

## Research Paper

# Investigation the effects of water defficiency stress on the photosynthetic parameters in Salvia plant probed by JIP test

Neda Bagheenayat<sup>1</sup>, Giti Barzin<sup>1</sup>, Mojtaba Jafarinia<sup>2\*</sup>, Leila Pishkar<sup>1</sup>, Maliheh Entezari<sup>3,4</sup>

1-Department of Biology, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran

2- Department of Biology, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran

3-Department of Genetics, Faculty of Advanced Science and Technology, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran .

4-Farhikhtegan Medical Convergence sciences Research Center, Farhikhtegan Hospital Tehran Medical sciences ,Islamic Azad University,Tehran,Iran.

Received:2020/10/22

Revised:2021/01/09

Accepted:2021/03/19

Online: 2021/09/01

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2021.26371.2275](https://doi.org/10.30495/wej.2021.26371.2275)

**Key words:** Chlorophyll a, Fluorescence, Salvia, Water defficiency

### Abstract

**Introduction:**Water defficiency stress is one of the most two abiotic stresses that can affect plant growth and development. Salvia is one of the important medicinal plants that has several medicinal properties.

**Methods:**In the present study, the effects of different levels of water defficiency including 25, 50, 75 and 100% of soil field capacity on photosynthetic parameters in two sensitive and resistant species of salvia were investigated by JIP-test method.

**Findings and Conclusion:**The results of this study showed that with increasing water defficiency stress the number of active reaction centers (RC / CS), the amount of electron transfer in the photosynthetic system (ETo / CS), the efficiency of light reactions in photosystem II ( $\phi P_o / (-1 \phi P_o)$ ) , Efficiency of biochemical reactions in electron transfer chain ( $\psi_o / (1- \psi_o)$ ), efficiency of electron delivery to photosystem I ( $\delta R_o / (1- \delta R_o)$ ) and performance index of electron transfer from the beginning of photosystem II to the end of I (PI total) has been reduced and the amount of energy loss in antenna chlorophylls (DIO / CS) has increased. The results of this study also showed that the negative effects of water defficiency stress on these parameters in the susceptible species of Salvia (*Salvia officinalis*) were more than the resistant species (*Salvia virgata*).

**Citation:** Bagheenayat, N., Barzin, G., Jafarinia, M., Pishkar, L. and Entezari, M. Investigation the effects of water defficiency stress on the photosynthetic parameters in Salvia plant probed by JIP test. Water Resources Engineering Journal. 2022; 15(52): 15-28

\*Corresponding author: Mojtaba Jafarinia

Address: Department of Biology, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran

Tell: +989173109311

Email: Jafarinia33@gmail.com

## Extended Abstract

### Introduction

Drought stress or water deficiency is one of the most important environmental stresses that can have many effects on morphology, physiology and metabolism of plants. In most plants, the response to stress conditions depends on the ability of the photosynthetic system to respond to stress. Stress conditions can change the characteristics and fluorescence intensity of chlorophyll a. Analysis of kinetic changes in chlorophyll a fluorescence provides important information about the structure and function of photosynthesis apparatus. In the JIP-test method, the initial information obtained from the fluorescence kinetics of chlorophyll a is converted into biophysical parameters through special software. This information provides interesting physiological interpretations of how electrons are transferred in the photosynthetic electron transport chain. In recent years, the use of medicinal plants has been considered due to the harmful effects of chemical drugs. Salvia is the largest genus of plants in the sage family Lamiaceae. The genus Salvia includes hundreds of species that are geographically dispersed around the world. 58 species of this genus are found in Iran and 17 of which are native to Iran. Salvia is used as an antibacterial, antifungal, antiviral, antiperspirant, antihypertensive, anti-inflammatory, astringent, appetite suppressant and diuretic. In this study, the effects of drought stress on the photosynthetic system of salvia will be investigated using JIP-test method.

### Materials and Methods

This research was carried out in the form of a factorial experiment based on a completely randomized design using three replicates, in the greenhouse of

Marvdasht Islamic Azad University, Marvdasht, Iran in 2018-2019. Drought stress was applied in four levels including 25, 50, 75 and 100% of soil field capacity. For this study, the seeds of five different species of salvia, including *Salvia officinalis*, *Salvia Virgata*, *Salvia Mirzayanii*, *Salvia nemoroza*, *Salvia verticillaa* were prepared from Isfahan Pakan Bazr Company. In the first step, the effects of drought stress were applied to 5 different species of salvia plant and then by measuring some vegetative parameters the most resistant and sensitive species in these five species were selected. In the second phase, *Salvia Virgata*(resistant species) and *Salvia officinalis* (sensitive species) were cultivated and after one month, the fluorescence of chlorophyll a was measured through the Handy PEA device and analyzed by JIP-test method.

### Findings and discussion

The results of this study showed that with increasing water deficiency stress the number of active reaction centers (RC / CS), the amount of electron transfer in the photosynthetic system (ETo / CS), the efficiency of light reactions in photosystem II ( $\phi P_o / (-1 \phi P_o)$ ), Efficiency of biochemical reactions in electron transfer chain ( $\psi_o / (1 - \psi_o)$ ), efficiency of electron delivery to photosystem I ( $\delta R_o / (1 - \delta R_o)$ ) and performance index of electron transfer from the beginning of photosystem II to the end of I (PI total) has been reduced and the amount of energy loss in antenna chlorophylls (DIO / CS) has increased. The results of this study also showed that the negative effects of water deficiency stress on these parameters in the susceptible species of Salvia (*Salvia officinallis*) were more than the resistant species (*Salvia virgata*). The reduction in active reaction centers indicates that one of the reasons for the decline in

photosynthetic performance index in sensitive salvia species is the decrease in the amount of active reaction centers in the photosynthetic apparatus in stress conditions. Analysis of the biphasic data so obtained suggested the presence of three distinct populations of PS II centers in the chloroplast, termed as PS II $\alpha$ , PSII $\beta$  and PS II $\gamma$ . These components are probably interconvertible depending on the environmental conditions, and the active centers seem to get converted into inactive centers. PS II $\alpha$  may dissociate into free LHC II and PS II $\beta$  and the latter may migrate from the grana to the non-appressed thylakoid membranes. The amount of energy dissipation of the photosynthetic system does not change much compared to other parameters. Accordingly, it can be concluded that the energy dissipation at the leaf surface may not have been one of the sensitive points of the photosynthetic electron transport chain in drought stress. The decrease in the amount of electron transfer in the electron transport chain can be due to the decrease in the performance of the oxygen-evolving complex. Decreased light absorption efficiency, reduced electron transfer chain, damage to electron receptors at the end of photosystem I and reduced intermediate chain carriers are reasons for reduced photosynthetic performance from the beginning of photosystem II to the end of photosystem I.

#### **Ethical Considerations compliance with ethical guidelines**

Plants and stresses in this study have no negative environmental effects.

#### **Funding**

No funding.

#### **Authors' contributions**

Design and conceptualization: Neda Bagheenayat, Giti Barzin, Mojtaba Jafarinia, Leila Pishkar, Maliheh Entezari.

Methodology and data analysis: Mojtaba Jafarinia

Supervision and final writing: Mojtaba Jafarinia

#### **Conflicts of interest**

The authors declared no conflict of interest.

## مقاله پژوهشی

## بررسی تاثیرات تنش کم آبی بر پارامترهای فتوسنتزی در گیاه مریم گلی از طریق روش JIP-تست

ندا باغ عنایت<sup>۱</sup>، گیتی برزین<sup>۱</sup>، مجتبی جعفری نیا<sup>۲\*</sup>، لیلا پشتکار<sup>۱</sup>، ملیحه انتظاری<sup>۳</sup> و

۱- گروه زیست شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، اسلامشهر، ایران

۲- گروه زیست شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مرودشت، مرودشت، ایران

۳- گروه ژنتیک، دانشکده علوم و فناوری های نوین، واحد تهران پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- مرکز تحقیقات علوم همگرای پزشکی فرهیختگان، بیمارستان فرهیختگان، واحد تهران پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

## چکیده

**مقدمه:** تنش کم آبی یکی از مهمترین تنش های غیر زیستی است که می تواند بر رشد و نمو گیاهان موثر باشد. گیاه مریم گلی نیز یکی از گیاهان دارویی مهم است که دارای خواص دارویی متعددی می باشد.

**روش:** در پژوهش حاضر تاثیرات سطوح متفاوت کم آبی شامل ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک بر روی پارامترهای فتوسنتزی در دو گونه حساس و مقاوم گیاه مریم گلی از طریق روش JIP-تست مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته ها:** نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش تنش کم آبی از میزان مراکز فعال واکنش (RC/CS)، میزان انتقال الکترون در سیستم فتوسنتزی (ETo/CS)، کارایی واکنش های نوری در فتوسیستم II  $(\phi_{Po} / (1 - \phi_{Po}))$ ، کارایی واکنش های بیوشیمیایی زنجیره انتقال الکترون  $(\psi_o)$   $(1 - \psi_o)$ ، کارایی رسیدن الکترون به فتوسیستم I  $(\delta_{Ro} / (1 - \delta_{Ro}))$  و شاخص کارایی انتقال الکترون از ابتدای فتوسیستم II تا انتهای I (PI total) کاسته شده است و میزان اتلاف انرژی در کلروفیل های آنتن (Dio/CS) افزایش یافته است.

**نتیجه گیری:** نتایج این تحقیق نشان داد که تاثیرات منفی تنش کم آبی بر این پارامترها در گونه حساس مریم گلی (*Salvia officinallis*) بیش از گونه مقاوم (*Salvia virgata*) بوده است.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۱

تاریخ اولین بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۹

تاریخ آنلاین: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

10.30495/wej.2021.26371.2275

**کلمات کلیدی:** کم آبی، فلورسانس کلروفیل a، مریم گلی

\* نویسنده مسئول: مجتبی جعفری نیا

نشانی: گروه زیست شناسی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران.

تلفن: ۰۹۱۷۳۱۰۹۳۱۱

پست الکترونیکی: Jafarinia33@gmail.com

## مقدمه

صدها گونه است که در سراسر دنیا پراکندگی جغرافیایی دارند. ۵۸ گونه از این جنس در ایران یافت می‌شود که ۱۷ گونه‌اش بومی ایران است. خواص درمانی متعددی از گونه‌های مختلف این جنس گزارش شده است. امروزه مریم گلی به عنوان آنتی باکتریال، ضد قارچ، ضد ویروس، ضد تعرق، پایین آورنده فشار خون، ضد التهاب، قابض، افزایش‌دهنده اشتها و مدر مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹]. با توجه به اهمیت تنش کم آبی و همچنین اهمیت دارویی گیاه مریم گلی و لزوم استفاده از روشهای جدیدتر و دقیق تر برای بررسی سیستم فتوسنتزی، در این تحقیق اثرات تنش کم آبی بر سیستم فتوسنتزی گیاه مریم گلی با استفاده از روش JIP-test مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## مواد و روش ها

منابع تهیه بذری، نحوه آزمایش و طرح آزمایش: این تحقیق در طی سالهای ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸ در گلخانه دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت انجام گرفت. برای انجام این طرح، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح‌های تصادفی اجرا گردید. برای انجام این پژوهش، بذرهای ۵ گونه متفاوت گیاه مریم گلی شامل *Salvia verticillata nemoroza* از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. برای انجام تحقیق ابتدا در مرحله اول اثرات تنش کم آبی بر روی ۵ گونه مختلف گیاه مریم گلی اعمال و سپس با اندازه گیری برخی پارامترهای رویشی مقاوم‌ترین و حساس‌ترین گونه در این پنج گونه انتخاب شد. در مرحله دوم گونه مقاوم (*Salvia virgata*) و حساس (*Salvia officinalis*) کشت شده و پس از اعمال تنش کم آبی میزان فلورسانس کلروفیل a در آنها از طریق دستگاه Handy PEA اندازه گیری گردید.

نحوه اعمال تنش کم آبی: برای انجام این آزمایش از کشت گیاهان در گلدان استفاده گردید. به این منظور ۸۰ گلدان یک کیلوگرمی تهیه و در هر کدام مقدار یک کیلوگرم خاک اضافه گردید. سپس ظرفیت زراعی گلدان‌های حاوی خاک تعیین گردید و برای اعمال تنش چهار سطح ۱۰۰٪، ۷۵٪، ۵۰٪ و ۲۵٪ ظرفیت زراعی به عنوان سطوح کم آبی در نظر گرفته شدند. برای انجام آزمایش در هر گلدان تعداد ۳ عدد بذر گیاه مریم گلی پس از ضدعفونی با محلول هیپو کلریت سدیم ۵٪ کشت گردید که پیش از جوانه زنی و رشد به یک عدد در هر گلدان تقلیل یافت. پس از جوانه زنی و رشد گیاهچه‌ها تا مرحله چهار برگی آبیاری در حد ظرفیت زراعی ۱۰۰٪ انجام گرفت و پس از مرحله چهار برگی در گلدان‌های مربوط به هر تنش میزان آبیاری به سطح ظرفیت زراعی مورد نظر کاهش یافت. پس از یکماه و هنگامی که اثرات تنش کم آبی مشخص گردید با استفاده از دستگاه Handy PEA میزان فلورسانس کلروفیل a در برگ گیاهان اندازه گیری شد.

نحوه اندازه گیری فلورسانس کلروفیل a: جهت بررسی اثر کم آبی بر پارامترهای فتوسنتزی گیاه مریم گلی از اطلاعات حاصل از موج OJIP که از نوردهی به نمونه‌های سازگار شده به تاریکی منتشر می‌شود، استفاده گردید. اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل a با استفاده از دستگاه Handy PEA (Plant Efficiency Analyzer،

گیاهان در طول زندگی خود با انواع متفاوتی از تنش‌ها مواجه هستند. تنش خشکی یا کمبود آب یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که می‌تواند تاثیرات بسیاری بر مورفولوژی و فیزیولوژی و متابولیسم گیاهان داشته باشد [۱]. کم آبی می‌تواند رشد و نمو گیاهان را محدود کرده و باعث کاهش محصول و عملکرد آنها شود [۲]. کشور ایران دارای تنوع آب و هوایی زیادی است و این در حالی است که دو سوم زمین‌های کشاورزی ایران در مناطق نیمه خشک قرار دارند که عملاً با تنش خشکی مواجه هستند و در سالهای اخیر به علت کمبود نزولات آسمانی در کشور تنش خشکی اهمیت ویژه‌ای یافته است [۳]. تنش کم آبی می‌تواند با کاهش محتوای آب سلولی، اختلال در متابولیسم اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها، کاهش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز، افزایش تولید هورمون آبسزیک اسید، کاهش سطح انرژی سلولی و اختلال در فتوسنتز باعث ایجاد آسیب در گیاهان شود [۲]. یکی از مهمترین فرایندهای فیزیولوژیکی که در گیاهان که تحت تأثیر تنش کم آبی قرار می‌گیرد فتوسنتز است. در اکثر گیاهان، پاسخ به شرایط استرس وابسته به توانایی سیستم فتوسنتزی در پاسخ به تنش‌هاست و مخصوصاً فتوسیستم II نقش مهمی را در این زمینه ایفا می‌کند [۴] [۵]. روش‌های متفاوتی برای بررسی عملکرد سیستم فتوسنتزی در گیاهان وجود دارد که از آن جمله به اندازه‌گیری میزان فتوسنتز، میزان تبادل گازهای فتوسنتزی، میزان تعرق و هدایت روزنه ای، اندازه‌گیری عملکرد گیاه براساس تولید ماده و اندازه‌گیری میزان فلورسانس کلروفیل a اشاره کرد. شرایط تنش می‌تواند موجب تغییر خصوصیات و میزان فلورسانس کلروفیل a شود [۶]. آنالیز تغییرات کینتیک فلورسانس کلروفیل a اطلاعات مهمی را در مورد ساختار و عملکرد فتوسنتزی، مخصوصاً فتوسیستم II فراهم می‌کند. در سال‌های اخیر پیشرفت‌های جدیدی در زمینه نحوه اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل فلورسانس کلروفیل a برای بررسی سیستم فتوسنتزی گیاهان صورت گرفته است. دستگاه‌های جدید اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل a با توانایی اندازه‌گیری ممتد و سریع فلورسانس کلروفیل a در کثرتی از ثانیه به خوبی می‌توانند عملکرد زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی را بازتاب دهند. در این روش که به نام روش JIP تست معروف است و توسط استراسر و استراسر (۱۹۹۵) معرفی شده است اطلاعات اولیه حاصل از کینتیک فلورسانس کلروفیل a از طریق نرم افزارهای مخصوصی به پارامترهای بیوفیزیکی تبدیل می‌شود که می‌تواند تفاسیر فیزیولوژیکی جالبی در مورد نحوه انتقال الکترون و فعالیت فتوسنتزی در زنجیره انتقال الکترون به خصوص در فتوسیستم II ارائه دهد که بیانگر بسیاری از اتفاقات فیزیولوژیکی باشد که گیاه در شرایط تنش با آن مواجه است. این روش به عنوان یک روش سریع و غیر تهاجمی به گیاه در شرایط *in vivo* برای بررسی عملکرد سیستم‌های فتوسنتزی در شرایط تنش به خوبی توانسته در تحقیقات متعددی بر روی گیاهان کارایی خود را نشان دهد [۷] [۸]. در سال‌های اخیر استفاده از گیاهان دارویی به علت اثرات مضر داروهای شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است. گیاه مریم گلی گیاهی از خانواده نعنائیان (*Lamiaceae*) است. جنس *Salvia* از خانواده نعنائیان شامل

گونه *S. virgata* دیده نمی‌شود و این روند عدم تفاوت تا سطح ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه ادامه می‌یابد، اما در سطح ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه گونه *S. officinallis* کاهش بیشتری را در میزان مراکز فعال واکنش نسبت به گونه *S. virgata* نشان می‌دهد. نتایج جدول ۲ مشخص می‌کند که در سطح ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه میزان کاهش در گونه *S. virgata* ۱۰/۱۴ درصد نسبت به شاهد و در گونه *S. officinallis* ۰۷/۳۵ درصد نسبت به شاهد بوده است. روند کاهش در مراکز فعال واکنش بیانگر این موضوع است که یکی از دلایل کاهش عملکرد فتوسنتزی گونه *S. officinallis* حساس در سطوح بالای کم آبی کم شدن میزان مراکز فعال واکنش در سیستم فتوسنتزی و در شرایط تنش می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش تنش میزان مراکز فعال واکنش کاهش یافته است. در مورد مراکز واکنش فتوسنتزی تحقیقات نشان می‌دهد بعد از در معرض تنش قرار گرفتن سیستم‌های فتوسنتزی، تعدادی از مراکز واکنش تغییر عملکرد داده و نقش‌های متفاوتی به عهده می‌گیرند [۱۰]. این مراکز واکنش با آنکه از نظر دریافت انرژی به دام افتاده از کلروفیل‌های آنتن فعال هستند و قسمتی از انرژی به دام افتاده را دریافت می‌کنند اما همه انرژی دریافتی را به صورت گرما در یک مکانسیم مرتبط با محافظت سیستم‌های فتوسنتزی از دست می‌دهند. این مراکز قبلاً به نام مخازن گرمایی یا Heatsinks نامگذاری می‌شدند [۱۱] [۱۲] و استراسر و همکاران نام مراکز خاموش یا Silent reaction centers را برای این دسته از مراکز واکنش پیشنهاد داده‌اند [۱۰]. این مراکز خاموش بعد از دریافت انرژی از کلروفیل‌های آنتن توانایی احیای  $Q^A$  را نداشته و توانایی انتقال این انرژی به سایر مولکول‌های آنتن را هم ندارند و انرژی دریافت شده را تنها به صورت گرما از دست می‌دهند. بنابراین این مراکز خاموش از نظر فعالیت فتوسنتزی نقشی در انتقال الکترون و یا فلورسنس ساطع شده از سیستم‌های فتوسنتزی ندارند [۱۰]. در تحقیقی که توسط فالکائیو و همکاران (۲۰۱۷) انجام گرفت اثرات تنش خشکی را بر گیاه کائوچو از طریق روش JIP تست مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که گیاهان یکساله ای که به مدت ۳۶ روز تحت تنش خشکی قرار گرفته بودند افزایش مراکز غیر فعال واکنش در سیستم فتوسنتزی در نتیجه تنش خشکی در گیاه مشاهده گردید [۱۳]. همچنین نتایج تحقیقات کالاجی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که تنش خشکی و شوری در گیاهان مختلفی می‌تواند سبب تغییر در تعدادی از مراکز فعال واکنش به مراکز غیرفعال یا مراکز خاموش شود. نتایج تحقیقات دابروسکی و همکاران (۲۰۱۹) بر روی ارقام گیاه چمن نشان داد که تحت سطوح متفاوت ظرفیت آب زراعی میزان مراکز فعال واکنش در سطح برگ مورد بررسی در ارقام چمن کاهش یافته است [۱۴]. در پژوهش راپاز و همکاران (۲۰۱۹) در گیاه جو نیز کاهش مقدار مراکز فعال واکنش طی تنش خشکی گزارش گردید [۱۵].

(Hansatech, UK) انجام شد. به این منظور ابتدا برگ‌های مشخصی از گیاهان شاهد و تحت تیمار در موقعیت‌های یکسان فیلوتاکی انتخاب و گیره‌های مخصوصی به آنها اتصال یافت. پس از نوردی توسط دستگاه میزان فلورسانس اندازه گیری و داده‌ها به کامپیوتر منتقل گردید. در مرحله بعد با استفاده از نرم افزار BiolyzerHP4 و با استفاده از روشی موسوم به JIP-test اطلاعات اولیه فلورسنس به پارامترهای بیوفیزیکی (که به همراه تعریف آنها در جدول ۱ ذکر شده است) تبدیل و در نهایت پارامترهای ذکر شده مورد بررسی قرار گرفت.

نحوه تجزیه و تحلیل داده‌ها: برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای BiolyzerHP4، SPSS و Excel استفاده گردید.

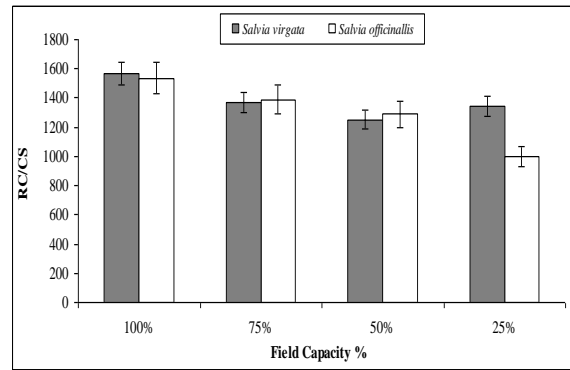
### جدول ۱- پارامترهای بیوفیزیکی استخراج شده از اطلاعات اولیه فلورسنس کلروفیل a

پارامتر	تعریف پارامتر
RC/CS	میزان مراکز فعال واکنش در سطح برگ مورد بررسی (۴ میلی‌متر مربع)
DI/CS	میزان اتلاف انرژی در کلروفیل‌های آنتن در سطح برگ مورد بررسی (۴ میلی‌متر مربع)
ET/CS	میزان کل انتقال الکترون در سطح برگ مورد بررسی (۴ میلی‌متر مربع)
RE/CS	میزان احیای آخرین پذیرنده الکترون در سمت فتوسیستم I در سطح برگ مورد بررسی (۴ میلی‌متر مربع)
$\Phi_{Po} / (1 - \Phi_{Po})$	کارایی واکنش‌های نوری در فتوسیستم II
$\psi_o / (1 - \psi_o)$	کارایی واکنش‌های بیوشیمیایی انتقال الکترون
$\delta_{Ro} / (1 - \delta_{Ro})$	کارایی واکنش‌های انتقال الکترون به سمت فتوسیستم I
PI <sub>total</sub>	شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی از ابتدای فتوسیستم II تا انتهای فتوسیستم I

### نتایج و بحث

بررسی اثرات کم آبی بر میانگین پارامتر RC/CS (میزان مراکز فعال واکنش در سطح برگ مورد بررسی (۴ میلی‌متر مربع)) در گونه‌های حساس و مقاوم گیاه مریم‌گلی: نتایج شکل ۱ و جدول ۲ مشخص می‌کند که میزان مراکز فعال واکنش در سطح برگ مورد بررسی تحت تاثیر تنش کم آبی قرار گرفته است و در گونه *S. officinallis* این کاهش بیشتر بوده است. نتایج شکل مشخص می‌کند که در سطح شاهد تفاوت معناداری بین گونه *S. officinallis*

بررسی اثرات کم آبی بر میانگین پارامتر  $DIO/CS$  (میزان اتلاف انرژی در کل مراکز واکنش در سطح برگ مورد بررسی ۴ میلی‌متر مربع)) در گونه های حساس و مقاوم گیاه مریم گلی: نتایج شکل ۲ و جدول ۲ نشان داد که میزان اتلاف انرژی در سطح برگ مورد بررسی تحت تاثیر تنش کم آبیافزایش یافته است. در گونه *virgata*، روند تغییرات نشان می‌دهد که تا سطح ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه تغییر معناداری در میزان اتلاف انرژی در گونه *virgata* دیده نمی‌شود اما با افزایش سطح تنش ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه افزایش معناداری در میزان اتلاف انرژی دیده می‌شود. در گونه *S. officinallis* نیز تا سطح ۵۰ درصد تغییر معناداری در میزان اتلاف انرژی دیده نمی‌شود اما با افزایش سطح تنش به ۲۵ درصد ۹۶/۲۱ درصد افزایش نسبت به شاهد در میزان اتلاف انرژی دیده می‌شود که بیانگر این موضوع که تنش کم آبی در سطح ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه سبب اتلاف انرژی بیشتری در انرژی دریافت شده نسبت به سایر تنش ها شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که تفاوت گونه *virgata*، حساس در سطوح متفاوت خشکی معنی دار نبوده است و از طرف دیگر میزان اتلاف انرژی در سطح برگ مورد بررسی نسبت به سایر پارامترها تغییر چندانی را نشان نمی‌دهد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً اتلاف انرژی در سطح برگ مورد بررسی از نقاط حساس زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزیدر تنش خشکی نبوده است و تفاوت گونه های حساس و مقاوم را باید در سایر پارامترهای فتوسنتزی جستجو کرد. نتایج نشان داد اتلاف انرژی با افزایش مقدار تنش در این تحقیق افزایش یافت. اتلاف انرژی یک مکانیسم حفاظتی برای جلوگیری از آسیب به سیستم فتوسنتزی است که تحت تنش شوری دچار کاهش راندمان فعالیت‌ها شده است. این موضوع مشخص می‌کند که کلروفیل‌های آنتن با افزایش تنش، مقداری از پتانسیل خود برای انتقال کامل انرژی فوتون‌های دریافتی به سمت مراکز واکنش را از دست می‌دهند. کلروفیل‌های آنتن فتوسیستم II بر اساس اندازه و ساختار به ۳ مدل  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  وجود دارند که از لحاظ خصوصیات با همدیگر متفاوت می‌باشند. کلروفیل‌های آنتن نوع  $\alpha$  از دو نوع دیگر بزرگتر بوده و بیشتر در نواحی گرانا در غشاهای تیلاکوئیدی واقع شده‌اند. این کلروفیل‌ها از لحاظ خصوصیات فتوشیمیایی فعال بوده و دارای بیشترین ضریب پیوستگی و انتقال در سیستم‌های جمع کننده نور، در فتوسیستم II می‌باشند. کلروفیل‌های آنتن نوع  $\beta$  از لحاظ اندازه تقریباً ۲/۵ برابر کوچکتر از نوع  $\alpha$  هستند و بیشتر در تیلاکوئیدهای نواحی استرومایی کلروپلاست دیده می‌شوند. این نوع کلروفیل‌ها با آنکه از لحاظ خصوصیات فتوشیمیایی فعال هستند اما ضریب ارتباط و پیوستگی کمتری را نسبت به نوع  $\alpha$  با مراکز واکنش فتوسنتزی دارا هستند. نوع سوم کلروفیل‌های آنتن (نوع  $\gamma$ ) از لحاظ اندازه کوچکترین بوده و توانایی انتقال فوتون‌ها و انرژی دریافتی به مراکز واکنش را ندارند و از این رو سبب کاهش خصوصیات پیوستگی و ارتباط در سیستم‌های جمع کننده نور در فتوسیستم II می‌شوند [۱۶]. نتایج تحقیقات ارسلان و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که تحت تنش خشکی در گیاه آفتابگردان میزان اتلاف انرژی در مراکز واکنشافزایش یافته است [۵].



شکل ۱- مقایسه اثرات سطوح متفاوت کم آبی بر میانگین پارامتر  $RC/CS$  (میزان مراکز فعال واکنش در سطح برگ مورد بررسی ۴ میلی‌متر مربع)) در گونه های حساس و مقاوم مریم گلی. مقادیر میانگین ۱۰ تکرار  $\pm$  انحراف معیار می باشد.

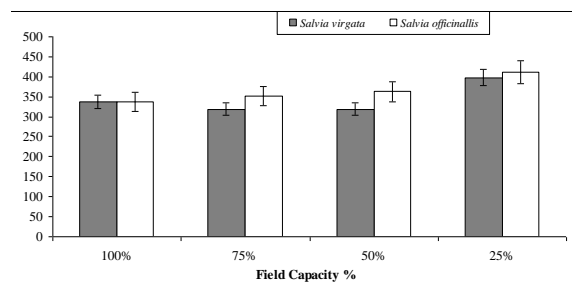
جدول ۲- میانگین درصد تغییرات پارامترهای متفاوت فتوسنتزی نسبت به شاهد در گونه های حساس و مقاوم مریم گلی در سطوح متفاوت کم آبی. حروف مشابه در مورد هر پارامتر نشانگر معنی دار نبودن اختلاف در سطح ۵ درصد و براساس آزمون دانکن می باشد.

پارامتر مورد بررسی	گونه	درصد تغییرات نسبت به شاهد در سطوح متفاوت کم آبی		
		۷۵٪ FC	۵۰٪ FC	۲۵٪ FC
$RC/CS$	<i>Salvia virgata</i>	-۱۲/۶۴a	-۲۰/۰۴ab	-۱۴/۱۰a
	<i>Salvia officinallis</i>	-۹/۴۵a	-۱۵/۸۴a	-۳۵/۰۷c
$DIO/CS$	<i>Salvia virgata</i>	-۵/۳۴a	-۵/۳۴a	۱۸/۱۰b
	<i>Salvia officinallis</i>	۴/۴۵a	۷/۷۲a	۳۱/۹۶c
$ETo/CS$	<i>Salvia virgata</i>	-۹/۱۵a	-۱۱/۷۵a	-۳۶/۱۷b
	<i>Salvia officinallis</i>	-۹/۱۲a	-۳۲/۰۱b	-۵۱/۱۴c
$\phi Po / (1 - \phi Po)$	<i>Salvia virgata</i>	-۰/۰۷a	-۰/۱۵a	-۱۷/۸۶b
	<i>Salvia officinallis</i>	-۴/۰۵a	-۱۵/۴۵b	-۲۵/۵۵c
$\psi o / (1 - \psi o)$	<i>Salvia virgata</i>	-۱۲/۱۹a	-۱۹/۳۳ab	-۶۳/۷۳c
	<i>Salvia officinallis</i>	-۲۶/۹۶b	-۵۴/۹۴c	-۷۵/۵۱d
$\delta Ro / (1 - \delta Ro)$	<i>Salvia virgata</i>	-۴/۱۴a	-۱۳/۰۲b	-۱۲/۶۰b
	<i>Salvia officinallis</i>	-۱۰/۵۷ab	-۱۰/۰۵ab	-۳۰/۴۸c
PI,total	<i>Salvia virgata</i>	-۳۵/۲۵a	-۴۸/۶۷b	-۶۰/۴۷c
	<i>Salvia officinallis</i>	-۴۹b	-۵۹/۹c	-۷۹/۳۱d

واکنش در سطح برگ مورد بررسی (۴ میلی‌متر مربع)) در گونه های حساس و مقاوم مریم گلی. مقادیر میانگین  $10 \pm$  تکرار  $\pm$  انحراف معیار می باشد.

بررسی اثرات کم آبی بر میانگین پارامتر ETo/CS (میزان کل انتقال الکترون در سطح برگ مورد بررسی (۴ میلی‌متر مربع)) در گونه های حساس و مقاوم گیاه مریم گلی: براساس نتایج شکل ۳ و جدول ۲ مشخص می شود که با افزایش سطوح تنش خشکی از میزان انتقال الکترون در سطح برگ مورد بررسی کاسته شده است. این کاهش در گونه های حساس به خصوص در تیمارهای ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه بیش از گونه *S. virgata* بوده است، به طوری که در سطح ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه میزان کاهش در گونه *S. virgata* ۱۷/۳۶ درصد و در گونه *S. officinallis* ۱۴/۵۱ درصد نسبت به تیمار شاهد بوده است. در سطح ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه نیز گونه *S. virgata* ۵۷/۱۱ درصد کاهش و گونه *S. officinallis* ۰/۱۳۲ درصد کاهش نسبت به شاهد را نشان می دهد. بر اساس نتایج فوق می توان نتیجه گرفت که میزان کاهش بیشتر انتقال الکترون در گونه *S. officinallis* کمی تواند یکی از دلایل مهم کاهش عملکرد دستگاه فتوسنتزی در این گونه گیاه مریم گلی باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که در هر دو تنش میزان انتقال الکترون در زنجیره انتقال الکترون کاهش یافته است. در مرحله اول کاهش دریافت و انتقال انرژی در فتوسیستم II و رسیدن انرژی کمتر به مراکز واکنش باعث کاهش آزادسازی الکترون از مراکز واکنش می شود. با آسیب به کمپلکس تجزیه کننده آب تامین الکترون هم دچار اختلال می شود. همچنین تحقیقات نشان می دهد مراکز واکنشی که قادر به احیای QA هستند (مراکز واکنش فعال) به دو دسته مراکز احیا کننده QB (QB-reducing center) و مراکز غیر احیا کننده QB (Non QB-reducing center) تقسیم می شوند که هر دو توانایی احیای QA را دارند، اما در دسته دوم (Non QB-reducing center) پس از احیا کردن QA و اکسید شدن آن، احیای QB صورت نمی گیرد و الکترون های آنها به جای انتقال به QB در یک مسیر برگشتی به قسمت دهنده الکترون در فتوسیستم II باز می گردد. همان طور که گفته شد تعداد این مراکز غیر احیا کننده QB در اثر تنش افزایش می یابد و از تعداد مراکز احیا کننده QB کاسته می شود که خود می تواند دلیل کاهش انتقال الکترون از QA به QB با افزایش تنش باشد. نتایج تحقیق حاضر منطبق با نتایج مهتا و همکاران (۲۰۱۰)، ژیا و همکاران (۲۰۰۴) و کالاجی و همکاران (۲۰۱۶) است [۲۱] [۲۲] [۱۷]. همچنین چون انتقال الکترون از پذیرنده های اولیه به پذیرنده های میانی زنجیره انتقال الکترون با اختلال بیشتری مواجه شده در نتیجه باعث کاهش میانگین فعالیت انتقال الکترون در فتوسیستم II تا ابتدای فتوسیستم I می باشد. همچنین نتایج تحقیقات کالاجی و همکاران (۲۰۱۱) بر روی گونه ای جو در تنش شوری کاهش انتقال الکترون در سیستم فتوسنتزی را تایید می کند [۲۳].

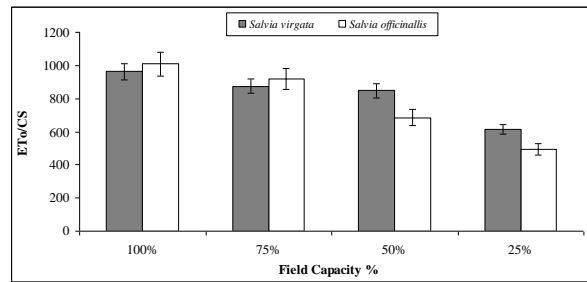
همچنین نتایج تحقیقات کالاجی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که تنش خشکی و شوری می توانند اتلاف انرژی را چه در سطح مراکز واکنش و چه در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی افزایش دهند [۱۷]. نتایج تحقیق چوی و جیونگ (۲۰۲۰) که اثر رژیم رطوبتی روی دو رقم توت فرنگی را بررسی کردند نشان می دهد که تنش رطوبتی سبب افزایش اتلاف انرژی دو و مراکز واکنش می شود [۱۸]. نتایج تحقیق وانگ و همکاران (۲۰۱۸) نشان می دهد که در اثر تنش خشکی در برگ های گیاهچه جوان سیب میزان از میزان خاموش سازی فتوشیمیایی فتوسنتز کاسته شده و به میزان خاموش سازی غیر فتوشیمیایی افزوده شده است که این خود نشانگر افزایش اتلاف انرژی در زنجیره انتقال الکترون و فتوسیستم دو است [۱۹]. نتایج تحقیقات دابروسکی و همکاران (۲۰۱۹) بر روی ارقام گیاه چمن نشان داد که تحت سطوح متفاوت ظرفیت آب زراعی میزان متفاوتی از اتلاف انرژی در سیستم فتوسنتزی این گیاه دیده می شود. تنش سبب افزایش اتلاف انرژی در این آزمایش شده است [۱۴]. نتایج پژوهش راپاز و همکاران (۲۰۱۹) در گیاه جو مشخص نمود که پارامترهای میزان اتلاف انرژی در مراکز واکنش و اتلاف انرژی در سطح برگ مورد بررسی با تنش خشکی دچار کاهش می شود [۱۵]. نتایج تحقیقات کالاجی و همکاران (۲۰۱۶) که اثر تنش های اسمزی شامل شوری و خشکی را بر تغییرات فلورسانس کلروفیل a در گیاه زیرفون برگ کوچک بررسی کردند مشخص کرد که اتلاف انرژی فوتون های دریافتی در هنگام انتقال به مراکز واکنش و در مراکز واکنش از جمله دلایل کاهش عملکرد سیستم فتوسنتزی در این گیاه و در هر دو تنش می باشد [۱۷]. در تحقیق دیگری که توسط زوشی و همکاران (۲۰۱۲) بر روی تاثیرات تنش شوری بر روی برگ و میوه گیاه گوجه فرنگی انجام شد مشخص گردید که تنش شوری به علت ایجاد تنش اسمزی سبب کاهش پتانسیل آب برگ گردیده است. همچنین مشخص گردید که با افزایش سطح شوری به ۱۰۰ میلی مولار نشت الکترولیت ها نیز در برگ این گیاه اتفاق افتاده است. اما نتایج آنالیزهای IP نشان داد که در گیاه گوجه فرنگی با افزایش تنش شوری انتقال الکترون فتوسنتزی دچار آسیب شده است و اتلاف انرژی در سیستم فتوسنتزی سبب کاهش راندمان انتقال انرژی به مراکز واکنش شده است و بسیاری از مراکز واکنش نیز در سطح برگ مورد بررسی به مراکز غیر فعال تبدیل شده اند [۲۰].



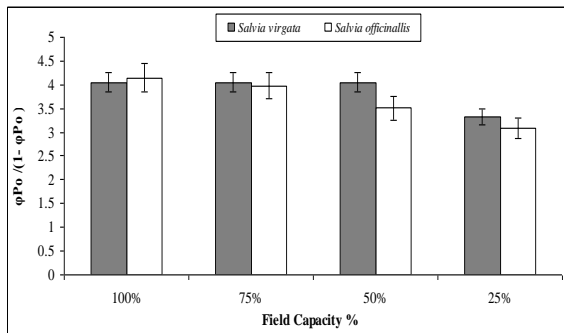
شکل ۲- مقایسه اثرات سطوح متفاوت کم آبی بر میانگین DIo/CS (میزان اتلاف انرژی در کل مراکز



روی گونه ای از بلوط به نام *quercusRobur* در تنش خشکی نشان داد که بعد از اعمال تنش، کارایی واکنش نوری کاهش می یابد [25]. نتایج تحقیقات جعفری نیا و شریعی (2012) بر روی گیاه کلزا تحت تنش شوری پس از 14 روز مشابه با تحقیق حاضر است [6]. در تحقیقی که توسط کوچوا و همکاران (2004) انجام گرفت نشان دادند که واکنش‌های فتوشیمیایی اولیه تحت تنش خشکی در زنجیره انتقال الکترون کاهش یافته و همبستگی مثبتی بین کاهش رطوبت نسبی گیاه و کاهش واکنش‌های فتوشیمیایی اولیه وجود دارد [26].



شکل ۳- مقایسه اثرات سطوح متفاوت کم آبی بر میانگین پارامتر ET/CS (میزان کل انتقال الکترون در سطح برگ مورد بررسی (4 میلی متر مربع) در گونه های حساس و مقاوم مریم گلی. مقادیر میانگین 10 تکرار ± انحراف معیار می باشد.

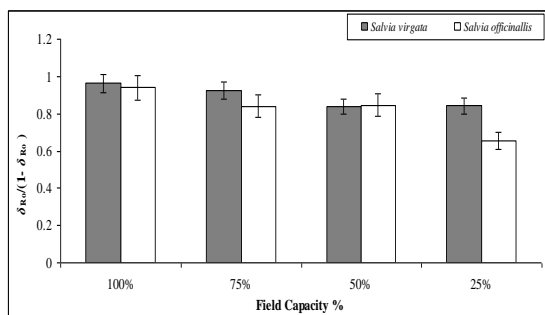


شکل ۴- مقایسه اثرات سطوح متفاوت تنش خشکی بر میانگین پارامتر  $\phi P_o / (1 - \phi P_o)$  (کارایی واکنش‌های نوری در فتوسیستم II) در گونه های حساس و مقاوم مریم گلی. مقادیر میانگین 10 تکرار ± انحراف معیار می باشد.

بررسی اثرات کم آبی بر میانگین پارامتر  $\psi_o / (1 - \psi_o)$  (کارایی واکنش‌های بیوشیمیایی در فتوسیستم II) در گونه های حساس و مقاوم گیاه مریم گلی: نتایج شکل 5 و جدول 2 مشخص می‌کند که با افزایش سطوح کم آبی از راندمان واکنش های بیوشیمیایی در سیستم زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی در هر دو گونه کاسته شده است، به طوری که در سطح تنش 25 درصد ظرفیت مزرعه این کارایی به حداقل به مقدار خود می‌رسد. در مورد گونه *S. virgata* نتایج نشان می دهد که با افزایش سطوح خشکی از میزان راندمان واکنش های بیوشیمیایی کاسته شده است و در سطح 25 درصد ظرفیت مزرعه 73/63 درصد کاهش نسبت به شاهد دیده می‌شود. در گونه *S. officinalis* نیز با افزایش تنش به سطح 75 درصد ظرفیت مزرعه 96/26 درصد کاهش، در سطح 50 درصد 94/54 درصد کاهش و در سطح 25 درصد ظرفیت مزرعه 51/75 درصد کاهش نسبت به شاهد مشاهده می شود. نتایج این نمودار مشخص می‌کند که واکنش های بیوشیمیایی یا همان واکنش های اکسید و احیا پس از دریافت الکترونها از مراکز واکنش تا تحویل الکترون ها به آخرین پذیرنده الکترون در فتوسیستم I یکی از نقاط مهم تفاوت گونه *S. officinalis* و گونه *S. virgata* در تنش خشکی و در گیاه مریم گلی می باشد. کارایی واکنش های

بررسی اثرات کم آبی بر میانگین پارامتر  $\phi P_o / (1 - \phi P_o)$  (کارایی واکنش‌های نوری در فتوسیستم II) در گونه های حساس و مقاوم گیاه مریم گلی: نتایج شکل 4 و جدول 2 مشخص می کند که عملکرد واکنش های نوری در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی تنها در تیمارهای بالای کم آبی تحت تاثیر قرار گرفته است. نتایج نمودار مشخص می‌کند که در گونه *S. virgata* تا سطح 50 درصد ظرفیت مزرعه کاهش در میزان واکنش‌های نوری زنجیره انتقال الکترون دیده نمی شود اما با افزایش سطح تنش به 25 درصد ظرفیت مزرعه در 86/17 درصد کاهش نسبت به شاهد در گونه *S. virgata* دیده می شود. در گونه *S. officinalis* نیز تا سطح 75 درصد ظرفیت مزرعه کاهش معناداری دیده نمی شود، اما در دو سطح 50 و 25 درصد ظرفیت مزرعه کاهش معناداری در واکنش‌های نوری زنجیره انتقال الکترون را نشان می دهد. همچنین تفاوت بین گونه *S. virgata* و گونه *S. officinalis* در هیچکدام از تیمارها در این پارامتر وجود ندارد که خود نشانگر این است که واکنش های نوری موجود در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی محل تفاوت گونه *S. officinalis* گونه *S. virgata* نبوده است. کارایی واکنش های نوری  $(\phi P_o - 1) / \phi P_o$  بیانگر پارامترهایی در زنجیره انتقال الکترون می باشد که ابتدای زنجیره دخالت دارند، قبل از آنکه نور به مراکز واکنش برسد. نتایج تحقیقات ارسالان و همکاران (2020) نشان داد که تحت تنش خشکی در گیاه آفتابگردان از کارایی واکنش های نوری در فتوسیستم II کاسته شد [5]. همچنین نتایج تحقیقات کالاجی و همکاران (2016) نشان داد که تنش خشکی و شوری می تواند شاخص کارایی استفاده از نور دریافت شده در مرحله اول فتوسنتز را کاهش دهد [17]. نتایج تحقیقات دابروسکی و همکاران (2019) بر روی ارقام گیاه چمن نشان داد که تحت سطوح متفاوت ظرفیت آب زراعی میزان کارایی واکنش های نوری در فتوسیستم II کاهش می یابد [14]. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق باکارین (2011) که به اثر تنش شوری بر روی گونه ای کلزا به نام *Brassicnapus* پرداخت مشابه است [24]. همچنین نتایج تحقیقات کولر و همکاران (2013) بر

واکنش های انتقال الکترون به فتوسیستم I می باشد. از علل کاهش این پارامتر در تنش، کاهش تمام پارامترهای قبلی که نشان دهنده کاهش انتقال الکترون می باشد می توان نام برد که همگی نشان دهنده کاهش کارایی انتقال از QA به QB و از QB به زنجیره انتقال الکترون پس از QB می باشد که می تواند کاهش انتقال الکترون را از پذیرنده های میانی زنجیره به آخرین پذیرنده الکترون را در سمت فتوسیستم I را توجیه کند [۱۷]. علاوه بر این به دلیل اینکه جنس ناقلین الکترون از پروتئین می باشد و کم آبی و تولید اکسیدان ها این پروتئین ها را تجزیه می کند همچنین افزایش فلورسانس کلروفیل باعث کاهش انتقال الکترون شده که نهایتاً باعث کاهش میزان احیای آخرین پذیرنده الکترون در سمت فتوسیستم I می شود [۲۸]. در تحقیقی که توسط کالاجی و همکاران (۲۰۱۴) با مطالعه تنش کمبود عناصر غذایی بر روی ذرت و گوجه فرنگی نشان داده شد میزان انتقال الکترون به سمت فتوسیستم I کاهش می یابد [۲۹].



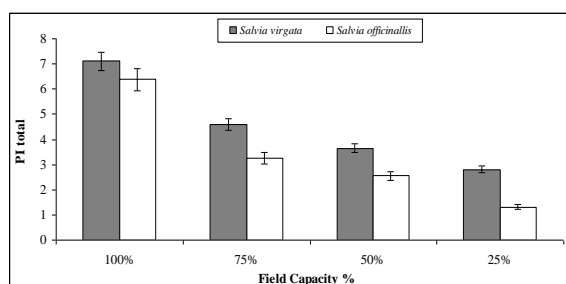
شکل ۶- مقایسه اثرات سطوح متفاوت کم آبی بر میانگین  $(\delta Ro / (1 - \delta Ro))$  (کارایی واکنش های انتقال الکترون به سمت فتوسیستم I) در گونه های حساس و مقاوم مریم گلی. مقادیر میانگین  $\pm$  تکرار ۱۰ معیار می باشد.

بررسی اثرات کم آبی بر میانگین پارامتر  $PI_{total}$  (شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی از ابتدای فتوسیستم II تا انتهای فتوسیستم I) در گونه های حساس و مقاوم گیاه مریم گلی: نتایج شکل ۷ و جدول ۲ که شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی از ابتدای فتوسیستم II تا رسیدن الکترون ها به آخرین گیرنده فتوسیستم I را بررسی می کند نشان می دهد که با افزایش سطح تنش خشکی در مجموع از شاخص کارایی زنجیره انتقال الکترون کاسته شده است، به طوری که نتایج این قسمت نشان می دهد که در گونه *S. virgata* در سطح ۷۵ درصد تنش خشکی ۲۵/۳۵ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد در گونه *S. virgata* اتفاق افتاده است. با افزایش سطح تنش به ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه این مقدار کاهش به ۶۷/۴۸ درصد نسبت به شاهد رسیده است و با افزایش تنش به بالاترین سطح خشکی یعنی ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه کاهشی برابر با ۴۷/۶۰ درصد نسبت به شاهد در گونه *S. virgata* دیده می شود. این روند کاهشی در گونه حساس بسیار بیشتر بوده است به طوری که در سطح ۷۵ درصد

بیوشیمیایی  $(\psi 0 - 1) / \psi 0$ ) مربوط به فعالیت پارامترهایی بعد از مراکز واکنش و در قسمت میانی زنجیره انتقال الکترون تا قبل از رسیدن به فتوسیستم I می باشد. این پارامتر نمایانگر آن است که بازده انتقال الکترون به سمت جلو کاهش یافته که با کاهش  $\psi 0$  مطابقت دارد [۲۱]. همچنین کاهش تمام انتقال الکترون در قسمت میانی زنجیره انتقال الکترون می تواند باعث کاهش کارایی واکنش های بیوشیمیایی در فتوستنز گردد. کاهش کارایی کمپلکس تجزیه کننده آب که انرژی را برای فرآیند بیوشیمیایی اولیه فراهم می کند و همچنین کاهش میزان جریان انتقال الکترون در زنجیره انتقال الکترون نیز می تواند دلیلی بر کاهش این پارامتر باشد [۱۷]. نتایج تحقیقات ارسال و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که تحت تنش خشکی در گیاه آفتابگردان واکنش های انتقال الکترون در قسمت میانی زنجیره انتقال الکترون تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفت و کاهش یافت [۵]. همچنین نتایج تحقیقات کالاجی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که تنش خشکی و شوری می تواند سبب تغییر در کارایی واکنش های بیوشیمیایی قسمت میانی زنجیره شود که با نتایج تحقیق حاضر منطبق است [۱۷]. نتایج تحقیقات دابروسکی و همکاران (۲۰۱۹) بر روی ارقام گیاه چمن نشان داد که تحت سطوح متفاوت ظرفیت آب زراعی میزان واکنش های اکسید و احیای قسمت میانی زنجیره که سبب انتقال الکترون به فتوسیستم I میشود کاهش می یابد [۱۴]. نتایج پژوهش راپاز و همکاران (۲۰۱۹) در گیاه جو مشخص نمود که پارامتر کارایی واکنش های نوری  $(\phi P 0 - 1) / \phi P 0$ ) با تنش خشکی دچار کاهش می شود که منطبق با نتایج تحقیق اخیر بر روی گیاه مریم گلی است [۱۵]. همچنین مهتا و همکاران (۲۰۱۰) اثر تنش شوری روی فلورسانس کلروفیل a بر روی گندم را بررسی کردند که به کاهش کارایی واکنش های بیوشیمیایی در فتوسیستم اشاره شده است [۲۱]. در تحقیقی توسط استراوس و همکاران (۲۰۰۶) تأثیر تنش سرمای زیاد بر روی سویا بررسی شد که نتایج حاصل نشان دهنده کاهش کارایی واکنش های بیوشیمیایی در فتوسیستم می باشد [۲۷].

بررسی اثرات کم آبی بر میانگین پارامتر  $(\delta Ro / (1 - \delta Ro))$  (کارایی واکنش های انتقال الکترون به سمت فتوسیستم I) در گونه های حساس و مقاوم گیاه مریم گلی: نتایج شکل ۶ و جدول ۲ مشخص می کند که با افزایش تنش خشکی در گونه *S. officinalis* از کارایی انتقال الکترون به فتوسیستم I کاسته شده است، به طوری که در سطح خشکی ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه ۵۷/۱۰ درصد کاهش، در سطح ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه ۰۵/۱۰ و در سطح ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه ۴۸/۳۰ درصد کاهش نسبت به شاهد در کارایی انتقال الکترون به فتوسیستم یک دیده می شود. این روند در گونه *S. virgata* گرچه کاهشی بوده است، اما این کاهش معنی دار نیست. نتایج این پارامتر مشخص می کند که یکی از نقاط تفاوت گونه *S. officinalis* و گونه *S. virgata* تفاوت کارایی در میزان انتقال الکترون از قسمتهای میانی زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی به فتوسیستم I می باشد. پارامتر  $(Ro) \delta - 1) / (Ro) \delta$  بیانگر کارایی

به فتوسیستم II دیده است و در تنش خشکی و شوری هر دو فتوسیستم دچار آسیب شده اند که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مطابقت دارد.



شکل ۷- مقایسه اثرات سطوح متفاوت کم آبی بر میانگین PI, total (شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی از ابتدای فتوسیستم II تا انتهای فتوسیستم I) در گونه های حساس و مقاوم مریم گلی. مقادیر میانگین ۱۰ تکرار  $\pm$  انحراف معیار می باشد.

### پیشنهادها

۱- براساس نتایج این تحقیق و کارآمدی روش JIP-تست پیشنهاد می شود که با استفاده از گونه های بیشتر گیاه مریم گلی و یا ارقام متفاوت هرگونه رتبه بندی و اسکرین آنها نسبت به تنش های متفاوت زیستی مورد بررسی قرار گیرد.

۲- اثرات سایر تنش های زیستی و غیر زیستی با استفاده از این روش مورد بررسی قرار گیرد.

۳- تاثیرات سایر مواد بهبود دهنده همچون جاسمونیک اسید، سالیسیلیک اسید و ... مورد سنجش و ارزیابی قرار گیرد.

۴- در کنار بررسی پارامترهای رویشی و فتوسنتزی پارامترهای دیگر همچون ترکیبات موثره این گیاه دارویی نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد

### ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

گیاهان و تنش های استفاده شده در این تحقیق فاقد اثرات زیست محیطی هستند.

### حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

### مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: ندا باغ عنایت، دکتر گیتی برزین، دکتر مجتبی جعفری نیا، دکتر لیلا پیشکار، دکتر ملیحه انتظاری  
روش شناسی و تحلیل داده ها: دکتر مجتبی جعفری نیا  
نظارت و نگارش نهایی: دکتر مجتبی جعفری نیا

ظرفیت مزرعه ۲۰/۴۹ درصد کاهش، در سطح ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه ۹۴/۵۹ درصد کاهش نسبت به شاهد و در ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه ۳۱/۷۹ درصد کاهش نسبت به شاهد در شاخص کارایی زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی به وجود آمده است. عملکرد دستگاه فتوسنتزی از مرحله دریافت فوتون های نوری در مولکول های کلروفیل آنتن فتوسیستم II تا رسیدن الکترون ها به انتهای فتوسیستم I که در ۳ پارامتر  $(\phi Po) / (\phi Po - 1)$ ،  $\psi_o / (\psi_o - 1)$  و  $(Ro)\delta / (Ro)\delta - 1$  بیان شد را می توان در پارامتر کلی  $PI_{total}$  خلاصه نمود [۱۷]. کاهش کارایی جذب نور، کاهش زنجیره انتقال الکترون حاصل از افت در فعالیت PSII و آسیب به گیرنده های الکترون در پایان فتوسیستم I و آسیب به عملکرد ناقلین میانی زنجیره دلیلی بر کاهش عملکرد فتوسنتزی از ابتدای فتوسیستم II تا انتهای فتوسیستم I یا  $PI_{total}$  می باشد [۳۰]. بنابراین می توان گفت به علت کاهش کارایی واکنش های نوری  $\phi Po / (\phi Po - 1)$  و کاهش کارایی واکنش های بیوشیمیایی در  $\psi_o / (\psi_o - 1)$  و همچنین پارامتر  $(Ro)\delta / (Ro)\delta - 1$  که بیانگر کارایی واکنش های انتقال الکترون به فتوسیستم I می باشد،  $PI_{total}$  کاهش می یابد. پس بدین ترتیب شاخص کارایی پارامتری است که ۳ فاکتور درگیر در مراحل عملکردی فتوسنتز را به یک فاکتور چند متغیره تبدیل می کند. تنش شوری موجب نقص و آسیب در واکنش های فتوسنتز شده در نتیجه کاهش  $PI_{total}$  می شود [۱۷]. نتایج تحقیقات ارسلان و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که تحت تنش خشکی در گیاه آفتابگردان از میزان شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی از ابتدای فتوسیستم II تا انتهای فتوسیستم I کاسته شده است [۵]. همچنین نتایج تحقیقات کالاجی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که تنش خشکی و شوری می تواند سبب تغییر در پارامترهای فتوسنتزی با شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی شود [۱۷]. این کارایی هم در سطح جذب نور و انتقال انرژی و هم در سطح انتقال الکترون در قسمت میانی زنجیره و هم انتقال به فتوسیستم I در چندین گیاه در این مقاله مروری مورد اشاره قرار گرفته است. نتایج تحقیقات دابروسکی و همکاران (۲۰۱۹) بر روی ارقام گیاه چمن نشان داد که تحت سطوح متفاوت ظرفیت آب زراعی میزان  $PI$  متفاوتی برای ارقام با همدیگر و در سطوح متفاوت خشکی وجود دارد و این شاخص در سطح جذب و در سطح کل متفاوت است [۱۴]. نتایج پژوهش راپاز و همکاران (۲۰۱۹) در گیاه جو مشخص نمود که پارامتر شاخص کارایی  $PI$  تحت تاثیر تنش خشکی در گیاه جو کاهش یافته است [۱۵]. در پژوهشی توسط یانگ و همکاران (۲۰۲۰) بر روی گیاه گوجه فرنگی انجام گرفت مشخص شد که تاثیر همزمان تنش خشکی و شوری بر روی گیاه گوجه فرنگی سبب کاهش فعالیت فتوسیستم II و فتوسیستم I می شود این کاهش سبب شد که فرآیندهای متفاوتی در سیستم فتوسنتزی این گیاه در تاثیر قرار گیرد که از آن جمله می توان به کاهش عملکرد فتوسیستم II اشاره کرد که نتوانست انرژی لازم برای تهییج مراکز واکنش را مهیا نماید که مرتبط با کاهش کلروفیل های آنتن و کارایی کمتر انتقال انرژی به مراکز واکنش بود [۴]. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که فتوسیستم I در شرایط خشکی آسیب بیشتری را نسبت

## تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

## References

1. S. Bansal, A. Thakur, S. Singh, and M. Bakshi, "Changes in crop physiology under drought stress: A review," *J. Pharmacognosy Phytochem.*, vol. 8, no. 4, pp. 1251-1253, 2019.
2. M. D. Costa, "Plant Resistance to Abiotic Stresses," *Plants*, vol. 8, no. 553, pp. 10-13, 2019.
3. D. Barari and A. A. Branch, "Effect of Drought stress and its mechanism in plants," *Intwernational Jouranal Life Sci.*, vol. 10, no. 1, pp. 1-6, 2018, doi: 10.3126/ijls.v10i1.14509.
4. X. Yang, Y. Li, H. Chen, and J. Huang, "Photosynthetic Response Mechanism of Soil," *Plants*, vol. 9, no. 363, pp. 1-15, 2020.
5. Ö. Arslan, A. S. B. Nalçaylı, Ş. Ç. Erdal, V. Pekcan, and Y. Kaya, "Analysis of drought response of sunflower inbred lines by chlorophyll a fluorescence induction kinetics," *Photosynthetica*, vol. 58, no. S1, pp. 163-172, 2020, doi: 10.32615/ps.2019.171.
6. M. Jafarinia and M. Shariati, "Effects of salt stress on photosystem II of canola plant (*Barassica napus*, L.) probing by chlorophyll a fluorescence measurements," *Iran. J. Sci. Technol.*, pp. 71-76, 2012.
7. E. Stavridou, R. J. Webster, and P. R. H. Robson, "Novel Miscanthus genotypes selected for different drought tolerance phenotypes show enhanced tolerance across combinations of salinity and drought treatments," *Ann. Bot.*, vol. 124, pp. 653-674, 2019, doi: 10.1093/aob/mcz009.
8. A. Oukarroum, S. El Madidi, G. Schansker, and R. J. Strasser, "Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering," *Environ. Exp. Bot.*, vol. 60, no. 3, pp. 438-446, Jul. 2007, doi: 10.1016/j.envexpbot.2007.01.002.
9. S. Karami, M., Hossini, S. E., Naghi Shahbi, M., Ebrahimzadeh, M. A. and Alemy, "Salvia limbata: Botanical, Chemical, Pharmacological and Therapeutic Effecte," vol. 3, no. 1, pp. 108-127, 2015.
10. A. S. Reto J. Strasser, Merope Tsimilli-Michael, *Analysis of the Fluorescence Transient Reto J. Strasser Merope Tsimilli-Michael Ministry of Education and Culture, Nicosia CY-1434, Cyprus Alaka Srivastava*, no. May 2014. 2004. doi: 10.1007/978-1-4020-3218-9.
11. U. Heber, V. Soni, and R. J. Strasser, "Photoprotection of reaction centers: thermal dissipation of absorbed light energy vs charge separation in lichens.," *Physiol. Plant.*, vol. 142, no. 1, pp. 65-78, May 2011, doi: 10.1111/j.1399-3054.2010.01417.x.
12. G. Heinrich Krause, S. Somersalo, E. Zumbusch, B. Weyers, and H. Laasch, "On the Mechanism of Photoinhibition in Chloroplasts. Relationship Between Changes in Fluorescence and Activity of Photosystem II," *J. Plant Physiol.*, vol. 136, no. 4, pp. 472-479, 1990, doi: 10.1016/S0176-1617(11)80038-6.
13. A. R. Falqueto, R. A. da Silva Júnior, M. T. G. Gomes, J. P. R. Martins, D. M. Silva, and F. L. Partelli, "Effects of drought stress on chlorophyll a fluorescence in two rubber tree clones," *Sci. Hortic. (Amsterdam).*, vol. 224, no. June, pp. 238-243, 2017, doi: 10.1016/j.scienta.2017.06.019.
14. D. Dabrowski, A. H., Kalaji, H. M., Goltsev, V., & Piotr, "Exploration of Chlorophyll a Fluorescence and Plant Gas Exchange Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Perennial Ryegrass," *sensors*, vol. 19, pp. 27-36, 2019.
15. M. Rapacz, M. Wójcik-jagła, A. Fiust, and H. M. Kalaji, "Genome-Wide Associations of Chlorophyll Fluorescence OJIP Transient Parameters Connected With Soil Drought Response in Barley," *Front. Plant Sci.*, vol. 10, no. February, pp. 1-21, 2019, doi: 10.3389/fpls.2019.00078.
16. S. Mathur, S. I. Allakhverdiev, and A. Jajoo, "Analysis of high temperature stress on the dynamics of antenna size and reducing side heterogeneity of Photosystem II in wheat leaves (*Triticum aestivum*).," *Biochim. Biophys. Acta*, vol. 1807, no. 1, pp. 22-9, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.bbabi.2010.09.001.
17. H. M. Kalaji, A. Jajoo, A. Oukarroum, and M. Brestic, "Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions," *Acta Physiol. Plant.*, vol. 38, no. 102, pp. 1-11, 2016, doi: 10.1007/s11738-016-2113-y.
18. H. G. Choi and H. J. Jeong, "Comparison of Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis of Two Strawberry Cultivars in Response to Relative Humidity," *Horticultural Sci. Technol.*, vol. 38, no. 1, pp. 66-77, 2020.
19. Z. Wang *et al.*, "Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron

- transport chain in young apple tree leaves," *Co. Biol. Biol.*, vol. 7, pp. 1-9, 2018, doi: 10.1242/bio.035279.
20. K. Zushi, S. Kajiwara, and N. Matsuzoe, "Chlorophyll a fluorescence OJIP transient as a tool to characterize and evaluate response to heat and chilling stress in tomato leaf and fruit," *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 148, pp. 39-46, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.scienta.2012.09.022.
  21. P. Mehta, S. I. Allakhverdiev, and A. Jajoo, "Characterization of photosystem II heterogeneity in response to high salt stress in wheat leaves (*Triticum aestivum*)," *Photosynth. Res.*, vol. 105, no. 3, pp. 249-255, Sep. 2010, doi: 10.1007/s11120-010-9588-y.
  22. J. Xia, Y. Li, and D. Zou, "Effects of salinity stress on PSII in *Ulva lactuca* as probed by chlorophyll fluorescence measurements," *Aquat. Bot.*, vol. 80, no. 2, pp. 129-137, Oct. 2004, doi: 10.1016/j.aquabot.2004.07.006.
  23. H. M. Kalaji, Govindjee, K. Bosa, J. Kościelniak, and K. Zuk-Gołaszewska, "Effects of salt stress on photosystem II efficiency and CO<sub>2</sub> assimilation of two Syrian barley landraces," *Environ. Exp. Bot.*, vol. 73, no. 1, pp. 64-72, Nov. 2011, doi: 10.1016/j.envexpbot.2010.10.009.
  24. M. A. Bacarin, S. Deuner, F. S. P. da Silva, D. Cassol, and D. M. Silva, "Chlorophyll a fluorescence as indicative of the salt stress on *Brassica napus* L.," *Brazilian J. Plant Physiol.*, vol. 23, no. 4, pp. 245-253, 2011, doi: 10.1590/S1677-04202011000400001.
  25. S. Koller, V. Holland, and W. Brüggemann, "Effects of drought stress on the evergreen *Quercus ilex* L., the deciduous *Q. robur* L. and their hybrid *Q. × turneri* Willd.," *Photosynthetica*, vol. 51, no. 4, pp. 574-582, 2013, doi: 10.1007/s11099-013-0058-6.
  26. K. Kocheva, P. Lambrev, G. Georgiev, V. Goltsev, and M. Karabaliev, "Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress," *Bioelectrochemistry*, vol. 63, no. 1-2, pp. 121-124, Jun. 2004, doi: 10.1016/j.bioelechem.2003.09.020.
  27. a. J. Strauss, G. H. J. Krüger, R. J. Strasser, and P. D. R. V Heerden, "Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P," *Environ. Exp. Bot.*, vol. 56, no. 2, pp. 147-157, Jun. 2006, doi: 10.1016/j.envexpbot.2005.01.011.
  28. I. H. Chang, K. T. Cheng, P. C. Huang, Y. Y. Lin, L. J. Cheng, and T. S. Cheng, "Oxidative stress in greater duckweed (*Spirodela polyrhiza*) caused by long-term NaCl exposure," *Acta Physiol. Plant.*, vol. 34, no. 3, pp. 1165-1176, 2012, doi: 10.1007/s11738-011-0913-7.
  29. H. M. Kalaji *et al.*, "Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by in vivo chlorophyll a fluorescence measurements," *Plant Physiol. Biochem.*, vol. 81, no. April, pp. 16-25, Aug. 2014, doi: 10.1016/j.plaphy.2014.03.029.
  30. H. M. Kalaji, L. Račková, V. Paganová, T. Swoczyna, S. Rusinowski, and K. Sitko, "Can chlorophyll-a fluorescence parameters be used as bio-indicators to distinguish between drought and salinity stress in *Tilia cordata* Mill?," *Environ. Exp. Bot.*, vol. 152, no. October 2017, pp. 149-157, 2018, doi: 10.1016/j.envexpbot.2017.11.001.

