

ارزیابی تنوع ژنتیکی و روابط صفات زراعی در ژنوتیپ های سویا تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی

Evaluation of genetic variation and relationships of agronomic traits in soybean genotypes under normal irrigation and water deficit stress

سیدعلی پیغمبری^{۱*}، حمید رضا بابایی^۲ و هادی علی پور^۳

۱. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی دانشگاه تهران-کرج. (نگارنده مسئول)
۲. بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۳. استادیار گروه اصلاح و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۲

چکیده

پیغمبری، س.ع.، بابایی، ح.ر. و علی پور، ه. ارزیابی تنوع ژنتیکی و روابط صفات زراعی در ژنوتیپ های سویا تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۰ - شماره ۳ - پایبند ۱۱۶ پائیز ۹۶: ۱۰۰-۸۲

ارزیابی تنوع ژنتیکی و شناسایی ژنوتیپ هایی با پتانسل عملکردی بالا و متحمل به تنش های محیطی می تواند در پیشبرد برنامه های به نژادی آتی بسیار ارزشمند باشد. بنابراین به منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی و تحمل به تنش کم آبی، تعداد ۴۰ ژنوتیپ متوسط رس سویا از گروه رسیدن III و IV انتخاب و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی در مزرعه تحقیقاتی بخش دانه های روغنی مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر در سال زراعی ۱۳۹۳ کشت شدند. تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی، صفات عملکرد دانه، تعداد دانه در بوته و تعداد شاخه های فرعی نه تنها ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنتیکی بالایی نشان دادند، بلکه توارث پذیری و پیشرفت ژنتیکی بالایی نیز داشتند. براساس نتایج نمودار بای پلات، ژنوتیپ های L6- DI-74 و D42.I9, Spry×Savoy/3, D42.I4, D42×Will82, Chaleston×Mostang/12, P79 مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی مقادیر بالایی نشان دادند که می توان از آنها به عنوان ژنوتیپ های با عملکرد بالا تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی یاد کرد. البته ژنوتیپ های D42×Will82 و Chaleston×Mostang/12 با وجود اینکه تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی عملکرد بالایی نشان دادند، ولی کاهش عملکرد نسبتاً بالایی تحت شرایط تنش کم آبی داشتند. بنابراین با وجود حساسیت نسبی این ژنوتیپ ها به تنش کم آبی، می توان از آنها برای کشت در مناطقی که امکان وقوع تنش کم آبی نیز وجود دارد، استفاده نمود.

واژه های کلیدی: تنش کم آبی، تنوع ژنتیکی، صفات فنولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: alipey@ut.ac.ir

مقدمه

سویا (*Glycine max* L.) یکی از منابع عمده روغن نباتی و پروتئین گیاهی در دنیا محسوب می‌شود که تحت تأثیر عوامل محیطی و ژنوتیپ گیاه دارای ۱۸-۲۲ درصد روغن و ۴۰-۵۰ درصد پروتئین است (Smith & Huyser, 1987). سویا همچنین مهم‌ترین لگوم دانه‌ای جهان بشمار می‌رود که در میان گیاهان روغنی رتبه دوم را از نظر تولید و سطح زیر کشت به خود اختصاص داده و سهم آن در تولید روغن در سال ۲۰۱۴ میلادی نزدیک به ۶۰ درصد کل تولید جهانی بوده است (FAO, 2014). با وجود اینکه تقاضا برای سویا افزایش یافته است، اما بهبود ژنتیکی برای سویاهای زراعی به شدت محدود بوده و عوامل مختلفی مانند حساسیت به آفات و بیماری‌ها و تنش‌های مختلف محیطی و غیره باعث محدود شدن عملکرد دانه در سویا شده است. برای غلبه بر این محدودیت‌ها لازم است منابع ژرم پلاسِم مختلف ارزیابی و صفات مطلوب در آنها شناسایی شود تا بتوان از این منابع ارزشمند در راستای بهبود عملکرد در سویا بهره‌مند شد (Moe & Girdthai, 2013).

تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک است؛ که در دو دهه اخیر باعث کاهش محسوس در میزان عملکرد گیاهان زراعی مانند سویا شده است. سویا در طول دوره رشد خود برای رسیدن به عملکرد بالقوه، بسته به ژنوتیپ‌ها، حدود ۷۰۰mm- ۴۵۰ آب استفاده می‌کند (Silvente et al., 2012)، و از گیاهان حساس به تنش خشکی،

به خصوص در دوره بحرانی رشد است (Liu et al., 2007). کشور ایران با متوسط نزولات آسمانی ۲۴۰ میلی‌متر در زمره مناطق خشک و نیمه خشک طبقه‌بندی می‌گردد. در ایران میزان کم نزولات آسمانی از یک طرف و پراکنش نامنظم آن و درجه حرارت‌های بالا از طرف دیگر موجب تشدید تأثیر تنش کم‌آبی در طول دوره رشد گیاهان زراعی شده و در نهایت باعث کاهش تولید محصولات زراعی می‌شود (Zeynali-Khanghah et al., 2004). براساس نتایج پژوهش‌های انجام شده، مراحل گل‌دهی و غلاف‌دهی از حساس‌ترین مراحل رشد گیاه سویا به تنش کم‌آبی شناخته شده است (Board, 2002 Desclaux et al., 2000)، چرا که در این مراحل تنش باعث کاهش معنی‌دار عملکرد سویا می‌شود که بیشتر ناشی از کاهش تعداد غلاف می‌باشد و در مرحله گل‌دهی علاوه بر کاهش وزن خشک گیاه، کاهش اجزای زایشی و در نهایت تعداد دانه را در پی خواهد داشت (Aminifar et al., 2012). از طرفی دیگر تنش کم‌آبی در مرحله گل‌دهی و غلاف‌دهی باعث افزایش گل‌ها و غلاف‌های تکامل نیافته شده (Osborne et al., 2002) و در طول دوره پر شدن دانه باعث کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه شده و باعث کاهش اندازه نهایی دانه می‌شود که در نهایت باعث کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه (از ۳۲ تا ۴۲ درصد) می‌شود (Vieira et al., 1992). Boyer et al. (1980) نشان دادند که کمبود آب باعث کاهش طول دوره رویشی و فاز گلدهی شده و در نهایت باعث کاهش عملکرد می‌شود. در

که ژنوتیپ‌های دیررس عملکرد بالاتری در مقایسه با ژنوتیپ‌های زودرس دارند و تعداد دانه و تعداد غلاف در ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها است. بسیاری از محققان ژنوتیپ‌هایی را که در هر دو شرایط کم آبی و آبیاری مناسب عملکرد بهتری داشته باشند، به عنوان ژنوتیپ‌های مناسب جهت کشت در مناطقی با مشکل کم آبی، معرفی می‌نمایند. علاوه بر این شناسایی صفاتی که در ژنوتیپ‌های متحمل باعث افزایش عملکرد شوند، می‌تواند در کارهای اصلاحی برای تولید لاین‌های متحمل به کم آبی مورد استفاده قرار گیرند. در این پژوهش به منظور شناسایی صفات مرتبط با عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی و ارزیابی تنوع ژنتیکی و تحمل به تنش کم آبی در ژنوتیپ‌های سویا و استفاده از آنها در برنامه‌های اصلاحی بعدی، ۴۰ ژنوتیپ از کلکسیون سویا بخش دانه‌های روغنی مؤسسه تحقیقات نهال و بذر کرج انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی و بررسی تحمل به تنش کم آبی، ۴۰ ژنوتیپ متوسط رس سویا از گروه رسیدن III و IV (جدول ۱) انتخاب و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی در مزرعه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۹۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۶۰ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا واقع در کرج در

مطالعه‌ای دیگر Krivosudská & Filová (2013) نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش طول دوره پر شدن دانه می‌شود. در تنش‌های کم آبی رادیکال‌های آزاد تولید می‌شوند که با دخالت و تغییر در فرایندهای بیولوژیک و تبدیل آنها به فرایندهای غیرقابل کنترل، سبب تولید سلول‌های تخصصی جدید و خسارت به بخش‌های مختلف سلول (DNA، پروتئین‌ها و لیپیدها) شده و در نهایت میزان فتوسنتز را کاهش می‌دهند. گیاهان نیز در مواجهه با عوامل تنش‌زا اقدام به فعال‌سازی مکانیسم‌های دفاعی مختلفی مانند تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌نمایند (Goupta & Kumar, 2003).

اقلیم نیمه خشک کشور و قرار گرفتن سویا در الگوی زراعی به عنوان کشت دوم باعث شده است که برخی از مراحل زایشی گیاه در معرض تنش‌های کم آبی قرار گرفته و موجب کاهش عملکرد گردد (Masoumi et al., 2010). اخیراً تلاش‌ها در خصوص افزایش عملکرد سویا در شرایط تنش، به شناسایی ژنوتیپ‌هایی معطوف شده است که در شرایط تنش، افت عملکرد کمتری داشته و در شرایط آبی نیز از عملکرد قابل قبولی برخوردار باشند (Daneshian et al., 2009). تجزیه اجزای عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی می‌تواند به شناسایی صفات موثر در عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی با هدفمند کردن گزینش‌ها باعث بهبود عملکرد شود (Kobrace et al., 2010). Liu et al. (2005) در بررسی ۱۶ ژنوتیپ سویا در سه گروه رسیدگی در دو منطقه و سال نشان دادند

جدول ۱- لیست ژنوتیپ‌های سویا مورد بررسی تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی

Table 1- List of investigated soybean genotypes under normal and water deficit stress

Entry No.	Genotype	Entry No.	Genotype	Entry No.	Genotype	Entry No.	Genotype
1	GN 2172	11	GN 2165	21	GN 3071	31	Chaleston×Mostang/12
2	GN 2002	12	GN 2095	22	GN 3074	32	Spry×Nemaha/3
3	GN 2130	13	GN 2087	23	GN 3070	33	Spry×Nemaha/8
4	GN 2171	14	GN 2040	24	GN 3065	34	Spry×Savoy/2
5	GN 2167	15	GN 2046	25	GN 3025	35	Spry×Savoy/3
6	GN 2166	16	GN 2015	26	GN 3027	36	L6-P79
7	GN 2157	17	GN 2032	27	Liana×L32/2	37	DI74
8	GN 2156	18	GN 2011	28	Hacheston×L16/16	38	D42.19
9	GN 2152	19	GN 2034	29	Liana×L32/3	39	D42.14
10	GN 2125	20	GN 2003	30	Stressland × NMSB/3	40	D42×Will 82

جدول ۲- خصوصیات اقلیمی محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۹۳

Table 2- Meteorological information of experimental site in 2014

Month	Maximum wind speed (km/h)	Average of dry weather temperature (°C)	Average of maximum temperature (°C)	Average of minimum temperature (°C)	Rainfall (mm)	
ماه	حداکثر سرعت باد	متوسط دمای هوای خشک	متوسط حداکثر دما	متوسط حداقل دما	بارندگی	
Farvardin	21 March- 20 April	13	14.44	19.52	5.95	10.70
Ordibehesht	21 April- 21 May	17	22.52	27.61	14.06	12.00
Khordad	22 May- 21 June	19	26.49	31.85	16.66	21.50
Fir	22 June- 22 July	12	30.89	36.79	20.84	0.00
Mordad	23 July- 22 August	10	30.30	36.48	20.40	0.00
Shahrivar	23 August - 22 September	11	26.32	33.53	18.15	0.00
Mehr	23 September - 22 October	14	17.82	24.66	11.51	12.80
Aban	23 October - 21 November	10	9.35	14.88	4.52	23.90
Azar	22 November - 21 December	10	5.99	10.48	2.46	31.40
Jay	22 December - 20 January	11	5.22	10.30	0.16	7.60
Bahman	21 January - 19 February	11	7.15	12.32	2.23	19.40
Esfand	20 February - 20 March	13	6.43	12.79	0.74	19.60

شد. در مراحل داشت، برای مبارزه با علف‌های هرز، وجین دستی صورت گرفت. دور آبیاری بر اساس تخلیه رطوبت نسبی خاک توسط دستگاه رطوبت سنج TDR تنظیم گردید که برای سطح آبیاری نرمال بر اساس ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک و برای تنش کم آبی آبیاری بر اساس ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک صورت گرفت. در طول دوره رشد، مراحل فنولوژیک مهم (R1-R8) (مطابق با استانداردهای مربوط) اندازه‌گیری شدند. عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نیز با توجه به روش‌های استاندارد عنوان شده در پژوهش‌های پیشین اندازه‌گیری شدند. از بذر جمع‌آوری شده مربوط به عملکرد دانه

سال زراعی ۱۳۹۳ کشت شدند که پارامترهای هواشناسی ایستگاه محل آزمایش در جدول ۲ آمده است. پس از آماده‌سازی زمین زراعی، جهت انجام آزمون خاک یک نمونه مرکب از خاک تهیه و برای انجام تجزیه فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل گردید که نتایج حاصل از آزمایش خاک در جدول ۳ خلاصه شده است. کاشت بذر به صورت دستی و طوری انجام شد که هر کرت آزمایشی شامل چهار خط به طول ۳ متر و با فاصله خطوط ۵۰ سانتی متری با عمق حدود ۵ سانتی متر و فاصله بذور بر روی خطوط ۲۵ سانتی متر در نظر گرفته

در روابط بالا V_p واریانس فنوتیپی، V_G واریانس ژنتیکی، σ_e^2 واریانس اشتباه آزمایشی، \bar{x}_{∞} میانگین صفت، K شدت گزینش (در سطح احتمال ۵ درصد برابر ۲/۰۶) و r تعداد تکرار است.

پس از آزمون نرمال بودن خطاها، یکنواختی واریانس ها و افزایشی بودن اثر تیمار و محیط، تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 انجام شد. تجزیه به مؤلفه های اصلی با استفاده از نرم افزار SPSS 21 و برای ترسیم نمودارهای بای پلات از نرم افزار Statgraphics 16 استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تحت شرایط آبیاری نرمال، بین ژنوتیپ های مورد بررسی از نظر صفت تعداد روز تا شروع غلاف دهی (R3) اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و

هر کرت آزمایشی حدود سه گرم بذر به طور تصادفی جدا و با استفاده از دستگاه اینفراماتیک (Falling Number Infermatic, 8100) (Sweedeen) میزان روغن و پروتئین دانه های هر واحد آزمایشی اندازه گیری شدند.

برآورد واریانس محیطی و ژنتیکی براساس امید ریاضی میانگین مربعات انجام شد. ضریب تنوع فنوتیپی، ضریب تنوع ژنتیکی و توارث پذیری عمومی هر صفت از روابط زیر محاسبه شد:

$$\%PCV = \frac{\sqrt{V_p}}{\bar{X}_{\infty}} \times 100 \quad \text{ضریب تغییرات فنوتیپی:}$$

$$\%GCV = \frac{\sqrt{V_G}}{\bar{X}_{\infty}} \times 100 \quad \text{ضریب تغییرات ژنتیکی:}$$

$$\%h_b^r = \frac{V_G}{V_G + \frac{\sigma_e^2}{r}} \times 100 \quad \text{توارث پذیری عمومی:}$$

$$GA = K \times h_b^r \times \sqrt{V_p} \quad \text{پیشرفت ژنتیکی:}$$

$$GAM = \sqrt{\frac{GA}{\bar{x}_{\infty}}} \times 100 \quad \text{درصد پیشرفت ژنتیکی نسبت به میانگین:}$$

جدول ۳- نتایج تجزیه خاک در محل اجرای آزمایش در سال ۱۳۹۳

Table 3- Soil analysis in the experimented place in 2014

Characteristics	مشخصات	Sampling soil depth (cm)	
		عمق نمونه برداری خاک	
		0-30	30-60
Electrical conductivity (ds.m-1)	هدایت الکتریکی	1.39	1.19
pH	pH	7.30	7.10
Total Neutralizing Value (%)	ارزش مواد آهکی	8.19	8.38
Saturated water content (%)	محتوی آب استاندارد شده	36	38
Organic Carbon (%)	کربن آلی	0.87	0.97
Total Nitrogen (%)	نیتروژن کل	0.09	0.04
Absorbable Phosphate (mg/kg)	فسفر قابل جذب	14.70	15.6
Absorbable Potassium (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب	171	139
Clay (%)	درصد رس	31	26
Silt (%)	درصد سیلت	44	45
Sand (%)	درصد شن	25	29
Soil texture	بافت خاک	Clay Loam	Clay Loam

زودرس و در عین حال با طول دوره پر شدن دانه و طول دوره زایشی بیشتر به منظور معرفی ارقامی که در شرایط تنش کم آبی عملکرد بالاتری داشته باشند، استفاده نمود. تحت شرایط آبیاری نرمال، صفات عملکرد دانه، تعداد دانه در بوته، تعداد شاخه‌های فرعی و ارتفاع بوته، ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنتیکی بالایی نشان دادند که حاکی از وجود تنوع بالا برای این صفات است که می‌توان از این تنوع موجود برای گزینش مستقیم و غیر مستقیم در راستای بهبود عملکرد دانه استفاده نمود (جداول ۴ و ۵). همچنین از آنجایی که مقادیر توارث‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی برای صفات عملکرد دانه و صفات مهم مرتبط با عملکرد دانه شامل تعداد دانه در بوته بالا بود، می‌توان از گزینش مستقیم برای عملکرد دانه یا گزینش برای تعداد دانه در بوته در راستای بهبود عملکرد دانه بهره‌مند شد. تحت شرایط تنش کم آبی نیز صفات عملکرد دانه، تعداد دانه در بوته، تعداد شاخه‌های فرعی نه تنها ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنتیکی بالایی داشتند، بلکه از نظر توارث‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی نیز مقادیر بالاتری را نشان دادند که می‌توان با گزینش مستقیم و غیر مستقیم برای این صفات، ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا تحت شرایط تنش کم آبی را گزینش نمود (جداول ۶ و ۷). از آنجایی که سویا گیاه خودگشنی می‌باشد بنابراین می‌توان مقادیر ارزش‌های مشاهده شده را در نسل‌های بعدی نیز به راحتی مشاهده نمود. بررسی اثرات تنش کم آبی روی صفات اندازه‌گیری شده در ۴۰ ژنوتیپ سویا نشان داد که بیشترین آسیب ناشی از تنش

از نظر صفات تعداد روز تا پر شدن دانه (R5)، تعداد روز تا پر شدن کامل دانه (R6)، طول دوره‌ی پر شدن دانه (R6-5)، تعداد روز تا شروع رسیدن (R7) و طول دوره‌ی زایشی (R7-1) اختلافات معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده شد (جدول ۴). از نظر صفات عملکرد و اجزای عملکردی و صفات فیزیولوژیک نیز به غیر از صفت محتوای نسبی آب (RWC)، از نظر سایر صفات مورد بررسی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلافات معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۵). تجزیه واریانس صفات مورد بررسی تحت شرایط تنش کم آبی نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر تمامی صفات به غیر از صفات وزن هزار دانه و محتوای نسبی آب اختلاف معنی‌داری وجود دارد که بیانگر وجود تنوع بالا بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر صفات مختلف است (جداول ۶ و ۷). برای تعیین دقیق‌تر میزان تنوع موجود در صفات مورد مطالعه، ضرایب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی نیز محاسبه شد. از نظر صفات فیزیولوژیک تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی، صفات طول دوره پر شدن دانه و طول دوره زایشی ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنتیکی نسبتاً بالایی را نشان دادند که بیانگر وجود تنوع بالا برای این صفات است (جداول ۴، ۵، ۶ و ۷). مسلماً هر چه تنوع موجود در صفات بیشتر باشد انتخاب مؤثرتر خواهد بود (Falconer, 1989). از طرف دیگر با توجه به اینکه توارث‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی برای صفات طول دوره پر شدن دانه و طول دوره زایشی بالا بود؛ بنابراین می‌توان با گزینش مستقیم این صفات برای تولید ارقام

کاهش اندازه بذرها شده و در نهایت باعث کاهش عملکرد دانه می شود. Mahlooji *et al.* (2000) و Yahoian *et al.* (2010) نیز به اثرات ناشی از تنش کم آبی در مرحله زایشی و به تبع آن کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه تاکید دارند. Desclaux & Roumet (1996) با تاکید به تاثیر تنش کم آبی بر روی مرحله زایشی بیان داشته اند که تنش کم آبی باعث پیری زودرس گیاه و کوتاه تر شدن مراحل زایشی می شود. مراحل پر شدن دانه و مرحله ی نهایی افتادن دانه در گیاهان تحت تنش زودتر اتفاق افتاده و طول دوره ی گلدهی به شدت تحت تاثیر تنش قرار می گیرد. از این رو از ژنوتیپ های سویا در شرایط تنش کم آبی با کوتاه کردن طول دوره ی فنولوژیکی به عنوان راهکاری برای فرار از تنش کم آبی استفاده کرده اند. در دیگر پژوهش ها نیز کاهش عملکرد سویا تحت شرایط تنش کم آبی به واسطه کاهش یک یا چند جزء عملکرد گزارش شده است (Pourmousavi *et al.*, 2009). Karam *et al.* (2005) به این نتیجه رسیده اند که بیشترین عملکرد در شرایط محیطی به دست می آید که رطوبت قابل دسترس در تمامی مراحل رشد گیاه در حد مطلوب باشد. Faraji (2004) نیز کاهش عملکرد دانه، وزن بوته و وزن صد دانه را ناشی از مرحله گل دهی و از دست دادن گل ها نمی دانند چرا که تعداد گل های تولیدی سویا نسبت به تعداد غلاف های تولید شده بیشتر است. از این رو از دست رفتن تعداد کمی از گل ها در اثر تنش ملایم در مراحل ابتدایی رشد زایشی، نقش مهمی در عملکرد ندارد.

کم آبی مربوط به عملکرد دانه (۴۳/۲۴ درصد)، ارتفاع بوته (۲۹/۸۰ درصد)، تعداد دانه در بوته (۲۳/۵۳ درصد)، طول دوره پر شدن دانه (۲۲/۰۶ درصد) و تعداد غلاف در بوته (۲۱/۶۹ درصد) می باشد. در حالی که میزان پروتئین دانه تحت شرایط تنش کم آبی در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال ۱۱/۹۶ درصد افزایش نشان داد. صفات تعداد روز تا شروع گلدهی، تعداد شاخه فرعی، تعداد روز تا غلاف دهی و تعداد روز تا دانه دهی، به ترتیب با ۰/۵۶، ۱/۲۸، ۲/۸۳ و ۳/۸۱ درصد کمترین آسیب را در تنش کم آبی نشان دادند (جدول ۸). Izanlo *et al.* (2002) در بررسی ارقام تجاری سویا نشان دادند که اکثر صفات عملکرد و اجزای عملکردی نسبت به تنش خشکی واکنش منفی نشان می دهند که در این میان، عملکرد دانه نسبت به سایر صفات آسیب پذیری بیشتری داشت. از نظر صفات فنولوژیکی به طوری که ملاحظه می شود، صفت طول دوره پر شدن دانه بیشتر تحت تاثیر تنش کم آبی قرار می گیرد و تحت شرایط تنش کم آبی طول دوره پر شدن دانه کاهش شدیدی پیدا می کند که به نوبه خود می تواند عملکرد دانه را تحت تاثیر قرار دهد. اما از آنجایی که برای این صفت تنوع فنوتیپی و ژنتیکی نسبتاً بالایی مشاهده شد، لازم است ژنوتیپ هایی که بتوانند طول دوره پر شدن بالایی داشته باشند برای کشت در شرایط کم آبی مورد استفاده قرار گیرند. Krivosudská & Filová (2013) در بررسی ژنوتیپ های مختلف سویا تحت سه رژیم آبیاری نشان دادند که تنش خشکی با تاثیر بر کاهش طول دوره پر شدن دانه (R5-R6) باعث

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات فنولوژیک در ۴۰ ژنوتیپ سویا تحت شرایط آبیاری نرمال

Table 4- Analysis of variance for phenological characters in 40 soybean genotypes under normal irrigation condition

		Mean square							
Source of variation	Degree of freedom	Days To flowering (R1)	Days to podding (R3)	Days to beginning of seed forming (R5)	Days to end of seed filling (R6)	Seed filling duration (R5-R6)	Days to beginning of maturity (R7)	Reproductive stage duration (R1-R7)	Days to maturity (R8)
Replication	2	10.41 ^{ns}	16.66 ^{ns}	18.76 ^{ns}	24.86 ^{ns}	1.43 ^{ns}	436.91 ^{**}	312.43 ^{**}	19.08 ^{ns}
Genotype	39	5.01 ^{ns}	18.15*	26.71 ^{**}	105.49 ^{**}	62.15 ^{**}	117.18 ^{**}	111.23 ^{**}	98.57 ^{ns}
Error	78	4.75	11.53	7.05	33.18	22.86	34.83	29.53	69.01
Coefficient of variation (%)	-	6.63	6.98	4.39	6.87	20.35	6.54	9.45	7.61
Phenotypic coeff. var. (%)	-	3.93	5.06	4.94	7.07	19.37	6.93	10.59	5.25
Genotypic coeff. var. (%)	-	0.90	3.06	4.24	5.85	15.4	5.81	9.07	2.87
Broad sense heritability (h ²)	-	0.35	0.36	0.74	0.69	0.63	0.7	0.73	0.3
Genetic advance percentage of mean	-	0.14	1.85	4.52	8.37	5.93	9.05	9.21	3.54
Genetic advance percentage of mean (%)	-	0.42	3.8	7.49	9.98	25.22	10.03	16.02	3.24

جدول ۶- تجزیه واریانس صفات فنولوژیک در ۴۰ ژنوتیپ سویا تحت شرایط تنش کم آبی

Table 6- Analysis of variance for phenological characters in 40 soybean genotypes under water-deficit condition

		Mean square							
Source of variation	Degree Of freedom	Days to flowering (R1)	Days to podding (R3)	Days to beginning of seed forming (R5)	Days to end of seed filling (R6)	Seed filling duration (R5-R6)	Days to beginning of maturity (R7)	Reproductive stage duration (R1-R7)	Days to maturity (R8)
Replication	2	30.78 ^{**}	156.01 ^{**}	64.13 ^{**}	52.23*	0.86 ^{ns}	949.98 ^{**}	763.26 ^{**}	58.28 ^{ns}
Genotype	39	3.03 ^{**}	15.40 ^{**}	48.54 ^{**}	66.34 ^{**}	12.99 ^{**}	189.51 ^{**}	167.43 ^{**}	48.49*
Error	78	1.47	6.04	9.8	16.33	4.2	81.33	67.38	26.18
Coefficient of variation (%)	-	3.71	5.2	5.39	5.29	11.19	10.58	15.67	5
Phenotypic coeff. var. (%)	-	3.08	4.8	6.92	6.15	11.36	9.33	14.27	3.93
Genotypic coeff. var. (%)	-	2.21	3.74	6.18	5.34	9.35	7.05	11.03	2.67
Broad sense heritability (h ²)	-	0.51	0.61	0.8	0.75	0.68	0.57	0.6	0.46
Genetic advance percentage of mean	-	1.07	2.84	6.61	7.3	2.9	9.35	9.2	3.81
Genetic advance percentage of mean (%)	-	3.26	6	11.38	9.56	15.84	10.97	17.56	3.73

جدول ۷- تجزیه واریانس صفات عملکرد و مورفولوژیک در ۴۰ ژنوتیپ سویا تحت شرایط تنش کم آبی

Table 7- Analysis of variance for morphological, yield and yield components characters in 40 soybean genotypes under water-deficit condition

Source of variation	Degree of freedom	Hundred-seed weight (HSW)		Grain yield (GY)	No. of seeds per plant (NP)		No. of pods per plant (NN)		No. of pods in sub branches (NB)		No. of sub branches (NS)		Plant Height (HP)	Relative Water content (RWC)		Oil content	Protein
		(HSW)	(GY)		(NP)	(NN)	(NB)	(NS)	(RWC)								
Replication	2	0.91 ^{ns}	141506.26 ^{ns}	57.86 ^{ns}	3.57 ^{ns}	0.82*	2.00 ^{ns}	36.25 ^{ns}	42.28 ^{ns}	0.60 ^{ns}	4.71 ^{ns}						
Genotype	39	2.73 ^{ns}	170467.09*	147.10**	8.40**	0.42*	1.88**	237.86**	55.84 ^{ns}	1.59**	5.34**						
Error	78	1.94	121351.22	37.65	2.27	0.23	0.68	49.54	51.61	0.38	2.29						
Coefficient of variation (%)	-	13.44	21.96	27.24	15.09	22.02	25.92	15.94	26.35	2.72	4.11						
Phenotypic coeff. var. (%)	-	9.21	35.86	31.08	16.78	17.33	24.96	20.17	15.83	3.22	3.62						
Genotypic coeff. var. (%)	-	4.95	33.54	26.81	14.33	11.66	19.94	17.95	4.36	2.81	2.74						
Broad sense heritability (h ²)	-	0.29	0.87	0.74	0.73	0.45	0.64	0.79	0.08	0.76	0.57						
Genetic advance percentage of mean	-	0.57	1025.14	10.73	2.52	0.35	1.04	14.52	0.67	1.14	1.57						
Genetic advance percentage of mean (%)	-	5.49	64.64	47.64	25.23	16.15	32.82	32.9	2.47	5.05	4.26						

^{ns}, * and ** Non-significant, significant at 5% and 1% probability level, respectively. ^{ns} و * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

از آنجا که تنش کم آبی در مرحله گل دهی و غلاف دهی باعث عقیم شدن گل ها و در مرحله توسعه غلاف و اوایل پر شدن دانه باعث کاهش تعداد دانه و در مرحله پر شدن دانه باعث کوچک شدن اندازه دانه می شود (Masoudi *et al.*, 2008) و از طرفی تعداد غلاف و تعداد دانه در غلاف اجزاء اصلی عملکرد سویا محسوب می شوند که نسبت به آب نیز حساسیت زیادی دارند، از این رو تنش کم آبی با تاثیر بارزی که بر طول دوره زایشی و پر شدن دانه داشت باعث کاهش محسوس تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف شد. در همین راستا Masoudi *et al.* (2008) با بحرانی دانستن مراحل توسعه غلاف و پر شدن دانه بیان داشتند که اگر وقوع تنش در مرحله توسعه غلاف و شروع دانه بستن اتفاق بیفتد، به دلیل این که تعداد دانه در داخل غلاف (جزء اصلی عملکرد) حساسیت زیادی به تنش کم آبی دارد و فرصتی برای جبران نخواهد داشت، در نتیجه عملکرد به شدت تحت تاثیر قرار می گیرد. با توجه به نتایج سایر محققین و تحقیق حاضر می توان نتیجه گرفت که کاهش عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ های سویا در محیط تنش کم آبی می تواند ناشی از کوتاه تر شدن طول دوره زایشی و پر شدن دانه باشد، طوری که ژنوتیپ های سویا تحت تاثیر تنش کم آبی با کاهش طول دوره زایشی باعث افت عملکرد و اجزای عملکردشان شده اند.

جدول ۸- میانگین و درصد تغییرات صفات مورد بررسی در ۴۰ ژنوتیپ سویا تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی
Table 8- Means and percentage of variations of investigated characteristics in 40 soybean geno types under normal irrigation and water-deficit stress conditions

Traits	صفات	Normal	Water deficits stress	Reduction rate (%)
		آبیاری نرمال	تنش کم آبی	درصد کاهش
Days to flowering (R1)	تعداد روز تا گلدهی	32.86	32.68	0.56
Days to poding (R3)	تعداد روز تا غلاف دهی	48.62	47.24	2.83
Days to beginning of seed forming (R5)	تعداد روز تا شروع پر شدن دانه	60.41	58.11	3.81
Days to full seed (R6)	تعداد روز تا پر شدن دانه	83.91	76.43	8.92
Seed filling duration (R6-R5)	طول دوره پر شدن دانه	23.50	18.32	22.06
Days to beginning of maturity (R7)	تعداد روز تا شروع رسیدن	90.19	85.23	5.51
Reproductive stage duration (R7-R1)	طول دوره زایشی	57.52	52.37	8.95
Days to maturity (R8)	تعداد روز تا رسیدن	109.23	102.28	6.36
Grain yield (GY)	عملکرد دانه	2794.03	1585.98	43.24
Hundred-seed weight (HSW)	وزن هزار دانه	12.27	10.36	15.53
No. of seeds per plant (NP)	تعداد دانه در بوته	29.46	22.53	23.53
No. of pods per plant (NN)	تعداد غلاف در بوته	12.73	9.97	21.69
No. of pods in sub branches (NB)	تعداد غلاف در شاخه های فرعی	2.59	2.16	16.58
No. of sub branches (NS)	تعداد شاخه فرعی	3.21	3.17	1.28
Plant height (HP)	ارتفاع بوته	62.89	44.15	29.80
Relative water content (RWC)	محتوای آب نسبی	30.68	27.26	11.16
Oil content	محتوای روغن	24.08	22.61	6.09
Protein	میزان پروتئین	32.89	36.83	-11.96

ژنوتیپ‌ها می‌توان برای مطالعات فیزیولوژیک و مسیرهای تحمل به تنش کم آبی استفاده نمود. اما برای کشت تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی لازم است ژنوتیپ‌هایی انتخاب شوند که بتوانند در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی عملکرد نسبتاً بالایی نشان دهند. از میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی ژنوتیپ‌های D42.I4، D42.I9، Spry×Savoy/3 و DI-74 تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی عملکرد نسبتاً خوبی داشتند و از طرف دیگر کاهش عملکرد نسبتاً کمتری نشان دادند که می‌توان از آنها به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم آبی یاد کرد و برای کشت در شرایط آبیاری نرمال و یا تنش

بررسی کاهش عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مورد بررسی نشان داد که ژنوتیپ‌های GN-2152، 2171، GN-2156 و Spry×Savoy/2 به ترتیب با حدود ۶۸، ۷۴، ۶۶ و ۶۱ درصد بیشترین کاهش عملکرد دانه و ژنوتیپ‌های GN-2125، GN-2165 و GN-2002 با حدود ۱۰ تا ۱۱ درصد کمترین مقدار کاهش عملکرد دانه را تحت شرایط کم آبی در مقایسه با آبیاری نرمال نشان دادند (جدول ۹). با وجود اینکه ژنوتیپ‌های GN-2125، GN-2165 و GN-2002 کاهش عملکرد کمتری نشان داده بودند، ولی تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی عملکرد دانه بالایی نداشتند. بنابراین از این

جدول ۹- میانگین عملکرد دانه و درصد کاهش آن در ۴۰ ژنوتیپ سویا تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی

Table 9- Average of grain yield and yield reduction percentage in 40 soybean genotypes under normal irrigation and water-deficit stress conditions

Entry No.	Genotype	Normal	Water deficits stress	Grain yield reduction (%)
کد ژنوتیپها	ژنوتیپ	عملکرد آبیاری نرمال	عملکرد تنش کم آبی	درصد کاهش عملکرد دانه
1	GN-2172	2741.00	1738.33	36.58
2	GN-2002	2110.33	1876.00	11.10
3	GN-2130	2550.00	1089.00	57.29
4	GN-2171	1784.67	219.67	87.69
5	GN-2167	1779.00	761.33	57.20
6	GN-2166	2328.33	1757.33	24.52
7	GN-2157	3500.33	1564.00	55.32
8	GN-2156	3003.33	770.67	74.34
9	GN-2152	2429.67	938.67	61.37
10	GN-2125	2012.00	1806.00	10.24
11	GN-2165	1685.00	1516.00	10.03
12	GN-2095	2582.67	1104.00	57.25
13	GN-2087	1969.33	809.33	58.90
14	GN-2040	2108.67	1278.33	39.38
15	GN-2046	2899.00	1572.67	45.75
16	GN-2015	2371.00	1427.67	39.79
17	GN-2032	2381.67	1072.67	54.96
18	GN-2011	2380.67	1632.00	31.45
19	GN-2034	3517.33	1649.33	53.11
20	GN-2003	2171.67	1173.00	45.99
21	GN-3071	3226.67	1818.33	43.65
22	GN-3074	3043.33	1706.67	43.92
23	GN-3070	2626.33	2027.33	22.81
24	GN-3065	2425.67	1717.33	29.20
25	GN-3025	3026.33	1273.33	57.92
26	GN-3027	2659.00	1095.67	58.79
27	Liana×L32/2	3699.00	2140.00	42.15
28	Hacheston×L16/16	3305.67	2325.00	29.67
29	Liana×L32/3	2900.67	1558.67	46.27
30	Stressland×NMSB/3	2922.00	1974.33	32.43
31	Chaleston×Mostang/12	4092.33	2346.33	42.67
32	Spry×Nemaha/3	2842.33	1682.33	40.81
33	Spry×Nemaha/8	2567.67	1052.00	59.03
34	Spry×Savoy/2	2910.67	991.67	65.93
35	Spry×Savoy/3	3999.67	2494.67	37.63
36	L6-P79	2301.00	1631.33	29.10
37	DI-74	3080.67	2194.00	28.78
38	D42.I9	3174.00	2107.33	33.61
39	D42.I4	3927.33	2856.00	27.28
40	D42×Will82	4725.00	2691.00	43.05

نشان دهنده ایده آل بودن این ژنوتیپها برای کشت در شرایط آبیاری نرمال بود و از طرف دیگر در صورت عدم وجود ژنوتیپ متحمل، می توان از آنها برای کشت در شرایط تنش کم آبی استفاده نمود.

ضرایب عاملها بر مبنای تجزیه به مؤلفه های

کم آبی معرفی نمود. البته ژنوتیپ D42×Will82 و Chaleston×Mostang/12 تحت شرایط آبیاری نرمال عملکرد دانه بالایی نشان دادند و با وجود کاهش نسبتاً بالای عملکرد دانه تحت شرایط تنش کم آبی، باز هم عملکرد دانه نسبتاً بالایی تحت شرایط تنش خشکی نشان دادند که

تا شروع گلدهی، تعداد روز تا دانه دهی، تعداد روز تا رسیدن، طول دوره زایشی و تعداد روز تا رسیدن کامل با بار عاملی مثبت در عامل اول قرار گرفتند. از اینرو می‌توان عامل اول را عامل فنولوژیک معرفی نمود که با گزینش براساس مقادیر پایین این عامل می‌توان ژنوتیپ‌های زودرس‌تر را شناسایی نمود. در عامل دوم اکثراً صفات عملکرد دانه و اجزای عملکرد مانند صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد شاخه فرعی و ارتفاع بوته با بار عاملی مثبت گروه‌بندی شدند که با گزینش براساس این عامل می‌توان ژنوتیپ‌های با عملکرد و اجزای عملکرد بالا را انتخاب نمود و از این عامل می‌توان به عنوان عامل عملکرد و اجزای عملکرد یاد کرد.

البته در عامل دوم به همراه صفات عملکرد و اجزای عملکرد، صفات تعداد روز تا شروع گلدهی، تعداد روز تا پر شدن دانه و طول دوره پر شدن دانه نیز با بار عاملی مثبت گروه‌بندی شدند که با گزینش براساس عامل دوم می‌توان گزینش برای صفات مهمی مانند طول دوره پر شدن دانه و تعداد روز تا پر شدن دانه را نیز انجام داد. بنابراین برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و نسبتاً زودرس باید ژنوتیپ‌هایی انتخاب شوند که مقادیر پایین تری از عامل اول و مقادیر بالاتری از عامل دوم داشته باشند.

همچنین تحت شرایط تنش کم‌آبی نیز ۶ عامل براساس مقادیر ویژه بزرگتر از ۱ انتخاب شدند که در مجموع حدود ۷۴ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند (جدول ۱۱). تحت شرایط تنش کم‌آبی نیز اکثر صفات فنولوژیک مانند تعداد روز تا شروع گل‌دهی، تعداد روز

اصلی پس از چرخش وریماکس (Varimax) به منظور شناسایی موثرترین مؤلفه‌ها برای شرایط آبیاری نرمال (جدول ۱۰) و تنش کم‌آبی (جدول ۱۱) به صورت جداگانه برآورد شدند. البته در ابتدا به منظور تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی از دو شاخص KMO (کایزر-میر-اولکین) و آزمون کرویت بارتلت استفاده شد. با توجه به اینکه مقدار KMO به ترتیب برای شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی برابر ۰/۷۳۵ و ۰/۷۱۴ بوده و آزمون کرویت بارتلت برای هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی بسیار معنی‌دار بود، می‌توان نتیجه گرفت همبستگی کافی بین متغیرها وجود داشته و داده‌ها عاملی مناسب برای تحلیل هستند. همچنین برای تعیین اعتبار داده‌ها (Data Validation) در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی داده‌ها به دو قسمت تصادفی تقسیم شدند و سپس تجزیه به عامل‌ها برای هر قسمت به طور جداگانه انجام شد. با توجه به اینکه نتایج در دو گروه یکسان بود، بنابراین تغییر افراد روی نتایج تأثیری نداشته و می‌توان یک جمع‌بندی کلی داشت.

تجزیه به عامل‌ها تحت شرایط آبیاری نرمال برای صفات مورد بررسی نشان داد ۶ عامل براساس مقادیر ویژه بزرگتر از ۱ انتخاب شدند که جمعاً حدود ۷۷ درصد از تغییرات موجود در کل داده‌ها را توجیه می‌کردند (جدول ۱۰). که از این مقدار عامل اول و دوم به ترتیب حدود ۲۶ و ۲۴ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند و چهار عامل باقی مانده در مجموع حدود ۲۷ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. اکثر صفات فنولوژیک شامل تعداد روز

جدول ۱۰- نتایج تجزیه به عامل ها برای ۴۰ ژنوتیپ سویا تحت شرایط آبیاری نرمال

Table 10- Result of factor analysis in 40 soybean genotypes under normal irrigation condition

Traits	صفات	Communality	First factor	Second factor	Third factor	Fourth factor	Fifth factor	Sixth factor
		میزان اشتراک	فاکتور اول	فاکتور دوم	فاکتور سوم	فاکتور چهارم	فاکتور پنجم	فاکتور ششم
Days to flowering	تعداد روز تا گلدهی	0.822	0.850	0.016	0.166	0.040	0.265	-0.004
Days to poding	تعداد روز تا غلاف دهی	0.567	-0.298	0.662	0.079	0.021	-0.052	-0.173
Days to beginning of seed forming	تعداد روز تا شروع پر شدن دانه	0.904	0.913	0.188	0.164	0.052	0.071	-0.019
Days to end of seed filling	تعداد روز تا پر شدن دانه	0.957	0.567	0.772	0.084	0.074	-0.164	-0.016
Seed filling duration	طول دوره پر شدن دانه	0.869	0.140	0.882	0.002	0.062	-0.260	-0.009
Days to beginning of maturity	تعداد روز تا شروع رسیدن	0.853	0.885	-0.030	0.019	-0.234	-0.113	0.013
Reproductive stage duration	طول دوره زایشی	0.857	0.882	-0.153	-0.001	-0.205	-0.102	0.045
Days to maturity	تعداد روز تا رسیدن	0.693	0.500	0.393	0.323	0.335	-0.191	-0.187
Grain yield	عملکرد دانه	0.769	0.223	0.582	-0.502	0.173	0.303	0.082
Hundred-seed weigh	وزن هزار دانه	0.911	-0.162	-0.018	0.190	0.407	-0.235	0.792
No. of seeds per plant	تعداد دانه در بوته	0.859	-0.116	0.240	0.408	-0.104	0.774	0.111
No. of pods per plant	تعداد غلاف در بوته	0.478	0.018	0.496	-0.078	-0.468	-0.006	-0.078
No. of pods in sub branches	تعداد غلاف در شاخه های فرعی	0.700	-0.244	0.297	0.474	0.494	0.064	-0.283
No. of sub branches	تعداد شاخه فرعی	0.845	-0.243	0.803	-0.359	-0.079	-0.082	-0.007
Plant height	ارتفاع بوته	0.727	0.192	0.650	-0.221	0.025	0.256	0.392
Relative water content	محتوای آب نسبی	0.529	-0.318	0.155	-0.417	0.397	0.127	-0.236
Oil content	محتوی روغن دانه (%)	0.805	0.581	-0.477	-0.415	0.259	0.030	-0.006
Protein	محتوی پروتئین دانه (%)	0.708	-0.494	0.467	0.247	-0.385	-0.127	0.144
Eigenvalues	مقادیر ویژه	-	4.727	4.294	1.443	1.273	1.086	1.031
Cumulative of variance (%)	واریانس تجمعی (درصد)	-	26.261	50.114	58.130	65.205	71.241	76.967

فنولوژیک مانند تعداد روز تا شروع رسیدن، طول دوره زایشی و تعداد روز تا رسیدن کامل با بار عاملی مثبت و صفت وزن هزار دانه با بار عاملی منفی قرار گرفتند. به منظور بررسی دقت برآورد واریانس صفات، مقادیر واریانس مشترک صفات برآورد گردید. به طوری که ملاحظه می شود تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی مقادیر واریانس مشترک برای اکثر صفات مورد بررسی بالا می باشد (جداول ۱۰ و ۱۱). بنابراین می توان نتیجه گرفت تعداد عامل های انتخاب شده مناسب بوده و عامل های منتخب توانسته اند تغییرات صفات را به نحو مطلوبی توجیه نمایند. با توجه واریانس مشترک صفات تحت شرایط آبیاری نرمال، صفات تعداد

تا شروع غلاف دهی و تعداد روز تا دانه دهی و تعداد روز تا شروع پر شدن دانه به همراه صفات عملکرد و اجزای عملکرد مانند تعداد غلاف در بوته، تعداد شاخه فرعی و ارتفاع بوته با بار عاملی مثبت در عامل اول گروه بندی شدند که حدود ۲۹ درصد از تغییرات کل داده ها را شامل می شد. از آنجایی که در عامل اول صفت عملکرد دانه با بار عاملی مثبت در کنار صفات فنولوژیک مرتبط با رسیدگی با بار عاملی مثبت قرار گرفته است، بنابراین با گزینش براساس مقادیر پایین عامل اول باعث انتخاب ژنوتیپ هایی با عملکرد دانه بالا و دیررس خواهد شد. در عامل دوم که حدود ۱۷ درصد از تغییرات کل داده ها را توجیه می کرد، تعدادی دیگر از صفات

نظر عامل دوم مقادیر بالاتری داشته و به طوری که ملاحظه می‌شود در کنار بردارهای عملکرد و اجزای عملکرد قرار دارند که بیانگر بالا بودن عملکرد این ژنوتیپ‌ها در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها می‌باشد. همچنین این ژنوتیپ‌ها از نظر صفت طول دوره پر شدن دانه نیز مقادیر بالاتری دارند که به عنوان یکی از مهم‌ترین صفات فنولوژیک مرتبط با عملکرد دانه شناسایی شده است. با توجه به اینکه زاویه بردار بیانگر همبستگی صفات مورد بررسی است، مشاهده می‌شود از صفات فنولوژیک طول دوره پر شدن دانه و تعداد روز تا پر شدن دانه با زاویه تند در ارتباط با عملکرد دانه قرار گرفته و طول بردار بیشتری را دارند که بیانگر قابلیت تمایز بهتر ژنوتیپ‌ها براساس این صفات می‌باشد. بنابراین می‌توان از این صفات برای گزینش غیر مستقیم عملکرد دانه استفاده نمود. ژنوتیپ ۱۰ که با فاصله بیشتری از سایر ژنوتیپ‌ها از نظر عامل اول مقدار بسیار کمتری نشان داده است، نه تنها از نظر عملکرد دانه و اکثر صفات اجزای عملکردی مقادیر کمتری را نشان داد، بلکه از نظر صفت طول دوره پر شدن دانه با اختلاف نسبتاً زیادی کمترین مقدار را داشت. ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۵، ۶، ۱۱، ۱۲، ۱۴ و ۲۰ که از نظر هر دو عامل اول و دوم مقادیر پایین‌تری را داشتند، از نظر صفات عملکرد دانه و اجزای عملکرد مقادیر پایین داشته و از نظر رسیدگی نسبتاً به میانگین کل زودرس‌تر بودند. تحت شرایط تنش کم‌آبی نیز موقعیت ژنوتیپ‌ها براساس دو عامل اصلی اول و دوم بررسی شد (شکل ۲) و ژنوتیپ‌های مورد بررسی بیشتر

روز تا پر شدن دانه، وزن صد دانه و تعداد روز تا دانه‌دهی به ترتیب با حدود ۰/۹۶، ۰/۹۱ و ۰/۹۰ بیشترین و صفت تعداد غلاف در بوته با حدود ۰/۴۸ کمترین مقدار واریانس مشترک را داشتند. تحت شرایط تنش کم‌آبی نیز صفت تعداد روز تا پر شدن دانه با حدود ۰/۹۴ به همراه صفت تعداد روز تا شروع رسیدن با حدود ۰/۹۲ بیشترین و صفت وزن صد دانه با حدود ۰/۵۳ کمترین مقدار واریانس مشترک را نشان دادند. برای نمایش قابلیت تجزیه به عامل‌ها و متمایز کردن ژنوتیپ‌های مورد بررسی، پلات دوبعدی براساس دو عامل اصلی برای شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی ترسیم شد (اشکال ۱ و ۲). با توجه به این که در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی، دو عامل اصلی اول و دوم بیشترین تغییرات واریانس داده‌ها را توجیه کردند و صفات فنولوژیک و عملکرد دانه و اجزای عملکرد در این عامل‌ها قرار داشتند، از این دو عامل جهت به دست آوردن پراکنش و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در دستگاه مختصات استفاده شد. تحت شرایط آبیاری نرمال (شکل ۱)، ژنوتیپ‌های ۲۱، ۳۲، ۳۴ و ۲۶ از نظر عامل اول مقادیر بالایی داشته و به طوری که مشاهده می‌شود در کنار بردارهای مربوط به صفات فنولوژیک قرار گرفته‌اند که بیانگر دیررس‌تر بودن این ژنوتیپ‌ها می‌باشد. قابل ذکر است که این ژنوتیپ‌ها از نظر عامل دوم نیز مقادیر مثبتی داشته‌اند، بنابراین از نظر عملکرد نیز نسبت به میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها مقادیر بالاتری را داشتند. ژنوتیپ‌های ۳۱، ۳۵، ۳۶، ۳۷، ۳۹ و ۴۰ از

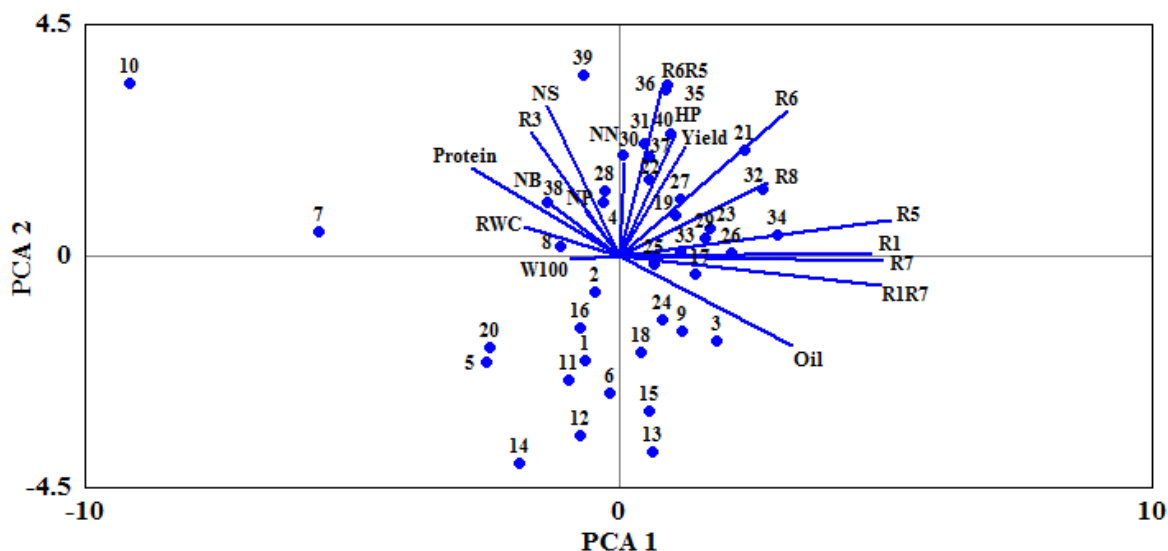
جدول ۱۱- نتایج تجزیه به عامل ها برای ۴۰ ژنوتیپ سویا تحت شرایط تنش کم آبی

Table 11- Result of factor analysis in 40 soybean genotypes under water-deficit stress condition

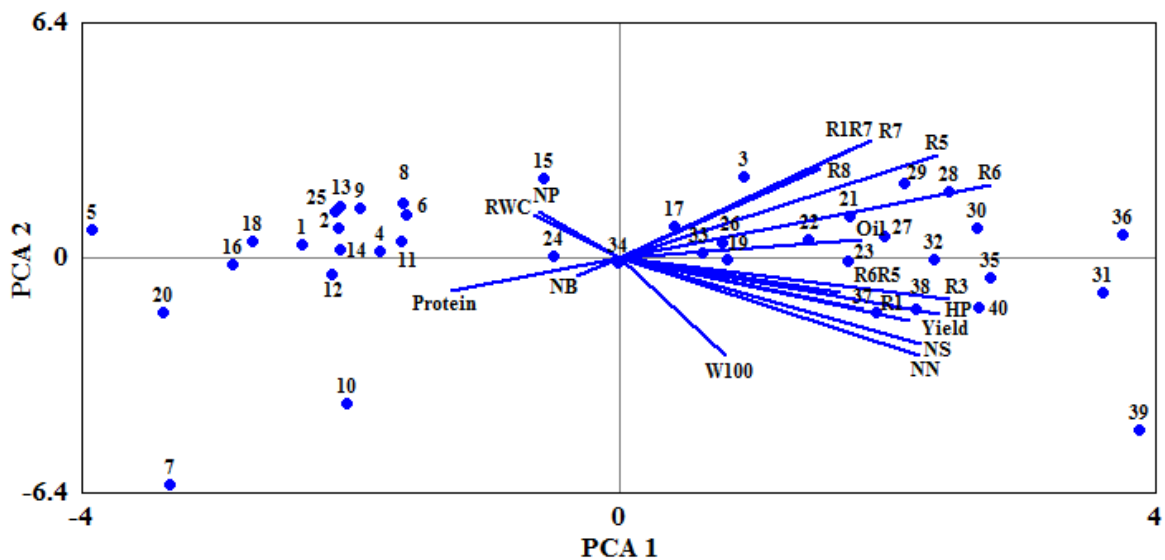
Traits	صفات	Communality میزان اشتراک	First factor فاکتور اول	Second factor فاکتور دوم	Third factor فاکتور سوم	Fourth factor فاکتور چهارم	Fifth factor فاکتور پنجم	Sixth factor فاکتور ششم
Days to flowering	تعداد روز تا گلدهی	0.687	0.533	-0.291	0.494	0.011	0.134	-0.236
Days to poding	تعداد روز تا غلاف دهی	0.760	0.722	-0.236	-0.177	0.336	0.011	-0.197
Days to beginning of seed forming	تعداد روز تا شروع پر شدن دانه	0.887	0.697	0.581	0.167	-0.097	0.151	-0.054
Days to end of seed filling	تعداد روز تا پر شدن دانه	0.938	0.809	0.412	-0.036	0.166	0.240	-0.165
Seed filling duration	طول دوره پر شدن دانه	0.882	0.482	-0.193	-0.404	0.562	0.249	-0.268
Days to beginning of maturity	تعداد روز تا شروع رسیدن	0.921	0.550	0.662	0.337	-0.215	-0.093	-0.104
Reproductive stage duration	طول دوره زایشی	0.895	0.507	0.619	0.405	-0.266	-0.131	-0.052
Days to maturity	تعداد روز تا رسیدن	0.812	0.440	0.501	-0.319	0.219	0.363	0.295
Grain yield	عملکرد دانه	0.669	0.633	-0.359	-0.226	-0.047	0.073	0.284
Hundred-seed weigh	وزن هزار دانه	0.528	0.234	-0.547	0.078	-0.279	0.005	-0.301
No. of seeds per plant	تعداد دانه در بوته	0.864	-0.175	0.257	0.343	0.678	-0.412	-0.142
No. of pods per plant	تعداد غلاف در بوته	0.899	0.654	-0.550	0.276	0.064	-0.030	0.294
No. of pods in sub branches	تعداد غلاف در شاخه های فرعی	0.632	-0.091	-0.106	0.601	0.355	-0.351	-0.039
No. of sub branches	تعداد شاخه فرعی	0.723	0.658	-0.488	0.106	-0.053	-0.123	0.150
Plant height	ارتفاع بوته	0.813	0.699	-0.322	0.358	-0.072	-0.114	0.272
Relative water content	محتوای آب نسبی	0.667	-0.188	0.241	0.209	0.275	0.059	0.672
Oil content	محتوای روغن	0.893	0.531	0.099	-0.528	-0.204	-0.531	-0.002
Protein	میزان پروتئین	0.896	-0.368	-0.191	0.600	-0.056	0.596	-0.083
Eigenvalues	مقادیر ویژه	-	5.228	3.012	2.281	1.428	1.284	1.132
Cumulative of variance (%)	واریانس تجمعی (درصد)	-	29.04 5	45.779	58.453	66.385	73.521	79.808

وجود با بودن عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی کاهش عملکرد نسبتاً بالایی داشتند و این ژنوتیپ ها با وجود دیررس بودن و عدم داشتن خصوصیات مرتبط به تحمل تنش خشک و درصد کاهش عملکرد بالا با هم عملکرد قابل قبولی دارند. بنابراین این ژنوتیپ ها می توانند منابع خوبی برای کشت تحت شرایط آبیاری نرمال و یا جاهایی که احتمال وقوع تنش کم آبی وجود دارد، باشند.

در طول محور عامل اول تفکیک شدند. تحت شرایط تنش خشکی به غیر صفت فنولوژیک طو دوره پر شدن دانه، صفت تعداد روز تا شروع گلدهی نیز با زاویه تند با عملکرد دانه قرار گرفته که می تواند به عنوان صفت مهم برای گزینش غیر مستقیم برای گزینش برای عملکرد دانه مطرح باشد. تحت شرایط تنش کم آبی نیز ژنوتیپ های ۳۱، ۳۵، ۳۷، ۳۸، ۳۹ و ۴۰ از نظر عامل اول نسبتاً مقادیر بالا و از نظر عامل دوم مقادیر نسبتاً کمتری داشتند که می توانند به عنوان ژنوتیپ های با عملکرد و اجزای عملکرد بالا که نسبتاً دیررس می باشند معرفی شوند. البته این بدین معنی نیست که این ژنوتیپ ها به تنش کم آبی متحمل بوده اند؛ زیرا این ژنوتیپ ها با



شکل ۱- پراکنش ۴۰ ژنوتیپ سویا براساس دو عامل اصلی اول و دوم تحت شرایط آبیاری نرمال
Figure 1- Distribution of 40 soybean genotypes on the basis of first and second components under normal irrigation condition



شکل ۲- پراکنش ۴۰ ژنوتیپ سویا براساس دو عامل اصلی اول و دوم تحت شرایط تنش کم آبی
Figure 2- Distribution of 40 soybean genotypes on the basis of first and second components under water-deficit stress condition

نتیجه گیری

در انتخاب ژنوتیپ‌های متناسب با محیط‌هایی که تحت تنش کم آبی قرار خواهند داشت به این صفات توجه شود. ژنوتیپ‌های ۳۶ (L6-P79)، ۳۱ (Chaleston×Mostang/12)، ۴۰ (D42×Will82)، ۳۹ (D42.I4)، ۳۵ (Spry×Savoy/3)، ۳۸ (D42.I9) و ۳۷ (DI-74) مقادیر بالای عامل‌های مرتبط عملکرد و اجزای

با توجه به نتایج، شرایط تنش کم آبی باعث کاهش عملکرد و اجزای عملکرد سویا شد، به طوری که بیشترین درصد کاهش در صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در بوته، طول دوره پر شدن دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد غلاف در شاخه‌های فرعی و وزن صد دانه مشاهده شد. بر این اساس پیشنهاد می‌شود

آبیاری نرمال و تنش کم آبی، کاهش عملکرد بالایی داشتند؛ بنابراین برای انتخاب ژنوتیپ های محتمل و همچنین با عملکرد بالا تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی علاوه بر گزینش عاملی لازم است که کاهش عملکرد ژنوتیپ ها نیز مد نظر گرفته شود.

عملکرد در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی نشان دادند که می توان برای کشت در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی معرفی شوند. اما با توجه به اینکه ژنوتیپ های Chaleston×Mostang/12 و D42×Will82 با وجود بالا بودن عملکرد دانه تحت شرایط

References

- Aminifar, J., Mohsenabadi, G. H., Biglouei, M. H., and Samiezadeh, H. 2012. Effect of deficit irrigation on yield, yield components and phenology of soybean cultivars in Rasht region. *International Journal of AgriScience*, 2(2), 185-191. (In Persian with English Summary).
- Board, J. E. 2002. A regression model to predict soybean cultivar yield performance at late planting dates. *Agronomy Journal*, 94(3), 483-492.
- Boyer, J. S., Johnson, R. R., and Saupe, S. G. 1980. Afternoon water deficits and grain yields in old and new soybean cultivars. *Agronomy Journal*, 72(6), 981-986.
- Daneshian, J., Hadi, H., and Jonoubi, P. 2009. Study of quantitative and quality characteristics of soybean genotypes in deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 11(4), Pe393-Pe409. (In Persian with English Summary).
- Desclaux, D., Huynh, T. T., and Roumet, P. 2000. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. *Crop Science*, 40(3), 716-722.
- Desclaux, D. and Roumet, P. 1996. Impact of drought stress on the phenology of two soybean (*Glycine max* L. Merr) cultivars. *Field Crops Research*, 46(1-3), 61-70.
- Falconer, D. S., and Mackay, T. C. 1989. *Introduction to quantitative genetics*. John Willey & Sons. Inc., New York, 313-320.
- FAO. 2014. *Food outlook, Global Market Analysis*. [http://www.fao.org/food-outlook.com](http://www.fao.org/food-outlook)
- Faraji, A. 2014. Evaluation of soybean genotypes under moisture stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, 6(14), 27-40. (In Persian with English Summary).
- Gupta, C., and Koomar, G. 2003. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signaling. *New phytol.* 146: 359-388.

- Izanlo, A., Zainali Khaneghah, H., Hosainzadeh, A., and Majnon Hosaini, N. 2002. *Determination of the best drought tolerance indices in commercial soybean cultivars. Proceedings of the 7th congress of Agronomy and Plant Breeding of Iran, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran.* (In Persian with English Summary).
- Karam, F., Masaad, R., Sfeir, T., Mounzer, O., and Roupahel, Y. 2005. Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions. *Agricultural Water Management*, 75(3), 226-244.
- Kirnak, H., Dogan, E., Alpaslan, M., Boydak, E., Copur, O., and Celik, S. 2008. Drought stress imposed at different reproductive stages influences growth, yield and seed composition of soybean. *Formerly The Philippine Agriculturist*, 91(3), 261-268.
- Kobraee, S., Shamsi, K., and Rasekhi, B. 2010. Investigation of correlation analysis and relationships between grain yield and other quantitative traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *African Journal of Biotechnology*, 9(16), 2342-2348.
- Krivosudská, E., and Filová, A. 2013. Evaluation of selected soybean genotypes (*Glycine max* L.) by physiological responses during water deficit. *Journal of Central European Agriculture*, 14, 691-706.
- Liu, F., Andersen, M. N., Jacobsen, S. E., and Jensen, C. R. 2005. Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max* L. Merr.) during progressive soil drying. *Environmental and Experimental Botany*, 54(1), 33-40.
- Liu, X., Jin, J., Herbert, S. J., Zhang, Q., and Wang, G. 2005. Yield components, dry matter, LAI and LAD of soybeans in Northeast China. *Field Crops Research*, 93(1), 85-93.
- Mahlooji, M., Mousavi, S. F. and Karimi, M. 2000. The effects of water stress and planting date on yield and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 4(1), pp.57-68. (In Persian).
- Masoudi, B. A. H. R. A. M., Bihamta, M. R., Babaei, H. R., and Peyghambari, S. A. 2008. Evaluation of genetic diversity for agronomic, morphological and phenological traits in soybean. *Seed and Plant Improvement Journal*, 24(3), 413-427. (In Persian with English Summary).
- Masoumi, H., Masoumi, M., Darvish, F., Daneshian, J., Nourmohammadi, G., and Habibi, D. 2010. Change in several antioxidant enzymes activity and seed yield by water deficit stress in soybean (*Glycine max* L.) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(3), 50-59.
- Moe, S., and Girdthai, T. 2013. Relationships of Soybean [*Glycine max* (L.)

Merrill] Accessions Based on Physiological and Agro-morphological Traits. *International Journal of Chemical, Environmental and Biological Sciences*, 1(2), pp.375-379.

Osborne, S. L., Schepers, J. S., Francis, D. D., and Schlemmer, M. R. 2002. Use of spectral radiance to estimate in-season biomass and grain yield in nitrogen- and water-stressed corn. *Crop Science*, 42(1), 165-171.

Pourmousavi, S. M., Gelavi, M., Daneshian, J., Ghanbari, A., Basirani, N., and Jonoubi, P. 2009. Effect of cattle manure on quantitative and qualitative yield of Soybean L17 line under drought stress condition. *Iranian Crop Science*. 40(1), 133-146. (In Persian with English Summary).

Silvente, S., Sobolev, A. P., and Lara, M. 2012. Metabolite adjustments in drought tolerant and sensitive soybean genotypes in response to water stress. *PLoS One*, 7(6), e38554.

Smith, K. J., and Huyser, W. 1987. World distribution and significance of Soybean. *Agronomy*.

Vieira, R. D., Tekrony, D. M., and Egli, D. B. 1992. Effect of drought and defoliation stress in the field on soybean seed germination and vigor. *Crop Science*, 32(2), 471-475.

Yahoian, S. H., Bihanta, M. R., Babaie, H. R., and Habibi, D. 2010. Effects of water deficit stress on yield and yield components in soybean genotypes. *Journal of Crop Production in Environmental Stress*, 2, 79-88. (In Persian with English Summary).

Zeynali-Khanghah, H., Izanlo, A., Hosseinzadeh, A., and Majnoun Hosseini, N. 2004. Determine of appropriate drought resistance indices in imported soybean cultivars. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 3, 875-885. (In Persian).

Evaluation of genetic variation and relationships of agronomic traits in soybean genotypes under normal irrigation and water deficit stress

S. A. Peyghambari¹, H. Babaei² & H. Ali Pour³

1. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Tehran-Karaj. (Corresponding author)
2. Horticulture Crops Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran,
3. Assistant Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Urmia University

Received: November 2017 Accepted: April 2018

Extended Abstract

Peyghambari, S. A., Babaei, H. & Ali Pour, H., Evaluation of genetic variation and relationships of agronomic traits in soybean genotypes under normal irrigation and water deficit stress
Applied Research in Field Crops Vol 30, No. 3, 2017 Page:16-18: 82-100(in Persian)

Introduction: The soybean (*Glycine max* L.) is one of the most important source of grain oil and protein in the world. It contains 18 to 22% oil and 40 to 50% good quality protein. The low productivity of the pulses especially soybean may be attributed to their susceptibility to pathogenic microorganisms, biotic and abiotic stresses. Soybean production is expected to increase significantly in the world. However, the yield of soybean is still low. The cultivation of soybean in arid and semi-arid areas which face drought and are poor in soil nutrients is one of the main reasons for the low yield of soybean. Evaluation of genetic diversity and identifying genotypes with high yielding potential and tolerant to the environment stresses could be valuable for progressing in future breeding programs.

Materials and Methods: In order to evaluate of genetic diversity and tolerance to water deficit stress, 40 soybean genotypes were selected from maturity group III and IV and evaluated in a randomized completely block design (RCBD) under both normal and water deficit conditions, in 2015 on the research field of Seed and Plant Improvement Institute-Karaj, with three replications. Agronomic characteristics were including days to flowering (R1), days to podding (R3), days to beginning of seed forming (R5), days to end of seed filling (R6), seed filling duration (R5-R6),

Email address of the corresponding author: alipey@ut.ac.ir

days to beginning of maturity (R7), reproductive stage duration (R1-R7), days to maturity (R8), hundred-seed weight, number of seeds per plant, number of pods per plant, number of pods in sub branches, number of sub branches, plant height, relative water content, oil content, protein and grain yield. After normality test of errors distributions, test of equality of variances and test of the additive effects of treatment and block, data were statistically analyzed using GLM procedure with SAS 9.4. Principal component analysis and drawing of biplots were performed using SPSS 21 and Statgraphics 16, respectively.

Results and Discussion: Under both normal irrigation and water deficit condition grain yield, number of seeds per plant and number of sub-branches showed not only higher phenotypic and genotypic coefficient of variation, but also illustrated higher heritability and genetic advance. Grain yield (43.24%), plant height (29.84%), number of seeds per plant (23.53%), seed filling duration (22.06%) and number of pods per plant (21.69%) showed higher reduction in water deficit stress, respectively, while oil content increased under water deficit stress conditions (11.96%). Days to flowering, number of sub branches, days to podding and days to beginning of seed forming had the least reduction with 0.66, 1.28, 2.83 and 3.81 percent, respectively. The GN-2171, GN-2156, Spry×Savoy/2 and GN-2152 genotypes showed higher grain yield reduction with 88, 74, 66 and 61 percent, respectively while GN-2125, GN-2165 and GN-2002 had lower grain yield reduction with about 10 to 11 percent. Although GN-2125, GN-2165 and GN-2002 genotypes showed lower yield reduction under water deficit stress condition, they did not have higher grain yield under both normal irrigation and water deficit stress conditions. Not only the D42.I4, Spry×Savoy/3, D42.I9 and DI-74 genotypes under both normal irrigated and water deficit conditions had higher grain yield but also they showed lower grain yield under water deficit stress. Corresponding biplot graph, the L6-P79, Charleston×Mostang/12, D42×Will82, Spry×Savoy/3 and DI-74 genotypes revealed higher values of the factors of grain yield and its components which they could be consider the genotypes with high grain yield in both normal irrigation and water deficit condition.

Conclusions: Although, the D42×Will82 and Charleston×Mostang/12 genotypes had high grain yield in both condition but they showed high reduction in water deficit stress condition. So, they are suitable to be cultivated in both normal irrigation and water deficit stress even though they are relatively sensitive to water deficit stress condition.

Keywords: grain yield and its components, phenological traits, soybean, water deficit stress.