

تجزیه QTL های کنترل کننده صفات فیزیولوژیک جو تحت تنش نیکل

QTLs analysis controlling physiological traits of barley under nickel stress

فرشید گلشانی^{۱*}، براتعلی فاخری^۱

۱- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، دانشگاه زابل

Golshani F^{*1}, Fakheri BA¹

1- PhD Student, Associate Professor, University of Zabol, Iran

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: farshidgolshani@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۷ - تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۱۵)

چکیده

به منظور مکان‌یابی نواحی ژنومی کنترل کننده برخی صفات فیزیولوژیک آزمایشی در جامعه هاپلوئیدهای مضاعف حاصل از تلاقی استیپتو و مورکس جو به همراه والدین آن‌ها تحت شرایط بدون تنش و تنش نیکل اجرا شد. صفات شاخص کارایی فتوسنتز (PI)، حداکثر مقدار بهره‌وری از فتوسیستم II (Fv/Fm)، محتوای کلروفیل برگ، محتوای رطوبت نسبی برگ، ضریب پایداری غشاء و میزان عناصر نیکل، روی، منگنز، مس و آهن کل اندازه‌گیری شدند. تجزیه Qantitive traits loci با استفاده از نقشه پیوستگی ژنتیکی حاصل از ۳۲۷ نشانگر مولکولی RFLP به روش مکان‌یابی فاصله‌ای مرکب (CIM) انجام گرفت. نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی‌دار را برای لاین‌ها در شرایط بدون تنش و تنش نیکل نشان داد. حداکثر همبستگی در شرایط بدون تنش و تنش نیکل بین منگنز و روی کل مشاهده شد. برای صفات مورد بررسی در مجموع ۳۶ جایگاه واجد QTL (۲۰ و ۱۶ جایگاه به ترتیب برای شرایط بدون تنش و تنش نیکل) بدست آمد. حداقل و حداکثر واریانس فنوتیپی توجیه شده به وسیله این QTL ها از ۱۰/۰۹ (*QMnk2H.1n*) تا ۵۴/۸۲ (*QMnk7H.3n*) درصد برای میزان منگنز کل در شرایط بدون تنش متغیر بود. حداقل و حداکثر LOD (۲/۵۳ و ۴/۵۵) به ترتیب برای QTL های حداکثر مقدار بهره‌وری از فتوسیستم II (*QFv/Fm5H.1s* و *QFv/Fm5H.2s*) و روی کل (*QZnk6H.2s*) در شرایط تنش نیکل بدست آمد. والد P₁ در انتقال آلل‌های موثر صفات فیزیولوژیک نقش بیشتری داشت. QTL های *QFek4H.1s* و *QFek4H.n* در دامنه ۴۸/۵۰ تا ۴۹/۵۰ سانتی‌مورگان کروموزوم 4H مربوط به صفت آهن کل، QTL های *QNik5H.1n* و *QNik5H.1s* در موقعیت ۱۴۵/۳۰ سانتی‌مورگان و QTL های *QNik5H.2s* و *QNik5H.2n* در جایگاه ۱۵۱/۵۰ سانتی‌مورگان کروموزوم 5H مربوط به صفت نیکل کل، از پایداری لازم برخوردار بودند. بنابراین، در صورت تکرار نتایج فوق در شرایط محیطی، سال‌ها و ژنوتیپ‌های متفاوت، احتمالاً در گزینش به کمک نشانگر بتوان از آن‌ها استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی

تنش نیکل
جو
صفات فیزیولوژیک
QTL
نقشه‌یابی

مقدمه

تنش‌های محیطی همیشه عامل کاهش کمیت و کیفیت محصولات زراعی بوده‌اند. با مواجه شدن گیاه با این تنش‌ها، تغییرات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مورفولوژیک زیادی در جهت تحمل گیاه به سازگار شدن آن به تنش حاصل می‌شود و این تغییرات در گونه‌های مختلف گیاهی و حتی واریته‌های گونه و بسته به نوع تنش و همچنین اشکال مختلف یک تنش، متفاوت است (Shinozaki et al. 1997). به علت افزایش آلودگی و صنعتی شدن شهرها، گیاهان تحت تأثیر بازه وسیعی از موادی هستند که باعث آلودگی آب، خاک و هوا می‌شوند. نیکل یکی از عناصر شیمیایی است که به شکل‌های مختلف در محیط زیست (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، اقیانوس‌ها، خاک، هوا و آب آشامیدنی و همچنین، در پیکر گیاهان و حیوانات) وجود دارد. خاک و رسوبات، عمده‌ترین منبع نیکل می‌باشند (Smialowicz et al. 1984). نیکل به عنوان یک فلز سنگین، نقش مهمی در گیاهان ایفا می‌کند. این عنصر در غلظت‌های پایین اثر سمی بر گیاه ندارد ولی در غلظت‌های بالا برای گیاهان سمی است (Baycu et al. 2006).

حفظ محتوای آب نسبی برگ موجب افزایش و پایداری عملکرد می‌شود (Matin et al. 1989). بنابراین محتوای آب نسبی برگ می‌تواند به عنوان یک شاخص در گزینش برای تحمل به تنش مورد استفاده قرار گیرد. نتایج حاصل از تحقیقات نشان داده که ارتباط نزدیک و مثبتی بین پتانسیل آب برگ، RWC و سرعت فتوسنتز وجود دارد، به طوری که هر چه گیاه در شرایط تنش، دارای پتانسیل آب و RWC بالاتری باشد، از سرعت فتوسنتزی بیشتری برخوردار خواهد بود (Al-khabit and Paulsen 1990; Siddique et al. 1999). محتوای کلروفیل برگ به عنوان یک فاکتور مهم در تعیین ظرفیت فتوسنتزی برگ محسوب می‌شود و کاهش محتوای کلروفیل به عنوان یک عامل غیر روزنه‌ای می‌تواند منجر به کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ شود (Jiang and Monni et al. 2003; Huwang 2001). نشان دادند میزان کلروفیل کل در برگ‌های لوبیا چیتی *Phaseolus vulgaris* که در تیمار با شکل معدنی نیکل رشد کرده بودند، کاهش یافته‌است. کاهش فتوسنتز در تیمار با شکل آلی نیکل در برگ‌های کلم نیز گزارش شده است (Molas

2002). (Mohammadi et al. 2008) در مطالعه جمعیت هاپلوئید مضاعف جو در دو منطقه تل هادیا و بردا، هشت مکان واجد QTL برای محتوای کلروفیل برگ روی کروموزوم‌های ۲، ۳، ۴ و ۷ شناسایی کردند. اخیراً از فلورسانس کلروفیل بدون تخریب بافت گیاه برای درک روابط صفات فیزیولوژیک و عملکرد به عنوان روشی برای بررسی تحمل گیاهان به بسیاری از تنش‌های محیطی استفاده شده است. (Bajji et al. 2001) از رابطه بین پارامترهای فلورسانس و میزان فتوسنتز برگ برای گزینش تحمل به تنش‌های محیطی در شرایط طبیعی و گلخانه‌ای استفاده کردند. نقش سایر عناصر سنگین در گیاه نیز قابل چشم‌پوشی نمی‌باشد. در اثر کمبود روی در گیاه، به تدریج توقف رشد حاصل می‌شود و در نتیجه اندام‌های رویشی بویژه برگ به عنوان دستگاه فتوسنتزی دچار مشکل می‌شوند. در نتیجه این امر ساخت مواد فتوسنتز نیز مختل شده و تشکیل اندام‌های زایشی آسیب می‌بیند و لذا در جو تعداد دانه در سنبله و وزن دانه رو به کاهش می‌یابد (Graham and Mcdonald 2000). کاهش رشد، زردی، کاهش ارتفاع گیاه، عقیمی دانه‌های گرده و کاهش تعداد پنجه در گیاه از عوارض کمبود منگنز است (Ziaecian and Malakoti 1988). اگر چه آهن در ساختمان کلروفیل شرکت ندارد، کمبود آن موجب کاهش میزان کلروفیل شده، نهایتاً رنگ سبز برگ‌ها به زردی متمایل می‌شود که این پدیده کلروز نامیده می‌شود (Pinto et al. 2005). در تحقیقی با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی نقشه‌برداری از QTL-های مربوط به جذب عناصر مس، آهن، منگنز و روی در اندام هوایی گیاهچه گندم تحت تنش مس صورت گرفت که یکی از بزرگترین جایگاه‌های صفات کمی در تحمل مس در کروموزوم 5DL دیده شد (Balint et al. 2007).

سمیت ناشی از غلظت‌های بالای نیکل از یک سو و ضرورت وجود آن برای رشد انسان از سویی دیگر، نشان دهنده اهمیت شناخت علائم مسمومیت این عنصر در گیاه و همچنین، اطلاع از میزان جذب آن توسط گیاهانی که در شرایط وجود غلظت‌های مختلف نیکل رشد داده شده‌اند، می‌باشد. روش‌های مرسوم اصلاح نباتات، برای بهبود صفات زراعی در جو دارای دستاوردهای بسیار مفیدی هستند، ولی برای انتخاب لاین‌های برتر نیاز به خلوص جوامع و دسترسی به نسل‌های پیشرفته اصلاحی می‌باشد. توسعه فن‌آوری

(Fakheri and Khalegh Babaki 2014). پس از این مرحله به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر استریل خیسانده شدند سپس بذور ضد عفونی شده در پتری دیش های ۱۵ سانتی متری استریل محتوی کاغذ واتمن، کشت داده شدند. پس از ۱۰ روز، گیاهچه هایی که به اندازه کافی در پتری دیش ها رشد کرده بودند به سیستم هیدروپونیک حاوی محلول غذایی هوگلدن انتقال داده شدند. pH محلول برای تاثیرگذاری بیشتر روی ۵ تنظیم شد (Peralta Videia et al. 2002). مغذی های بزرگ (عناصر ماکرو)، جداگانه از محلول پایه به صورت ۱/۲ برای تهیه محلول نهایی افزوده شدند و ریزمغذی ها (عناصر میکرو) به جزء آهن یک محلول پایه داشتند. بعد از هر ۳ روز، محلول غذایی داده شده به گیاهان در داخل هر تشت، دور ریخته می شد و محلول غذایی تازه جایگزین آن می شد. درجه حرارت در حدود ۲۶ درجه سانتی گراد تنظیم شده بود. پس از گذشت یک هفته و سازگاری گیاهچه ها به شرایط هیدروپونیک، غلظت های مختلف نیکل (NiCl₂): ۱، ۲/۵، ۵ میلی مولار به ترتیب هر دو روز یکبار با تعویض محیط کشت به محیط کشت اضافه شد.

در این تحقیق صفات شاخص کارایی فتوسنتزی (PI)، حداکثر مقدار بهره وری از فتوسیستم II (Fv/Fm)، محتوای کلروفیل برگ، محتوای رطوبت نسبی برگ، ضریب پایداری غشاء و میزان عناصر نیکل، روی، منگنز، مس و آهن (ppm) در کل گیاه (ریشه و اندام هوایی) روی ۱۰ نمونه در ۷۲ لاین هاپلوئید مضاعف جو والدین آن ها در مرحله ۱۰ برگی در دو شرایط تنش و بدون تنش در دو تکرار اندازه گیری شدند. میزان نسبی کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل متر مدل (Hansatech-Model-cl-ol, Hansatech Instruments Ltd, UK)، مولفه های فلورسانس کلروفیل از دستگاه Chlorophyll Fluorometer (مدل Pocket PEA، کمپانی Hansatech ساخت کشور انگلستان)، میزان رطوبت نسبی برگ (RWC) با استفاده از فرمول، $RWC = \frac{LFW - LDW}{LFW - LDW} \times 100$ (Pessarakli 1999) محاسبه شد که در آن LEW وزن تر برگ، LDW وزن خشک برگ و LTW وزن برگ در حالت اشباع است. برای اندازه گیری ضریب پایداری غشا (CMS) تعداد ده دیسک از برگ ها تهیه و در شیشه های حاوی ۲۰ میلی لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند و

نشانگرهای مولکولی، تهیه نقشه های لینکاژی ژنومی با چگالی بالا را برای بسیاری از گیاهان از جمله جو امکان پذیر کرده است. با رشد سریع تهیه نقشه های لینکاژی متراکم بر اساس نشانگرهای مولکولی و شناسایی QTL و استفاده از آن برای گزینش به کمک نشانگر (MAS)، انتخاب در نسل های اولیه برنامه های اصلاحی امکان پذیر شده و کارایی آن بهبود یافته است (Han et al. 1997; Ayoub et al. 2003). در این روش تفرق همزمان صفات کمی و نشانگرهای مولکولی بررسی می شود و در نهایت تعداد ژن ها (عوامل موثر)، نوع عمل آن ها، میزان اثر هر یک برآورد و مکان QTL روی ژنوم شناسایی می شود. دانش جایگاه، تعداد و اثرات QTL ها می تواند اصلاحگران را به درک کنترل ژنتیکی صفات گیاه و کمک به عمل انتخاب برای بهبود و اصلاح گیاهان یاری کند (Broman and Speed 1999). هدف از این تحقیق، مکان یابی QTL ها، برآورد میزان تأثیر هر یک از آن ها، تعیین نشانگرهای مولکولی پیوسته با آن ها و پیشنهاد آن ها برای استفاده در گزینش به کمک نشانگر در نسل های اولیه برنامه های اصلاحی بوده است.

مواد و روش ها

به منظور مکان یابی QTL های پاره ای از صفات مربوط به جذب فلزات سنگین جو تحت دو شرایط بدون تنش و تنش نیکل، هفتاد دو لاین هاپلوئید مضاعف به همراه والدین آن ها در محیط هیدروپونیک مورد آزمایش قرار گرفتند. جامعه مورد مطالعه، از هیبریدهای F_۱ حاصل از تلاقی استپتو (CI15229) و مورکس (CI15773) به وسیله روش تغییر یافته *Hordeum bulbosum* که توسط Chen and Hayes (1989) تشریح شده، به وسیله برنامه اصلاحی جو دانشگاه ایالت اورگون آمریکا به وسیله (1992) Hayes تهیه شده است. آزمایش در قالب دو طرح بلوک کامل تصادفی با دو تکرار پیاده شد. در ابتدا ۷۲ لاین هاپلوئید مضاعف جو و والدین آن ها با دقت ضد عفونی شدند، برای این منظور، ابتدا بذرها با آب و مایع ظرف شویی شست و شو داده، سپس به مدت بیست ثانیه در الکل ۹۶ درصد قرار گرفتند و بعد از آب شویی با آب مقطر سپس به مدت ۵۰ ثانیه در محلول هیپوکلریت سدیم (به نسبت یک به نه در آب مقطر رقیق شد) قرار گرفتند و بعد از آن چندین بار با آب مقطر استریل شست و شو داده شدند

توارث پذیری خصوصی صفات با استفاده از فرمول (Johnson et al. 1955) برآورد شد. همبستگی ساده فنوتیپی بین صفات برای شرایط بدون تنش و تنش نیکل محاسبه شد. محاسبات آماری با نسخه ۹/۲ نرم افزار SAS انجام شد. نقشه پیوستگی نشانگرهای مولکولی جو از سایت <http://barleygenomics.wsu.edu> بازیابی و برای نقشه یابی صفات مذکور مورد استفاده قرار گرفت (Kleinhofs and Graner 2001; Fakheri and Mehravarani 1993; Kleinhofs et al. 2013). این نقشه نسبتاً اشباع، مرکب از ۳۲۷ نشانگر RFLP با طول ۱۲۲۶/۳ و متوسط فاصله ۳/۷۵ سانتی مورگان می باشد که توسط پروژه نقشه یابی ژنوم جو آمریکای شمالی (NABGMP) تهیه شده است (Kleinhofs and Graner 1993; Kleinhofs et al. 2001). تجزیه QTL به طور مجزا برای شرایط بدون تنش و تنش نیکل انجام گرفت. برای تعیین QTL ها و برآورد اندازه اثر آن ها، از روش نقشه یابی فاصله ای مرکب (CIM) استفاده شد (Fakheri and Mehravarani 2013; Fakheri and Khalegh Babaki 2014; Mahdinejad et al. 2014). حداقل LOD برای شناسایی QTL ها ۲/۵ و حداقل فاصله پوشش ۲ سانتی مورگان (پیش فرض نرم افزار) در نظر گرفته شد. نشانگرهای پس زمینه (Cofactor) با روش رگرسیون پیشرو-پسرو (Forward-backward) تعیین شد. علاوه بر تعیین جایگاه و میزان اثر هر QTL، واریانس فنوتیپی که توسط هر یک از QTL ها و نیز توسط مجموع QTL ها در یک مدل رگرسیون چندگانه توجیه می شود، در قله موقعیت QTL محاسبه شد. اثرات QTL در قله موقعیت QTL و حدود اعتماد ۹۵ درصد QTL ها بدست آمد. برای تعیین اینکه آیا دو پیک مجاور هم نماینده QTL واحد هستند یا اینکه هر یک به QTL جداگانه ای مربوط می شوند، از آفت مقدار LOD بین دو پیک استفاده شد (اگر بین دو پیک مجاور آفتی به اندازه $LOD \geq 2$ یا $LRS \geq 9/21$ وجود داشت، آنرا باید دو QTL جداگانه در نظر گرفت) (Kim and Rieseberg 1999; Fakheri and Mehravarani 2013; Fakheri and Khalegh Babaki 2014; Mahdinejad et al. 2014). درصد واریانس فنوتیپی توجیه شده به وسیله هر QTL، تعیین شد. تجزیه QTL با نرم افزار WinQTL Cartographer 2.5 انجام گرفت.

سپس هدایت الکتریکی محلول حاوی املاح خارج شده از بافت گیاه اندازه گیری شدند (Dadashi et al. 2007). در این تحقیق میزان عناصر نیکل، روی، منگنز، مس و آهن (ppm) در کل گیاه (ریشه و اندام هوایی) توسط دستگاه طیف سنج جذب اتمی شعله مدل Konik Won M300 (محصول بارسلونای اسپانیا) مجهز به یک نبولایزر پنوماتیک معمولی مورد سنجش قرار گرفت. لامپ کاتد توخالی مدل Konik-Tech برای اندازه گیری مس، روی، منگنز، نیکل و آهن استفاده شد. حساس ترین طول موج ها برای برای مس در ۳۲۴/۸ نانومتر، آهن در ۲۴۸/۳ نانومتر، روی در ۲۱۳/۹ نانومتر، منگنز در ۲۷۹/۵ نانومتر و نیکل در ۲۳۲/۰ نانومتر استفاده شدند. برای آماده سازی نمونه ها جهت اندازه گیری با دستگاه جذب اتمی ابتدا نمونه های برداشت شده به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون با درجه حرارت ۷۴ درجه سانتی گراد قرار داده شد تا کاملاً خشک شود. سپس هر نمونه در داخل هاون چینی کوبیده شد تا کاملاً همگن شود، از هر نمونه یک گرم داخل بوته چینی ریخته شد و سپس هر بوته را به داخل کوره انتقال داده شد. کوره در درجه حرارت ۶۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ ساعت تنظیم شد، پس از سرد شدن کوره به هر بوته مقدار ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک دو نرمال اضافه شد و اندکی روی هیترو حرارت داده شد تا مرحله هضم اسیدی کامل شود. سپس با کاغذ صافی دو لایه نمونه صاف شد و با آب مقطر دو بار تقطیر شده به حجم رسانده شد (Jones et al. 1991; Tabande et al. 2013). تجزیه واریانس برای شرایط بدون تنش و تنش نیکل انجام شد. آماره های آماری ساده (توصیفی) برآورد شد. اختلاف بین والدین $(P_1 - P_2)$ با LSD حاصل از تجزیه واریانس والدین و اختلاف بین میانگین والدین و میانگین لاین های هاپلوئید مضاعف $(\bar{x}_{DH} - \bar{x}_P)$ با LSD حاصل از تجزیه واریانس لاین هاپلوئید مضاعف به همراه والدین مقایسه شدند. تفکیک متجاوز از والدین در جهت مثبت و منفی به ترتیب با فرمول های $G_P = B_{DH} - B_P$ و $G_N = W_{DH} - W_P$ محاسبه شدند که در آن ها G_P و G_N به ترتیب تفکیک متجاوز از والدین در جهت مثبت و منفی، B_{DH} و W_{DH} بهترین و بدترین هاپلوئید مضاعف B_P و W_P بهترین و بدترین والد می باشد. تفکیک متجاوز از والدین با LSD حاصل از تجزیه واریانس لاین هاپلوئید مضاعف به همراه والدین مقایسه شدند.

نتایج و بحث

فیزیولوژیک تحت تنش شوری در محیط هیدروپونیک گزارش کردند.

آماره‌های ساده (توصیفی) صفات فیزیولوژیک مورد بررسی (جدول ۲) نشان داد استپتو نسبت به مورکس در شرایط بدون تنش برای صفات شاخص کارایی فتوسنتز، حداکثر مقدار بهره وری از فتوسیستم II، و محتوای رطوبت نسبی برگ، روی کل، مس کل و منگنز کل مقادیر بیشتری را نشان داد و برای سایر صفات مقادیر کمتری را نشان داد. در شرایط تنش نیکل استپتو نسبت به مورکس برای صفات ضریب پایداری غشا، مس کل، منگنز کل و آهن کل مقادیر بیش‌تری را نشان داد و برای سایر صفات مقادیر کمتری را نشان داد. در شرایط بدون تنش اختلاف بین والدین برای صفت نیکل کل بسیار معنی‌دار ($p \leq 0.01$) و برای صفت منگنز کل معنی‌دار ($p \leq 0.05$) و برای سایر صفات غیر معنی‌دار بود.

بررسی توزیع فراوانی داده‌های فنوتیپی حاکی از وجود توزیع نرمال در همه صفات بود. در شرایط بدون تنش و تنش نیکل، لاین‌ها برای کلیه صفات اختلاف بسیار معنی‌دار ($p \leq 0.01$) داشتند به غیر از صفات حداکثر مقدار بهره‌وری از فتوسیستم II و محتوای رطوبت نسبی برگ برای شرایط بدون تنش که در سطح معنی‌دار بودند و صفت حداکثر مقدار بهره‌وری از فتوسیستم II برای شرایط تنش نیکل که در سطح ($p \leq 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۱). این مسئله، دلالت بر وجود تنوع قابل ملاحظه در جمعیت مورد بررسی بود. از آن‌جا که این جامعه لاین‌های هاپلوئید مضاعف هستند، بنابراین تنوع موجود در این جمعیت غالباً ناشی از آثار افزایشی است. (Siahsar and Nguyen Viet (2013) و (2011) Aminfar et al., Narouei Long et al. تنوع مشابهی در این جمعیت برای صفات

جدول ۱- تجزیه واریانس ۷۲ لاین هاپلوئید مضاعف جو و والدین آن‌ها (استپتو و مورکس) برای ۱۰ صفت فیزیولوژیک در شرایط بدون تنش

میانگین مربعات											
تغییرات منابع	درجه آزادی	PI	F _v /F _m	کلروفیل	CMS	RWC	نیکل کل	روی کل	مس کل	منگنز کل	آهن کل
بلوک	1	0.05 ^{ns}	0.0000006 ^{ns}	0.08 ^{ns}	1.44 ^{ns}	5.14 ^{ns}	0.10 ^{ns}	272.36 ^{ns}	46.57*	219.61 ^{ns}	219.99 ^{ns}
لاین	73	0.44**	0.0003*	2.27**	177.83**	18.19*	3599.80**	79815.87**	1007.64**	76727.96**	26913.22**
خطا	73	0.04	0.0002	0.14	8.43	12.02	21.90	599.23	11.54	224.96	321.97
ضریب تغییرات		11.01	1.83	13.10	8.65	3.68	8.40	5.72	7.61	7.33	5.33
ضریب تبیین (%)		90.26	61.53	94.14	95.47	60.29	99.39	99.25	98.86	99.70	98.81

ns * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد. PI (شاخص کارایی فتوسنتز؛ Fv/Fm) حداکثر مقدار بهره وری از فتوسیستم II؛ CMS (ضریب پایداری غشاء؛ RWC) میزان رطوبت نسبی.

ادامه جدول ۱- تجزیه واریانس ۷۲ لاین هاپلوئید مضاعف جو و والدین آن‌ها (استپتو و مورکس) برای ۱۰ صفت فیزیولوژیک در شرایط تنش نیکل

میانگین مربعات											
تغییرات منابع	درجه آزادی	PI	F _v /F _m	کلروفیل	CMS	RWC	نیکل کل	روی کل	مس کل	منگنز کل	آهن کل
بلوک	1	0.000002 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.53 ^{ns}	4.61 ^{ns}	53.10 ^{ns}	120.23 ^{ns}	7.66 ^{ns}	135.27 ^{ns}	97.96 ^{ns}
لاین	73	0.03**	0.0009**	1.30**	587.80**	227.16**	123498.04**	82114.75**	57461.44**	124251.91**	61420.75**
خطا	73	0.003	0.0007	0.05	4.88	11.10	68.44	463.238	32.65	128.09	274.54
ضریب تغییرات		7.93	3.55	14.38	4.62	3.86	3.79	4.50	4.43	5.26	3.911
ضریب تبیین (%)		0.90	54.92	96.29	99.17	95.34	99.94	99.43	99.94	99.89	99.55

ns * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد. PI (شاخص کارایی فتوسنتز؛ Fv/Fm) حداکثر مقدار بهره وری از فتوسیستم II؛ CMS (ضریب پایداری غشاء؛ RWC) میزان رطوبت نسبی.

بررسی صفات فیزیولوژیک این جامعه در شرایط تنش خشکی گزارش کردند که اختلاف بین لاین های والدینی برای کلیه صفات مورد مطالعه به جز عملکرد دانه غیرمعنی دار بود. (Fakheri 2013) and Mehravaran در مطالعه صفات زراعی این جامعه در شرایط تنش خشکی گزارش کردند که اختلاف بین لاین های والدینی برای کلیه صفات مورد مطالعه غیرمعنی دار بود. این محققین بیان کردند که چون جامعه حاصل از تلاقی استپتو و مورکس به منظور اصلاح و جداسازی لاین های برتر برای استفاده معمول درست نشده، این مسئله قابل توجه است. اختلاف بین میانگین هاپلوئید های مضاعف و میانگین والدین در شرایط بدون تنش برای صفات PI، Fv/Fm، CMS، RWC و آهن کل غیرمعنی دار و برای سایر صفات، بسیار معنی دار ($p \leq 0.01$) بود.

در شرایط تنش نیکل اختلاف بین والدین برای صفات Fv/Fm، نیکل کل، روی کل و مس کل بسیار معنی دار ($p \leq 0.01$) و برای صفات منگنز کل و آهن کل معنی دار ($p \leq 0.05$) و برای سایر صفات غیرمعنی دار بود. از آنجا که جامعه حاصل از تلاقی استپتو و مورکس جو به منظور اصلاح و جداسازی لاین های برتر برای استفاده معمول درست نشده و هدف از تشکیل این جامعه نقشه-یابی QTL های کیفیت دانه بوده، بنابراین عدم اختلاف معنی دار بین والدین برای پاره ای از صفات فیزیولوژیک تحت تنش نیکل دور از انتظار نمی باشد، ولی از آنجا که اختلاف لاین ها برای کلیه صفات مورد بررسی معنی دار بود، بنابراین تنوع قابل ملاحظه ای در جمعیت مورد بررسی برای صفات مورد مطالعه وجود دارد و انجام تجزیه QTL منجر به شناسایی QTL های کنترل کننده صفات خواهد شد. (Fakheri and Mehravaran 2013)

جدول ۲- آماره های توصیفی، ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی، توارث پذیری و پیشرفت ژنتیکی ۱۰ صفت فیزیولوژیک در ۷۲ لاین هاپلوئید مضاعف جو و والدین آن ها (استپتو و مورکس) برای شرایط بدون تنش

آماره های ساده	PI	Fv/Fm	کلروفیل	CMS	RWC	نیکل کل	روی کل	مس کل	منگنز کل	آهن کل
<i>Stephoe (P1)</i>	2.24	0.82	2.56	28.60	94.35	35.77	857.24	33.97	993.12	348.76
<i>Morex (P2)</i>	1.03	0.79	3.48	29.90	93.92	358.00	764.20	31.62	348.62	371.03
<i>PI - P2</i>	1.21 ^{ns}	0.03 ^{ns}	-0.92 ^{ns}	-1.30 ^{ns}	0.43 ^{ns}	-322.23 ^{**}	93.05 ^{ns}	2.35 ^{ns}	644.49*	-22.27 ^{ns}
$\bar{X}P = (P1+P2) / 2$	1.64	0.81	3.02	29.25	94.13	196.88	810.72	32.80	670.87	359.90
<i>WDHs</i>	0.92	0.75	0.60	18.65	79.76	15.81	194.90	15.06	36.68	163.53
<i>BDHs</i>	3.14	0.83	6.74	54.30	99.73	138.48	994.42	106.84	962.13	791.60
<i>Range</i>	2.21	0.07	6.14	35.65	19.97	122.66	799.52	91.77	925.44	628.06
$\bar{X}DHs$	2.01	0.80	2.86	33.67	94.22	51.75	417.22	44.93	191.56	335.38
<i>SDDHs</i>	0.46	0.01	1.07	9.53	3.05	23.28	191.64	22.67	173.84	117.54
<i>C.VDHs</i>	23.15	1.63	37.63	28.31	3.24	44.99	45.93	50.45	90.77	35.04
$\bar{X}DHs - \bar{X}P$	0.38 ^{ns}	0.00 ^{ns}	-0.15 ^{**}	4.42 ^{ns}	0.09 ^{ns}	-145.13 ^{**}	-393.49 ^{**}	12.13 ^{**}	-479.32 ^{**}	-24.52 ^{ns}
$GN = WDH - Wp$	-0.11 ^{ns}	-0.04 ^{**}	-1.96 ^{**}	-9.95 ^{**}	-14.16 ^{**}	-19.96 ^{**}	-569.3 ^{**}	-16.56 ^{**}	-311.94 ^{**}	-185.23 ^{**}
$Gp = BDH - BP$	0.90 ^{**}	0.01 ^{ns}	3.26 ^{**}	24.40 ^{**}	5.08 ^{ns}	-219.52 ^{**}	137.18 ^{**}	72.87 ^{**}	-30.99 ^{**}	420.57 ^{**}
<i>GCV (%)</i>	22.38	1.00	35.99	27.43	1.86	75.97	46.52	50.04	95.63	34.31
<i>PCV (%)</i>	24.94	2.09	38.30	28.76	4.13	76.44	46.87	50.62	95.91	34.73
<i>GC5%</i>	0.83	0.01	2.00	18.12	1.64	86.81	407.90	45.56	402.69	235.28
<i>h2 (%)</i>	81.57	9.12	92.58	98.35	90.68	99.89	98.88	99.89	99.79	99.11

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد. (GGN) پیشرفت ژنتیکی در جهت منفی؛ (GGP) پیشرفت ژنتیکی در جهت مثبت؛ (BDHs) بهترین لاین هاپلوئید مضاعف؛ (WDHs) بدترین لاین هاپلوئید مضاعف؛ (Rang) دامنه تغییرات؛ (Bp) بهترین والد؛ (Wp) بدترین والد؛ (PCV) ضریب تنوع فنوتیپی؛ (GCV) ضریب تنوع ژنتیکی؛ (GC5%) بازده ژنتیکی برای پنج درصد گزینش؛ (h2) توارث پذیری خصوصی؛ (PI) شاخص کارایی فتوسنتز؛ (Fv/Fm) حداکثر مقدار بهره‌وری از فتوسنتز؛ (CMS) ضریب پایداری غشاء؛ (RWC) میزان رطوبت نسبی.

ادامه جدول ۲- آماره‌های توصیفی، ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی، توارث‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی ۱۰ صفت فیزیولوژیک در ۷۲ لاین هاپلوئید مضاعف جو و والدین آن-ها (استیتو و مورکس) برای شرایط تنش نیکل

آماره‌های ساده	PI	F _v /F _m	کلروفیل	CMS	RWC	نیکل کل	روی کل	مس کل	منگنز کل	آهن کل
Steptoe (P1)	0.79	0.77	1.13	39.30	94.92	63.68	807.62	263.63	869.07	486.57
Morex (P2)	0.95	0.80	1.85	37.35	95.44	587.18	1030.15	23.78	283.52	425.08
P1 - P2	-0.16 ^{ns}	-0.03 ^{**}	-0.72 ^{ns}	1.95 ^{ns}	-0.52 ^{ns}	-523.51 ^{**}	-222.53 ^{**}	239.84 ^{**}	585.55 [*]	61.49 [*]
$\bar{x}_P = (P1+P2) / 2$	0.87	0.78	1.49	38.33	95.18	325.43	918.89	143.71	576.29	455.83
WDHs	0.45	0.64	0.16	19.13	52.67	19.96	179.25	14.29	22.02	125.96
BDHs	0.95	0.80	3.71	97.60	98.21	846.76	1005.87	601.20	1094.45	1051.88
Range	0.49	0.16	3.55	78.47	45.54	826.79	826.61	586.91	1072.00	925.91
\bar{x}_{DHs}	0.72	0.77	1.56	48.02	85.87	215.07	465.82	128.42	205.06	422.67
SDDHs	0.12	0.02	0.81	17.30	10.69	247.43	190.36	170.67	240.17	177.53
C.VDHs	17.56	2.77	52.35	36.04	12.45	115.04	40.86	132.89	117.12	42.00
$\bar{x}_{DHs} - \bar{x}_P$	-0.14 [*]	-0.01 ^{ns}	0.07 ^{ns}	9.70 ^{**}	-9.31 ^{**}	-110.36 ^{**}	-453.06 ^{**}	-15.28 ^{**}	-371.23 ^{**}	-33.15 [*]
GN=WDH-Wp	-0.34 ^{**}	-0.13 ^{**}	-0.97 ^{**}	-18.22 ^{**}	-42.25 ^{**}	-43.72 ^{**}	-628.37 ^{**}	-9.49 ^{ns}	-261.5 ^{**}	-299.12 ^{**}
Gp=BDH-BP	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	1.86 ^{**}	58.3 ^{**}	2.77 ^{ns}	259.58 ^{**}	-24.28 ^{ns}	337.57 ^{**}	225.38 ^{**}	565.31 ^{**}
GCV(%)	16.69	1.13	50.84	35.75	12.07	113.93	42.26	131.53	115.82	41.28
PCV(%)	18.48	3.73	52.84	36.04	12.67	113.99	42.50	131.60	115.94	41.47
GC5%	0.23	0.01	1.58	34.96	20.44	512.71	414.89	349.72	513.91	359.46
h ² (%)	81.57	9.12	92.58	98.35	90.68	99.89	98.88	99.89	99.79	99.11

ns * ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد. (GGN) پیشرفت ژنتیکی در جهت منفی؛ (GGP) پیشرفت ژنتیکی در جهت مثبت؛ (BDHs) بهترین لاین هاپلوئید مضاعف؛ (WDHs) بدترین لاین هاپلوئید مضاعف؛ (Rang) دامنه تغییرات؛ (Bp) بهترین والد؛ (Wp) بدترین والد؛ (Pcv) ضریب تنوع فنوتیپی؛ (Gcv) ضریب تنوع ژنتیکی؛ (GC5%) بازده ژنتیکی برای پنج درصد گزینش؛ (h²) توارث‌پذیری خصوصی؛ (PI) شاخص کارایی فتوسنتز؛ (F_v/F_m) حداکثر مقدار بهره‌وری از فتوسیستم II؛ (CMS) ضریب پایداری غشاء؛ (RWC) میزان رطوبت نسبی.

نشان داد و این مقادیر برای کلیه صفات بسیار معنی‌دار (p < 0.01) نشان داد. به غیر از شاخص کارایی فتوسنتز که غیر معنی‌دار بود. در شرایط تنش بدترین لاین هاپلوئید مضاعف در مقایسه با بدترین والد، مقادیر کمتری را نشان داد و این مقادیر برای کلیه صفات بسیار معنی‌دار (p < 0.01) به غیر از مس کل که غیر معنی‌دار بود. در شرایط بدون تنش بهترین لاین هاپلوئید مضاعف در مقایسه با بهترین والد، مقادیر بالاتری را به جز نیکل کل و منگنز کل نشان داد و این مقادیر برای کلیه صفات بسیار معنی‌دار (p < 0.01) به غیر از صفات F_v/F_m و RWC که غیر معنی‌دار بود. در شرایط تنش بهترین لاین هاپلوئید مضاعف در مقایسه با بهترین والد، مقادیر بالاتری را به غیر از روی کل نشان داد و این مقادیر برای

اختلاف بین میانگین هاپلوئیدهای مضاعف و میانگین والدین در شرایط تنش نیکل برای صفات CMS، RWC، نیکل کل، روی کل، مس کل و منگنز کل بسیار معنی‌دار (p < 0.01) و برای صفت PI معنی‌دار (p < 0.05) و برای سایر صفات غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط بدون تنش و تنش نیکل میانگین والدین در دامنه تغییرات نتاج قرار گرفته بود و ژنوتیپ‌های برتر و بدتر از هر والد نشانگر طیف وسیعی از تنوع صفات مورد مطالعه در نتاج بود. این مسأله، دال بر وجود تفکیک متجاوز از والدین¹ در دو جهت مثبت و منفی بود. در شرایط بدون تنش بدترین لاین هاپلوئید مضاعف در مقایسه با بدترین والد، مقادیر کمتری را

¹ Transgressive segregation

تجزیه QTL های کنترل کننده صفات فیزیولوژیک جو....

Mehravaran در این جمعیت برای صفات فیزیولوژیک و (2013) Fakheri and Mehravaran برای صفات زراعی تحت تنش خشکی تفکیک متجاوز از والدین گزارش کردند. در شرایط بدون تنش بیشترین همبستگی بین صفت روی کل با منگنز کل ($r=0/70^{**}$) و همبستگی متوسط، مثبت و بسیار معنی داری بین صفات PI با Fv/Fm ($r=0/49^{**}$) و نیکل کل با روی کل ($r=0/41^{**}$) وجود داشت. همچنین همبستگی ضعیف، منفی و بسیار معنی داری بین شاخص کارایی فتوسنتز با نیکل کل ($r=-0/34^{**}$) و روی کل ($r=-0/38^{**}$) موجود می باشد (جدول ۳). در شرایط تنش نیکل بیشترین همبستگی بین منگنز کل با روی کل ($r=0/52^{**}$) وجود داشت.

کلیه صفات بسیار معنی دار ($p \leq 0/01$) به غیر از صفات PI، Fv/Fm، RWC و روی کل که غیر معنی دار بود (جدول ۲). بنابراین برای کلیه صفات تفکیک متجاوز از والدین در هر دو جهت مثبت و منفی وجود داشت. این پدیده نشان دهنده این است که، آلل های مثبت و منفی افزایش دهنده و کاهش دهنده زیادی بین دو لاین والدینی برای صفات مذکور پراکنده شده اند. به عبارتی، بین نتایج حاصل از تلاقی استپتو و مورکس برای صفات مورد بررسی تنوع وجود دارد. به همین دلیل تجزیه و تحلیل QTL منجر به شناسایی یک یا تعدادی QTL خواهد شد. Siahisar and Narouei (2010) و Aminfar et al. (2011) در این جمعیت برای صفات فیزیولوژیک جو تحت تنش شوری تفکیک متجاوز از والدین گزارش نموده اند. (Fakheri and 2014)

جدول ۳- همبستگی های ساده فنوتیپی ۱۰ صفت فیزیولوژیک در ۷۲ لاین هاپلوئید مضاعف جو و والدین آن ها (استپتو و مورکس) برای شرایط بدون تنش (پایین) و تنش نیکل (بالا)

صفات	PI	F _v /F _m	کلروفیل	CMS	RWC	نیکل کل	روی کل	مس کل	منگنز کل	آهن کل
PI	1	0.27556*	-0.02272 ^{ns}	-0.16701 ^{ns}	0.14942 ^{ns}	0.07541 ^{ns}	0.08731 ^{ns}	0.22391 ^{ns}	-0.14198 ^{ns}	0.15896 ^{ns}
F _v /F _m	0.49138**	1	0.16616 ^{ns}	-0.00089 ^{ns}	0.08365 ^{ns}	0.06442 ^{ns}	0.18984 ^{ns}	0.02758 ^{ns}	0.18276 ^{ns}	0.15528 ^{ns}
کلروفیل	0.17820 ^{ns}	0.24504*	1	-0.00089 ^{ns}	0.05626 ^{ns}	0.15862 ^{ns}	-0.15694 ^{ns}	-0.34694**	-0.13553 ^{ns}	-0.11159 ^{ns}
CMS	0.16337 ^{ns}	0.02547 ^{ns}	-0.05105 ^{ns}	1	-0.44425**	-0.14696 ^{ns}	0.05260 ^{ns}	-0.12743 ^{ns}	0.06564 ^{ns}	0.07114 ^{ns}
RWC	0.13906 ^{ns}	0.04574 ^{ns}	0.06802 ^{ns}	-0.01143 ^{ns}	1	0.00468 ^{ns}	0.23112*	0.19159 ^{ns}	0.16356 ^{ns}	0.08792 ^{ns}
نیکل کل	-0.34708**	-0.16707 ^{ns}	-0.01499 ^{ns}	-0.22184 ^{ns}	-0.04336 ^{ns}	1	0.22364 ^{ns}	-0.24212*	-0.20264 ^{ns}	-0.01462 ^{ns}
روی کل	-0.38130**	-0.08826 ^{ns}	0.06052 ^{ns}	-0.29620*	-0.17590 ^{ns}	0.41490**	1	-0.02707 ^{ns}	0.52641**	0.28236*
مس کل	-0.04867 ^{ns}	0.09246 ^{ns}	0.00691 ^{ns}	0.02026 ^{ns}	-0.16653 ^{ns}	-0.11009 ^{ns}	-0.17279 ^{ns}	1	0.03755 ^{ns}	0.21843 ^{ns}
منگنز کل	-0.24483*	0.05654 ^{ns}	-0.00020 ^{ns}	-0.17910 ^{ns}	-0.19908 ^{ns}	0.14232 ^{ns}	0.70555**	0.02614 ^{ns}	1	0.29366*
آهن کل	-0.06314 ^{ns}	-0.04104 ^{ns}	-0.03050 ^{ns}	-0.00255 ^{ns}	0.01091 ^{ns}	0.08845 ^{ns}	0.08180 ^{ns}	-0.24457*	0.03814 ^{ns}	1

ns * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد. PI شاخص کارایی فتوسنتز؛ F_v/F_m حداکثر مقدار بهره وری از فتوسنتز II؛ CMS ضریب پایداری غشاء؛ RWC میزان رطوبت نسبی.

جدول ۴- QTL های ۱۰ صفت فیزیولوژیک در ۷۲ لاین هاپلوئید مضاعف جو در شرایط بدون تنش

صفت	QTL	نام کروموزوم	نزدیک ترین نشانگر	موقعیت QTL	حدود اعتماد ۹۵٪ QTL	LOD	اثر آلی (افزایشی)	R ²	کل R ²
PI	QPI2H.1n	2H	CDO64	46.00	40.60-48.60	3.18	-0.16	12.69	45.19
	QPI2H.2n	2H	Pox	52.60	48.60-55.70	3.19	-0.16	12.53	45.03
	QPI3H.3n	3H	ABG703A	83.60	73.00-85.80	2.70	0.15	10.47	44.95
	QPI5H.4n	5H	ABG496	168.60	161.40-175.30	2.70	0.16	11.60	46.72
F _v /F _m	QFv/Fm1H.1n	1H	Act8	2.10	0.00-7.70	2.95	0.004	11.74	44.13
	QFv/Fm5H.2n	5H	cdo57b	95.20	82.20-97.90	3.04	-0.005	13.36	44.91
	QFv/Fm5H.3n	5H	BCD351e	101.70	97.90-103.80	3.16	-0.005	13.36	44.90
	QCh1H.1n	1H	His3B	100.00	94.5-109.70	3.64	-0.42	14.95	43.09
کلروفیل	QCh3H.2n	3H	ABG398	75.30	73.00-79.40	2.74	-0.37	10.92	43.09
	QCh3H.3n	3H	CDO113B	131.80	124.50-142.90	3.75	0.48	16.51	42.55
CMS	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RWC	QRWC6H.n	6H	ABG466	7.40	0.00-11.10	2.59	-1.10	12.02	33.55
نیکل کل	QNik5H.1n	5H	CDO504	145.30	138.60-148.80	2.54	-48.59	13.50	23.67
	QNik5H.2n	5H	iEst9	151.50	149.40-155.50	3.39	-55.13	17.52	27.69
روی کل	QZnk7H.1n	7H	Ubi1	119.70	110.90-125.80	3.75	82.48	17.56	39.47
	QZnk7H.2n	7H	PSR129	128.40	126.70-129.7	3.10	74.4	14.08	35.99
مس کل	QCuk1H.n	1H	ABG053	40.50	31.60-55.20	2.70	-8.78	13.79	35.59
منگنز کل	QMnk2H.1n	2H	ABG703b	7.00	2.30-15.00	2.78	57.56	10.09	48.35
	QMnk7H.2n	7H	ABC158	42.00	54.20-37.00	2.81	-64.13	12.56	38.91
	QMnk7H.3n	7H	ABC305	136.00	133.80-137.20	4.33	-295.44	54.82	75.63
آهن کل	QFek4H.n	4H	BCD265B	48.50	44.30-52.50	3.02	-43.94	13.64	37.17

(PI) شاخص کارایی فتوسنتز؛ (F_v/F_m) حداکثر مقدار بهره‌وری از فتوسنتز (CMS؛ II) ضریب پایداری غشاء؛ (RWC) میزان رطوبت نسبی.

همچنین همبستگی متوسط منفی و بسیار معنی داری بین میزان رطوبت نسبی برگ با ضریب پایداری غشاء ($r=-0.44^{**}$) و همبستگی ضعیف منفی و بسیار معنی داری بین مس کل و محتوای کلروفیل برگ ($r=-0.34^{**}$) موجود می‌باشد (جدول ۳). همبستگی بالای بین صفات ممکن است ناشی از هم مکان بودن QTL های کنترل کننده یا پیوستگی بین آنها باشد. علاوه بر این، ممکن است تنوع یک صفت، تنوع صفات دیگر (پلیوتروپی) را تشریح نماید (Siahsar et al. 2008). QTL ها، موقعیت آنها، نشانگرها، حدود اعتماد ۹۵٪، نمره LOD، اثر افزایشی و ضریب تبیین آنها در شرایط تنش نیکل و بدون تنش در جدول ۴ نشان داده شده است. برای صفات مورد بررسی در مجموع ۳۶ جایگاه واجد QTL (۲۰ و ۱۶ عدد QTL به ترتیب برای شرایط بدون تنش و تنش نیکل) بدست آمد. واریانس فنوتیپی توجیه شده به وسیله این QTL ها برای شرایط بدون تنش از ۱۰/۰۹ تا ۵۴/۸۲ به ترتیب برای صفت منگنز کل (*QMnk7H.3n* و *QMnk2H.1n*) و برای شرایط تنش نیکل از ۱۱/۴۵ تا ۲۵/۸۶ به ترتیب برای

حداکثر مقدار بهره‌وری از فتوسنتز (*QFv/Fm5H.2s*) و منگنز کل (*QMnk6H.s*) متغیر بود. نمره LOD در شرایط بدون تنش در دامنه ۲/۵۴ تا ۴/۳۳ به ترتیب برای QTL های نیکل کل (*QNik5H.1n*) و منگنز کل (*QMnk7H.3n*) و در شرایط تنش نیکل در دامنه ۲/۵۳ تا ۴/۵۵ به ترتیب برای QTL های حداکثر مقدار بهره‌وری از فتوسنتز II (*QFv/Fm5H.1s*), *QFv/Fm5H.2s* و روی کل (*QZnk6H.2s*) بدست آمد. اثر افزایشی QTL ها در شرایط بدون تنش در مجموع ۹ عدد QTL از طریق والد P2 و ۱۱ عدد QTL از طریق والد P1 و در شرایط تنش نیکل در مجموع ۷ عدد QTL از طریق والد P2 و ۹ عدد QTL از طریق والد P1 به نتایج انتقال یافت. پس در مجموع دو شرایط (P1: ۲۰ و P2: ۱۶) والد P1 (استپتو) نقش بیشتری داشته است. مقایسه نتایج این آزمایش با نتایج آزمایشات محققان دیگر مشکل بوده، چراکه نقشه‌های لینکاژی توسط جوامع متفاوتی درست شده و مقایسه آنها با همدیگر بسیار دشوار است (Ding et al. 2011). در این تحقیق تعداد QTL های نقشه‌یابی شده در

ادامه جدول ۴- QTL های ۱۰ صفت فیزیولوژیک در ۷۲ لاین هاپلوئید مضاعف جو در شرایط تنش نیکل

صفت	QTL	نام کروموزوم	نزدیکترین نشانگر	موقعیت QTL	حدود اعتماد ۹۵٪ QTL	LOD	اثر آلی (افزایشی)	R ²	کل R ²
PI	QP13H.1s	3H	ABG460	30.0	29.30-46.00	3.31	0.05	14.30	39.53
	QP17H.2s	7H	ABG380	33.50	31.20-38.60	3.86	0.07	17.06	39.53
F _v /F _m	QFv/Fm5H.1s	5H	ABG316B	36.40	9.30-36.60	2.53	0.01	12.67	31.10
	QFv/Fm5H.2s	5H	WG541	57.50	56.80-60.00	2.53	-0.01	11.45	34.88
کلروفیل	QCh1H.1s	1H	ABG702	132.60	131.80-135.60	3.67	-0.31	18.82	34.27
	QCh1H.2s	1H	ABC261	137.90	135.60-142.40	3.62	-0.30	17.51	32.96
CMS	QCMS3H.s	3H	ABG315	108.40	105.0-120.50	2.80	-6.14	13.96	29.30
RWC	-	-	-	-	-	-	-	-	-
نیکل کل	QNik5H.1s	5H	CDO504	145.30	138.60-148.80	2.57	-96.44	13.67	23.60
	QNik5H.2s	5H	iEst9	151.50	149.50-155.70	3.34	-108.27	17.37	27.30
روی کل	QZnk6H.1s	6H	PSR106	32.20	29.60-43.20	3.09	-94.06	12.85	41.41
	QZnk6H.2s	6H	ABG474	60.40	57.30-60.90	4.55	112.79	19.95	41.15
مس کل	QCuk3H.s	3H	ABG396	73.00	62.60-74.90	2.60	95.03	12.99	28.52
منگنز کل	QMnk6H.s	6H	ABG387b	44.20	39.20-47.30	4.46	-224.36	25.86	45.72
آهن کل	QFek4H.1s	4H	BCD265B	49.50	43.20-55.10	3.57	-48.67	16.08	39.64
	QFek6H.2s	6H	ABG379	67.30	65.20-73.30	2.77	55.59	11.76	39.47
	QFek6H.3s	6H	ABC170B	74.60	73.30-75.60	2.74	47.91	11.66	39.37

PI (شاخص کارایی فتوسنتز؛ F_v/F_m) حداکثر مقدار بهره‌وری از فتوسنتز (CMS؛ II) ضریب پایداری غشاء؛ RWC) میزان رطوبت نسبی.

شرایط بدون تنش بیشتر از شرایط تنش نیکل بود (۲۰ در مقابل ۱۶).

رتبیب در شرایط بدون تنش و تنش نیکل) واقع شده بودند. کروموزوم 4H دارای کمترین تعداد QTL بود که این نتیجه در توافق با یافته‌های Nguyen Viet Long et al. (2013) بود. Siahisar and Narouei (2010) در بررسی این جامعه در محیط هیدروپونیک برای صفت محتوای کلروفیل برگ در سطوح متفاوت تنش شوری هفت جایگاه واجد QTL روی کروموزوم-های 1H، 1H، 2H، 2H، 5H، 7H و 7H به ترتیب در موقعیت-های ۶۲/۳، ۷۲/۴، ۵۶/۰، ۱۶۷/۱، ۱۶۶/۶، ۶/۰ و ۱۲۰/۸ سانتی-مورگان و برای میانگین سطوح متفاوت تنش شوری شش جایگاه واجد QTL روی کروموزوم‌های 1H، 2H، 2H، 5H، 5H و 7H در مکان‌های ۷۲/۴، ۵۶/۰، ۱۶۷/۱، ۱۵۳/۵، ۱۶۶/۶ و ۱۲۰/۸ سانتی‌مورگان نقشه‌یابی کردند. Aminfar et al. (2011) در بررسی این جامعه در شرایط متفاوت تنش شوری در محیط هیدروپونیک برای این صفت ۵ جایگاه واجد QTL بر روی کروموزوم‌های 1H، 2H، 5H، 7H و 7H نقشه‌یابی کردند که در مجموع ۶۷/۲۴ درصد از تغییرات این صفت را توجیه می‌کردند.

QTL های نقشه‌یابی شده متفاوتی در هر هفت کروموزوم جو پراکنده شده بودند، ولی بیش از ۲۵ درصد از آن‌ها روی کروموزوم 5H قرار داشتند (۵ و ۴ جایگاه از مجموع ۳۶ جایگاه واجد QTL به ترتیب در شرایط بدون تنش و تنش نیکل). بنابراین به نظر می‌رسد که این کروموزوم نقش تعیین کننده‌ای در کنترل صفات فیزیولوژیک مرتبط با تنش نیکل داشته باشد. پنج مکان واجد QTL روی ژنوم 1H (سه و دو جایگاه واجد QTL به ترتیب در شرایط بدون تنش و تنش نیکل)، سه جایگاه واجد QTL روی ژنوم 2H (سه جایگاه واجد QTL در شرایط بدون تنش)، شش مکان واجد QTL روی ژنوم 3H (سه و سه جایگاه واجد QTL به ترتیب در شرایط بدون تنش و تنش نیکل)، دو مکان واجد QTL روی ژنوم 4H (یک و یک جایگاه واجد QTL به ترتیب در شرایط بدون تنش و تنش نیکل)، شش مکان واجد QTL روی ژنوم 6H (یک و پنج جایگاه واجد QTL به ترتیب در شرایط بدون تنش و تنش نیکل) و پنج مکان واجد QTL روی ژنوم 7H (چهار و یک جایگاه واجد QTL به-

کننده آهن کل، QTL های $Q\text{Nik}5H.1s$ و $Q\text{Nik}5H.1n$ به ترتیب در شرایط بدون تنش و تنش نیکل موقعیت $145/30$ سانتی مورگان کروموزوم 5H کنترل کننده نیکل کل و QTL های $Q\text{Nik}5H.2s$ و $Q\text{Nik}5H.2n$ به ترتیب در شرایط بدون تنش و تنش نیکل موقعیت $151/50$ سانتی مورگان کروموزوم 5H کنترل کننده نیکل کل پایدار بودند. (Fakheri and Mehravaran 2014) در بررسی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی جو در شرایط نرمال و تنش خشکی نشان دادند که اکثر QTL های نقشه یابی شده در هر دو محیط مورد بررسی تظاهر یافته و از پایداری لازم برخوردار بودند. این محققین بیان داشتند که QTL های پایدار می توانند در برنامه گزینش به کمک نشانگر مورد استفاده قرار گیرند.

در دو شرایط مورد مطالعه، اکثر QTL های نقشه یابی شده از پایداری لازم برخوردار نبودند. به عبارت دیگر برای یک صفت در دو شرایط مورد بررسی، QTL های متنوعی به دست آمد. یا اینکه، محل قرارگیری آن ها کمی تفاوت داشت و یا اثرات آلی آن ها متفاوت بود. در تجزیه QTL ممکن است محل قرارگیری یک QTL در جایگاه خاصی تعیین شود، در حالی که محل قرارگیری واقعی آن تا چندین سانتی مورگان از آن فاصله داشته باشد (Kearsey and Farquhar 1998). یکی از دلایلی که باعث می شود تا یک QTL در نواحی مختلف ژنوم واقع شود، وقوع وقایع درون و بیرون کروموزومی از جمله وارونگی و جابه جایی کروموزومی است (Hayes et al. 1993). البته باید دقت داشت که این موضوع زمانی اهمیت می یابد که دو جامعه مورد نظر فاصله بیشتری از هم داشته باشند. دلیل دیگر می تواند اثر محیط باشد (Fakheri and Khalegh Babaki Hayes et al. 1993; 2014). جوامع اصلاحی وقتی در محیط های متنوع آزمایش می شوند، معمولاً اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط نشان می دهند. در این حالت حداقل پاره ای از ژن ها QTL هایی را بروز می دهند که اثر متقابل $QTL \times E$ نشان می دهند (Mahdinejad et al. 2014; Fakheri and Khalegh Fakheri and Mehravaran 2014; Hayes et al. 1993; Babaki 2014). اثر متقابل $QTL \times E$ به صورت تغییر در تعداد QTL ها در محیط های متفاوت و یا تغییر در اندازه اثر آن ها در محیط های متفاوت بروز می یابد (Hayes et

al. 1993)، لذا در تجزیه QTL تکرار آزمایش در چند محیط می تواند از اهمیت خاصی برخوردار باشد. چرا که، بعضی از QTL ها محیط اختصاصی هستند و در صورت عدم تکرار در محیط های مختلف شناسایی نخواهند شد. گرچه جامعه گیاهی، نرم افزار، تابع نقشه کشی و تعداد و نوع نشانگرهای مورد استفاده نیز عواملی هستند که ممکن است نتایج بدست آمده یکسان نباشند (Kearsey and Farquhar Siahsar and Narouei 2010). عوامل محیطی از جمله تنش نیکل اندازه های کمی صفات را تحت تأثیر قرار می دهند. به عبارت دیگر میزان تنوع ممکن است در درجات متفاوت تنش نیکل متنوع باشد و موجب ناپایداری QTL ها گردند. علاوه بر این مقادیر متفاوت خطا در آزمایشات متفاوت نیز ممکن است موجب ناپایداری QTL گردد. لذا برای اینکه بتوان از QTL ها در جهت بهبود ارقام زراعی استفاده نمود، نیاز به مطالعات زیادی در سال ها، مکان ها، زمینه های ژنتیکی متفاوت و همچنین جمعیت های مختلف می باشد.

نتیجه گیری

این تحقیق از محدود گزارشات تجزیه QTL مرتبط با صفات فیزیولوژیک و جذب عناصر سنگین در جمعیت هاپلوئیدهای مضاعف حاصل از تلاقی استپتو و مورکس در شرایط هیدروپونیک تحت تنش نیکل می باشد. در این مطالعه در مجموع ۳۶ جایگاه واجد QTL برای صفات فیزیولوژیک و جذب عناصر سنگین مورد بررسی و شناسایی قرار گرفت که تعداد، نوع و اثر سه جایگاه $48/50$ تا $49/50$ سانتی مورگان کروموزوم 4H کنترل کننده آهن کل و جایگاه های $145/30$ و $151/50$ سانتی مورگان کروموزوم 5H کنترل کننده نیکل کل در محیط های متفاوت پایدار بود. بنابراین در صورت تأیید نتایج مشابه از آن ها می توان در گزینش به کمک نشانگر استفاده نمود. گزینش به کمک نشانگر برای این صفات ممکن است موجب افزایش مقاومت گیاه برای حفظ رشد آن در خاک های در معرض تنش نیکل در مراحل بحرانی رشد گردد.

منابع

- bdel Latif EA, Rabie H, Abo-shelbeya MAM, Nofal MA (1988) The effect of nickel on plants.1. Effect of seed soaking in Ni- sulphate solutions on growth and chemical composition of Sorghum. Journal of Agricultural Research and Development 10:33-46.
- Al-khabit K, Paulsen GM (1990) Photosynthesis and productivity during temperature stress of wheat genotypes from major world regions. Journal of Crop Science 30:1127-1132.
- Aminfar Z, Dadmehr M, Korouzhdehi B, Siahfar BA, Heidari M (2011) Determination of chromosomes that control physiological traits associated with salt tolerance in barley at the seedling stage. African Journal of Biotechnology 10:8794-8799.
- Ayoub M, Armstrong E, Bridger G, Fortin MG, Mather DE (2003) Marker-based selection in barley for a QTL region affecting alpha amylase activity of malt. Crop Science 43:556-561.
- Azmat R, Haider S, Askari S (2006) Phytotoxicity of Pb I: Effect of Pb on germination, growth, morphology and histomorphology of *Phaseolus mungo* and *Lens culinaris*. Pakistan Journal of Biological Sciences 9:979-984.
- Azmat R, Haider S, Riaz M (2009) An inverse relation between Pb^{+2} and Ca^{+2} ions accumulation in *Phaseolus mungo* and *Lens culinaris* under Pb stress. Pakistan Journal of Botany 41:2289-2295.
- Bajji M, Lutts S, Kinet J (2001) Water deficient effect on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three wheat cultivars performing differently in arid conditions. Plant Science 160:669-681.
- Balint AF, Roder MS, Hell R, Galiba G, Borner A (2007) Mapping of QTLs affecting copper tolerance and the Cu, Fe, Mn and Zn contents in the shoots of wheat seedlings. Biologia Plantarum 51:129-134.
- Baum M, Grando S, Bakes G, Jahoor A, Ceccarelli S (2003) QTLs for agronomic traits in the Mediterranean environments identified in recombinant inbred lines of the cross *Arta* × *H. spontaneum*. Theoretical and Applied Genetics 107:1215-1225.
- Baycu G, Doganay T, Hakan O, Sureyya G (2006) Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. Environmental Pollution 143:545-554.
- Blum A, Ebercon A (1980) Cell membrane stability as measure of drought and heat tolerance in wheat. Crop Science 21: 43-47.
- Broman KW, Speed TP (1999) A review of methods for identifying QTLs in experimental crosses. Statistical Molecular Biology Genetics, IMS Lecture. Notes Monograph Series. 33:42-114.
- Chaudhry F, Loneragan J (2000) Effects of N, copper and zinc fertilisers on the copper and zinc nutrition of wheat plants. Australian Journal of Agricultural Research 21:865-879.
- Chen F, Hayes PM (1989) A comparison of *Hordeum bulbosum*-mediated haploid production efficiency in barley using in vitro floret and tiller culture. Theoretical and Applied Genetics 77:701-704.
- Dadashi MR, Majidi Hervean I, Soltani A, Noorinia AA (2007) Evaluation of Different Genotypes of Barley to Salinity Stress. Journal of Agricultural Science 13:181-191. (In Farsi).
- Dong Y, Ogawa T, Lin D, Koh HJ, Kamiunten H, Matsuo M, Cheng S (2006) Molecular mapping of quantitative trait loci for zinc toxicity tolerance in rice seedling (*Oryza sativa* L.). Field Crops Research 95:420-425.
- Fakheri BA, khalegh Babaki A (2014) Mapping genomic regions controlling physiological and morphological traits associated with seedling stage of bread wheat under normal and osmotic stress conditions. Iranian Crop Science 45:119-133. (In Farsi).
- Fakheri BA, Mehravaran L (2013) Locating QTLs Controlling Agronomic Traits of "Steptoe × Morex" Derived Double Haploid Population of Barley under Drought Stress Conditions. Iranian Journal of Field Crop Science 44:47-57. (In Farsi).
- Fakheri BA, Mehravaran L (2014) QTLs mapping of physiological and biochemical traits of barley under drought stress condition. Iranian Journal of Crop Sciences 15:367-386. (In Farsi).
- Graham A, Mcdonald Gk (2000) Effects of zinc on hotsynthesis and yield of wheat under heat stress. Australian Agronomy Conference pp. 27-33.
- Haider H, Kanwal S, Uddin F, Azmat R (2006) Phytotoxicity of Pb. II: Changes in chlorophyll absorption spectrum due to toxic metal Pb stress on *Phaseolus mungo* and *Lens culinaris*. Pakistan Journal of Biological Sciences 9:2062-2068.
- Han F, Romagosa I, Ullrich SE, Jones BL, Hayes PM, Wesenberg D (1997) Molecular marker-assisted selection for malting quality traits in barley. Molecular Breeding 3:427-437.
- Hayes PM (1992) Economic trait loci (Quantitative Trait Loci = QTL) analysis progress report. North American Barley Genome Mapping Project (NABGMP). Barley Genetics Newsletter 21:30-31.
- Hayes PM, Liu BH, Knapp SJ, Chen F, Jones B, Blake T, Franckowiak J, Rasmussen D, Sorrells M, Ullrich SE, Wesenberg D, Kleinhofs A (1993) Quantitative trait locus effects and environmental interaction in a sample of North American barley germplasm. Theoretical and Applied Genetics 87:392-401.
- Husain S, Munns R, Condon AG (2003) Effect of sodium exclusion trait on chlorophyll retention and growth of durum wheat in salion soil. Australian Journal of Agricultural Research 54:589-597.
- Jiang Y, Huang B (2001) Effects of drought or heat stress alone and in combination on Kentucky bluegrass. Crop Science 40:1358-1363.
- Johnson HW, Robinson HFR, Comestock RE (1955) Genotype and phenotypic correlation in soybeans and their implication in selection. Agronomy Journal 47:477-483.

- Jones JB, Wolf B, Mills HA (1991) Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide. Micro-Macro Pub. Inc., Athens, GA, pp. 23-37.
- Kearsey MJ, Farquhar AGL (1998) QTL analysis in plants: where are we now? *Heredity* 80:137-142.
- Kim SC, Rieseberg LH (1999) Genetic architecture of species differences in annual sunflowers implication for adaptive trait introgression. *Genetics* 153:965-977.
- Kleinhofs A, Graner A (2001) An integrated map of the barley genome. p: 187-199. In: Philips, R.L. and I.K. Vasil (eds.). *DNA-Based Markers in Plants*. 2nd ed. Kluwer Academic Publications.
- Kleinhofs A, Kilian A, Saghai Maroof MA, Biyashev RM, Hayes P, Chen FQ, Lspitan N, Fenwick A, Blake TK, Kanazin V, Ananiev E, Dahleen L, Kurdna D, Bollinger J, Knapp SJ, Liu B, Sorrells M, Heun M, Franckowiak JD, Hoffman D, Skadsen R, Steffenson BJ (1993) A molecular, isozymes, and morphological map of the barley (*Hordeum vulgare* L.) genome. *Theoretical and Applied Genetics* 86:705-712.
- Koyama ML, Levesley A, Koebner RMD, Flower TJ, Yeo AR (2001) Quantitative trait loci for component physiological traits determining salt tolerance in rice. *Plant Physiology* 125:406-422.
- Liang GH, Walter TL (1968) Heritability estimates and gene effects for agronomic trials in grain sorghum. *Crop Science* 8: 77-80.
- Mahdinejad N, Omidi M, Jalalkamali MR, Naghavi MR, Fakheri BA (2014) QTL analysis of some phenological and morphological traits in Babax and Seri M82 recombinant inbred line population of wheat during salinity stress *Modern Genetics Journal* 9:207- 218. (In Farsi).
- Matin MA, Brown JH, Ferguson H (1989) Leaf water potential, relative water content and diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in barley. *Agronomy Journal* 81:100-105.
- Mohammadi M, Talei A, Zeinali H, Naghavi MR, Baum M (2008) Mapping some QTLs controlling drought tolerance in a doubled haploid population of barley. *Seedling and Seed* 24:1-15. (In Farsi).
- Molas J (2002) Changes of chloroplast ultra structure and total chlorophyll concentration in cabbage leaves caused by excess of organic Ni (II) complexes. *Environmental Experimental Botany*, 47: 115-126.
- Molas J, Baran S (2004) Relationship between the chemical form of nickel applied to the soil and its uptake and toxicity to barley plants. *Geoderma* 122: 247-255.
- Monni S, Uhlig C, Junttila O, Hansen E, Hynynen J (2001) Chemical composition and ecophysiological responses of *Empetrum nigrum* to above ground element application. *Environmental Pollution* 112:417-426.
- Nguyen Viet Long, Simon A, Ribot, Oene Dolstra, Riens E, Niks, Richard GF, Visser C, Gerard van der Linden (2013) Identification of quantitative trait loci for ion homeostasis and salt tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Molecular Breeding* 31:137-152.
- Pallotta MA, Graham RD, Langridge P, Sparrow DHB, Barker SJ (2000) RFLP mapping of manganese efficiency in barley. *Theoretical and Applied Genetics* 101:1100-1108.
- Panse VG (1957) Genetics of quantitative characters in relation to plant breeding. *Indian Journal of Genetics* 17:317-328.
- Peralta-Videa JR, Gardea-Torresdey JL, Gomez E, Tiemann KJ, Parsons JG, Carrillo G (2002) Effect of mixed cadmium copper, nickel and zinc at different pHs upon alfalfa growth and heavy metal uptake. *Environmental Pollution* 119:291-301.
- Pessaraki M (1999) Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker Inc.
- Pinto A, Mota M, Varennes A (2005) Influence of organic matter on the uptake of zinc, copper and iron by Sorghum plants. *Science of the Total Environment* 326:239-247.
- Shinozaki K, Yaamaguch-Shinozaki K (1997) Gen expression and signal transduction in water-stress response. *Journal of plant physiology* 115: 327-343.
- Siahsar BA, Narouei M (2010) Mapping QTLs physiological traits associated with salt tolerance in Steptoe×Morex doubled haploid lines of barley at seedling stage. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 8(2):751-759.
- Siahsar BA, Taleii AR, Peighambari SA, Naghavi MR (2008) Mapping QTL of forage quality-related traits of barley. *Iranian Journal of Field Crop Science* 40:35-45 (in Farsi).
- Siddique MRB, Hamid A, Islam MS (1999) Drought stress effects on photosynthetic rate and leaf gas exchange of wheat. *Botanical Bulletin- Academia Sinica* 40:141-145.
- Smialowicz RJ, Rogers RR, Riddle MM, Scott GA (1984) Immunologic effects of nickel: I. Suppression of cellular and humoral immunity. *Environmental Research* 33:413-427.
- Tabande L, Bakhshi MR, Karimian NA (2013) Evaluation of the relationships between Cu chemical forms and Cu uptake by Soybean in several calcareous soils in Fars Province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 3:183-198. (In Farsi).
- Yadav RS, Bidinger FR, Hash CT, Yadav YP, Yadav OP, Bhatnagar SK, Howarth CJ (2003) Mapping and characterization of QTL×E interactions for traits determining grain and stover yield in pearl millet. *Theoretical and Applied Genetics* 106: 512-520.
- Zeller S, Feller U (1999) Long-distance transport of cobalt and nickel in maturing wheat. *European Journal of Agronomy* 10:91-98.
- Ziaieian A, Malakoti MJ (1998) Effect of micronutrient application and application time on increasing yield. *Soil and Water* 2:56-62. (In Farsi).