ژنتیک نوین
دوره دهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴
صفحه ۳۹۸-۳۹۱

ارزیابی میزان سیلیکون و بیان ژن‌های رمزده ناقلین آن در گندم تحت تنش خشکی

Assessment of silicon content and expression of its transporters encoding genes in wheat under drought stress

امین‌اله چلوی*[۱]، رضا فتوت[۱]، افشین توکلی[۱]، زهرا سادات شبر[۲]

۱- به ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد، استادیاران، دانشگاه زنجان
۲- استادیار، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران

Chalavi A*[1], Fotovat R[1], Tavakoli A[1], Shobbar ZS[2]

1.MSc Student, Assistant Professors, Zanjan University
2. Assistant Professor, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: chalaviamin@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۱۷- تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۱۸)

چکیده

خشکی یکی از تنش‌های مهم محیطی می‌باشد که گیاهان را از جهات مختلف تحت تاثیر قرار می‌دهد و وقوع گسترده آن منجر به خسارات اقتصادی در بخش کشاورزی می‌شود. به‌منظور تعیین غلظت عنصر سیلیکون، ردیابی و مطالعه الگوی بیان ژن‌های درگیر در جذب عنصر سیلیکون در گندم، ارقام یاواروس، نوید، هامون و N -80-19 در گلخانه در شرایط طبیعی و تنش خشکی در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی کشت شد. در مرحله چهار برگی با قطع آبیاری تیمار خشکی اعمال شد. چهار روز بعد از قطع آبیاری نمونه‌گیری از بافت ریشه برای استخراج RNA و از بافت برگ جهت تعیین میزان غلظت سیلیس صورت گرفت. نتایج تجزیه واریانس غلظت عنصر سیلیس در ارقام مورد آزمایش نشان داد که بین تیمار خشکی و کنترل در رقم نوید اختلاف معنی‌داری وجود دارد و در سایر ارقام اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط خشکی بین ارقام تفاوت معنی‌داری وجود نداشت در حالی‌که در شرایط کنترل ارقام تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. بیان ژن *Tasi1* در واریته نوید تحت تیمارهای کنترل و خشکی اختلاف معنی‌داری نشان داد که بیانگر تاثیر تنش خشکی بر افزایش بیان این ژن بود. بیان این ژن در سایر واریته‌ها تحت تیمارهای مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری نداشت. بیان ژن ردیابی شده *Tasi2* نیز در سایر واریته‌ها تحت تیمارهای کنترل و خشکی تفاوت معنی‌داری نداشت.

واژه‌های کلیدی

خشکی
سیلیکون
گندم
RNA
Transporter

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1394.10.3.9.9]

مقدمه

خشکی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که منجر به کاهش ۵۰ درصد عملکرد می‌شود (Bray et al. 2000). تنش خشکی جذب CO_2 به‌وسیله برگ را با بسته شدن روزنه کاهش می‌دهد و موجب اختلال فعالیت آنزیم‌های مختلف به ویژه آنزیم تثبیت CO_2 و سنتز ATP می‌شود (Farooq et al. 2008). در شرایط نامناسب دفاع‌های آنتی‌اکسیدانی در غشای سلول و اندامک‌ها برای حفاظت حیاتی گیاهان افزایش می‌یابد (Kocsy et al. 1996; Ghamdi 2009). گیاهان به یک سیستم دفاعی آنتی اکسیدان پیچیده و بسیار کارآمد مجهز هستند که می‌تواند به تنش خشکی پاسخ و سازش یابد، این سیستم متشکل از محافظ‌های غیرآنزیمی و مکانیسم‌های آنزیمی برای قطع آبشارهای اکسیداتیو کنترل نشده در برخی اندام‌ها می‌باشد (Al-Ghamdi 2009) سیلیکون بعد از اکسیژن فراوانترین عنصر موجود در پوسته زمین به شمار می‌رود. از آنجا که دی اکسید سیلیکون شامل ۷۰-۵۰ درصد جرم خاک است، همه گیاهانی که در خاک رشد می‌کنند دارای مقداری سیلیکون در بافت‌هایشان هستند (Epstein and Bloom 2003). سیلیس یک عنصر ضروری برای گیاهان عالی است، زیرا کمبود سیلیس باعث ایجاد حالت‌های غیرعادی مختلفی در گیاهان می‌شود (Ma and Takahashi 2002). غلظت سیلیس در اندام‌های هوایی گیاهان بسیار متفاوت بوده و حدود ۰/۱ تا ۱۰ درصد وزن ماده خشک می‌باشد. تفاوت زیاد غلظت سیلیس در بافت‌های گیاهی عمدتا به تفاوت در ویژگی‌های جذب و انتقال سیلیس در گیاهان نسبت داده شده‌است (Jones and Handreck 1967; Jarvis 1987; Epstein 1994). عملکرد سیلیکون حفاظت گیاهان در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده مختلف بوده (Ma et al. 2002) بنابراین اثر سیلیکون روی رشد گیاه تحت وضعیت تنش آشکار می‌شود. سیلیکون می‌تواند از طریق کاهش تعرق، تنش آبی را تخفیف دهد. تعرق عمدتا در برگ‌ها از طریق روزنه‌های هوایی و به‌صورت جزیی از کوتیکول صورت می‌گیرد. چنانکه سیلیکون در زیر کوتیکول برگ رسوب کند یک لایه مضاعف کوتیکول- سیلیکون تشکیل می‌شود که تعرق از طریق کوتیکول احتمالا به وسیله رسوب این عنصر کاهش می‌یابد (Ma et al. 2001a). تیمار خشکی- سیلیکون در دو واریته وریناک و پیشتاز گندم در بافت برگ باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های ضد اکسنده (CAT، SOD، APX و POD) در هر دو رقم در مقایسه با تیمار خشکی شد (Taale ahmad et al. 2010). نتایج آزمایش Ma et al. (2001a) نشان داد سیلیکون میزان تعرق در برنج را که کوتیکول نازک دارد تا ۳۰ درصد کاهش می‌دهد.(Agarie et al. (1998 زمانی که بوته‌های برنج را در معرض محلول حاوی پلی‌اتیلن‌گلیکول (PEG) قرار دادند ملاحظه کردند که نشت الکترولیت (EI) (شاخص خسارت غشا) بافت برگ با افزایش در سطح سیلیکون برگ‌ها کاهش می‌یابد. سطح پلی‌ساکاریدها در دیواره سلول در برگ‌های حاوی سیلیکون از برگ‌های فاقد این عنصر بالاتر بود. این نتایج نشان می‌دهد که سیلیکون در برگ‌های برنج با نسبت‌های آب سلول به‌عنوان مثال خواص مکانیکی و تراوایی آب درگیر است. در میان مولفه‌های عملکرد، درصد دانه‌های رسیده در دو گیاه زراعی برنج و جو تحت‌تاثیر جذب سیلیکون بوده‌است (Ma and Takahashi 2002). این فعالیت سیلیکون احتمالا به اثر تخفیف سیلیکون روی تنش آبی نسبت داده شده چرا که یک فاکتور مهم برای نمو طبیعی سنبلچه‌ها، نگهداری شرایط رطوبت بالا داخل پوشینه است (Seo and Ohta 1982). جذب سیلیکون در گندم از طریق کنترل متابولیکی است و میزان جذب به وسیله دی نیترو فنل (DNP) و سیانید پتاسیم (KCN) به شدت محدود می‌شود (Rainsand et al 2006). ناقلین مسئول جذب سیلیکون در ریشه در چندین گیاه شامل گندم، برنج، جو، ذرت و کدو شناسایی شده‌است (Ma et al. 2011). فعالیت مشترک *lsi1* و *lsi2* برای جذب موثر سیلیکون در برنج لازم است (Ma and Yamaji 2008). با توجه به ژن‌های شناخته شده در برنج و جو انتظار می‌رود مکانیسم مشابهی در گندم فعالیت داشته باشد که هدف از این تحقیق ردیابی و بیان ژن‌های ناقل سیلیکون در گندم تحت تنش خشکی است. سنجش میزان اثر عوامل مختلف در تحمل به تنش‌های غیرزنده از روش‌های متعددی از جمله اندازه‌گیری سطوح رونویسی ژن‌ها و روش‌های فیزیولوژیکی انجام می‌گیرد. بنابراین یافتن رابطه بین پاسخ‌های مختلف گیاه در سطوح ژنتیکی و فیزیولوژیکی حائز اهمیت بوده و به ارزیابی بهتر گیاه و همچنین

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.20084439.1394.10.3.9.9]

درک بعضی از سازوکارهای تحت تاثیر تنش و تغییرات متابولیکی گیاه کمک می‌کند.

مواد و روش‌ها

طرح آماری و شرایط آزمایش

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. از ارقام کاشته شده در شرایط مزرعه دو رقم نوید و یاواروس دارای بیشترین میزان غلظت سیلیس برگ و دو رقم هامون و N-80-19 دارای کمترین میزان غلظت این عنصر در مرحله گلدهی تحت تنش خشکی گزینش شدند و در گلخانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. فاکتورهای آزمایشی شامل دو سطح خشکی و کنترل به عنوان تیمار و چهار رقم گندم شامل نوید، یاواروس، هامون، N-80-19 بودند. کشت در گلدان‌های پلاستیکی به حجم یک و نیم کیلوگرم خاک انجام شد. در هر گلدان سه بذر به فاصله دو سانتی‌متر کاشته شد. کلیه مراقبت‌های لازم در خلال رشد انجام شد. در مرحله چهار برگی با قطع آبیاری تیمار خشکی اعمال شد. چهار روز بعد از قطع آبیاری نمونه‌گیری از ریشه و برگ بوته‌ها صورت گرفت. نمونه-های ریشه بعد از شستشو بلافاصله با پوشش فویل با درج مشخصات هر نمونه در ازت مایع قرارگرفت و سپس نمونه‌ها در آزمایشگاه در دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد فریز شد. نمونه‌های برگ بعد از تمیز شدن با دستمال در پوشش فویل قرار گرفتند و با درج مشخصات آماده خشک شدن در آون شد و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شد.

اندازه‌گیری غلظت سیلیس در بافت برگ

اندازه‌گیری غلظت سیلیس به روش هضم تر شامل سولفوریک اسید، سالسیلیک اسید و آب اکسیژنه بود که در این روش از عصاره بدست آمده می‌توان غلظت سیلیس و سایر عناصر سنگین را اندازه‌گیری کرد (Ehyai et al. 1993) در بالن‌های ۵۰ میلی-لیتری به نسبت برابر (ده میلی‌لیتر) آمونیوم مولیبدات ۸ درصد و سولفوریک اسید یک مولار، ۵ میلی‌لیتر استن و ۵ میلی‌لیتر عصاره نمونه ریخته شد و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسید. پس از چند دقیقه محلول زرد رنگی به‌دست آمد. غلظت سیلیس نمونه‌ها در طول موج ۴۰۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل CECIL SERIES2) قرائت شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم افزارهای SPSS و MSTATC استفاده شد.

استخراج RNA و سنتز cDNA

استخراج RNA کل توسط کیت Rnx-plus از نمونه‌های ریشه انجام گرفت. برای از بین بردن آلودگی DNA از کیت DNAse set RNase - free (کیاژن) استفاده شد. غلظت RNA پس از هر استخراج با استفاده از دستگاه نانودراپ و در طول موج ۲۶۰ نانومتر تعیین شد. میزان کل RNA برحسب میکروگرم در میکرولیتر محاسبه شد و در تمام نمونه‌ها به یک اندازه رقیق شد. همچنین جهت تعیین کیفیت RNA نیز مقدار ۵ میکروگرم از هر نمونه بر روی ژل یک درصد آگارز الکتروفورز انجام شد تا نسبت به کیفیت بالای آن اطمینان حاصل شود. جهت ساخت cDNA، از روش پیشنهادی شرکت فرمنتاز استفاده شد. اولین رشته cDNA با کمک آغازگر الیگو دی تی (۲۰-۱۸ نوکلئوتید) ساخته شد. مقدار ۷ میکروگرم از RNA کل همراه با یک میکرولیتر الیگو دی تی و یک میکرولیتر از ترکیب دی اکسی نوکلئوتید تری فسفات با غلظت ۱۰ میلی مولار و ۱۰ میکرولیتر آب عاری از نوکلئاز به مدت ۵ دقیقه در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در حمام آب انکوبه قرار گرفته و سپس بلافاصله دو دقیقه بر روی یخ قرار گرفت. ده میکرولیتر از ترکیب سنتز cDNA شامل یک میکرولیتر از بافر M-Mulve 10X و ۰/۵ میکرولیتر از آنزیم transcriptas 100 unit M-Mulv Rever و ۷/۵ میکرولیتر آب عاری از نوکلئاز به هر میکروتیوب اضافه شد و سپس سنتز cDNA در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد در ۶۰ دقیقه صورت گرفت. جهت غیرفعال‌سازی واکنش تیوب‌ها به مدت ۵ دقیقه در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و برای تایید سنتز cDNA از روش PCR و الکتروفورز روی ژل یک درصد استفاده شد.

طراحی آغازگر و ژن مورد نظر

در این پژوهش جهت بررسی بیان ژن (*Tasi1*) از آغازگر طراحی شده این ژن در گندم و برای بیان ژن (*Tasi2*) از آغازگر طراحی شده بر اساس ژن *lsi2* و *Hvlsi2* در گیاهان برنج و جو استفاده شد. همچنین به عنوان کنترل داخلی و حذف خطاهای احتمالی در اندازه‌گیری بیان ژن از ژن خانه‌دار *GAPDH* استفاده شد (جدول ۱).

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1394.10.3.9.9]

جدول شماره ۱- مشخصات آغازگرهای مورد استفاده در این پژوهش.

ژن رمز کننده	نام آغازگر	توالی آغازگر (´۳-´۵)	دمای ذوب (^oC)
Tasi1	Tasi1F	CATTACCTCCATCTTCGCAG	۵۷
	Tasi1R	GATGTAGGTGTAGGTCCAGG	
Tasi2	Tasi2F	TCGCTGCTCGTCTTCTTCTC	۵۶
	Tasi2R	GAGAGGAGGAGGATGATGAC	
Gapdh	TagapdhF	CTAACTGCCTTGCTCCTCTT	۵۵
	TagapdhR	CTTGGAATGATGTTGAAGCTGG	

تکثیر cDNA و مراحل انجام RT- PCR

برای انجام واکنش‌های Real Tim PCR از دستگاه Rotor- Gene برای ارزیابی کمی استفاده شد. ۲۵ میکرولیتر مخلوط واکنش شامل ۱۲/۵ میکرولیتر SYBER Grean PCR Master Mix، یک میکرولیتر از هر یک از آغازگرهای پیشرو و پسرو، ۵/۵ میکرولیتر نمونه cDNA و پنج میکرولیتر آب عاری از نوکلئاز برای تکثیر در هر میکروتیوب استفاده شد. برای هر واکنش سه تکرار در نظر گرفته شد و با شرایط زیر واکنش زنجیره‌ای پلیمراز انجام شد. ۱۰ ثانیه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد، ۳۵ ثانیه در دمای (*Tasi1*) ۵۷ و (*Tasi2*) ۵۶ درجه سانتی‌گراد (دمای Tm آغازگرها) و ۲۰ ثانیه در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد. به منظور نرمال‌سازی داده‌ها از ژن خانه‌دار *GAPDH* که دارای بیان یکسانی در تمام تیمارها می‌باشد استفاده شد. برای بررسی بیان ژن‌های مورد مطالعه از روش ارزیابی نسبی استفاده شد. در این روش میزان افزایش یا کاهش بیان ژن در هر تیمار نسبت به تیمار کنترل به صورت نسبت بیان می‌شود که در این حالت امکان اندازه‌گیری بیان ژن در تیمار کنترل وجود ندارد و به عبارتی یک در نظر گرفته می‌شود. بنابراین بیان نسبی ژن‌ها با روش $2^{-\Delta\Delta CT}$ محاسبه شد. به این‌صورت که هر تیمار با گیاهان کنترل مربوط به خود مقایسه شد. جهت تجزیه داده‌ها از نرم‌افزارهای Linreg و Rest 2009 استفاده شد.

نتایج و بحث

خلاصه تجزیه واریانس داده‌ها برای میزان غلظت عنصر سیلیس ارقام مورد مطالعه در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی در شرایط گلخانه در جدول (۲) و (۳) درج شده است. غلظت عنصر سیلیس در رقم نوید در تیمار خشکی در مقایسه با شرایط کنترل افزایش نشان داد (در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD معنی‌دار بود) که بیانگر القای شدید تنش در این رقم می‌باشد (شکل۱). در شرایط کنترل رقم N-80-19 با بیشترین میانگین با سایر ارقام تفاوت معنی‌داری داشت. ارقام یاواروس و هامون تفاوت معنی‌داری را با رقم نوید داشتند که نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی ارقام در جذب و انباره سیلیس در مرحله چهار برگی در شرایط کنترل می‌باشد. افزایش بالای سرعت جذب سیلیس در

جدول۲- تجزیه واریانس غلظت عنصر سیلیس در شرایط گلخانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
ژنوتیپ	۳	۸۸۲/۵۳۶*
تیمار	۱	۱۲۶۲/۵۱۵*
ژنوتیپ×تیمار	۳	۱۲۶۰/۶۴۵*
خطا	۱۶	۱۷۲/۸۰۰

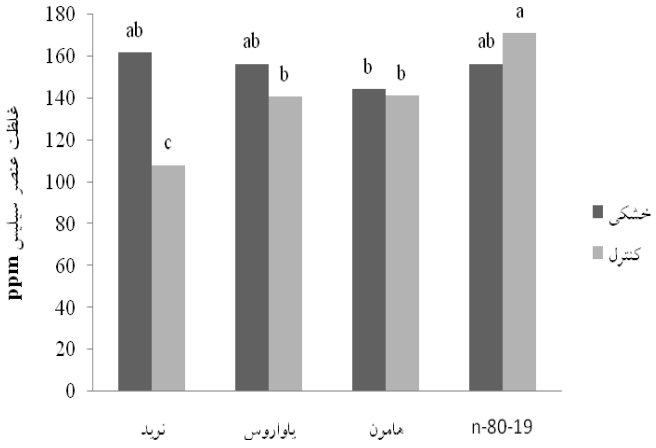
جدول۳- تفکیک جدول تجزیه واریانس (۲) به اثر هر عامل

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
ژنویپ × خشکی	۳	۱۶۹/۶۲
ژنوتیپ × کنترل	۳	۱۹۷۳/۰۶۵**
هامون × تیمار	۱	۱۳/۳۲
نوید× تیمار	۱	۴۳۵۵/۱۲**
یاواروس × تیمار	۱	۳۷۸/۲۶۱۶
N-80-19 × تیمار	۱	۳۱۱/۴۷
خطا	۱۶	۱۷۲/۸۰

**معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

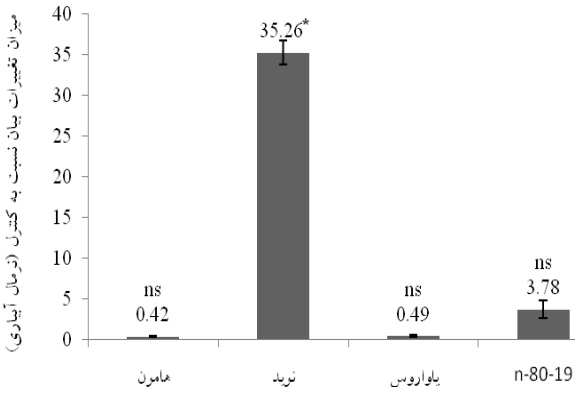
[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1394.10.3.9.9]

گندم در بین مرحله دو برگی و ۸-۷ برگی بوده و بالاترین سرعت جذب در مرحله ۸-۷ برگی می‌باشد که مقدار آن ۲/۴۰ میکرومول در گرم وزن خشک ریشه است که بعد از مقدار کمی کاهش تغییرات جذب اختلاف معنی‌داری نداشت. مقدار جذب به حد زیادی در مرحله دو برگی پایین می‌باشد (Epstine et al. 1999). در مطالعه واریته‌های جو غلظت سیلیس دانه جو تنوع زیادی از ۱/۲۴ تا ۳/۸۰ میلی‌گرم در گرم دانه جو نشان داد (Ma et al. 2003).



شکل۱- مقایسه میانگین غلظت عنصر سیلیس ارقام تحت تیمار کنترل و خشکی LSD

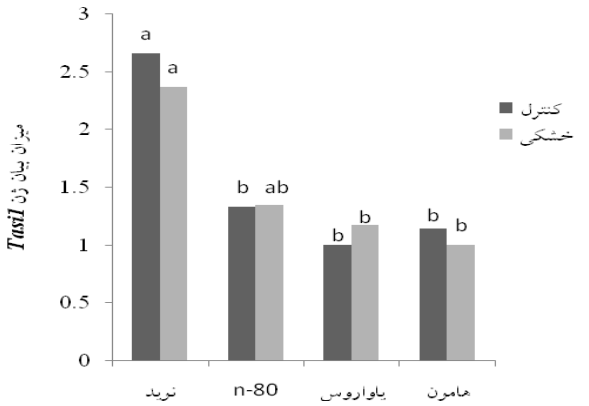
به منظور بررسی بیان ژن *Tasi1*، بین دو نمونه خشکی و کنترل مقایسه انجام گرفت. نتایج نشان داد که بیان این ژن نسبت به شرایط کنترل در بین ارقام بعد از اعمال تنش خشکی متفاوت بود (شکل۲). نتایج بیان این ژن در رقم نوید بین تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد که در این واریته بیان ژن *Tasi1* در شرایط تنش خشکی با میانگین بیان ۳۵ برابری نسبت به شرایط کنترل افزایش داشت که نشان‌دهنده تنظیم بالای این ژن در رقم نوید در شرایط تنش خشکی می‌باشد. بیان این ژن در سایر ارقام بین تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشت. با توجه به عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین غلظت سیلیس واریته‌های هامون، یاواروس و n-80-19 در بین تیمارهای کنترل و خشکی و همچنین نتایج بیان ژن *Tasi1* (ژن کد کننده ناقل نفوذ سیلیس) در این واریته‌ها تحت تیمارهای کنترل و خشکی که اختلاف معنی‌داری نداشتند نشان‌دهنده عدم‌تاثیر تیمار خشکی در القای بیان این ژن در این واریته‌ها می‌باشد. در واریته نوید که واکنش متفاوتی نسبت به بقیه ارقام در میزان سیلیس در شرایط خشکی داشت بیان ژن *Tasi1* نیز تحت تیمارهای خشکی و کنترل اختلاف معنی‌داری نشان داد که بیانگر همبستگی تنظیم بالای این ژن و جذب میزان سیلیس در شرایط خشکی در رقم نوید بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیان ژن *Tasi1* در شرایط کنترل در ارقام مختلف متفاوت بوده و رقم نوید در مقایسه با سایر ارقام تفاوت معنی‌داری نشان داد. بیان این ژن در ارقام مختلف تحت تنش خشکی نمایانگر تنوع میزان بیان بوده که در واریته نوید و n-80-19 در مقایسه با سایر ارقام تفاوت معنی‌داری نشان دادند (شکل۳). در بررسی ناقل نفوذ سیلیس *Hvlsi1* در جو مشخص شد که سطح بیان این ژن در ریشه واریته‌های جو متفاوت بوده و همبستگی ضعیفی بین جذب سیلیس و بیان ژن *Hvlsi1* مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد که مکانیسم تنظیم ژن‌های ناقل نفوذ سیلیس بین جو و برنج متفاوت است. (Chiba et al. 2009).



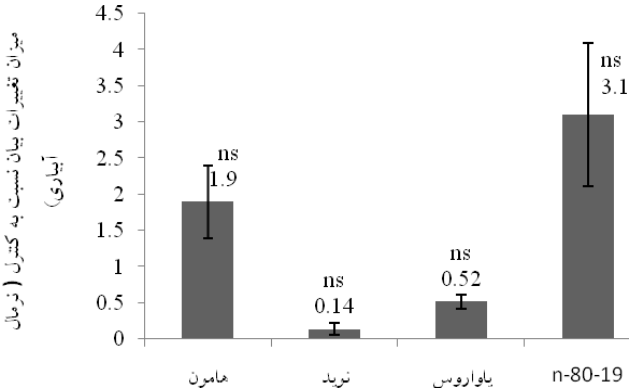
شکل۲- میزان تغییرات بیان ژن *Tasi1* در ارقام هامون، نوید، یاواروس و n-80-19 پس از اعمال تنش خشکی در مقایسه با شرایط کنترل، خطای حاشیه‌ای بیانگر انحراف معیار سیکل آستانه. ns و * به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد را نشان می‌دهد.

نتایج آنالیز داده‌های بیان ژن *Tasi2* تحت تیمارهای کنترل و خشکی در ارقام نشان داد که بیان این ژن در سایر ارقام، بین تیمارها اختلاف معنی داری وجود ندارد (شکل۴).

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1394.10.3.9.9]



شکل۳- نمودار بیان نسبی (نسبت بیان هر رقم به کمترین میزان بیان در بین ارقام در شرایط کنترل و خشکی) ژن *Tasi1* در ارقام گندم در شرایط کنترل و خشکی. داده‌های مورد استفاده در ترسیم نمودار میانگین سه تکرار می‌باشد. تیمارهای خشکی و کنترل به صورت جداگانه مقایسه شد. در هر نمودار میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه می‌باشند با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

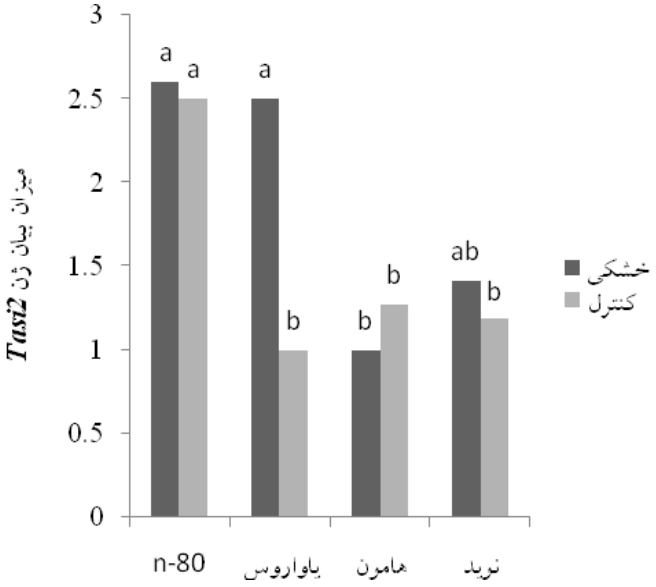


شکل۴- میزان تغییرات بیان ژن *Tasi2* در ارقام هامون، نوید، یاواروس و n-80-19 پس از اعمال تنش خشکی در مقایسه با شرایط کنترل. خطای حاشیه‌ای بیانگر انحراف معیار سیکل آستانه. ns عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد را نشان می‌دهد.

بیان ژن *Tasi2* در شرایط کنترل در ارقام مختلف متفاوت بوده و رقم n-80-19 در مقایسه با سایر ارقام تفاوت معنی‌داری نشان داد (شکل۵). بیان این ژن در ارقام مختلف تحت تنش خشکی نمایانگر تنوع میزان بیان بوده که واریته‌های یاواروس، n-80-19 و نوید دارای بیان بیشتر نسبت به واریته هامون می‌باشند. سومین زیر خانواده آکوپورین‌ها پروتئین‌های غده‌ای مانند غشا[1](NIPs) است که طیف وسیعی از جایگاه درون سلولی را نشان می‌دهد. ناقل نفوذ سیلیکون در برنج (Lsi1, also named OsNIP2, 1) است. تنظیم رونویسی ژن‌های آکوپورین[2] به وسیله هورمون‌ها به عنوان مثال آبسیزیک اسید (ABA) یا جیبرلین (GA3)، تحریکات محیطی مختلف رطوبت کم، خشکی، شوری، نور و کمبود یا تامین غذایی اغلب گزارش شده است. دو تا OsNIPs که فعالیت انتقال سیلیسک اسید را در برنج انجام می‌دهند، تحت تنش‌های گوناگون بیان پایین دارند (Qingpo Liu et al. 2009) در جو و ذرت si به صورت سیلیسیک اسید $Si(OH)_4$ از محلول خارجی به وسیله ناقلین نفوذ (Hv Lsi1/ZmLsi1) که در لایه‌های اپیدرم و پوست مکان‌یابی شده بارگیری می‌شود و به آندودرم منتقل می‌شود در آندودرم si به‌وسیله فعالیت ناقلین پخش به استوانه آوندی وارد می‌شود (Mitani M et al. 2009). اتصال فاکتورهای رونویسی به جایگاه‌های اتصال فاکتور بالادست ژن‌های مورد نظر و خصوصیات عناصر *cis*-acting ممکن است اطلاعاتی در مکانیسم بیان ژن باشد. چهار نوع از عناصر سیس با فراوانی زیاد در ناحیه پروموتور ژن‌های *NIP* گیاهان یافت شده‌اند. یکی از این عناصر توسط هورمون‌های گیاهی کنترل می‌شود. عنصر ABRE از طریق هورمون گیاهی تنظیم شده و به نظر می‌رسد که بیشترین فراوانی عناصر سیس مربوط به هورمون را در برنج دارد. Lescot (et al. 2002) عنصر MBS که به وسیله تنش خشکی تنظیم می‌شود اغلب در ناحیه پروموتور غنی هستند. osNIPs حاوی دو کپی یا بیشتر از این عناصر می‌باشند (Yamaguchi K. et al. 1993). بیان ژن *lsi1* (ناقل نفوذ سیلیکون در برنج) تحت تنش خشکی کاهش یافت. اسید آبسیزیک در پاسخ به تنش آبی در گیاه انباشته می‌شود بنابراین این امکان وجود دارد که کاهش بیان ژن *lsi1* در تنش آبی به‌وسیله افزایش ABA صورت بگیرد. بیان ژن *lsi1* به طور قابل توجهی در پاسخ به ABA متوقف می‌شود. در واقع در ناحیه پروموتور ژن *lsi1* دامنه پاسخ دهنده به ABA وجود دارد (Yamaji et al. 2007).

[1] Nodulin-26-like intrinsicprotein
[2] Aquaporin

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1394.10.3.9.9]



شکل۵- میزان بیان نسبی ژن *Tasi2* در ارقام گندم تحت شرایط کنترل و خشکی داده‌های مورد استفاده در ترسیم نمودار میانگین سه تکرار می‌باشد. تیمارهای خشکی و کنترل به صورت جداگانه مقایسه شد در هر نمودار میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه می‌باشند با استفده از آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی-داری با یکدیگر ندارند.

نتیجه‌گیری کلی

در گندم در مرحله چهار برگی با توجه به نتایج بیان ژن کدکننده ناقل نفوذ سیلیکون *Tasi1*، تنظیم بیان این ژن در واکنش به شرایط خشکی در واریته نوید در سطح رونویسی صورت می‌گیرد ولی در سایر واریته‌های مورد مطالعه تیمار خشکی بر تنظیم بیان ژن *Tasi1* تاثیر ندارد. تنظیم بیان ژن *Tasi2* که به عنوان ناقل پخش ردیابی شده، تحت‌تاثیر تیمار خشکی قرار نداشت. در مرحله چهار برگی بین میزان سیلیس ارقام تحت شرایط کنترل تفاوت معنی‌داری وجود دارد که نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی ارقام در جذب سیلیس بوده و احتمالا به دلیل تفاوت در تعداد ناقلین سیلیکون می‌باشد.

منابع

Agarie S, Hanaoka N, Ueno O, Miyazaki K., Kubota F, Agata W, Kaufman PB (1998) Effect of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*oryza sativa* L.) monitored by electrolyte leakage. Plant Production Science 1: 96-103.

Al-Ghamdi A (2009) Evalution of oxidative stres tolerance in two wheat (*Triticum aestivum*) cultivars in response to drought. International Journal of Agriculture and Biology 1: 7-12.

Bray EA (2002) Classification of genes differentially expressed during water-deficit stress in *Arabidopsis thaliana*: an analysis using microarray and differential expression data. Annals of Botany 7: 803 -811.

Ehyai A, Behbahani zadeh A (1993) Describe methods of soil analysis. Technical Bulletin 893:1-26 (In Farsi)

Epstein E, Bloom AJ (2003) Mineral Nutrition of Plants Principles and Perspectives, nd edn, John Wiley and Sons, New York 227-231.

Epstein E (1994) The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 32:11-17.

Epstein E (1999) Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50: 641-664.

Farooq M, Wahid A, Kobayashi D, Basra SMA (2008) Plant drought stress effects, mechanisms and management. Agronomy Sustanable Development 29: 185-212.

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1394.10.3.9.9]

Kocsy G, Brunner M, Ruegsegger A, Stamp P, Brunold C (1996) Glutathione synthesis in maize genotypes with different sensitivities to chilling. Planta 198: 365-370.
Lescot M, Déhais P, Thijs G, Marchal K, Moreau Y, Peer Y Van de, Rouzé P (2002) Rombauts S: PlantCARE, a database of plant cis-acting regulatory elements and a portal to tools for *in silico* analysis of promoter sequences. Nucleic Acids Research 30:325-327.
Liu Q, Wang H, Zhang Z, Wu J, Feng Y, Zhu Z (2009) Divergence in function and expression of the NOD26-like intrinsicproteinsin plants. Biomed Central Genomics 51: 313-323.
Ma JF, Y amaji N, M itani-U eno N (2 011) Transpo rt of silicon from roots topanicl es in plants. Physical and Biologica Science 87: 377-385.
Ma JF, Takahashi E (2002) Soil Fertilizer and Plant Silicon Research in Japan. Elsevier Science 1-3.
Ma JF, Yamaji N (2008) Functions and transport of silicon in plants. Cellular and Molocular Life Sciences 65:3049-3057.
Ma JF, Higashitani A, Sato K, Tateda K (2003) Genotypic variation in Si content of barley grain. Plant and Soil 249: 383-387.
Ma JF, Miyake Y, Takahashi E (2001a) Silicon as a beneficial element for crop plants. In: Datnoff L. Snyder G. Korndorfer G (Eds.) Silicon in Agriculture. Elsevier Science 17-39.
Mitani M, Chiba Y, Yamaji N, Ma JF (2009) Identification and characterization of maize and barley Lsi2-Like silicon efflux transporters reveals a distinct silicon uptake system from that in rice. Plant Cell 21: 2133-2142.
Mitani M, Chiba Y, Yamaji N, Ma JF (2009) HvLsi1 is a silicon influx transporter in barley. Plant Journal 57: 810-818.
Seo SW, ohta (1982) Role of the hull in the ripening of rice plant. Crop Sciences 51: 529-534.
Taale ahmad S, Hadad R (2010) Effect of silicon on antioxidant enzymes activities and osmotic adjustment contents in two bread wheat genotypes under drought stress conditions. Seed and Plant Journal 26: 225-207 (In Farsi)
Yamaji N, Ma JF (2007) Spatial distribution and temporal variation of the rice silicon transporter lsi1. Plant Physiology 143: 1306-1313.
Yamaguchi-Shinozaki K, Shinozaki K (1993) Arabidopsis DNA encoding (72) two desiccation- responsive rd29 genes. Plant Physiol 101:1119-1120

[Downloaded from mail.mg.genetics.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.20084439.1394.10.3.9.9]