلت کم شدن طول دوره شد در اثر تنش و در نتیجه

از آنجایی که گونه *O. gartissimum* اختلاف معنی‌داری با گونه دیگر داشت در این آزمایش این گونه و تنش کم آبیاری بررسی شد. بر طبق نتایج حاصل از این آزمایش صفات مورفولوژیک تحت تاثیر تنش قرار گرفت و تمامی صفات به جز حجم ریشه در مقایسه با گیاهان شاهد معنی‌دار بودند (شکل ۲). وزن تر، وزن خشک، ارتفاع، سطح برگ، حجم ریشه و قطر ساقه به ترتیب ۶۱، ۵۵، ۵۱، ۵۲ و ۱۱ درصد کاهش نسبت به گیاهان شاهد را ثبت کردند. بهره‌وری گیاه به عوامل حیاتی مختلفی از جمله حاصلخیزی خاک، آب آبیاری با کیفیت و غیره بستگی دارد. در طول چرخه رشد، گیاه دائماً با تنش‌های زیستی و غیرزیستی مواجه می‌شود که بر خواص مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی تأثیر منفی داشته و در نهایت باعث کاهش بهره‌وری می‌شود (Aghari et al., 2023; Alipour-Yosefvand et al., 2023). کاهش پارامترهای رشد رویشی گیاه ریحان تحت تنش خشکی توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Damalas et al., 2019; Zulfiqar et al., 2021) که احتمالاً به دلیل اختلال در عملکردهای مختلف متابولیک حیاتی مرتبط با بیوسنتز کلروفیل، فتوسنتز و متابولیسم اکسیداتیو مربوط می‌شود (Zulfiqar et al., 2021). بطور مشابه Ostadi و همکاران (۲۰۲۲) کاهش ۳۰ و ۳۵ درصدی عملکرد مریم‌گلی تحت تنش

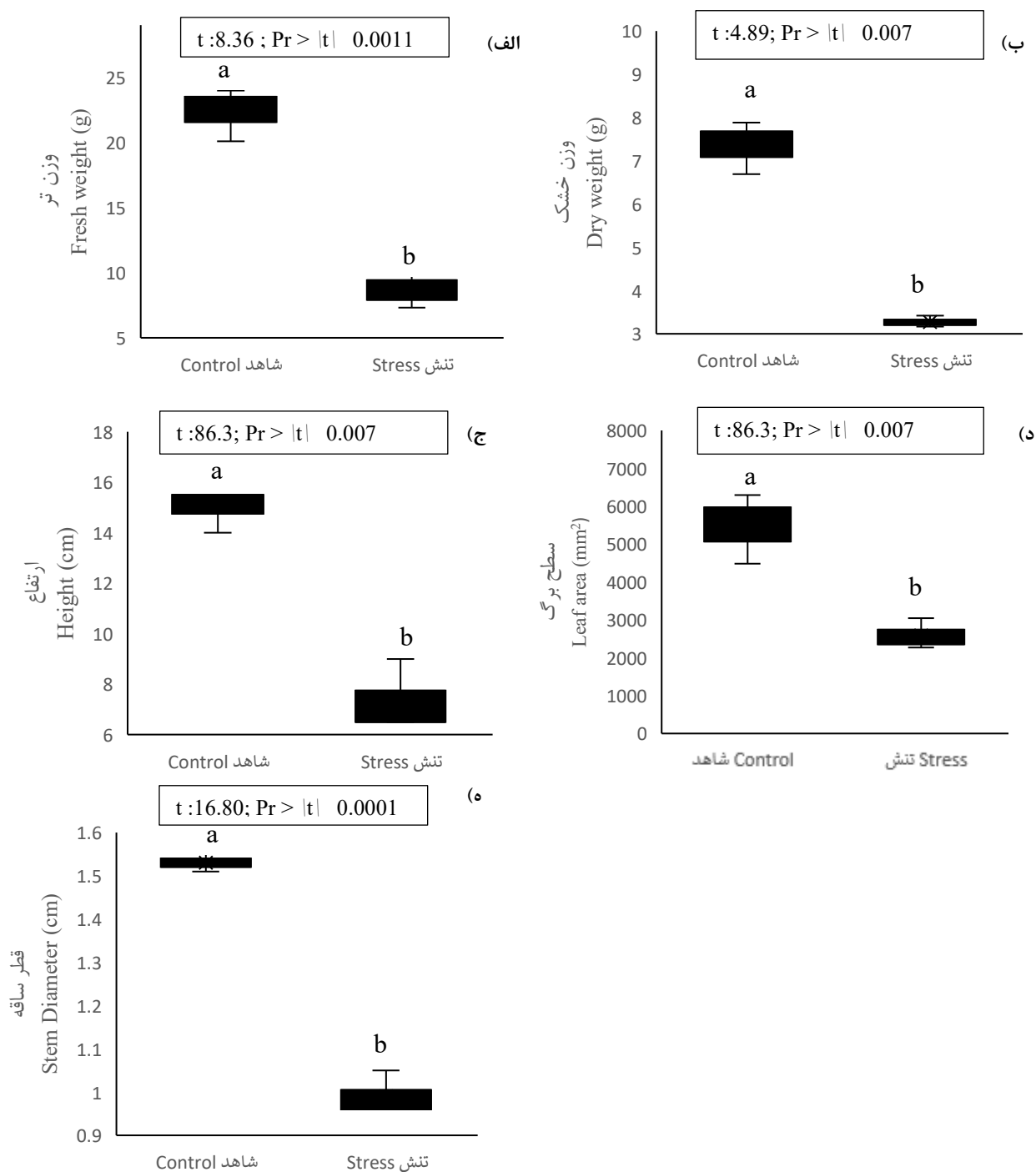
بود. روند کلی فتوسنتز تحت تأثیر چندین محدودیت روزنه‌ای ناشی از تنش‌ها یا اختلال متابولیک قرار می‌گیرد (Saibo *et al.*, 2009). به‌طور کلی در شرایط تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای (gs) به‌طور موقت کاهش می‌یابد، که بر سرعت تعرق برگ (E) و جذب CO<sub>2</sub> بین سلولی (Ci) تأثیر می‌گذارد (Van Heerden *et al.*, 2003; Fresneau *et al.*, 2007). همکاران (۲۰۰۷) علت این کاهش را اختلال در عملکرد فتوسیستم دو و برهم خوردن تعادل تولید و مصرف الکترون و کاهش سرعت الکترون در زنجیره انتقال الکترون نسبت دادند. علاوه بر این، بالاتر از یک آستانه دمایی معین، آنزیم‌ها عملکرد خود را از دست می‌دهند و بر تحمل بافت گیاهی به خشکی تأثیر می‌گذارند (Moretti *et al.*, 2010).

شرایط تنش خشکی شدید باعث کاهش ATP و NADPH II در متابولیسم فتوسنتزی و تنفس نوری می‌شود و متعاقباً حداکثر بازده کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) کاهش می‌یابد (Fracheboud *et al.*, 2003). البته در پژوهش حاضر این شاخص تفاوت معنی‌داری را نشان نداد که با پژوهش‌های دیگر صورت گرفته بر روی ریحان نیز مطابقت داشت (Fracheboud *et al.*, 2003; Barickman *et al.*, 2021). در این پژوهش نیز میزان Fm در شرایط تنش بالاتر از شاهد بود البته اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستم دو تبدیل نور جذبی به انرژی شیمیایی را نشان می‌دهد و شاخصی معتبر برای نشان دادن اختلال ناشی از تنش در مراکز فتوشیمیایی و بازدارندگی نوری است (Li *et al.*, 2008).

کم شدن تقسیمات سلولی و کاهش تعداد گره و در پی آن کاهش این شاخص نسبت دادند (Katarina *et al.*, 2019). Yang و همکاران (۲۰۲۱) کاهش ارتفاع گیاه را عمدتاً به دلیل کاهش انبساط سلولی، افزایش ریزش برگ و اختلال در میتوز در شرایط خشکی می‌دانند.

سطح برگ نیز در گیاهان ریحان تحت تنش بسیار کمتر از گیاهان رشد یافته در شرایط نرمال بود، تغییر سطح برگ که مستقیماً بر فتوسنتز و عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد، یکی از ویژگی‌هایی است که در شرایط تنش خشکی به راحتی مشاهده می‌شود. برخی از محققین کاهش تعداد و سطح برگ را یک مکانیسم دفاعی گیاه برای مقاومت به تنش خشکی بعثت کم کردن میزان تعرق گیاه و اتلاف آب دانستند (Khurana *et al.*, 2000). برخی محققین دیگر معتقدند در اثر تنش خشکی میزان هورمون آبسزیک اسید افزایش یافته، در کنار آن مواد فتوسنتزی مورد نیاز جهت رشد برگ در اثر کاهش فتوسنتز تامین نشده و تقسیم سلولی نیز در گیاه کاهش یافته و مجموع این عوامل در کنار هم سبب کوچک شدن برگ‌های رشد یافته در شرایط کم آبی نسبت به گیاهان شاهد می‌شود (Tsfaye *et al.*, 2006). مطالعات قبلی نشان داده است که دلایل اصلی تغییر سطح برگ گیاه، فشار تورگر برگ، دمای تاج پوشش و دسترسی کمتر فتوسیمیلات‌ها می‌باشد (Taiz *et al.*, 2015). البته تاثیرات تنش خشکی به شدت به مرحله رشدی گیاه (Jaleel *et al.*, 2009) و نوع گیاه (Misra *et al.*, 2020) بستگی دارد.

شاخص‌های مرتبط با فلورسانس کلروفیل در این گیاه تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفتند و به‌جز شاخص Fv/Fm و Fm باقی شاخص‌ها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان دادند (شکل ۴). مطابق نتایج حاصل روند افزایشی در این شاخص‌ها مشاهده شد بطوریکه در Ft و F0 به ترتیب ۲۰، ۲۴ درصد افزایش نسبت به گیاهان شاهد مشاهده شد. فتوسنتز در این گیاهان تحت تاثیر کاهش میزان آب آبیاری به میزان ۳۱ درصد کاهش معنی‌دار نشان دادند که این کاهش کاملاً قابل پیش‌بینی



شکل ۲- تاثیر تنش خشکی بر (الف) وزن تر، (ب) وزن خشک، (ج) ارتفاع، (د) سطح برگ، (ه) قطر ساقه در گیاه ریحان آفریقایی

Figure 2. Effect of drought stress on a) fresh weight b) dry weight c) height, d) leaf area, e) stem diameter, in basil plant



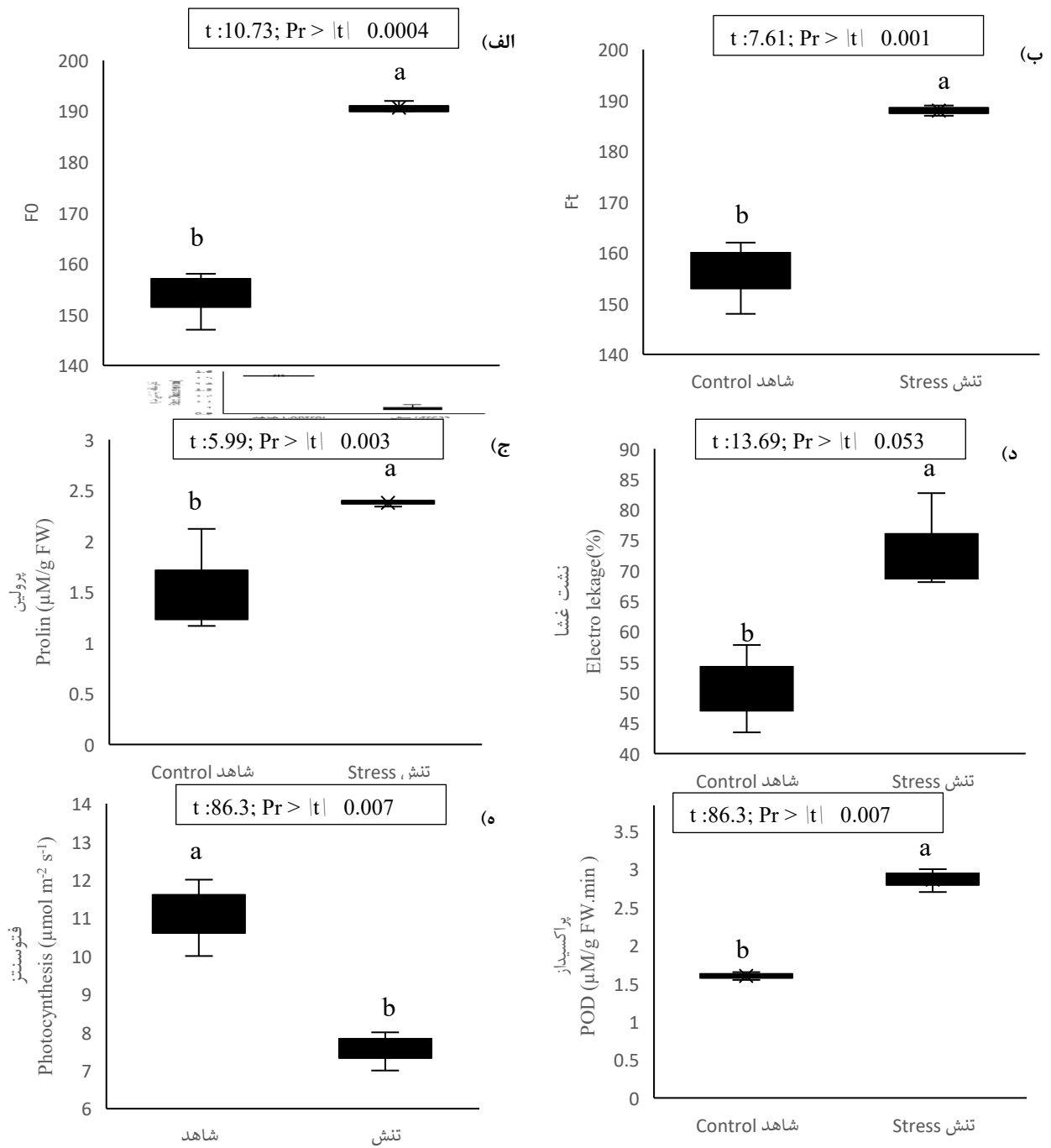
شکل ۳- تاثیر تنش خشکی بر ریحان آفریقایی تصویر سمت چپ تحت بدون تنش و تصویر سمت راست تحت شرایط تنش خشکی

Figure 3. Effect of drought stress on African basil under drought stress (right) and non-stress conditions (left).

در این آزمایش میزان پرولین تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و به میزان ۵۵ درصد افزایش داشت. فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز در این گیاه تحت تنش کم آبیاری به میزان ۶۸ درصد افزایش نشان داد. نشت غشا نیز در این گیاه تحت تنش تا میزان ۴۴ درصد اعداد بالاتری را ثبت کرد.

بیشتر سیستم دفاعی گیاه به مقابله با پیامدهای نامطلوب ROS ناشی از خشکی اختصاص داده شده است. در این زمینه، یک سیستم آنتی اکسیدانی سریع، قدرتمند و کارآمد برای ارائه تحمل به خشکی اهمیت اساسی دارد (Hussein *et al.*, 2016). این دستگاه شامل بخش‌های آنزیمی و غیرآنزیمی است. تقویت دستگاه آنتی اکسیدان به مهار ROS کمک می‌کند که نشت الکترولیت و پراکسیداسیون لیپیدی را کاهش می‌دهد، بنابراین حیات و یکپارچگی اندامک‌ها و غشای سلولی را حفظ می‌کند. پرولین به‌عنوان یکی از سیستم غیر آنزیمی از غشاهای گیاه در برابر کم آبی و اکسیداسیون محافظت می‌کند (Per *et al.*, 2017; Annunziata *et al.*, 2019) برجسته‌ترین عملکردهای پرولین شامل محافظت از ماشین آلات فتوسنتزی، آنزیم‌ها و غشاها، برای استفاده به‌عنوان یک ترکیب ذخیره انرژی، ایجاد مقاومت در برابر کم آبی سلولی، و همچنین عمل کردن به‌عنوان یک پیشرو مولکولی است. این عملکردها با هم به تحمل تنش بدون آسیب رساندن به ساختار سلولی کمک می‌کنند. علاوه بر این، پرولین با افزایش فعالیت آنتی اکسیدان‌های حذف‌کننده ROS که سطوح سمی ROS را کاهش می‌دهند، به کاهش استرس اکسیداتیو در گیاهان کمک می‌کند (Ibrahim *et al.*, 2019; Gharibi *et al.*, 2016). بالا رفتن فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان از جمله پراکسیداز هم یکی از مکانیسم‌های محافظت در برابر اثرات منفی تنش به‌شمار می‌آید در واقع این آنزیم به ثبات پایداری سیتوسل کمک می‌کند.

بیشتر سیستم دفاعی گیاه به مقابله با پیامدهای نامطلوب ROS ناشی از خشکی اختصاص داده شده است. در این زمینه، یک سیستم آنتی اکسیدانی سریع، قدرتمند و کارآمد برای ارائه تحمل به خشکی اهمیت اساسی دارد (Hussein *et al.*, 2016). این دستگاه شامل بخش‌های آنزیمی و غیرآنزیمی است. تقویت دستگاه آنتی اکسیدان به مهار ROS کمک می‌کند که نشت الکترولیت و پراکسیداسیون لیپیدی را کاهش می‌دهد، بنابراین حیات و یکپارچگی اندامک‌ها و غشای سلولی را حفظ می‌کند. پرولین به‌عنوان یکی از سیستم غیر آنزیمی از غشاهای گیاه در برابر کم آبی و اکسیداسیون محافظت می‌کند (Per *et al.*, 2017; Annunziata *et al.*, 2019) برجسته‌ترین عملکردهای پرولین شامل محافظت از ماشین آلات فتوسنتزی، آنزیم‌ها و غشاها، برای استفاده به‌عنوان یک ترکیب ذخیره انرژی، ایجاد مقاومت در برابر کم آبی سلولی، و همچنین عمل کردن به‌عنوان یک پیشرو مولکولی است. این عملکردها با هم به تحمل تنش بدون آسیب رساندن به ساختار سلولی کمک می‌کنند. علاوه بر این، پرولین با افزایش فعالیت آنتی اکسیدان‌های حذف‌کننده ROS که سطوح سمی ROS را کاهش می‌دهند، به کاهش استرس اکسیداتیو در گیاهان کمک می‌کند (Ibrahim *et al.*, 2019; Gharibi *et al.*, 2016). بالا رفتن فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان از جمله پراکسیداز هم یکی از مکانیسم‌های محافظت در برابر اثرات منفی تنش به‌شمار می‌آید در واقع این آنزیم به ثبات پایداری سیتوسل کمک می‌کند.



شکل ۴- تاثیر تنش خشکی بر الف) F0، ب) Ft، ج) پرولین، د) نشت غشا، ه) فتوسنتز و) فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه ریحان آفریقایی

Figure 4. Effect of drought stress on a) F0 b) Ft c) Prolin, d) Electro leakage, e) Photosynthesis, f) POD activity in african basil plant



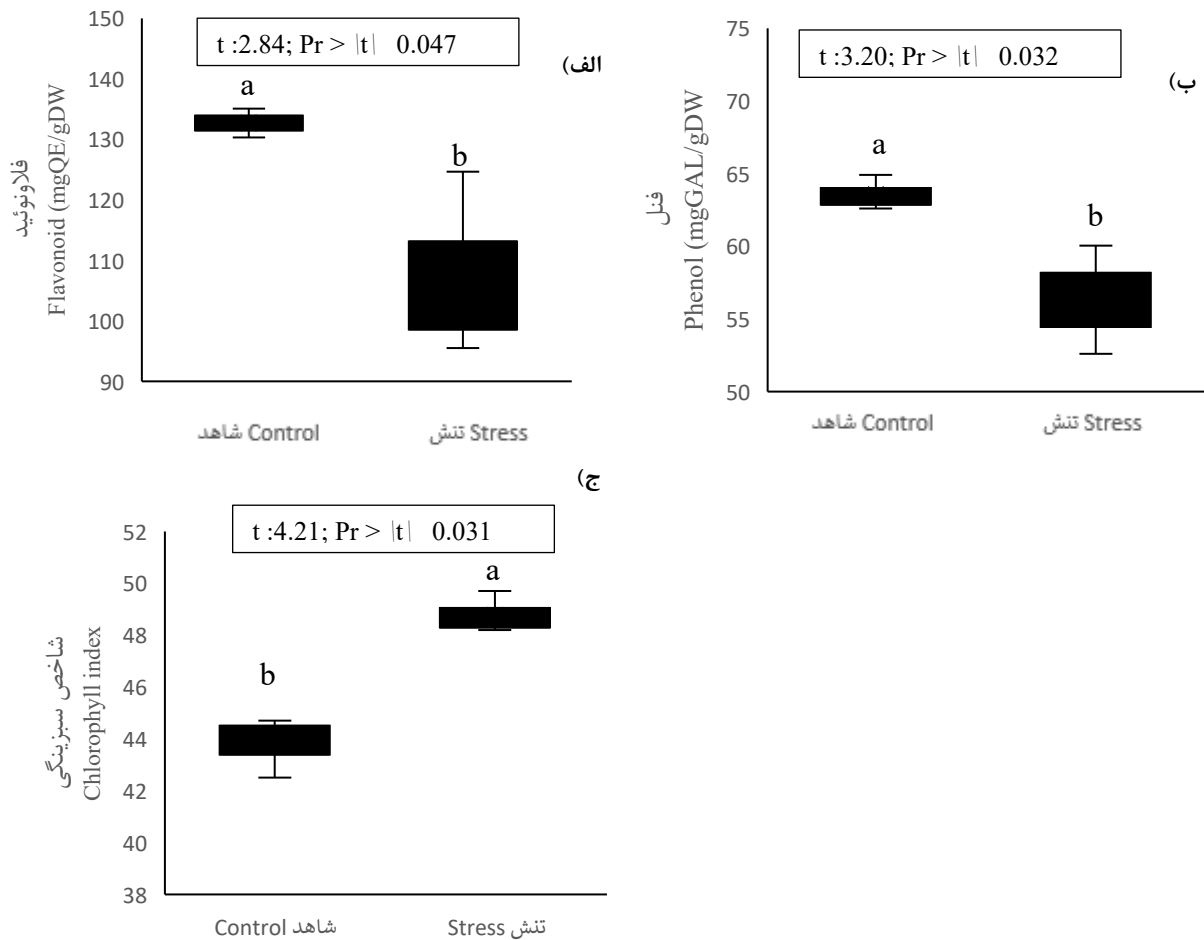
های گیاه بستگی دارد و تجمع ترکیبات پلی فنلی زمانی که منبع بالایی از کربن در دسترس باشد افزایش می‌یابد. چنین اختلافات بزرگی در نتایج تجربی را می‌توان به تفاوت در تنش‌های غیرزیستی، نوع تنش، شدت، مدت، مراحل رشد گیاه (به‌طور کلی مراحل اولیه جوانه زنی و نمو گیاه کمترین تحمل به تنش را دارند) و نوع مواد بیولوژیکی نسبت داد به عنوان مثال قسمت‌های مختلف گیاهان، مانند ریشه یا برگ، که با تنوع زیادی از متابولیت‌های ثانویه مشخص می‌شوند (Weidner *et al.*, 2009).

هنگامی که گیاهان تحت تنش قرار می‌گیرند تغییراتی در بیان ژن‌های آنها رخ می‌دهد. در ۱۲ ساعت اول، بیان بسیاری از ژن‌ها افزایش می‌یابد (Kilian *et al.*, 2007). لازم به ذکر است که این فرآیند نیاز به انرژی بسیار بالایی دارد. اما زمانی که تنش طولانی باشد، فرآیندهای انرژی بر محدود می‌شوند. Kilian و همکاران (۲۰۰۵) ادعا کردند که پس از ۲۴ ساعت، بیان تعداد زیادی از ژن‌ها مهار یا به طور قابل توجهی کاهش یافتند. Xiong و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که در طول دوره‌های طولانی تنش خشکی کاهش قابل توجهی در فعالیت فنیل آلانین آمونیاک لیا (PAL) در ریشه-های گیاه آرابیدوپسیس مشاهده شد، لازم به ذکر است که این آنزیم اصلی در مسیر سنتز ترکیبات فنلی در گیاهان است (Krol *et al.*, 2014).

در رابطه با صفات بیوشیمیایی تنش خشکی تاثیرات متفاوتی را نشان داد. به‌طوری‌که تنش خشکی در این گونه ریحان نتوانست تاثیرات معنی‌داری را بر روی ظرفیت آنتی اکسیدانی و ویتامین ث نشان دهد درحالی‌که میزان فنل کل، فلاونوئید کل و شاخص سبزینگی اختلاف معنی‌داری را با گیاهان شاهد نشان دادند (شکل ۵). شاخص سبزینگی در گیاهان تحت تنش به میزان ۵ درصد افزایش اما میزان فنل کل و فلاونوئید کل به ترتیب به میزان ۷ و ۶ درصد کاهش معنی‌داری را نسبت به گیاهان شاهد نشان دادند.

میزان شاخص سبزینگی در این پژوهش در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال افزایش شد که این مسئله احتمالاً به دلیل این رخ داد که میزان آب بافت کمتر شده و غلظت کلروفیل بیشتر شد و همین‌طور تنش به کار برده شده برای گیاه ریحان تنش ملایم به‌شمار می‌رود. افزایش میزان کلروفیل بر روی گیاه مرزه تحت تنش خشکی گزارش شده است (Sodaenejad *et al.*, 2016). به‌طور کلی متابولیت‌های ثانویه دسته بزرگی از ترکیبات آلی هستند که به سه دسته ترپن‌ها، فنول‌ها و نیتروژن‌دار تقسیم می‌شوند (Chen *et al.*, 2013). مسیر فنیل پروپانوئید در گیاهان توسط عوامل غیرزیستی مختلف مانند سرما، گرما، خشکی، شوری، سمیت فلزات سنگین و غیره مختل می‌شود (Sharma *et al.*, 2019). البته تغییرات کاهش‌ی یا افزایشی در آنها در پاسخ به تنش‌های مختلف متفاوت است (Selmar, 2008). برخی محققین افزایش میزان ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی را تحت تنش خشکی گزارش کرده‌اند (Kordi *et al.*, 2013; Gharibi *et al.*, 2019; Khaleghi *et al.*, 2019). درحالی‌که در پژوهش صورت گرفته این ترکیبات کاهش یافت. Gharibi و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی تاثیر تنش خشکی را در گیاه بومادران (*Achillea pachycephala*) بررسی کردند و به نتیجه رسیدند میزان فلاونوئید در ابتدا با تنش افزایش و با بیشتر شدن زمان تنش کاهش می‌یابد. Hichem و همکاران (۲۰۰۹) معتقدند بیوسنتز فنول‌ها و فلاونوئیدها به شدت به مقدار کربن موجود در برگ-





شکل ۵- تاثیر تنش خشکی بر الف) فنل، فلاونوئید، ب) فنل، ج) شاخص سبزینگی در گیاه ریحان آفریقایی  
 Figure 5. Effect of drought stress on a), Flavonoid b), Phenol c) Chlorophyll index in african basil plant

### غلظت عناصر

مشخص شده است که تنش خشکی می‌تواند نرخ جذب مواد مغذی توسط گیاهان را مستقل از جذب آب کاهش دهد (Christophe *et al.*, 2011; Rouphael *et al.*, 2012). به عنوان مثال، خشکی ممکن است قبل از تأثیر بر جذب آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک، جذب آب را در لایه‌های بالایی خاک، که در آن غلظت مواد مغذی خاک اغلب بالاتر است، کاهش دهد. خشکی همچنین می‌تواند غلظت عناصر غذایی خاک را با کاهش فعالیت میکروبی خاک کاهش دهد (Sanallah *et al.*, 2012). علاوه بر این، می‌تواند به طور بالقوه سینتیک جذب مواد مغذی را در ریشه واحد کاهش

عناصر ماکرو و میکرو اندازه‌گیری شده نشان داد تنش تاثیر معنی‌داری بر غلظت این عناصر بجز آهن می‌گذارد (شکل ۶). میزان آهن در گیاه ریحان تحت تاثیر شرایط تنش واقع نشد هر چند در گیاهان تحت تنش میزان آن کاهش یافت اما تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. میزان نیتروژن نیز در گیاهان تحت تنش به میزان ۲۸ درصد افزایش یافت. محتوی نیتروژن، منگنز، روی، فسفر و پتاسیم در گیاهانی که آب کمتری دریافت کرده بودند به ترتیب ۱۵، ۳۱، ۳۱، ۲۱ و ۲۲ درصد نسبت به گیاهان شاهد کاهش یافت.

این گونه رشد بهتری نسبت به گونه ریحان رایج *O. basilicum* نشان داد. نتایج آزمایش دوم نشان داد عملکرد و کیفیت گونه گراتیسیوموم تحت تاثیر تنش قرار گرفت. شاخص‌های مرتبط با تنش مانند پرولین، فعالیت آنزیم پراکسیداز، نشت غشا تاییدی بر این یافته‌ها بود. به نظر می‌رسد تنش در این گیاه جذب و تعادل عناصر غذایی را بیش از ترکیبات بیوشیمیایی مانند فنل و فلاونوئید تحت تاثیر قرار داد. البته در رابطه با این گیاه نیاز است تحقیقات بیشتری با حضور گونه‌های دیگر در شرایط مختلف آب و هوایی و درجات مختلف تنش صورت بگیرد.

### سپاسگزاری

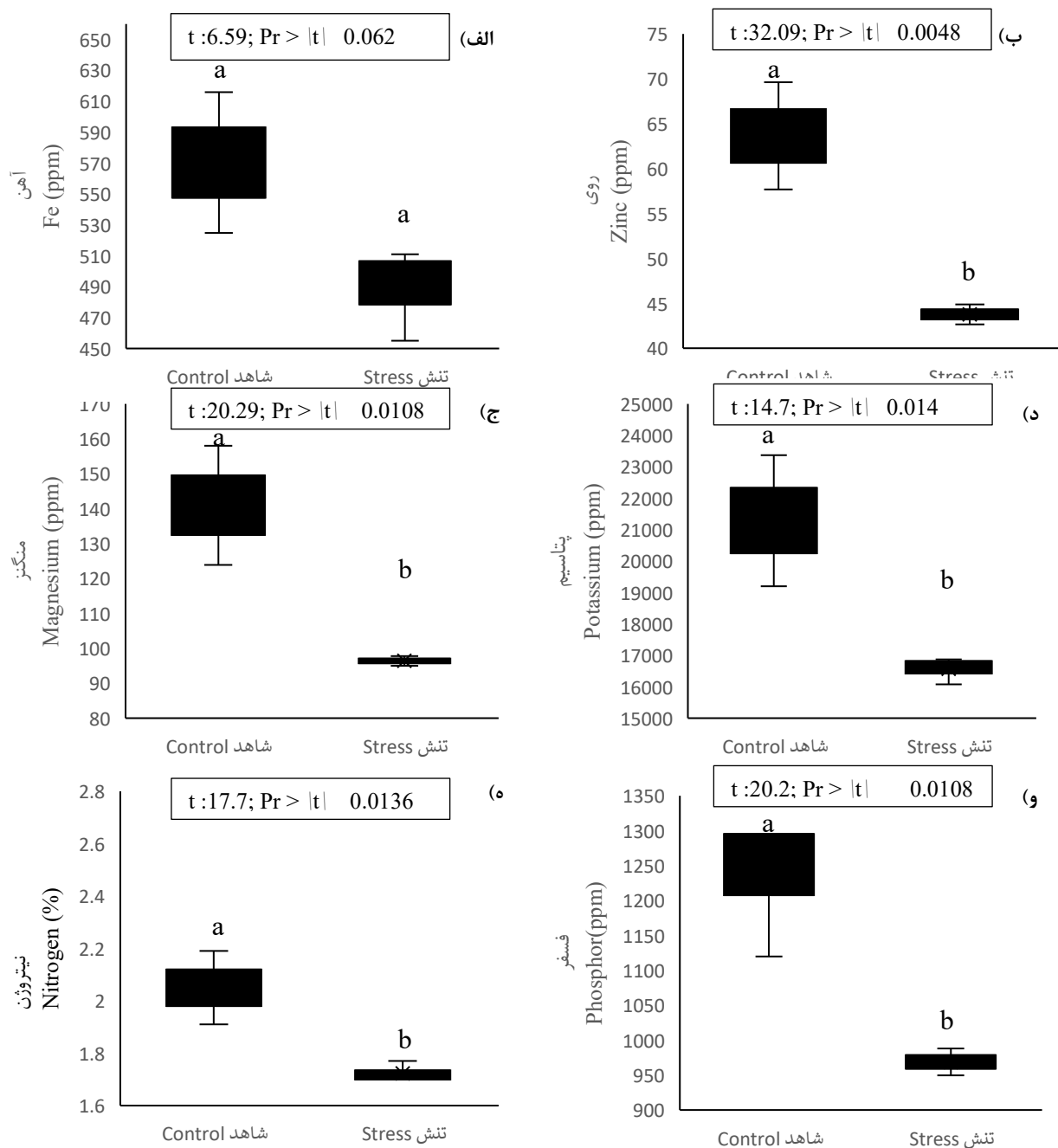
این اثر تحت حمایت مادی بنیاد ملی علم ایران (INSF) برگرفته شده از طرح شماره ۴۰۰۶۴۵ انجام شده است.

دهد، مانند کاهش فعالیت آنزیم‌های دخیل در جذب مواد مغذی، که ممکن است سرعت جذب آنها را کاهش دهد (Rouphael et al., 2012; Robredo et al., 2011)، یا از طریق کاهش بیان ژن‌های دخیل در تولید پروتئین‌های مرتبط با جذب مواد مغذی در ریشه‌ها اثر منفی خود را اعمال کند (Rouphael et al., 2012). در تایید نتایج حاصل از پژوهش حاضر بروی غلظت فسفر تحت تنش کم آبیاری کاهش قابل توجهی در غلظت فسفر برگ نیز در گیاهان *Ocimum gratissimum* تحت تنش خفیف آبی توسط Osuagwu و همکاران (۲۰۱۰) گزارش شد. در پژوهش صورت گرفته بر روی سه گیاه ذرت، جو و گور گیاه *(Andropogon gerardii)* تنش خشکی غلظت پروتئین‌های دخیل در جذب فسفر (PHT1) در هر گرم توده ریشه در این گیاهان بین ۴۰ تا ۵۹ درصد کاهش داد (Bista et al., 2018).

Bahreininejad و همکاران (۲۰۱۳) کاهش غلظت پتاسیم را در برگ گیاهان آویشن دناپی (*Thymus daenensis*) تحت شرایط خشکی (۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی) اشاره کردند. به همین ترتیب، Khalid و همکاران (۲۰۰۶) کاهش غلظت پتاسیم برگ در سایر گونه‌های خانواده نعنائیان مانند *Ocimum basilicum* و *Ocimum americanum* در شرایط تنش آبی نیز را نشان دادند. کاهش غلظت پتاسیم برگ در شرایط تنش خشکی را می‌توان با این واقعیت توضیح داد که کمبود آب با تاثیر بر عملکرد روزنه‌ها و در نتیجه کاهش ظرفیت فتوسنتزی می‌شود و کاهش جذب پتاسیم و تاثیر بر عملکرد روزنه‌ای توسط Sarani و همکاران (۲۰۱۴) گزارش شده است.

### نتیجه گیری

به کار بردن گونه‌های مختلف در یک گیاه با توجه به تفاوت‌های ژنتیکی، موفولوژیکی و کیفی می‌تواند در جهت بالا بردن عملکرد، بهره‌وری و افزایش به تنش‌های محیطی بسیار کارآمد باشد. مطابق نتایج آزمایش اولیه



شکل ۶- تاثیر تنش خشکی بر آهن، (ب) روی، (ج) منگنز، (د) پتاسیم، (ه) نیتروژن، (و) فسفر در گیاه ریحان آفریقایی

Figure 6. Effect of drought stress on a) Fe b) Zn c) Mn, d) K, e)N, f) P in african basil plant

## References

- Acosta-Pérez, P., Camacho-Zamora, B. D., Espinoza-Sánchez, E. A., Gutiérrez-Soto, G., Zavala-García, F., Abraham-Juárez, M. J. & Sinagawa-García, S. R. (2020). Characterization of Trehalose-6-phosphate Synthase and Trehalose-6-phosphate Phosphatase genes and analysis of its differential expression in maize (*Zea mays*) seedlings under drought stress. *Plants*, 9, 315. <https://doi.org/10.3390/plants9030315>
- Ahmad, Z., Anjum, S., Waraich, E. A., Ayub, M. A., Ahmad, T., Tariq, R. M. S. & Iqbal, M. A. (2018). Growth, physiology, and biochemical activities of plant responses with foliar potassium application under drought stress—a review. *Journal of Plant Nutrition*, 41(13), 1734-1743. <http://10.1080/01904167.2018.1459688>
- Akowuah, G. A., Ismail, Z., Norhayati, I. & Sadikun, A. (2005). The effects of different extraction solvents of varying polarities on polyphenols of *Orthosiphon stamineus* and evaluation of the free radical scavenging activity. *Food Chemistry*, 93, 311-317. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.09.028>
- Alipour-Yosefvand, N., Alinejadian-Bidabadi, A., Lakzian, A., & Maleki, A. (2023). Investigating Some Physical Characteristics of Soil and Growth Traits of Fenugreek Plant under Application of Biofertilizer and Water Stress. *Journal of Vegetables Sciences*, 7(13), 92-112. (In persian). <http://10.22034/iuvs.2022.1971153.1240>
- Annunziata, M. G., Ciarmiello, L. F., Woodrow, P., Dell'Aversana, E. & Carillo, P. (2019). Spatial and temporal profile of glycine betaine accumulation in plants under abiotic stresses. *Frontiers in plant science*, 10, 230. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00230>
- Asghari, J., Mahdavia, H., Rezaei-Chiyaneh, E., Banaei-Asl, F., Amani Machiani, M. & Harrison, M. T. (2023). Selenium Nanoparticles Improve Physiological and Phytochemical Properties of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Drought Stress Conditions. *Land*, 12(1), 164. <https://doi.org/10.3390/land12010164>
- Bahreininejad, B., Razmjoo, J. & Mirza, M. (2013). Influence of water stress on morpho-physiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. *International Journal of Plant Production*, 7, 155-166. <http://10.22069/ijpp.2012.927>
- Barickman, T. C., Adhikari, B., Sehgal, A., Walne, C. H., Reddy, K. R. & Gao, W. (2021). Drought and elevated CO2 impacts photosynthesis and biochemicals of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Stresses*, 1(4), 223-237. <https://doi.org/10.3390/stresses1040016>
- Bates, L. S., Waldren, R. P. & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Beketov, E. V., Pakhomov, V. P. & Nesterova, O. V. (2005). Improved method of flavonoid extraction from bird cherry fruits. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 39(6), 316-318. <https://doi.org/10.1007/s11094-005-0143-7>
- Bista, D. R., Heckathorn, S. A., Jayawardena, D. M., Mishra, S. & Boldt, J. K. (2018). Effects of drought on nutrient uptake and the levels of nutrient-uptake proteins in roots of drought-sensitive and-tolerant grasses. *Plants*, 7(2), 28. <http://10.3390/plants7020028>
- Chance, B. & Maehly, A. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymology*, 2, 764-775. [http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879\(55\)02300-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8)
- Chowdhury, J. A., Karim, M. A., Khaliq, Q. A., Ahmed, A. U. & Khan, M. S. A. (2016). Effect of drought stress on gas exchange characteristics of four soybean genotypes. *Bangladesh Journal of*

- Agricultural Research*, 41(2), 195-205. <http://10.3329/bjar.v41i2.28215>
- Christophe S., Jean-Christophe A., Annabelle L., Alain O., Marion P. & Anne-Sophie V. (2011). Plant N fluxes and modulation by nitrogen, heat and water stresses, A review based on comparison of legumes and non-legume plants. In, Shanker A., Venkateswarlu B., editors. Abiotic Stress in Plants—Mechanisms and Adaptations. *InTech; Rijeka, Croatia*, 79–118. <http://10.5772/23474>
- Corso, D., Delzon, S., Lamarque, L. J., Cochard, H., Torres-Ruiz, J. M., King, A. & Brodribb, T. (2020). Neither xylem collapse, cavitation, or changing leaf conductance drive stomatal closure in wheat. *Plant Cell Environment*, 43, 854–865. <http://10.1111/pce.13722>. [Epub 2020 Feb 9](https://doi.org/10.1111/pce.13722).
- Damalas, C. A. (2019). Improving drought tolerance in sweet basil (*Ocimum basilicum*) with salicylic acid. *Scientia Horticulture* 246, 360–365. <http://10.1016/j.scienta.2018.11.005>
- Daryanto, S., Wang, L., & Jacinthe, P. A. (2016). Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PloS one*, 11(5), e0156362. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156362>
- Fracheboud, Y. & Leipner, J. (2003). The application of chlorophyll fluorescence to study light, temperature, and drought stress. In Practical Applications of Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology; Springer, Boston, MA, USA, pp. 125–150. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0415-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0415-3_4)
- Fresneau, C., Ghashghaie, J. & Cornic, G. (2007). Drought effect on nitrate reductase and sucrose-phosphate synthase activities in wheat (*Triticum durum* L.), Role of leaf internal CO<sub>2</sub>. *Journal of Experimental Botany*, 58, 2983–2992. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm150>
- Ghaemi, M., Zare, Z. & Nasiri, Y. (2019). Effect of Drought Stress on Some Morphological Characteristics and Essential Oil Production Levels of *Ocimum basilicum* in Different Stages of Growth and Development. *Quarterly Journal of Developmental Biology*, 11(1), 15-26. (In Persian with English abstract). <https://sanad.iau.ir/Journal/jdb/Article/1041636>
- Ghanbari, M. & Ariafar, S. (2013). The study of different levels of zeolite application on quantitative and qualitative parameters in basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought conditions. *International Journal Agriculture Research Review*, 3, 844–853.
- Gharibi, S., Tabatabaei, B. E. S., Saeidi, G. & Goli, S. A. H. (2016). Effect of drought stress on total phenolic, lipid peroxidation, and antioxidant activity of *Achillea* species. *Applied biochemistry and biotechnology*, 178, 796-809. <http://10.1007/s12010-015-1909-3>.
- Goche, T., Shargie, N.G., Cummins, I., Brown, A.P., Chivasa, S. & Ngara, R. (2020). Comparative physiological and root proteome analyses of two sorghum varieties responding to water limitation. *Science Report*, 10, 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68735-3>
- Hichem, H. & Mounir, D. (2009). Differential responses of two maize (*Zea mays* L.) varieties to salt stress: changes on polyphenols composition of foliage and oxidative damages. *Industrial crops and Products*, 30(1), 144-151. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.03.003>
- Hiltunen, R. & Holm, Y. (2006). Basil, The Genus *Ocimum*; Harwood Academic Publishers, Amsterdam, The Netherlands. 1–38. [http://10.1016/S0031-9422\(01\)00229-1](http://10.1016/S0031-9422(01)00229-1)
- Ibrahim, H. A. & Abdellatif, Y. M. (2016). Effect of maltose and trehalose on growth, yield and some biochemical components of wheat plant under water

- stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(2), 267-274. <http://10.1016/j.aogas.2016.05.002>
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., AL- Juburi, H.J., Somasundaram, R. & Panneerselvam, R. (2009). Drought Stress in Plants, A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. *International Journal Agriculture and Biology*, 11, 100 – 105.
- Javanmard, A., Ashrafi, M., Morshedloo, M. R., Machiani, M. A., Rasouli, F. & Maggi, F. (2022). Optimizing Phytochemical and Physiological Characteristics of Balangu (*Lallemantia iberica*) by Foliar Application of Chitosan Nanoparticles and Myco-Root Inoculation under Water Supply Restrictions. *Horticulturae*, 8, 695. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080695>
- Jiang, Y., Watkins, E., Liu, S., Yu, X. & Luo, N. (2010). Antioxidative responses and candidate gene expression in prairie junegrass under drought stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 135(4), 303-309. <http://10.21273/JASHS.135.4.303>
- Khaleghi, A., Naderi, R., Brunetti, C., Maserti, B. E., Salami, S. A. & Babalar, M. (2019). Morphological, physiochemical and antioxidant responses of *Maclura pomifera* to drought stress. *Scientific reports*, 9(1), 19250. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55889-y>
- Khalid, K. A. (2006). Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *International Agrophysics*, 20, 289–296.
- Khurana, E. & Singh, J.S. (2000). Influence of seed size on seedling growth of *Albizia procera* under different soil water levels. *Annals of Botany*, 86, 1185 -1192.
- Kilian, J., Whitehead, D., Horak, J., Wanke, D., Weinl, S., Batistic, O., D'Angelo, C., Bornberg-Bauer, E., Kudla, J. & Harter, K. (2007) The AtGenExpress global stress expression data set, protocols, evolution and model data analysis of UV-B light, drought and cold stress responses. *Plant Journal*, 50, 347–363. <http://10.1111/j.1365-13X.2007.03052.x>
- Kordi, S., Saidi, M., & Ghanbari, F. (2013). Induction of drought tolerance in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) by salicylic acid. *International Journal of Agricultural and Food Research*, 2(2), 18-26. <http://10.24102/ijafr.v2i2.149>
- Król, A., Amarowicz, R. & Weidner, S. (2014). Changes in the composition of phenolic compounds and antioxidant properties of grapevine roots and leaves (*Vitis vinifera* L.) under continuous of long-term drought stress. *Acta Physiolog Plant*, 36, 1491–1499. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1526-8>
- Lazarević, B., Šatović, Z., Nimac, A., Vidak, M., Gunjača, J., Politeo, O. & Carović-Stanko, K. (2021). Application of phenotyping methods in detection of drought and salinity stress in Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Frontier Plant Science*, 12, 174. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.629441>
- Li, Q. M., Liu, B. B., Wu, Y. & Zou, Z. R. (2008). Interactive effects of drought stresses and elevated CO2 concentration on photochemistry efficiency of cucumber seedlings. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(10), 1307-1317. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2008.00686.x>
- Lien, E. J., Ren, S., Bui, H. H. & Wang, R. (1999). Quantitative structure-activity relationship analysis of phenolic antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine* 26, 285-294. [http://10.1016/s0891-5849\(98\)00190-7](http://10.1016/s0891-5849(98)00190-7)
- Liu, H., Wang, X., Wang, D., Zou, Z. & Liang, Z. (2011). Effect of drought stress on growth and accumulation of active constituents in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. *Industrial Crops Product*, 33, 84–88. <http://10.1016/j.indcrop.2010.09.006>

- Maddi, R., Amani, P., Bhavitha, S., Gayathri, T. & Lohitha, T. (2019). A review on *Ocimum* species, *Ocimum americanum* L., *Ocimum basilicum* L., *Ocimum gratissimum* L. and *Ocimum tenuiflorum* L. *International Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy*, 10, 41–48. <http://0.7897/2277-4343.100359>
- Marinova, D., Ribarov, F. & Atanassova, M. (2005). Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 40(3), 255-260.
- Misra, V., Solomon, S., Mall, A. K., Prajapati, C. P., Hashem, A., Abd Allah, E. F., & Ansari, M. I. (2020). Morphological assessment of water stressed sugarcane, A comparison of waterlogged and drought affected crop. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(5), 1228-1236. <http://10.1016/j.sjbs.2020.02.007>
- Moretti, C. L., Mattos, L. M., Calbo, A. G. & Sargent, S. A. (2010). Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops, A review. *Food Research International*, 43(7), 1824-1832. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.10.013>
- Mulugeta, S. M. & Radácsi, P. (2022). Influence of drought stress on growth and essential oil yield of *Ocimum* species. *Horticulturae*, 8(2), 175. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8020175>
- Ostadi, A.; Javanmard, A.; Amani Machiani, M.; Sadeghpour, A.; Maggi, F.; Nouraein, M.; Morshedloo, M. R., Hano, C. & Lorenzo, J. M. (2022). Co-Application of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Improves Essential Oil Quantity and Quality of Sage (*Salvia officinalis* L.) in Drought Stress Conditions. *Plants*, 11, 1659. <https://doi.org/10.3390/plants11131659>
- Osuagwu, G. G. E., Edeoga, H. O. & Osuagwu, A. N. (2010). The influence of water stress (drought) on the mineral and vitamin potential of the leaves of *Ocimum gratissimum* (L). *Recent Research Science Technology*, 2, 27–33.
- Paknejad, F., Majidiheravan, E., Noor mohammadi, Q., Siyadat, A. & Vazan, S. (2007). Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 5, 162-169. <http://10.3923/jbs.2007.841.847>
- Per, T. S., Khan, N. A., Reddy, P. S., Masood, A., Hasanuzzaman, M., Khan, M. I. R. & Anjum, N. A. (2017). Approaches in modulating proline metabolism in plants for salt and drought stress tolerance: Phytohormones, mineral nutrients and transgenics. *Plant physiology and biochemistry*, 115, 126-140. <http://10.1016/j.plaphy.2017.03.018>.
- Pirbalouti, A.G., Malekpoor, F., Salimi, A. & Golparvar, A. (2017). Exogenous application of chitosan on biochemical and physiological characteristics, phenolic content and antioxidant activity of two species of basil (*Ocimum ciliatum* and *Ocimum basilicum*) under reduced irrigation. *Scientia Horticulture*, 217, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.031>
- Radácsi, P., Inotai, K., Sárosi, S., Czövek, P., Bernáth, J. & Németh, É. (2010). Effect of water supply on the physiological characteristic and production of basil (*Ocimum basilicum* L.). *European Journal Horticulture Science*, 75, 193–197. <http://10.17660/eJHS.2010/1861516>
- Radácsi, P., Inotai, K., Sárosi, S., Hári, K., Seidler-Łożykowska, K., Musie, S., & Zámbořin, É. N. (2020). Effect of irrigation on the production and volatile compounds of sweet basil cultivars (L.). *Herba Polonica*, 66(4), 14-24. <http://10.2478/hepo-2020-0021>
- Radwan, A., Kleinwächter, M. & Selmar, D. (2017). Impact of drought stress on

- specialised metabolism: biosynthesis and the expression of monoterpene synthases in sage (*Salvia officinalis*). *Phytochemistry*, 141, 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2017.05.005>
- Rahman, M., Vasiliev, M. & Alameh, K. (2021). LED Illumination spectrum manipulation for increasing the yield of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Plants*, 10, 344. <https://doi.org/10.3390/plants10020344>
- Redman, R., Haraldson, J. & Gusta, L. (1986) Leakage of UV- absorbing substances as a measure of salt injury in leaf tissue of woody species. *Physiologia Plantarum* 67, 87- 91. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1986.tb01267.x>
- Rihan, H. Z., Aldarkazali, M., Mohamed, S. J., McMulkin, N. B., Jbara, M. H. & Fuller, M. P. (2020). A novel new light recipe significantly increases the growth and yield of sweet basil (*Ocimum basilicum*) grown in plant factory system. *Agronomy*, 10, 934. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070934>
- Ristvey, A. G., Belayneh, B. E. & Lea-Cox, J. D. A. (2019). Comparison of irrigation-water containment methods and management strategies between two ornamental production systems to minimize water security threats. *Water*, 11, 2558. <https://doi.org/10.3390/w11122558>
- Robredo A., Pérez-López U., Miranda-Apodaca J., Lacuesta M., Mena-Petite A., Muñoz-Rueda A. (2011). Elevated CO<sub>2</sub> reduces the drought effect on nitrogen metabolism in barley plants during drought and subsequent recovery. *Environmental Experimental Botany*, 71, 399–408. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.02.011>
- Rouphael Y., Cardarelli M., Schwarz D., Franken P. & Colla G. (2012). Effects of drought on nutrient uptake and assimilation in vegetable crops. In, Aroca R., editor. *Plant Responses to Drought Stress*. Springer; Berlin, Germany, 171–195. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0\\_7](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_7)
- Rouphael, Y., Carillo, P., Cristofano, F., Cardarelli, M. & Colla, G. (2021). Effects of vegetal- versus animal-derived protein hydrolysate on sweet basil morpho-physiological and metabolic traits. *Scientia Horticulture*, 284, 110123. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110123>
- Sadati, R., Chamani, E., Sartip, A., Pazhoi, M., & Sartip, H. (2023). The Effect of Silicon Foliar Application on Some Physiological Traits of Summer Savory (*Satureja hortensis* L.) under Drought Stress. *Journal of Vegetables Sciences*, 7(2), 178-194. (In persian) <http://10.22034/iuvs.2023.1986684.1268>
- Saibo, N. J. M., Lourenço, T. & Oliveira, M. M. (2009). Transcription factors and regulation of photosynthetic and related metabolism under environmental stresses. *Annals Botany*, 103, 609–623. <http://10.1093/aob/mcn227>
- Sanaullah M., Rumpel C., Charrier X. & Chabbi A. (2012). How does drought stress influence the decomposition of plant litter with contrasting quality in a grassland ecosystem? *Plant Soil*, 352, 277–288. <http://10.1007/s11104-011-0995-4>
- Sarani, M., Namrudi, M., Hashemi, S. M. & Raoofi, M. M. (2014). The effect of drought stress on chlorophyll content, root growth, glucosinolate and proline in crop plants. *International Journal of Farming Allied Science*, 3, 994–997.
- Sehgal, A., Sita, K., Siddique, K. H., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R. K. & Nayyar, H. (2018). Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops, impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in plant science*, 9, 1705. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01705>

- Selmar, D. (2008). Potential of salt and drought stress to increase pharmaceutical significant secondary compounds in plants. *Landbauforschung Volkenrode*, 58(1/2), 139.
- Sharma, A. & Zheng, B. (2019). Melatonin mediated regulation of drought stress, Physiological and molecular aspects. *Plants*, 8(7), 190. <http://10.3390/plants8070190>.
- Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M. & Zheng, B. (2019). Response of Phenylpropanoid Pathway and the Role of Polyphenols in Plants under Abiotic Stress. *Molecules*, 24, 2452. <http://10.3390/molecules24132452>
- Sodaenejad, H., Shamsaie, M., Tajamolijan, M. Mirmohammadi, M. & hakim zade, M. (2016). The effects of water stress on some morphological and physiological characteristics of *Satureja hortensis*. *Journal of plant process and function*, 5(15), 1-12. (In Persian with English abstract). <http://20.1001.1.23222727.1395.5.15.9.2>
- Sudhakar, C., Lakshmi, A. & Giridarakumar, S. (2001). Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, 161, 613-619. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00450-2](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00450-2)
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M. & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development* (No. Ed. 6). Sinauer Associates Incorporated.
- Tesfaye, K., Walke, S. & Tsubo, M. (2006). Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in semi-arid conditions. *European Journal of Agronomy*, 25, 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.04.014>
- Tohidi, B., Rahimmalek, M. & Arzani, A. (2017). Essential oil composition, total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of *Thymus* species collected from different regions of Iran. *Food chemistry*, 220, 153-161. <http://10.1016/j.foodchem.2016.09.203>
- Van Heerden, P. D. R., Tsimilli-Michael, M., Krüger, G. H. J. & Strasser, R.J. (2003). Dark chilling effects on soybean genotypes during vegetative development, Parallel studies of CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll a fluorescence kinetics O-J-I-P and nitrogen fixation. *Physiologia Plantarum*, 117, 476-491. <http://10.1034/j.1399-054.2003.00056.x>.
- Weidner, S., Karolak, M., Karamac, M., Kosińska, A. & Amarowicz R (2009) Phenolic compounds and properties of antioxidants in grapevine roots (*Vitis vinifera*) under drought stress followed by regeneration. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 78, 97-103. <http://10.5586/asbp.2009.013>
- Xiong, L., Wang, R. G., Mao, G. & Koczan, J. M. (2006) Identification of drought tolerance determinants by genetic analysis of root response to drought stress and abscisic acid. *Plant Physiology*, 142, 1065-1074. <http://10.1104/pp.106.084632>
- Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z. & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulture*, 7(3), 50. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050>
- Zlatev, Z. & Lidon, F. C. (2012). An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 57-72. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v24i1.10599>
- Zulficar, F., Chen, J., Finnegan, P. M., Younis, A., Nafees, M., Zorrig, W. & Hamed, K. B. (2021). Application of trehalose and salicylic acid mitigates drought stress in sweet basil and improves plant growth. *Plants*, 10(6), 1078. <https://doi.org/10.3390/plants10061078>