

Farklı Buğday Genotiplerinin Sürme (*Tilletia foetida*) Hastalığına Reaksiyonlarının GGE Biplot Analizi Kullanılarak Değerlendirilmesi

Evaluation of Reactions of Different Wheat Genotypes to Common Bunt (*Tilletia foetida*) Using GGE Biplot Analysis

Kadir AKAN¹, Ahmet ÇAT^{2*}, Onur HOCAOĞLU³, Alaettin KEÇELİ⁴, Kamil KARA⁵, Taşkın EROL⁶, İlkey YAVAŞ⁷, Mehmet TEKİN⁸, Kander KOÇ⁹

Öz

Tilletia laevis (syn. *Tilletia foetida*) etmeninin neden olduğu sürme hastalığı küresel düzeyde buğday üretim ve kalitesini olumsuz etkileyen önemli bir başak hastalığıdır. Bu çalışmada, 50 adet ön verim kademesinde bulunan buğday hattının, 2023-2024 yetiştirme sezonunda Antalya, Aydın, Çanakkale, Denizli, Kırıkkale, Kırşehir, Mersin ve Siirt lokasyonlarında yapay epidemi koşullarında sürme hastalığına karşı göstermiş oldukları reaksiyonları değerlendirilmiştir. Çalışmada test edilen buğday hatları tarla koşullarında, her lokasyonda tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Sürme sporları her bir test edilen buğday genotiplerine yaklaşık 4 gram olacak şekilde %0.5 oranında inoküle edilmiştir. Hastalık reaksiyon değerlendirmelerinde, her bir buğday genotipi için hastalıklı ve toplam başaklar sayılmış ve yüzde (%) sürme hastalık oranı hesaplanmıştır. Ek olarak, hassas kontrol genotiplerinin hastalık reaksiyonları %90-100 olarak belirlenmiş olup, sonuçlar araştırmanın güvenilir olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Reaksiyonlar %0 (İmmun), %0.1-10.0 (Dayanıklı), %10.1-25.0 (Orta Dayanıklı), %25.1-40 (Orta Hassas), %40.1-70.0 (Hassas) ve %70.1+ (Çok Hassas) olarak gruplandırılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, genotip ve genotip-çevre (GGE) etkileşimleri GGE Biplot yöntemi kullanılarak analiz edilmiş olup, analiz toplam varyasyonun %97.07'sini açıklamıştır. Reaksiyon gruplarına göre yapılan genotip sıralaması genel olarak GGE Biplot sonuçları ile tutarlılık gösterirken, GGE Biplot yöntemi ile yapılan sınıflandırmanın sürme hastalığına dayanıklı ve stabil materyallerin seleksiyonu için kullanışlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak, buğdayda sürme hastalığının reaksiyonlarını değerlendirmek için ölçeğin kullanımı güvenilir sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, dayanıklı grupta belirlenen materyallerin sürme hastalığı dayanıklılık ıslah programlarında genitör olarak kullanılabilir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, sürme hastalığı ile mücadelede fungusit kullanımı azaltmak ve hastalık etmeni ile etkili bir şekilde mücadele etmek açısından önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Buğday, Sürme hastalığı, Hastalık reaksiyonu, GGE biplot analizi

¹Kadir Akan, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü, Kırşehir, Türkiye. E-mail: kadir.akan@ahievran.edu.tr  ORCID: 0000-0001-5133-0032

^{2*}Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ahmet Çat, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü, Siirt, Türkiye. E-mail: ahmetcat@siirt.edu.tr  ORCID: 0000-0002-5638-0319

³Onur Hocaoglu, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Çanakkale, Türkiye. E-mail: onurhocaoglu@comu.edu.tr  ORCID: 0000-0001-9439-8969

⁴Alaettin Keçeli, Pamukkale Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Organik Tarım İşletmeciliği Çivril/Denizli, Türkiye. E-mail: alaettink@pau.edu.tr  ORCID: 0000-0003-1263-8952

⁵Kamil Kara, Kırıkkale Üniversitesi Delice Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bitki Koruma Programı Kırıkkale, Türkiye. E-mail: kkara@kku.edu.tr  ORCID: 0000-0002-7729-4532

⁶Taşkın Erol, Kırıkkale Meslek Yüksek Okulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü Organik Tarım Programı Delice/Kırıkkale, Türkiye. E-mail: terol08@hotmail.com  ORCID: 0000-0002-4263-3776

⁷İlkey Yavaş, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Koçarlı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü Koçarlı/Aydın, Türkiye. E-mail: iyavas@adu.edu.tr  ORCID: 0000-0002-6863-9631.

⁸Mehmet Tekin, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Antalya, Türkiye. E-mail: mehmetteki@akdeniz.edu.tr  ORCID: 0000-0002-3447-1586

⁹Kander Koç, Hekagro Solutions Tarım Teknoloji Sanayi ve T.A.Ş. Mersin, Türkiye. E-mail: kanderkoc33@gmail.com  ORCID: 0000-0002-6784-8423

Atıf: Akan K., Çat A., Hocaoglu O., Keçeli A., Kara K., Erol T., Yavaş İ., Tekin M., Koç K. (2026). Farklı buğday genotiplerinin sürme (*Tilletia foetida*) hastalığına reaksiyonlarının GGE biplot analizi kullanılarak değerlendirilmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(1): 50-60.

Citation: Akan K., Çat A., Hocaoglu O., Keçeli A., Kara K., Erol T., Yavaş İ., Tekin M., Koç K. (2026). Evaluation of reactions of different wheat genotypes to bunt (*Tilletia foetida*) disease using GGE biplot analysis. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 23(1): 50-60.

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayınlanmıştır. Tekirdağ 2026

Abstract

Tilletia laevis (syn. *Tilletia foetida*), the causative agent of common bunt, is a spike disease that negatively impacts global wheat production and quality. This study evaluated the reactions of 50 wheat lines at the preliminary yield stage to bunt disease under artificial epidemic conditions during the 2023-2024 growing season at locations in Antalya, Aydın, Çanakkale, Denizli, Kırıkkale, Kırşehir, Mersin, and Siirt. Field trials were conducted at each location with three replications using a randomized block design. Disease spores were inoculated at a rate of 0.5% onto seeds weighing approximately 4 g. In disease reaction assessments, the number of diseased and total spikes for each genotype was enumerated to calculate the percentage of bunt disease. Reactions of susceptible control genotypes were determined to be between 90-100%, indicating that the results of the study were reliable. Reactions were classified as 0% (Immun), 0.1-10.0% (Resistant), 10.1-25.0% (Moderately Resistant), 25.1-40% (Moderately Susceptible), 40.1-70.0% (Susceptible), and 70.1%+ (Highly Susceptible). Additionally, genotype and genotype-environment (GGE) interactions were analyzed using the GGE Biplot method, which accounted for 97.07% of the total variation. The genotype ranking based on reaction groups generally demonstrated consistency with the GGE Biplot results, and it was concluded that the GGE Biplot method is efficacious for selecting bunt-resistant and stable materials. In conclusion, utilizing the scale to assess the reaction of wheat to common bunt provides reliable results. Therefore, materials identified in the resistant group can be utilized as genitors in bunt disease resistance breeding programs. The results obtained from this study are important in terms of reducing the use of fungicides, in the management with the disease and effectively control the disease agent.

Keywords: Wheat, Common bunt, Disease reaction, GGE biplot analysis

1. Giriş

Buğday (*Triticum* spp.), insan ve hayvan beslenmesinde kullanılan kültür bitkilerinden olup, dünyanın önemli bir kısmında en çok üretilen tahıllar arasındadır. Buğdayın geniş bir adaptasyon özelliğinin bulunmasının yanı sıra insan için uygun olan besin değerleri, kolaylıkla depolanabilmesi ve hedef mamul için kolaylıkla işlenebilmesi nedenleriyle üretimi ve tüketimi tüm dünya için kritik düzeyde önemlidir. Diğer taraftan uluslararası ticarete önemli bir yerinin olması buğdayın üretim, depolama, ticaret ve açlığın önlenmesinde daha dikkat çekici olduğu için, ülkesel ve küresel düzeyde değerlendirme yapılarak üretiminin planlanması önemlidir. Tüm dünya için, 2020 yılından itibaren etkisi daha fazla hissedilen COVID-19 pandemisi ve sonrasında yaşanan gelişmeler diğer bitkisel ürünlerle karşılaştırıldığında, daha uzun süreyle saklanabilen veya depolanabilen buğday ve diğer tahıl ürünlerine olan talep artmıştır. Bu durum istisnalar hariç tutulduğunda toplam küresel üretim miktarının ve birim fiyatların artışının gerekçeleri arasında ön sıralarda yer almaktadır. Buğday üretim ve verimini olumsuz yönde etkileyen abiyotik ve biyotik stres faktörlerinin de küresel buğday üretimini her dönem olumsuz etkilediği bilinmektedir.

Küresel düzeyde farklı buğday üreticisi olan ülkelerde, sürme (*Tilletia* spp.) hastalığı buğday üretim ve kalitesini değişen düzeylerde olumsuz etkileyen biyotik (fungal) stresler arasındadır. Buğday konukçusunda sürme hastalığına neden olan 6 türün tanımlandığı rapor edilmiştir. Sürme hastalığının en yaygın türleri arasında olan *Tilletia laevis* Kühn. [= *Tilletia foetida* (Wallr.) Liro., olup yaygın adıyla “Adi sürme” sürme hastalığı olarak bilinmektedir (İren ve ark. 1982). Bu hastalık etmenlerinin kontrolü için tohum ilaçlamasının yapılmadığı ekimlerde yaklaşık ortalama zararın %15-20 olduğu, tohum ilaçlaması yapılmayan ve üst üste ekimlerin yapıldığı üretim alanlarında hastalık oranlarının hassas çeşitlerde %96'ya kadar ulaşabildiği rapor edilmiştir (Dodov ve Todorova, 1974; Aktaş, 2001).

Sürme hastalığının kontrolünde genel olarak kimyasal mücadele öncelikle tercih edilmekte ve üzerinde durulmaktadır. Kimyasal kontrol uygulamaları ucuz olması, uygulama kolaylığı ve hastalığın tam olarak kontrolünü sağlaması nedeniyle en çok tercih edilen yöntemler arasındadır. Uygulama talimatlarına uyulmaması sonucu bitki de oluşabilecek fitotoksiste sonrası, insan ve çevre sağlığı üzerine olan bazı olumsuz etkilerinin dışında, üretim girdilerinde oluşan artış ve organik üretimde kullanılamaması gibi dezavantajları da bilinmektedir. Sürme hastalığının konukçu reaksiyonunu belirlemek için farklı hastalık değerlendirme ölçekleri kullanılmıştır. Örneğin, Hoffman ve Metzger (1976), Dumalasová ve Bartoš, 2007, Dumalasová ve Bartoš, 2010, Dumalasová ve ark., 2014 tarafından yürütülen araştırmalarda patojen virülensliğinin değerlendirilmesi ve ırkların belirlenmesinde; %0-10 hastalık oranı belirlenen etmeni avirülen, %11-100 hastalık oranı belirlenen etmeni virülen olarak gruplandırmıştır. Dodov ve Todorova (1974), tarafından yapılan gruplandırma %1-10 (Dayanıklı), %11-30.0 (Orta Dayanıklı), %30-50 (Hassas) ve %51-100.0 (Çok Hassas) olarak belirtilmiştir. Szunics ve Szunics, (1990) ile Veisz ve ark., (2000) tarafından yapılan gruplandırmada ise %0.0 (Çok dayanıklı), %0.1-5.0 (Dayanıklı), %5.1-10.0 (Orta Dayanıklı), %10.1-30.0 (Orta Hassas), %30.1-50.0 (Hassas) ve %50.1-100.0 (Çok Hassas) olarak değerlendirilmiştir. Akçura ve Akan, (2018) ise %0 (İmmun), %0.1-10.0 (Dayanıklı), %10.1-25.0 (Orta Dayanıklı), %25.1-40.0 (Orta Hassas), %40.1-70.0 (Hassas) ve %70.1+ (Çok Hassas) olarak gruplandırmıştır.

Sürme hastalığının farklı çevrelerdeki yayılış düzeylerinin değerlendirilmesi ise farklı bir istatistiksel yaklaşım gerektirmektedir. GGE (Genotip + genotip x çevre) biplot analizi bu amaca yönelik olarak kullanılabilecek yöntemlerden biridir. İlk defa Gabriel (1971) tarafından matematiksel esasları ortaya konulan ana bileşenler biplot yöntemi çok sayıda çevrede yürütülen çalışmalarda genotip çevre interaksiyonunun değerlendirilmesi amacıyla kullanılan bitki ıslahı ve kantitatif genetik için çok yönlü bir yöntemdir. Yöntemin metodolojisi daha sonra Kempton (1984) ve Zobel ve ark., (1988) tarafından genişletilmiş, 2000’li yıllarda ise tarım bilimlerinde yaygın olarak kullanılan GGE Biplot yöntemine evrilmiştir (Yan ve ark., 2000). GGE Biplot analiz yöntemi son yıllarda buğday da tarımsal özelliklerin değerlendirilmesinde yaygın şekilde kullanılmaktadır (Aktaş ve Durmaz, 2023; Öztürk, 2024).

Bu çalışmanın amaçları; (i) Ön verim kademesinde bulunan ekmeklik buğday çeşitlerinin sürme hastalığına karşı reaksiyonlarının belirlenmesi, (ii) İmmun, dayanıklı, orta dayanıklı, orta hassas, hassas ve çok hassas gibi hastalık reaksiyon gruplarının tanımlanması ve (iii) belirlenen reaksiyon gruplarının GGE Biplot analizi yaparak değerlendirilmesidir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Bitki materyali

Çalışmada kullanılan 50 adet ön verim kademesi ekmeklik buğday materyali Tasaco Tarım Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Antalya, Türkiye) temin edilmiştir (Tablo 1). İlave olarak, hastalık etmeninin ırkının belirlenmesi (teyit edilmesi) ve hastalık etmeninin hangi dayanıklılık genleri üzerine avirü lent/virü lent olduğunun saptanması için 17 genotipten oluşan [Bt0 to Bt15; Heines VI (Bt-0), SEL 2092 (Bt-1), SEL 1102 (Bt-2), Redit (Bt-3), Turkey 1558 (Bt-4), Hohenheimer (Bt-5), Rio (Bt-6), Sel 50077 (Bt-7), M78-9496 (Bt-8), M82-2098 (Bt-9), M82-2102 (Bt-10), P.I. 178383 (Bt-8,9,10), M82-2123 (Bt-11), P.I. 119333 (Bt-12), P.I. 181463 (Bt-13), Doubbi (Bt-14), Carleton (Bt-15)] ayırıcı set kullanılmıştır.

Tablo 1. Araştırma materyallerinin melezleri ve orijinleri

Table 1. Breeding and origin of tested materials

No	Pedigri	Orijin	En yüksek hastalık skoru (%)	Reaksiyon grup	Tüm çevreler ortalaması (%)	Standart sapma	Sıralama*
1	Bezostaja 1/Sagittario	TSC07E2A	45	Hassas	33	7	28
2	Meta 2002/Sagittario	TSC08E5A	11	Orta Dayanı kılı	5	4	12
3	Bezostaja 1/Sagittario	TSC07E2B	65	Hassas	47	9	35
4	Bezostaja 1/Esp eria	TSC07E9B	76	Ç ok Hassas	55	12	39
5	Bezostaja 1/Sagittario	TSC07E2C	52	Hassas	37	9	31
6	Sagittario/Bezostaja 1//Sagittario	TSC07E1A	33	Orta Hassas	12	11	17
7	Esp eria/Tosunbey	TSC08E2A	22	Orta Dayanı kılı	11	6	16
8	Sagittario/Bezostaja 1//Sagittario	TSC07E1B	34	Orta Hassas	15	9	19
9	Sagittario/Bezostaja 1//Sagittario	TSC07E1C	39	Orta Hassas	28	8	26
10	Porsuk-2800/Carisma	TSC09E10B	8	Dayanı kılı	5	2	11
11	Bezostaja 1/Sagittario	TSC07E2D	65	Hassas	54	8	38
12	Bezostaja 1/Blancia	TSC07E7A	71	Ç ok Hassas	60	7	44
13	Kınacı-97/Esp eria//Esp eria	TSC09E9B	5	Dayanı kılı	2	2	1
14	Kınacı-97/Esp eria//Esp eria	TSC09E10A	8	Dayanı kılı	4	3	5
15	Bezostaja 1/Blancia	TSC07E7B	90	Ç ok Hassas	58	16	43
16	Adana-99/Sagittario//Sagittario	TSC07E6A	50	Hassas	27	10	25
17	Altay 2000/Sagittario	TSC08E4A	7	Dayanı kılı	4	2	6
18	Bezostaja 1/Blancia	TSC07E7C	81	Ç ok Hassas	61	11	47
19	Esp eria/Bayraktar 2000	TSC08E3A	15	Orta Dayanı kılı	5	6	8
20	Bayraktar 2000/Blancia	TSC09E5A	9	Dayanı kılı	4	3	7
21	Adana-99/Sagittario//Sagittario	TSC07E6B	70	Hassas	49	15	36
22	Sagittario/Adana-99	TSC07E10A	83	Ç ok Hassas	58	18	42
23	Sagittario/Adana-99	TSC07E10B	95	Ç ok Hassas	66	12	50
24	Sagittario/Bezostaja 1//Sagittario	TSC07E1D	31	Orta Hassas	16	8	20
25	Adana-99/Sagittario//Sagittario	TSC07E6C	59	Hassas	43	9	33
26	Sagittario/Bezostaja 1//Sagittario	TSC07E1E	38	Orta Hassas	25	7	24
27	Sagittario/Adana-99	TSC07E10C	81	Ç ok Hassas	56	15	41
28	Blancia/Sagittario//Sagittario	TSC07E4A	43	Hassas	31	9	27
29	Sagittario/Adana-99	TSC07E10D	92	Ç ok Hassas	65	12	49
30	Esp eria/Sönmez 2001//Esp eria	TSC08E1A	7	Dayanı kılı	3	2	4
31	Sagittario/Blancia//Blancia	TSC07E3A	31	Orta Hassas	18	7	21
32	Blancia/Sagittario//Sagittario	TSC07E4B	58	Hassas	43	8	34
33	Sagittario/Blancia//Blancia	TSC07E3B	33	Orta Hassas	21	10	22
34	Meta 2002/Sagittario	TSC08E5A	7	Dayanı kılı	4	3	8
35	Bezostaja 1/Esp eria	TSC07E9A	19	Orta Dayanı kılı	8	5	15
36	Tosunbey/Sagittario//Sagittario	TSC09E4A	83	Ç ok Hassas	60	11	45
37	Blancia/Sagittario//Sagittario	TSC07E4C	46	Hassas	33	7	29
38	Tosunbey/Sagittario//Sagittario	TSC09E4B	72	Ç ok Hassas	56	9	40
39	Sagittario/Blancia//Blancia	TSC07E3C	33	Orta Hassas	24	6	23
40	Tosunbey/Sagittario//Sagittario	TSC09E4C	80	Ç ok Hassas	65	9	48

Tablo 1. Devamı
Table 1. Continued

41	Blancia/Bezostaja 1//Blancia	TSC07E5A	53	Hassas	39	8	32
42	Esperia/Bezostaja 1//Karacabey 97	TSC08E10A	71	Çok Hassas	52	12	37
43	Cumhuriyet 75/Sagittario	TSC09E3A	11	Orta Dayanıklı	5	4	14
44	Cumhuriyet 75/Sagittario	TSC09E3B	22	Orta Dayanıklı	13	6	18
45	Gerek 79/Sagittario//Sagittario	TSC09E11A	9	Dayanıklı	4	3	10
46	Gerek 79/Esperia//Esperia	TSC09E12A	5	Dayanıklı	3	2	2
47	Gerek 79/Esperia//Esperia	TSC09E12B	7	Dayanıklı	3	2	3
48	Gerek 79/Carisma	TSC09E13A	10	Dayanıklı	4	3	9
49	Esperia/Bezostaja 1//Esperia	TSC08E11A	93	Çok Hassas	61	19	46
50	Blancia/Bezostaja 1//Blancia	TSC07E5B	63	Hassas	36	13	30

****Test edilen materyallerin tüm çevreler ortalaması dikkate alınarak en dayanıklıdan (1) en hassasa (50) doğru sıralanması

2.1. Hastalık inokulasyonu

Hastalığın inokulasyonunda Akçura ve Akan, (2018) tarafından yürütülen çalışmada kullanılan *Tilletia laevis* (syn. *Tilletia foetida*), etmeninin halen devam eden hastalık reaksiyon test çalışmalarında kullanılan hastalık popülasyonudur. Çalışmada kullanılan sporları içeren hastalıklı buğday başakları Kırşehir Ahi Evran Üniversitesinde bulunan araştırma alanlarından 22.07.2023 tarihinde toplanmış ve inokulasyon yapılırken kadar +4°C buzdolabında tutulmuştur. İnokulasyon öncesi toplanan hastalıklı başak örnekleri teliospor morfolojisine göre Goates (1996)'e dayanarak tekrar tanımlanmış ve etmenin *T. laevis* olduğu teyit edilmiştir. Enfekte buğday taneleri havanda ezilerek hastalık sporları diğer materyallerden ayırmak için elenmiştir. Her bir genotipin tohumları 4 gram olarak ayrı kâğıt torbalara hazırlanmış ve ekimden hemen önce hastalık sporları %0.5 oranında tohumlara bulaştırılmıştır (Akan ve ark., 2005).

Araştırma 1) Antalya (Kepez), 2) Aydın (Koçarlı), 3) Çanakkale (Dardanos), 4) Denizli (Çivril), 5) Kırıkkale (Yahşihan), 6) Kırşehir (Merkez), 7) Mersin (Yenice) ve 8) Siirt (Merkez) lokasyonlarında yürütülmüştür. Ekimler Ekim-Aralık 2023 tarihlerinde 33 cm sıra aralığı ile 1 m uzunluğundaki sıralara 5-7 cm derinliğe üç tekrarlı olarak elle yapılmıştır. Her 10 test materyalinden sonra hassas kontrol genotipi Little Club (LC) ve araştırma alanının çevresine 4 sıra olacak şekilde hassas kontrol genotipleri olan Yakar-99 ve LC genotipleri ekilmiştir. Çalışma da herhangi bir gübre (kimyasal veya organik) uygulaması ve sulama yapılmamıştır.

2.3. Hastalık değerlendirilmesi

Test edilen her bir genotipin başaklarının olgunlaştığı Mayıs-Temmuz 2024 tarihlerinde tüm test materyali ve ayırıcı sette yer alan materyalde bulunan sağlıklı ve enfekteli başaklar sayılmıştır. Daha sonra, hastalık görülme yüzdesi (%) aşağıdaki Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır (Akan ve ark., 2005; Dumalasova ve Bartos, 2007, 2010; Dumalasova ve ark., 2014; Akçura ve Akan, 2018; Aydoğdu ve Kaya, 2020).

$$\text{Enfeksiyon oranı (\%)} = \frac{\text{Hastalıklı başak sayısı}}{\text{Toplam başak sayısı}} \times 100 \quad (\text{Eş. 1})$$

Sonuçların değerlendirilmesinde ve analiz edilmesinde her lokasyonda belirlenen en yüksek skor yüzdeleri (%) kullanılarak gruplandırma yapılmıştır. Hastalık reaksiyonlarının ıslah gruplarıncı daha iyi anlaşılması için hastalık reaksiyonları gruplandırılmıştır. Yapılan bu gruplandırmaya göre; %0 (İmmun), %0.1-10.0 (Dayanıklı), %10.1-25.0 (Orta Dayanıklı), %25.1-40.0 (Orta Hassas), %40.1-70.0 (Hassas) ve %70.1+ (Çok Hassas) olarak belirlenmiştir (Akçura ve Akan, 2018). Ayırıcı setin değerlendirilmesinde belirlenen hastalık reaksiyonunda ise her bir genotipin ortalama reaksiyonları hesaplanmıştır. Hoffman ve Metzger yöntemine (1976) uygun olarak %0-10 olarak belirlenen reaksiyon grubu dayanıklı (etmen avirulent), %10.1-100 reaksiyon grubu ise hassas (etmen virulent) olarak değerlendirmiştir. Deneme materyalinin tüm çevrelerdeki hastalık düzeylerinin değişkenliği ise tüm çevreler sürme reaksiyonu ortalamaları ile bu ortalamalara ait standart sapma ve genotip sıralamaları ile ifade edilmiştir.

2.4. Sonuçların değerlendirmesi

Bu çalışmada yer alan test materyallerinin sürme hastalığına karşı gösterdikleri reaksiyonlar varyans analizi ve GGE Biplot yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Varyans analizi JMP 13.2.0 istatistik paket programı kullanılarak yapılmıştır (SAS Institute, 2016). GGE Biplot analizi ise R programı (v. 3.6.2; R Core Team 2021) üzerinde çalışan R Studio (R Studio Team 2022) programında "GGEbiplots" paketi kullanılarak yürütülmüştür (Dumble ve ark., 2022). Bu analiz ile genotip odaklı (row focused) tekil değerler ayrışması ile genotip merkezli (G + GE) bir GGE Biplot

grafiği oluşturulmuştur (Yan ve Falk, 2002; Yan, 2014). Sürme skorları yüzde olarak kaydedildiği için veriler varyans analizi ve GGE Biplot analizine tabi tutulmadan önce arksin dönüşümü ile normalleştirilmiştir (Akçura ve Akan, 2018).

Test edilen materyalin hastalık reaksiyonlarını belirlemek için kullanılan GGE modeli Eşitlik (2)'de verilmiştir.

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{1j} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{2j} + \epsilon_{ij} \quad (\text{Eş. 2})$$

Burada Y_{ij} = j yılında genotip i için beklenen değer; μ = tüm genotip-lokasyon kombinasyonlarının genel ortalaması; β_j = j lokasyonunun ana etkisi; λ_1 ve λ_2 sırasıyla PC1 ve PC2 olmak üzere birinci ve ikinci en büyük temel bileşenlerin tekil değerleridir; ξ_{i1} ve ξ_{i2} sırasıyla PC1 ve PC2 için genotip i'nin özvektörleri; η_{1j} ve η_{2j} sırasıyla PC1 ve PC2 için yıl j'nin özvektörleri ve ϵ_{ij} ise PC1 ve PC2 tarafından açıklanmayan her genotip – lokasyon kombinasyonunun için hatayı ifade etmektedir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

2023-2024 yetiştirme sezonunda 8 lokasyonda (1)Antalya (Kepez), 2)Aydın (Koçarlı), 3)Çanakkale (Dardanos), 4)Denizli (Çivril), 5)Kırıkkale (Yahşihan), 6)Kırşehir (Merkez), 7)Mersin (Yenice) ve 8)Siirt (Merkez)) sürme hastalığı gelişmiştir. Test edilen tüm lokasyonlarda hassas kontrol genotipleri olan LC ve Yakar-99'un reaksiyonları %90-100 olarak belirlenmiştir. Belirlenen sonuçlar, inokülasyon ve hastalık reaksiyon testlerinin başarı ile tamamlandığı bir ispatı olarak değerlendirilmiştir. Ayırıcı sette yer alan dayanıklılık genleri arasında, hastalık kaynağının inokulumu *Bt0*, *Bt2*, *Bt3*, *Bt4*, *Bt6* ve *Bt7* dayanıklılık genleri üzerine virülant/etkin ve *Bt-1*, *Bt-5*, *Bt-8*, *Bt-9*, *Bt-10*, *Bt-8,9,10*, *Bt-11*, *Bt-12*, *Bt-13*, *Bt-14* ve *Bt-15* dayanıklılık genleri üzerine avirülant/etkin değildir. Test materyallerinin sürme hastalığına karşı reaksiyonlarına göre gruplandırılması *Tablo 1* ve *2*'de verilmiştir.

Tablo 2. Test materyallerinin sürme hastalığına karşı reaksiyonlarının gruplandırılması

Table 2. Grouping of the reactions of test materials to common bunt

Test Lokasyonu	Materyal											
	Birinci grup		İkinci grup		Üçüncü grup		Dördüncü grup		Beşinci grup		Altıncı grup	
	İmmün		Dayanıklı		Orta Dayanıklı		Orta Hassas		Hassas		Çok hassas	
	%0		%0.1–10.0		%10.1–25.0		%25.1–45		%45.1–70.0		>%70.1	
	Adet	%	Adet	%	Adet	%	Adet	%	Adet	%	Adet	%
Antalya	15	30	7	14	6	12	6	12	16	32	0	0
Aydın	8	16	12	24	8	16	11	22	11	22	0	0
Çanakkale	0	0	21	42	5	10	8	16	16	32	0	0
Denizli	0	0	16	32	7	14	9	18	18	36	0	0
Kırıkkale	7	14	12	24	8	16	15	30	8	16	0	0
Kırşehir	0	0	11	22	6	12	8	16	12	24	13	26
Mersin	0	0	16	32	5	10	10	20	19	38	0	0
Siirt	0	0	16	32	8	16	8	16	18	36	0	0
Toplam	0	0	11	22	6	12	8	16	12	24	13	26

Tablo 3. Varyans analizi

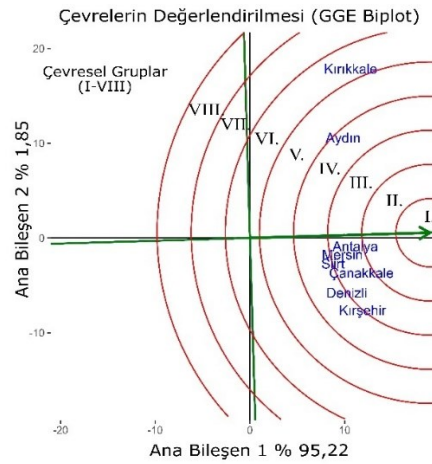
Table 3. Analysis of variance

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	F Değeri	Önemlilik Düzeyi
Genotip	49	261,85	<0,01
Çevre	7	122,18	<0,01
Tekerrür	2	3,7	<0,05
Genotip x Çevre	343	1,71	<0,01
Hata	798		
Genel	1199		

Test edilen 50 hattın sürme hastalığı reaksiyonları varyans analizi ile değerlendirildiğinde genotip, çevre ve genotip çevre interaksyonu bakımından $p < 0,01$ düzeyinde, tekerrür bakımından ise $p < 0,05$ düzeyinde önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir (*Tablo 3*). Test edilen materyallerin sürme hastalığına reaksiyonları Antalya lokasyonunda %0 ile %58 arasında, Aydın %0 ile %63 arasında, Çanakkale %2 ile %69 arasında, Denizli %2 ile %70 arasında, Kırıkkale %0 ile %70 arasında, Kırşehir %5 ile %95 arasında, Mersin %2 ile %70 arasında, Siirt ise %2 ile %70 arasında değişmiştir. 8 lokasyon araştırma sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, test materyallerinin hiçbirinin immün reaksiyon grubunda yer almadığı; 11 test materyalinin dayanıklı; 6 test

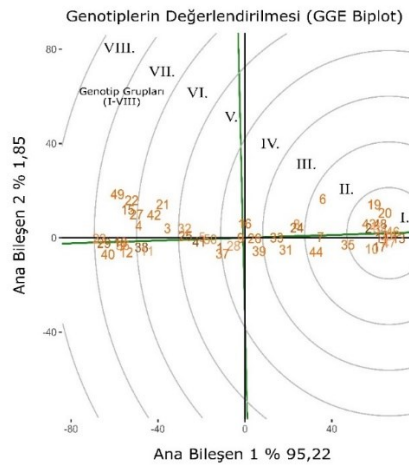
materyalinin orta dayanıklı; 8 test materyalinin orta hassas; 12 test materyalinin hassas ve 13 test materyalinin çok hassas reaksiyon grubunda yer aldığı belirlenmiştir.

GGE Biplot yöntemi farklı bitki hastalıklarının genotip çevre interaksiyonlarının değerlendirmesinde kullanılmıştır (Yan, 2014; Sharma ve ark., 2016). Bu çalışma GGE Biplot yöntemi ile ekmeleklik buğday materyallerinin farklı lokasyonlardaki sürme hastalığı reaksiyonlarına göre gruplandırılması ve önceden belirlenen grupların doğruluğunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Şekil 1 ve 2’de sunulan GGE Biplot grafikleri toplam varyasyonun %97,07’sini temsil etmekte, bu varyasyonun önemli bir kısmının birinci ana bileşen tarafından açıklandığı görülmektedir. Sunulan GGE Biplot grafiklerinde çevre olarak kabul edilen deneme lokasyonları ve genotipler OÇE-X (ortalama çevre eksen, üzerinde ok bulunan yeşil eksen) kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu eksen, biplot orijini ile genotip çevre interaksiyonuna en düşük oranda katkı sağlayan (sürmeye en dayanıklı ve en stabil genotiplerin yer aldığı) ideal genotiplerin yer aldığı ideal çevreyi temsil eden yeşil okun (I. grup) birleştirilmesi ile çizilmekte ve yorumlamayı kolaylaştırmaktadır (Yan, 2014). Araştırmada yer alan deneme lokasyonları bu yöntem ile değerlendirildiğinde Antalya, Mersin, Siirt ve Çanakkale lokasyonlarının III. grupta, Denizli ve Kırşehir ve Aydın lokasyonlarının IV. grupta ve son olarak Kırıkkale lokasyonunun VI. Grupta yer aldığı görülmektedir (Şekil 1). Buna ek olarak, OÇE-X eksen ile yaptığı dar açı nedeniyle tüm denemelerdeki varyasyonu en iyi temsil eden lokasyonun Antalya olduğu ve III. Grupta yer alan diğer çevrelerin de yüksek temsil potansiyeline sahip çevreler olarak seçilebileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 1. GGE Biplot yöntemi ile çevrelerin sürme reaksiyonlarının gruplandırılması

Figure 1. Grouping of common bunt reactions of environments by GGE Biplot method



Şekil 2. GGE Biplot yöntemi ile genotiplerin sürme reaksiyonlarının gruplandırılması

Figure 2. Grouping of common bunt reactions of genotypes by GGE Biplot method

Aynı GGE Biplot düzleminde deneme materyalleri sürmeye hastalığına reaksiyonları ve stabilitelerine göre I'den VIII'e kadar sekiz gruba ayrılmaktadırlar. İlk genotip grubunda yer alan ve en dayanıklı ve stabil olarak belirlenen test materyalleri 19, 20, 43, 48, 2, 45, 34, 46, 30, 14, 13, 47, 17 ve 10 numaralı materyaller olurken 35, 7, 6 ve 44 nolu materyaller ikinci grupta yer almıştır. Birinci grupta yer alan materyallerin tüm çevrelerdeki sürme skoru ortalamaları %2 ile 5 arasında değişirken bu ortalamaya ait standart sapma değerleri 2-6, sıralamaları ise 1-14 arasında değişkenlik göstermiştir. İkinci gruptaki materyaller ise %5-13 arasında değişen ortalama sürme skoru ve 5-11 arasında değişen standart sapmaları ile birinci gruptan ayrılmış; sıralamaya göre 15, 16, 17 ve 18. genotiplerden oluşmuştur (Tablo 1).

GGE Biplot gruplandırmasına göre I. ve II. Gruplarda yer alan materyallerin tamamının aynı zamanda Tablo 1'deki dayanıklı ve orta dayanıklı reaksiyon grubunda yer aldığı görülmektedir. Buna karşılık, hassas, orta hassas ve çok hassas reaksiyon grubuna giren materyaller GGE Biplot'da III. – VIII gruplarda yer almışlardır. Deneme materyallerinden 27, 22, 15, 12, 36, 49, 18, 40, 29 ve 23 nolu genotipler %71-95 arasında değişen yüksek sürme skorları, %56-66 arasında değişen sürme skoru ortalamaları, 7-19 arasında değişen standart sapmaları ile VIII. ve son grupta yer almışlardır.

Hassas kontrol genotipleri olan LC ve Yakar-99'un reaksiyonları çalışmanın yürütüldüğü tüm lokasyonlarda %90-100 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç sürme hastalık reaksiyon testlerinin başarı ile tamamlandığının ispatı olarak değerlendirilmiştir. Test edilen materyallerin sürme hastalığına en yüksek enfeksiyon oranı Antalya lokasyonu için %58, Aydın lokasyonu için %63, Çanakkale lokasyonu için %69, Denizli lokasyonu için %70, Kırıkkale lokasyonu için %70 arasında, Kırşehir lokasyonu için %95, Mersin lokasyonu için %70, Siirt lokasyonu için %70 olarak belirlenmiştir.

Mevcut reaksiyon değerlendirmelerinde kimyasal veya organik herhangi bir gübre uygulaması yapılmadığı için bu faktörlerin reaksiyonları etkilemediği değerlendirilmiştir. Diğer taraftan tüm lokasyonların uzun yıllar sıcaklık ve yağış ortalamaları ile karşılaştırıldığında, genel olarak kış ve ilkbahar mevsimi ortalamalar da veya üstünde sıcak ve yağış ortalamalar düzeyinde veya daha az alınmıştır. Bu nedenle test materyalleri, mevsimsel sıcaklıkların daha yüksek olduğu belirli bir dönemden sonra daha hızlı gelişmiş ve beklenen dönemden önce olgunlaşarak sararmışlardır. Bu durumun bitkinin hızlı büyümesinin bir sonucu olarak, test materyali bitkilerin sistemik olarak ilerleyen hastalığın enfeksiyon düzeyini Antalya ve Aydın lokasyonlarında kısmen sınırlandırmıştır.

Bitkisel materyallerin hastalık reaksiyonlarının gruplandırılmasında genotip-çevre interaksiyonun belirlenmesi için çok lokasyonlu denemelerin kurulmaktadır. Bu denemelerden elde edilen verilerin uygun bir istatistiksel yöntem kullanılarak değerlendirilmesi ile farklı çevrelerdeki bitki hastalıklarına karşı hem stabil hem de dayanıklı genotiplerin seçilmesi mümkün olmaktadır. Son zamanlarda, GGE Biplot yöntemi, genotip-çevre etkileşimini daha iyi açıklaması ve kolay anlaşılır yaklaşımı nedeniyle diğer yöntemlere göre popülerliğini artırmaktadır (Hocaoğlu ve Akçura, 2017; Mohammadi, 2019). GGE Biplot, arpada ağ lekesi (*Pyrenophora teres* Drechs) (Yan ve Falk, 2002), buğdayda (*Triticum aestivum*) yaprak lekesi (*Cochliobolus sativus*) (Joshi ve ark., 2007), külleme (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) (Kadariya ve ark., 2008; Lillemo ve ark., 2010) ve sürme (*Tilletia laevis* (syn. *Tilletia foetida*)) (Akçura ve Akan, 2018 ve Tekin, 2023), yazlık buğdayda Fusarium başak yanıklığı (*Fusarium graminearum*) (Kadariya ve ark., 2008), kara pas (Omran ve Roohparvar, 2023), kırmızı sert buğdayda Fusarium başak yanıklığı ve yaprak çizgi lekesi (*Fusarium graminearum*, *Xanthomonas campestris* pv. *translucens*) (Merrick ve ark., 2020), arpada Rhynchosporium yaprak lekesi (*Rhynchosporium commune*) (Akan ve ark., 2023) gibi hastalıkların dayanıklı germplazmasının, ıslah hatları ve çeşitlerin karakterize edilmesi ve stabilitesinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Benzer şekilde tahıllar dışında, mor patatesten antraknoz (*Colletotrichum gloeosporioides*) (Egesi ve ark., 2009), baklada çikolata leke (*Botrytis fabae*) (Villegas-Fernández ve ark., 2009), turpgillerde beyaz pas (*Albugo candida*) (Sandhu ve ark., 2015), nohutta kuru kök çürüklüğü ve bodurluk hastalığı (Kumar ve ark., 2017), nohut yanıklığı (Erdemci ve ark., 2023), maş fasulyesinde sarı mozaik hastalığı (Parihar ve ark., 2017), fusarium yanıklığı (Reddy ve ark., 2023), hastalıklarının değerlendirilmesinde yararlanılmıştır.

Bu çalışmalarda ayrıca kısmen stabil ve farklı biyotik stres faktörlerine dayanıklı bitki materyallerinin seleksiyonu için çok lokasyonlu denemelerin tercih edildiği gözlenmektedir. Akçura ve Akan (2018) ve Tekin (2023) tarafından yürütülen çalışmalarda olduğu gibi bu araştırmada da GGE Biplot yöntemi dayanıklı bitkilerin belirlenmesi için geliştirilmiş olan reaksiyon ölçeğine göre yapılan gruplar ile karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

GGE Biplot analizi sonuçları (Şekil 2) ile Tablo 1’de yer alan reaksiyon gruplandırmaları karşılaştırıldığında, deneme materyalleri içerisinde dayanıklı ve orta dayanıklı olarak sınıflandırılan tüm materyallerin I. ve II. GGE Biplot gruplarında yer aldığı gözlenmiştir. Bu durum, GGE Biplot ile reaksiyon gruplarının birbirleri ile uyumlu sonuçlar verdiği yönündeki bulguları desteklemekle birlikte iki yöntem arasında bazı farklılıklar da gözlenmiştir. Şekil 2’de I. grupta yer alarak en dayanıklı ve stabil olarak belirlenen 14 test materyalinden 11’inin dayanıklı, 3’ünün ise orta dayanıklı olarak sınıflandırıldığı görülmektedir. Benzer şekilde GGE Biplot’un II. grubunda yer alan 4 test materyali içinden 3’ü orta dayanıklı olarak sınıflandırılırken 6 numaralı materyal orta hassas olarak sınıflandırılmıştır. GGE Biplot sınıfları ile reaksiyon gruplarının birebir örtüşmemesinin en önemli nedeni, test materyallerinin reaksiyon sınıflarının belirlenmesinde sadece en yüksek sürme skoru dikkate alınırken GGE Biplot yönteminde materyallerin tüm lokasyonlardaki sürme skorlarını bir bütün olarak değerlendirmesi, materyallerin sürme skorlarının ortalamaları ile farklı lokasyonlardaki değişkenliklerinin sınıflandırmaya etki etmesidir. Nitekim, bu çalışmada orta dayanıklı olarak nitelendirilen materyaller içerisinde GGE Biplot grafiğinde I. grupta yer alan 2, 19 ve 43 nolu materyallerin hepsi %5 ortalama sürme skoruna ve 4 ile 6 arasında değişen standart sapma değerlerine sahip olurken II. gruba dahil olan 35, 7, 6 ve 44 nolu materyallerin ortalama sürme skoru %8-11, standart sapma değerleri ise %5-11 arasında değişmiştir. Diğer bir deyişle, GGE Biplot yöntemi ile reaksiyon gruplarına kıyasla hem ortalama sürme skorlarına hem de bu skorların stabilitesine göre daha hassas bir ayırım yapılmıştır. Buna ek olarak, bu çalışmada dayanıklı ve orta dayanıklı reaksiyona sahip materyallerin GGE Biplot grafiğinde I. ve II. gruplarda yer aldığı ve hassas, orta hassas ve çok hassas materyallere kıyasla daha düşük standart sapma değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Bitki hastalık reaksiyonları ile ilgili olarak genotip ve çevre interaksiyonunun incelendiği farklı araştırmalarda stres faktörlerine dayanıklı genotiplerde oransal olarak daha fazla stabilite gözlemlendiği bildirilmiştir (Das ve ark., 2019; Ohunakin ve ark., 2021; Sankar ve ark., 2021).

4. Sonuç

Bu çalışma ile elde edilen bulgular GGE Biplot yönteminin ekmeçlik buğdayda sürme hastalığına dayanıklı genotiplerin seleksiyonu için kullanışlı bir yöntem olduğu sonucunu desteklemektedir. Tüm lokasyon sonuçları birlikte değerlendirildiğinde test edilen materyalle sürme hastalığının en yüksek skorları dikkate alındığında dayanıklı grup olarak tanımlanan 17 (%34) nolu materyalin sürme dayanıklı materyal olarak bir üst kademeye aktarılması veya sürme hastalığına dayanıklılık kaynağı olarak genitör olarak kullanılması önerilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (Proje No: ZRT.A4.24.007) tarafından desteklenmiştir. Ayrıca, bitki materyallerinin temin edildiği Tasaco Tarım Sanayi ve Ticaret A.Ş.’a (Antalya) teşekkür ederiz.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışma için etik kuruldan izin alınmasına gerek yoktur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları olarak aramızda herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

Yazarlık Katkı Beyanı

Planlama ve Koordinasyon: Akan., K., Materyal ve Metot: Akan, K., ve Hocaoglu, O., Veri toplama ve İşleme: Akan, K., Çat, A., Keçeli, A., Kara, K., Erol, T., Yavaş, İ., Hocaoglu, O., Tekin, M. ve Koç, K. İstatistik Analiz: Hocaoglu, O., Makale Yazımı, İnceleme ve Düzenleme: Akan, K., Çat, A., Yavaş, İ., Hocaoglu, O.

Kaynakça

- Akan, K., Mert, Z., Çetin L., Albostan, S., Düşünceli, F. and Yazar, S. (2005). Reaction of some registered wheat cultivars to common bunt caused by (*Tilletia foetida* (Wallr.) and *Tilletia caries* (D.C.) Tul.) in Ankara Conditions. *Türkiye II. Seed Congress*. 09-11 November, p. 316-322, Adana, Türkiye.
- Akan, K., Cat, A., Hocaoglu, O. and Tekin, M. (2023). Evaluating scald reactions of some Turkish barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties using GGE Biplot analysis. *Agronomy*, 13(12): 2975.
- Akçura, M. and Akan, K. (2018). Assessment of the reactions of pure lines selected from Turkish bread wheat landraces against bunt disease (*Tilletia foetida*) with the GGE-Biplot method. *Plant Genetic Resources*, 16(4): 325-333.
- Aktaş, H. (2001). Önemli Hububat Hastalıkları ve Sürvey Yöntemleri. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı. Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü. Bitki Sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- Aktaş, H. ve Durmaz, A. (2023). Makarnalık yerel buğday genotiplerinin (*Triticum durum* L.) bazı tarımsal özellikler bakımından karakterizasyonu. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(4): 740-754.
- Aydoğdu, M. and Kaya, Y. (2020). Reactions of spring wheat varieties to common bunt (*Tilletia laevis*) in Turkey. *Cereal Research Communications*, 48(3): 333-339.
- Das, A., Parihar, A. K., Saxena, D., Singh, D., Singha, K. D., Kushwaha, K. P. S., Chand, R., Bal, R. S., Chandra, S. and Gupta, S. (2019). Deciphering genotype-by-environment interaction for targeting test environments and rust resistant genotypes in field pea (*Pisum sativum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 10: 825.
- Dodov, D. and Todorova, V. (1974). Physiological specialization of common bunt of wheat (*Tilletia levis* (Kuhn) and *Tilletia tritici* (Bjerk.) Wint.) in Bulgaria. *Academic of Science*, 25: 181- 197.
- Dumalasová, V. and Bartoš, P. (2007). Reaction of winter wheat cultivars to common bunt *Tilletia tritici* (Bjerk.) Wint. and *T. laevis* Kühn. *Plant Protection Science*, 43(4): 138.
- DumalasoVá, V. and Bartoš, P. (2010). Reaction of wheat, alternative wheat and triticale cultivars to common bunt. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 46(1): 14-20.
- Dumalasova, V., Leiova-Svobodova, L. and Bartos P (2014). Common bunt resistance of Czech and European winter wheat cultivars and breeder lines. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* 50: 201-207.
- Dumble, S., Bernal, E. and Villardon, P. G. (2022). GGEbiplots: GGE Biplots with 'ggplot2'. <https://cran.r-project.org/web/packages/GGEbiplots/GGEbiplots.pdf> (Accessed Date: 18.07.2024).
- Egesi, C. N., Onyeka, T. J. and Asiedu, R. (2009). Environmental stability of resistance to anthracnose and virus diseases of water yam (*Dioscorea alata*). *African Journal of Agricultural Research*, 4(2): 113-118.
- Erdemci, İ., Yaşar, M. and Koç, M. (2023). Assignment of resistance stability of chickpea genotypes tested in multi-environments against ascochyta blight using GGE biplot analysis. *European Journal of Plant Pathology*, 167(1): 123-132.
- Gabriel, K. R. (1971). The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 58(3): 453-467.
- Goates, B. J. (1996) Common bunt and dwarf bunt. Bunt and Smut Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management. Ed(s): Wilcoxson, R. D. and Saari, E. E., CIMMYT, Mexico City, Mexico.
- Hocaoglu, O. ve Akçura, M. (2017). Batı Anadolu ve Marmara bölgelerinden ve çeşitlerinden elde edilen seçilmiş ekmeklik buğday yerli saf hatlarının mineral içeriğinin GGE biplot metoduyla değerlendirilmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(Özel Sayı): 71-76.
- Hoffman, J. A. and Metzger, R. J. (1976). Current status of virulence genes and pathogenic races of the wheat bunt fungi in the northwestern USA. *Phytopathology*, 66: 657-660.
- İren, S., Maden, S. ve Coşkun, H. (1982). Türkiye'de 1980 yılında buğdaylarda görülen sürme hastalığı (*Tilletia* spp.) türleri, bunların geçmiş yıllarla karşılaştırılması ve hastalık çıkışına tohum ilaçlarının etkinliği. *Bitki Koruma Bülteni*, 22(2): 61-71.
- Joshi, A. K., Ortiz-Ferrara, G., Crossa, J., Singh, G., Alvarado, G., Bhatta, M. R., Duveiller, E., Sharma, R. C., Pandit, D. B., Siddique, A. B. Das, S. Y., Sharma, R. N. and Chand, R. (2007). Associations of environments in South Asia based on spot blotch disease of wheat caused by *Cochliobolus sativus*. *Crop Science*, 47(3): 1071-1081.
- Kadariya, M., Glover, K. D., Mergoum, M. and Osborne, L. E. (2008). Biplot analysis of agronomic and Fusarium head blight resistance traits in spring wheat. *Journal of Crop Improvement*, 22(2): 147-170.
- Kempton, R. A. (1984). The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *The Journal of Agricultural Science*, 103(1): 123-135.
- Kumar, S., Baranwal, D. K., Kumar, A., Gupta, R. N. and Kumar, A. (2017). G×E Interaction analysis for yield and major diseases in chickpea under rice fallow land of Bihar. *Environment and Ecology*, 35: 1238-1243.
- Lillemo, M., Singh, R. P. and van Ginkel, M. (2010). Identification of stable resistance to powdery mildew in wheat based on parametric and nonparametric methods. *Crop Science*, 50(2): 478-485.

- Merrick, L. F., Glover, K. D., Yabwalo, D. and Byamukama, E. (2020). Use of genotype by yield* trait (GYT) analysis to select hard red spring wheat with elevated performance for agronomic and disease resistance traits. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 2(2): e200009.
- Mohammadi, R. (2019). Genotype by yield* trait biplot for genotype evaluation and trait profiles in durum wheat. *Cereal Research Communications*, 47(3): 541-551.
- Ohunakin, A. O., Odiyi, A. C. and Akinyele, B. O. (2021). Genetic variance components and GGE interaction of tropical maize genotypes under Northern leaf blight disease infection. *Cereal Research Communications*, 49: 277-283.
- Omrani, A. and Roohparvar, R. (2023). Investigation of wheat genotypes' resistance to stem rust through GGE biplot analysis. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 46(3): 83-97.
- Öztürk, İ. (2024). Genotype and environment effect on yield and quality parameters and stability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under rainfed conditions. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(2): 324-334.
- Parihar, A. K., Basandrai, A. K., Sirari, A., Dinakaran, D., Singh, D., Kannan, K., Kushawaha, P. S., Adinarayan, M., Akram, M., Latha, T. K. S., Paranidharan, V. and Gupta, S. (2017). Assessment of mung- bean genotypes for durable resistance to yellow mosaic disease: Genotype × environment interactions. *Plant Breeding*, 136: 94-100.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> Statistical analysis of a yield trial, (Erişim Tarihi: 18.06.2024).
- R Studio Team (2022). RStudio: Integrated Development for R. <https://www.rstudio.com>, (Erişim Tarihi: 18.06.2024).
- Reddy, B. D., Kumar, B., Reddy, M. S., Krishna, K. S., Karthik, S. and Kumar, R. (2023). Identification of elite pigeonpea genotypes against Fusarium wilt and sterility mosaic disease through AMMI and GGE biplot analysis. *Legume Research-An International Journal*, 46(1): 104-111.
- Sandhu, P. S., Brar, K. S., Chauhan, J. S., Meena, P. D., Awasthi, R. P., Rath, A. S., Kumar, A., Gupta, J. C., Kolte, S. J. and Manhas, S. S. (2015). Host-pathogen interactions of *Brassica* genotypes for white rust (*Albugo candida*) disease severity under aided epiphytotic conditions in India. *Phytoparasitica*, 43: 197-207.
- Sankar, S. M., Singh, S. P., Prakash, G., Satyavathi, C. T., Soumya, S. L., Yadav, Y., Sharma, L. D., Rao, R. D., Nirupma, S. and Srivastava, R. K. (2021). Deciphering genotype-by-environment interaction for target environmental delineation and identification of stable resistant sources against foliar blast disease of pearl millet. *Frontiers in Plant Science*, 12: 656158.
- SAS Institute (2016). JMP®, Version 13.2.0. SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989–2025.
- Sharma M, Ghosh R, Telangre R, Rathore A, Saifulla M, Mahalinga DM, Saxena D. R. and Jain, Y. K. (2016). Environmental influences on pigeonpea-*Fusarium udum* interactions and stability of genotypes to fusarium wilt. *Frontiers in Plant Science*, 7: 253.
- Szunics, L. and Szunics, L. (1990). Data on the bunt infection of wheat varieties. *Növénytermelés*, 39: 297–304.
- Tekin, M. (2023). Genetic variation in Turkish bread wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties for resistance to common bunt. *Agronomy*, 13(10): 2491.
- Veisz, O., Szunics, L. and Szunics, L. (2000). Effect of common bunt on the frost resistance and winter hardiness of wheat (*Triticum aestivum* L.) lines containing *Bt* genes. *Euphytica*, 114: 159-164.
- Villegas-Fernández, A. M., Sillero, J. C., Emeran, A. A., Winkler, J., Raffiot, B., Tay, J., Flores, F. and Rubiales, D. (2009). Identification and multi-environment validation of resistance to *Botrytis fabae* in *Vicia faba*. *Field Crops Research*, 114(1): 84-90.
- Yan, W. (2014). Crop Variety Trials: Data Management and Analysis. John Wiley & Sons.
- Yan, W. and Falk, D. E. (2002). Biplot analysis of host-by-pathogen data. *Plant Disease*, 86(12): 1396-1401.
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q. and Szlavniks, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40(3): 597-605.
- Zobel, R. W., Wright, M. J. and Gauch Jr, H. G. (1988). Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80(3): 388-393.