

## Evaluation of The Water Stress and Irrigation Management Effects on Soil CO<sub>2</sub> Emission, Water Productivity and Soybean Yield (*Glycine max* L.)

S. Shiukhy–Soqanloo<sup>1\*</sup>, M. A. Gholami Sefidkouhi<sup>2</sup>, M. Arefrad<sup>3</sup>

1- Assistant Professor of Agro-Meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran

2- Professor of Irrigation and Drainage, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran

3- PhD in Plant Breeding and Genetic Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari, Iran

(\*- Corresponding Author Email: [Saeid.Shiukhy@gmail.com](mailto:Saeid.Shiukhy@gmail.com))

Received: 16 January 2024  
Revised: 07 April 2024  
Accepted: 13 April 2024  
Available Online: 31 July 2024

### How to cite this article:

Shiukhy-Soqanloo, S., Gholami Sefidkouhi, M. A., & Arefrad, M. (2024). Evaluation of The Water Stress and Irrigation Management Effects on Soil CO<sub>2</sub> Emission, Water Productivity and Soybean Yield (*Glycine max* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(3), 343-357. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.86444.1300>

### Introduction

The challenges of climate change and increasing greenhouse gas emissions have led to consequences such as global warming and successive droughts. Additionally, the rise in agricultural activities has significantly increased the pressure on available water resources. Consequently, it has become essential to consider wastewater resources. To make appropriate management decisions and find solutions to reduce CO<sub>2</sub> emissions in the agricultural sector, it is crucial to understand how soil moisture and sources of irrigation affect greenhouse gas (GHG) emissions, particularly CO<sub>2</sub>. Therefore, the aim of this research was to evaluate the effects of water stress and irrigation management on soil CO<sub>2</sub> emissions, water productivity, and soybean yield and yield components.

### Materials and Methods

This research was carried out at Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources with latitude (36° 33' N) and longitude (53° 00' E), elevation (14 m, above sea level), average temperature (17.9°C) and total of precipitation (650 mm), during the growing season (2022-2023). The experiment was carried out in the form of a split plot based on a randomized complete block design in three replications in growth season 1402-1403, Sari. Experimental treatments include; the main factor was water stress in three levels ((non-stress, FC100), FC75 and FC50) and the sub factor was irrigation management in two levels (Urban Wastewater (UWW) and Well Water (WW)).

### Results and Discussion

Based on the findings, the highest amount of CO<sub>2</sub> emission in the middle and end stages of sampling in 60, 75, 90 and 105 day after sowing in non-stress conditions-FC100 was observed with 535.9, 534.5, 543.6 and 444.5 ppm.min<sup>-1</sup>, respectively. In addition, its lowest amount was related to water stress-FC50 with 505.3, 499.8, 506.5 and 409.8 ppm.min<sup>-1</sup>, respectively. The results showed that the highest amount of CO<sub>2</sub> emission was assigned to irrigation with urban wastewater with 536.5, 540.1, 538 and 516.9, respectively. Due to the increase



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.86444.1300>

in the plant growth rate and approaching the grain maturity, the amount of CO<sub>2</sub> emission increased with the increase in temperature, root system development, plant roots respiration and the soil microorganism's activities. The highest amount of water productivity was observed in the non-stress condition FC100 with a 0.62 kg.m<sup>-3</sup>. Which compared to water stress conditions-FC75 and FC50 increased by 43.5% and 51.6%, respectively. Also, the results showed that in the non-stress condition-FC100 and irrigation with urban wastewater, the highest pod number (304.8), grain number of per pod (665.1), 100-grain weight (18.7 g), grain yield (1060.4 kg.ha<sup>-1</sup>) and total dry matter (743.3 kg.ha<sup>-1</sup>) were obtained. In the condition of irrigation with urban wastewater, the highest number of pods, grain number of per pod, 100-grain weight, grain yield and total dry matter was observed with 234.5, 495.8, 18.5 g, 679.4 kg.ha<sup>-1</sup> and 645.7 kg.ha<sup>-1</sup>, respectively. While their lowest amount was assigned to water stress conditions-FC50 with 218.6, 483.3, 17.7 g, 555.1 kg.ha<sup>-1</sup> and 625.5 kg.ha<sup>-1</sup>, respectively. Optimum soil moisture conditions under non-stress conditions-FC100 and water stress conditions-FC75, especially when irrigating with urban wastewater, increased the yield and yield components by providing nutrients needed by the plant.

## Conclusion

The results showed that in the early stages of soil sampling, irrigation management (source of irrigation) did not significantly affect the amount of CO<sub>2</sub> emission. However, in the middle and final stages of sampling, the growth and development of plant organs and increased soil respiration due to the development of the root system caused the release of CO<sub>2</sub>. This effect was more pronounced during irrigation with wastewater than with well water. Based on the findings, considering the water scarcity crisis and the challenge of water stress during the soybean growth season, it appears that accurate management and efficient use of wastewater resources is both inevitable and a suitable solution.

## Acknowledgement

Sari Agricultural sciences and Natural Resources University (SANRU) financially supported this research under contract number: 02-1397-05.

**Keywords:** Dry matter, Field capacity, Pod number, Urban Wastewater

## ارزیابی تأثیر تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک، بهره‌وری آب و عملکرد سویا (*Glycine max L.*)

سعید شیوخی سوغانلو<sup>۱\*</sup>، محمدعلی غلامی سفیدکوهی<sup>۲</sup>، مهدی عارف راد<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵

### چکیده

گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و فراوانی خشکسالی‌ها باعث شده است که مواجه شدن با چالش بحران منابع آب امری اجتناب‌ناپذیر باشد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل اصلی تنش خشکی در سه سطح (بدون تنش (FC100)، ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (FC75) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (FC50)) و عامل فرعی مدیریت آبیاری در دو سطح (آبیاری با پساب شهری (UWW) و آب چاه (WW)) بود. بر پایه یافته‌ها، بیشترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در مراحل میانی و انتهایی نمونه‌برداری در ۶۰، ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ روز پس از کاشت در شرایط FC100 به ترتیب با ۵۳۴/۹، ۵۳۴/۵، ۵۴۳/۶ و ۴۴۴/۵ پی‌پی‌ام در دقیقه مشاهده شد. همچنین بیشترین مقدار این پارامتر، به هنگام آبیاری با پساب در مقایسه با آب چاه به ترتیب با ۵۳۶/۵، ۵۴۰/۱ و ۵۳۸، ۵۱۶/۹ پی‌پی‌ام در دقیقه اختصاص یافت. بیشترین میزان بهره‌وری آب در شرایط بدون تنش با مقدار ۰/۶۲ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد. میزان بهره‌وری آب به هنگام آبیاری با پساب با مقدار ۰/۴۷ کیلوگرم در مترمکعب، نسبت به آبیاری با آب چاه برتری داشت. نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش و آبیاری با پساب، بیشترین میزان تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد دانه و تولید ماده خشک به دست آمد. با توجه به بحران کم‌آبی و چالش بروز تنش خشکی در طول دوره رشد سویا، مدیریت صحیح و بهره‌وری کارآمد از منابع نامتعارف آب (پساب شهری) امری اجتناب‌ناپذیر و راهکاری مناسب و امکان‌پذیر به نظر می‌رسد.

**واژه‌های کلیدی:** پساب شهری، تعداد غلاف، ظرفیت زراعی، ماده خشک

### مقدمه

درصد روغن و ۳۵-۴۰ درصد پروتئین می‌باشد، که از این جهت بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Maleki, Naderi, Siyadat, Tahmasebi, & Fazel, 2012). مساحت تحت کشت سویا در کشور سالانه حدود ۱۱۰۰۰۰ هکتار بوده که از آن ۲۶۰۰۰۰ تن سویا تولید می‌گردد. متوسط عملکرد جهانی سویا برابر ۲۱۹۰ کیلوگرم در هکتار و متوسط عملکرد آن در کشور معادل ۲۳۶۰ کیلوگرم در هر هکتار است. سطح زیر کشت سویا در استان مازندران به‌صورت آبی ۸۷/۸ و به‌صورت دیم ۱۲۱/۷ هکتار می‌باشد که به ترتیب با تولید ۱۲۲/۳ و ۱۵۷/۲ تن در هکتار همراه است (Kiani, 2020).

چالش‌های متفاوتی همچون تغییر اقلیم و گرمایش جهانی، فروپاشی محیط‌زیست، تنگدستی و گرسنگی و نبود امنیت غذایی، رشد روزافزون جمعیت جهان با افزایش فعالیت‌های کشاورزی و

سویا (*Glycine max L.*) عمده‌ترین منبع تولید روغن و پروتئین گیاهی است که بالاترین سطح زیر کشت را در بین گیاهان روغنی جهان به خود اختصاص داده است. همچنین دارای حدود ۱۸-۲۲

۱- استادیار هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران  
۲- استاد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران  
۳- دکتری اصلاح نباتات، گرایش ژنتیک مولکولی و مهندسی ژنتیک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، ایران

(\*- نویسنده مسئول: Email: [Saeid.Shiukhy@gmail.com](mailto:Saeid.Shiukhy@gmail.com)  
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.86444.1300>

(2016)، نشان داد بر پایه استانداردهای جهانی، آبیاری طولانی مدت با پساب محدودیت شوری، کلر و بی‌کربنات در خاک را در مقایسه با آبیاری با آب چاه ایجاد نکرد. تریپاتی و همکاران (Tripathi, Rajput, & Patel, 2016)، اظهار داشتند که ظرفیت خاک در نگهداری فلزات سنگین در اثر آبیاری طولانی مدت با پساب کاهش یافته و با رهاسازی آن‌ها، باعث جذب توسط گیاه و مورد به زنجیره غذایی می‌شوند. علیزادگان و همکاران (Alizadegan et al., 2022b) نشان دادند که استفاده از پساب تصفیه‌شده در مقایسه با آب چاه، باعث جذب میزان بیش‌تری از مقادیر سرب و کادمیوم در بخش‌های دانه، برگ و ساقه گیاه ذرت شد اما هرگز از حد مجاز استانداردهای جهانی و ملی تجاوز نکرد. نتایج پژوهش شیوخی سوغانلو و همکاران (Shiukhy Soqanloo et al., 2023) حاکی از آن بود که استفاده از پساب شهری در آبیاری گیاه ریحان با در نظر گرفتن استانداردهای مجاز موجود، قابل توصیه می‌باشد. اما از سوی دیگر، عناصر غذایی موجود در آن به‌عنوان کود محلول هم دسترسی گیاه به غلظت مطلوبی از عناصر مغذی را فراهم می‌کند و هم نقش به‌سزایی در افزایش حاصلخیزی خاک ایفا می‌کند (Nazario et al., 2019). در کشور ایران برداشت منابع آب زیرزمینی در مقایسه با سایر کشورها به مراتب بیشتر است. لذا در شرایطی که کشور به شدت از لحاظ کمبود منابع آب شیرین رنج می‌برد و در بلندمدت با چالش بحران منابع آب روبه‌رو است، توجه به منابع نامتعارف آب یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (Shiukhy Soqanloo et al., 2021).

بروز تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی و نقش مهم آن در ارزیابی رشد و عملکرد محصولات زراعی بسیار ضروری به‌نظر می‌رسد. همچنین تنش خشکی تأثیر قابل‌توجهی برای میزان تولید محصول و تهدیدی بسیار جدی به‌منظور تأمین امنیت غذایی در سرتا سر جهان به‌شمار می‌رود (Wei, Jin, Jiang, Ning, & Liu, 2018). تشدید اثرات نامطلوب تنش خشکی به دلیل تغییرات شدید و سریع آب و هوای جهانی بیش از پیش نمایان گشته و مستلزم پایش و توجه بیشتری می‌باشد (Shiukhy Soqanloo, 2023). طیف گسترده‌ای از پاسخ گیاهان به شرایط بروز تنش خشکی، به پاسخ‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تعمیم داده می‌شود (Zali, Hasanloo, Sofalian, & Asghari, 2020). ما و همکاران (Ma, Celeste Dias, & Freitas, 2020) اظهار داشتند علی‌رغم پیچیده بودن پاسخ گیاه به شرایط بروز تنش خشکی، عواملی از جمله؛ مدت و شدت تنش خشکی، گونه، سن و اندازه گیاه و ژنوتیپ نیز بر پاسخ گیاه به شرایط بروز تنش بسایر موثر می‌باشند. یان و همکاران (Yan et al., 2013) گزارش کردند که در تنش خشکی در مراحل اولیه دوره زایشی به‌طور قابل‌توجهی بر عملکرد تأثیر نمی‌گذارد، در حالی که خشکی در مراحل پر شدن غلاف به‌طور قابل‌توجهی عملکرد را

صنعتی و خشکسالی‌های پی‌درپی موجب شده است که فشار بر منابع موجود آب شیرین به اوج خود برسد (Alizadegan, Gholami, Sefidkouhi, & Shiukhy Soqanloo, 2022b). بر پایه گزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم، افزایش گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه گاز دی‌اکسیدکربن می‌تواند دمای سطح زمین را بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سلسیوس افزایش دهد (IPCC, 2005). افزایش رهاسازی گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسیدکربن از خاک به اتمسفر، یکی از نگرانی‌های جهان در چند دهه گذشته بوده است. گاز دی‌اکسیدکربن یکی از عوامل مهم و اثرگذار در گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، محسوب می‌شود (Vanaee, Karami, Joneidi & Nabiee, 2016). نتایج بسیاری از پژوهش‌ها نشان می‌دهند که دی‌اکسیدکربن فراوان‌ترین گاز گلخانه‌ای در خاک می‌باشد و انتشار آن نیز صد برابر بیشتر از گاز نیتروژن و متان می‌باشد (Chen, Lu, Pen, Jiao, & Wang, 2013). چی و همکاران (Chi et al., 2020) بیان نمودند که تنفس خاک به‌عنوان یک پارامتر کلیدی نقش حائز اهمیتی را در سنجش فعالیت‌های میکروبی خاک ایفا می‌نماید. از طرف دیگر، نتایج بوند-لامبرتی (Bond-Lamberty, Wang, & Gower, 2004) نشان داد که انتشار و رهاسازی گاز دی‌اکسید کربن خاک به اتمسفر، ناشی از اکسیداتیو و فروکافت مواد آلی خاک توسط ریزجانداران موجود در خاک می‌باشد. بدین ترتیب فروکافت کربن آلی خاک به گازهای دی‌اکسید کربن و متان در پی کنش‌های زیستی قارچ‌ها و دیگر ریزجانداران موجود در خاک است و یا در مورد گیاهان از راه تنفس ریشه صورت می‌پذیرد.

با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر کشور ایران که دارای گستره وسیعی از مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد، کمبود منابع آب شیرین و مواجه شدن با چالش بحران منابع آب، امری اجتناب‌ناپذیر است (Baziarpur, Raeini-Sarjaz, Shiukhy Soqanloo, 2020; Shiukhy Soqanloo, Gholami, & Ghasemi, 2023). بنابراین استفاده از منابع نامتعارف آب (پساب) بسیار حائز اهمیت می‌باشد. مدیریت کارآمد و بهره‌گیری مطلوب منابع پساب‌ها در کشاورزی نقش مهمی را در کاهش مخاطرات زیست‌محیطی ایفا می‌کند (Alizadegan, Gholami Sefidkouhi, & Shiukhy Soqanloo, 2022a). استفاده از پساب برای اهداف آبیاری در بخش کشاورزی، میزان آبی را که باید از منابع آب استخراج شود را کاهش می‌دهد (Tabatabaei et al., 2020). پساب‌ها از یک سو به‌صورت بالقوه از جمله عوامل آلوده‌کننده رودخانه‌ها و محیط‌زیست به‌شمار می‌آیند که کنترل آلودگی آن‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد. فلزات سنگین موجود در پساب‌های صنعتی و پساب خام توانایی نفوذ و انباشت در خاک، گیاه و در نهایت زنجیره غذایی را دارند. نتایج کابوسی (Kaboosi,

کشاورزی، نیازمند درک چگونگی تأثیر منابع آب آبیاری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسید کربن می‌باشد. لذا، هدف از این پژوهش، ارزیابی تأثیر تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر انتشار دی‌اکسید کربن خاک، بهره‌وری آب و عملکرد سویا بود.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با ارتفاع از سطح دریا (۱۰ m-)، میانگین دما (۱۷/۹ °C) و میانگین بارندگی (۶۵۰ mm)، در طی سال‌زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ انجام شد. سایر اطلاعات مربوط به شرایط محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد و نمو گیاه سویا در جدول ۱ ارائه گردید.

کاهش می‌دهد. جومرانی و همکاران (Jumrani, Bhatia, & Pandey, 2017) بیان کردند که در مراحل رویشی با قرار گرفتن سویا در معرض تنش خشکی امکان ایجاد سطح برگ کمتر، سرعت فتوسنتز و زیست‌توده کمتر نیز افزایش می‌یابد. هی و همکاران (He et al., 2017)، گزارش کردند که سویا در مراحل رویشی نیاز آبی کمی دارد، در حالی که در مراحل زایشی افزایش می‌یابد. نتایج مطالعه باسال و زاو (Basal & Szabo, 2019) نیز موید تأثیر تنش خشکی بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو سویا می‌باشد. رشید رستمی و همکاران (Rashid Rostami, Raeini Sarjaz, & Shiukhy, 2021)، بیان نمودند که اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی مناسب و دستیابی به راهکارهای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن در آینده در بخش

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش (سازمان هواشناسی ایران)  
Table 1- Some characteristics of the weather conditions of the experimental site (IRIMO)

تبخیر (E) Evaporation (mm)	بارندگی (P) Precipitation (mm)	متوسط دما (T <sub>average</sub> ) Minimum temperature (°C)	دمای بیشینه (T <sub>max</sub> ) Minimum temperature (°C)	دمای کمینه (T <sub>min</sub> ) Minimum temperature (°C)	دوره رشد و نمو Growth season
159.9	22.1	27.4	33.6	23.4	خرداد (June)
178.2	14.8	32.7	37.8	28.7	تیر (July)
205.8	2.9	28.6	35.1	22.8	مرداد (August)
135.8	36.1	23.9	30.1	19.3	شهریور (September)
67	145	19.5	26.1	14.4	مهر (October)
149.3	44.1	26.4	32.5	21.7	میانگین (Average)

گزارش شد.

عملیات کاشت بذور سویا رقم ویلیامز، در تاریخ ۱۳ خرداد به صورت دستی و به روش هیرم کاری در کرت‌هایی با ابعاد (۲×۳) در ۴ ردیف با رعایت فاصله ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف‌ها و ۳۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها انجام شد. همچنین فاصله بلوک‌ها از یکدیگر ۲ متر در نظر گرفته شد. بلافاصله پس از پایان عملیات کاشت، آبیاری انجام شد. پس از رسیدن گیاه به مرحله ۶-۸ برگ، تیمارهای تنش خشکی در هر دور از آبیاری اعمال شدند و از سرپناه بارش<sup>۳</sup> برای جلوگیری از ریزش باران به درون کرت‌ها استفاده شد. روش آبیاری سطحی بوده و از تانسومتر برای پایش رطوبت خاک استفاده شد. بدین ترتیب آبیاری زمانی که رطوبت خاک به ۷۰ درصد می‌رسید (SWC=70)، انجام می‌شد. پیش از کاشت بر اساس آزمون تجزیه خاک مزرعه، کودهای مورد نیاز به خاک اضافه شدند. بسته به نیاز گیاه در طی دوره‌ی رشد کوددهی با کود ۲۰-۲۰-۲۰ NPK (نیترژن به‌عنوان، نیترات: ۶/۵٪؛

آزمایش به صورت کرت خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای آزمایشی شامل؛ عامل اصلی تنش خشکی در سه سطح (بدون تنش (FC100)، ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (FC75) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (FC50) و عامل فرعی منبع آبیاری در دو سطح (پساب شهری<sup>۱</sup> (UWW) و آب چاه<sup>۲</sup> (WW))، با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. منبع آبیاری پساب در هر دور آبیاری از تصفیه‌خانه واقع در روستای عالیواک از واحدهای تابعه شرکت آب و فاضلاب ساری تامین شد که پس از تصفیه نهایی از محل خروجی، پساب مورد نیاز برداشت شد. برای سنجش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌گیری انجام و به آزمایشگاه کیفیت آب انتقال یافت. اطلاعات مربوط به ویژگی‌های پساب و آب چاه و همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۲

1- Urban wastewater  
2- Well water

3- Rain shelter

ردیف‌های کشت در هر کرت، در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک تعبیه شدند. سنجش‌ها دو هفته پس از کاشت آغاز و در یک بازه پانزده روزه تا پایان دوره رشد با استفاده از دستگاه CO<sub>2</sub>-port-Messwert infrared company GmbH-Gottingen با روش انجام گرفت.

آمونیم، ۴/۰٪؛ اوره، ۴/۱۰٪؛ فسفات به‌عنوان P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>، ۲۰/۰٪؛ و پتاس به‌عنوان K<sub>2</sub>O، ۲۰/۰٪ همراه با عناصر کم مصرف منگنز (۰/۰۳٪)، بر (۰/۰۲٪) و مولیبدن (۰/۰۰۱٪) به‌صورت سرک (EDTA) انجام شد. به‌منظور سنجش انتشار دی‌اکسیدکربن خاک، محفظه‌هایی استوانه‌ای شکل و ساکن (با قطر ۱۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر) بین

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، آب آبیاری و حداکثر حد مجاز استفاده از آب پساب برای مصارف کشاورزی بر اساس برخی استانداردها (Alizadegan et al., 2022b)

Table 2- Physical-chemical characteristics of soil, irrigation water and the maximum allowed use of wastewater for agricultural purposes based on some standards

ویژگی‌های آب Water characteristics		استانداردهای پساب برای کشاورزی Wastewater standards for agriculture				ویژگی‌های خاک Water characteristics	
پارامتر Parameter	چاه WW	پساب TWW	WHO (1992)	FAO (2006)	IRNDOE	پارامتر Parameter	مقدار Value
pH	اسیدیته 7.8	7.9	6.5-8	6.5-8	6-8.5	عمق (Depth)	0-30
EC (dS.m <sup>-1</sup> )	هدایت الکتریکی 0.81	0.91	0.7	0.7	-	شن (%) (Sand)	23
NTU	کدورت 11	3.53	-	-	50	رس (%) (Clay)	37
TSS (mg.L <sup>-1</sup> )	مواد جامد معلق کل 18	41.1	-	-	100	سیلت (%) (Silt)	40
TDS	مواد جامد محلول کل 495	628.5	450	450	-	pH	7.6
TP (mg.L <sup>-1</sup> )	فسفر کل 2.19	4.12	4	4	6	EC (dS.m <sup>-1</sup> )	1.8
Cod (mg.L <sup>-1</sup> )	اکسیژن خواهی شیمیایی 3	18.13	-	-	200	O.M (%)	2
BOD (mg.L <sup>-1</sup> )	اکسیژن خواهی بیوشیمیایی 0.8	11.57	-	-	-	O.C (%)	1.2
N (mg.L <sup>-1</sup> )	نیتروژن کل 66	73.48	-	-	-	N (%)	0.1
Ca (mg.L <sup>-1</sup> )	کلسیم 75.4	95.21	-	-	-	P (mg.kg <sup>-1</sup> )	13
Na (mg.L <sup>-1</sup> )	سدیم 15.9	19.8	-	-	100	K (mg.kg <sup>-1</sup> )	370
Mg (mg.L <sup>-1</sup> )	منیزیم 1	5.7	-	-	100	-	-

نرم افزار SAS v.9.2 تجزیه و از آزمون چنددامنه دانکن برای مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

## نتایج و بحث

### انتشار دی‌اکسید کربن خاک

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک در جدول ۳ ارائه گردید. بر پایه نتایج به‌دست‌آمده، در مراحل ابتدایی نمونه‌برداری میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک، تحت تأثیر تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری قرار نگرفت اما در ادامه مراحل نمونه‌برداری بسیار قابل توجه و چشمگیر بود. به‌طوری‌که تأثیر تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن، بسیار معنی‌دار بود ( $P \leq 0.01$ ). همچنین یافته‌ها حاکی از آن بود که اثر برهمکنش تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن تفاوت معنی‌دار نداشت و تغییرات تقریباً یکسان و بدون تغییر باقی ماند (جدول ۳).

لازم به ذکر است که به‌منظور کم کردن خطای تغییرات دمایی روزانه، این سنجش‌ها بین ساعت ۸-۱۱ صبح انجام شد (Shimizu, Marutani, Desyatkin, Hiroshi Hata, & Hatano, 2009). برای سنجش عملکرد و اجزای عملکرد، با رعایت اثر حاشیه‌ای ۵ بوته از دو خط میانی هر کرت به‌طور تصادفی برداشت و برای سنجش صفات مورد نظر به آزمایشگاه انتقال داده شد. صفات مورد مطالعه گیاه شامل ارتفاع گیاه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه بودند. برای سنجش میزان تولید ماده خشک و عملکرد نهایی، عملکرد هر کرت به‌طور جداگانه با استفاده از ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد. برای سنجش میزان بهره‌وری آب از رابطه (۱) استفاده شد:

$$WP = \frac{GY}{Wap} \quad (1)$$

که در آن، WP: بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم در مترمکعب، GY: میزان عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم و Wap: مترمکعب آب مصرفی می‌باشد (Farre & Faci, 2006). داده‌ها، با استفاده از

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن در طول دوره‌ی رشد سویا  
Table 3- The results of variance analysis of water stress and irrigation management effects on the CO<sub>2</sub> emissions during the soybean growth season

منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Mean of square)						
		15*** (ppm.min <sup>-1</sup> )	30 (ppm.min <sup>-1</sup> )	45 (ppm.min <sup>-1</sup> )	60 (ppm.min <sup>-1</sup> )	75 (ppm.min <sup>-1</sup> )	90 (ppm.min <sup>-1</sup> )	105 (ppm.min <sup>-1</sup> )
بلوک (Block)	2	0.537ns	11.9858ns	2.5477ns	61.7751ns	5.9461ns	3.5379ns	0.1954ns
تنش خشکی Water stress	2	5.4726ns	3.8841ns	3.2963ns	2513.723**	5125.838**	6153.835**	2293.0198**
بلوک × تنش خشکی (B × Ds)	4	0.8967ns	7.4867ns	0.3520ns	23.2844ns	1.4245ns	7.4768ns	7.417ns
منبع آبیاری Source of irrigation	1	1.736ns	1.8561ns	0.2713ns	1926.549**	742.5373**	404.5116**	163.142**
تنش خشکی × منبع آبیاری (Ds × SI)	2	0.5706ns	0.3520ns	0.3001ns	6.733ns	3.9183ns	21.1613ns	7.2496ns
خطا (Error)	6	4.1058	2.9934	1.3771	12.5569	16.67533	1.7795	7.4619
کل (Total)	17	-	-	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات (C.V)	-	1.5	0.4	0.2	0.9	1.7	0.9	0.6

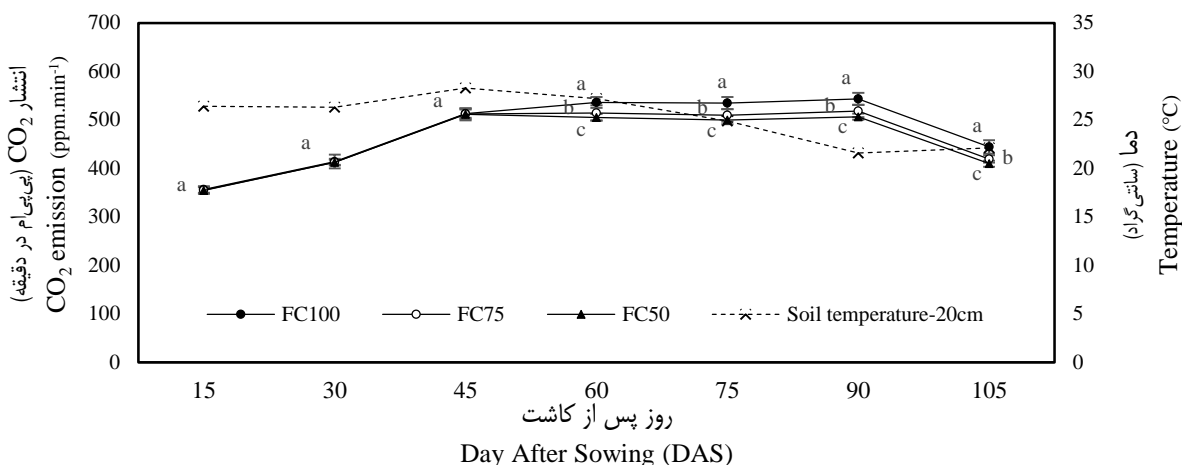
\*\*\* روز پس از کاشت، \*\*، \* و ns: به ترتیب معنی‌داری در سطوح ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشند.

\*\*\* Day After Sowing (DAS), \*\*, \* and ns: They indicate significance at 1%, 5% and non-significance levels, respectively

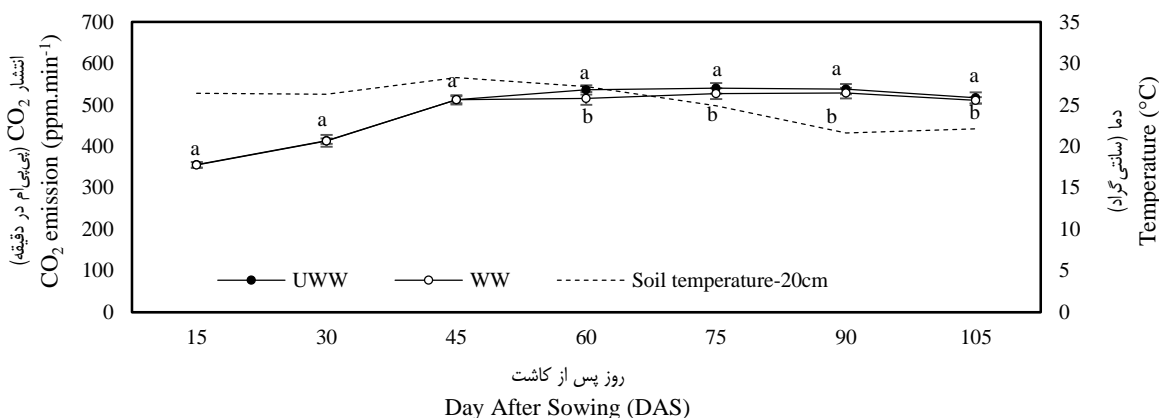
بر پایه نتایج مقایسه میانگین‌ها، تأثیر تنش خشکی در مراحل آغازین رشد و نمو (۱۵، ۳۰ و ۴۵ روز پس از کاشت)، مطابق انتظار تفاوت چندانی قابل ملاحظه‌ای بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن نداشت. در واقع در مرحله اول نمونه‌برداری (۱۵ روز پس از کاشت)، گیاهچه‌های بسیار کوچک حاصل از جوانه‌زنی و سبز شدن بذور سویا ظاهر شده بودند و هنوز توسعه سیستم ریشه آن‌ها در خاک شکل نگرفته بود و با توجه به ساختار ضعیف گیاهچه‌ها تنش خشکی اعمال نشده بود. اما با گذر از مرحله اول و با وارد شدن به مراحل دوم و سوم نمونه‌برداری (۳۰ و ۴۵ روز پس از برداشت)، با افزایش رشد اندام‌های هوایی و توسعه سیستم ریشه در خاک، میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن نیز افزایش یافت. اما باز هم میان تیمارهای آزمایش تفاوت محسوسی مشاهده نشد (شکل ۱). در مراحل بعدی نمونه‌برداری (۶۰، ۷۵، ۹۰ روز پس از کاشت)، روند افزایش میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن ادامه داشت. به طوری که، در مرحله چهارم نمونه‌برداری (۶۰ روز پس از کاشت)، در شرایط بدون تنش، بیشترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن با مقدار ۵۳۵/۹ پی‌پی‌ام در دقیقه و کمترین میزان آن در شرایط تنش خشکی FC50 با مقدار ۵۰۵/۳ پی‌پی‌ام در دقیقه مشاهده شد. همچنین در مراحل پنجم و ششم نمونه‌برداری (۷۵ و ۹۰ روز پس از کاشت)، بیشترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در شرایط بدون تنش FC100 به ترتیب با ۵۳۴/۵ پی‌پی‌ام در دقیقه و ۵۴۳/۶ پی‌پی‌ام در دقیقه مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین میزان آن مربوط به شرایط تنش خشکی FC50 به ترتیب با ۴۹۹/۸ و

۵۰۶/۵ پی‌پی‌ام در دقیقه بود. در مرحله هفتم (۱۰۵ روز پس از کاشت)، روند میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک بر خلاف مراحل چهارم، پنجم و ششم کاهش یافته بود. اما باز هم میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک از مراحل اول، دوم و سوم نمونه‌برداری بالاتر بود. در این مرحله در شرایط بدون تنش، بیشترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن با مقدار ۴۴۴/۵ پی‌پی‌ام در دقیقه مشاهده شد و کمترین میزان آن مربوط به شرایط تنش خشکی FC50 با مقدار ۴۰۹/۸ پی‌پی‌ام در دقیقه بود (شکل ۱).

همچنین بر پایه نتایج مقایسه میانگین‌ها، تأثیر آبیاری با پساب شهری نتایج مشابهی همانند تنش خشکی نشان داد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در مراحل آغازین رشد و نمو، آبیاری با پساب و آب چاه تفاوت چندانی قابل ملاحظه‌ای بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن نداشت. بتدریج با سپری شدن مراحل رشد و نمو گیاه و تداوم آبیاری، در مراحل چهارم تا ششم نمونه‌برداری، آبیاری با پساب موجب افزایش میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک شد. به طوری که در این مراحل بیشترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در شرایط آبیاری با پساب به ترتیب با ۵۳۶/۵، ۵۴۰/۱، ۵۳۸/۰ و ۵۱۶/۹ پی‌پی‌ام در دقیقه مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک مربوط به شرایط آبیاری با آب چاه به ترتیب با ۵۱۵/۸، ۵۲۷/۳، ۵۲۸/۵ و ۵۱۰/۹ پی‌پی‌ام در دقیقه بود (شکل ۲).



شکل ۱- ارزیابی تأثیر تنش خشکی بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک در طول دوره رشد و نمو سویا  
**Figure 1- Evaluation of the effect of water stress on the CO<sub>2</sub> emission during the soybean growth season**  
 در هر یک از مراحل نمونه‌برداری، حروف یکسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح پنج درصد می‌باشند (Duncan  $\leq 0.05$ ).  
 In each of the sampling stages, the same letters indicate the non-significant at the 0.05% level (Duncan  $\leq 0.05$ )



شکل ۲- ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن در طول دوره رشد و نمو سویا  
**Figure 2- Evaluation of the irrigation management effects on the CO<sub>2</sub> emission during the soybean growth season**  
 در هر یک از مراحل نمونه‌برداری، حروف یکسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح پنج درصد می‌باشند (Duncan  $\leq 0.05$ ).  
 In each of the sampling stages, the same letters indicate the non-significant at the 0.05% level (Duncan  $\leq 0.05$ )

شرایط مطلوب آب، باعث افزایش تنفس ریشه گیاهان و به دنبال آن افزایش تنفس خاک شد که در نهایت افزایش انتشار دی‌اکسید کربن را در پی داشت. علی‌زاده و همکاران (Alizadeh, Koocheki, & Nasiri Mahalati, 2017) بیان کردند که با توجه به تامین رطوبت خاک با آبیاری، دما به‌عنوان تنها عامل موثر بر بالاترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن خاک شناخته شد. نتایج لا اسکالا و همکاران (La Scala, Bolonhezi, & Pereira, 2006) نیز موید افزایش میزان انتشار دی‌اکسید کربن از سطح خاک در فصل تابستان و در شرایط دما بالا بود. همچنین در دمای پایین به‌دلیل کاهش تنفس ریشه گیاهان و فعالیت ریزجانداران، تنفس خاک نیز دچار کاهش محسوسی

عوامل مختلفی در میزان انتشار دی‌اکسید کربن و سرعت معدنی شدن کربن دخالت دارند که از مهم‌ترین این عوامل می‌توان به دما و رطوبت خاک اشاره کرد که در نتیجه فعالیت‌های تجزیه‌ای ریزجانداران خاک، سهم بسیار قابل‌توجه و آشکاری را در میزان انتشار و معدنی شدن کربن به خود اختصاص داده‌اند (Hajagha Memar, Keivan Behjou, Sefidi, & Behtari, 2016). نگاسا و همکاران (Negassa, Price, Basir, Snapp, & Kravchenko, 2015) با ارزیابی تغییرات میزان انتشار دی‌اکسید کربن و دمای خاک، همبستگی مثبت و بالایی را میان آن‌ها گزارش کردند. چن و همکاران (Chen et al., 2013) نیز بیان نمودند که افزایش دما و



عواملی همچون دما و رطوبت خاک در انتشار دی‌اکسید کربن موثر باشد. از طرفی با کاهش دما در انتهای دوره رشد و نمو گیاه نیز میزان انتشار دی‌اکسید کربن کاهش یافت. از آنجایی که میزان رطوبت نیز مطابق با سطوح تنش اعمال شد و در این مرحله میزان آبیاری و نوع منبع آب آبیاری با توجه به نزدیک شدن به مرحله برداشت تأثیر چندانی بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن نداشت. می‌توان این‌گونه بیان کرد که میزان انتشار دی‌اکسید کربن در مرحله انتهایی رشد در مقایسه با مراحل میانی پایین‌تر و بیشتر متاثر از فعالیت ریزجانداران بود، اما همچنان نسبت به مراحل اولیه رشد بالاتر بود.

#### بهره‌وری آب

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر بهره‌وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد سویا در جدول ۴ ارائه گردید. بر پایه یافته‌ها، اثرات ساده تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر میزان بهره‌وری آب، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و ماده خشک کل تفاوت معنی‌دار داشت ( $P \leq 0.01$ ). نتایج دال بر این بود که اثر برهمکنش تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر بهره‌وری آب، عملکرد و اجزای عملکرد سویا معنی‌دار نبود (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش خشکی در طول دوره رشد و نمو سویا، بر میزان بهره‌وری آب تأثیرگذار بود. به‌طوری‌که بیشترین میزان بهره‌وری آب در شرایط بدون تنش، با مقدار ۰/۶۲ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد و کمترین میزان آن مربوط به شرایط تنش خشکی FC75 و FC50 به ترتیب با ۰/۳۵ و ۰/۳۰ کیلوگرم در مترمکعب بود (شکل ۳). همچنین آبیاری با پساب در مقایسه با آب چاه، میزان بهره‌وری آب را به میزان ۲۳/۶ درصد افزایش داد. در واقع در شرایطی که آبیاری با پساب انجام شد، میزان بهره‌وری آب ۰/۴۷ کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد. در حالی که در شرایط آبیاری با آب چاه، میزان آن ۰/۳۸ کیلوگرم در مترمکعب بود، که حاکی از برتری منبع آبیاری پساب نسبت به آب چاه بود (شکل ۳).

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود میزان بهره‌وری آب در شرایط تنش خشکی FC75 و FC50 به ترتیب ۴۳/۵ و ۵۱/۶ درصد نسبت به شرایط بدون تنش FC100 کاهش یافت. این در حالی بود که میزان آب مصرفی در شرایط بدون تنش FC100، تنش خشکی FC75 و FC50 به ترتیب ۱۷۰۰، ۱۳۷۵ و ۱۰۵۰ مترمکعب بود. کاهش کربوکسیلاسیون در طول مدت تنش و پارامترهای موثر بر انتشار دی‌اکسید کربن به درون کلروپلاست ناشی از کاهش مصرف آب می‌باشد، که با افزایش شدت و مدت تنش خشکی کاهش میزان بهره‌وری آب را در پی خواهد داشت (Zamani, & Sayyari, 2017).

شده. لازم به ذکر است که مواد غذایی موجود در خاک از جمله نیتروژن و فسفر می‌تواند فعالیت ریزجانداران را تحت تأثیر قرار داده و افزایش یا کاهش در میزان مواد مغذی موجود در خاک، موجب افزایش یا کاهش در فعالیت ریزجانداران می‌شود. حاج آقا معمار و همکاران (Hajagha Memar et al., 2016) همبستگی مثبتی بین انتشار دی‌اکسید کربن و فسفر خاک گزارش کردند. نتایج تلن و همکاران (Thelen, Fronning, Kravchenko, Min, & Robertson, 2010) نشان داد که بیشترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن خاک با توجه به میزان رطوبت بالا در فصل بهار اتفاق افتاد که در فعالیت ریزجانداران عامل بسیار حائز اهمیت می‌باشد. حال آن‌که دما نقش چندانی قابل توجهی را ایفا نکرد. نتایج رشید رستمی و همکاران (Rashid Rostami et al., 2021) نیز حاکی از آن بود که به دلیل تغییرات بسیار کم دما، میزان انتشار دی‌اکسید کربن خاک نیز با تغییرات بسیار ناچیزی همراه بود و دما نقش مهمی را در انتشار دی‌اکسید کربن خاک بازی نکرد.

بر اساس نتایج شکل ۱ و ۲، با توجه به این‌که در مراحل اولیه نمونه‌برداری (۱۵ تا ۴۵ روز پس از کاشت) گیاه در مراحل اولیه رشد قرار داشته و دارای سیستم توسعه ریشه و زیست‌توده کمی بود. همچنین دمای خاک در مقایسه با مراحل بعدی نمونه‌گیری پایین‌تر بود. تنفس خاک بیشتر توسط فعالیت ریزجانداران کنترل شد و به مقدار کم‌تری تحت تأثیر تنفس ریشه گیاهان قرار گرفت. بنابراین در مراحل اولیه در مقایسه با مراحل میانی و انتهایی رشد، میزان انتشار دی‌اکسید کربن خاک پایین‌تر مشاهده شد. با ادامه دوره رشد و نمو گیاه و نمونه‌گیری در ۶۰، ۷۵ و ۹۰ روز پس از کاشت، با توجه به افزایش سرعت رشد در مراحل مختلف رشد و نمو گیاه و نزدیک شدن به مرحله رسیدگی دانه، میزان انتشار دی‌اکسید کربن متناسب با افزایش دما، توسعه سیستم ریشه و افزایش تنفس ریشه گیاهان و فعالیت ریزجانداران افزایش یافت. از طرف دیگر، شرایط رطوبتی مطلوب خاک در شرایط بدون تنش FC100 و تنش خشکی FC75 به خصوص هنگام آبیاری با پساب شهری، با فراهم ساختن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، بر فعالیت ریزجانداران خاک و رشد و نمو گیاه موثر بود و میزان انتشار دی‌اکسید کربن افزایش یافت. در شرایط بدون تنش FC100 و تنش خشکی FC75 هوای درون منافذ خاک، با ورود آب به خاک تا حدود زیادی پر شد و به تبع آن موازنه آب و هوای خاک به هم خورد. حال با افزایش حجم آب ورودی به خاک، متناسب با آن میزان دی‌اکسید کربن بالاتری از خاک رها شده و وارد اتمسفر گردید. در مرحله آخر نمونه‌برداری (۱۰۵ روز پس از کاشت) با توجه به رسیدگی دانه و نزدیک شدن به مرحله برداشت، عملاً رشد و نمو گیاه بسیار اندک و یا متوقف شد. توقف توسعه سیستم ریشه و به دنبال آن تنفس ریشه از یک طرف و زرد شدن اندام‌های هوایی گیاه و فرار سیدن زمان برداشت، باعث شد تنها فعالیت ریزجانداران و

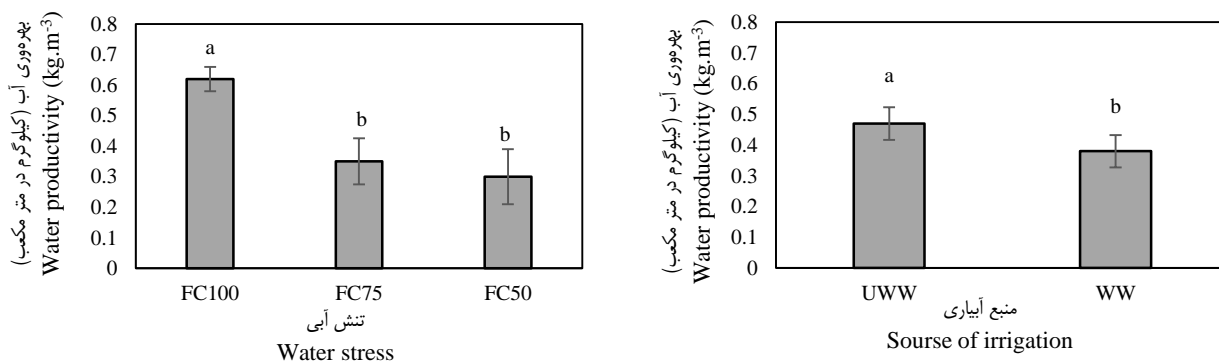
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر بهره‌وری آب و عملکرد و اجزای عملکرد سویا  
 Table 4- The results of variance analysis of water stress and irrigation management effects on water productivity and soybean yield and yield components

منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	بهره‌وری آب	عملکرد و اجزای عملکرد				
		Water productivity (WP) (kg.m <sup>-3</sup> )	GY (kg.ha <sup>-1</sup> )	TDM (kg.ha <sup>-1</sup> )	100-GW (kg.ha <sup>-1</sup> )	GNP -	PN -
بلوک (Block)	2	0.0026ns	4020.93ns	350.8ns	0.1088ns	2.75ns	4.695ns
تنش خشکی Water Stress	2	0.1758**	886894.1**	83273**	3.0838**	3620.9**	8453.46**
بلوک × تنش خشکی (B × Ds)	4	0.0031ns	3981.77ns	258.5ns	0.1363ns	3.37ns	6.433ns
منبع آبیاری Source of Irrigation	1	0.0392**	69552.07**	1830.1**	3.2089**	16.69**	69.62**
تنش خشکی × منبع آبیاری (Ds × SI)	2	0.0013ns	644.2ns	110.92ns	0.1205ns	21.02ns	6.5116ns
خطا (Error)	6	0.0028	4472.6	154.96	0.2716	42.50	2.0277
کل (Total)	17	-	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات (C.V)	-	10.4	10.8	1.9	2.8	1.8	1.3

PN: Pod number per plant (تعداد غلاف در بوته); GNP: Grain number per pod (تعداد دانه در غلاف); 100-GW: 100- Grain weight (عملکرد دانه); TDM: Total dry matter (کل ماده خشک); GY: Grain Yield (عملکرد دانه) (وزن صد دانه)

\*\*\*, \*\*, \* به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح ۱ و ۵ درصد می‌باشند (دانکن،  $P \leq 0.05$ ).

\*\*\* Day After Sowing (DAS), \*\*, \* and ns: They indicate significance at 1%, 5% and non-significance levels, respectively (Duncan,  $P \leq 0.05$ )



شکل ۳- ارزیابی اثرات ساده تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر میزان بهره‌وری آب در طول دوره رشد و نمو سویا  
 Figure 3- Evaluation of the simple effects of water stress and irrigation management on water productivity during soybean growth season

در هر یک از مراحل نمونه‌برداری، حروف یکسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح پنج درصد می‌باشند ( $Duncan \leq 0.05$ ).

In each of the sampling stages, the same letters indicate the non-significant at the 0.05% level (Duncan  $\leq 0.05$ )

مورفولوژیکی در نهایت دچار کاهش عملکرد شد. اما در شرایط آبیاری با پساب به‌واسطه در اختیار داشتن شرایط مطلوب خاک و فراهمی عناصر غذایی نسبت به شرایط آبیاری با آب چاه، توان باز یابی و کاهش آسیب ناشی از شرایط بروز تنش خشکی را به‌دست آورد.

به‌نظر می‌رسد محتویات عناصر مغذی در پساب تا حدی اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را جبران نمود و در مقایسه با شرایط آبیاری با آب چاه نتایج مطلوب‌تری حاصل شد. در واقع گیاه با بروز تنش خشکی با کاهش سطح برگ، ارتفاع و سایر خصوصیات

غلاف سویا را کاهش داده، اما نسبت توزیع ماده خشک در ریشه و ساقه را افزایش می‌دهد (Du, Zhao, Chen, Yao, & Xie, 2020). تعداد غلاف در مرحله تشکیل غلاف که منجر به کاهش وزن غلاف در گیاه شده، به شدت نسبت به شدت و مدت تنش خشکی واکنش نشان داده و دچار کاهش می‌شود. از این رو به‌عنوان مرحله‌ای بسیار حساس نسبت به تنش خشکی به حساب می‌آید (Divsalar, Tahmasebi Sarvestani, Modares Sanavi, & Hamidi, 2016). تاواریس و همکاران (Albuquerque Barros, 2011) بیان کردند که میزان عملکرد وابستگی بسیار زیادی به تعداد غلاف در بوته در واحد سطح و میزان ریزش گل و غلاف داشته و هر گونه کاهش در تعداد غلاف و افزایش ریزش گل را دلیل اصلی کاهش عملکرد دانه دانستند. نتایج نواب‌پور و همکاران (Navabpour, Hezarjaribi, & Mazandarani, 2017) نیز نشان داد که صفت تعداد دانه در غلاف علاوه بر عوامل ژنتیکی، تحت شرایط محیطی نیز قرار دارد و در عملکرد نهایی نقش مهمی را ایفا می‌کند. امید (Omidi, Pirjalili, & Ahmadi, 2021) اظهار داشت که عملکرد دانه تحت شرایط بروز تنش خشکی دچار افت گردید. کاهش تجمع ماده خشک متناسب با شدت تنش دچار کاهش شده و همزمان با کاهش در سایر اجزای عملکرد، موجب کاهش محسوس و قابل توجهی بر میزان عملکرد دانه می‌گردد (Aminifar et al., 2012). اکبری نودهی (Akbarinodehi, 2013) مرحله گلدهی و پرشدن دانه را حساس‌ترین مراحل در مواجهه با تنش خشکی گزارش نمودند.

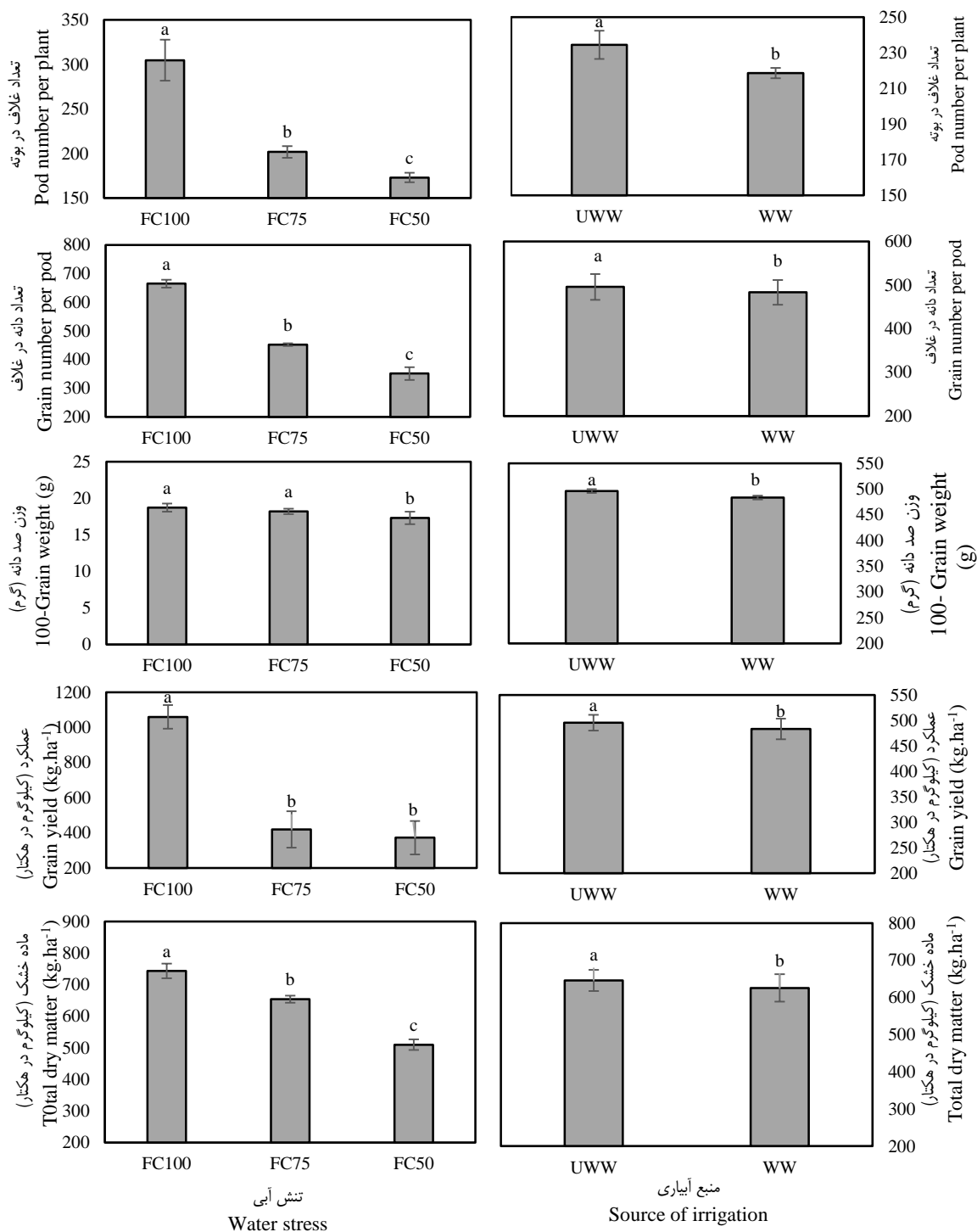
همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، عملکرد و اجزای عملکرد سویا تحت شرایط آبیاری با پساب نسبت به آب چاه، نتایج مطلوب‌تری را نشان دادند. به طوری که در شرایط آبیاری با پساب، بیشترین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد دانه و تولید ماده خشک به ترتیب با ۲۳۴/۵، ۴۹۵/۸، ۱۸/۵ گرم، ۶۷۹/۴ کیلوگرم در هکتار و ۶۴۵/۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. این در حالی بود کمترین میزان آن‌ها به شرایط تنش خشکی FC50 به ترتیب با ۱۰۱/۲ گرم، ۴۸۳/۳، ۱۷/۷ گرم، ۵۵۵/۱ کیلوگرم در هکتار و ۶۲۵/۵ کیلوگرم در هکتار اختصاص یافت (شکل ۴). پساب شهری حاوی مقادیر مختلفی از عناصر مغذی می‌باشد که بسته به کیفیت پساب با فراهمی این عناصر برای گیاه، موجب بهبود رشد اندام‌های گیاهی می‌شود که به تبع آن، بهبود مواد فتوسنتزی و افزایش عملکرد محصول را به دنبال خواهد داشت (Alizadegan et al., 2022b). استفاده از پساب به دلیل بهبود شرایط فیزیکی خاک و فراهمی نیتروژن در خاک، شرایط لازم برای افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه را فراهم ساخته که در نهایت موجب افزایش عملکرد می‌گردد (Shiukhy Soqanloo et al., 2023).

شاهرخ‌نیا و همکاران (Shahrokhnia, Jowkar, & Rakhshandehru, 2017) نیز بیان نمودند که در شرایط مدیریت آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با مدیریت سنتی، میزان آب مصرفی گیاه، کاهش چشمگیری را نشان داد. هم‌سنجی نتایج موسوی و همکاران (Mousavi, Khaledian, Ashrafzadeh, & Shahin Rokhsar, 2016)، امینی‌فر و همکاران (Aminifar, Mohsenabadi, Biglouei, & Samiezhadeh, 2012) و اسمعیلی و همکاران (Esmaeili, Farhadi Bansouleh, & Ghorbani, 2015) نیز با یافته‌های این پژوهش همسو بود.

### عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا در جدول ۴ ارائه گردید. بر پایه یافته‌ها، اثرات ساده تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، ماده خشک کل و عملکرد دانه معنی‌دار بود ( $P \leq 0.01$ ). با این حال اثر برهمکنش تنش خشکی و آبیاری با پساب شهری بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا تأثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۴). بر پایه نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین تعداد غلاف در بوته در شرایط بدون تنش با ۳۰۴/۸ و کمترین میزان آن مربوط به شرایط تنش خشکی FC50 با مقدار ۱۷۳/۱ بود. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف در شرایط بدون تنش FC100 با مقدار ۶۶۵/۱ و کمترین میزان آن مربوط به شرایط تنش خشکی FC50 با مقدار ۳۵۱/۵ بود. بر پایه یافته‌ها، وزن صد دانه در شرایط بدون تنش FC100 و تنش خشکی FC75 تفاوت چندانی نداشت (به ترتیب ۱۸/۷ و ۱۸/۲ گرم)، اما در مقایسه با تنش خشکی FC50 (۱۷/۳ گرم) برتری محسوسی مشاهده شد (شکل ۴). همچنین در شرایط بدون تنش، میزان عملکرد دانه با مقدار ۱۰۶۰/۴ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که در مقایسه با شرایط تنش خشکی FC50 و FC75 عملکرد دانه بالاتری را به ترتیب با ۳۷۲ و ۴۱۹/۴ کیلوگرم در هکتار، به خود اختصاص داد. نتایج میزان تولید ماده خشک بیانگر آن بود که بیشترین میزان تولید ماده خشک با ۷۴۳/۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به شرایط بدون تنش FC100 و کمترین میزان آن‌ها در شرایط تنش خشکی FC50 با ۵۰۹/۸ کیلوگرم در هکتار اتفاق افتاد (شکل ۴).

تنش خشکی اثرات منفی قابل توجهی بر رشد، نمو و عملکرد سویا دارد و با کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ، تسریع پیری برگ و تنش اکسیداتیو تولید محصولات فتوسنتزی را مهار می‌کند (Farooqi, 2017). تنش خشکی باعث کاهش زیست‌توده ساقه، ریشه و دانه سویا و کاهش تخصیص زیست‌توده به دانه نسبت به شرایط بدون تنش شده، که در نهایت منجر به کاهش وزن بذر خواهد شد. همچنین تنش خشکی نسبت توزیع ماده خشک در دانه و دیواره



شکل ۴- ارزیابی اثرات تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد در طول دوره رشد و نمو سویا  
 Figure 4- Evaluation of the water stress and irrigation management effects on water productivity during soybean growth season

در هر یک از مراحل نمونه‌برداری، حروف یکسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Duncan  $\leq 0.05$ ).  
 In each of the sampling stages, the same letters indicate the non-significant at the 0.05% level (Duncan  $\leq 0.05$ )

استفاده از پساب شهری در آبیاری با فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه سویا و افزایش حاصلخیزی خاک در مقایسه با آبیاری با آب چاه، اثرات نامطلوب تنش خشکی را تا حدی کاهش داد. با توجه به توزیع نامناسب بارندگی‌ها و اهمیت کشت سویا به‌عنوان کشت دوم در منطقه مورد مطالعه، مواجهه گیاه با تنش خشکی در طول دوره رشد نمو باعث شده است که تامین نیاز آبی و مدیریت کارآمد آبیاری سویا بیش از پیش اهمیت پیدا کند.

### سپاسگزاری

این پژوهش از محل طرح پژوهشی با شماره ۰۲-۱۴۰۲-۰۵ توسط دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری حمایت شده و بدین‌وسیله از حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.

آبیاری با پساب به‌واسطه فراهم ساختن عناصر مغذی بیشتر موجب افزایش رشد اندام‌های گیاهی، افزایش میزان بهره‌وری سیستم فتوسنتزی گیاه و در نهایت افزایش عملکرد محصول می‌گردد (Alizadegan et al., 2022a; Mahfooz et al., 2020).

### نتیجه‌گیری

بر پایه یافته‌ها، میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک وابستگی بسیار زیادی به مراحل رشد و نمو گیاه، توسعه سیستم ریشه و میزان تنفس خاک داشت. در مقایسه مراحل اولیه تا انتهای رشد با افزایش رشد و نمو اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاه و افزایش تنفس خاک به‌دلیل توسعه سیستم ریشه، میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن روندی صعودی داشت. از طرفی، بروز شرایط تنش خشکی میزان بهره‌وری آب، ویژگی‌های مورفولوژیکی و عملکرد و اجزای عملکرد سویا را تحت تأثیر قرار داد و با کاهش چشمگیری مواجه ساخت. با این حال

### References

- Alizadeh, Y., Koocheki, A., & Nasiri Mahalati, M. (2017). Study of carbon budget and CO<sub>2</sub> emissions rate from soil surface in no tillage systems. *Journal of Agroecology*, 7(2), 107-119.
- Akbarinodehi, D. (2013). The effect of drought stress in different stages of growth on yield and water use efficiency of soybean in Mazandaran. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 22(1), 13-23 (in Persian).
- Alizadegan, F., Gholami Sefidkouhi, M. A., & Shiukhy Soqanloo, S. (2022a). Evaluation of treated wastewater irrigation effect on yield components and yield of maize (single cross 704). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15(6), 1328-1337. (In Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1400.15.6.8.8>
- Alizadegan, F., Gholami Sefidkouhi, M. A., & Shiukhy Soqanloo, S. (2022b). Evaluation of wastewater effects on soil chemical characteristics, microelements concentrations; heavy metals accumulation and maize yield (Single Cross 704). *Journal of Water and Soil*, 36(4), 1328-1337. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.2022.77424.1178>
- Aminifar, J., Mohsenabadi, G. H., Biglouei, M. H., & Samiezadeh, H. (2012). Evaluation of phenological stages and yield of soybean cultivars under deficit irrigation conditions in Rasht region. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(2), 428-434. (in Persian with English abstract).
- Baziarpur, H., Raeini-Sarjaz, M., Shiukhy Soqanloo, S. (2020). Influence of rice straw management on emissions of methane and carbon dioxide greenhouse gases during the second rive cropping (Case study: Sari, Iran). *Journal of Agricultural Meteorology*, 8(1), 35-43. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22125/agmj.2020.223313.1094>
- Basal, O., & Szabo, A. (2020). The Combined Effect of Drought Stress and Nitrogen Fertilization on Soybean. *Agronomy*, 10, 1-18. <https://doi:10.3390/agronomy10030384>
- Bond-Lamberty, B., Wang, C., & Gower, S. (2004). A global relationship between the heterotrophic and autotrophic components of soil respiration? *Global Change Biology*, 10(10), 1756-1766. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00816.x>
- Chen, W., Lu, S., Pen, C., Jiao, W., & Wang, M. (2013). Accumulation of Cd in agricultural soil under long-term reclaimed water irrigation. *Environmental Pollution*, 178, 294-299. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.036>
- Chi, Y., Yang, P., Ren, S., Ma, N., Yang, J., & Xu, Y. (2020). Effects of fertilizer types and water quality on carbon dioxide emissions from soil in wheat-maize rotations. *Science of the Total Environment*, 698, 134010. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134010>
- Divsalar, M., Tahmasebi Sarvestani, Z. Modares Sanavi, S. A. M., & Hamidi, A. (2016). Investigating the effect of drought stress in the form of interruption of irrigation in reproductive growth stages Quantitative and qualitative yield of soybean cultivars, *Journal of Crop Improvement*, 18(2), 481-493. <https://doi.org/10.22059/jci.2016.56583>
- Du, Y., Zhao, Q., Chen, L., Yao, X., & Xie, F. (2020). Effect of drought stress at reproductive stages on growth

- and nitrogen metabolism in soybean. *Agronomy*, 10, 1-21. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020302>
13. Esmaeili, M., Farhadi Bansouleh, B., & Ghorbani, M. (2015). Effects of Deficit Irrigation on Quantity and Quality of Soybean Crop Yield in Kermanshah Region. *Journal of Water and Soil*, 29(3), 551-559. <https://doi.org/10.22067/JSW.V0I0.31375>
  14. Farooqi, Z. U. R. (2021). Phytoremediation of inorganic pollutants: An eco-friendly approach, its types and mechanisms. *Plant Environment*, 1(20), 110-129.
  15. Farre, I. & Faci, J. M. (2006). Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, 83, 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.11.001>
  16. Golestanifar, F., Mahmoodi, S., Zamani, G., & Sayyari, M. H. (2017). Effect of Drought Stress on Water Use Efficiency and Root Dry Weight of Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Rye (*Secale cereale* L.) in Competition Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(2), 438-450. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v15i2.53314>
  17. Hajagha Memar, Sh., Keivan Behjou, F., Sefidi, K., & Behtari, B. (2016). Impact of land use management on soil CO<sub>2</sub> greenhouse gas emissions (Case study: Fandoghloo Forest Reserve). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 23(2), 330-343. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2016.107035>
  18. He, J., Du, Y. L., Wang, T., Turner, N. C., Yang, R. P., Jin, Y., Xi, Y., Zhang, C., Cui, T., & Fang, X. W. (2017). Conserved water use improves the yield performance of soybean (*Glycine max* L.) under drought. *Agricultural Water Management*, 179, 236-245. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.008>
  19. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2005). <https://www.Ipccwg1.Ucar.edu/wgl/report/AR4WG>
  20. Jumrani, K., Bhatia, V. S., & Pandey, G. P. (2017). Impact of elevated temperatures on specific leaf weight, stomatal density, photosynthesis and chlorophyll fluorescence in soybean. *Photosynthesis Research*, 131, 333-350.
  21. Kaboosi, K. (2016). Evaluation of the medium-term effect of irrigation with treated wastewater on physical and chemical characteristics soil (case study: Bandargaz sewage treatment plant). *Journal of Land Management*, 2(2), 95-110. <https://doi.org/10.22092/lmj.2014.101242>
  22. Kiani, A. R. (2016). Determining the water requirement of several oilseed plants in Golestan province. *Promotional Magazine of Oilseed Plants*, 1(2), 94-104. (in Persian).
  23. La Scala, N. J., Bolonhezi, D., & Pereira, G. T. (2006). Short-term soil CO<sub>2</sub> emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 91, 244-248. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.11.012>
  24. Ma, Y., Celeste Dias, M., & Freitas, H. (2020). Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Frontiers in Chemistry*, 11, 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.591911>
  25. Mahfooz, Y., Yasar, A., Guijan, L., Islam, Q. U., Tabinda Akhtar, A. B., Rasheed, R., Irshad, S., & Naeem, U. (2020). Critical risk analysis of metals toxicity in wastewater irrigated soil and crops: a study of a semi-arid developing region. *Scientific Reports*, 10(1), 12845. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69815-0>
  26. Maleki, A., Naderi, A., Siyadat, A., Tahmasebi, A., & Fazel, Sh. (2012). The effect of drought stress in different phenological stages on soybean yield and yield components. *Journal of Research in Agricultural Sciences*, 4(15), 71-82. (In Persian).
  27. Mousavi, S. A., Khaledian, M. R., Ashrafzadeh, A., & Shahin Rokhsar, P. (2016). The effect of limited irrigation in critical stages of growth on increasing yield and water efficiency of three soybean genotypes in Rasht region. *Journal of Water Research in Agriculture*, 29(4), 433-446. (In Persian).
  28. Navabpour, S., Hezarjari, E., & Mazandarani, A. (2017). Evaluation of drought stress effects on important agronomic traits, protein and oil content of soybean genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(4), 491-503. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.61.1021>
  29. Nazario, A. A., Zution, I., Augusto Agnellos Barbosa, E., Nazario Silva dos Santos, L., Rodrigues Cavalcante Feitosa, D., & Matsura, E. E. (2019). Impact of the application of domestic wastewater by subsurface drip irrigation on the soil solution in sugarcane cultivation. *Applied and Environmental Soil Science*, 4, 2-11. <https://doi.org/10.1155/2019/8764162>
  30. Negassa, W., Price, R. F., Basir, A., Snapp, S. S., & Kravchenko, A. (2015). Cover crop and tillage systems effect on soil CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes in contrasting topographic positions. *Soil and Tillage Research*, 154, 64-74. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.015>
  31. Omid, H., Pirjalili, F., & Ahmadi, K. (2021). Evaluation of the Effect of Drought Stress on Morphophysiological Characteristics of Three Populations of Balangu (*Lallemantia royleana* Benth.). *Journal of Horticultural Science*, 34(4), 605-620. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v34i4.82643>
  32. Rashid Rostami, H., Raeini Sarjaz, M., & Shiukhy Soqanloo, S. (2021). Evaluation of the effect of nitrogen fertilizer and irrigation schedule on soil CO<sub>2</sub> flux, photochemical properties and corn yield (Single Cross 704). *Journal of Agricultural Meteorology*, 9(1), 4-13. <https://doi.org/10.22125/agmj.2020.223645.1095>
  33. Shahrokhnia, M. A., Jowkar, L., & Rakhshandehru, M. (2017). Influence of water stress on tomato production using leaf temperature and soil moisture indicators under seedling cultivation. *Irrigation and Water*

- Engineering*, 7(2), 97-111. (in Persian with English abstract).
34. Shimizu, M., Marutani, S., Desyatkin, A. R., Hiroshi Hata, T. J., & Hatano, R. (2009). The effect of manure application on carbon dynamics and budgets in a managed grassland of Southern Hokkaido, Japan. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 130, 31-40.
  35. Shiukhy Soqanloo, S., Gholami, M. A., & Ghasemi, Y. (2023). Effect of water stress and urban wastewater on the heavy metals concentration, yield and quality of basil. *Journal of Horticultural Science*, 37(3), 723-739. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2023.79332.1203>
  36. Shiukhy Soqanloo, S. (2023). Modeling the impact of water deficit on wheat yield under climate change conditions. *Journal of Water and Soil Conservation*, 30(1), 71-89. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2023.21024.3614>
  37. Shiukhy Soqanloo, S., Mousavi Baygi, M., Torabi, B., & Raeini Sarjaz, M. (2021). Evaluation of climate change effects on irrigated wheat CV. Mehregan yield under drought stress condition (Case study: Varamin). *Journal of Agricultural Meteorology*, 9(2), 15-28. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22125/agmj.2021.297373.1121>
  38. Tabatabaei, S. H., Nourmahnad, N., Golestani Kermani, S., Tabatabaei, S. A., Najafi, P., & Heidarpour, M. (2020). Urban wastewater reuse in agriculture for irrigation in arid and semi-arid regions- A review. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 9, 193-220. <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2020.671672>
  39. Tavares, L. C., Rufino, C. A., Tunes, L. M., & Albuquerque Barros, A. C. S. (2011). Performance of soybean plants originated from seeds of high and low vigor submitted to water deficit. *Journal of Horticulture and Forestry*, 3(4), 122-130.
  40. Thelen, K. D., Fronning, B. E., Kravchenko, A., Min, D. H., & Robertson, G. P. (2010). Integrating livestock manure with a corn-soybean bioenergy cropping system improves short-term carbon sequestration rates and net global warming potential. *Biomass Bioenerg*, 34, 960-6. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.02.004>
  41. Tripathi, V., Rajput, T. B. S., & Patel, N. (2016). Biometric properties and selected chemical concentration of cauliflower influenced by wastewater applied through surface and subsurface drip irrigation system. *Journal of Cleaner Production*, 139, 142-153. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.054>
  42. Vanaee, F., Karami, P., Joneidi J. H., & Nabiee, E. K. (2016). Simulation of Soil Organic Carbon Dynamics in Lawn Ecosystem under Different Management Conditions Using the Model of the Century. *Rangeland*, 10(4), 439-449.
  43. Wei, Y., Jin, J., Jiang, Sh., Ning, Sh., & Liu, L. (2018). Quantitative response of soybean development and yield to drought stress during different growth stages in the Huaibei plain, China. *Agronomy*, 9, 1-16. <https://doi.org/10.3390/agronomy8070097>
  44. Yan, C. J., Wang, W. B., Xiao-Jie, T. U., Wang, C. L., Zhang, L. J., Qiang, D. U., & Song, S. H. (2013). Effect of Drought Stress at Different Growth Stage on Yield and Root Characteristics of Soybean. *Soybean Science*, 1, 59-67.
  45. Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O., & Asghari, A. (2020). Evaluation of drought stress effect on seed oil yield and fatty acid composition in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Environmental Stresses on Crop Sciences*, 3(13), 735- 747. <https://doi.org/10.22077/ESCS.2020.2205.1552>