Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

The effect of deficit irrigation methods on growth characteristics and water productivity of safflower under arid climate

Seyed Mohammad Saeed Mousavi[1] | Mohammad Albaji[✉2] | Abd Ali Naseri[3] | Mona Golabi [4]| Mohammad Reza Moradi Telavat[5]

1. Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: saeedmoosavi61@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: m.albaji@scu.ac.ir
3. Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: abdalinaseri@scu.ac.ir
4. Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: m.golabi@scu.ac.ir
5. Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. E-mail: moraditelavat@ramin.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Jan. 24, 2023

Revised: Feb. 19, 2023

Accepted: Feb. 19, 2023

Published online: March. 21, 2023

Keywords:
Safflower,
Drought,
Regulated deficit irrigation,
Partial root-zone,
Water productivity.

ABSTRACT

Safflower (Carthamus tinctorius L.) is a multipurpose crop that is widely grown in arid and semi-arid regions of the world, mainly to produce high-quality edible oil rich in unsaturated fatty acids. The objective of this study is to investigate the effects of regulated deficit irrigation (RDI) and partial root zone drying (PRD) methods on yield, yield components and water productivity efficiency of safflower. This study was conducted in the Experimental Research Station located in Agricultural and Natural Resources Sciences University of Khuzestan during the 2020 to 2021 and 2021 to 2022 growing seasons. The experiment was designed as a completely randomized block with one control treatment (Conventional irrigation) and 4 deficit irrigation treatments and in four replications. The results showed that the different irrigation methods had a significant and decreasing effect on plant height, number of seeds per plant, thousand seed weight, seed yield, biological yield and oil yield traits. Comparing RDI80 and PRD80 treatments, the highest seed yield (3.4 tons/ha) and oil yield (845.7 kg/ha) and the highest value of water productivity index was obtained from RDI80 treatment. Also, comparing RDI60 and PRD60 treatments, the highest seed yield (2.2 tons/ha) and oil yield (584 kg/ha) was obtained from PRD60 treatment. Therefore, according to the obtained results, it is recommended to use the RDI80 regulated deficit irrigation method to reduce 20% and the PRD60 partial root zone drying method to save 40% of water requirement for safflower cultivation in hot and dry areas with limited water resources.

Cite this article: Mousavi, S. M. S. Albaji, M. Naseri, A. A., Golabi, M., & Moradi Telavat, M. R. (2023). The effect of deficit irrigation methods on growth characteristics and water productivity of safflower under Arid climate. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (1), 155-171. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.354250.669435

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.354250.669435

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۱ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

تأثیر کم‌آبیاری به روش تنظیم‌شده و خشکی موضعی ریشه بر عملکرد، اجزاء عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گلرنگ در شرایط اقلیمی خوزستان

سید محمدسعید موسوی [۱] | محمد الباجی [۲] ✉ | عبدعلی ناصری [۳] | منا گلابی [۴] | محمدرضا مرادی تلاوت [۵]

۱. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیطزیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. رایانامه: saeedmoosavi61@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیطزیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. رایانامه: m.albaji@scu.ac.ir
۳. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیطزیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. رایانامه: abdalinaseri@scu.ac.ir
۴. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیطزیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. رایانامه: m.golabi@scu.ac.ir
۵. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: moraditelavat@ramin.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱/۱

واژه‌های کلیدی:
گلرنگ،
خشکسالی کم‌آبیاری تنظیم‌شده (RDI)،
خشکی موضعی ریشه (PRD)،
بهره‌وری مصرف آب (wp).

چکیده

گلرنگ (Carthamus tinctorius L) یک محصول دانه روغنی چند منظوره است که عمدتاً برای تولید روغن خوراکی با کیفیت بالا و غنی از اسیدهای چرب غیر اشباع، به طور گسترده در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود. هدف از این مطالعه، بررسی اثر روش‌های کم‌آبیاری)تنظیم‌شده RDI و خشکی موضعی ریشه PRD (بر عملکرد، اجزاء عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گلرنگ می‌باشد که در دو فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با یک تیمار شاهد (آبیاری معمولی) و چهار تیمار کم آبیاری در چهار تکرار انجام شد. نتایج نشان داد، روش‌های مختلف کم‌آبیاری اثر کاهشی معنی‌داری بر صفات ارتفاع گیاه، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد روغن داشت. در مقایسه تیمارهای کم‌آبیاری RDI80 و PRD80 بیشترین عملکرد دانه (۳/۴ تن در هکتار) و عملکرد روغن (۸۴۵/۷ کیلوگرم در هکتار) و همچنین بالاترین مقدار شاخص بهره‌وری مصرف آب از تیمار RDI80 حاصل شد. همچنین در مقایسه تیمارهای RDI60 و PRD60 بیشترین عملکرد دانه (۲/۲ تن در هکتار) و عملکرد روغن (۵۸۴ کیلوگرم در هکتار) از تیمار PRD60 بدست آمد. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان استفاده از روش کم آبیاری تنظیم شده RDI80 برای کاهش ۲۰ درصد و روش کم‌آبیاری خشکی موضعی ریشه PRD60 برای ۴۰ درصد صرفه جویی در مصرف آب برای کشت گلرنگ در مناطق گرم و خشک با محدودیت منابع آبی توصیه کرد.

استناد: موسوی، سید محمدسعید؛ الباجی، محمد؛ ناصری، عبدعلی؛ گلابی، منا؛ مرادی تلاوت، محمدرضا. (۱۴۰۱). تأثیر کم‌آبیاری به روش تنظیم‌شده و خشکی موضعی ریشه بر عملکرد، اجزاء عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گلرنگ در شرایط اقلیمی خوزستان، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۱)، ۱۷۱-۱۵۵.
https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.354250.669435

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.354250.669435

مقدمه

آثار گرمایشی جهان، که از سال ۱۹۸۰ به طور قابل توجهی افزایش یافته است، در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک بسیار محسوس است(Pankova and Konyushkova, 2014; Cook et al., 2014). افزایش دما و خشکسالی در مناطق مستعد کشاورزی فشار بیشتری بر منابع آب وارد می‌کند که مدیریت پایدار آب و خاک را بیش از پیش پیچیده و دشوارتر می‌کند (Arnell, 2004; Bates et al., 2008; Diogo, 2018; Shkolnik et al., 2019). پیامدهای اصلی خشکسالی بر مناطق کشاورزی را می‌توان به کاهش منابع آب سطحی، افزایش دوره‌های خشکی مکرر و کاهش آب‌های زیرزمینی به دلیل آبیاری بیش از حد و نفوذ کم اشاره کرد (Gouveia et al., 2017; Caloiero et al., 2018). هدف اصلی مدیریت آب، به حداکثر رساندن عملکرد محصول با تعیین دوره‌هایی است که گیاه در طی آن بیشتر مستعد کمبود آب است از طرف دیگر مدیریت رطوبت خاک در ناحیه ریشه برای گیاهان، تعیین دوره‌های بحرانی و حساس به آب و سناریوهای احتمالی خشکسالی، ضروری است (Pan et al., 2018; Grecksch, 2019).

بنابراین، توسعه روش‌های آبیاری که امکان کاهش آب مصرفی در کشاورزی به همراه افزایش بهره‌وری مصرف آب و کاهش اثرات زیست محیطی را فراهم کنند، ضروری است. کم‌آبیاری (Deficit Irrigation) یک استراتژی امیدوارکننده است که معمولاً در مناطق خشک و نیمه خشک به منظور کاهش مصرف آب آبیاری و افزایش بهره‌وری مصرف آب استفاده می‌شود (Costa et al., 2007; Geerts and Raes, 2009). توسعه برنامه‌های کم‌آبیاری با صرفه‌جویی در مصرف آب نیز راهی برای تضمین ایمنی مواد غذایی است (Ward and Pulido-Velazquez, 2008; Shammout et al., 2018). از جمله راهکارهای مختلف معرفی شده استفاده از روش‌های کم‌آبیاری تنظیم‌شده (Regulated deficit irrigation, RDI) و خشکی موضعی منطقه ریشه (Partial root-zone drying, PRD) برای افزایش بهره‌وری مصرف آب است که سبب کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در بخش کشاورزی می‌گردد (Khaleghi et al., 2020; Ahmadabad et al., 2021; Elhani et al., 2019).

لذاتکنیک‌های کم‌آبیاری تنظیم‌شده RDI و خشکی موضعی منطقه ریشه PRD می‌توانند جایگزین‌های مناسب در صرفه‌جویی مصرف آب باشند. زیرا طبق گزارشات محققان کاهش اندک عملکرد محصول منجر به افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌شود. هدف از اعمال کم‌آبیاری تنظیم‌شده RDI، کاهش عرضه آب تا ۵۰ درصد تبخیر و تعرق بالقوه از کل سیستم ریشه است. در واقع روش خشک کردن موضعی منطقه ریشه PRD نسخه‌ایی از کم‌آبیاری است و بر اساس این فرض تئوریک استوار است که در آن دو نیمه ریشه به طور متناوب آبیاری می‌شوند (Ahmadi et al., 2010; Dry and Loveys, 2000). نیمه ریشه‌ای که آبیاری می‌شود، بیشتر وظیفه رساندن رطوبت به گیاه را دارد (با حفظ پتانسیل آبی بالا)، در حالی که نیمه دیگر ریشه که تنش آبی متوسطی را تجربه می‌کند، سیگنال‌های شیمیایی تولید کرده که باعث کاهش تعرق می‌شود (Davies et al., 2002; Liu, 2004; Schachtman and Goodger, 2008; Stoll et al., 2000). روش خشک کردن موضعی ناحیه ریشه PRD توسط (Dry and Loveys, 1998) توسعه یافت (Sezen et al., 2011a; Yazar et al., 2015; Rahil and Qanadillo, 2015; Consoli et al., 2017). بسیاری محققان این روش را به عنوان یکی از موفقترین سناریوهای موثر در رابطه با تأثیر مثبت آن بر عملکرد محصول و بهبود بهره‌وری مصرف آب معرفی کرده‌اند (Karandish and Simunek, 2016a, 2016b; Karandish and Simunek, 2017, 2018; Elhani et al., 2019; Khaleghi et al., 2020).

دانه‌های روغنی دومین منبع غذایی پس از غلات هستند که به دلیل تقاضای زیاد برای روغن خوراکی از نوع گیاهی در سراسر جهان گسترش زیادی پیدا کردند. روغن‌های گیاهی با عملکرد مهم در مورد فیزیولوژی غذایی و سلامتی انسان جزء رژیم غذایی ضروری انسان محسوب می‌شوند (Camas et al., 2007; Kumar et al., 2016). گلرنگ (Carthamus tinctorius L) که منشا آن تا حد زیادی ناشناخته است (Chapman and Burke, 2007)، به عنوان یک گیاه چند منظوره در نظر گرفته می‌شود که دانه آن حاوی ۴۰-۳۰ درصد روغن و ۲۰-۱۵ درصد پروتئین است (Rahamatalla et al., 2001) و در بسیاری از مناطق جهان رشد می‌کند (Soliman et al., 2011). کاربردهای مختلف گلرنگ شامل روغن خوراکی، رنگ و طعم دهنده غذا، کاربردهای دارویی، خوراک دام و طیور و سوخت‌های زیستی است. در ایران، تولید دانه‌های روغنی سالانه بین۲/۳ تا ۲/۷ میلیون تن است که شامل آفتابگردان (۴۶٪)، پنبه دانه (۴۱٪)، سویا (۶٪)، کلزا (۵٪) و گلرنگ ۲٪ می‌باشد. این گیاه می‌تواند تنش‌های محیطی از جمله تنش‌های آبی را تحمل کرده و آب را از لایه‌های عمیق‌تر خاک استخراج نماید (Wasson et al., 2012).

بنابراین شناسایی اثرات استراتژی‌های مدیریتی کاربردی بر عواملی که به عنوان عوامل پایه در رشد و تولید محصول نقش دارند،

مهم و برای تصمیم‌گیری صحیح در مزارع مفید است. با این وجود بسیاری از دانشمندان بر این باور هستند که کارآیی روش‌های کم‌آبیاری تنظیم‌شده RDI و خشکی موضعی ریشه PRD ممکن است بر اساس انواع محصولات و شرایط آزمایشی مانند شرایط آب و خاک منطقه، مدت زمان دوره تنش آبی، سطح کمبود آب در طول دوره تنش آبی و کیفیت آب آبیاری متفاوت باشد (Ghrab et al., 2013, 2014; Beis et al., 2015; Sarai Tabrizi et al 2012). در این راستا، هدف از این تحقیق، بررسی اثر روش‌های مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه گلرنگ در منطقه جنوب غرب کشور با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک و اراضی سنگین بافت می‌باشد. در مورد تاثیر کم آبیاری بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه گلرنگ تحقیقات متعددی در جهان انجام و نتایج مطلوبی نیز حاصل شده است؛ اما بر اساس بررسی‌های انجام شده، هنوز تحقیقی با هدف بررسی کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه گیاه گلرنگ در جنوب کشور به خصوص در منطقه خوزستان گزارشی ارائه نشده است.

مواد و روش ها

محل مورد مطالعه

این تحقیق در دو فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در سایت پژوهشی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و۵۳ دقیقه و ارتفاع ۲۲ متر از سطح دریا اجرا شد. این مزرعه تحقیقاتی در یک منطقه گرم و خشک با میانگین بارش سالانه ۲۳۰ میلی‌متر (حدود ۸۵ درصد آن در ماه‌های آبان تا اسفند)، میانگین تبخیر و تعرق سالانه بالای ۲۴۰۰ میلی‌متر و میانگین مدت تابش آفتاب سالانه بیش از ۳۰۰۰ ساعت قرار دارد. آمار هواشناسی بلند مدت مربوط به سال‌های شمسی ۱۳۶۸ لغایت ۱۳۹۸ نشان می‌دهد، رطوبت نسبی ۴۷ درصد، درجه حرارت بیشینه ۵۳/۴ درجه سانتیگراد مربوط به ماه جولای(تیر) و درجه حرارت کمینه ۱- درجه سانتیگراد مربوط به ماه ژانویه (دی) در این ایستگاه ثبت شده است (اداره کل هواشناسی استان خوزستان، ۱۳۹۹).

طرح آزمایشی به صورت بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار در قالب چهار تکرار اجرا شد (شکل ۱). برای این منظور ابتدا عملیات تهیه و آماده‌سازی بستر کاشت انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف جوی و پشته انتها بسته ذوزنقه‌ایی به طول ۱۰ متر با عرض بالای ۶۰ سانتی‌متر، عرض پایین ۲۰ سانتی‌متر و عمق ۳۰ سانتی‌متر در جهت شرق به غرب (در راستای شیب زمین) احداث شد.

R1	RDI_{60}	CI	PRD_{60}	PRD_{80}	RDI_{80}
R2	RDI_{80}	PRD_{80}	CI	PRD_{60}	RDI_{60}
R3	CI	RDI_{80}	PRD_{60}	RDI_{60}	PRD_{80}
R4	RDI_{80}	PRD_{80}	RDI_{60}	PRD_{60}	CI

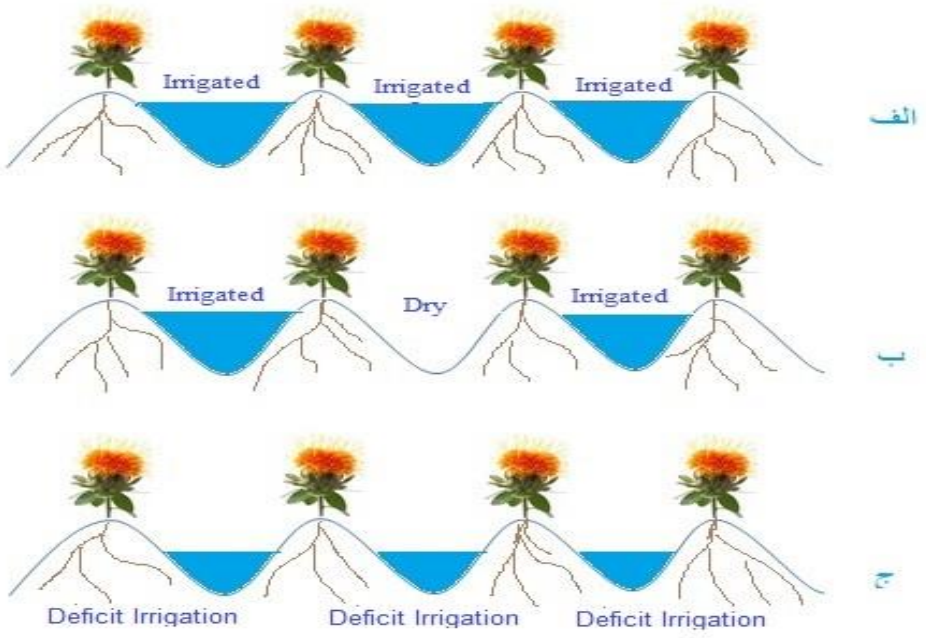
شکل ۱. جانمایی طرح آزمایشی

بذر گلرنگ رقم گلدشت که دارای پتانسیل عملکرد بالا، زودرس و مقاوم به تنش آبی است، در تاریخ‌های ۱۳۹۹/۹/۲۷ و ۱۴۰۰/۹/۲۷ به صورت دستی روی پشته‌ها با فاصله ۱۰سانتی‌متر (تراکم ۱۶ بوته در مترمربع) و در عمق ۴ سانتی‌متر در یک خاک سیلتی- رسی (جدول ۱) کشت شد. کود مورد نیاز گیاه شامل کود پایه ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل که به هنگام عملیات خاکورزی به صورت دستی در سطح مزرعه پخش و به منظور اختلاط کامل با خاک از دیسک استفاده شد و مقدار ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره برای هر کرت در دو نوبت (۵۰ درصد در ابتدای فصل رشد و نیم دیگر در اواسط زمستان در زمان ساقه رفتن گلرنگ) به خاک اضافه گردید. سطوح مختلف کم‌آبیاری شامل بدون تنش (تامین ۱۰۰درصد کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی)، تنش متوسط (تامین ۸۰ درصد کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی) و تنش شدید (تامین ۶۰ درصد کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی) اعمال شد که این مقادیر بر اساس تحقیقات گذشته انتخاب شد (Chai et al., 2016) . بر این اساس تیمارهای آزمایشی شامل: CI آبیاری معمولی با تامین ۱۰۰ ٪

کمبود رطوبت خاک، RDI80 کم‌آبیاری تنظیم‌شده با تامین ۸۰ ٪ کمبود رطوبت خاک، RDI60 کم‌آبیاری تنظیم‌شده با تامین ۶۰ ٪ کمبود رطوبت خاک، PRD80 کم آبیاری به صورت خشکی موضعی ریشه ثابت با تامین ۸۰ ٪ کمبود رطوبت خاک وPRD60 کم آبیاری به صورت خشکی موضعی ریشه ثابت با تامین ۶۰ ٪ کمبود رطوبت خاک می‌باشند. روش آبیاری برای تیمارهای مختلف به این ترتیب بود که مقدار آب آبیاری در نظر گرفته شده برای آبیاری معمولی (CI) و کم‌آبیاری تنظیم‌شده (RDI) به مقدار مساوی در بین جوی ها تقسیم گردید. اما در روش کم‌آبیاری به صورت خشکی موضعی ریشه (PRD) جوی‌ها به صورت یکی در میان و ثابت آبیاری شد (شکل ۲).

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب و خاک مزرعه تحقیقاتی

پارامتر	واحد	عمق خاک (cm)			آب آبیاری
		۰-۳۰	۳۰-۶۰	۶۰-۹۰	-
Clay	%	۴۲	۴۴	۴۴	
Silt	%	۴۱	۴۰	۳۹	
Sand	%	۱۷	۱۶	۱۷	-
Ks	mm/hr	۲/۴۴	۲/۲۴	۲/۱۱	-
BD	g/cm3	۱/۴۶	۱/۴۸	۱/۴۸	-
F.C	g/g	/۲۷۲	۰/۲۷۳	۰/۲۷۱	-
P.W.P	g/g	۰/۱۳۱	۰/۱۳۴	۰/۱۳۴	-
EC	ds/m	۲/۶	۱/۸	۱/۸	۱/۷۵
PH	-	۷/۶۵	۷/۳۶	۷/۷۱	۷/۳۳
Cl^-	meq/l	۳۱/۹۶	۲۸/۳۶	۱۳/۷۸	-
Na^+	meq/l	۸/۵۱۹	۸/۴۷۳	۸/۵۲۱	۹/۰۲
K^+	meq/l	۰/۴۵۶	۰/۳۶۸	۰/۱۹۷	-
Ca^{++}	meq/l	۱۹/۰۳	۱۴/۲۳	۸/۶۲	۴/۴
Mg^{++}	meq/l	۱۳/۸۴	۱۰/۲۵	۴/۲۱	۲/۵
HCO_3^-	meq/l	۱/۳۶	۱/۴۶	۱/۷۸	-
SO_4^{--}	meq/l	۷/۶۲	۶/۱۹	۷/۲۳	-



شکل ۲. نمای شماتیک از نحوه اعمال تیمارهای کم‌آبیاری الف: آبیاری معمولی (CI)، ب: کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه (PRD)، ج: کم آبیاری تنظیم‌شده (RDI)

محاسبات نیاز آب آبیاری

آب مورد نیاز جهت آبیاری مزرعه تحقیقاتی از رودخانه کارون تامین شد. میزان متوسط املاح آب آبیاری در طول دو فصل زراعی اندازه‌گیری و بر اساس طبقه‌بندی از نظر زیان شوری و سدیمی در کلاس C3S1 قرار گرفت (جدول ۱). با پایش وضعیت رطوبت خاک نیاز آبی محصول در تیمارهای مختلف تعیین شد. به این ترتیب که ابتدا قبل از هر آبیاری محتوای رطوبت خاک در عمق‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر با روش نمونه‌گیری وزنی اندازه‌گیری و مقدار آب خالص مورد نیاز جهت پر کردن ناحیه ریشه تا حد ظرفیت مزرعه طبق روش پیشنهادی (Michael, 1978) و از طریق رابطه (۱) محاسبه شد (Sarker et al., 2019; Mandal and Dutta, 1995). حجم آب تعیین شده برای هر تیمار توسط یک دستگاه پمپ چهار اینچ و یک کنتور حجمی به وسیله شیلنگ برزنتی به طول ۱۵ متر از نهر فرعی به درون جویچه ها منتقل شد. تلفات آبیاری شامل نشتی از لوله خروجی بعد از کنتور، اتصالات و اتلاف آب در هنگام جابجایی لوله به جوی‌های مختلف می‌باشد. مقدار تلفات انتقال آب در اولین آبیاری اندازه‌گیری شد که حدود ۱۰ درصد تیمار آبیاری معمولی (Conventional irrigation, CI) بدست آمد و برای همه تیمارها اعمال شد. بعد از اولین آبیاری عملیات لایروبی، ترمیم و تقویت پشته‌ها انجام گردید، به گونه‌ایی که در هنگام آبیاری، آب از جویچه‌ایی به جویچه دیگر منتقل نشود. لازم به ذکر است با توجه به طول کم و انتها بسته بودن جویچه‌ها، مقدار تلفات رواناب و نفوذ عمقی عملا ناچیز بود بنابراین راندمان کاربرد فقط مربوط به تلفات انتقال بوده که حدود ۱۰ درصد بدست آمد. از این رو، حجم ناخالص آبیاری با توجه به مساحت کرت و اعمال راندمان کاربرد (۹۰ درصد) برآورد شد. مقدار آب مصرفی برای تیمارهای کم‌آبیاری ضریبی از میزان آن در تیمار آبیاری معمولی(CI) در نظر گرفته شد. دور آبیاری برای همه تیمارها ثابت و بر حسب ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی مجاز خاک و حداکثر تبخیر و تعرق روزانه محل آزمایش، ۱۰ روزه در نظر گرفته شد به گونه‌ایی که رطوبت خاک در تیمار آبیاری معمولی CI همیشه در حد ظرفیت مزرعه باقی مانده و تنش آبی متحمل نشود.

$$I = \sum_{i=1}^{n} \frac{FC_i - MC_i}{100} \times B_i \times D_i$$ رابطه ۱)

که در آن، I عمق خالص آب آبیاری (mm)؛ Bi چگالی ظاهری خاک (g/cm^3)؛ Di عمق توسعه ریشه در لایه i خاک(m) ؛ FCi درصد وزنی رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه در هر لایه، MCi درصد وزنی رطوبت خاک در هر لایه قبل از هر آبیاری، و n تعداد لایه‌های خاک در عمق ناحیه ریشه می‌باشد.

عمق توسعه ریشه گیاه در طول فصول رشد با رابطه (۲) به شرح زیر تخمین زده شد (Borg and Grimes, 1986).

$$Z_r = R_{DM}\left[0.5 + 0.5\sin\left(\frac{3.03D_{as}}{D_{tm}} - 1.47\right)\right]$$ رابطه ۲)

که در آن Zr عمق ریشه(m)، RDM حداکثر عمق ریشه ۰/۹ متر، Das تعداد روزهای پس از کاشت و Dtm تعداد روز پس از کاشت تا رسیدن به حداکثر عمق ریشه می‌باشد. حجم آب تحویلی هر ردیف با استفاده از کنتور حجمی کنترل گردید. از زمان کاشت گیاه تا رسیدن به مرحله ساقه‌روی، عملیات آبیاری کامل انجام شد و پس از آن، تیمارهای کم‌آبیاری اعمال گردید.

اندازه‌گیری صفات گیاهی

در زمان رسیدگی محصول در اوایل خرداد ماه تعداد ۱۶ بوته (مساحت یک مترمربع) از دو ردیف میانی به صورت تصادفی جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه برداشت گردید. سپس بذرها پس از جداسازی از بوته جهت تعیین عملکرد دانه در معرض تابش نور آفتاب تا رسیدن به رطوبت استاندارد ۱۰ درصد قرار داده شدند. کاه و کلش نیز جهت خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۷۵ درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها، از مجموع وزن دانه، کاه و کلش عملکرد بیولوژیک بدست آمد. به منظور محاسبه شاخص برداشت (Harvest index) از رابطه (۳) استفاده شد (Donald and Hamblin, 1976):

$$HI = \frac{GY}{BY}$$ رابطه ۳)

که در آن HI شاخص برداشت (درصد)، GY عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و BY عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. روغن دانه گلرنگ با استفاده از دستگاه سوکسله به این ترتیب که ۵ گرم بذر آسیاب شده به همراه کاغذ صافی در۲۵۰ سی سی حلال N-هگزان به مدت ۵ ساعت طبق روش AOCS استخراج شد (AOCS, 1993). غلظت روغن دانه‌های گلرنگ برحسب درصد بر اساس هر نمونه و عملکرد روغن با ضرب کسر غلظت روغن در عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. جهت ارزیابی استفاده کارآمد از آب آبیاری در تولید محصول برای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد روغن به طور جداگانه‌ایی بهره‌وری مصرف آب از طریق رابطه

(۴) محاسبه شد (Wang et al., 2016; Sarker et al., 2016 , 2019; Murad et al., 2018).

رابطه ۴)
$$WP_{(Ir+P)}y = \frac{Y}{Ir + P} \ Kg/m^3$$

WP بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم در متر مکعب)، Y عملکرد (کیلوگرم در هکتار)، P و Ir به ترتیب حجم بارندگی و آبیاری (مترمکعب در هکتار) می‌باشد. در نهایت داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم افزار SAS (ver 9.4) با روش تحلیل واریانس (ANOVA) و مدل خطی عمومی (GLM) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت (SAS Institute, 2004). همچنین به منظور مقایسه میانگین صفت‌های آزمایشی از آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) در سطح پنج درصد استفاده شد. نمودارهای مربوطه نیز با استفاده از نرم افزار Excel 2013 ترسیم گردید.

بحث

بررسی نتایج تجزیه واریانس جدول (۲) حاکی از آن است که روش‌های کم‌آبیاری با سطوح مختلف تأثیر بسیار معنی‌داری بر صفات مختلف گیاه گلرنگ از جمله ارتفاع گیاه، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد روغن داشت. در هیچ کدام از صفات اندازه‌گیری شده گلرنگ اثر معنی‌داری از تغییرات سال و همچنین اثر متقابل سال- تیمار مشاهده نشد.

ارتفاع گیاه

یکی از مهمترین ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه که باعث ثبات و استواری فیزیکی آن می‌شود، ارتفاع گیاه است که می‌تواند بر سطح برگ و عملکرد بیولوژیکی نیز موثر واقع گردد. بررسی نتایج تجزیه واریانس مختلف گلرنگ جدول (۲) نشان داد که تیمارهای مختلف کم‌آبیاری اثر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه گلرنگ در سطح یک درصد دارند. نتایج جدول (۳) مقایسه میانگین‌ها نشان داد، اعمال کم‌آبیاری اثر کاهشی بر ارتفاع بوته گلرنگ دارد. بیشترین و کمترین ارتفاع گیاه به ترتیب مربوط به تیمار CI (۱۱۲/۳ سانتی‌متر) و تیمار RDI_{60} (۹۷/۹ سانتی‌متر) بدست آمد. Shahrokhnia and Sepaskhah, (2017) حداکثر ارتفاع گلرنگ برای آبیاری معمولی را ۱۱۵ و ۱۲۰ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع برای تیمار خشکی موضعی ریشه ثابت و متغیر را ۸۰ و ۹۷ سانتی‌متر به ترتیب برای سال اول و دوم آزمایش بدست آوردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. متوسط ارتفاع گیاه گلرنگ در دو سال مطالعه ۱۰۵/۷ سانتی‌متر بدست آمد. تنش آبی با تأثیر بر روابط آب، خاک و گیاه باعث افزایش غلظت املاح از طریق کاهش محتوای آب سلولی می‌گردد که سرانجام توسعه سلول‌ها را محدود یا متوقف و در نتیجه باعث تاخیر در رشد گیاه می‌شود (Lisar et al., 2012). همچنین می‌توان بیان کرد، افزایش تنش آبی در زمان رشد گیاه موجب تشدید رقابت برای جذب آب بین اندام هوایی و زمینی در گیاه می‌شود و در این حالت، گیاه با قرار دادن سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی به ریشه‌ها باعث کاهش اندام هوایی که از جمله آن ارتفاع بوته گردد (Poorter et al., 2012). اگر چه گلرنگ به واسطه ریشه‌های طویل خود قادر به جذب رطوبت از اعماق خاک می‌باشد و یک گیاه متحمل به کم‌آبی محسوب می‌شود، ولی ارتفاع و عملکرد بیولوژیکی این گیاه به طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش آبی کاهش پیدا می‌کند (طیبی و همکاران، ۱۳۹۷). این‌گونه به نظر می‌رسد، اعمال تنش کم آبی در مراحل اولیه رشد باعث کاهش اندام هوایی، تاخیر در مرحله گلدهی و به تبع آن کاهش عملکرد بیولوژیکی می‌شود.

شاخه‌های فرعی

از دیگر خصوصیات مورفولوژیک گلرنگ صفت تعداد شاخه‌های فرعی در بوته می‌باشد که در تشکیل تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و در نهایت عملکرد دانه نقش مهمی بر عهده دارد. اثر تیمارهای کم‌آبیاری بر تعداد شاخه‌های فرعی گیاه گلرنگ در سطح خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، بیشترین میانگین تعداد شاخه‌های فرعی به میزان ۷/۱ عدد مربوط به تیمار CI بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار RDI80 نداشت. Abd El-Lattief (2013) در مطالعه‌ایی تعداد شاخه‌های جانبی گلرنگ را برای سه نوع تیمار آبیاری (تراکم۱۰ سانتی‌متر) با سه سطح ۸۰، ۶۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبت خاک به ترتیب ۹/۳، ۷/۹ و ۵/۷ بدست آورد که با یافته‌های این تحقیق همخوانی دارد. کمترین مقدار بدست آمده مربوط به تیمار RDI60 به تعداد ۵/۳ شاخه بود. Shahrokhnia and Sepaskhah, (2017) در مطالعه‌ایی بر روی گلرنگ، تعداد شاخه در بوته را از ۵/۹ تا ۹/۵ برای سال اول و ۷/۸ تا ۱۲/۸ شاخه برای سال دوم آزمایش بدست آوردند. به نظر می‌رسد با اعمال تنش آبی در طول دوره رشد گیاه، نوعی محدودیت در بهره‌وری ایجاد می‌گردد که سبب اختلال در تشکیل سلول‌های آغازین جهت تولید انشعابات ساقه می‌گردد و در نهایت منجر به کاهش تعداد

شاخه‌های جانبی در گیاه خواهد شد. نتیجه آن کاهش شکل‌گیری مکان‌های بالقوه بیشتر جهت تولید طبق‌های بیشتر در روی گیاه شده و از این طریق عملکرد محصول را کاهش می‌دهد.

تعداد طبق در گیاه

یافته‌های تجزیه واریانس داده‌ها به لحاظ تعداد طبق در گیاه نشان داد که بین تیمارهای مختلف در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. بررسی جدول (۳) مقایسه میانگین‌ها بیشترین تعداد طبق در گیاه مربوط به تیمار CI با میانگین ۱۸/۹ عدد و کمترین آن مربوط به تیمار PRD_{60} با میانگین ۱۱/۶ عدد به دست آمد. این در حالی است که از نظر آماری به جز تیمار CI، بقیه تیمارها در یک گروه آماری قرار گرفتند و میانگین تیمارها اختلاف معنی‌داری با هم نداشت. در واقع اعمال کم‌آبیاری تعداد طبق در گیاه را کاهش داد ولی نوع روش کم‌آبیاری (RDI یا PRD) از نظر آماری اثر معنی‌داری بر آن نداشت. به طور مشابه، کاهش تعداد طبق در بوته گلرنگ نیز به دلیل تنش آبی توسط (Omidi et al., 2012) گزارش شده است. Shahrokhnia and Sepaskhah, (2017) تعداد طبق گلرنگ در بوته ۱۲ تا ۲۲ راس برای سال اول و ۱۸ تا ۳۳ راس در بوته برای سال دوم بدست آوردند و اظهار داشتند این اختلاف مربوط به تاریخ کاشت دیررس (تأخیر ۱۷ روزه) سال اول آزمایش بود.

تعداد دانه در طبق

تعداد دانه گلرنگ در هر طبق از ۲۰ تا ۴۲ دانه برای سال اول و ۲۳ تا ۴۴ دانه برای سال دوم آزمایش متغیر بود. در میان رژیم‌های مختلف کم‌آبیاری از نظر صفت تعداد دانه در طبق تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد حاصل شد (جدول ۲). با بررسی نتایج جدول (۳) مقایسه میانگین‌ها مشخص شد، تیمارهای CI و RDI_{80} در یگ گروه آماری و سایر تیمارها در گروه یکسان دیگری قرار گرفتند و تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. استراتژی PRD باعث شد تعداد دانه در طبق در سال اول و دوم به میزان قابل توجهی حدود ۲۴٪ (PRD_{80}) و ۳۰٪ (PRD_{60}) کاهش یابد و این در حالی است که در روش کم‌آبیاری تنظیم‌شده این کاهش حدود ۵٪ (RDI_{80}) و ۲۹٪(RDI_{60}) حاصل شد. با این وجود بیشترین میانگین مربوط به تیمار CI با تعداد ۳۹/۵ دانه در طبق و کمترین آن مربوط به تیمار PRD_{60} با تعداد ۲۷/۸ دانه بدست آمد. بر این اساس مشابه نتایج این تحقیق، کاهش ۱۴ و ۲۹ درصدی تعداد دانه در طبق توسط Shahrokhnia and Sepaskhah, (2017) و Singh et al., (2016)نیز گزارش شده است. به نظر می‌رسد تنش آبی باعث بسته شدن بیشتر روزنه‌های گیاه شده و در این شرایط گیاه کمتر از نور محیط استفاده می‌کند که در نتیجه دچار اختلال در فعالیت فتوسنتزی می‌گردد. بنابراین عملکرد دانه کاهش می‌یابد. با توجه به نقش صفت تعداد دانه در طبق بر عملکرد دانه گلرنگ، بر این اساس رابطه (۵) بین عملکرد دانه گلرنگ SY بر حسب تن در هکتار و میانگین تعداد دانه در طبق NSP مطابق شکل (۳) تعیین شد.

$$SY = 0.0011\ NSP^2 + 0.0356 NSP + 0.3725 \qquad (n=40\ ,\ R^2 = 0.67)$$ رابطه (۵)

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه گلرنگ تحت تأثیر تیمارهای مختلف کم‌آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)				
		ارتفاع گیاه (cm)	شاخه های فرعی	تعداد طبق در گیاه	تعداد دانه در طبق	وزن هزاردانه (gr)
سال	۱	۱۸/۶ns	۰/۰۰۴ns	۰/۰۸ns	۰/۸۵ns	۰/۳۶ns
تکرار (سال)	۶	۱۳۲/۷**	۰/۴ns	۲۲/۷ns	۱۸/۵۹ns	۲/۹۱ns
تیمار	۴	۳۱۰/۳**	۳/۶**	۶۷/۳*	۲۳۵/۶۴**	۷۲/۸۷**
سال*تیمار	۴	۱۸/۳ns	۰/۰۱ns	۰/۰۱ns	۰/۲۳ns	۰/۴۵ns
خطا	۲۴	۳۰/۲۲	۰/۱۹	۱۹/۲	۱۴/۳۵	۲/۲
ضریب تغییرات	(درصد)	۵/۲	۷/۰۵	۳۱/۴	۱۱/۵۸	۳/۴

ns، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

وزن هزاردانه

نتایج نشان داد مرحله پرشدن تا رسیدگی کامل دانه نیز به طور معنی‌داری تحت تأثیر کم آبیاری قرار گرفت به طوری که میانگین وزن هزاردانه در سال اول ۴۳/۳۳ گرم و برای سال دوم آزمایش ۴۳/۱۴ گرم بدست آمد. Abd El-Lattief, (2013) و Mohammadi et al., (2015) وزن هزاردانه گلرنگ را به ترتیب ۴۵/۹۳ و ۴۶ گرم بدست آوردند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه گلرنگ تحت تأثیر تیمارهای مختلف کم‌آبیاری

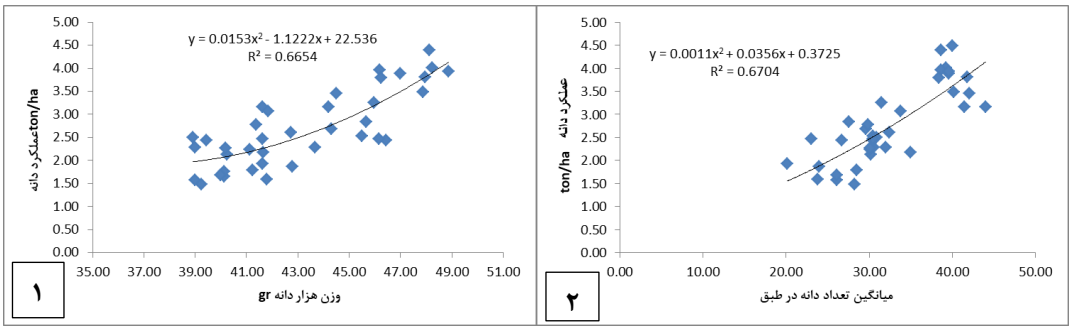
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)				
		عملکرد دانه (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (Kg/ha)	شاخص برداشت	درصد روغن	عملکرد روغن (Kg/ha)
سال	۱	۲۷۳۵۱/۳۳ns	۲۵۰۸۷۳/۹ns	۴/۱۶ns	۰/۹ns	۹۴۹/۳۵ns
تکرار (سال)	۶	۱۱۸۰۱۳/۹۵ns	۱۳۴۰۷۲۳/۵ ns	۴۰/۴۴ns	۱۱/۷ns	۱۵۳۸/۹ns
تیمار	۴	۶۳۷۲۶۰۵/۵۵**	۳۶۹۴۳۰۶۰/۱**	۵۳/۵۶ns	۵/۲ns	۳۳۵۵۷۹/۷**
سال*تیمار	۴	۱۶۰۷۰۲/۱۱ns	۱۰۷۷۶/۹ns	۲۳/۰۵ns	۱/۹ns	۳۲۴۴/۱۲ns
خطا	۲۴	۱۶۲۷۳۵/۴	۸۷۱۵۶۷/۲	۴۸/۹۵	۱۱/۱	۷۷۸۹/۱۷
ضریب تغییرات	(درصد)	۱۴/۵۶	۱۱/۷۴	۱۹/۹۳	۱۲/۹	۱۲/۴

ns، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

نتایج جدول (۳) نشان داد با افزایش تنش آبی وزن هزاردانه روند کاهشی پیدا کرد. بیشترین وزن هزاردانه از تیمار CI (۴۷/۵۶ گرم) و کمترین آن از تیمار PRD_{60} (۴۰/۲۶ گرم) بدست آمد. تنش کم آبی موجب کاهش وزن هزاردانه گلرنگ گردید. این موضوع را می‌توان از رابطه خطی (۶) بین میزان حجم آبیاری Ir بر حسب میلی‌متر در هکتار و وزن هزاردانه گلرنگ TSW بر حسب گرم نتیجه گرفت شکل(۲). همچنین رابطه رگرسیونی (۷) بهترین همبستگی را بین عملکرد دانه گلرنگ SY (کیلوگرم در هکتار) در برابر وزن هزار دانه TSW (گرم) نشان داد (شکل۳).

$Ir = 0.0249TSW + 28.874$ $(n = 24, R^2 = 0.81)$ رابطه (۶)

$SY= 0.0153TSW^2 – 1.1222\ TSW + 22.536$ $(n = 40, R^2 = 0.66$ رابطه (۷)



شکل ۳. رابطه بین عملکرد دانه گلرنگ(تن در هکتار) و ۱- وزن هزار دانه(گرم)، ۲- میانگین تعداد دانه در طبق

عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۲) نشان داد اثر روش‌های کم‌آبیاری بر عملکرد دانه در سطح خطای یک درصد معنی‌دار است. تیمار آبیاری معمولی CI با ۳۹۰۷/۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر تیمارها عملکرد بالاتری نشان داد. میانگین عملکرد دانه در تیمارهای خشکی موضعی ریشه PRD80 و PRD60 به ترتیب ۲۵۷۷/۶ و ۲۲۸۰/۳ کیلوگرم در هکتار و همچنین برای تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم‌شده RDI80 و RDI60 به ترتیب ۳۴۰۹/۳ و ۱۶۷۱/۴ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. در واقع تیمارهای RDI80 و PRD80 با دریافت ۱۸/۲۶ درصد آب کمتر نسبت به آبیاری معمولی CI (در کل دوره رشد) به ترتیب ۱۲/۷۴ و ۳۴/۰۳ درصد کاهش و همچنین تیمارهای RDI60 و PRD60 با ۳۶/۴۹ درصد دریافت آب کمتر در کل دوره رشد به ترتیب ۵۷/۲۲ و ۴۱/۴۶ درصد کاهش محصول نشان دادند. اکثر محققان (Abd El-Lattief, 2013; Janmohammadi et al., 2017; Shahrokhnia and Sepaskhah, 2017; Ebrahimian et al, 2019) نتایج مشابهی را در مورد کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش کم آبی گزارش کردند. تنش رطوبتی یکی از عوامل اساسی موثر بر کاهش میزان عملکرد محصول می‌باشد. این موضوع را می‌توان از رابطه بین میزان آبیاری Ir بر حسب میلی‌متر در هکتار و عملکرد دانه گلرنگ SY بر حسب کیلوگرم در هکتار شکل(۴) نتیجه گرفت (رابطه ۸).

$SY = - 0.0318Ir^2 – 45.996\ Ir + 12641$ $(n=24 , R^2 =0.853)$ رابطه (۸)

از رابطه (۸) می توان بر حسب میزان آب مصرفی، عملکرد دانه گلرنگ را با درصد اطمینان بالایی (R2=0.853) پیش‌بینی نمود. بر

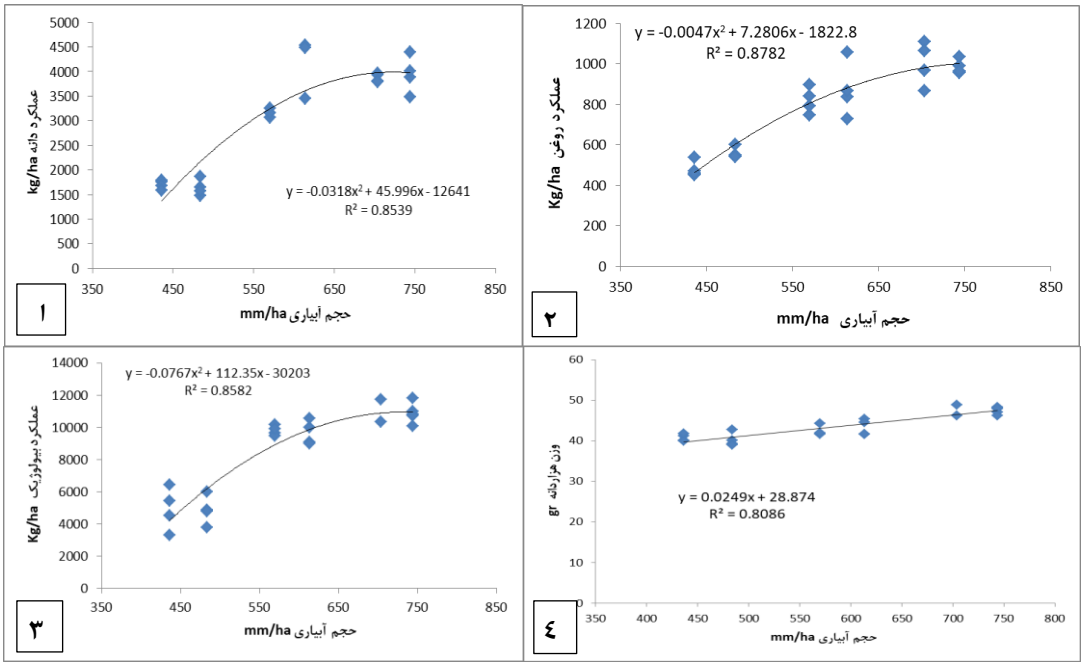
اساس این رابطه (۸) در صورتی که میزان آبیاری را ۲۰ درصد نسبت به آبیاری معمولی CI افزایش دهیم، عملکرد دانه فقط حدود ۳ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین اینگونه استنباط می‌شود " افزایش بیش از حد مصرف آب تأثیر قابل توجهی بر افزایش عملکرد دانه نخواهد داشت" و در این شرایط (کمبود منابع آب شیرین) باعث هدر روی بیش از حد منابع آب خواهد شد.

عملکرد بیولوژیکی

بالاترین عملکرد بیولوژیکی گلرنگ به میزان ۱۰۲۷۵ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیماری است که بیشترین حجم آب را دریافت کرده است. تیمار RDI_{60} با ۴۸۹۵/۳ کیلوگرم در هکتار و دریافت حدود ۴۰ درصد آب کمتر در مقایسه با تیمار آبیاری معمولی(CI)، ۵۲/۳۵ درصد کاهش عملکرد نشان داد و کمترین عملکرد بیولوژیکی نسبت به سایر تیمارها داشت. بالاترین عملکرد بیولوژیکی به ترتیب در تیمارهای CI، RDI80، PRD80، PRD60 و RDI60 بدست آمد. عملکرد بیولوژیکی تحت تأثیر تنش‌های رطوبتی کاهش یافته و این موضوع در بسیاری از تحقیقات(Shahrokhnia and Sepaskhah, 2017; Ebrahimian et al., 2019; Janmohammadi et al., 2017) گزارش شده است.

شاخص برداشت

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که همه تیمارها از نظر شاخص برداشت در یک گروه آماری قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. به نظر می‌رسد شاخص برداشت در مدیریت نوین گیاهان زراعی یک رقم معین، صفت ثابتی است که حتی در شرایط تنش آبی تغییر اندکی می‌نماید. می‌توان این گونه بیان کرد که بیش آبیاری موجب افزایش رشد رویشی شده در مقایسه با افزایش ناچیز عملکرد دانه، منجر به کاهش شاخص برداشت می‌گردد. Shahnazari et al., (2007)، Istanbulluoglu, (2009) و Yazar et al., (2015) اظهار داشتند، میزان شاخص برداشت در شرایط تنش رطوبتی در کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری موضعی ریشه کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج تحقیق به نظر می‌رسد، مکانیسم گیاه گلرنگ در شرایط تنش آبی، به جای هدایت زیست توده به دانه، بیشتر به صورت کاهش همزمان زیست توده و عملکرد دانه عمل می‌نماید. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، تیمار و اثر متقابل سال در تیمار نیز معنی‌دار نبود.



شکل٤. رابطه بین میزان حجم آبیاری(میلی‌متر در هکتار) و تعدادی از صفات گلرنگ در طول دو سال آزمایش: ۱- عملکرد دانه(کیلوگرم در هکتار)، ۲- عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)، ۳-عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)، ٤- وزن هزار دانه (گرم)

درصد و عملکرد روغن

از آنجا که استخراج روغن به عنوان یکی از عمده‌ترین اهداف زراعت گلرنگ می‌باشد، لذا عملکرد روغن در واحد سطح نسبت به درصد

روغن دانه اهمیت بیشتری دارد. نتایج جدول (۲) تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد روغن گلرنگ به طور معنی‌داری در سطح یک درصد تحت تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری قرار گرفت، اما از نظر درصد روغن دانه با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. مقایسه میانگین درصد روغن تیمارها نشان داد هیچ گونه تفاوت معنی‌داری بین تیمارها وجود ندارد و همه تیمارها در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳). نکته قابل توجه این که تعریف درصد روغن عبارت است از نسبت روغن موجود در دانه به کل وزن دانه که شامل پوست و فیبر نیز می‌شود. از آنجا که در شرایط کم‌آبیاری، کل وزن دانه نیز کاهش می‌یابد، این نکته باعث می شود با وجود کاهش میزان روغن دانه، درصد روغن دانه تغییر چشم‌گیری نداشته باشد (Ashrafi and Razmjoo,2010). در این راستا Lopez Pereira et al., (1999) اعلام نمودند "درصد روغن به اندازه دانه بستگی دارد"، به طوری که دانه‌های کوچک‌تر نسبت به دانه‌های درشت‌تر درصد روغن بالاتری دارند. مطابق نتایج داده‌های آماری، تیمار RDI60 که کمترین آب آبیاری (تنش شدید) را دریافت نموده است، بعد از تیمار PRD60 دارای کمترین میانگین وزن هزاردانه و تعداد دانه در طبق (اندازه دانه‌های کوچکتر) است. به نظر می‌رسد انتقال حداکثر جذب مواد فتوسنتزی به سمت رشد بذر به جای تولید قسمت‌های رویشی بیشتر، ممکن است دلیل درصد روغن بالاتر در شرایط تنش آبی بیشتر باشد. بیشترین عملکرد روغن مربوط به تیمار CI (۹۹۳/۶ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. یافته‌های این مطالعه مشابه نتایج Hamrouni et al., (2007) و Omidi et al., (2012) نیز می‌باشد.

جدول ۳ - مقایسه میانگین عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه گلرنگ تحت تأثیر تیمارهای مختلف کم‌آبیاری

تیمار	ارتفاع گیاه (cm)	تعداد دانه در طبق	تعداد طبق در گیاه	شاخه های فرعی	وزن هزار دانه (gr)	عملکرد بیولوژیکی (Kg/ha)	عملکرد دانه (Kg/ha)	شاخص برداشت	درصد روغن (Kg/ha)	عملکرد روغن
CI	۱۱۲/۳a	۳۹/۵a	۱۸/۹a	۷/۱a	۴۷/۵۶a	۱۰۲۷۵/۰a	۳۹۰۷/۵a	۳۸/۲۲a	۲۵/۵a	۹۹۳/۶a
RDI80	۱۱۰/۶ab	۳۷/۵a	۱۳/۸b	۶/۶a	۴۳/۳۴b	۹۷۳۱/۳a	۳۴۰۹/۳b	۳۵/۰۶a	۲۵/۵a	۸۴۵/۷b
RDI60	۹۷/۹c	۲۸/۲b	۱۳/۰۴b	۵/۳c	۴۰/۵۳c	۴۸۹۵/۳c	۱۶۷۱/۴d	۳۵/۷۶a	۲۷/۱a	۴۸۹/۰d
PRD80	۱۰۶/۲b	۲۹/۸b	۱۲/۲b	۵/۹b	۴۴/۴۸b	۷۴۷۸/۶b	۲۵۷۷/۶c	۳۵/۳۸a	۲۵/۰a	۶۴۴/۷c
PRD60	۱۰۰/۵c	۲۸/۱b	۱۱/۶b	۵/۹b	۴۰/۲۶ c	۷۳۶۷/۴b	۲۲۸۰/۳c	۳۱/۰۳a	۲۵/۶a	۵۸۴/۰c

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب

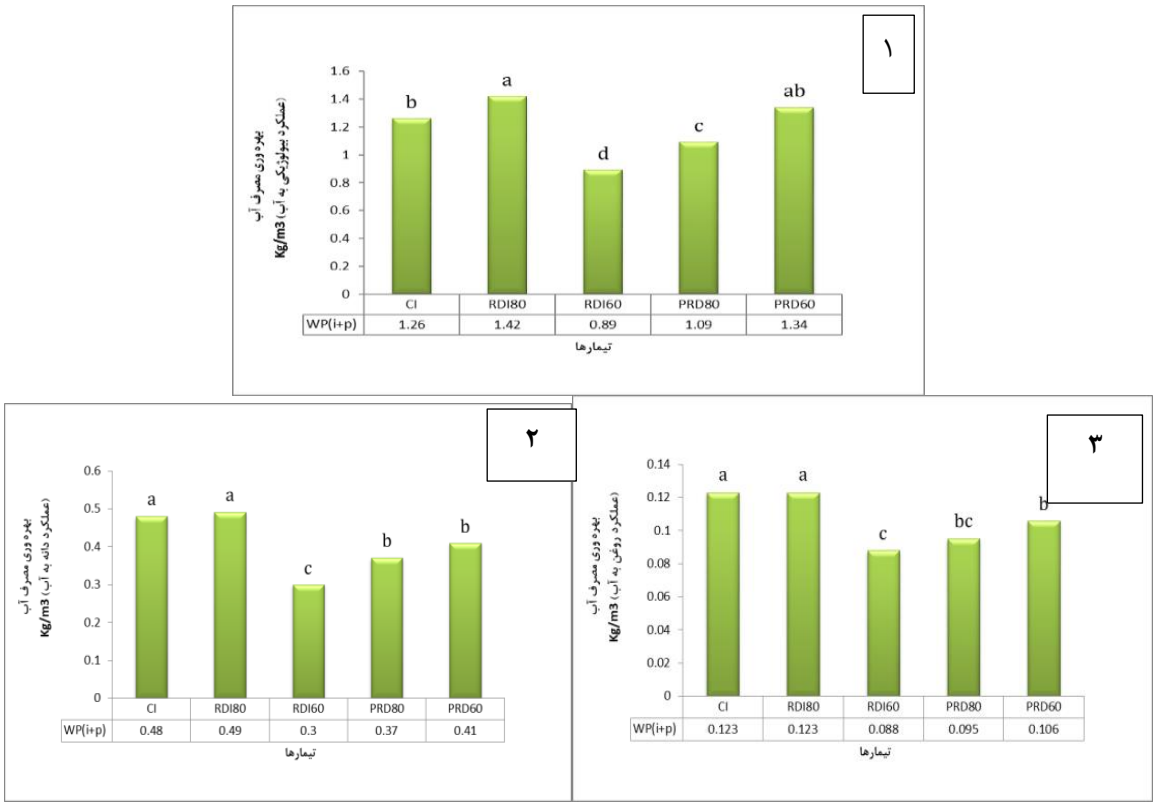
نتایج جدول (۴) تجزیه واریانس نشان داد که بین تیمارهای کم آبیاری از نظر شاخص بهره‌وری (Water productivity) مجموع آبیاری و بارش WP(Ir+P) برای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد روغن اختلاف بسیار معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد.

جدول ٤- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین شاخص بهره‌وری مصرف آب برای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن گیاه گلرنگ تحت تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری

منابع تغییر	WP (Ir+P) SY (Kg/m^3)	WP (Ir+P) BY (Kg/m^3)	WP (Ir+P) OY (Kg/m^3)
سال	۰/۰۰۰۴ns	۰/۰۲۹ns	۰/۰۰۰۰۱ns
تکرار (سال)	۰/۰۰۲۴ns	۰/۰۲۹ns	۰/۰۰۰۰۶ns
تیمار	۰/۰۵**	۰/۳۶**	۰/۰۰۲**
سال*تیمار	۰/۰۰۴ns	۰/۰۰۰۵ns	۰/۰۰۰۱ns
خطا	۰/۰۰۳۶	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات	۱۴/۵۰	۱۲/۴۵	۱۳/۱۹
CI	۰/۴۸a	۱/۲۶b	۰/۱۲a
RDI80	۰/۴۹a	۱/۴۲a	۰/۱۲a
RDI60	۰/۳۰c	۰/۸۹d	۰/۰۸c
PRD80	۰/۳۷b	۱/۰۹c	۰/۰۹bc
PRD60	۰/۴۱b	۱/۳۴ab	۰/۱۰b

در این جدول نمادهای اختصاری SY: عملکرد دانه، BY: عملکرد بیولوژیک و OY: عملکرد روغن می‌باشد.

بیشترین مقدار شاخص بهره‌وری مجموع آبیاری و بارش (Ir+P)WPمربوط به تیمار کم‌آبیاری تنظیم‌شده RDI80 برای عملکرد روغن (۰/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب)، عملکرد بیولوژیکی (۱/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب) و عملکرد دانه (۰/۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب) بدست آمد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد کمترین مقدار شاخص بهره‌وری مجموع آبیاری و بارش (Ir+P) WP مربوط به تیمار کم‌آبیاری تنظیم‌شده RDI60 برای عملکرد روغن (۰/۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب)، عملکرد بیولوژیکی (۰/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب) و عملکرد دانه (۰/۳۰کیلوگرم بر مترمکعب) بدست آمد. (شکل ۵). Shahrokhnia and Sepaskhah, (2016) در تحقیقی بهره‌وری مصرف آب گلرنگ را برای دو سال آزمایش در محدوده ۰/۱۵ –۰/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب اعلام کردند. Abd El-Lattief, (2013) نیز در آزمایشی بر روی گلرنگ بیشترین و کمترین مقدار بهره‌وری مصرف آب عملکرد دانه را برای تیمارهای مختلف کم‌آبیاری به ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۲۳کیلوگرم بر مترمکعب بدست آورد.



شکل۵. بهره‌وری مصرف آب مجموع آبیاری و بارندگی(کیلوگرم بر مترمکعب) برای ۱- عملکرد بیولوژیکی، ۲- عملکرد دانه و۳ - عملکرد روغن

نتیجه‌گیری

بررسی نتایج تحقیق حاکی از آن است که روش‌های مختلف کم‌آبیاری با سطوح مختلف تأثیر بسیار معنی‌داری بر صفات مختلف گیاه گلرنگ داشتند. از جمله این صفات می‌توان به ارتفاع گیاه، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد روغن اشاره کرد. در هیچ کدام از صفات اندازه‌گیری شده، اثر معنی‌داری از تغییرات سال و همچنین اثر متقابل سال–تیمار مشاهده نشد. هدف از اجرای طرح‌های کم‌آبیاری، رسیدن به حداکثر تولید محصول به ازاء هر واحد آب مصرفی و صرفه‌جویی در مصرف آب است. یافته‌های این تحقیق نشان داد، بین تیمارهای مختلف آبیاری از نظر شاخص بهره‌وری مصرف آب برای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد روغن اختلاف معنی‌داری وجود دارد. تیمار آبیاری معمولی (CI) با ۳۹۰۷/۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر تیمارها عملکرد دانه بالاتری نشان داد. تکنیک کم‌آبیاری تنظیم‌شده RDI80 بیشترین مقدار شاخص بهره‌وری مصرف آب برای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد روغن را بدست داد. همچنین کم‌آبیاری خشکی موضعی ناحیه ریشه PRD60 در مقایسه با PRD80 با دریافت حدود ۴۰ درصد آب کمتر، از نظر شاخص بهره‌وری مصرف آب برای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد روغن برتری داشت. موفقیت در ترویج و توسعه کشت دانه‌های روغنی در یک کشور یا منطقه‌ایی خاص از نظر اقلیمی، تا حد زیادی به عملکرد دانه و روغن آن گیاه بستگی دارد.

متوسط جهانی عملکرد گلرنگ ۸۲۲ کیلوگرم در هکتار است (FAO, 2019). در این تحقیق میزان عملکرد در شرایط بهینه حدود ۳۹۰۰ کیلوگرم در هکتار (۴/۷ برابر متوسط عملکرد) بدست آمد. به نظر می‌رسد انتخاب رقم مناسب و متحمل به شرایط آب و هوایی منطقه، انتخاب تراکم کشت بهینه، میزان و زمان مناسب استفاده از کود و آبیاری از عوامل افزایش عملکرد باشد که توصیه می‌شود این موارد در کشت گلرنگ رعایت شود. با توجه به نتایج بدست آمده و با توجه مصرف نسبتا بالای آب در بخش کشاورزی برای استفاده بهینه از منابع آب، می‌توان استفاده از تکنیک کم‌آبیاری تنظیم‌شده RDI80 برای کاهش ۲۰ درصد و روش کم‌آبیاری خشکی موضعی ناحیه ریشه PRD60 برای ۴۰ درصد صرفه جویی در مصرف آب برای کشت گلرنگ در مناطق با اقلیم گرم و خشک و با محدودیت منابع آبی توصیه کرد.

سپاس‌گزاری

این مقاله از رساله دوره دکترای تخصصی در دانشکده مهندسی آب و محیطزیست دانشگاه شهید چمران اهواز استخراج شده است. بدین وسیله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN: SCU. WI98.280) تشکر و قدردانی می گردد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

اداره کل هواشناسی استان خوزستان، ۱۳۹۹.

طیبی، افسون؛ فرحوش، فرهاد؛ میرشکاری، بهرام؛ تاری‌نژاد، علی‌رضا؛ یارنیا، مهرداد (۱۳۹۷). اثر محلول‌پاشی شاخساره‌ای سالسیلیک اسید بر برخی ویژگی‌های رشدی و عملکرد گلرنگ(Carthamus tinctorius L.) تحت تنش آبی. *اکوفیزیولوژی گیاهی*. ۹ (۳۲)، ۹۳-۷۸.

REFERENCES

Abd El-Lattief, A.E., (2013) Safflower yields and water use efficiency as affected by irrigation at different soil moisture depletion levels and plant population density under arid conditions, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59:11, 1545-1557.

Ahmadi, S.H., Andersen, M.N., Plauborg, F., Poulsen, R.T., Jensen, C.R., Sepaskhah, A.R., Hansen, S., 2010. Effects of irrigation strategies and soils on field-grown potatoes: gas exchange and xylem [ABA]. Agric. *Water Manage*. 97, 1486–1494.

AOCS. (1993): Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. – *AOCS Press, Champaign*, U.S.A.

Arnell, N.W., 2004. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Glob. Environ. Change* 14, 31–52.

Ashrafi E and Razmjoo Kh (2010). Effect of Irrigation Regimes on Oil Content and interspecific variation and environmental control. New Phytologist. 193: 30-50.

Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P. (Eds.), 2008. Climate Change and Water. *Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC Secretariat, Geneva 210 pp.

Beis, A., Patakas, A., 2015. Differential physiological and biochemical responses to drought in grapevines subjected to partial root drying and deficit irrigation. Eur. J. *Agron*. 62, 90–97.

Borg, H., Grimes, D., 1986. Depth development of roots with time: an empiricaldescription. Trans. ASAE 29, 194–197.

Caloiero, T., Simone Veltri, I. D., Caloiero, P., Frustaci, F. (2018): Drought Analysis in Europe and in the Mediterranean Basin Using the Standardized Precipitation Index. – *Water* 10: 1043. DOI:10.3390/w10081043.

Camas, N., Cirak, C., Esendal, E. (2007). Seed yield, oil content and fatty acid composition of some safflower (Carthamus tinctorius L.) grown in Northern Turkey condition. *J of Fac of Agric*., 22: 98-104.

Chapman, M.A., Burke, J.M., 2007. DNA sequence diversity and the origin of cultivated safflower (Carthamus tinctorius L.; Asteraceae). *BMC Plant Biol*. 7, 60.Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H.I.,Waskom, R., Niu, Y., Siddique, K.H.M. 2016. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agron*. Sustain. Dev. (2016) 36: 3

Consoli, S., Stagno, F., Vanella, D., Boaga, J., Cassiani, G., Roccuzzo, G., 2017. Partial root-zone drying irrigation in orange orchards: effects onwater use and crop production characteristics. *Eur. J. Agron*. 82, 190–202.

Cook, B. I., Smerdon, J. E., Seager, R., Coats, S. (2014): Global warming and 21-st century drying. *Climate Dynamics* 43: 2607-2627. DOI 10.1007/s00382-014-2075-y.

Costa, J.M., Ortuno, M.F., Chaves, M.M., 2007. Deficit irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. J. Integer. *Plant Biol*.49, 1421–1434.

Davies, W.J., Wilkinson, S., Loveys, B., 2002. Stomatal control by chemical signalingand the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agri-culture. *New Phytol*. 153, 449–460.

Diogo, V. P. N. N. (2018): Agricultural land systems: explaining and simulating agricultural land-use patterns. – *Ph.D. Thesis, Vrije Universiteit*, p. 340, Amsterdam.

Donald C.M. and Hamblin J. 1976. The biological yield and harvest index of cereal as Agronomic and plant breeding criteria. *Adv Agronomy*, 28:361-405

Dry, P.R., Loveys, B.R., 1998. Factors influencing grapevine vigor and the potential for control with partial root zone drying. Aust. J. *Grape Wine Res*. 4, 140–148.

Dry, P.R., Loveys, B.R., 2000. Partial drying of the root-zone of grape. I. Transient changes in shoot growth and gas exchange. *Vitis*. 39, 3–7.

Ebrahimian, E., Seyyedi, S. M., Bybordi, A., Damalas, Ch. A., 2019. Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. *Agricultural Water Management.* 218 (2019) 149–157.FAO. 2019. Agricultural Data, FAOSTAT. Available at Food and Agriculture Organization of the United Nations. http: //faostat.fao.org/faostat/collections.

Elhania. S., Haddadia. M., Csákvárib. E., Zantara. S., Hamima. A., Villányib. V, Douaikc. A., Bánfalvib. Z. 2019. Effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on yield, irrigation water-use efficiency and some potato (Solanum tuberosum L.) quality traits under glasshouse conditions. Agricultural Water Management. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105745

Geerts, S., Raes, D., 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agric. *Water Manage*. 96, 1275–1284.

General Department of Meteorology of Khuzestan Province. (2020) .(In Persian)

Ghrab, M., Gargouri, K., Bentaher, H., Chartzoulakisc, K., Ayadia, M., Mimound, M.B., Masmoudid, M.M., Mechliad, N.B., Psarrasc, G., 2013. Water relations and yield of olive tree (cv. Chemlali) in response to partial root-zone drying (PRD) irrigation technique and salinity under arid climate. Agric. *Water Manage*. 123, 1–11.

Gouveia, C. M., Trigo, R. M., Beguería, S., Vicente-Serrano, S. M. (2017): Drought impacts on vegetation activity in the Mediterranean region: An assessment using remote sensing data and multicale drought indicators. *Global and Planetary Change*. 151: 15-27. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.06.011.

Grecksch, K. (2019): Scenarios for resilient drought and water scarcity management in England and Wales. – *International Journal of River Basin Management*. 17(2): 219-227.

Gu, S.L., Du, G.Q., Zoldoske, D., Hakim, A., Cochran, R., Fugelsang, K., Jorgensen, G.,2004. Effects of irrigation amount on water relations, vegetative growth, yield and fruit composition of Sauvignon blanch grapevines under partial root zone drying and conventional irrigation in the San Joaquin Valley of California, USA.J. Hortic. Sci. *Biotechnol*. 79, 26–33.

Hamdi Ahmadabad, Y., Liaghat, A., Sohrabi, T., Rasoulzadeh, A., & Ebrahimian, H. (2021). Improving performance of furrow irrigation systems using simulation modelling in the Moghan plain of Iran. *Irrigation and Drainage*, *70*(1), 131-149.

Hamrouni, I., Salah, H., Marzouli, B. (2007): Effects of Water- Dificit on Lipids of Safflower Aierial Parts. *Phytochemistry*. 58(2): 277-280. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(01)00210-2.

Istanbulluoglu, A. (2009): Effects of irrigation regimes on yield and water productivity of safflower (Carthamus tinctorius L.) under Mediterranean climate conditions. – Agric. *Water Management*. 96: 1792-1798.

Janmohammadi, M., Mohammadi, N., Shekari, F., Abbasi, A., Esmailpour, M., 2017. The effects of silicon and titanium on safflower (Carthamus tinctorius L.) growth under moisture deficit condition. *Acta Agric*. Slov. 109, 443–455. https://doi.org/10. 14720/aas.2017.109.2.27.

Khaleghi. M., Hassanpour. F., Karandish. F., Shahnazari. A., 2020. Integrating partial root-zone drying and saline water irrigation to sustain sunflower production in freshwater-scarce regions. Agricultural Water Management. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106094.

Kang, S., Zhang, J., 2004. Controlled alternate partial rootzone irrigation: its phys-iological consequences and

impact on water use efficiency. J. Exp. Bot. 55,2437–2446.
Kang, S.Z., Hu, X.T., Goodwin, I., Jerie, P., 2002. Soil water distribution, water use, and yield response to partial root zone drying under a shallow groundwater table condition in a pear orchard. Sci. *Hortic*. 92, 277–291.
Karandish, F., Simunek, J., 2016a. A comparison of numerical and machine-learning modeling of soil water content with limited input data. J. *Hydrol*. 543, 892–909.
Karandish, F., Simunek, J., 2016b. A field-modeling study for assessing temporal variations of soil-water-crop interactions under water-saving irrigation strategies. Agric. *Water Manage*. 178, 291–303.
Karandish, F., Simunek, J., 2017. Two-dimensional modeling of nitrogen and water dynamics for various N-managed water-saving irrigation strategies using HYDRUS. Agric. *Water Manage*. 193, 174–190.
Karandish, F., Simunek, J., 2018. An application of the water footprint assessment to optimize production of crops irrigated with saline water: a scenario assessment with HYDRUS. Agric. Water Manage In press.
Kumar, A., Sharma, A., Upadhyaya, K.C., 2016. Vegetable oil: *Nutritional and industrial perspective*. Curr. Gen. 17, 230–240.
Lisar, S. Y. S., Motafakkerazad, R., Hossain, M. M., Rahman, I. M. M.2012. Water stress in plants: causes, effects and responses. In I. M. M. Rahman (Ed.), In Tech Publications. *Water Stress*. 12, 1-14.
Shahnazari Lopez Pereira, M., V. O. Sadras and N. Trapani. 1999. Genetic improvement of sunflower in Argentina between 1930 and 1995. I. Yield and its components. Filed Crops Res. 62: 157-166.
Mandal, M.A.S., Dutta, S.C. (Eds.), 1995. Crop Diversification: Findings from a Field Research Programme. The University Press Limited Red Crescent House61 Motijheel C/AP.O. Box 2611Dhaka 1000, Bangladesh, pp. 151.
Michael, A.M., 1978. Irrigation: Theory and Practice, 1st edition. Vikash Publishing House Private Limited, New Delhi, pp. 801.
Mohammadi, M., Ghassemi–Golezani, K., Zehtab-Salmasi, S., Nasrollahzade, S.2015.Effect of Water Deficit on Some Morphological, Yield and Yield Component of Spring Safflower (Carthamus Tinctorius L.) Cultivars. *International Journal of Review in Life Sciences*. 5(7):298-305.
Murad, K.F.I., Hossain, A., Fakir, O.A., Biswas, S.K., Sarker, K.K., Rannu, R.P., Timsina, J., 2018. Conjunctive use of saline and fresh water increases the productivity of maize in saline coastal region of Bangladesh. Agric. *Water Manag*. 204, 262–270.
Omidi, A. H., Khazaei, H., Monneveux, P., Stoddard, F. (2012): Effect of cultivar and water regime on yield and yield components in safflower (Carthamus tinctorius L.). *Turkish Journal of Field Crops*. 17(1): 10-15.
Pan, T., Chen, J., Liu, Y. (2018): Spatial and Temporal Pattern of Drought Hazard under Different RCP Scenarios for China in the 21st century. – https://doi.org/10.5194/nhess-2018-242.
Pankova, Ye. I., Konyushkova, M. V. (2014): Effect of Global Warming on Soil Salinity of the Arid Regions. *Russian Agricultural Sciences.* 39(5-6): 464-467. ISSN 10683674.
Pedrero, F., Maestre-Valero, J.F., Mounzer, O., Alarcón, J.J., Nicolás, E., 2014. Physiological and agronomic mandarin trees performance under saline reclaimed water combined with regulated deficit irrigation. Agric. *Water Manage*. 146, 228–237.
Poorter H, Niklas K, Reich PB, Oleksyn J, Poot P and Mommer L (2012) Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*. 193: 30-030.
Rahamatalla A.B., Babiker E.E., Krishna A.G., El Tinay A.H. (2001): Changes in fatty acids composition during seed growth and physicochemical characteristics of oil extracted from four safflower cultivars. *Plant Foods for Human Nutrition*. 56: 385–395.
Rahil, M.H., Qanadillo, A., 2015. Effects of different irrigation regimes on yield and water use efficiency of cucumber crop. Agric. *Water Manage*. 148, 10–15.
Sarker, K.K., Akanda, M.A.R., Biswas, S.K., Roy, D.K., Khatun, A., Goffar, M.A., 2016. Field performance of alternate wetting and drying furrow irrigation on tomato crop growth, yield, water use efficiency, quality and profitability. J. Integrat. *Agric*. 15 (10), 2380–2392.
Sarker, K.K., Hossain, A., Timsina, J., Biswas, S.K., Kundu, B.C., Barman, A., Murad, K.F.I., Akter, F., 2019. Yield and quality of potato tuber and its water productivity are influenced by alternate furrow irrigation in a raised bed system. Agric. *Water Manag*. 224, 105750. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105750.
SAS Institute. (2004): Statistical Analysis System Institute: StatView Reference Manual. – SAS Institute, Cary, NC.
Schachtman, D.P., Goodger, J.Q.D., 2008. Chemical root to shoot signaling under drought. *Trends Plant Sci*.

13, 281–287.
Sezen, S.M., Yazar, A., Kapur, B., Tekin, S., 2011b. Comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under Mediterranean climatic conditions. Agric. *Water Manage*. 98, 1153–1161.
Sezen, S.M., Yazar, A., Tekin, S., 2011a. Effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on yield and oil quality of sunflower in a Mediterranean environment. *IRRIG DRAIN*. 60, 499–508.
Shahnazari, A., Ahmadi, S.H., Lærke, P.E., Liu, F., Plauborg, F., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., Andersen, M.N., 2008. Nitrogen dynamics in the soil-plant system under deficit and partial root-zone drying irrigation strategies in potatoes. Eur. J. *Agron*. 28, 65–73.
Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Res*. 100, 117–124.
Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Res*. 100, 117–124.
Shahrokhnia, M.H., Sepaskhah, A.R., 2017. Physiologic and agronomic traits in safflowerunder various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization. Ind. *Crops Prod*. 95,126–139. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.10.021.
Shammout, M. W., Qtaishat, T., Rawabdeh, H., Shatanawi, M. (2018): Improving Water Use Efficiency under Deficit Irrigation in the Jordan Valley. Sustainability 10: 4317. DOI:10.3390/su10114317.
Shkolnika, I. M., Pigol'tsinaa, G. B., Efimov, S. V. (2019): Agriculture in the Arid Regions of Eurasia and Global Warming: RCM Ensemble Projections for the Middle of the 21st Century. *Russian Meteorology and Hydrology* 44(8): 540-547. ISSN 1068-3739.
Singh, S., Angadi, S.V., Grover, K., Begna, S., Auld, D., 2016a. Drought response andyield formation of spring safflower under different water regimes in thesemiarid Southern High Plains. Agric. *Water Manage*. 163, 354–362.
Soliman, M.A.M., Mahrous, N.M., Mahmoud, G.A., 2011. Effect of water deficit on yield and yield component of some safflower genotypes under saline soil conditions. Int. J. Acad. Res. 3, 1088–1095.
Stoll, M., Loveys, B., Dry, P., 2000. Hormonal changes induced by partial rootzonedrying of irrigated grapevine. J. Exp. Bot. 51, 1627–1634.
Tayebi, A., Farhvash, F., Mirshekari, B., Tarinejad, A.R., Yarnia, M., (2017). The effect of spraying salicylic acid shoots on some growth characteristics and performance of safflower (Carthamus tinctorius L.) under water stress. *Journal of plant ecophysiology*. 32:78-93.(In Persian)
Wang, Q., Huo, Z., Zhang, L., Wang, J., Zhao, Y., 2016. Impact of saline water irrigation on water use efficiency and soil salt accumulation for spring maize in arid regions of China. Agric. *Water Manag*. 163, 125–138.
Ward, F. A., Pulido-Velazquez, M. (2008): Water conservation in irrigation can increase water use. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 105(47): 18215-18220. DOI:10.1073/pnas.0805554105.
Wasson, A.P., Richards, R.A., Chatrath, R., Misra, S.C., Prasad, S.V.S., Rebetzke, G.J., Kirkegaard, J.A., Christopher, J., Watt, M., 2012. Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. J. Exp. Bot. 63, 3485–3498.
Yazar, A., Incekaya, C., Sezen, S.M., Jacobsen, S.E., 2015. Saline water irrigation of quinoa (Chenopodium quinoa) under Mediterranean conditions. Crop & Pasture Science. CSIRO PUBLISHINGhttps://doi.org/10.1071/CP14243.

The effect of deficit irrigation methods on growth characteristics and water productivity of safflower under arid climate

EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

Safflower (Carthamus tinctorius L.) is a multipurpose crop that is widely grown in arid and semi-arid regions of the world, mainly to produce high-quality edible oil rich in unsaturated fatty acids. This study aims to investigate the effects of regulated deficit irrigation (RDI) and partial root zone drying (PRD) methods on yield, yield components and water productivity efficiency of safflower.

Materials and Methods:

This study was conducted in the Experimental Research Station located in Agricultural and Natural Resources Sciences University of Khuzestan during the 2020 to 2021 and 2021 to 2022 growing seasons. The experiment was designed as a completely randomized block with one control treatment (Conventional irrigation) and 4 deficit irrigation treatments and in four replications.

Results and Discussion:

The findings of this research showed that deficit irrigation management had a significant reducing effect on plant height, number of seeds per pod, 1000 seed weight, seed yield, biological yield and oil yield. Conventional CI irrigation treatment with 3907.5 kg/ha showed higher seed yield than other treatments. The average seed yield in partial root zone drying treatment PRD80 and PRD60 was 2577.6 and 2280.3 kg/ha, respectively, as well as for deficit irrigation treatments RDI80 and RDI60, 3409.3 and 1671.4 kg/ha respectively. The highest oil yield related to CI treatment (993.6 kg/ha) was obtained. The results showed that there is a significant difference between deficit irrigation treatments in terms of water productivity efficiency index for seed yield, biological yield and oil yield. The highest value of total irrigation and precipitation productivity index $WP_{(Ir+P)}$ related to deficit irrigation treatment set RDI80 for oil yield (0.12 kg/m3), biological yield (1.42 kg/m3) and seed yield (0.49kg/m3) was obtained. Comparison of the averages showed the lowest value of $WP_{(Ir+P)}$ related to deficit irrigation treatment set RDI60 for oil yield (0.08 kg/m3), biological yield (0.89 kg/m3) and seed yield (0.30 kg/m3) was obtained. In comparison of deficit irrigation treatments with the same stress levels (RDI80 and PRD80), the highest seed yield (3.4 tons/ha) and oil yield (845.7 kg/ha) were obtained from RDI80 treatment. Also, comparing RDI60 and PRD60 treatments, the highest seed yield (2.2 tons/ha) and oil yield (584 kg/ha) were obtained from PRD60 treatment.

Conclusion:

The success in promoting and developing the cultivation of oilseeds in a specific country or region in terms of climate largely depends on the seed and oil yield of that plant. The global average yield of safflower is 822kg/ha. In this research, the yield in optimal conditions was about 3900 kg/ha (4.7 times the average yield). It seems that the selection of the appropriate variety and tolerant to the climatic conditions of the region, the selection of the optimal planting density, the appropriate amount and time of using fertilizer and irrigation are the factors to increase the yield, which are recommended to be observed in safflower cultivation. The purpose of applying deficit irrigation is to reach the maximum production capacity per unit of water consumption and to save water consumption, therefore, according to the results; it is possible to use the regulated deficit irrigation (RDI80) to reduce by 20% and the partial root zone drying (PRD60) root local recommended for 40% water saving for safflower cultivation in hot and dry areas with limited water resources.

Keywords: Safflower, Drought, Regulated deficit irrigation, Partial root-zone, Water productivity.