MITIGATING HEAT AND DROUGHT STRESS IN BREAD WHEAT: ROLE OF IRRIGATION AND GENOTYPIC DIFFERENCES UNDER LATE SOWING CONDITIONS

Remzi ÖZKAN
Asst.Prof. Dr., Hakkâri University, Yüksekova Vocational School, Department of Plant and Animal Production, Hakkari, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-6457-5802

Merve BAYHAN
Dr., Dicle University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Diyarbakır, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-3220-4548

Hasip YAKAR
Dicle University, Graduate School of Science, Department of Field Crops, Diyarbakır, Turkey
ORCID ID: 0009-0002-6243-8828

Cuma AKINCI
Prof. Dr., Dicle University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, Diyarbakır, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-3514-1052

ABSTRACT

Climate change–induced increases in abiotic stress have made it more difficult to sustain yield and quality in wheat, thereby increasing the importance of identifying genotypes that are well adapted to diverse environmental conditions. This study aimed to evaluate the yield, phenological traits, and grain quality characteristics of selected bread wheat (Triticum aestivum L.) genotypes under late sowing conditions in the ecological environment of Diyarbakır under both rainfed and irrigated conditions and to identify high-performing genotypes for use in breeding programs. The experiment was conducted in 2018 at the experimental fields of the Faculty of Agriculture, Dicle University, using a randomized complete block design with four replicates under both rainfed and irrigated conditions. The plant material consisted of five commercial cultivars and four advanced bread wheat lines. The traits evaluated included heading time (days), physiological maturity duration (days), plant height (cm), grain yield (kg da^{-1}), thousand-kernel weight (g), and grain protein content (%). According to the analysis of variance, the genotype and genotype × treatment interaction effects were statistically significant for all traits ($p < 0.01$). The treatment factor significantly affected heading time, physiological maturity duration, plant height, grain yield, and protein content, but had no significant effect on thousand-kernel weight. Late sowing conditions shorten the growth period, thereby increasing exposure to high temperatures and water stress, which markedly influences genotype performance. Irrigated conditions extended both the heading and physiological maturity periods and increased plant height and grain yield, whereas protein content was higher under rainfed conditions. Significant differences were observed among the genotypes, with the highest grain yield obtained from the Dinç genotype. Early maturing genotypes, particularly the DZ-18-1 line, showed a clear advantage under late-sowing conditions. In conclusion, genotype performance varied considerably under late sowing, and earliness provided a distinct advantage in terms of stress escape. Furthermore, irrigation mitigated yield losses associated with late sowing, and genotypes capable of adapting to these conditions represent valuable genetic resources for wheat breeding programs.

Keywords: Bread wheat, late sowing, Diyarbakır, yield, protein content, irrigation.

EKMEKLİK BUĞDAYDA SICAKLIK VE KURAKLIK STRESİNİN AZALTILMASI: GEÇ EKİM KOŞULLARINDA SULAMA VE GENOTİPİK FARKLILIKLARIN ROLÜ

ÖZET

İklim değişikliğiyle birlikte artan abiyotik stresler, buğdayda verim ve kalite sürekliliğini zorlaştırmakta; bu durum çevreye uyumlu genotiplerin belirlenmesini daha kritik hale getirmektedir. Bu çalışmada, Diyarbakır ekolojik koşullarında geç ekim uygulanarak kuru ve sulu yetiştirme şartlarında bazı ekmeklik buğday (Triticum aestivum L.) genotiplerinin verim, fenolojik ve tane kalite özelliklerinin belirlenmesi ve üstün performanslı genotiplerin ıslah programlarına kazandırılması amaçlanmıştır. Araştırma, 2018 yılında Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanlarında, tesadüf blokları deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak kurulmuştur. Bitki materyali olarak beş ticari çeşit ile dört ileri kademe ekmeklik buğday hattı kullanılmıştır. Çalışmada başaklanma süresi (gün), fizyolojik olum süresi (gün), bitki boyu (cm), tane verimi (kg da-1), bin tane ağırlığı (g) ve protein oranı (%) incelenmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre tüm özelliklerde genotip ve genotip × uygulama interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Uygulama faktörü; başaklanma süresi, fizyolojik olum süresi, bitki boyu, tane verimi ve protein oranı üzerinde etkili olurken, bin tane ağırlığı üzerinde etkisi önemsiz kalmıştır. Geç ekim koşullarının bitki gelişim süresini kısalttığı, buna bağlı olarak yüksek sıcaklık ve su stresini artırdığı ve genotip performanslarını belirgin şekilde etkilediği belirlenmiştir. Sulu koşulların başaklanma ve fizyolojik olum süresini uzattığı, bitki boyu ve tane verimini artırdığı; buna karşılık protein oranının kuru koşullarda daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Genotipler arasında ise önemli farklılıklar gözlenmiş olup, en yüksek tane verimi Dinç genotipinden elde edilmiştir. Erkenci genotiplerin, özellikle DZ-18-1 hattının, geç ekim koşullarında avantaj sağladığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, geç ekim şartlarında genotip performanslarının önemli ölçüde değiştiği ve erkenciliğin stres kaçışı açısından belirgin bir üstünlük sağladığı ortaya konmuştur. Ayrıca, sulama uygulamalarının geç ekim kaynaklı verim kayıplarını azaltmada etkili olduğu ve bu koşullara uyum sağlayabilen genotiplerin ıslah programları için önemli bir genetik kaynak oluşturduğu sonucuna varılmıştır.
Anahtar kelimeler: Ekmeklik buğday, geç ekim, Diyarbakır, verim, protein oranı, sulama.

GİRİŞ

Buğday (*Triticum aestivum* L.), dünya çapında en yaygın olarak yetiştirilen ve tüketilen tahıllardan biridir ve milyarlarca insan için önemli bir kalori ve protein kaynağı sağlar (Tadesse ve ark., 2019; Cui ve ark., 2023). Artan dünya nüfusu ve sınırlı tarım alanları, buğday üretiminde verim ve kalite artışını zorunlu kılarken, iklim değişikliğine bağlı çevresel stres faktörleri üretim üzerinde önemli baskılar oluşturmaktadır (Curtis ve Halford, 2014; Reynolds ve ark., 2016).

Buğdayda verim ve kalite oluşumu, genotip, çevre ve bu iki faktörün etkileşimi ile şekillenmektedir. Özellikle sıcaklık artışı ve su kısıtı gibi abiyotik stresler, bitkinin fenolojik gelişimini, fotosentetik kapasitesini ve tane dolum sürecini doğrudan etkileyerek verim ve kaliteyi sınırlandırmaktadır (Fischer, 2011; Araus ve ark., 2008). Yüksek sıcaklıkların özellikle başaklanma sonrası dönemde etkili olması, tane dolum süresinin kısalmasına ve tane ağırlığının azalmasına neden olmaktadır (Stone ve Nicolas, 1995). Bu nedenle farklı çevresel koşullara uyum sağlayabilen genotiplerin belirlenmesi, sürdürülebilir üretim açısından büyük önem taşımaktadır. Ekim zamanı, buğdayın gelişim sürecini ve çevresel faktörlerle etkileşimini belirleyen önemli agronomik uygulamalardan biridir.

Özellikle geç ekim, bitkilerin gelişme süresini kısaltarak generatif dönemin daha yüksek sıcaklıklara maruz kalmasına neden olmakta ve bu durum verim ve kalite üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir (Ozturk ve ark., 2006; Sial ve ark., 2005). Bununla birlikte, erkenci genotiplerin geç ekim koşullarında daha avantajlı olduğu ve yüksek sıcaklık stresinden kaçınma yeteneği gösterdiği bildirilmektedir (Subhan ve ark., 2013).

Sulama, verim, başak sayısı, başakta tane sayısı ve bin tane ağırlığı üzerinde belirleyici bir faktör olarak kabul edilmektedir (Xu ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2024). Bununla birlikte, yapılan önceki çalışmalar sulama etkilerinin oldukça değişken olduğunu bildirmiştir (Wu ve ark., 2023). Su durumu, buğdayda verim ve kaliteyi belirleyen en önemli çevresel faktörlerden biri olup, özellikle yarı kurak bölgelerde üretimin sınırlayıcı unsurlarından biridir. Su kısıtı altında bitkilerde büyüme gerilemekte ve verim düşmekte, buna karşılık protein oranında artış gözlenebilmektedir (Blum, 2011). Sulama uygulamaları ise verimi artırırken, artan karbonhidrat birikimi nedeniyle protein oranında azalmaya neden olabilmektedir (Gooding ve ark., 2003). Bu durum, verim ile kalite özellikleri arasında çoğu zaman ters yönlü bir ilişkinin bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda, farklı ekim zamanları ve yetiştirme koşullarında genotiplerin performanslarının belirlenmesi, hem uygun çeşit seçimi hem de ıslah programları açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle geç ekim gibi stres koşullarında üstün performans gösteren genotiplerin belirlenmesi, değişen iklim koşullarına uyum sağlayabilecek çeşitlerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada, Diyarbakır ekolojik koşullarında geç ekim uygulanarak kuru ve sulu yetiştirme koşullarında bazı ekmeklik buğday genotiplerinin verim, fenolojik özellikler ve tane kalitesi özelliklerinin belirlenmesi ve yüksek performans gösteren genotiplerin ıslah programlarında değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma, 2018 yılında Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesine ait araştırma ve uygulama alanında yürütülmüştür. Çalışmada 5 ticari ekmeklik buğday çeşidi (Ceyhan-99, Dinç, Empire, Lucilla, Wafia) ile Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi tarafından geliştirilen 4 adet ileri kademe ekmeklik buğday hattı (DZ-18-1, DZ7-18-2, DZ7-18-3 ve DZ7-18-4) bitki materyali olarak kullanılmıştır. Araştırma, tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kuru (yağmura dayalı) ve sulu koşullarda (destek sulamalı) kurulmuştur.

Araştırmanın yürütüldüğü 2107-18 yılına ve uzun yıllara ait bazı iklim verileri Tablo 1'de verilmiştir. Uzun yıllar yağış ortalaması 455.0 mm iken, yetiştirme sezonunda 439.6 mm'dir. Yetiştirme dönemi boyunca gerçekleşen aylık ortalama sıcaklık değeri ise uzun yıllar ortalamasından yüksek olmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Araştırma dönemine ve uzun yıllara ait bazı iklim verileri

		Sıcaklık (^{0}C)		Yağış (mm)	
2017-2018 Yılı	**Aylar**	**Aylık Ortalama**	**Uzun Yıllar Ortalama**	**Aylık Toplam**	**Uzun Yıllar Toplam**
Ekim Öncesi Dönem	**Kasım**	10,10	9,60	21,2	55,2
	Aralık	5,81	4,00	12,8	73,1
	Ocak	5,23	1,70	86,6	70,9
	Şubat	7,63	3,60	86,4	67,7
Ekim Sonrası Dönem	**Mart**	12,45	8,30	11,6	65,6
	Nisan	15,91	13,70	48,8	69,5
	Mayıs	19,52	19,20	157,8	44,2
	Haziran	26,61	26,00	14,4	8,8
Genel Toplam / Ortalama		12,91	10,76	439,6	455,0

Araştırmaya ait deneme alanı topraklarının pH değerinin hafif alkali, tuz stresi olmayan, orta derecede kireç içeriğine sahip ve organik madde içeriğinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, deneme alanındaki toprakların azot ve fosfor bakımından eksik, potasyum bakımından ise zengin olduğu belirlenmiştir (Bayhan, 2024).

Denemenin ekim işlemi 09.03.2018 tarihinde parsel mibzeri ile 500 adet/m2 tohum hesabıyla yapılmıştır. Her bir parsel 5 m uzunluğunda, 0.2 m sıra aralığında ve 6 sıra olarak belirlenmiştir. Gübreleme işlemi için ekimle birlikte saf olarak 6 kg da-1 N ve 6 kg da-1 P2O5 uygulanırken, sapa kalkma döneminde de 6 kg da-1 N uygulanmıştır. Araştırmada sapa kalkma, başaklanma ve tane dolum dönemi olmak üzere üç kez damla sulama sistemi ile sulama yapılmış, ancak verilen su miktarı hesaplanmamıştır. Hasat 01.07.2018 tarihinde parsel biçerdöveri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmada incelenen özellikler;

- Başaklanma süresi (BS - gün): Bitki çıkış tarihi ile birlikte her parseldeki bitkilerin %70'inde başağın bayrak yaprak kınından ½ oranında çıktığı döneme kadar geçen süre başaklanma gün sayısı olarak hesaplanmıştır.
- Fizyolojik olum süresi (FOS - gün): Bitki çıkış tarihi ile her parseldeki bitkilerin %95 oranında sarardığı tarih arasındaki gün sayısı olarak hesaplanmıştır.
- Bitki boyu (BB - cm): Her parselden rastgele 10 başaklı sapın, toprak seviyesinden en üst başakçık ucuna kadar olan kısmı santimetre cinsinden ölçülerek sarı olum döneminde belirlenmiştir.
- Tane verimi (TV - kg da-1): Parsel biçerdöveri ile yapılan hasat harman sonunda, her parselden elde edilen tane ürünü 0,01 g hassas terazide tartılmış ve elde edilen değerler kg da-1 cinsinden hesaplanmıştır.
- Bin tane ağırlığı (BTA - g): Her parselden alınan örneklerden bin tane sayma cihazında 400 adet tane sayılıp tartılmış ve elde edilen verilen ortalaması 2,5 ile çarpılarak belirlenmiştir.
- Protein oranı (PO - %): Her parselden alınan örnekler tane protein oranını anında ölçebilen taşınabilir NIT ölçüm cihazı GrainSense ile ölçülmüştür.

Araştırmada incelenen özelliklerden elde edilen değerler JMP 17 istatistik paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Genotip, uygulama ve genotip × uygulama etkileşiminin etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Ortalamalar arasındaki farklılıklar %5 önem düzeyinde AÖF (Asgari Önemli Farklılık) testi ile karşılaştırılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Araştırmaya ait varyans analizi sonuçlarına göre, incelenen tüm özelliklerde genotip etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Uygulama faktörü başaklanma süresi, fizyolojik olum süresi, bitki boyu, tane verimi ve protein oranı üzerinde önemli olurken, bin tane ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Genotip × uygulama interaksiyonunun tüm özelliklerde önemli olması, genotiplerin farklı uygulamalara farklı tepkiler verdiğini göstermektedir. Bu durum, genotiplerin performanslarının çevresel koşullara bağlı olarak değişebileceğini ortaya koymaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Varyans kaynaklarının kareler ortalamasına ait değerler

VK	SD	BS		FOS		BB		TV		BTA		PO	
Tek.	3	1,81481		0,162		3,234		1294,77		0,51176		0,1072	
U	1	40,5000	**	125,3472	**	4978,357	**	4704,02	**	1,14257	öd.	114,005	**
G	8	9,62500	**	19,7188	**	301,138	**	13753,51	**	86,18036	**	13,3147	**
G x U	8	4,75000	**	6,8785	**	57,823	**	6889,01	**	48,00611	**	1,7231	**
Hata	51	1,11874		1,0836		2,51		573,74		2,322		0,2299	
DK (%)		1,47		0,99		2,13		11,49		5,38		2,59	

**: %1 düzeyinde önemli, öd: Önemli değil, VK: Varyasyon kaynakları, SD: Serbestlik derecesi, Tek: Tekerrür, U: Uygulama, G: Genotip, G x U: Genotip ve uygulama interaksiyonu, DK: Düzeltme katsayısı, BS: başaklanma süresi, FOS: Fizyolojik olum süresi, BB: Bitki boyu, TV: Tane verimi, BTA: Bin tane ağırlığı, PO: protein oranı.

Fenolojik özellikler incelendiğinde, erkenci genotiplerin (özellikle DZ-18-1) daha kısa başaklanma ve fizyolojik olum süreleri ile öne çıktığı görülmektedir (Tablo 3). Bu durum, geç ekim koşullarında erkenciliğin önemli bir adaptasyon avantajı sağladığını ve genotiplerin yüksek sıcaklık ve olası su stresinden "kaçış" stratejisi geliştirdiğini göstermektedir. Geç ekimle birlikte bitkilerin gelişme süresi kısaldığından, özellikle tane dolum döneminin yüksek sıcaklıklara denk gelmesi verim üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir (Farooq ve ark., 2011; Lobell ve Gourdji, 2012; Asseng ve ark., 2015). Bu nedenle erken gelişimini tamamlayabilen genotiplerin stres koşullarından daha az etkilenmesi beklenen bir durumdur. Buna karşılık daha uzun gelişme süresine sahip genotiplerin (Dinç ve DZ-18-2 gibi), özellikle sulu koşullarda daha yüksek verim potansiyeli sergilediği belirlenmiştir (Tablo 3). Bu durum, yeterli su temini sağlandığında uzun tane dolum süresinin fotosentetik ürün birikimini artırarak tane verimini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir (Slafer ve ark., 2014). Dolayısıyla geç ekim koşullarında genotip seçiminin, gelişme süresi ile çevresel stres faktörleri arasındaki denge dikkate alınarak yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Tablo 3. Ekmeklik buğday genotiplerinde incelenen özelliklere ait ortalama değerler ve oluşan gruplar

	BS						FOS					
Genotip	**Kuru**		**Sulu**		**Ortalama**		**Kuru**		**Sulu**		**Ortalama**	
Ceyhan-99	72,25	a-d	72,25	a-d	72,25	ab	101,00	e	103,5	cd	102,25	d
Dinç	72,00	b-e	71,25	d-f	71,62	bc	104,25	c	108,25	a	106,25	a
Empire	70,50	ef	73,75	a	72,12	a-c	103,00	cd	106,5	b	104,75	b
Lucilla	70,25	f	72,00	b-e	71,12	c	104,00	cd	103	cd	103,5	c
Wafia	72,25	a-d	73,25	a-c	72,75	a	103,00	cd	106,75	b	104,875	b
DZ-18-1	67,00	g	71,00	d-f	69,00	d	100,75	e	103,25	cd	102	d
DZ-18-2	71,00	d-f	73,50	ab	72,25	ab	106,25	b	106,5	b	106,375	a
DZ-18-3	71,75	c-f	72,25	a-d	72,00	a-c	102,75	d	107,25	ab	105	b
DZ-18-4	71,25	d-f	72,50	a-d	71,87	a-c	103,25	cd	107	ab	105,125	b
Ortalama	70,91	b	72,41	a	71,66		103,1389	b	105,77778	a	104,45	
AÖF	U: 0.49**, G: 1.05**, G x U: 1.49**						U: 0.49**, G: 1.04**, G x U: 1.47**					
	BB						**TV**					
Genotip	**Kuru**		**Sulu**		**Ortalama**		**Kuru**		**Sulu**		**Ortalama**	
Ceyhan-99	63,85	a	87,125	ef	75,4875	cd	134,275	d-f	131,5175	d-g	132,8963	bc
Dinç	51,475	b	73,375	f	62,425	g	168,65	a-c	202,425	a	185,5375	a
Empire	75,15	c	93,15	h	84,15	a	114,75	e-g	180,375	ab	147,5625	b
Lucilla	67,7	d	77,45	h	72,575	e	46,245	ıj	27,7575	j	37,00125	e
Wafia	65,425	ef	73,625	ı	69,525	f	60,09	ıj	127,2625	d-g	93,67625	d
DZ-18-1	64,85	b	84,075	g	74,4625	d	158,375	b-d	67,0075	hı	112,6913	cd
DZ-18-2	71,825	b	86,95	gh	79,3875	b	98,405	gh	199,4	a	148,9025	b
DZ-18-3	65,25	d	78,5	h	71,875	e	122,25	e-g	139,95	c-e	131,1	bc
DZ-18-4	66	e	86,95	h	76,475	c	130,025	d-g	102,8625	fg	116,4438	cd
Ortalama	65,725	b	82,35556	a	74,4		114,785	b	130,9508	a	122,867	
AÖF	U: 0.74**, G: 1.58**, G x U: 2.24**.						U: 11.32**, G: 24.03**, G x U: 33.99**					

	BTA						PO					
Genotip	**Kuru**		**Sulu**		**Ortalama**		**Kuru**		**Sulu**		**Ortalama**	
Ceyhan-99	27,37	e-h	24,64	ı	26,00625	d	17,425	d	13,9	ı	15,6625	f
Dinç	25,99	hı	32,1625	ab	29,08	c	19,625	b	18,625	c	19,125	b
Empire	32,77	ab	33,245	a	33,01	a	19,1	bc	15,35	h	17,225	e
Lucilla	26,86	gh	16,2925	j	21,5775	e	19,3	bc	16,3	g	17,8	d
Wafia	27,05	f-h	29,2775	c-e	28,16625	c	21,375	a	19,45	b	20,4125	a
DZ-18-1	30,91	b-d	31,1875	a-c	31,05	b	18,725	c	17,375	de	18,05	cd
DZ-18-2	26,855	gh	32,2925	ab	29,57375	bc	19,75	b	17,075	d-f	18,4125	c
DZ-18-3	26,0925	hı	26,81	gh	26,45125	d	19,275	bc	16,625	fg	17,95	cd
DZ-18-4	28,7875	d-g	29,07	c-f	28,92875	c	19,475	b	16,7	e-g	18,0875	cd
Ortalama	28,07889		28,33083		28,204		19,33889	a	16,82222	b	18,08	
AÖF	U: öd., G: 1.52**, G x U: 2.16**						U: 0.22**, G: 0.47**, G x U: 0.68**					

*Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur. BS: başaklanma süresi, FOS: Fizyolojik olum süresi, BB: Bitki boyu, TV: Tane verimi, BTA: Bin tane ağırlığı, PO: protein oranı.

Geç ekimle ilişkili olarak yükselen sıcaklıkların, büyüme dönemini kısaltan ve dolayısıyla verim düşüşüne katkıda bulunan önemli bir faktör olduğu vurgulanmıştır (Prasad ve ark., 2014; Bergkamp ve ark., 2018; Harkness ve ark., 2020; Liu ve ark., 2022; Ullah ve ark., 2022). Araştırmacılar geç ekim altında, daha kısa vejetatif dönemlere ve daha uzun tane dolum evrelerine sahip genotiplerin iyi performans gösterdiğini belirtmiştir. Dahası, yüksek verimli genotipleri seçmek için temel parametrelerin, çiçeklenme ve olgunlaşma süresi olup, daha hızlı çiçeklenme ve daha yavaş olgunlaşmanın daha yüksek verimle ilişkili olduğunu bildirmişlerdir (Upadhyaya ve Bhandari, 2022).

Tane verimi bakımından sulu koşulların belirgin bir üstünlük sağladığı ve geç ekimin olumsuz etkilerinin önemli ölçüde telafi edildiği görülmektedir. Geç ekim koşullarında bitkilerin kısa sürede gelişimlerini tamamlamak zorunda kalmaları, özellikle kuru koşullarda verim kayıplarına neden olurken, sulama uygulamaları bu olumsuzlukları azaltarak bitki gelişimini desteklemiştir (Tablo 3). Araştırmacılar uygun su yönetimi uygulamalarının verim kayıplarını azaltabileceğini ifade etmektedir (Zhang ve ark., 2010). Özellikle Dinç genotipinin her iki koşulda da yüksek performans göstermesi, bu genotipin hem stres koşullarına toleranslı hem de uygun çevre koşullarında yüksek verim potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık bazı genotiplerin (Lucilla) her iki koşulda da düşük performans sergilemesi, bu genotiplerin geç ekim ve buna bağlı stres koşullarına duyarlılığını göstermektedir (Tablo 3). Bu farklılıklar, genotip × çevre etkileşiminin önemini bir kez daha ortaya koymakta ve çeşit seçiminde yetiştirme koşullarının mutlaka dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Bin tane ağırlığının uygulamalardan önemli düzeyde etkilenmemesi, bu özelliğin büyük ölçüde genetik kontrol altında olduğunu göstermektedir (Tablo 3). Bununla birlikte, genotipler arasında önemli farklılıkların bulunması, bu özelliğin seleksiyon çalışmalarında kullanılabilecek önemli bir kriter olduğunu ortaya koymaktadır. Geç ekim koşullarında tane dolum süresinin kısalması, çevresel faktörlerin etkisini sınırlayarak genetik farklılıkların daha belirgin hale gelmesine neden olmuş olabilir. Ayrıca yüksek sıcaklıkların tane dolum sürecini hızlandırması, bin tane ağırlığının belirli bir seviyenin üzerine çıkmasını sınırlamış olabilir. Bu nedenle, geç ekim koşullarında bin tane ağırlığının çevresel etkilerden ziyade genetik kapasiteye daha bağlı olarak şekillendiği söylenebilir.

Protein oranı açısından değerlendirildiğinde, kuru koşullarda daha yüksek değerler elde edilmesi, geç ekimle birlikte artan sıcaklık ve su stresinin tane içerisindeki protein birikimini teşvik ettiğini göstermektedir (Tablo 3). Su kısıtı altında karbonhidrat birikiminin sınırlanması, tane içerisindeki protein oranının nispi olarak artmasına neden olmaktadır (Triboi ve Triboi-Blondel, 2002). Buna karşılık sulu koşullarda artan fotosentetik aktivite ve karbonhidrat birikimi, protein oranında azalmaya yol açmıştır.

Bu durum, literatürde sıklıkla belirtilen verim ile protein oranı arasındaki negatif ilişkiyi destekler niteliktedir (Slafer ve ark., 2014). Ancak bazı genotiplerin hem nispeten yüksek verim hem de yüksek protein oranını birlikte sergileyebilmesi, bu genotiplerin kalite ve verim açısından dengeli bir performans sunduğunu ve ıslah çalışmaları için önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir. Birçok çalışmada, kuraklık ve ısı stresinin birleşiminin ürün verimi, verim bileşenleri üzerindeki önemli olumsuz etkisi ve tahıl proteini üzerindeki olumlu etkisi vurgulanmıştır (Asseng ve ark., 2019; Cohen ve ark., 2021; Pequeno ve ark., 2021).

SONUÇ

Bu çalışmada genotip, uygulama ve genotip × uygulama etkileşiminin buğdayda agronomik ve kalite özellikler üzerinde önemli etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Genotip etkisi tüm özelliklerde önemli bulunurken, sulama uygulaması başaklanma süresi, fizyolojik olum süresi, bitki boyu, tane verimi ve protein oranını önemli düzeyde etkilemiş, bin tane ağırlığı ise etkilenmemiştir.

Erkenci genotipler geç ekimde streslerden kaçış avantajı sağlarken, uzun gelişme süresine sahip genotipler özellikle sulu koşullarda daha yüksek verim potansiyeli göstermiştir. Sulama, tane verimini belirgin şekilde artırarak geç ekimin olumsuz etkilerini azaltmıştır. Dinç genotipi her iki koşulda da yüksek performans gösterirken, bazı genotipler düşük adaptasyon göstermiştir. Bin tane ağırlığı daha çok genetik yapıya bağlı bulunurken, protein oranı çevre koşullarından etkilenmiş; kuru koşullarda artmış, sulu koşullarda azalmıştır. Genel olarak sonuçlar, geç ekimde uygun genotip seçimi ve sulama yönetiminin verim ve kaliteyi belirleyen temel faktörler olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

Araus, J. L., Slafer, G. A., Reynolds, M. P., & Royo, C. (2008). Plant breeding and drought in C3 cereals: What should we breed for? Annals of Botany, 89(7), 925-940. https://doi.org/10.1093/aob/mcn151

Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., ... & Zhu, Y. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. Nature Climate Change, 5(2), 143-147. https://doi.org/10.1038/nclimate2470

Asseng, S., Martre, P., Maiorano, A., Rötter, R.P., O'Leary, G.J., Fitzgerald, G.J., Girousse, C., Motzo, R., Giunta, F., Babar, M.A., ….. et al. (2019). Climate change ımpact and adaptation for wheat protein. Glob. Change Biol., 25, 155-173.

Bayhan, M. (2024). Assessment of crop yield and characteristics in different bread wheat (Triticum aestivum L.) under rainfed and irrigated environments. Genetika, 56(3): 443-458 https://doi.org/10.2298/GENSR240312001B

Bergkamp, B., Impa, S.M., Asebedo, A.R., Fritz, A.K., Jagadish, S.V.K. (2018). Prominent winter wheat varieties response to post-flowering heat stress under controlled chambers and field based heat tents. Field Crops Res., 222, 143-152.

Blum, A. (2011). Plant breeding for water-limited environments. New York, NY: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7491-4

Cohen, I., Zandalinas, S.I., Huck, C., Fritschi, F.B., Mittler, R. Meta-analysis of drought and heat stress combination ımpact on crop yield and yield components. Physiol. Plant 2021, 171, 66–76.

Cui, H., Luo, Y., Li, C., Chang, Y., Jin, M., Li, Y., & Wang, Z. (2023). Effects of nitrogen forms on nitrogen utilization, yield, and quality of two wheat varieties with different gluten characteristics. European Journal of Agronomy, 149, 126919. https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126919

Curtis, T., & Halford, N. G. (2014). Food security: The challenge of increasing wheat yield and the importance of not compromising food safety. Annals of Applied Biology, 164(3), 354–372. https://doi.org/10.1111/aab.12108

Farooq, M., Bramley, H., Palta, J.A., & Siddique, K.H.M. (2011). Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. Critical Reviews in Plant Sciences, 30(6), 491-507. https://doi.org/10.1080/07352689.2011.615687

Fischer, R.A. (2011). Wheat physiology: A review of recent developments. Crop and Pasture Science, 62(2), 95-114. https://doi.org/10.1071/CP10344

Gooding, M.J., Ellis, R. H., Shewry, P.R., & Schofield, J.D. (2003). Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. Journal of Cereal Science, 37(3), 295–309. https://doi.org/10.1006/jcrs.2002.0491

Harkness, C., Semenov, M.A., Areal, F., Senapati, N., Trnka, M., Balek, J., Bishop, J. (2020). Adverse weather conditions for UK wheat production under climate change. Agric. For. Meteorol., 282-283, 107862.

Liu, K., Harrison, M.T., Wang, B., Yang, R., Yan, H., Zou, J., Liu, D.L., Meinke, H., Tian, X., Ma, S., ….. et al. (2022). Designing high-yielding wheat crops under late sowing: a case study in Southern China. Agron. Sustain. Dev., 42, 29.

Lobell, D.B., & Gourdji, S.M. (2012). The influence of climate change on global crop productivity. Plant Physiology, 160(4), 1686-1697. https://doi.org/10.1104/pp.112.208298

Ozturk, A., Caglar, O., & Bulut, S. (2006). Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates. Journal of Agronomy and Crop Science, 192(1), 10-16. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2006.00187.x

Pequeno, D.N.L., Hernández-Ochoa, I.M., Reynolds, M., Sonder, K., Molero milan, A., Robertson, R.D., Lopes, M.S., Xiong, W., Kropff, M., Asseng, S. (2021). Climate ımpact and adaptation to heat and drought stress of regional and global wheat production. Environ. Res., 16, 054070.

Prasad, P.V.V., & Djanaguiraman, M. (2014). Response of floret fertility and ındividual grain weight of wheat to high temperature stress: sensitive stages and thresholds for temperature and duration. Funct. Plant Biol., 41, 1261-1269.

Reynolds, M., Bonnett, D., Chapman, S.C., Furbank, R.T., Manes, Y., Mather, D.E., & Parry, M.A.J. (2016). Raising yield potential in wheat. Journal of Experimental Botany, 62(2), 439-452. https://doi.org/10.1093/jxb/erq311

Sial, M.A., Arain, M.A., Khanzada, S.D., Naqvi, M.H., Dahot, M.U., & Nizamani, N.A. (2005). Yield and quality parameters of wheat genotypes as affected by sowing dates and high temperature stress. Pakistan Journal of Botany, 37(3), 575-584.

Slafer, G. A., Savin, R., & Sadras, V. O. (2014). Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. Field Crops Research, 157, 71–83. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.004

Stone, P.J., & Nicolas, M.E. (1995). Effect of timing of heat stress during grain filling on two wheat varieties differing in heat tolerance. Australian Journal of Plant Physiology, 22(6), 927-934. https://doi.org/10.1071/PP9950927

Subhan, F., Khan, M., & Khan, M.J. (2013). Response of wheat genotypes to different sowing dates under agro-climatic conditions of Peshawar. Sarhad Journal of Agriculture, 29(3), 379-385.

Tadesse, W., Sanchez-Garcia, M., Assefa, S.G., Amri, A., Bishaw, Z., Ogbonnaya, F.C., Baum, M. (2019). Genetic gains in wheat breeding and ıts role in feeding the world. Crop Breed Genet Genom., 1:e190005. https://doi.org/10.20900/cbgg20190005

Tao, F., Zhang, Z., Xiao, D., Zhang, S., Rötter, R. P., Shi, W., ... & Zhang, H. (2015). Responses of wheat growth and yield to climate change in different regions of China. European Journal of Agronomy, 68, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.03.007

Triboi, E., & Triboi-Blondel, A. M. (2002). Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem. European Journal of Agronomy, 16(3), 163-186. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00146-0

Ullah, A., Nadeem, F., Nawaz, A., Siddique, K.H.M., Farooq, M. (2022). Heat Stress Effects on the Reproductive Physiology and Yield of Wheat. J. Agron. Crop Sci., 208, 1-17.

Upadhyaya, N., Bhandari, K. (2022). Assessment of different genotypes of wheat under late sowing condition. Heliyon, 8, e08726.

Wu, B., Lin, X., Ali, M. F., & Wang, D. (2023). Development of an irrigation regime for winter wheat to save water resources by avoiding irrigation at anthesis stage. Journal of Agronomy and Crop Science, 209(1), 188-203. https://doi.org/10.1111/jac.12615

Xu, X., Zhang, M., Li, J., Liu, Z., Zhao, Z., Zhang, Y., Zhou, S., & Wang, Z. (2018). Improving water use efficiency and grain yield of winter wheat by optimizing irrigations in the North China Plain. Field Crops Research, 221, 219-227. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.011

Zhang, B., Jia, Y., Fan, H., Guo, C., Fu, J., Li, S., Li, M., Liu, B., & Ma, R. (2024). Soil compaction due to agricultural machinery impact: A systematic review. Land Degradation & Development, 35(10), 3256-3273. https://doi.org/10.1002/ldr.5144

Zhang, X., Chen, S., Sun, H., Wang, Y., & Shao, L. (2010). Water use efficiency and associated traits in winter wheat under different irrigation conditions. Agricultural Water Management, 97(7), 1058–1066. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.003