

تأثیر تنش کم آبی و نیتروژن بر عملکرد دانه و متابولیت‌های سازگاری دو رقم ذرت هیبرید میان‌رس

سیروس منصوری فر^۱، سید علی محمد مدرس ثانوی^{۲*} و خسرو محمدی^۱

تاریخ دریافت: ۸۷/۳/۲۸ تاریخ پذیرش: ۸۸/۲/۶

۱ و ۲- دانشجویان دکترا و دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه تربیت مدرس

*مسئول مکاتبه E-mail: modaresa@modarea.ac.ir

چکیده

برای بررسی تأثیر تنش کم آبی و نیتروژن بر عملکرد دانه و متابولیت‌های سازگاری دو رقم ذرت هیبرید میان‌رس، آزمایشی در دو مکان (دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس و دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی کرمانشاه) به‌طور همزمان به اجرا در آمد. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گردید. تنش کم آبی در چهار سطح شامل تنش در مرحله رویشی، مرحله زایشی و مراحل رویشی - زایشی به‌همراه تیمار شاهد (بدون تنش) در کرت‌های اصلی قرار گرفت. کرت‌های فرعی ترکیبی از عامل کود نیتروژن در دو سطح شامل 100 و 200 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به همراه فاکتور رقم شامل دو رقم میان‌رس هیبرید ذرت S.C 647 و T.C 647 بود. نتایج نشان داد که سطوح مختلف تیمار تنش کم آبی، نیتروژن و رقم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت. تنش کم آبی و نیتروژن در مرحله رویشی، بر پروتئین‌های محلول در برگ تأثیر معنی‌داری داشت. تنش کم آبی منجر به کاهش میزان پروتئین در مقایسه با تیمار شاهد گردید. مقدار پروتئین در تیمار نیتروژن کامل نیز بیشتر از تیمار کمبود نیتروژن بود. کمبود رطوبت منجر به افزایش معنی‌دار پرولین برگ‌ها در پایان هر دوره از تنش گردید. مقدار نیتروژن نیز رابطه مستقیم با افزایش، غلظت پرولین داشت. تنش کم آبی منجر به کاهش معنی‌دار کلروفیل در ارقام مورد آزمایش گردید. در پایان مرحله رشد زایشی کمبود رطوبت بر مقدار کل اسیدهای آمینه آزاد در برگ تأثیر معنی‌دار داشت.

واژه‌های کلیدی: تنش کم آبی، ذرت، متابولیت‌های سازگاری، نیتروژن

Effect of Water Deficit Stress and Nitrogen on Yield and Compatibility Metabolites of Two Medium Maturity Corn Cultivars

C Mansouri-Far¹, SAM Modares Sanavy^{2*} and Kh Mohammadi¹

Received: 17 June 2008 Accepted: 26 April 2009

¹PhD Students, Dept. of Agron., Univ. of Tarbiat Modaros, Iran.

²Assoc. Prof. Dept. of Agron., Univ. of Tarbiat Modaros, Iran.

*Corresponding author: E-mail:modaresa@modares.ac.ir

Abstract

In order to study the effect of water deficit stress and nitrogen on yield and compatibility metabolites in two hybrid corn cultivars, an experiment was conducted at the experimental farms of Tarbiat Modarres and Kermanshah Razi Universities. The experimental design was randomized complete block with treatments organized following a split-factorial with three replications. Drought stress at three growth stages (vegetative, reproductive and both vegetative and reproductive) and without water deficit or control were randomized to the main plot units. Combination of two levels of nitrogen fertilizer (100 and 200 kg/ha) and two maize varieties (S.C. 647 and T.C. 647) were applied to the subplot units. The results showed that water deficit stress, nitrogen and cultivar had significant effects on grain yield. Water deficit stress at vegetative phase had significant effect on leaf soluble proteins and was reduced in stress treatments as compared with the control. Soluble protein in the treatments with full fertilizer was more than nitrogen deficit treatments. At the end of each phase of stress (growth stage) water deficit induced a significant increase of proline in leaves. Nitrogen levels showed positive correlation with the leaf proline Content. Water deficit stress led to a significant decrease of chlorophyll content in examined cultivars. Water deficit had a significant effect on free amino acid content of leaf at the end of reproductive stage.

Key words: Corn, Compatibility metabolites, Nitrogen, Water deficit stress

مقدمه

رابطه آن با نیتروژن قابل دسترس در خاک از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد و نمو محسوب می‌گردد. اگرچه عوامل دیگری مانند تراکم بوته، تاریخ کاشت و مصرف سایر نهاده‌ها می‌توانند بر عملکرد تأثیر گذار باشند ولی، این عوامل به طور معمول با توجه به مقدار

ذرت پس از گندم و برنج بیشترین سطح زیر کشت و میزان تولید محصولات کشاورزی دنیا را به خود اختصاص داده است (وارمن ۲۰۰۳). یکی از تنگناهای اصلی تولید پایدار محصولات کشاورزی، تنش‌های محیطی می‌باشد. تنش رطوبتی ناشی از کمبود آب و

مقدار کلروفیل در گیاهان، تحت تنش رطوبتی و کاهش نیتروژن تنزل یافته و باعث افت جذب نور توسط گیاه می‌شود (زارکو - تجادا و همکاران ۲۰۰۰). آلبرت و تورنبر (۱۹۷۷) با بررسی اثرات تنش کم آبی بر محتوی و ترتیب کلروفیل‌های مزوفیلی و غلاف آوندی برگ‌های ذرت اظهار داشتند که بر اثر تنش کم آبی میزان کلروفیل برگ کاهش می‌یابد و این کاهش کلروفیل به خاطر نقصان در لاملای کلروفیل می‌باشد.

هدف از این پژوهش نیز بررسی تأثیر تنش کم آبی و نیتروژن بر عملکرد دانه و متابولیت‌های سازگاری به تنش در ارقام مختلف ذرت و تعیین روابط آبی گیاه، تغییرات کلروفیل و اسیدهای آمینه و پروتئین‌های محلول برگ و ارتباط آن‌ها با میزان مقاومت به خشکی ارقام ذرت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در دو منطقه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس (تهران) با مختصات طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی و دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی کرمانشاه با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی به‌طور مستقل و همزمان اجرا گردید. بافت خاک محل آزمایش در تهران، شنی لومی با pH برابر ۷/۷۴ و در منطقه کرمانشاه از نوع رسی و با pH برابر ۷/۷۳ بود. محل اجرای آزمایش در سال قبل از کاشت در هر دو مکان به‌صورت آیش قرار داشت. تیمارهای آزمایش شامل تنش کم آبی در چهار سطح به صورت یک بار قطع آبیاری در مرحله رویشی (مرحله ۸ برگی، (V8)(I₁))، یک بار قطع آبیاری در مرحله زایشی (بعد از گرده افشانی (R3)(I₂))، در هر دو مرحله رویشی و زایشی (V8 و (R3)(I₃)) و تیمار شاهد (بدون تنش کم آبی)(I₄) بود، که

آبی که گیاه در فصل رشد در دسترس دارد تنظیم می‌شود (نسبیت و ریچی ۱۹۹۲). نیتروژن به عنوان دومین عامل محدود کننده تولید محصول پس از آب، در مناطق خشک و نیمه خشک شناخته شده است. تأمین عناصر غذایی کافی، بخصوص مصرف نیتروژن باعث می‌شود سیستم‌های ریشه‌ای قوی و عمیق‌تری در دوران رشد تولید شود (پسرکالی ۲۰۰۱). کمبود آب با تأثیر بر آماس سلولی و در نتیجه باز و بسته شدن روزنه‌ها، فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و تعرق را کنترل کرده و با تأثیر بر فرآیندهای آنزیمی که به‌طور مستقیم با پتانسیل آب کنترل می‌شوند، بر رشد گیاه اثر منفی می‌گذارد. سانویکا و همکاران (۲۰۰۴) کاهش پتانسیل آب سلول، فتوسنتز برگ‌ها و متابولیسم نیتروژن را بر اثر تنش خشکی گزارش دادند. تجمع پرولین عمومی‌ترین واکنش گیاه به تنش‌های محیطی، به ویژه در پتانسیل‌های پایین آب می‌باشد (تکسیرا و پیرا ۲۰۰۷). هوگو رابرت و همکاران (۲۰۰۳) و سوزا و همکاران (۲۰۰۴) افزایش پرولین در هنگام تنش کم آبی را گزارش کردند. محتوای آب نسبی (RWC¹) برگ معرف بسیار خوبی از وضعیت آبی گیاه است که به‌عنوان یک شاخص جهت تحمل به خشکی پیشنهاد شده است (تئولیت و همکاران ۱۹۹۷). گوبیس و همکاران (۲۰۰۷) کاهش محتوی آب نسبی برگ را در اثر تنش کم آبی گزارش نمودند. فعالیت فتوسنتزی ارقام مقاوم به خشکی نسبت به ارقام حساس به خشکی در RWC و پتانسیل اسمزی پایین، بیشتر است. لذا تنظیم فشار آماس سلول و آب نسبی برگ، نقش مهمی را در فعالیت فتوسنتز در طول دوره خشکی ایفا می‌کند (هویلیان و همکاران ۱۹۹۶). نحوه تأثیر تنش و میزان خسارت آن وابسته به رقم و گونه می‌باشد (کاکیر ۲۰۰۴). کلروفیل برگ یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نشان‌دهنده فشارهای محیطی وارد بر گیاهان می‌باشد.

¹Relative water content

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) متابولیت‌های سازگاری ارقام ذرت در مرحله رشد رویشی

منابع تغییرات	S.O.V	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	اسید آمینه کل	کلروفیل در شروع تنش	کلروفیل در پایان تنش	راندمان کوانتومی فتوسنتز	پروتئین محلول در برگ	پرویلین آزاد برگ
مکان	L	۱	۸/۹ *	۱۷۹/۵۸	۱۸۸ **	۱۱۳/۱**	۰/۰۵۱	۳/۵۶	۷/۱۶ *
خطای a	R*L	۲	۳/۵۱	۱۷۴/۹۵	۴/۰۸	۱۰/۵۷	۰/۰۴۴	۶	۴/۶۹
تنش کم آبی	I	۳	۱۳۰۶**	۲۹/۰۷	۶/۵۸	۱۳۰/۱۶**	۰/۰۸۹**	۸/۶۷**	۱۵۴۴/۱۳**
تنش کم آبی × مکان	IL	۳	۱۵/۶۰	۸۵/۸۱	۰/۱۲	۳/۵۹	۰/۰۰۰۱۱	۱/۹۱ *	۲۱/۳۵**
خطای b	R*I(L)	۱۲	۱۲/۶۹	۵۶/۱۸	۲/۸۸	۴/۲۵	۰/۰۰۵۵	۰/۵۳	۱/۱۶
کمبود نیتروژن	N	۱	۲۴/۸۱	۴۱/۹۴	۲۸۱**	۲۹۷/۵۱**	۰/۰۰۹**	۲/۲۰ *	۴۱/۸۴**
رقم	H	۱	۲/۵۳	۱۶۲۵/۶۳	۳۷/۸**	۹/۳۷	۰/۰۰۱۲**	۰/۱۶	۱۶/۳۵**
تنش × نیتروژن	IN	۳	۱۵/۱۰	۱۴۱۱/۴۰	۱۳/۰۷*	۲۲/۵۴*	۰/۰۰۰۴۴	۰/۶۸	۱۱/۷۶**
تنش × رقم	IH	۳	۳۰/۳۵*	۱۳۶۳/۱۷	۸/۰۲	۷/۴۲	۰/۰۰۰۵۵	۰/۴۹	۱۶/۹۶**
نیتروژن × رقم	NH	۱	۷/۳۷	۳۹۴/۹۳	۶/۷۷	۱/۶۵	۰/۰۰۰۹	۰/۰۲	۰/۶۱
نیتروژن × مکان	NL	۱	۲/۶۷	۶۱/۹۸	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱۵	۱/۷۵	۰/۲۴
رقم × مکان	HL	۱	۴/۵۱	۵۱/۱۲	۰/۰۱	۱۲/۳۰*	۰/۰۰۰۸	۰/۷۴	۰/۱۸
تنش × نیتروژن × رقم	INH	۳	۷/۳۷	۸/۸۹	۳/۹۶	۷/۰۱	۰/۰۰۰۲۶	۰/۵۷	۳۲/۶۱**
تنش × نیتروژن × مکان	INL	۳	۱۱/۱۶	۲۱/۱۴	۰/۰۹	۱/۷۳	۰/۰۰۰۱۲	۱/۶۹*	۰/۰۷
نیتروژن × رقم × مکان	NHL	۱	۰/۰۰۰۴	۱/۱	۰/۰۶	۴/۸۶	۰/۰۰۰۶	۲/۷۸*	۰/۲۰
تنش × رقم × مکان	IHL	۳	۱/۴۹	۲/۲۴	۰/۰۵	۰/۸۵	۰/۰۰۰۲	۲/۲۳*	۰/۴۷
تنش × نیتروژن × رقم × مکان	INHL	۳	۰/۹۷	۳/۲۹	۰/۱۷	۱/۲۳	۰/۰۰۰۲۶	۱/۳۵	۰/۲۳
خطای آزمایش	E	۴۸	۹/۹۹	۳۵۰/۱	۱۵/۲۸	۵/۴۱	۰/۰۰۰۷	۰/۵۷	۲/۱۷

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

گرفت. میزان ۱۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل قبل از کاشت و کود نیتروژن نیز به صورت یک سوم پایه و دو سوم سرک در دو مرحله ۶-۴ برگی و ظهور اولین گره ساقه به صورت نواری به کار رفت. بذور مورد نظر با تراکم ۷۰۰۰۰ بوته در هکتار در تاریخ بیست و هشتم اردیبهشت ماه در تهران و هجدهم اردیبهشت ماه در کرمانشاه کشت گردید. دوره تنش و قطع آبیاری در مرحله رویشی در تهران و کرمانشاه، به ترتیب ۸ و ۱۸ روز به طول انجامید و مدت قطع آبیاری در مرحله

در کرت‌های اصلی قرار گرفتند. کرت‌های فرعی نیز شامل ترکیبی از کود نیتروژن در دو سطح شامل (N₁) ۲۰۰ و (N₂) ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و فاکتور رقم شامل دو رقم میان رس هیبرید ذرت (H₁) S.C 647 و (H₂) T.C 647 بود که به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد. هر کرت از شش خط کاشت به طول ۷ متر و به فواصل ۷۵ سانتی‌متر از یکدیگر تشکیل شد و سطحی معادل ۳۱/۵ مترمربع را در بر

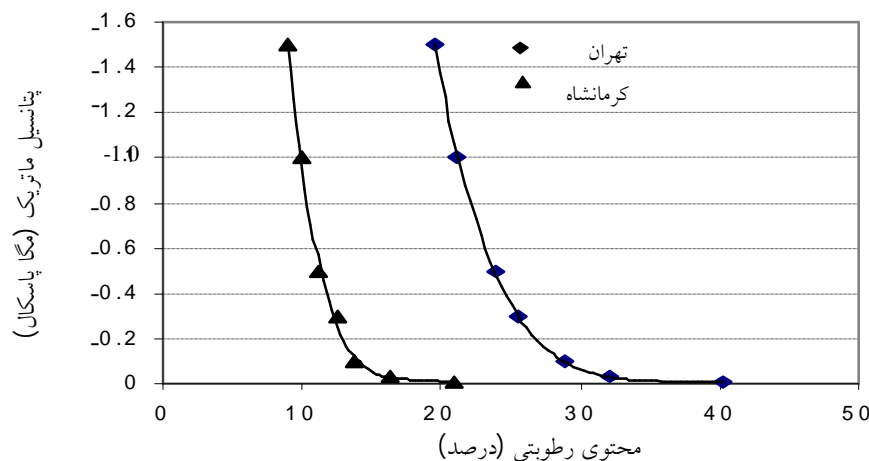
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) متابولیت‌های سازگاری ارقام ذرت در مرحله رشد زایشی

منابع تغییرات	S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه	محتوای نسبی آب برگ	اسید آمینه کل	کلروفیل در شروع تنش	کلروفیل در پایان تنش	راندمان کوانتومی فتوسنتز	پروتئین محلول در برگ	پرولین آزاد برگ
مکان	L	۱	۴۲۴۵**	۸/۶۴	۳۷۴/۵*	۴۸۳۸/۸۸**	۱۹۳۹/۵۰**	۰/۰۱۳	۲۳/۹۹	۱۱/۰۷*
خطای a	R*L	۲	۹۱۷	۲۴/۳۳	۱۳۰/۹	۴۴/۹	۲۳/۹	۰/۰۴	۷/۲۶	۴/۴۹
مرحله تنش کم آبی	I	۳	۱۲۱۵۷**	۱۸۲۳/۳۶**	۶۱۹/۵**	۵۶/۱۲**	۱۸۹/۱۶**	۰/۰۴۳۹**	۸/۵**	۴۰۷**
تنش کم آبی × مکان	IL	۳	۱۲۸۷	۹/۲۳	۱۸/۸۱	۱۱۶/۶۶	۹۳/۳۷	۰/۰۰۰۱۷	۲/۱۸	۰/۲۵
خطای b	R*I(L)	۱۲	۱۳۵۷	۱۰/۳۰	۶/۱۴	۱۴/۵۰	۱۴/۲۹	۰/۰۰۱۵	۱/۰۳	۲/۵۰
کمبود نیتروژن	N	۱	۱۵۶۹۸**	۵/۹۰	۳۱/۵۴**	۲۲۱/۷۴**	۲۸۹/۴۷**	۰/۰۰۳۷**	۶/۳**	۴۳/۳**
رقم	H	۱	۱۷۱۲۴**	۷/۸۰	۱۱۲۵/۳**	۵۵/۶۶**	۹۵/۸۰**	۰/۰۰۴۲**	۵/۲۱	۶/۱۵
تنش × نیتروژن	IN	۳	۱۲۳۴۵**	۱/۸۰	۹۱۱۷/۹*	۹/۰۵*	۸/۷۳*	۰/۰۰۰۵۲	۱/۳۴	۵/۳۲*
تنش × رقم	IH	۳	۹۸۶۸**	۰/۹۲	۸۵۳/۲۷*	۲۵/۹۴	۲۴/۶۸	۰/۰۰۰۱۷	۱/۹	۱۰/۳**
نیتروژن × رقم	NH	۱	۹۶۴۷**	۱/۸۷	۳۹۴/۹۳*	۱۱/۴۲	۱۱/۸۳	۰/۰۰۰۱۴	۰/۶۱	۳۷/۴**
نیتروژن × مکان	NL	۱	۱۲۵۸	۳۲/۹۰**	۵۵/۸	۹۳/۰۲**	۶۵/۵۱**	۰/۰۰۰۰۹	۸/۱**	۰/۲۷
رقم × مکان	HL	۱	۲۲۱۴	۱۳/۵۰	۸/۱۲	۲۴/۹۱**	۰/۱۰۰	۰/۰۰۰۱۷	۰/۱۴	۰/۱۱
تنش × نیتروژن × رقم	INH	۳	۸۵۹	۱/۴۲	۴/۸۱۹	۱۲/۱۷**	۹/۱۷*	۰/۰۰۰۱۴	۰/۷۸	۶/۷۴*
تنش × نیتروژن × مکان	INL	۳	۲۴۷	۶/۶۰	۱۱/۱۴	۸/۵۴*	۱۵/۵۵**	۰/۰۰۰۱۹	۰/۶۴	۰/۱۴
نیتروژن × رقم × مکان	NHL	۱	۱۰۷	۴/۵۹	۵/۱	۷/۲۱	۱۱/۸۳*	۰/۰۰۰۰۸	۰/۵۲	۰/۰۸
تنش × رقم × مکان	IHL	۳	۱۲۵	۴/۲۳	۰/۲۴	۱۶/۷۸	۲۱/۷۸**	۰/۰۰۰۰۷	۰/۷۸	۰/۳۰
تنش × نیتروژن × رقم × مکان	INHL	۳	۳۱۷	۲/۳۷	۲/۲۲۱	۷/۸۹*	۴/۲۶	۰/۰۰۰۰۹	۰/۷۰	۰/۲۲
خطای آزمایش	E	۴۸	۹۸۷	۳/۴۳	۹/۱	۲/۳۳	۲/۴۴	۰/۰۰۰۲۴	۰/۸۵	۱/۷۶

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

اندازه‌گیری شد. شاخص کلروفیل در شروع و پایان هر مرحله از تنش، محتوای نسبی آب برگ، فلئورسانس کلروفیل برگ‌ها شامل پارامترهای پنج‌گانه F_v , F_v/F_m , F_0 , F_m و $t_{1/2}$ ، مقدار کمی و خصوصیات الکتروفورزی پروتئین‌های محلول در برگ، مقدار کل و اجزاء اسیدهای آمینه آزاد در شیره پرورده آوندهای آبکش در مرحله رشد رویشی ۸ تا ۱۰ برگی و مرحله رشد زایشی ابتدای پر شدن دانه اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرار گرفت. برای استخراج پروتئین‌های محلول در برگ و اندازه‌گیری مقدار کمی این پروتئین‌ها از روش اسپکتروفوتومتری با طول موج ۵۹۵ نانومتر، بر اساس روش برادفورد (۱۹۷۶) استفاده گردید. جهت تعیین کیفیت پروتئین‌های محلول عصاره حاصل از

زایشی در تهران ۷ روز (به دلیل سبک بودن بافت خاک) و در کرمانشاه ۱۵ روز بود. برای تنظیم دقیق آبیاری و اعمال صحیح دوره‌های تنش از یک شبکه لوله‌کشی پلی اتیلنی به همراه شیرهای کنترل آب روی هر کرت در طول دوره رشد استفاده گردید. زمان شروع مجدد آبیاری بعد از هر تنش توسط اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش ثقلی، با استفاده از منحنی رطوبتی خاک (شکل ۱) و با در نظر گرفتن پتانسیل آب خاک (نزدیک به نقطه پژمردگی، ۱/۴ - تا ۱/۵ - مگا پاسکال) و برای افزایش دقت با توجه به وضع ظاهری گیاهان (پیچیده شدن برگ‌ها در اوایل روز) در نظر گرفته شد. منحنی رطوبتی خاک بر اساس روش قید شده در کلوت (۱۹۹۸) رسم گردید. در پایان فصل عملکرد دانه در کرت‌های مختلف



شکل ۱- منحنی مشخصه آب خاک در دو منطقه تهران و کرمانشاه

اسیدهای آمینه آزاد و مقدار کمی هر یک از اسیدهای آمینه موجود با دستگاه $HPLC^2$ چهار حلال ساخت کمپانی واترز با آشکارساز فلورسانس مدل 2475 و دستگاه انتگراتور مدل 746 تعیین گردید. نوع ستون مورد استفاده در آنالیز اسیدهای آمینه، ستون اختصاصی اکو- تگ مدل-NOVA-Auto Reavers, PACK, C18 به طول ۱۵ سانتی متر بود. داده‌های حاصل از نمونه برداری‌ها برای سهولت در محاسبات ریاضی در صفحات برنامه Excel ثبت شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها مطابق روش تجزیه واریانس (PROC ANOVA) از برنامه آماری SAS استفاده شد. مقایسه میانگین‌های صفات به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که سطوح مختلف تیمار تنش کم آبی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت (جدول ۲). در مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که بین عملکرد دانه در تیمار شاهد و تیمار

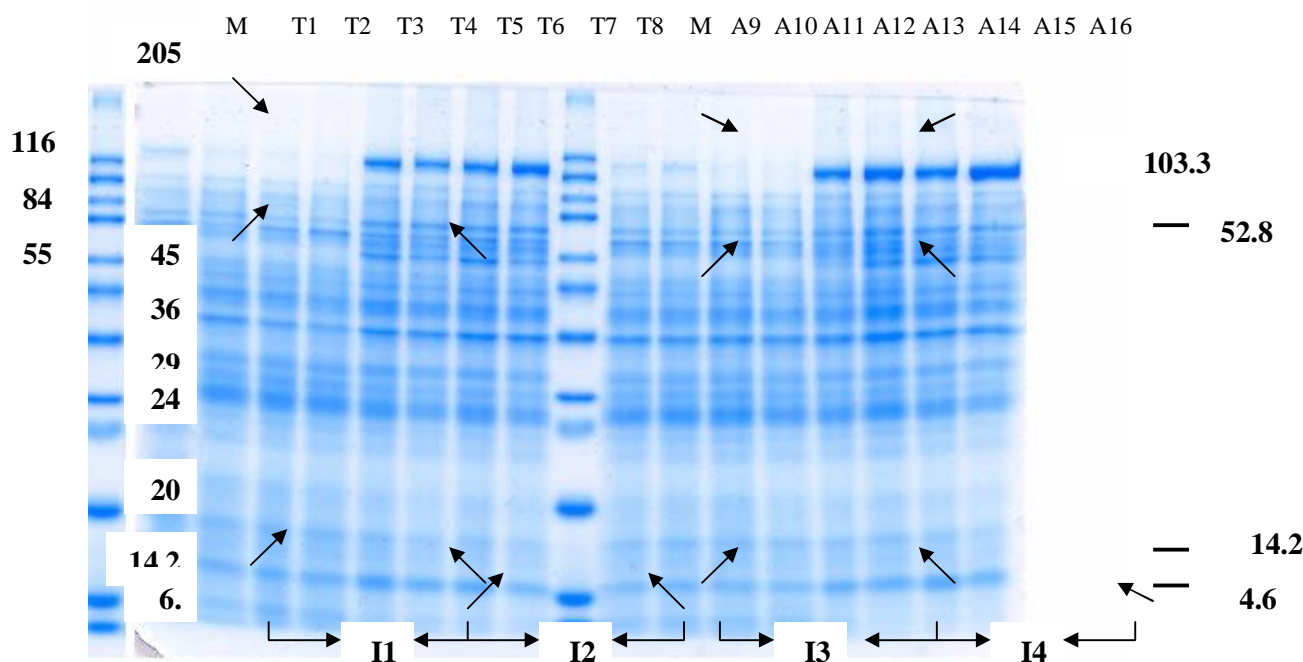
600E استخراج پروتئین‌ها به روش SDS-PAGE¹ (سدیم دو دسیل سولفات - ژل پلی‌اکریل آمید) در دو مرحله بعد از تنش رویشی و زایشی الکتروفورز گردید. شاخص کلروفیل برگ نیز با استفاده از دستگاه SPAD 502 ساخت کمپانی مینولتای ژاپن انجام گردید. در این روش از هر تیمار، ۳۰ قرائت مختلف از بخش‌های میانی پهنک برگ‌های معین (برگ ششم در مرحله رویشی و برگ دهم در مرحله زایشی) از تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی به‌عمل آمد و میانگین آن‌ها به‌عنوان میزان کلروفیل برگ بر حسب واحد SPAD ثبت گردید. برای بدست آوردن محتوی آب برگ از روش آیریگوین و همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد. در پایان هر مرحله از تنش وزن تر و خشک برگ به همراه وزن اشباع اندازه‌گیری شد و با استفاده از رابطه بارس و وزرلی (۱۹۶۲) محتوی آب برگ اندازه‌گیری شد. فلورسانس کلروفیل برگ‌ها شامل پارامترهای پنج‌گانه F_v , F_v/F_m , F_o , F_m و $t_{1/2}$ با دستگاه فلوریمتری مدل PEA ساخت کمپانی Hansatech اندازه‌گیری شد. با عصاره‌گیری از شیره پرورده برگ‌ها در پایان هر دوره تنش، مقدار کل

²High performance liquid chromatography

¹Sodium dodesyl sulphate polyacrylamide gel electrophoresis

جلوگیری نماید (بویل و همکاران ۱۹۹۱). بین ارقام و سطوح مختلف نیتروژن نیز اختلاف معنی‌داری در عملکرد دانه مشاهده گردید. افزایش مصرف کود نیتروژن منجر به افزایش ۳ درصدی عملکرد دانه گردید. این نتیجه با یافته‌های اکبری و همکاران (۱۳۸۴) مطابقت دارد. برهمکنش تنش کم آبی و نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه به جای گذاشت. بیشترین عملکرد دانه در تیمار I_4N_1 با تولید ۹ تن دانه مشاهده گردید. فاندیکا و همکاران (۲۰۰۷) در آزمایش خود نشان دادند که تنش کم آبی و کاهش نیتروژن منجر به کاهش عملکرد دانه زرت می‌گردد. آنان اظهار داشتند که استفاده از اوره به عنوان منبع نیتروژن نسبت به

تنش در مرحله رویشی (I_1) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). با فراهم نمودن مجدد آب ارقام زرت توانایی جبران رشد را داشتند و شیره پرورده کافی را به اندام‌های زایشی منتقل کردند. اما اعمال تنش در مرحله زایشی (I_2) و در مرحله رویشی - زایشی (I_3) منجر به کاهش ۲۰ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد گردید. به گزارش نسیمیت و ریچی (۱۹۹۲)، کمبود آب در مرحله رویشی زرت نسبت به کمبود آب در مرحله زایشی از حساسیت کمتری برخوردار است و کمبود آب در مرحله زایشی به افت عملکرد بیشتری منجر می‌گردد. کمبود آب در گرده افشانی باعث کاهش موفقیت در باروری و عدم تشکیل سلول تخم شده و می‌تواند بطور کامل از تشکیل دانه در بلال زرت



شکل ۲ - ژل اس دی اس - پلی اکریل آمید پروتئین‌های محلول در برگ بعد از تنش مرحله رویشی

T1=N1V1, T2=N2V1, T3= N1V2, T4=N2V2, T5=N1V1, T6=N2V1, T7=N1V2, T8=N2V2
T9=N1V1, T10=N2V1, T11=N1V2, T12=N2V2, T13=N1V1, T14=N2V1, T15=N1V2,
T16=N2V2

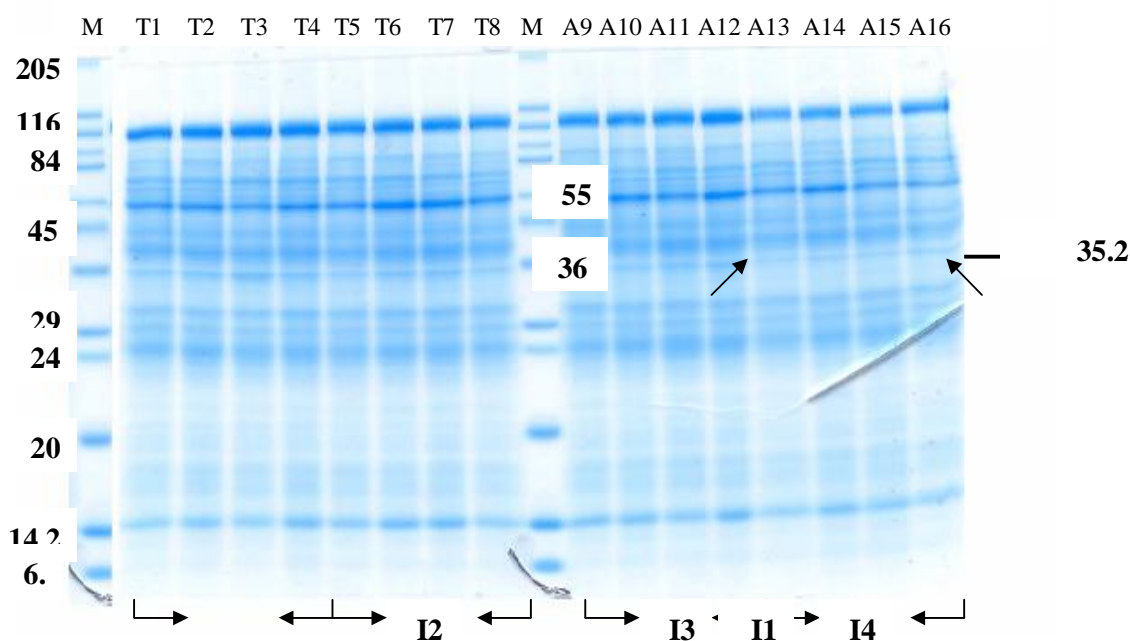
(200=N1) کیلوگرم نیتروژن در هکتار، (100=N2) کیلوگرم نیتروژن در هکتار، (V1=رقم 647 S.C، V2=رقم 647 T.C)

هم در مرحله رویشی و زایشی منجر به کاهش RWC نسبت به تیمار شاهد گردید (جداول ۳ و ۴). تثولت و همکاران (۱۹۹۷) ظرفیت بالای RWC در ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی گندم و جو را گزارش کردند و اظهار داشتند که این ظرفیت بالا به خاطر تجمع قندهای محلول و کاهش پتانسیل اسمزی می‌باشد. هال و همکاران (۱۹۸۱) نیز گزارش کردند که با کاهش محتوای نسبی آب برگ، مقدار پرولین افزایش می‌یابد.

در تجزیه واریانس مرکب داده‌ها مشخص گردید که تیمارهای تنش کم آبی، نیتروژن، رقم و اثر متقابل تنش در نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر کلروفیل برگ در مرحله شروع و پایان تنش رویشی و زایشی داشتند (جداول ۱ و ۲). در شروع تنش کم آبی در مرحله رویشی، به دلیل

سایر منابع به دلیل فراهمی بیشتر نیتروژن منجر به افزایش عملکرد دانه می‌گردد. اوهارت و آندرد (۱۹۹۵) نیز کاهش عملکرد دانه را در نتیجه کمبود نیتروژن، ناشی از کاهش تعداد دانه و وزن دانه قلمداد کرده و اظهار داشتند عمده کاهش عملکرد دانه مربوط به عدم باروری تخمک‌ها و همچنین تکامل نامناسب دانه‌ها می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد تنش کم آبی تأثیر معنی‌داری بر مقدار نسبی آب برگ (RWC) هم در پایان تنش مرحله رویشی و زایشی به جای گذاشت ولی ارقام و سطوح مختلف نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر RWC برگ نداشتند (جداول ۱ و ۲). در مقایسه میانگین‌ها مشخص گردید که اعمال تنش کم آبی



شکل ۳ - ژل اس دی اس - پلی اکریل آمید پروتئین‌های محلول در برگ بعد از تنش مرحله زایشی

T1=N1V1, T2=N2V1, T3= N1V2, T4=N2V2, T5=N1V1, T6=N2V1, T7=N1V2, T8=N2V2

T9=N1V1, T10=N2V1, T11=N1V2, T12=N2V2, T13=N1V1, T14=N2V1, T15=N1V2, T16=N2V2

(N1=۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، N2=۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، V1=رقم 647 S.C، V2=رقم 647 T.C)

در خاک، مقدار کلروفیل برگ کاهش می‌یابد. مصرف نیتروژن کامل تا حدی از خسارت‌های ناشی از تنش کم آبی جلوگیری می‌نماید. با توجه به معنی‌دار شدن اثر مکان در تجزیه مرکب داده‌ها برای ارزیابی دقیق‌تر، مقدار کلروفیل در تهران و کرمانشاه به صورت جداگانه مورد تجزیه قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس در محل تهران مشابه با نتایج تجزیه مرکب بود، اما در شرایط کرمانشاه مشاهده گردید که مقدار کلروفیل در پایان تنش مرحله زایشی، معنی‌دار نشده است و بین سه میانگین I_1 ، I_3 و I_4 اختلاف آماری دیده نشد. این موضوع به تأثیر شرایط آب و هوایی و نوع خاک در محل کرمانشاه برمی‌گردد و به علت سنگین بودن خاک و دوام بیشتر رطوبت در آن، کاهش تدریجی رطوبت نتوانست موجب تغییرات قابل توجه در میزان کلروفیل برگ‌ها شود. در شروع تنش کم آبی رقم H_1 با یک اختلاف معنی‌دار، کلروفیل بیشتری نسبت به رقم H_2 داشت، اما با افزایش کمبود رطوبت و تکرار آن در مرحله دوم تنش، رقم H_2 مقاومت بیشتری از خود نشان داده و میزان کلروفیل برگ‌های آن کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. در بررسی اثر متقابل تنش کم آبی در نیتروژن در پایان دوره تنش زایشی مشخص گردید که تیمار I_2N_2 (تنش زایشی* کمبود نیتروژن) با $36/13$ واحد اسپاد دارای کمترین و تیمار I_1N_1 با $43/6$ واحد اسپاد بیشترین میزان کلروفیل بود. چن و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که فراهمی نیتروژن در هنگام تنش کم آبی از کاهش محتوی کلروفیل جلوگیری می‌کند. اوسبورن و همکاران (۲۰۰۲) نیز تأثیر معنی‌دار تنش کم آبی و نیتروژن را بر کاهش غلظت کلروفیل برگ گزارش کردند. در شرایط

عدم اعمال تنش، اختلاف معنی‌دار در بین سطوح تیماری تنش کم آبی دیده نشد، ولی در پایان دوره تنش رویشی در بین میانگین‌ها اختلاف معنی‌داری بوجود آمد. مقایسه میانگین‌ها در پایان دوره تنش رویشی نشان داد که کلروفیل برگ در تیمارهای تنش کم آبی I_1 و I_3 حدود ۵ درصد نسبت به تیمارهای بدون تنش I_2 و I_4 کاهش یافته بود که مشابه با تغییرات محتوای نسبی آب برگ بود (جداول ۳ و ۴). جگ‌تاپ و همکاران (۱۹۹۸) کاهش ۲۰ تا ۳۰ درصدی کلروفیل در ارقام سورگوم بر اثر کمبود آب را گزارش کردند. مقدار کلروفیل با رفع تنش در فاصله بین دو دوره تنش در اثر افزایش مجدد فتوسنتز در برگ‌ها جبران شد و حتی در بعضی مواقع بیشتر از تیمارهای بدون تنش گردید. کاهش پتانسیل آب چه در مرحله رویشی و چه در مرحله زایشی می‌تواند موجب تقلیل کلروفیل در برگ‌ها شود، اما در عین حال وقوع چنین تنش‌هایی موجب افزایش نسبی مقاومت گیاهان به خشکی شده و در مواجهه با تنش‌های بعدی، خسارت کمتری خواهند دید. تکسیرا و پریرا (۲۰۰۷) نیز نشان دادند که تنش کم آبی منجر به کاهش محتوی کلروفیل گیاه می‌گردد. در مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که چه در شروع و چه در پایان هر مرحله از تنش کم آبی، کاهش مقدار نیتروژن موجود در خاک منجر به کاهش میزان کلروفیل در برگ‌ها گردید. نیتروژن عامل مهمی در رشد و نمو و ساخته شدن کلروفیل می‌باشد. کاهش رطوبت موجود در خاک توأم با کاهش جذب نیتروژن، منجر به مضاعف شدن تأثیر منفی آن بر میزان کلروفیل می‌گردد. بلاکمر و شپر (۱۹۹۶) نیز در آزمایش خود به این نتیجه رسیدند که در شرایط کمبود نیتروژن موجود

رویشی و زایشی داشتند، ولی ارقام مختلف از لحاظ مقدار پروتئین‌های محلول در برگ تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۱ و ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش کم آبی در مرحله رویشی و زایشی به صورت توأم و افزایش میزان نیتروژن منجر به تولید بیشترین مقدار پروتئین برگ گردید (جدول ۳ و ۴). افزایش میزان پروتئین‌های محلول در برگ در تیمارهای تنش دیده (I_2 و I_3) نسبت به تیمارهای I_1 و I_4 که در مرحله زایشی با تنش مواجه نشده بودند، نشان دهنده این است که قطع آبیاری و قرار گرفتن ارقام ذرت در شرایط خشکی نزدیک به نقطه پژمردگی دائم^۱ (PWP) در مرحله بعد از گرده‌افشانی و ابتدای پر شدن دانه‌ها موجب کاهش نقل و انتقالات آب و املاح در درون آوندها و در نتیجه کاهش انتقال شیره پرورده از برگ‌ها به دانه‌ها می‌گردد و در نهایت مقدار این املاح خصوصاً پروتئین‌های محلول در برگ‌ها انباشته و افزایش یافته است. میزان پروتئین محلول در برگ در فاصله بین تنش رویشی و تنش زایشی به حالت نرمال اولیه برگشت. این موضوع نشان‌دهنده این است که گیاه ذرت توانایی جبران پروتئین‌های از دست رفته را در فاصله زمانی حدود ۳۷ تا ۴۳ روزه (با توجه به منطقه مورد آزمایش) دارا می‌باشد. سوزا و همکاران (۲۰۰۴) نیز کاهش کربوهیدرات‌های محلول را پس از دوره بازیابی (پس از تنش در مرحله رویشی) در مورد لوبیای چشم بلبلی گزارش نمودند.

تهران اثرات متقابل سه جانبه تنش کم آبی * نیتروژن * رقم در تنش مرحله زایشی معنی‌دار شد (داده‌ها نشان داده نشده). در شروع و پایان تنش کم آبی، تیمار $I_1N_1H_2$ دارای حداکثر میزان کلروفیل و تیمار $I_2N_2H_1$ کمترین مقدار کلروفیل در برگ را دارا بود

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تنش کم آبی، نیتروژن و رقم در مرحله پایان تنش رویشی و زایشی تأثیر معنی‌داری بر راندمان کوانتومی فتوسیستم II داشت (جدول ۱ و ۲). در مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که اعمال تنش در مرحله زایشی و رویشی-زایشی منجر به کاهش راندمان فتوسنتزی گردید. افزایش مصرف نیتروژن نیز منجر به افزایش راندمان فتوسنتزی شد (جدول ۳ و ۴). بلاک مر و شپر (۱۹۹۶) نیز نشان دادند که کاهش میزان نیتروژن منجر به کاهش راندمان فتوسنتزی می‌گردد. نسبت تغییرات به ماکزیم فلورسانس کلروفیل F_v/F_m تصویری از کارایی شیمیایی فتوسیستم II را ارائه می‌دهد (آراوس و همکاران، ۱۹۹۸). سوزا و همکاران (۲۰۰۴) در آزمایش خود نشان دادند که افزایش سطوح تنش کم آبی منجر به افزایش میزان فلورسانس حداقل (F_0) و کاهش فلورسانس حداکثر (F_m) می‌شود، که در نهایت منجر به کاهش راندمان فتوسیستم II در اثر برانگیختگی مضاعف سیستم فتوشیمیایی می‌گردد. یافته‌های کلامیان و همکاران (۱۳۸۵) نیز نشان داد که اعمال تنش کم آبی در هر دو مرحله رویشی و زایشی ذرت منجر به کاهش معنی‌دار محتوی کلروفیل و F_v/F_m نسبت به تیمار شاهد می‌گردد.

در تجزیه واریانس مرکب داده‌ها مشخص گردید که تیمارهای تنش کم آبی و نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر مقدار پروتئین‌های محلول در برگ در پایان تنش

^۱Permanent wilting point

جدول ۳ - مقایسه میانگین‌های متابولیت‌های سازگاری ارقام ذرت تحت تأثیر تنش کم آبی و نیتروژن در مرحله رشد رویشی

تیمار	نسبی آب برگ (%)	اسید آمینه کل (میکروگرم بر گرم)	شاخص کلروفیل در شروع تنش SPAD	شاخص کلروفیل در پایان تنش SPAD	شاخص راندمان کوانتومی فتوسنتز	پروتئین محلول در برگ (میلی‌گرم بر گرم)	پروکلین آزاد برگ (میکروگرم بر گرم)
مرحله تنش کم آبی							
تنش رویشی	۷۴/۳۶ ^b	۱۸۸/۵۳ ^a	۵۰/۱۲ ^a	۴۴/۵۶ ^b	۰/۶۲۵ ^b	۴/۶۹ ^a	۱۲/۳۰ ^a
تنش زایشی	۸۷/۹۹ ^a	۱۸۷/۵۶ ^a	۴۹/۷۹ ^a	۴۸/۰۵ ^a	۰/۷۳۶ ^a	۳/۶۹ ^b	۴/۷۹ ^b
تنش رویشی-زایشی	۷۴/۳۱ ^b	۱۹۰/۲۲ ^a	۴۹/۹۲ ^a	۴۴/۸۴ ^b	۰/۶۳۵ ^b	۴/۷۹ ^a	۱۲/۰۴ ^a
بدون تنش (شاهد)	۸۷/۱۷ ^a	۱۸۹/۳۲ ^a	۵۰/۶۹ ^a	۴۸/۳۴ ^a	۰/۷۱۴ ^a	۳/۷۰ ^b	۵/۹۰ ^b
مقدار نیتروژن							
نیتروژن کامل	۸۰/۷۰ ^a	۱۷۷/۵ ^a	۵۲/۰۲ ^a	۴۷/۹۶ ^a	۰/۷۱۱ ^a	۴/۹۷ ^a	۱۱/۹۲ ^a
۵۰٪ نیتروژن کامل	۸۱/۷۱ ^a	۱۷۱/۳ ^a	۴۸/۵۹ ^b	۴۴/۴۴ ^b	۰/۶۷۳ ^b	۴/۰۶ ^b	۱۰/۶۰ ^b
ارقام							
S.C 647	۸۱/۳۷ ^a	۱۸۰/۸۵ ^a	۵۰/۹۳ ^a	۴۶/۵۱ ^a	۰/۷۰۰ ^a	۴/۱۸ ^a	۱۱/۶۷ ^a
T.C 647	۸۱/۰۴ ^a	۱۹۷/۹۶ ^a	۴۹/۶۸ ^b	۴۵/۸۸ ^a	۰/۶۸۴ ^b	۴/۲۶ ^a	۱۰/۸۴ ^b
منطقه							
تهران	۷۷/۹۳ ^b	۱۸۹ ^a	۴۸/۹۰ ^b	۴۵/۱۱ ^b	۰/۷۱۲ ^a	۴/۰۲ ^a	۱۲/۴۸ ^a
کرمانشاه	۸۳/۴۹ ^a	۱۹۱/۲ ^a	۵۱/۷۰ ^a	۴۷/۲۸ ^a	۰/۷۰۸ ^a	۴/۴۱ ^a	۱۰/۰۳ ^b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک لاتین در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

رویشی در شرایط تهران دیده می‌شود. در مقایسه بین تیمارها ملاحظه می‌گردد که باندهای پروتئینی در ناحیه با وزن مولکولی ۱۰۳/۳ کیلو دالتن (KDa) در تیمارهای تنش I₁ (تنش در مرحله رویشی) و I₃ (تنش در هر دومرحله رویشی و زایشی) نسبت به تیمار شاهد (I₄- بدون تنش) و I₂ (تنش در مرحله زایشی) حذف و تقریباً ناپدید گشته است. در این رابطه به دلیل شرایط یکسان در بین تیمارهای I₁ و I₃ از یک طرف و نیز بین تیمارهای I₂ و I₄ از طرف دیگر موجب تشابه باندها در بین این تیمارها به صورت دو به دو گردید. در ناحیه نزدیک به باندهای پروتئینی آنزیم روبیسکو (-RUBP LSU) ملاحظه شد که باندهای پروتئینی با وزن مولکولی ۵۲/۸ کیلو دالتن در کلیه سطوح تیمارهای I₁ و I₃

در تصاویر حاصل از اسکن ژل‌های الکتروفورز مربوط به نمونه‌های پروتئینی تیمارهای آزمایشی به همراه مارکر پروتئینی استاندارد سیگما (شکل‌های ۲ و ۳)، جمعاً ۱۷ ستون از باندهای پروتئینی تشکیل گردید. اثر تنش کم آبی و کمبود نیتروژن بر کیفیت پروتئین برگ‌ها و وضعیت باندهای پروتئینی بیشتر در جهت حذف و یا تحلیل بعضی از باندها در تیمارهای تنشی خصوصاً در نواحی مربوط به زیر واحدهای آنزیم روبیسکو نسبت به شاهد بود و کمتر موجب ظهور باندهای جدید در عکس‌العمل به تنش گردید. در این بین اختلاف قابل توجهی در بین سطوح تیمارهای ارقام و مقدار نیتروژن دیده نشد. در شکل ۲، تصویر ژل مرحله بعد از اعمال تنش کم آبی در مرحله

جدول ۴ - مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه و متابولیت‌های سازگاری ارقام ذرت تحت تأثیر تنش کم آبی و نیتروژن در مرحله رشد زایشی

تیمار	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	نسبی آب برگ (%)	اسید آمینه کل (میکروگرم بر گرم)	کلروفیل در شروع تنش (عدد SPAD)	کلروفیل در پایان تنش (عدد SPAD)	راندمان کوانتومی فتوسنتز	پروتئین محلول در برگ (میلی گرم بر گرم)	پرولین آزاد برگ (میکروگرم بر گرم)
تنش کم آبی								
تنش رویشی	۸۱۹۳ ^a	۸۷/۶۸ ^a	۱۳۴/۵۲ ^b	۴۱/۴۶ ^{ab}	۴۰/۴۲ ^a	۰/۷۷۶ ^a	۴/۵۸ ^{bc}	۳/۶۷ ^c
تنش زایشی	۶۹۷۵ ^b	۷۲/۹۱ ^b	۱۹۷/۶ ^a	۳۹/۹۷ ^b	۳۴/۰۵ ^c	۰/۷۲۰ ^b	۴/۹۸ ^{ab}	۷/۹۰ ^b
تنش رویشی-زایشی	۶۹۴۴ ^b	۷۱/۹۳ ^b	۱۷۷/۲ ^{ab}	۴۳/۱۰ ^a	۳۶/۹۷ ^b	۰/۶۷۸ ^b	۵/۴۱ ^a	۱۱/۹۲ ^a
بدون تنش (شاهد)	۸۷۱۸ ^a	۸۷/۳۳ ^a	۱۳۹/۲ ^b	۳۹/۸۳ ^b	۳۹/۲۵ ^{ab}	۰/۷۸۴ ^a	۴/۰۰ ^c	۳/۰۸ ^c
مقدار نیتروژن								
نیتروژن کامل	۷۸۶۴ ^a	۸۰/۲۱ ^a	۱۵۷/۵ ^a	۴۲/۶۱ ^a	۳۹/۴۱ ^a	۰/۷۶۳ ^a	۴/۶۰ ^a	۷/۳۲ ^a
۵۰٪ نیتروژن کامل	۷۵۵۴ ^b	۷۹/۷۱ ^a	۱۳۱/۸ ^b	۳۹/۵۷ ^b	۳۵/۹۴ ^b	۰/۷۴۸ ^b	۳/۹۰ ^b	۵/۹۷ ^b
ارقام								
S.C 647	۷۱۶۱ ^b	۸۰/۳۴ ^a	۱۲۵/۸۵ ^b	۴۰/۳۳ ^b	۳۶/۶۸ ^b	۰/۷۶۱ ^a	۴/۹۸ ^a	۶/۳۹ ^a
T.C 647	۷۴۱۵ ^a	۷۹/۵۸ ^a	۱۹۷/۹۶ ^a	۴۱/۸۵ ^a	۳۸/۶۷ ^a	۰/۷۴۹ ^b	۴/۵۱ ^a	۶/۹۰ ^a
منطقه								
تهران	۷۴۲۱ ^b	۷۹/۶۶ ^a	۱۳۲ ^b	۳۴/۲۱ ^b	۳۳/۱۸ ^b	۰/۷۵۲ ^a	۴/۲۴ ^a	۷/۸۲ ^a
کرمانشاه	۷۶۳۴ ^a	۸۰/۲۶ ^a	۱۷۱/۸ ^a	۴۷/۹۶ ^a	۴۲/۱۷ ^a	۰/۷۵۷ ^a	۵/۲۴ ^a	۶/۱۷ ^b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون هر فاکتور فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

تیمارهای تنش رویشی، نیتروژن و رقم در مرحله پایان تنش رویشی تأثیر معنی‌داری بر میزان اسیدهای آمینه نداشت (جدول ۱). در مرحله پایان تنش زایشی تیمار تنش کم آبی تأثیر معنی‌دار بر مقدار کل اسیدهای آمینه آزاد در برگ داشت (جدول ۲)، به‌طوری‌که در مقایسه میانگین‌ها حداکثر مقدار اسیدهای آمینه آزاد در شرایط تنش مرحله زایشی (I_2) حاصل شد و با ۴۲٪ افزایش نسبت به تیمار شاهد (I_4) به ۱۹۷/۶۵ میکروگرم بر گرم برگ تازه رسید. تغییر میزان نیتروژن در مرحله پایان تنش رویشی تأثیر معنی‌دار بر مقدار کل اسیدهای آمینه نداشت، اما در مرحله پایان تنش زایشی افزایش نیتروژن منجر به افزایش میزان اسیدهای آمینه کل گردید. تفاوت بین دو رقم نیز معنی‌دار شد و رقم T.C

نسبت به شاهد حذف و ناپدید گردید (شکل ۲). هم‌چنین در ناحیه دیگر، باندهای پروتئینی آنزیم زیر واحد کوچک روبیسکو (RUBP-SSU) نیز فقدان باندهایی با وزن مولکولی ۱۴/۲ کیلو دالتن در تیمارهای تنشی I_1 و I_3 مشاهده شد، درحالی‌که در تیمارهای شاهد I_4 و I_2 وجود داشت. در انتهای ژل باند پروتئینی با وزن مولکولی حدود ۴/۶ کیلو دالتن در تیمارهای تنشی I_1 و I_3 ظاهر شد که در تیمارهای شاهد I_4 و I_2 دیده نشد. در ژل الکتروفورز نمونه‌های پروتئینی تیمار بعد از اعمال تنش کم آبی در مرحله زایشی (بعد از گرده‌افشانی)، اختلافی در ظهور باندهای پروتئینی دیده شد که مربوط به عدم حضور باند ۳۵/۲ کیلو دالتن در تیمار شاهد (I_4) نسبت به تیمارهای تنشی بود (شکل ۳).

داد که در تنش کم آبی در مرحله رویشی، حداکثر مقدار پرولین در تیمارهای تنش دیده I_1 و I_3 به دست آمد و اختلاف قابل توجهی با تیمارهای بدون تنش I_2 و I_4 داشتند (جدول ۳ و ۴). به طوری که مقدار پرولین در تیمار شاهد از ۵/۹ میکروگرم بر گرم با بیش از سه برابر افزایش به ۲۲/۳۰ میکروگرم بر گرم در تیمار تنش رویشی (I_1) رسید. همچنین در پایان تنش کم آبی مرحله زایشی نیز ملاحظه گردید که مقدار پرولین در تیمارهای I_2 (تنش زایشی) و I_3 (تنش رویشی و زایشی) به طور معنی داری بیشتر از تیمارهای بدون تنش I_1 (تنش رویشی) و شاهد (I_4) بود. افزایش میزان پرولین برگ در اثر تنش کم آبی توسط محققینی مانند دلانی و ورما (۱۹۹۳)، کاملی و لوسل (۱۹۹۶) گزارش شده است. مونرال و همکاران (۲۰۰۷) نیز عامل تجمع پرولین در برگ در اثر تنش خشکی را به افزایش غلظت پرولین در شیره سلولی گیاهان و انتقال آن به برگ‌ها مربوط دانستند. کاهش مصرف پرولین نیز در چنین شرایطی از دلایل تجمع آن در گیاه می‌باشد به طوری که توقف در اکسایش پرولین در پتانسیل‌های آب پایین اتفاق می‌افتد (هوگو رابرت و همکاران ۲۰۰۳). تغییرات مقدار نیتروژن خاک در هر دو مرحله اعمال تنش‌های کم آبی بر مقدار پرولین برگ‌ها، معنی دار بود و میزان آن در تیمارهای نیتروژن کامل (N_1) در مرحله رویشی، بیش از ۱۲٪ و در مرحله زایشی، حدود ۲۳٪ بیشتر از تیمار کمبود نیتروژن (N_2) بود. تا و ویلند (۱۹۹۲) اظهار داشتند که صادر شدن پرولین اضافی از برگ‌ها در طی تنش آبی، می‌تواند به انتقال مجدد نیتروژن کمک کرده و در نتیجه راندمان مصرف نیتروژن را بهبود بخشد، به طوری که بیشترین مقدار نیتروژن دانه در ذرت شیرین در اثر انتقال مجدد از بافت‌های رویشی بوده است. ارقام مورد آزمایش در این رابطه اختلاف معنی داری (در سطح ۱٪) در پایان تنش مرحله رویشی با یکدیگر داشت

647 با ۱۹۷/۹۶ میکروگرم بر گرم برتری چشمگیر نسبت به رقم S.C 647 داشت. در مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش کم آبی در نیتروژن (IN)، بیشترین مقدار اسیدهای آمینه آزاد در تیمار I_2N_2 (تنش زایشی * ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن) بدست آمد. در اثر متقابل تنش کم آبی در رقم (IH)، حداکثر مقدار اسیدهای آمینه در تیمارهای I_2H_2 (تنش زایشی * T.C 647) و I_3H_2 (تنش رویشی - زایشی * T.C 647) حاصل گردید. اپندورفر و همکاران (۱۹۸۵) در آزمایش خود نشان دادند که تنش کم آبی، درصد نیتروژن دانه را در ماده خشک افزایش داد و نیز افزایش تراکم نیتروژن با کاهش اسیدهای آمینه لایسین، متیونین، سیستئین، ترئونین و تریپتوفان در پروتئین خام و افزایش ایزولئوسین، لئوسین، فنیل‌آلانین و گلوتامات در پروتئین خام مرتبط می‌باشد. در این رابطه رگرسیون‌های خطی بدست آمده حاکی از ضریب همبستگی معنی دار بین تراکم اسیدهای آمینه کل و تراکم نیتروژن در دانه بود. اجزای اسیدهای آمینه تحت تاثیر تنش کم آبی قرار گرفت ولی رقم و میزان نیتروژن تاثیر معنی داری ایجاد نکردند. اسید آمینه آلانین با میزان متوسط ۱۰۲ میکروگرم بر گرم بیشترین سهم از اسیدهای آمینه موجود در برگ را دارا بود. اسید آمینه متیونین نیز با مقدار ۰/۳۶ میکروگرم بر گرم کمترین سهم از کل را به خود اختصاص داد. تاثیر تنش کم آبی بر اجزای اسیدهای آمینه مشابه میزان کل اسیدهای آمینه بود. در مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که اغلب اسیدهای آمینه در اثر تنش رطوبتی افزایش یافتند (جدول ۵).

در بررسی نتایج تجزیه واریانس مرکب، مشاهده گردید که تنش کم آبی، نیتروژن و رقم تأثیر معنی داری بر میزان پرولین برگ در مرحله پایان تنش رویشی و زایشی داشتند (جدول ۱ و ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان

جدول 5 - مقایسه میانگین‌های اسیدهای آمینه در حالت بدون تنش و تحت تاثیر تنش کم آبی در مرحله مختلف رشد

اسید آمینه (میکروگرم برگرم)	رویشی	زایشی	رویشی-زایشی	بدون تنش
آلانین	۱۰۰/۰۴ ^b	۱۱۴/۱۳ ^a	۱۱۹/۹۰ ^a	۷۷/۰۱ ^c
سرین	۹/۲۶ ^{bc}	۱۲/۴۷ ^a	۹/۷۲ ^b	۷/۱۵ ^c
ترئونین	۸/۸۴ ^a	۱۰/۲۴ ^a	۷/۸۶ ^a	۹/۹۲ ^a
گلو تامات	۶/۳۶ ^b	۱۰/۱۲ ^a	۱۰/۳ ^a	۸/۶۴ ^{ab}
آسپاراتات	۴/۳ ^b	۶/۹۸ ^a	۷/۲۷ ^a	۳/۷۵ ^b
هیستیدین	۵/۹۹ ^a	۶/۸۱ ^a	۵/۹۲ ^a	۵/۸۸ ^a
والین	۵/۲ ^a	۶/۵۹ ^a	۴/۹۸ ^a	۴/۷۷ ^a
لئوسین	۴/۳۴ ^{ab}	۴/۸۱ ^{ab}	۵/۰۶ ^a	۴/۱۵ ^b
پرولین	۳/۶۷ ^c	۷/۹ ^b	۱۱/۹ ^a	۳/۰۸ ^c
ایزولئوسین	۳/۲۶ ^b	۴/۱۸ ^a	۳/۷۹ ^{ab}	۳/۳ ^b
تیروزین	۳/۰۲ ^b	۳/۷۵ ^a	۳/۵۶ ^{ab}	۳/۰۲ ^b
فنیل آلانین	۲/۱۵ ^b	۳/۷ ^a	۳/۳۵ ^a	۲/۷۵ ^b
گلايسین	۲/۱۱ ^b	۲/۵۵ ^b	۴/۴۶ ^a	۱/۹ ^b
لايسین	۲/۰۲ ^b	۲/۹ ^a	۲/۹ ^a	۲/۴۵ ^{ab}
سیستین	۱/۶۳ ^a	۲/۰۴ ^a	۱/۸۲ ^a	۱/۶۴ ^a
آرژنین	۱/۲۸ ^b	۱/۲۱ ^b	۱/۸۹ ^a	۱/۳۴ ^b
متیونین	۰/۲۵ ^b	۰/۴۹ ^a	۰/۴۵ ^a	۰/۲۹ ^b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ردیف فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

گردید که بین میزان پرولین در منطقه تهران و کرمانشاه اختلاف آماری وجود دارد، به طوری که شرایط تهران پرولین بیشتری نسبت به کرمانشاه در برگ‌های تیمارهای آزمایشی وجود داشت. در شرایط تهران به دلیل سبک بودن خاک و تأثیر بیشتر تغییرات رطوبتی بر شرایط رشد، برگ‌ها واکنش بیشتری نسبت به تنش نشان دادند و موجب افزایش بیشتر پرولین در برگ‌ها گردید.

به طور کلی رقم T.C 647 در شرایط فراهم بودن نیتروژن و شرایط بدون تنش کم آبی با تولید عملکرد بیشتر و متابولیت‌های سازگاری فراوان سازگاری بیشتری ایجاد نمود.

و مقدار پرولین بیشتری در برگ‌های رقم S.C 647 نسبت به رقم T.C 647 انباشته گردید، اما در پایان تنش مرحله زایشی این اختلاف برطرف شد و تفاوت معنی داری در بین ارقام دیده نشد. اثرات متقابل سه جانبه تیمارها (تنش کم آبی * نیتروژن * رقم) در پایان تنش مرحله زایشی در سطح ۵٪ معنی دار بود. در مرحله تنش رویشی، حداکثر پرولین تجمع یافته در برگ‌های رقم S.C 647 با مصرف نیتروژن کامل در تیمار تنشی بود (I₁N₁H₁)، درحالی که حداقل آن در برگ‌های تیمار I₄N₂H₂ (بدون تنش * کمبود نیتروژن * رقم T.C 647) ایجاد شد. در تجزیه واریانس مرکب داده‌ها ملاحظه

منابع مورد استفاده

- اکبری غ، مظاهری د و مختصی بیدگلی ع، ۱۳۸۴. بررسی اثرات تراکم کاشت و مقادیر مختلف نیتروژن و پتاس بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. شماره ۱۲ صفحه‌های ۴۶ تا ۵۴.
- کلامیان س، مدرس ثانوی ع م و محمدی خ، ۱۳۸۵. تغییرات متابولیت‌های سازگار و خصوصیات کلروفیل در هیبریدهای پربرگ و تجاری ذرت در شرایط کمبود آب در مراحل مختلف رشد. همایش منطقه ای بهینه سازی کمیت و کیفیت محصولات دیم. دانشگاه آزاد اسلامی کرمانشاه.
- Albert RS, and Thornber JP, 1977. Water stress effects on content and organization of chlorophyll in mesophyll and chloroplasts of maize. *Plant Physiology* 59:351-353.
- Arraus SL, Amaro T, Voltas J, Nakkoalm H And Nachit MM, 1998. Chlorophyll fluorescence as selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean condition. *Field Crop Research* 55:209-220.
- Barrs HD and Weatherley PE, 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biology Science* 15:413-428.
- Blackmer TM and Schepers JS, 1996. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation of corn. *Journal of Production Agriculture* 8: 56-60.
- Boyle MG, Boyer JS and Morgan PW, 1991. Stem infusion of liquid culture medium prevents reproductive failure of maize at low water potential. *Crop Science* 31:1246-1252.
- Bradford MM, 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein- dye binding. *Ann. Biochem* 72:248- 254.
- Cakir R, 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproduction growth of corn. *Field Crop Research* 86:95-113.
- Chen G, Zhou Y, and Shen Q, 2007. Ammonium nutrition increases photosynthesis rate under water stress at early development stage of rice (*Oryza sativa L.*). *Plant Soil* 296:115–124.
- Delauney AJ and Verma DPS, 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plant. *Plant Journal* 4: 215-223.
- Eppendorfer WH, Bille SW and Patipanawattana S, 1985. Protein quality and amino acid-protein relationships of maize, sorghum and rice grain as influenced by nitrogen, phosphorus, potassium and soil moisture stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36: 453-462.
- Fandika IR, Kadyampakeni D, Bottomani C and Kakiwa H, 2007. Comparative response of varied irrigated maize to organic and inorganic fertilizer application. *Physics and Chemistry of the Earth* 32:1107–1116.
- Gubiš J, Vaňková R, Červená V, Dragúňová M, Hudcovicová M, Lichtnerová H, Dokupil T and Jureková Z, 2007. Transformed tobacco plants with increased tolerance to drought. *South African Journal of Botany* 73:505–511.

- Hall AJ, Lemcoff JH and Trapani N, 1981. Water stress before and during flowering in maize and its effects on yield, its components, and their determinants. *Maydica* 26: 19-38.
- Huguet-Robert V, Sulpice R, Lefort C, Maerskalck V, Emery N and Larcher FR, 2003. The suppression of osmoinduced stress response of *Brassica napus* L. var. *oleifera* leaf discs by polyunsaturated fatty acids and methyljasmonate. *Plant Science* 164:119-127.
- Huilian Xu, Shii I and Xu H, 1996. Wheat cultivar differences in photosynthetic response to low soil water potentials. I. Maintenance of photosynthesis and leaf water potential. *Japanese Journal of Crop Science* 65: 509-517.
- Irigoyen JJ, Emerrich DW and Sanchez-Diaz M, 1992. Water stress induced changes in concentrations of total soluble sugars in nodulated alfalfa plant. *Physiologia Plantarum* 84:55-60.
- Jagtap VS, Bhargava P, and Feierabend J, 1998. Comparative effect of water, heat and light stresses on photosynthetic reaction in sorghum bicolor Moench. *J. Exp. Bot.* 327: 1715-1721.
- Kameli A and Lösel DM, 1996. Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. *New Phytol* 132:57-62.
- Klute A (ed), 1998. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, 2nd ed. pp. 635-653. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Monreal JA, Jiméñez ET, Remesal E, Morillo-Velarde R, García-Mauriño S and Echevarría C, 2007. Proline content of sugar beet storage roots: Response to water deficit and nitrogen fertilization at field conditions. *Environ Exp Bot* 60: 257–267.
- Nesmith DS and Ritchie JT, 1992. Maize response to a severe soil water deficit during grain filling. *Field Crop Research* 29: 23-35.
- Osborne SL, Schepers JS, Francis DD, and Schlemmer MR, 2002. Use of spectral radiance to estimate in-season biomass and grain yield in nitrogen and water stressed corn. *Crop Science* 42: 165-171.
- Pessaraki M, 2001. *Handbook of plant and crop physiology*. Marcel Dekker, Press.
- Saneoka H, Moghaieb REA, Premachandra GS and Fujita K, 2004. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. *Environ. Exp. Bot.* 52: 131–138.
- Souza RP, Machado EC, Silva JA, Lagoa AMM and Silveira JAG, 2004. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic change in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. *Environmental and Experimental Botany* 51: 45-56.
- Ta C and Weiland RT, 1992. Nitrogen partitioning in maize during ear development. *Crop Science* 32: 443-451.

- Teixeira J and Pereira S, 2007. High salinity and drought act on an organ-dependent manner on potato glutamine synthetase expression and accumulation. *Environ. Exp. Bot.* 60: 121–126.
- Teulade B, Rekika D, Nachit, MM and Monneveux P, 1997. Comparative osmotic adjustments in barley and tetraploid wheats. *Plant Breeding* 116: 519-523.
- Uhart SA and Andrade FH, 1995. Nitrogen deficiency in maize, effect on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. *Crop Science* 33:1376-1383.
- Warman A, 2003. *Corn and capitalism*. The University of North Carolina Press.
- Zarco-Tejada PJ, Miller JR, Mohammad GH, Noland TH, and Sampson PH, 2000. Chlorophyll fluorescence effects on vegetation apparent reflectance. *Remote Sensing of Environment* 74: 596-608.