

Effect of methanol on yield, dry matter remobilization and grain filling process of wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigation withholding

F. Aghaei^{1*}, R. Seyed Sharifi², H. Narimani¹

1. Ph.D Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received 3 June 2021; Accepted 10 July 2021

Extended abstract

Introduction

In arid and semi-arid regions, drought stress as the main factor and salinity stress as a secondary factor reduces plant growth and yield. Water limitation can damage pigments and plastids, reduce chlorophyll a, b, rate and grain filling period. One of the important strategies for increasing carbon dioxide concentration in plants is using chemicals such as methanol that can increase the concentration of CO₂ in a plant and improves photosynthesis rate and growth under water deficit conditions. Methanol is considered as quasi-essential for plant growth and development, and alleviates toxic effects caused by various environmental stresses in plants. The aim of this study was to investigate the effects of methanol on the agro-physiological traits (i.e., chlorophyll content and grain filling period) and yield of wheat under water limitation condition

Material and method

A factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications at the research farm of Faculty of Agriculture and Natural Resources of University of Mohaghegh Ardabili, during 2015-2016. Factors experiment were included irrigation levels (full irrigation as control, irrigation withholding in 50% of booting and heading stages as severe and moderate water limitation respectively, according with 43 and 55 BBCH code) and methanol foliar application at four levels (foliar application with water as control and foliar application 10, 20 and 30% volume of methanol). Foliar application with methanol was done in two stage of period growth (Stem elongation and Flag leaf development).

Results and discussion

Results showed that the maximum contribution of dry matter remobilization from air parts (20.52%) and contribution of stem reserves in grain yield (16.42%) were obtained with irrigation withholding at booting stage and no foliar application. The maximum grain filling period and effective grain filling period (33.62 and 29.33 days respectively) were obtained in full irrigation and foliar application of 30% volume of methanol and its minimum was obtained at no foliar application under irrigation withholding in booting stage. Also, results showed that there were an increase about 46.98%, 194.17%, 37.54%,

* Corresponding author: Fatemeh Aghaei; E-Mail: f.ghaei1994@gmail.com



69.82% and 15.96% in grain yield, leaf area index, chlorophyll index, current photosynthesis and contribution of current photosynthesis in grain yield respectively in full irrigation and foliar application of 30% volume of methanol in comparison with no foliar application of methanol under irrigation withholding in booting stage. Based on the results this study, foliar application of 30% volume of methanol can be applied as a proper method to increase grain yield under water limitation conditions.

Keywords: Grain filling rate, Leaf area index, Methanol, Water limitation, Wheat

اثر متانول بر عملکرد، انتقال ماده خشک و فرایند پر شدن دانه گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط قطع آبیاری

فاطمه آقائی^{۱*}، رؤف سیدشریفی^۲، حامد نریمانی^۱

۱. دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: سرعت پر شدن دانه شاخص سطح برگ محدودیت آبی گندم	به منظور بررسی اثر محلول پاشی متانول بر عملکرد، انتقال ماده خشک و فرایند پر شدن دانه گندم تحت شرایط قطع آبیاری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل سطوح آبیاری (آبیاری کامل به عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰٪ مراحل غلاف رفتن و سنبله‌دهی به ترتیب به عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی بر اساس کد ۴۳ و ۵۵ مقیاس BBCH) و محلول پاشی متانول در چهار سطح (محلول پاشی با آب به عنوان شاهد و محلول پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ حجمی متانول) بود. محلول پاشی با متانول در دو مرحله ساقه‌دهی و ظهور برگ پرچم انجام شد. نتایج نشان داد بیشترین سهم انتقال ماده خشک از اندام‌های هوایی (۲۰/۵۲ درصد) و مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه (۱۶/۴۲٪) در قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن و عدم محلول پاشی به دست آمد. بیشترین طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه (به ترتیب ۳۳/۶۲ و ۲۹/۳۳ روز) در شرایط آبیاری کامل و در سطوح بالای متانول (۳۰٪ حجمی) و کمترین آن در عدم محلول پاشی و تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که افزایش ۱۹۴/۱۷، ۴۶/۹۸، ۳۷/۵۴، ۶۹/۸۲ و ۱۵/۹۶ درصدی به ترتیب در عملکرد دانه، شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل، میزان فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه در محلول پاشی ۳۰٪ حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل نسبت به عدم محلول پاشی در شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن وجود داشت. بر اساس نتایج این بررسی، محلول پاشی ۳۰٪ حجمی متانول می‌تواند به عنوان یک روش مناسب برای افزایش عملکرد دانه در شرایط محدودیت آبی به کار برده شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۹	
تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۲ ۱۰۰-۸۳(۱): ۱۶	

مقدمه

نماید (Khaliliv and Yarnia, 2015)، از این رو استفاده از موادی که بتواند منجر به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در گیاه شود به تثبیت عملکرد در شرایط کمبود آب کمک خواهد کرد (Ramirez et al., 2006). متانول ماده‌ای است که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، تأثیر قابل توجهی بر فیزیولوژی گیاهان دارد و با افزایش ظرفیت فتوسنتزی، باعث افزایش عملکرد گیاهان به خصوص در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود (Downie et al, 2004). کاربرد متانول سبب تولید دی‌اکسید کربن در برگ‌ها و در نتیجه تسریع

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که آثار مخرب و زیان‌آوری بر مراحل مختلف رشدی گندم داشته و می‌تواند رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف گندم را محدود کند (Eslami et al., 2012). در بررسی واکنش ارقام مختلف گندم به تنش خشکی بعد از گلدهی، معلوم شد که قطع آبیاری در این مرحله موجب کاهش عملکرد دانه، عملکرد زیستی و وزن هزار دانه شد (Momtazi, 2011). بر اساس گزارش‌های زیبک و همکاران (Zebic et al., 2003) افزایش غلظت دی‌اکسید کربن می‌تواند اثر ناشی از تنش آبی را خنثی

فتوسنتزی بیشتر از مبدأ به مقصد و در نتیجه افزایش عملکرد دانه را فراهم می‌سازد. برخی پژوهشگران بخشی از افزایش عملکرد دانه در کاربرد متانول را به بهبود مؤلفه‌های پر شدن دانه نسبت دادند (Seyed Sharifi and Seyed Sharifi, 2019). آسنک و همکاران (Asseng et al., 2003) اظهار داشتند که در هر محیطی سهم انتقال ماده خشک در عملکرد دانه به روابط مبدأ و مخزن در طول دوره پر شدن دانه مربوط می‌شود. به نظر می‌رسد که در شرایط مطلوب و دسترسی به منابع کافی، چون فتوسنتز جاری افزایش می‌یابد، در نتیجه تعادل مبدأ و مقصد تا حدود زیادی حفظ شده و مواد تولیدی مبدأ می‌تواند در مقصد مورداستفاده قرار گیرد. ولی در شرایط تنش، عدم دسترسی به عناصر غذایی ممکن است تعادل مبدأ و مقصد را به هم بزند و در چنین شرایطی قدرت مبدأ بیشتر از منبع بوده و به دلیل روابط فیزیولوژیکی موجود بین مبدأ و مقصد، منبع میزان انتقال ماده‌ی خشک را افزایش می‌دهد تا شاید بتواند بخشی از نیاز شدید مخازن (دانه‌ها) را تأمین کند (Seyed Sharifi and Haydari Siahkhalaki, 2016). ضمن آنکه محدودیت آبی در چنین شرایطی از طریق کاهش سطح برگ و در پی آن کاهش فتوسنتز جاری، موجب افزایش وابستگی عملکرد به فرآیندهای نظیر تسهیم انتقال مجدد ماده خشک در مرحله پر شدن دانه‌ها می‌شود (Haghjoo and Bagrani, 2015). در این راستا ماده خاکسار و همکاران (Madeh Khaksar et al., 2014) گزارش کردند با افزایش محدودیت آبی، سهم فتوسنتزی جاری در پر شدن دانه‌ها کاهش و در مقابل سهم انتقال مجدد مواد فتوسنتزی افزایش یافت.

محدودیت آبی در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور به دلیل ایجاد تنش در مراحل مختلف رشد زایشی موجب تسریع پیری، کاهش فتوسنتز جاری و طول دوره پر شدن دانه می‌شود. در این راستا به دلیل اهمیت متانول در کاهش و یا تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی و بررسی‌های محدود انجام شده در خصوص برهم‌کنش توأم این دو عامل، موجب شد تا اثر این عوامل بر مؤلفه‌های پر شدن دانه و سهم فرایند انتقال ماده خشک در عملکرد دانه گندم موردبررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و

فتوسنتز در گیاه می‌شود، از این رو به عنوان مبدأ کربن قابل استفاده است (Zbiec et al., 1999).

محللول پاشی متانول روی قسمت‌های هوایی گیاهان زراعی باعث افزایش عملکرد دانه، کاهش اثر تنش خشکی و کاهش نیاز آبی گیاهان می‌شود (Nonomura and Benson, 1992). نونومورا و بنسون (Nonomura and Benson, 1992) معتقدند که مهم‌ترین ویژگی و مزیت کاربرد متانول، جلوگیری و کاهش اثر تنش‌های القاشده به گیاهان زراعی در اثر کاهش تنفس نوری در آن‌هاست. راجالا و همکاران (Rajala et al., 1998) علت کاهش تنفس نوری در گیاهان تیمار شده با متانول را، به اکسیداسیون سریع متانول به دی‌اکسید کربن و ترکیب شدن آن با آنزیم ریبولوز ۱-۵ بیس فسفات کربوکسیلاز و کم شدن رقابت بین دی‌اکسید کربن با اکسیژن نسبت داده‌اند. محللول پاشی متانول به دلیل افزایش فعالیت فتوسنتزی، منجر به افزایش رشد رویشی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه‌ی سویا تحت تنش خشکی شد (Esazadeh Panjali Kharabasi et al., 2017). برخی پژوهشگران (Yordanov et al., 2003) اعلام کردند کاربرد متانول موجب افزایش محتوای کلروفیل برگ گندم شد و بهبود محتوای کلروفیل در طول دوره رشد به‌ویژه دوره پر شدن دانه می‌تواند با افزایش میزان آسیمیلاسیون و همچنین افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه (Tsunno et al., 1994) به افزایش وزن دانه کمک نماید. یخچالی و پاساری (Pasari and Yakhchali, 2015) در بررسی محللول پاشی متانول (شاهد، ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ حجمی) در نخود گزارش کردند که محللول پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد مانند تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف شد. محللول پاشی ۲۰ درصد حجمی متانول در بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) موجب افزایش شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه، سرعت رشد غلاف، راندمان مصرف تابش، افزایش عملکرد غلاف و دانه، افزایش وزن هزار دانه، تعداد غلاف و محتوای پروتئین دانه شد (Safarzade vishgahi et al., 2005).

عملکرد نهایی دانه را دو فرآیند فیزیولوژیک، یعنی فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد انباشته‌شده قبل از گلدهی تشکیل می‌دهند (Bardar et al., 2008). دوره پر شدن دانه یک جزء تعیین‌کننده زمان رسیدگی و مرحله اصلی تشکیل عملکرد است. طولانی بودن این دوره امکان انتقال مواد

محلول پاشی مرطوب شوند. در این راستا به هر کدام از محلول- های تهیه شده با متانول دو گرم در لیتر گلیسین به منظور جلوگیری از صدمات ناشی از سمیت متانول اضافه شد (Seyed Sharifi and Seyed Sharifi, 2019). اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی و بر اساس سطح مربوطه انجام شد. در این بررسی از رقم گندم کاسکوژن استفاده شد که رقمی پایلند، با تیپ رشد زمستانه و مقاوم به سرما و خوابیدگی است. وزن هزار دانه این رقم ۴۸ گرم، رنگ دانه آن زرد کهربایی و از نظر کیفیت نانوائی در گروه ارقام با کیفیت بسیار خوب قرار دارد. بذر این رقم از ایستگاه تحقیقات جهاد کشاورزی اردبیل تهیه شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول سه متر و با فاصله بین ردیفی ۲۰ سانتیمتر بود (Narimani et al., 2020). کاشت در عمق ۴-۳ سانتیمتری و با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است انجام شد. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک و مشخصات جوی محل اجرای آزمایش به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اردبیل اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل سطوح آبیاری (آبیاری کامل به عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰٪/ مرحله سنبله دهی و قطع آبیاری در ۵۰٪/ مرحله غلاف رفتن به ترتیب به عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی بر اساس کد ۵۵ و ۴۳ مقیاس BBCH) و محلول پاشی متانول در چهار سطح (محلول پاشی با آب به عنوان شاهد و محلول پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪/ حجمی متانول) بود. محلول پاشی با متانول در دو نوبت و در مراحل ساقه دهی و ظهور برگ پرچم بر اساس کد ۳۱ و ۳۹ مقیاس BBCH اعمال شد (Albrecht et al., 1995). با توجه به اینکه بهترین زمان محلول پاشی با متانول ساعت ۱۰ تا ۱۲ و در روشنایی است تا حداکثر فتوسنتز انجام شود و نقش متانول بر صفات مورد ارزیابی بهتر نمایان شود (Nonomura and Benson 1992)، از این رو همه تیمارها در این محدوده زمانی با استفاده از دستگاه سم پاش دستی بعد از محاسبه غلظت های مورد نظر و ترکیب آن با آب و گلیسین بر روی تمام قسمت های هوایی گندم، محلول پاشی شدند. طوری که تمام بخش های هوایی کاملاً به واسطه

جدول ۱. ویژگی های جوی در طول دوره رشدی (مأخذ: اداره کل هواشناسی استان اردبیل)

پارامترهای اقلیمی Parameters climatic	Oct مهر	Nov آبان	Dec آذر	Jan دی	Feb بهمن	Mar اسفند	Apr فروردین	May اردیبهشت	Jun خرداد	Jul تیر	Aug مرداد
بارندگی Rainfall (mm)	43.6	9.7	6.5	16.5	54.8	26.5	9.3	60.3	28.2	3.9	0.9
میانگین دما (°C) Temperature mean	11.8	11.7	3	4.6	0.6	7	9	12.3	16.8	21.5	25.3
جمع ساعات آفتابی Sunny hours	201.3	166.5	177.3	165.4	128.7	157.5	170.9	196.3	148.6	344.2	255.6
متوسط رطوبت نسبی Relative humidity mean (%)	72	64	70	67	77	73	66	71	71	60	69

جدول ۲. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

مشخصه Characteristic	عصاره اشباع SP	pH	بافت Texture	آهک Lime	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی O.C	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
مقادیر Amounts				----- % -----			----- mg/kg -----				
	49	7.8	Loam	14.4	23	42	35	0.62	0.06	8.29	202

خطوط اصلی هر واحد آزمایشی از یک هفته قبل از پر شدن دانه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، هر چهار روز یکبار برداشت نمونه با رعایت اثر حاشیه ای انجام گرفت. بوته های

برای برآورد میزان انتقال مجدد مواد از اندام های رویشی به دانه، از زمان پر شدن دانه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، نمونه برداری انجام شد. بدین ترتیب که در این مرحله در

در این رابطه $^{11}CCPG$ سهم نسبی فتوسنتز جاری در دانه برحسب درصد، CP میزان فتوسنتز جاری برحسب گرم در مترمربع و GY عملکرد دانه برحسب گرم در مترمربع است. در این روابط کاهش ناشی از تنفس در نظر گرفته نشده است و فرض شده است که تنفس برای شرایط محیطی مورد استفاده در این بررسی یکسان است. اهدایی و ونیز (Ehdaei and Wanies, 1996) هم در بررسی‌های مربوط به تنوع ژنتیکی انتقال مجدد در گندم، چنین فرضی را بکار برده‌اند.

پس از پایان دوره گلدهی و شروع دوره پر شدن دانه، در فواصل زمانی هر چهار روز یکبار، سه بوته به‌طور تصادفی انتخاب و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا دانه‌ها از سنبله جدا و شمارش شدند. سپس به مدت ۴۸ ساعت در آن الکتریکی تهویه‌دار در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفته و وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد (Ronanini et al., 2004). به‌منظور تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دوتکه‌ای) بر اساس رویه DUD و دستورالعمل Proc Nline نرم‌افزار SAS به‌صورت زیر استفاده شد.

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < T_0 \\ a + bt & t > T_0 \end{cases} \quad [Y]$$

در این رابطه GW وزن دانه، t زمان و b سرعت پر شدن دانه، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدأ است. با پردازش این مدل بر کلیه داده‌ها، ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به دست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره مؤثر پر شدن دانه از رابطه زیر استفاده شد (Ellis and Pieta-Filho, 1992).

$$EFP = MGW/b \quad [A]$$

در این رابطه EFP دوره مؤثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و b سرعت پر شدن دانه است.

برداشت‌شده به ساقه، برگ و دانه تفکیک شدند. پس از خشک کردن (قرار دادن در آن با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد تا زمان رسیدن به وزن خشک ثابت) به اندام‌های مختلف توزین، میزان انتقال ماده خشک و سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه از طریق روابط ۱ تا ۶ برآورد گردید (Barnett and Pearce, 1983).

$$DMT = DMA - DM \quad [1]$$

که در آن DMT^1 میزان انتقال ماده خشک کل برحسب گرم در مترمربع، DMA^2 حداکثر ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول و DM^3 ماده خشک اندام هوایی (به‌جز دانه) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

$$CDMAG = \left(\frac{DMT}{GY} \right) \times 100 \quad [2]$$

در این رابطه $CDMAG^4$ سهم فرایند انتقال مجدد ماده خشک کل در تشکیل دانه برحسب درصد، DMT میزان انتقال ماده خشک برحسب گرم در مترمربع و GY^5 عملکرد دانه برحسب گرم در مترمربع است.

$$SDMT = SDMM - SDMA \quad [3]$$

در این رابطه $SDMT^6$ میزان انتقال ماده خشک از ساقه برحسب گرم در مترمربع، $SDMA^7$ حداکثر وزن خشک ساقه در برداشت اول، $SDMM^8$ وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

$$CSAG = \left(\frac{SDMT}{GY} \right) \times 100 \quad [4]$$

در این رابطه $CSAG^9$ سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه برحسب درصد، SDMT میزان انتقال ماده خشک از ساقه برحسب گرم در مترمربع و GY عملکرد دانه برحسب گرم در مترمربع است.

$$CP = GY - DMT \quad [5]$$

در این رابطه CP^{10} میزان فتوسنتز جاری برحسب گرم در مترمربع، GY عملکرد دانه برحسب گرم در مترمربع و DMT میزان انتقال ماده خشک برحسب گرم در مترمربع است.

$$CCPG = (CP/GY) \times 100 \quad [6]$$

⁷ Stem Dry Matter at Anthesis

⁸ Stem Dry Matter at Maturity

⁹ Contribution of Stem Assimilates to Grain

¹⁰ Current photosynthesis

¹¹ Contribution Current photosynthesis in grain

¹ Dry Matter Translocation

² Dry Matter at Anthesis

³ Dry Matter at Maturity

⁴ Contribution of Dry Matter Assimilates to Grain

⁵ Grain Yield

⁶ Stem Dry Matter Translocation

درصد حجمی متانول (۰/۰۵۲ گرم) و حداقل آن تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن (۰/۰۴۳ گرم) و عدم محلول پاشی (۰/۰۴۵ گرم) به دست آمد (جدول ۵). احمدی و بیکر (Ahmadi and Baker, 2001) گزارش کردند دوره پر شدن دانه تحت تأثیر توقف عرضه مواد فتوسنتزی، کاهش محتوای آب دانه و یا توقف فعالیت متابولیکی مخزن در شرایط محدودیت آبی می‌تواند باشد. نعیمی و همکاران (Naeimi et al., 2013) اظهار داشتند در مرحله رشد رویشی برگ‌های جوان به علت جوانی و ضخامت کم قادر هستند متانول را سریع‌تر به درون برگ‌های خود نفوذ داده و بدین ترتیب این ترکیب را سریع‌تر وارد چرخه فتوسنتزی خود کنند؛ بنابراین، از یک طرف با ایجاد فتوسنتز بالا، موجب افزایش رشد و توسعه برگ‌ها شده و از طرف دیگر با افزایش ذخیره‌ی مواد فتوسنتزی قادر خواهند بود تا سرعت پر شدن را در طول دوره پر شدن دانه‌ها، افزایش دهند. برخی محققان اظهار داشتند که گیاه با دریافت متانول می‌تواند میزان هدر رفت کربن در اثر تنفس نوری را جبران نموده (Downie et al., 2004) و بدین ترتیب با افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها، سرعت پر شدن دانه را افزایش دهند (Naeimi et al., 2013). نعیمی و همکاران (Naeimi et al., 2013) بیان کردند که گیاه در محلول پاشی ۲۵ درصد حجمی متانول علاوه بر برآورد نیازهای خود، مقداری از کربن مازاد را به‌عنوان مواد فتوسنتزی ذخیره می‌کند، در نتیجه در مرحله‌ی پر شدن دانه‌ها با افزایش انتقال مواد فتوسنتزی، دوره پر شدن دانه‌ها افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد دی‌اکسید کربن حاصل از اکسیداسیون سریع متانول با افزایش غلظت CO₂ در بافت‌های فتوسنتز کننده، به دلیل بالا بردن فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو و کاهش تنفس نوری (Gout et al., 2000) با انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی از مبدأ به مقصد و طولانی شدن دوره پر شدن دانه می‌تواند توجیه‌کننده بخشی از افزایش وزن دانه باشد. بخشی از افزایش فرایندهای پر شدن دانه از جمله طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه در شرایط آبیاری کامل و محلول پاشی ۳۰٪ حجمی متانول می‌تواند ناشی از اثر این ترکیب تیماری بر افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۲ و جدول ۸) باشد.

سیدشریفی و سیدشریفی (Seyed Sharifi and Seyed Sharifi, 2019) بخشی از افزایش وزن دانه به‌واسطه مصرف متانول را به بهبود فرایندهای پر شدن دانه (سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه) نسبت دادند. افزایش

بر اساس تجزیه رگرسیونی مشخص شد که شاخص سطح برگ از معادله درجه‌دو تبعیت می‌کند و با استفاده از رابطه زیر برآورد شد (Karimi and Siddique, 1991).

$$LAI = e^{(a + bt + ct^2)} \quad [9]$$

در این رابطه t فاصله زمانی بین مراحل نمونه‌برداری و a و b و c ضرایب معادله هستند. ده روز بعد از اعمال آخرین قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502، مینولتای ژاپن)، شاخص سبزی‌نگی برگ پرچم اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه با برداشت از سطحی معادل ۰/۲ مترمربع (با رعایت اثر حاشیه‌ای از دو خط اصلی هر واحد آزمایشی به طول ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیفی ۴۰ سانتی‌متر) برآورد شد. تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS و Excel و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

فرایندهای پر شدن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول پاشی متانول و سطوح آبیاری و اثر برهم‌کنش این دو عامل بر تمامی مؤلفه‌های پر شدن دانه (اعم از سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بررسی روند تغییرات پر شدن دانه نشان داد که الگوی نمو بذر در تمامی صفات مورد بررسی مشابه است (شکل ۱). به‌این ترتیب ابتدا وزن دانه (رسیدگی وزنی) به‌صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید پس از این مرحله وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبوده و به‌صورت یک خط افقی درآمد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه (به ترتیب ۳۳/۶۲ و ۲۹/۳۳ روز) در شرایط آبیاری کامل و در سطوح بالای متانول (۳۰ درصد حجمی) و کم‌ترین آن در تیمار عدم محلول پاشی و تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن به دست آمد (جدول ۶). همچنین بیش‌ترین سرعت پر شدن دانه (۰/۰۲۰۳ گرم در روز) در محلول پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و کم‌ترین آن (۰/۰۱۸ گرم در روز) در عدم محلول پاشی متانول در شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن به دست آمد (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر وزن دانه در شرایط آبیاری کامل (۰/۰۵۲ گرم) و محلول پاشی ۳۰

تأخیر در پیری برگ، موجب افزایش مؤلفه‌های پر شدن دانه می‌شود (Tsuno et al., 1994). پاک‌نژاد و همکاران (Paknejad et al., 2006) اظهار داشتند که تنش خشکی به دلیل تسریع پیری، موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه و کاهش وزن دانه می‌شود. اوک و همکاران (Ouk et al., 2003) اظهار داشتند خشکی موجب کاهش طول دوره‌ی پر شدن دانه گیاه می‌شود ولی با تأمین آب کافی، طول دوره‌ی پر شدن دانه بیشتر شد.

محتوای کلروفیل (جدول ۶) در کاربرد سطوح بالای متانول در شرایط آبیاری کامل، می‌تواند توجیه‌کننده بخشی از افزایش مؤلفه‌های پر شدن دانه باشد؛ زیرا با افزایش محتوای کلروفیل، میزان آسیمیلاسیون افزایش یافته و می‌تواند موجب بالا رفتن نقل‌وانتقال مواد به دانه (Murchie et al., 2002) و درنهایت به افزایش وزن تک بذر، سرعت و دوره مؤثر پر شدن دانه منجر شود. در این راستا برخی پژوهشگران اظهار داشتند که افزایش میزان کلروفیل در طول دوره رشد به دلیل

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر متانول و سطوح آبیاری بر فرایندهای پر شدن دانه، شاخص کلروفیل، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گندم
 Tabell 3. Analysis of variance the effects of methanol and irrigation levels on grain filling component, chlorophyll index, 1000-grain weight and grain yield of wheat

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	حداکثر وزن دانه Maximum grain weight	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period	وزن هزار دانه 1000- grain weight	عملکرد دانه Grain yield	شاخص کلروفیل SPAD
تکرار Replication	2	0.0000073**	0.0000017**	307.974**	489.78**	3.196**	204169.9**	1.32 ^{ns}
سطوح آبیاری Irrigation(I)	2	0.000301**	0.000000022**	52.234**	25.277**	88.111**	41068.1**	161.47**
متانول Methanol(M)	3	0.000073**	0.000000027**	5.879**	2.71**	17.487**	52417.6**	40.57**
I×M	6	0.0000016 ^{ns}	0.0000000021**	1.494**	1.696**	0.380*	2267.8**	13.56*
خطا Error	22	0.00000098	0.00000000017	0.186	0.083	0.140	306.6	5.58

ns, * and ** are non-significant, significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively.

تنفس نوری می‌شود (Nonomura and Benson, 1992). از این رو با کاهش تنفس نوری، پراکسید هیدروژن تولید شده در پراکسی‌زوم کاهش یافته (Simova-Stoilova et al., 2008) و صدمات وارده بر کلروفیل نیز کاهش می‌یابد. کیوانلو و آرمین (Armin and Keyvanloo, 2015) در بررسی محلول پاشی غلظت‌های مختلف متانول (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ حجمی) در ذرت، بیشترین شاخص کلروفیل را در محلول-پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول گزارش کردند.

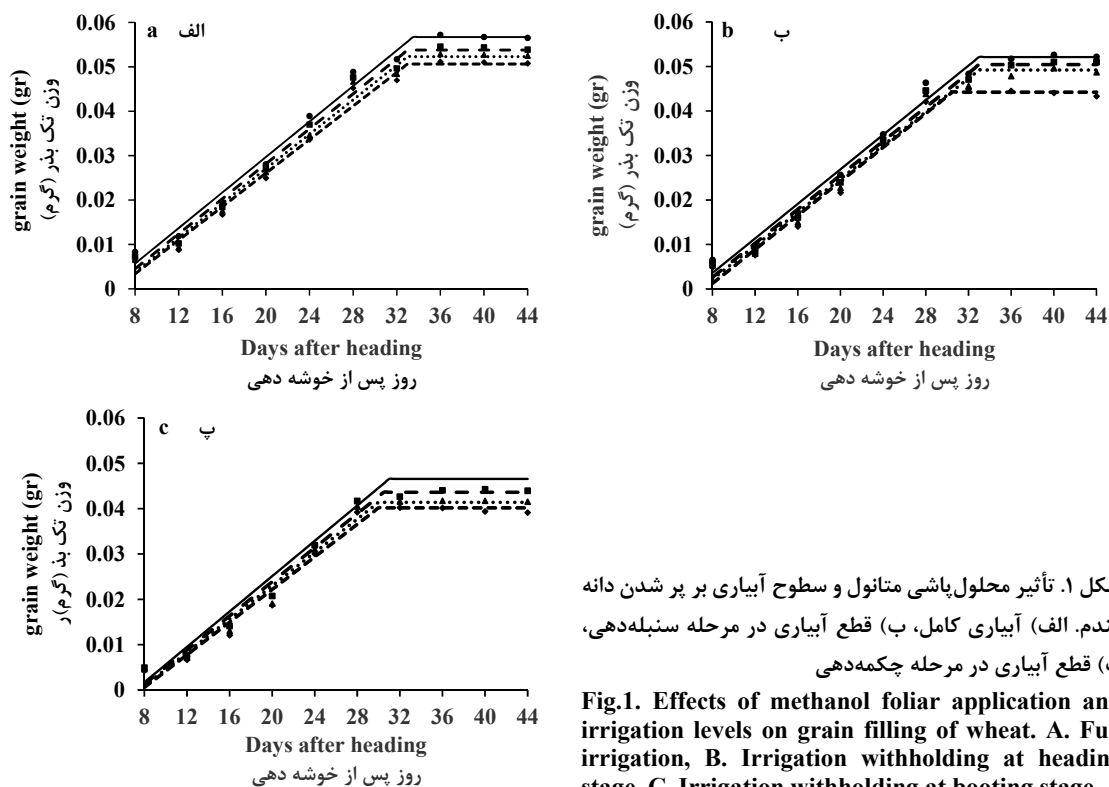
میزان انتقال ماده خشک از کل اندام هوایی و انتقال مجدد از ساقه و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه
 مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین میزان انتقال ماده خشک از کل اندام هوایی و ساقه (به ترتیب ۹۱/۷۷ و ۷۱/۰۲ گرم در مترمربع) در شرایط عدم محلول پاشی با متانول به دست آمد. روند مشابهی نیز در شرایط قطع آبیاری در مرحله

شاخص کلروفیل

بر اساس مقایسه میانگین‌ها بیشترین شاخص کلروفیل (۵۷/۵۹) در محلول پاشی ۳۰٪ حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن (۴۱/۸۷) در عدم محلول پاشی تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن به دست آمد (جدول ۶). کاهش در کلروفیل در اثر تنش خشکی به علت افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول است که این رادیکال‌ها موجب پراکسیداسیون و تجزیه این رنگ‌دانه‌ها می‌شوند (Simova-Stoilova et al., 2008). اثر مفید کاربرد متانول بر افزایش شاخص کلروفیل را می‌توان به یکی از نقش‌های مهم محلول پاشی متانول در کاهش اثر تنش‌های القاشده به گیاهان زراعی در اثر کاهش تنفس نوری در آن‌ها نسبت داد (Downie et al., 2004). با توجه به اینکه ۲۵ درصد از کربن گیاه صرف تنفس نوری می‌شود و محلول پاشی متانول منجر به افزایش غلظت CO_2 درون سلولی و کاهش

تعادل مبدأ و مقصد تا حدود زیادی حفظ شده و مواد تولیدی منبع می‌تواند در مقصد مورد استفاده قرار گیرد. ولی در شرایط محدودیت آبی (به‌خصوص در قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن) به دلیل دسترسی ناکافی به آب و CO_2 ، تعادل مبدأ و مقصد به‌هم‌خورده و در چنین شرایطی قدرت مقصد بیش‌تر از منبع شده و به دلیل روابط فیزیولوژیکی موجود بین مبدأ و مقصد، منبع میزان انتقال ماده‌ی خشک را افزایش می‌دهد تا شاید بتواند بخشی از نیاز شدید مقصد (دانه‌ها) را برآورده نماید (Abasspour, 2011). اهدایی و وینز (Ehdaie and Waines, 1996) گزارش کردند که انتقال مجدد در شرایط تنش از میانگین انتقال در شرایط آبیاری مطلوب بیشتر است. آباندا و همکاران (Abanda et al., 2006) نشان دادند که CO_2 حاصل از متانول با کاهش تنفس نوری ضمن افزایش رشد گیاه و شاخص سطح برگ منجر به افزایش دوره فعال فتوسنتزی می‌شود.

غلاف رفتن به دست آمد. طوری که بیش‌ترین میزان انتقال ماده خشک از کل اندام هوایی و ساقه (به ترتیب ۹۴/۲۲ و ۷۶/۷۱ گرم در مترمربع) در شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن به دست آمد (جدول ۵). کمترین میزان انتقال ماده خشک از کل اندام هوایی و ساقه (به ترتیب ۷۱/۵۱ و ۵۶/۸۷ گرم در مترمربع) در محلول‌پاشی با مقادیر بالای متانول و در شرایط آبیاری کامل (به ترتیب ۶۸/۹۵ و ۴۹/۵۹ گرم در مترمربع) به دست آمد (جدول ۵). بدیهی است که میزان انتقال ماده خشک و سهم فرآیند در عملکرد دانه، بیش‌تر تحت تأثیر روابط مبدأ و مقصد و شرایط محیطی قرار می‌گیرد (Seyed Sharifi and Nazarly, 2014). به نظر می‌رسد که در شرایط آبیاری کامل یا محلول‌پاشی با مقادیر بالای متانول به دلیل ایجاد شرایط بهینه در دسترسی به آب و CO_2 کافی و افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۲ و جدول ۸) موجب می‌شود فتوسنتز جاری افزایش یابد، در نتیجه



شکل ۱. تأثیر محلول‌پاشی متانول و سطوح آبیاری بر پر شدن دانه گندم. الف) آبیاری کامل، ب) قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی، پ) قطع آبیاری در مرحله چکمه‌دهی

Fig.1. Effects of methanol foliar application and irrigation levels on grain filling of wheat. A. Full irrigation, B. Irrigation withholding at heading stage, C. Irrigation withholding at booting stage

مشارکت ذخایر ساقه و میزان انتقال مجدد از اندام هوایی در عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس تأثیر سطوح آبیاری و محلول‌پاشی متانول و اثر برهم‌کنش این دو عامل بر سهم

خوردن تعادل مبدأ و مقصد محسوب شود و به نظر می‌رسد در چنین شرایطی منبع میزان انتقال ماده‌ی خشک را افزایش می‌دهد تا شاید بتواند بخشی از نیاز شدید مقصد (دانه‌ها) را برآورده نماید (Kheirizadeh-Arough, 2015). یانگ و ژانگ (Yang and Zhang, 2006) علت اصلی افزایش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به دانه را در شرایط محدودیت آبی، به تحریک پیری برگ نسبت دادند ضمن آنکه در چنین شرایطی افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده از طریق افزایش انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای به جبران کاهش فتوسنتز ناشی از محدودیت آبی کمک می‌کنند. ولی دی‌اکسید کربن حاصل از اکسیداسیون سریع متانول، با افزایش غلظت CO₂ در بافت‌های فتوسنتزکننده به دلیل بالا بردن فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو و کاهش تنفس نوری (Gout et al., 2000)، ضمن بهبود فتوسنتز جاری (جدول ۶) امکان انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی از مبدأ به مقصد را فراهم کرده و موجب می‌شود تحت چنین شرایطی سهم انتقال ماده خشک در عملکرد دانه کاهش یابد.

داد که با افزایش شدت تنش، سهم مشارکت ذخایر ساقه و میزان انتقال مجدد از کل اندام هوایی در عملکرد دانه افزایش یافت، طوری که بیش‌ترین مشارکت ذخایر ساقه و سهم فرایند انتقال مجدد از کل اندام هوایی (به ترتیب ۱۶/۴۱ و ۲۰/۵۲٪) در عدم محلول‌پاشی و قطع آبیاری در مرحله آبستنی و کم‌ترین آن‌ها (به ترتیب ۵/۷۷ و ۷/۸۳٪) در محلول‌پاشی ۳۰٪ حجمی متانول و در شرایط آبیاری کامل به دست آمد (جدول ۶). به نظر می‌رسد که در شرایط آبیاری کامل و کاربرد متانول به دلیل سهولت دسترسی گیاه به آب و CO₂ کافی، چون فتوسنتز جاری افزایش می‌یابد (جدول ۶)، در نتیجه تعادل مبدأ و مخزن حفظ‌شده و مواد تولیدی مبدأ می‌تواند در مقصد مورد استفاده قرار گیرد، طوری که نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر هر دو عامل مورد بررسی بر شاخص سطح برگ (شکل ۲ و جدول ۸) و میزان فتوسنتز جاری (جدول ۶) حاکی از آن است که در شرایط محدودیت آبی (قطع آبیاری در مرحله آبستنی و سنبله‌دهی) و عدم کاربرد متانول، شاخص سطح برگ و میزان فتوسنتز جاری کاهش‌یافته و همین موضوع می‌تواند از دلایل اصلی برهم

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی متانول و سطوح آبیاری بر انتقال ماده خشک گندم

Tabell 4. Analysis of variance for the effects of methanol foliar application and irrigation levels on dry matter remobilization of wheat

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	انتقال ماده خشک Dry matter remobilization	سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه Contribution of remobilization in grain yield	میزان انتقال مجدد از ساقه Dry matter remobilization from stem
Replication	تکرار	2	164.95*	66.24**	13.71 ^{ns}
Irrigation (I)	سطوح آبیاری	2	1918.27**	118.06**	2220.19**
Methanol (M)	متانول	3	694.57**	81.72**	327.02**
I×M	آبیاری × متانول	6	5.29 ^{ns}	2.22*	0.86 ^{ns}
Error	خطا	22	37.88	0.705	6.80

Table 4. Continued

جدول ۴. ادامه

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه contribution of stem reserve in grain yield	میزان فتوسنتز جاری Current photosynthesis	سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه contribution of stem reserve in grain yield
Replication	تکرار	2	57.63**	19971.34**	66.24**
Irrigation (I)	سطوح آبیاری	2	110.07**	59818.08**	118.06**
Methanol (M)	متانول	3	45.97**	65155.00**	81.72**
I×M	آبیاری × متانول	6	1.54**	2178.89**	2.22*
Error	خطا	22	0.20	441.84	0.70

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متانول و سطوح آبیاری بر انتقال ماده خشک، میزان انتقال مجدد از ساقه و حداکثر وزن دانه گندم
Table 5. Means comparison of the effects of methanol and irrigation levels on dry matter remobilization, dry matter remobilization from stem and maximum of grain weight of wheat

	کل انتقال مجدد ماده خشک Whole plant dry matter remobilization	میزان انتقال مجدد از ساقه Dry matter remobilization from stem	حداکثر وزن دانه Maximum of grain weight
Methanol متانول	-----g. m ⁻² -----		g
M1	91.77 ^a	71.02 ^a	0.045 ^d
M2	84.67 ^b	65.65 ^b	0.048 ^c
M3	77.48 ^c	61.45 ^c	0.049 ^b
M4	71.51 ^c	56.87 ^d	0.052 ^a
LSD	6.01	2.55	0.001
Irrigation levels سطوح آبیاری			
I1	68.95 ^c	49.59 ^c	0.053 ^a
I2	80.91 ^b	64.95 ^b	0.049 ^b
I3	94.22 ^a	76.71 ^a	0.043 ^c
LSD	5.21	2.20	0.0008

I1، I2 و I3: به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مراحل سنبله‌دهی و آبدستی؛ M1، M2، M3 و M4: به ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

I₁, I₂ and I₃ are full irrigation, irrigation withholding at heading and booting stages respectively; M₁, M₂, M₃ and M₄ are non-foliar application and foliar application of 10, 20 and 30% volume of methanol respectively.

Means with different letters express significant differences based on LSD test

گرده‌افشانی تا حدودی امکان‌پذیر است. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی متانول با افزایش دسترسی گیاه به CO₂ منجر به کاهش تنفس نوری (Nonomura and Benson, 1992) و بهبود فتوسنتز می‌شود. بررسی‌های مختلف نشان داده‌اند رشد و عملکرد گیاهان زراعی سه کربنه با محلول‌پاشی متانول افزایش پیدا نموده و متانول به‌عنوان یک مبداء کربنی به افزایش ظرفیت فتوسنتزی آن‌ها کمک می‌کند (Mirakhori et al., 2009).

شاخص سطح برگ

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۷) نشان داد که اثر هر دو تیمار موردبررسی در تمامی مراحل نمونه‌برداری بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود. تغییرات شاخص سطح برگ در پاسخ به فاکتورهای موردبررسی در طول فصل رشد برای تمامی تیمارها روند نسبتاً مشابهی داشت، طوری که در ابتدای فصل رشد میزان این شاخص با شیب کم و بعد از آن به سرعت افزایش یافت و سپس در انتهای فصل رشد به نظر می‌رسد به دلیل افزایش سن گیاه، زرد شدن و ریزش برگ‌ها، روند نزولی مشاهده شد (جدول ۸). بیش‌ترین شاخص سطح برگ (۳/۰۳) در محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول در

میزان فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد تأثیر سطوح آبیاری و محلول‌پاشی متانول و اثر این دو عامل بر میزان فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین میزان فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه (به ترتیب ۷۰۴/۳۳ گرم در مترمربع و ۹۲/۱۶٪) در محلول‌پاشی ۳۰٪ حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل و کم‌ترین آن‌ها (به ترتیب ۴۱۴/۷۳ گرم در مترمربع و ۷۹/۴۷٪) در عدم محلول‌پاشی و قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن به دست آمد (جدول ۶). مودج و همکاران (Modhej et al., 2011) بیان داشتند باوجود اینکه در شرایط بهینه، فتوسنتز جاری بیش‌ترین سهم را در وزن دانه ژنوتیپ‌های گندم دارد، ولی در برخی پژوهش‌ها مشخص شده است که سهم توزیع مجدد مواد فتوسنتزی به دانه‌ها در شرایط تنش خشکی و گرمای پایان فصل افزایش می‌یابد، اگرچه در شرایط نامساعد محیطی پایان فصل، احتمال کاهش میزان توزیع مجدد به دلیل کاهش میزان وزن خشک اندام‌های رویشی وجود دارد، ولی جبران اثر منفی خشکی بر میزان تولید جاری مواد فتوسنتزی، از طریق افزایش سهم توزیع مجدد مواد ذخیره‌شده در مراحل قبل از

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متانول و سطوح آبیاری بر مؤلفه‌های پر شدن دانه، انتقال ماده خشک، شاخص کلروفیل، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گندم

Tabell 6. Means Comparison the effect of methanol and irrigation levels on grain filling component, dry matter remobilization, chlorophyll index, 1000-grain weight and grain yield of wheat

ترکیب تیماری Treatment combination	سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد	سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه	میزان فتوسنتز جاری	سهم نسبی فتوسنتز جاری در عملکرد دانه	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
	Contribution of remobilization in grain yield %	contribution of stem reserve in grain yield	Current photosynthesis	Contribution Current photosynthesis in grain yield	1000-grain weight g	Grain yield g.m ⁻²
I ₁ ×M ₁	12.83 ^d	9.27 ^f	558.87 ^d	87.16 ^c	46.68 ^{cd}	638.7 ^c
I ₁ ×M ₂	10.30 ^e	7.50 ^g	640.73 ^{bc}	89.69 ^b	47.30 ^c	712.5 ^b
I ₁ ×M ₃	8.99 ^{ef}	6.45 ^h	692.07 ^a	91.00 ^{ab}	48.03 ^b	758.2 ^a
I ₁ ×M ₄	7.83 ^f	5.77 ^h	704.33 ^a	92.16 ^a	49.18 ^a	762.4 ^a
I ₂ ×M ₁	17.24 ^b	13.80 ^c	448.77 ^{fg}	82.75 ^e	42.65 ^g	540.3 ^{ef}
I ₂ ×M ₂	14.88 ^d	11.68 ^d	502.57 ^e	85.11 ^d	44.16 ^f	588.1 ^d
I ₂ ×M ₃	11.85 ^d	9.77 ^{ef}	580.60 ^d	88.14 ^c	45.35 ^e	655.7 ^c
I ₂ ×M ₄	9.94 ^e	8.00 ^g	675.20 ^{ab}	90.05 ^b	46.55 ^d	746.7 ^a
I ₃ ×M ₁	20.52 ^a	16.42 ^a	414.73 ^g	79.47 ^f	40.87 ⁱ	518.7 ^f
I ₃ ×M ₂	17.96 ^b	14.66 ^b	451.67 ^f	82.03 ^e	41.83 ^h	548.4 ^e
I ₃ ×M ₃	14.26 ^c	11.80 ^d	558.77 ^d	85.73 ^d	42.56 ^g	650 ^c
I ₃ ×M ₄	12.26 ^d	10.20 ^e	621.63 ^c	87.73 ^c	44.34 ^f	706.6 ^b
LSD	1.42	0.76	35.59	1.42	0.63	29.653

Table 6. Continued

جدول ۶. ادامه

ترکیب تیماری Treatment combination	شاخص کلروفیل SPAD	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate g.day ⁻¹	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period day	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period day	معادله برازش شده Estimated Equation
	I ₁ ×M ₁	48.67 ^{bc}	0.00189 ^{ef}	27.72 ^{bcd}	33.16 ^{ab}
I ₁ ×M ₂	50.65 ^b	0.00194 ^d	27.95 ^{bc}	33.22 ^{ab}	Y=0.00194x-0.0117
I ₁ ×M ₃	49.14 ^{bc}	0.00197 ^c	28.42 ^b	33.24 ^{ab}	Y=0.00197x-0.0112
I ₁ ×M ₄	57.59 ^a	0.002 ^b	29.33 ^a	33.62 ^a	Y=0.002x-0.0103
I ₂ ×M ₁	47.99 ^{bcde}	0.00191 ^e	24.36 ^g	30.40 ^e	Y=0.00191x-0.014
I ₂ ×M ₂	45.18 ^{cdef}	0.00188 ^f	27.07 ^{de}	33.06 ^b	Y=0.00188x-0.0128
I ₂ ×M ₃	46.56 ^{cde}	0.00191 ^e	27.35 ^{cd}	33.17 ^{ab}	Y=0.00191x-0.00126
I ₂ ×M ₄	48.48 ^{bcd}	0.00203 ^a	26.53 ^e	31.77 ^c	Y=0.00194x-0.0119
I ₃ ×M ₁	41.87 ^f	0.00180 ^h	23.43 ^h	29.82 ^f	Y=0.0018x-0.0138
I ₃ ×M ₂	44.65 ^{def}	0.00184 ^g	23.81 ^{gh}	30.21 ^{ef}	Y=0.00184x-0.0138
I ₃ ×M ₃	44.23 ^{ef}	0.00188 ^f	24.24 ^g	30.53 ^e	Y=0.00188x-0.0137
I ₃ ×M ₄	46.20 ^{cde}	0.00195 ^{cd}	25.25 ^f	31.12 ^d	Y=0.00195x-0.0139
LSD	4.00	0.000002	0.73	0.48	-

I₁, I₂ و I₃: به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مراحل سنبله‌دهی و آبستنی؛ M₁, M₂, M₃ و M₄: به ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول.

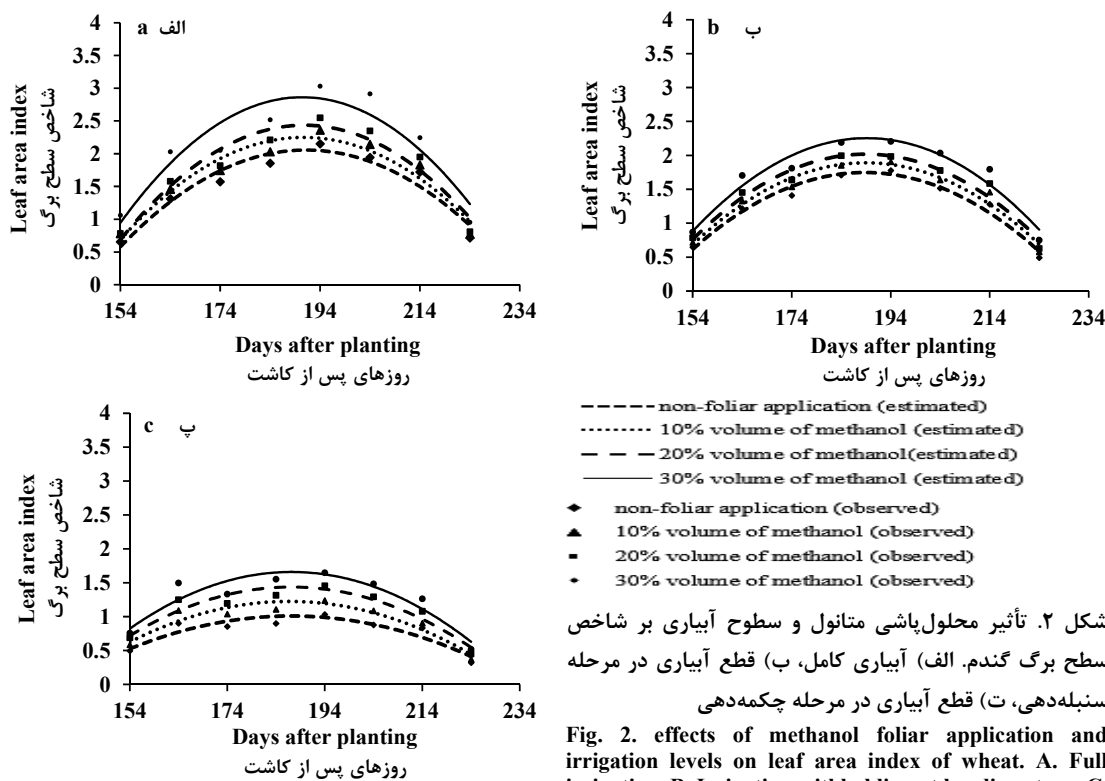
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند

I₁, I₂ and I₃ are full irrigation, irrigation withholding at heading and booting stages respectively; M₁, M₂, M₃ and M₄ are non-foliar application and foliar application of 10, 20 and 30% volume of methanol respectively.

Means with different letters express significant differences based on LSD test

ساخت هورمون‌های اکسین و سایتوکینین توسط باکتری میتوتروفیک موجود روی سطح برگ‌های گیاهان، باعث افزایش سطح برگ مؤثر گیاهان می‌شود (Ivanova et al., 2001). بخشی از افزایش شاخص سطح برگ در گیاهان تیمار شده با متانول می‌تواند با افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز و افزایش آسیمیلاسیون نیتروژن مرتبط باشد (Abanda et al., 2006). زیرا که با افزایش میزان نیتروژن به دلیل افزایش قابل توجه اندازه و تعداد برگ، موجب می‌شود که مقدار نور جذب‌شده و به تبع از آن سطح برگ نیز افزایش یابد (Muchow, 1990).

شرایط آبیاری کامل در ۱۹۴ روز پس از کاشت و کم‌ترین آن (۰/۳۲۳) در عدم محلول‌پاشی متانول تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن در ۲۲۴ روز پس از کاشت به دست آمد (شکل ۲ و جدول ۸). بخشی از کاهش شاخص سطح برگ در شرایط محدودیت آبی را می‌توان به تسریع پیری برگ‌ها و عدم توانایی آن‌ها در ساخت مواد فتوسنتزی نسبت داد. نتایج مشابهی نیز توسط خلیل‌زاده و همکاران (Khalilzadeh et al., 2017) گزارش شده است. کاربرد متانول منجر به بهبود شاخص سطح برگ شد. متانول عمدتاً از طریق به تأخیر انداختن پیری برگ‌ها و نیز تحریک افزایش



شکل ۲. تأثیر محلول‌پاشی متانول و سطوح آبیاری بر شاخص سطح برگ گندم. الف) آبیاری کامل، ب) قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی، ت) قطع آبیاری در مرحله چکمه‌دهی

Fig. 2. effects of methanol foliar application and irrigation levels on leaf area index of wheat. A. Full irrigation, B. Irrigation withholding at heading stage, C. Irrigation withholding at booting stage

۶). بخشی از کاهش وزن هزار دانه را می‌توان به کاهش طول دوره پر شدن دانه نسبت داد (شکل ۱). بدین‌صورت که آبیاری کامل با افزایش طول دوره پر شدن دانه موجب می‌شود که مواد بیشتری در دانه‌ها ذخیره‌شده و از این طریق می‌تواند موجب افزایش وزن هزار دانه شود. فریدریک و همکاران (Fredrick et al., 1990) اظهار داشتند که در شرایط محدودیت آبی به دلیل کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه، وزن نهایی دانه‌ها کاهش یافته و همین موضوع موجب می‌شود

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول‌پاشی متانول، سطوح آبیاری و اثر برهم‌کنش این دو عامل بر وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین وزن هزار دانه (۴۹/۱۸ گرم) در محلول‌پاشی ۳۰٪ حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل و کم‌ترین آن (۴۰/۷۸ گرم) در عدم محلول‌پاشی و تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی به دست آمد (جدول

که وزن هزار دانه نیز کم شود. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی متانول به دلیل افزایش دسترسی گیاه به CO₂ و افزایش فتوسنتز (Nonomura and Benson, 1992) و کاهش تنفس نوری، موجب افزایش وزن دانه و به تبع از آن افزایش وزن هزار دانه شده است. دیویس و همکاران (Davis et al., 2009) نشان دادند که وزن صد دانه توده‌های مختلف نخود محلول‌پاشی شده با متانول افزایش یافته و کمترین وزن صد دانه را در عدم کاربرد متانول گزارش کردند.

جدول ۷. تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی متانول و سطوح آبیاری بر شاخص سطح برگ گندم

Table 7. Analysis of variance the effects of methanol foliar application and irrigation levels on leaf area index of wheat

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	مراحل نمونه‌برداری (روز پس از کاشت) Sampling stages (days after planting)							
			154	164	174	184	194	204	214	224
Replication	تکرار	2	0.1045**	0.052**	0.291**	0.160**	0.364**	0.437**	0.231**	0.008**
Irrigation levels (I)	سطوح آبیاری متانول	2	0.1082**	0.506**	1.516**	2.872**	4.174**	3.981**	2.527**	0.471**
Methanol (M)	آبیاری × متانول	3	0.1382**	0.589**	0.326**	0.590**	0.666**	0.800**	0.398**	0.086**
I×M	خطا	6	0.0079*	0.010 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.033*	0.038**	0.003 ^{ns}	0.001 ^{ns}
Error		22	0.0032	0.007	0.004	0.011	0.009	0.008	0.005	0.0016

ns, * and ** are non-significant, significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively. ns, * and ** are non-significant, significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively.

جدول ۸. مقایسه میانگین محلول‌پاشی متانول در سطوح آبیاری بر شاخص سطح برگ گندم

Table 8. Means comparison foliar application of methanol × irrigation levels on leaf area index of wheat

ترکیب تیماری Treatment combination	مراحل نمونه‌برداری (روز پس از کاشت) Sampling stages (days after sowing)							
	154	164	174	184	194	204	214	224
I ₁ ×M ₁	0.655 ^{ef}	1.312 ^{de}	1.571 ^d	1.855 ^{cd}	2.151 ^d	1.945 ^d	1.722 ^c	0.714 ^{bc}
I ₁ ×M ₂	0.780 ^{bcd}	1.457 ^{cd}	1.744 ^{bc}	2.03 ^{bc}	2.359 ^c	2.140 ^c	1.828 ^c	0.770 ^{bc}
I ₁ ×M ₃	0.781 ^{bc}	1.580 ^{bc}	1.817 ^b	2.211 ^b	2.548 ^b	2.348 ^b	1.951 ^b	0.808 ^b
I ₁ ×M ₄	1.059 ^a	2.028 ^a	2.051 ^a	2.519 ^a	3.03 ^a	2.914 ^a	2.245 ^a	0.954 ^a
I ₂ ×M ₁	0.648 ^{ef}	1.217 ^{ef}	1.410 ^e	1.708 ^{de}	1.778 ^{fg}	1.516 ^{fg}	1.280 ^f	0.492 ^f
I ₂ ×M ₂	0.717 ^{cde}	1.327 ^{de}	1.536 ^d	1.853 ^{cd}	1.905 ^{ef}	1.637 ^{ef}	1.458 ^e	0.576 ^{de}
I ₂ ×M ₃	0.786 ^{bc}	1.453 ^{cd}	1.637 ^{cd}	1.995 ^c	1.984 ^e	1.777 ^e	1.585 ^d	0.627 ^d
I ₂ ×M ₄	0.870 ^b	1.705 ^b	1.811 ^b	2.189 ^b	2.206 ^{cd}	2.034 ^{cd}	1.795 ^c	0.751 ^{bc}
I ₃ ×M ₁	0.496 ^g	0.901 ^g	0.855 ^h	0.899 ^h	1.033 ^j	0.878 ^j	0.834 ^h	0.323 ^g
I ₃ ×M ₂	0.584 ^{fg}	1.092 ^f	1.038 ^g	1.107 ^g	1.237 ⁱ	1.087 ⁱ	0.904 ^h	0.369 ^g
I ₃ ×M ₃	0.688 ^{de}	1.250 ^e	1.196 ^f	1.315 ^f	1.454 ^h	1.292 ^h	1.080 ^g	0.451 ^f
I ₃ ×M ₄	0.758 ^{cd}	1.498 ^c	1.333 ^e	1.553 ^e	1.648 ^g	1.483 ^g	1.265 ^f	0.517 ^{ef}
LSD	0.095	0.148	0.119	0.181	0.161	0.153	0.122	0.068

I₁, I₂ و I₃: به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مراحل سنبله‌دهی و آبستنی؛ M₁, M₂, M₃ و M₄: به ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی متانول.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

I₁, I₂ and I₃ are full irrigation, irrigation with holding at heading and booting stages respectively; M₁, M₂, M₃ and M₄ are non-foliar application and foliar application of 10, 20 and 30% volume of methanol respectively.

Means with different letters express significant differences based on LSD test.

عملکرد دانه

حاصل از اکسیداسیون سریع متانول نسبت داد که با افزایش غلظت CO₂ در بافت‌های فتوسنتز کننده، به دلیل بالا بردن فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو و کاهش تنفس نوری (Gout et al., 2000)، امکان انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی از مبدأ به مقصد، طولانی شدن فرایندهای پر شدن دانه (اعم از سرعت و طول دوره پر شدن دانه) (جدول ۶ و شکل ۱) و در نتیجه افزایش عملکرد دانه را فراهم می‌سازد. نتایج مشابهی نیز توسط عطاردی اصل و خلیل‌وند بهروزیار (Atarodi and Khalilvand Behrouzfar, 2020) مبنی بر اینکه محلول-پاشی متانول تحت شرایط تنش کمبود آب با بهبود محتوای کلروفیل و همچنین افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود گزارش شده است.

نتیجه‌گیری نهایی

با افزایش محدودیت آبی عملکرد و طول دوره پر شدن دانه کاهش و سهم مشارکت ذخایر ساقه و میزان انتقال مجدد از اندام هوایی در عملکرد دانه افزایش یافت. محلول‌پاشی ۳۰٪ حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش به ترتیب ۱۲/۷۴ و ۲۵/۱۸ و ۴۶/۹۸٪ طول دوره، دوره مؤثر پر شدن دانه و عملکرد دانه نسبت به عدم محلول‌پاشی تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن شد. به نظر می‌رسد کاربرد متانول با تعدیل اثر محدودیت آبی می‌تواند در بهبود عملکرد، سرعت و طول دوره پر شدن دانه حتی در شرایط محدودیت آبی مؤثر واقع شود

مقایسه میانگین‌ها نشان داد محلول‌پاشی ۳۰٪ حجمی متانول در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش ۴۶/۹۸٪ عملکرد دانه نسبت به عدم محلول‌پاشی تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن شد (جدول ۶). در واقع محدودیت آبی از طریق کاهش سطح برگ و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Mojdem et al., 2009). در این زمینه به نظر می‌رسد بخشی از افزایش عملکرد در محلول‌پاشی متانول را می‌توان به افزایش شاخص سطح برگ در کاربرد متانول در تمامی سطوح آبیاری (اعم از آبیاری کامل و یا قطع آبیاری در مراحل غلاف رفتن و سنبله‌دهی) نسبت داد. در این راستا برخی پژوهشگران معتقدند متانول عمدتاً از طریق به تأخیر انداختن پیری برگ‌ها و نیز تحریک افزایش ساخت هورمون‌های اکسین و سایتوکنین توسط باکتری میتلوتروفیک موجود روی سطح برگ‌های گیاهان (Ivanova et al., 2001)، اثر بر محرک‌های تولید اتیلن در گیاه و نیز افزایش تولید هورمون جیبرلین (Sabk Rufumann et al., 2011) و یا با افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز و افزایش آسمیلایسیون نیتروژن (Abanda et al., 2006) منجر به افزایش قابل توجه سطح برگ و میزان فتوسنتز گیاهان تیمار شده می‌گردد (Downie et al., 2004).

از آنجایی که گندم گیاهی C₃ و برخوردار از تنفس نوری است از این رو بخش دیگری از افزایش عملکرد در محلول‌پاشی متانول در این گیاه را می‌توان به افزایش دی‌اکسید کربن

منابع

- Abanda, D., Musch, M., Tschiersch, J., Schwab, M., 2006. Molecular interaction between *Methylobacterium extorquens* and seedling: growth promotion, methanol consumption. And localization of the methanol emission site. *Journal of Experimental Botany*. 57, 4025-4032.
- Abasspour, S., 2011. Effects of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on grain yield and some agronomic characteristics of triticale. MSc thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. [In Persian].
- Albrecht, S.L., Douglas Jr, C.L., Klepper, E.L., Rasmussen, P.E., Rickman, R.W., Smiley, R.W., Wilkins, D.E., Wysocki, D.J., 1995. Effects of foliar methanol applications on crop yield. *Crop Science*. 35, 1642-1646.
- Armin, M., Keyvanloo, A., 2015. Effects of methanol foliar application on some root and shoot morphological characteristics of corn under drought stress conditions. *Journal of Crop Research*. 7, 27-40. [In Persian with English Summary].
- Asseng, S., Van Herwaarden, A. F., 2003. Analysis of the benefits to wheat yield from assimilates stored prior to grain filling in a range of environments. *Plant and Soil*. 256, 217-239.

- Atarodi, E., Khalilvand Behrouzfar, E., 2020. Effect of methanol and salicylic acid foliar application on some of physiological traits of winter wheat under limited irrigation. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 3, 815-827. [In Persian with English Summary].
- Bardar, M.D., Kraljevic-Balalic Marija, M., Borislav, D., 2008. The parameters of grain filling and yield components in common wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum turgidum* L. Var. Durum). *Central European Journal of Biology*. 3, 75-82.
- Barnett, K.H., Pearce, P.B., 1983. Source-Sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. *Crop Science* 23, 101-109.
- Davis, S., Turner, N.C., Siddique, K.H.M., Plummer, J., Leport, L., 2009. Seed growth of desi and kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a short season Mediterranean-type environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 39, 181-188.
- Downie, A., Miyazaki, S., Bohnert, H., John, P., Coleman, J., Parry, M., Haslam, R., 2004. Expression profiling of the response of *Arabidopsis thaliana* to methanol stimulation. *Photochemistry Journal*. 65, 2305-2316.
- Ehdaei, B., Wanies, G., 1996. Genetic variation for contribution of pre anthesis assimilates to grain yield in spring wheat. *Journal of Genetics and Breeding*. 50, 47-56.
- Ellis, R.H., Pieta-Filho, C., 1992. The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. *Seed Science Research*. 2, 19-25.
- Esazadeh Panjali Kharabasi, J., Galavi, M., Ramroudi, M., 2017. Effects of methanol spraying on qualitative traits, yield and yield components of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 15, 511-521. [In Persian with English Summary].
- Eslami, R., Tajbakhsh, M., Ghafari, A., Roustaei, M., Barnousi, I., 2012. Evaluation of drought tolerance in dry lands wheat genotypes under different moisture. *Electronic Journal of Crop Production*. 2, 129-143. [In Persian with English Summary].
- Fredrick, J. R., Below, F. E., Hesketh, J.D., 1990. Carbohydrate, nitrogen and dry matter accumulation and partitioning of maize hybrids under drought stress. *Annals of Botany*. 66, 407-415.
- Gout, E., Aubert, S., Bligny, R., Rebeille, F., Nonomura, A. R., Benson, A., Douce, R., 2000. Metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. *Plant Physiology*. 123, 287-296.
- Haghjoo, M., Bagrani, A., 2015. Grain yield, dry matter remobilization and chlorophyll content in maize (*Zea mays* L.) as influenced by nitrogen and water deficit. *Bangladesh Journal of Botany*. 44, 359-365.
- Ivanova, E.G., Dornina, N.V., Trotsenko, Y.A., 2001. Aerobic methylobacteria are capable of synthesizing auxins. *Microbiology Journal*. 70, 392-397.
- Karimi, M. M., Siddique H.M., 1991. Crop growth and relative growth rates of old modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research*. 42, 13-20.
- Khalilvand Behrouzfar, E., Yarnia, M. 2015. Physiological response of sweet corn (*Zea mays* var. Merit) to foliar application of salicylic acid under water deficit stress. *Bangladesh Journal of Botany*. 44, 659-663.
- Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R., Jalilian, J., 2017. Effects of cycocel and seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria on yield, chlorophyll fluorescence parameters and some physiological properties of wheat under water limitation condition. *Journal of Plant Process Iranin Society of Plant Physiology*. 6, 247-266. [In Persian with English Summary].
- Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., Barmaki, M., 2015. Effects of biofertilizers and nano zinc oxide on remobilization and some growth indices of triticale under water limitation conditions. *Crop Physiology Journal*. 26, 37-55. [In Persian with English Summary].
- Mirakhori, M., Paknejad, F., Moradi, M., Ardakani, M. R., Zahedi, H., Nazeri, P., 2009. Effect of drought stress and methanol on yield and yield components of Soybean Max (L 17). *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 5, 162-169.
- Modhej, A., Emam, Y., Ayeneband, A., 2011. Effect of Nitrogen Levels on Source Restriction and the Pattern of Assimilate Redistribution to Grains in Wheat Genotypes under Post-Anthesis Heat Stress Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 9, 474-485.
- Mojdem, M., Naderi, A., NoorMohammady, G., Siadat, S.A., Ayeneband, A., 2009. The effect of water shortage stress and nitrogen

- management on grain yield, dry matter remobilization rate and current photosynthesis of grain corn in Khuzestan (Ramin) climatic conditions. *Crop Physiology Journal*. 1, 86-95. [In Persian with English Summary].
- Momtazi, F., 2011. Responses of different wheat cultivars to post anthesis drought stress. *Plant Ecophysiology*. 3, 1-16. [In Persian with English Summary].
- Muchow, R.C., Sinclair, T., Rennehl, I.M., 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agronomy Journal*. 82, 238-343.
- Murchie, E. H., Yang, J., Hubbart, S., Horton, P., Peng, S., 2002. Are there associations between grain-filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice? *European Science*. 53, 2217-2224.
- Narimani, H., Seyed Sharifi, R., Aghaei, F., 2020. Effect of methanol on antioxidant enzymes activity, some compatible osmolytes and biochemical traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigation withholding conditions. *Journal of Crop Physiology*. 12, 99-154. [In Persian with English Summary].
- Naeimi, N., Yarnia, M., Khalilvand, E., 2013. The Effects Foliar Application of Methanol at Different Growth Stages on Kernel Related Traits in Chickpea var. ILC 482. *Journal of Crop Ecophysiology*. 7, 147-158. [In Persian with English Summary].
- Nonomura, A. M., Benson, A., 1992. The path of carbon in photosynthesis: improved crop yields with methanol. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 89, 9794-9798.
- Ouk, M., Shu, F., Ken, F., Jaya, B., Mark, C., Harry, N., 2003. Routine selection for drought resistance in rain fed lowland rice (*Oryza sativa* L.) in Cambodia. In: *Proceedings of the International Conference on Research on Water in Agriculture, CARDI, Cambodia*. 25- 29.
- Paknejad, F., Majidi, E., Noormohammadi, G., Seadat, S., Vazan, S., 2006. Evaluation of drought stress on effective traits at accumulative assimilate of grain in different cultivars of wheat. *Journal of Agricultural Sciences*. 13, 137-149. [In Persian with English Summary].
- Pasari, B., Yakhchali, M. SH., 2015. Study the effect of methanol foliage spraying on Chickpea cultivars in rainfed condition. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 21(1), 93-99
- Rajala, A., Karkkainen, J., Peltonen, J., PeltonenSainio, P., 1998. Foliar application of alcohols failed to enhance growth and yield of C3 crops. *Industrial Crops and Products*. 7, 129 – 137.
- Ramirez, I., Dorta, F., Espinoza, V., Jimenez, E., Mercado, A., Pen a-Cortes, H., 2006. Effects of foliar and root applications of methanol on the growth of Arabidopsis, tobacco and tomato plants. *Journal of Plant Growth Regulation*. 25, 30-44.
- Ronanini, D., Savin, R., Hal, A.J., 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. *Field Crop Reserch*. 83, 79-90.
- Sabk Rufumann, K., Safarzadvighahi, M.N., Daneshian, J., Ranjbaruchaba, M., Sabk Rufumann, K., 2011. A study on the effect of methanol spraying time and quantity on quantitative and qualitative performance of hot cured tobacco in 347 Cocker cultivar in Ahmad Gourab district of Rasht. *Plant Production Research*. 18, 17-30. [In Persian with English Summary].
- Safarzade vishgahi, M.N., Noormohamadi, G., Hagidi Haravan, A., 2005. Effect of methanol on peanut function and yield components. *Journal of Agricultural Sciences*. 87-104. [In Persian with English Summary].
- Seyed Sharifi, R., Haydari Siahkhalaki, M. S., 2016. Effects of biofertilizers on growth indices and contribution of dry matter remobilization in wheat grain yield. *Journal of Plant Researches*. 28, 326-343. [In Persian with English Summary].
- Seyed Sharifi, R., Nazarly, H., 2014. Effects of seed priming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on grain yield, fertilizer use efficiency and dry matter remobilization of sunflower (*Helianthus annus* L.) with various levels of nitrogen fertilizer. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 23, 45-27. [In Persian with English Summary].
- Seyed Sharifi, R., and Seyed Sharifi, R. 2019. Effects of different irrigation levels, methanol application, and nano iron oxide on yield and grain filling components of sunflower (*Helianthus annuus* L.), *Journal of Crops*

- Improvement. 21, 27-42. [In Persian with English Summary]
- Simova-Stoilova, L., Demirevska, K., Petrova, T., Tsenov, N., Feller, U., 2008. Antioxidative protection in wheat varieties under severe recoverable drought at seedling stage. *Plant Soil and Environment*. 54, 529-536.
- Tsuno, Y., Yamaguchi, T., Nakano, J., 1994. Potential dry matter production and grain filling process of rice plant from the viewpoint of sourcesink relationships and the role of root respiration in its relationship. *Agronomy Journal*. 47, 1-10.
- Yang, J., Zhang, J., 2006. Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist*. 169, 223-236.
- Yordanov, I., Velikova, V., Tsonev, T., 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*. 2, 187-206.
- Zbiec, I.I., Karczmarczyk, S., Koszanski, Z., 1999. Influence of methanol on some cultivated plants. Department of Plant Production and Irrigation, Agriculture University of Szczecin Poland. 73, 217-220.
- Zbiec, I., Karczmarczyk, S., Podsiadlo, C. 2003. Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplemental irrigation. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities Agronomy*. 6, 1-7.