اثر سطوح مختلف آبیاری بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، عملکرد کمی و بهره‌وری آب و انرژی علوفه در دو رقم ذرت (*Zea mays* L.)

روح‌اله دانشورراد[۱]، حسین حیدری‌شریف‌آباد*[۲]، مسعود ترابی[۳]، رضا عزیزی‌نژاد[۴]، حمیدرضا سالمی[۵] و محسن حیدری سلطان‌آبادی[۶]

۱) دانشجوی دکتری گروه علوم زراعی و باغی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲) استاد گروه علوم زراعی و باغی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳) استادیار پژوهشی بخش تحقیقات علوم زراعی ـ باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.
۴) استادیار گروه علوم زراعی و باغی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۵و۶) استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

* نویسنده مسئول: **h.heidari1871@hotmail.com**

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۰۹/۱۱ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰**

چکیده

با هدف بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری بر ویژگی‌های کمی، بهره‌وری آب و انرژی دو رقم ذرت، طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۶، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک با سه تکرار در شمال غرب اصفهان انجام شد. کرت‌های اصلی شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری کامل) و کرت‌های فرعی شامل دو رقم ذرت۷۰۴ و ماکسیما بود. نتایج آزمایش نشان داد که عملکرد علوفه تر و خشک، ارتفاع بوته، انرژی ورودی و خروجی، نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی علوفه تر و خشک، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی در واکنش به سطوح تنش آبی در سطح یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. افزایش تنش آبی عملکرد علوفه تر و خشک را کاهش داد، به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد علوفه تر و خشک در تیمار آبیاری کامل با میانگین ۶۶/۶ و ۲۱ کیلوگرم بر هکتار به‌ترتیب به‌دست آمد. مقدار کاهش عملکرد در تیمار ۶۰ درصد آبیاری کامل نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد برای علوفه تر ۴۱ درصد و برای علوفه خشک ۴۷ درصد بود. انرژی ورودی در هر دو رقم با میانگین ۸۳۵۸۱ مگاژول بر هکتار، فاقد معنی‌داری بود، در حالی‌که انرژی خروجی در ماکسیما از کاهش حدود هشت درصدی برخوردار گردد. در واقع به ازای مصرف هر مگاژول انرژی، علوفه بیش‌تری در ماکسیما تولید شد. بنابراین با انتخاب رقم مناسب علوفه‌ای در مناطق خشک و نیمه خشک می‌توان گام مهمی در توسعه این مناطق برداشت.

واژه‌های کلیدی: تنش رطوبتی، ماکسیما، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

مقدمه

محیط زندگی گیاهان دربردارنده تنش‌های فراوانی می‌باشد. در میان انواع تنش‌ها، خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آن‌ها شناخته شده است (Camel *et al*., 2017; Xu *et al*., 2020). توجه به اثرهای خشکی در مواجه با تقاضای روبه افزایش غذا و انرژی در جهان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Tani *et al*., 2019; Shailja Bansal *et al*., 2019)، زیرا خشکی به‌عنوان تنشی چند بعدی مطرح بوده و دارای اثرهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی زیادی از جمله بازداری از رشد و گسترش سلول‌ها، اختلال در اجزای اصلی فتوسنتز مانند فشار سلول و دستگاه روزنه‌ای و تحریک شدید تنش اکسیداتیو می‌گردد که در نهایت مرگ گیاه را به‌دنبال دارد (L. Gamez *et al*., 2019; Galeano *et al*., 2019). تمامی تغییرات بیان شده بسیار پیچیده بوده و بستگی به شدت و مقدار تنش و هم‌چنین گونه‌های مورد مطالعه خواهد داشت (Anjum *et al*., 2011). کشور ایران با میانگین بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر، در منطقه خشک جهان قرار دارد. از طرف دیگر کشاورزی عامل کاهش سالانه ۱۹ درصد از منابع آب شیرین در ایران می‌باشد. در نتیجه چالش حال حاضر و آینده کشاورزی ایران کمبود آب است (حیدری شریف آباد، ۱۳۹۱). از این‌رو، امروزه مدیریت آبیاری با تاکید بر بهره‌وری آب در واحد سطح، به‌صورت افزایش تولید به ازای هر واحد آب مصرفی تعریف می‌گردد (Admasu *et al*., 2019). افزون بر اهمیت آب، انرژی نیز نقش مهمی در توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی به‌ویژه در بخش کشاورزی دارد. مصرف عمومی انرژی همیشه در کشاورزی جهان از جمله ایران افزایش یافته است. مصرف انرژی شامل نیروی کار، سوخت، ماشین‌آلات، حمل و نقل، کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات می‌باشد که مصرف آن در بخش کشاورزی ایران (حدود سه برابر) بیش‌تر از میانگین جهانی است (حیدری شریف آباد، ۱۳۹۱). ذرت[1] بعد از گندم و برنج یکی از مهم‌ترین گونه‌های زراعی می‌باشد (Puri Goswami *et al*., 2019). در سال‌های اخیر، کشت ذرت به‌تدریج به مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان گسترش یافته است (Song *et al*., 2019). این تغییر می‌تواند به حل مسائل مربوط به امنیت غذایی در کشورهایی با منابع آبی محدود، مانند ایران کمک نماید. با این حال، تولید ذرت از طریق کمبود آب به چالش کشیده می‌شود به‌گونه‌ای که کاهش عملکرد گیاه را به‌دنبال دارد (Admasu *et al*., 2019). پژوهش‌های فراوانی نشان داده‌اند که زمان و شدت تنش آب در رشد و عملکرد ذرت بسیار اثرگذار است (He *et al*., 2017; Song *et al*., 2019). از آنجایی که ضرورت درک عمیق بهره‌وری آب و انرژی و ارزیابی دقیق نیازهای آبی و دیگر نهاده‌ها به‌طور منطقه‌ای احساس می‌گردد. به‌منظور تکمیل پژوهش‌های قبلی درمورد بهره‌وری آب و انرژی و همچنین مقدار محصول تولیدی در رژیم‌های مختلف آبیاری ذرت علوفه-ای در استان اصفهان، تحقیق حاضر به‌منظور بررسی ویژگی‌های زراعی و بهره‌وری آب و انرژی در سطوح مختلف آبیاری و

1- *Zea mays* L.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

با هدف افزایش بهره‌وری نهاده‌ها در بخش کشاورزی، طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی عملکرد کمی و بهره‌وری آب و انرژی در تولید ذرت علوفه‌ای و در تعامل با حجم آب مصرفی، پژوهشی به‌صورت کرت خرد شده در قالب بلوک کامل تصادفی با سه تکرار، در منطقه شاهین‌شهر (عرض جغرافیایی ´۳۸/۵ و °۵/۵۰، طول جغرافیایی ´۴۵ و °۳۲/۵ و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۹۵ متر) واقع در شمال غرب استان اصفهان، به‌مدت دو سال (۱۳۹۶ و ۱۳۹۷) اجرا گردید. متوسط بارندگی سالانه، دما و تعداد روزهای یخبندان منطقه به‌ترتیب ۲۱۰ میلی‌متر، ۱۵ درجه سانتی‌گراد و ۶۶ روز می‌باشد. بر اساس آمار هواشناسی در بهار و تابستان سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، متوسط دمای محل آزمایش در تابستان سال دوم دو تا سه درجه سانتی‌گراد بیش‌تر از زمان مشابه در سال اول بود. بیش‌ترین میانگین درجه حرارت در طول فصل رشد (خرداد تا شهریور) در سال اول و دوم به‌ترتیب ۳۸/۵ و ۴۱/۲ درجه سانتی‌گراد گزارش شد. وضعیت آب و هوایی در دوره رشد گیاه در مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: اطلاعات هواشناسی مربوط به شش ماه فصل رشد ذرت در سال ۹۷-۱۳۹۶

سال	ماه‌های سال	دما (درجه سلسیوس)		میانگین بارندگی
		کمینه	بیشینه	(میلی‌متر)
۱۳۹۶	خرداد	۸	۳۵	۱۳/۷
	تیر	۱۵	۴۰/۲	۰
	مرداد	۱۸	۴۱/۵	۰/۱
	شهریور	۱۵	۳۷	۰/۲
	جمع	۵۶	۱۵۳/۷	۱۴
	میانگین	۱۴	۳۸/۵	۳/۵
۱۳۹۷	خرداد	۱۰/۴	۳۸/۶	۱۶/۸
	تیر	۱۹/۲	۴۱/۶	۸/۴
	مرداد	۲۱/۳	۴۲/۵	۰
	شهریور	۲۰/۹	۴۱/۵	۰
	جمع	۷۱/۸	۱۶۴/۲	۲۵/۲
	میانگین	۱۷/۹	۴۱	۶/۳

تیمارهای مورد بررسی شامل سه سطح مختلف آبیاری (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری کامل) و دو رقم غالب استان اصفهان (ماکسیما رقم زودرس و ۷۰۴ رقم دیررس) بود که به‌ترتیب در کرت‌های اصلی و فرعی قرار گرفتند. جهت شروع آزمایش، قطعه زمینی به مساحت ۲۵۰۰ متر مربع شخم زده شد. سپس کود فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم قبل از کاشت بر اساس آزمون خاک به‌ترتیب به مقدار ۲۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه گردید (جدول ۲). سپس پشته‌هایی با فاصله ۷۵ سانتی‌متر به‌عنوان ردیف‌های کشت ایجاد شد. کاشت بذر نیز با رسیدن درجه حرارت خاک به ۱۲ درجه سانتی‌گراد و با تراکم ۹۰ هزار بوته در هکتار در ۱۵ خرداد ماه هر سال صورت گرفت. کود اوره طی سه مرحله به

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

صورت سرک و در زمان‌های چهار تا شش، هشت تا ۱۰ برگی و هنگام ظهور گل‌های تاجی مصرف گردید.

جدول ۲: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

ازت	فسفر	پتاسیم	اسیدیته	کربن آلی	هدایت الکتریکی	مس	روی	منگنز	آهن	شن	سیلت	رس
(درصد)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)			(درصد)	(دسی‌زیمنس بر متر)	(میلی اکی والان در لیتر)					(درصد)	
۰/۱	۴۰/۵	۷۰۰	۷/۲	۰/۹	۱/۲	۰/۳	۱/۰۴	۱/۱	۰/۶	۷۰	۱۲	۱۸

با توجه به مدیریت آب و از آنجایی که توانایی عرضه و نگهداری آب در خاک به‌طور مستقیم به ویژگی‌های خاک وابسته است، مقادیر رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم مورد استفاده قرار گرفت. اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری و دو حد رطوبتی ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم، با نمونه‌برداری از خاک سطحی مزرعه و تعیین نتایج در آزمایشگاه، جهت محاسبه نیاز خالص آبی انجام گردید. آبیاری به‌صورت قطره‌ای ـ نواری و دور آبیاری بر اساس دور ثابت و با توجه به نیاز خالص گیاه (تشت تبخیر کلاس A) بود. نتایج تجزیه آب محل اجرای آزمایش در جدول ۳ ارائه شده است. نیاز آبی گیاه ذرت بر اساس مقادیر تبخیر ـ تعرق روزانه گیاه مرجع (ET_0) و ضریب گیاهی (KC) از مدل ترکیبی پنمن مانتث فائو محاسبه شد. بهره‌وری آب آبیاری نیز طبق رابطه ۱ به‌دست آمد (Allen *et al*., 2009):

رابطه ۱:
$$IWP = \frac{D}{W}$$

در رابطه بالا IWP بهره‌وری آب آبیاری، D جرم ماده خشک یا عملکرد تولید شده و W مقدار آب مصرف شده توسط گیاه بر حسب متر مکعب می‌باشد.

جدول۳: نتایج تجزیه منبع آب محل انجام آزمایش

منبع	هدایت الکتریکی	اسیدیته	بیکربنات	کلر	سولفات	مجموع آنیون‌ها	کلسیم	منیزیم	سدیم	مجموع کاتیون‌ها
	(دسی‌زیمنس بر متر)		(میلی اکی والان در لیتر)							
آب چاه	۱۹۰۰	۷/۲	۴/۶	۹/۲	۶/۵	۲۰/۳	۶/۶	۳	۱۰/۳	۱۹/۹

بررسی مقدار مصرف و تولید انرژی در زراعت ذرت علوفه‌ای، به‌صورت تقسیم‌بندی کل انرژی مورد نیاز جهت تولید علوفه ذرت (انرژی نهاده) در شش گروه اصلی شامل انرژی معادل ساخت و استهلاک ماشین، انرژی سوخت مصرفی، آبیاری، نیروی انسانی، بذر، سم، کود شیمیایی و حمل و نقل تقسیم‌بندی شد. افزون بر این، انرژی ستانده (انرژی معادل محصول تولید شده) و شاخص‌های ارزیابی انرژی محاسبه گردید. در نهایت معادل‌های انرژی نهاده‌های مصرفی در زراعت ذرت علوفه‌ای اندازه‌گیری شد (Vural and Efecan, 2012). تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز پس از نمونه‌برداری و اندازه‌گیری پارامترهای لازم با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گردید و میانگین تیمارها توسط آزمون دانکن در سطح پنج درصد مقایسه شد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

نتایج و بحث

ویژگی‌های زراعی و عملکرد کمی علوفه ذرت

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ساده سال‌های آزمایش، آبیاری و رقم، بر عملکرد علوفه تر و خشک، ارتفاع بوته، تعداد برگ، طول و وزن بلال، از لحاظ آماری معنی‌دار گردید ($P<0.01$). برهم‌کنش تیمارهای مختلف آبیاری در رقم نیز بر عملکرد علوفه تر و خشک، ارتفاع بوته و طول بلال در سطح پنج درصد و بر تعداد برگ در سطح یک درصد، دارای معنی‌داری آماری بود. تغییر دما در دو سال آزمایش، بر عملکرد علوفه تر و خشک تولیدی تفاوتی نشان نداد، اما گرم‌تر بودن هوا در سال دوم به‌ترتیب منجر به کاهش حدود ۱۹ درصدی و یک برابری ارتفاع بوته و وزن بلال نسبت به سال اول گردید (جدول ۴). اختلاف در دمای هوا در دوره رشد ذرت از طریق تبخیر و تعرق آب می‌تواند بر رشد و توسعه آن اثرگذار باشد. نکته قابل توجه افزایش تعداد برگ و طول بلال در سال دوم نسبت به سال اول به‌ترتیب در حدود ۱۶ و ۲۵ درصد بود. این موضوع می‌تواند به‌دلیل انتقال دوباره مواد پرورده در شرایط تنش باشد، به‌طوری‌که اگر گیاه در هنگام پر شدن دانه با تنش‌های محیطی روبه‌رو شود، سهم مواد پرورده در انتقال دوباره مواد و پر شدن دانه بیش‌تر می‌شود (Song *et al.*, 2019).

مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح آبیاری در رقم نشان داد که با کاهش آب، عملکرد علوفه تر و خشک کاهش می‌یابد (شکل‌های ۱ و ۲). بیش‌ترین مقدار عملکرد علوفه تر و خشک به‌ترتیب مربوط به رقم ۷۰۴ و ماکسیما با میانگین ۶۹/۲ و ۲۳/۳ تن بر هکتار در شرایط آبیاری کامل بود. در دو سطح ۱۰۰ درصد آبیاری و ۸۰ درصد آبیاری کامل، عملکرد علوفه تر رقم ۷۰۴ بیش‌تر از ماکسیما شد. کم‌ترین عملکرد علوفه تر دو رقم نیز بدون معنی‌داری آماری مربوط به تنش ۶۰ درصد آبیاری کامل بود. در تمامی سطوح مدیریت آبیاری اعمال شده در پژوهش، عملکرد علوفه خشک رقم ماکسیما بیش‌تر از ۷۰۴ گردید، به‌طوری که کم‌ترین عملکرد علوفه خشک با میانگین ۱۰ تن در هکتار در رقم ۷۰۴ و تیمار کاهش رطوبت خاک به ۶۰ درصد آبیاری کامل مشاهده شد. مطابق با نتایج به‌دست آمده، سایر پژوهش‌ها نشان داده‌اند که دسترسی به آب جهت رشد ذرت بسیار حیاتی می‌باشد (He *et al.*, 2017; Song *et al.*, 2019). تنش آبی اثر ناخوشایندی بر رشد و نمو ذرت دارد، زیرا تنش آبی منجربه کاهش شاخص سطح برگ گیاه و در نتیجه کاهش مقدار تشعشع فتوسنتزی دریافتی و کارایی تشعشع می‌گردد. به‌تبع، این عوامل کاهش عملکرد گیاه را به‌دنبال دارد. در پژوهشی با بررسی اثر تنش آبی بر عملکرد و بهره‌وری آب گزارش شد که سطوح مختلف آبیاری اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت ذرت داشت، به‌طوری که بیش‌ترین عملکرد در آبیاری کامل به‌دست آمد (Admasu *et al.*, 2019). بنابراین درک

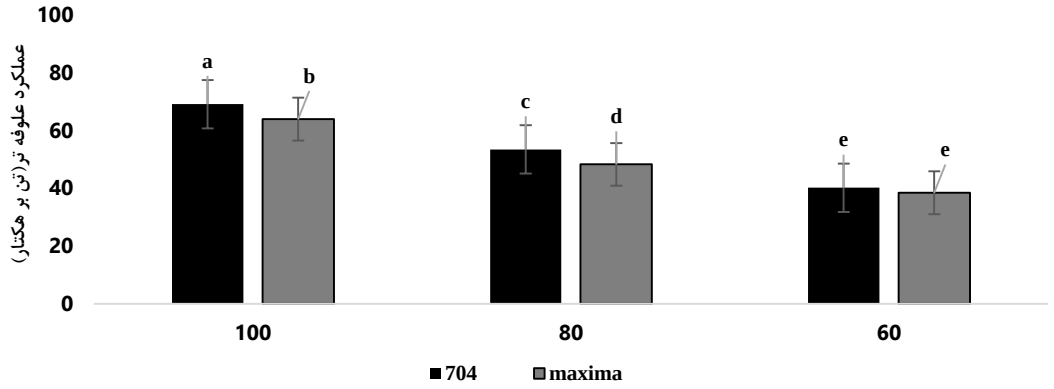
[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

بهتر اثر تنش آبی بر رشد گیاهان زراعی نظیر ذرت جهت مدیریت آب، خاک و محصول ضروری به‌نظر می‌رسد (Ren *et al.*, 2016).

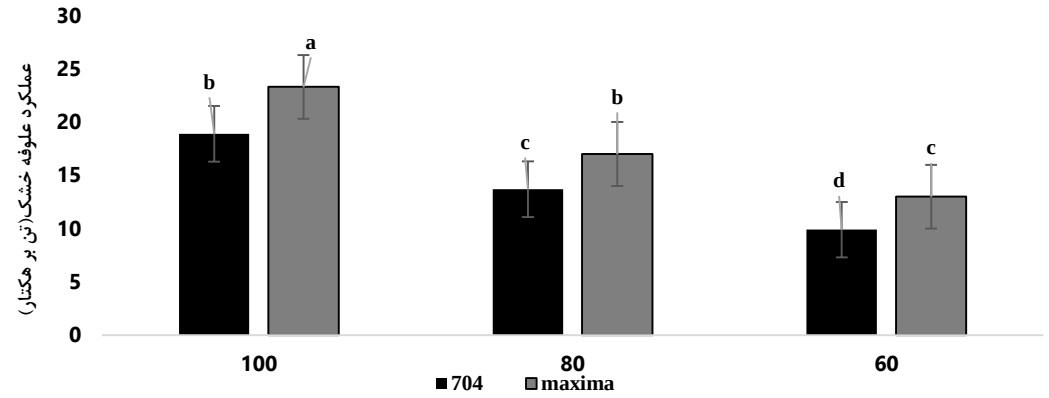
جدول ۴: تجزیه واریانس مرکب اثر تیمارهای آزمایش بر ویژگی‌های کمی ذرت علوفه‌ای

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد علوفه تر	عملکرد علوفه خشک	ارتفاع بوته	تعداد برگ	طول بلال	وزن بلال
سال	۱	۴۷۲/۲**	۶۳/۸**	۷۶۶۶**	۵۰/۲**	۳۴۹/۸**	۲۰۱۲۱۶/۵**
تکرار×سال	۴	۱۲۹/۷	۲۲/۷	۳۰۷/۳	۰/۵۹	۱/۹	۹۲۴
آبیاری	۲	۲۲۴۴/۹**	۲۷۹/۷**	۱۱۰۳**	۰/۲۹	۲/۲	۵۹۳/۶
آبیاری×سال	۲	۲۱۴**	۲۰/۲	۳۶۰/۷**	۰/۰۵	۱/۷	۳۴۷۲/۹
خطای اول	۸	۷۱	۲۵/۴	۵۷/۵	۰/۴۲	۲	۶۱۴/۴
رقم	۱	۱۴۴/۷**	۱۲۲/۳**	۴۱۷/۹**	۷**	۸/۹*	۱۱۵/۵^{ns}
رقم×آبیاری	۲	۱۱/۴*	۱/۳*	۱۶/۴*	۰/۰۶**	۲/۳*	۱۳۳/۹^{ns}
رقم×سال	۱	۲۸۵/۵*	۱۵/۵	۱۶۹۰**	۴**	۷/۸	۲۲۳/۶
سال×رقم×آبیاری	۲	۱۷/۷	۲/۸	۱۹/۳	۰/۳۴	۴/۹	۹۰۰/۴
خطای دوم	۱۲	۱۰/۹	۵/۸	۳۹/۶	۰/۳۳	۱/۷	۱۱۸/۳

ns، ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح آماری یک درصد و پنج درصد.



شکل ۱: برهم‌کنش آبیاری و رقم برعملکرد علوفه تر دو رقم ذرت



شکل ۲: برهم‌کنش آبیاری و رقم برعملکرد علوفه خشک دو رقم ذرت

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌گردد بیش‌ترین ارتفاع بوته ذرت، با میانگین ۱۷۷/۵ سانتی‌متر در رقم ماکسیما و در زمان آبیاری کامل بوته‌ها وجود داشت. به‌طورکلی دو رقم در سطح ۱۰۰ درصد آبیاری و ۸۰ درصد آبیاری کامل از نظر ارتفاع بوته فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بودند. کاهش دسترسی به آب در تیمار ۶۰ درصد آبیاری کامل، ارتفاع بوته هر دو رقم را با کاهش مواجه ساخت. کم‌ترین ارتفاع گیاه در سطح بیان شده مربوط به رقم ۷۰۴ با میانگین ۱۵۳ سانتی‌متر بود.کاهش ارتفاع گیاه در شرایط تنش رطوبتی را می‌توان به‌دلیل کاهش فاصله میانگره‌ها، کاهش فشار تورگر سلول‌های محافظ روزنه، اختلال در فعالیت‌های فتوسنتزی، اختلال در انتقال مواد به اندام‌های مختلف و کاهش فشار تورگر و تقسیم سلول‌ها نسبت داد. تنش خشکی از طریق کاهش محتوی نسبی آب و به‌دنبال آن بسته شدن روزنه‌ها و کاهش رشد و اندازه سلول، منجربه کاهش اندازه برگ‌ها و کوتاه ماندن گیاه می‌شود. از طرف دیگر با بسته شدن روزنه‌ها و کاهش رشد و اندازه سلول، کاهش اندازه برگ‌ها و کوتاه ماندن گیاه را به‌همراه دارد. افزون بر این، مواد غذایی که گیاه از خاک جذب می-گردد به‌صورت محلول در آب می‌باشد، بنابراین محدودیت در منابع آبی سبب محدودیت در منابع غذایی شده و گیاه مجبور به کاهش رشد و کاهش طول اندام‌های مختلف از جمله ارتفاع بوته می‌شود (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۷؛ سرشاد و همکاران، ۱۳۹۹). اثر سطوح متفاوت آبیاری بر تعداد برگ رقم ماکسیما و ۷۰۴ فاقد معنی‌داری آماری بود. با این حال، میانگین تعداد برگ ماکسیما در مدیریت‌های مختلف آبیاری بیش‌تر از ۷۰۴ گردید، به‌گونه‌ای که میانگین تعداد برگ برای ماکسیما و ۷۰۴ در هر سه سطح به‌ترتیب ۱۳ و ۱۲ عدد شد. کاربرد رژیم‌های متفاوت آبیاری، اثری بر طول بلال ماکسیما و ۷۰۴ نداشت، اما در تمامی سطوح طول بلال ماکسیما بیش‌تر از ۷۰۴ بود. هم‌چنین دو رقم در تمامی تیمارهای آبیاری وزن بلال مشابهی را تولید کردند. در پژوهش حاضر، ویژگی‌های زراعی، ماکسیما تغییرات کم‌تری نسبت به اعمال تنش خشکی از خود نشان داد. ماکسیما به‌دلیل دوره رشد کوتاه‌تر، شرایط تنش آبی را نسبت به رقم دیررس ۷۰۴ بهتر تحمل کرده و در نتیجه، در شرایط تنش رطوبتی واکنش بهتری داشت. نتایج به‌دست آمده، موید این مطلب است که ماکسیما در شرایط تنش خشکی دارای عملکرد و مقاومت بیش‌تری نسبت به ۷۰۴ می‌باشد.

محتوی کلروفیل و تبخیر و تعرق علوفه ذرت

تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی بر محتوی کلروفیل برگ و تبخیر و تعرق نشان داد که سال‌های آزمایش بر سه زمان مختلف اندازه‌گیری تبخیر و تعرق در سطح یک درصد دارای معنی‌داری و بر محتوی کلروفیل فاقد معنی‌داری آماری بود. اثر ساده آبیاری نیز فقط بر اندازه‌گیری در دقیقه‌های ۴۰-۰ و ۱۲۰-۸۰ به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار شد. در حالی‌که اثر ساده رقم به‌جز و اندازه‌گیری تبخیر و تعرق در مرحله سوم، بر سایر صفات بسیار معنی‌دار گردید. برهم‌کنش رژیم‌های مختلف آبیاری در رقم فقط بر محتوی کلروفیل دارای معنی‌داری آماری ($P<0.01$) بود (جدول ۶). بر اساس

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

مقایسه میانگین سال ۱۳۹۶ با میانگین ۹/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ، کلروفیل بیش‌تری نسبت به سال ۱۳۹۷ داشت (میانگین ۹/۴ میلی‌گرم بر گرم) (جدول ۷). با توجه به گرم‌تر بودن هوا در سال دوم و قرارگیری گیاه در معرض تنش بیش‌تر از سویی و کاهش مقدار کلروفیل در مواجه با تنش رطوبتی، می‌توان بیان کرد که اثر تنش بر کلروفیل بسیار متنوع و متغیر می‌باشد و بستگی به شرایط محیطی و ژنوتیپ گیاه دارد. هم‌چنین گزارش شده است که در شرایط تنش ملایم با کاهش سطح برگ، غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش می‌یابد (Song *et al*., 2019) که با توجه به دو تا سه درجه افزایش دما در سال دوم نسبت به سال اول منطقی به‌نظر می‌رسد. بر اساس شکل ۳، رقم ۷۰۴ در زمان آبیاری کامل رنگیزه بیش‌تری نسبت به ماکسیما تولید کرد (به‌ترتیب ۱۰/۳ و ۸/۵ میلی‌گرم بر گرم برای ۷۰۴ و ماکسیما). در حالی‌که در سطح ۸۰ درصد (به‌ترتیب میانگین ۹/۷ و ۸/۹ میلی‌گرم بر گرم) و ۶۰ درصد آبیاری کامل (۱۱/۳ و ۷/۹ میلی‌گرم بر گرم به‌ترتیب) بیش‌ترین مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی به ماکسیما اختصاص یافت. همان‌گونه که در نتایج رشد و کمیت علوفه بیان گردید، رقم ۷۰۴ در آبیاری کامل و ماکسیما در تنش از لحاظ محتوی کلروفیل دارای مزیت بودند. مطابق با نتایج، تیموری و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی تیمار قطع آبیاری بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گندم گزارش کردند که تنش آبی اثری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان نداد. این پژوهشگران عدم کاهش معنی‌دار رنگدانه‌های فتوسنتزی را در شرایط کاهش دسترسی به آب به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و تنظیم اسمزی رقم‌های مورد بررسی مرتبط دانستند. پژوهشی دیگری با ارزیابی اثر قطع آبیاری در دوره‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیک چهار رقم ذرت، کاهش محتوی کلرفیل رقم ۷۰۴ را در واکنش به تنش آبی گزارش کرد (فرخی و همکاران، ۱۳۹۸). اندازه‌گیری وضعیت آب گیاه به‌عنوان یک شاخص مهم در شناسایی پاسخ گیاهان به تنش خشکی مطرح است، به‌طوری‌که زیاد بودن آب برگ و کم بودن سرعت از دست رفتن آب، نشان‌دهنده سازگاری به خشکی در ژنوتیپ‌ها بوده و می‌تواند به‌عنوان یکی از معیارهای گزینش برای تحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرد (ناصح حسینی و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج تجزیه واریانس مربوط به اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاه در سه بازه زمانی صفر تا ۴۰، ۴۰ تا ۸۰ و ۸۰ تا ۱۲۰ نشان داد که در هر سه اندازه‌گیری در سال اول آزمایش (۱، ۰/۵ و ۰/۵ میلی‌متر به‌ترتیب) به‌طور بسیار معنی‌داری، بیش‌تر از مقدار مشابه در سال دوم (به‌ترتیب ۰/۵، ۰/۲ و ۰/۲ میلی‌متر) گردید (جدول ۷). تفاوت در شرایط آب و هوایی و دوره رشد بر مقدار تبخیر و تعرق اثر می‌گذارد، به‌طوری‌که افزایش تنش، کاهش تبخیر و تعرق را به‌همراه دارد (Bouazzama *et al*., 2012). نتایج برهم‌کنش سطوح آبیاری در رقم حکایت از بیش‌ترین مقدار در هر سه اندازه‌گیری و در هر دو رقم، در سطح ۱۰۰ درصد داشت و با کاهش مقدار آب تبخیر و تعرق روندی نزولی یافت (جدول ۵). با این حال، در تمامی سطوح تنش مقدار تبخیر و تعرق در ماکسیما بیش‌تر از ۷۰۴ بود. نتایجی پژوهشی بر رشد، مصرف آب و عملکرد ذرت سیلویی در واکنش به تنش خشکی نشان

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

داد که در شرایط آبیاری کامل مقدار تبخیر و تعرق در بالاترین مقدار می‌باشد. دلیل این امر تأمین آب کافی در طی دوره رشد بیان گردید. در حالی‌که تیمارهای تنش خشکی با ایجاد مقدار مشخصی از کسری آب، مقدار مقدار تبخیر و تعرق، پایین‌تری داشتند (Bouazzama *et al*., 2012).

جدول ۵: مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم و آبیاری بر ویژگی‌های زراعی، فیزیولوژیک، عملکرد و بهره‌وری آب و انرژی ذرت علوفه‌ای

صفات ارزیابی شده ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	سطوح آبیاری					
	۶۰		۸۰		۱۰۰	
	ماکسیما	۷۰۴	ماکسیما	۷۰۴	ماکسیما	۷۰۴
تعداد برگ	۱۵۷/۳^{cd}	۱۵۳^{d}	۱۷۳^{a}	۱۶۴^{ac}	۱۷۷/۵^{a}	۱۷۰/۲^{ab}
طول بلال (سانتی‌متر)	۱۳/۸^{a}	۱۲/۸^{b}	۱۳/۶^{a}	۱۲/۷^{b}	۱۳/۴^{ab}	۱۲/۷^{b}
وزن بلال (گرم)	۲۴/۲^{a}	۲۳/۶^{ab}	۲۴^{a}	۲۲^{b}	۲۴^{a}	۲۳/۷^{b}
انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)	۲۱۸/۸^{a}	۲۱۵/۲^{a}	۲۰۱/۵^{a}	۲۰۴/۶^{a}	۲۱۶/۶^{a}	۲۰۶/۴^{a}
انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)	۹/۲^{c}	۹/۵^{c}	۱۰/۶^{b}	۱۱/۴^{a}	۱۲/۴^{a}	۱۳/۲^{a}
بهره‌وری انرژی علوفه تر (کیلوگرم بر مگاژول)	۷۵۲۱۰^{c}	۷۵۲۰۹^{c}	۸۳۵۰۹^{b}	۸۳۵۰۹^{b}	۹۲۰۲۴^{a}	۹۲۰۲۲^{a}
بهره‌وری انرژی علوفه خشک (کیلوگرم بر مگاژول)	۰/۵۲^{e}	۰/۵۴^{e}	۰/۶۰^{d}	۰/۶۴^{c}	۰/۷۰^{b}	۰/۷۴^{a}
نسبت انرژی (درصد)	۰/۱۷^{cd}	۰/۱۳^{d}	۰/۲۱^{b}	۰/۱۶^{de}	۰/۲۵^{a}	۰/۲۰^{bc}
شدت انرژی (مگاژول بر کیلوگرم)	۹/۲^{c}	۹/۵^{c}	۱۰/۶^{b}	۱۱/۴^{b}	۱۲/۴^{a}	۱۳/۲^{a}
افزوده خالص انرژی (مگاژول بر هکتار)	۱/۹۶^{a}	۱/۸۹^{a}	۱/۷۸^{b}	۱/۵۷^{bc}	۱/۴۴^{c}	۱/۳۴^{c}
عدد اسپد (میلی‌گرم بر گرم)	۶۰۵۰۱۸^{e}	۶۳۵۹۸۳^{e}	۷۶۹۹۸۸^{d}	۸۶۰۹۵۶^{d}	۱۰۳۹۴۰۶^{b}	۱۱۲۹۸۲۴^{a}
تبخیر ـ تعرق اندازه‌گیری اول (میلی‌لیتر)	۱۱/۳^{a}	۷/۹^{d}	۹/۷ ^{b}	۸/۹ ^{c}	۸/۵^{c}	۱۰/۳ ^{b}
تبخیر ـ تعرق اندازه‌گیری دوم (میلی‌لیتر)	۰/۸^{b}	۰/۵^{c}	۰/۸^{b}	۰/۴^{c}	۱/۲^{a}	۱^{a}
تبخیر ـ تعرق اندازه‌گیری سوم (میلی‌لیتر)	۰/۴^{b}	۰/۳^{c}	۰/۴^{b}	۰/۳^{c}	۰/۵^{a}	۰/۳^{c}
صفات ارزیابی شده	۰/۴^{a}	۰/۳^{b}	۰/۳^{b}	۰/۲^{c}	۰/۴^{a}	۰/۴^{a}

میانگین‌های دارای یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد می‌باشند.

جدول ۶: تجزیه واریانس مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر محتوی کلروفیل و تبخیر ـ تعرق ذرت علوفه‌ای

منبع تغییرات	درجه آزادی	عدد اسپد	تبخیر ـ تعرق (اندازه‌گیری اول)	تبخیر ـ تعرق (اندازه‌گیری دوم)	تبخیر ـ تعرق (اندازه‌گیری دوم)
سال	۱	۰/۰۱^{ns}	۳**	۰/۶**	۰/۹**
تکرار × سال	۴	۰/۰۱^{ns}	۰/۱^{ns}	۰/۰۷**	۰/۰۳^{ns}
آبیاری	۲	۰/۱^{ns}	۰/۷**	۰/۰۲^{ns}	۰/۷*
آبیاری × سال	۲	۲/۶**	۰/۱^{ns}	۰/۲۸*	۰/۰۲^{ns}
خطای اول	۸	۰/۳	۰/۱	۰/۰۰۹	۰/۰۳
رقم	۱	۶/۳**	۰/۸**	۰/۲**	۰/۰۴^{ns}
رقم × آبیاری	۲	۱۸/۸**	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۲^{ns}
رقم × سال	۱	۶۵**	۰/۲^{ns}	۰/۱**	۰/۰۰۲^{ns}
سال ×رقم× آبیاری	۲	۰/۱^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۵**	۰/۰۰۲^{ns}
خطای دوم	۱۲	۰/۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۰۳

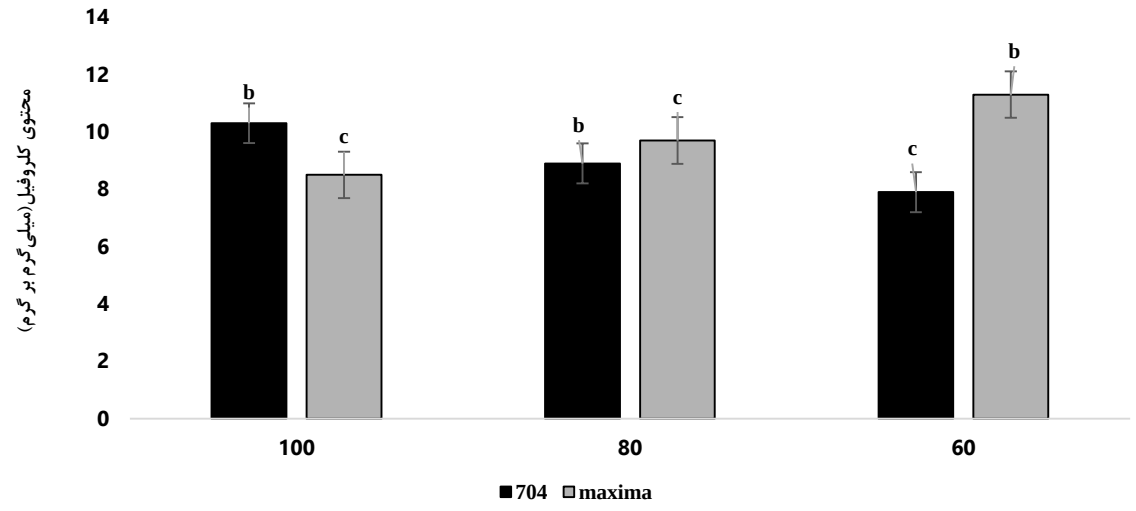
ns، ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح آماری یک درصد و پنج درصد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

جدول۷: مقایسه میانگین‌اثر ساده سال، رقم و آبیاری بر ویژگی‌های زراعی،عملکردی، فیزولوژیکی و بهره‌وری آب و انرژی ذرت علوفه‌ای

صفات ارزیابی شده	سال		رقم		آبیاری		
	۱۳۹۶	۱۳۹۷	ماکسیما	۷۰۴	۶۰درصد	۸۰درصد	۱۰۰درصد
عملکرد علوفه تر (تن در هکتار)	۵۵/۹^{a}	۴۸/۷^{a}	۵۴/۳^{a}	۵۰/۳^{b}	۳۹/۴^{c}	۵۰/۹^{b}	۶۶/۶^{a}
عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار)	۱۷/۳^{a}	۱۴/۷^{a}	۱۴^{b}	۱۷/۸^{a}	۱۱/۵^{b}	۱۵/۴^{b}	۲۱^{a}
ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	۱۸۰/۴^{a}	۱۵۱/۲^{b}	۱۶۹/۲^{a}	۱۶۲/۴^{b}	۱۵۵/۲^{b}	۱۶۸/۵^{a}	۱۷۳/۸^{a}
تعداد برگ	۱۲^{b}	۱۴/۴^{a}	۱۳/۶^{a}	۱۲/۷^{b}	۱۳/۳^{a}	۱۳/۲^{a}	۱۳^{a}
طول بلال (سانتی‌متر)	۲۰/۳^{b}	۲۶/۹^{a}	۲۳^{a}	۲۴^{a}	۲۳/۹^{a}	۲۳^{a}	۲۳/۹^{a}
وزن بلال (گرم)	۲۸۵/۳^{a}	۱۳۵/۸^{b}	۲۰۸/۷^{a}	۲۱۲/۳^{a}	۲۱۷^{a}	۲۰۳^{a}	۲۱۱/۵^{a}
بهره‌وری آب علوفه تر (کیلوگرم بر متر مکعب)	۹/۸^{a}	۸/۳^{a}	۹/۴^{a}	۸/۷^{b}	۸/۵^{a}	۸/۹^{a}	۹/۷^{a}
بهره‌وری آب علوفه خشک (کیلوگرم بر متر مکعب)	۳^{a}	۲/۴^{a}	۲/۲^{b}	۳^{a}	۲/۴^{a}	۲/۷^{a}	۳^{a}
انرژی خروجی (مگاژول بر هکتار)	۹۸۷/۷^{a}	۸۵۹/۸^{a}	۹۵۹^{a}	۸۸۸/۳^{b}	۶۹۵/۷^{c}	۸۹۸/۹^{b}	۱۱۷۶/۶^{a}
انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)	۹۶۲۳۳/۴^{a}	۷۰۹۲۸/۸^{b}	۸۳۵۸۳/۴^{a}	۸۳۵۸۳^{a}	۷۲۲۰۹/۵^{c}	۸۳۵۰۹/۷^{b}	۹۲۰۲۴/۲^{a}
نسبت انرژی (درصد)	۱۰^{a}	۱۲^{a}	۱۱/۳^{a}	۱۰/۷^{b}	۹/۳^{c}	۱۱^{b}	۱۲/۸^{a}
بهره‌وری انرژی علوفه تر (کیلوگرم بر مگاژول)	۰/۵^{a}	۰/۶^{a}	۰/۶^{a}	۰/۶^{a}	۰/۵^{c}	۰/۶^{b}	۰/۷^{a}
بهره‌وری انرژی علوفه خشک (کیلوگرم بر مگاژول)	۰/۱^{a}	۰/۲^{a}	۰/۱^{b}	۰/۲^{a}	۰/۱^{b}	۰/۱^{ab}	۰/۲^{a}
شدت انرژی (مگاژول بر کیلوگرم)	۱/۸^{a}	۱/۴^{a}	۱/۶^{b}	۱/۷^{a}	۱/۹^{a}	۱/۶^{b}	۱/۳^{c}
افزوده خالص انرژی (مگاژول بر هکتار)	۸۹۱۴۶۶^{a}	۷۸۸۹۲۶^{a}	۸۷۵۵۸۸^{a}	۸۰۴۸۰۵۱^{b}	۶۲۰۵۰۱^{c}	۸۱۵۴۷۳^{b}	۱۰۸۴۶۱۶^{a}
عدد اسپد (میلی‌گرم بر گرم)	۹/۴^{b}	۹/۶^{a}	۹/۸^{a}	۹/۱^{b}	۹/۷^{a}	۹/۳^{a}	۹/۴^{a}
تبخیر-تعرق اندازه‌گیری اول (میلی‌لیتر)	۱/۱^{a}	۰/۵^{b}	۱^{a}	۰/۶^{b}	۰/۷^{ab}	۰/۶^{b}	۱^{a}
تبخیر-تعرق اندازه‌گیری دوم (میلی‌لیتر)	۰/۵^{a}	۰/۲^{b}	۰/۴^{a}	۰/۳^{a}	۰/۴^{a}	۰/۳^{a}	۰/۴^{a}
تبخیر-تعرق اندازه‌گیری سوم (میلی‌لیتر)	۰/۵^{a}	۰/۲^{b}	۰/۴^{a}	۰/۳^{a}	۰/۳^{a}	۰/۳^{a}	۰/۴^{a}

میانگین‌های دارای یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد می‌باشند.



شکل ۳: برهم‌کنش آبیاری و رقم بر محتوی کلروفیل دو رقم ذرت

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

بهره‌وری آب و انرژی علوفه ذرت

در پژوهش حاضر، نیاز خالص آبیاری ذرت در محدوده محل اجرای طرح ۶۰۸/۲۱ میلی‌متر به‌دست آمد. این مقدار بر-اساس سند ملی آب، ۴۸۷ میلی‌متر برآورد شده است. مقادیر حجم آب مصرفی در طول فصل رشد (خرداد - شهریور) در تیمارهای سه‌گانه طی ۱۸ تا ۲۰ نوبت آبیاری گیاه ذرت در سال اول، به‌ترتیب برابر ۶۴۴۹ ، ۵۶۷۶ و۴۵۵۰ و در سال دوم ۷۱۰۰، ۵۷۲۰ و ۴۷۱۰ متر مکعب در هکتار بود. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی نشان داد که بهره‌وری آب علوفه تر و خشک در دو سال متوالی آزمایش و در بین سه تیمار آبیاری فاقد اختلاف معنی‌دار آماری بود، در حالی‌که اثر ساده رقم بسیار معنی‌دار گردید (جدول ۸). بنابراین در آزمایش حاضر اعمال کم‌آبیاری توانست نتایجی مشابه با آبیاری کامل بر بهره‌وری آب داشته باشد. در مجموع مدیریت آب از طریق تغییر در مقدار آب یا تغییر در تعداد دور آبیاری در طی دوره رشد گیاه ذرت، موجب کاهش تبخیر و افزایش کارایی آب جهت رشد ذرت می‌شود. بر اساس مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری و رقم، بیش‌ترین و کم‌ترین بهره‌وری آب علوفه تر به‌ترتیب مربوط به ۷۰۴ در آبیاری کامل (۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب) و ماکسیما در ۶۰ درصد آبیاری کامل (۸/۳ کیلوگرم بر متر مکعب) بود. در تمامی سطوح آبیاری، بهره‌وری علوفه تر در ۷۰۴ در مقایسه با ماکسیما افزایش داشت. این موضوع می‌تواند به‌دلیل افزایش علوفه تر در رقم ۷۰۴ نسبت به ماکسیما باشد. به‌گونه‌ای معکوس در هر سه سطح آبیاری، بهره‌وری آب علوفه خشک ماکسیما بیش‌تر از ۷۰۴ گردید. بیش‌ترین مقدار با میانگین ۳/۴ کیلوگرم بر متر مکعب در ماکسیما و در زمانی که از آبیاری کامل استفاده گردید، مشاهده شد. در حالی‌که کم‌ترین مقدار مربوط به ۷۰۴ در ۶۰ درصد آبیاری کامل با میانگین ۲/۸ کیلوگرم بر متر مکعب بود (شکل‌های ۴ و ۵). در مجموع ماکسیما به ازای هر واحد آب مصرفی، ماده خشک بیش‌تری تولید کرد. این ویژگی به‌ویژه در شرایط فعلی منطقه اصفهان که به‌شدت با محدودیت منابع آب مواجه است، اهمیت دارد، زیرا می‌توان با کشت این رقم در ازای آب مصرفی کم‌تر، ماده خشک بیش‌تری تولید کرد. در پژوهشی بهره‌وری مصرف آب محصول ذرت یک کیلوگرم بر متر مکعب و دامنه شاخص بهره‌وری آب ۱/۱ تا ۲/۷کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد (Zwart and Bastiaansen, 2004) که نزدیک به مقادیر بهره‌وری آب به‌دست آمده در پژوهش حاضر بود. تجزیه و تحلیل انرژی همواره در جهت اندازه‌گیری درجه کارایی انرژی و پژوهش‌های مرتبط با محیط‌زیست کاربرد داشته است (Vural and Efecan, 2012).

بر اساس نتایج، انرژی خروجی (دریافتی) حاصل از کشت ذرت علوفه‌ای اگرچه، در سال اول (۹۸۷/۷ مگاژول بر هکتار) نسبت به سال دوم (۸۵۹/۸ مگاژول بر هکتار) بیش‌تر بود، اما این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نشد. علت این موضوع همان‌گونه که پیش از این بیان گردید، افزایش بیش‌تر عملکرد علوفه در سال اول نسبت به سال دوم می‌باشد. انرژی ورودی یا انرژی نهاده‌های مصرفی در سال اول به‌صورت بسیار معنی‌دار، بیش‌تر از نوع مشابه سال دوم بود، به‌طوری که سال

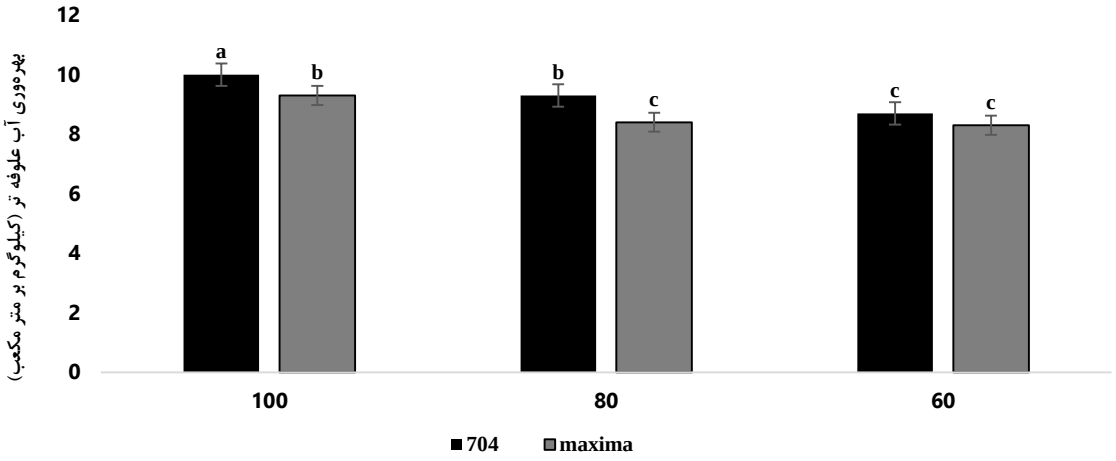
[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

۱۳۹۶، بیش از ۳۵ درصد انرژی ورودی بیش‌تری نسبت به سال ۱۳۹۷ مصرف کرد. دلیل این مسئله می‌تواند مربوط به افزایش انرژی مصرفی در پمپاژ آب در سال اول باشد، به‌گونه‌ای که در سال اول آب از ارتفاع بیش‌تری استخراج گردید. نسبت انرژی که به‌صورت نسبت انرژی‌های خروجی به‌ورودی می‌باشد و بهره‌وری انرژی علوفه تر و خشک در سال دوم (به‌ترتیب ۱۲ درصد، ۰/۶ و ۰/۲ کیلوگرم بر مگاژول) بیش‌تر از سال اول (به‌ترتیب ۱۰ درصد، ۰/۵ و ۰/۱ کیلوگرم بر مگاژول) بود. هرچند که افزایش مقادیر در سال دوم نسبت به سال اول معنی‌دار نشد. شدت مصرف انرژی و افزوده خالص انرژی بدون تفاوت معنی‌دار با میانگین به‌ترتیب ۱/۸ مگاژول بر کیلوگرم و ۸۹۱۴۶۶ مگاژول بر هکتار در سال اول بیش‌تر از سال دوم (به‌ترتیب ۱/۴ مگاژول بر کیلوگرم و ۷۸۸۹۲۶ مگاژول بر هکتار) به‌دست آمد (جدول ۵).

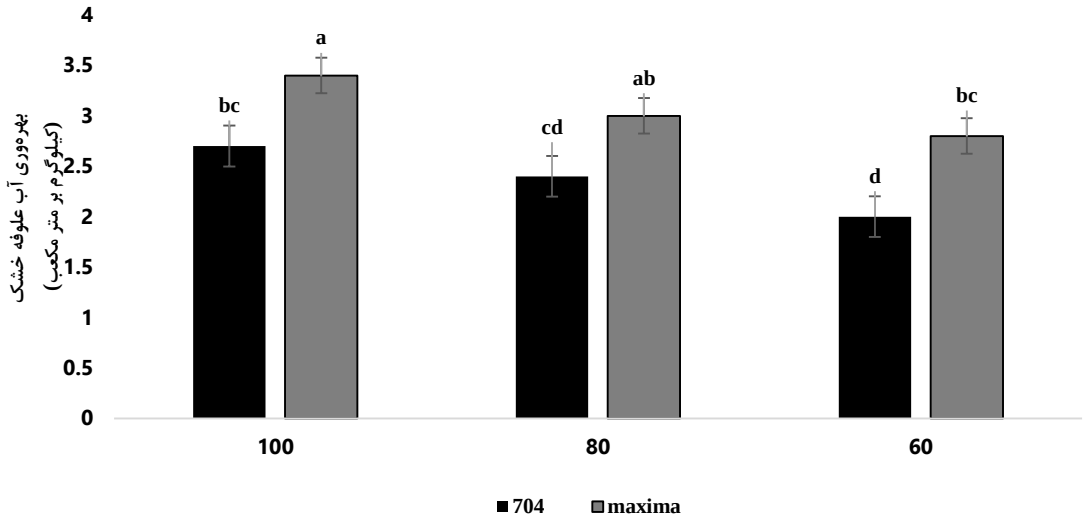
مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری در رقم نشان داد که در هر دو رقم ماکسیما و ۷۰۴ با کاهش آب مصرفی، انرژی خروجی نیز کاهش می‌یابد. بیش‌ترین مقدار با میانگین ۱۲۲۱۸۴۰ مگاژول بر هکتار در ۷۰۴ و در زمان آبیاری کامل بوته‌ها مشاهده گردید. در حالی‌که در همین سطح انرژی خروجی در ماکسیما نزدیک به هشت درصد کاهش یافت. در سطح ۸۰ درصد آبیاری کامل نیز مقدار انرژی خروجی ۷۰۴ (۹۴۴۴۹۶ مگاژول بر هکتار) بیش‌تر از ماکسیما (۸۵۳۴۹۶ مگاژول بر هکتار) بود. در تیمار ۶۰ درصد آبیاری کامل، انرژی خروجی هر دو رقم تفاوت معنی‌داری آماری نداشت. هم‌چنین با کاهش سطح آبیاری، انرژی ورودی دو رقم، با کاهش روبه‌رو شد که علت آن کاهش انرژی مصرفی جهت تأمین آب می‌باشد. بر این اساس بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار بدون اختلاف معنی‌دار بین دو رقم، مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد و تنش ۶۰ درصد آبیاری کامل می‌باشد (به‌ترتیب میانگین ۹۲۰۲۲ و ۷۵۲۱۰ مگاژول بر هکتار). لازم به ذکر است که در تمامی تیمارهای آبیاری اختلاف معنی‌داری بین دو رقم مشاهده نشد. مشابه با انرژی ورودی، نسبت انرژی در هر دو رقم بدون تفاوت معنی‌دار در تمامی سطوح آبیاری، با کاهش مقدار آب روندی نزولی داشت. سطح ۱۰۰ درصد و ۶۰ درصد آبیاری کامل، با میانگین ۱۳/۲ و ۹/۲ درصد بیش‌ترین و کم‌ترین نسبت انرژی را داشتند. بهره‌وری انرژی علوفه تر با کاهش آب مصرفی در هر دو رقم کاهش یافت که کاهش عملکرد می‌تواند دلیل اصلی آن باشد. با این حال در تمامی سطوح آبیاری، بهره‌وری انرژی علوفه تر، مشابه با عملکرد علوفه تر، در ۷۰۴ بیش از ماکسیما بود. بهره‌وری علوفه خشک با وجود کاهش در هر دو رقم در اثر کاهش آب در دسترس در هر تمامی سطوح آبیاری، در ماکسیما نسبت به ۷۰۴ بیش‌تر گردید. به‌نظر می‌رسد، وجود ماده خشک بالاتر در ماکسیما دلیل این رویداد باشد، به‌طوری‌که بیش‌ترین بهره‌وری با میانگین ۰/۲۵ کیلوگرم بر مگاژول در ماکسیما و در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و کم‌ترین با میانگین ۰/۱۳ کیلوگرم بر مگاژول در ۷۰۴ و ۶۰ درصد آبیاری کامل مشاهده گردید. شدت انرژی در هر دو رقم، با کاهش سطح آب آبیاری افزایش یافت. با اینکه شدت انرژی در ماکسیما اندکی بیش از ۷۰۴ گردید، اما فاقد معنی‌داری آماری بود. بیش‌ترین مقدار آن در ماکسیما و ۶۰ درصد آبیاری

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

(۱/۹ مگاژول بر کیلوگرم) و کم‌ترین آن در ۷۰۴ و در زمان آبیاری کامل بوته‌ها (۱/۳ مگاژول بر کیلوگرم) مشاهده گردید. افزوده خالص انرژی، با کاهش سطوح آبیاری، در هر دو رقم با کاهش روبه‌رو شد. با توجه به محاسبه افزوده خالص انرژی از مقادیر علوفه تر و بالاتر بودن عملکرد علوفه تر در ۷۰۴، در دو تیمار آبی ۱۰۰ درصد و ۸۰ درصد آبیاری کامل، افزوده خالص ۷۰۴ به‌صورت معنی‌دار بیش‌تر از ماکسیما بود (جدول ۵). در ارزیابی بهره‌وری آب و انرژی در اثر تنش خشکی و در بین ارقام جو گزارش شد که شاخص‌های انرژی در بین ارقام مختلف جو در شرایط تنش رطوبتی متفاوت می‌باشد (Hallal *et al*., 2019). در نتیجه واریته‌های مختلف یک گیاه در اثر تنش خشکی مقاومت متفاوتی دارند. این گونه نتایج با دیگر یافته‌ها نیز مطابقت دارد (Rase *et al*., 2013; Mansour *et al*., 2014; Mansour, 2015).



شکل ۴: برهم‌کنش آبیاری و رقم بر بهره‌وری آب علوفه تر دو رقم ذرت



شکل ۵: برهم‌کنش آبیاری و رقم بر بهره‌وری آب علوفه خشک دو رقم ذرت

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

جدول ۸: تجزیه واریانس تیمارهای آزمایش بر شاخص‌های بهره‌وری آب و انرژی ذرت علوفه‌ای

منبع تغییرات	درجه آزادی	انرژی خروجی	انرژی ورودی	نسبت انرژی	بهره‌وری انرژی علوفه تر	بهره‌وری انرژی علوفه خشک	شدت انرژی	افزوده خالص انرژی	بهره‌وری آب علوفه تر	بهره‌وری آب علوفه خشک
سال	۱	۱۴۰۶۹/۵**	۵۷۶۲۷۵۷۷۱**	۳۲/۸**	۰/۱**	۰/۰۰۶**	۰/۱**	۹۶۶۲۹۴۶۴۵۴۲**	۱۹/۹**	۲/۵**
تکرار×سال	۴	۴۰۴۲۶/۵	۱۱	۴/۵	۰/۱	۰/۰۰۱**	۰/۱	۴۰۴۲۷۳۹۰۹۱۹	۳/۹	۰/۵
آبیاری	۲	۶۹۹۴۰/۷**	۸۴۸۱۳۹۸۷۰**	۳۶/۴**	۰/۱**	۰/۰۱*	۰/۸**	۶۵۱۷۰۸۷۵۳۲۳۲**	۴/۶	۱
آبیاری×سال	۲	۶۶۶۵۰/۶**	۵۵۱۳۶۲۴۲**	۴/۷**	۰/۰۱**	۰/۰۰۱	۰/۱**	۶۴۴۰۴۵۱۶۱۷۹**	۶/۳**	۰/۸*
خطای اول	۸	۲۲۱۶۳/۶	۳	۲/۶	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲	۰/۰۶	۲۲۱۶۳۷۵۹۴۰۶	۲	۰/۶
رقم	۱	۴۵۵۰۹۴/۶**	۴	۳/۶*	۰/۱**	۰/۰۲**	۰/۱**	۴۵۰۹۲۶۸۶۰۱۰**	۴/۳**	۳/۷**
رقم×آبیاری	۲	۳۵۶۷/۶	۱	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱	۳۵۶۷۵۸۱۲۶۱	۰/۲	۰/۰۰۶
رقم×سال	۱	۱۲۰۱۰۹/۶**	۲	۱۴/۴**	۰/۰۴**	۰/۰۰۵*	۰/۴**	۱۲۰۱۰۸۱۸۷۵۸۸**	۱۱/۶**	۰/۳
سال×رقم×آبیاری	۲	۵۵۴۲/۲	۰/۰۰۱	۰/۴۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱	۵۵۴۲۰۴۱۴۱۳**	۰/۳	۰/۰۵
خطای دوم	۱۲	۳۴۰۳/۲	۶	۰/۴۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۱	۳۴۰۳۳۱۵۳۹۹	۰/۳	۰/۱

ns، **و * به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح آماری یک درصد و پنج درصد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج با کاهش مقدار آب، عملکرد علوفه ذرت کاهش یافت، به‌گونه‌ای که کاهش عملکرد علوفه تر و خشک در تیمار ۶۰ درصد آبیاری در مقایسه با ۱۰۰ درصد، به‌ترتیب نزدیک به ۴۱ و ۴۸ درصد بود. در بین ارقام بیش‌ترین عملکرد علوفه تر در ۷۰۴ (میانگین ۶۹ کیلوگرم بر هکتار) و بیش‌ترین عملکرد علوفه خشک در ماکسیما (میانگین ۲۳ کیلوگرم بر هکتار) در تیمار آبیاری کامل مشاهده گردید. تیمارهای آبیاری بر صفات بهره‌وری علوفه تر و خشک تاثیر معنی‌دار آماری نشان نداد. این موضوع نشان می‌دهد که با کاربرد رقم مناسب در شرایطی که مقدار آب در منطقه کافی نیست می‌توان بهره‌وری آب مشابه با شرایط مطلوب آبیاری در ذرت به‌دست آورد. ماکسیما از لحاظ بهره‌وری آب بر ۷۰۴ از برتری برخوردار بود، زیرا در ازای آب مصرفی مقدار ماده خشک بیشتری در مقایسه با ۷۰۴ در هر سه سطح آبیاری تولید کرد. هم‌چنین با توجه به مقدار آب مصرفی در تیمارهای سه‌گانه در سال اول تیمار ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد به‌ترتیب ۱۲ و ۲۹/۴ درصد آب کم‌تری مصرف کردند. مقدار صرفه‌جویی در سال دوم به‌ترتیب ۱۹/۴ و ۳۳/۶ درصد بود. در هر دو رقم با کاهش مقدار آب، انرژی خروجی، ورودی، نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی و افزوده خالص انرژی کاهش یافت. بیش‌ترین انرژی خروجی در ۷۰۴ و در زمان آبیاری کامل بوته‌ها، با میانگین ۱۲۲۱۸۴۰ مگاژول بر هکتار به‌دست آمد. در حالی‌که دو رقم در تمامی سطوح آبیاری انرژی ورودی یکسانی را مصرف کردند. بهترین نسبت انرژی نیز بدون تفاوت معنی‌دار بین دو رقم در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری مشاهده گردید (۱۳/۲ درصد). بالاترین بهره‌وری انرژی علوفه خشک با میانگین ۰/۲۵ کیلوگرم بر مگاژول در ماکسیما و در شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد. در مجموع می‌توان بیان کرد که در شرایط مطلوب آبیاری، کشت رقم دیررس (۷۰۴) بر زودرس (ماکسیما) قابل توصیه می‌باشد. در حالی‌که در زمان عدم کفایت آب، رقم زودرس به‌دلیل تولید ماده خشک بیش‌تر در ازای آب مصرفی و بهره‌وری انرژی علوفه خشک نسبت به رقم زودرس دارای برتری نسبی است. افزون بر این با کاهش مقدار آب، شدت انرژی در ماکسیما کم‌تر از ۷۰۴ بود و در نتیجه می‌توان گفت که به ازای مصرف هر مگاژول انرژی، علوفه بیش‌تری در ماکسیما تولید شد. لازم به ذکر است که برآورد دقیق صرفه‌جویی انرژی به‌صورت ریالی (یا دلاری) منوط به برآورد سطح زیر کشت دقیق ذرت رقم‌های ماکسیما و ۷۰۴ و تبدیل انرژی صرفه‌جویی‌شده به نفت خام و معادل دلاری آن است.

منابع

تیموری، ن.، سعیدی، م.، اقبال قبادی، م. و ساسانی، ش. ۱۳۹۹. اثر تیمار قطع آبیاری انتهای فصل بر رشد و عملکرد دانه و برخی خصوصیات فیزیولوژیک گندم نان. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۲ (۴۶): ۱۲۹-۱۱۱.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

حیدری شریف آباد، ح. ۱۳۹۱. فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی (اثر متقابل ژنوتیپ x محیط x مدیریت). انتشارات آستان قدس رضوی. ۳۸۲ ص.

رحیمی، ع. ا.، مدحج، ع. و مجدم، م. ۱۳۹۷. مطالعه جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه ژنوتیپ‌های یونجه (*Medicago sativa* L.) تحت تأثیر تنش خشکی. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۰ (۴۰): ۱۴۴-۱۲۹.

سرشاد، ا.، طالعی، د.، ترابی، م.، رفیعی، ف.، و نجات‌خواه، پ. ۱۳۹۹. اثر قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه ارقام مختلف سورگوم دانه‌ای. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۲ (۴۵): ۷۵-۶۱.

فرخی، غ. م.، معاونی، پ.، مظفری، ح.، مجیدی هروان، ا. و ثانی، ب. ۱۳۹۸. بررسی اثر قطع آبیاری در دوره‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و شاخص فیزیولوژیک چهار رقم ذرت. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۱ (۴۳): ۴۵-۲۵.

ناصح حسینی، س. م.، سعیدی، م. و منصوری‌فر، س. ۱۳۹۷. اثر تیمارهای مختلف رطوبتی بر محتوای متابولیت-های مختلف و برخی صفات فیزیولوژیک پنج رقم نخود در منطقه کرمانشاه. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۰ (۳۹): ۲۲-۵.

Admasu, R. W., Michael, A. and Hordofa, T. 2019. Effect of moisture stress on maize (*Zea Mays* L.) yield and water productivity. International Sciences & Natural Resources. 16(4):83-87.

Allen, R. G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 2009. Crop Evapotranspiration- Guidline for computing crop water requirement. FAO irrigation and drainage paper. No. 56. 362p.

Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C. and Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research. 6: 2026–2032.

Bouazzama, J., Xanthoulis, D., Bouaziz, A., Ruelle, P. and Mailhol, J. C. 2012. Effect of water stress on growth, water consumption and yield of silage maize under flood irrigation in a semi-arid climate of Tadla (Morocco). Biotechnology, Agronomy, Society and Environment. 16(4): 468-477.

Camel, V., Galeano, E. and Carrer, H. 2017. In silico Analysis and Gene Expression of TgNAC01 Transcription Factor Involved in Xylogenesis and Abiotic Stress in Tectona grandis. Acta Biologica Colomb. 22: 359–369.

Galeano, E., Sales Vasconcelos, T., Novais de Oliveira, P. and Carrer, H. 2019. Physiological and molecular responses to drought stress in teak (*Tectona grandis* L.f.). PLOS ONE. 4: 1-26.

Hallal, F., Abdel-Hady, M., Khatab, I., El-Sayed, S. and Abdelly, Ch. 2019. Yield characterization of Mediterranean Barly under drought stress. AIMS Agriculture and Food. 4(3): 518-533.

He, J., Wen, R., Tian, S., Su, Y., He, X., Su, Y., Cheng, W., Huang, K. and Zhang, S. 2017. Effects of Drought Stress and Re-watering on Growth and Yield of Different Maize Varieties at Tasseling Stage. Agricultural Science & Technology, 18(7), p.1145.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

L.Gamez, A., Soba, D. M., Zamarreno, A., M.Garcia-Mina, J., Aranjuelo, I., and Morales, F. 2019. Effect of water stress during grain filling on yield, quality and physiological traits of Illpa and Rainbow Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. Plants. 8(173): 1-15.

Mansour, H. A., Pibars, S. K. and Abd El-Hady, M. 2014. Effect of water management by drip irrigation automation controller system on Faba bean production under water deficit. International Journal of GEOMATE. 7: 1047–1053.

Mansour, H. A. 2015. Performance automatic sprinkler irrigation management for production and quality of different Egyptian wheat varieties. International Journal of ChemTech Research. 8: 226–237.

Puri Goswami, S., Nand Duby, A., Chourasia, A., Laxmi, S. and Singh, D. K. 2019. Water stress and its management strategies on rainfed maize: A review. Journal of Pharmacognsoy and Phytochemistry. 8(1): 2433-2438.

Raes, D., Steduto, P., and Hsiao, T. C. 2013. Reference Manual: Aqua Crop Plugin Program Version (4.0). FAO, Land and Water Division, Rome, Italy.

Ren, X., Zhang, P., Chen, X., Guo, J. and Jia, Z. 2016. Effect of Different Mulches under Rainfall Concentration System on Corn Production in the Semi-arid Areas of the Loess Plateau. Scientific Report. 6: 19019.

Shailja Bansal, D., Thakur, A., Singh, S., Bakhshi, M. and Bansal, S. 2019. Changes in crop physiology under drought stress: A review, Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 8(4): 1251-1253.

Song, L., Jin, J. and He. J. 2019. Effect of severe water stress on maize growth processes in the field. Sustainability. 11 (5086): 1-18.

Tani, E., G. Chronopoulou, E. E., Labrou, N., Sarri, E. Goufa, M., Vaharidi, X., Tornesaki, A., Psvchogiou, M. J., Bebeli, P. and M. Abraham, E. 2019. Growth, physiological, biochemical, and transcriptional responses to drought stress in seedlings of *Medicago sativa* L., *Medicago arborea* L. and their hybrid (Alborea). Agronomy. 9 (38): 1-19.

Vural, H. and Efecan, I. 2012. An analysis of energy use and input costs for maize production in Turkey. Journal of Food, Agriculturr & Environment. 10 (2): 613-616.

Xu, J., Zhou, Y., Xu, Z., Chen, Z., and Duan, L. 2020. Combining physiological and metabolomics analysis to unravel the regulations of coronatine alleviating water stress in Tobacco (*Nicotina tabacum* L.). Biomolecules. 10 (99): 2-16.

Zwart, S. and Bastiaansen, W. G. M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigation wheat, rice, cotton and maize. Agricultural Water Management. 69: 115-133.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]