

## Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2023, 60 (3): 451-464

<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1258084>

Ruziye KARAMAN <sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup> Isparta Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 32260, Merkez, Isparta, Türkiye

\* Sorumlu yazar (Corresponding author):

[ruziyekaraman@isparta.edu.tr](mailto:ruziyekaraman@isparta.edu.tr)

# Fasulye genotiplerinde çok değişkenli istatistiksel yöntemler ile tohum fiziksel özelliklerinin karakterizasyonu

Characterization of seed physical properties of bean genotypes by multivariate statistical methods

**Alınış:** (Received):02.03.2023

**Kabul Tarihi** (Accepted): 04.09.2023

## ÖZ

**Amaç:** Tohumların hasat, harman, işlenmesi, sınıflandırılması ve depolanmasında tohumun fiziksel özellikleri büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle çalışmada farklı büyüklük ve renkteki fasulye genotiplerinin fiziksel özellikleri kullanarak çok değişkenli istatistik yöntemleri ile karakterizasyonun yapılması amaçlanmıştır.

**Materyal ve Yöntem:** Çalışma Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri bölümü laboratuvarlarında 2021 yılında kurulmuştur. Araştırmada fiziksel özellik olarak tohumların uzunluğu, genişliği, kalınlığı, en-boy oranı, parlaklık (L\*) değeri, aritmetik ortalama çapı, geometrik ortalama çapı, basıklığı, küreselliği, tohum hacmi, yığın hacim ağırlığı, gerçek hacim ağırlığı, porozite ve yüzey alanı özellikleri incelenmiştir. Çalışmada elde edilen veriler doğrultusunda korelasyon, temel bileşen analizi ve kümeleme ısı haritaları belirlenmiştir.

**Araştırma Bulgular:** Çalışma sonucunda fiziksel özellikler yönünden genel olarak Bolu'dan temin edilen G10 genotipi ön plana çıkmıştır. Korelasyon analizi sonucu genel olarak tohum uzunluğu, genişliği ve kalınlığı, aritmetik ortalama çap, geometrik ortalama çap ve tohum hacmi özellikleri arasında pozitif ilişki olduğu belirlenmiştir. TBA sonucunda incelenen özellikler ile ilgili olarak birbirinden bağımsız 3 tane temel bileşen ekseninde elde edilmiştir. Elde edilen eksenlerin toplam varyasyonun %91.7'sini oluşturmaktadır. Kümeleme analizine göre ise, genotipler dört gruba, incelenen özellikler ise üç gruba ayrılmıştır.

**Sonuç:** Yapılan bu çok değişkenli analizlerin sonucunda belirlenen özelliklerin fasulye genetik materyalleri üzerine ilahçılara pratik anlamda fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

## ABSTRACT

**Objective:** The physical characteristics of seeds are of great importance in harvesting, threshing, processing, classification and storage of seeds. For this reason, the aim of this study was to characterize the bean genotypes of different sizes and colors by using physical properties with multivariate statistical methods.

**Material and Methods:** The study was carried out in the laboratories of Field Crops Department, Agriculture Faculty, Isparta University of Applied Science in 2021. In the study, the physical properties of seeds such as length, width, thickness, aspect ratio, brightness (L\*) value, arithmetic mean diameter, geometric mean diameter, kurtosis, sphericity, volume, bulk volume weight, true volume weight, porosity, and surface area were analyzed. It was determined by correlation, principal component analyses and cluster heat maps in accordance with the data obtained in the study.

**Results:** As a result of the study, the G10 genotype obtained from Bolu, which has white seed color in terms of physical properties, came to the fore. As a result of correlation analysis, it was determined that there was a positive relationship between seed length, width and thickness, arithmetic mean diameter, geometric mean diameter, and seed volume. As a result of PCA, 3 independent principal component axes were obtained for traits. Obtained axes accounted for 91.7% of the cumulative variation. According to the clustering analysis, the genotypes were divided into four groups and the traits were divided into three groups.

**Conclusion:** The traits determined as a result of these multivariate analyses are thought to be of practical benefit to breeders on bean genetic materials.

**Anahtar sözcükler:** Fasulye, karakterizasyon, korelasyon analizi, kümeleme ısı haritası, temel bileşen analizi

**Keywords:** Bean, characterization, correlation analyze, cluster heat map, PCA

## GİRİŞ

Türkiye’de fasulye genetik çeşitliliği oldukça yüksektir (Elkoca vd., 2010; Çancı vd., 2019). Türkiye’deki çeşitli ekolojik koşullar, fasulye genotipleri üzerine etki etmiş ve bu süreç içerisinde birbirinden farklı yerel fasulye genotip/ ekotipleri oluşmasına sebep olmuştur (Soydaş vd., 2021). Nitekim, ülkemizde kuru fasulye üzerinde farklı araştırmacılar tarafından fenolojik, morfolojik ve agronomik açıdan genotiplere ait karakterizasyon yapılmış ve varyasyonlar ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur (Ülker & Ceyhan, 2008; Bıyıklı vd., 2015; Sözen vd., 2014a, b; Çancı vd., 2019; Yeken vd., 2019; Soydaş vd., 2021). Ancak bu araştırmalarda kuru fasulye genotiplerinin fiziksel özellikleri üzerine istatistiki analizler ile detaylı incelemeler yapılmamıştır. Tarımsal ürünlerin ekim ve dikiminde, sınıflandırılmasında, hasat ve harmanında, işlenmesinde, depolanmasında, iletimi ve taşınmasında fiziksel özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir (Özlü & Güner, 2016). Bu tür temel bilgiler sadece mühendisler için değil, aynı zamanda gıda bilimcileri, gıda endüstrisi, bitki yetiştiricileri ve yeni kullanım alanları bulabilecek diğer bilim insanları için de önemlidir (Mohsenin, 1986). Gıdacılar için, tohum fiziksel özelliklerinin bilinmesi bu tohumlardan elde edilecek ürünlerin renk, kalite, yoğunluk vb. pek çok özelliği etkileyeceği için önem arz etmektedir. Tohumların şekil ve boyut (fiziksel) özellikleri, çıkış ve çıkış sonrası oluşan bitkinin gelişiminde büyük önem taşımaktadır (Dumanoğlu vd., 2019). Kara & Akman (2007), buğdayda iri tohumların daha derine ekilse bile çıkış ve gelişim performanslarının daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Bunlara ek olarak tohum boyutu hem çimlenme hem de çimlenme sonrası gelişen bitkilerin çoğu zaman sağlığı ve gelişimine de direkt etki etmektedir (Pollock & Ross, 1972; Salisbury & Ross, 1992). Özellikle kültüre alınan bitkilerin geniş alanlara makineli ekimlerinde uygun ekici düzeni tercih edilmesi açısından da tohumlara ait bu bilgiler önem taşımaktadır (Dumanoğlu & Çakmak, 2017). Bunların dışında, tohumların temizlenmesi, paketlenmesi ya da depolanması gibi ürün işleme basamaklarında da bu veriler değerlendirilmektedir (Dumanoğlu & Çakmak, 2019b; Dumanoğlu vd., 2019). Tohumlar sadece yapılarına göre değil farklı yüzey özellikleri de göstermektedir. Şekil ve boyutları belirlenen tohumların ayrıca yüzey alanlarına bakılmasının bir nedeni de bu durumdur (Dumanoğlu & Çakmak, 2019a). Ayrıca üniform bir ekim ve tarımsal işlemlerin kolaylıkla yapılabilmesi için tohumlara ait küresellik değeri de belirlenmektedir. Bu belirlenen değerler ışığında, özellikle üreticinin mevcut kullandıkları makineler ile bu tohumları ekim işlemlerini gerçekleştirmelerine ya da eksiklerin giderilmesi veya kullanılmayan ekici düzenlerin değerlendirilerek hedeflenen seviyede ürünün elde edilmesi açısından önem arz etmektedir (Dumanoğlu vd., 2019).

Çoklu değişkenli analiz yöntemleri [cluster ve temel bileşen analizi (TBA) vb.], oluşan varyasyonun ortaya çıkarılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Tan, 2005). Cluster (kümeleme) ve TBA genotiplerin çeşitliliğini ve genotipler arasındaki varyasyonun belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Temel bileşen analizi, çok sayıda değişkeni maksimum bilgi ile en az değişkene indirgeme yeteneğine sahiptir. Kümeleme analizi, genetik benzerliğe dayalı olarak arzu edilen özellikler için genotiplerini sınıflandırılmasında kullanılmaktadır (Ahmad et al., 2014). Isı haritaları ise, kümeleme analizinin sonucunu görselleştirmenin bir yolu olup, bir dizi olası durumdaki verilerin benzerlik ve farklılıkları sezgisel olarak görünmesini sağlamaktadır (Kellom & Raymond, 2016). Ayrıca, ıslah programlarında ebeveyn seçiminde (Ahmad et al., 2014), genotipler arasında benzerlik ve farklılıklarının ortaya çıkmasında çoklu değişkenli analiz yöntemleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Sözen vd., 2014b; Karaman & Türkay, 2022).

Bu çalışmada amaç, (i) ülkemizin farklı bölgelerinden temin edilen fasulye genotiplerinin tohum fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, (ii) çoklu değişkenli analiz yöntemleri kullanarak fasulye genotipleri arasındaki genetik değişkenliği gözlemlemek ve böylece fasulye genotiplerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için istenen özellik gruplarına sahip genotiplerin seçilebilmesini sağlamaktır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırmada, iki adet Yunus-90 ve Önceler-98 fasulye çeşitleri ile Türkiye ve yurt dışından (Bosnahersek, İran, Kırgızistan, Özbekistan ve Sudan) temin edilen 20 adet farklı tip, boyut ve renkteki

fasulye genotipi tohum materyali oluşturmuştur (Çizelge 1; Şekil 1). Fasulye genotipleri Türk Standartları Enstitüsünde belirtilen (TSE 141) tane tiplerine göre (Barbunya, Tombul, Şeker, Dermason, Bomba, Selanik, Horoz, Çalı, Sıra ve Battal) sınıflandırılmıştır. Temin edilen fasulye tipleri Türk Standartları Enstitüsüne göre 7 tanesi Barbunya tipi, 3 tanesi Şeker tipi, 3 tanesi Dermason tipi, 3 tanesi Horoz tipi, 1 tanesi bomba tipi, 2 tanesi Selanik tipi, 1 tanesi battal tipi, 1 tanesi tombul tipi ve 1 tanesi de Çalı tipinde olduğu belirlenmiştir. Araştırmanın tohum materyalleri Isparta iklim şartlarında 2021 yılında kurulan ve geleneksel bakım işlemleri yapılmış fasulye denemesinden temin edilmiştir.

**Çizelge 1.** Araştırmada kullanılan materyallerin temin yerleri, tipleri ve tane renkleri

**Table 1.** Procurement locations, types and seed colors of the materials used in the research

Genotip	Temin yeri	TSE'ye göre tane tipi	Tane rengi	
			1. renk	2. renk
G 1	Bosnahersek	Barbunya	Açık kahverengi	Bordo (leke)
G 2	Bosnahersek	Tombul	Sarı	-
G 3	Bosnahersek	Şeker	Siyah	-
G 4	İran	Barbunya	Açık kahverengi	Bordo (leke)
G 5	Kırgızistan	Barbunya	Beyaz	Hilum ve birleşme kısımları kırmızı
G 6	Kırgızistan	Dermason	Kırmızı	-
G 7	Kırgızistan	Barbunya	Açık kahverengi	Bordo (leke)
G 8	Özbekistan/Taşkentcity	Barbunya	Bordo	Açık kahverengi (leke)
G 9	Sudan/Geneina	Barbunya	Bordo	Açık kahverengi (leke)
G 10	Bolu	Bomba	Beyaz	-
G 11	Konya	Şeker	Beyaz	-
G 12	Mersin	Selanik	Siyah	-
G 13	Mersin	Dermason	Beyaz	-
G 14	Mersin	Horoz	Beyaz	Hilum ve birleşme kısımları siyah
G 15	Mersin/Mut	Battal	Mor	-
G 16	Mersin/Mut	Dermason	Bordo	-
G 17	Mersin/Mut	Selanik	Beyaz	-
G 18	Isparta	Çalı	Koyu mor/siyah	-
G 19	Isparta	Horoz	Beyaz	-
G 20	Isparta	Şeker	Sarı	-
Önceler-98	Isparta	Barbunya	Açık kahverengi	Bordo (leke)
Yunus90	Isparta	Horoz	Beyaz	-

Her gruptan tesadüfi olarak seçilen 100'er adet fasulye tohumlarına ait uzunluk (TU; mm), genişlik (TG; mm) ve kalınlık (TK; mm) değerleri 0.01 mm hassasiyetindeki dijital kumpas kullanılarak belirlenmiştir. Aritmetik ortalama çap (AOÇ; mm), geometrik ortalama çap (GOÇ; mm), ve küresellik değerleri (K) Eşitlik 1-2 kullanılarak hesaplanmıştır (Karaj & Müller, 2010; Alibas & Koksall, 2015).

$$AOÇ = \frac{TU+TG+TK}{3} \quad (1)$$

$$GOÇ = (TU \times TG \times TK)^{1/3} \quad K = \frac{GOÇ}{TU} \times 100 \quad (2)$$

Çalışmada kullanılan tohumların yüzey alanı (YA; mm<sup>2</sup>) ve hacim (H; mm<sup>3</sup>) özellikleri aşağıda verilen 3 ve 4 nolu Eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir (Baryeh & Mangope, 2002; Ünal vd., 2008). Fasulye tohumlarının en boy oranı (EBO) (Kobuk vd., 2019) ve basıklık (Özlü & Güner, 2016) değerlerinin hesaplanmasında 5 ve 6 nolu Eşitlikler kullanılmıştır.

$$YA = \pi (GOÇ^2) \quad (3)$$

$$H = \pi (B^2TU^2)/6 (2TU - B) \quad B = (TG \times TU)^{1/2} \quad (4)$$

$$EBO = TG/TU \quad (5)$$

$$Basıklık = 1 - TG/TU \quad (6)$$

Fasulye tohumlarının yığın hacim ağırlığının (YHA) belirlenmesinde (kg m<sup>-3</sup>), hektolitreye yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde hektolitreye kabına örnekler tepeleme doldurulmuş ve kabın içindeki örnek ağırlığı ve kabın hacmine oranlanmasıyla belirlenmiştir. Gerçek hacim ağırlığının belirlenmesinde ise sıvı yer değiştirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, sıvı taşıma hacmi ve örnek ağırlığının oranlanmasıyla gerçek hacim ağırlığı (GHA; kg m<sup>-3</sup>) belirlenmiştir (Mohsenin, 1980). Porozitenin (P; %) belirlenmesinde 7 no'lu Eşitlikten yararlanılmıştır (Mohsenin, 1970).

$$P = (1 - (YHA / GHA)) * 100 \quad (7)$$

Fasulye genotiplerinin tohum kabuğu renginin ölçümleri için renk ölçüm cihazı (Konica MINOLTA marka CR-400 Chroma Meter) kullanılmıştır. Renk ölçümlerinden hemen önce kalibrasyon plakası ile cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. Ölçümler sonucunda tohum kabuğu renginin parlaklığını ifadesi olan L\* değeri CIE L\* cinsinden belirlenmiştir (Erbaş & Koyuncu, 2016).

Araştırmada, fasulye genotiplerinin tohumları tesadüf parselleri deneme parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olacak şekilde fiziksel özellikleri incelenmiş; elde edilen veriler Minitab 17 paket programı kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada elde edilen verilere, tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) ile genotiplerin arasında gözlemlenen farklılık  $P < 0.05$  seviyesinde belirlenmiş, ortalamalar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Çok değişkenli analiz yöntemlerinden olan TBA ve hiyerarşik kümeleme analizinde ısı haritası R paket programı kullanılarak yapılmıştır. TBA'nde değişkenlerin bileşen haritasında bulunan temsil kalitesini ve toplam katkısını belirleme amacıyla cos<sup>2</sup> (kosinus kare, kare koordinatlar) görüntülenerek belirlenmiştir TBA, Factoextra, pca3d, FactoMineR, gplots, ggplot2; ısı haritası ise cluster, gplots ve pheatmap R Studio (version 4. 2. 2) programındaki paketler kullanılarak tespit edilmiştir (Alpar, 2017).

## ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Fasulye genotiplerine ait tohumların uzunluk, genişlik ve kalınlık, en boy oranı, L\*, aritmetik ve geometrik ortalama çapına ait ortalama değerler Çizelge 2'de; basıklık, küresellik, hacim, yığın hacim ağırlığı, gerçek hacim ağırlığı, porozite ve yüzey alanı özelliklerine ilişkin ortalama değerler ise Çizelge 3'te verilmiştir. Fasulye genotiplerinin tohum uzunluğu en yüksek 17.52 mm ile G13 genotipinde belirlenmiş olup, G6 (17.38 mm), G10 (17.32 mm), G7 (17.32 mm) genotipleri ve Yunus90 çeşidi (17.05 mm) ile G13 genotipiyle aynı istatistiksel grupta yer almıştır. En kısa tohum uzunluğu ise 10.88 mm ile G11 genotipinde saptanırken ve G3 (11.66 mm) ile G12 (11.72 mm) genotipleri ile aralarında istatistiksel olarak fark oluşmamıştır. Fasulye genotiplerinin tohum genişliği 6.62-11.67 mm arasında değişmiştir. En yüksek tohum eni G10 genotipinde, en düşük ise G12 ve G2 (6.67 mm) genotiplerinde belirlenmiştir. Diğer taraftan en yüksek tohum kalınlığı 7.37 mm ile G10 genotipinde tespit edilmiştir. G10 genotipi ile G5 (7.33 mm), G14 (7.03 mm), G11 (6.68 mm) genotipleri ve Önceler-98 çeşidi (6.80 mm) aynı istatistiksel grupta yer almışlardır. En düşük tohum kalınlığı ise 5.06 mm ile G2 ve G16 genotiplerinde belirlenmiştir. Fasulye genotiplerinin en-boy oranı, 0.46-0.75 arasında değişim göstermiştir. En yüksek en-boy oranı sırasıyla G18, G11 ve G3 genotiplerinde; en düşük en boy oranı ise Yunus-90 çeşidinde saptanmıştır. Tohumların parlaklığının ifadesi olan L\* değeri 82.76 ile G10 genotipinde en yüksek, 12.67 ile G12 genotipinde en düşük değerleri almıştır. Tohumların boyut özelliklerinden hesaplanan aritmetik ve geometrik ortalama çap değerleri sırasıyla 7.82-12.12; 7.35-11.42 mm arasında değişmiş olup, en yüksek aritmetik ve geometrik ortalama çap G10 genotipinde, en düşük ise G12 genotipinde tespit edilmiştir (Çizelge 2).

Tohumların fiziksel boyutları (uzunluk, genişlik ve kalınlık) sınıflandırma, ayırma, eleme ve hasat sonrası işlemlerde oldukça önemlidir (Dahiya et al., 2015). Tohum büyüklüğü yetiştirme koşullarından, olgunluk derecesinden ve bakladaki durumuna göre etkilenmektedir. Ayrıca farklı abiyotik koşullarda da (düşük nem ve yüksek sıcaklıklar) tohum büyüklüğü varyasyon gösterebilmektedir. İstisnai olarak küçük tohum boyutuna sahip tohumlar işleme performansını düşürmektedir (örneğin, hidrasyon ve şişme kapasitesinde azalma). Bu nedenle, ticari olarak daha küçük tohumları ayıklamak ve partinin homojenliğini artırmak için sınıflandırılmaktadır (Uebersax et al., 2022). Tohumların en-boy oranı, tohumların genişliğinin

uzunlukla ilişkilendirilmesi olup, tohumun dikdörtgen bir şekle doğru bir eğilimin göstergesidir (Omobuwajo et al., 1999). Diğer taraftan kuru fasulye tohumlarında tohum rengi ve boyutunda büyük bir varyasyon mevcut olup, tüketiciler için bu iki özellik oldukça önemlidir (Aparicio-Fernandez et al., 2005). Singh et al. (1991), büyük tohumlu kuru fasulye çeşitlerinin ağırlıklı olarak And kökenli iken, Mezo-Amerikan merkezi olarak adlandırılan küçük tohumlu çeşitler Meksika ve Orta Amerika kökenli olduğunu ifade etmişlerdir. Ülkemizde ise çiftçiler kendi tohumlarını seçerek köy ekotiplerini oluşturmuşlar ve tüketiciler özellikle iri fasulye tohumlarını tercih etmektedir (Bozoğlu & Sözen, 2011). Kara vd. (2013), kuru fasulye çeşitlerinin uzunluk genişlik, kalınlık ve geometrik ortalama çap değerlerini sırasıyla 9.1-17.8 mm, 5.8-10.0 mm, 4.6-6.0 mm, 7.5-9.8 mm arasında değişim gösterdiği ifade etmişlerdir. Bozoğlu & Sözen (2011) ise Artvin ilindeki fasulye genotiplerinin tohum renginde, uzunluk (1.18-76.99 mm), genişlik (5.78-15.35 mm) ve kalınlık (0.71-9.96 mm) özelliklerinde geniş bir varyasyon olduğunu bildirmişlerdir. Diğer taraftan Wani et al. (2017), barbunya tane tipine sahip fasulye çeşitlerinin uzunluk, genişlik, kalınlık ve L\* değerini sırasıyla 11.45-13.95 mm, 7.0-7.80 mm, 4.70-6.13 mm ve 33.31-38.90 mm arasında değişim gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışmada elde edilen sonuçlar önceki çalışmalar ile uyum içeresindedir.

**Çizelge 2.** Fasulye genotiplerine ait tohumların uzunluk, genişlik, kalınlık, en-boy oranı, L\* değeri, aritmetik ortalama çap ve geometrik ortalama çapına ilişkin ortalama değerler

**Table 2.** Mean values of length, width, thickness, aspect ratio, L\* value, arithmetic mean diameter and geometric mean diameter of bean genotypes

Genotipler	Tohum Uzunluğu	Tohum Genişliği	Tohum Kalınlığı	En Boy Oranı	L*	AOÇ	GOÇ <sup>1</sup>
G 1	13.94 d-g	8.17 f-j	6.33 c-g	0.59 f-j	53.45 hı	9.47 e-g	8.97 f-ı
G 2	13.14 gh	6.67 k	5.06 j	0.51 j-m	67.90 f	8.29 kl	7.63 kl
G 3	11.66 ı	8.22 e-h	6.28 c-h	0.71 a-c	15.63 no	8.72 ı-k	8.44 ij
G 4	13.73 e-g	8.35 f-ı	6.60 b-f	0.61 ef	51.00 ı	9.56 ef	9.11 e-h
G 5	14.79 d	9.67 b-d	7.33 ab	0.65 c-e	76.80 b	10.60 b-d	10.16 b
G 6	17.38 a	8.29 f-ı	5.92 e-h	0.48 lm	21.87 m	10.53 b-d	9.48 c-f
G 7	16.94 ab	8.64 d-f	6.56 c-g	0.51 j-m	62.70 g	10.71 bc	9.86 b-d
G 8	15.74 c	8.89 d-f	5.80 g-j	0.56 f-j	32.66 k	10.14 cd	9.32 d-g
G 9	13.44 gh	7.72 h-j	6.14 d-h	0.57 f-ı	33.45 k	9.10 f-ı	8.61 h-j
G 10	17.32 a	11.67 a	7.37 a	0.67 b-d	82.76 a	12.12 a	11.42 a
G 11	10.88 ı	7.88 g-j	6.68 a-e	0.72 ab	72.24 de	8.48 jk	8.30 j
G 12	11.72 ı	6.62 k	5.12 ij	0.56 f-j	12.67 o	7.82 l	7.35 l
G 13	17.52 a	9.28 c-e	5.89 f-ı	0.53 h-l	72.64 cd	10.89 b	9.85 b-d
G 14	16.12 bc	8.45 f-h	7.03 a-c	0.52 ı-l	72.42 d	10.53 b-d	9.86 b-d
G 15	14.50 d-f	7.62 ij	6.06 d-h	0.52 ı-l	16.66 n	9.39 de	8.75 g-j
G 16	14.80 d	7.37 j-k	5.06 j	0.50 k-m	28.03 l	9.08 f-ı	8.20 jk
G 17	13.58 f-h	7.40 jk	5.54 h-j	0.54 g-k	68.97 ef	8.84 h-k	8.22 jk
G 18	13.50 gh	10.16 b	6.43 c-g	0.75 a	22.91 m	10.03 cd	9.59 b-e
G 19	13.08 gh	7.87 g-j	6.21 d-h	0.60 e-g	75.82 bc	9.05 f-j	8.61 h-j
G 20	12.74 h	7.91 g-j	6.31 c-g	0.62 d-f	46.02 j	8.98 g-j	8.59 h-j
<b>Önceler-98</b>	14.62 de	9.86 bc	6.80 a-d	0.68 b-d	54.45 h	10.42 b-d	9.93 bc
<b>Yunus90</b>	17.05 ab	7.87 g-j	6.25 d-h	0.46 m	72.34 d	10.39 b-d	9.43 c-f
<b>F değeri</b>	131.60**	62.82**	21.09**	60.04**	1458.33	94.52**	70.81**
<b>CV (%)</b>	2.06	3.06	3.94	3.15	2.11	1.90	2.11

<sup>1</sup>Aynı sütun içerisindeki birbirine benzer harfler ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiki açıdan fark bulunmamaktadır. \*\*: 0.01 düzeyinde önemlidir. AOÇ: Aritmetik Ortalama Çap; GOÇ: Geometrik Ortalama Çap

Fasulye genotiplerine ait tohumlarının küreden sapma miktarının ölçüsü olan basıklık değeri 0.25 - 0.54 arasında değişim göstermiştir. En yüksek basıklık değeri, Yunus-90 çeşidinde belirlenirken, G6 (0.52), G16 (0.50), G7 (0.49) ve G2 (0.49) genotipleri bu çeşit ile aynı istatistiki grupta yer aldığı belirlenmiştir. En düşük basıklık değeri ise G18 genotipinde belirlenmiştir. Fasulye tohumlarının küreselliği en yüksek G11 genotipinde (%76.31), en düşük ise G6 (%54.53) genotipinde saptanmıştır. Fasulye tohumlarının hacimleri 23.76 (G12)-57.40 (G10) mm<sup>3</sup> arasında değişim göstermiştir (Çizelge 3). Fasulye genotiplerine ait yığın hacim ağırlığı özelliği 828.92- 846.98 kg m<sup>-3</sup> arasında değişim göstermiş, en yüksek yığın hacim ağırlığı G4

genotipinde, en düşük ise G6 genotipinde belirlenmiştir. G4 genotipi ile G1 (841.17 kg m<sup>-3</sup>) genotipi aynı istatistiki grupta yer almışlardır. Fasulye genotiplerinin gerçek hacim ağırlığı 1173.76-1268.39 kg m<sup>-3</sup>; porozite ise %27.84-34.64 arasında değişim göstermiştir. Gerçek hacim ağırlığı ve porozite özellikleri genotiplere göre benzer sonuçlar vermiştir. Nitekim en yüksek G17 genotipinde belirlenirken, bunu Yunus-90, G19, G12, G8, G20, G10, Önceler-98, G14, G15, G11 ve G18 genotipleri takip etmiştir. Her iki özellikte de G2 genotipinde en düşük değerlere sahip olmuştur. Yüzey alanı özelliği incelendiğinde ise, 169.66 (G11) - 409.58 (G10) mm<sup>2</sup> arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 3).

**Çizelge 3.** Fasulye genotiplerine ait tohumların basıklık, küresellik, hacim, yığın hacim ağırlığı, gerçek hacim ağırlığı, porozite ve yüzey alanına ait değerler

**Table 3.** Mean values of kurtosis, sphericity, volume, bulk volume weight, true volume weight, porosity and surface area of seeds of bean genotypes

Genotipler	Basıklık	Küresellik	Hacim	Yığın Hacim Ağırlığı	Gerçek Hacim Ağırlığı	Porozite	Yüzey Alanı <sup>1</sup>
G 1	0.41 f-h	64.34 e-h	35.34 f-ı	841.17 ab	1204.22 de	30.14 e	252.36 f-ı
G 2	0.49 a-d	58.04 k-n	25.68 kl	832.45 de	1173.76 e	27.84 f	182.87 kl
G 3	0.30 k-m	72.37 b	31.66 ij	832.28 de	1207.45 d	30.39 de	223.73 ij
G 4	0.39 hı	66.35 d-g	36.5 e-h	846.98 a	1230.93 b-d	32.08 b-e	260.74 e-h
G 5	0.35 ı-k	68.69 cd	45.54 b	833.58 c-e	1233.67 b-d	32.27 b-e	323.98 b
G 6	0.52 ab	54.53 n	39.90 c-f	828.92 e	1234.71 b-d	32.34 b-d	282.31 c-f
G 7	0.49 a-d	58.23 k-m	42.87 b-d	831.60 de	1231.17 b-d	32.09 b-e	305.34 b-d
G 8	0.44 d-h	59.20 j-l	38.28 d-g	840.55 b	1251.95 ab	33.54 ab	272.87 d-g
G 9	0.43 e-h	64.03 f-ı	32.57 h-j	833.10 c-e	1224.19 b-d	31.60 b-e	232.62 h-j
G 10	0.33 j-l	65.96 d-g	57.40 a	836.07 b-d	1250.10 ab	33.41 ab	409.58 a
G 11	0.28 lm	76.31 a	30.98 ij	835.35 b-d	1243.97 a-c	32.99 a-c	216.47 jk
G 12	0.44 d-h	62.75 g-j	23.76 l	835.54 b-d	1253.23 ab	33.62 ab	169.66 l
G 13	0.47 b-f	56.24 l-n	42.94 b-d	836.02 b-d	1218.29 cd	31.17 c-e	304.89 b-d
G 14	0.48 b-e	61.15 h-k	42.71 b-d	832.06 de	1249.16 ab	33.33 ab	304.89 b-d
G 15	0.47 b-e	60.37 jk	33.66 g-j	832.41 de	1246.47 a-c	33.16 a-c	240.16 g-j
G 16	0.50 a-c	55.44 mn	29.81 jk	833.70 c-e	1228.62 b-d	31.91 b-e	211.38 jk
G 17	0.46 c-g	60.56 ı-k	29.75 jk	831.66 de	1268.39 a	34.64 a	212.33 jk
G 18	0.25 m	71.01 bc	40.77 b-e	837.36 b-d	1243.33 a-c	32.94 a-c	288.89 c-e
G 19	0.40 g-ı	65.86 d-g	32.63 h-j	838.48 bc	1254.02 ab	33.68 ab	232.83 h-j
G 20	0.38 h-j	67.47 c-f	32.56 h-j	836.51 b-d	1250.78 ab	33.46 ab	231.89 h-j
<b>Önceler-98</b>	0.33 j-l	67.93 c-e	43.48 bc	831.81 de	1249.88 ab	33.40 ab	309.51 bc
<b>Yunus-90</b>	0.54 a	55.29 mn	39.39 c-f	832.59 de	1254.36 ab	33.70 ab	279.21 c-f
<b>F değeri</b>	60.04**	77.98**	71.48**	14.00**	14.05**	14.96**	71.53**
<b>CV (%)</b>	4.46	1.85	4.23	0.23	0.80	2.11	4.24

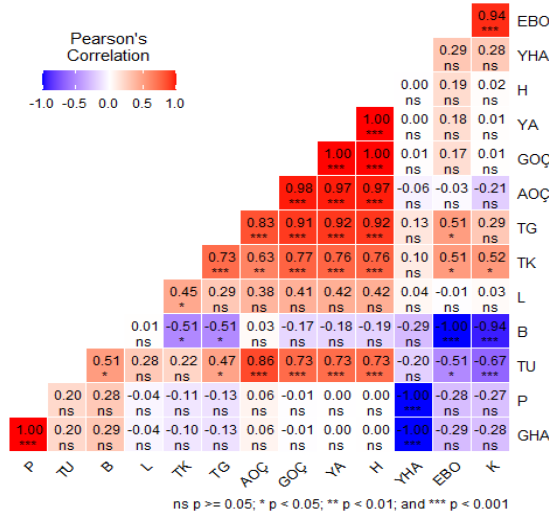
<sup>1</sup>Aynı sütun içerisindeki birbirine benzer harfler ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiki açıdan fark bulunmamaktadır. \*\*:0.01 düzeyinde önemlidir

Fasulye tohumlarının fiziksel özelliklerinin bilinmesi ayırma, toplama, sınıflandırma ve öğütme makinelerinin dizaynında kullanılmaktadır. Ayrıca bu özelliklerin yanında basıklık, küresellik, hacim, yüzey alanı, porozite, yığın ve gerçek hacim ağırlıklarının bilinmesi özellikle depolama yapılarının tasarımında kullanılmaktadır. Yığın hacim ağırlığı, bir malzemenin yığın halinde paketlenildiğinde veya istiflendiğinde sahip olduğu yoğunluktur; gerçek hacim ağırlığı ise açık ve kapalı gözeneklerin hacmi hariç katı malzemenin yoğunluğunu ifade etmektedir. Bir malzemenin yığın ve gerçek hacim ağırlıkları, yoğunluğuna ve malzemenin geometrik özelliklerine, boyutuna ve yüzey özelliklerine bağlıdır (Rahman, 2005). Porozite ve yüzey alanı ise yığın halindeki malzemenin hava akımına karşı direncinde etkili olmakta ve bu özellikler kurutma işlemlerinde oldukça önemlidir (Dash et al., 2008; Çekim & Özarslan, 2020). Diğer taraftan birçok araştırmacı (Berber, 2007; Çekim & Özarslan, 2020) yığın hacim ağırlığı özelliğinde tohumlar arasında bulunan hava boşlukları sebebiyle, yığın hacim ağırlığı gerçek hacim ağırlığına nazaran daha düşük değerler aldığını ifade etmişlerdir. Wani et al. (2017), barbunya tipine sahip fasulye çeşitlerinin küresellik, yüzey alanı, porozite, yığın ve gerçek hacim ağırlıklarını sırasıyla %52.13-63.08, 137.84-224.18 mm<sup>2</sup>, %33.6-37.5, 780-810 kg m<sup>-3</sup> ve 1220-1270 kg m<sup>-3</sup> arasında değişim gösterdiğini ifade etmişlerdir. Kara vd. (2013), ülkemizdeki on iki farklı fasulye çeşidinin küreselliğini %58.7-70.0, yüzey alanını 128-301 mm<sup>2</sup>,

gerçek hacim ağırlığını 1292-1317 kg m<sup>-3</sup> arasında gösterdiğini bildirmişlerdir. Çetin (2007), fasulye tohumlarının (barbunya tipi) nem seviyesinin yükselmesiyle birlikte küresellik (%63.2-64.4), porozite (%47.85-48.56), yığın (579.29-639.24 kg m<sup>-3</sup>) ve gerçek (1225.68-1126.15 kg m<sup>-3</sup>) hacim ağırlıklarında arttığını bildirmiştir. Yapılan bu çalışmalar doğrultusunda fasulye tohumlarının basıklık, küresellik, hacim, yüzey alanı, porozite, yığın ve gerçek hacim ağırlığı özellikleri nem içeriğine, tane büyüklüğüne, yetiştirildiği çevre şartlarına ve çeşit veya genotiplerin genetik yapısına göre değişiklik gösterebilmektedir.

### Korelasyon analizi

Araştırmada, fasulye genotiplerinde 14 özellik incelenmiş ve bu özelliklerin birbirleriyle olan ilişkisine ait korelasyon katsayıları Şekil 1’de gösterilmiştir. Korelasyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, bu ilişkinin yönünü ve derecesinin belirlenmesinde kullanılan bir istatistiksel analiz yöntemidir. Nitekim, gerçek hacim ağırlığı x porozite (GHxP), tohum genişliği x hacim (TGxH), tohum genişliği x yüzey alanı (TGxYA), tohum genişliği x geometrik ortalama çap (TGxGOÇ), aritmetik ortalama çap x hacim (AOÇxH), aritmetik ortalama çap x yüzey alanı (AOÇxYA), aritmetik ortalama çap x geometrik ortalama çap (AOÇxGOÇ), geometrik ortalama çap x hacim (GOÇxH), geometrik ortalama çap x yüzey alanı (GOÇxYA), yüzey alanı x hacim (YAxH), en-boy oranı x küresellik (EBOxK) özellikleri arasında pozitif yönde ve çok yüksek bir korelasyon ( $r=0.90-1.00^{***}$ ) olduğu belirlenmiştir. Tohum uzunluğu x hacim (TUxH), tohum uzunluğu x yüzey alanı (TUxYA), tohum uzunluğu x geometrik ortalama çap (TUxGOÇ), tohum uzunluğu x aritmetik ortalama çap (TUxAOÇ), tohum kalınlığı x hacim (TKxH), tohum kalınlığı x yüzey alanı (TKxYA), tohum kalınlığı x geometrik ortalama çap (TKxGOÇ), tohum kalınlığı x tohum genişliği (TKxTG) ve tohum genişliği x aritmetik ortalama çap (TGxAOÇ) özellikleri arasında yüksek düzeyde pozitif bir korelasyon ( $r=0.70-0.89^{***}$ ) tespit edilmiştir. Tohum uzunluğu x tohum genişliği (TUxTG), tohum uzunluğu x basıklık (TUxB), tohum parlaklığı x tohum kalınlığı (LxTK), tohum kalınlığı x küresellik (TKxK), tohum kalınlığı x en-boy oranı (TKxEBO) ve tohum genişliği x en-boy oranı (TGxEBO) özellikleri arasında orta düzeyde pozitif korelasyon ( $r=0.50-0.69^*$ ) bulunmuştur. Diğer taraftan, geometrik ortalama çap x yığın hacim ağırlığı (GHxYHA), porozite x yığın hacim ağırlığı (PxYHA), basıklık x küresellik (BxK) ve basıklık x en-boy oranı (BxEBO) özellikleri arasında negatif yönde oldukça yüksek bir korelasyon ( $r=-0.90-1.00^{***}$ ) olduğu saptanmıştır. Tohum uzunluğu x küresellik (TUxK), tohum uzunluğu x en-boy oranı (TUxEBO), basıklık x tohum genişliği (BxTG) ve basıklık x tohum kalınlığı (BxTK) özellikleri arasında orta düzeyde negatif bir korelasyon ( $r=-0.70-0.89^{i***}$ ) tespit edilmiştir (Şekil 1).



TG:Tohum genişliği, TU:Tohum uzunluğu, TK:Tohum kalınlığı, EBO:En-boy oranı, L: L\* değeri, AOÇ: Aritmetik ortalama çap, GOÇ:Geometrik ortalama çap, B:Basıklık, K:Küresellik, H:Hacim, YHA:Yığın hacim ağırlığı, GH: Gerçek hacim ağırlığı, P: Porozite, YA:Yüzey alanı

Şekil 1. Fasulye genotiplerinde ele alınan özellikler arasındaki korelasyon katsayıları (r).

Figure 1. Correlation coefficients (r) between the traits analyzed in bean genotypes.

Genel olarak tohum uzunluğu, genişliği ve kalınlığı, aritmetik ortalama çap, geometrik ortalama çap ve tohum hacmi özellikleri arasında pozitif ilişki olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu özellikler tohumun diğer özellikleri ile negatif veya pozitif yönde düşük korelasyon göstermiş ya da hiç göstermemiştir. De Oliveira et al. (2021), soya fasulyesi tohumlarının uzunluk, genişlik, kalınlığı ile tohum hacmi arasında pozitif yönde yüksek korelasyon; yığın hacim ağırlığı ile tohum hacmi arasında ise negatif yönde orta düzeyde ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Kara et al. (2013), fasulye çeşitlerinin boyut ve şekil analizlerini incelemişler ve yaptıkları analiz sonucunda tohum şekli ile tohum genişliği ve tohum uzunluğu arasında pozitif korelasyon olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacıların çalışmalarındaki bulgulara benzer olarak, yapılan bu çalışmada boyut özellikleri (uzunluk, genişlik, kalınlık, hacim, yüzey alanı) arasında pozitif korelasyon olduğu belirlenmiştir.

### Temel bileşen analizi (TBA)

Fasulye genotiplerinde incelenen fiziksel özelliklerde yapılan TBA sonucunda toplam çoklu varyasyon %91.7 olarak belirlenmiştir. Temel bileşen analizindeki özdeğerinin 1'den büyük olması, analizdeki temel bileşen ağırlıklarının güvenilir olmasını ifade etmektedir (Mohammadi & Prasanna, 2003) Bununla birlikte çalışmada özdeğeri 1'den küçük değerler alan faktörler göz ardı edilmiştir (Dunteman, 1989). Çalışmada da 3 temel bileşenin özdeğeri 1'den büyük olduğu belirlenmiştir. Temel bileşen analizinde ilk üç ana bileşen için öz değerleri 2.31 ile 6.18 arasında değişmektedir. Bu üç ana bileşen için belirlenen özellikler genotiplerin sınıflandırılmasında temel olabilecek özellikler olarak ortaya çıkmaktadır. Temel bileşen analizi incelendiğinde, 14 ana bileşenden 3 tanesi toplam değişkenliğin %91.7'sini açıklamaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda, çalışmada toplam varyasyonun %44.2'sini oluşturan birinci temel bileşende (TB1), tohum genişliği, tohum kalınlığı, aritmetik ortalama çap, hacim, geometrik ortalama çap ve yüzey alanı özelliklerinin yüksek değerler alması genotipler arasındaki farklılığı ortaya koyan en önemli özellikler olduğunu ifade etmektedir. Toplam varyasyonun %31.0'lik kısmını oluşturan ikinci temel bileşenleri (TB2), tohum uzunluğu, en-boy oranı, küresellik ve basıklık özellikleri; üçüncü temel bileşenleri (TB3) (%16.51) ise, porozite, yığın ve gerçek hacim ağırlığı özellikleri oluşturmuştur. Diğer ana bileşenlerin toplam değişkenliği açıklama oranı, azalan oranlarda devam etmektedir (Çizelge 4).

**Çizelge 4.** İncelenen fiziksel özelliklerin temel bileşen analizi

**Table 4.** Principal component analysis of the physical properties analyzed

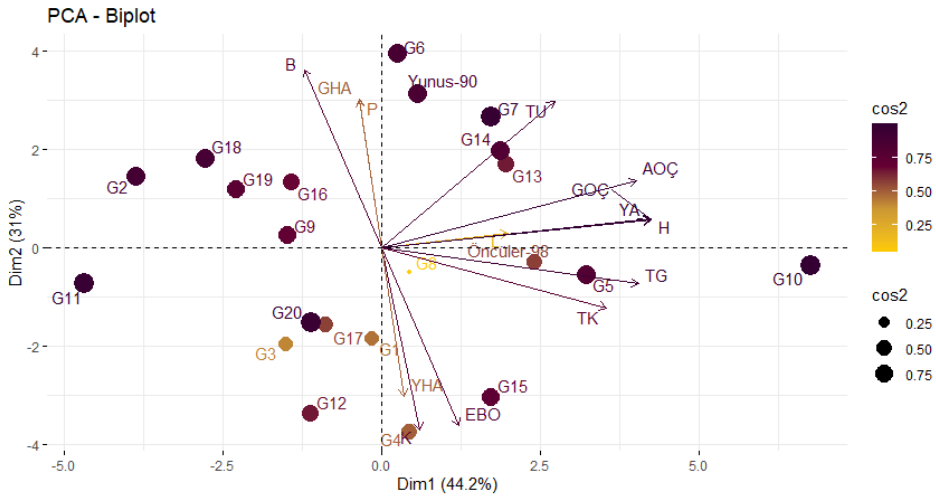
Terimler	TB1	TB2	TB3	TB4
Öz (Eigen) değeri	6.18	4.34	2.31	0.88
Varyans (%)	44.20	31.04	16.51	6.27
Kümülatif Varyans (%)	44.20	75.9	91.70	97.97
Özellikler				
TG	0.89	0.03	0.01	0.04
TU	0.40	0.48	0.10	0.01
TK	0.68	0.08	0.05	0.04
AOC	0.87	0.10	0.01	0.01
GOC	0.98	0.02	0.00	0.00
EBO	0.08	0.70	0.19	0.01
K	0.02	0.74	0.22	0.01
B	0.08	0.70	0.19	0.01
YA	0.98	0.02	0.00	0.00
L	0.22	0.01	0.01	0.74
H	0.98	0.02	0.00	0.00
YHA	0.01	0.49	0.51	0.00
GHA	0.01	0.49	0.51	0.00
P	0.01	0.48	0.51	0.00

TG:Tohum genişliği, TU:Tohumların uzunluğu, TK:Tohum kalınlığı, EBO:En-boy oranı, L:L\* değeri, AOC:Aritmetik ortalama çapı, GOC:Geometrik ortalama çapı, B:Basıklık, K:Küresellik, H:Hacim, YHA:Yığın hacim ağırlığı, GHA:Gerçek hacim ağırlığı, P:Porozite, YA:Yüzey alanı



Ayrıca TBA sonucunda ele alınan özelliklerin ve genotiplerin dağılımı Şekil 2'de gösterilmiştir. Görünürlüğün daha iyi olması için, ele alınan özelliklerin vektörleriyle çalışmada kullanılan genotip ve çeşitler farklı panellerde verilmiştir. Cos2 terimi, belirli bir özellik için bir bileşenin önemini göstermekte ve hangi bileşen üzerinde çıkarım yapılacağını belirlemede önem arz etmektedir (Abdi & Williams, 2010; Adu vd., 2018). Bir özellik için, tüm boyutlardaki cos2 'nin toplamı 1'e eşit olup, yüksek cos2 değerine sahip olan faktörler, korelasyon çemberinin çevresine yakın olmaktadır. Bu da değişkenin temel bileşenlerde iyi bir şekilde temsil edildiğini ifade etmektedir. Ayrıca, değişken dairenin merkezine yakın olduğu durumlarda düşük bir cos2 değeri almakta ve bu durum ise, değişkenin temel bileşenlerce tam olarak temsil edilmediğini ifade etmektedir (Kassambara, 2017; Adu et al., 2018). Değişkenlerin bu durumları göz önüne alındığında ele alınan özellikler içerisinde en yüksek etki geometrik ortalama çap, hacim ve yüzey alanı özelliklerinde; en düşük etki ise parlaklık (L\*) özelliğinde gözlemlenmiştir. Ele alınan özelliklerin meydana getirdiği vektörler arası açının daralması özelliklerin yakınlığını, ilgili açının büyümesi özellikler arasındaki ilişkinin zayıflığını ifade etmektedir (Kendal et al., 2014). Bu bilgi doğrultusunda basıklık, gerçek hacim ağırlığı, porozite özellikleri ile ters yönde olan küresellik, en-boy oranı ve yığın hacim ağırlığı arasındaki açı oldukça fazladır, bu durum bu özellikler arasındaki ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan tohum uzunluğu ile geometrik ortalama çap, aritmetik ortalama çap, tohum parlaklığı, tohum genişliği, tohum hacmi ve tohum kalınlığı arasındaki açı dar olması belirtilen bu özelliklerin yakınlığını açıkça göstermektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar literatürde belirtilen ifadeleri desteklemektedir.

Fasulye çeşit ve genotiplerinin temel bileşen analizine göre dağılımları ele alındığında, en yüksek cos2 değeri ve temel bileşen merkezinden en uzakta bulunan genotiplerde G10 ve G12 (TB1 değerleri sırasıyla 0.99 ve 0.95); en düşük cos2 değeri ile temel bileşen merkezine en yakın G1 (TB1 değeri 0.00) genotipinde belirlenmiştir (Şekil 2). Çeşitler ve genotipler üzerinde etkili olan özelliklerin belirlenmesinde TBA bir araç olarak kullanılmaktadır (Sivakumar et al., 2020). Fasulye üzerine yapılan temel bileşen analizi sonucunda Yeken vd. (2019), fasulye genotipleri arasında morfolojik özelliklerde 10 tane TBA eksenini elde etmişler ve bu eksenlerin toplamı varyasyonun %68.6'sını oluşturduğunu belirlemişlerdir. Fasulyenin genetik çeşitliliği üzerine yapılan başka bir çalışmada 5 bileşenin eksenleri toplam varyasyonun %78.4'ünü ifade ettiği belirlenmiştir (Öztürk, 2018). İncelenen literatür çalışmaları arasındaki benzerlik ve farklılıkların, genotip ve çevre faktörlerinin etkilerinden kaynaklandığı ifade edilebilir. Genotip ve çeşitlerin tohum fizyolojik özellikleri üzerine yapılan TBA'lerinde çevresel faktörler ve genetik çeşitlilik oldukça önemlidir (Dias et al., 2007; Öten & Albayrak, 2018). Çalışmadan elde edilen sonuçlar literatür çalışmaları ile uyum içerisindedir. Ayrıca ileriki yıllarda, incelenen özelliklere sahip genetik materyaller ıslahçılara pratik anlamda fayda sağlayabileceği düşünülmektedir.



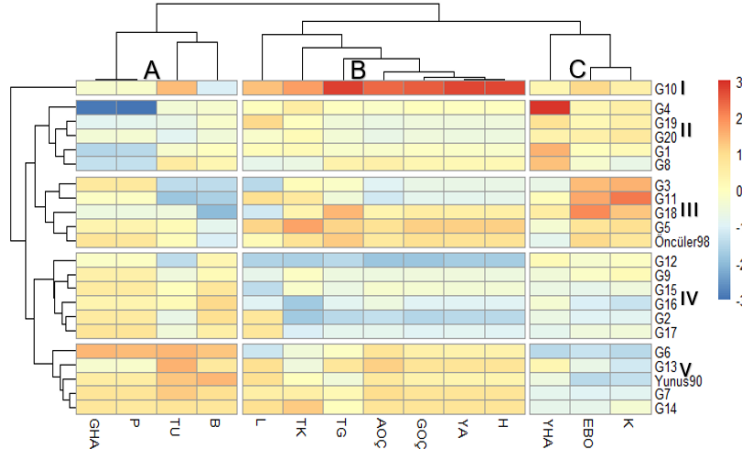
Şekil 2. Temel bileşen analizi sonucunda incelenen özellikler ve genotiplerin dağılımı.

Figure 2. Distribution of traits and genotypes analyzed by principal component analysis.

### Kümeleme ısı haritası (cluster heat map)

Isı haritası, bir veri matrisinde sıra ve sütundaki verilerin hiyerarşik kümeleme yapısıyla beraber ortaya koyan iki boyutlu bir veri görselleştirme yaklaşımıdır (Wilkinson & Friendly, 2009; Barua et al., 2022). Çalışmada 2 tane tescilli ile 20 tane farklı tip, boyut ve renkteki fasulye genotipi ile incelenen 14 özelliğin kümeleme analizine göre ısı haritası Şekil 3'te gösterilmiştir. Isı haritasında iki dendrogram bulunmaktadır; biri genotipleri (satırlar), diğeri ise renk dağılımını tetikleyen özellikleri (sütunları) yansıtmaktadır (Barua et al., 2022). Kümeleme analizi sonucunda oluşan dendrogramda, incelenen özelliklere bağlı olarak genotipler dört gruba ayrılmıştır. Ayrılan bu gruplarda 6 tane genotip ile en fazla genotipe sahip olan IV. grup; bunu 5 genotip ile II, III ve V. gruplar takip etmiş ve içerdiği 1 genotip ile en az üyeye sahip I. Gruptur. Genotiplerin birbirleri ile olan ilişkileri ve genetik uzaklıkları incelendiğinde G14 (V) ile G7 genotipleri (V) en yakın, G10 (I) ile G14 (V) genotipleri ise birbirine en uzak genotipler olduğu belirlenmiştir. İncelenen özelliklere ait oluşan dendrogramda ise 3 farklı grup oluşmuş ve en fazla özellik B grubunda (7 adet), bunu sırasıyla A (4 adet) ve C grubu (3 adet) takip etmiştir. Her grup içinde bulunan özelliklerin birbirleriyle ilişkisi oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Isı haritası tüm özellikleri karşılaştırmakta ve her genotipin en yüksek ve en düşük değerlerini farklı renk yoğunluklarında göstermektedir. Nitekim, I. gruptaki genotip (G10) tohum uzunluğu, genişliği, kalınlığı, hacmi, yüzey alanı, parlaklığı (L\*), aritmetik ve geometrik ortalama çap özellikleri yüksek değerler aldığı, IV. gruptaki genotipler ise genel olarak I. gruptaki özelliklere göre düşük değerler aldığı görülmektedir. V. grupta bulunan genotiplerin A ve B grubundaki özellikleri genel olarak orta ve yüksek iken, C grubundaki özelliklerin düşük değerler aldığı tespit edilmiştir.

Belirli bir popülasyondaki gruplar arasında benzerlik ya da farklılıklar kümeleme analizi ile belirlenebilmektedir. Bununla birlikte, popülasyonların birbiri ile olan taksonomik ilişkilerinin gösterilmesinde de kümeleme analizi kullanılmaktadır (Cartea et al., 2002). Kümeleme analizine göre ısı haritası, ton veya yoğunluğa göre renk değişiminin nasıl gruplandırıldığını veya grup içindeki değişimleri ifade etmektedir (Barua vd., 2022). Kümeleme analizindeki ısı haritasına göre fasulye genotipleri ve incelenen özellikler arasında geniş bir varyasyonun olduğunu belirlenmiştir (Şekil 3). Ayrıca, ısı haritasının sonuçları, korelasyon ve temel bileşen analizi sonuçlarını benzerlik gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 4 ve Şekil 2).



TG:Tohum genişliği, TU:Tohumların uzunluğu, TK:Tohum kalınlığı, EBO:En-boy oranı, L:L\* değeri, AOC:Aritmetik ortalama çapı, GOÇ:Geometrik ortalama çapı, B:Basıklık, K:Küresellik, H:Hacim, YHA:Yığın hacim ağırlığı, GHA:Gerçek hacim ağırlığı, P:Porozite, YA:Yüzey alanı

**Şekil 3.** Farklı fasulye genotipleri ve özelliklerin kümelendiği (cluster) modeli gösteren ısı haritası (heatmap).

**Figure 3.** Heatmap showing the cluster pattern of different bean genotypes and traits.

Öz vd. (2003) ve Sözen (2006), tarımsal çalışmalarda tüketici ve üretici taleplerine göre çok sayıda parametre incelemesi gerektiğini belirterek, bitkilerde ekonomik öneme sahip özelliklerin poligenik kalıtım gösterdiğini ve karakterlerin ayrı ayrı değerlendirilmesinin bazen hatalı yorum ve öneriler ortaya çıkardığını ifade etmişlerdir. Bu nedenle birçok araştırmacı (Madakbaş & Ergin, 2011; Sözen vd., 2014a; Soydaş vd.,

2021; Karaman & Türkay, 2022) araştırmacılar çok değişkenli analiz yöntemlerinin kullanılmasının birden fazla karakterin aynı anda analiz edilmesine olanak sağladığını ileri sürmüşlerdir. Ülkemizde fasulye genotiplerinin tarımsal özellikleri üzerine yapılan birçok kümeleme analizi sonucunda fasulye genotiplerinin geniş bir varyasyon gösterdiğini araştırmacılar ifade etmişlerdir (Ceyhan vd. 2009; Sözen vd., 2014a; Kahraman vd., 2014; Bıyıklı vd. 2015). Literatür çalışmalarında elde edilen tarımsal özelliklerdeki varyasyon yapılan fasulye tohumunun fiziksel özellikleri üzerinde de belirlenmiştir.

## SONUÇ

Çalışmada farklı renk ve boyutlardaki fasulye genotiplerinin incelenen fiziksel özellikleri arasında zengin bir varyasyon bulunmaktadır. Çalışmada incelenen bu özellikler üzerinde kullanılan istatistiksel analizler doğrultusunda fasulye genotiplerinin içerisinde G10 genotipi ön plana çıkmaktadır. Korelasyon analizi sonucunda genel olarak tohum uzunluğu, genişliği ve kalınlığı, aritmetik ortalama çap, geometrik ortalama çap ve tohum hacmi özellikleri arasında pozitif ilişki olduğu belirlenmiştir. İncelenen özellikler tohum genişliği, tohum kalınlığı, aritmetik ortalama çap, geometrik ortalama çap, hacim ve yüzey alanı özelliklerinin yüksek ağırlık değerleri ile birinci temel bileşende (TB1) yer almış olup, en yüksek cos2 değeri ve temel bileşen merkezine en uzak genotipler G10 ve G12 olmuştur. Kümeleme analizi sonucunda oluşan dendogramda, incelenen özelliklere bağlı olarak genotipler dört gruba ayrılmıştır. Bu gruplar içinde 6 genotip ile en fazla genotipe sahip olan IV. grup; bunu 5 genotip ile II, III ve V. Gruplar takip etmiş ve en az üyeye sahip I grupta ise 1 genotip bulunmaktadır. İncelenen özelliklerin dendogramında ise 3 farklı grup oluşmuş ve en fazla özellik B grubunda (7 adet), bunu sırasıyla A (4 adet) ve C grubu (3 adet) takip etmiştir. Yapılan bu çok değişkenli analizlerin sonucunda belirlenen özellikler fasulye genetik materyalleri üzerine ıslahçılara pratik anlamda fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abdi, H. & L.J. Williams, 2010. Principal component analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 2: 433-459.
- Adu, M.O., P.A. Asare, E. Asare-Bediako, G. Amenorpe, F.K. Ackah, E. Afutu & D.O. Yawson, 2018. Characterising shoot and root system trait variability and contribution to genotypic variability in juvenile cassava (*Manihot esculenta* Crantz) plants. Heliyon, 4: 1-28.
- Ahmad, H.M., S.I. Awan, O. Aziz & M.A. Ali, 2014. Multivariate analysis of some metric traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). European Journal of Biotechnology and Bioscience, 1 (4): 22-26.
- Alibas, I. & N. Koksall, 2015. The effect of moisture content on physical, mechanical and rheological properties of soybean (*Glycine max* cv. ATAEM-II) seed. Legume Research-An International Journal, 38 (3): 324-333.
- Alpar, R., 2017. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler. Detay Yayıncılık, Ankara, 820 pp.
- Aparicio-Fernandez, X., G. G. Yousef, G. Loarca-Pina, E. De Mejia & M. A. Lila, 2005. Characterization of polyphenolics in the seed coat of Black Jamapa bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agricultural and Food chemistry, 53(11): 4615-4622.
- Barua, H., S.R. Saha, N.A. Ivy, G. Rasul & A.A. Islam, 2022. Genetic divergence of guava (*Psidium guajava* L.) genotypes in Bangladesh: Guava Genotypes in Bangladesh. SAARC Journal of Agriculture, 20 (1): 15-28.
- Baryeh, E.A. & B.K. Mangope, 2002. Some physical properties of QP-38 variety pigeon pea. Journal of Food Engineering, 56: 341-347.
- Berber, S., 2007. Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Tohumlarının Aerodinamik Özelliklerinin Belirlenmesi Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Basılmamış) Yüksek Lisans Tezi, Tokat, 57 s.
- Bıyıklı, B., E. Elkoca & M. Aydın, 2015. İspir kuru fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) popülasyonunun karakterizasyonu ve seleksiyon yoluyla ıslahı. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 36 (1): 20-33.
- Bozoğlu, H. & O. Sözen, 2011. A sample for biodiversity in Turkey: Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces from Artvin. African Journal of Biotechnology, 10 (63): 13789-13796.

- Cartea, M.E., A. Picoagea, P. Soengas & A. Ordás, 2002. Morphological characterization of kale populations from Northwestern Spain. *Euphytica* 129: 25-32.
- Ceyhan, E., M. Önder & A. Karaman, 2009. Fasulye genotiplerinin bazı tarımsal özelliklerinin belirlenmesi. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 23 (49): 67-73.
- Çancı, H., M. Bozkurt, F. Kantar, M.Z. Yeken, G. Özer & V. Çiftçi, 2019. Batı Anadolu fasulye genetik kaynaklarının biyolojik çeşitliliğinin araştırılması ve karakterizasyonu. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22 (Ö.S.- 2): 251-263.
- Çekim, İ. & C. Özarslan, 2020. Marul tohumunun bazı fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8 (1): 89-97.
- Çetin, M., 2007. Physical properties of barbutia bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv.'Barbutia') seed. *Journal of Food Engineering*, 80 (1): 353-358.
- Dahiya, P.K., A.R. Linnemann, M.A.J.S. Van Boekel, N. Khetarpaul, R.B., Grewal & M.J.R. Nout, 2015. Mung bean: Technological and nutritional potential. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55 (5): 670-688.
- Dash, A.K., R.C. Pradhan, L.M. Das & S.N. Naik, 2008. Some physical properties of simarouba fruit and kernel. *International Agrophysics*. 22: 111-116.
- De Oliveira, J.A.V., P.C. Coradi, C.Z. Alves, P.E. Teodoro & R.D.C.F. Alvarez, 2021. Correlation of physical properties for establishments of standardized groups of soybean seed technologies in post-harvest. *Journal of Stored Products Research*, 93: 101854.
- Dias, P.M.B., B. Julier, J.P. Sampoux, P. Barre & M. Dall'Agnol, 2007. Genetic diversity in red clover (*Trifolium pratense* L.) revealed by morphological and microsatellite (SSR) markers. *Euphytica*, 160 (2): 189-205.
- Dumanoğlu, Z. & B. Çakmak, 2019a. Tohum uygulamalarının İzmir kekiği (*Origanum onites* L.) tohumları üzerindeki bazı fiziksel ve fizyolojik etkilerinin incelenmesi. *Erasmus International Academic Research Symposium in Science, Engineering and Architecture*, İzmir.
- Dumanoğlu, Z. & B. Çakmak, 2019b. Tohum uygulamalarının soğan (*Allium cepa* L.) tohumunun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(1), 53-66.
- Dumanoğlu, Z., Ş.S. Özkan & G. D. Topçu, 2019. İtalyan çimi (*Lolium multiflorum* L.) çeşitlerine ait tohumların bazı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 5 (2): 292-298.
- Dunteman, G.H., 1989. Principal components analysis (No. 69). (Web Sayfası: [https://books.google.com.tr/books?id=Pzwt-CMMt4UC&printsec=frontcover&dq=Dunteman,+G.H.+1989.&hl=tr&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Dunteman%2C%20G.H.%201989.&f=false](https://books.google.com.tr/books?id=Pzwt-CMMt4UC&printsec=frontcover&dq=Dunteman,+G.H.+1989.&hl=tr&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Dunteman%2C%20G.H.%201989.&f=false)) (Erişim Tarihi: Ocak 2023).
- Elkoca, E., K. Haliloglu, F. Kantar, C. Eken, F. Donmez & M. Aydin, 2010. "Genetic diversity of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in the northeast region of Turkey based on morphological traits, 36". 5th International Food Legumes Research Conference (IFLRC V) & 7th European Conference on Grain Legumes (AEP VII), Legumes for Global Health, Legume Crops and Products for Food, Feed and Environmental Benefits, Scientific Books, (26-30 April, 2010), Antalya, Turkey,
- Erbaş, D. & M.A. Koyuncu, 2016. 1-Metilsiklopropen uygulamasının Angeleno erik çeşidinin depolanma süresi ve kalitesi üzerine etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 53 (1): 43-50.
- Kahraman, A., M. Önder & E. Ceyhan, 2014. Cluster analysis in common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.). *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1 (Özel Sayı-1): 1030-1035.
- Kara, B., & Z. Akman, 2007. Farklı tane iriliği ve ekim derinliklerinin buğday (*Triticum aestivum* L.)'ın kök ve toprak üstü organlarının ilk gelişmesine etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(2): 193-202.
- Kara, M., B. Sayinci, E. Elkoca, İ. Öztürk & T. Özmen, 2013. Seed size and shape analysis of registered common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars in Turkey using digital photography. *Journal of Agricultural Sciences*, 19 (3): 219-234.
- Karaj, S. & J. Müller, 2010. Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jatropha curcas* L. *Industrial Crops and Products*, 32: 129-138.
- Karaman, R. & C. Türkay, 2022. Türkiye'deki maş fasulyesi [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotiplerinin çıkış ve fide özellikleri yönünden karakterizasyonu. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27 (3): 434-444.
- Kassambara, A., 2017. Practical Guide to Principal Component Methods in R: PCA, M (CA), FAMD, MFA, HCPC, Factoextra Vol. 2. Cilt, 152 pp.

- Kellom, M. & J. Raymond, 2016. Using dendritic heat maps to simultaneously display genotype divergence with phenotype divergence. *PloS one*, 11 (8): e0161292.
- Kendal, E., S. Tekdal, H. Aktaş, M. Karaman, K. Berekatoęlu & H. Doęan, 2014. Biplot analizi kullanılarak yazlık arpa genotiplerinin verim ve verim unsurlarının belirlenmesi. *Trakya University Journal of Natural Sciences*, 15 (2): 95-103.
- Kobuk, M., K. Ekinci & S. Erbaş, 2019. Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) genotiplerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22 (1): 89-96.
- Madakbaş, S.Y. & M. Ergin, 2011. Morphological and phenological characterization of Turkish bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes and their present variation states. *African Journal of Agricultural Research*, 6 (28): 6155-6166.
- Mohammadi, S.A. & B.M. Prasanna, 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants-salient statistical tools and considerations. *Crop Science*, 43: 1235-1248
- Mohsenin, N.N., 1970. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*, 2nd Ed.; Gordon and Breach Science Publishers: New York, 891 pp.
- Mohsenin, N.N., 1980. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York, 198-224 pp.
- Mohsenin, N.N., 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties. 2. Aufl. 891 Seiten, zahlr. Abb. und Tab. Gordon and Breach Science Publishers, New York, 702 pp.
- Omobuwajo, T.O., E.A. Akande & L.A. Sanni, 1999. Selected physical, mechanical and aerodynamic properties of African breadfruit (*Treculia africana*) seeds. *Journal of Food Engineering*. 40 (4): 241-244.
- Öten, M., S. Albayrak, S. Kiremitci & M. Türk, 2018. Determination of yield and quality parameters of some Alfalfa genotypes in the Mediterranean Region of Turkey. *Fresenius Environment Bulletin*, 27 (11): 7627-7633.
- Öz, A., H. Kapar & A. Üstün, 2003. Türkiye'de üretimi yapılan bazı mısır çeşitlerinin diskriminant ve cluster analizleri ile farklılıklarının belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20 (2): 115-121.
- Özlü, R.R. & M. Güner, 2016. Farklı nem düzeylerinde kanola tohumlarının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33 (Ek Sayı): 10-24.
- Öztürk, H.I., 2018. Erzincan İlinde Yaygın Yetiştiriciliği Yapılan Barbunya Taze Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotiplerinin Seleksiyonu, Morfoloji ve Moleküler Karakterizasyonu. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Basılmamış) Doktora Tezi, Erzurum, 152 s.
- Rahman, M.S., 2005. Mass-volume-area-related properties of foods. *Engineering Properties of Foods*, 3: 1-40.
- Sardana, S., R.K. Mahajan, N.K. Gautam & B. Ram, 2007. Genetic variability in pea (*Pisum sativum* L.) germplasm for utilization. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 39 (1): 31-41.
- Singh, S.P., P. Gepts & D.G. Debouck, 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Economic Botany*, 45 (3): 379-396.
- Sivakumar, J., J.E.P. Prashanth, N. Rajesh, S.M. Reddy & O.B. Pinjari, 2020. Principal component analysis approach for comprehensive screening of salt stress-tolerant tomato germplasm at the seedling stage. *Journal of Biosciences*, 45 (1): 1-11.
- Soydaş, V., M. Aydın, E. Elkoca & E. İlhan, 2021. Gümüşhane ili yerel fasulye genotiplerinin morfolojik ve tarımsal özellikler yönünden karakterizasyonu üzerine bir ön çalışma. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 31 (2): 143-160.
- Sözen, Ö. 2006. Artvin İli Yerel Taze Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Populasyonlarının Toplanması, Tanımlanması ve Morfolojik Varyabilitenin Belirlenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Samsun, 449 s.
- Sözen, Ö., H. Özçelik & H. Bozoğlu, 2014a. Doęu Karadeniz Bölgesi yerel fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) populasyonlarının karakterizasyonu ve morfolojik değişkenliğin ortaya konulması. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 7 (1): 29-36.
- Sözen, Ö., H. Özçelik & H. Bozoğlu, 2014b. Orta Karadeniz Bölgesi'nden toplanan yerel kuru fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) genotiplerinde morfolojik varyabilitenin istatistiksel analizi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1 (1): 34-41.

- Tan, Ş., 2005. Bitki Islahında İstatistik ve Genetik Metotlar. Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayın No: 121, Menemen, İzmir, 129-145 s.
- Uebersax, M.A., C. Urrea & M. Siddiq, 2022. Physical and physiological characteristics and market classes of common beans. dry beans and pulses: Production, Processing, and Nutrition, 'Overview, Production and Postharvest Technologies' 3rd section, 57-80.
- Ülker, M. & E. Ceyhan, 2008. Orta Anadolu ekolojik şartlarında yetiştirilen fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) genotiplerinin bazı tarımsal özelliklerinin belirlenmesi, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22 (46): 77-89.
- Ünal, H., E. Isık, N. Izli & Y. Tekin, 2008. Geometric and mechanical properties of mung bean (*Vigna radiata* L.) grain: Effect of moisture. International Journal of Food Properties, 11 (3): 585-599.
- Wani, I.A., D.S. Sogi, A.A. Wani & B.S. Gill, 2017. Physical and cooking characteristics of some Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 16 (1): 7-15.
- Wilkinson, L. & M. Friendly, 2009. The history of the cluster heat map. The American Statistician, 63 (2): 179-184.
- Yeken, M. Z., V. Çiftçi, H. Çancı, G. Özer & F. Kantar, 2019. Türkiye'nin Batı Anadolu Bölgesi'nden toplanan yerel fasulye genotiplerinin morfolojik karakterizasyonu. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 5 (1): 124-139.