

Stres Tolerans İndeksleri Kullanılarak Ekmeklik Buğdayda Kuraklık Toleransının Değerlendirilmesi

Ferhat KIZILGEÇİ^{1*}, Negar TEBRİZLİ²

¹Mardin Artuklu Üniversitesi, Kızıltepe Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Mardin

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0002-7884-5463>

²<https://orcid.org/0000-0002-2307-5756>

*Sorumlu yazar: ferhatkizilgeci@artuklu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 18.02.2025

Kabul tarihi: 28.04.2025

Online Yayınlanma: 16.09.2025

Anahtar Kelimeler:

Kuraklık stresi

Destek sulama

TOL

Tane verimi

Biplot

ÖZ

Kuraklık stresi, dünya genelinde tahıl yetiştiriciliğinin yapıldığı birçok bölgede buğday verimliliğini sınırlayan önemli bir çevresel strestir. Bu çalışmada, bazı ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinin kuraklık stresine toleransını değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. Araştırma, 2021-2022 yetiştirme sezonunda sulu ve yağışa dayalı koşullarda gerçekleştirilmiştir. Araştırmada dokuz kuraklık tolerans indeksi, sulu (Yp) ve yağışa dayalı (Ys) koşullar altında elde edilen tane verimine göre hesaplanmıştır. Varyans analizi sonucuna göre, kuraklık stresinin tane verimi üzerinde önemli etkilerinin yanı sıra tane verimi açısından genotipler arasında önemli farklılıklar olduğunu belirlenmiştir. Korelasyon ve çok değişkenli analiz sonuçları, strese tolerans indeksi (STI), geometrik ortalama verimlilik (GMP), harmonik ortalama (HM) ve ortalama verimlilik (MP) indekslerinin kuraklığa dayanıklı ve yüksek verimli genotiplerin seçimi için uygun kriterler olduğunu görülmüştür. HM, GMP, STI ve MP indekslerine göre Gn10 genotipi hem sulu hem de yağışa dayalı koşullar için yüksek verimli ve uygun genotip olduğu görülmüştür. Yp, Ys ve tolerans indeksleri kullanarak yapılan biplot analizine dayanarak, koşullar arasında üstün genotip belirlenmesinin mümkün olabileceği belirlenmiştir.

Evaluation of Drought Tolerance in Bread Wheat Using Stress Tolerance Indices

Research Article

Article History:

Received: 18.02.2025

Accepted: 28.04.2025

Published online: 16.09.2025

Keywords:

Drought stress

Supplement irrigation

TOL

Grain yield

Biplot

ABSTRACT

Drought stress is a major environmental stress limiting wheat productivity in most cereal growing areas of the world. The objective of this study was to evaluate drought stress tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. For this purpose, 14 genotypes were grown during 2021-2022 growing seasons under irrigated and rain-fed conditions. The nine drought tolerance indices were calculated based on grain yield under irrigated (Yp) and rain-fed (Ys) conditions. Results of the analysis of variance showed the significant influences of drought stress on grain yield as well as significant differences among genotypes for grain yield. Results of correlation coefficients and multivariate analyses revealed that the stress tolerance index (STI), geometric mean productivity (GMP), harmonic mean (HM) and mean productivity (MP) indices were the most profitable criteria for selection of drought tolerant and high-yielding genotypes. Using HM, GMP, STI and MP, the Gn10 were found to be the best genotypes with high yield and suitable for both irrigated and rain-fed conditions. Based on biplot analysis using Yp, Ys and the indices, it was possible to identify superior genotype across the conditions.

1. Giriş

Buğday, dünya genelinde en yaygın olarak yetiştirilen ürünlerden biridir ve dünya nüfusunun yaklaşık üçte biri için temel gıda maddesidir (Kızılgeçi ve ark., 2020). Çok elverişli koşullardan marjinal koşullara kadar çeşitli ortamlarda yetiştirilmektedir. Bu nedenle çeşitli biyotik ve abiyotik streslerle karşı karşıya kalmaktadır (Kızılgeçi ve Öztürk, 2022). Kuraklık stresi bir abiyotik stres faktörü olup hem asimilatların kaynağını (source) hem de havuzunu (sink) olumsuz yönde etkileyerek ürün veriminin azalmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden üretimdeki en önemli sınırlayıcı faktör olarak bilinmektedir (Moghaddam ve ark., 2024). Kuraklığa dayanıklı ekmeklik buğday genotiplerinin geleneksel yöntemlerle başarılı bir şekilde yetiştirilmesi için, yetiştiricilerin yetiştirme materyali hakkında temel bilgilere sahip olması gerekmektedir. Bunlardan bir tanesi, genotiplerin su stresine karşı gösterdikleri tepkilerdir. Genotipler arasında görünen tepki farklılıkları farklı genetiğe sahip bitkilerin kontrolüne ilişkin bir anlayış içerir. Zira strese dayanıklı ürünün geliştirmesi için bitkilerin kuraklığa karşı verdiği tepkileri anlamak önemlidir (Farshadfar ve ark., 2013). Bitkilerin kuraklık stresine karşı gösterdikleri toleransı değerlendirmek için çok sayıda nicel indeksler önerilmiştir. Bu indeksler hem stresli hemde stressiz koşullar altında bitki performansını karşılaştırmış olup, kuraklığa dayanıklı çeşitlerin değerlendirmesi için faydalı araçlardır (Nooryazdan, 2024). Rosielle ve Hamblin (1981)'e göre, stres tolerans (TOL) ve ortalama verimlilik (MP), sırasıyla stresli ve stressiz ortamlar arasındaki verim ve ortalama verim farkı olarak tanımlanmaktadır. (Pourdad, 2008)'e göre; TOL indeksine dayalı olarak seçilen genotiplerin stresli şartlarda nispeten yüksek verime ve sulu koşullarında düşük verime sahip çeşitlerdir. Düşük TOL değeri strese karşı daha yüksek tolerans göstermektedir. Tarla koşullarında kuraklık stresinin şiddeti yıldan yıla değişiklik göstermektedir (Fischer ve ark., 1979). Bitki ıslahçıları bu stres şiddetinin verim üzerinde yarattığı farklılığı geometrik ortalama verimlilik faktörü (GMP) ile değerlendirmektedir. Ayrıca hassas ve dirençli genotipleri ayırt etmesinde de MP'den daha iyi bir indekstir (Ramirez ve Kelly, 1998). Kuraklık koşulları altında yüksek verimli bir çeşit için bir diğer seçim kriteri, stres duyarlılık indeksidir (SSI). Fischer ve Maurer (1978), SSI'yi stresli ve stressiz koşullar altındaki genotiplerin performansına oranlamıştır. Fernandez (1992), strese tolerans indeksinin (STI) sulu koşullarda tane verimi (Y_p), yağışa dayalı koşullarda tane verimi (Y_s) ve $\bar{Y}_p$ 'ye (toplam Y_p 'nin ortalaması) dayalı olarak stresli ve stressiz koşullar altındaki yüksek verimli genotipleri belirlemek için gelişmiş bir indeks olarak tanımlamıştır. Golabadi ve ark. (2006). STI, MP ve GMP'nin, hem stresli hem de stressiz koşullar altında makarnalık buğdayda yüksek verimli genotiplerin seçimi için üstün kriterler olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu kriterlere dayalı seçim, stressiz koşullarda düşük verim potansiyeline ve stresli koşullarda yüksek verim potansiyeline sahip genotiplerin seçilmesine yardımcı olmaktadır. Fernandez (1992) MP ve Y_s arasında pozitif bir korelasyon olduğunu bu nedenle MP'ye dayalı seçim, hem stresli hem de stressiz koşullar altında ortalama verimi artıracığını bildirmiştir. Rosielle ve Hamblin (1981), Nouri ve ark. (2011), Kamrani (2015) ve Najaphy ve

Geravandi (2011) yapmış oldukları çalışmalarında STI ve GMP indekslerinin, hem stresli hem de stressiz koşullarda iyi performans gösteren genotiplerin seçimi için daha uygun indeksler olduğunu bildirmişleridir. Bu nedenle, farklı indeksler arasında en iyi ve en uygun endeksin seçimi için mutlaka yetiştirme koşulları (stresli veya stressiz ortam) dikkate alınması gerekmektedir. Bansal ve Sinha (1991), kuraklığa dayanıklı buğday genotiplerinin belirlenmesi için SSI ve tane verimini stabilite parametrelerinin kullanmasını önermiştir. Fischer ve Maurer (1978), SSI'si bir birimden az olan genotiplerin kuraklığa dayanıklı olduğunu, çünkü kuraklık koşullarındaki verim düşüşlerinin tüm genotiplerin ortalama verim düşüşünden daha küçük olmasından dolayı olduğunu belirtmiştir. Fernandez (1992), farklı yıllardaki stres varyasyonunun etkilerinden kaçınmak için duyarlılığın belirlenmesinde genotiplerin GMP'sini her iki koşulda kullanmıştır. Ramirez ve Kelly (1998), GMP ve SSI indekslerinin fasulyede kuraklığa dayanıklı genotiplerin belirlenmesi için daha arzu edilen kriterler olabileceğini bildirmiştir. STI ve GMP indeksleri stresli ve stressiz koşullar altında yüksek verime sahip genotipleri seçmeninde SSI indeksi ise stres koşullarında iyi verim veren genotipleri belirlenmesinde kullanılmaktadır (Souri ve ark., 2005; Kamrani, 2015). Rahmani ve ark. (2013) YSI, GMP ve HM indekslerinin stres koşulları altında verimle ilgili pozitif korelasyon gösterdiğini, TOL ve MP indekslerinin ise stressiz koşullar altında pozitif korelasyon gösterdiğini bildirmişlerdir. Mevcut çalışma, 14 ekmeklik buğday genotipinin farklı çevre koşulları altında (yağışa dayalı ve sulu) yüzde verim azalması (RC), stres tolerans indeksi (STI), harmonik ortalama (HM), geometrik ortalama (GMP), ortalama verimlilik (MP), verim indeksi (YI), verim stabilite indeksi (YSI), bağıl stres indeksi (RSI), tolerans indeksi (TOL) ve stres duyarlılık indeksi (SSI) gibi dokuz stres indeksiyle (i) kuraklığa dayanıklı genotiplerin tanımlanması ve seçilmesi (ii) genotiplerin tane verimi ve stres indeks değerlerinin değerlendirilmesi (iii) tane verimi ve stres indeksleri arasındaki korelasyon analizi, temel bileşen, biplot ve cluster analizi temelinde incelenmesi amacıyla yürütülmüştür.

2. Materyal ve Metot

Araştırmada, bitki materyali olarak CIMMYT tarafından geliştirilen onbir adet ileri kademe ekmeklik buğday genotipi ve bölge çiftçileri tarafında yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan Ceyhan 99, Dinç ve Sagittario ekmeklik buğday çeşitleri standart olarak kullanılmıştır. Mevcut çalışma, 2021-2022 üretim sezonunda sulu ve yağışa dayalı koşullarda Şanlıurfa ilinde yürütülmüştür. Deneme parselleri 5 m × 1,2 m: 6 m² olacak şekilde tesadüf bloklar deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak kurulmuştur. Deneme sahasının toprak yapısı killi-tınlı, organik madde içeriği oldukça düşük, pH:7,70 ve tuzluluk sorunu olmayan yapıya sahiptir (Tablo 1).

Tablo 1. Deneme alanına ait bazı toprak özellikleri

pH	EC (ds/m)	Kireç (%)	P ₂ O ₅ (kg da ⁻¹)	K ₂ O (kg da ⁻¹)	N (%)	Org. madde (%)
7,70	0,9	24	1,18	45,2	0,07	1,1

Araştırmanın yürütüldüğü yetiştirme döneminde ortalama sıcaklık değeri 15,46 °C ve toplam yağış miktarı 120,2 mm gerçekleşmiştir (Tablo 2). Araştırmanın yürütüldüğü dönem ile uzun yıllar yağış miktarı kıyaslandığında yaklaşık olarak 300 mm daha düşük yağış düşmüştür.

Tablo 2. Araştırmanın yürütüldüğü 2021-2022 yılı Şanlıurfa ili iklim verileri

Aylar	Ort. Minimum Sıcaklık (°C)	Ort. Max. Sıcaklık (°C)	Ort. Sıcaklık (°C)	Toplam Yağış (mm)
Kasım	10,35	20,55	15,2	26,6
Aralık	5,35	14,90	9,95	11,95
Ocak	3,40	11,15	7,00	20,6
Şubat	5,00	15,95	10,30	3,8
Mart	4,65	15,20	9,60	20,45
Nisan	11,85	26,35	19,30	5,85
Mayıs	15,80	30,80	23,80	30,5
Haziran	19,80	36,00	28,55	0,45
Toplam				120,2
Ortalama	9,53	21,36	15,46	

Sulu koşul için gerekli olan destek sulama başaklanma ve tane dolum döneminde olmak üzere 2 defa yağmurlama sulama sistemiyle gerçekleştirilmiştir. Deneme sahasında görülen yabancı ot, hastalık ve zararlılara karşı kimyasal mücadele yapılmıştır. Hasat harman işlemi Haziran ayında gerçekleştirilmiştir. Hasat sonrası elde edilen ürünlerin tane verimi sulu koşullar (Yp) yağışa dayalı ise (Ys) olarak ifade edilmiştir. Araştırmada dokuz duyarlılık ve tolerans indeksi incelenmiştir. Bu indekslerin hesaplamaları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Tolerans ve duyarlılık indekslerinin matematiksel formülleri

İndeks	Formül	Referans
Tolerans	TOL=Ys-Yp	Rosielle ve Hamblin (1981)
Ortalama Verimlilik	MP=(Ys +Yp)/2	Rosielle ve Hamblin (1981)
Geometrik Ortalama Verimlilik	GMP= $\sqrt{Ys \times Yp}$	Fernandez (1992)
Harmonik Ortalama	HM = $2(Ys \times Yp)/(Ys +Yp)$	Bidinger ve ark. (1987)
Stres Duyarlılık İndeksi	SSI= $(1-(Ys /Yp))/(1-(\bar{Y}s/\bar{Y}p))$	Fischer ve Maurer (1978)
Stres Tolerans İndeksi	STI= $(Ys \times Yp)/(\bar{Y}p)^2$	Fernandez (1992)
Verim İndeksi	YI= $(Ys)/(\bar{Y}s)$	Gavuzzi ve ark.(1997)
Verim Stabilité İndeksi	YSI=Ys /Yp	Bouslama ve Schapaugh (1984)
Bağıl Stres İndeksi	RSI= $(Ys /Yp)/ (\bar{Y}s/\bar{Y}p)$	Fischer ve Wood (1979)

Yukarıdaki formülde, Ys: yağışa dayalı koşulda yetiştirilen her bir genotipin verim değeri, Yp: destek sulama koşulunda yetiştirilen her bir genotipin verim değeri, $\bar{Y}s$ ve $\bar{Y}p$ sırasıyla yağışa dayalı ve destek sulama koşullarında tüm genotiplerin verim ortalamasını ifade etmektedir. Çalışmada elde edilen verilerin varyans analizi, stres tolerans indeksleri arasındaki pearson's korelasyon analizi ve cluster analizi için JMP Clinical 18 istatistik programı kullanılmıştır. Stres tolerans indeksleri, üç boyutlu çizimler ve biplot analizleri için iPASTIC toolkit (Pour-Aboughadareh ve ark., 2019) kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Araştırma sonuçlarına göre elde edilen varyans analizi, ortalama verim değerleri ve duyarlılık/tolerans indeks sonuçları Tablo 4’te sunulmuştur. Yağışa dayalı ve sulu koşullarda genotipler arası farklılıklar sırasıyla %1 ve %5 seviyesinde önemli farklılıklar olduğu görülmüştür. En yüksek tane verimi kuru ve sulu koşullarda Gn10 (sırasıyla, 384,8 ve 919,5 kg da⁻¹) genotipinde belirlenmiştir. En düşük tane verimi kuru koşullarda Gn7 (248,5 kg da⁻¹) ve sulu koşullarda Gn9 (683,7 kg da⁻¹) genotiplerinde belirlenmiştir. Her iki koşul kıyaslandığında tane veriminde en fazla azalış %70,11 ile Gn11 genotipinde görülmüştür. Duyarlılık/tolerans indeksleri incelendiğinde; En düşük TOL değerine Gn9 ve Sagittario genotiplerinin sahip oldukları ve bu iki genotipin diğer genotiplere göre strese daha tolerant olduğu görülmüştür. Dinç, Gn5, Gn7, Gn10 ve Gn11 genotipleri ise strese daha hassas oldukları belirlenmiştir. Lamba ve ark. (2023) yüksek TOL değerlerine sahip genotiplerin strese karşı daha yüksek duyarlılık gösterdiğinden, toleranslı genotipleri seçmek için daha küçük TOL değerlerine sahip genotiplerin tercih edilmesi gerektiğini bildirmiştir. Çalışmamızda en yüksek MP, GMP, HM ve STI indeks değerine Gn10 sahip olmuştur. Gn10 genotipi diğer genotiplere göre stres koşullarında daha iyi performans göstermiştir. Pour-Aboughadareh ve ark. (2019) stresli ve stressiz koşullarda iyi performans gösteren genotiplerin STI, MP, GMP ve HM indekslerinin yüksek değerlere sahip olduğunu ve bu genotiplerin strese toleranslı olacağını bildirmiştir. SSI, stresli koşullara kıyasla stressiz koşullar altında minimal azalma gösteren genotipler belirlenirken (Fischer ve Maurer, 1978); SSI > 1, kuraklık stresine karşı ortalamanın üzerinde bir duyarlılık göstermektedir (Guttieri ve ark., 2001). Sagittario (0,831) çeşidi en düşük SSI değeri ile strese daha az duyarlıyken, Gn11 (1,160) en yüksek SSI değeri ile strese daha duyarlı olduğu belirlenmiştir. YI, YSI ve RSI hem stresli hem de stressiz koşullarda genotiplerin stabilitesini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu indeksler genotiplerin toleransına veya duyarlılığına dayanmaktadır. En yüksek YI değeri Gn10 genotipinde belirlenmiştir. Ashraf ve ark. (2015) ve Singh ve ark. (2015)’na göre daha yüksek YI değerine sahip genotiplerin stres koşullarına karşı daha dayanıklı olacağını bildirmişlerdir. Araştırmamızda YSI ve RSI indekslerinin toleranslı genotiplerin karakterizasyonunda benzer sıralamaya sahip olduğu belirlenmiştir. Sagittario, Gn6, Gn9 ve Ceyhan 99 genotipleri en yüksek değere sahip olmuştur.

Çalışmada incelenen genotiplerinin kuraklık duyarlılık/tolerans indekslerinin sıralama toplamaları 34 (Sagittario ve Gn10) ile 136 (Gn4) ve sıralama ortalamaları 3,09 (Sagittario ve Gn10) ile 12,36 (Gn4) arasında değişmiştir (Tablo 5). Araştırmamızda Gn10 genotipine ait ST, SO ve SS değerlerinin (sırasıyla, 34, 3,09 ve 3,48) düşük olması stresli koşullarda daha iyi performans göstereceğini göstermektedir. Pour-Aboughadareh ve ark. (2020) tüm indekslerin sıralama toplamalarının (ST) en iyi genotipleri seçmek için bir gösterge olarak kullanılabilineceğini, Buna göre, her özelliğin en iyi performansı en düşük sıralamada olması gerektiği, dolayısıyla en düşük ST ve standart sapma (SS) değerlerine sahip genotipler en iyi genotipler olduğunu bildirmiştir.

Tablo 4. Yağışa dayalı ve destek sulama koşullarında yetiştirilen ekmeklik buğday genotiplerinin ortalama tane verim değerleri, stres tolerans indeksleri ve varyan analiz sonuçları

Genotip Adı	Yp (kg da ⁻¹)	Ys (kg da ⁻¹)	RC(%)	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
Ceyhan 99	700,1	298,9	57,31	401,2	499,5	457,45	418,94	0,948	0,346	0,971	0,427	1,079
Dinç	824,7	312,8	62,07	511,9	568,75	507,9	453,57	1,027	0,427	1,016	0,379	0,958
Sagittario	734,2	365,4	50,23	368,8	549,8	517,95	487,95	0,831	0,444	1,187	0,498	1,258
Gn1	820,1	313,7	61,75	506,4	566,9	507,21	453,81	1,022	0,425	1,019	0,383	0,967
Gn2	725,9	284,4	60,82	441,5	505,15	454,36	408,68	1,007	0,341	0,924	0,392	0,99
Gn3	796,5	305,5	61,64	491,0	551,0	493,29	441,62	1,020	0,402	0,993	0,384	0,969
Gn4	683,8	251,0	63,29	432,8	467,4	414,29	367,21	1,047	0,284	0,816	0,367	0,928
Gn5	856,3	324,4	62,12	531,9	590,35	527,05	470,54	1,028	0,459	1,054	0,379	0,957
Gn6	754,6	350,3	53,58	404,3	552,45	514,14	478,48	0,887	0,437	1,138	0,464	1,173
Gn7	794,7	248,5	68,73	546,2	521,6	444,39	378,61	1,137	0,327	0,808	0,313	0,79
Gn8	748,4	279,0	62,72	469,4	513,7	456,95	406,47	1,038	0,345	0,907	0,373	0,942
Gn9	683,7	337,1	50,69	346,6	510,4	480,08	451,56	0,839	0,381	1,095	0,493	1,246
Gn10	919,5	384,8	58,15	534,7	652,15	594,83	542,55	0,962	0,585	1,25	0,418	1,058
Gn11	844,8	252,5	70,11	592,3	548,65	461,86	388,79	1,160	0,353	0,821	0,299	0,755
Ortalama	777,66	307,74		469,93	542,70	487,98	439,20	1,00	0,397	1,000	0,398	1,005
Std sapma	68,18	40,98		70,2	43,95	43,44	46,27	0,093	0,072	0,133	0,056	0,142
DK(%)	8,30*	15,10**										
AÖF	96,70	66,10										

(Yp) sulu koşullarda tane verimi, (Ys) yağışa dayalı koşullarda tane verimi, (STI),stres tolerans indeksi, (HM) harmonik ortalama , (GMP) geometrik ortalama , (MP) ortalama verimlilik , (YI) verim indeksi , (YSI) verim stabilite indeksi , (RSI) bağıl stres indeksi , (TOL) tolerans indeksi ve stres (SSI) duyarlılık indeksi, (RC) yüzde verim azalması

Tablo 5. Kuraklık tolerans indekslerinin sıralaması, sıralama toplamı (ST), sıralama ortalaması (SO) ve standart sapması (SS)

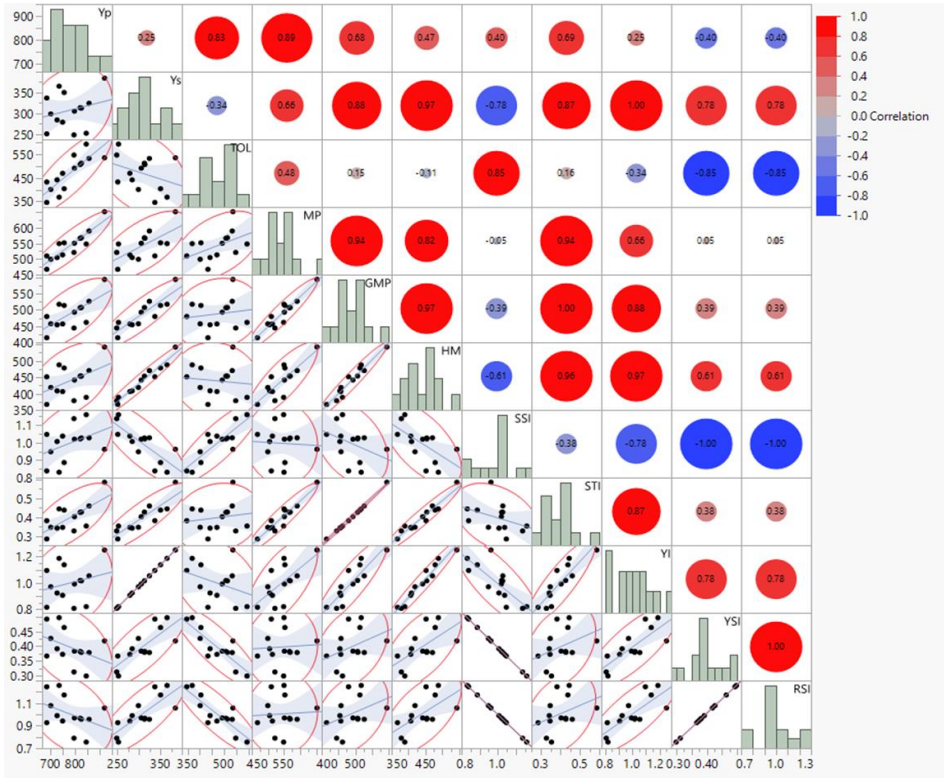
Genotip Adı	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI	ST	SO	SS
Ceyhan 99	12	9	3	13	10	9	4	10	9	4	4	87	7,91	3,53
Dinç	4	7	10	3	5	6	9	5	7	9	9	74	6,73	2,33
Sagittario	10	2	2	7	3	2	1	3	2	1	1	34	3,09	2,84
Gn1	5	6	9	4	6	5	8	6	6	8	8	71	6,45	1,57
Gn2	11	10	6	12	12	10	6	12	10	6	6	101	9,18	2,64
Gn3	6	8	8	6	7	8	7	7	8	7	7	79	7,18	0,75
Gn4	13	13	5	14	14	14	12	14	13	12	12	136	12,36	2,58
Gn5	2	5	11	2	2	4	10	2	5	10	10	63	5,73	3,77
Gn6	8	3	4	5	4	3	3	4	3	3	3	43	3,91	1,51
Gn7	7	14	13	9	13	13	13	13	14	13	13	135	12,27	2,20
Gn8	9	11	7	10	11	11	11	11	11	11	11	114	10,36	1,29
Gn9	14	4	1	11	8	7	2	8	4	2	2	63	5,73	4,22
Gn10	1	1	12	1	1	1	5	1	1	5	5	34	3,09	3,48
Gn11	3	12	14	8	9	12	14	9	12	14	14	121	11,00	3,46

(Yp) sulu koşullarda tane verimi, (Ys) yağışa dayalı koşullarda tane verimi, (STI),stres tolerans indeksi, (HM) harmonik ortalama , (GMP) geometrik ortalama , (MP) ortalama verimlilik , (YI) verim indeksi , (YSI) verim stabilite indeksi , (RSI) bağıl stres indeksi , (TOL) tolerans indeksi ve stres (SSI) duyarlılık indeksi

3.1. Korelasyon analizi

Sulu ve yağışa dayalı koşullarda yetiştirilen genotiplerin tane verimi ile incelenen dokuz duyarlılık/tolerans indeksine ait Pearson's korelasyon analizi Şekil 1'de gösterilmiştir. Korelasyon analizine göre sulu koşullarda tane verimi (Yp) ile TOL (r=0,83, %1), MP (r=0,89, %0,1), GMP (r=0,68,

%1) ve STI ($r=0,69$, %1) arasında olumlu önemli ilişki olduğu belirlenmiştir. Kuru koşullarda tane verimi (Y_s) ile MP ($r=0,66$, %5), GMP ($r=0,88$, %0,1), HM ($r=0,97$, %0,1), STI ($r=0,87$, %0,1), YI ($r=1,0$, %0,1), YSI ($r=0,78$, %1) ve RSI ($r=0,78$, %1) arasında olumlu ve önemli ilişki olduğu görülmüştür. Farshadfar ve Javadinia (2011) Y_s ve Y_p ile yüksek oranda ilişkili olan indekslerin, strese dayanıklı çeşitlerin belirlenmesi için en uygun olan indeksler olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle çalışmamızda sulu ve yağışa dayalı koşullarda tane verimi ile yüksek oranda pozitif ve önemli korelasyon gösteren MP, GMP ve STI indekslerinin en uygun indeksler olduğu belirlenmiştir. Bu indekslerin kuraklık stresinin yanı sıra stressiz koşullarda da yüksek verimli genotipleri belirlemede etkili olabileceğini göstermiştir. Kamrani ve ark. (2018), Y_p ve Y_s 'nin birlikte pozitif korelasyona gösterdiği duyarlılık/tolerans indekslerinin her iki koşulda da yüksek performanslı genotiplerin belirlenebileceğini ileri sürmüştür.



Şekil 1. Tolerans indeksleri Pearson's korelasyon analizine dayalı Scatterplot Matrix (önemli daireler) grafiği (Y_p) sulu koşullarda tane verimi, (Y_s) yağışa dayalı koşullarda tane verimi, (STI), stres tolerans indeksi, (HM) harmonik ortalama, (GMP) geometrik ortalama, (MP) ortalama verimlilik, (YI) verim indeksi, (YSI) verim stabilite indeksi, (RSI) bağıl stres indeksi, (TOL) tolerans indeksi ve stres (SSI) duyarlılık indeksi

3.2. Principal Component Analizi (PCA)

Temel birleşen analizi (PCA) Tablo 6 ve Şekil 2'de sunulmuştur. İlk iki birleşen (PC1+PC2) iki koşulda toplam varyansın % 99,87 ifade etmektedir. PC1 elde edilen varyasyonun % 62,98'ini ifade etmekte ve Y_p , Y_s , MP, GMP, HM, STI, YI, YSI, RSI ile yüksek koordinasyon göstermiştir. Bu nedenle, ilk birleşen verim potansiyeli ve kuraklık toleransı olarak adlandırılmaktadır. Dinç, Sagittario, Gn1, Gn5 Bu bileşen, her iki ortamda da yüksek verime sahip kuraklığa dayanıklı genotipleri olmuştur. Benzer

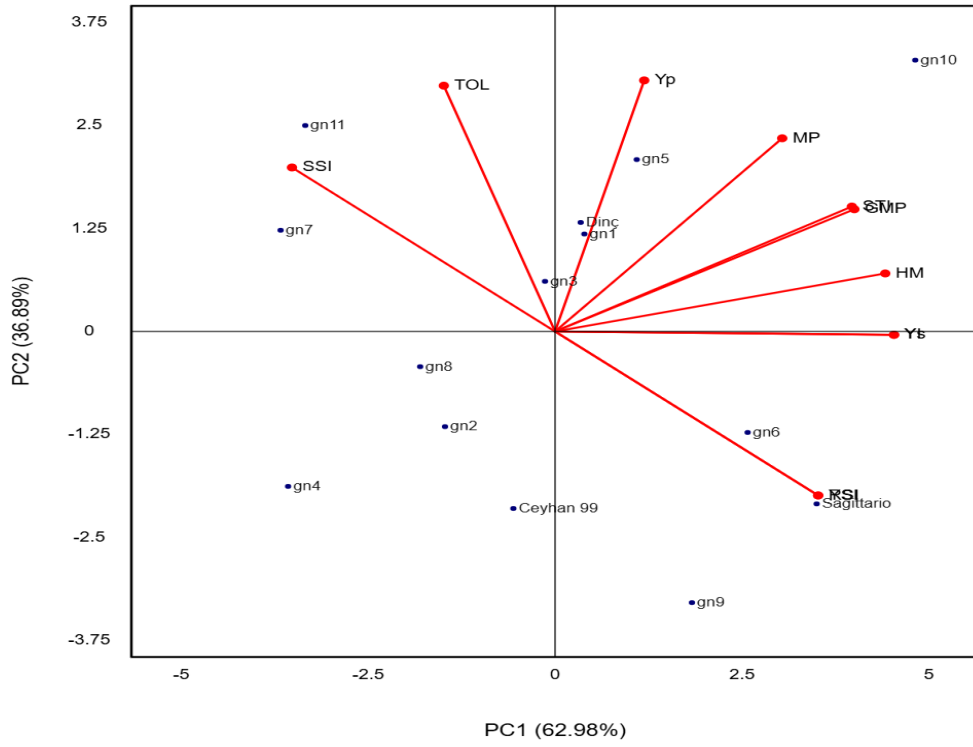
şekilde, PC2, Yp, TOL, MP, GMP, HM ve SSI ile ilişkiye sahip olmuştur. Bu da stres duyarlılığı bileşeni olarak adlandırılabilir. Moghaddam ve ark. (2024) biplot diyagramına göre genotiplerin kuraklık dayanıklılık indekslerine (STI, MP, GMP ve HM) göre üstün genotiplerin belirleneceğini ifade etmişlerdir.

Tablo 6. Sulu ve yağışa dayalı koşullar altında yetiştirilen 14 buğday genotipinin tane verimi için ilk iki ana bileşenin (PC) özdeğeri, değişkenliği, kümülatif ve faktör yüklemeleri

Faktör	PC1	PC2
Özdeğer	6,927377	4,058127
Değişkenlik (%)	62,97615	36,89206
Kümülatif %	62,97615	99,86822
Yp	0,262963	0,963882
Ys	0,99985	-0,01298
TOL	-0,32819	0,943548
MP	0,670125	0,741627
GMP	0,882912	0,469099
HM	0,97401	0,22276
SSI	-0,77615	0,629513
STI	0,875564	0,479474
YI	0,99985	-0,01298
YSI	0,776146	-0,62951
RSI	0,776146	-0,62951
Ceyhan 99	-0,55783	-2,1466
Dinç	0,342795	1,321826
Sagittario	3,499344	-2,09064
Gn1	0,391824	1,181806
Gn2	-1,47197	-1,15424
Gn3	-0,13455	0,607551
Gn4	-3,57102	-1,8786
Gn5	1,092894	2,084154
Gn6	2,576125	-1,22456
Gn7	-3,67111	1,227113
Gn8	-1,80437	-0,42712
Gn9	1,830786	-3,28797
Gn10	4,818063	3,289885
Gn11	-3,34099	2,497399

(Yp) sulu koşullarda tane verimi, (Ys) yağışa dayalı koşullarda tane verimi, (STI) stres tolerans indeksi, (HM) harmonik ortalama, (GMP) geometrik ortalama, (MP) ortalama verimlilik, (YI) verim indeksi, (YSI) verim stabilite indeksi, (RSI) bağıl stres indeksi, (TOL) tolerans indeksi ve stres (SSI) duyarlılık indeksi

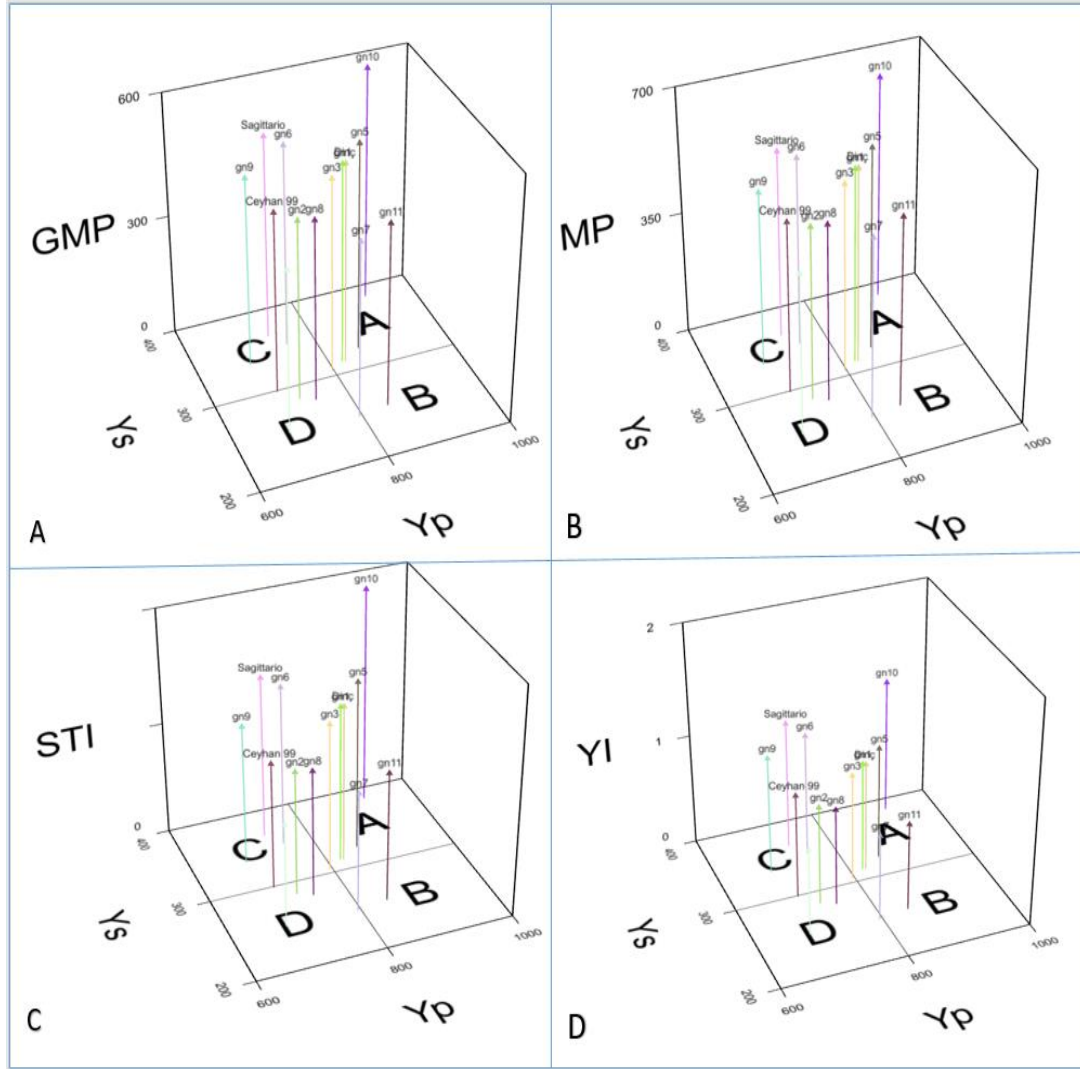
Korelasyon katsayısı iki değişken arasındaki ilişkileri analiz etmek için uygun olsa da, Nouri ve ark. (2011) PCA'nın hem normal hem de stres koşullarında en iyi verimli genotiplerin seçimi için korelasyon katsayısından daha iyi bir kriter olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2. Ondört ekmeklik buğday genotipi ve kuraklık duyarlılık/tolerans indekslerinin biplot grafiği (Yp) sulu koşullarda tane verimi, (Ys) yağışa dayalı koşullarda tane verimi, (STI) stres tolerans indeksi, (HM) harmonik ortalama , (GMP) geometrik ortalama , (MP) ortalama verimlilik , (YI) verim indeksi , (YSI) verim stabilite indeksi , (RSI) bağıl stres indeksi, (TOL) tolerans indeksi ve stres (SSI) duyarlılık indeksi

3.3. Üç boyutlu grafik

Kuraklığa duyarlı/tolerant genotipleri belirlemek için oluşturulan üç boyutlu grafikler Şekil 3'te gösterilmiştir. Fernandez (1992)'in teorisine göre, genotipler, stres ve stres olmayan ortamlardaki performanslarına göre dört gruba ayrılmıştır; Genotipler, hem stres hem de stres olmayan koşullarda üstünlük gösterenler (Grup A), yalnızca stres olmayan koşullarda olumlu performans gösterenler (Grup B), yalnızca stres koşullarında nispeten daha yüksek verim verenler (Grup C) ve hem stres hem de stres olmayan koşullarda zayıf performans gösterenler (Grup D) olarak gruplandırılmıştır. Optimum seçim kriteri için Grup A diğer üç gruptan ayrılmıştır. Çalışmamızda yüksek verimli genotipleri belirlemek için seleksiyon kriteri olarak belirlenen GMP, MP, YI, STI arasındaki üç boyutlu grafiklere göre Gn1, Gn5, Gn10 ve Dinç 'A' grubunda; Gn11 'B' grubunda, Gn3, Gn6, Gn9, Ceyhan99 ve Sagittario 'C' grubunda; Gn2, Gn4, Gn7, Gn8 'D' grubunda yer aldığı görülmüştür.

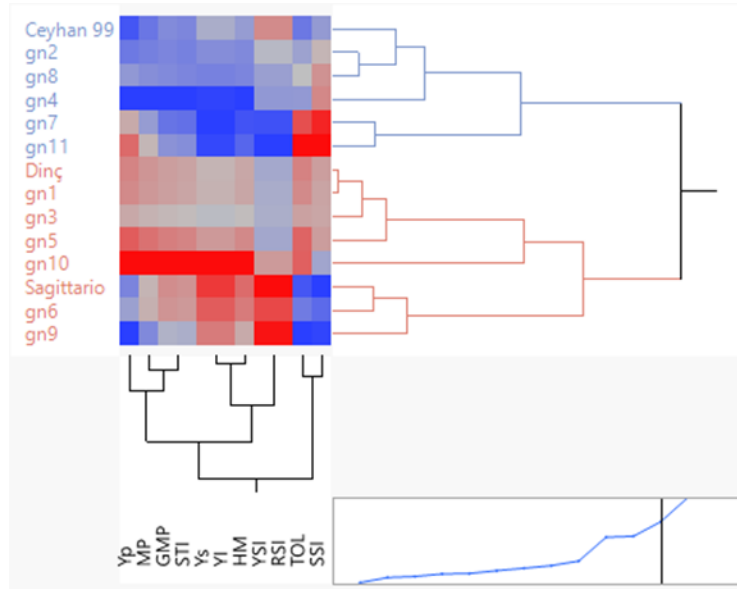


Şekil 3. Ekmeklik genotiplerin (A) GMP, (B) MP, (C) STI, (D)YI ve Ys, Yp arasında üç boyutlu grafik sunumu

Ortalama verimlilik (MP), geometrik ortalama verimlilik (GMP) ve stres tolerans indeksi (STI), optimal ve kuraklık stresi koşulları altında tane verimi ile güçlü bir şekilde ilişkilendirilmiştir. Bu da MP, GMP ve STI'ye dayalı genotiplerin seçiminin, kuraklık stresi ve sulu koşullarda yüksek tane verimi ile sonuçlanacağını göstermiştir. Bu bulgu, hem sulu hem de yağışa dayalı koşullarda, kuraklığa dayanıklı genotiplerin seçimi için test ortamları olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

3.4. Cluster Analizi

Yp, Ys ve araştırmada incelenen dokuz kuraklığa duyarlılık/tolerans indekslerine göre, incelenen tüm buğday genotipleri iki gruba ayrılmıştır (Şekil 4). İlk grupta araştırmada incelenen dokuz duyarlılık/tolerans indeks sıralama ortalaması (SO) yüksek olan genotiplerin (Ceyhan 99, Gn2, Gn4, Gn7, Gn8, Gn11) yer aldığı görülürken ikinci grupta ise SO'su düşük olan genotipler yer almıştır.



Şekil 4. Ward yöntemi kullanılarak, stres tolerans indekslerine dayalı çeşitlerin sınıflandırılması

4. Sonuçlar

Kuraklığa dayanıklı genotiplerin seçiminde, genotiplerin hem stresli hem de stressiz koşullara iyi adapte olması önemlidir. Mevcut çalışmada, Yp (stres olmayan ortamda verim), Ys (stresli ortamda verim) ve tolerans indeksleri kullanılarak yapılan korelasyon ve çok değişkenli analizler, özellikle Stres Tolerans İndeksi (STI), Geometrik Ortalama Verimlilik (GMP), Harmonik Ortalama (HM) ve Ortalama Verimlilik (MP) indekslerinin, kuraklığa dayanıklı ve yüksek verimli genotiplerin seçiminde uygun kriterler olduğunu göstermiştir. Bu analizler sonucunda, Gn10 genotipinin hem sulama yapılan hem de yağışa dayalı üretim koşullarında yüksek verimlilik sergileyerek öne çıktığı belirlenmiştir. Gn10 genotipinin, özellikle kuraklık stresi altında veya sulu alanlarda yetiştirilmek üzere Güneydoğu Anadolu Bölgesi için ümitvar bir genotip olduğu görülmüştür.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Ashraf A., El-Mohsen A., Abd El-Shfi MA., Gheith EMS., Suleiman HS. Using different statistical procedures for evaluating drought tolerance indices of bread wheat genotypes. *Advances in Agriculture and Biology* 2015; 3: 19–23.

- Bidinger FR., Mahalakshmi V., Rao GDP. Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. Australian Journal of Agricultural Research 1987; 38(1): 49-59.
- Bansal KC., Sinha SK. Assessment of drought resistance in 20 accessions of *Triticum aestivum* and related species. Part I: total dry matter and grain yield stability. Euphytica 1991; 56, 7–14.
- Bousslama M., Schapaugh WT. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science 1984; 24(5): 933–937.
- Farshadfar E., Javadinia J. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes for drought tolerance. Seed and Plant Improvement Journal 2011; 27: 517–537.
- Farshadfar E., Mohammad M., Seyed M. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2013; 1(2): 143- 158.
- Fernandez GCJ. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, C.G. (Ed.) Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. Tainan, Taiwan; 1992.
- Fischer RA., Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Crop and Pasture Science 1978; 29: 897–912.
- Fischer RA., Wood JT. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morpho-physiological traits. Australian Journal of Agricultural Research 1979; 30(6): 1001-1020.
- Gavuzzi P., Rizza F., Palumbo M., Campanile RG., Ricciardi GL., Borghi B. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science 1997; 77: 23–531.
- Golabadi M., Arzani A., Mirmohamadi Maibody SAM. Assessment of drought tolerance in segregation population in durum wheat. African Journal of Agricultural Research 2006; 1(5): 162-171.
- Guttieri MJ., Bowen D., Gannon D., O'Brien K., Souza E. Solvent retention capacities of irrigated soft white spring wheat flours. Crop Science 2001; 41: 1054–1061.
- Kamrani M. Relationship among agro-morphological traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under irrigated and rain-fed conditions. Journal of Agronomy 2015; 14: 254–263.
- Kamrani M., Hoseini Y., Ebadollahi A. Evaluation for heat stress tolerance in durum wheat genotypes using stress tolerance indices. Archives of Agronomy and Soil Science 2018; 64(1): 38-45.
- Kizilgeci F., Mokhtari NEP., Hossain A. Growth and physiological traits of five bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes are influenced by different levels of salinity and drought stress. Fresenius Environmental Bulletin 2020; 29(9A): 8592-8599.
- Kizilgeci F., Öztürk F. Agronomical, morphological and physiological responses to heat and drought stress in wheat: A review. Tarımsal Perspektif-2 Agricultural Perspective 2022; 2-5.

- Lamba K., Kumar M., Singh V., Chaudhary L., Sharma R., Yashveer S., Dalal MS. Heat stress tolerance indices for identification of the heat tolerant wheat genotypes. *Scientific Reports* 2023; 13(1): 10842.
- Najaphy A., Geravandi M. Assessment of indices to identify wheat genotypes adapted to irrigated and rain-fed environments. *Advances in Environmental Biology* 2011; 3212.
- Nooryazdan H. Evaluation of grain yield among wheat cultivars based on drought stress tolerance indices. *Cereal Biotechnology and Biochemistry* 2024; 3(2): 325-345.
- Nouri A., Etminan A., Teixeira da Silva JA., Mohammadi R. Assessment of yield, yield-related traits and drought tolerance of durum wheat genotypes (*Triticum turjidum* var. durum Desf.). *Australian Journal of Crop Science* 2011; 5(1): 8-16.
- Pourdard SS. Study of drought resistance indices in spring safflower. *Acta Agronomica Hungarica* 2008; 56(2): 203–212.
- Pour-Aboughadareh A., Yousefian M., Moradkhani H., Moghaddam Vahed M., Poczai P., Siddique KH. iPASTIC: An online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. *Applications in Plant Sciences* 2019; 7(7): e11278.
- Pour-Aboughadareh A., Mohammadi R., Etminan A., Shooshtari L., Maleki-Tabrizi N., Poczai P. Effects of drought stress on some agronomic and morpho-physiological traits in durum wheat genotypes. *Sustainability* 2020; 12(14): 5610.
- Rahmani SH., Farshadfar E., Jowkar MM. Locating QTLs controlling yield based indicators of drought tolerance in agropyron using wheat agropyron disomic addition lines. *International Journal of Agricultural Sciences* 2013; 5(9): 1028-1033.
- Ramirez-Vallejo P., Kelly JD. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica* 1998; 99: 127–136.
- Rosielle AA., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environment. *Crop Science* 1981; 21: 943-946.
- Singh S., Sengar RS., Kulshreshtha N., Datta D., Tomar RS., Rao VP., Ojha A. Assessment of multiple tolerance indices for salinity stress in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural Science* 2015; 7(3): 49.
- Souri J., Dehghani H., Sabaghpour SH. Study pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in water stress condition. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 2005; 36(6): 1517-1527.