Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 53, No 4, Winter 2023 (43-62)
DOI: 10.22059/IJFCS.2021. 330839.654860

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۳، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۱ (ص۶۲-۴۳)

The contribution of agronomic traits in the mung bean accessions diversity

Masoumeh Pouresmael[*1], Ali Akbar Saneinejad[2], Mohamad Bagher Khorshidi[3], Ali Akbar Ghanbari [1,] Reza Sekhavat [4], Mostafa Khodadadi[5]

1,5. Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, 2,4. Safiabad Agricultural Research and Natural Resources center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, 3. East Azarbayjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tabriz.
(Received: September 21, 2021 - Accepted: November 1, 2021)

ABSTRACT

In order to evaluation the genetic diversity of agronomical traits, determine the relationships between traits and the contribution of each trait in the diversity, a study was conducted on 49 mung bean accession's in the field of the National Plant Gene Bank of Iran, in the 2019-20 growing season and the most important phenological and agronomical traits were recorded. Based on the results, grain yield, biomass, plant weight, number and weight of grains and pods per plant and number of cluster per plant had the highest coefficient of variation. The results of the factor analysis showed that plant weight, number and weight of grains and pods per plant and number of cluster per plant had the highest coefficients in the first component; Grain yield and harvest index had the highest coefficients in the second component and pod length and 100 grain weights had the highest coefficients in the third component. Cluster analysis using Ward's method divided accessions into 3 distinct clusters. Discriminant analysis showed that grain yield, biomass, harvest index and pods number per plant had maximum coefficient in the first function, which has the most effective role (75%) to discriminant clusters. Based on the Wilk's Lambda values, except grains per pod, pod length and hundred grains weight, other traits had significant effect on dividing accessions into 3 clusters. High GCV, PCV, coupled with medium to high heritability of plant weight, number of grains and pods per plant, pods and grains weight per plant, cluster number per plant, 100 grain weights and harvest index, indicating that selection will be effective for these traits. Path analysis demonstrated the direct effects of biomass, harvest index and pod weight per plant on mung bean grain yield. These results clearly elucidate that these traits had more diversity among mung bean accessions. The existence of such diversity makes possible the selection of appropriate accessions based on breeder's desire.

Keywords: Agronomical traits, landraces, phenotypic diversity, *Vigna radiata*, yield component.

تبیین نقش صفات زراعی در تنوع نمونه‌های ژنتیکی ماش

معصومه پوراسماعیل *[۱]، علی اکبر صانعی نژاد[۲]، محمد باقر خورشیدی[۳]، رضا سخاوت [۴]، علی اکبر قنبری [۱]، مصطفی خدادادی[۵]

۱و۵- دانشیار پژوهش و استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ۲و٤- محقق و عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ۳- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز.

(تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/٦/۳۰ - تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۸/۱۰)

چکیده

با هدف ارزیابی تنوع صفات زراعی، تعیین رابطه صفات و نقش صفات در ایجاد تنوع، مطالعه‌ای روی ٤۹ نمونه ژنتیکی ماش انجام شد. نمونه‌ها در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه بانک ژن گیاهی ملی ایران کشت شدند و صفات مهم فنولوژیکی و زراعی اندازه‌گیری و یادداشت‌برداری شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، صفات عملکرد دانه، زیست‌توده، وزن بوته، تعداد و وزن دانه و غلاف در بوته و تعداد خوشه، بیشترین ضریب تغییرات را داشتند. تجزیه عامل‌ها به روش تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که صفات وزن بوته، تعداد و وزن دانه و غلاف در بوته و تعداد خوشه در بوته بالاترین ضرایب را در مولفه اول، صفات عملکرد دانه و شاخص برداشت در مولفه دوم و صفات طول غلاف و وزن صد دانه، بزرگترین ضرایب را در مولفه سوم داشتند. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها بر اساس ضرایب مولفه‌های حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی، نمونه‌ها را در سه گروه متمایز قرار داد. تجزیه تابع تشخیص صفات نشان داد در تابع اول که بیشترین سهم (۷۵ درصد) را در تمایز خوشه‌ها داشت، صفات عملکرد دانه، زیست‌توده، شاخص برداشت و تعداد غلاف در بوته بیشترین ضرایب را دارا بودند. بر اساس مقادیر لامبدای ویلکس، تمام صفات مورد ارزیابی به استثنای صفات طول غلاف، تعداد دانه در غلاف و

* Corresponding author E-mail: m.pouresmael@areeo.ac.ir

وزن صد دانه، تاثیر معنی‌داری در دسته‌بندی نمونه‌های ژنتیکی در سه گروه متمایز داشتند. ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی بالا برای صفات وزن بوته، تعداد غلاف و دانه در بوته، وزن دانه و غلاف در بوته، تعداد خوشه در بوته، وزن صد دانه و شاخص برداشت و وراثت پذیری متوسط تا بالای این صفات نشان می‌دهد که انتخاب بر اساس این صفات می‌تواند موثر باشد. تجزیه مسیر، نشان‌دهنده اثرات مستقیم زیست‌توده و شاخص برداشت و پس از آن وزن غلاف در بوته بر عملکرد دانه بود. این نتایج روشن‌کننده نقش موثر این صفات در وجود تنوع بین نمونه‌های ژنتیکی ماش است و امکان انتخاب نمونه‌های ژنتیکی بر اساس این صفات را فراهم می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، تنوع فنوتیپی، توده‌های بومی، صفات زراعی، ماش.

مقدمه

ماش (*Vignia radiata*)، یک حبوبات دانه‌ای غنی از پروتئین است که به صورت گسترده در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری کشت می‌شود. به‌طورکلی در جهان امروز که از یک رو با خشک شدن و گرمای بیش از حد مواجه است و از طرفی با رشد جمعیت، از چالش تامین غذای کافی و مغذی برای این جمعیت رنج می‌برد، ماش ارزش ویژه‌ای پیدا کرده است. دوره رشدی کوتاه، نیاز به نهاده کم، مواد مغذی فراوان و خصوصیات تغذیه‌ای خوب، ماش را به یک محصول ایده‌آل برای کشاورزان تبدیل می‌سازد. علاوه بر این، افزایش تثبیت ازت اتمسفری و افزایش نیتروژن آلی از مزایای دیگر کشت این گیاه است که کشاورزی حفاظتی و کاهش میزان مصرف کودهای شیمیایی ازت را موجب می‌شود. ماش یک منبع غنی از پروتئین (۳۳ – ۱۴/۶ گرم در ۱۰۰ گرم) و آهن (۷/۹ - ۵/۶ میلی گرم در ۱۰۰ گرم) است؛ بذر ماش حدود ۶۰ درصد کربوهیدرات دارد و منبع بسیار خوبی از فیبر، مواد معدنی، ویتامین‌ها و مقدار قابل توجهی از ترکیبات فعال زیستی از جمله پلی‌فنل‌ها، پلی‌ساکاریدها و پپتیدها است؛ بنابراین به‌عنوان یک غذای فرا سودمند در ارتقای سلامتی مطرح است (Dahiya *et al*., 2015).

اگر چه کشور ایران به‌عنوان یکی از کشورهای منشا این گیاه به شمار می‌رود (Tomooka *et al*., 2003)، متاسفانه این گیاه در زراعت کشور به‌عنوان یک گیاه کم بهره‌برداری شده مطرح است. جستجو در زمینه تحقیقات صورت گرفته روی این گیاه در کشور به خوبی نشان می‌دهد که مطالعات محدودی در زمینه به‌نژادی این گیاه و ارزیابی تنوع صفات آن صورت پذیرفته است و بیشتر مطالعات انجام شده در کشور بر مدیریت زراعی تمرکز داشته است و در موارد اندکی، پژوهش‌ها به اثرات تنش خشکی بر روی تعداد محدودی ژنوتیپ متمرکز بوده‌اند (Hashemzehi & Moradgholi, 2015). ماش در بیش از شش میلیون هکتار در سراسر جهان (حدود ۸/۵ درصد از سطح زیر کشت جهانی حبوبات) کشت می‌شود (Hou *et al*., 2019). تولید جهانی ماش، سه میلیون تن (Nair *et al*. 2014) و متوسط عملکرد جهانی آن ۷۳۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است (Anonymous, 2020). ماش در ایران در حدود ۱۷۰۰۰-۱۵۰۰۰ هکتار و بیشتر در استان‌های خوزستان، گلستان و کرمان کشت می‌شود و متوسط برداشت ماش در کشور در هر هکتار، هزار کیلوگرم برآورد شده است.

با توجه به شرایط تغییر اقلیم و گرم شدن جهانی، گیاهانی که نیاز آبی کمی دارند، بسیار مورد توجه می‌باشند. تعداد ارقام اصلاح شده این گیاه در کشور محدود است و گسترش سطح زیر کشت این گیاه نیاز به شناسایی ژرم‌پلاسم مناسب و معرفی ارقام جدید دارد.

تنوع ژنتیکی گیاهی، یکی از اجزای کلیدی اصلاح نباتات به شمار می‌رود و گزینش در صورتی ممکن است که برای صفت مورد مطالعه، تنوع مطلوبی موجود باشد. ارزیابی‌های عمومی ژرم‌پلاسم‌ها برای شناسایی مواد اصلاحی مناسب برای فعالیت‌های به‌نژادگران و تصمیم‌گیری صحیح در مورد فعالیت‌های کلکسیون و حفاظت از ژرم‌پلاسم ضروری است (Schafleitner *et al*., 2015).

در مطالعه‌ای که بر روی ۱۲۳۲ نمونه ژنتیکی ماش با

ارزیابی هشت صفت کمی و ۱۸ صفت کیفی انجام شد، تنوع گسترده‌ای برای صفات روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه مشاهده شد و ضریب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی بالا برای وزن صد دانه، دوره گلدهی، طول بذر و عرض دانه گزارش شد. تجزیه و تحلیل‌های وراثت‌پذیری نشان داد که روز تا ۵۰ درصد گلدهی، دوره گلدهی، روز تا رسیدگی، وزن صد دانه و اندازه دانه برای برنامه‌های اصلاحی مناسب هستند (Gayacharan *et al*., 2020). Bisht *et al* (1998) تنوع ژنتیکی گسترده‌ای در صفات مورفولوژیکی و زراعی تعداد غلاف در بوته، عملکرد در بوته، وزن صد دانه، دوره گلدهی، بلوغ، تعداد غلاف در خوشه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های اولیه، طول شاخه و تعداد میان گره ۱۱۱ نمونه ژنتیکی ماش گزارش نمودند. Makeen *et al* (2007) در بررسی تنوع ژنتیکی و وراثت پذیری صفات در میان بیست نمونه ژنتیکی مختلف ماش، ضریب تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی بالا برای عملکرد دانه و تعداد غلاف در بوته گزارش نمودند. در این پژوهش، مقادیر حداکثر وراثت پذیری برای محتوای پروتئین دانه و ارتفاع بوته ثبت شد و صفات غلاف در بوته، ارتفاع بوته و تعداد دانه در غلاف به‌عنوان اجزای اصلی عملکرد دانه در گیاه ماش معرفی شد.

Swapan *et al* (2016) به ارزیابی صفات آگرومورفولوژیکی ۸۹ نمونه ژنتیکی ماش پرداختند. آن‌ها وزن دانه را یکی از فاکتورهای محدودکننده تولید در این گیاه برشمردند و وزن صد دانه بالای هشت گرم و تعداد دانه در غلاف بیشتر از ۱۲ دانه را برای انتخاب نمونه‌ها مد نظر قرار دادند. Waniale *et al* (2014به ارزیابی ۲۸ صفت کیفی و ۱۴ صفت کمی در ۳۸ نمونه ماش اوگاندا پرداختند. این محققین ارتباط مثبت و معنی‌دار بین اندازه دانه و عملکرد را گزارش نمودند و عنوان داشتند که این موضوع در برنامه‌های اصلاحی می‌تواند برای انتخاب ژنوتیپ‌های دانه درشت با عملکرد بالا مد نظر قرار گیرد.

Krishna *et al* (2020) به ارزیابی تنوع ژنتیکی ۳۶ نمونه ماش پرداختند و گزارش نمودند که بیشترین تنوع در بین صفات شاخص برداشت، تعداد خوشه در گیاه، عملکرد دانه در بوته و روز تا رسیدن مشاهده شد. Hapsari *et al* (2018) ۱۲۲ نمونه ژنتیکی ماش اندونزی را بر اساس صفات مورفولوژیکی دسته‌بندی نمودند و ارتباطی بین دسته‌بندی با موقعیت جغرافیایی منطقه جمع‌آوری نمونه مشاهده نکردند. این محققین، وزن صد دانه بیشتر از هفت گرم و طول غلاف ۱۳ سانتی‌متر را به‌عنوان مزیت یک نمونه ژنتیکی مشخص نمودند. Singh *et al* (2015) در ارزیابی تنوع ژنتیکی ۲۶ صفت آگرومورفولوژیکی در ۳۶ نمونه ماش، بیشترین تنوع را در صفات عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و تعداد غلاف در خوشه گزارش نمودند.

تعداد غلاف در بوته، یک جز مهم عملکرد گیاه ماش محسوب می‌شود و مستقیماً با عملکرد دانه در بوته تناسب دارد (Sriphadet *et al*., 2007). Makeen *et al* (2007) ضمن معرفی صفات غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف به‌عنوان اجزای اصلی عملکرد دانه در گیاه ماش، عنوان داشتند که هنگام تنظیم استراتژی برای بهبود عملکرد در ماش، این صفات از اولویت بالاتری برای انتخاب برخوردارند. Swapan *et al* (2016) وزن دانه را یکی از فاکتورهای محدودکننده تولید در گیاه ماش برشمردند و وزن صد دانه بالا (بالای هشت گرم) و تعداد بالای دانه در غلاف (بیشتر از ۱۲ دانه در غلاف) را برای انتخاب نمونه‌ها مد نظر قرار دادند. Krishna *et al* (2020) نیز وزن صد دانه بیشتر از هفت گرم و طول غلاف ۱۳ سانتی‌متر را به‌عنوان مزیت یک نمونه ژنتیکی برشمردند.

Vaezi *et al* (2015) به جمع‌آوری و ارزیابی مقدماتی تنوع صفات اگرومورفولوژیکی صد ژنوتیپ بومی ماش پرداختند و سطح مطلوبی از تنوع فنوتیپی را برای صفات کمی و صفات کیفی گزارش نمودند و عنوان داشتند که بیشترین تنوع در میان ژنوتیپ‌ها از نظر صفات تعداد دانه در بوته، شکل دانه و رنگ دانه، وجود دارد. با توجه به اهمیت مطالعه تنوع ژنتیکی در اصلاح گیاهان، شناخت توان ژنتیکی نهفته موجود در ژرم‌پلاسم این گیاه از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. در حقیقت، با ارزیابی و بررسی صفات مختلف زراعی و تعیین صفات مهمی که در عملکرد ماش موثر می‌باشند، می‌توان برنامه‌ریزی دقیق‌تری برای مدیریت بهبود و اصلاح این گیاه اتخاذ نمود. از این رو، این

پژوهش با هدف ارزیابی تنوع صفات مورفولوژیکی و زراعی در نمونه‌های ژنتیکی بومی ماش، تعیین رابطه صفات و نقش صفات مختلف در ایجاد تنوع و دسته‌بندی نمونه‌ها بر اساس این صفات به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این بررسی بر روی ۴۹ نمونه ژنتیکی ماش (۴۷ نمونه ژنتیکی از ژرم‌پلاسم ماش بانک ژن گیاهی ملی ایران، همراه با نمونه‌های شاهد یعنی رقم پرتو و لاین امیدبخش ۶۱۷۳) صورت پذیرفت؛ جدول ۱، کد نمونه‌های ژنتیکی در بانک ژن گیاهی ملی ایران را نشان می‌دهد. کشت نمونه‌ها در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج در خرداد ماه سال زراعی ۹۸- ۱۳۹۷ انجام شد. نمونه‌ها در قالب طرح مربع لاتیس هفت در هفت با دو تکرار کشت شدند. هر کرت آزمایشی شامل دو پشته به طول سه متر بود؛ فاصله ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر، عمق کاشت ۲/۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها هفت سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Malik & Zahir, 2018). آبیاری منظم گیاهان در طول فصل زراعی انجام شد و عملیات زراعی شامل وجین علف‌های‌هرز و تنک نمودن بوته‌ها به‌منظور ایجاد تراکم مناسب صورت گرفت. صفات روز تا گلدهی و تا رسیدگی در طول دوره رشد در مزرعه یادداشت‌برداری شدند. با برداشت پنج نمونه تصادفی از هر کرت آزمایشی در زمان رسیدگی، ارزیابی صفاتی نظیر ارتفاع وو وزن بوته، طول غلاف، تعداد خوشه در بوته، تعداد غلاف در خوشه و در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن غلاف در بوته، عملکرد تک بوته و وزن صد دانه در آزمایشگاه صورت گرفت. کلیه صفات بر اساس دستورالعمل ارائه شده توسط موسسه بین‌المللی ذخائر توارثی بر اساس توصیف نامه‌های موجود (IPGR, 1980) اندازه گیری شدند. ارزیابی میزان عملکرد دانه و زیست‌توده در واحد سطح نیز با برداشت قسمت میانی خطوط کشت و با حذف ابتدا و انتهای کرت انجام شد؛ به این منظور، بوته‌ها از سطح خاک قطع شدند و پس از خشک کردن در خشک کن، وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. پس از جدا نمودن و کوبیدن غلاف‌ها و توزین دانه، شاخص برداشت از نسبت وزن دانه به وزن کل محاسبه شد.

علاوه بر محاسبه میانگین و دامنه صفات مورد بررسی، برای تعیین تنوع صفات، ضریب تغییرات فنوتیپی(PCV) و ژنوتیپی (GCV) به‌ترتیب از نسبت جذر واریانس فنوتیپی(σ^2_{Ph}) و ژنتیکی (σ^2_G) صفات بر میانگین ($\overline{X}$) آن‌ها بر اساس رابطه‌های زیر محاسبه شد. وراثت‌پذیری از نسبت واریانس ژنتیکی به واریانس فنوتیپی برآورد شد (Adjah *et al.*, 2020).

$$PCV = \frac{\sqrt{\sigma^2_{Ph}}}{\overline{X}} \times 100$$

$$GCV = \frac{\sqrt{\sigma^2_G}}{\overline{X}} \times 100$$

$$H^2 = \frac{\sigma^2_G}{\sigma^2_{Ph}} \times 100$$

به‌منظور ارزیابی روابط صفات، از تجزیه همبستگی و رگرسیون گام به گام استفاده شد و برای تفکیک ضریب همبستگی به اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر روی عملکرد دانه، تجزیه مسیر با کاربرد نرم افزار Path انجام شد. برای شناسایی عامل‌های موثر و تعیین‌کننده در میزان تنوع ژنتیکی، از تجزیه عامل‌ها به روش مولفه‌های اصلی استفاده شد. برای کاهش ابعاد داده‌ها و در عین حال استفاده از تنوع همه صفات در گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها، ز تجزیه خوشه‌ای مراتبی با استفاده از ضرایب X مولفه اول حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی به‌کار رفت؛ تجزیه خوشه‌ای به روش وارد و ضریب مربع فاصله اقلیدسی انجام شد. علاوه بر این، از رسم نمودار پراکنش بر اساس ضرایب مولفه‌ها برای تعیین ژنوتیپ‌هایی که از نظر برآیند مولفه‌ها دارای برتری بودند استفاده شد. پس از گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و برای اطمینان از صحت نقطه برش نمودار درختی، از تجزیه‌ی تابع تشخیص استفاده شد و در نهایت پس از تعیین محل برش و تعداد گروه‌ها، آماره‌های توصیفی متعلق به ژنوتیپ‌های هر کدام از گروه‌ها محاسبه شد. کلیه تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم افزارهای SPSS Ver.24، Path2 و SAS ver. 9.2 صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اختلاف بین نمونه‌های ژنتیکی از نظر صفات طول غلاف، روز تا

گلدهی و رسیدگی، شاخ برداشت، وزن صد دانه، وزن و تعداد دانه در بوته، وزن غلاف در بوته و تعداد خوشه در بوته در سطح احتمال یک درصد و از نظر صفت عملکرد دانه، زیست‌توده و تعداد غلاف در بوته در سطح احتمال پنج درصد از نظر آماری معنی‌دار بود و از نظر صفت تعداد دانه در غلاف، اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ ها مشاهده نشد (جدول ۲).

جدول ۱- منشا، محل جمع آوری و کد نمونه های ژنتیکی ماش در بانک ژن گیاهی ملی ایران

Table 1. Country of origin, collection site and the code of Mung bean accessions in NPGBI

Entry	Code	Country of origin	Collection site	Entry	Code	Country of origin	Collection site
1	TN-39-102	IRN	Kohkiloyeh boyerahmad	26	TN-39-192	IRN	Golestan
2	TN-39-104	IRN	Kohkiloyeh boyerahmad	27	TN-39-193	IRN	Golestan
3	TN-39-106	IRN	Mazandaran	28	TN-39-194	IRN	Golestan
4	TN-39-110	IRN	Ilam	29	TN-39-195	IRN	Golestan
5	TN-39-125	IRN	Ilam	30	TN-39-198	IRN	Kermanshah
6	TN-39-112	IRN	Ilam	31	TN-39-199	IRN	Kermanshah
7	TN-39-114	IRN	Ilam	32	TN-39-204	IRN	Lorestan
8	TN-39-115	IRN	Ilam	33	TN-39-209	IRN	Lorestan
9	TN-39-119	IRN	Ilam	34	TN-39-210	IRN	West Azarbaijan
10	TN-39-123	IRN	Ilam	35	TN-39-215	TWN	-
11	TN-39-124	IRN	Ilam	36	TN-39-216	TWN	-
12	Parto	IRN	-	37	TN-39-217	IRN	Khozestan
13	TN-39-140	IRN	Markazi	38	TN-39-218	TWN	-
14	TN-39-146	IRN	Hamedan	39	TN-39-219	TWN	-
15	TN-39-147	IRN	Esfahan	40	TN-39-224	TWN	-
16	TN-39-151	IRN	Yazd	41	TN-39-225	IRN	Khozestan
17	TN-39-164	IRN	Khozestan	42	TN-39-226	IRN	East Azarbaijan
18	TN-39-165	IRN	Khozestan	43	TN-39-227	IRN	East Azarbaijan
19	TN-39-167	IRN	Khozestan	44	TN-39-120	IRN	Ilam
20	TN-39-174	IRN	Hormozgan	45	TN-39-182	IRN	Sistan balochestan
21	TN-39-180	IRN	Sistan balochestan	46	TN-39-221	TWN	-
22	TN-39-186	IRN	Khozestan	47	TN-39-222	TWN	-
23	TN-39-189	IRN	West Azarbaijan	48	TN-39-223	IRN	Khozestan
24	TN-39-190	IRN	Golestan	49	line (6173)		
25	TN-39-191	IRN	Golestan				

جدول ۲- امید ریاضی و آنالیز واریانس صفات مورد ارزیابی در نمونه‌های ژنتیکی ماش

Table 2. Expected mean squares (EMS) and variance analysis of evaluated traits in mung bean genotypes

SOV	df	EMS	Pod Length	Plant weight	Pods per Plant	Grains per Pod	Grain Yield	Days to Maturity	Plant Height
Genotype	48	σ_e^2	3.12**	4143.90*	1344.73*	0.59ns	3505.708*	212.31**	612.61*
Replicatio	1	σ_e^2	3.37	2010.08	1718.38	0.00	3836.83	33.15	168.02
Block(r)	12	σ_e^2	1.10	3668.08	1517.97**	1.00	3277.77	156.84	107.63
Error	36	σ_e^2	0.615	1889.85	443.47	0.503	1642.223	88.76	105.19

ادامه جدول ۲-

Table 2- Continued

SOV	df	Harvest Index	Days to Flowering	Pod Weight per Plant	100 Grains Weight	Grains per Plant	Grain Weight per Plant	Pods per cluster	Cluster per plant	Biomass
Genotype	48	127.35**	11.02**	354.450**	3.57**	98965.56*	202.95**	0.59*	114.52**	25777.005*
Replication	1	34.57	19.76	272.20	0.04	179337.75	359.41	0.01	61.52	68865.58
Block(r)	12	65.18	8.20	236.68	0.26	75631.34	150.38	0.56**	81.42	19491.43
Error	36	42.93	3.64	119.214	0.212	40217.03	81.7	0.21	25.445	13092.24

میانگین، حداکثر، حداقل، ضرایب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی و وراثت‌پذیری صفات زراعی مورد بررسی در نمونه‌های ماش در جدول ۳ آورده شده است. در بین صفات ارزیابی شده، ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی بالا برای صفات وزن بوته، تعداد و وزن غلاف در بوته، تعداد و وزن دانه در بوته و تعداد خوشه در بوته، وزن صد دانه و شاخص

برداشت مشاهده شد (جدول ۳). صفات فنولوژیکی روز تا گلدهی و رسیدن و تعداد دانه در غلاف، کمترین ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی را داشتند. نتایج این پژوهش با نتایج Singh *et al* (2014) همسو است که ضریب تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی بالا برای صفات تعداد خوشه در بوته، عملکرد دانه در بوته و شاخص برداشت و ضریب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی پایین برای صفات روز تا گلدهی و رسیدگی گزارش کردند. محققین دیگری نیز به بالا بودن ضریب تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی در گیاه ماش برای صفات شاخص برداشت و عملکرد دانه در بوته اشاره داشتند (Suresh *et al*., 2010; Narasimhulu *et al*., 2013). Makeen *et al* (2007) ضریب تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی بالایی برای عملکرد دانه و تعداد غلاف در بوته را گزارش نمودند. Krishna *et al* (2020) نیز گزارش نمودند که شاخص برداشت، تعداد خوشه در بوته و عملکرد دانه در بوته، به‌ترتیب بیشترین ضریب تغییرات ژنتیکی را در میان نمونه‌های ماش دارند.

جدول ۳- میانگین، دامنه، ضرایب تنوع و وراثت پذیری صفات زراعی مختلف در نمونه‌های ماش

Table 3. Mean, range, coefficient of variations and heritability of different agronomical traits in mung bean accessions

Traits	Mean	Range		Coefficient of variation (%)			
		Min	Max	Heritability(%)	Phenotypic	Genotypic	Environmental
Pod Length (cm)	8.55	6.77	15.93	80.29	14.61	13.09	6.49
Plant weight (g)	107.87	17.99	329.59	54.39	42.20	31.12	28.50
Pods per Plant	61.09	16	143.33	67.02	42.45	34.75	24.38
Grains per Pod	11.1	8.8	12.53	14.75	4.89	1.88	4.52
Grain Yield (g m^{-2})	167.39	39.97	668.75	53.16	25.01	18.24	17.12
Days to Maturity	133.6	103	162	58.19	7.71	5.88	4.99
Plant Height (cm)	80.05	46.67	136.67	82.83	21.86	19.90	9.06
Harvest Index	26.96	10.46	56.95	66.29	29.60	24.10	17.18
Days to Flowering	39.04	35	47	66.97	6.01	4.92	3.46
Pod Weight per Plant (g)	37.44	9.22	99.2	66.37	35.56	28.97	20.62
100 Grains Weight (g)	4.72	2.88	8.12	94.06	28.31	27.45	6.90
Grains per Plant	507	100.25	1374.33	59.36	43.88	33.80	27.97
Grain Weight per Plant (g)	22.82	5	59.04	59.74	44.14	34.12	28.01
Pods per Cluster	2.71	1.5	5.07	64.41	20.04	16.08	11.96
Clusters per Plant	23.3	5.33	61	77.78	32.48	28.64	15.31
Biomass (g m^{-2})	636.47	215.94	2677.08	49.21	17.84	12.51	12.71

در میان نمونه‌های مورد بررسی، تعداد خوشه در بوته از ۵/۳ تا ۶۱ و تعداد غلاف در خوشه از ۱/۵ تا پنج متغیر بود. تعداد غلاف در بوته با میانگین ۶۱/۱ در بین نمونه‌ها از ۱۶ تا ۱۴۳ عدد و تعداد دانه در غلاف با میانگین ۱۱/۱ ، از ۸/۸ تا ۱۲/۵ عدد در بین نمونه‌های ژنتیکی متغیر بود. طول غلاف از ۶/۸ تا ۱۶ سانتی‌متر در بین نمونه‌های ژنتیکی و وزن صد دانه در بین نمونه‌ها از حداقل ۲/۸۹ تا هشت گرم متغیر بود (جدول۳).

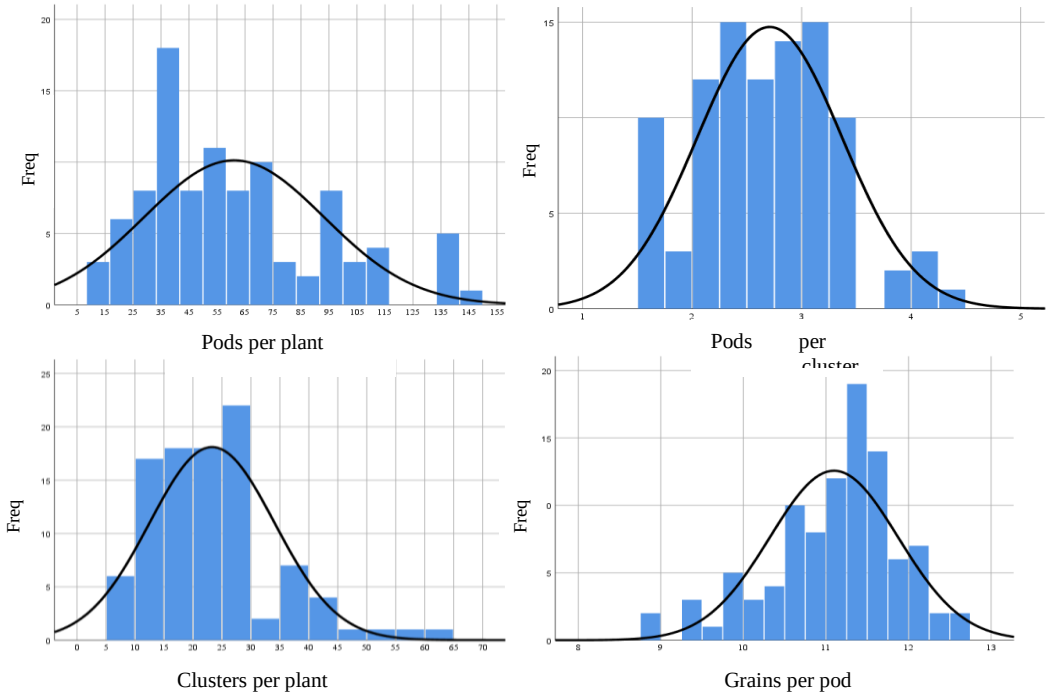
بررسی توزیع فراوانی صفات تعداد غلاف در بوته و خوشه، تعداد دانه در غلاف و تعداد خوشه در بوته (شکل ۱) نشان داد که نمونه‌های با تعداد ۳۰- ۲۵ خوشه در بوته، دو تا سه غلاف در خوشه، ۴۰ - ۳۵ غلاف در بوته و تعداد ۱۲-۱۱ دانه در غلاف، بیشترین فراوانی را در میان نمونه‌های مورد بررسی داشتند.

برآورد وراثت‌پذیری صفات مختلف در نمونه‌های مورد بررسی نشان داد که صفات طول غلاف، ارتفاع بوته، وزن صد دانه و تعداد خوشه در بوته، بالاترین میزان (>٪۷۰) وراثت‌پذیری را در بین صفات داشتند. به استثنای تعداد دانه در غلاف که وراثت‌پذیری پایینی داشت، سایر صفات مورد بررسی از وراثت‌پذیری متوسط (۵۰-۷۰ درصد) برخوردار بودند (جدول ۳). وراثت‌پذیری بالا برای بیشتر صفات مورد بررسی نشان می‌دهد که این صفات تحت شرایط مختلف محیطی، پایدار می‌مانند، توسط اثرات افزایشی ژن‌ها کنترل می‌شوند و به انتخاب فنوتیپی پاسخ مثبت می‌دهند (Ullah *et al*., 2011). همسو با این نتایج، وراثت‌پذیری بالا برای صفات روز تا گلدهی، طول غلاف، وزن صد دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در غلاف و تعداد دانه و غلاف در بوته در پژوهش‌های پیشین انجام شده روی گیاه ماش نیز گزارش شده است (Sriphadet *et al*., 2007; Khajudparn & Tantasawat, 2011; Hapsari *et al*., 2018; Gayacharan *et al*., 2020; Yimram *et al* (2009) نیز گزارش نمود که صفات وزن صد دانه، عملکرد دانه در بوته، ارتفاع بوته و تعداد غلاف در بوته، تنوع ژنتیکی بالا و وراثت پذیری متوسط تا بالا دارند.

تجزیه و تحلیل همبستگی صفات نشان داد که صفات فنولوژیکی روز تا گلدهی و رسیدن با یکدیگر همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد داشتند (جدول ۴). همبستگی مثبت و معنی‌دار صفات فنولوژیکی در گیاه ماش توسط Hashemzehi & Moradgholi (2015) نیز گزارش شده بود. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفات فنولوژیک نشان‌دهنده دارد که در برنامه‌های اصلاحی برای افزایش یا کاهش طول دوره رشد می‌توان با بررسی روز تا اولین گلدهی، تخمین مناسب و قابل قبولی از طول دوره رسیدگی گیاهان مورد مطالعه داشت (Hashemzehi & Moradgholi, 2015). روز تا رسیدگی با ارتفاع بوته همبستگی مثبت معنی‌دار (r=+0.492**) و با شاخص برداشت، همبستگی منفی معنی‌دار (r=-0.39**) داشت. در پژوهش حاضر، همبستگی منفی روز تا گلدهی و رسیدگی با شاخص برداشت مشاهده شد. از آن‌جا که شاخص برداشت، یکی از صفات مهم در افزایش عملکرد حبوبات دانه‌ای به شمار می‌رود، این موضوع ضرورت انتخاب ژنوتیپ‌های ماش با روز تا رسیدگی کوتاه تا متوسط را نشان می‌دهد. همسو با نتایج این پژوهش، Lawn & Rebetzke (2006) نیز همبستگی منفی و معنی‌دار روز تا گلدهی با شاخص برداشت را گزارش کردند. مزیت هر گونه افزایش یا کاهش طول دوره رشد بر عملکرد دانه، بستگی به شرایط محیطی حاکم بر کشت محصول دارد. در کشت‌های بهاره و تابستانه و در شرایطی که امکان رخداد تنش‌های خشکی آخر فصل وجود دارد، کاهش طول دوره رشد، مناسب خواهد بود و برعکس.

از این‌رو، قابلیت انعطاف‌پذیری پاسخ‌های فنولوژیکی گیاه ماش، یکی از اهداف اصلاحی این گیاه برای سازگاری بهتر با محیط و افزایش عملکرد دانه در شرایط محیطی متغیر عنوان شده است. عملکرد دانه برای حبوبات تغذیه‌ای، محصول زمان گلدهی مناسب برای اطمینان از توسعه کانوپی و شاخص برداشت بالا است (Chauhan & Williams, 2018).

عملکرد دانه با زیست‌توده (r=+0.308) و شاخص برداشت (r=0.742)، همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و با ارتفاع بوته و روز تا گلدهی، همبستگی منفی معنی‌دار به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد داشت.



شکل ۱- نمودار توزیع فراوانی تعداد خوشه، تعداد غلاف در خوشه و بوته و تعداد دانه در غلاف در نمونه‌های ژنتیکی ماش

Figure 1. Frequency distribution of clusters per plant, pods per cluster and plant and grains per pod in mung bean accessions

جدول ۴- ضرایب همبستگی صفات در نمونه‌های ژنتیکی ماش

Table 4. Correlation coefficients of traits in mung bean accessions

	Plant weight	Pods No. per Plant	Grains No. per Pod	Grain Yield	Days to Maturity	Plant Height	Biomass	Harvest index	Days to Flowering	Pod Weight per Plant	100 Grains Weight	Grains No. per Plant	Grain Weight per Plant	Pods No. per cluster	Cluster No per Plant
od Length	0.049	-0.433**	-0.099	0.057	0.093	-0.068	-0.068	0.122	-0.126	0.024	0.583**	-0.361*	-0.063	-0.365**	-0.309*
lant weight	-	0.618**	0.191	-0.063	-0.014	0.149	0.342*	-0.165	0.178	0.683**	0.188	0.661**	0.732**	-0.095	0.565**
ods per Plant		-	0.254	-0.038	0.057	0.218	0.317*	-0.230	0.050	0.700**	-0.345*	0.943**	0.691**	0.385**	0.878**
rains per Pod			-	-0.034	0.100	0.129	0.101	-0.111	0.009	0.149	-0.271	0.260	0.143	0.144	0.095
rain Yield				-	-0.149	-0.411**	0.308*	0.742**	-0.328*	0.052	0.048	0.032	0.102	0.276	-0.038
ays to Maturity					-	0.492**	0.268	-0.390**	0.305*	0.150	-0.037	0.044	0.075	-0.179	-0.034
lant Height						-	0.276	-0.585**	0.358*	0.326*	0.030	0.177	0.192	-0.183	0.166
iomass							-	-0.251	-0.045	0.334*	0.120	0.367**	0.467**	0.022	0.274
arvest index								-	-0.385**	-0.156	0.044	-0.164	-0.164	0.205	-0.198
ays to									-	0.168	0.111	0.053	0.181	-0.414**	0.032
ods Weight per										-	0.119	0.711**	0.765**	0.022	0.630**
00 Grains											-	-0.278	0.254	-0.504**	-0.206
rains per Plant												-	0.773**	0.381**	0.852**
rain Weight per													-	0.088	0.636**
Pods No. per cluster														-	0.274

* و **: به‌ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and **: significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

اگر چه شاخص برداشت از روی صفات عملکرد و زیست‌توده محاسبه می‌شود، اما وجود همبستگی بین عملکرد دانه با شاخص برداشت و عدم همبستگی منفی معنی‌دار زیست‌توده با شاخص برداشت، نشان‌دهنده کارایی بخش‌بندی اسمیلات برای تولید عملکرد اقتصادی در ژنوتیپ‌های مورد بررسی است و که شناسایی ژنوتیپ‌هایی با شاخص برداشت بالا بسیار اهمیت دارد. همبستگی عملکرد دانه در واحد سطح با شاخص برداشت و زیست‌توده در پژوهش‌های پیشین نیز گزارش شده است (Lawn, 2006; Rebetzke &, Zubair *et al*., 2007; Arshad *et al*., 2020). اگر چه این امر بدیهی به‌نظر می‌رسد، اما باید توجه داشت که این تصور که انتخاب مبتنی بر عملکرد، خود موجب افزایش شاخص برداشت می‌شود، لزوماً درست نیست. از طرف دیگر، تصور این موضوع که توسعه کانوپی بهتر به دلیل افزایش تولید ماده خشک ممکن است باعث افزایش عملکرد شود نیز لزوما همواره درست نیست؛ همچنان که بسیاری از مطالعات، به‌وجود چنین همبستگی‌هایی اشاره نداشته‌اند. همان‌گونه که ذکر شد، کارایی بخش‌بندی اسمیلات و توزیع مناسب مواد فتوسنتزی به سمت تولید دانه، تفاوت بسیاری در میان ژنوتیپ‌های مختلف دارد. ماش گیاهی نامحدود رشد است و گلدهی آن به صورت ناهمزمان صورت می‌پذیرد و این موضوع، دلیلی اصلی شاخص برداشت پایین در این گیاه است. در مقایسه با ژنوتیپ‌های نامحدود، ژنوتیپ‌هایی که عادت رشد معین‌تر دارند و گلدهی در آن‌ها همزمانی بیشتری دارد، از کارایی بیشتری در بخش‌بندی ماده خشک برخوردارند و شاخص برداشت بالاتری دارند (Chauhan & Williams, 2018).

اگرچه در بسیاری از پژوهش‌های صورت پذیرفته روی گیاه ماش، همبستگی مثبت و معنی‌دار صفاتی نظیر تعداد غلاف و خوشه در بوته و دانه در غلاف با عملکرد دانه گزارش شده است (Hakim, 2008; Khajudparn & Tantasawat, 2011)، اما در پژوهش حاضر، میان عملکرد در واحد سطح با صفات اجزا عملکرد همبستگی وجود نداشت. عملکرد دانه، یک صفت پیچیده است که متاثر از فاکتورهای آگرونومیکی و محیطی متعددی می‌باشد. صفات متعددی ممکن است روی عملکرد دانه تاثیرگذار باشند که صفات اجزای عملکرد، بخشی از این صفات است، همان‌گونه که همواره همه اجزای عملکرد با عملکرد همبستگی ندارند و در برخی موارد همبستگی منفی بین برخی از اجزای عملکرد و عملکرد دیده می‌شود. به‌عنوان مثال، Amanullah & Hatam (2000) گزارش نمودند که ارتباط معنی‌دار بین عملکرد دانه و اجزا عملکرد نظیر تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه مشاهده نمی‌شود. Siadat *et al* (2016) بیان داشتند که در بین اجزای عملکرد دانه ماش، تنها تعداد غلاف در بوته همبستگی معنی‌دار با عملکرد دانه در واحد سطح داشت و سایر اجزا، هیچ گونه همبستگی معنی‌داری را نشان ندادند. Hashemzehi & Moradgholi (2015) نیز گزارش کردند که عملکرد دانه در واحد سطح با صفات طول غلاف، تعداد و وزن دانه در غلاف و وزن هزار دانه همبستگی ندارد. در مقابل Haspari *et al.* (2018) و Waniale *et al*. (2014) ارتباط مثبت و معنی‌دار بین اندازه و عملکرد دانه در بوته را گزارش نمودند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، همبستگی بین عملکرد دانه در واحد سطح با سایر صفات در مطالعات مختلف فرق می‌کند که بستگی به مواد گیاهی به‌کار گرفته شده و شرایطی دارد که مطالعه در آن انجام شده است.

اگرچه در این پژوهش، همبستگی عملکرد با اجزای عملکرد در واحد سطح مشاهده نشد، اما نکته قابل توجه، وجود همبستگی اجزای عملکرد با زیست‌توده بود و زیست‌توده با تعداد و وزن غلاف در بوته در سطح احتمال پنج درصد و با تعداد و وزن دانه در بوته در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت معنی‌دار داشت. این نتیجه این فرضیه را ایجاد می‌کند که اجزای عملکرد به‌عنوان اجزایی دخیل در اندازه زیست‌توده است و از این طریق می‌توانند بر عملکرد تاثیر گذار باشند.

اگر چه عملکرد تک بوته (وزن دانه در بوته) با ارتفاع بوته، تعداد غلاف در خوشه، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد دانه در واحد سطح همبستگی معنی‌دار نداشت، اما با وزن و تعداد غلاف در بوته، تعداد

دانه در بوته، تعداد خوشه در بوته و وزن بوته در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت معنی‌دار داشت. نتایج این پژوهش با نتایج Hakim (2008) و Sriphadet *et al.* (2007) از نظر همبستگی عملکرد تک بوته با تعداد غلاف در بوته، همسو و از نظر همبستگی با تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه متناقض بود، چرا که در این دو پژوهش، همبستگی مثبت صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه با عملکرد دانه در بوته گزارش شده بود. در بین صفاتی که با عملکرد دانه در بوته همبستگی معنی‌دار داشتند، تعداد دانه در بوته، وزن غلاف در بوته و وزن بوته، بیشترین ضریب همبستگی را داشتند.

تعداد خوشه در بوته با وزن و تعداد غلاف در بوته، تعداد و وزن دانه در بوته و وزن بوته، همبستگی مثبت معنی‌دار داشت. ارتفاع بوته با شاخص برداشت، همبستگی منفی معنی‌دار (r=-0.585) و با تعداد غلاف در بوته، همبستگی مثبت معنی‌دار پنج درصد داشت. طول غلاف با صفات تعداد غلاف و خوشه در بوته، تعداد غلاف در خوشه و تعداد دانه در بوته همبستگی منفی معنی‌دار داشت و وزن صد دانه با طول غلاف، همبستگی مثبت و معنی‌دار (r=0.583) نشان داد. در پژوهش‌های پیشین نیز همبستگی وزن صد دانه با طول غلاف با ضریب همبستگی ۰/۵۸ گزارش شده بود (Sriphadet *et al.*, 2007). همچنین وزن صد دانه با تعداد غلاف در بوته (r=-0.345*) و تعداد غلاف در خوشه (r=-0.504**) همبستگی منفی معنی‌دار داشت. این نتیجه نشان می‌دهد که یک ژنوتیپ دانه درشت، تعداد خوشه و تعداد غلاف در بوته کمتری در مقایسه با ژنوتیپ‌های دانه ریز تولید می کند. تعداد غلاف در بوته، طول غلاف و وزن ۱۰۰ دانه، ویژگی‌هایی هستند که می‌توانند برای انتخاب ژنوتیپ‌های پر عملکرد ماش مورد توجه قرار گیرند (Hapsari *et al.*, 2018).

نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام عملکرد دانه در واحد سطح به‌عنوان متغیر وابسته در مقابل سایر صفات نشان داد که سه صفت زیست‌توده، شاخص برداشت و وزن غلاف در بوته، به‌ترتیب وارد مدل رگرسیونی شدند و در نهایت ۹۵ درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه نمودند (جدول ۵) و آزمون ضرایب رگرسیون، معنی‌دار بودن ضرایب رگرسیون این صفات را در سطح احتمال یک درصد تایید کرد. نتایج به‌دست آمده بر اساس مدل رگرسیونی، تا حدودی با نتایج حاصل از همبستگی ساده صفات شباهت داشت و تنها تفاوت موجود، در اثرگذاری صفت وزن غلاف در بوته بود. این موضوع بدین مفهوم است که نتایج حاصل از همبستگی ساده صفات، به‌تنهایی در توجیه روابط بین صفات و عملکرد دانه نمی‌تواند مؤثر باشد.

جدول ۵- تجزیه رگرسیونی گام به گام بین عملکرد دانه با سایر صفات در ژنوتیپ‌های ماش

Table 5. Stepwise regression between grain yield and other characteristics in mung bean genotypes

Regression Step	Regression equation	Traits	Standard Coefficient	Prob.	Std. Error	Tolerance	VIF	R^2
Step 1	Y = 67 + 0.16 (Biomass)	Biomass	0.569	0.00**	0.033	1	1	0.324
Step 2	Y = -132.8 + 0.233 (Biomass) + 5.6 (Harvest index)	Biomass	0.842	0.00**	0.01	0.893	1.119	0.948
		Harvest index	0.836	0.00**	0.024	0.893	1.119	
Step 3	Y = -140.9 + 0.227 (Biomass) + 0.57 (Harvest index) + 0.3 (Pod weight per plant)	Biomass	0.819	0.00**	0.01	0.828	1.208	0.954
		Harvest index	0.841	0.00**	0.227	0.890	1.124	
		Pod weight per plant	0.084	0.01**	0.12	0.905	1.105	

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک.

**: significant at 1% of probability level.

در تجزیه مسیر، اثرات مستقیم و غیرمستقیم هر یک از متغیرهای مستقل زیست‌توده، شاخص برداشت و وزن غلاف در بوته وارد شده در مدل رگرسیون گام به گام روی عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته مورد بررسی

قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه مسیر (جدول ۶)، صفات زیست‌توده و شاخص برداشت دارای بیشترین اثرات مستقیم مثبت روی عملکرد دانه بودند، همچنین بر مبنای نتایج حاصل از همبستگی صفات، این دو صفت بیشترین همبستگی را با صفت عملکرد دانه داشتند و نیز اولین صفاتی بودند که وارد مدل رگرسیونی شدند. اثر غیر مستقیم این دو صفت روی عملکرد دانه در مجموع منفی بود و در نتیجه اثر کل هر کدام از این دو متغیر مستقل تعدیل شد. از طرف دیگر، صفت وزن غلاف در بوته، دارای اثر مستقیم ناچیزی روی عملکرد دانه بود، ولی از طریق دو متغیر زیست‌توده و شاخص برداشت، تاثیر بیشتری روی عملکرد دانه گذاشت و مقدار اثر کل آن برابر ۰/۲۰۲ شد. این نتیجه با نتایج همبستگی ساده صفات تا حدی مغایر بود، اما فرضیه مطرح شده در بخش همبستگی از نظر امکان تاثیر اجزای عملکرد از طریق زیست‌توده را ثابت می‌نماید. با توجه به تفاوت‌های ژنتیکی (ژنوتیپ‌ها) و عوامل محیطی موثر بر رشد و نمو، وجود اختلاف در نتایج همبستگی صفات و تجزیه مسیر در پژوهش‌های مختلف قابل انتظار است و تعجب‌آور نیست.

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که صرف نظر از روابط همبستگی و رگرسیون، با تجزیه مسیر می‌توان به روابط بین صفات با جزئیات بیشتری پی برد و در برنامه‌های به‌نژادی آتی با آگاهی بیشتر و دقیق‌تر برنامه‌ریزی نمود. بر این اساس، ماش پر عملکرد می‌تواند با انتخاب گیاهانی با زیست‌توده و شاخص برداشت بالا و وزن غلاف در بوته بالا انتخاب شود.

جدول ۶ - تجزیه مسیر و تبیین ضرایب همبستگی به اثر مستقیم و غیرمستقیم برای عملکرد دانه ماش

Table 5. Path analysis and partitioning of correlation coefficient to direct and indirect effects for grain yield in mung bean

Traits	Direct effects	Indirect effects			Total correlation
		Biomass	Harvest Index	Pod weight per plant	
Biomass	0.818	-	-0.275	0.025	0.569
Harvest Index	0.84	-0.268	-	-0.014	0.56
Pod weight per plant	0.084	0.247	-0.13	-	0.202
Residual effects = 0.215					

Khajudparn & Tantasawat (2011) با انجام تجزیه مسیر نشان دادند که صفات تعداد خوشه، وزن صد دانه، تعداد دانه در غلاف، زیست‌توده و تعداد غلاف در بوته، بیشترین اثر مستقیم را روی عملکرد دانه داشتند. Canci & Toker(2014) گزارش نمودند که عملکرد بیولوژیکی، بیشترین تأثیر مستقیم را بر عملکرد دانه دارد. در پژوهش دیگری نیز گزارش شد که تعداد شاخه، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، وزن صد دانه، وزن خشک و شاخص برداشت، اثرات مستقیم مثبت روی عملکرد دانه دارند و پیشنهاد شد که این صفات، تاثیرگذارترین صفات روی عملکرد دانه در ماش بودند و به‌عنوان اساس انتخاب می‌توانند در برنامه‌های به نژادی ماش مورد توجه قرار گیرند (Tabasum *et al*., 2010). نتایج این پژوهش از نظر ورود صفات زیست‌توده و شاخص برداشت با پژوهش‌های پیشین همسو است؛ بنابراین این صفات، مهم‌ترین و تاثیرگذارترین صفات روی عملکرد دانه در واحد سطح در ماش می‌باشند. اگرچه محققین بسیاری به نقش تعداد غلاف در بوته به‌عنوان یک جزء عملکردی مهم در گیاه ماش اشاره داشتند و این صفت را برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر برای اهداف به نژادی ماش پیشنهاد نمودند (Makeen *et al*., 2007; Gul *et al*., 2008; Hakim, 2008; Tabasum *et al*., 2010)، اما در پژوهش حاضر، وزن غلاف در بوته به‌عنوان یکی از صفات تاثیرگذار شناخته شد. گزارش شده است که ۹۰ درصد تنوع مشاهده شده در بین ارقام ماش، مربوط به زیست‌توده است. تجمع زیست‌توده، عمل شاخص سطح برگ، ضریب جذب تشعشع و کارایی استفاده از تشعشع

می‌باشد. وجود تنوع ژنتیکی از نظر میزان تشکیل، ویژگی‌های ظاهری و دوام برگ، صفات مفیدی برای بررسی تنوع توزیع بهتر تابش خورشیدی در کانوپی گیاه و کارایی استفاده از تابش، تجمع ماده خشک و پر شدن دانه توصیف شده‌اند. توسعه ناکافی سطح برگ به‌عنوان محدودیت اولیه برای عملکرد در ماش نام برده شده است. ارقام ماش با برگ‌های باریک با نفوذ بیشتر نور به داخل کانوپی قادرند عملکرد بیشتری را تولید نمایند؛ این موضوع یکی از موضوعات تحقیقات فیزیولوژیکی آینده در ماش عنوان شده است. بنابراین، بهترین شانس برای افزایش تولید زیست‌توده در ماش می‌تواند حصول اطمینان از دستیابی زودهنگام به شاخص بحرانی سطح برگ و یا ایجاد ارقامی با برگچه‌های کوچک‌تر باشد که امکان توزیع بهتر نور در کانوپی فراهم شود. در این راستا، نه تنها اندازه و میزان تشکیل برگ، بلکه دوام سطح برگ یا به عبارتی زمان پیری برگ نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تفاوت‌هایی در زمان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های ماش وجود دارد. واریته‌های زراعی عمدتا وابسته به میزان فتوسنتز در مرحله زایشی هستند و مواد فتوسنتزی تجمع یافته و ذخیره شده در زمان قبل از گلدهی را برای تشکیل دومین سری از غلاف‌ها ذخیره می‌کنند. در مقابل، توده‌های بومی تمایل به انتقال مجدد مواد تجمع یافته قبل از گلدهی دارند و مقدار زیادی از مواد نیتروژنی ذخیره شده در برگ‌ها را قبل از دوره پر کردن غلاف تخلیه می‌کنند؛ درحالی‌که برای به حداکثر رساندن عملکرد از اولین غلاف‌های تشکیل شده، ترکیبی از این دو ویژگی مورد نیاز است (Chauhan & Williams, 2018).

از طرف دیگر، انقلاب سبز در غلات تا حد زیادی به‌واسطه افزایش چشمگیر شاخص برداشت حاصل شد که باعث افزایش بهره‌وری غلات شد؛ تأکید مشابهی در حبوبات برای انتخاب ژنوتیپ‌ها با شاخص برداشت مناسب وجود دارد (Zubair *et al*., 2007). شاخص برداشت، هدف اصلی برای اصلاح محصولاتی نظیر ماش است که شاخص برداشت کمتر از ۰/۵ دارند. ماش گیاهی رشد نامحدود است، گلدهی در آن به صورت ناهمزمان است و این موضوع، دلیل اصلی شاخص برداشت پایین در این گیاه است. ژنوتیپ‌هایی که عادت رشد معین‌تر دارند و گلدهی در آن‌ها همزمانی بیشتری دارد، در مقایسه با ژنوتیپ‌های با رشد نامعین، ماده خشک را با کارایی بیشتری بخش‌بندی می‌کنند و شاخص برداشت بالاتری دارند. تلاش‌ها برای افزایش شاخص برداشت در گیاه ماش، با وجود این‌که به‌عنوان محدودیت قابل توجه برای دستیابی به عملکرد بالای دانه شناخته شده است، موفقیت‌آمیز نبوده است. با افزایش شاخص برداشت که باعث افزایش عملکرد دانه و پایداری تولید در ماش می‌شود، می‌توان رشد نامحدود بودن و تولید گل و غلاف های جدید را کاهش داد (Chauhan & Williams, 2018).

نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌ها با استفاده از ماتریس ضرایب همبستگی صفات مورد ارزیابی و با توجه به مقادیر ویژه بزرگتر از یک و چرخش وریمکس نشان داد که چهار عامل، ۷۲/۳۶ درصد تنوع موجود بین نمونه‌ها را توجیه کردند (جدول ۷).

صفات وزن بوته، تعداد و وزن غلاف در بوته، تعداد و وزن دانه در بوته و تعداد خوشه در بوته، بالاترین ضرایب عاملی را در عامل اول داشتند؛ این عامل با توجیه ۲۹/۲ درصد از تنوع، اجزای عملکرد نام گرفت. عامل دوم، ۱۶/۳ درصد از کل موجود در داده‌ها را توجیه نمود. صفات عملکرد دانه در واحد سطح و شاخص برداشت، بیشترین ضرایب را در این عامل داشتند؛ این عامل، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت نام گرفت. در عامل سوم، صفات طول غلاف و وزن صد دانه، بزرگترین ضرایب را داشتند؛ این عامل که ۱۶ درصد از تنوع کل داده ها را توجیه نمود، درشتی دانه و طول غلاف قابل نامگذاری است. در عامل چهارم، صفات روز تا رسیدگی و زیست‌توده، بیشترین ضرایب را داشتند؛ این عامل، ۱۰/۷ درصد از تنوع کل داده‌ها را توجیه می‌نمود. بالا بودن میزان اشتراک برای اکثر صفات مورد بررسی نشان می‌دهد که چهار عامل تعریف شده توانسته اند تغییرات صفات را به نحو مطلوبی توجیه نمایند؛ بالا بودن میزان KMO نیز بیانگر مطلوبیت تجزیه عاملی برای این صفات است (جدول ۷). Zubair *et al* (2007) گزارش

کردند که در تجزیه به مولفه‌های صفات ژنوتیپ‌های ماش، مولفه اول با صفات تعداد خوشه و غلاف در بوته، طول غلاف، دانه در غلاف، وزن دانه و عملکرد دانه در بوته مرتبط بود. Hapsari *et al.* (2018) گزارش کردند پنج مولفه اصلی اول، ۷۶ درصد از تنوع نمونه‌های ژنتیکی ماش را توجیه نمودند و تعداد شاخه در بوته، شاخه زایا، خوشه و دانه در غلاف در مولفه اول و روز تا گلدهی و نیز رسیدگی در مولفه دوم تاثیر گذار بودند. Waniale *et al* (2014)صفات ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی و تعداد غلاف در بوته را تاثیرگذارترین صفات در تجزیه به مولفه‌های اصلی نمونه‌های ژنتیکی ماش گزارش نمودند که ۹۳ درصد از تنوع را توجیه کردند. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، عملکرد دانه در واحد سطح با اجزای عملکرد در یک عامل قرار نگرفت؛ این نتیجه نشان می‌دهد که عملکرد ماش متاثر از صفاتی است که ممکن است در این پژوهش مورد ارزیابی قرار نگرفته باشند. صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نظیر سطح و ضخامت برگ یا سطح ویژه برگ، به عبارتی تعداد واحد فتوسنتزی به ازای یک سانتی‌متر مربع سطح برگ، دوام برگ، محتوای کلروفیل و ظرفیت فتوسنتزی، زاویه قرار گرفتن برگ‌ها و کارایی بهره‌گیری از تابش خورشیدی، درصد پوسته غلاف به‌عنوان مهم‌ترین منبع برای پر شدن دانه و مباحث انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به دانه‌های در حال پر شدن همگی عواملی هستند که اگرچه در این پروژه اندازه‌گیری نشده‌اند اما هر یک می‌توانند بر عملکرد دانه تاثیرگذار باشند و چه بسا تاثیر آن‌ها بسیار فراتر از اجزای عملکردی است که اندازه‌گیری شده است. همبستگی دو صفت عملکرد دانه و زیست‌توده با هم و همبستگی اجزای عملکرد با زیست‌توده (جدول ۴)، همگی دلیلی بر این ادعا است که هر یک از این عوامل نام برده شده می‌توانند در این مسیر دخیل باشند، اما به دلیل این‌که اندازه‌گیری نشده‌اند، نمی‌توانند مورد بحث قرار گیرند.

جدول ۷- مقادیر ویژه، درصد تبیین واریانس، ضرایب عاملی و میزان اشتراک در ژنوتیپ‌های ماش

Table 7. Eigen value, explained variance percentage, factor loading and communality in mung beangenotypes

	Factor1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	
Eigen value	4.68	2.61	2.57	1.72	Communalities (KMO=0.688**)
%Proportional Variance	29.25	16.32	16.05	10.74	
% Cumulative Variance	29.25	45.56	61.62	72.36	
Pod Length	-0.11	0.12	0.76	0.06	0.60
Plant weight	0.85	-0.11	0.18	0.01	0.77
Pods per Plant	0.84	-0.07	-0.48	0.09	0.95
Grains per Pod	0.13	-0.02	-0.32	0.29	0.21
Grain Yield	0.06	0.89	0.08	0.18	0.84
Days to Maturity	-0.07	-0.33	0.02	0.76	0.69
Plant Height	0.14	-0.59	-0.02	0.56	0.68
Biomass	0.38	0.20	0.06	0.72	0.71
Harvest index	-0.12	0.80	0.11	-0.32	0.77
Days to Flowering	0.12	-0.66	0.16	0.07	0.48
Pod Weight per Plant	0.85	-0.07	0.09	0.20	0.77
100 Grains Weight	0.11	0.01	0.90	0.00	0.82
Grains per Plant	0.88	0.00	-0.40	0.10	0.95
Grain Weight per Plant	0.90	0.01	0.12	0.18	0.86
Pods per cluster	0.13	0.45	-0.69	-0.03	0.69
Cluster No per Plant	0.83	-0.07	-0.34	-0.03	0.80

**: ضریب KMO؛ نشان‌دهنده کفایت نمونه برداریاست.

** : KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) coefficient shows measure of sampling adequacy.

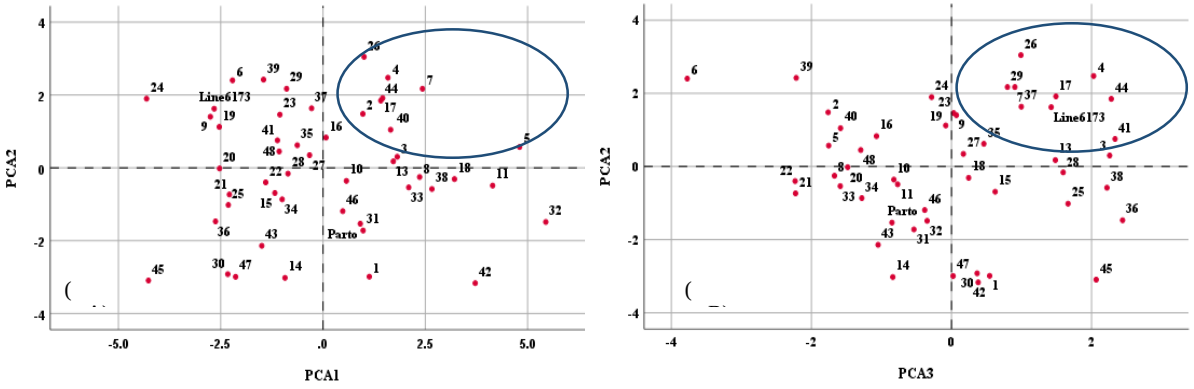
در مطالعات دیگر روی گیاه ماش نیز دیده می‌شود که عملکرد و اجزای عملکرد در یک مولفه قرار نمی‌گیرند و حتی اجزای عملکرد در فاکتورهای جداگانه قرار می‌گیرند (Canci & Toker, 2014).

عملکرد بیشتر یک گیاه، نتیجه تعداد بذر بیشتر، تولید دانه سنگین‌تر و یا ترکیبی از این عوامل است. تعداد دانه بیشتر نیاز به تشکیل و پر شدن تعداد غلاف بیشتر و به تبع آن تعداد خوشه، تعداد غلاف در خوشه و در بوته و طول غلاف بیشتر است. وزن دانه نیز نتیجه تشکیل دانه‌های سنگین‌تر یا به عبارتی وزن صد دانه

بالاتر است؛ بنابراین هر یک از این صفات می‌توانند روی تولید عملکرد بیشتر تاثیرگذار باشند .

علاوه بر این، سرعت رشد رویشی بیشتر و رسیدن به مرحله غلاف‌دهی در مدت زمان کوتاه‌تر، با توجه به نامحدود بودن تیپ رشد گیاه ماش موجب می‌شود که گیاه در رقابت با سایر ژنوتیپ‌ها که دیرتر به فاز زایش وارد می‌شوند بتواند از تشعشع خورشید، طول روز مناسب و رطوبت خاک برای تشکیل غلاف بیشتر و به عبارتی ادامه رشد زایشی بهره‌مند شود.

اگرچه هدف اساسی برنامه‌های اصلاحی بهبود عملکرد است، اما دو نکته اساسی را باید مد نظر قرار داد: ۱) با توجه به این‌که صفات اجزای عملکرد، پیچیدگی کمتری دارند و کمتر تحت تاثیر محیط قرار می‌گیرند، انتخاب از طریق آن‌ها بیشتر قابل توجیه است (Chen *et al.*, 2019) و ۲) ترجیح و سلیقه بازار یا نیاز فرآوری‌های پایین دست است که می‌تواند بر این‌که در کنار عملکرد کدام ویژگی به‌عنوان ویژگی مورد نظر و مطلوب در نظر گرفته شود تاثیر بگذارد. یکی از صفات اصلی که روی بازارپسندی ماش اثر دارد، رنگ براق و اندازه درشت دانه است؛ بنابراین صرف داشتن عملکرد بالا نمی‌تواند در موفقیت معرفی یک ژنوتیپ نقش داشته باشد و یا زمانی که هدف از کشت، کاربرد در صنعت جوانه‌های ماش است، بذرهای ریز با هیپوکوتیل سبز ترجیح داده می‌شوند؛ از این‌رو، باید برای انتخاب یک ژنوتیپ به هدف توجه خاصی شود و اگر هدف این است که بعد از یک فصل کشت کوتاه برداشت، عملکرد قابل قبول باشد، توجه به صفات اجزای عملکرد و عملکرد دانه در بوته و به تبع آن همزمان رسیدن و زودرسی می‌تواند راه‌گشا باشد؛ از این‌رو استفاده از نمودارهای دو بعدی که امکان در کنار هم قرار گرفتن فاکتورهای اندازه‌گیری شده مختلف و ضرایب ژنوتیپ‌ها در هر یک از این فاکتورها را فراهم می‌سازد، کمک موثری در انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس هدف مورد نظر است. با توجه به این‌که تولید عملکرد، هدف نهایی همه برنامه‌های به‌نژادی است، از ترسیم نمودار دو بعدی مولفه دوم که مولفه عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت نام گرفته بود با مولفه‌های اول (اجزا عملکرد) و سوم (درشتی دانه و طول غلاف) استفاده شد تا نمونه‌های منتخب از ابعاد مختلف قابل شناسایی باشند.



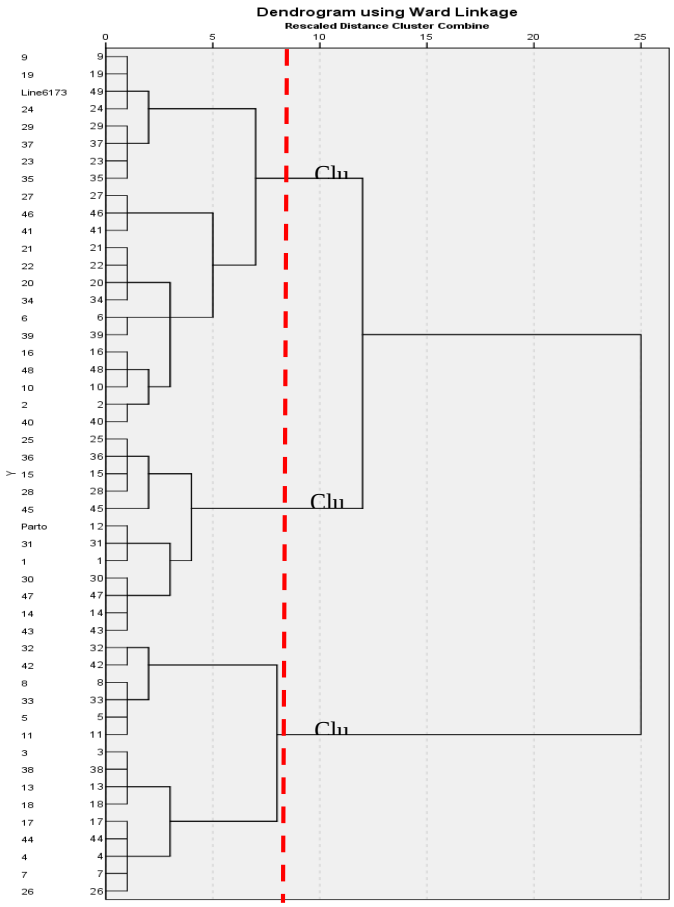
شکل ۲ – نمودار پراکنش ژنوتیپ‌های ماش بر اساس مولفه‌های حاصل از تجزیه به مولفه صفات

Figure 2. The Distribution diagram of mung bean genotypes based on components extracted from PCA analysis of traits

توجه به نمونه‌هایی که دارای مولفه اول بالا می باشند برای انتخاب نمونه‌های با عملکرد دانه در بوته بالا می‌تواند مورد توجه قرار گیرد؛ این نمونه‌ها شامل ژنوتیپ‌های پنج، هفت، هشت، ۱۱، ۱۸، ۳۲، ۳۳، ۳۸ و ۴۲ بودند. از طرفی برای انتخاب نمونه‌های با پتانسیل تولید بالا، باید به سراغ ژنوتیپ‌هایی رفت که مولفه دوم بالاتری دارند؛ این ژنوتیپ‌ها شامل ژنوتیپ‌های چهار، شش، هفت، ۱۷، ۲۴، ۲۶، ۲۹، ۳۹ و ۴۴ بودند. بر این اساس، رسم نمودار مولفه اجزای عملکرد (مولفه اول) با مولفه عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت (مولفه دوم) مشخص نمود که نمونه‌های ژنتیکی شماره دو، سه، چهار، ،پنج، ۱۷، ۲۶، ۴۰ و ۴۴ از نظر صفات عملکرد در واحد سطح، زیست‌توده و اجزای عملکرد نظیر تعداد و وزن غلاف و دانه در بوته و نمونه‌های قابل توجه بودند

(شکل۲A). رسم نمودار مولفه درشتی دانه و طول غلاف (مولفه سوم) با مولفه تولید (مولفه چهارم) مشخص نمود که نمونه‌های ژنتیکی شماره سه، چهار، هفت، ۱۳،۲۶، ۲۹، ۳۷، ۴۱، ۴۴ و لاین ۶۱۷۳ از نظر صفات عملکرد در واحد سطح، شاخص برداشت و وزن صد دانه (درشتی دانه) نمونه‌های قابل توجه بودند (شکل۲B). با نگاهی به جایگاه قرار گرفتن نمونه‌ها در این دو نمودار مشخص می‌شود که ژنوتیپ‌های سه چهار ،۲۶ و ۴۴ در هر دو نمودار در دسته ژنوتیپ‌های برتر از نقطه نظر صفات مورد بررسی قرار گرفتند.

نمودار درختی حاصل از تجزیه‌ی خوشه‌ای به روش حداقل واریانس وارد با استفاده از چهار مولفه حاصل از تجزیه به مولفه‌ها برای ۴۹ نمونه ژنتیکی ماش در شکل ۳ ارائه شده است. برش دندروگرام در خط برش نه موجب قرار گرفتن نمونه‌های ژنتیکی در سه گروه شد. برای تایید محل برش نمودار درختی، از تجزیه تابع تشخیص استفاده شد و میزان صحت گروه بندی ژنوتیپ‌ها در هر گروه با استفاده از این روش، ۹۶ درصد تخمین زده شد. جدول ۸، میانگین و میزان انحراف از میانگین کل استاندارد شده گروه‌ها برای صفات مختلف را نشان می‌دهد. بر اساس تجزیه خوشه‌ای، کلاستر یک متشکل از ۲۲ عضو، از نظر صفات عملکرد و اجزای آن، پایین‌ترین مقدار را داشت. خوشه دو متشکل از دوازده عضو، نمونه‌های دارای شاخص برداشت و عملکرد دانه در واحد سطح بالاتر شامل ژنوتیپ‌های شماره یک، ۱۴، ۱۵، ۲۵، ۲۸، ۳۰، ۳۱، ۳۶، ۴۳، ۴۵، ۴۷ و رقم پرتو را در خود جای داد. کلاستر سه پانزده عضو داست که این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات وزن بوته، تعداد و وزن دانه و غلاف و طول غلاف و وزن صد دانه قابل توجه بودند؛ این گروه شامل ژنوتیپ‌های شماره سه، چهار، پنج، هفت، هشت، ۱۳، ۱۷، ۱۸، ۲۶، ۳۲، ۳۳، ۳۸، ۴۲ و ۴۴ بود.



شکل ۳- دندروگرام گروه‌بندی نمونه‌های ژنتیکی ماش بر اساس سه مولفه حاصل از تجزیه به مولفه‌های صفات زراعی به روش وارد

Figure 3. Mung bean genotypes clusters Dendrogram based on the principle components extracted from PCA analysis using Ward's method

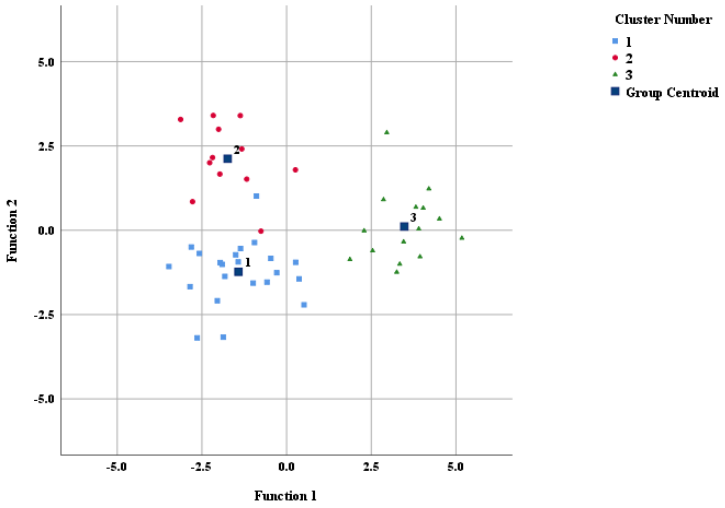
جدول ۸- مقادیر میانگین و انحراف معیار صفات اندازه‌گیری شده در مرکز هر خوشه حاصل از تجزیه خوشه‌ای
Table 8. Means and standard deviation of measured quantitative traits in the center of clusters

	Cluster NO. (Number of cases in each cluster)					
	Cluster1(22)		Cluster2(12)		Cluster3(15)	
Characters	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Pod Length (cm)	8.6	1.4	8.7	1.4	8.4	0.9
Plant weight (g)	79.6	28.6	94.3	20.6	160.2	34.5
Pods per Plant	47.3	15.0	53.6	19.3	87.4	24.2
Grains per Pod	11.1	0.6	11.0	0.6	11.2	0.3
GrainYield (gm^{-2})	143.7	41.1	193.2	30.1	155.7	37.2
Days to Maturity	137.3	10.3	126.6	8.6	134.5	9.4
Plant Height (cm)	86.9	15.8	60.0	10.3	86.0	11.5
Biomass (gm-2)	604.8	120.9	569.5	86.4	664.9	108.6
Harvest index	24.0	4.9	36.7	7.5	23.5	5.6
Days to Flowering	39.5	1.9	37.3	1.1	40.5	2.6
Pod Weight per Plant (g)	30.3	12.3	31.8	7.8	49.8	8.1
100 Grains Weight (g)	4.6	1.5	4.5	1.1	5.0	1.3
Grains No. per Plant	384.0	133.8	448.6	176.4	734.2	190.6
Grain Weight per Plant (g)	16.9	6.1	18.6	5.1	34.9	6.7
Pods per cluster	2.5	0.5	3.1	0.5	2.7	0.7
Cluster No per Plant	17.9	4.3	20.5	5.7	29.7	7.3

بر اساس جدول ۹، از نظر صفات طول غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه، تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها دیده نمی‌شود. Krishna *et al* (2020) گزارش نموده بودند که صفات روز تا رسیدگی، شاخص برداشت، تعداد خوشه و وزن دانه در بوته، وزن صد دانه و زیست‌توده، بیشترین تفاوت را بین خوشه‌های مختلف حاصل از تجزیه خوشه‌ای داشتند. نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر از نظر صفت وزن صد دانه با نتایج Krishna *et al.* (2020) در تناقض است، زیرا اختلاف قابل توجهی بین خوشه‌ها از نظر کلیه صفات، به استثنای صفات طول غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه دیده شد.

نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که هیچ خوشه‌ای حاوی ژنوتیپ‌هایی با تمام ویژگی‌های مطلوب نیست. از آن‌جا که بهبود عملکرد و سایر خصوصیات مرتبط در برنامه به‌نژادی یک هدف اساسی است، میانگین خوشه‌ها برای صفات عملکرد دانه در بوته و اجزای اصلی آن برای انتخاب ژنوتیپ‌ها باید در نظر گرفته شود (Sen & De, 2017). میانگین خوشه‌ها برای ویژگی‌های مختلف نشان می‌دهد که خوشه سه، بالاترین میانگین خوشه را برای یازده ویژگی مختلف مانند عملکرد دانه در بوته، وزن صد دانه، زیست‌توده و ... داشت. خوشه دو، بالاترین میانگین خوشه را برای صفات عملکرد دانه در واحد سطح و شاخص برداشت داشت و نمونه‌های ژنتیکی زودرس‌تر در این خوشه جای گرفتند. همان‌گونه که قبلا نیز ذکر شد، عملکرد دانه برای حبوبات، محصول زمان گلدهی مناسب برای اطمینان از توسعه کانوپی و شاخص برداشت بالا است. در کشت‌های بهاره و تابستانه و در شرایطی که امکان رخداد تنش‌های خشکی و گرمای آخر فصل وجود دارد، کاهش طول دوره رشد یک مزیت به شمار می‌رود. خوشه دو از نظر تعداد غلاف در خوشه، در رتبه اول و از نظر اجزای عملکرد در رتبه دوم قرار داشت؛ بنابراین ژنوتیپ‌های قرار گرفته در این خوشه از نظر مجموع صفات مورد بررسی قابل توجه می‌باشند.

نتایج توابع تشخیص بر مبنای گروه‌بندی خوشه‌ای نمونه‌های ژنتیکی در جدول ۱۰ و شکل ۴ ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود، دو تابع تشخیص حدوداً به میزان ۱۰۰ درصد از واریانس تجمعی را توضیح دادند. از این‌رو می‌توان با استفاده از این دو تابع، نمونه‌ها را به کلاسترهای مربوطه به نحوی منتسب کرد که کمترین فاصله را با آن‌ها داشته باشد.



شکل ۴- نمودار توابع تشخیص و موقعیت کلاسترهای حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس مقادیر حاصله از توابع تشخیص اول و دوم
Figure 4. Diagram of the discriminant function and clusters situation based on the first and second functions

ضرایب استاندارد شده صفات در توابع تشخیص در جدول ۱۰ آمده است. با استفاده از این جدول و با توجه به ضرایب صفات در هر تابع می‌توان به اهمیت نسبی هر صفت در تمایز بین گروه‌ها پی برد. شکل ۴ موقعیت گروه‌ها نسبت به هم و موقعیت فواصل آن‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، گروه‌های مختلف تقریبا به خوبی از هم تفکیک شده‌اند که تایید کننده گروه‌بندی انجام شده بر اساس تجزیه خوشه‌ای است؛ به عبارتی، تجزیه تابع تشخیص بر اساس صفات مورد ارزیابی به خوبی توانست نمونه‌های ژنتیکی منتسب به هر خوشه حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس تجزیه به مولفه‌های اصلی صفات را متمایز نماید. بر این اساس و در تابع اول که بیشترین سهم (۷۵ درصد) را در تمایز بین خوشه‌ها داشت، صفات عملکرد در واحد سطح و تعداد غلاف در گیاه و وزن دانه در بوته با علامت مثبت و صفات زیست‌توده و شاخص برداشت با علامت منفی، بیشترین ضرایب را داشتند. تابع دوم با صفت شاخص برداشت با علامت مثبت و صفات تعداد دانه در بوته و ارتفاع بوته با علامت منفی، بیشترین ضرایب را داشتند. آزمون همسانی گروه‌های حاصل از تجزیه تابع تشخیص بر اساس لامبدای ویلکس (Wilks Lambda) نشان داد که به‌غیر از صفات طول غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه، گروه‌های حاصل تفاوت معنی‌داری در همه صفات داشتند (جدول ۹).

جدول ۹- آزمون همسانی گروه‌های حاصل از تجزیه تابع تشخیص، مقادیر لامبدای ویلکس و معنی‌داری اثر صفات برای تفکیک گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای
Table 9. Tests of equality of group means, Wilks' Lambda value and meaningful effect of different traits for separation of groups oriented from the cluster analysis

	Wilks'	F	df1	df2	Sig.
Pod Length	0.99	0.24	2	46	0.79
Plant weight	0.39	36.37	2	46	0.00
Pods per Plant	0.53	20.55	2	46	0.00
Grains per Pod	0.99	0.31	2	46	0.73
GrainYield	0.77	6.88	2	46	0.00
Days to Maturity	0.83	4.82	2	46	0.01
Plant Height	0.56	17.71	2	46	0.00
Biomass	0.90	2.68	2	46	0.08
Harvest index	0.51	22.10	2	46	0.00
Days to Flowering	0.71	9.18	2	46	0.00
Pod Weight per Plant	0.56	18.28	2	46	0.00
100 Grains Weight	0.97	0.68	2	46	0.51
Grains No. per Plant	0.52	21.52	2	46	0.00
Grain Weight per Plant	0.35	42.60	2	46	0.00
Pods per cluster	0.87	3.36	2	46	0.04
Cluster No per Plant	0.53	20.07	2	46	0.00

لامبدای ویلکس، آماره استانداردی است که برای مشخص نمودن معنی‌دار بودن قدرت تفکیک‌کنندگی مدل تابع تشخیص استفاده می‌شود و مقدار آن بین صفر و یک قرار دارد. هرچه مقدار این شاخص کمتر باشد، نشان‌دهنده قدرت تفکیک کنندگی بیشتر تابع به‌دست آمده است. به عبارتی، بر اساس مقادیر لامبدای ویلکس، از بین متغیرهای مورد بررسی، کلیه صفات به استثنای طول غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه، تاثیر معنی داری در اختلاف نمونه‌های ژنتیکی و دسته بندی آن‌ها در سه گروه متمایز داشتند.

جدول ۱۰- مقادیر ویژه، درصد تبیین واریانس هر کدام از توابع و ضرایب استاندارد شده صفات در هر یک از توابع تشخیص برای تفکیک گروههای حاصل از تجزیه خوشه‌ای

Table 10. Eigenvalue, percentage of variance determination in each function and standardized discriminant function coefficients of the traits in the first, second and third detection functions for separation of groups oriented from cluster analysis

	F1	F2
Eigen value	5.69	1.9
%Proportional Variance	75	25
% Cumulative Variance	75	100
Pod Length	0.17	0.15
Plant weight	0.66	0.33
Pods per Plant	0.83	0.24
Grains per Pod	-0.09	0.05
GrainYield	1.19	-0.41
Days to Maturity	-0.20	-0.01
Plant Height	0.18	-0.65
Biomass	-0.84	0.25
Harvest index	-0.95	0.90
Days to Flowering	0.42	0.00
Pod Weight per Plant	-0.47	0.20
100 Grains Weight	0.12	-0.19
Grains No. per Plant	-0.39	-0.86
Grain Weight per Plant	0.74	0.15
Pods per cluster	-0.27	0.54
Cluster No per Plant	0.33	0.45

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش، دانش و اطلاعات مفیدی در مورد تبیین نقش صفات زراعی مختلف در تنوع نمونه‌های ژنتیکی ماش بانک ژن گیاهی ملی ایران فراهم ساخت. همبستگی مثبت و معنی‌دار صفات تعداد خوشه و غلاف در بوته، وزن صد دانه و طول غلاف با عملکرد دانه در بوته نشان داد که این صفات می‌توانند برای انتخاب ژنوتیپ‌های ماش برای برنامه‌های اصلاحی مورد توجه قرار گیرند. تجزیه مسیر ثابت نمود که انتخاب مستقیم برای بهبود عملکرد می‌تواند بر اساس صفات زیست‌توده، شاخص برداشت و وزن غلاف در بوته صورت پذیرد. تجزیه فاکتور به روش تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که بالغ بر هفتاد درصد میزان تنوع مشاهده شده در بین نمونه‌های ژنتیکی ماش، به صفاتی نظیر عملکرد دانه، وزن بوته، تعداد و وزن غلاف در بوته، تعداد و وزن دانه در بوته (عملکرد تک بوته)، تعداد خوشه در بوته، طول غلاف و وزن صد دانه و شاخص برداشت نسبت داده می‌شود که نشان‌دهنده نقش این صفات در گروه‌بندی نمونه‌های ژنتیکی ماش است.

تجزیه تابع تشخیص بر اساس صفات مورد ارزیابی به خوبی توانست نمونه‌های ژنتیکی منتسب به هر خوشه حاصل از تجزیه خوشه‌ای را متمایز نماید. بر این اساس، صفات عملکرد دانه، زیست‌توده، شاخص برداشت و تعداد غلاف در بوته، بیشترین ضرایب را در تابع اول

داشتند که بیشترین سهم (۷۵درصد) را در تمایز بین خوشه‌ها داشت. این موضوع مجددا روشن کننده نقش موثر این صفات در انتخاب نمونه‌های ژنتیکی امیدبخش برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی آتی می‌باشد. این اطلاعات می‌تواند مبنای تحقیقات بعدی جهت انتخاب، اصلاح و تولید نمونه‌های بومی ماش قرار گیرد.

REFERENCES

1. Adjah, K. L., Abe, A., Adetimirin, V. O. & Asante, M. D. (2020). Genetic variability, heritability and correlations for milling and grain appearance qualities in some accessions of rice (*Oryza sativa* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(6), 1309-1317.
2. Amanullah & Hatam, M. (2000). Correlation between grain yield and agronomic parameters in mungbean (*Vigna radiata*L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3, 1242-1244.
3. Anonymous, (2020). Mung Central, Issue 7 availableat: https://avrdc.org/download/project_newsletters/mung_central_newsletter.
4. Arshad. M., Ahmad, S., Shah, G. A., Nawaz, R. & Ali, S. (2020). Growth and yield performance of *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek influenced by altitude, nitrogen dose, planting pattern and time of sowing under sole and intercropping with maize. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 24(3), 142-155.
5. Bisht,, I. S., Mahajan, R. K. & Kawalkar, T. G. (1998). Diversity in greengram (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) germplasm collection and its potential use in crop improvement. *Annals of Applied Biology*, 132(2), 301-312.
6. Canci, H. & Toker, C. (2014). Yield components in mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Turkish Journal of Field Crops.*19(2), 258-261.
7. Chauhan, Y. S. & Williams, R. (2018). Physiological and agronomic strategies to increase mungbean yield in climatically variable environments of northern Australia. *Agronomy*, 8, 83.
8. Chen, Z., Niu, J., Cao, X., Jiang, W., Cui, J., Wang, Q. & Zhang, Q .(2019). Seed yield can be explained by altered yield components in field-grown western wheatgrass (*Pascopyrum smithii Rydb*.). *Scientific Reports*, 9, 17976.
9. Dahiya, P. K., Linnemann, A. R., Van Boekel, M. A. J. S., Khetarpaul, N., Grewal R. B. & Nout, M. J. R. (2015) Mung Bean: Technological and Nutritional Potential. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(5), 670-688.
10. Gayacharan, K., Tripathi, S. K., Meena, B. S., Panwar, H. L., Rana, J. C. & Singh, K.(2020).Understanding genetic variability in the mungbean (*Vigna radiata* L.) genepool. *Annals of Applied Biology*, 177(3), 346-357.
11. Gul, R., Khan, H., Mairaj, G., Ali, S. & Ikramullah, F. (2008). Correlation study on morphological and yield parameters of mungbean (*Vigna radiata*). *Sarhad Journal of Agriculture*, 24, 37-42.
12. Hakim, L. (2008). Variability and correlation of agronomic characters of mungbean germplasm and their utilization for variety improvement program. *Indonesian Journal of Agricultural Science* 9(1), 24-28.
13. Hapsari, R., Trustinah, T. & Iswant, R. (2018). Diversity of local Indonesian mungbean germplasm based on morphological quantitative and qualitative traits. The 2nd International Conference on Biosciences. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 197(1), 012036.
14. Hashemzehi, M. & Moradgholi, A. (2015). Improving yield performance of Mungbean (*Vigna radiata* L.) under droght conditions via selection of desirable traits. *Journal of Crop Breeding*, 7(16), 34-39. (In Persian)
15. Hou, D., Yousaf, L., Xue, Y., Hu, J., Wu, J., Hu, X., Feng, N. & Shen, Q. (2019). Mung bean (*Vigna radiata* L.): Bioactive polyphenols, polysaccharides, peptides, & health benefits. *Nutrients*, 11, 1238.
16. IPGR. (1980). Descriptors for mung bean. *International Board for Plant Genetic Resources*, FAO, Rome, Italy. 18 pp.
17. Khajudparn, P. & Tantasawat, P. (2011). Relationships and variability of agronomic and physiological characters in mungbean. *African Journal of Biotechnology*, 10(49), 9992-10000.
18. Krishna, T. G., Kumar, A. & Adan F. (2020). Morphological diversity for yield and its component traits in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(4), 34- 41.
19. Makeen, K., Abrahim, G., Jan, A. & Singh, A. K. (2007). Genetic variability and correlations studies on yield and its components in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilezek). *Journal of Agronomy*, 6 (1), 216-218.

20. Malik, S. R. & Zahir, Z. A. (2018). Mungbean production manual. Published by University of Agriculture, Faizabad, Pakistan.
21. Nair, R., Schafleitner, R., Easdown, W., Ebert, A., Hanson, P., Hughes, J. A., Donough, J. & KeatingeRatar, H. (2014). Legume improvement program at AVRDC –The World Vegetable Center: Impact & Future Prospects. *Povrt*. 51(1), 55-61.
22. Narasimhulu, R., Naidu, N. V., Priya, M. S., Govardhan, G., Reddy, D. M., Reddy, K. H. P. & Rajeswari, V. R. (2013). Genetic divergence studied in mungbean. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*, 4(4), 277-280.
23. Rebetzke, G. & Lawn, R. (2006). Adaptive responses of wild mungbean (*Vigna radiata* ssp. sublobata) to photo-thermal environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57, 917–928.
24. Schafleitner, R., Nair, R. M. & Rathore, A. (2015). The AVRDC – The World Vegetable Center mungbean (*Vigna radiata*) core and mini core collections. *BMC Genomics* 16, 344.
25. Sen, M. & De, D. K. (2017). Genetic divergence in mung bean. *Legume Research*, 40 (1), 16-21.
26. Siadat, S. A., Najafinia, f. & Khodarahmpour, Z. (2016). Effect of planting pattern on grain yield and yield components of three Mung bean (*Vigna radiate* L.) varieties in north Khouzestan conditions. *Journal of Plant Production Science*, 6 (1), 1-10. (In Persian)
27. Singh, C. M., Mishra, S. B., Pandey, A. & Arya, M. (2014). Morphological characterization & discriminant function analysis in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) germplasm. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 5(1), 87-96.
28. Singh, C. M., Mishra, S. B., Pandey, A. & Arya, M. (2015). Multivariate analysis in mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] to identify the genetic donors for pubescence & agro-morphological traits. *Legume Research*, 38, 767-771.
29. Suresh, S., Jebaraj, S., Hepziba, S. J. & Theradimani, M. (2010). Genetic studies in mungbean (*Vigna radiata* (L). Wilczek). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 1, 1480-1482.
30. Sriphadet, S., Lambrides, C. J. & Srinives P. (2007). Inheritance of agronomic traits and their interrelationship in Mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 10 (4), 249 - 256.
31. Swapan, K., Tripathy, P. K., Nayak, D., Lenka, D., Swain, B., Baisakh, P., Mohanty, N., Senapati, G. B., Dash, S., Dash, P. M., Mohapatra, K., Pradhan, D. R., Mishra, S. B. & Ranjan, R. (2016). Morphological diversity of local land races and wild forms of mungbean. *Legume Research-An International Journal.* 39,485-493
32. Tabasum, A., Saleem, M. & Aziz, I. (2010). Genetic variability, trait association and path analysis of yield and yield components in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Pakistan Journal of Botany*, 42(6): 3915-3924.
33. Tomooka, N., Lairungreang, C., Nakeeraks, P., Egawa, Y. & Thavarasook, C. (1992). Center of genetic diversity and dissemination pathways in mung bean deduced from seed protein electrophoresis. *Theoretical and Applied Genetics*, 83, 289-293.
34. Ullah, H., Khalil, I. H., Rahman, H. U., Muhammad, F., Khalil, I. A. & Khalil, S. K. (2011). Environmental influence on heritability & selection response of morpho-physiological traits in mungbean. *Pakistan Journal of Botany*, 43(1), 301-310.
35. Vaezi, s., Sekhavat, R., Kanani, R., Zand, B., Dadfar, S., Mirakhorli, A., Darini, A., Seyedi, F. & Hasanzadeh, A. (2015). Collection, regeneration and agromorphological evaluation of mung bean in IRAN. 46222. Agricultural Research, Education and extension Organization. 63 pp. (In Persian)
36. Waniale, A., Wanyera, N. & Talwana, H. (2014). Morphological and agronomic traits variations for mungbean variety selection and improvement in Uganda. *African Crop Science Journal*, 22(2), 123 – 136.
37. Yimram, T., Somta, P. & Srinives, P. (2009). Genetic variation in cultivated mungbean germplasm and its implication in breeding for high yield. *Field Crops Research*, 112 (2-3), 260-266.
38. Zubair, M., Ajmal, S. U., Anwar, M. & Haqqani, A.M. (2007). Multivariate analysis for quantitative traits in mungbean (*Vigna radiata* (l.) Wilczek). *Pakistan Journal of Botany*, 39(1), 103-113.