

ارزیابی دو زیرگونه بزرک (*Linum usitatissimum* L.) در مناطق مختلف جغرافیایی

از نظر میزان و تنوع ژنتیکی برای عملکرد دانه و اجزای آن

فاطمه بیدخوانی نژاد^۱، علی اکبر محمدی میریک^{۲*} و حسین دشتی^۳

۱، ۲، ۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۶/۲)

چکیده

به منظور بررسی تنوع ژنتیکی دو زیرگونه بزرک برای عملکرد دانه و اجزای آن، ۵۰ ژنوتیپ بزرک ارزیابی شدند. نتایج نشان داد بین میانگین دو زیرگونه و نواحی مختلف از لحاظ برخی اجزای عملکرد اختلاف معنی داری مشاهده شد. میانگین صفات تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول در زیرگونه Usitatissimum و وزن هزاردانه در Mediteranum بیشتر بود. تنوع ژنتیکی در مناطق مختلف و بسته به صفت، متفاوت بود. بین ژنوتیپها، تعداد کپسول در بوته از ۱۳/۹ تا ۸۱/۷، تعداد دانه در کپسول از ۵/۴ تا ۹/۲۲، و وزن هزاردانه از ۲/۵ تا ۶/۴ گرم متغیر بود و عملکرد دانه در بوته از ۰/۳ تا ۹/۰۶ گرم و عملکرد دانه از ۱۸۸/۷ تا ۱۴۵۳ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در ژنوتیپهای نروژ ۱۰۰۵ و لیبی ۱۶۸۶ به دست آمد که بیانگر پتانسیل ژنتیکی بالقوه برای بهبود صفات مهم بزرک است. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپها را به شش گروه تفکیک کرد که گروه اول با بیشترین تعداد کپسول در بوته به همراه گروه‌های دوم و سوم از نظر عملکرد دانه، گروه‌های برتر شناسایی شدند. تعداد کپسول در بوته دارای بیشترین همبستگی ژنتیکی ناشی از تأثیرات مستقیم و همچنین تأثیرات غیرمستقیم منفی از طریق وزن هزاردانه بر عملکرد دانه در بوته بود.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، ژرم پلاسما، ضرایب مسیر، همبستگی ژنتیکی.

مقدمه

برای سلامت انسان مورد توجه قرار گرفته است (Shahidi, 2005). علاوه بر وجود مقدار زیاد امگا ۳ در روغن، دانه بزرک دارای ترکیبات فیتواستروژن و همچنین مقدار زیاد لیگنان است که از نظر دارویی اهمیت دارد و به طور مستقیم از آن استفاده می‌شود. از طرفی روغن برخی لاین‌های اصلاحی بزرک، کیفیتی مشابه روغن آفتابگردان دارد و می‌توان از آنها برای روغن‌کشی استفاده کرد (Rowland, 1991; Green, 1986). سازگاری بزرک به دامنه وسیعی از شرایط محیطی موجب گسترش سطح زیر کشت آن در شرایط آگرواکولوژیکی متنوعی مثل مناطق حاره‌ای و زیرحاره‌ای (هند، آرژانتین، افغانستان و ...) و نواحی معتدل (آلمان، فرانسه، یونان، آمریکا، کانادا،

گیاهان دانه‌روغنی به لحاظ تولید دانه، روغن و کنجاله در تغذیه انسان، دام و طیور و مصارف صنعتی کاربرد دارند. مهم‌ترین آنها سویا، آفتابگردان، بادام‌زمینی، پنبه، کلزا، بزرک و کرچک هستند (Saadat Lajvardi, 1980). در حال حاضر بخش عمده دانه‌های روغنی مورد نیاز کشور از منابع وارداتی تأمین می‌شود؛ از این رو توسعه کشت دانه‌های روغنی اهمیت زیادی دارد. بزرک یا Linseed (Flax) یکی از گیاهانی است که برای تولید روغن خوراکی کاربرد دارد. روغن بزرک علاوه بر مصارف صنعتی و خوراکی، به علت داشتن مقدار زیاد امگا ۳، به عنوان یکی از منابع روغن مفید و دارای خواص دارویی

این مطالعات تعداد محدود ژنوتیپ و متعلق به مناطق خاص ارزیابی شده است. با توجه به تأثیرات متقابل ژنوتیپ و محیط در بروز صفات، در شرایط محیطی متفاوت ممکن است یک ژنوتیپ خاص واکنش متفاوتی نشان دهد. از این رو در طراحی یک برنامه اصلاحی برای شرایط خاص به نظر می‌رسد که مواد ژنتیکی باید در همان شرایط ارزیابی و انتخاب شوند (Sosulski & Gore, 1964) با عنایت به کاربردهای دارویی و صنعتی فراوان بزرک، تولید واریته‌های مطلوب از نظر عملکرد این محصول از اهمیت بسزایی برخوردار است و طراحی برنامه به‌نژادی در اولین قدم نیازمند شناسایی پتانسیل‌های ژنتیکی این گیاه است؛ از این رو در این مطالعه بخشی از ژرم‌پلاسم در دو زیرگونه بزرک موجود در مناطق مختلف دنیا جمع‌آوری و در شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک و به‌منظور تعیین تنوع ژنتیکی و همچنین مقایسه آنها ارزیابی شدند.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، ۵۰ ژنوتیپ بزرک شامل ۲۲ ژنوتیپ از زیرگونه *Usitatissimum* (Md) و ۲۸ ژنوتیپ انتخاب‌شده تصادفی از زیرگونه *Meditaranum* (Md)، تهیه شده از بانک ژن مؤسسه ژنتیک گیاهی و تحقیقات محصولات زراعی آلمان (جدول ۱)، در آزمایشی مزرعه‌ای در سال ۱۳۹۰ و با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ولیعصر رفسنجان ارزیابی شدند. هر پلات آزمایشی شامل چهار ردیف به طول ۱۲۰ سانتی‌متر و با فاصله ۲۵ سانتی‌متر بود. کاشت بذور به‌صورت دستی و با فاصله ۲ سانتی‌متر و در عمق ۱ تا ۲ سانتی‌متر انجام گرفت. در مرحله رسیدگی از هر پلات آزمایشی و از ردیف‌های میانی با در نظر گرفتن حاشیه، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفات عملکرد دانه در بوته، تعداد کپسول در بوته و عملکرد بیولوژیک آنها اندازه‌گیری شد و میانگین آنها در نظر گرفته شد. تعداد دانه در کپسول با انتخاب ۵۰ کپسول از نمونه‌های ده‌بوته‌ای و سپس شمارش بذور آنها و وزن هکتولیترا با توزین حجم ۱۰ سی‌سی بذر به‌دست آمد. صفت عملکرد دانه در واحد سطح با برداشت دو ردیف میانی در هر پلات و با رعایت حاشیه و سپس بوجاری و

استرالیا و ... شده است (Vorman, 2006). در ایران نیز بزرک به‌عنوان زراعت فرعی و در مساحت‌های کوچک کشت می‌شود (Saeidi, 2001).

ژرم‌پلاسم گیاهی منبع اصلی مورد نیاز برای اجرای برنامه‌های به‌نژادی گیاهان است و موفقیت این برنامه‌ها به حد تنوع آن بستگی دارد. از کاربردهای بررسی تنوع ژنتیکی در گیاهان می‌توان به تعیین روابط ژنتیکی ژنوتیپ‌ها، مطالعه جمعیت، مطالعه و حفاظت ژنتیکی ذخایر ژرم‌پلاسمی اشاره کرد (Ghareyazi, 1996). گونه گیاهی *Linum usitatissimum* L. از نظر صفات مورفولوژیک، تنوع ژنتیکی زیادی دارد و بر همین اساس به چند زیرگونه تقسیم می‌شود که زیرگونه‌های *Ustatissimum* (Us) و *Meditaranum* (Md) از نظر تولید دانه اهمیت دارند. این دو زیرگونه دارای تیپ رشدی با انشعاب زیاد و ساقه کوتاه‌اند که به آنها بزرک یا کتان روغنی گفته می‌شود. زیرگونه Md به‌دلیل دارا بودن دانه‌های درشت‌تر بیشتر برای تولید دانه به‌کار می‌رود و زیرگونه Us از نظر تولید فیبر نیز حایز اهمیت است (Sharifnia & Asadi, 2000; Alister & Neil, 2003). برخی منابع ژنتیکی موجود برای بزرک از نظر صفات مختلف بررسی شده است، از جمله Diederichsen (2001) در ارزیابی ژنوتیپ‌های بزرک موجود در بانک ذخایر توارث گیاهی کانادا، تنوع ژنتیکی برای صفات زیر را چنین گزارش کرد: روز تا رسیدگی از ۶۷ تا ۱۱۲ روز، تعداد دانه در کپسول از ۵/۱ تا ۱۰، ارتفاع گیاه از ۲۰ تا ۱۳۰ سانتی‌متر، وزن هزاردانه از ۲/۸۳ تا ۱۱/۵ گرم، مقدار روغن از ۲۶/۹ تا ۴۵/۶ درصد و مقدار اسیدآلفا-لینولنیک از ۳/۹۶ تا ۶۶/۷ درصد.

Saeidi *et al.* (2003) نیز در بررسی تنوع ژنتیکی در ژنوتیپ‌های بومی بزرک دریافتند صفات تعداد گیاهچه در متر مربع، تعداد کپسول و عملکرد دانه در بوته دارای ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی بالایی بودند. نتایج بزرک با کیفیت روغن خوراکی نشان داد که از لحاظ کلیه صفات مورد مطالعه تنوع ژنتیکی زیادی وجود داشت. در دیگر مطالعات نیز تنوع ژنتیکی زیادی برای صفات مختلف در ژرم‌پلاسم بزرک مشاهده شده است (Saeidi, 2001; Mohammadi *et al.*, 2010)، اما در اکثر

خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها با استفاده از ماتریس تفاوت با مقیاس فاصله اقلیدسی و الگوریتم Average linkage صورت گرفت. ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی بین صفات محاسبه شد و تفکیک ضرایب ژنتیکی به اجزا با استفاده از تجزیه ضرایب مسیر انجام گرفت.

توزین دانه‌ها محاسبه شد. تجزیه آماری داده‌های آزمایش به صورت آزمایش آشیانه‌ای و با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت. برای صفاتی که اثر عوامل آزمایشی معنی دار شد، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن (LSR) انجام گرفت. تجزیه

جدول ۱. ژنوتیپ‌های بررسی شده از دو زیرگونه و نواحی مختلف جغرافیایی به همراه کد ژنوتیپ در بانک ژن مؤسسه ژنتیک گیاهی و تحقیقات محصولات زراعی آلمان^S

زیرگونه ناحیه	Us [*] اروپا	Us اروپا	Us آسیا	Md ^{**} آسیا	Md اروپا	Md آمریکا	Md آفریقا	Us آفریقا	Us استرالیا
نروژ ۱۰۰۵	سوئد ۴۳۲	ایران ۱۱	پاکستان ۱۵۷۳	آلمان ۴۷۷	آمریکا ۸۵۶	مراکش ۷۷۸	مصر ۲۷۷	استرالیا ۲۱۶۸	
لهستان ۱۰۲۶	ایتالیا ۵۳۸	ایران ۱۴	ترکیه ۱۲۳۹	پرتغال ۲۱۷	آرژانتین ۱۲۱۲	مراکش ۷۷۹			
مجارستان ۱۰۴۲	یونان ۷۷۶	ایران ۱۵	هند ۱۲۵۷	مجارستان ۱۵۸۴	برزیل ۱۲۲۸	کامرون ۵۷۸			
رومانی ۱۰۹۸	هلند ۷۸۱	ترکیه ۱۲۳۶	قبرس ۶۶۹	ایتالیا ۱۷۹۳	آرژانتین ۱۵۶۶	لیبی ۱۶۸۶			
یونان ۱۱۰۳	هلند ۸۴۲	ایران ۳۷	قبرس ۷۰۶	یونان ۱۱۵۴	کلمبیا ۱۷۷۲				
مجارستان ۱۵۸۵	دانمارک ۲۱۰۷	قبرس ۱۰۲۱	چین ۸۵۷	فرانسه ۱۱۶۷					
فنلاند ۱۴۳۵	بریتانیا ۲۱۴۸	ترکیه ۱۲۴۵	افغانستان ۱۱۳۶						
سوئد ۱۴۸۱	بریتانیا ۲۱۵۳								
لهستان ۱۱۴۹	ایتالیا ۱۷۷۷								
فرانسه ۱۱۶۵									

S: Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, *:Us: Usitatissimum, **:Md: Mediteranum

نتایج و بحث

تنوع ژنتیکی از نظر تعداد کپسول در بوته گزارش شده است (Mohammadi *et al.*, 2010; Saeidi *et al.*, 2003). تنوع بسیار زیاد به دست آمده برای تعداد کپسول در بوته (ضریب تغییرات ۲۷/۷۷ درصد) در بین ژنوتیپ‌ها بیانگر پتانسیل‌های مطلوب ژنتیکی برای این صفت به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه است.

زیرگونه Us با میانگین ۷/۷۱ دانه در کپسول نسبت به Md برتری داشت (جدول ۳). همچنین بین میانگین تعداد دانه در کپسول نواحی مختلف در هر زیرگونه اختلاف معنی داری مشاهده شد و ناحیه آسیا در زیرگونه Us با میانگین ۸/۰۸ بیشترین تعداد دانه در کپسول را داشت (جدول ۴). برای این صفت تنوع معنی داری بین ژنوتیپ‌های داخل هر زیرگونه و در هر ناحیه نیز وجود داشت و ناحیه آفریقا در زیرگونه Md و ناحیه اروپا برای زیرگونه Us بیشترین ضریب تنوع ژنتیکی را به ترتیب با ۷/۹۴ و ۱۰/۲۷ درصد دارا بودند (جدول ۵). در مقایسه ژنوتیپ‌ها، هلند ۷۸۱ بیشترین (۹/۲۲) و افغانستان ۱۱۳۶ کمترین (۵/۴۷) تعداد دانه در کپسول را داشتند. Diederichsen (2001) نیز در ارزیابی ژنوتیپ‌های

نتایج تجزیه واریانس نشان داد میانگین تعداد کپسول در بوته دو زیرگونه اختلاف معنی داری داشتند (جدول ۲) و به طور میانگین ژنوتیپ‌های زیرگونه Us از نظر این صفت نسبت به ژنوتیپ‌های زیرگونه Md برتری نشان دادند (جدول ۳). همچنین بین میانگین نواحی مختلف درون هر زیرگونه از نظر این صفت تفاوت معنی داری وجود داشت (جدول ۲)، به طوری که ژنوتیپ‌های نواحی آفریقا و اروپا در زیرگونه Md به ترتیب با میانگین ۳۶/۷۵ و ۱۹/۸۹ کپسول در بوته بیشترین و کمترین میزان این صفت را دارا بودند (جدول ۴). تنوع معنی داری بین ژنوتیپ‌های درون هر ناحیه نیز برای تعداد کپسول در بوته به دست آمد (جدول ۲)، اما با توجه به میزان ضرایب تنوع ژنتیکی، تنوع نواحی مختلف یکسان نبود (جدول ۵). در زیرگونه Us بیشترین تنوع برای این صفت در ناحیه اروپا و در دامنه ۱۴/۰۲ تا ۴۷/۸۵ به ترتیب برای ژنوتیپ‌های ایتالیا ۵۳۸ و فنلاند ۱۴۳۵ و در زیرگونه Md در ژنوتیپ‌های ناحیه آفریقا از ۲۲/۶۵ در مراکش ۷۷۹ تا ۸۱/۷ کپسول در بوته در لیبی ۱۶۸۶ مشاهده شد (جدول ۵). در مطالعات دیگر نیز

بزرگ، تعداد دانه در کپسول را از ۵/۱ تا ۱۰ دانه در هر کپسول گزارش کرد. ژنوتیپ لیبی ۱۶۸۶ که برتری شایان توجهی از نظر تعداد کپسول در بوته داشت، از نظر این

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات عملکرد دانه و اجزای آن در دو زیرگونه بزرگ در مناطق مختلف جغرافیایی

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد کپسول		تعداد دانه		وزن		میانگین مربعات	
		در بوته	در کپسول	در بوته	در کپسول	هکتولیترا	هکتولیترا	عملکرد دانه	عملکرد دانه
بلوک	۲	۱۱۱۱/۸۷**	۰/۸۰ ^{n.s.}	۰/۳۱*	۰/۰۳*	۰/۰۳*	۰/۰۳*	۸۲۸۱۹/۴*	۰/۸۲ ^{n.s.}
ژنوتیپ	۴۹	۳۳۹/۹۵**	۲/۱۰**	۳/۰۷**	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۲۰۱۳۱۷/۰**	۶۹/۶۸**
زیرگونه	۱	۱۹۰۷/۰۴*	۲۶/۵۲**	۸۸/۷۵**	۰/۰۱ ^{n.s.}	۰/۰۱ ^{n.s.}	۰/۰۱ ^{n.s.}	۳۵۰۰۹۵/۸ ^{n.s.}	۰/۳۴ ^{n.s.}
ناحیه (زیرگونه)	۷	۴۶۴/۹۱**	۲/۳۲ ^{n.s.}	۱/۰۰۱ ^{n.s.}	۰/۰۳ ^{n.s.}	۰/۰۳ ^{n.s.}	۰/۰۳ ^{n.s.}	۵۳۹۷۶۸/۹**	۸۲/۸۲ ^{n.s.}
ژنوتیپ (ناحیه)	۴۱	۲۸۴/۷۹**	۱/۴۹**	۱/۳۲**	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۱۴۹۴۲۴/۴**	۶۹/۴۵**
خطا	۹۸	۱۲۶/۸۴	۰/۴۲	۰/۲۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۳۱۶۶۲/۲	۱۵/۴۱
ضریب تغییرات	-	۲۹/۰۱	۹/۰۸	۱۰/۷۲	۴/۸۶	۴/۸۶	۴/۸۶	۲۶/۵	۱۴/۴۴

n.s. * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین بین دو زیرگونه از نظر صفات عملکرد دانه و اجزای آن

زیرگونه	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	وزن هزاردانه (gr)	وزن هکتولیترا	عملکرد دانه در بوته (gr)	عملکرد دانه در واحد سطح (kg/ha)	شاخص برداشت (%)
Mediterrannum	۲۶/۳ ^b	۶/۷۷ ^b	۵/۵۵ ^a	۰/۶۸ ^a	۰/۹۹ ^a	۶۳۰/۱۴ ^a	۲۷/۴۶ ^a
Usitatissimum	۳۵/۵ ^a	۷/۷۱ ^a	۳/۹۸ ^b	۰/۶۶ ^a	۱/۱۴ ^a	۷۱۱/۵۲ ^a	۲۸/۴۶ ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند.

گزارش کرد و میزان کمتر این صفت مشاهده شده در این مطالعه به نظر می‌رسد ناشی از اثر شرایط نامساعد از نظر خاک و شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک حاکم بر محل آزمایش باشد که کاهش کلی بسیاری از صفات را موجب شده است.

از نظر صفت وزن هکتولیترا تفاوت معنی داری بین دو زیرگونه و همچنین نواحی وجود نداشت (جدول ۲)، ولی بین ژنوتیپ‌های هر ناحیه تنوع معنی داری مشاهده شد و در زیرگونه Us، ناحیه اروپا با داشتن ضریب تنوع ژنتیکی ۶/۶۸ درصد و دامنه تغییرات از ۰/۵۹ (یونان ۱۱۰۳) تا ۰/۸۳ (نروژ ۱۰۰۵) گرم در سی‌سی، نسبت به دیگر نواحی تنوع بیشتری داشت (جدول ۵). در زیرگونه Md برای این صفت بیشترین تنوع در ناحیه آسیا به دست آمد (جدول ۵). تنوع چشمگیری بین کلیه ژنوتیپ‌ها از نظر وزن هکتولیترا وجود داشت و میزان این صفت از ۰/۵۹ تا ۰/۸۳ گرم در سی‌سی متغیر بود که بیشترین آن در نروژ ۱۰۰۵ و کمترین آن در ژنوتیپ‌های قبرس ۶۶۹ و

میانگین وزن هزاردانه نیز در دو زیرگونه متفاوت بود (جدول ۲) و زیرگونه Md با میانگین وزن هزاردانه ۵/۵۵ گرم بر زیرگونه Us برتری داشت (جدول ۳). ژنوتیپ‌های زیرگونه Md دارای کپسول‌های درشت‌تر و سنگین‌ترند و وزن دانه زیاد موجب برتری آنها در تولید دانه می‌شود و اغلب به منظور استفاده از دانه کشت می‌شوند. میانگین وزن هزاردانه ژنوتیپ‌های نواحی مختلف در هر زیرگونه نیز تفاوت معنی داری داشتند و در زیرگونه Us از ۳/۵۷ تا ۴/۲۳ گرم و زیرگونه Md از ۵/۱۳ تا ۵/۸۲ متغیر بودند (جدول ۴). بیشترین تنوع وزن هزاردانه در زیرگونه Us در ناحیه اروپا با ضریب تغییرات ۱۹/۷۷ درصد به دست آمد (جدول ۵). در بین کل ژنوتیپ‌های مورد مطالعه وزن هزاردانه از ضریب تنوع ژنتیکی بالایی (۱۹/۹۱ درصد) برخوردار بود و میزان آن به ترتیب در ژنوتیپ ایتالیا ۵۳۸ و ایتالیا ۱۷۹۳ از ۲/۵ تا ۶/۴ گرم متغیر بود. Diederichsen (2001) برای وزن هزاردانه ژنوتیپ‌های بزرگ تا میزان بیش از ۱۱ گرم را نیز

احتمالاً ژنوتیپ‌هایی از این نظر برتری دارند که دوره پرشدن دانه در آنها با شرایط نامساعد محیطی همزمان نشده است یا توانایی مقابله با این شرایط را داشته‌اند.

یونان ۱۱۰۳ بود. صفت وزن هکتولتر درصد پرشدن بذر را نشان می‌دهد و تفاوت بین ژنوتیپ‌ها قابلیت متفاوت آنها در تولید مواد ذخیره‌ای و پرکردن دانه‌ها است و

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین بین نواحی مختلف درون هر زیرگونه از نظر صفات عملکرد دانه و اجزای آن

زیر گونه	ناحیه	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	وزن هزاردانه (گرم)	وزن هکتولتر (گرم سی‌سی)	عملکرد دانه در بوته (گرم)	عملکرد دانه در واحد سطح (kg/ha)	شاخص برداشت (%)
Md	آفریقا	۳۶/۷۵ ^a	۶/۹۶ ^{bcd}	۵/۶۶ ^a	۰/۶۵ ^a	۱/۲۳ ^a	۸۳۸/۴۳ ^{ab}	۲۹/۸۳ ^a
Md	آمریکا	۲۸/۱۹ ^{ab}	۷/۲۲ ^{abcd}	۵/۱۳ ^{ab}	۰/۶۸ ^a	۱/۱۶ ^a	۶۴۸/۴۰ ^{bc}	۲۷/۹۶ ^a
Md	آسیا	۲۰/۴۳ ^b	۶/۶۱ ^{cd}	۵/۶۰ ^a	۰/۶۶ ^a	۰/۸۱ ^a	۴۹۱/۱۶ ^c	۲۶/۹۶ ^a
Md	اروپا	۱۹/۸۹ ^b	۶/۲۹ ^d	۵/۸۲ ^a	۰/۶۶ ^a	۰/۷۸ ^a	۵۴۲/۵۹ ^{bc}	۲۵/۱۱ ^a
Us	آفریقا	۳۸/۵۴ ^a	۷/۵۴ ^{abc}	۴/۱۶ ^{bc}	۰/۶۲ ^a	۱/۱۸ ^a	۵۴۱/۷۸ ^{bc}	۲۸/۴۶ ^a
Us	آسیا	۳۳/۸۷ ^{ab}	۸/۰۸ ^a	۴/۲۳ ^{bc}	۰/۶۸ ^a	۱/۱۵ ^a	۱۰۴۳/۵۰ ^a	۳۰/۳۲ ^a
Us	اروپا	۳۰/۹۳ ^{ab}	۷/۴ ^{abcd}	۳/۹۵ ^{cd}	۰/۶۹ ^a	۰/۹۴ ^a	۵۹۹/۵۲ ^{bc}	۲۵/۵۳ ^a
Us	اقیانوسیه	۳۸/۶۳ ^a	۷/۸۵ ^{ab}	۳/۵۷ ^d	۰/۶۶ ^a	۱/۲۹ ^a	۶۶۱/۳۰ ^{bc}	۲۹/۵۶ ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Us: *U. usitatissimum*, Md: *M. mediterraneum*.

ژنوتیپ‌های نواحی آفریقا و آمریکا دارای بیشترین تنوع برای این صفت بودند. در مقایسه همه ژنوتیپ‌ها، لیبی ۱۶۸۶ و نروژ ۱۰۰۵ به ترتیب با میانگین عملکرد ۱۴۵۳ و ۱۸۸/۷ کیلوگرم در هکتار بیشترین و کمترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۵). ژنوتیپ لیبی ۱۶۸۶ با بیشترین عملکرد دانه در بوته به همراه ژنوتیپ ایران ۱۴ با میانگین عملکرد ۱۴۱۰/۷ کیلوگرم در هکتار از پتانسیل زیادی برای به‌کارگیری در برنامه‌های اصلاحی برخوردارند. به‌طور کلی نتایج حاکی از وجود تنوع زیاد از نظر عملکرد دانه در واحد سطح به‌عنوان مهم‌ترین صفت اقتصادی در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه است و از این‌رو امکان تولید ژنوتیپ‌های با قابلیت تولید دانه زیاد را فراهم می‌کند. Saeidi (2001) و Khandan & Saeidi (2004) در ارزیابی لاین‌های حاصل از انتخاب در توده‌های بومی بزرک نیز از لحاظ عملکرد دانه و اجزای آن، تنوع ژنتیکی زیادی برای این صفات مشاهده کردند. بین ژنوتیپ‌های هر ناحیه تنوع زیادی از نظر شاخص برداشت وجود داشت، ولی بین میانگین این صفت در دو زیرگونه و همچنین نواحی مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). بیشترین تنوع شاخص برداشت به ژنوتیپ‌های ناحیه آسیا از زیرگونه

دو زیرگونه Us و Md از نظر میانگین عملکرد دانه در بوته و همچنین عملکرد دانه در واحد سطح تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۲)، ولی در هر ناحیه تنوع معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر این صفات وجود داشت و بیشترین تنوع برای عملکرد دانه در بوته در ژنوتیپ‌های ناحیه آفریقا با بیشترین ضریب تنوع ژنتیکی (۵۳/۵۹ درصد) در زیرگونه Md حاصل شد و برای زیرگونه Us در هر دو ناحیه آسیا و اروپا ضریب تنوع ژنتیکی زیاد و به ترتیب برابر ۳۵/۷۲ و ۳۳/۹۷ درصد مشاهده شد (جدول ۵). ژنوتیپ‌های لیبی ۱۶۸۶ با میانگین عملکرد ۹/۰۶ بیشترین و ایتالیا ۵۳۸ با ۰/۳ گرم در بوته کمترین عملکرد دانه در بوته را داشتند. برای عملکرد دانه در واحد سطح نیز ضریب تنوع ژنتیکی زیاد و برابر ۳۵/۷۰ درصد به‌دست آمد. نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه نشان داد تنوع در زیرگونه Us با دامنه ۳۳۰/۹ کیلوگرم در هکتار در قبرس ۱۰۲۱ تا ۱۴۱۰/۷ کیلوگرم در هکتار در ایران ۱۴ بیشتر از زیرگونه Md بود و در بین ژنوتیپ‌های زیرگونه Us بیشترین تنوع و مقدار عملکرد در ژنوتیپ‌های ناحیه آسیا وجود داشت، اگرچه در ناحیه اروپا نیز ضریب تنوع ژنتیکی زیادی برای این صفت به‌دست آمد (جدول ۵) در زیرگونه Md،

برخی از منابع منشأ بزرک را مناطق غرب کشور ما عنوان کرده‌اند. برخی منابع گونه *L. bienne* را که از ناحیه ایران منشأ گرفته است و برخی گونه *L. angostifolium* را که از نواحی مدیترانه منشأ گرفته است، جد بزرک معرفی کرده‌اند (Uysal et al., 2010; Vromans, 2006) و در این مطالعه نیز بیشترین تنوع ژنتیکی برای اکثر صفات مختلف در نواحی آسیا و اروپا مشاهده شد.

Us با ضریب تنوع ژنتیکی ۲۰/۱۹ درصد تعلق داشت و میزان آن از ۲۲/۱۸ درصد در قبرس ۱۰۲۱ تا ۴۱/۲۰ درصد در ژنوتیپ ایران ۳۷ که کمترین ارتفاع بوته (۲۰/۶ سانتی‌متر) را داشت، متغیر بود (جدول ۵). به‌طور کلی در اکثر نواحی مورد بررسی برای کلیه صفات مورد مطالعه تنوع ژنتیکی بسیار زیادی مشاهده شد، گرچه بسته به صفت میزان تنوع در نواحی مختلف یا زیرگونه یکسان نبود. منشأ بزرک به‌طور دقیق مشخص نیست،

جدول ۵. ضریب تغییرات ژنتیکی (CVg) و میانگین ژنوتیپ‌های بزرک در مناطق مختلف جغرافیایی در دو زیرگونه بزرک

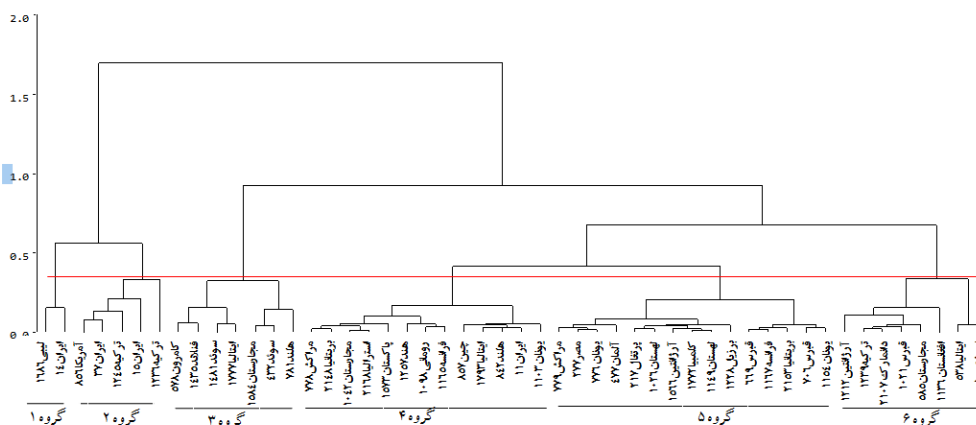
زیرگونه ناحیه	Mediterrannum					Uisitissimum	
	آسیا	اروپا	آمریکا	آسیا	اروپا	اروپا	آسیا
تعداد کمترین	۲۲/۶۵	۱۴/۴۳	۲۲/۰۶	۲۲/۷۱	۱۴/۰۲	۵۳۸	۱۴/۰۲
بیشترین	۸۱/۷۳	۲۶/۴۲	۱۲۲۸	۱۲۴۵	۴۷/۸۵	۱۴۳۵	۴۷/۸۵
CVg(%)	۱۶/۸۷	-	۱۵/۰۱	۱۲/۲۸	۲۷/۷۷	۲۰/۰۶	۲۷/۷۷
تعداد کمترین	۵/۹۶	۵/۴۷	۶/۸۶	۷/۵۲	۶/۰۱	۱۱۴۹	۶/۰۱
بیشترین	۸/۶۱	۷/۱۱۴	۷/۶۹	۸/۷۰	۹/۲۲	۷۸۱	۹/۲۲
CVg(%)	۷/۹۴	۶/۳۵	-	۲/۴۸	۱۰/۴۱	۱۰/۲۷	۱۰/۴۱
وزن کمترین	۴/۹۳	۴/۸۲	۴/۵۹	۳/۲۱	۲/۵۷	۵۳۸	۲/۵۷
بیشترین	۶/۱۵	۶/۱۰	۵/۵۸	۴/۸۵	۵/۲۷	۷۷۶	۵/۲۷
CVg(%)	۱/۳۴	۶/۸۴	۵/۰۹	۱۱/۸۵	۱۹/۹۱	۱۹/۷۷	۱۹/۹۱
وزن کمترین	۵/۷۸	۰/۶۲	۰/۶۴	۰/۶۵	۰/۵۹	۱۱۰۳	۰/۵۹
بیشترین	۱۶/۸۶	۰/۶۶	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۸۳	۱۰۰۵	۰/۸۳
CVg(%)	۱/۳۴	۵/۸۸	۱/۴۹	۲/۵۲	۴/۷۱	۶/۶۸	۴/۷۱
عملکرد کمترین	۰/۶۶	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۳۰	۵۳۸	۰/۳۰
بیشترین	۲/۵۳	۱/۰۴	۱/۱۰	۲/۰۶	۲/۰۴	۱۴۳۵	۲/۰۴
CVg(%)	۵۳/۵۹	۱۶/۹۷	۱۸/۱۷	۳۵/۷۲	۳۲/۲۶	۳۳/۹۷	۳۲/۲۶
عملکرد کمترین	۵۴/۱۲	۲۸۸/۲۵	۴۲۶/۷	۳۳۰/۹	۱۸۸/۷	۱۰۰۵	۱۸۸/۷
بیشترین	۱۴۵۳	۶۹۳/۵۵	۷۸۶/۸	۱۲۴۰/۹	۹۶۴/۵	۱۴۳۵	۹۶۴/۵
CVg(%)	۵/۷۸	۲۰/۰۵	۱۱/۴۴	۳۹/۸	۳۵/۷۰	۲۹/۷	۲۹/۷
ناخص واحد سطح	۲۶/۹۳	۱۵/۶۴	۲۰/۰۷	۲۲/۱۸	۱۷/۰۵	۱۰۰۵	۱۷/۰۵
بیشترین	۳۶/۹۹	۳۲/۴۴	۳۱/۰۱	۳۷	۳۳/۵۳	۴۳۲	۳۳/۵۳
CVg(%)	۱۴/۲۷	۱۸/۶	۱۲/۴۵	۲۰/۱۹	۱۵/۲۴	۲۰/۱۹	۱۵/۲۴

براساس نتایج مقایسه میانگین گروه‌ها، گروه اول بیشترین تعداد کپسول در بوته را با تفاوت معنی‌دار با دیگر گروه‌ها دارا بود و به‌همراه گروه‌های ۲ و ۳ از نظر میانگین عملکرد دانه در بوته و تعداد دانه در کپسول، گروه‌های برتر شناسایی شدند. ژنوتیپ‌های گروه ۳ نسبت به افراد گروه‌های ۱ و ۲ از نظر تعداد کپسول در بوته از میانگین کمتری برخوردار بودند و در گروه‌های ۵ و ۶ ژنوتیپ‌هایی قرار داشتند که تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و عملکرد دانه در بوته کمتری داشتند. میانگین وزن هکتولیترا و وزن هزاردانه بین

به‌منظور تعیین قرابت ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، گروه‌بندی آنها براساس تمام صفات مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم Average Linkage و ماتریس تفاوت براساس فاصله اقلیدسی انجام گرفت (شکل ۱). برش دندروگرام در نقطه‌ای که بیشترین فاصله را در بین گروه‌ها ایجاد کند و براساس آزمون T2 کاذب هتلینگ صورت گرفت و ژنوتیپ‌های مورد بررسی در ضریب تفاوت حدود ۰/۳۴ به شش گروه تفکیک شدند. گروه اول، دو ژنوتیپ و گروه‌های بعدی به ترتیب پنج، هفت، سیزده، پانزده و هشت ژنوتیپ را شامل شدند (شکل ۱).

شبه‌قاره هند، آفریقا، خاور نزدیک و مدیترانه (اروپا) با استفاده از نشانگر RAPD مشاهده کرد که ژنوتیپ‌های شبه‌قاره هند از ژنوتیپ‌های مناطق دیگر متمایز بودند، اما در این تحقیق و براساس مورد مطالعه، ژنوتیپ‌های هر منطقه در گروه‌های مختلف قرار داشتند که بیانگر تنوع ژنتیکی در هر منطقه جغرافیایی و عدم تمرکز منابع ژنتیکی با ویژگی خاص در هر ناحیه است. از این رو به‌منظور طراحی برنامه به‌نژادی برای گیاه و در یک منطقه، احتمالاً امکان دسترسی به منابع ژنتیکی با قابلیت‌های مورد نظر و سازگار با همان شرایط وجود دارد.

گروه‌ها متفاوت نبود، ولی از نظر عملکرد دانه در واحد سطح کلیه گروه‌ها از یکدیگر متمایز و بیشترین مقدار آن متعلق به گروه یک بود. در گروه یک، ژنوتیپ‌های لیبی ۱۶۸۶ و ایران ۱۴ قرار داشتند و برتری چشمگیری از نظر اکثر اجزای عملکرد دانه نشان دادند و در برنامه‌های به‌نژادی با هدف افزایش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گروه‌های ۱، ۲ و ۳ حائز اهمیت‌اند. با توجه به شکل ۱، نتایج گروه‌بندی حاکی از نبود تمایز خاص بین ژنوتیپ‌های مناطق مختلف بود. Fu (2005) در بررسی ژنوتیپ‌های بزرک موجود در مراکز بزرک شامل



شکل ۱. نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های بزرک مورد مطالعه با استفاده از روش میانگین همبستگی (Average Linkage)

داشت (جدول ۶) و سهم زیاد عوامل محیطی در روابط آنها را نشان می‌دهد. بین وزن هزاردانه با عملکرد دانه در بوته و عملکرد دانه در واحد سطح همبستگی دیده نشد. شناسایی روابط علت و معلولی بین صفاتی که در بهبود عملکرد تأثیر اساسی دارند از اهمیت خاصی برخوردار است، در نتیجه از تجزیه ضرایب مسیر (علیت) برای تفکیک ضرایب همبستگی ژنتیکی به تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر عملکرد دانه در بوته استفاده شد و نتایج جدول ۷ نشان داد که تعداد کپسول در بوته و وزن هزاردانه بیشترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد دانه در بوته داشتند، ولی تعداد کپسول در بوته از طریق وزن هزاردانه اثر غیرمستقیم منفی زیادی بر این صفت داشت. Saeidi *et al.* (2003) نیز گزارش کردند تعداد کپسول در بوته بیشترین اثر مستقیم و همچنین تأثیرات غیرمستقیم را از طریق دیگر صفات بر عملکرد دانه در بوته داشت. گرچه وزن هزاردانه تأثیر

در بررسی روابط بین عملکرد دانه در بوته و اجزای آن، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول بیشترین ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۳۸ را با عملکرد دانه در بوته داشتند (جدول ۶) که با نتایج دیگر مطالعات مبنی بر همبستگی قوی بین عملکرد دانه در بوته و تعداد کپسول در بوته در بزرک مطابقت دارد (Matho & Matho, 1998; Copur *et al.*, 2006). مقادیر ضرایب همبستگی ژنتیکی بین عملکرد دانه در بوته و صفات تعداد کپسول در بوته، وزن هزاردانه و تعداد دانه در کپسول به ترتیب برابر ۰/۸۶، ۰/۱۹ و ۰/۴۷ بود (جدول ۶) که با مقادیر ضرایب همبستگی فنوتیپی بین این صفات تفاوت چندانی نداشت که نشان می‌دهد عوامل محیطی تأثیر زیادی بر روابط آنها نداشته است. عملکرد دانه در واحد سطح همبستگی قوی با عملکرد دانه در بوته داشت ($r=0/68$) که با ضرایب همبستگی ژنتیکی بین آنها تفاوت زیادی

مستقیم زیادی بر عملکرد دانه در بوته داشت، تأثیرات غیرمستقیم منفی آن از طریق تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول موجب کاهش ضریب همبستگی این صفت با عملکرد دانه شد (جدول ۷). با توجه به همبستگی قوی ژنتیکی بین عملکرد دانه در بوته می‌توان در انتخاب به‌منظور بهبود این صفت از طریق انتخاب غیرمستقیم بهره برد، اما با توجه به تأثیرات غیرمستقیم منفی آن از طریق وزن هزاردانه در انتخاب ژنوتیپ‌ها باید دقت داشت تا در جمعیت انتخابی میانگین وزن هزاردانه کاهش نیابد.

جدول ۶. ضرایب همبستگی فنوتیپی (زیر قطر) و ژنتیکی (بالای قطر) بین صفات عملکرد دانه و اجزای آن

صفات	تعداد دانه در کپسول	تعداد کپسول در بوته	وزن هزاردانه	وزن هکتولیتتر	عملکرد دانه در بوته	عملکرد دانه در واحد سطح	شاخص برداشت
تعداد دانه در کپسول	۱	۰/۶۳	-۰/۶۴	۰/۲۱	۰/۴۷	۰/۵۵	۰/۵۰
تعداد کپسول در بوته	۰/۴۰**	۱	-۰/۲۵	-۰/۳۸	۰/۸۶	۰/۷۹	۰/۶۲
وزن هزاردانه	-۰/۵۲**	-۰/۱۶	۱	-۰/۵۸	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۲۴
وزن هکتولیتتر	۰/۲۸*	-۰/۲۵	-۰/۵۰**	۱	-۰/۵۲	-۰/۳۲	-۰/۳۸
عملکرد دانه در بوته	۰/۳۸**	۰/۸۱**	۰/۱۰	-۰/۲۶*	۱	۰/۹۱	۰/۷۸
عملکرد دانه واحد سطح	۰/۵۰**	۰/۵۷**	۰/۰۵	-۰/۱۶	۰/۶۸**	۱	۰/۸۱
شاخص برداشت	۰/۴۸**	۰/۴۱**	۰/۲۲	-۰/۱۱	۰/۶۲**	۰/۵۷**	۱

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۷. نتایج تجزیه ضرایب مسیر عملکرد دانه در بوته روی اجزای آن در بزرگ

صفات	مستقیم	اثر غیرمستقیم از طریق					ضریب همبستگی ژنتیکی با عملکرد دانه در بوته
		X5	X4	X3	X2	X1	
تعداد کپسول در بوته (x1)	۱/۰۲	-	۰/۳۸	-۰/۲۶	-۰/۰۸	-۰/۱۹	۰/۸۶
تعداد دانه در کپسول (x2)	۰/۶۰	۰/۶۴	-	-۰/۶۶	۰/۰۴	-۰/۱۶	۰/۴۷
وزن هزاردانه (x3)	۱/۰۳	-۰/۲۵	-۰/۳۸	-	-۰/۱۳	-۰/۰۷	۰/۱۹
وزن هکتولیتتر (x4)	۰/۲۲	-۰/۳۸	-۰/۱۲	-۰/۶۰	-	۰/۱۲	-۰/۵۲
شاخص برداشت (x5)	-۰/۳۱	۰/۶۳	۰/۳۰	۰/۲۵	-۰/۰۸	-	۰/۷۸
باقی‌مانده	۰/۰۷۵						

REFERENCES

1. Alistar, D. M. & Neil, D. W. (2003). *FLAX, The genus linum*, London, UK.
2. Copur, O., Gur, M. A., Karakus, M. & Demirel, U. (2006) Determination of correlation and path analysis among yield components and seed yield in oil flax varieties (*Linum usitatissimum* L.). *Journal Biological Sciences*, 6, 738-743.
3. Diederichsen, A. (2001). Comparison of genetic diversity of flax (*Linum usitatissimum* L.) between Canadian cultivars and a world collection. *Plant Breeding*, 120, 360-362.
4. Fu, Y. B. (2005). Geographic Patterns of RAPD Variation in Cultivated Flax. *Crop Science*, 45, 1084-1091.
5. Ghareyazi, B. (1996). The use of DNA markers in plant breeding. In: Proceedings of key Articles at 4th Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding. 25-28 Aug. Isfahan University of Technology. Isfahan.
6. Green, A.G. (1986). Genetic control of polyunsaturated fatty acid biosynthesis in flax (*Linum usitatissimum*) seed oil. *Theoretical and Applied Genetics*, 72, 654-661.
7. Khandan, A. & Saeidi G. (2004). Evaluation of agronomic characteristics, genetic diversity and relationships among the traits of the lines derived from landraces of flax in Isfahan, *Iranian Journal of Agriculture*, 35, 155-166. (In Farsi)
8. Matho, R. N. & Matho, J. L. (1998). Variability, correlation and path coefficient analysis in linseed. *Jornal of Research, Birsa Agricultural University*, 10, 25-29.
9. Mohammadi, A. A., Saeidi, G. & Arzani A. (2010). Genetic analysis of some agronomic traits in flax (*Linum usitatissimum* L.), *Australian Journal of Crop Science*, 4(5), 343-352.

10. Rowland, G.G. (1991). An EMS-induced low linolenic acid mutant in McGregor flax (*Linum usitatissimum* L.). *Canadian Journal plant Sciences*, 71, 393-396.
11. Saadat Lajvardi, N. (1980). *Oil Seeds*. Tehran University Press. Tehran.
12. Saeidi, G. & Khodambashi, M. (2006). Evaluation of agronomic traits of edible oil genotypes of flax at two seeding dates in Shahrekord, *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 4, 321-309. (In Farsi)
13. Saeidi, G. (2001). Genetic variation for seed yield and other agronomic characteristics of flax genotypes with edible and industrial oil in Isfahan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 4, 107-119. (In Farsi)
14. Saeidi, G., Abbasi, Z. & Mirlohi, A. F. (2003). Genetic variation, heritability and relationships relation among agronomic traits in brown and yellow-seeded genotypes of flax. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 1, 99-114. (In Farsi)
15. Shahidi, F. (2005). *Bailey's industrial oil and fats products*. (6th ed). New Jersey: Wiley and Sons. U.S.A.
16. Sharifnia, F. & Asadi M. (2000). *Iranian flora*. Linaceae family. Research Institute of Forest and Rangelands Publications. Tehran. (In Farsi)
17. Sosulski, F. W. & Gore, R. F. (1964). The effect of photoperiod and temperature on the characteristic of flaxseed oil. *Journal of Plant Sciences*, 44, 381-382.
18. Uysal, H., Fu, Y. B., Kurt, O., Peterson, G., Diederichsen, A. & Kusters, P. (2010). Genetic diversity of cultivated flax (*Linum usitatissimum* L.) and its wild progenitor pale flax (*Linum bienne* Mill.) as revealed by ISSR markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57, 1109-1119.
19. Vromans, G. (2006). *Molecular genetic studies in flax (Linum usitatissimum L.)*. Ph.D. thesis, Wageningen University, Netherland.