

## ارزیابی و گزینش ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) دابل‌هاپلوئید بر اساس صفات ریشه‌ای در مرحله گیاهچه‌ای تحت شرایط نرمال و تنش شوری

نسبیه عبداله‌زاده<sup>۱</sup>، رضا فتوت<sup>۲</sup>، فرید شکاری<sup>۲</sup>، سید محمد علوی سینی<sup>۳\*</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه کشاورزی دانشگاه زنجان.

۲. اعضای هیأت علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه کشاورزی دانشگاه زنجان.

۳. عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی جیرفت و کهنوج.

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۴

### چکیده

درک نحوه رشد و توسعه اندام‌های مختلف گیاه، به‌ویژه ریشه، در مدیریت بهینه تولید گیاهان شورزیست از اهمیت زیادی برخوردار است. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر شوری کلرید سدیم بر روی صفات ریشه گیاهچه‌های جو دابل‌هاپلوئید با دو سطح شوری صفر (شاهد) و ۱۵۰ میلی‌مولار انجام گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در پاییز ۱۳۹۱ در دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. صفاتی از قبیل سطح ریشه، زاویه ریشه، طول تجمعی ریشه، طول بلندترین ریشه و قطر ریشه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که بین لاین‌ها و اثر متقابل لاین × شوری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. به‌طور کلی شوری باعث کاهش معنی‌دار سطح ریشه، طول تجمعی و طول بلندترین ریشه شد. در چهار لاین طول بلندترین ریشه تحت تنش شوری کاهش نیافت. در مورد طول تجمعی ریشه نیز سه لاین تحت تنش شوری روند کاهشی نشان ندادند. در تمام لاین‌ها به‌غیر از شش لاین، زاویه ریشه در شرایط فاقد تنش بیشتر از زاویه ریشه در شرایط تنش بود. مساحت ریشه نیز در شرایط تنش دارای روند نزولی نسبت به شرایط نرمال بود که پنج لاین از این قانون تبعیت نکردند. روند تأثیر تنش شوری در بین لاین‌ها بر روی صفت قطر ریشه یکسان نبود. با استفاده از تجزیه کلاستر، لاین‌های دابل‌هاپلوئید جو بر اساس صفات مورد مطالعه در هر دو محیط نرمال و تنش شوری به دو گروه تقسیم شدند و ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۲۹ و ۶۲ به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط گزینش گردیدند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه کلاستر، سطح ریشه، کلرید سدیم، قطر ریشه.

### مقدمه

دارد. تنش شوری برای رشد گیاه یک عامل محدودکننده است؛ زیرا سبب اختلالات تغذیه‌ای از طریق کاهش جذب فسفر، پتاسیم، نیترات و کلسیم، افزایش غلظت یونی درون سلول و فشار اسمزی می‌گردد (Rewald et al., 2012). ریشه گیاهان برای طیف گسترده‌ای از فرآیندها، از جمله جذب مواد مغذی و آب، پشتیبانی مکانیکی، توابع ذخیره-سازی به‌عنوان رابط اصلی بین گیاه و عوامل مختلف زنده و غیرزنده در محیط خاک مهم است. گزارش شده است که ریشه‌ها در مواجهه با تنش‌های مختلف محیطی، از جمله

رشد و عملکرد جو در بسیاری از نقاط دنیا به‌شدت تحت تأثیر شوری است که نتیجه آن خسارت‌های شدید اقتصادی برای تولیدکنندگان است (Chen et al., 2008). جو یکی از مهم‌ترین گونه‌های مقاوم به شوری در میان گیاهان گلائیکوفیت است. تحمل بالای جو به شوری در مقایسه با سایر غلات تا حدی ممکن است به خاطر رشد و توسعه سریع فنولوژیکی آن باشد که منجر به رسیدن زودهنگام آن می‌شود (Perrin et al., 2005). با این حال تنش شوری در جو نیز مثل سایر گیاهان اثرهای زیان‌باری بر عملکرد گیاه

قطر ریشه در شرایط شوری در گونه‌های مختلف گیاهی متفاوت است. جذب مواد غذایی به‌شدت از سوی قطر ریشه تحت تأثیر قرار می‌گیرد، سرعت جذب ریشه‌های ضخیم‌تر کمتر است (Eshel and Beeckman, 2013). برخی مطالعات نشان داده است که قطر ریشه در پنبه و جو افزایش پیدا می‌کند (Tester and Davenport, 2003). گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره برای به‌نژادگران می‌تواند دارای ارزش کاربردی باشد، از این نظر که ممکن است ژنوتیپ‌ها بسته به هدف به‌نژادی از کلاسترهای مختلف انتخاب شود و همچنین برای تعریف استراتژی‌ها در جهت جمع‌آوری ژرم‌پلاسم کمک می‌کند (Alavi Siney et al., 2013).

هدف از این پژوهش بررسی اثر شوری کلرید سدیم بر روی خصوصیات ریشه گیاهچه جو، گروه‌بندی و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها و گزینش برترین ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مورد مطالعه بود.

#### مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی اثرات تنش شوری بر روی صفات ریشه در مرحله گیاهچه‌ای بر روی لاین‌های دابل هاپلوئید جو در پاییز ۱۳۹۱ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام گردید. ۵۰ لاین دابل هاپلوئید جو در دو سطح شوری صفر (شاهد) و ۱۵۰ میلی مولار به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار مورد مطالعه قرار گرفتند. بذور ابتدا با کربوکسی‌تیرام ضدعفونی و پس از جوانه‌زنی در داخل پتری‌دیش به‌گلدان‌هایی با قطر ۱۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر منتقل شدند. جهت بستر مناسب و سهولت اندازه‌گیری از پرلیت دانه‌درشت استفاده شد. آبیاری گلدان‌های شاهد با آب مقطر و گلدان‌های تنش با آب شور (۱۵۰ میلی مولار) در هر روز انجام شد.

تصویر گیاهچه‌ها توسط اسکنر کانن (مدل LiDE 600F) با وضوح dpi ۴۸۰۰×۹۶۰۰ از فردای کاشت به مدت ۱۴ روز هر یک روز در میان انجام گرفت. آنالیز عکس‌های گرفته‌شده توسط اسکنر با نرم‌افزار GSA Image Analyser انجام شد و طول تجمعی و طول تک‌ریشه و سطح برحسب سانتی‌متر محاسبه شد. همچنین زاویه ریشه توسط نرم‌افزار Image J بررسی گردید. برای بررسی قطر ریشه، ریشه‌ها از یک سانتی‌متری انتهای ریشه جدا و در

تنش‌های خشکی و شوری، نقش مهمی در بقا و عملکرد گیاهان زراعی ایفا می‌کنند (Kafi et al., 2009; Rewald et al., 2012). پژوهش پیرامون ریشه، در مقایسه با سایر اندام‌های گیاهی، تا حدودی به دلیل مشکلات متعددی که بر سر راه مطالعه ریشه وجود دارد، محدود بوده است. ریشه در حالت عادی قابل مشاهده نبوده و این امر سبب شده است تا با وجود نقش حیاتی ریشه در بسیاری از موارد مورد توجه قرار نگیرد (Ashrafi, 2007). باین‌حال پیشبرد رشد گیاه از طریق ایجاد تغییر در محیط ریشه ساده‌تر از تغییر در محیط شاخ و برگ است. شرایط مختلف آب‌وهوا و مواد معدنی ریزوسفر (محیط ریشه) به‌وسیله عملیات زراعی با سهولت بیشتری قابل تغییر می‌باشند. درحالی‌که تغییر محیط شاخه و برگ (اتم‌سفر) مشکل و گاهی غیرممکن است. سطح ریشه به‌ندرت در مطالعات اکولوژیک مورد بررسی قرار می‌گیرد، هرچند به نظر می‌رسد این ویژگی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ریشه است که در مطالعات جذب آب و مواد غذایی ریشه می‌توان به آن پرداخت (Föhse et al., 1991). زاویه رشد محورهای ریشه یکی از مهم‌ترین صفات ریشه است که به‌طور تنگاتنگی با کارایی جذب آب و مواد غذایی در بسیاری از گونه‌های گیاهی مرتبط است. مشخص شده است که پراکنش افقی، سیستم ریشه‌ای سبب تحمل به تنش‌های محیطی در گیاهان می‌شود (Gregory et al., 2009). گونه‌های مختلف با زاویه کم ریشه تمایل به تولید ریشه بیشتر در لایه‌های عمیق‌تر دارند (Munns, 2002). زاویه رشد بذرها بر اساس گرانش زمین و ژنوتیپ نیز شکل می‌پذیرد که فعالیت‌های ریشه از قبیل جذب آب و مواد مغذی زاویه و پراکنش ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Platten, 2006, Blancaflor and Masson, 2003). طول ریشه را می‌توان از مهم‌ترین ویژگی‌های ریشه دانست زیرا بسیاری پژوهشگران معتقدند طول ریشه در واحد حجم خاک بهترین ویژگی برای محاسبه جذب آب توسط گیاه است (White and Kirkegaard, 2010). نظر به اتمام رشد ریشه در زمان گلدهی برخی از محققین عقیده دارند با گزینش برای طول دوره رویشی می‌توان به رشد بیشتر سیستم ریشه‌ای کمک کرد. باین‌حال به علت احتمال قرار گرفتن گیاه در معرض تنش‌های انتهایی فصل استفاده از تنوع موجود در طول ریشه و نیز گسترش ریشه جایگزین مناسبی محسوب می‌شود (Wiersum, 1957) در شرایط تنش شوری قطر ریشه کاهش پیدا می‌کند. میزان کاهش

(شکل ۱) و با نرم‌افزار z image قطر ریشه‌ها برحسب میکرومتر اندازه‌گیری شد. تجزیه داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ صورت گرفت.

محلول فیکساتور (اتانول، اسید استیک، فرمالدهید) نگهداری شد. از ریشه‌ها توسط میکروسکوپ (مدل Leica Galen III) و دوربین دیجیتال متصل به آن عکس‌برداری انجام



شکل ۱. نمونه‌ای از عکس اسکن شده.

Fig. 1. An example of scanned image.

بنابراین ریشه لاین‌هایی از قبیل ۲، ۲۹ و ۹۱ که دارای بیشترین سطح در شرایط تنش می‌باشند از طریق افزایش سطح جذب، در افزایش کارایی آب و مواد غذایی مهم هستند (Manschadi et al., 2008). با توجه به جدول‌های ۲ و ۳ صفت سطح ریشه در همه لاین‌ها در شرایط فاقد تنش بیشتر از شرایط تنش است اما ۵ لاین از این نتایج تبعیت نکردند به طوری که لاین‌های ۹۱، ۷۹، ۱۹، ۴ و ۳ در شرایط تنش دارای سطح بیشتری نسبت به شرایط فاقد تنش بودند.

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در شرایط شوری، تأثیر ژنوتیپ بر صفات مربوط به ریشه از جمله سطح ریشه، طول تجمعی ریشه، طول تک‌ریشه، قطر و زاویه ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). بر این اساس تفاوت بین صفات مربوط به ریشه در بین لاین‌ها مشاهده شد.

سطح ریشه می‌تواند نشان‌دهنده سطح تماس گیاه با خاک باشد و احتمال دسترسی به آب بیشتر را مهیا سازد

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات موردبررسی ریشه در لاین‌های جو تحت تنش شوری.

Table 1. Analysis of variance of root traits in barley lines under salt stress.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات				
		طول بلندترین ریشه Length of the longest root	طول تجمعی ریشه Cumulative root length	سطح ریشه Root surface	قطر ریشه Root diameter	زاویه ریشه Root angle
لاین	49	115073.53**	47.91**	143.68**	7385.39**	642.1**
Line						
سطوح شوری	1	6224851.73**	1205.5**	5147.88**	11899.06**	23273.32**
Salinity						
لاین × شوری	49	86274.97**	32.16**	116.12**	5966.51**	533.72**
Line×salinity						
اشتباه آزمایشی	200	283.97	20.84	2.01	683.24	51.23
Error						
ضریب تغییرات (%)	-	18.72	5.07	1.5	29.04	7.95
C.V (%)						

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

\*\* Significant at 0.01 probability level.

روند تأثیر تنش شوری در بین ژنوتیپ‌ها یکسان نبود، به طوری که شوری در بعضی ژنوتیپ باعث کاهش و در بعضی ژنوتیپ‌های دیگر باعث افزایش قطر ریشه شد. میزان کاهش قطر ریشه در شرایط شوری در گونه‌های مختلف گیاهی متفاوت است. کاهش قطر می‌تواند به دلیل کاهش تقسیمات سلولی باشد (Munns and Tester, 2008). همچنین بیان شده که تنش شوری باعث افزایش قطر ریشه گیاهان می‌شود. به طور کلی در شرایط تنش ریشه ضخیم‌تر شده و قطر افزایش می‌یابد تا سطح جذب آب به دلیل کمبود آب در این شرایط بهتر صورت گیرد. افزایش قطر ریشه معمولاً با کاهش طول ریشه همراه است و به نظر می‌رسد صفت چندان مطلوبی نیست و تولید ریشه با طول بیشتر و قطر کمتر حالت مطلوب‌تری دارد (Tester and Davenport, 2003). در شرایط فاقد تنش لاین ۱۷ و ۳ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین زاویه در بین لاین‌ها را دارا بود اما لاین‌های ۵۵ و ۱۷ دارای بیشترین و کمترین زاویه در شرایط تنش بود. در ۴۴ لاین زاویه در شرایط تنش کاهش پیدا کرد زاویه ریشه‌های اولیه از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده عمق نفوذ ریشه محسوب می‌شود و گزارش شده است که جوه‌های وحشی با داشتن زاویه ریشه‌ای کمتر دارای عمق نفوذ ریشه بیشتری بودند (Wiersum, 1957). عمق نفوذ بیشتر ریشه موجب افزایش توانایی گیاه در جذب آب از لایه‌های زیرین خاک شده و در مقابله گیاه با فاز اول تنش شوری می‌تواند مؤثر باشد. ذکر این نکته ضروری است که پراکنش افقی سیستم ریشه‌ای در اقلیم مدیترانه‌ای که دارای باران‌های سبک در طول فصل رویشی است می‌تواند سبب تحمل گیاه به تنش‌های خشکی و شوری شود (Christopher et al., 2013; Gregory et al., 2009). همچنین پراکنش میزان نمک در لایه‌های خاک نیز در منطقه بایستی مورد توجه قرار گیرد. از طرفی ژنوتیپ‌هایی با پراکنش افقی ریشه در سطح خاک قادر هستند که از عناصر غذایی که به طور عمده در لایه‌های سطحی خاک قرار گرفته‌اند به نحو احسن استفاده نمایند (McDonald, 2010).

تجزیه کلاستر یک ابزار قدرتمند برای کمک به‌گزینش مؤثر ژنوتیپ‌هاست زمانی که اصلاح از طریق چندین صفت صورت می‌گیرد (Khoshgoftarmanesh et al, 2012). تجزیه خوشه‌ای در شرایط نرمال و تنش بر اساس کلیه صفات به‌طور جداگانه به‌روش وارد انجام شد.

شاید تغییرات کمتر سطح ریشه را بتوان به تولید بیشتر ریشه‌های جانبی در گیاه مربوط دانست تا از این طریق سطح جذب آب در ریشه با افزایش شوری در خاک افزایش یابد (Kafi et al., 2010). از طرفی طول ریشه زیاد همراه با ریشه‌های نازک دوعاملی هستند که سطح ریشه را افزایش می‌دهند و ژنوتیپ‌هایی با این خصوصیت قادر خواهند بود با سطح بیشتر تماس با خاک علاوه بر جذب بیشتر آب و مواد غذایی همزیستی بهتری با میکروارگانیسم‌های خاک داشته و در مقابله با تنش شوری موفق عمل نمایند (Eshel and Beeckman, 2013).

در این آزمایش طول تجمعی ریشه در همه ژنوتیپ‌ها با اعمال تنش شوری کاهش پیدا کرد (جدول‌های ۲ و ۳)، افزایش ناگهانی شوری خاک باعث خارج شدن آب سلول‌ها شده اما این کاهش حجم و آماس، موقتی است به طوری که ظرف چند ساعت، سلول دوباره حجم واقعی و آماس خود را به دست آورده و تعادل اسمزی ایجاد می‌شود. باین‌وجود سرعت طویل شدن سلول کاهش می‌یابد. لاین‌های ۷۱، ۷۳ و ۹۱ دارای بیشترین طول تجمعی در شرایط تنش شوری محیط هم نسبت به سایر لاین‌ها و هم نسبت به شرایط فاقد تنش بود. کاهش معنی‌دار در طول ریشه گیاهان احتمالاً مربوط به کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلولی در مناطق درحال توسعه ریشه است (Rengasamy, 2010). طول بلندترین ریشه ۴۶ لاین در شرایط تنش شوری کاهش یافت افزایش تنش شوری باعث افزایش تنفس گیاه شده زیرا مقدار زیادی از  $\text{Na}^+$  که از محلول خارجی وارد سلول‌های ریشه می‌شود، احتمالاً دوباره از طریق ناقل‌های غشای پلاسمایی به بیرون بازگردانده می‌شود و این فرآیند احتمالاً انرژی زیادی مصرف می‌کند و کاهش سرعت رشد ریشه و در نتیجه عمق نفوذ گیاه را در پی داشته است (Wasson et al., 2012). لاین‌های ۲، ۳، ۴۳ و ۹۱ در شرایط تنش از بلندترین طول ریشه و در نتیجه عمق نفوذ بیشتری برخوردار بودند (جدول ۳). گزارش شده است گیاهانی که ریشه اصلی طول‌تر و تعداد ریشه‌های جانبی بیشتری دارند نسبت به سایر گیاهان تحمل بیشتری به تنش شوری دارند. گرچه این امر تابع نحوه پراکنش شوری در منطقه رشد ریشه می‌باشد (Bazihizina et al, 2012). لاین‌های ۳۶ و ۱۷ در شرایط نرمال به ترتیب بیشترین و کمترین قطر ریشه را نشان دادند. همچنین در شرایط تنش لاین ۸ بیشترین و لاین ۲ کمترین قطر ریشه را داشتند (جدول‌های ۲ و ۳).

جدل ۲. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های دابل‌هاپلوئید جو برای صفات مورد مطالعه در شرایط نرمال

Table 2. Mean comparison barley doubled haploid genotypes for all traits in normal conditions.

شماره لاین	زاویه ریشه	قطر ریشه	طول بلندترین ریشه	سطح ریشه	طول تجمعی ریشه	شماره لاین	زاویه ریشه	قطر ریشه	طول بلندترین ریشه	سطح ریشه	طول تجمعی ریشه
Line Number	Root angle	Root diameter	Length of the longest root	Root surface	Cumulative root length	Line Number	Root angle	Root diameter	Length of the longest root	Root surface	Cumulative root length
1	105.21	150.82	250.62	9.84	3.53	39	113.93	297.97	307.00	12.21	4.80
2	122.68	151.93	1052.22	39.07	21.72	43	115.44	160.10	478.78	13.71	5.89
3	65.40	204.84	225.10	5.77	3.03	47	112.19	225.53	969.28	33.50	18.58
4	95.42	154.39	364.99	8.41	4.86	48	122.23	263.27	335.55	13.74	5.74
8	93.58	153.02	482.62	9.60	5.90	51	90.90	180.63	542.17	15.92	7.48
9	91.67	326.18	517.21	14.08	6.90	53	98.59	207.69	553.15	16.04	8.81
10	73.44	175.64	644.14	10.93	7.52	55	113.83	215.27	655.91	14.47	7.29
11	122.72	308.18	677.10	26.37	15.50	56	100.79	165.30	286.71	6.09	3.76
14	106.13	214.55	309.65	13.14	4.83	58	101.23	190.68	793.69	27.40	14.25
15	80.54	233.16	402.54	13.94	6.33	62	101.16	232.42	634.43	17.84	10.38
16	85.63	231.15	239.90	8.74	3.79	65	84.56	215.80	910.80	26.87	14.18
17	127.01	140.34	597.49	15.26	10.23	66	84.32	217.13	376.57	14.40	5.87
19	115.64	175.61	251.31	3.15	2.83	67	109.66	190.83	406.66	13.52	7.50
21	84.70	266.07	463.32	12.49	7.78	68	95.15	283.00	404.19	9.40	5.63
22	81.77	213.79	795.03	22.11	12.60	70	95.40	254.84	1087.55	36.48	20.80
23	85.61	241.4	551.12	15.51	6.01	71	117.55	206.46	552.72	12.94	6.64
26	81.10	343.70	269.94	8.15	4.11	73	99.82	206.50	630.64	16.70	8.19
27	102.84	247.23	382.40	6.60	3.65	75	113.31	245.19	334.11	11.31	3.82
28	89.20	218.41	413.98	16.22	7.15	79	89.86	245.91	133.88	7.02	2.65
29	99.46	196.86	759.06	20.06	10.99	84	76.23	350.01	961.77	37.82	18.11
31	119.63	204.33	613.28	14.98	7.56	85	90.67	169.21	327.13	7.53	3.16
32	93.75	176.13	336.32	4.78	3.35	86	114.30	197.55	345.13	13.21	4.92
33	86.53	257.95	965.23	27.24	12.41	90	87.55	235.34	508.31	15.87	7.56
34	84.70	378.72	250.78	9.90	3.13	91	111.18	197.67	328.37	8.83	5.43
36	91.10	362.41	650.19	15.53	7.53	94	115.49	185.20	223.36	4.05	3.19
LSD	2.5	8.39	4.86	0.44	0.25	LSD	2.5	8.39	4.86	0.44	0.25

\_\_\_\_\_ و \_\_\_\_\_ : به ترتیب بیانگر بزرگ‌ترین مقدار برای هر صفت و ژنوتیپ‌هایی که با آن اختلاف معنی‌داری ندارند.

\_\_\_\_\_ represent the highest value for each trait and genotypes that have not significant difference with it respectively.

تکرار برای آن تیمار در نظر گرفته شدند. نتایج تجزیه واریانس چند متغیره نشان داد که اختلاف کاملاً معنی‌داری بین دو کلاستر وجود دارد و ژنوتیپ‌های موجود در کلاسترهای جداگانه از لحاظ صفات مطالعه شده اختلاف کاملاً معنی‌داری با یکدیگر دارند (جدول‌های ۵ و ۶ به ترتیب برای شرایط نرمال و تنش شوری).

برش دندروگرام‌ها از بیشترین فاصله از یک کلاستر به کلاستر بعدی صورت گرفت به طوری که ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط (نرمال و تنش شوری) در دو گروه قرار گرفتند. برای تأیید نتایج و اینکه بین کلاسترهای مختلف اختلاف معنی‌دار وجود دارد تجزیه واریانس چندمتغیره در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گردید به طوری که هر کلاستر به عنوان یک تیمار و ژنوتیپ‌های داخل هر کلاستر به عنوان

جدول ۳. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های دابل هاپلوئید جو برای صفات مورد مطالعه در شرایط تنش.

Table 3. Mean comparison barley doubled haploid genotypes for all traits in salinity conditions.

شماره لاین	زاویه ریشه	قطر ریشه	بلندترین ریشه	سطح ریشه	طول تجمعی ریشه	شماره لاین	زاویه ریشه	قطر ریشه	بلندترین ریشه	سطح ریشه	طول تجمعی ریشه
Line Number	Root angle	Root diameter	Length of the longest root	Root surface	Cumulative root length	Line Number	Root angle	Root diameter	Length of the longest root	Root surface	Cumulative root length
1	58.11	281.35	153.10	4.48	2.76	39	72.11	209.82	98.22	3.85	1.84
2	95.00	300.38	388.76	12.76	7.76	43	89.34	208.59	434.30	8.46	6.30
3	72.54	242.03	426.79	12.56	6.64	47	87.78	221.13	132.38	11.45	2.65
4	65.02	157.67	199.17	10.34	3.23	48	68.77	185.17	141.09	3.26	2.60
8	63.35	141.81	232.99	6.07	3.31	51	67.07	221.04	398.07	7.41	5.12
9	83.64	206.42	267.79	4.87	2.99	53	92.72	195.03	331.95	7.47	4.42
10	61.82	228.64	259.44	6.14	3.17	55	110.12	151.83	216.11	7.72	4.79
11	82.43	201.90	276.30	6.97	4.54	56	77.21	232.60	214.80	6.22	3.61
14	92.96	189.01	119.42	2.16	1.65	58	69.65	196.33	305.17	12.94	4.66
15	71.72	185.99	187.04	4.18	2.20	62	99.89	259.27	286.47	8.83	4.26
16	87.20	180.40	224.14	6.72	2.74	65	81.19	207.23	184.85	2.53	2.04
17	45.99	142.64	185.93	3.51	2.57	66	82.50	207.91	146.62	5.12	2.04
19	82.63	195.49	176.62	6.98	2.85	67	84.99	222.90	376.97	12.05	4.91
21	80.75	213.95	203.86	8.63	2.77	68	86.22	207.54	182.84	4.96	2.69
22	51.74	216.05	399.69	11.60	7.07	70	89.69	210.02	262.12	6.73	4.17
23	88.83	192.84	260.27	4.92	3.70	71	100.00	233.00	172.98	13.60	7.66
26	71.44	259.51	107.81	2.82	1.33	73	84.12	280.02	266.68	8.00	10.04
27	89.17	220.65	178.63	2.01	1.93	75	83.19	198.14	263.18	3.88	3.58
28	82.43	155.77	131.82	3.15	2.97	79	76.25	246.60	129.00	8.96	2.53
29	106.03	195.74	279.79	12.04	5.52	84	96.80	207.36	194.14	3.71	4.21
31	62.32	185.47	79.37	2.13	2.03	85	88.68	253.62	150.23	6.02	2.68
32	85.11	206.42	129.43	4.45	2.08	86	76.75	212.12	170.37	5.62	2.27
33	78.66	199.44	115.55	3.07	2.66	90	85.52	252.00	121.46	9.07	2.25
34	92.33	232.59	158.15	10.35	3.17	91	87.00	214.79	457.90	15.69	8.95
36	79.77	255.58	216.16	5.64	3.70	94	91.47	214.73	153.10	2.41	1.80
LSD	1.13	5.48	4.23	0.31	0.24	LSD	1.13	5.48	4.23	0.31	0.24

\_\_\_\_\_ و \_\_\_\_\_ : به ترتیب بیانگر بزرگ‌ترین مقدار برای هر صفت و ژنوتیپ‌هایی که با آن اختلاف معنی‌داری ندارند.

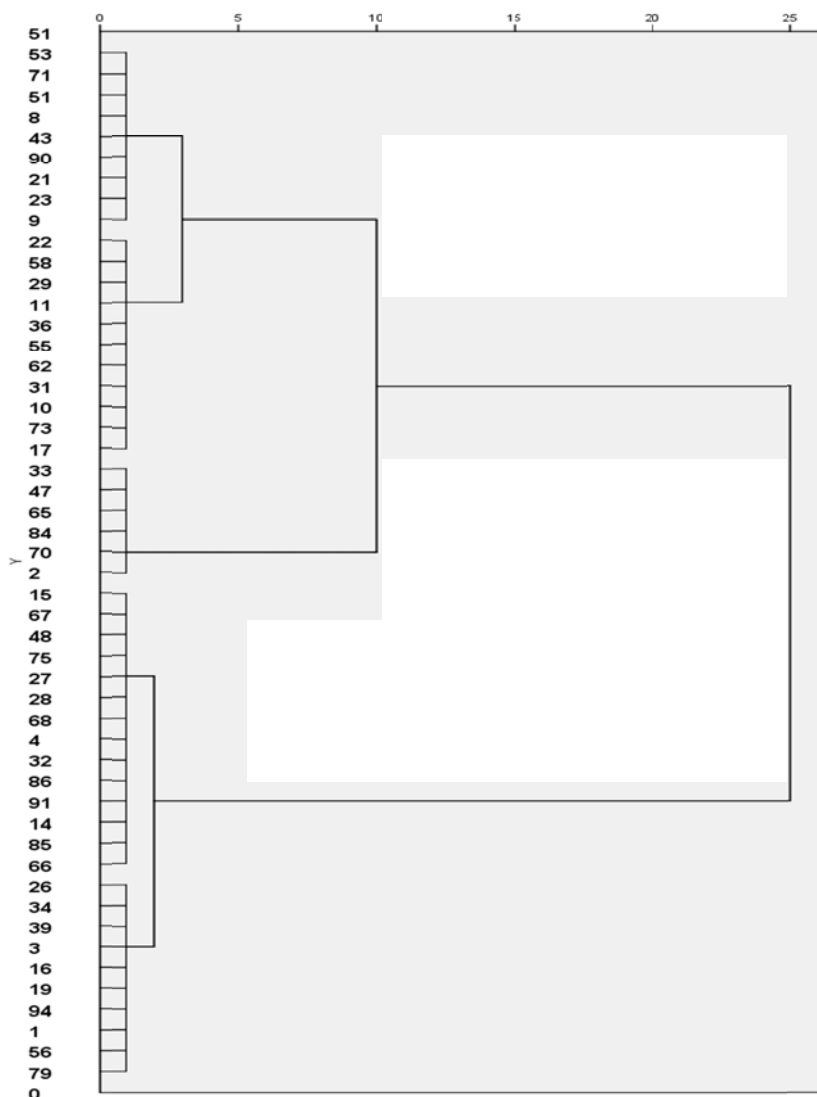
\_\_\_\_\_ represent the highest value for each trait and genotypes that have not significant difference with it respectively.

گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها می‌تواند مفید فایده واقع شود. احتمال وجود آلل‌های مطلوب در مکان‌های ژنی مختلف در ژنوتیپ-هایی که باهم ارتباطی ندارند بالاست، بنابراین برای دستیابی به ژنوتیپ‌های متحمل به شوری، در برنامه‌های تلاقی و گزینش والدین می‌توان از کلاسترهای ۱ و ۲ گزینش‌ها را انجام داد، همچنین برای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از لحاظ کلیه صفات در دو شرایط نرمال و تنش از روش

بر اساس تجزیه خوشه‌ای در شرایط نرمال ۲۶ ژنوتیپ در کلاستر اول و ۲۴ ژنوتیپ دیگر در کلاستر دوم قرار گرفتند (شکل ۲) همچنین این تجزیه در شرایط تنش ۲۱ ژنوتیپ را در کلاستر اول و ۲۹ ژنوتیپ را در کلاستر دوم قرار داد (شکل ۳)؛ بنابراین می‌توان عنوان کرد که تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات مورد مطالعه اختلافات بین ژنوتیپ‌ها را بهتر نشان می‌دهد و استفاده از این صفات در

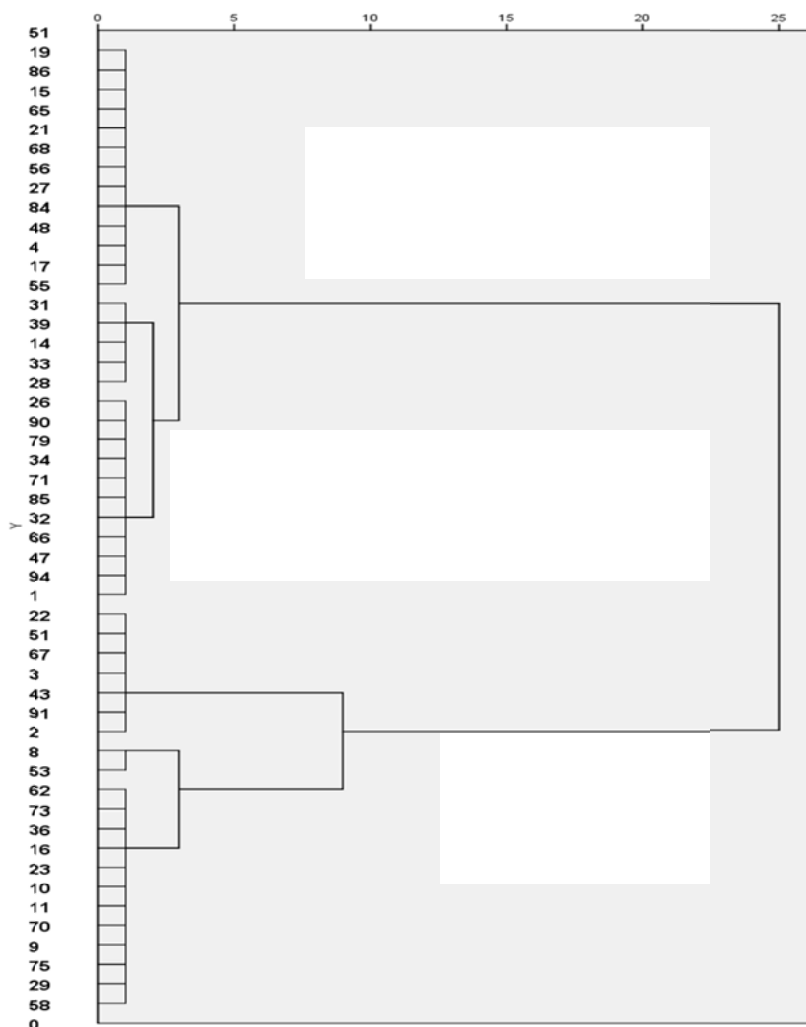
تنها ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۱۰ و ۴۳ رتبه کمتری گرفته‌اند. در شرایط تنش نیز در میان رتبه‌های برتر تنها ژنوتیپ‌های شماره ۳۴، ۵۵ و ۷۱ از ژنوتیپ‌های مربوط به کلاستر دوم قرار گرفتند و از ژنوتیپ‌های کلاستر اول، ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۱۰، ۱۶ و ۷۵ رتبه کمتری به خود اختصاص دادند با توجه به نتایج حاضر می‌توان عنوان کرد که از روش آروناچالام و باندیوپادیای (Arunachalam and Bandyopadhyay, 1984) نه‌تنها برای گزینش برترین ژنوتیپ‌ها بلکه برای گروه‌بندی و تأیید نتایج تجزیه خوشه‌ای نیز استفاده کرد.

آروناچالام و باندیوپادیای (Arunachalam and Bandyopadhyay, 1984) استفاده شد. بر اساس این روش ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط بر اساس کلیه صفات مورد مطالعه رتبه‌بندی شدند با مقایسه نتایج این روش و تجزیه خوشه‌ای مشخص شد که ژنوتیپ‌های دارای بالاترین رتبه در شرایط نرمال و تنش همان ژنوتیپ‌های مربوط به کلاستر اول هستند و ژنوتیپ‌های کلاستر دوم رتبه‌های پایین را در این روش به خود اختصاص داده‌اند. در شرایط نرمال در بین رتبه‌های برتر تنها ژنوتیپ‌های شماره ۴۸ و ۶۷ از کلاستر دوم قرار دارند و از ۲۶ ژنوتیپ کلاستر اول



شکل ۲. دندروگرام تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل مربعات وارد در محیط نرمال.

Fig. 2. Dendrogram cluster analysis method of least squares in to a normal environment.



شکل ۳. دندروگرام تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل مربعات وارد در محیط تنش.

Fig. 3. Dandrogram cluster analysis method of least squares in to a stress environment.

تنش و نرمال‌گزینش کرد. علوی‌سینی و همکاران (۲۰۱۳) و Alavi Siney et al., (۲۰۱۳) با استفاده از روش آروناچالام و باندیوپادیای (Arunachalam and Bandyopadhyay, ۱۹۸۴) رقم گندم را از لحاظ مقاومت به خشکی در شرایط دیم رتبه‌بندی کرده و ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط دیم را بر اساس برترین رتبه‌ها نسبت به شاهد معرفی کردند.

همچنین با ملاحظه جدول ۴ مشخص می‌گردد که واکنش ژنوتیپ‌ها از لحاظ خصوصیات ریشه‌ای در دو شرایط نرمال و تنش متفاوت است، به طوری که در بین ۱۱ ژنوتیپ برتر در شرایط نرمال و تنش تنها ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۲۹ و ۶۲ مشترک بودند و سایر ژنوتیپ‌ها با یکدیگر متفاوت بودند، بنابراین این ژنوتیپ‌ها ویژگی‌های ریشه‌ای خود را در هر دو شرایط حفظ کرده و ژنوتیپ‌های سازگارتری محسوب می‌گردند و می‌توان این ژنوتیپ‌ها را برای هر دو شرایط



جدول ۴. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مورد مطالعه (روش آرون‌چالام و باندیوپادیای، ۱۹۸۴) تحت شرایط نرمال و شوری  
 Table 4. Genotypes ranking on the basis of studied traits (Arunachalam and Bandyopadhyay, 1984) under normal and salinity conditions.

Salinity condition			شرایط شوری			Normal condition			شرایط نرمال		
رتبه	ارزش	ژنوتیپ	رتبه	ارزش	ژنوتیپ	رتبه	ارزش	ژنوتیپ	رتبه	ارزش	ژنوتیپ
Rank	Value	Genotype	Rank	Value	Genotype	Rank	Value	Genotype	Rank	Value	Genotype
18	51	90	1	91.5	2	24	53	28	1	92	70
19	50.5	16	2	82.5	91	25	51.5	43	2	91	11
20	47.5	75	3	78	62	25	51.5	39	3	90.33	47
21	46	10	3	78	73	26	48	68	4	87.5	2
21	46	19	4	77	29	27	46	86	5	86	84
22	45.5	68	5	76.5	71	27	46	75	6	81	33
23	44.5	79	6	75.5	43	27	46	15	7	75.5	58
24	42.5	27	7	73	67	28	45.5	10	8	74.5	65
25	41	4	8	72	3	29	44.5	66	8	74.5	62
26	40	94	9	67	53	30	43.5	14	9	70	29
27	38.5	66	10	64	55	31	40	27	10	69.5	22
27	38.5	86	11	62.5	70	32	39.57	91	11	68.5	36
28	36	1	12	61.5	22	33	36	34	12	67.5	31
28	36	8	12	61.5	34	33	36	8	13	67	73
28	36	32	13	58.5	11	34	34	26	14	66	17
28	36	65	13	58.5	51	35	30	4	15	65	55
29	32	14	14	57.5	36	36	26.5	94	16	63	53
30	29.5	15	14	57	58	36	26.5	16	17	62	9
31	28	26	15	55	23	37	25.5	1	18	60	71
31	28	28	16	53	84	38	24.5	79	19	58.5	48
32	26.5	33	16	53	21	38	24.5	19	20	57.5	90
33	22.5	39	17	52	85	38	24	56	21	56.5	23
34	21	48	17	52	47	39	23	85	22	55	67
35	19	17	17	52	56	40	22.5	32	22	55	21
36	12.5	31	18	51	9	41	14.5	3	23	54	51

جدول ۵. تجزیه واریانس چند متغیره صفات مورد مطالعه برای تأیید نتایج گروه‌بندی در شرایط نرمال.  
 Table 6. Multivariate analysis of variance of studied traits for verifying grouping results under normal condition.

آزمون	درجه آزادی تیمار	درجه آزادی اشتباه	مقدار	F	P value
Test	Treatment df.	Error df.	Value	F	P value
Pillai	1	44	0.709	21.425	0.00
Wilks lambda	1	44	0.291	21.425	0.00
Hotelling	1	44	2.435	21.425	0.00
Roy,s largest root	1	44	2.435	21.425	0.00

جدول ۶. تجزیه واریانس چند متغیره صفات مورد مطالعه برای تأیید نتایج گروه‌بندی در شرایط شوری.

Table 7. Multivariate analysis of variance of studied traits for verifying grouping results under salinity condition.

آزمون	درجه آزادی تیمار	درجه آزادی اشتباه	مقدار		
Test	Treatment df.	Error df.	Value	F	P value
Pillai	1	43	0.69	15.93	0.00
Wilks lambda	1	43	0.31	15.93	0.00
Hotelling	1	43	2.22	15.93	0.00
Roy,s largest root	1	43	2.22	15.93	0.00

### نتیجه‌گیری

از آنجاکه تنش شوری باعث محدودیت فراهمی آب در محیط رشد ریشه می‌شود، بنابراین شناخت دقیق روابط موجود بین صفات مربوط به ریشه از جمله سطح و طول ریشه و روابط آن‌ها با تنش شوری لازم و ضروری است. در مراحل اولیه رشد گیاه، ریشه به دلیل داشتن سلول‌های جوان و اکتنش متفاوتی نسبت به تنش نشان می‌دهد. نتایج این آزمایش نشان داد که صفات ریشه‌ای جو تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرند و به‌طور کلی شوری سبب کاهش چهار صفت سطح، طول تجمعی، طول بلندترین و زاویه ریشه در شرایط تنش شد. تغییرات تمامی صفات بخصوص قطر ریشه در بین ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط متفاوت بود. مقاومت به شوری تابعی از فعالیت یک اندام یا یک صفت گیاهی نیست، بلکه برآیندی از همه صفات مرتبط با تحمل به شوری است. از آنجائی که شوری در دو فاز اسمزی و یونی بر گیاه اثر می-

کند، بررسی اختلافات ژنتیکی ارقام در قسمت فاز اسمزی کم بوده و مکانیسم‌هایی که قادر باشند در این مرحله منجر به افزایش مقاومت گیاه شوند بندرت مورد مطالعه قرار گرفته است. از این لحاظ ریشه با نقش گسترده‌ای که در جذب آب و مواد غذایی دارد می‌تواند در مقاومت به شوری نقش عمده‌ای ایفا کند. تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات مورد مطالعه در هر دو شرایط (نرمال و تنش) ژنوتیپ‌ها در دو گروه قرار داد و تجزیه واریانس چند متغیره نیز این نتایج را تأیید نمود، همچنین رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس روش آروناچالام و باندیوپادیای (Arunachalam and Bandyopadhyay, 1984) نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۲۹ و ۶۲ در هر دو شرایط دارای رتبه‌های برتر بودند بنابراین می‌توان از این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط استفاده نمود.

### منابع

- Alavi Siney, S.M., Saba, J., Nasiri, J. Soleimani, K., 2013. Evaluation of some Physiological Traits in Drought Tolerant Lines of Bread Wheat in Rain fed Conditions. Seed and Plant Improvement Journal. 29, 637-657. [In Persian with English Summary].
- Arunachalam, V., Bandyopadhyay, A., 1984. A method to make decisions jointly on a number of dependent characters. Indian Journal of Genetics. 44, 419-424.
- Ashrafi, A., 2007. Evaluation of root development and morphological traits of wheat cultivars at two soil and two moisture regimes. MSc dissertation. Faculty of Agriculture. Isfahan University of Technology, Iran. [In Persian with English Summary].
- Bazihizina, N., Barrett-Lennard, E.G., Colmer, T.D., 2012. Plant responses to heterogeneous salinity: growth of the halophyte *Atriplex nummularia* is determined by the root-weighted mean salinity of the root zone, Journal of Experimental Botany. 63(18), 6347-6358.
- Blancaflor, E.B., Masson, P.H., 2003. Plant gravitropism. Unraveling the ups and downs of a complex process. Plant Physiology, 133(4), 1677-1690.
- Chen, Z., Shabala, S., Mendham, N., Newman, I., Zhang, G., Zhou, M., 2008. Combining

- ability of salinity tolerance on the basis of NaCl-induced K flux from roots of barley. *Crop Science*. 48(4), 1382-1388.
- Christopher, J., Christopher, M., Jennings, R., Jones, S., Fletcher, S., Borrell, A., Manschadi, A.M., Jordan, D., Mace, E., Hammer, G., 2013. QTL for root angle and number in a population developed from bread wheats (*Triticum aestivum*) with contrasting adaptation to water-limited environments. *Theoretical and Applied Genetics*. 126(6), 1563-1574.
- Eshel, A., Beeckman, T., 2013. *Plant Roots: the Hidden Half*. CRC Press Inc., USA.
- Fohse, D., Claassen, N., Jungk, A., 1991. Phosphorus efficiency of plants. *Plant and Soil*. 132(2), 261-272.
- Gregory, P.J., Bengough, A.G., Grinev, D., Schmidt, S., Thomas, W.B.T., Wojciechowski, T., Young, I.M., 2009. Root phenomics of crops: opportunities and challenges. *Functional Plant Biology*. 36(11), 922-929.
- Iersum, L., 1957. The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots. *Plant and Soil*. 9(1), 75-85.
- Kafi, M., Borzouei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masumi, A., Nabati, G., 2009. *Environmental Stress Physiology of Plants*. Mashhad University Jahad publications. 502 p [In Persian].
- Kafi, M., Salehi, M., Shqyzadh, H.R., 2010. *Strategies to Manage Plant, Soil and Water*. Mashhad University Jahad publications. 380p. [In Persian].
- Khoshgoftarmanesh, A.H., Sharifi, H.R., Afiuni, D., Schulin R., 2012. Classification of wheat genotypes by yield and densities of grain zinc and iron using cluster analysis. *Journal of Geochemical Exploration*. 121, 49-54.
- Manschadi, A.M., Hammer, G.L., Christopher, J.T., 2008. Genotypic variation in seedling root architectural traits and implications for drought adaptation in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant and Soil*. 303(1-2), 115-129.
- McDonald, G., 2010. The effects of root angle on root growth and yield of wheat in the Australian cereal belt. In: Dove, H., Culvenor, R. (eds.), *Proceedings of the 15th Australian Agronomy Conference, held in Lincoln New Zealand, 15-18 November 2010*. Australian Society of Agronomy, NSW, Australia.
- Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress, *Plant, Cell and Environment*. 25(2), 239-250.
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59, 651-681.
- Perrin, R.M., Young, L.S., Murthy, U.N., Harrison, B.R., Wang, Y., Will, J.L., Masson, P.H., 2005. Gravity signal transduction in primary roots. *Annals of Botany*. 96(5), 737-743.
- Platten, J.D., Cotsaftis, O., Berthomieu, P., Bohnert, H., Davenport, R.J., Fairbairn, D.J., Horie, T., Leigh, R.A., Lin, H.X., Luan, S., 2006. Nomenclature for HKT transporters, key determinants of plant salinity tolerance. *Trends in Plant Science*. 11(8), 372-374.
- Rengasamy, P., 2010. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils, *Functional Plant Biology*. 37(7), 613-620.
- Rewald, B., Raveh, E., Gendler, T., Ephrath, J.E., Rachmilevitch, S., 2012. Phenotypic plasticity and water flux rates of citrus root orders under salinity. *Journal of Experimental Botany*. 63(7), 2717-2727.
- Tester, M., Davenport, R., 2003. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Annals of Botany*. 91(5), 503-527.
- Wasson, A., Richards, R., Chatrath, R., Misra, S., Prasad, S.S., Rebetzke, G., Kirkegaard, J., Christopher, J., Watt, M., 2012. Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. *Journal of Experimental Botany*. 63(9), 3485-3498.
- White, R.G., Kirkegaard, J.A., 2010. The distribution and abundance of wheat roots in a dense, structured subsoil: implications for water uptake. *Plant, Cell & Environment*. 33(2), 133-148.