



**BUĞDAYDA (*Triticum aestivum* L.) SOĞUĞA
DAYANIKLILIĞIN BELİRLENMESİNDE YAPAY
ZEKA YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI**

Hasan KARTAY

Danışman: Prof. Dr. Kamil HALİLOĞLU

Doktora Tezi

Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı

2025

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARLA BİTKİLERİ ANA BİLİM DALI

**BUĞDAYDA (*Triticum aestivum* L.) SOĞUĞA DAYANIKLILIĞIN
BELİRLENMESİNDE YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI**
(Use of Artificial Intelligence Methods to Determine Cold Tolerance in Wheat (*Triticum
aestivum* L.))

DOKTORA TEZİ

Hasan KARTAY

Danışman: Prof. Dr. Kamil HALILOĞLU

Erzurum
Temmuz, 2025

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

BUĞDAYDA SOĞUĞA DAYANIKLILIĞIN BELİRLENMESİNDE YAPAY ZEKA
YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI

Prof. Dr. Kamil HALİLOĞLU danışmanlığında, Hasan KARTAY tarafından hazırlanan bu çalışma, 27/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Tahıllar ve Yemelik Baklagiller Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (5./.)** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Kamil HALİLOĞLU <i>Gazi Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Kamil HALİLOĞLU <i>Gazi Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Metin TOSUN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Murat AYDIN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. İsmail BEZİRGANOĞLU <i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Aras TÜRKOĞLU <i>Necmettin Erbakan Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır

Enstitü Yönetim
Kurulunun .../.../.... tarih
ve sayılı kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Aslı ıslak imzalıdır

Prof. Dr. Alper NUHOĞLU
Enstitü Müdürü

Bu çalışma (örn. BAP, DPT, Tübitak 1001, v.s.) projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No:

(Bir projeye desteklenmeyen tezlerde bu bölüm silinecektir)

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora Tezi olarak Prof. Dr. Kamil HALİLOĞLU danışmanlığında sunulan “Buğdayda (Triticum aestivum L.) Soğuğa Dayanıklılığın Belirlenmesinde Yapay Zeka Yöntemlerinin Kullanılması” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	17	30
Kuramsal Temeller	20	30
Materyal ve Metot	17	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	3	20
Sonuçlar ve Öneriler	5	20
Tezin Geneli	5	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Hasan KARTAY	Prof. Dr. Kamil HALİLOĞLU
22.7.2025	22.7.2025
İmza: Aslı ıslak imzalıdır	İmza: Aslı ıslak imzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, araştırma konusunun seçilmesinden son aşamasına kadar beni yalnız bırakmayan, danıştığım her konuda bana zamanını ayıran, sabır ve büyük bir ilgiyle bana her konuda destek veren ve eğitim ve mesleki hayatım boyunca bana yol gösterici olan ve ilerlediğim bu süre içinde beni cesaretlendiren ve yolumu aydınlatan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Kamil HALİLOĞLU'na,

Tez izleme komitemde yer alan, değerli bilgilerini benden esirgemeyen kıymetli hocalarım Sayın Prof. Dr. Metin TOSUN'a ve Sayın Prof. Dr. Murat AYDIN'a,

Çalışmam boyunca benden hiçbir yardımını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini sürekli paylaşan, her zaman yanımda yer alan, bilim alanında bilgi, beceri ve çalışkanlığıyla bana ilham kaynağı olan Sayın Doç. Dr. Aras TÜRKOĞLU'na,

Tez çalışmamın yapay zekâ kısmında analizlerini yapan, bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Mete YAĞANOĞLU'na,

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü ve Necmettin Erbakan Ereğli Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü kıymetli hocalarıma ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma,

Tarla ve laboratuvar çalışmalarında her türlü yardımı için minnettar olduğum kıymetli arkadaşlarım Arş. Gör. Muhammed İslam IŞIK'a ve Arş. Gör. Atom Atanasio Ladu STANLUOS'a,

Evlatları olmaktan gurur duyduğum eksikliğini hayatımda her zaman hissettiğim rahmetli babama, babamın yokluğunda hayrını biz evlatlarına adayan, hayatın her türlü zorluğuna rağmen bizi bir arada tutan ve bugünlere gelmemde en büyük payı olan canım anneme ve desteklerini benden esirgemeyen sevgili kardeşlerime,

Doktora sürecinde hayatıma giren, iyi ve kötü günümde hep yanımda olan, en büyük destekçim olan ve bana dünyalar güzeli iki çocuk veren kıymetli eşim Güler KARTAY'a ve varlıkları ile beni hayata bağlayan, çalışma azmimi artıran canım çocuklarım Ahsen Ada ve Hüseyin Kayra'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hasan KARTAY

ÖZET

DOKTORA TEZİ

BUĞDAYDA (*Triticum aestivum* L.) SOĞUĞA DAYANIKLILIĞIN BELİRLENMESİNDE YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI

Hasan KARTAY

Danışman: Prof. Dr. Kamil HALILOĞLU

Amaç: Günümüzde yapay zekâ bitkisel üretimin farklı alanlarında kullanılmaya başlamasından dolayı, buğday bitkisinde soğuğa dayanıklılığın belirlenmesinde yapay zekâ modellerinin uygulanabilirliğini denemek ve ıslah programlarında kullanılabilecek yapay zekâ tabanlı bir modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem: Çalışmamızda, Norstar (kışlık, soğuğa dayanıklı fakat sarı pasa hassas) ve Zagros (erkenci yazlık, soğuğa hassas ve sarı pasa dayanıklı) ebeynlerin melezlemesi ile elde edilmiş 180 adet rekombinant kendilenmiş hattın (RIL) oluşan popülasyon genetik materyal olarak kullanılmıştır. Deneme iki farklı lokasyonda (Erzurum ve Konya) tam şansa bağlı blok deneme desenine göre iki tekrarlı olacak şekilde kurulmuş ve değerlendirilmiştir. Dört farklı regresyon metriği (MSE, MAE, MAPE ve R^2) açısından sekiz farklı makine öğrenmesi algoritmalarının performansı karşılaştırılmıştır.

Bulgular: İki farklı lokasyonda (Erzurum ve Konya) yürütülen çalışmamızın varyans analizi sonuçlarına göre lokasyon, genotip ve lokasyon x genotip interaksiyonunun görsel soğuk zararı üzerine etkisi çok önemli bulunmuştur. Lokasyonların ve genotiplerin kış zararı üzerine etkisi önemli, lokasyon ve genotip interaksiyonunun etkisi ise önemsiz bulunmuştur. Genotiplerin ortalama değerlerine göre kış zararı %4,4 - 40,2 arasında, görsel soğuk zararı ise %4,3 - %71,3 arasında değişmiştir. Lokasyon ortalamalarına göre, kış zararı Erzurum lokasyonunda %26,4, Konya lokasyonunda ise %11,7 oranında gerçekleşmiştir. Görsel soğuk zararı ise Erzurum lokasyonunda %18,7, Konya lokasyonunda %10,3 oranında gerçekleşmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlara göre hem görsel soğuk zararının hem de kış zararının Erzurum lokasyonunda Konya lokasyonuna göre daha fazla olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Google Colab platformunda geliştirilen yapay zekâ algoritmalarının doğrulama ve test işlemleri sonucuna göre Aşırı Gradyan Artırma (XGBoost) ve Rastgele orman (RF) modelleri genel olarak en iyi performansı göstermiş, özellikle düşük hata (MSE, MAE, MAPE) ve yüksek R^2 değerine sahip olmuştur. LT_{50} değerinin tahmin edilmesinde çiçeklenme dönemindeki kanopi değeri (Kanopi 0), görsel soğuk zararı değerinin tahmin edilmesinde çiçeklenme süresi (ÇS) ve kış zararı değerinin tahmin edilmesinde ise kıştan sonra bitki sayısı (KSBS) en yüksek önem yüzdesine sahip olmuştur.

Sonuç: Buğdayda soğuğa dayanıklılığı yapay zekâ modelleri ile tahmin etmeyi amaçladığımız çalışmamızda XGBoost ve RF modelleri en iyi performans göstermiştir. Bu kapsamda geliştirilen tahmin modelleri, buğdayın soğuğa dayanıklılığı açısından genetik materyallerin seçilmesini hızlandırmak ve buğday ıslah programlarının etkinliğini artırmak için kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Ekmeklik buğday, kış zararı, soğuk zararı, yapay zekâ, makine öğrenimi

Temmuz 2025, 126 sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS TO DETERMINE COLD TOLERANCE IN WHEAT (*Triticum aestivum* L.)

Hasan KARTAY

Supervisor: Prof. Dr. Kamil HALILOĞLU

Purpose: Since artificial intelligence has started to be used in different fields of crop production today, it was aimed to test the applicability of artificial intelligence models in determining cold hardiness in wheat plants and to develop an artificial intelligence-based model that can be used in breeding programs.

Method: In our study, a population of 180 recombinant inbred lines (RIL) obtained by crossing Norstar (winter, cold hardy but susceptible to yellow rust) and Zagros (early summer, cold hardy and resistant to yellow rust) parents were used as genetic material. The experiment was established and evaluated in two different locations (Erzurum and Konya) according to complete randomized block design with two replications. The performance of eight different machine learning algorithms was compared in terms of four different regression metrics (MSE, MAE, MAPE and R^2).

Findings: According to the analysis of variance results of our study conducted in two different locations (Erzurum and Konya), the effect of location, genotype and location x genotype interaction on visual cold damage was found to be very significant. The effect of locations and genotypes on winter damage was found to be significant, while the effect of location and genotype interaction was found to be insignificant. According to the mean values of the genotypes, winter damage varied between 4,4 – 40,2% and visual cold damage varied between 4,3 – 71,3%. According to the location averages, winter damage was realized as 26,4% in Erzurum location and 11,7% in Konya location. Visual cold damage was 18,7% in Erzurum location and 10,3% in Konya location. According to the results we obtained, it was concluded that both visual cold damage and winter damage were higher in Erzurum location compared to Konya location. According to the results of the validation and testing of the artificial intelligence algorithms developed on the Google Colab platform, the Extreme Gradient Boost (XGBoost) and Random Forest (RF) models showed the best performance in general, especially with low error (MSE, MAE, MAPE) and high R^2 values. Canopy value at flowering (Canopy 0) had the highest percentage of significance in predicting LT_{50} value, flowering time (CF) in predicting visual cold damage value and number of plants after winter (PPS) in predicting winter damage value.

Results: In our study, in which we aimed to predict cold hardiness in wheat with artificial intelligence models, XGBoost and RF models showed the best performance. The prediction models developed in this context can be used to accelerate the selection of genetic materials for cold hardiness of wheat and to increase the efficiency of wheat breeding programs.

Keywords: Bread wheat, winter damage, cold damage, artificial intelligence, machine learning

July 2025, 126 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	6
Soğuğa Dayanıklılık.....	6
Yapay Zekâ Yöntemleri	11
Makine Öğrenmesi Algoritmaları	13
Basit ve çoklu doğrusal regresyon (Simple and Multiple Linear Regression).....	13
Rastgele orman (Random forest (RF)).....	14
Aşırı gradyan artırma (Extreme Gradient Boosting (XGboost)).....	14
LASSO ve ridge regresyonu (LASSO and Ridge Regression).....	14
K-En yakın komşular (K-Nearest Neighbors (KNN))	15
MATERYAL VE METOT.....	16
Materyal	16
Yöntem.....	16
Gübreleme	16
Tohumların tarlaya ekilmesi	16
Hasat ve harman işlemi	16
Deneme yerinin iklim verileri	18
Deneme alanının bazı toprak özellikleri	23
Denemede yapılan gözlem ve ölçümler	23
Kıştan önce canlı bitki sayısı.....	23
Kıştan sonra canlı bitki sayısı	24
Kış zararı	25

Soğuk zararının görsel olarak değerlendirilmesi.....	25
Çiçeklenme süresi	27
Fizyolojik olum süresi.....	27
Bitki boyu (cm)	27
Metrekarede başak sayısı	27
Başak uzunluğu (cm).....	27
Başakta başakçık sayısı	27
Başakta tane sayısı	28
Bin tane ağırlığı (g)	28
Biyolojik verim (kg/da).....	28
Tane verimi (kg/da).....	28
Hasat indeksi (%)	28
Yaprak klorofil içeriği.....	28
Yaprak klorofil floresans parametreleri	28
Kanopi sıcaklık farkı	29
Soğuğa dayanıklılık derecesi (LT ₅₀ değeri)	29
Sonuçların Değerlendirilmesi.....	29
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	32
Kıştan Önce Bitki Sayısı (KÖBS).....	32
Kıştan Sonra Bitki Sayısı (KSBS)	37
Kış Zararı	39
Soğuk Zararının Görsel Olarak Değerlendirilmesi	40
Çiçeklenme Süresi.....	45
Fizyolojik Olum Süresi	47
Yaprak Klorofil İçeriği (SPAD).....	49
Kanopi Sıcaklığı.....	55
Fotosistem II (PS II) Maksimum Enerji Verimi (F _v /F _m).....	61
Bitki Boyu	67
Metrekarede Başak Sayısı	71
Biyolojik Verim	73
Tane Verimi	74
Hasat İndeksi.....	79
Başak Uzunluğu	80
Başakta Başakçık Sayısı.....	81
Başakta Tane Sayısı	85

Bin Tane Ağırlığı	86
Korelasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi	87
LT ₅₀ Değerleri için Regresyon Metriklerinin Değerlendirilmesi.....	89
Görsel Soğuk Zararı Değerleri için Regresyon Metriklerinin Değerlendirilmesi.....	90
Kış Zararı Değerleri için Regresyon Metriklerinin Değerlendirilmesi	92
SONUÇ VE ÖNERİLER	95
KAYNAKÇA	96
ÖZGEÇMİŞ.....	109



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Erzurum ve Konya İlinin Araştırmanın Yürütüldüğü 2022-2023 Yılı İle Uzun Yıllar Ortalamasına (UYO: 1929-2023) Ait Bazı İklim Verileri.....	19
Tablo 2. Erzurum ve Konya (Ereğli) İlinde 2022-2023 Ürün Yılına Ait Günlük Minimum Sıcaklık Değerleri	21
Tablo 3. Erzurum ve Konya (Ereğli) İlinde 2022-2023 Ürün Yılına Ait Günlük Ortalama Kar Yüksekliği (cm) Değerleri	22
Tablo 4. Deneme Alanının Bazı Toprak Özellikleri	23
Tablo 5. Farklı Lokasyonlarda 182 Genotipe Ait Kıştan Önce Bitki Sayısı (KÖBS), Kıştan Sonra Bitki Sayısı (KSBS), Kış Zararı (KZ), Görsel Soğuk Zararı (GSZ), Zararlanma İndeksi (Zİ), Çiçeklenme Süresi (ÇS) ve Fizyolojik Olum Süresi (FOS) Parametrelerinin Varyans Analizi Sonuçları.....	32
Tablo 6. Farklı Lokasyonlarda 182 Genotipe Ait Kıştan Önce Bitki Sayısı (KÖBS), Kıştan Sonra Bitki Sayısı (KSBS) ve Kış Zararı (KZ) Parametrelerinin Ortalama Değerleri.....	33
Tablo 7. Farklı Lokasyonlarda 182 Genotipe Ait Görsel Soğuk Zararı (GSZ), Çiçeklenme Süresi (ÇS) ve Fizyolojik Olum Süresi (FOS) Parametrelerinin Ortalama Değerleri.....	41
Tablo 8. Genotiplerin Çiçeklenme Dönemi (SPAD 0, Kanopi 0), Çiçeklenmeden 15 gün (SPAD 15, Kanopi 15) ve Çiçeklenmeden 25 gün (SPAD 25, Kanopi 25) Sonraki SPAD ve Kanopi Değerlerinin Varyans Analizi Sonuçları.....	49
Tablo 9. Genotiplerin Çiçeklenme Dönemi (SPAD 0), Çiçeklenmeden 15 Gün (SPAD 15) ve Çiçeklenmeden 25 Gün (SPAD 25) Sonraki SPAD Parametresinin Ortalama Değerleri.....	50
Tablo 10. Genotiplerin Çiçeklenme Dönemi (Kanopi 0), Çiçeklenmeden 15 Gün (Kanopi 15) ve Çiçeklenmeden 25 Gün (Kanopi 25) Sonraki Kanopi Parametrelerinin Ortalama Değerleri	55
Tablo 11. Genotiplerin Çiçeklenme Dönemi (Fv/Fm 0), Çiçeklenmeden 15 gün (Fv/Fm 15) ve Çiçeklenmeden 25 gün (Fv/Fm 25) Sonraki Fotosistem II (PS II) Maksimum Enerji Verimi (F_v/F_m) Varyans Analizi Sonuçları.....	61

Tablo 12. Genotiplerin Çiçeklenme Dönemi (Fv/Fm 0), Çiçeklenmeden 15 gün (Fv/Fm 15) ve Çiçeklenmeden 25 gün (Fv/Fm 25) Sonraki Fotosistem II (PS II) Maksimum Enerji Verimi (Fv/Fm) Parametresinin Ortalama Değerleri	62
Tablo 13. Genotiplerin Bitki Boyu (BB), Metrekarede Başak Sayısı (MBS), Biyolojik Verim (BV), Tane Verimi (TV) ve Hasat İndeksi (HI) Parametrelerine Ait Varyasyon Analizi Sonuçları	68
Tablo 14. Genotiplerin Bitki Boyu (BB), Metrekarede Başak Sayısı (MBS) ve Biyolojik Verim Parametrelerine Ait Ortalama Değerleri	68
Tablo 15. Genotiplerin Tane Verimi (TV), Hasat İndeksi (HI) ve Başak uzunluğu (BU) Parametrelerine Ait Ortalama Değerleri	74
Tablo 16. Genotiplerin Başak Uzunluğu (BU), Başakta Başakçık Sayısı (BBS), Başakta Tane Sayısı (BTS) ve Bin Tane Ağırlığı (BTA) Parametrelerine Ait Varyasyon Analizi Sonuçları.....	80
Tablo 17. Genotiplerin Başakta Başakçık Sayısı (BBS), Başakta Tane Sayısı (BTS) ve Bin Tane Ağırlığı (BTA) Parametrelerine Ait Ortalama Değerleri	81
Tablo 18. Denmede İncelenen Parametreler Arasındaki İlişkilere Ait Korelasyon Analizi Sonuçları ¹	88

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Erzurum ve Konya lokasyonlarında tohumların tarlaya ekimi	17
Şekil 2. Hasat işlemi.....	17
Şekil 3. Harman işlemi	18
Şekil 4. Erzurum ve Konya (Ereğli) lokasyonlarının 2022 -2023 üretim sezonu ve uzun yıllar ortalamasına ait ortalama yağış grafiği.....	20
Şekil 5. Erzurum ve Konya (Ereğli) lokasyonlarının 2022 -2023 üretim sezonu ve uzun yıllar ortalamasına ait ortalama sıcaklık grafiği.....	20
Şekil 6. Kıştan önce çıkış yapan bitkilerin genel görünüşü (Erzurum).....	23
Şekil 7. Kıştan sonra Erzurum lokasyonundaki denemenin genel görüntüsü	24
Şekil 8. Kıştan sonra Konya (Ereğli) lokasyonun genel görüntüsü	24
Şekil 9. Soğuk zararının görsel olarak değerlendirilmesi.....	25
Şekil 10. Erzurum lokasyonundaki denemenin 10 Mayıs tarihinde genel görüntüsü	26
Şekil 11. Konya (Ereğli) lokasyonundaki denemenin 10 Mayıs tarihinde genel görüntüsü	26
Şekil 12. Çiçeklenme gözlemlerinin alınması.....	27
Şekil 13. Klorofil floresans ölçümleri	29
Şekil 14. Kıştan önce bitki sayısı (KÖBS) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler	36
Şekil 15. Kıştan sonra bitki sayısı (KSBS) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler	38
Şekil 16. Kıştan sonra bitki sayısı (KSBS) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler	38
Şekil 17. Görsel soğuk zararı (GSZ) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler.....	40
Şekil 18. Ortalama zararlanma indeksi ve genotip sayısı arasındaki ilişki	45
Şekil 19. Çiçeklenme (ÇS) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler.....	46
Şekil 20. Çiçeklenme süresi (ÇS) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler	46
Şekil 21. Fizyolojik olum süresi (FOS) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler	47
Şekil 22. Fizyolojik olum süresi (FOS) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler	48
Şekil 23. Çiçeklenme dönemindeki klorofil içeriği (SPAD 0) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler	53
Şekil 24. Çiçeklenmeden 15 gün sonraki dönemde klorofil içeriği (SPAD 15) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler	53

Şekil 25. Çiçeklenme dönemindeki klorofil içeriği (SPAD 0) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler	54
Şekil 26. Çiçeklenme dönemindeki kanopi sıcaklık farkı (Kanopi 0) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler	58
Şekil 27. Çiçeklenme döneminden 15 gün sonraki kanopi sıcaklık farkı (Kanopi 15) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler	59
Şekil 28. Çiçeklenme dönemindeki kanopi sıcaklık farkı (Kanopi 0) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler	59
Şekil 29. Çiçeklenme döneminden 15 gün sonraki kanopi sıcaklık farkı (Kanopi 15) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler	60
Şekil 30. Çiçeklenme döneminden 25 gün sonraki kanopi sıcaklık farkı (Kanopi 25) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler	60
Şekil 31. Çiçeklenmeden 15 gün sonraki maksimum enerji verimi (F_v/F_m 15) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler	65
Şekil 32. Çiçeklenmeden 25 gün sonraki maksimum enerji verimi (F_v/F_m 25) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler	65
Şekil 33. Çiçeklenme dönemindeki maksimum enerji verimi (F_v/F_m 0) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler	66
Şekil 34. Çiçeklenmeden 25 gün sonraki maksimum enerji verimi (F_v/F_m 25) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler	66
Şekil 35. Metrekaredeki başak sayısı (MBS) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler.....	72
Şekil 36. Metrekaredeki başak sayısı (MBS) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler	72
Şekil 37. Biyolojik verim (BV) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler.....	74
Şekil 38. Tane verimi (TV) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler	78
Şekil 39. Başak uzunluğu (BU) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler	81
Şekil 40. Başakta tane sayısı (BTS) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler.....	86
Şekil 41. LT_{50} değerlerinin tahmin edilmesi için dört farklı regresyon metriği (MSE, MAE, MAPE ve R^2) açısından makine öğrenmesi algoritmalarının performansının karşılaştırılması	89
Şekil 42. LT_{50} değerlerinin tahmin edilmesinde değerlendirilen özellikler (parametreler) ve etki yüzdeleri	90
Şekil 43. Görsel soğuk zararı değerlerinin tahmin edilmesi için dört farklı regresyon metriği (MSE, MAE, MAPE ve R^2) açısından makine öğrenmesi algoritmalarının performansının karşılaştırılması.....	91

Şekil 44. Görsel soğuk zararının tahmin edilmesinde değerlendirilen özellikler (parametreler) ve etki yüzdeleri	91
Şekil 45. Kış zararı değerlerinin tahmin edilmesi için dört farklı regresyon metriği (MSE, MAE, MAPE ve R^2) açısından makine öğrenmesi algoritmalarının performansının karşılaştırılması.....	92
Şekil 46. Kış zararının tahmin edilmesinde değerlendirilen özellikler (parametreler) ve etki yüzdeleri	93



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

%	: Yüzde
°C	: Santigrat derece
BB	: Bitki boyu
BBS	: Başakta başakçık sayısı
BTA	: Bin tane ağırlığı
BTS	: Başakta tane sayısı
BU	: Başak uzunluğu
BV	: Biyolojik verim
cm	: Santimetre
ÇS	: Çiçeklenme süresi
da	: Dekar
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü
FOS	: Fizyolojik olum süresi
Fv/Fm 0	: Çiçeklenme dönemindeki Fotosistem II (PS II) maksimum enerji verimi
Fv/Fm 15	: Çiçeklenmeden 15 gün sonraki Fotosistem II (PS II) maksimum enerji verimi
Fv/Fm 25	: Çiçeklenmeden 25 gün sonraki Fotosistem II (PS II) maksimum enerji verimi
g	: Gram
GSZ	: Görsel soğuk zararı
ha	: Hektar
Hİ	: Hasat indeksi
Kanopi 0	: Çiçeklenme dönemindeki kanopi değeri
Kanopi 15	: Çiçeklenmeden 15 gün sonraki kanopi değeri
Kanopi 25	: Çiçeklenmeden 25 gün sonraki kanopi değeri
kg	: Kilogram
KNN	: K-En Yakın Komşular (K-Nearest Neighbors)
KÖBS	: Kıştan önce bitki sayısı
KSBS	: Kıştan sonra bitki sayısı
KZ	: Kış zararı
m	: Metre
m ²	: Metrekare
MAE	: Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error)
MAPE	: Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (Mean Absolute Percentage Error)
MBS	: Metrekarede başak sayısı

mm	: Milimetre
MSE	: Ortalama Kare Hatası (Mean Squared Error)
Ort .	: Ortalama
R^2	: R kare
RF	: Rastgele Orman (Random forest)
SPAD 15	: Çiçeklenmeden 15 gün sonraki SPAD değeri
SPAD 25	: Çiçeklenmeden 25 gün sonraki SPAD değeri
SPAD 0	: Çiçeklenme dönemindeki SPAD değeri
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TV	: Tane verimi
XGBoost	: Aşırı Gradyan Artırma (Extreme Gradient Boosting)



GİRİŞ

Buğday (*Triticum aestivum* L.), dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilen önemli gıda ürünlerinden biridir. Güçlü adaptasyon ve yüksek verim özelliği ile karakterize edilir ve insan vücudu için gerekli olan mineraller, vitaminler, amino asitler ve diyet lifi açısından zengin bir bitkidir (Šramková *et al.* 2009; Shewry 2009). İnsanların ihtiyaç duyduğu günlük kalori ve diyet proteinlerinin beşte birinden fazlasını tek başına karşılamaktadır (Pang *et al.* 2021).

Buğday serin iklim tahıllarındandır. Daha çok ılıman ve soğuk iklimlerde başarı ile yetiştirilen serin iklim tahılları çok sıcak ve yağışı 1500 mm'den fazla olan tropik iklimlerde yetiştirilemez (Taner ve Sade 2005). Dünyada en çok buğday ekimi yapılan bölgeler Türkiye'nin de içinde bulunduğu 30–60 kuzey enlemleri ile 27-40 güney enlemleri arasında bulunmaktadır (Aran ve Kıvanç 1989). FAO'ya göre Dünya genelinde son yıllarda buğday ekim alanları 220-230 milyon hektar aralığında seyretmekte ve 2023 yılı tahminlerine göre üretim yaklaşık 786 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Ülkemizde ise tarım yapılabilir 378.328 hektarlık alan içerisinde %43,4 ile en büyük payı tahıllar almaktadır. Tahıl alanları içerisinde ise %59,2'lik pay ile ilk sıradaki yerini korumaktadır (TÜİK 2023).

Dünya nüfusu için önemli bir temel gıda ürünü olan buğday, çeşitli biyotik ve abiyotik stresler tarafından üretimi sınırlamaktadır (Afzal *et al.* 2015). Çalışma tarzlarına bağlı olarak bilim insanları, stresi farklı şekillerde tanımlamışlardır: Lichtenthaler (1998), bir bitkinin metabolizmasını, gelişimini veya büyümesini durduran herhangi bir madde veya durum olarak; Mahmood (2002) ise strsi bitki üremesini ve gelişimini genotipin potansiyelinin altına düşüren herhangi bir unsur olarak tanımlamışlardır. Ejaz *et al.* (2023), bir stresin başka bir strese yol açabileceğini ve bitkilerin aynı anda birden fazla strese maruz kalabileceğini belirtmişlerdir (Örneğin, düşük sıcaklık bitkinin kullanılabilir suyunu buz kristallerine dönüştürebilir; dolayısıyla soğuk, kuraklığa neden olabilir). Abiyotik streslerin etkisi altında bitkilerde bir dizi morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler değişiklik tetiklenebilmekte ve bu da bitkilerin büyümesini ve verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle, bitkiler hayatta kalmak için fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerin yanı sıra moleküler ve hücresel seviyelerde de tepki verir ve uyum sağlar (Sanghera *et al.* 2011).

Abiyotik streslerin ürün veriminde %50'ye varan düşüşlere neden olarak çok yüksek ekonomik kayıplara yol açabildiği bildirilmiştir (Vij and Tyagi 2007). Dünya nüfusu hızlı bir şekilde artması ve aynı zamanda çeşitli abiyotik streslerin bitki üretimini sınırlaması ile gıda üretimi azalmaktadır (Mahajan and Tuteja 2005). Bu nedenle, bu kayıpların en aza indirilmesi

bitki ıslahçıları için ana hedeflerden biridir, ayrıca iklim değişikliği ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan abiyotik stresi kontrol etmek çok zor olduğundan, strese toleranslı genotiplerin geliştirilmesi gerekmektedir (Mahajan and Tuteja 2005; Rihan *et al.* 2017).

Farklı abiyotik stresler arasında soğuk, dünya çapında ürün verimliliğini sınırlayan önemli bir stres faktördür. Düşük sıcaklık, dünya genelinde tarımsal türlerin büyümesini ve gelişmesini etkiler (Pearce 2001), bitki türlerinin coğrafi dağılımını sınırlar ve birçok ürünün verimini önemli ölçüde azaltır (Pearce and Fuller 2001). Düşük sıcaklık stresi, soğuk zararı (0-15 °C) ve donma zararı (0 °C'nin altında) olarak ikiye ayrılmaktadır. Soğuk zararı, fotosentez, solunum, su metabolizması, mineral beslenme ve genel metabolizma gibi bitkilerin fizyolojik ve metabolik süreçlerine etki etmektedir (Zhao *et al.* 2015). Don zararı ise mevcut bitki suyunu buz kristallerine dönüştürmektedir. Soğuk stresine maruz kalan bitkilerde kristal oluşumu meydana gelmekte ve sabit bir buz çekirdeği oluşturmaktadır. Bu da bitkinin hayati hücre bileşenlerine potansiyel zararlar vererek ürün kayıplarına yol açmaktadır (Prozherina *et al.* 2003; Mahajan and Tuteja 2005; Li *et al.* 2015a; Murphy *et al.* 2020).

Bitkilerin donma sıcaklıklarında hayatlarını devam ettirmesi, soğuğa uyum sağlama kapasitelerine bağlı olarak değişmektedir (McKhann *et al.* 2008). Ortalama minimum sıcaklık dünya kara alanının yaklaşık %64'ünde 0 °C'nin altında ve yaklaşık %48'inde -10 °C'nin altında olduğu için don zararı mekanizmasını incelemek ve soğuğa dayanıklı çeşitler yetiştirmek çok önemlidir (Deane 1994). Soğuğa alışma, bitkilerin donma olmayan düşük sıcaklıklara maruz kalması olarak tanımlanır ve bitkilerin soğuğa toleransı üzerinde önemli olumlu etkilere yol açar (Thomashow 2010; Pearce *et al.* 2013). Fakat, aklimasyon ile elde edilen soğuk toleransındaki artış statik olmayıp, mevsime bağlı olup ve bitkilerin ılık sıcaklıklara maruz kalmasıyla hızla kaybolmaktadır (deaklimasyon).

Soğuk adaptasyonu, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler seviyelerde değişiklikler gerektiren ve hücre metabolizmasının tamamen yeniden düzenlenmesine yol açan birçok fizyolojik ve metabolik süreçle ilgili bir durumdur (Kaye and Guy 1995). Bitkilerin düşük sıcaklıklarda yaşamlarını sürdürebilmesi için dayanıklılık diye adlandırabileceğimiz genetik yapı ve çevre koşullarının etkileşiminden oluşan direnç bağlıdır. Dayanıklılık kalıcı olup direnç ise çevre şartlarına bağlı olarak kazanılabilen ya da kaybedilebilen bir özelliktir. Direnç kavramı; kışa, soğuğa ve dona direnç olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır: Kışa direnç, bitkilerin kıştan sonra zarar görmeden ilkbahara girmesidir. Kış direncinde bitkilerin bir süre kar örtüsü altında kalması söz konusu olduğundan buğdayın maruz kaldığı soğukun derecesinin belirlenmesi oldukça zordur, çünkü kar örtüsü toprak ile atmosfer arasında ısı değişimini engellemektedir. Bu nedenle kar altında kalan toprağın ısısı fazla düşmemektedir. Soğuğa

direnç, bitkilerin belirli devrelerinde maruz kalacakları düşük sıcaklıklardan etkilenmeden yaşamlarını devam ettirebilmeleridir. Soğuğa direnç, hem genetik yapı hem de çevre şartlarına bağlıdır. Don zararı, çok kısa bir süre de olsa 0 °C'nin altındaki soğukların sebep olduğu bir zarardır. Bitki özsuyunun donması sonucu hücre zarını patlatması don zararının diğer bir tarafıdır (Taner ve Sade 2005).

Soğuk stresi, buğday bitkisinin gelişmesini, büyümesini ve verimliliğini olumsuz yönde etkileyen ciddi bir çevresel faktördür (Pang *et al.* 2021). Soğuk zararı, dünya genelinde pek çok buğday üretim bölgesinde kış boyunca sıklıkla meydana gelmekte ve özellikle sert kış koşulları altında her yıl milyonlarca ton tane verimi kaybına neden olmaktadır (Kruse *et al.* 2017; Xiao *et al.* 2018). Bu nedenle soğuk zararı, dünya genelinde kışlık buğday üretimini sınırlayan en önemli faktörlerden birisidir.

Kışlık buğday vernalizasyon (soğuklanma) döneminde düşük sıcaklığa ihtiyaç duyar ve erken vejetatif evrelerde soğuk koşullara dayanabilmektedir (Xiao *et al.* 2018). Bazı buğday genotiplerinin sapa kalkması ve başaklanabilmesi için belirli süre soğuklanmaya ve ışıktanmaya ihtiyaçları vardır. Sapa kalkması için soğuklamaya gereksinimi olmayan veya çok az gereksinim duyan buğdaylar “yazlık buğdaylar”, soğuklanmaya gereksinimi olanlar ise “kışlık buğdaylar” olarak adlandırılmaktadır. Soğuklama ihtiyacı buğdayları soğuktan koruyan bir mekanizma olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle ülkemizde kışlık buğdayların ekimi sonbahar aylarında yapılmaktadır (Taner ve Sade 2005).

Genellikle sonbahar mevsimi başlarında ve ilkbahar mevsimi sonlarında hava sıcaklığında meydana gelen ani düşüşler, tarla ve bahçe şartlarında yetiştiriciliği yapılan bitkilerde olumsuz etki yapmaktadır. İlkbahar don zararının kışlık buğdayda %14 ila %85 arasında bir verim kaybına neden olduğu bildirilmektedir (Zhong *et al.* 2008). İlkbahar don olayları çoğunlukla hava sıcaklığında 5 ila 10 °C'lik ani bir düşüş şeklinde meydana gelmekte ve geceleri sıfırın altındaki sıcaklık derecelerine ulaşması ile meydana gelmektedir (Zhong *et al.* 2008). Bu nedenle donma stresinin neden olduğu ürün büyümesindeki azalma miktarı, düşük sıcaklığın ortalaması ve süresinden çok düşük sıcaklığın derecesiyle daha çok ilişkilidir (Thakur and Nayyar 2013). Bu yüzden, ilkbahar donunun buğday büyümesi ve verim oluşumu üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde düşük sıcaklık ekstremlerinin derecesi ve gece sıcaklığı tamamen dikkate alınmalıdır (Li *et al.* 2015b).

Soğuk stresi bitkide kök su alımını bozarak, gövdede bulunan yetersiz suyun dokularda önemli dehidrasyona (su kaybı) neden olabilmektedir (Rajashekar and Panda 2014; Hassan *et al.* 2021). Donma kaynaklı enzimatik aktivite ve hormonal tepkilerdeki hasarlar kışlık buğdayda fotosentezi ve klorofil floresansını doğrudan etkilemektedir (Rapacz and Woźniczka

2009; Li *et al.* 2015a; Zhang *et al.* 2020). Örneğin, Li *et al.* (2015a) soğuk stresi altında fotosentetik özellikleri ve tane verimini, düşük sıcaklık stresinin kışlık buğdayda verimi üzerine olumsuz etki ettiğini açıklamıştır. Verimin azalması, fotosentezin bozulmasına (Thakur and Nayyar 2013); başak gelişiminde donun neden olduğu hasara (Kang *et al.* 2013); değişen karbonhidrat metabolizmasına (Zeng *et al.* 2011; Theocharis *et al.* 2012) ve sürgün biyokütlesinde, bayrak yaprağı boyutunda ve spesifik yaprak alanında azalmaya (Valluru *et al.* 2012) bağlanabilmektedir. Sıcaklığın artması ile buğday bitkisinde bayrak yapraklarının yaprak alanı, klorofil içeriği ve verim önemli bir ölçüde artabilmektedir (Tian *et al.* 2014). Bunun aksine, çok düşük sıcaklıklar ise fidelerin solmasına ve hatta ölümlerine neden olabilmektedir (Li *et al.* 2019). Bitkiler için tüm yaşam döngüleri boyunca düşük sıcaklık stresi, ciddi bir tehdit oluşturabilmekte ve ürün verimini ve kalitesini ciddi olarak etkileyebilmektedir. Bu nedenle, düşük sıcaklık stresinin bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ve ürün verimini iyileştirmek için etkili, sürdürülebilir ve çevreye duyarlı uygulamaların belirlenmesine acil ihtiyaç duyulmaktadır (Askari-Khorasgani *et al.* 2019).

Buğday ıslah programlarında soğuğa dayanıklı çeşitler geliştirmek, birçok genin rol oynadığı karmaşık bir süreç olduğu için en zorlu görevlerden biridir. Genellikle yüksek soğuk toleransı ile düşük verim ve geç olgunlaşma arasında bir denge kurmak zorlayıcıdır. Bu nedenle, ıslah çalışmalarının amacı soğuk toleransını maksimum düzeye çıkarmak yerine, belirli bir bölgenin minimum sıcaklık koşullarına dayanabilecek çeşitler geliştirmektir. Soğuk bölgelerdeki buğday çeşitlerinin önemli bir özelliği, soğuğa ve zorlu kış koşullarına karşı dirençli olmalarıdır (Dilmurodovich *et al.* 2021).

2050 yılına kadar dünya nüfusunun 10 milyarı aşması beklendiğinden, tarımsal üretimin %25-70 oranında artırılması gerekmektedir (Hunter *et al.* 2017). Bu hedefe ulaşmak için biyotik ve abiyotik strese dayanıklı bitki çeşitlerinin seçimi ile birlikte hassas ve sağlam araçların kullanımı önem kazanmaktadır (Sandhu *et al.* 2021). Yüksek verimli (HTP) araçlar, yapay zekâ (AI) ile entegre edilerek veri toplama, makine öğrenimi (ML) ve derin öğrenme (DL) modelleriyle analiz etme sürecinde oldukça etkili bulunmaktadır (Atieno *et al.* 2017; Ma *et al.* 2018; Sanga *et al.* 2020). Yapay zekâ, iklim değişikliği bağlamında ürün dayanıklılığını ve verimini artırarak buğday ıslah programlarında devrim yaratmaktadır. Yapay zekâdaki son gelişmeler, genomik destekli ıslahı (GAB) iyileştirmek için genom çapında ilişkilendirme çalışmalarında (GWAS) ve genomik seçimde (GS) karmaşık etkileşimleri yakalayan doğrusal olmayan modelleme yaklaşımlarını mümkün kılmaktadır (Robles-Zazueta *et al.* 2024). Bununla birlikte, yapay zekâ teknikleri, geleneksel ıslah için gerekli olan süreyi önemli ölçüde azaltmış, hızlı ıslahın entegrasyonunu kolaylaştırmış ve buğday çeşitlerinin strese dayanıklılığının

geliştirilmesinde daha fazla doğruluk ve daha fazla verimlilik sağlamıştır (Bhat *et al.* 2023). Ayrıca, insansız hava sistemleri tarafından elde edilen veriler ile birlikte genotip ve fenotip verilerinden yararlanan makine öğrenimi modelleriyle, değişen çevresel koşullar altında bitkilerde verimi tahmin etmede umut verici sonuçlar göstermiş ve bunun sonucunda üstün performansa ve zorlu iklim olaylarına karşı dayanıklılığa sahip geliştirilmiş buğday çeşitlerinin dağıtımını hızlandırmıştır (Sharma *et al.* 2023). Yapay zekâ odaklı bu yaklaşımlar, daha fazla üretkenlik ve dayanıklılığa sahip ve iklim açısından akıllı buğday çeşitlerini geliştirerek gıda güvenliği endişelerini giderme potansiyeline sahip olmaktadır (Mushtaq *et al.* 2024).

Makine öğrenimi algoritmaları, iklim değişikliklerine karşı daha iyi uyum sağlamak için buğdaydaki fenotipik özelliklerin tahminini geliştirmede önemli bir rol almaktadır. Makine öğrenimi modelleri, hem genotip hem de fenotip verilerinden yararlanıp, buğdayın verim tahminine odaklanan çalışmalarda gösterildiği gibi, verim tahmin doğruluğunu da önemli bir oranda artırabilmektedir (Togninalli *et al.* 2023). Derin öğrenme sinir ağları gibi bu modeller, genetik ve fenotipik bilgileri etkili olarak entegre edebilmekte, genotip-çevre etkileşimlerini hesaba katabilmekte ve görünmeyen ortamlarda bile daha doğru tahminler edebilmektedir. Ayrıca, çevresel faktörlerin ve iklim endekslerinin istatistiksel regresyon modellerine dahil edilmesi, verim tahminlerinin güncelliğini ve sağlamlığını daha da artırabilir ve iklim değişikliğinin ürün verimliliği üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için adaptasyon stratejileri geliştirmeye yardımcı olabilmektedir (Karn and Suresh 2023). Sonuç olarak, makine öğrenimi algoritmalarındaki bu gelişmeler, bilim insanlarına ve çiftçilere tarımsal uygulamaları optimize etmeleri ve değişen iklimler karşısında gıda güvenliğini sağlamaları için değerli araçlar sunmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, 180 kendilenmiş RIL (Rekombinant Inbred Line) hattı ve ebeveynleri kullanılarak soğuğa dayanıklılık değişkenleri ile tarla koşullarında elde edilen morfolojik ve fizyolojik ölçümler arasındaki ilişkinin belirlenmesidir. Bu çalışmada, , soğuk stresinin bitkilerin morfolojik ve fizyolojik özellikleri üzerindeki etkileri dikkate alınarak yapay zekâ modellemesiyle soğuğa dayanıklılık ve duyarlılık parametreleri tahmin edilmiştir. Çalışma kapsamında, tarla koşullarında yapılan ölçümlerden elde edilen veriler analiz edilmiştir. Bu verilerin, yapay zekâ modelleri ile soğuğa dayanıklılık ile diğer özellikler arasındaki ilişkiler ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar, soğuk stresine dayanıklılığı yüksek buğday hatlarının seçimine yönelik bilimsel bilgi elde edilmiş olup, bu alanlarda yapılacak ıslah çalışmalarına önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir.

KURAMSAL TEMELLER

Soğuğa Dayanıklılık

Fowler (1979), tarla koşullarında yapmış oldukları çalışmalarında, 8-10 cm kalınlığındaki kar örtüsünün buğday bitkisinin soğuk ve kış zararından korunması için yeterli olduğunu belirtmişlerdir

Gusta *et al.* (1982), laboratuvar koşullarında yaptıkları çalışmalarında soğuğa dayanıklı kışlık buğdayların 3-4 yapraklı dönemde -15 °C ye 5-6 gün, -18 °C ye 24 saat ve -23 °C ye 12 saat dayanabildiklerini belirtmişlerdir.

Brule-Babel and Fowler (1989) yaptıkları çalışmada, kontrollü çevrelerde yapılan dondurma testlerini ve doku su içeriğini kışlık tahılların soğuğa dayanıklılığını değerlendirebilmek için bir tahmin aracı olarak kullanabileceğini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçların kontrollü soğuk testlerinin ve doku su içeriği ölçümlerinin kışlık tahıllarda soğuğa dayanıklılık özelliklerinin tahmin edilmesinde yüksek doğruluk sağladığını açıklamışlardır.

Mossad *et al.* (1995), çalışmalarında kışlık buğdayların, gelişmelerinin erken dönemlerinde soğuğa çok dayanıklı (-20 °C) olmasına rağmen, gelişmelerinin başaklanma ve çiçeklenme dönemine doğru ilerledikçe soğuğa dayanıklılıklarını kademeli olarak azalttıklarını ileri sürmüşlerdir.

Yıldırım (2003), yapmış olduğu çalışmasında daha uzun süre vernalizasyon ihtiyacı duyan Doğu 88, Hawk, Lancer, Karasu 90, Bezostaja 1, Norstar ve DE-6 ekmeklik buğday çeşitlerinin soğuğa daha dayanıklı olduklarını belirtmiştir.

Thakur *et al.* (2010), düşük sıcaklığın, bitkilerde çiçek dökülmesine, polen ve ovül infertilitesine neden olduğunu belirtmiştir. Ayrıca düşük sıcaklığın döllenmenin bozulmasına yol açtığını ve tohum dolumunu etkilediğini, bunun da düşük tohum oluşumuna ve nihayetinde düşük tane verimine yol açtığını açıklamışlardır.

Li *et al.* (2015a), çalışmalarında XM21 (düşük sıcaklığa dayanıklı) ve XZ24 (düşük sıcaklığa duyarlı) kışlık buğday çeşidinin ilkbahar donlarına karşı tane verimi ve bazı temel fizyolojik özelliklerinin tepkilerini, tarla tabanlı bir hava sıcaklığı kontrol sistemi kullanarak araştırmışlardır. Tarla koşullarında buğdayın sapa kalkma döneminde 5 günlük bir ilkbahar donma olayına (yaklaşık 8°C ortam sıcaklığından daha düşük sıcaklık) maruz bırakmışlardır. Bu çalışmanın sonuçları, 5 günlük bir ilkbahar donmasının buğday yapraklarındaki fotosentetik

hızı, Fotosistem II'nin maksimum kuantum verimliliğini ve klorofil içeriğini olumsuz etkileyebileceğini göstermiştir. XZ24 çeşidinde %12-14; XM21 çeşidinde ise %5-6 oranında verim kaybı elde etmişlerdir. XZ24'teki daha yüksek verim kaybının, kardeş ve başak sayısındaki azalmadan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Rapacz *et al.* (2015), üç yetiştirme sezonu boyunca (2010/11, 2011/12 ve 2012/13) 220 yaygın kışlık buğday ve 139 kışlık tritikale üzerinde klorofil floresan ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Donmadan sonra, yaprakları laboratuvarında soğuğa alıştırdıkları bitkilerden ve tarlada yetiştirdikleri bitkilerden toplamışlardır. Ayrıca Polonya'nın yedi farklı lokasyonunda tarla koşullarında hayatta kalma gözlemleri ve bitkilerin donma toleransı ölçümlerini yapmışlardır. Donmaya karşı daha az toleranslı ve kışa daha az dayanıklı olan kışlık buğday, kontrollü soğuğa alıştırma sonrasında ve kışın başlarında tritikaleden daha yüksek fotosentetik aktiviteye sahip olduğunu ve kışın sonlarında ise tritikalenin fotokimyasal aktivitesinin buğdaydan daha yüksek olması, tritikalenin fotosentetik aygıtının kış koşullarına daha az duyarlı olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Küçüközdemir (2016) çalışmasında, Erzurum koşullarında 180 yerel genotip (Doğu Anadolu Bölgesinden toplanan) ve 6 adet tescilli buğday çeşidini verim ve verim unsurları, kalite özellikleri, bu özellikler arasındaki ilişkileri ve bu genotiplerin soğuk stresine karşı dayanıklılığını tespit etmeyi amaçlamıştır. Yerel genotipler ve tescilli çeşitlerin soğuğa dayanıklılık derecelerinin -13 °C ile -19 °C arasında değiştiği, yalnızca Alparslan çeşidinin -19 °C'de canlı kaldığı sonucunu elde etmiştir. Sonuçta bazı buğday genotiplerinin, verim ve verim unsurları, kalite özellikleri ve soğuğa dayanıklılık açısından yüksek kapasiteye sahip olduklarını ve bu genotiplerin gen kaynağı (ıslah hedeflerine göre) olarak kullanılabileceğini açıklamıştır.

Rihan *et al.* (2017), araştırmalarında, Arabidopsis'teki CBF/DREB1 Transkripsiyon proteinlerinin, soğukla tetiklenen genlerin (COR genleri) ifadesini düzenleyerek donma toleransını artırdığı, soğuk ile ilgili genetik mekanizmaların, soğuk toleransında rol oynayan genlerin ve sinyal iletimi üzerindeki etkilerinin anlaşılmasında önemli gelişmeler sağladığı, Molybdenum gibi uygulamaların, bitkilerin soğuk dayanıklılığını artırmada umut verici sonuçlar gösterdiğini ve kızılötesi görüntülemenin bitkilerde soğuk hasarını tespit etmek için kullanılan yenilikçi bir araç olduğu sonuçlarını elde etmişlerdir.

Dilmurodovich *et al.* (2021), buğday bitkisinin kök taç bölgesi derinliğine bağlı olarak soğuğa dayanıklılığının değiştiğini açıklamıştır. 2 ve 4 cm derinlikte 150 genotipin 25'inin soğuğa %90-100 dayanıklı olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmalarında, 4 cm derinliğe ekilen genotiplerin, 2 cm derinliğe ekilen genotiplere göre daha fazla kışa dayanıklı olduğunu tespit

etmişlerdir. 4 cm derinliğe ekilen genotiplerden 16 tane genotipin soğuğa toleransının %100 olduğunu belirlemişlerdir. Bu sonuçlara dayanarak doğru ekim derinliği seçmenin buğday bitkisinde yüksek verim elde etmek için önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Hassan *et al.* (2021), iklim kaynaklı aşırı sıcaklıkların buğdayın vejetatif ve üretken büyümesini etkilediğini ve ardından verimde düşüşe neden olduğunu belirtmiştir. Derlemelerinde, düşük sıcaklığın buğday bitkisinde morfofizyolojik, biyokimyasal ve moleküler yapısında nasıl bir dizi değişikliğe neden olduğu anlatılmaktadır. Ayrıca bu değişikliklerle başa çıkmak için bitkilerin çözünür karbonhidratlar, sinyal molekülleri ve soğuk tolerans gen ifadelerini biriktirerek karakterize edilen soğuk tolerans mekanizmalarını devreye soktuğunu belirtmiştir. Bununla birlikte buğdayın soğuk stresine karşı performansını artırmaya yönelik entegre yönetim yaklaşımları da ele alınmış ve iklim değişikliği ile beklenen soğuk risklerini azaltmanın yanı sıra buğdayın adaptif kapasitesini geliştirmek için stratejiler önerilmiştir.

Bao *et al.* (2022), üç yıllık bir saha deneyi boyunca, kardeşlenme boğumlarındaki ozmotik ve anti-oksidatif stres ile kışlık buğdayın Alpin bölgelerdeki kışı geçirme yeteneği arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Bir lojistik regresyon algoritması (makine öğrenimi) kullanarak kışlık buğdayın çok endeksli soğuğa dayanıklı kışı geçirme yeteneği modeli oluşturmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlar, ozmotik stres açısından, kardeşlenme boğumunun su içeriğinin yaklaşık %70 olduğunu ve Prolin içeriğinin 2000-2500 $\mu\text{g g}^{-1}$ olduğunu, 1000 $\mu\text{g g}^{-1}$ üzerindeki çözünür şeker içeriğinin kışlık buğdayın kışı geçirmesine daha elverişli olduğunu göstermiştir; antioksidan stres yeteneği açısından, antioksidan sistemin stabilitesini korumak için birlikte çalışan tüm indeksler yüksek seviyede tutulmuştur. Her bir indeksin soğuğa dayanıklılığının alıcı işletim karakteristiği (ROC) eğrisinin analizi yoluyla, kışlık buğdayın soğuğa dayanıklılık modelini oluşturmak için kardeşlenme boğumu su içeriği, sertlik, prolin içeriği, çözünür şeker içeriği, MDA içeriği ve POD aktivitesi olmak üzere altı indeksi seçmiş ve modelin etkisini ROC eğrisi ile değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında oluşturdukları kışlık buğday kışı geçirme modeli, yeni kışlık buğday çeşitlerinin kışı geçirme yeteneğini değerlendirmek için uygun ve hızlı bir yöntem sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Dumlu (2023) çalışmasında, 2019-2022 yıllarında Doğu Anadolu Bölgesindeki üreticilerden toplayıp saflaştırılan 186 Kırık buğday genotip ve 8 standart çeşidi verim, verim unsurları, kalite özellikleri ve soğuğa dayanıklılık açısından karşılaştırmayı amaçlamıştır. Elde ettiği sonuçlara göre bazı Kırık genotiplerinin, verim ve kalite parametreleri ile soğuğa dayanıklılık açısından modern ıslah çeşitlerinden üstün performans gösterdiğini bildirmiştir.

Seçilen stn hatların, n-ıslah programlarında genetik kaynak olarak kullanılabileceği ve yeni buğday çeşitlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabileceğini belirtmiştir.

Ejaz *et al.* (2023), araştırmalarında yapmış oldukları meta-analizi ile yazlık ve kışlık buğdayın soğuk ve kuraklık ilişkilerinin risklerini değerlendirmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, bireysel stresler altında antioksidan enzimlerin aktivitelerinde önemli bir düşüş, kombine stresler altında reaktif oksijen türlerinde bir artış elde edilmiştir. Fotosentetik ve floresan aktivitelerinin kombine stresler altında azaldığını, ancak kışlık buğdayın, bireysel ve kombine stresler altında yazlık buğdaya göre klorofil ve klorofil floresanını tahmin etmede daha iyi sonuç gösterdiği sonucunu elde etmişlerdir. Bitki popülasyonunun %50'si için ölümcül sıcaklık (LT_{50}), kışlık buğdayda $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğunu, yazlık buğdayda ise $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında hayatta kalamadığını ortaya konulmuştur. Buna ek olarak, yazlık buğdayda kuraklık ve kışlık buğdayda soğuk altında tane ağırlığı önemli ölçüde azaldığı, kombine streslerin yazlık buğdayda tane ağırlığını etkilediğini, kışlık buğdayda ise önemli bir etki göstermediği sonucunu elde etmişlerdir. Sonuçta su potansiyeli, prolin ve stoma iletkenliğinin soğuk, kuraklık ve kombine stresleri tahmin etmek için en önemli değişkenler olduğunu belirtmişlerdir. Ekzojen salisilik asitin, birleşik stresler altında fotosentezi iyileştirerek antioksidan enzimleri, yaprak klorofil içeriğini ve su potansiyelini düzenlemek için bir yönetim stratejisi olarak kullanılabileceği önerilmiştir.

Jan *et al.* (2023), buğday genotiplerinde soğuk stres toleransının tarla taraması, elektrolit sızıntı testi ile hücre zarı stabilitesi ve biyokimyasal profillemeye yoluyla kapsamlı bir değerlendirme gerçekleştirmiştir. 4560 genotipten oluşan bir çekirdek seti iki yıl boyunca (2021-2022) değerlendirilmiş ve soğuk stresi toleransı için önemli genetik çeşitlilik ortaya çıkmıştır. Genotiplerin büyük bir oğuluğunun orta düzeyde tolerans gösterdiğini, azının ise soğuk stresine karşı duyarlılık gösterdiği belirtilmiştir. Genotipler arasında membran stabilitesinde önemli farklılıklar gözlemlenmiş ve bu özellik için genetik çeşitliliğin varlığını ortaya koymuştur. Ayrıca, bir mini çekirdek seti, lipid peroksidasyonu (MDA) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) gibi reaktif oksijen türleri, ozmoprotektan (prolin) ve askorbat peroksidaz (APX), süperoksit dismutaz (SOD), guaiakol peroksidaz (GPX) ve katalaz (CAT) gibi enzimatik antioksidanlar dahil olmak üzere çeşitli biyokimyasallar için daha sonra profillenen 50 farklı aday genotip ile sınırlandırmışlardır. Biyokimyasalların korelasyon analizi sonucuna göre, antioksidanlar ve reaktif oksijen türleri (ROS) arasındaki ilişkiler negatif olmuş ve soğuk stresi altında oksidatif hasarını azaltmada etkili olduklarını vurgulamışlardır. Sonuç olarak, bu çalışmanın, soğuk stres toleransının fizyolojik ve biyokimyasal mekanizmalarını anlamaya

katkı sağladığını ve üstün soğuk stres toleransına sahip genotiplerin buğday ıslahında değerli genetik kaynaklar olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Ji *et al.* (2023), buğdayın besin kalitesini potansiyel iklim koşulları altında artırmaya yönelik bilgiler sağlamak amacıyla farklı buğday çeşitlerini, sapa kalkma ve başaklanma aşamalarının bireysel ve birleşik dönemlerinde dört farklı düşük sıcaklık seviyesine maruz bırakmıştır. Genel olarak, soğuğa duyarlı çeşitte (Yangmai16) P, K, Ca ve Zn, soğuğa toleranslı çeşitte (Xumai30) ise K içeriğinin düşük sıcaklıkla arttığı, ancak Yangmai16'daki P, Ca ve Zn hariç, olgun tanelerdeki mineral birikiminin düşük sıcaklık uygulaması altında azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, başaklanma döneminde aşırı düşük sıcaklıklar altında Yangmai16 ve birleşik aşamalar (sapa kalkma ve başaklanma dönemi) süresince tüm düşük sıcaklık uygulamaları altında Xumai30 daha düşük kapsamlı değerlendirme değerlerine sahip olduğunu sonucunu elde etmişlerdir.

Lin *et al.* (2023), Yannong 19 (YN19, soğuğa dayanıklı) ve Xinmai 26 (XM26, soğuğa duyarlı) buğday çeşitlerinde ilkbahar geç soğuklarının tane sayısı ve verim üzerindeki etkilerini karşılaştırmak için iklim odasında iki sıcaklık (2 °C, -2 °C) ve üç süre (1, 2 ve 3 gün) altında terminal başakçık aşamasında iki yıllık bir çalışma yapmışlardır. İlkbahar geç soğuklarının bitki büyümesini geciktirdiğini, başak ve çiçek farklılaşmasını engelleyerek her iki çeşitte de yüksek verim kayıplarına yol açtığını, başak, gövde ve yapraklarda kuru madde birikimini (DMA, g) azaltarak başak-yaprak ve başak-gövde DMA oranlarını düşürdüğü sonucunu elde etmişlerdir. Genel olarak, ilkbahar geç soğuklarının altında toplam DMA'nın ve kuru maddenin başakçıklara bölünmesinin azalmasıyla, zayıf başakçık gelişimine neden olarak yüksek tane verimi kayıplarına yol açtığını belirtmişlerdir.

Wu *et al.* (2023), araştırmalarında, soğuk ön uygulamanın (cold priming) buğday bitkilerinde soğuk toleransını artırdığı ve bu süreçte oluşan stres hafızası izlerinin etkilerini incelemiştir. Priming sırasında buğday bitkileri, 10 °C/6 °C sıcaklıkta bir gün boyunca soğuk ön uygulamaya tabi tutulmuş ve ardından farklı zaman noktalarında (3, 6, 9, 12, 15 ve 18. günlerde) soğuk stresi (2 °C/0 °C) uygulanmıştır. Sonuçlar, priming uygulanmış bitkilerin özellikle priming sonrası 9. günde en güçlü direnç fenotipini gösterdiğini ve fotosistem II'nin (PSII) fotokimyasal kapasitesinin yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, priming sonrası 3-12. günler arasında soğuk stresi sonrasındaki iyileşme fazında fotosentez performansının daha hızlı toparlandığı gözlenmiştir. Bu artış, antena pigmentlerinin ve ışık toplama proteinlerinin sentezinin artması sayesinde ışık enerjisi Emilimi ve enerji transfer kapasitesindeki iyileşmelerle ilişkilendirilmiştir. Priming, antena pigmentlerinin bozulmasını önlemiş, PSII alt birimi S (PsbS) geninin ifadesini artırarak fotokimyasal olmayan söndürme

(NPQ) mekanizmasını desteklemiştir. Ayrıca, priming, QAQB aktif reaksiyon merkezlerinin oranını artırarak ışık enerjisi kullanımını optimize etmiştir. Stres hafızası izleri, özellikle priming sırasında oluşan yapraklarda (3. ve 4. yapraklar) belirgin hale gelmiş, zamanla etkisi azalsa da enerji kullanımı ve ışık verimliliğine katkı sağlamaya devam etmiştir. Bu bulgular, değişken sıcaklık koşullarının bitkiler üzerindeki uzun vadeli etkilerini anlamada ve tarımda soğuk toleransı yüksek bitki çeşitleri geliştirmede önemli bilgiler sunmaktadır.

Deryabin *et al.* (2024), çalışmalarında, buğdayın (*Triticum aestivum* L.) soğuğa tolerans mekanizmalarını incelemiştir. Araştırma, donmaya toleranslı ve soğuğa dayanıklı buğday genotiplerinde düşük sıcaklığa uzun süre maruz kaldıktan sonra birincil metabolitlerin (çözünür proteinler ve şekerler), büyüme ve fotosentetik sistemdeki değişiklikleri değerlendirmektedir. Fotosentetik genler (RbcS, RbcL) ve soğukta düzenlenen proteinleri kodlayan genlerin (Wcor726, CBF14) ifade düzeyleri incelenmiştir. Sonuçlar, donmaya toleranslı genotiplerin soğuğa adaptasyonunda çözünür protein artışı ve karbonhidrat metabolizmasının değişiminin önemli olduğunu, soğuğa dayanıklı genotiplerde ise protein seviyelerinin yüksek tutulduğunu göstermiştir. Adaptasyon stratejilerinin, gen ekspresyonları ile yakından ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Yapay Zekâ Yöntemleri

Dünya nüfusunun her geçen gün artmasına paralel olarak tarımın önemi de giderek artmaktadır. Bu nedenle, çoğu araştırmacı bu konu üzerine odaklanmış ve hem tarımsal üretimi artırmak hem de tarımın bazı zorluklarını çözmek için akıllı çiftlik teknolojileri adı altında yapay zekâyı tarımda uygulamaya çalışmıştır. Bal and Kayaalp (2021), tarım alanında makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarının kullanımı ile ilgili farklı veri tabanlarında yayınlanmış 77 makaleyi incelemiştir. Bu makaleler bitki tanıma, bitkide hastalık tespiti, toprak haritalama-kuraklık indeksi, yabancı ot ve zararlı tespiti ve bitki verim tahmini olmak üzere beş başlık altında sınıflandırılmıştır. İnceledikleri bu makalelere göre, çalışmalar arasında en popüler yöntemler, kullanılan veri setleri/türleri, seçilen performans ölçütleri ve performans sonuçları verilmiştir. Tarım alanı ile ilgili yapay zekâ tabanlı uygulamaların sayısının son zamanlarda geçmişe kıyasla arttığını ve verimlilikteki sürdürülebilirliğin umut verici olduğunu açıklamışlardır.

Shammi *et al.* (2023), buğday bitkilerinde don olaylarını tespit etmek için makine öğrenimi (ML) modellerinin kızılötesi termografi (IRT) görüntüleriyle nasıl kullanılabileceğini araştırmıştır. Geleneksel don hasarı değerlendirme yöntemleri, sıcaklık verileri ve elle yapılan incelemelere dayanmakta olup, bu yaklaşımlar hatalara, yoğun iş gücüne ve yönetim kararlarında gecikmelere yol açabilmektedir. Bu çalışmada, sahada yetişen buğday

bitkilerinin kış büyüme mevsimi boyunca toplanan IRT görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmada, dört farklı ML modeli (Extreme Gradient Boosting (XGBoost), Rastgele Orman (RF), Evrişimli Sinir Ağları (CNN) ve ResNet-50) kullanılarak, bitkilerde buzlanma ve süper soğuma gibi don olayları tespit edilmiştir. Sonuçlar, RF modelinin don olaylarını tespit etmede en hızlı sınıflandırma süresine (yaklaşık 17 ms/görüntü) sahip olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, gelecekte otomatik ve gerçek zamanlı saha içi bitki don izleme sistemlerinin geliştirilmesi için önemli bilgiler sunmaktadır.

Gou *et al.* (2024), makine öğrenimi (ML) ve derin öğrenmenin (DL), bitkilerde biyotik ve abiyotik streslerin yönetiminde nasıl kullanıldığını incelemiştir. Tarımsal üretimde verim kayıplarına neden olan bu stresler, bitkilerin genetik ifadelerinden metabolik faaliyetlerine kadar birçok süreç üzerinde etkili olmuştur. Ancak düşük seviyeli stres koşullarının bazı durumlarda bitki dayanıklılığı ve faydalı metabolit üretimi gibi olumlu özellikleri tetiklediği görülmektedir. Çalışmada, yüksek çözünürlüklü uydu ve insansız hava aracı (İHA) görüntüleme teknolojileri gibi yüksek verimli araçlarla elde edilen geniş veri kümeleri ele alınmıştır. ML ve DL algoritmaları, bu verilerden yararlanarak bitki streslerinin erken tespit edilmesini ve stres yönetim stratejilerinin geliştirilmesini sağlamaktadır.

Tarım sektöründe, özellikle bitki ıslahı alanında, küresel gıda güvenliği ve iklim değişikliğinin ortaya çıkardığı sorunları değerlendirmek için yenilikçi yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Yapay zekâ buğday bitkisinin ıslahında, değişen iklim koşullarına karşı daha yüksek verim ve dayanıklılığını artırmak için yeni yaklaşımlar sağlayan bir teknoloji olarak görülmektedir. Mustaq *et al.* (2024) derlemelerinde, modern tarımın karmaşıklıklarını ele almada YZ'nin katkısına odaklanarak, yapay zekânın geleneksel buğday ıslah yöntemlerine dahil edilmesini incelemişlerdir. Yapay zekâ teknolojilerinin buğday ıslahı projelerinin verimliliğini, hassasiyetini ve sürdürülebilirliğini artırma üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Genomik seleksiyon, derin öğrenme ve makine öğrenimi gibi çeşitli yapay zekâ uygulamalarını değerlendirmek amacıyla yapılan son araştırmaların analizini yapmışlardır. Sonuçta bu teknolojilerin, kapsamlı veri kümelerinin hızlı bir şekilde analizini ve yorumlanmasını hızlandırarak, farklı çevresel koşullara uygun buğday çeşitlerinin seçilmesi ve ıslah edilmesi sürecini geliştirdiğini açıklamışlardır. İncelenen araştırmadan elde edilen bulgular, yapay zekânın bir sonucu olarak buğday ıslahında kayda değer bir ilerleme olduğunu göstermektedir. Makine öğrenimi algoritmalarının fenotipik özelliklerin tahmin edilmesindeki hassasiyeti artırdığını, genomik seleksiyon ıslah döngülerinin süresini ise kısalttığını belirtmişlerdir. Yapay zekânın kullanıldığı yüksek verimli fenotipleme, farklı stres ortamları altında bitki özelliklerinin titizlikle incelenmesine olanak tanıyarak sağlam çeşitlerin

belirlenmesini kolaylaştırdığını açıklamışlardır. Ayrıca, yapay zekâ odaklı modellerin, geleneksel yöntemlere kıyasla ürün verimliliği ve hastalık direnci için üstün tahmin doğrulukları sergilediğini belirtmişlerdir. Yapay zekâ uygulamalarının, buğday ıslahı uygulamalarında önemli olduğu ve ürün performansı ile birlikte adaptasyon kabiliyetinde de önemli gelişmeler sağladığını açıklamışlardır. Çeşitli alanlarda devam eden çalışmalar ve işbirliğinin, bu yapay zekâ uygulamalarının iyileştirilmesi ve optimize edilmesi ve bunun sonucunda sürdürülebilir tarıma etkilerinin artırılması için çok önemli olduğunu açıklamışlardır.

Muratoglu *et al.* (2025), buğday üretiminin sanal su içeriği (VWC) ve verimini tahmin etmek için makine öğrenimi (ML) tekniklerini kullanmıştır. Türkiye'nin 81 ilinden (2008-2019) toplanan iklim, toprak ve tarımsal verilerle geliştirilen Lineer Regresyon (LR) ve Rastgele Orman (RF) modelleri, VWC ve verim tahminlerini yüksek doğrulukla yapmıştır. Karşılaştırmalı analiz, LR'nin üstün performansını ortaya koymuş, farklı coğrafi bölgelerde hem VWC hem de buğday verimini tahmin etmede yüksek doğruluk ($R^2 = 0,98$) ve sürekli olarak düşük hata oranları ($<5\%$) elde etmiştir. Çalışma, Nisan yağışları ve sezon başı sıcaklıklarının kritik faktörler olduğunu belirlemiş ve özellikle veriye erişimi sınırlı bölgelerde daha erişilebilir ve doğru tahminler yapılabileceğini göstermiştir.

Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Makine öğrenmesi, büyük veri kümeleri üzerindeki işlemleri daha hızlı ve daha verimli hale getirmek için kullanılan bir teknolojidir. Belirli amaçlar için geliştirilen veriler ve modeller, karmaşık bilgilerin daha anlaşılır bir hale getirilmesine yardımcı olmaktadır (Alpaydin 2014). Makine öğrenimi, makineleri sınıflandırma ve tahmin yapma konusunda eğitme sürecidir; istatistik ve bilgisayar biliminin birleşimidir. Eğitim sürecinde, farklı algoritmalar kullanılarak veri kümelerinden modeller oluşturulmaktadır. Farklı makine öğrenimi modellerinin var olmasının nedeni, verilerin çeşitliliği, türleri, özellikleri ve istenen sonuçların farklı olmasından kaynaklanmaktadır (Sakal 2020). Makine öğreniminde kullanılan algoritmaların bazıları aşağıda sıralanmıştır:

Basit ve çoklu doğrusal regresyon (Simple and Multiple Linear Regression)

Makine öğrenimi modelleme tekniklerinden en popüler olmasıyla birlikte iyi bilinen regresyon tekniğinden biridir. Bu regresyon tekniğinde bağımlı değişken sürekli, bağımsız değişken(ler), sürekli veya kesikli olabilmekte ve regresyon doğrusunun şekli ise doğrusaldır. Doğrusal regresyon, bağımlı değişken (Y) ile bir veya daha fazla bağımsız değişken (X)

arasında en uygun düz doğruyu kullanarak bir ilişki oluşturmaktadır (Han *et al.* 2011; Sarker 2021). Aşağıdaki denklemler ile tanımlanır:

$$y = a + bx + e$$

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + e$$

Burada a kesişim, b doğrunun eğimi ve e hata terimidir. Bu denklem, verilen tahmin edici değişken(ler)e dayanarak hedef değişkenin değerini tahmin etmek için kullanılabilir. Çoklu doğrusal regresyon, basit doğrusal regresyonun bir uzantısı olup, iki veya daha fazla tahmin edici değişkenin bir yanıt değişkeni olan y 'yi ikinci denklemde tanımlanan doğrusal bir fonksiyon (Han *et al.* 2022) olarak modellemesine izin verirken, basit doğrusal regresyon birinci denklemde tanımlanan yalnızca bir bağımsız değişkene sahiptir.

Rastgele orman (Random forest (RF))

Rastgele orman, birden fazla karar ağacından oluşmakta ve her ağaç farklı rastgele vektörlere göre eğitilmekte ve tahmin edilmektedir. Bu yöntem, doğruluğu artırarak ve güçlü sınıflandırıcılar üreterek aşırı uyum riskini azaltmaktadır (Breiman 2001). Böylece aşırı kıvrılma sorununu en aza indirmekte ve tahmin doğruluğunu ve kontrolü artırmaktadır (Pedregosa *et al.* 2011). Bundan dolayı, birden fazla karar ağacına sahip olan RF öğrenme modeli tipik olarak tek bir karar ağacı tabanlı modelden daha doğru sonuçlar vermektedir (Sarker *et al.* 2019).

Aşırı gradyan artırma (Extreme Gradient Boosting (XGboost))

Bir dizi bireysel modele, tipik olarak karar ağaçlarına dayalı bir nihai model oluşturan bir topluluk öğrenme algoritmasıdır. Gradyan, sinir ağlarının (Han *et al.* 2022) ağırlıkları optimize etmek için gradyan inişini kullanmasına benzer şekilde kayıp fonksiyonunu en aza indirmek için kullanılır. XGBoost, en iyi modeli belirlemeye çalışırken daha ayrıntılı yaklaşımları dikkate alan bir gradyan artırma biçimidir (Pedregosa *et al.* 2011). Kaybı ve gelişmiş reguarizasyonu (L1 ve L2) en aza indirmek için kayıp fonksiyonunun ikinci dereceden gradyanlarını hesaplar (Pedregosa *et al.* 2011), bu da aşırı uyumu azaltır ve model genellemesini ve performansını iyileştirir. XGBoost'un yorumlanması daha hızlıdır ve büyük boyutlu veri kümeleriyle iyi başa çıkabilmektedir (Sarker, 2021).

LASSO ve ridge regresyonu (LASSO and Ridge Regression)

LASSO ve Ridge regresyonu, aşırı uyumu önleme ve modelin karmaşıklığını azaltma yetenekleri nedeniyle tipik olarak çok sayıda özelliğin varlığında öğrenme modelleri oluşturmak için kullanılan güçlü teknikler olarak iyi bilinmektedir. LASSO (en küçük mutlak

küçülme ve seçim operatörü) regresyon modeli, “katsayıların büyüklüğünün mutlak değerini” (L1 cezası) cezalandıran küçülmeyi kullanan L1 düzenleme tekniğini kullanmaktadır (Pedregosa *et al.* 2011). Öte yandan, ridge regresyonu “katsayıların karesel büyüklüğü” (L2 cezası) olan L2 düzenlemesi kullanmaktadır (Pedregosa *et al.* 2011). Genellikle, LASSO regresyonu daha az önemli özellikleri eleyerek bir tahminci alt kümesi elde etmek için kullanışlı olurken, ridge regresyonu ise bir veri setinde diğer tahmincilerle korelasyon gösteren tahmincileri ifade eden “çoklu doğrusallığa” sahip olduğunda kullanışlı olmaktadır (Sarker, 2021).

K-En yakın komşular (K-Nearest Neighbors (KNN))

KNN, “tembel öğrenme” algoritması olarak da bilinen bir “örnek tabanlı öğrenme” veya genellenemeyen öğrenme olarak bilinmektedir (Aha *et al.* 1991). Genel bir iç model oluşturmaya odaklanmamaktadır, ancak bunun yerine, eğitim verilerine karşılık gelen tüm örnekleri n boyutlu uzayda saklamaktadır. KNN verileri kullanmakta ve yeni veri noktalarını benzerlik ölçütlerine göre sınıflandırmaktadır (Pedregosa *et al.* 2011). Sınıflandırma işlemi, her noktanın K-En yakın komşusunun basit bir çoğunluk oyu ile hesaplanmaktadır. Gürültülü eğitim verilerine karşı oldukça dayanıklı ve doğruluğu veri kalitesine bağlı olmaktadır. KNN ile ilgili en büyük sorun, dikkate alınacak en uygun komşu sayısını seçmektir. KNN hem sınıflandırma hem de regresyon için kullanılabilir (Sarker, 2021).

MATERYAL VE METOT

Materyal

Çalışmada İran Tebriz Üniversitesi Islah Merkezinden temin edilen 180 adet rekombinant kendilenmiş ekmeklik buğday hattı ile ebeveynleri olan Norstar ve Zagros çeşitleri bitki materyali olarak kullanılmıştır. Norstar çeşidi, soğuğa dirençli ($LT_{50}=-22,25$ °C), Zagros çeşidi ise soğuğa hassas ($LT_{50}=-3,5$ °C) bir buğday çeşididir.

Yöntem

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Araştırma ve Yayım Merkezi Müdürlüğüne ait 4 numaralı deneme alanında ve Necmettin Erbakan Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanında 2022-2023 yetiştirme yılında iki lokasyonda (Erzurum ve Ereğli/Konya) yürütülmüştür. Deneme tam şansa bağlı blok deneme desenine göre iki tekrarlı olacak şekilde kurulmuş ve değerlendirilmiştir.

Gübreleme

Gübre kaynağı olarak amonyum sülfat (AS, %21) ve triple süper fosfat (TSP, %42-43) kullanılmıştır. Azotlu gübrenin yarısı ekim döneminde, diğer yarısı ise sapa kalkma döneminde olmak üzere toplamda dekara 6 kg; fosforun (P_2O_5) ise tamamı (6 kg/da) ekim döneminde verilmiştir (Kıral ve Özcan 1990; Akkaya 1993).

Tohumların tarlaya ekilmesi

Ekim işlemi, 2022-2023 yetiştirme yılında 01.10.2022 (Erzurum) ve 25.10.2022 (Konya) tarihlerinde kışlık olarak yapılmıştır. Araştırmada tohumlar, 4-5 cm derinliğe 20 cm sıra aralığı ile 1 m uzunluğunda sıralara metreye 100 tohum hesabıyla her genotipten 2 sıra olacak şekilde elle ekim yapılmıştır.

Hasat ve harman işlemi

Hasat işlemi, 16.07.2023 (Konya) ve 11.08.2023 (Erzurum) tarihlerinde yapılmıştır. Her genotipe ait sıralar ayrı ayrı hasat ve harman edilmiştir. Her bir genotipe ait tohumlar ayrı ayrı kese kağıtlarına konulmuş ve diğer parametrelerin ölçümleri için laboratuvara taşınmıştır.



Şekil 1. Erzurum ve Konya lokasyonlarında tohumların tarlaya ekimi



Şekil 2. Hasat işlemi



Şekil 3. Harman işlemi

Deneme yerinin iklim verileri

Erzurum ve Konya (Ereğli) ili için 2022-2023 yetiştirme yılına ve uzun yıllara ait iklim verileri Tablo 1, Şekil 4 ve Şekil 5’te verilmiştir.

Erzurum lokasyonunda, Tablo 1’deki iklim verilerine göre toplam yağış miktarı 2022-2023 yetiştirme yılında ($460,2 \text{ mm}=\text{kg}\div\text{m}^2$) uzun yıllar ortalamasına ($431,5 \text{ mm}=\text{kg}\div\text{m}^2$) göre daha yüksek; aylık ortalama nispi nem 2022-2023 yetiştirme yılında ve uzun yıllar ortalaması aynı oranda (% 64,9); ortalama sıcaklık 2022-2023 yetiştirme yılında ($7,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) uzun yıllar ortalamasına ($5,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$) göre daha yüksek; ortalama en düşük sıcaklık 2022-2023 yetiştirme yılında ($- 0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$) uzun yıllar ortalamasına ($- 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) göre daha yüksek ve ortalama en yüksek sıcaklık ise 2022-2023 yetiştirme yılında ($14,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$) uzun yıllar ortalamasına ($12,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) göre daha yüksek olmuştur.

Konya (Ereğli) lokasyonunda Tablo 1’deki iklim verilerine göre toplam yağış miktarı 2022-2023 yetiştirme yılında ($287,4 \text{ mm}=\text{kg}\div\text{m}^2$) uzun yıllar ortalamasına ($314,3 \text{ mm}=\text{kg}\div\text{m}^2$) göre daha düşük; aylık ortalama nispi nem 2022-2023 yetiştirme yılında (% 57,2) uzun yıllar ortalamasına göre (% 60,8) daha düşük; ortalama sıcaklık 2022-2023 yetiştirme yılında ($13,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) uzun yıllar ortalamasına ($11,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$) göre daha yüksek; ortalama en düşük sıcaklık 2022-2023 yetiştirme yılında ($6,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$) uzun yıllar ortalamasına ($5,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) göre daha yüksek ve ortalama en yüksek sıcaklık ise 2022-2023 yetiştirme yılında ($20,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) uzun yıllar ortalamasına ($19,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) göre daha yüksek olmuştur.

Erzurum ve Konya lokasyonlarını karşılaştırdığımızda 2022-2023 ürün yetiştirme yılında aylık ortalama toplam yağış miktarı ve aylık ortalama nispi nem Erzurum lokasyonunda; ortalama sıcaklık, ortalama en düşük sıcaklık ve ortalama en yüksek sıcaklık ise Konya lokasyonunda daha fazla olmuştur (Tablo 1).

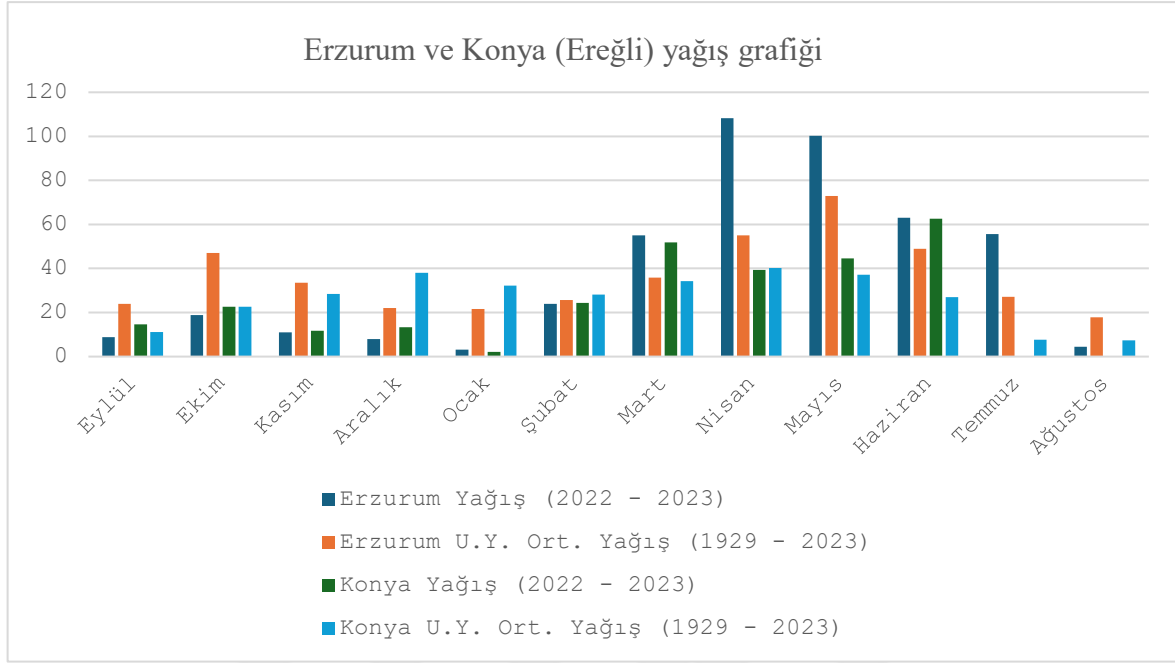
Tablo 1. Erzurum ve Konya İlinin Araştırmanın Yürütüldüğü 2022-2023 Yılı İle Uzun Yıllar Ortalamasına (UYO: 1929-2023) Ait Bazı İklim Verileri*

Lokasyon	Aylar	Aylık ort. top. yağış miktarı (mm=kg÷m ²)		Aylık Ortalama Nispi Nem (%)		Ortalama sıcaklık (°C)		Ort. en düşük sıcaklık (°C)		Ort. en yüksek sıcaklık (°C)	
		2022-2023	UYO	2022-2023	UYO	2022-2023	UYO	2022-2023	UYO	2022-2023	UYO
ERZURUM	Eylül	8,8	24,0	42,9	50,4	15,4	14,8	4,3	6,4	25,7	22,7
	Ekim	18,8	47,0	57,7	62,8	9,4	8,2	1,1	1,7	17,6	15,2
	Kasım	11,0	33,5	69,3	72,6	3,1	1,2	-3,3	-3,8	10,2	6,9
	Aralık	7,9	22,1	83,4	77,8	-1,6	-5,7	-6,3	-10,2	4,0	-0,9
	Ocak	3,2	21,6	71,1	77,6	-5,5	-9,1	-12,4	-13,9	2,7	-3,9
	Şubat	24,0	25,7	79,6	77,3	-11,0	-7,7	-17,6	-12,6	-4,2	-2,3
	Mart	55,1	35,8	74,1	74,6	3,8	-2,4	-0,3	-7,0	8,4	2,6
	Nisan	108,2	55,1	70,1	65,9	6,0	5,4	0,1	0,0	12,3	11,0
	Mayıs	100,2	72,9	64,6	62,6	10,4	10,7	3,8	4,3	16,9	16,9
	Haziran	63,0	48,9	66,6	58,0	14,8	14,9	7,0	7,3	22,3	21,8
	Temmuz	55,6	27,1	57,2	51,6	18,2	19,2	9,0	11,1	26,5	26,6
	Ağustos	4,4	17,8	42,1	47,9	21,2	19,5	10,6	11,2	30,9	27,3
	Top./Ort.	460,2	431,5	64,9	64,9	7,0	5,8	-0,3	-0,5	14,4	12,0
KONYA	Eylül	14,6	11,1	40,9	52,7	20,5	18,5	12,3	9,7	28,9	27,4
	Ekim	22,6	22,6	61,0	62,1	13,5	12,8	7,2	5,4	20,3	20,8
	Kasım	11,8	28,5	67,0	69,3	8,5	6,6	2,7	0,6	15,2	13,7
	Aralık	13,4	38,1	80,5	75,8	5,0	2,0	0,9	-2,4	10,2	7,6
	Ocak	2,2	32,2	70,9	75,4	2,2	0,1	-3,5	-4,4	9,4	5,6
	Şubat	24,4	28,1	69,5	70,5	-0,4	1,8	-5,2	-3,3	5,6	7,8
	Mart	51,8	34,3	60,7	63,0	8,4	6,4	3,0	0,3	15,0	12,9
	Nisan	39,4	40,2	55,8	57,5	11,7	11,6	5,6	4,9	18,4	18,4
	Mayıs	44,6	37,1	54,3	56,4	16,0	16,0	9,0	8,7	23,1	23,3
	Haziran	62,6	27,0	58,0	51,8	20,1	20,1	13,8	12,1	26,7	27,8
	Temmuz	0,0	7,7	36,1	46,1	24,2	23,2	16,0	14,5	31,7	31,5
	Ağustos	0,0	7,4	32,0	48,4	26,8	22,8	17,8	13,9	35,3	31,5
	Top./Ort.	287,4	314,3	57,2	60,8	13,0	11,8	6,6	5,0	20,0	19,0

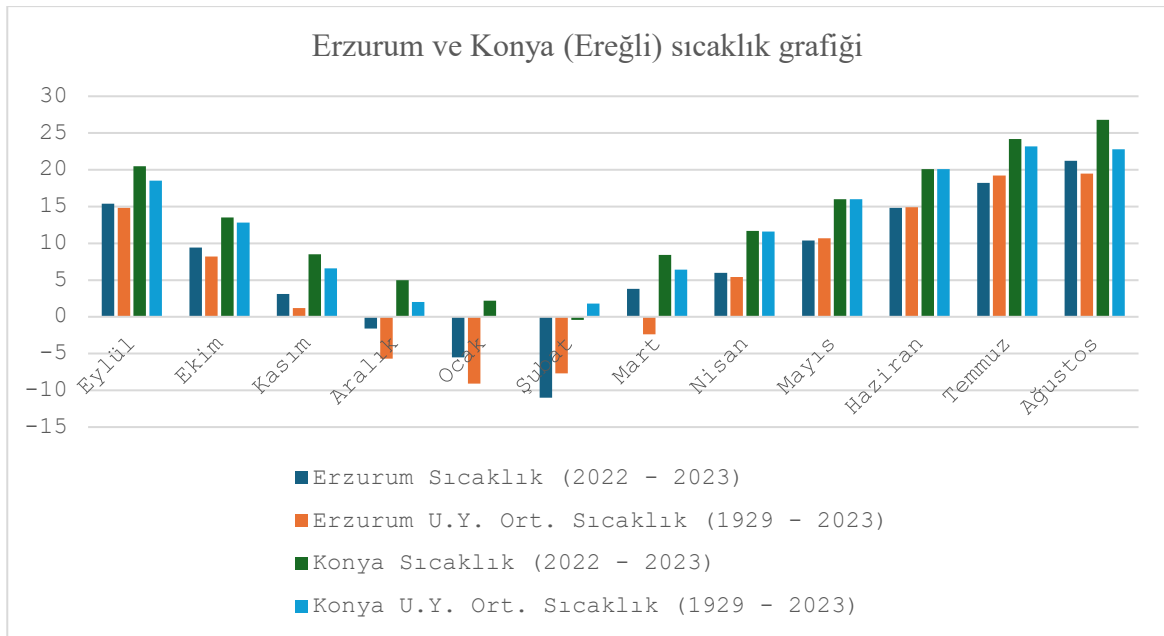
*Erzurum Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü ve Konya Meteoroloji 8. Bölge Müdürlüğü

Şekil 4'teki yağış grafiğine baktığımızda özellikle Nisan - Ağustos ayları arasında geçen beş aylık süreçte Erzurum lokasyonunda Konya lokasyonuna göre yağış miktarı daha yüksek olmuş ve bu durum bitki gelişiminde lokasyonlar arasında farklılığa neden olmuştur. Şekil

5'teki sıcaklık grafiğine göre özellikle kış aylarındaki ortalama sıcaklık değerlerine baktığımızda Erzurum lokasyonunda sıcaklık 0 °C'nin altında düşmüş Konya lokasyonunda ise yalnızca Şubat ayında sıcaklık 0 °C'nin altında düşmüştür. Erzurum lokasyonunda daha düşük sıcaklık dereceleri bitkilerin kıştan zarar görmesini artırmıştır.



Şekil 4. Erzurum ve Konya (Ereğli) lokasyonlarının 2022 -2023 üretim sezonu ve uzun yıllar ortalamasına ait ortalama yağış grafiği



Şekil 5. Erzurum ve Konya (Ereğli) lokasyonlarının 2022 -2023 üretim sezonu ve uzun yıllar ortalamasına ait ortalama sıcaklık grafiği

Tablo 2. Erzurum ve Konya (Ereğli) İlinde 2022-2023 Ürün Yılına Ait Günlük Minimum Sıcaklık Değerleri

Gün/Ay	Ekim (2022)		Kasım (2022)		Aralık (2022)		Ocak (2023)		Şubat (2023)		Mart (2023)		Nisan (2023)		Mayıs (2023)		Haziran (2023)		Temmuz (2023)		Ağustos (2023)	
	Erzurum	Konya	Erzurum	Konya	Erzurum	Konya	Erzurum	Konya	Erzurum	Konya	Erzurum	Konya	Erzurum	Konya	Erzurum	Konya	Erzurum	Konya	Erzurum	Konya	Erzurum	Konya
1	1,9	13,8	0,9	2,2	0,0	2,7	-17,5	-4,7	-8,5	-2,7	-12,7	3,1	-8,2	-1,5	1,3	2,6	3,6	12,6	5,8	15,0	8,6	15,0
2	0,6	13,7	-8,7	0,5	2,2	4,7	-17,8	-6,6	-6,5	-5,8	-3,3	3,8	-4,0	2,8	0,1	3,2	3,9	11,7	5,1	14,2	8,7	18,1
3	2,6	11,6	-8,5	-0,1	-2,8	0,7	-14,7	-7,1	-19,0	-10,7	-2,5	7,0	1,8	5,8	0,6	4,6	6,0	12,8	8,5	17,0	6,5	19,5
4	10,6	10,3	1,3	1,5	-6,2	-0,1	-14,8	-8,2	-27,5	-2,7	0,9	4,3	-2,0	5,7	-4,1	5,9	7,7	13,3	8,8	19,1	8,1	18,0
5	7,5	11,5	-4,3	2,3	-1,9	0,5	-13,8	-9,4	-11,4	-3,3	1,6	5,9	1,7	5,1	-2,1	6,6	3,9	13,8	8,1	18,1	11,7	16,3
6	1,9	9,7	1,2	2,3	-5,0	1,6	-15,6	-6,0	-8,4	-1,8	1,2	1,6	-2,1	6,2	0,7	11,8	4,9	11,3	15,4	17,4	15,8	15,8
7	2,7	8,4	-7,8	7,2	-4,3	-1,1	-4,7	-1,3	-7,3	-5,7	-2,7	-1,8	-2,6	4,1	4,8	7,6	2,0	12,3	15,4	20,0	9,8	18,5
8	6,3	11,4	1,9	5,2	-5,3	2,2	-6,7	-6,5	-14,2	-8,6	-4,4	2,2	-0,1	0,8	2,2	9,6	6,7	13,6	11,7	19,3	9,0	19,2
9	9,9	11,0	0,9	5,4	-4,0	0,3	-11,5	-3,3	-24,6	-11,4	-6,7	2,6	-2,5	6,8	4,6	6,8	10,0	14,8	11,7	15,3	15,8	20,3
10	2,4	6,4	-0,2	4,5	-6,6	0,1	-18,4	-7,9	-26,2	-8,7	-4,9	3,6	2,0	9,0	2,3	10,1	11,1	14,2	6,3	15,4	15,8	20,2
11	1,4	5,8	-0,4	0,9	-3,6	3,1	-17,5	-2,9	-27,3	-8,9	-0,8	3,9	3,5	6,3	5,7	10,1	7,7	14,8	8,8	11,2	14,6	20,6
12	-3,4	6,8	-7,0	0,1	-1,8	4,9	-9,8	0,8	-31,1	-11,8	4,1	10,3	3,2	2,6	4,9	11,2	7,7	13,0	4,0	11,8	14,5	18,9
13	2,0	8,4	-9,0	0,0	0,1	5,6	-13,7	-4,3	-30,5	-10,5	3,0	3,5	0,2	4,2	5,9	9,6	10,5	12,3	4,1	14,1	8,9	19,2
14	1,1	7,0	-8,2	-1,6	-4,2	6,6	-15,3	-4,5	-31,3	-10,4	2,7	2,0	0,9	0,7	5,5	7,8	6,7	13,7	6,4	15,4	12,8	20,6
15	3,0	10,7	-9,2	-1,8	2,0	5,8	-9,0	-2,8	-30,6	-12,9	4,5	5,1	-1,5	4,9	0,5	8,9	6,2	13,2	7,3	16,9	11,1	21,4
16	6,9	9,0	-9,5	2,7	-0,4	6,1	-13,6	-2,1	-22,8	-6,9	2,8	0,8	-2,8	6,8	-1,2	9,8	5,3	13,4	8,7	20,3	10,0	20,5
17	4,9	10,6	-0,6	0,0	-6,6	2,6	-6,0	-2,7	-14,1	-9,8	4,6	4,6	0,3	6,9	0,0	12,1	6,2	15,1	7,0	14,2	8,7	18,8
18	4,3	10,6	-3,7	4,7	-9,0	1,7	-11,0	-0,5	-25,6	-8,0	0,4	2,1	-0,5	7,7	4,4	10,6	5,8	13,8	7,0	14,1	11,3	18,1
19	8,0	10,5	0,1	8,8	-9,0	0,2	-12,4	-1,5	-16,2	-4,2	2,1	2,8	2,1	14,2	5,1	10,3	4,1	15,0	6,3	14,2	7,7	18,2
20	4,8	11,2	-5,5	4,1	-5,3	0,7	-13,1	-2,7	-6,6	-2,5	0,0	3,3	4,5	9,8	10,1	10,0	7,2	14,7	8,2	14,0	11,8	18,1
21	5,9	7,2	-6,3	5,1	-1,5	-0,8	-12,5	-2,8	-5,2	0,0	0,4	1,1	1,7	5,8	6,1	7,7	7,2	12,9	9,4	15,9	16,0	17,1
22	1,9	2,1	-0,9	7,9	-10,9	1,0	-11,1	-3,5	-7,5	-3,0	0,6	1,6	0,4	6,5	4,0	11,4	8,4	11,5	9,6	17,3	10,6	18,1
23	-5,0	-0,2	0,4	2,4	-11,7	-0,8	-13,2	-4,0	-2,9	-0,4	1,0	5,6	-1,5	6,7	6,6	11,7	8,9	13,2	11,6	17,5	10,5	16,4
24	-2,8	2,1	-5,7	2,7	-10,3	-1,9	-8,0	-3,4	-14,6	-0,5	2,3	6,7	2,5	6,9	5,9	9,4	6,9	11,8	10,7	17,6	9,3	14,6
25	-5,6	3,0	3,2	4,9	-9,7	-1,6	-12,5	-3,9	-21,1	0,4	1,8	2,8	1,6	4,8	6,7	8,7	6,8	13,9	12,1	19,5	10,6	15,6
26	-7,2	1,5	2,6	3,6	-13,0	0,2	-15,3	-5,3	-17,4	0,2	4,5	3,0	-0,9	7,4	7,5	10,0	7,4	15,3	9,1	12,3	8,5	15,7
27	-2,5	2,8	-1,7	1,3	-11,9	-2,7	-19,2	-2,2	-17,0	1,3	3,0	5,9	3,3	8,8	2,9	9,5	11,8	16,9	11,3	16,0	7,0	15,0
28	-6,2	3,6	-6,0	0,6	-13,2	-4,0	-9,6	5,2	-16,2	2,8	-3,6	5,0	0,6	5,0	5,9	12,2	10,0	16,7	8,6	19,7	10,2	16,8
29	-6,8	1,2	-7,2	2,8	-8,9	-2,8	-7,2	-0,1	-	-	1,8	-0,5	1,4	2,4	9,0	8,9	8,5	16,9	9,6	14,7	11,2	14,9
30	-8,8	0,0	-2,2	0,1	-16,9	-3,4	-11,7	-0,6	-	-	-5,1	-3,5	0,7	3,9	7,8	10,6	6,8	16,5	9,5	15,3	6,4	15,5
31	-7,1	2,4	-	-	-17,0	-3,2	-7,6	-4,1	-	-	-6,6	-5,4	-	-	4,0	10,9	-	-	12,6	14,4	8,1	16,3

Bitki ekim tarihinden hasat tarihine kadar geçen süre içerisinde günlük minimum sıcaklık değerleri Erzurum lokasyonunda Konya lokasyonuna göre daha düşük olmuştur (Tablo 2). Günlük ortalama kar yüksekliği Aralık, Ocak ve Mart aylarında Erzurum lokasyonunda çok düşük olmuş; Ocak ve Mart aylarında Konya lokasyonunda hiç olmamıştır. Şubat ayında ise günlük ortalama kar yüksekliği Erzurum lokasyonunda maksimum 37,0 cm; Konya lokasyonunda 15,0 cm olmuştur (Tablo 3). Kışlık buğdayda kışa dayanıklılık açısından kar örtüsü çok önemli ve olumlu bir etki göstermekte, düşük sıcaklıkların etkisini engelleyerek, toprak sıcaklığını koruyacak şekilde izolasyon görevi yapmaktadır. Şubat ayı dışında diğer kış aylarındaki günlük ortalama kar yüksekliğinin çok düşük veya hiç olmamasından dolayı her iki lokasyonda da bitki ölümleri gerçekleşmiştir.

Tablo 3. Erzurum ve Konya (Ereğli) İlinde 2022-2023 Ürün Yılına Ait Günlük Ortalama Kar Yüksekliği (cm) Değerleri

Gün/Ay	Aralık (2022)		Ocak (2023)		Şubat (2023)		Mart (2023)	
	Erzurum	Konya	Erzurum	Konya	Erzurum	Konya	Erzurum	Konya
1	-	-	-	-	1,0	5,0	3,0	-
2	-	-	-	-	6,0	9,0	2,0	-
3	-	-	-	-	25,0	6,0	-	-
4	-	-	-	-	20,0	7,0	-	-
5	-	-	-	-	21,0	11,0	-	-
6	1,0	-	-	-	28,0	11,0	-	-
7	1,0	-	-	-	30,0	15,0	-	-
8	-	-	-	-	37,0	15,0	-	-
9	-	-	-	-	37,0	12,0	-	-
10	-	-	-	-	36,0	10,0	-	-
11	-	-	-	-	34,0	9,0	-	-
12	-	-	-	-	31,0	8,0	-	-
13	-	-	-	-	30,0	7,0	-	-
14	-	-	-	-	29,0	7,0	-	-
15	-	-	3,0	-	29,0	6,0	-	-
16	-	-	1,0	-	27,0	5,0	-	-
17	-	-	-	-	26,0	4,0	-	-
18	-	-	-	-	24,0	3,0	-	-
19	-	-	-	-	22,0	2,0	-	-
20	-	-	-	-	21,0	-	2,0	-
21	-	-	-	-	20,0	-	-	-
22	-	-	-	-	16,0	-	-	-
23	-	-	-	-	11,0	-	-	-
24	-	-	-	-	9,0	-	-	-
25	-	-	-	-	8,0	-	-	-
26	-	1,0	-	-	6,0	-	-	-
27	-	1,0	-	-	5,0	-	-	-
28	-	-	2,0	-	4,0	-	-	-
29	-	-	4,0	-	-	-	-	-
30	-	-	3,0	-	1,0	5,0	2,0	-
31	-	-	-	-	-	9,0	8,0	-

Deneme alanının bazı toprak özellikleri

Deneme alanının toprak özellikleri, Tablo 4’te görüldüğü üzere çalışmanın yürütüldüğü yılda her iki lokasyonda da organik madde içeriği orta, kireçli, tuzsuz, orta derece alkalın ve killi tın tekstür sınıfına sahip olmuştur. Toprak özellikleri değerlerinde farklılıklar olmasına rağmen sınıfsal olarak lokasyonlar arasında bir farklılık olmamıştır.

Tablo 4. Deneme Alanının Bazı Toprak Özellikleri

Lokasyon	Organik Madde (%)	Organik madde sınıfı	Kireç (%)	Kireç sınıfı	EC (µmhos/cm) (1:2,5)	Tuzluluk Sınıfı	pH	pH Sınıfı	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	Tekstür Sınıfı
Erzurum	2,19	Orta	4,61	Kireçli	349	Tuzsuz	8,10	Orta derece alkalın	35,6	29,2	35,2	Killi tın
Konya (Ereğli)	2,33	Orta	3,41	Kireçli	223	Tuzsuz	8,02	Orta derece alkalın	31,9	31,4	36,7	Killi tın

Denemede yapılan gözlem ve ölçümler

Her iki lokasyonda da aşağıda belirtilen tarımsal özellikler ve soğuğa dayanıklılık ile ilgili parametrelerde her genotip için ayrı ayrı ölçümler yapılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir.

Kıştan önce canlı bitki sayısı

Her bir genotipe ait 200 adet tohum 1 m uzunluğundaki 2 sraya (her sraya 100 adet tohum) ayrı ayrı ekilmiştir ve kıştan önce çıkış gösteren bitkiler sayılmıştır.



Şekil 6. Kıştan önce çıkış yapan bitkilerin genel görünüşü (Erzurum)

Kıştan sonra canlı bitki sayısı

Her genotipte kış öncesi sayımın yapıldığı sıralarda kıştan sonra hayatta kalan bitkiler sayılmıştır.



Şekil 7. Kıştan sonra Erzurum lokasyonundaki denemenin genel görüntüsü



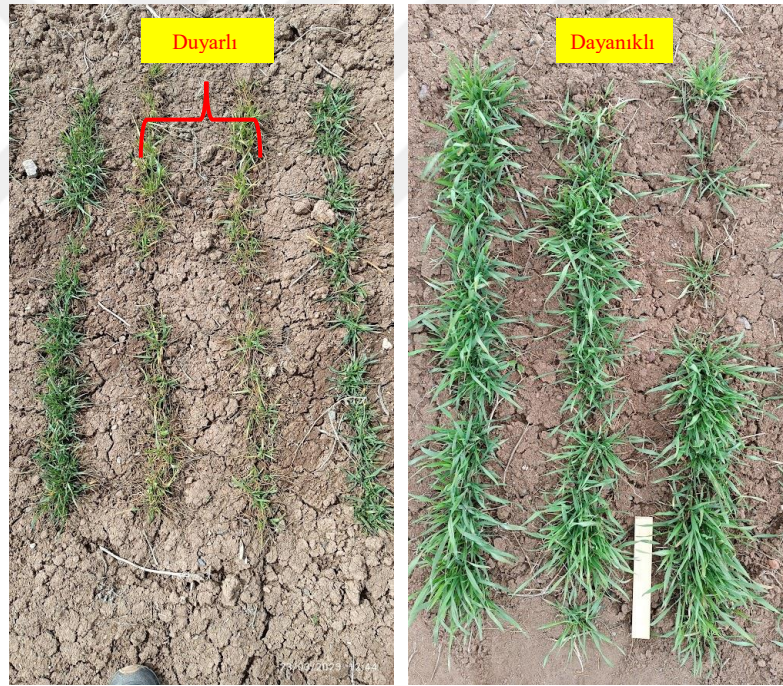
Şekil 8. Kıştan sonra Konya (Ereğli) lokasyonunun genel görüntüsü

Kış zararı

Kış zararı kıştan önce çıkış yapan bitki sayısı ile kıştan sonra hayatta kalan bitki sayısı arasındaki fark alınarak bu fark kıştan önceki bitki sayısına göre yüzde azalma olarak hesaplanmış ve kış zararı olarak verilmiştir.

Soğuk zararının görsel olarak değerlendirilmesi

Kıştan sonra her genotipe ait sıralar ayrı ayrı gözlemlenmiş, sıradaki bitkilerde yaprak uçlarının sararması ve zarar görmesine dikkat edilerek gözle görsel soğuk zararı % olarak belirlenmiştir. Ayrıca görsel değerlendirme sırasında 1 - 9 skalası kullanılarak zararlanma indeksi (Zİ) belirlenmiştir (Certel 2016; Kantar vd 2018). Bu ölçümlerde, 1. En çok toleranslı (zarar yok), 2. Çok toleranslı (en fazla % 10 'unda), 3. Dayanıklı (% 11-20 'sinde), 4. Orta derece toleranslı (% 21-40 'ında), 5. Orta (% 41-60 'ında), 6. Orta derece hassas (% 61-80 'inde), 7. Hassas (% 81-90 'inde), 8. Çok hassas (% 91-99 'unda) ve 9. (tamamında soğuk zararı var ve bitkiler ölmüş) şeklinde değerlendirilmiştir.



Şekil 9. Soğuk zararının görsel olarak değerlendirilmesi



Şekil 10. Erzurum lokasyonundaki denemenin 10 Mayıs tarihinde genel görüntüsü



Şekil 11. Konya (Ereğli) lokasyonundaki denemenin 10 Mayıs tarihinde genel görüntüsü

Çiçeklenme süresi

Ekim tarihi ile her bir sıradaki bitkilerin başaklarının yaklaşık %50'sinde orta kısımlarındaki çiçeklerde anterlerin dışarı çıkış zamanına kadar geçen gün sayısı çiçeklenme süresi olarak belirlenmiştir (Zadoks *et al.*, 1974; Fischer, 1985).



Şekil 12. Çiçeklenme gözlemlerinin alınması

Fizyolojik olum süresi

Ekim tarihi ile her sıradaki başakların yaklaşık %50'sinin tamamen sarardığı tarih arasındaki gün sayısı fizyolojik olum süresi olarak belirlenmiştir (Acevedo *et al.* 2002)

Bitki boyu (cm)

Hasat olgunluğu döneminde her sıradan şansa bağlı olarak seçilen 10 başaklı sap üzerinde, toprak yüzeyinden itibaren kılçık hariç başağın en üst başakcığına kadar olan uzunluk cm cinsinden ölçülmüş ve ortalamaları alınmıştır (Öztürk 1999).

Metrekarede başak sayısı

Olgunluk zamanında, 1 m uzunluğundaki sıranın içerisindeki başaklar sayılarak 5 ile çarpılmış ve metrekaredeki başak sayısı hesaplanmıştır (Öztürk 1999).

Başak uzunluğu (cm)

Her sıradan şansa bağlı olarak alınan 10 adet başakta ölçüm yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.

Başakta başakçık sayısı

Her sıradan şansa bağlı olarak alınan 10 adet başak örneğinin başağındaki başakçık sayısı alınmış ve ortalamaları kaydedilmiştir.

Başakta tane sayısı

Her parselden şansa bağlı olarak alınan 10 adet başak ayrı ayrı harman edilip taneleri sayılmıştır ve ortalamaları alınıp başak başına tane sayısı adet olarak tespit edilmiştir (Öztürk 1999).

Bin tane ağırlığı (g)

Her sıradan alınan tane ürününden 4 defa 100'er tane sayılarak 0.001 g duyarlı terazide tartılıp, elde edilen ortalama değer 10 ile çarpılarak 1000 tane ağırlığı hesaplanmıştır (Öztürk 1999).

Biyolojik verim (kg/da)

Her sıradaki bitkiler ayrı ayrı hasat edildikten sonra tarlada 3 gün kurutulmuş ve daha sonra tartılmıştır. Elde edilen değerler hasat alanına oranlanarak biyolojik verimler elde edilmiştir (Öztürk 1999).

Tane verimi (kg/da)

Harmandan sonra elde edilen her genotipin tohumları temizlenmiş ve tartılmıştır. Elde edilen değerler hasat alanına oranlanarak ve tane verimi kg/da olarak hesaplanmıştır (Öztürk 1999).

Hasat indeksi (%)

Tane verimi biyolojik verime oranlanarak hesaplanmıştır (Öztürk 1999).

Yaprak klorofil içeriği

SPAD 502 Chlorophyll-Meter cihazı (Model SPAD 502, Minolta, Japan) kullanılarak çiçeklenme, çiçeklenmeden 15 gün sonra ve çiçeklenmeden 25 gün sonraki dönemlerinde her sıradan şansa bağlı olarak seçilen 3 adet bayrak yaprağı ayası üzerinde ölçüm yapılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir (Rodriguez *et al.* 2004).

Yaprak klorofil floresans parametreleri

Çiçeklenme, çiçeklenmeden 15 gün ve 25 gün sonraki dönemlerde her bitki sırasından şansa bağlı olarak seçilen 3 adet bayrak yaprağı ayası ışığı tutan klipsler ile tutturulup 20-25 dakika karanlığa alıştırılmıştır. Ardından taşınabilir bir klorofil floresans sistemi (Handy Pea, Hansatech Instruments Kink's Lynn, UK) ile PSII maksimum enerji verimleri (Fv/Fm) ölçümleri yapılmış ve ortalaması alınarak klorofil floresans parametreleri kaydedilmiştir (Guo *et al.* 2008).



Şekil 13. Klorofil floresans ölçümleri

Kanopi sıcaklık farkı

Kanopi sıcaklığı (T_c) çiçeklenme, çiçeklenmeden 15 gün ve çiçeklenmeden 25 gün sonraki dönemlerde her bitki sırasından şansa bağlı olarak seçilen 3 adet bayrak yaprağı ayası, bulutsuz ve yağmursuz bir günde, taşınabilir bir kızılötesi termometre ile (Model Testo 830 T2) okunarak elde edilmiştir. Ayrıca bitki boyu ile aynı yükseklikteki hava sıcaklığı (T_a) dijital bir termometre (Temperature-Humidity HTC-2) ile ölçülmüş ve T_a - T_c arasındaki sıcaklık farkı elde edilmiştir (Araghi and Assad 1998).

Soğuğa dayanıklılık derecesi (LT_{50} değeri)

Çalışmamızda kullanılan genotiplerin soğuğa dayanıklılık dereceleri Parisa BOLOURI (2018)'nin doktora tezinden alınmıştır.

Sonuçların Değerlendirilmesi

Elde edilen veriler SPSS 20 bilgisayar programı kullanılarak lokasyon, genotip ve lokasyon x genotip interaksyonu için varyans analizine tabi tutulmuştur. Genotiplere ait ortalamaların karşılaştırılmasında %5 önemlilik düzeyine göre Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Korelasyon ve regresyon verileri SPSS 20 programı ile elde edilmiştir.

Bu çalışmada geliştirilen yapay zekâ algoritmalarının doğrulama ve test işlemleri, Google Colab platformunda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 8 farklı model (Linear Regression, Ridge Regression, Lasso Regression, Random Forest, Support Vektör Regressor, K-Nearest

Neighbors, Gradient Boosting ve XGBoost) ve 4 farklı değerlendirme metriği (MSE, MAE, MAPE ve R^2) kullanılmıştır.

MSE (Mean Squared Error - Ortalama Kare Hatası), gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki karesel farktır. Yani MSE bize en iyi uyum çizgisinin nokta kümesine ne kadar yakın olduğunu söyler. MSE her zaman pozitif bir değerdir. Negatif işaretleri ortadan kaldırmak için kare alınır. MSE sıfıra ne kadar yakınsa, tahmin o kadar doğrudur yani daha küçük bir MSE daha doğru bir tahmine işaret etmektedir. Formülü aşağıdaki gibidir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

n: Tahmin sayısı

Y_i : Gözlemlenen değerler

$\hat{Y}_i$: Öngörülen değerler

MAE (Mean Absolute Error - Ortalama Mutlak Hata), bize gözlenen değer ile tahmin edilen değerler arasındaki mutlak farkın ortalamasını verir. Daha küçük bir MAE daha doğru bir tahmine işaret etmektedir. MAE ve MSE arasındaki fark, MAE'nin tahmin edilen değerler ile gözlenen değerler arasındaki mutlak farkı alması, MSE'nin ise karesel farkı almasıdır. Formülü aşağıdaki gibidir.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|$$

MAPE (Mean Absolute Percentage Error - Ortalama Mutlak Yüzde Hatası), tahminleme modellerinin doğruluğunu değerlendirmek için kullanılan hata ölçütlerinden biridir. Özellikle zaman serisi analizleri ve regresyon modellerinde tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerden ne kadar sapma gösterdiğini yüzdelik bir biçimde ifade etmektedir. Daha düşük bir MAPE daha doğru bir tahmine işaret etmektedir. Aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right| \times 100$$

R^2 (Coefficient of Determination - Belirleme Katsayısı), bir modelin bağımsız değişkenlerinin, bağımlı değişkendeki varyansı açıklama oranını gösteren bir istatistiktir. Regresyon analizinde R^2 , modelin uyum iyiliğini değerlendirmek için kullanılır. Bu değer 0 ile 1 arasında değişir ve 1'e yakın olması, modelin bağımlı değişkeni çok iyi şekilde açıkladığını göstermektedir. Yani, R^2 değeri bire ne kadar yakın olursa, modelin tahmin gücü o kadar güçlü olmaktadır.

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{TSS}$$

SSR: Artıkların Karelerinin Toplamı

TSS: Toplam Kareler Toplamı

Düzeltilmiş R-Kare için formül şu şekilde verilir:

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{(1 - R^2)(n - 1)}{n - p - 1}$$

p: Tahmin edicilerin sayısı

n: Toplam örnek sayısı.



ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çalışmamızda 180 rekombinant kendilenmiş hat ve 2 ebeveyn olmak üzere toplam 182 genotip iki farklı lokasyonda tam şansa bağlı blok deneme deseninde iki tekrarlı olarak yürütülmüştür. Elde edilen bulgular aşağıda her bir parametre için ayrı ayrı verilmiştir.

Kıştan Önce Bitki Sayısı (KÖBS)

Kıştan önce çıkış yapan bitki sayısı tarlada fide tesisi için önemli bir parametredir. Tablo 5'te görüldüğü gibi varyans analizi sonucuna göre, lokasyon ve genotip uygulamalarının kıştan önce bitki sayısı üzerine etkisi çok önemli ($p<0,01$), lokasyon $\times$ genotip interaksyonu ise önemsiz bulunmuştur.

Tablo 5. Farklı Lokasyonlarda 182 Genotipe Ait Kıştan Önce Bitki Sayısı (KÖBS), Kıştan Sonra Bitki Sayısı (KSBS), Kış Zararı (KZ), Görsel Soğuk Zararı (GSZ), Zararlanma İndeksi (Zİ), Çiçeklenme Süresi (ÇS) ve Fizyolojik Olum Süresi (FOS) Parametrelerinin Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	KARELER ORTALAMASI							
	SD	KÖBS	KSBS	KZ	GSZ	Zİ	ÇS	FOS
Lokasyon	1	2250,6**	3086,5**	39589,0**	12811,7**	82,3**	733869,5**	775855,4**
Genotip	181	1152,3**	820,9**	212,6*	241,0**	1,2**	19,8**	31,8**
Lokasyon $\times$ Genotip	181	180,3	158,3*	188,2	157,8**	0,9**	6,0**	9,2
Hata	364	146,6	127,5	158,6	99,8	0,6	3,2	10,2
Toplam	728							

* ile işaretli kareler ortalaması değerleri 0,05 hata ihtimali düzeyinde önemlidir.

** ile işaretli kareler ortalaması değerleri 0,01 hata ihtimali düzeyinde önemlidir.

Tablo 6'daki birleşik değerlerde görüldüğü gibi genotipler arasında kıştan önce bitki çıkış sayısı %7,5 - 79,8 arasında değişmiştir. Kıştan önce bitki sayısı en fazla 127 nolu hatta (%79,8), en düşük ise 50 nolu hatta (%7,5) elde edilmiştir. Lokasyon ortalamalarına baktığımızda ise Erzurum lokasyonunda (%53,6) Konya lokasyonuna (%50,1) göre kıştan önce daha fazla bitki sayısı elde edilmiştir.

Tablo 6. Farklı Lokasyonlarda 182 Genotipe Ait Kıştan Önce Bitki Sayısı (KÖBS), Kıştan Sonra Bitki Sayısı (KSBS) ve Kış Zararı (KZ) Parametrelerinin Ortalama Değerleri

Genotipler	KÖBS (%)			KSBS (%)			KZ (%)		
	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik
NOR	21,0	16,0	18,5	14,5	16,0	15,3	31,7	0,0	15,8
ZAG	32,5	46,0	39,3	11,5	45,0	28,3	72,3	2,3	37,3
G1	65,0	76,0	70,5	58,0	73,5	65,8	11,2	3,3	7,2
G2	53,0	71,5	62,3	48,0	65,5	56,8	10,8	7,4	9,1
G3	42,5	53,5	48,0	36,0	43,5	39,8	15,2	14,9	15,0
G4	39,5	64,0	51,8	36,5	55,5	46,0	8,0	14,8	11,4
G5	56,5	68,0	62,3	48,5	68,0	58,3	13,9	0,0	6,9
G6	8,0	8,5	8,3	5,0	8,5	6,8	37,5	0,0	18,8
G7	24,0	28,5	26,3	18,5	26,5	22,5	29,5	7,1	18,3
G8	45,5	74,0	59,8	38,0	66,0	52,0	16,6	10,9	13,8
G9	38,0	47,0	42,5	29,0	41,0	35,0	26,9	13,5	20,2
G10	67,0	74,5	70,8	55,0	62,5	58,8	17,8	16,2	17,0
G11	44,5	57,0	50,8	39,0	44,5	41,8	18,9	19,8	19,3
G12	51,5	47,0	49,3	46,0	46,5	46,3	10,2	1,1	5,6
G13	62,0	73,0	67,5	47,5	65,0	56,3	26,1	11,0	18,5
G14	52,5	62,0	57,3	41,0	53,5	47,3	28,1	14,0	21,0
G15	26,5	19,0	22,8	25,5	17,5	21,5	2,4	6,5	4,4
G16	14,5	5,0	9,8	10,5	5,0	7,8	23,1	0,0	11,5
G17	10,5	7,5	9,0	7,5	7,5	7,5	30,3	0,0	15,2
G18	34,5	46,5	40,5	22,0	25,5	23,8	36,0	32,2	34,1
G19	74,0	47,0	60,5	65,0	44,5	54,8	12,6	4,5	8,5
G20	81,0	66,5	73,8	69,5	54,5	62,0	14,6	17,5	16,0
G21	32,0	18,5	25,3	25,5	15,0	20,3	19,9	18,8	19,4
G22	65,0	68,5	66,8	55,0	56,5	55,8	16,4	17,3	16,8
G23	53,0	58,0	55,5	48,5	49,5	49,0	7,8	13,9	10,8
G24	49,5	61,5	55,5	35,0	55,5	45,3	30,2	8,8	19,5
G25	39,0	47,5	43,3	31,0	45,0	38,0	28,8	6,3	17,5
G26	31,0	26,5	28,8	21,5	26,5	24,0	29,4	0,0	14,7
G27	63,0	51,0	57,0	47,5	41,0	44,3	22,5	20,2	21,3
G28	54,5	53,0	53,8	47,0	46,5	46,8	13,6	12,1	12,8
G29	55,5	52,5	54,0	45,0	49,5	47,3	18,9	5,8	12,3
G30	58,5	56,5	57,5	53,5	53,0	53,3	8,7	6,0	7,3
G31	57,5	55,5	56,5	52,0	50,5	51,3	10,3	10,0	10,1
G32	34,0	24,5	29,3	25,0	22,5	23,8	26,3	8,4	17,3
G33	43,0	31,5	37,3	27,5	31,5	29,5	42,8	0,0	21,4
G34	11,0	7,5	9,3	9,5	6,0	7,8	16,1	21,5	18,8
G35	22,0	31,0	26,5	16,0	29,5	22,8	27,4	5,0	16,2
G36	48,0	52,5	50,3	39,0	51,5	45,3	19,8	2,0	10,9
G37	51,0	68,0	59,5	35,0	63,0	49,0	32,5	7,8	20,1
G38	38,5	62,0	50,3	22,5	60,0	41,3	46,1	3,9	25,0
G39	35,0	30,0	32,5	16,5	29,5	23,0	50,5	1,4	25,9
G40	61,0	62,0	61,5	52,0	60,0	56,0	14,7	3,4	9,0
G41	66,0	56,0	61,0	53,0	52,0	52,5	19,7	6,6	13,1
G42	56,5	63,0	59,8	47,5	58,5	53,0	16,4	8,2	12,3
G43	68,5	68,5	68,5	46,5	64,5	55,5	32,5	6,4	19,4
G44	68,5	48,0	58,3	56,0	44,0	50,0	15,6	8,9	12,3
G45	61,5	42,0	51,8	49,5	38,0	43,8	19,5	10,5	15,0
G46	34,5	36,5	35,5	30,0	33,5	31,8	16,0	7,4	11,7
G47	53,5	71,0	62,3	40,5	67,0	53,8	22,2	6,1	14,1
G48	53,0	54,0	53,5	41,5	52,0	46,8	18,6	3,1	10,9
G49	56,5	50,5	53,5	30,0	43,0	36,5	47,1	15,4	31,2
G50	6,5	8,5	7,5	6,0	8,0	7,0	10,0	4,6	7,3
G51	26,5	36,0	31,3	23,0	30,5	26,8	20,1	15,3	17,7
G52	77,5	57,0	67,3	62,0	51,5	56,8	19,0	9,5	14,3
G53	55,5	55,5	55,5	48,5	54,0	51,3	12,6	2,4	7,5
G54	60,0	62,0	61,0	46,5	54,0	50,3	20,1	13,6	16,8
G55	50,5	60,5	55,5	32,5	54,0	43,3	36,5	9,9	23,2
G56	62,5	62,5	62,5	49,5	56,0	52,8	19,8	10,3	15,0
G57	75,0	59,5	67,3	57,0	51,5	54,3	24,2	13,0	18,6
G58	56,0	41,5	48,8	49,5	37,0	43,3	11,6	9,0	10,3
G59	56,5	59,5	58,0	47,5	49,5	48,5	17,4	13,6	15,5
G60	59,5	57,5	58,5	47,5	50,5	49,0	19,9	11,6	15,7
G61	70,0	55,0	62,5	47,5	55,0	51,3	34,2	0,0	17,1
G62	63,0	61,0	62,0	51,5	59,5	55,5	17,6	2,8	10,2

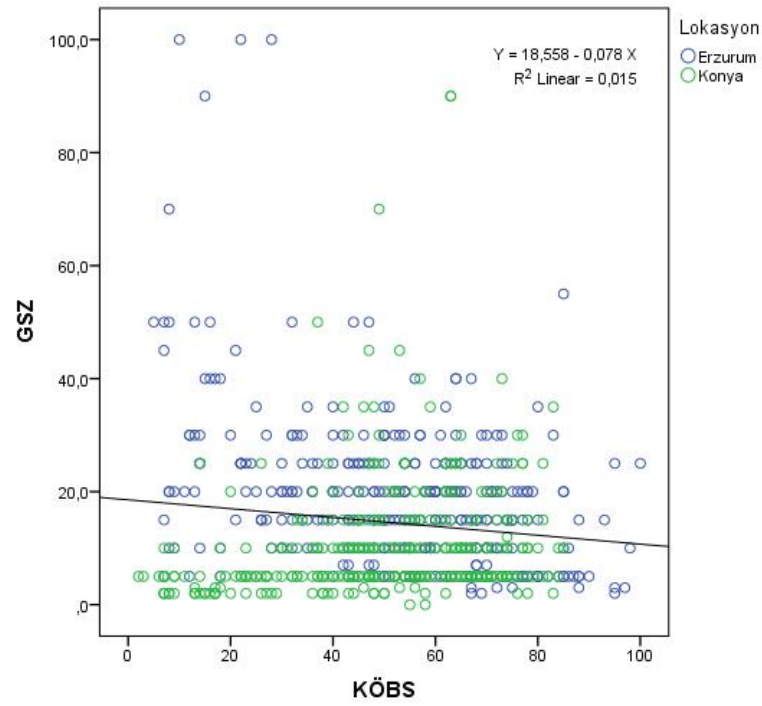
Tablo 6. (Devamı)

G63	68,5	43,0	55,8	54,0	43,0	48,5	21,3	0,0	10,6
G64	28,5	29,0	28,8	12,5	27,0	19,8	56,5	5,3	30,9
G65	78,0	48,0	63,0	60,0	45,0	52,5	23,8	6,5	15,2
G66	69,5	49,0	59,3	48,0	46,0	47,0	30,9	6,5	18,7
G67	71,5	55,0	63,3	52,5	55,0	53,8	26,4	0,0	13,2
G68	69,5	45,5	57,5	53,5	36,0	44,8	23,1	22,2	22,6
G69	63,0	61,5	62,3	43,5	55,0	49,3	32,7	11,5	22,1
G70	71,0	44,0	57,5	56,5	42,0	49,3	20,4	4,6	12,5
G71	75,0	72,5	73,8	58,5	64,0	61,3	21,8	11,9	16,8
G72	47,5	37,0	42,3	43,5	33,0	38,3	7,3	10,7	9,0
G73	55,0	45,5	50,3	52,0	43,5	47,8	5,4	4,3	4,8
G74	68,0	50,0	59,0	56,5	40,5	48,5	16,7	19,4	18,0
G75	57,5	43,5	50,5	34,0	37,0	35,5	38,9	14,0	26,5
G76	16,0	27,0	21,5	13,0	26,5	19,8	18,3	1,4	9,8
G77	19,5	7,0	13,3	14,0	7,0	10,5	28,4	0,0	14,2
G78	60,0	61,5	60,8	50,5	56,5	53,5	15,8	9,7	12,7
G79	65,0	46,0	55,5	55,0	33,0	44,0	15,5	28,5	22,0
G80	57,0	51,0	54,0	41,5	34,0	37,8	28,0	33,4	30,7
G81	77,5	49,0	63,3	60,0	46,0	53,0	22,8	5,4	14,1
G82	66,5	50,5	58,5	56,5	48,0	52,3	14,8	5,2	10,0
G83	43,0	29,0	36,0	30,0	22,5	26,3	31,5	22,1	26,8
G84	52,5	53,5	53,0	27,5	49,0	38,3	47,2	10,5	28,8
G85	36,5	24,0	30,3	23,0	16,5	19,8	37,5	30,7	34,1
G86	46,5	54,0	50,3	39,0	45,0	42,0	15,8	17,7	16,8
G87	66,0	64,5	65,3	59,5	56,0	57,8	9,9	14,4	12,1
G88	67,5	65,0	66,3	51,0	55,0	53,0	23,9	16,9	20,4
G89	26,0	17,5	21,8	19,0	17,5	18,3	28,1	0,0	14,1
G90	19,0	16,5	17,8	10,5	16,5	13,5	38,5	0,0	19,3
G91	54,5	56,5	55,5	35,0	45,0	40,0	34,0	22,5	28,3
G92	34,0	46,5	40,3	26,5	43,0	34,8	27,1	7,7	17,4
G93	65,0	59,0	62,0	47,5	56,5	52,0	27,3	3,4	15,4
G94	15,5	16,5	16,0	12,0	13,5	12,8	19,2	19,5	19,3
G95	74,0	63,0	68,5	53,5	58,5	56,0	27,6	7,2	17,4
G96	49,5	54,5	52,0	31,0	46,5	38,8	41,0	14,8	27,9
G97	50,5	52,5	51,5	35,5	38,5	37,0	32,8	27,4	30,1
G98	80,0	52,0	66,0	59,0	48,5	53,8	25,6	6,5	16,0
G99	58,0	45,5	51,8	44,5	42,5	43,5	23,3	6,8	15,0
G100	55,5	59,5	57,5	45,0	57,0	51,0	19,0	4,3	11,7
G101	60,0	55,0	57,5	49,0	48,5	48,8	17,8	10,8	14,3
G102	44,0	46,0	45,0	27,5	40,0	33,8	37,1	12,8	25,0
G103	52,5	51,5	52,0	40,0	40,5	40,3	26,5	21,6	24,0
G104	70,0	59,0	64,5	51,5	57,5	54,5	25,6	3,1	14,3
G105	70,0	43,5	56,8	52,0	39,0	45,5	19,5	10,3	14,9
G106	61,5	62,0	61,8	50,0	59,0	54,5	16,0	5,8	10,9
G107	58,5	46,5	52,5	48,0	42,0	45,0	16,2	9,7	13,0
G108	53,5	56,0	54,8	46,0	46,0	46,0	13,8	17,8	15,8
G109	45,0	26,5	35,8	24,0	23,5	23,8	43,8	11,3	27,5
G110	46,5	66,5	56,5	32,5	66,0	49,3	32,0	1,1	16,5
G111	45,5	71,5	58,5	37,0	65,5	51,3	22,4	8,9	15,7
G112	11,0	32,0	21,5	7,0	29,0	18,0	35,9	10,1	23,0
G113	54,5	51,0	52,8	38,0	49,0	43,5	34,0	3,6	18,8
G114	53,0	64,5	58,8	31,0	58,5	44,8	40,9	9,7	25,3
G115	49,0	57,0	53,0	40,5	54,0	47,3	17,0	5,3	11,1
G116	62,5	58,5	60,5	45,0	48,5	46,8	28,3	15,8	22,0
G117	51,0	46,0	48,5	34,0	34,0	34,0	33,2	23,4	28,3
G118	57,5	60,5	59,0	38,5	50,0	44,3	33,8	19,1	26,4
G119	63,0	71,5	67,3	52,0	61,0	56,5	17,5	13,6	15,6
G120	49,5	70,0	59,8	40,5	70,0	55,3	19,7	0,0	9,8
G121	27,0	52,5	39,8	14,5	42,5	28,5	45,0	17,7	31,3
G122	28,0	25,5	26,8	11,0	22,0	16,5	60,7	11,0	35,8
G123	85,0	65,5	75,3	57,5	60,0	58,8	32,3	8,4	20,3
G124	76,5	67,5	72,0	46,0	57,5	51,8	40,8	15,2	28,0
G125	80,0	59,0	69,5	55,0	52,5	53,8	30,3	11,7	21,0
G126	74,0	61,0	67,5	46,5	52,0	49,3	37,6	15,0	26,3
G127	80,5	79,0	79,8	45,0	75,0	60,0	45,0	5,3	25,1
G128	72,5	69,0	70,8	52,0	61,0	56,5	28,2	11,7	19,9
G129	50,0	39,5	44,8	37,0	39,0	38,0	24,9	1,6	13,3
G130	34,5	35,0	34,8	25,5	33,5	29,5	27,8	3,5	15,6

Tablo 6. (Devamı)

G131	80,0	63,0	71,5	56,5	52,5	54,5	29,1	14,7	21,9
G132	57,0	60,5	58,8	36,0	55,5	45,8	42,3	8,5	25,4
G133	74,5	69,0	71,8	49,0	61,5	55,3	32,1	10,9	21,5
G134	64,0	48,0	56,0	44,0	43,5	43,8	29,3	9,4	19,3
G135	77,5	56,5	67,0	49,5	43,5	46,5	33,5	23,0	28,2
G136	93,0	55,0	74,0	71,5	50,0	60,8	22,4	9,0	15,7
G137	82,5	45,0	63,8	58,0	37,5	47,8	27,2	16,8	22,0
G138	81,0	41,0	61,0	65,0	34,5	49,8	19,8	15,1	17,4
G139	68,0	39,0	53,5	45,0	33,5	39,3	33,8	14,0	23,9
G140	29,0	22,5	25,8	15,0	20,5	17,8	48,5	8,7	28,6
G141	85,0	53,0	69,0	57,5	44,5	51,0	32,4	15,9	24,1
G142	22,0	21,0	21,5	16,0	17,0	16,5	27,3	44,5	35,9
G143	33,5	13,5	23,5	23,0	12,0	17,5	31,6	11,6	21,6
G144	73,0	63,0	68,0	53,5	62,0	57,8	26,8	1,5	14,1
G145	69,5	56,0	62,8	55,0	53,5	54,3	20,6	4,1	12,3
G146	67,5	71,5	69,5	51,0	66,0	58,5	24,5	7,6	16,1
G147	51,5	28,0	39,8	36,5	27,5	32,0	28,7	1,9	15,3
G148	80,5	64,0	72,3	59,5	54,0	56,8	24,9	16,1	20,5
G149	70,0	56,5	63,3	54,0	47,0	50,5	22,7	15,6	19,1
G150	73,0	50,5	61,8	57,0	43,5	50,3	21,8	13,6	17,7
G151	50,0	55,5	52,8	31,0	50,0	40,5	38,4	9,9	24,1
G152	72,5	57,5	65,0	55,0	46,0	50,5	23,9	21,0	22,5
G153	76,0	66,5	71,3	53,0	61,0	57,0	30,9	8,5	19,7
G154	66,0	63,0	64,5	34,5	45,0	39,8	51,8	28,6	40,2
G155	67,0	56,0	61,5	49,5	40,0	44,8	24,7	24,5	24,6
G156	67,5	57,5	62,5	54,5	36,5	45,5	19,3	28,6	23,9
G157	72,0	73,0	72,5	55,0	51,5	53,3	23,6	31,4	27,5
G158	77,0	69,0	73,0	61,0	57,5	59,3	20,7	15,8	18,2
G159	64,0	77,5	70,8	54,0	55,0	54,5	15,5	28,5	22,0
G160	64,0	64,5	64,3	42,5	51,5	47,0	35,5	19,7	27,6
G161	70,0	73,0	71,5	47,5	52,5	50,0	32,3	28,1	30,2
G162	61,5	75,0	68,3	35,5	54,0	44,8	39,6	27,1	33,3
G163	49,0	54,0	51,5	37,0	47,5	42,3	24,3	9,7	17,0
G164	16,5	20,0	18,3	10,0	11,5	10,8	38,1	40,8	39,5
G165	58,0	61,0	59,5	41,5	40,5	41,0	29,2	32,1	30,7
G166	55,0	63,0	59,0	39,5	54,5	47,0	28,4	12,9	20,6
G167	56,5	51,0	53,8	44,5	38,5	41,5	21,3	24,0	22,6
G168	47,5	49,0	48,3	39,0	45,0	42,0	17,7	8,5	13,1
G169	50,0	48,5	49,3	42,5	42,0	42,3	15,3	13,1	14,2
G170	54,0	53,5	53,8	37,0	40,5	38,8	31,5	22,0	26,8
G171	54,5	55,5	55,0	33,5	52,0	42,8	39,5	6,3	22,9
G172	13,5	17,0	15,3	9,5	10,0	9,8	30,0	41,2	35,6
G173	74,5	56,0	65,3	54,0	54,0	54,0	27,8	3,6	15,7
G174	55,0	62,0	58,5	43,0	56,5	49,8	22,2	8,5	15,3
G175	21,5	10,0	15,8	14,0	10,0	12,0	35,5	0,0	17,7
G176	11,0	7,0	9,0	7,5	6,0	6,8	31,0	14,3	22,6
G177	65,0	45,0	55,0	46,5	42,0	44,3	28,0	6,5	17,3
G178	9,5	14,5	12,0	5,5	9,5	7,5	45,2	22,8	34,0
G179	52,5	80,0	66,3	28,0	74,5	51,3	52,2	6,8	29,5
G180	47,5	71,0	59,3	34,0	62,0	48,0	28,6	12,7	20,6
Ortalama	53,6	50,1	51,9	39,9	44,1	42,0	26,4	11,7	19,0
LSD değerleri									
Lokasyon	1,8			1,6			1,8		
Genotip	16,8			15,7			17,5		
L × G	23,8			22,2			24,8		

Şekil 14'teki regresyon denklemine göre kıştan önce çıkış yapan bitki sayısı arttıkça görsel soğuk zararı azalmaktadır ($Y = 18,558 - 0,078X$). Ancak R^2 değeri çok düşüktür (0,015). Bu da kıştan önce bitki sayısının görsel soğuk zararını neredeyse hiç açıklamadığını göstermektedir.



Şekil 14. Kıştan önce bitki sayısı (KÖBS) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler

Tohum canlılığı, soğuk stresi ve düşük nem çimlenme aşamasında sınırlayıcı faktörlerdir (Brigg *et al.* 1979). Buriro *et al.* (2011), 10-30 °C'de buğdayın çimlenme yüzdesinin %80-97 olduğunu ve buğday tohumunun çimlenmesi için optimum sıcaklığın 20-30 °C olduğunu açıklamıştır. Zabihi-e-Mahmoodabad *et al.* (2011) ise 8-10 °C'nin altındaki sıcaklıkların çimlenmeyi önemli ölçüde azalttığını belirtmiştir. Soğuk stresi altında besin ve su alım hızı ve miktarı azalmakta, hücre kuruması ile sonuçlanmaktadır. Donma stresi hücre sıvısında buz oluşumuna neden olup, hücrede ve nihayetinde bitkide kullanılacak suyun kalmamasına ve ölmesine yol açmaktadır (Scott *et al.* 2004; Wan *et al.* 2009).

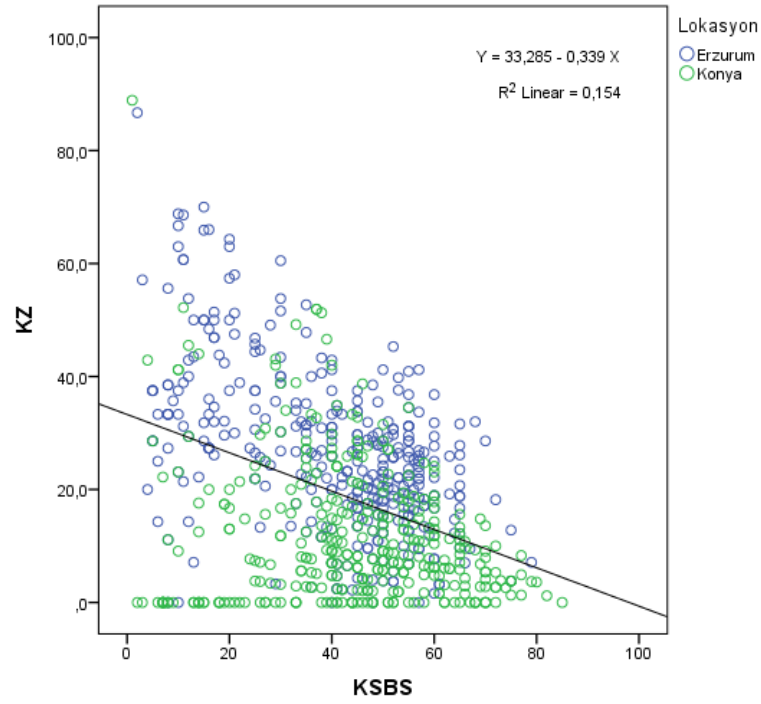
Çalışmamızda bitki çıkış sayısı çok büyük bir varyasyon göstermiş ve ortalama değerleri iki lokasyonda da yüksek olmadığı görülmektedir. Wurr and Fellows (1983), homojen ve güçlü bitki çıkışının doğrudan tarlaya ekilen ürünlerde kalite ve yüksek verimi etkileyen önemli faktörlerden birisi olduğunu belirtmiştir. Kışlık olarak yapılan ekimlerde fidelerin güçlü bir şekilde gelişmiş olmaları kışa dayanımlarını arttırmaktadır (Atar ve Kara 2017). Buğday bitkisinin 3-4 yapraklı dönemde kışa girmesi, aynı zamanda derin ve iyi gelişmiş sağlıklı bir kök sistemine sahip olması istenmektedir. Çünkü toprak üstü organların büyümesi kök sisteminin fonksiyonuna bağlı olmaktadır. Bu yüzden kış öncesi büyüme ve gelişme derecesi soğuğa dayanıklılık bakımından önemli bir durumdur (Taner ve Sade 2005). Kara ve Tülübaş (2019), ekim zamanına bağlı olarak (özellikle geç ekimlerde) düşük sıcaklıkların etkisiyle tohumlar çimlenememekte ya da çıkışların zayıf olabileceğini belirtmiştir. Bu durumun birim alandaki bitki sayısında düşüklüğe sebep olacağını ve verimi olumsuz etkileyebileceğini

açıklamışlardır. Araştırmalarında en yüksek çıkış oranının yazlık ekimlerde %83,12, kışlık ekimde %79,43; en düşük ise %71,26 ile geç ekimde gerçekleştiği sonucunu elde etmişlerdir. Atar ve Kara (2017), bazı kışlık buğday çeşitlerinin erken fide dönemindeki gelişimleri başlıklı araştırmalarında, oda sıcaklığında tohumların tamamının 1 gün içinde çimlendiğini tarla koşullarında ise çıkış oranının %66.7-100 arasında değiştiğini, çimlenme oranının tarla koşullarında düşük olmasının çevresel faktörlerden ve çeşitlerin çevresel faktörlere dayanıklılığının farklı olmasından kaynaklandığını açıklamışlardır.

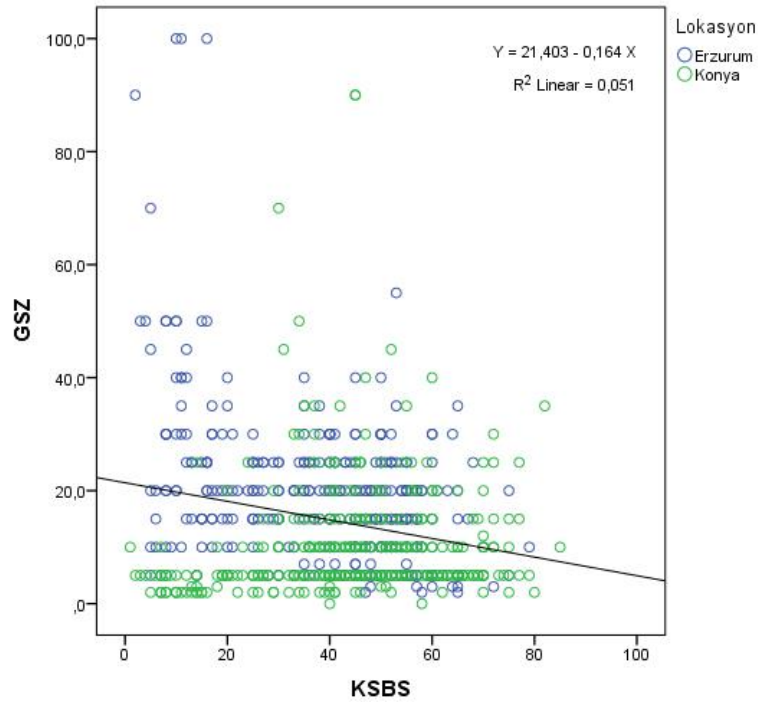
Kıştan Sonra Bitki Sayısı (KSBS)

Kıştan sonra bitki sayısı, lokasyonlar ve genotipler arasında çok önemli ($p<0,01$), lokasyon $\times$ genotip interaksiyonunda ise önemli ($p<0,05$) bulunmuştur (Tablo 5). Birleşik değerlere baktığımızda kıştan sonra hayatta kalan bitki sayısı en fazla %65,8 ile 1 nolu hatta, en az ise %6,8 ile 6 nolu hatta elde edilmiştir. Kıştan önce bitki sayısının aksine kıştan sonra bitki sayısının Erzurum lokasyonuna (%39,9) göre Konya lokasyonunda (%44,1) daha fazla olduğu görülmektedir (Tablo 6). Bu da bize bitki ölümlerinin Erzurum lokasyonunda daha fazla olduğunu göstermektedir. Erzurum lokasyonunda en düşük sıcaklıkların Konya lokasyonuna göre daha düşük olması Erzurum lokasyonunda buğday genotiplerinin kıştan daha fazla zarar görmesine neden olduğu düşünülmektedir.

Şekil 15 ve 16'daki doğrusal regresyon analizi sonucuna göre, kıştan sonra bitki sayısının sırasıyla kış zararı ve görsel soğuk zararı üzerinde negatif yönlü bir etkisi olduğu görülmektedir ($Y = 33,285 - 0,339X$; $Y = 21,403 - 0,164X$). Kıştan sonra bitki sayısı kış zararındaki toplam değişimin yaklaşık %15,4'ünü ($R^2 = 0,154$) açıklamaktadır. Bu oran, kıştan sonra bitki sayısının kış zararı üzerinde anlamlı ve açıklayıcı bir etkisi olduğunu göstermektedir. Kıştan sonra bitki sayısının görsel soğuk zararındaki toplam değişimin ise yaklaşık %5 ($R^2 = 0,051$) kadarını açıklamaktadır.



Şekil 15. Kıştan sonra bitki sayısı (KSBS) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler



Şekil 16. Kıştan sonra bitki sayısı (KSBS) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler

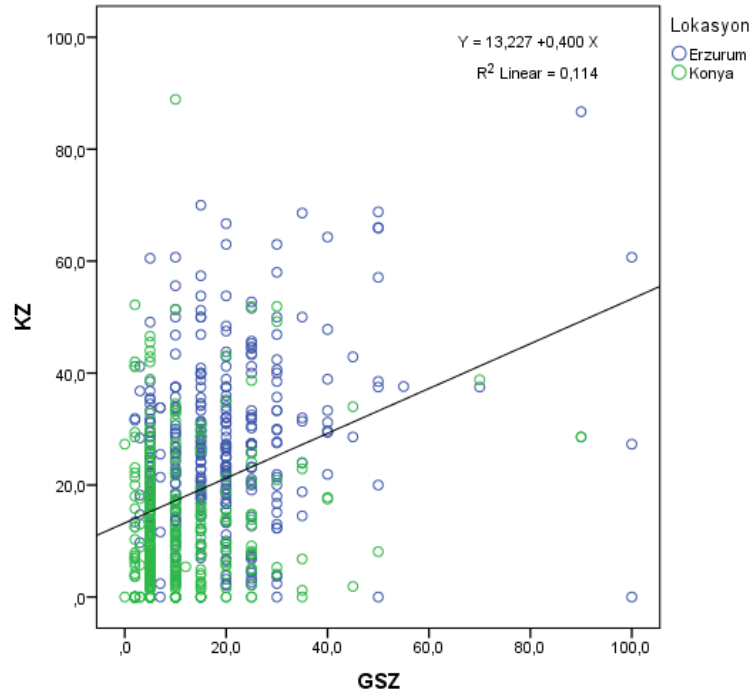
Toprağın donması sonucunda toprak tabakasının hacmi büyümektedir. Bunun nedeni donan suyun hacminin %9 oranında artış göstermesidir. Diğer taraftan toprağın üst tabakalarında donma sırasında toprak çözeltisinde ozmotik basınç artmakta, aşağıdan yukarıya doğru büyük bir basınçla su çekilmekte ve böylece üst toprak tabakasında buz kristalleri büyümekte ve toprağın hacminin genişlemesi daha çok artmaktadır. Bu nedenle özellikle gündüz hava sıcaklığının artması ve gece de tekrar düşmesi durumlarında bu olay tekrarlandığı

zaman bitkinin kökleri koparak zarar görebilmektedir (Taner ve Sade 2005). Yine bu durumlarda toprak suyu donduğu için bitkilerin su alımı durmakta ve fizyolojik kuraklık denilen durum ortaya çıkacağından zarar artabilmektedir. Ayrıca kış mevsiminde bitkilerin üzerinde oluşan buz tabakasının ısıyı ve ışığı yansıtması sonucunda da zararlanmalar olabilmektedir (Taner ve Sade 2005). Erzurum ilinde Konya iline göre gece ve gündüz sıcaklığı arasındaki fark daha fazla, ortalama sıcaklık, ortalama en düşük sıcaklık ve ortalama en yüksek sıcaklık daha az olduğundan dolayı kıştan sonra ortalama bitki sayıları daha az olmuştur. Kara ve Tülübaş (2019), güzlük geç ekimde buğdayın canlı kalma oranının %72,33 ve güzlük ekimde ise %81,20 olduğu sonucunu elde etmiştir. Bu sonuca göre, geç ekimde buğdayın canlı kalma oranının daha düşük olmasını geç ekimdeki çıkan fidelerin nispeten zayıf olması ve kışın düşük sıcaklıklardan zarar görmesinden kaynaklanmış olabileceğini belirtmişlerdir.

Kış Zararı

Tablo 5'te görüldüğü gibi, varyans analizi sonucuna göre kış zararı, lokasyonlar arasında çok önemli ($p < 0,01$), genotipler arasında önemli ($p < 0,05$) ve lokasyon $\times$ genotip interaksiyonunda ise önemsiz olmuştur. Tablo 6'daki birleşik değerlere bakıldığında kış zararı %4,4 - 40,2 arasında değişmiştir. En fazla kış zararı 154 nolu hatta (%40,2), en düşük ise 15 nolu hatta (%4,4) elde edilmiştir. Lokasyon ortalamalarına baktığımızda ise kış zararının Erzurum lokasyonunda (%26,4) Konya lokasyonuna (%11,7) göre iki katından daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 17'deki regresyon denklemine göre kış zararı arttıkça görsel soğuk zararı da artmaktadır ($Y = 13,227 + 0,400X$). Kış zararının görsel soğuk zararındaki değişimin %11,4'ünü ($R^2 = 0,114$) açıklamaktadır. Bu oran kış zararının görsel soğuk zararı üzerindeki etkisinin anlamlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 17. Görsel soğuk zararı (GSZ) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler

Frederiks *et al.* (2008, 2015), kışlık buğdayda bitki örtüsü sıcaklığının 0 °C'nin altına düşmesiyle soğuk hasarına karşı daha hassas hale geldiğini belirtmiştir. Tarla bazlı don olayları sırasında, buğday bitkileri 0 °C ila -2 °C'ye maruz kaldığında, çiğ ilk olarak bitkinin dışında donarak kuruma hasarına neden olmaktadır (DPIRD, 2022). Başlangıçta, hücrelerin etrafındaki su donmakta, ancak aynı zamanda hücrelerin içindeki suyu da çeker ve onları kurutmaktadır. Bu sıcaklık aralığında, bitki hücrelerinin içinde buz kristalleri oluşması gerekmeyebilir. Sonuç olarak, etkilenen buğday bitkileri, hücreler yeniden su alabilirse genellikle bu hasardan kısmen kurtulabilmektedir. Bununla birlikte, -2 °C'nin altındaki sıcaklıklarda, hızlı buz çekirdeklenmesi meydana geldiğinde ve buz kristalleri oluştuğunda bitkiler donma hasarı yaşar; kristaller büyüdükçe, hücre duvarlarını ve zarlarını fiziksel olarak yırtarak geri dönüşü olmayan hasara neden olmaktadır (DPIRD, 2022; Shammi *et al.*, 2023).

Kışlık olarak uygun zamanda ekilen çeşitlerde kış öncesi buğday gelişmesi iyi olduğundan, buğdayda hem soğuğa dayanıklılık hem de verim artmaktadır. Geç yapılan ekime bağlı olarak iyi bir çıkış ve yeterli sayıda kök ve gövde gelişmesi gösteremeyen buğday bitkilerinde kışı sert geçen yıllarda önemli ölçüde zarar görülebilmektedir (Küçüközdemir 2016). Barlow *et al.* (2015), kış zararının verim üzerindeki ana olumsuz etkisinin fidelerin ölümü ile bağlantılı olduğunu belirtmiştir.

Soğuk Zararının Görsel Olarak Değerlendirilmesi

Buğday yaprak uçlarının sararması ve zarar görmesine dikkat edilerek her bir genotipe ait gözle görsel soğuk zararı oran ve zararlanma indeksi olarak değerlendirilmiştir. Varyans analizi

sonuçlarına göre bütün uygulamaların görsel soğuk zararı ve zararlanma indeksi üzerine etkisi çok önemli bulunmuştur (Tablo 5). Genotiplerin birleşik değerlerine göre görsel soğuk zararı %4,3 ile %71,3 arasında değişmiştir. Lokasyon ortalamalarına göre ise genotiplerin Erzurum lokasyonunda (%18,7) Konya lokasyona (%10,3) göre daha fazla soğuk zararına maruz kaldığı sonucu elde edilmiştir (Tablo 7).

Tablo 7. Farklı Lokasyonlarda 182 Genotipe Ait Görsel Soğuk Zararı (GSZ), Çiçeklenme Süresi (ÇS) ve Fizyolojik Olum Süresi (FOS) Parametrelerinin Ortalama Değerleri

Genotipler	GSZ (%)			ÇS (gün)			FOS (gün)		
	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik
NOR	7,5	14,0	10,8	268,5	201,0	234,8	305,0	240,0	272,5
ZAG	60,0	25,0	42,5	258,0	192,0	225,0	299,0	232,0	265,5
G1	7,5	12,5	10,0	260,0	198,0	229,0	300,0	235,5	267,8
G2	5,0	10,0	7,5	258,0	194,5	226,3	298,0	234,0	266,0
G3	10,0	10,0	10,0	256,0	194,0	225,0	295,0	232,5	263,8
G4	8,5	8,5	8,5	256,5	195,0	225,8	297,0	231,0	264,0
G5	10,0	5,0	7,5	262,5	198,5	230,5	300,5	235,5	268,0
G6	15,0	3,5	9,3	262,0	194,0	228,0	303,0	234,0	268,5
G7	17,5	3,5	10,5	260,0	196,0	228,0	303,5	234,0	268,8
G8	15,0	7,5	11,3	257,0	197,0	227,0	295,5	234,0	264,8
G9	27,5	7,5	17,5	258,5	195,5	227,0	300,5	235,0	267,8
G10	17,5	12,5	15,0	260,5	196,0	228,3	302,0	235,0	268,5
G11	17,5	7,5	12,5	255,5	194,0	224,8	297,5	231,0	264,3
G12	15,0	15,0	15,0	256,0	191,5	223,8	296,0	230,0	263,0
G13	15,0	30,0	22,5	260,0	193,5	226,8	301,0	233,5	267,3
G14	25,0	25,0	25,0	255,0	193,0	224,0	295,5	235,5	265,5
G15	62,5	3,5	33,0	263,0	197,5	230,3	303,5	234,5	269,0
G16	20,0	3,5	11,8	259,5	199,0	229,3	301,0	238,0	269,5
G17	45,0	4,0	24,5	256,5	196,5	226,5	294,5	238,0	266,3
G18	17,5	13,5	15,5	260,5	199,5	230,0	301,5	238,5	270,0
G19	13,5	2,5	8,0	263,5	199,0	231,3	304,0	239,0	271,5
G20	7,5	5,0	6,3	261,0	199,0	230,0	303,5	237,5	270,5
G21	17,5	2,5	10,0	259,5	197,0	228,3	299,0	235,5	267,3
G22	10,0	5,0	7,5	256,0	193,5	224,8	296,0	232,5	264,3
G23	13,5	5,0	9,3	264,5	198,5	231,5	304,0	239,5	271,8
G24	15,0	3,5	9,3	261,0	197,5	229,3	306,0	235,5	270,8
G25	22,5	3,5	13,0	265,0	198,0	231,5	305,0	234,5	269,8
G26	27,5	3,5	15,5	260,0	198,5	229,3	302,5	233,0	267,8
G27	17,5	3,5	10,5	266,0	198,0	232,0	306,0	238,5	272,3
G28	12,5	5,0	8,8	258,5	195,5	227,0	298,5	231,0	264,8
G29	15,0	4,0	9,5	261,5	196,5	229,0	302,5	233,0	267,8
G30	17,5	27,5	22,5	256,5	195,0	225,8	295,5	231,0	263,3
G31	5,0	5,0	5,0	256,0	194,5	225,3	294,0	230,0	262,0
G32	27,5	5,0	16,3	261,5	197,0	229,3	299,0	231,5	265,3
G33	35,0	10,0	22,5	258,5	196,0	227,3	300,5	230,0	265,3
G34	22,5	3,5	13,0	261,0	199,5	230,3	301,0	238,0	269,5
G35	17,5	7,5	12,5	256,0	195,5	225,8	296,5	235,0	265,8
G36	12,5	12,5	12,5	255,0	193,5	224,3	294,0	230,5	262,3
G37	17,5	10,0	13,8	256,5	193,0	224,8	295,0	229,5	262,3
G38	13,5	12,5	13,0	261,0	195,5	228,3	299,0	231,5	265,3
G39	20,0	7,5	13,8	259,0	195,5	227,3	302,0	231,0	266,5
G40	22,5	5,0	13,8	261,0	197,0	229,0	295,0	233,5	264,3
G41	17,5	10,0	13,8	259,0	192,5	225,8	300,5	231,0	265,8
G42	15,0	10,0	12,5	257,5	194,0	225,8	296,0	231,0	263,5
G43	22,5	10,0	16,3	256,0	193,0	224,5	293,0	231,5	262,3
G44	10,0	7,5	8,8	256,0	194,0	225,0	294,0	230,5	262,3
G45	22,5	7,5	15,0	260,0	194,5	227,3	301,0	234,0	267,5
G46	22,5	5,0	13,8	261,0	198,0	229,5	303,5	235,5	269,5
G47	25,0	3,5	14,3	265,0	199,0	232,0	306,0	235,5	270,8
G48	20,0	7,5	13,8	261,0	199,0	230,0	305,5	236,0	270,8
G49	35,0	10,0	22,5	260,5	196,5	228,5	301,5	233,5	267,5
G50	50,0	5,0	27,5	264,5	199,0	231,8	306,5	235,0	270,8
G51	37,5	15,0	26,3	263,0	196,5	229,8	304,5	233,0	268,8

Tablo 7. (Devamı)

G52	5,0	7,5	6,3	259,5	197,5	228,5	298,5	234,0	266,3
G53	5,0	7,5	6,3	262,0	199,5	230,8	303,5	236,5	270,0
G54	6,0	5,0	5,5	259,0	196,0	227,5	296,5	231,0	263,8
G55	20,0	5,0	12,5	262,0	198,0	230,0	301,0	235,5	268,3
G56	5,0	10,0	7,5	259,0	194,0	226,5	295,5	232,0	263,8
G57	15,0	5,0	10,0	264,0	200,0	232,0	305,0	239,5	272,3
G58	5,0	3,5	4,3	258,5	195,5	227,0	297,5	235,5	266,5
G59	15,0	12,5	13,8	263,0	197,5	230,3	303,5	235,5	269,5
G60	27,5	20,0	23,8	257,0	194,5	225,8	299,5	232,0	265,8
G61	15,0	6,0	10,5	264,0	198,0	231,0	304,5	238,0	271,3
G62	15,0	7,5	11,3	267,0	198,0	232,5	305,0	241,0	273,0
G63	10,0	10,0	10,0	260,5	199,5	230,0	300,5	234,0	267,3
G64	22,5	12,5	17,5	260,0	197,0	228,5	301,0	232,0	266,5
G65	6,5	10,0	8,3	259,5	195,0	227,3	296,5	234,0	265,3
G66	30,0	32,5	31,3	256,5	194,5	225,5	297,0	234,0	265,5
G67	15,0	15,0	15,0	259,0	197,5	228,3	297,5	231,0	264,3
G68	17,5	17,5	17,5	256,5	197,5	227,0	292,5	230,5	261,5
G69	15,0	15,0	15,0	256,5	195,5	226,0	299,5	231,0	265,3
G70	15,0	10,0	12,5	258,5	194,0	226,3	298,0	231,5	264,8
G71	22,5	10,0	16,3	257,5	197,0	227,3	297,0	232,0	264,5
G72	22,5	2,0	12,3	260,0	197,5	228,8	300,5	232,5	266,5
G73	17,5	5,0	11,3	259,0	198,0	228,5	294,0	233,0	263,5
G74	20,0	30,0	25,0	257,0	196,5	226,8	294,0	236,5	265,3
G75	27,5	30,0	28,8	257,0	198,5	227,8	294,5	233,5	264,0
G76	15,0	10,0	12,5	257,5	196,5	227,0	296,5	237,0	266,8
G77	32,5	5,0	18,8	259,5	198,0	228,8	299,0	234,0	266,5
G78	17,5	8,5	13,0	261,0	197,0	229,0	302,5	237,5	270,0
G79	8,5	2,5	5,5	257,0	196,0	226,5	294,5	232,5	263,5
G80	30,0	27,5	28,8	256,0	194,5	225,3	300,5	235,5	268,0
G81	25,0	25,0	25,0	261,0	196,5	228,8	301,0	234,0	267,5
G82	12,5	6,0	9,3	263,0	197,5	230,3	306,0	238,0	272,0
G83	32,5	5,0	18,8	259,0	196,5	227,8	298,5	234,0	266,3
G84	17,5	20,0	18,8	259,5	195,5	227,5	298,5	234,5	266,5
G85	27,5	5,0	16,3	257,0	194,5	225,8	295,0	232,0	263,5
G86	12,5	25,0	18,8	255,0	193,5	224,3	295,0	232,5	263,8
G87	11,5	5,0	8,3	261,0	198,0	229,5	301,0	233,0	267,0
G88	22,5	13,5	18,0	255,0	197,0	226,0	296,5	232,5	264,5
G89	30,0	5,0	17,5	264,0	196,5	230,3	305,5	238,5	272,0
G90	12,5	3,5	8,0	258,5	197,0	227,8	301,5	235,0	268,3
G91	22,5	45,0	33,8	256,5	193,0	224,8	296,0	232,5	264,3
G92	12,5	12,5	12,5	258,0	197,0	227,5	300,0	233,5	266,8
G93	20,0	10,0	15,0	260,5	195,0	227,8	297,0	231,5	264,3
G94	22,5	3,5	13,0	261,0	197,0	229,0	299,5	232,5	266,0
G95	10,0	12,5	11,3	258,0	195,0	226,5	299,5	232,0	265,8
G96	6,0	7,5	6,8	256,5	195,5	226,0	297,0	234,0	265,5
G97	17,5	6,0	11,8	261,0	197,0	229,0	303,0	236,0	269,5
G98	15,0	12,5	13,8	258,0	197,0	227,5	297,0	233,0	265,0
G99	22,5	10,0	16,3	258,0	197,5	227,8	298,5	234,0	266,3
G100	12,5	7,5	10,0	259,5	196,0	227,8	302,0	235,5	268,8
G101	10,0	5,0	7,5	256,5	195,0	225,8	296,0	231,5	263,8
G102	15,0	17,5	16,3	256,0	196,0	226,0	298,5	231,0	264,8
G103	15,0	15,0	15,0	258,0	197,0	227,5	297,5	235,5	266,5
G104	12,5	7,5	10,0	261,0	195,5	228,3	298,5	235,5	267,0
G105	14,0	3,5	8,8	260,0	197,0	228,5	298,5	237,0	267,8
G106	10,0	15,0	12,5	262,0	193,0	227,5	302,0	236,0	269,0
G107	4,0	5,0	4,5	262,0	196,5	229,3	300,5	235,0	267,8
G108	12,5	5,0	8,8	262,0	197,5	229,8	302,5	234,5	268,5
G109	17,5	15,0	16,3	257,0	197,0	227,0	297,0	236,5	266,8
G110	17,5	12,5	15,0	262,0	196,0	229,0	304,0	238,5	271,3
G111	22,5	25,0	23,8	260,0	194,5	227,3	303,5	232,5	268,0
G112	30,0	5,0	17,5	265,0	194,5	229,8	303,5	232,5	268,0
G113	17,5	12,5	15,0	259,5	196,0	227,8	299,5	231,0	265,3
G114	20,0	7,5	13,8	261,0	195,5	228,3	305,0	231,5	268,3
G115	12,5	5,0	8,8	259,0	196,0	227,5	301,0	232,0	266,5
G116	12,5	7,5	10,0	256,5	195,5	226,0	294,5	231,5	263,0
G117	20,0	5,0	12,5	260,0	197,0	228,5	302,5	231,5	267,0
G118	15,0	5,0	10,0	264,0	197,5	230,8	304,5	241,5	273,0
G119	20,0	7,5	13,8	262,5	198,5	230,5	304,5	239,5	272,0

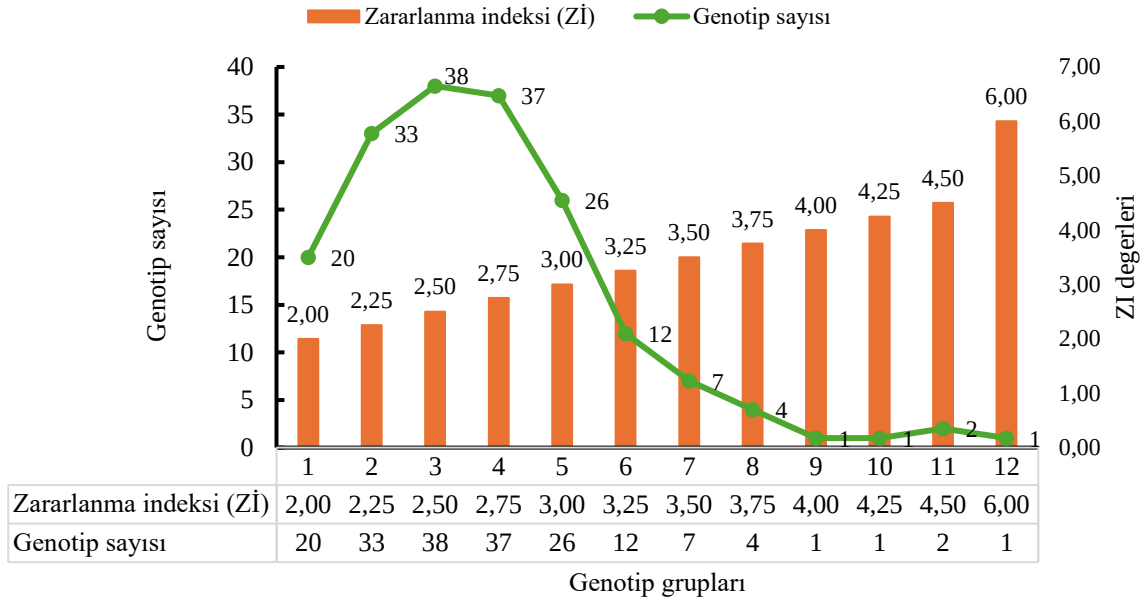
Tablo 7. (Devamı)

G120	12,5	5,0	8,8	263,5	198,0	230,8	307,0	237,0	272,0
G121	30,0	12,5	21,3	267,0	199,0	233,0	304,5	243,0	273,8
G122	55,0	5,0	30,0	267,0	198,0	232,5	302,0	241,5	271,8
G123	17,5	15,0	16,3	258,5	196,0	227,3	303,5	234,0	268,8
G124	25,0	22,5	23,8	257,5	195,5	226,5	298,5	233,0	265,8
G125	17,5	5,0	11,3	259,5	196,5	228,0	301,0	235,0	268,0
G126	17,5	12,5	15,0	259,0	196,5	227,8	298,5	234,0	266,3
G127	5,0	25,0	15,0	258,5	196,5	227,5	295,0	234,0	264,5
G128	17,5	7,5	12,5	263,5	197,0	230,3	304,5	237,5	271,0
G129	17,5	12,5	15,0	259,5	195,5	227,5	301,0	236,0	268,5
G130	22,5	5,0	13,8	260,0	196,5	228,3	300,0	235,5	267,8
G131	10,0	3,5	6,8	265,5	198,0	231,8	305,5	237,5	271,5
G132	27,5	12,5	20,0	267,0	197,5	232,3	305,5	236,0	270,8
G133	20,0	5,0	12,5	265,5	198,0	231,8	302,0	237,0	269,5
G134	17,5	15,0	16,3	260,5	196,5	228,5	302,0	234,5	268,3
G135	15,0	10,0	12,5	258,5	196,5	227,5	301,0	234,0	267,5
G136	15,0	3,5	9,3	257,5	195,5	226,5	298,5	234,0	266,3
G137	4,0	12,5	8,3	255,0	195,0	225,0	297,5	232,5	265,0
G138	5,0	3,5	4,3	266,0	198,5	232,3	305,0	239,5	272,3
G139	7,0	5,0	6,0	257,0	195,5	226,3	295,0	234,0	264,5
G140	15,0	5,0	10,0	259,0	196,0	227,5	303,0	234,0	268,5
G141	20,0	15,0	17,5	258,0	194,5	226,3	296,0	233,0	264,5
G142	62,5	12,5	37,5	268,0	194,0	231,0	305,0	232,0	268,5
G143	12,5	2,0	7,3	262,0	201,5	231,8	302,5	243,0	272,8
G144	22,5	2,5	12,5	261,5	196,5	229,0	303,0	238,0	270,5
G145	7,5	7,5	7,5	254,5	196,0	225,3	294,5	232,0	263,3
G146	17,5	15,0	16,3	258,5	196,5	227,5	296,5	234,0	265,3
G147	17,5	3,5	10,5	264,5	198,5	231,5	303,5	238,0	270,8
G148	3,5	5,0	4,3	260,0	196,5	228,3	299,0	234,5	266,8
G149	20,0	10,0	15,0	257,0	195,0	226,0	298,5	232,5	265,5
G150	7,5	15,0	11,3	258,0	196,0	227,0	298,5	232,5	265,5
G151	22,5	15,0	18,8	258,5	196,0	227,3	298,0	235,0	266,5
G152	12,5	10,0	11,3	259,5	195,5	227,5	295,0	235,5	265,3
G153	7,5	7,5	7,5	257,0	193,5	225,3	295,0	234,0	264,5
G154	52,5	90,0	71,3	257,5	196,0	226,8	297,5	233,0	265,3
G155	7,5	5,0	6,3	257,0	196,0	226,5	296,0	233,5	264,8
G156	20,0	20,0	20,0	257,0	198,0	227,5	297,5	234,5	266,0
G157	15,0	17,5	16,3	258,0	195,5	226,8	297,5	235,5	266,5
G158	11,5	7,5	9,5	264,0	199,0	231,5	301,0	238,5	269,8
G159	10,0	7,5	8,8	263,0	198,5	230,8	300,5	237,5	269,0
G160	5,0	5,0	5,0	260,0	197,0	228,5	298,0	235,5	266,8
G161	15,0	5,0	10,0	261,5	198,5	230,0	302,5	239,0	270,8
G162	22,5	7,5	15,0	265,0	199,0	232,0	303,0	239,0	271,0
G163	20,0	10,0	15,0	264,0	198,5	231,3	303,5	238,0	270,8
G164	37,5	2,0	19,8	262,0	196,5	229,3	301,0	232,0	266,5
G165	12,5	15,0	13,8	261,5	197,5	229,5	302,0	235,5	268,8
G166	20,0	15,0	17,5	261,5	199,0	230,3	303,0	244,0	273,5
G167	7,5	17,5	12,5	261,0	196,5	228,8	302,0	234,0	268,0
G168	15,0	5,0	10,0	263,5	199,5	231,5	303,0	239,5	271,3
G169	15,0	15,0	15,0	256,0	197,0	226,5	295,5	234,5	265,0
G170	22,5	12,5	17,5	258,5	195,5	227,0	298,0	234,0	266,0
G171	22,5	7,5	15,0	262,0	198,5	230,3	302,0	236,5	269,3
G172	30,0	2,0	16,0	265,5	201,0	233,3	302,0	237,5	269,8
G173	12,5	5,0	8,8	266,0	200,0	233,0	302,0	237,0	269,5
G174	10,0	12,5	11,3	257,5	195,0	226,3	299,0	233,5	266,3
G175	37,5	3,5	20,5	263,5	199,0	231,3	302,5	238,0	270,3
G176	42,5	6,0	24,3	264,5	196,0	230,3	303,5	242,5	273,0
G177	15,0	4,0	9,5	260,5	197,5	229,0	298,5	236,0	267,3
G178	40,0	3,5	21,8	263,0	200,0	231,5	306,5	238,5	272,5
G179	32,5	17,5	25,0	261,0	198,5	229,8	302,5	236,5	269,5
G180	22,5	7,5	15,0	258,5	194,5	226,5	301,5	235,5	268,5
Ortalama	18,7	10,3	14,5	260,0	196,5	228,3	300,0	234,7	267,4
LSD değerleri									
Lokasyon			1,5			0,3			0,5
Genotip			13,9			2,5			4,4
L × G			19,6			3,5			6,3

Düşük sıcaklıklarda gelişme daha yavaş olmakta, düşük sıcaklıklar dondurucu düzeyde olduğu zaman genç dokular ciddi zarar görebilmektedir. -5 °C'nin altındaki ani sıcaklıklarda buğday bitkileri ölebilmektedir. Sonuçta art arda gelen iki veya daha fazla don; başak çıkarma zamanından dölleme ve tane doldurma başlangıcına kadarki süre içinde ciddi olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Bitkiler için bir gecelik kısa süreli soğukta hücreler yenilenebileceği için etkileyici olmayabilir ancak bu durum birkaç gün devam ederse bitkiler ölebilmektedir (Taner ve Sade 2005). Vejetatif büyüme aşamalarındaki don hasarı kendini ölü, kahverengi yapraklar şeklinde gösterir. Yetiştirme amaçlı kantifikasyon (miktar belirleme) genellikle hasarın şiddetini derecelendirmek için gözle yapılan görsel bir puanlama ile yapılır (Tschurr *et al.* 2023).

Şekil 18'deki grafik değerlerine göre Zİ 2. ile 6. grup skalası arasında değişmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere Zİ indeksi 2. grup (%1-10 arası görsel soğuk zararı var) ile 3. grup (%11-20 arası görsel soğuk zararı var) arasında 154 genotip yer almış bu da genotiplerin yaklaşık %85'ne denk gelmektedir. Yani genotiplerin %85'i 2 (çok toleranslı) ve 3 (dayanıklı) skalası grubunda yer almıştır. Ayrıca 3,25' i de 3'e yuvarladığımızda genotiplerin yaklaşık %91 (166 genotip) 2 ve 3 skalası grubuna girmektedir. Küsurlu değerler tam değere yuvarlandığında, 13 genotip 4. (Orta derece toleranslı; % 21-40'ında görsel soğuk zararı var), 2 genotip 5. (Orta; % 41-60 'ında görsel soğuk zararı var) ve yalnızca 1 genotip ise 6. (Orta derece hassas; % 61-80 'inde görsel soğuk zararı) grup skalasında yer almıştır.

Koç ve Çiftçi (2022), çalışmalarında, 17 adet ekmeklik buğday hattı ve 8 adet ekmeklik buğday çeşidinde soğuk zararı gözlemlerini kış sonrası dönemde 1 (az) - 9 (fazla) skalasına göre yapmış; soğuk zararının 1.00 ile 4,63 arasında değiştiği sonucunu elde etmişlerdir. Koç (2023), Edirne ve Tekirdağ lokasyonlarında 9 adet buğday çeşidinde, soğuk zararının 1,62 - 2,87 aralığında değiştiğini belirtmiştir.



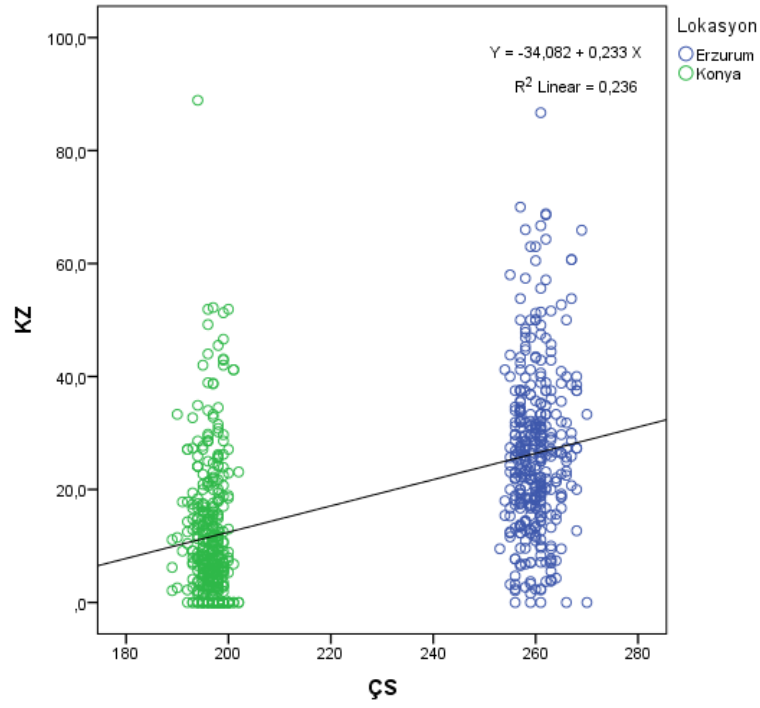
Şekil 18. Ortalama zararlanma indeksi ve genotip sayısı arasındaki ilişki

Çiçeklenme Süresi

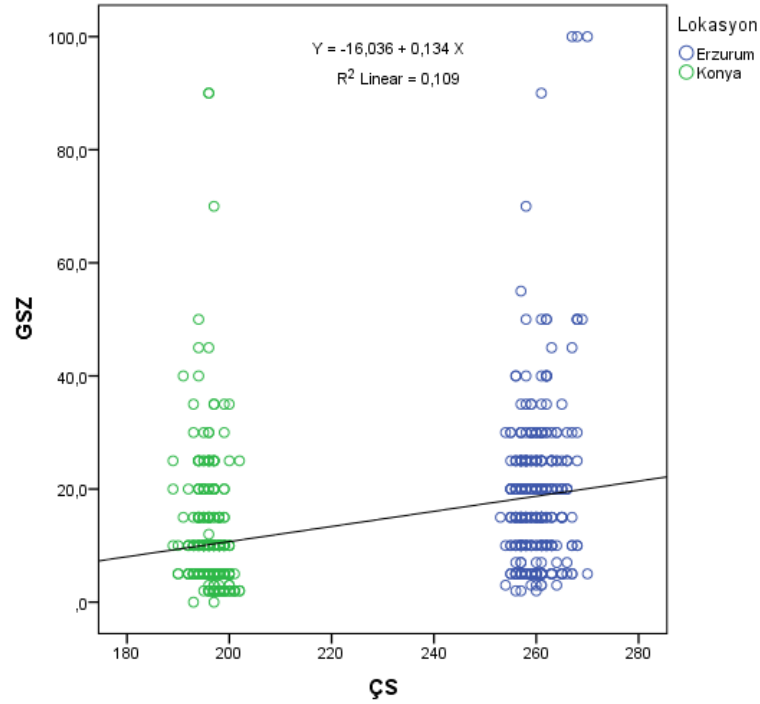
Çiçeklenme süresi, adaptasyon, verim potansiyeli ve verim istikrarı açısından anahtar rol oynadığı için bitki gelişiminde en önemli fenolojik aşamalardan biridir (Mühleisen *et al.* 2014; Langer *et al.* 2014).

Tablo 5’te görüldüğü gibi, varyans analizi sonucuna göre lokasyon, genotip ve lokasyon x genotip interaksiyonunun çiçeklenme süresi üzerine etkisi çok önemli ($p < 0,01$) olmuştur. Birleşik değerlere göre ortalama çiçeklenme süresi 223,8 gün ile 234,8 gün arasında değişmiştir (Tablo 7). En uzun çiçeklenme süresi Norstar çeşidinde (234,8), en kısa ise 12 nolu hatta (223,8 gün) elde edilmiştir. Tablo 7’deki lokasyon ortalamalarına baktığımızda ise çiçeklenme süresinin Erzurum lokasyonunda (260,0 gün) Konya lokasyonuna (196,5 gün) göre daha uzun olduğu sonucu elde edilmiştir. Çiçeklenme süresinin Erzurum lokasyonunda daha uzun olmasının sebebi Erzurum ilinde vejetasyon döneminin daha uzun olmasıdır. Erzurum ilinde kışlık buğday ekimi daha erken yapılmakta, hasat ise daha geç yapılmaktadır.

Şekil 19 ve 20’deki doğrusal regresyon analizi sonucuna göre, çiçeklenme süresinin sırasıyla kış zararı ve görsel soğuk zararı üzerinde pozitif yönlü bir etkisi olduğu görülmektedir ($Y = -34,082 + 0,233X$; $Y = -16,036 + 0,134X$). Çiçeklenme süresinin kış zararındaki toplam değişimin %23,6’sını ($R^2 = 0,236$) açıklamaktadır. Bu oran, çiçeklenme süresinin kış zararı üzerinde anlamlı ve açıklayıcı bir etkisi olduğunu göstermektedir. Çiçeklenme süresinin görsel soğuk zararındaki toplam değişimin ise %10,9 ($R^2 = 0,109$) kadarını açıklamaktadır.



Şekil 19. Çiçeklenme (ÇS) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler



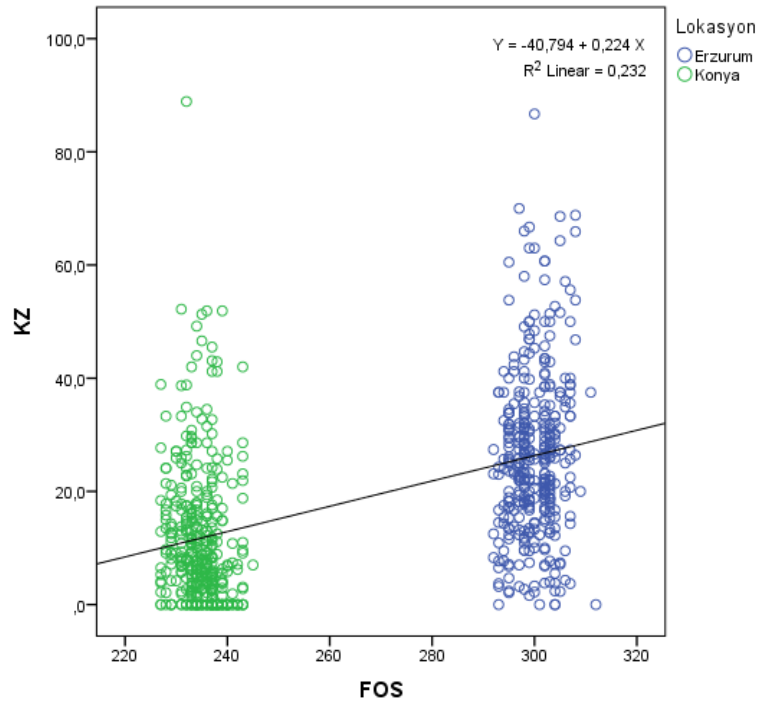
Şekil 20. Çiçeklenme süresi (ÇS) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler

Buğdayın çiçeklenmesi için en uygun sıcaklık aralığı 18-24 °C'dir ve minimum sıcaklık eşiği yaklaşık 9-12 °C'dir. Bu aralıkta buğday normal bir şekilde çiçeklenebilir ve tozlaşabilir. Bununla birlikte, sıcaklıklar 9 °C'nin altına düştüğünde, çiçeklenme ve tozlaşma engellenebilir ve bu da verimin düşmesine neden olabilir (Thakur *et al.* 2010). Soğuk stresi bitki yaşam döngüsünün hem vejetatif hem de üreme evrelerini etkiler, özellikle üreme evreleri bundan etkilenir (Nishiyama 1995; Thakur *et al.* 2010). Buğdayda, düşük sıcaklıkların hem fenolojiyi

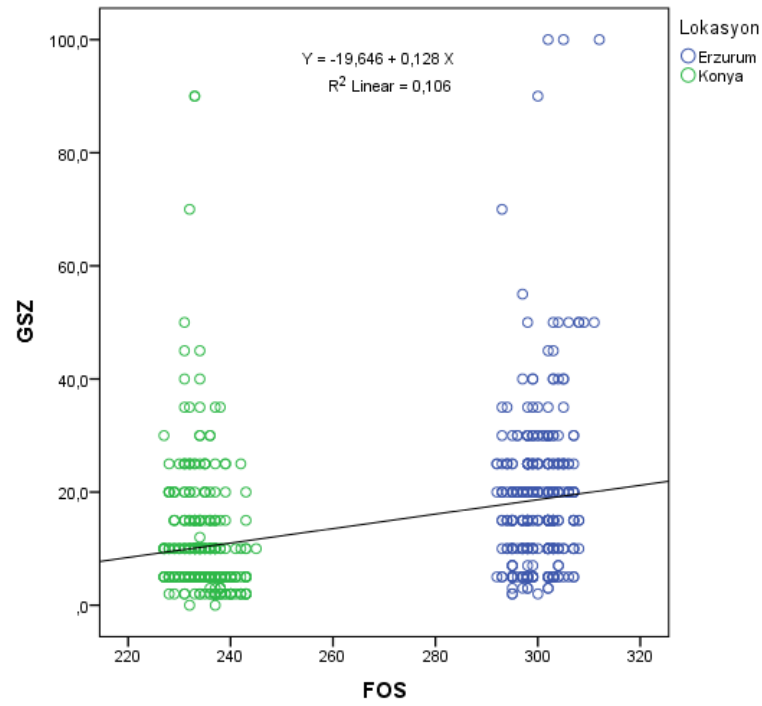
hem de tane dolumunu etkilediği, çiçeklenme öncesi aşamaların tamamlanması için geçen süreyi uzattığı ve erken çiçeklenen materyalin özellikle hassas olduğu gösterilmiştir (Subedi *et al.*, 1998). Thakur *et al.* (2010), çiçeklenme aşamasında, soğuk stresinin çiçeklenmenin gecikmesine, çiçeklerin bozulmasına ve tane dolum oranının azalmasına ve ardından küçük, dolmamış ve gelişmemiş tohum üretimine neden olabileceğini açıklamıştır.

Fizyolojik Olum Süresi

Tablo 5'te görüldüğü gibi, varyans analizi sonucuna göre lokasyon ve genotip uygulamalarının fizyolojik olum süresi üzerine etkisi çok önemli ($p < 0,01$), lokasyon $\times$ genotip interaksiyonunun fizyolojik olum süresi üzerine etkisi önemsiz olmuştur. Tablo 7'deki birleşik değerlere bakıldığında fizyolojik olum süresi 261,5 ile 273,8 gün arasında değişmiştir. En uzun fizyolojik olum süresi 121 nolu hatta (273,8 gün), en kısa ise 68 nolu hatta (261,5 gün) elde edilmiştir. Tablo 7'teki lokasyon ortalamalarına baktığımızda ise fizyolojik olum süresinin Erzurum lokasyonunda (300,0 gün) Konya lokasyonuna (234,7 gün) göre daha uzun olduğu görülmektedir.



Şekil 21. Fizyolojik olum süresi (FOS) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler



Şekil 22. Fizyolojik olum süresi (FOS) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler

Şekil 21 ve 22'deki doğrusal regresyon analizi sonucuna göre, fizyolojik olum süresinin sırasıyla kış zararı ve görsel soğuk zararı üzerinde pozitif yönlü bir etki göstermiştir ($Y = -40,794 + 0,224X$; $Y = -19,646 + 0,128X$). Fizyolojik olum süresi kış zararındaki toplam değişimin %23,2'sini ($R^2 = 0,232$) açıklamaktadır. Bu oran, fizyolojik olum süresinin kış zararı üzerinde anlamlı ve açıklayıcı bir etkisi olduğunu göstermektedir. Fizyolojik olum süresi görsel soğuk zararındaki toplam değişimin ise %10,6 ($R^2 = 0,106$) kadarını açıklamaktadır.

Subedi *et al.* (1998), buğdayda düşük sıcaklıkların hem fenolojiyi hem de tane dolumunu etkilediği, çiçeklenme öncesi aşamaların tamamlanması için geçen süreyi uzattığı ve erken çiçeklenme materyalinin özellikle hassas olduğunu belirtmiştir. Tane dolumu aşaması, buğdayda tane oluşumu ve çiçeklenme sonrası olgunlaşma için çok önemli bir aşamadır. Bu nedenle, tane dolumu buğday veriminin oluşumu için temel oluşturur ve tane dolumunun özellikleri buğdayın önemli bir verim bileşeni olan nihai tane ağırlığını belirlemektedir (Xie *et al.*, 2015). Bazı çalışmalar da tane dolum özelliklerinin iki önemli faktörü içerdiğini göstermiştir: tane dolum hızı ve tane dolum süresi (Sofield *et al.*, 1977) ve bunların etkileşimi buğdayın son tane ağırlığını belirlediğini açıklamıştır (Ullah *et al.*, 2022). Bununla birlikte tane dolumu sırasında, yedek besin maddelerinin birikimi değişen çevresel koşullara duyarlıdır ve bu da verim miktarının yanı sıra kaliteyi de güçlü bir şekilde etkilemektedir (Nayyar *et al.*, 2005; Yang and Zhang 2006). Zhao *et al.* (2022), araştırmasında düşük sıcaklık stresinin tane dolum oranını düşürdüğünü ancak tane dolum süresini ise uzattığını açıklamıştır. Ayrıca

buğday bitkisinin çiçeklenmeden sonra tane dolum döneminin erken safhasında düşük sıcaklığa muameleye tabi tutulmasıyla tane dolum süresinin uzadığını tespit etmişlerdir.

Yaprak Klorofil İçeriği (SPAD)

Varyans analizi sonuçlarına göre, genotip ve lokasyon $\times$ genotip interaksiyonun çiçeklenme (SPAD 0), çiçeklenmeden 15 gün sonra (SPAD 15) ve çiçeklenmeden 25 gün sonraki (SPAD 25) dönemlerde yaprak klorofil içeriği üzerine etkisi çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Ancak lokasyon $\times$ genotip interaksiyonu etkisi SPAD 0'da önemli, lokasyonun etkisi ise SPAD 25'de önemsiz olmuştur (Tablo 8).

Tablo 8. Genotiplerin Çiçeklenme Dönemi (SPAD 0, Kanopi 0), Çiçeklenmeden 15 gün (SPAD 15, Kanopi 15) ve Çiçeklenmeden 25 gün (SPAD 25, Kanopi 25) Sonraki SPAD ve Kanopi Değerlerinin Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	KARELER ORTALAMASI						
	SD	SPAD 0	SPAD 15	SPAD 25	Kanopi 0	Kanopi 15	Kanopi 25
Lokasyon	1	912,2**	388,3**	17,7	1618,0**	216,2**	28,0**
Genotip	181	20,4**	35,9**	107,9**	3,4**	0,8	0,9
Lokasyon $\times$ Genotip	181	10,6*	25,9**	98,6**	2,1**	0,8	0,8
Hata	364	8,5	11,6	41,2	1,8	0,9	1,3
Toplam	728						

* ile işaretli kareler ortalaması değerleri 0,05 hata ihtimali düzeyinde önemlidir,

** ile işaretli kareler ortalaması değerleri 0,01 hata ihtimali düzeyinde önemlidir,

Genel itibarıyla lokasyon ortalamalarına göre çiçeklenme ve çiçeklenmeden 15 gün sonraki dönemde Erzurum lokasyonunda Konya lokasyonuna göre daha yüksek klorofil içeriği, çiçeklenmeden 25 gün sonraki dönemde ise Konya lokasyonunda Erzurum lokasyonuna göre daha yüksek klorofil içeriği elde edilmiştir (Tablo 9). Birleşik değerlere göre en yüksek klorofil içeriği çiçeklenmeden 15 gün sonraki dönemde, en düşük ise çiçeklenmeden 25 gün sonraki dönemde elde edilmiştir (Tablo 9). Genotipler arasında SPAD 0 değeri 36,50 - 50,43, SPAD 15 değeri 33,45 - 51,20 ve SPAD 25 değeri ise 25,11 - 50,59 arasında değişmiştir (Tablo 9). Genotipler arasındaki klorofil içeriğindeki yüksek orandaki değişimin sebebi genotiplerin yetiştirme sürelerindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır.

Tablo 9. Genotiplerin Çiçeklenme Dönemi (SPAD 0), Çiçeklenmeden 15 Gün (SPAD 15) ve Çiçeklenmeden 25 Gün (SPAD 25) Sonraki SPAD Parametresinin Ortalama Değerleri

Genotipler	SPAD 0			SPAD 15			SPAD 25		
	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik
NOR	47,9	41,1	44,5	45,3	42,7	44,0	33,9	38,9	36,4
ZAG	48,9	42,6	45,7	47,6	49,4	48,5	26,2	34,1	30,1
G1	41,7	45,1	43,4	48,3	44,4	46,3	43,3	35,1	39,2
G2	46,3	40,3	43,3	46,8	48,3	47,5	38,1	37,5	37,8
G3	42,3	42,5	42,4	46,2	45,9	46,1	34,1	32,1	33,1
G4	43,3	42,3	42,8	40,2	44,1	42,1	40,1	32,2	36,1
G5	44,4	45,0	44,7	37,9	47,1	42,5	22,3	42,5	32,4
G6	46,8	49,0	47,9	43,8	47,0	45,4	41,2	41,7	41,4
G7	45,4	44,9	45,2	44,9	46,2	45,5	40,5	41,4	40,9
G8	43,4	43,1	43,2	49,0	43,1	46,1	39,8	35,6	37,7
G9	49,3	45,7	47,5	47,6	45,1	46,4	46,1	37,1	41,6
G10	40,6	44,0	42,3	43,0	44,7	43,8	25,9	42,0	33,9
G11	42,9	41,8	42,3	42,3	45,0	43,6	23,2	37,8	30,5
G12	41,6	43,7	42,7	42,7	41,9	42,3	29,9	40,6	35,3
G13	43,4	39,7	41,5	39,4	40,3	39,8	26,6	33,8	30,2
G14	46,0	42,6	44,3	46,2	45,3	45,7	29,5	33,4	31,4
G15	46,8	47,1	46,9	50,2	47,1	48,6	40,3	38,0	39,1
G16	48,4	47,4	47,9	46,4	47,7	47,0	42,0	42,5	42,2
G17	40,5	46,0	43,3	45,3	44,7	45,0	31,1	44,2	37,6
G18	45,7	44,8	45,2	47,1	47,2	47,1	40,1	40,5	40,3
G19	43,5	47,1	45,3	44,4	48,5	46,5	28,3	45,0	36,7
G20	47,3	43,4	45,4	47,8	44,4	46,1	43,9	41,0	42,5
G21	44,4	45,3	44,9	45,4	46,2	45,8	41,7	35,3	38,5
G22	44,8	40,6	42,7	43,9	45,3	44,6	32,8	35,6	34,2
G23	43,5	43,1	43,3	43,9	43,9	43,9	40,6	37,9	39,2
G24	44,8	40,4	42,6	44,2	43,1	43,7	39,3	33,8	36,5
G25	44,1	43,7	43,9	48,1	43,3	45,7	46,1	43,7	44,9
G26	46,4	41,4	43,9	47,5	41,7	44,6	43,1	36,3	39,7
G27	40,4	47,8	44,1	46,5	47,5	47,0	43,5	47,6	45,6
G28	48,5	40,4	44,4	49,7	43,2	46,5	41,7	37,9	39,8
G29	46,5	44,3	45,4	35,8	46,2	41,0	30,5	46,6	38,5
G30	46,5	45,5	46,0	46,7	48,0	47,4	45,2	39,1	42,1
G31	51,8	47,4	49,6	52,0	47,8	49,9	44,7	41,3	43,0
G32	41,2	42,7	42,0	41,8	40,7	41,2	35,4	32,4	33,9
G33	46,3	45,1	45,7	51,5	47,3	49,4	47,0	44,8	45,9
G34	43,4	46,2	44,8	49,7	45,7	47,7	41,3	47,3	44,3
G35	46,8	43,8	45,3	49,7	47,8	48,7	37,0	41,8	39,4
G36	49,8	44,7	47,2	48,8	46,6	47,7	37,6	36,7	37,2
G37	46,3	45,4	45,8	46,9	43,6	45,3	34,2	38,3	36,2
G38	44,6	44,5	44,6	47,1	45,2	46,1	40,2	35,5	37,8
G39	49,5	43,4	46,4	51,0	42,6	46,8	42,8	26,9	34,9
G40	45,2	42,0	43,6	46,5	46,3	46,4	43,2	44,1	43,6
G41	43,7	42,6	43,1	47,6	42,4	45,0	37,9	39,4	38,6
G42	47,0	45,2	46,1	45,0	43,8	44,4	40,9	36,4	38,6
G43	44,0	41,3	42,6	42,2	43,2	42,7	27,5	40,5	34,0
G44	47,2	43,8	45,5	45,7	46,8	46,2	46,4	33,2	39,8
G45	46,3	44,1	45,2	44,1	45,0	44,5	38,6	34,4	36,5
G46	50,5	46,9	48,7	49,6	44,1	46,8	43,1	41,8	42,5
G47	48,8	45,6	47,2	43,2	44,8	44,0	38,5	45,2	41,9
G48	49,4	42,5	46,0	47,6	45,8	46,7	50,5	38,6	44,5
G49	49,8	43,9	46,8	48,6	42,2	45,4	46,8	36,3	41,5
G50	49,1	45,1	47,1	47,2	46,0	46,6	47,0	30,2	38,6
G51	46,2	45,4	45,8	49,1	43,5	46,3	45,0	44,8	44,9
G52	42,2	39,1	40,6	47,2	41,1	44,1	40,6	36,3	38,4
G53	48,9	42,7	45,8	49,2	44,5	46,9	47,2	36,9	42,0
G54	44,1	42,4	43,2	45,5	44,0	44,8	46,1	40,8	43,4
G55	44,1	46,4	45,2	47,8	46,8	47,3	45,1	38,7	41,9
G56	46,2	45,7	45,9	50,0	45,7	47,8	46,8	38,1	42,5
G57	42,9	43,5	43,2	44,8	42,7	43,7	42,4	39,8	41,1
G58	48,7	41,9	45,3	48,3	39,1	43,7	41,4	33,6	37,5
G59	44,3	42,2	43,2	44,8	44,7	44,7	42,9	38,1	40,5
G60	49,3	43,4	46,3	52,3	46,5	49,4	45,7	41,1	43,4
G61	49,7	49,3	49,5	51,5	45,5	48,5	46,8	45,7	46,3
G62	44,2	47,8	46,0	46,3	46,4	46,3	39,9	45,1	42,5

Tablo 9. (Devamı)

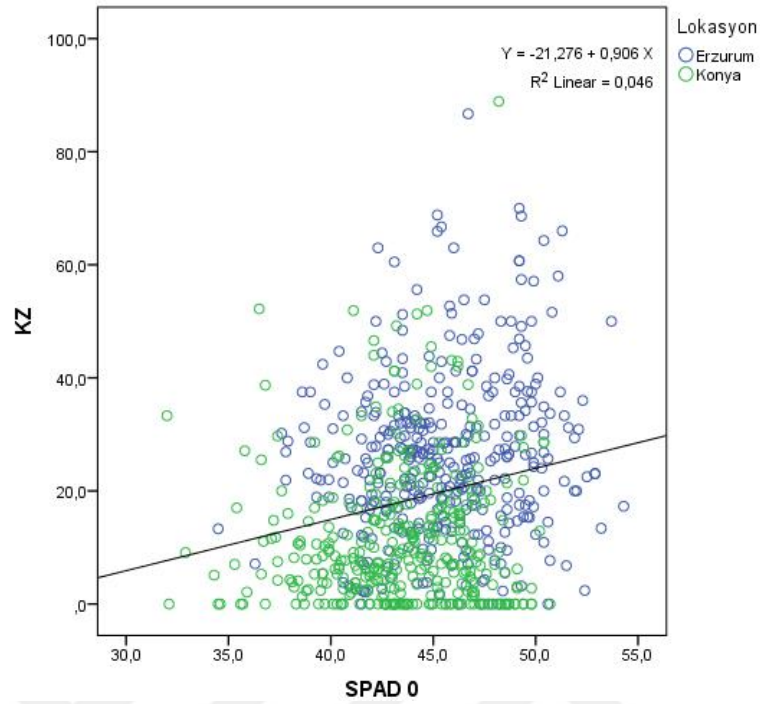
G63	45,0	43,7	44,3	47,5	42,1	44,8	43,2	37,7	40,4
G64	45,6	42,9	44,2	47,6	44,5	46,0	44,4	35,9	40,2
G65	44,8	41,9	43,3	29,0	42,3	35,7	24,4	39,8	32,1
G66	46,0	41,5	43,7	47,9	43,0	45,4	46,8	35,5	41,1
G67	45,2	41,5	43,4	44,0	42,9	43,4	34,3	34,4	34,3
G68	52,9	43,4	48,1	40,7	42,0	41,3	31,4	30,9	31,1
G69	42,7	43,9	43,3	48,8	41,2	45,0	41,2	41,9	41,6
G70	51,1	47,0	49,1	48,9	48,1	48,5	43,9	43,8	43,8
G71	43,5	39,6	41,5	47,8	42,1	45,0	37,4	26,0	31,7
G72	49,3	44,5	46,9	49,5	43,9	46,7	46,1	38,5	42,3
G73	40,3	41,8	41,0	39,9	42,3	41,1	29,0	33,9	31,4
G74	42,8	43,3	43,0	49,1	45,0	47,0	40,0	38,0	39,0
G75	48,4	40,2	44,3	49,3	40,8	45,0	50,2	34,1	42,1
G76	41,8	45,9	43,9	49,2	41,6	45,4	32,1	38,8	35,5
G77	50,1	48,5	49,3	41,4	48,2	44,8	33,5	42,1	37,8
G78	43,1	42,5	42,8	35,0	44,6	39,8	18,5	40,4	29,5
G79	50,1	41,4	45,7	49,3	45,9	47,6	42,3	30,2	36,2
G80	39,7	43,6	41,6	39,2	37,0	38,1	23,8	38,9	31,3
G81	49,2	39,9	44,6	45,7	43,9	44,8	33,6	38,7	36,2
G82	49,5	45,8	47,6	49,0	46,2	47,6	42,4	38,7	40,6
G83	48,7	46,4	47,5	51,8	46,9	49,3	47,2	34,8	41,0
G84	46,4	42,0	44,2	40,7	42,3	41,5	18,8	37,4	28,1
G85	41,9	43,8	42,8	41,7	46,0	43,8	37,3	35,6	36,4
G86	45,3	40,2	42,7	40,0	40,9	40,4	27,7	33,5	30,6
G87	44,2	41,9	43,0	44,2	43,2	43,7	34,0	36,5	35,2
G88	43,2	39,6	41,4	40,8	41,1	40,9	22,1	36,4	29,3
G89	40,3	45,8	43,0	43,5	46,3	44,9	38,1	46,4	42,2
G90	45,0	44,3	44,7	47,3	46,1	46,7	42,3	38,7	40,5
G91	48,7	43,5	46,1	50,2	44,9	47,6	43,6	32,4	38,0
G92	44,4	39,6	42,0	38,7	40,4	39,5	30,4	29,2	29,8
G93	40,7	42,7	41,7	31,0	45,2	38,1	24,9	39,0	32,0
G94	45,3	41,8	43,5	42,1	43,3	42,7	42,0	40,7	41,3
G95	41,6	43,3	42,4	44,5	45,7	45,1	36,4	39,6	38,0
G96	49,2	45,0	47,1	46,9	46,3	46,6	28,8	35,6	32,2
G97	45,8	44,0	44,9	49,9	46,1	48,0	44,5	48,0	46,2
G98	45,5	43,3	44,4	38,7	43,7	41,2	20,4	34,0	27,2
G99	43,9	44,9	44,4	43,0	42,0	42,5	42,3	45,0	43,6
G100	46,8	39,4	43,1	49,8	41,4	45,6	42,5	42,9	42,7
G101	44,4	41,0	42,7	48,8	38,9	43,8	42,3	29,0	35,6
G102	45,2	41,1	43,1	42,8	38,1	40,4	32,4	34,4	33,4
G103	50,4	44,5	47,4	52,8	43,1	47,9	41,1	40,3	40,7
G104	44,0	42,7	43,4	47,2	45,0	46,1	45,2	42,8	44,0
G105	41,7	45,3	43,5	49,0	47,8	48,4	38,0	41,8	39,9
G106	44,0	41,7	42,9	48,2	42,6	45,4	44,8	42,0	43,4
G107	46,5	43,6	45,0	48,4	43,5	45,9	43,0	35,2	39,1
G108	48,9	45,2	47,0	50,0	48,3	49,1	47,2	42,5	44,8
G109	45,6	40,5	43,1	47,7	40,3	44,0	40,0	36,2	38,1
G110	50,7	45,1	47,9	53,7	48,8	51,2	47,8	47,8	47,8
G111	47,1	44,6	45,8	39,6	43,8	41,7	23,9	31,9	27,9
G112	44,1	42,7	43,4	45,9	44,3	45,1	43,3	33,7	38,5
G113	44,4	37,5	40,9	46,7	36,3	41,5	41,5	29,2	35,4
G114	46,4	41,5	43,9	48,5	40,9	44,7	43,1	40,6	41,8
G115	45,6	39,8	42,7	43,2	42,2	42,7	45,1	32,2	38,6
G116	49,5	45,3	47,4	51,0	45,6	48,3	35,1	35,0	35,1
G117	45,7	41,8	43,7	50,8	43,6	47,2	44,2	39,2	41,7
G118	40,0	38,7	39,3	42,2	41,0	41,6	35,2	39,4	37,3
G119	46,0	48,2	47,1	48,2	48,4	48,3	39,6	43,1	41,3
G120	46,9	48,3	47,6	46,8	48,8	47,8	40,1	41,8	41,0
G121	45,1	41,9	43,5	31,4	44,9	38,1	33,9	47,2	40,5
G122	49,2	48,4	48,8	51,7	46,7	49,2	40,7	44,4	42,6
G123	45,6	41,0	43,3	46,3	43,2	44,7	41,0	36,3	38,6
G124	49,0	42,6	45,8	47,8	40,7	44,2	36,8	32,7	34,7
G125	47,2	44,7	45,9	49,3	44,3	46,8	49,1	38,2	43,6
G126	47,8	42,8	45,3	49,8	40,3	45,0	47,3	34,5	40,9
G127	43,7	41,2	42,4	44,9	43,2	44,1	45,9	44,1	45,0
G128	44,9	45,7	45,3	41,7	44,0	42,8	20,9	40,0	30,5
G129	44,7	43,4	44,1	43,5	44,2	43,9	45,9	34,6	40,3
G130	50,0	48,4	49,2	49,1	45,0	47,0	42,2	44,1	43,2

Tablo 9. (Devamı)

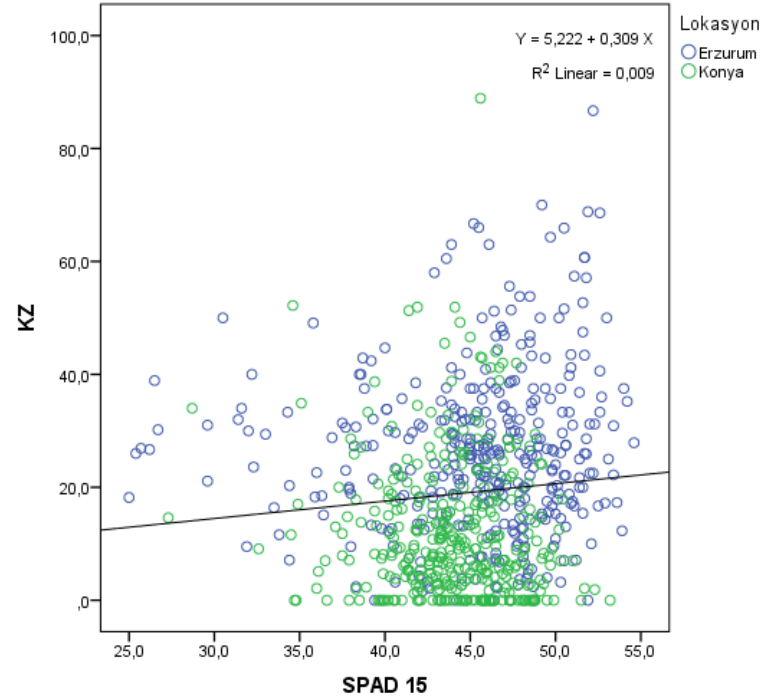
G131	47,5	45,7	46,6	47,6	45,2	46,4	41,1	37,7	39,4
G132	43,1	43,5	43,3	48,7	43,2	46,0	46,5	29,6	38,1
G133	42,6	44,7	43,6	46,2	44,9	45,6	46,3	41,3	43,8
G134	44,9	42,5	43,7	39,9	43,4	41,6	22,7	35,1	28,9
G135	50,2	47,8	49,0	49,7	46,2	48,0	41,5	37,9	39,7
G136	44,8	40,6	42,7	46,6	43,8	45,2	35,1	33,4	34,2
G137	45,9	40,5	43,2	44,3	40,7	42,5	37,1	31,2	34,2
G138	46,0	44,0	45,0	44,8	43,9	44,3	44,1	41,9	43,0
G139	43,6	40,4	42,0	40,1	37,4	38,8	42,5	34,5	38,5
G140	48,8	41,4	45,1	46,4	42,4	44,4	43,2	32,4	37,8
G141	45,5	42,1	43,8	48,4	43,7	46,0	36,5	31,7	34,1
G142	44,0	48,2	46,1	45,5	45,6	45,6	45,1	41,4	43,3
G143	43,3	43,9	43,6	45,4	42,7	44,0	43,2	40,9	42,0
G144	47,2	45,0	46,1	51,2	48,7	49,9	48,8	37,5	43,1
G145	50,0	41,9	46,0	44,8	41,4	43,1	31,4	37,3	34,4
G146	46,0	42,8	44,4	44,8	40,9	42,9	22,9	34,9	28,9
G147	43,9	41,9	42,9	48,3	43,2	45,7	40,1	35,4	37,7
G148	42,6	43,4	43,0	43,3	45,1	44,2	35,4	38,6	37,0
G149	49,9	42,2	46,1	48,7	44,9	46,8	28,4	72,8	50,6
G150	45,1	41,0	43,0	48,7	40,1	44,4	45,2	35,8	40,5
G151	42,6	43,2	42,9	43,6	41,6	42,6	36,6	35,5	36,0
G152	41,8	44,8	43,3	44,0	43,1	43,6	33,2	45,6	39,4
G153	42,1	41,8	41,9	44,6	44,3	44,4	38,1	36,2	37,1
G154	50,5	50,4	50,4	44,6	46,3	45,4	21,5	28,8	25,1
G155	45,5	40,1	42,8	46,1	42,1	44,1	36,7	41,5	39,1
G156	42,4	38,9	40,6	43,0	41,7	42,3	36,5	32,1	34,3
G157	47,8	41,6	44,7	50,0	43,7	46,8	41,5	36,6	39,0
G158	47,0	48,1	47,5	47,9	46,0	46,9	32,3	43,2	37,7
G159	43,6	45,0	44,3	35,6	44,7	40,2	12,2	43,0	27,6
G160	48,7	45,4	47,0	38,4	42,5	40,4	15,4	34,9	25,1
G161	50,2	43,1	46,6	51,6	45,8	48,7	46,3	41,0	43,6
G162	47,3	47,0	47,1	50,1	44,6	47,3	43,3	41,5	42,4
G163	45,4	43,2	44,3	46,1	41,9	44,0	39,1	39,9	39,5
G164	44,4	41,8	43,1	36,5	41,7	39,1	23,7	27,3	25,5
G165	39,3	36,7	38,0	42,4	41,1	41,7	38,4	32,9	35,6
G166	47,5	43,0	45,2	29,1	45,7	37,4	11,7	42,1	26,9
G167	45,2	35,5	40,3	47,2	33,2	40,2	43,4	30,6	37,0
G168	37,2	36,1	36,7	41,3	39,1	40,2	37,0	29,4	33,2
G169	48,7	41,7	45,2	49,0	45,3	47,1	41,8	35,9	38,9
G170	43,9	37,6	40,7	47,9	33,9	40,9	38,7	31,5	35,1
G171	49,0	45,7	47,4	48,0	47,8	47,9	47,4	49,0	48,2
G172	46,9	43,1	45,0	45,4	46,5	45,9	36,4	40,7	38,6
G173	46,9	44,0	45,4	46,7	45,7	46,2	50,8	38,1	44,4
G174	42,7	44,1	43,4	30,7	45,7	38,2	14,7	42,7	28,7
G175	43,3	40,9	42,1	29,0	44,7	36,8	10,2	40,4	25,3
G176	41,6	44,2	42,9	46,0	45,0	45,5	40,5	38,5	39,5
G177	47,8	44,3	46,0	48,3	46,1	47,2	47,2	38,5	42,8
G178	46,0	45,9	45,9	48,6	44,3	46,5	48,7	43,7	46,2
G179	49,6	46,0	47,8	51,2	48,3	49,7	49,1	43,0	46,0
G180	37,7	42,1	39,9	26,2	40,7	33,5	15,8	34,7	25,2
Ortalama	45,6	43,4	44,5	45,5	44,0	44,7	37,9	38,2	38,1
LSD değerleri									
Lokasyon	0,4			0,5			0,9		
Genotip	4,1			4,7			8,9		
L × G	5,7			6,7			12,6		

Şekil 23 ve 24'teki doğrusal regresyon analizi sonucuna göre, SPAD 0 ve SPAD 15 değeri sırasıyla kış zararı üzerinde pozitif yönlü bir etki göstermiştir ($Y = -21,276 + 0,906X$; $Y = 5,222 + 0,309X$). SPAD 0 değeri kış zararındaki toplam değişimin %4,6'sını ($R^2 = 0,046$) açıklarken, SPAD 15 değeri ise kış zararındaki toplam değişimi ($R^2 = 0,009$) neredeyse hiç açıklamadığını göstermiştir. Şekil 25'teki sonuca göre, SPAD 0 değeri görsel soğuk zararı

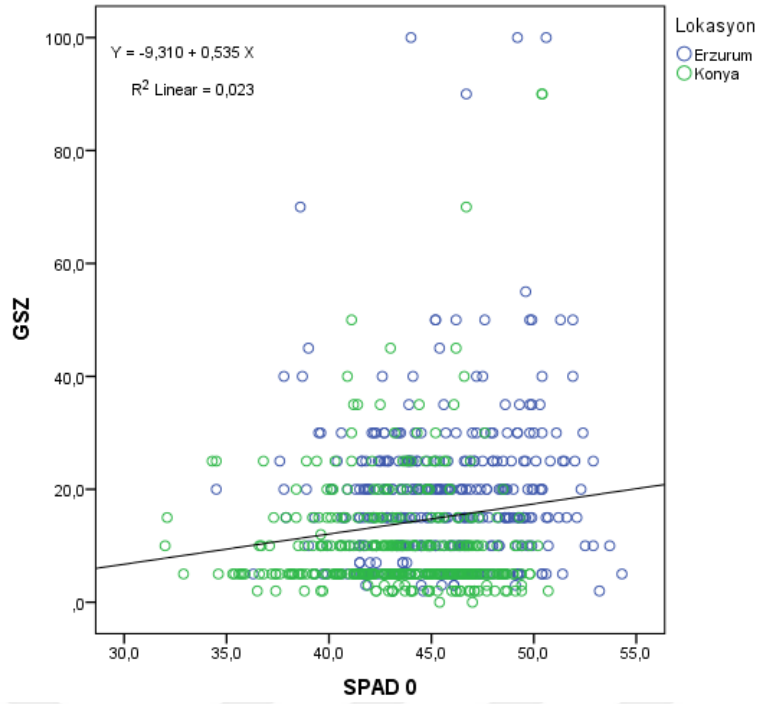
üzerinde pozitif yönlü bir etki göstermiş ($Y = -9,310 + 0,535X$) ve toplam değişimin yalnızca %2,3'ünü ($R^2 = 0,023$) açıklamıştır.



Şekil 23. Çiçeklenme dönemindeki klorofil içeriği (SPAD 0) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler



Şekil 24. Çiçeklenmeden 15 gün sonraki dönemde klorofil içeriği (SPAD 15) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler



Şekil 25. Çiçeklenme dönemindeki klorofil içeriği (SPAD 0) ile görsel soğuk zarası (GSZ) arasındaki ilişkiler

Yaprakları koyu renkli ve tüylü, dar ve küçük, stoma hücreleri ve stoma çapları küçük olan buğday çeşitleri soğuğa karşı genellikle daha dayanıklı olmaktadır. Yapraklar küçüldüğü oranda birim yaprak alanındaki hücre ve stoma sayısı artacağından birim alanda yapılan transpirasyon artmakta ve hücre suyu daha yoğun olmaktadır. Bu gibi hücrelerde hücre suyunun donma sıcaklığı düşmekte, dolayısıyla soğuğa dayanımı artmaktadır. Ayrıca yaprak renginin koyuluğu palisat hücrelerinin küçüklüğü ile ilgilidir ve hücre küçüldükçe birim yaprak yüzeyindeki klorofil sayısı artmakta ve renk koyulaşmaktadır. Genellikle koyu renkli çeşitlerdeki hücre suyu, yoğunluğu ve hücre zarı kalınlığı fazla olmaktadır. Bu nedenle koyu yeşil yapraklı çeşitler, açık yeşil yapraklı çeşitlere oranla kışa daha dayanıklı olmaktadır (Taner ve Sade 2005).

Allen and Ort (2001), fotosentezin, soğuk stresi tarafından aksayan kilit bir organ olduğunu açıklamıştır. Ayrıca soğuk stresinin fotofosforilasyonu sınırladığını, ATP sentaz ve RuBisCO rejenerasyonu gibi stomatal ve karbon asimilasyon enzimlerinin aktivitesini azalttığını belirtmişlerdir. Chinnusamy *et al.* (2007), donma sıcaklığının ozmotik strese neden olduğunu, hücresel dehidrasyona (su kaybı) eşlik ettiğini ve kökler tarafından besin ve su alımını azalttığını belirtmişlerdir. Zhang *et al.* (2022), iki buğday çeşidinde düşük sıcaklık stresini bir iklim kabininde -2 °C, 0 °C veya 2 °C (gece) ve 15 °C'de (gündüz) 24 saat, 48 saat veya 72 saat boyunca test etmiştir. Uygulama süresinin uzaması ve sıcaklığın düşmesi ile buğday yapraklarının fotosentetik oranının, stoma iletkenliğinin ve terleme oranının kademeli olarak azaldığını, ancak 72 saat boyunca -2 °C hariç tüm uygulamaların, uygulamadan sonraki 7-15 gün içinde yavaşça iyileştiğini belirtmiştir.

Kanopi Sıcaklığı

Çiçeklenme döneminde varyans analizi sonuçlarına göre lokasyon, genotip ve lokasyon $\times$ genotip interaksyonu kanopi sıcaklığı üzerine etkisi çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Çiçeklenmeden 15 gün ve çiçeklenmeden 25 gün sonraki dönemde lokasyonun kanopi sıcaklığı üzerine etkisi çok önemli, genotip ve lokasyon $\times$ genotip interaksyonunun kanopi sıcaklığı üzerine etkisi ise önemsiz bulunmuştur (Tablo 8). Her üç dönemde de Tablo 10'daki değerlerde görüldüğü gibi lokasyon değerlerine göre Konya lokasyonunda Erzurum lokasyonuna göre daha yüksek kanopi sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Birleşik değerlere baktığımızda en yüksek kanopi sıcaklık değerleri kanopi 0 döneminde, en düşük ise kanopi 25 döneminde elde edilmiştir. Kanopi 0 döneminde kanopi sıcaklık değerleri 7,5 - 12,5, kanopi 15 döneminde 6,2 - 8,5 ve kanopi 25 döneminde ise 4,9 - 7,4 arasında değişmiştir ve kanopi sıcaklık değerleri buğday gelişimi ilerledikçe azalmıştır (Tablo 10).

Tablo 10. Genotiplerin Çiçeklenme Dönemi (Kanopi 0), Çiçeklenmeden 15 Gün (Kanopi 15) ve Çiçeklenmeden 25 Gün (Kanopi 25) Sonraki Kanopi Parametrelerinin Ortalama Değerleri

Genotipler	Kanopi 0			Kanopi 15			Kanopi 25		
	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik
NOR	9,3	10,8	10,0	6,8	8,9	7,9	5,1	5,3	5,2
ZAG	7,0	10,3	8,6	6,1	8,3	7,2	5,2	6,4	5,8
G1	7,5	10,5	9,0	6,7	6,3	6,5	6,7	5,6	6,1
G2	6,4	11,1	8,8	5,9	7,8	6,8	5,2	5,7	5,4
G3	7,5	10,8	9,1	6,4	7,9	7,2	5,7	7,3	6,5
G4	7,4	8,9	8,1	6,4	8,3	7,3	5,7	6,3	6,0
G5	7,7	10,0	8,9	6,4	8,4	7,4	5,5	5,9	5,7
G6	8,6	8,6	8,6	6,6	8,0	7,3	5,1	4,9	5,0
G7	8,5	9,6	9,0	6,5	8,3	7,4	5,1	6,5	5,8
G8	8,5	9,6	9,0	6,9	8,4	7,6	6,3	5,3	5,8
G9	8,1	9,8	8,9	6,5	8,5	7,5	5,5	5,1	5,3
G10	8,7	9,7	9,2	7,0	8,1	7,5	6,2	5,8	6,0
G11	8,2	10,1	9,2	6,5	8,4	7,4	5,1	5,0	5,0
G12	8,7	11,2	9,9	6,9	7,1	7,0	5,9	6,3	6,1
G13	8,3	11,7	10,0	7,1	7,7	7,4	5,8	5,4	5,6
G14	8,4	11,2	9,8	6,5	8,8	7,6	5,1	6,9	6,0
G15	7,6	10,2	8,9	6,0	6,7	6,3	4,3	6,4	5,3
G16	7,5	11,9	9,7	6,4	8,1	7,2	5,7	6,6	6,1
G17	7,5	11,3	9,4	7,3	6,9	7,1	4,8	6,0	5,4
G18	8,3	11,6	10,0	6,4	8,7	7,5	4,9	7,4	6,1
G19	8,1	13,3	10,7	6,5	8,6	7,6	5,5	7,3	6,4
G20	8,0	11,1	9,6	6,5	9,1	7,8	5,5	7,3	6,4
G21	7,2	9,8	8,5	6,1	7,7	6,9	5,2	6,5	5,9
G22	8,2	11,2	9,7	6,8	7,7	7,2	6,2	7,0	6,6
G23	8,5	13,3	10,9	6,9	7,4	7,1	6,2	6,6	6,4
G24	7,0	12,4	9,7	6,5	8,3	7,4	6,5	6,6	6,5
G25	7,3	11,4	9,3	6,6	8,2	7,4	6,4	6,4	6,4
G26	6,6	11,5	9,0	5,9	7,3	6,6	5,1	6,8	5,9
G27	8,6	12,5	10,5	7,0	8,0	7,5	6,4	6,8	6,6
G28	8,6	10,0	9,3	6,9	8,5	7,7	5,9	6,8	6,3
G29	8,8	12,1	10,4	7,0	8,6	7,8	6,2	7,0	6,6
G30	8,9	9,5	9,2	6,7	8,1	7,4	5,1	5,1	5,1
G31	8,9	10,7	9,8	7,0	6,8	6,9	5,9	5,4	5,6
G32	7,9	11,2	9,5	6,9	7,0	6,9	6,7	6,1	6,4
G33	6,3	9,4	7,9	5,6	8,0	6,8	4,5	5,6	5,0
G34	6,3	8,7	7,5	5,8	8,3	7,0	5,2	5,3	5,2
G35	7,5	10,1	8,8	6,4	8,6	7,5	5,7	6,0	5,8
G36	7,6	11,7	9,6	6,2	8,9	7,6	5,1	4,9	5,0
G37	7,4	13,2	10,3	6,7	7,5	7,1	6,7	5,6	6,1

Tablo 10. (Devamı)

G38	7,7	11,3	9,5	6,7	7,4	7,0	6,3	5,8	6,0
G39	6,9	10,9	8,9	6,6	8,1	7,3	6,7	6,4	6,5
G40	7,9	11,3	9,6	6,9	9,1	8,0	6,8	6,3	6,5
G41	9,0	13,3	11,1	7,0	7,7	7,4	6,0	6,5	6,3
G42	8,2	11,8	10,0	6,7	7,6	7,1	5,8	5,4	5,6
G43	8,0	12,3	10,1	6,2	9,0	7,6	4,7	6,1	5,4
G44	8,7	12,5	10,6	7,1	7,9	7,5	6,5	6,6	6,5
G45	8,9	11,7	10,3	7,2	7,7	7,4	6,9	6,1	6,5
G46	8,2	12,3	10,2	6,6	7,5	7,0	5,6	7,0	6,3
G47	8,8	12,9	10,9	7,5	9,0	8,3	7,8	7,0	7,4
G48	8,9	12,5	10,7	7,2	9,2	8,2	6,5	6,8	6,6
G49	8,4	11,6	10,0	6,8	7,3	7,0	6,0	6,6	6,3
G50	6,7	8,6	7,7	6,0	6,4	6,2	5,2	5,8	5,5
G51	8,4	9,9	9,2	6,5	6,5	6,5	5,1	5,8	5,4
G52	8,2	11,4	9,8	6,9	8,7	7,8	6,5	6,9	6,7
G53	8,8	11,2	10,0	6,9	8,7	7,8	5,9	7,0	6,4
G54	8,0	10,9	9,4	7,0	7,6	7,3	7,0	6,9	6,9
G55	8,6	11,9	10,2	7,0	7,4	7,2	6,3	6,0	6,2
G56	8,0	12,3	10,1	7,0	7,7	7,3	6,8	7,4	7,1
G57	8,0	12,7	10,3	7,0	7,5	7,3	7,0	6,4	6,7
G58	9,1	11,0	10,0	7,2	7,8	7,5	6,4	6,2	6,3
G59	9,6	13,0	11,3	7,5	8,7	8,1	7,0	6,5	6,7
G60	7,3	13,9	10,6	6,5	7,8	7,1	6,2	5,5	5,8
G61	7,6	13,3	10,4	7,2	8,7	7,9	7,9	6,6	7,2
G62	7,1	12,6	9,9	6,9	8,5	7,7	7,6	7,1	7,3
G63	7,5	10,9	9,2	7,0	7,0	7,0	7,3	7,0	7,2
G64	8,8	9,1	8,9	7,3	8,4	7,8	7,1	5,9	6,5
G65	8,0	11,4	9,7	7,2	8,1	7,6	7,5	6,1	6,8
G66	8,8	10,8	9,8	7,2	7,2	7,2	6,6	5,7	6,1
G67	8,8	10,0	9,4	7,1	9,0	8,0	6,4	6,4	6,4
G68	8,7	10,3	9,5	6,9	7,7	7,3	6,1	6,4	6,3
G69	9,7	10,7	10,2	7,5	8,3	7,9	6,6	5,5	6,1
G70	9,6	10,4	10,0	7,3	7,7	7,5	6,3	6,4	6,4
G71	9,9	9,7	9,8	7,6	7,6	7,6	6,8	6,1	6,5
G72	10,0	11,8	10,9	7,3	7,1	7,2	5,9	6,2	6,0
G73	10,3	11,5	10,9	7,5	7,3	7,4	6,1	6,3	6,2
G74	11,1	12,2	11,7	8,0	7,9	7,9	6,9	6,9	6,9
G75	8,7	11,7	10,2	7,2	7,2	7,2	6,8	6,3	6,5
G76	9,0	10,4	9,7	7,1	8,3	7,7	6,4	6,2	6,3
G77	9,1	10,5	9,8	6,9	6,8	6,8	5,7	5,2	5,4
G78	9,7	12,0	10,9	7,3	8,0	7,6	6,1	5,8	5,9
G79	10,1	11,3	10,7	7,5	7,5	7,5	6,2	5,8	6,0
G80	9,3	12,0	10,7	7,1	6,5	6,8	5,8	5,7	5,7
G81	7,4	12,5	9,9	6,3	7,5	6,9	5,4	5,9	5,7
G82	9,2	12,3	10,7	7,4	6,5	6,9	6,9	5,9	6,4
G83	8,9	13,2	11,1	7,2	7,0	7,1	6,7	5,8	6,2
G84	8,7	12,5	10,6	7,0	7,9	7,4	6,1	5,4	5,7
G85	8,4	10,1	9,2	6,5	6,3	6,4	5,3	5,8	5,5
G86	9,2	11,5	10,4	6,9	6,9	6,9	5,5	5,9	5,7
G87	10,0	10,7	10,3	7,4	7,3	7,3	6,1	5,9	6,0
G88	8,7	10,4	9,5	6,9	7,5	7,2	5,9	5,9	5,9
G89	9,5	11,2	10,4	7,2	6,9	7,1	6,1	6,0	6,1
G90	9,0	10,4	9,7	6,8	7,3	7,0	5,2	6,0	5,6
G91	8,6	10,3	9,5	6,7	7,6	7,2	5,6	5,4	5,5
G92	8,2	11,8	10,0	6,5	8,8	7,6	5,3	6,4	5,8
G93	9,1	11,1	10,1	7,1	7,5	7,3	6,1	6,7	6,4
G94	8,5	11,8	10,1	6,7	7,8	7,2	5,7	4,8	5,2
G95	9,1	12,5	10,8	7,0	8,2	7,6	6,0	6,2	6,1
G96	7,8	12,0	9,9	6,3	8,2	7,2	5,1	6,0	5,6
G97	9,1	13,2	11,2	7,0	7,7	7,4	5,9	7,4	6,6
G98	8,3	11,9	10,1	6,6	7,4	7,0	5,6	7,1	6,3
G99	9,0	12,1	10,5	7,2	8,2	7,7	6,6	6,3	6,4
G100	8,8	13,4	11,1	6,8	7,9	7,3	5,5	6,7	6,1
G101	9,8	14,3	12,0	7,2	7,5	7,3	5,7	6,7	6,2
G102	8,8	12,2	10,5	7,0	7,7	7,3	6,1	6,7	6,4
G103	8,7	14,1	11,4	6,9	8,0	7,5	6,1	5,5	5,8
G104	8,6	12,9	10,7	6,8	7,8	7,3	5,8	6,2	6,0
G105	8,7	13,6	11,2	6,8	7,5	7,2	5,7	6,5	6,1

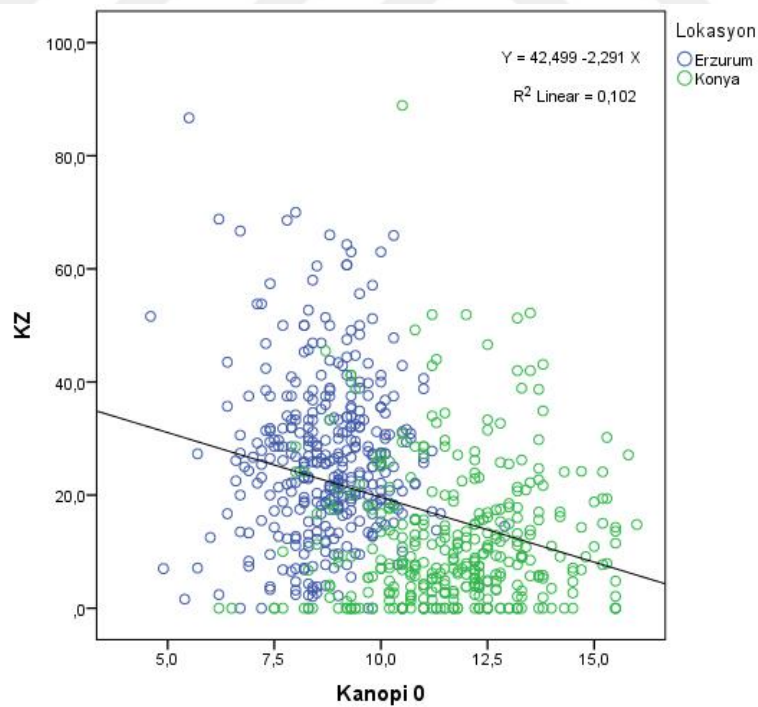
Tablo 10. (Devamı)

G106	8,1	14,0	11,1	6,7	7,4	7,0	5,8	6,3	6,0
G107	9,1	13,6	11,3	7,0	7,0	7,0	5,9	6,8	6,3
G108	8,8	14,6	11,7	7,0	6,5	6,7	6,2	6,3	6,2
G109	8,1	12,1	10,1	6,3	7,6	6,9	4,7	6,5	5,6
G110	8,0	14,4	11,2	6,5	7,0	6,7	5,5	6,7	6,1
G111	9,7	12,1	10,9	7,3	6,4	6,9	6,3	6,0	6,1
G112	7,7	12,1	9,9	6,4	7,4	6,9	5,4	7,3	6,3
G113	9,8	12,5	11,2	7,3	7,6	7,4	6,0	6,5	6,2
G114	9,7	13,7	11,7	7,2	7,3	7,2	6,0	6,4	6,2
G115	9,2	12,5	10,9	7,0	8,6	7,8	5,6	6,8	6,2
G116	9,5	12,1	10,8	7,1	8,5	7,8	5,7	6,8	6,2
G117	9,6	12,7	11,1	7,1	8,6	7,9	5,8	6,4	6,1
G118	9,8	12,9	11,3	7,5	7,7	7,6	6,9	7,3	7,1
G119	10,1	14,3	12,2	7,2	6,8	7,0	5,6	6,3	5,9
G120	9,2	15,5	12,4	7,1	7,3	7,2	6,1	5,8	5,9
G121	9,4	13,5	11,5	7,3	7,4	7,3	6,5	5,5	6,0
G122	9,2	11,0	10,1	7,1	6,5	6,8	6,1	6,3	6,2
G123	9,9	11,0	10,4	7,8	7,3	7,5	7,3	6,1	6,7
G124	9,6	11,5	10,5	6,8	6,5	6,6	4,7	6,0	5,3
G125	10,0	12,0	11,0	7,9	7,6	7,7	7,6	6,0	6,8
G126	10,6	12,3	11,4	7,4	7,9	7,6	5,7	5,7	5,7
G127	9,6	11,3	10,4	7,6	8,1	7,9	7,2	5,0	6,1
G128	10,6	12,8	11,7	7,3	7,8	7,6	5,4	5,5	5,4
G129	8,5	11,6	10,1	6,9	7,9	7,4	6,2	5,5	5,9
G130	8,2	8,8	8,5	7,1	8,3	7,7	7,0	6,0	6,5
G131	8,3	12,6	10,4	6,8	8,5	7,6	6,2	6,2	6,2
G132	9,5	12,3	10,9	6,8	9,2	8,0	4,8	6,3	5,5
G133	8,1	12,7	10,4	6,6	9,6	8,1	5,6	6,9	6,3
G134	8,8	12,4	10,6	7,1	8,8	7,9	6,4	7,0	6,7
G135	8,5	13,1	10,8	6,7	8,3	7,5	5,5	6,9	6,2
G136	8,9	13,4	11,1	6,8	8,0	7,4	5,3	7,0	6,2
G137	9,2	13,0	11,1	6,9	9,0	8,0	5,6	7,4	6,5
G138	9,6	14,6	12,1	7,1	9,1	8,1	5,7	7,0	6,4
G139	9,2	13,4	11,3	6,7	8,6	7,7	4,8	7,7	6,2
G140	8,4	11,7	10,1	7,0	9,8	8,4	6,4	6,7	6,5
G141	9,8	12,6	11,2	7,2	9,8	8,5	6,0	7,3	6,6
G142	10,1	12,1	11,1	6,9	9,3	8,1	4,4	8,2	6,3
G143	10,2	11,3	10,7	7,6	8,5	8,0	6,4	6,9	6,7
G144	9,6	12,0	10,8	7,1	8,8	7,9	5,6	6,9	6,2
G145	9,0	12,3	10,6	6,9	9,1	8,0	5,6	6,6	6,1
G146	9,7	13,0	11,3	6,6	9,2	7,9	4,1	6,9	5,5
G147	10,1	11,0	10,5	7,3	8,8	8,0	5,8	7,2	6,5
G148	9,8	12,7	11,2	7,3	7,8	7,5	5,9	6,3	6,1
G149	9,7	11,9	10,8	7,1	8,4	7,8	5,7	6,3	6,0
G150	10,0	12,1	11,0	7,4	8,3	7,8	6,2	6,2	6,2
G151	9,4	12,4	10,9	6,9	8,8	7,8	5,3	6,5	5,9
G152	10,7	14,4	12,5	7,7	8,0	7,8	6,3	7,0	6,6
G153	10,3	11,8	11,0	7,5	9,2	8,3	6,1	6,9	6,5
G154	9,3	11,0	10,1	6,9	9,8	8,3	5,4	6,8	6,1
G155	10,7	12,4	11,5	7,3	9,6	8,5	5,3	6,8	6,0
G156	10,0	11,7	10,8	7,4	8,4	7,9	6,1	7,8	6,9
G157	10,2	11,4	10,8	7,4	8,8	8,1	6,1	7,5	6,8
G158	10,6	11,4	11,0	7,6	9,0	8,3	6,3	6,8	6,6
G159	9,2	11,7	10,4	7,0	8,9	8,0	5,9	7,1	6,5
G160	9,6	12,9	11,2	7,2	7,4	7,3	6,0	6,6	6,3
G161	9,4	12,5	10,9	7,0	8,4	7,7	5,6	5,8	5,7
G162	8,5	11,5	10,0	6,8	9,4	8,1	5,7	6,4	6,1
G163	8,7	13,1	10,9	6,8	8,9	7,9	5,6	7,4	6,5
G164	9,0	12,0	10,5	6,6	8,8	7,7	4,9	5,6	5,2
G165	9,3	13,4	11,3	7,1	7,6	7,3	5,9	6,2	6,1
G166	9,2	13,5	11,3	6,9	9,2	8,0	5,5	5,7	5,6
G167	9,0	12,0	10,5	6,7	8,0	7,4	5,2	6,6	5,9
G168	9,3	13,7	11,5	7,2	7,3	7,2	6,2	7,0	6,6
G169	8,8	14,0	11,4	6,8	8,6	7,7	5,6	6,3	5,9
G170	8,7	13,3	11,0	6,9	8,0	7,5	6,2	6,7	6,4
G171	8,9	14,2	11,6	6,9	8,0	7,4	5,8	6,9	6,3
G172	8,9	9,3	9,1	6,7	9,8	8,2	5,1	5,0	5,1
G173	8,6	12,1	10,4	7,0	7,6	7,3	6,3	5,5	5,9

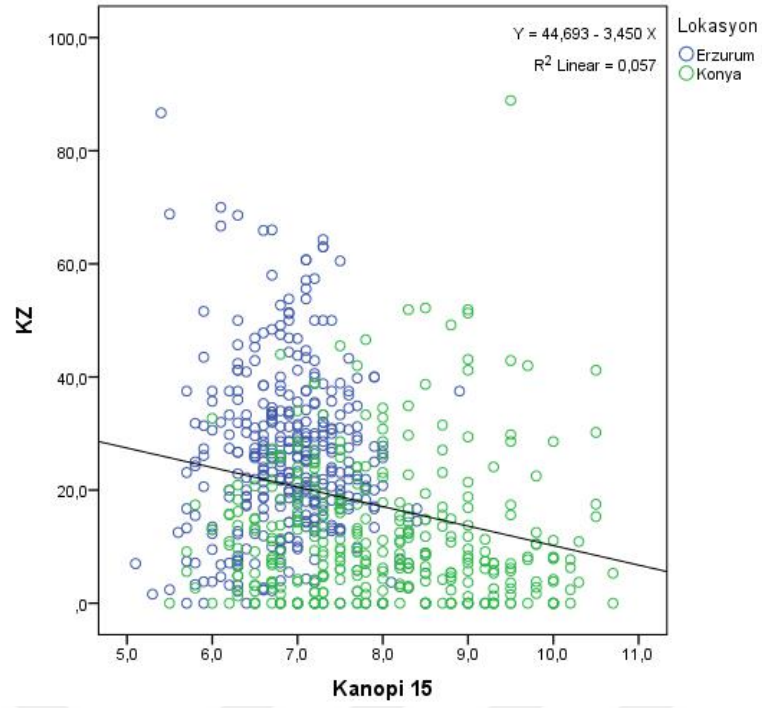
Tablo 10. (Devamı)

G174	9,6	11,0	10,3	7,2	9,1	8,1	5,8	6,4	6,1
G175	9,5	9,0	9,3	7,1	8,9	8,0	5,8	6,4	6,1
G176	9,4	8,9	9,1	6,9	7,8	7,3	5,3	6,0	5,6
G177	8,9	9,8	9,3	7,0	6,5	6,7	6,1	5,4	5,7
G178	9,1	9,3	9,2	6,9	8,8	7,8	5,7	5,8	5,7
G179	8,6	11,4	10,0	6,9	8,8	7,8	6,1	5,6	5,8
G180	9,1	12,7	10,9	6,5	7,7	7,1	4,5	5,4	4,9
Ortalama	8,8	11,7	10,3	6,9	8,0	7,4	5,9	6,3	6,1
LSD değerleri									
Lokasyon	0,2			0,1			0,2		
Genotip	1,9			1,3			1,6		
L × G	2,7			1,8			2,3		

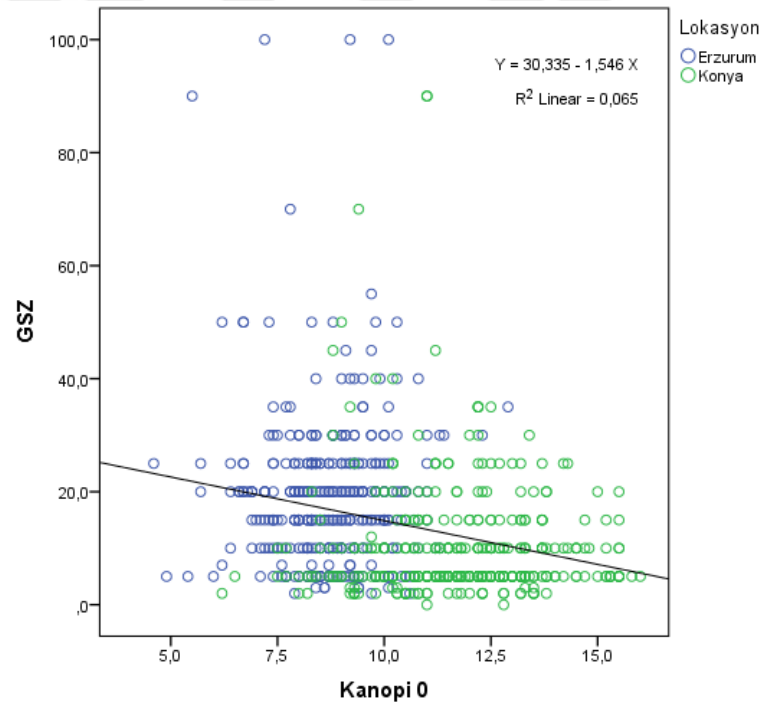
Şekil 26 ve 27’deki doğrusal regresyon analizi sonucuna göre, kanopi 0 ve kanopi 15 değeri sırasıyla kış zararı üzerinde negatif yönlü bir etki göstermiştir ($Y = 42,499 - 2,291X$; $Y = 44,693 - 3,450X$). Kanopi 0 değeri kış zararındaki toplam değişimin %10,2’sini ($R^2 = 0,102$) açıklarken, kanopi 15 değeri ise kış zararındaki toplam değişimin %5,7’sini ($R^2 = 0,057$) açıklamıştır. Şekil 28, 29 ve 30’daki sonucu göre ise kanopi 0, kanopi 15 ve kanopi 25 değeri sırasıyla görsel soğuk zararı üzerinde negatif yönlü bir etki göstermiştir ($Y = 30,335 - 1,546X$; $Y = 34,769 - 2,725X$; $Y = 29,289 - 2,429X$). Kanopi 0, kanopi 15 ve kanopi 25 değerleri görsel soğuk zararındaki toplam değişimin sırasıyla %6,5 ($R^2 = 0,065$), %5 ($R^2 = 0,050$) ve %4’ünü ($R^2 = 0,040$) açıklamıştır.



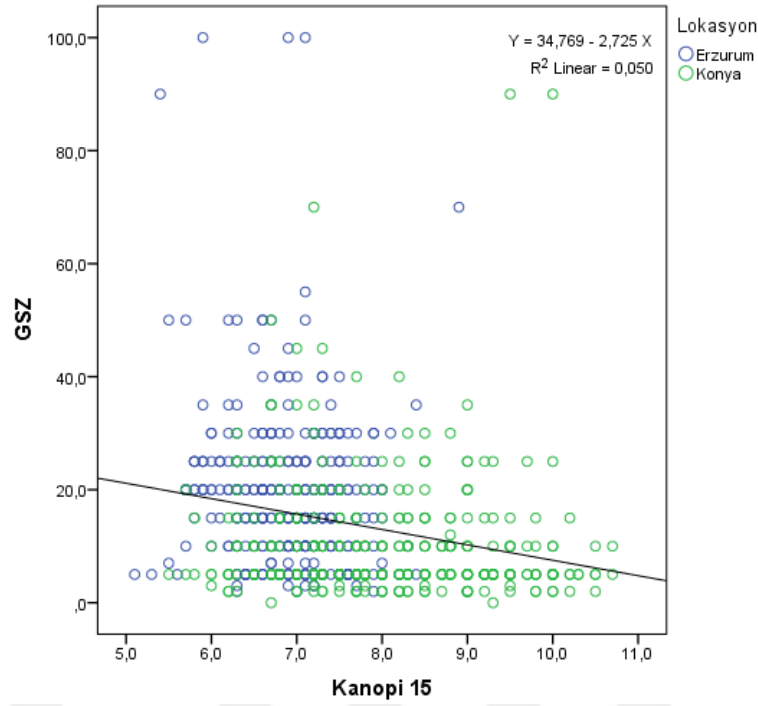
Şekil 26. Çiçeklenme dönemindeki kanopi sıcaklık farkı (Kanopi 0) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler



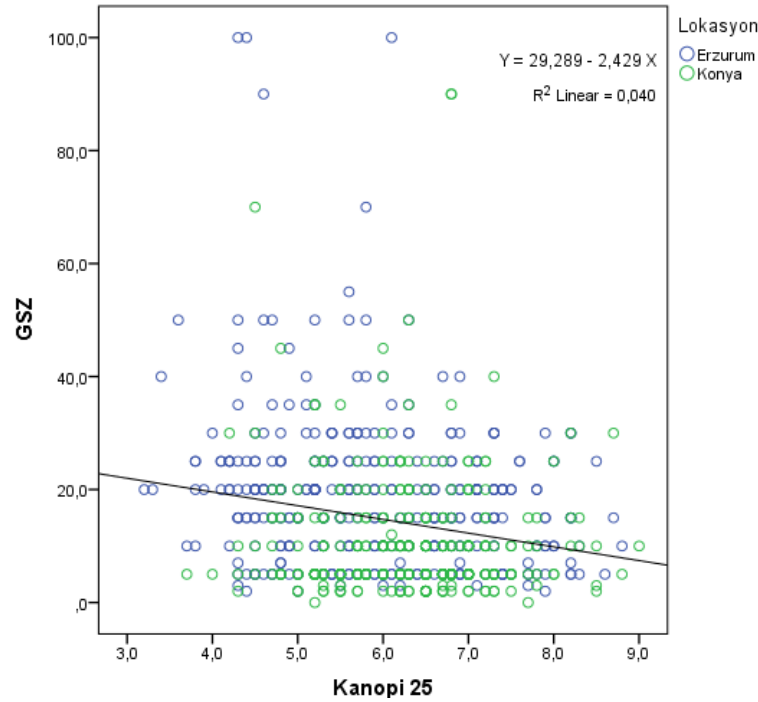
Şekil 27. Çiçeklenme döneminden 15 gün sonraki kanopi sıcaklık farkı (Kanopi 15) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler



Şekil 28. Çiçeklenme dönemindeki kanopi sıcaklık farkı (Kanopi 0) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler



Şekil 29. Çiçeklenme döneminden 15 gün sonraki kanopi sıcaklık farkı (Kanopi 15) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler



Şekil 30. Çiçeklenme döneminden 25 gün sonraki kanopi sıcaklık farkı (Kanopi 25) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler

Blum (2000), kanopi sıcaklığının kuraklık stresi koşullarında ölçüldüğünü ve kurak koşullarda bitkinin yapısındaki su durumunu belirttiğini açıklamıştır. Kuraklık stresinin görülmediği normal koşullarda genotipler arasındaki kanopi sıcaklığında çok az fark olduğunu, kuraklık stresinin yaşandığı koşullarda ise genotipler arasında kanopi sıcaklıkları farkında artış olduğunu belirtmiştir. Koşunkartay (2019), Erzurum koşullarında buğday ileri mutant

hatlarında kanopi sıcaklık farkının çiçeklenmeden 15 gün sonraki dönemde 8,40 -14,48 aralığında değiştiğini sonucunu elde etmiştir. Bu bulgular çalışmamızın çiçeklenme dönemindeki (Kanopi 0) sonuçlarımız ile benzer, çiçeklenmeden 15 gün sonraki (Kanopi 15) sonuçlardan ise daha yüksek olmuştur. Öztürk and Aydın (2017), bitki gelişme dönemine, ortam sıcaklığına, toprağın su durumuna, ışığın şiddetine, rüzgârın hızına, nemi ve havanın bulutluluk durumuna bağlı olarak kanopi sıcaklık farkının değişkenlik gösterdiğini belirtmiştir. Erzurum koşullarında, 64 buğday genotipinde çiçeklenmeden 15 gün sonraki dönemde kanopi sıcaklık farklarının sulu koşullarda 7,43 - 11,12 °C; geç kuraklık koşullarında ise 4,08 - 7,43 °C aralığında değiştiğini belirtmiştir.

Fotosistem II (PS II) Maksimum Enerji Verimi (F_v/F_m)

Tablo 11'deki varyans analizi sonuçlarına göre lokasyon, genotip ve lokasyon × genotip interaksiyonunun çiçeklenme (F_v/F_m 0), çiçeklenmeden 15 gün sonra (F_v/F_m 15) ve çiçeklenmeden 25 gün sonraki (F_v/F_m 25) dönemlerde fotosistem II (PS II) maksimum enerji verimi (F_v/F_m) üzerine etkisi çok önemli bulunmuştur.

Tablo 11. Genotiplerin Çiçeklenme Dönemi (F_v/F_m 0), Çiçeklenmeden 15 gün (F_v/F_m 15) ve Çiçeklenmeden 25 gün (F_v/F_m 25) Sonraki Fotosistem II (PS II) Maksimum Enerji Verimi (F_v/F_m) Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	KARELER ORTALAMASI			
	SD	F_v/F_m 0	F_v/F_m 15	F_v/F_m 25
Lokasyon	1	0,006**	0,185**	1,070**
Genotip	181	0,001**	0,005**	0,017**
Lokasyon × Genotip	181	0,001**	0,004**	0,018**
Hata	364	0,001	0,002	0,005
Toplam	728			

* ile işaretli kareler ortalaması değerleri 0,05 hata ihtimali düzeyinde önemlidir.

** ile işaretli kareler ortalaması değerleri 0,01 hata ihtimali düzeyinde önemlidir.

Lokasyon ortalamalarına baktığımızda çiçeklenme döneminde Erzurum lokasyonunda, çiçeklenmeden 15 ve çiçeklenmeden 25 gün sonraki dönemde ise Konya lokasyonunda daha yüksek fotosistem II (PS II) maksimum enerji verimi (F_v/F_m) değerleri elde edilmiştir (Tablo 12). Birleşik değerlere göre maksimum enerji verimi (F_v/F_m) çiçeklenme döneminde 0,744 - 0,826, çiçeklenmeden 15 gün sonraki dönemde 0,688 - 0,813 ve çiçeklenmeden 25 gün sonraki dönemde ise 0,561 - 0,802 arasında değişim göstermiştir (Tablo 12). Sonuçlara baktığımızda buğday gelişimi ilerledikçe maksimum enerji veriminin azaldığı görülmektedir.

Tablo 12. Genotiplerin Çiçeklenme Dönemi (Fv/Fm 0), Çiçeklenmeden 15 gün (Fv/Fm 15) ve Çiçeklenmeden 25 gün (Fv/Fm 25) Sonraki Fotosistem II (PS II) Maksimum Enerji Verimi (Fv/Fm) Parametresinin Ortalama Değerleri

Genotipler	Fv/Fm 0			Fv/Fm 15			Fv/Fm 25		
	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik
NOR	0,797	0,815	0,806	0,787	0,801	0,794	0,693	0,765	0,729
ZAG	0,760	0,773	0,766	0,775	0,786	0,780	0,691	0,772	0,731
G1	0,809	0,807	0,808	0,803	0,807	0,805	0,779	0,763	0,771
G2	0,811	0,770	0,790	0,800	0,809	0,804	0,595	0,802	0,698
G3	0,805	0,793	0,799	0,787	0,798	0,792	0,751	0,784	0,767
G4	0,801	0,801	0,801	0,793	0,803	0,798	0,659	0,779	0,719
G5	0,822	0,783	0,802	0,781	0,799	0,790	0,720	0,766	0,743
G6	0,809	0,809	0,809	0,791	0,788	0,789	0,776	0,745	0,760
G7	0,785	0,799	0,792	0,797	0,810	0,803	0,729	0,721	0,725
G8	0,809	0,805	0,807	0,781	0,798	0,789	0,746	0,778	0,762
G9	0,816	0,804	0,810	0,797	0,787	0,792	0,612	0,783	0,698
G10	0,812	0,815	0,813	0,805	0,814	0,810	0,685	0,788	0,737
G11	0,799	0,797	0,798	0,794	0,814	0,804	0,697	0,756	0,726
G12	0,826	0,803	0,814	0,806	0,827	0,816	0,638	0,721	0,679
G13	0,820	0,818	0,819	0,789	0,810	0,799	0,736	0,782	0,759
G14	0,794	0,789	0,791	0,796	0,802	0,799	0,742	0,797	0,769
G15	0,790	0,803	0,796	0,785	0,796	0,790	0,671	0,724	0,698
G16	0,793	0,796	0,794	0,813	0,824	0,818	0,742	0,776	0,759
G17	0,807	0,799	0,803	0,784	0,812	0,798	0,697	0,767	0,732
G18	0,811	0,791	0,801	0,794	0,804	0,799	0,726	0,746	0,736
G19	0,818	0,812	0,815	0,801	0,808	0,805	0,780	0,761	0,771
G20	0,817	0,801	0,809	0,775	0,778	0,776	0,718	0,797	0,757
G21	0,808	0,787	0,798	0,798	0,825	0,812	0,766	0,730	0,748
G22	0,810	0,796	0,803	0,783	0,773	0,778	0,734	0,766	0,750
G23	0,819	0,809	0,814	0,800	0,815	0,807	0,782	0,789	0,785
G24	0,818	0,790	0,804	0,791	0,782	0,786	0,788	0,772	0,780
G25	0,820	0,802	0,811	0,809	0,809	0,809	0,722	0,739	0,730
G26	0,806	0,808	0,807	0,785	0,797	0,791	0,770	0,747	0,758
G27	0,831	0,807	0,819	0,803	0,807	0,805	0,766	0,756	0,761
G28	0,780	0,784	0,782	0,803	0,805	0,804	0,779	0,733	0,756
G29	0,822	0,815	0,818	0,789	0,790	0,789	0,775	0,775	0,775
G30	0,819	0,820	0,819	0,792	0,774	0,783	0,760	0,706	0,733
G31	0,787	0,813	0,800	0,797	0,794	0,796	0,759	0,698	0,728
G32	0,803	0,808	0,805	0,797	0,810	0,804	0,753	0,749	0,751
G33	0,823	0,791	0,807	0,792	0,780	0,786	0,724	0,759	0,741
G34	0,801	0,807	0,804	0,788	0,813	0,800	0,636	0,725	0,680
G35	0,786	0,786	0,786	0,785	0,791	0,788	0,574	0,765	0,669
G36	0,824	0,779	0,802	0,808	0,816	0,812	0,694	0,720	0,707
G37	0,829	0,804	0,816	0,806	0,803	0,804	0,726	0,760	0,743
G38	0,827	0,804	0,816	0,776	0,760	0,768	0,746	0,769	0,757
G39	0,819	0,782	0,800	0,792	0,786	0,789	0,792	0,753	0,772
G40	0,809	0,810	0,809	0,775	0,751	0,763	0,745	0,725	0,735
G41	0,796	0,799	0,797	0,766	0,797	0,781	0,644	0,738	0,691
G42	0,819	0,802	0,811	0,792	0,819	0,805	0,722	0,749	0,735
G43	0,800	0,785	0,792	0,750	0,694	0,722	0,732	0,764	0,748
G44	0,817	0,804	0,811	0,791	0,797	0,794	0,718	0,774	0,746
G45	0,785	0,799	0,792	0,780	0,789	0,784	0,632	0,740	0,686
G46	0,801	0,803	0,802	0,788	0,793	0,791	0,725	0,742	0,733
G47	0,801	0,795	0,798	0,787	0,795	0,791	0,690	0,760	0,725
G48	0,808	0,816	0,812	0,787	0,791	0,789	0,770	0,763	0,766
G49	0,806	0,795	0,800	0,788	0,789	0,789	0,710	0,756	0,733
G50	0,798	0,810	0,804	0,779	0,779	0,779	0,702	0,684	0,693
G51	0,806	0,807	0,806	0,786	0,799	0,792	0,724	0,691	0,707
G52	0,830	0,820	0,825	0,805	0,809	0,807	0,705	0,763	0,734
G53	0,819	0,786	0,802	0,800	0,801	0,800	0,756	0,770	0,763
G54	0,820	0,808	0,814	0,795	0,781	0,788	0,750	0,760	0,755
G55	0,809	0,790	0,799	0,794	0,787	0,791	0,699	0,767	0,733
G56	0,834	0,800	0,817	0,793	0,783	0,788	0,782	0,794	0,788
G57	0,824	0,797	0,811	0,784	0,793	0,788	0,731	0,784	0,757
G58	0,822	0,803	0,812	0,775	0,752	0,763	0,681	0,766	0,723
G59	0,810	0,785	0,797	0,773	0,788	0,781	0,748	0,759	0,754
G60	0,821	0,791	0,806	0,794	0,791	0,792	0,758	0,722	0,740
G61	0,798	0,795	0,796	0,789	0,794	0,791	0,765	0,746	0,756

Tablo 12. (Devamı)

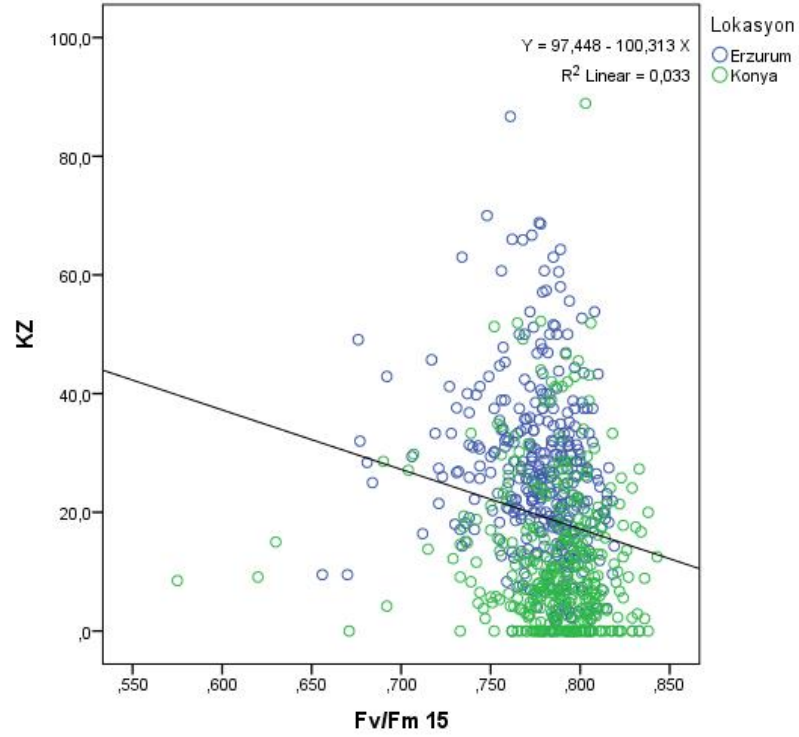
G62	0,828	0,795	0,811	0,786	0,771	0,779	0,789	0,741	0,765
G63	0,824	0,815	0,820	0,776	0,808	0,792	0,660	0,674	0,667
G64	0,807	0,808	0,807	0,786	0,796	0,791	0,781	0,768	0,774
G65	0,829	0,813	0,821	0,755	0,793	0,774	0,742	0,772	0,757
G66	0,831	0,795	0,813	0,795	0,796	0,795	0,728	0,761	0,744
G67	0,811	0,803	0,807	0,773	0,795	0,784	0,754	0,720	0,737
G68	0,815	0,795	0,805	0,786	0,782	0,784	0,757	0,786	0,772
G69	0,817	0,795	0,806	0,797	0,800	0,799	0,658	0,755	0,706
G70	0,825	0,804	0,814	0,808	0,811	0,809	0,725	0,730	0,728
G71	0,823	0,797	0,810	0,790	0,800	0,795	0,570	0,770	0,670
G72	0,810	0,804	0,807	0,787	0,800	0,793	0,736	0,739	0,737
G73	0,803	0,801	0,802	0,792	0,809	0,800	0,754	0,711	0,732
G74	0,810	0,762	0,786	0,778	0,768	0,773	0,698	0,710	0,704
G75	0,796	0,777	0,786	0,771	0,785	0,778	0,695	0,786	0,740
G76	0,816	0,779	0,797	0,754	0,798	0,776	0,792	0,774	0,783
G77	0,803	0,784	0,793	0,770	0,775	0,772	0,776	0,764	0,770
G78	0,792	0,797	0,794	0,724	0,769	0,746	0,592	0,761	0,676
G79	0,790	0,797	0,794	0,790	0,795	0,792	0,782	0,778	0,780
G80	0,803	0,787	0,795	0,788	0,796	0,792	0,691	0,780	0,735
G81	0,814	0,780	0,797	0,765	0,785	0,775	0,446	0,799	0,623
G82	0,812	0,772	0,792	0,742	0,811	0,776	0,699	0,797	0,748
G83	0,807	0,796	0,801	0,784	0,795	0,790	0,734	0,717	0,726
G84	0,815	0,790	0,802	0,736	0,786	0,761	0,669	0,766	0,718
G85	0,795	0,755	0,775	0,764	0,789	0,776	0,675	0,761	0,718
G86	0,787	0,756	0,771	0,774	0,801	0,787	0,674	0,734	0,704
G87	0,816	0,787	0,801	0,781	0,785	0,783	0,712	0,706	0,709
G88	0,815	0,786	0,800	0,763	0,793	0,778	0,541	0,740	0,640
G89	0,825	0,780	0,802	0,777	0,794	0,786	0,728	0,765	0,747
G90	0,813	0,796	0,804	0,788	0,809	0,798	0,782	0,778	0,780
G91	0,827	0,785	0,806	0,774	0,804	0,789	0,737	0,778	0,757
G92	0,816	0,799	0,807	0,777	0,787	0,782	0,801	0,725	0,763
G93	0,819	0,797	0,808	0,766	0,793	0,779	0,716	0,761	0,738
G94	0,810	0,803	0,806	0,779	0,789	0,784	0,726	0,767	0,747
G95	0,811	0,806	0,808	0,778	0,797	0,787	0,655	0,774	0,714
G96	0,802	0,791	0,796	0,776	0,799	0,787	0,720	0,695	0,707
G97	0,823	0,789	0,806	0,786	0,785	0,785	0,751	0,747	0,749
G98	0,809	0,804	0,807	0,771	0,775	0,773	0,794	0,755	0,774
G99	0,776	0,810	0,793	0,773	0,787	0,780	0,764	0,770	0,767
G100	0,803	0,798	0,800	0,774	0,761	0,767	0,671	0,782	0,726
G101	0,817	0,820	0,818	0,787	0,803	0,795	0,628	0,754	0,691
G102	0,814	0,795	0,805	0,754	0,780	0,767	0,698	0,762	0,730
G103	0,806	0,803	0,804	0,794	0,813	0,804	0,736	0,723	0,729
G104	0,817	0,809	0,813	0,768	0,778	0,773	0,739	0,674	0,706
G105	0,821	0,813	0,817	0,794	0,813	0,803	0,610	0,741	0,675
G106	0,796	0,819	0,808	0,783	0,772	0,777	0,731	0,764	0,747
G107	0,798	0,814	0,806	0,729	0,680	0,704	0,648	0,794	0,721
G108	0,817	0,814	0,816	0,790	0,795	0,792	0,786	0,801	0,794
G109	0,795	0,814	0,805	0,767	0,789	0,778	0,638	0,777	0,707
G110	0,803	0,809	0,806	0,779	0,776	0,777	0,763	0,777	0,770
G111	0,812	0,805	0,808	0,757	0,776	0,766	0,768	0,797	0,782
G112	0,811	0,802	0,807	0,788	0,795	0,792	0,769	0,765	0,767
G113	0,815	0,807	0,811	0,776	0,787	0,782	0,733	0,755	0,744
G114	0,820	0,801	0,811	0,725	0,708	0,716	0,734	0,790	0,762
G115	0,814	0,805	0,809	0,774	0,792	0,783	0,780	0,774	0,777
G116	0,815	0,809	0,812	0,772	0,797	0,784	0,746	0,786	0,766
G117	0,829	0,811	0,820	0,769	0,796	0,782	0,778	0,787	0,782
G118	0,809	0,822	0,816	0,788	0,792	0,790	0,595	0,788	0,691
G119	0,806	0,823	0,814	0,777	0,780	0,778	0,706	0,759	0,732
G120	0,800	0,820	0,810	0,785	0,795	0,790	0,708	0,762	0,735
G121	0,806	0,815	0,810	0,774	0,784	0,779	0,703	0,750	0,726
G122	0,815	0,802	0,808	0,768	0,783	0,775	0,709	0,710	0,709
G123	0,807	0,818	0,812	0,753	0,750	0,751	0,763	0,751	0,757
G124	0,797	0,822	0,809	0,762	0,786	0,774	0,632	0,731	0,682
G125	0,811	0,815	0,813	0,753	0,777	0,765	0,751	0,760	0,755
G126	0,822	0,809	0,815	0,788	0,774	0,781	0,760	0,755	0,757
G127	0,830	0,822	0,826	0,747	0,773	0,760	0,763	0,771	0,767
G128	0,789	0,830	0,809	0,760	0,799	0,779	0,604	0,713	0,658
G129	0,810	0,823	0,816	0,791	0,799	0,795	0,769	0,708	0,739

Tablo 12. (Devamı)

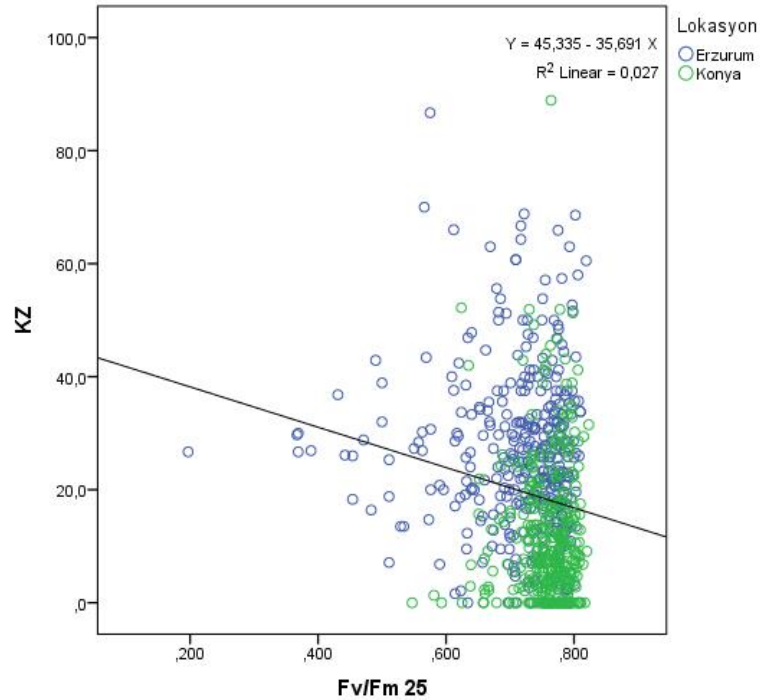
G130	0,809	0,819	0,814	0,753	0,781	0,767	0,724	0,771	0,747
G131	0,815	0,818	0,816	0,770	0,766	0,768	0,709	0,768	0,739
G132	0,801	0,810	0,805	0,777	0,790	0,784	0,782	0,788	0,785
G133	0,822	0,816	0,819	0,785	0,797	0,791	0,758	0,773	0,765
G134	0,816	0,808	0,812	0,791	0,796	0,794	0,635	0,779	0,707
G135	0,805	0,809	0,807	0,780	0,750	0,765	0,693	0,775	0,734
G136	0,809	0,813	0,811	0,790	0,794	0,792	0,671	0,776	0,723
G137	0,809	0,817	0,813	0,752	0,754	0,753	0,753	0,771	0,762
G138	0,788	0,806	0,797	0,789	0,773	0,781	0,771	0,809	0,790
G139	0,810	0,817	0,813	0,774	0,804	0,789	0,810	0,747	0,778
G140	0,817	0,816	0,816	0,783	0,774	0,778	0,743	0,785	0,764
G141	0,682	0,807	0,744	0,772	0,763	0,767	0,765	0,728	0,746
G142	0,808	0,815	0,812	0,803	0,800	0,801	0,750	0,766	0,758
G143	0,799	0,803	0,801	0,772	0,780	0,776	0,795	0,795	0,795
G144	0,791	0,807	0,799	0,800	0,805	0,802	0,800	0,724	0,762
G145	0,806	0,788	0,797	0,763	0,762	0,762	0,761	0,714	0,737
G146	0,809	0,810	0,809	0,732	0,789	0,760	0,701	0,781	0,741
G147	0,809	0,811	0,810	0,760	0,767	0,763	0,637	0,744	0,691
G148	0,823	0,814	0,819	0,779	0,795	0,787	0,760	0,726	0,743
G149	0,808	0,826	0,817	0,774	0,787	0,781	0,578	0,793	0,685
G150	0,798	0,814	0,806	0,780	0,761	0,771	0,731	0,785	0,758
G151	0,804	0,814	0,809	0,770	0,792	0,781	0,719	0,788	0,753
G152	0,814	0,815	0,814	0,739	0,721	0,730	0,767	0,759	0,763
G153	0,789	0,819	0,804	0,750	0,783	0,767	0,774	0,788	0,781
G154	0,780	0,817	0,798	0,747	0,778	0,762	0,612	0,777	0,695
G155	0,804	0,804	0,804	0,763	0,777	0,770	0,680	0,695	0,687
G156	0,809	0,821	0,815	0,763	0,806	0,784	0,677	0,790	0,733
G157	0,796	0,791	0,794	0,769	0,784	0,777	0,742	0,767	0,754
G158	0,783	0,819	0,801	0,783	0,782	0,783	0,606	0,815	0,710
G159	0,790	0,816	0,803	0,689	0,777	0,733	0,632	0,798	0,715
G160	0,807	0,814	0,810	0,725	0,772	0,748	0,775	0,794	0,785
G161	0,815	0,820	0,817	0,792	0,788	0,790	0,788	0,781	0,785
G162	0,798	0,813	0,806	0,787	0,776	0,781	0,800	0,801	0,800
G163	0,805	0,818	0,811	0,770	0,764	0,767	0,771	0,666	0,718
G164	0,780	0,794	0,787	0,769	0,791	0,780	0,565	0,720	0,642
G165	0,795	0,814	0,804	0,780	0,783	0,782	0,765	0,760	0,763
G166	0,782	0,815	0,798	0,755	0,767	0,761	0,369	0,754	0,561
G167	0,791	0,817	0,804	0,758	0,736	0,747	0,759	0,773	0,766
G168	0,803	0,822	0,812	0,768	0,788	0,778	0,715	0,749	0,732
G169	0,789	0,818	0,803	0,791	0,794	0,792	0,740	0,782	0,761
G170	0,802	0,810	0,806	0,750	0,744	0,747	0,737	0,775	0,756
G171	0,774	0,804	0,789	0,718	0,783	0,751	0,762	0,787	0,774
G172	0,786	0,808	0,797	0,787	0,788	0,787	0,731	0,780	0,755
G173	0,791	0,803	0,797	0,762	0,779	0,770	0,783	0,784	0,783
G174	0,815	0,810	0,812	0,739	0,763	0,751	0,454	0,760	0,607
G175	0,792	0,816	0,804	0,717	0,734	0,725	0,500	0,797	0,649
G176	0,822	0,817	0,819	0,764	0,735	0,749	0,760	0,794	0,777
G177	0,813	0,814	0,813	0,806	0,802	0,804	0,769	0,752	0,760
G178	0,789	0,809	0,799	0,792	0,785	0,788	0,769	0,776	0,772
G179	0,818	0,809	0,813	0,774	0,747	0,761	0,802	0,803	0,802
G180	0,768	0,820	0,794	0,742	0,765	0,754	0,563	0,772	0,667
Ortalama	0,807	0,803	0,805	0,777	0,786	0,782	0,715	0,759	0,737
LSD									
Lokasyon			0,003			0,004			0,008
Genotip			0,029			0,035			0,079
L × G			0,040			0,050			0,112

Şekil 31 ve 32'deki doğrusal regresyon analizi sonucuna göre, Fv/Fm 15 ve Fv/Fm 25 değeri sırasıyla kış zararı üzerinde negatif yönlü bir etki göstermiştir ($Y = 97,448 - 100,313X$; $Y = 45,335 - 35,691X$). Ayrıca bu değerler kış zararındaki toplam değişimin sırasıyla %3,3 ($R^2 = 0,033$) ve %2,7'sini ($R^2 = 0,027$) açıklamıştır. Şekil 33 ve 34'teki sonuca göre ise Fv/Fm 0 ve Fv/Fm 25 değeri sırasıyla görsel soğuk zararı üzerinde negatif yönlü bir etki göstermiştir (Y

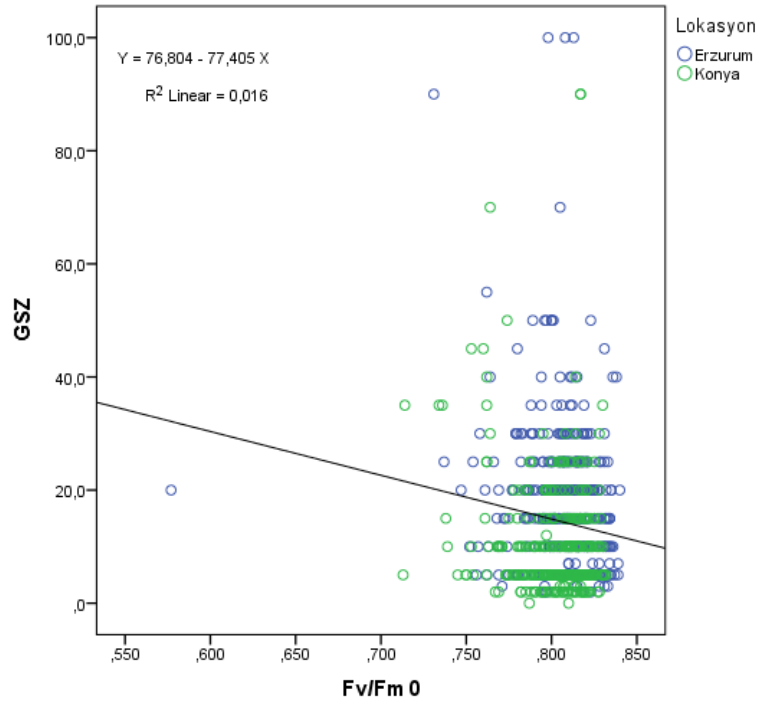
= $76,804 - 77,405X$; $Y = 34,506 - 27,151X$). F_v/F_m 0 ve F_v/F_m 25 değerlerinin görsel soğuk zararındaki toplam değişimi ($R^2 = 0,016$; $R^2 = 0,022$) neredeyse hiç açıklayamamıştır.



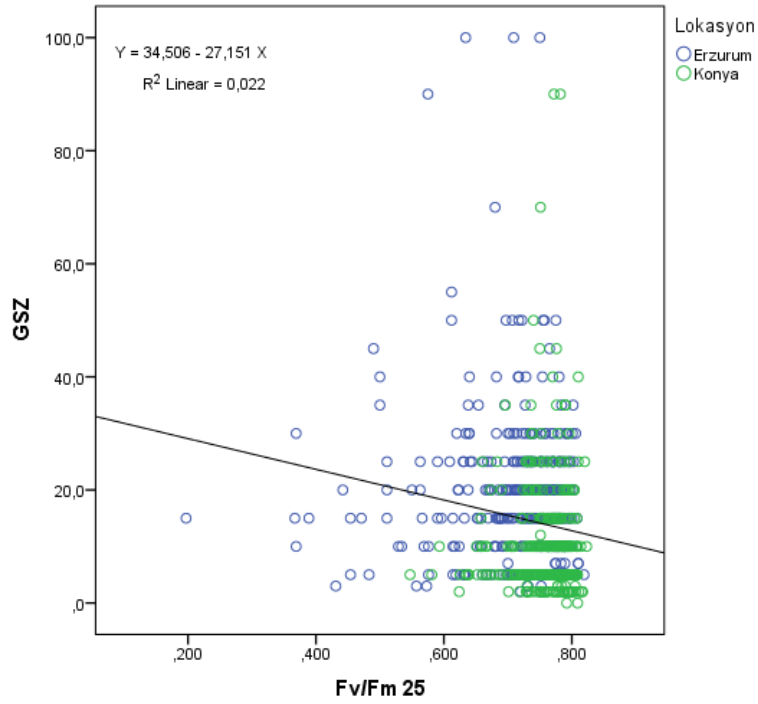
Şekil 31. Çiçeklenmeden 15 gün sonraki maksimum enerji verimi (F_v/F_m 15) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler



Şekil 32. Çiçeklenmeden 25 gün sonraki maksimum enerji verimi (F_v/F_m 25) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler



Şekil 33. Çiçeklenme dönemindeki maksimum enerji verimi ($F_v/F_m 0$) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler



Şekil 34. Çiçeklenmeden 25 gün sonraki maksimum enerji verimi ($F_v/F_m 25$) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler

Fotosistem II'nin maksimum kuantum verimliliği (F_v/F_m), bitkilerin fotosentetik sağlığını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir göstergedir (Wu *et al.*, 2023). Klorofil floresanının fotosentetik sistem sağlığının yararlı bir göstergesi olduğu kanıtlanmıştır ve fotosentezin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Baker 2008). Yaygın olarak kullanılan bir klorofil floresans parametresi olan F_v/F_m ; değişken floresansın (F_v)

klorofilin maksimum floresansına (Fm) oranını temsil eder. Fv, açık PSII reaksiyon merkezleri tarafından yayılan floresanı temsil ederken, Fm, doygun ışık koşulları altında tamamen açık PSII reaksiyon merkezleri tarafından yayılan maksimum floresanı temsil eder. Fv/Fm, PSII anteni içindeki enerji transferinin verimliliğini ve açık PSII reaksiyon merkezlerinin oranını yansıtır (Maxwell and Johnson 2000; Baker and Rosenqvist 2004). Fv/Fm parametresi, bitkilerin fizyolojik durumunun anlaşılmasında kritik öneme sahiptir ve bir bitkinin ışık enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürme kapasitesinin bir ölçüsüdür, bu da bitkinin sağlığı ve üretkenliği hakkında fikir vermektedir (Genty *et al.*, 1989).

Buğday çiçeklenme dönemi, buğday bitkisinin vejetatif büyüme aşamasından üreme büyüme aşamasına geçişini ifade ettiğinden, büyüme odağının yaprak ve köklerden çiçek ve tohumlara kaydığı kritik bir büyüme ve gelişme aşamasıdır (Acevedo *et al.*, 2002). Bu dönemde buğday bitkisi, çiçeklerin ve tohumların normal gelişimini ve olgunlaşmasını desteklemek için önemli miktarda besin ve enerjiye ihtiyaç duyar (Shewry 2009). Bu nedenle, çiçeklenme döneminde buğday bitkisi için yeterli su ve besin sağlanması çok önemlidir. Bu aşamadaki stres, buğdayın verimini ve kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir (Tilling *et al.*, 2007). Çiçeklenme döneminde Fv/Fm'nin izlenmesi, stresin tespit edilmesi ve buğday üretimini optimize etmek ve yüksek verim elde etmek için zamanında tarımsal yönetim uygulamalarının uygulanması açısından çok önemlidir (Wu *et al.*, 2023). Birçok bitki türü için optimum Fv/Fm aralığı yaklaşık olarak 0,79 ile 0,84 arasındadır; düşük değerler daha yüksek Fv/Fm aralığını gösterir ve düşük değerler daha yüksek bitki stresini gösterir (Kalaji *et al.*, 2017). Wu *et al.* (2023), çiçeklenme döneminde buğday bitkisinde Fv/Fm değerinin minimum 0,550, maksimum 0,848 ve ortalamasının ise 0,773 olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Bitki Boyu

Tablo 13'te görüldüğü gibi, varyans analizi sonucuna göre lokasyon ve genotiplerin bitki boyu üzerine etkisi çok önemli ($p < 0,01$), lokasyon $\times$ genotip interaksiyonunun bitki boyu üzerine etkisi ise önemsiz olmuştur.

Tablo 14'teki birleşik değerlere bakıldığında bitki boyu 88,3 ile 137,5 cm arasında değişmiştir. En uzun bitki boyu 168 nolu hatta (137,5 cm), en kısa ise 33 nolu hatta (88,3 cm) elde edilmiştir. Tablo 14'teki lokasyon ortalamalarına baktığımızda ise bitki boyunun Erzurum lokasyonunda (112,7 cm) Konya lokasyonuna (108,2 cm) göre daha uzun olduğu sonucu elde edilmiştir.

Tablo 13. Genotiplerin Bitki Boyu (BB), Metrekarede Başak Sayısı (MBS), Biyolojik Verim (BV), Tane Verimi (TV) ve Hasat İndeksi (HI) Parametrelerine Ait Varyasyon Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynakları	KARELER ORTALAMASI					
	SD	BB (cm)	MBS	BV (kg/da)	TV (kg/da)	HI (%)
Lokasyon	1	38139,5**	4881797,0**	1996955400,0**	16882698,9**	55,6
Genotip	181	373,3**	206363,6**	1793288,1**	165050,4**	71,8*
Lokasyon × Genotip	181	150,9	53808,5**	535229,2**	64141,1**	54,7
Hata	364	183,9	34295,0	366299,4	33883,3	
Toplam	728					

* ile işaretli kareler ortalaması değerleri 0,05 hata ihtimali düzeyinde önemlidir.

** ile işaretli kareler ortalaması değerleri 0,01 hata ihtimali düzeyinde önemlidir.

Tablo 14. Genotiplerin Bitki Boyu (BB), Metrekarede Başak Sayısı (MBS) ve Biyolojik Verim Parametrelerine Ait Ortalama Değerleri

Genotipler	BB (cm)			MBS			BV (kg/da)		
	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik
NOR	124,2	114,5	119,4	487,5	145,0	316,3	1887,5	387,5	1137,5
ZAG	82,5	111,5	97,0	325,0	435,0	380,0	945,0	812,5	878,8
G1	106,2	101,8	104,0	1052,5	655,0	853,8	3725,0	1962,5	2843,8
G2	113,3	117,2	115,2	967,5	787,5	877,5	2875,0	1987,5	2431,3
G3	131,7	108,0	119,9	792,5	520,0	656,3	1937,5	1262,5	1600,0
G4	136,3	116,7	126,5	790,0	625,0	707,5	2487,5	1800,0	2143,8
G5	117,3	113,0	115,2	1037,5	1262,5	1150,0	3400,0	2562,5	2981,3
G6	93,9	97,4	95,6	130,0	405,0	267,5	382,5	475,0	428,8
G7	97,5	97,0	97,3	437,5	370,0	403,8	1612,5	750,0	1181,3
G8	133,1	90,7	111,9	800,0	455,0	627,5	2862,5	962,5	1912,5
G9	105,1	106,7	105,9	497,5	385,0	441,3	1762,5	862,5	1312,5
G10	136,2	105,7	120,9	690,0	510,0	600,0	2675,0	1187,5	1931,3
G11	123,5	100,0	111,8	585,0	622,5	603,8	1912,5	1237,5	1575,0
G12	128,2	119,7	123,9	632,5	722,5	677,5	2125,0	1750,0	1937,5
G13	112,7	104,0	108,4	557,5	735,0	646,3	2300,0	1550,0	1925,0
G14	104,9	109,7	107,3	407,5	597,5	502,5	1462,5	1250,0	1356,3
G15	104,1	95,4	99,7	350,0	357,5	353,8	1577,5	750,0	1163,8
G16	121,8	114,7	118,2	277,5	150,0	213,8	1037,5	475,0	756,3
G17	104,1	104,2	104,1	215,0	120,0	167,5	862,5	312,5	587,5
G18	124,4	104,5	114,5	387,5	235,0	311,3	1500,0	575,0	1037,5
G19	145,8	122,9	134,3	1062,5	670,0	866,3	2925,0	1800,0	2362,5
G20	134,4	123,2	128,8	1437,5	840,0	1138,8	3000,0	1812,5	2406,3
G21	130,5	111,0	120,8	400,0	160,0	280,0	1287,5	500,0	893,8
G22	125,5	115,0	120,3	842,5	582,5	712,5	3462,5	1425,0	2443,8
G23	135,5	122,2	128,8	610,0	677,5	643,8	2162,5	1962,5	2062,5
G24	137,8	119,5	128,7	1042,5	615,0	828,8	4262,5	2012,5	3137,5
G25	127,2	99,5	113,4	510,0	427,5	468,8	2375,0	737,5	1556,3
G26	129,7	121,2	125,4	302,5	307,5	305,0	837,5	675,0	756,3
G27	144,5	118,7	131,6	972,5	447,5	710,0	4462,5	1700,0	3081,3
G28	107,0	109,0	108,0	905,0	360,0	632,5	2900,0	712,5	1806,3
G29	105,8	103,2	104,5	770,0	812,5	791,3	1815,0	2487,5	2151,3
G30	133,4	107,2	120,3	757,5	520,0	638,8	2550,0	1200,0	1875,0
G31	130,9	92,0	111,5	1142,5	367,5	755,0	2975,0	700,0	1837,5
G32	129,6	109,0	119,3	402,5	310,0	356,3	1225,0	837,5	1031,3
G33	84,3	92,3	88,3	610,0	415,0	512,5	2075,0	637,5	1356,3
G34	111,2	74,3	92,8	182,5	65,0	123,8	535,0	50,0	292,5
G35	121,8	104,2	113,0	402,5	357,5	380,0	1912,5	700,0	1306,3
G36	122,8	99,0	110,9	787,5	497,5	642,5	1962,5	925,0	1443,8
G37	128,7	107,7	118,2	707,5	875,0	791,3	2150,0	1237,5	1693,8
G38	131,4	97,3	114,4	380,0	557,5	468,8	2262,5	1150,0	1706,3
G39	133,2	108,7	120,9	505,0	430,0	467,5	1562,5	1012,5	1287,5
G40	132,2	120,2	126,2	1077,5	875,0	976,3	2940,0	2312,5	2626,3
G41	110,1	117,8	114,0	735,0	822,5	778,8	2325,0	1700,0	2012,5

Tablo 14. (Devamı)

G42	108,7	102,5	105,6	762,5	485,0	623,8	2025,0	987,5	1506,3
G43	128,3	107,5	117,9	585,0	615,0	600,0	1225,0	975,0	1100,0
G44	109,6	104,2	106,9	1137,5	702,5	920,0	3137,5	1487,5	2312,5
G45	144,4	115,7	130,0	550,0	392,5	471,3	2337,5	1150,0	1743,8
G46	111,8	97,7	104,7	432,5	462,5	447,5	1462,5	1200,0	1331,3
G47	141,2	118,5	129,9	645,0	805,0	725,0	2700,0	2375,0	2537,5
G48	119,6	114,5	117,1	795,0	782,5	788,8	2700,0	2337,5	2518,8
G49	95,4	108,0	101,7	550,0	565,0	557,5	2187,5	1487,5	1837,5
G50	93,3	93,4	93,3	80,0	70,0	75,0	237,5	137,5	187,5
G51	106,2	100,3	103,3	497,5	335,0	416,3	2387,5	912,5	1650,0
G52	141,0	124,0	132,5	1225,0	775,0	1000,0	3450,0	1700,0	2575,0
G53	118,8	119,5	119,2	1025,0	1005,0	1015,0	2487,5	2375,0	2431,3
G54	124,7	89,9	107,3	772,5	550,0	661,3	2037,5	1250,0	1643,8
G55	140,2	104,8	122,5	560,0	770,0	665,0	1925,0	1887,5	1906,3
G56	108,7	106,7	107,7	847,5	517,5	682,5	2875,0	1475,0	2175,0
G57	139,2	111,8	125,5	902,5	555,0	728,8	3200,0	1437,5	2318,8
G58	107,2	95,5	101,4	842,5	335,0	588,8	1950,0	300,0	1125,0
G59	136,8	108,8	122,8	790,0	460,0	625,0	2612,5	1550,0	2081,3
G60	106,5	93,0	99,8	875,0	490,0	682,5	2400,0	1050,0	1725,0
G61	131,3	116,7	124,0	1052,5	970,0	1011,3	3475,0	2375,0	2925,0
G62	138,1	113,0	125,6	747,5	965,0	856,3	2712,5	2300,0	2506,3
G63	124,8	103,4	114,1	1177,5	637,5	907,5	3462,5	1325,0	2393,8
G64	127,7	105,7	116,7	310,0	357,5	333,8	2850,0	825,0	1837,5
G65	130,8	121,3	126,1	1270,0	405,0	837,5	1800,0	1825,0	1812,5
G66	118,3	105,3	111,8	702,5	392,5	547,5	2100,0	962,5	1531,3
G67	123,7	110,2	116,9	982,5	557,5	770,0	3112,5	1125,0	2118,8
G68	96,8	86,3	91,6	910,0	542,5	726,3	2125,0	675,0	1400,0
G69	132,4	103,0	117,7	745,0	640,0	692,5	3062,5	1025,0	2043,8
G70	111,3	106,9	109,1	775,0	590,0	682,5	2812,5	1237,5	2025,0
G71	124,4	117,4	120,9	900,0	685,0	792,5	2937,5	2100,0	2518,8
G72	107,2	105,0	106,1	770,0	502,5	636,3	2425,0	1075,0	1750,0
G73	131,1	117,5	124,3	1165,0	582,5	873,8	2437,5	1225,0	1831,3
G74	124,7	106,7	115,7	1012,5	527,5	770,0	2775,0	900,0	1837,5
G75	108,9	90,3	99,6	615,0	490,0	552,5	2025,0	687,5	1356,3
G76	131,9	116,7	124,3	502,5	390,0	446,3	1787,5	1050,0	1418,8
G77	113,6	107,0	110,3	180,0	200,0	190,0	562,5	450,0	506,3
G78	146,8	120,0	133,4	680,0	717,5	698,8	2812,5	2075,0	2443,8
G79	110,8	109,7	110,2	1107,5	455,0	781,3	2800,0	925,0	1862,5
G80	128,8	113,4	121,1	512,5	492,5	502,5	1700,0	1312,5	1506,3
G81	121,5	98,8	110,2	897,5	620,0	758,8	2525,0	987,5	1756,3
G82	124,8	113,7	119,2	1335,0	632,5	983,8	3975,0	1550,0	2762,5
G83	128,0	116,0	122,0	432,5	367,5	400,0	1337,5	550,0	943,8
G84	120,2	115,4	117,8	905,0	710,0	807,5	2912,5	1775,0	2343,8
G85	125,5	96,5	111,0	370,0	182,5	276,3	1237,5	362,5	800,0
G86	125,4	104,5	115,0	685,0	535,0	610,0	2375,0	962,5	1668,8
G87	128,8	125,5	127,2	890,0	585,0	737,5	2325,0	1137,5	1731,3
G88	126,3	110,5	118,4	682,5	632,5	657,5	2322,5	1375,0	1848,8
G89	143,8	110,7	127,2	362,5	267,5	315,0	1800,0	887,5	1343,8
G90	104,6	116,5	110,6	182,5	255,0	218,8	1162,5	750,0	956,3
G91	111,9	98,4	105,1	682,5	580,0	631,3	1787,5	1162,5	1475,0
G92	124,9	114,0	119,5	657,5	635,0	646,3	1987,5	1287,5	1637,5
G93	102,4	100,9	101,6	680,0	907,5	793,8	1537,5	1950,0	1743,8
G94	107,2	103,2	105,2	182,5	95,0	138,8	512,5	200,0	356,3
G95	133,0	116,2	124,6	735,0	1127,5	931,3	2487,5	1787,5	2137,5
G96	119,5	105,5	112,5	565,0	692,5	628,8	1837,5	1400,0	1618,8
G97	141,3	112,2	126,7	840,0	725,0	782,5	3587,5	1762,5	2675,0
G98	121,1	109,4	115,2	945,0	670,0	807,5	3125,0	1312,5	2218,8
G99	117,2	108,0	112,6	685,0	705,0	695,0	1837,5	1337,5	1587,5
G100	139,0	125,2	132,1	782,5	772,5	777,5	3087,5	1762,5	2425,0
G101	128,1	119,4	123,7	687,5	575,0	631,3	2575,0	1250,0	1912,5
G102	124,0	102,4	113,2	745,0	450,0	597,5	3062,5	712,5	1887,5
G103	107,7	105,5	106,6	882,5	245,0	563,8	2512,5	1150,0	1831,3
G104	127,6	118,9	123,2	960,0	945,0	952,5	4525,0	2775,0	3650,0
G105	125,7	115,4	120,5	770,0	530,0	650,0	2575,0	862,5	1718,8
G106	123,8	131,2	127,5	937,5	862,5	900,0	2925,0	2387,5	2656,3
G107	123,4	119,3	121,4	725,0	610,0	667,5	3412,5	1512,5	2462,5
G108	122,0	123,0	122,5	947,5	810,0	878,8	2962,5	2237,5	2600,0
G109	117,2	112,0	114,6	357,5	185,0	271,3	812,5	375,0	593,8

Tablo 14. (Devamı)

G110	115,3	118,4	116,8	562,5	800,0	681,3	3565,0	2387,5	2976,3
G111	139,8	104,2	122,0	615,0	520,0	567,5	2362,5	962,5	1662,5
G112	100,8	106,0	103,4	90,0	67,5	78,8	192,5	262,5	227,5
G113	133,2	112,7	122,9	907,5	550,0	728,8	3375,0	925,0	2150,0
G114	122,2	127,5	124,9	967,5	732,5	850,0	3237,5	1912,5	2575,0
G115	119,2	111,5	115,4	610,0	627,5	618,8	2412,5	1187,5	1800,0
G116	117,6	112,2	114,9	782,5	522,5	652,5	2500,0	1150,0	1825,0
G117	124,9	111,5	118,2	717,5	545,0	631,3	2800,0	1537,5	2168,8
G118	144,4	103,7	124,1	855,0	542,5	698,8	2977,5	1375,0	2176,3
G119	144,7	103,9	124,3	875,0	642,5	758,8	3462,5	2237,5	2850,0
G120	136,2	102,7	119,5	822,5	837,5	830,0	2400,0	1950,0	2175,0
G121	131,6	117,9	124,7	365,0	462,5	413,8	1387,5	1512,5	1450,0
G122	134,2	116,0	125,1	265,0	330,0	297,5	1400,0	762,5	1081,3
G123	126,2	106,7	116,4	830,0	485,0	657,5	3225,0	1200,0	2212,5
G124	98,7	89,5	94,1	447,5	425,0	436,3	1612,5	675,0	1143,8
G125	130,3	108,4	119,3	837,5	532,5	685,0	2705,0	1175,0	1940,0
G126	113,9	101,0	107,5	672,5	665,0	668,8	1562,5	1175,0	1368,8
G127	120,0	90,0	105,0	782,5	625,0	703,8	2362,5	1062,5	1712,5
G128	116,4	104,8	110,6	895,0	770,0	832,5	2525,0	1912,5	2218,8
G129	112,9	106,0	109,5	680,0	470,0	575,0	2135,0	1225,0	1680,0
G130	131,6	97,5	114,6	595,0	332,5	463,8	1162,5	887,5	1025,0
G131	135,0	111,2	123,1	1102,5	657,5	880,0	3575,0	1500,0	2537,5
G132	140,1	123,7	131,9	610,0	775,0	692,5	1850,0	1962,5	1906,3
G133	134,0	121,5	127,8	800,0	862,5	831,3	1990,0	1987,5	1988,8
G134	138,1	105,0	121,6	650,0	542,5	596,3	2475,0	1125,0	1800,0
G135	115,3	95,2	105,2	637,5	470,0	553,8	2350,0	1075,0	1712,5
G136	125,6	98,7	112,1	925,0	590,0	757,5	3125,0	1225,0	2175,0
G137	132,0	111,0	121,5	717,5	692,5	705,0	2500,0	750,0	1625,0
G138	139,4	119,4	129,4	1052,5	595,0	823,8	3512,5	1750,0	2631,3
G139	120,8	105,0	112,9	700,0	440,0	570,0	1800,0	1275,0	1537,5
G140	130,3	115,2	122,7	237,5	252,5	245,0	937,5	600,0	768,8
G141	133,0	107,8	120,4	1022,5	542,5	782,5	3600,0	1475,0	2537,5
G142	131,2	93,7	112,5	195,0	455,0	325,0	395,0	950,0	672,5
G143	136,3	98,2	117,2	590,0	90,0	340,0	2677,5	175,0	1426,3
G144	123,5	114,3	118,9	877,5	810,0	843,8	2962,5	2050,0	2506,3
G145	104,5	100,5	102,5	1010,0	532,5	771,3	2387,5	1012,5	1700,0
G146	106,3	107,5	106,9	850,0	582,5	716,3	2265,0	1437,5	1851,3
G147	146,2	119,5	132,9	547,5	335,0	441,3	1722,5	987,5	1355,0
G148	133,4	122,7	128,1	1025,0	632,5	828,8	2675,0	2075,0	2375,0
G149	105,9	100,4	103,1	1017,5	695,0	856,3	2425,0	1187,5	1806,3
G150	127,2	108,8	118,0	937,5	437,5	687,5	2575,0	912,5	1743,8
G151	137,6	113,4	125,5	417,5	582,5	500,0	1400,0	1237,5	1318,8
G152	137,3	107,2	122,3	1105,0	497,5	801,3	3437,5	1050,0	2243,8
G153	136,3	120,2	128,2	912,5	800,0	856,3	3362,5	1787,5	2575,0
G154	99,6	87,7	93,6	260,0	447,5	353,8	610,0	762,5	686,3
G155	125,6	108,0	116,8	947,5	482,5	715,0	2755,0	1200,0	1977,5
G156	124,6	105,3	115,0	667,5	302,5	485,0	2412,5	787,5	1600,0
G157	132,8	111,5	122,2	885,0	577,5	731,3	3612,5	1387,5	2500,0
G158	134,4	95,7	115,1	1080,0	780,0	930,0	3237,5	1800,0	2518,8
G159	115,5	112,0	113,8	947,5	835,0	891,3	2625,0	2212,5	2418,8
G160	115,9	116,2	116,1	1102,5	720,0	911,3	2337,5	1650,0	1993,8
G161	116,2	100,7	108,4	827,5	740,0	783,8	2625,0	1525,0	2075,0
G162	115,3	98,8	107,1	597,5	800,0	698,8	2337,5	1575,0	1956,3
G163	123,7	115,7	119,7	970,0	1027,5	998,8	3550,0	2350,0	2950,0
G164	120,0	106,2	113,1	132,5	102,5	117,5	497,5	262,5	380,0
G165	126,6	107,5	117,1	710,0	535,0	622,5	2862,5	975,0	1918,8
G166	108,6	111,8	110,2	662,5	857,5	760,0	1687,5	2737,5	2212,5
G167	115,9	115,5	115,7	827,5	705,0	766,3	3125,0	925,0	2025,0
G168	143,0	132,0	137,5	710,0	575,0	642,5	3250,0	1612,5	2431,3
G169	119,1	108,5	113,8	762,5	557,5	660,0	2500,0	1400,0	1950,0
G170	111,7	106,4	109,0	875,0	520,0	697,5	2437,5	1062,5	1750,0
G171	123,5	119,9	121,7	715,0	827,5	771,3	2662,5	2725,0	2693,8
G172	107,9	89,7	98,8	255,0	60,0	157,5	245,0	50,0	147,5
G173	118,0	110,5	114,3	1082,5	792,5	937,5	3055,0	2025,0	2540,0
G174	131,4	98,5	115,0	1215,0	730,0	972,5	2287,5	1225,0	1756,3
G175	121,3	112,5	116,9	330,0	177,5	253,8	1300,0	400,0	850,0
G176	111,9	104,7	108,3	92,5	55,0	73,8	322,5	137,5	230,0
G177	136,8	90,7	113,7	1120,0	302,5	711,3	4712,5	837,5	2775,0

Tablo 14. (Devamı)

G178	106,9	97,5	102,2	120,0	95,0	107,5	412,5	175,0	293,8
G179	109,8	92,3	101,1	500,0	752,5	626,3	1812,5	1162,5	1487,5
G180	120,3	98,2	109,3	980,0	667,5	823,8	2402,5	1587,5	1995,0
Ortalama	122,7	108,2	115,4	714,1	550,3	632,2	2321,8	1274,3	1798,1
LSD									
Lokasyon			2,0			27,0			88,2
Genotip			18,9			257,5			841,6
L × G			26,7			364,2			1190,2

Bitki boyu tane verimini dolaylı olarak etkilemektedir ve özellikle saman verimi açısından önem taşımaktadır. Uzun boya sahip olan genotiplerin sapları genellikle daha ince olmakta ve yağışlı yıllarda yatmaktadır. Bunun sonucunda buğdayda hastalıklara hassasiyet artırmakta, bayrakların gelişimi engellemekte, tane dolumu olumsuz etkilemekte ve dolayısıyla tane verimde düşüş meydana gelmektedir (Küçüközdemir 2016).

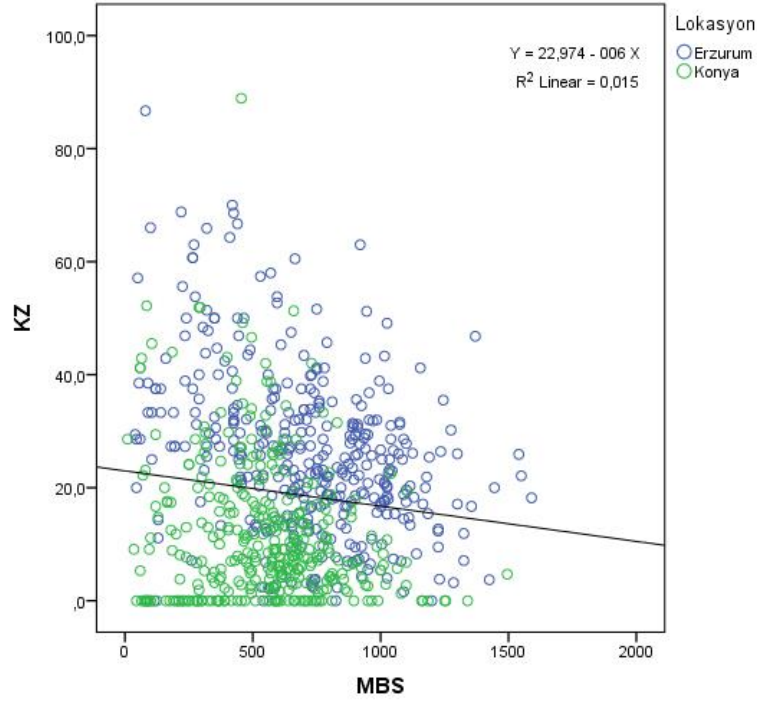
Araştırmamızda, Erzurum lokasyonunda toplam yağışın Konya lokasyonuna göre daha fazla olması ve özellikle Nisan ve Mayıs aylarındaki toplam yağışın Erzurum lokasyonunda daha fazla olması nedeniyle bitki boylarının ortalama değerleri Erzurum (112,7 cm) lokasyonunda Konya (108,2 cm) lokasyonuna göre daha yüksek olmuştur. Öztürk vd (2001), araştırmalarında yağış miktarının ve ekim yöntemlerinin bitki boyu üzerinde önemli etkisinin olduğunu açıklamışlardır. Öztürk ve Avcı (2014), çalışmalarında farklı buğday çeşitleri arasında bitki boyunun 72,9 cm ile 120,3 cm arasında değiştiği, ortalama bitki boyunun ise 102,1 cm olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Küçüközdemir (2016), Erzurum koşullarında farklı yerel ve ticari buğday çeşitlerinde iki yıllık ortalamalara göre, bitki boylarının 56,25 - 108,75 cm arasında değiştiğini ve ortalamalarının 84,76 cm olduğunu belirtmiştir. Dumlu (2023), 186 Kırık buğday genotipi ve 8 standart çeşitte iki yıllık ortalama bitki boyunun 83 - 121 cm arasında değiştiğini belirtmiştir.

Metrekarede Başak Sayısı

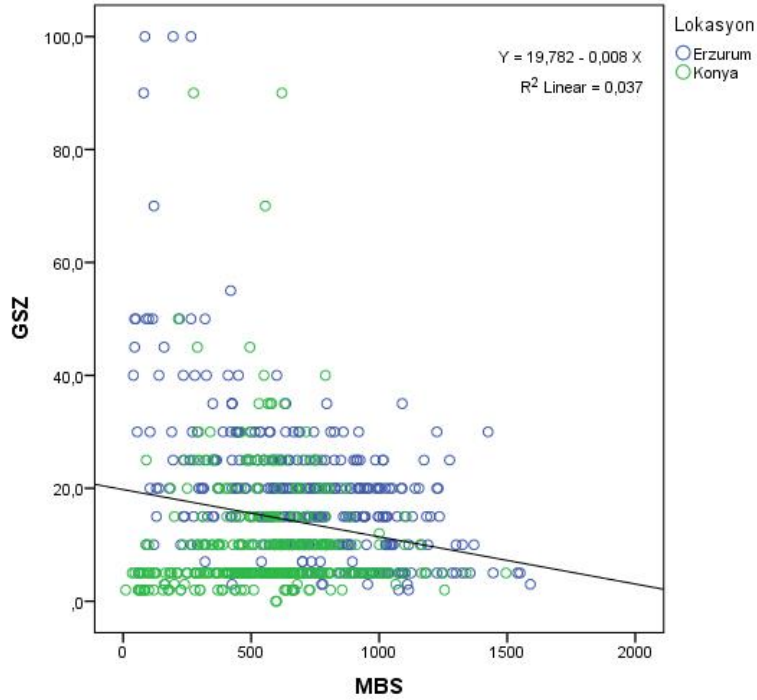
Tablo 13'teki varyans analizi sonuçlarına göre lokasyon, genotip ve lokasyon × genotip interaksiyonunun metrekarede başak sayısı üzerine etkisi çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur.

Lokasyon ortalamalarına baktığımızda Erzurum lokasyonunda (714,1), Konya lokasyonuna (550,3) göre metrekarede başak sayısı daha fazla olmuştur (Tablo 14). Birleşik değerlere göre metrekarede başak sayısı 73,8 ile 1150 arasında değişmiş ve metrekarede başak sayısı en fazla 5 nolu hatta (1150,0), en düşük ise 176 nolu hatta (73,8) elde edilmiştir (Tablo 14). Kıştan sonra hayatta kalan bitki sayısının Konya lokasyonunda Erzurum lokasyonuna göre daha yüksek olmasına rağmen Erzurum lokasyonunda metrekarede başak sayısının daha fazla olması Erzurum'daki lokasyonda kardeşlenme sayısının daha yüksek olduğu sonucunu vermektedir.

Şekil 35 ve 36'daki doğrusal regresyon analizi sonucuna göre, metrekaresindeki başak sayısının sırasıyla kış zararı ve görsel soğuk zararı üzerinde negatif yönlü bir etkisi olduğu görülmektedir ($Y = 22,974 - 0,006X$; $Y = 19,782 - 0,008X$). Metrekaredeki başak sayısı kış zararındaki toplam değişimi neredeyse hiç açıklamazken ($R^2 = 0,015$), görsel soğuk zararındaki toplam değişimin yalnızca %3,7 ($R^2 = 0,037$) kadarını açıklamaktadır.



Şekil 35. Metrekaredeki başak sayısı (MBS) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler



Şekil 36. Metrekaredeki başak sayısı (MBS) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler

Kardeşlenme sayısı metrekaresindeki başak sayısını doğrudan etkimektedir. Taner ve Sade (2005), erken ekimde kardeşlenme oranının geç ekime göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Erken gelişme devresinde görülen soğuk zararının etkilerinin daha sonraki dönemlerde yeni kardeşlerin oluşumu ile telafi edilebileceğini, fakat geç dönemdeki zararın etkilerinin giderilmesin mümkün olmadığını açıklamışlardır. Bununla birlikte kardeşlenme devresinde yaprakların sararması ve kuruması şeklinde oluşan soğuk zararının etkisinin ileriki dönemlerde yeni yaprakların ve kardeşlerin oluşumuyla giderilebileceğini belirtmişlerdir.

Çalışmamızda metrekaresinde başak sayısı yönünden çok büyük bir varyasyon gözlemlenmiş, bu durumun kıştan önce ve kıştan sonra bitki sayısı, kış zararı ve kardeşlenme kapasitelerinden kaynaklanmış olabileceği tahmin edilmektedir. Küçüközdemir (2016), Erzurum koşullarında farklı yerel ve ticari buğday çeşitlerinde m²'de başak sayısının 87,67 - 489,67 adet arasında değiştiği sonucunu elde etmiştir. Yine Erzurum koşullarında Dumlu (2023), 186 Kırık buğday genotipi ve 8 standart çeşitte iki yıllık ortalama metrekaresindeki başak sayısının 384,5 - 1235,5 adet arasında değiştiğini bildirmiştir.

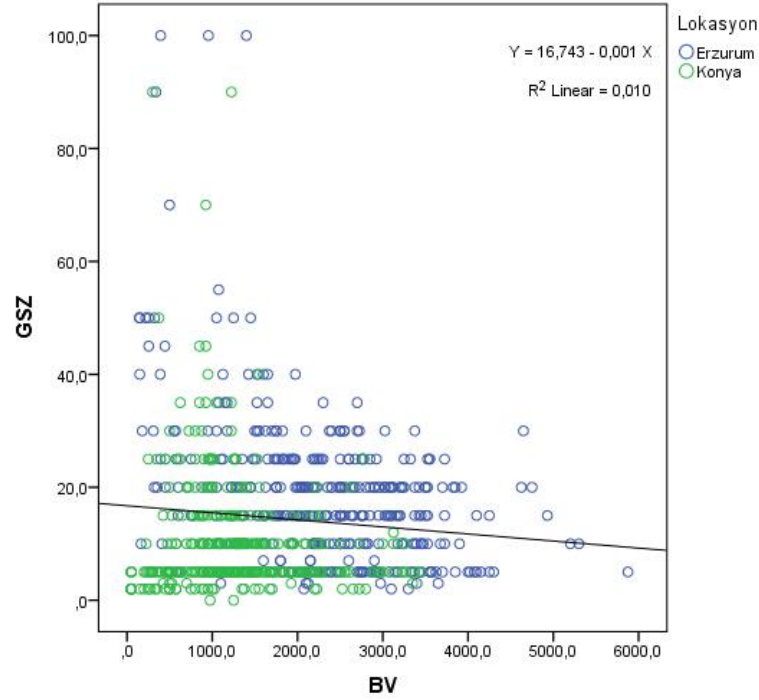
Biyolojik Verim

Varyans analizi sonuçlarına göre lokasyon, genotip ve lokasyon × genotip interaksiyonunun biyolojik verim üzerine etkisi çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur (Tablo 13). Lokasyon ortalamalarına göre Erzurum lokasyonunda (2321,8 kg/da), Konya lokasyonuna (1274,3 kg/da) göre biyolojik verim daha fazla olmuştur (Tablo 14). Birleşik değerlere göre biyolojik verim 147,5 ile 3650 kg/da arasında değişmiş ve biyolojik verim en fazla 104 nolu hatta (3650,0 kg/da), en düşük ise 172 nolu hatta (147,5 kg/da) elde edilmiştir (Tablo 14).

Şekil 37'deki doğrusal regresyon analizi sonucuna göre, biyolojik verimin görsel soğuk zararı üzerinde negatif yönlü bir etkisi olduğu görülmektedir ($Y = 16,743 - 0,001X$). R^2 değeri çok düşük (0,010) olmuş, biyolojik verimin görsel soğuk zararındaki toplam değişimi neredeyse hiç açıklamadığını göstermiştir.

Biyolojik verim, bitkinin yanı sıra ürünün genel büyüme performansını temsil eder ve buğdayın genel büyümesi hakkında yararlı bilgiler elde etmek için temel verim parametresi olarak kabul edilir (Iqbal *et al.* 2012). Liu *et al.* (2019), araştırmalarında, buğdayın toprak üstü biyokütle birikiminin ve tane veriminin azalan sıcaklık seviyesi ve artan süre ile önemli ölçüde azaldığını belirtmiştir. Genel olarak, düşük sıcaklık seviyesi, düşük sıcaklık süresi ve düşük sıcaklık seviyesi ile süre etkileşiminin buğday biyokütlesi ve tane verimi üzerinde önemli olumsuz etkilerinin olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Koç vd. (2021), Konya kıraç koşullarında yürüttükleri çalışmalarında, modern ve yerel buğdaylara ait biyolojik verimin

1147.5 - 1732.5 kg/da arasında değiştiğini ve ortalamasının 1450.8 kg/da olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Bu sonuçlar, çalışmamızın Konya lokasyonuna (1274,3 kg/da) yakın Erzurum lokasyonuna (2321,8 kg/da) göre ise daha düşük olmuştur. Koşunkartay (2019), Erzurum koşullarında buğday ileri mutant hatlarında biyolojik verimin 198,4 - 2887,5 kg/da arasında değiştiğini ve biyolojik verimde çok büyük bir varyasyonun ortaya çıktığını belirtmiştir.



Şekil 37. Biyolojik verim (BV) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler

Tane Verimi

Tablo 13'teki varyans analizi sonuçlarına göre lokasyon, genotip ve lokasyon × genotip interaksiyonunun tane verimi üzerine etkisi çok önemli bulunmuştur. Lokasyon ortalamalarına göre Erzurum lokasyonunda (663,1 kg/da), Konya lokasyonuna (358,5 kg/da) göre tane verimi daha fazla olmuştur (Tablo 15). Erzurum ve Konya lokasyonu arasında ortalama tane veriminde iki katına yakın bir fark ortaya çıkmıştır. Birleşik değerlere göre tane verimi 36,3 ile 993,8 kg/da arasında değişmiş ve tane verimi biyolojik verimde de olduğu gibi en fazla 104 nolu hatta (993,8 kg/da), en düşük ise 172 nolu hatta (36,3 kg/da) elde edilmiştir (Tablo 15).

Tablo 15. Genotiplerin Tane Verimi (TV), Hasat İndeksi (Hİ) ve Başak uzunluğu (BU) Parametrelerine Ait Ortalama Değerleri

Genotipler	TV (kg/da)			Hİ (%)			BU (cm)		
	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik
NOR	412,5	72,5	242,5	21,9	18,7	21,3	10,8	6,5	8,7
ZAG	327,5	320,0	323,8	34,7	39,4	36,8	8,9	7,3	8,1
G1	1280,0	520,0	900,0	34,4	26,5	31,6	12,7	10,2	11,4
G2	1147,5	562,5	855,0	39,9	28,3	35,2	10,5	8,5	9,5
G3	467,5	335,0	401,3	24,1	26,5	25,1	9,2	9,5	9,3
G4	705,0	487,5	596,3	28,3	27,1	27,8	9,1	8,8	8,9
G5	847,5	1027,5	937,5	24,9	40,1	31,4	11,1	8,9	10,0
G6	87,5	75,0	81,3	22,9	15,8	19,0	10,7	10,5	10,6

Tablo 15. (Devamı)

G7	547,5	195,0	371,3	34,0	26,0	31,4	9,1	8,2	8,6
G8	877,5	195,0	536,3	30,7	20,3	28,0	9,0	8,2	8,6
G9	640,0	312,5	476,3	36,3	36,2	36,3	9,0	8,0	8,5
G10	757,5	275,0	516,3	28,3	23,2	26,7	8,7	8,2	8,4
G11	667,5	257,5	462,5	34,9	20,8	29,4	9,3	8,4	8,8
G12	595,0	410,0	502,5	28,0	23,4	25,9	8,5	8,8	8,6
G13	712,5	427,5	570,0	31,0	27,6	29,6	9,6	8,4	9,0
G14	435,0	420,0	427,5	29,7	33,6	31,5	9,1	8,9	9,0
G15	470,0	235,0	352,5	29,8	31,3	30,3	10,4	8,9	9,6
G16	290,0	112,5	201,3	28,0	23,7	26,6	9,4	9,0	9,2
G17	240,0	50,0	145,0	27,8	16,0	24,7	8,1	8,3	8,2
G18	400,0	172,5	286,3	26,7	30,0	27,6	9,8	8,7	9,2
G19	672,5	595,0	633,8	23,0	33,1	26,8	10,4	8,5	9,5
G20	610,0	632,5	621,3	20,3	34,9	25,8	9,1	8,4	8,7
G21	285,0	132,5	208,8	22,1	26,5	23,4	8,2	7,9	8,0
G22	1037,5	312,5	675,0	30,0	21,9	27,6	9,2	8,7	8,9
G23	570,0	457,5	513,8	26,4	23,3	24,9	10,9	10,0	10,5
G24	1210,0	615,0	912,5	28,4	30,6	29,1	9,3	6,5	7,9
G25	777,5	222,5	500,0	32,7	30,2	32,1	11,6	9,0	10,3
G26	192,5	177,5	185,0	23,0	26,3	24,5	9,0	7,9	8,4
G27	1205,0	482,5	843,8	27,0	28,4	27,4	10,3	7,0	8,7
G28	1017,5	242,5	630,0	35,1	34,0	34,9	9,5	7,2	8,3
G29	367,5	767,5	567,5	20,2	30,9	26,4	9,9	9,2	9,5
G30	730,0	292,5	511,3	28,6	24,4	27,3	8,5	7,9	8,2
G31	820,0	167,5	493,8	27,6	23,9	26,9	6,8	7,5	7,2
G32	330,0	232,5	281,3	26,9	27,8	27,3	7,9	7,5	7,7
G33	680,0	160,0	420,0	32,8	25,1	31,0	9,8	5,9	7,8
G34	125,0	10,0	67,5	23,4	20,0	23,1	9,3	5,0	7,1
G35	600,0	155,0	377,5	31,4	22,1	28,9	10,6	8,3	9,5
G36	685,0	272,5	478,8	34,9	29,5	33,2	8,6	7,9	8,2
G37	652,5	330,0	491,3	30,3	26,7	29,0	8,8	8,5	8,7
G38	640,0	330,0	485,0	28,3	28,7	28,4	9,1	8,5	8,8
G39	492,5	267,5	380,0	31,5	26,4	29,5	10,4	8,7	9,5
G40	900,0	670,0	785,0	30,6	29,0	29,9	7,3	7,9	7,6
G41	690,0	440,0	565,0	29,7	25,9	28,1	9,0	8,3	8,6
G42	722,5	237,5	480,0	35,7	24,1	31,9	8,3	7,0	7,7
G43	322,5	245,0	283,8	26,3	25,1	25,8	7,7	7,0	7,3
G44	1112,5	457,5	785,0	35,5	30,8	33,9	8,9	6,0	7,5
G45	692,5	250,0	471,3	29,6	21,7	27,0	10,4	8,3	9,3
G46	565,0	380,0	472,5	38,6	31,7	35,5	10,7	9,8	10,3
G47	690,0	720,0	705,0	25,6	30,3	27,8	11,5	11,4	11,4
G48	890,0	612,5	751,3	33,0	26,2	29,8	9,7	8,0	8,8
G49	740,0	480,0	610,0	33,8	32,3	33,2	11,6	7,5	9,5
G50	55,0	27,5	41,3	23,2	20,0	22,0	10,2	7,7	9,0
G51	695,0	242,5	468,8	29,1	26,6	28,4	12,0	9,5	10,8
G52	802,5	555,0	678,8	23,3	32,6	26,4	9,6	8,4	9,0
G53	900,0	630,0	765,0	36,2	26,5	31,5	9,5	9,2	9,3
G54	615,0	150,0	382,5	30,2	12,0	23,3	9,9	9,2	9,5
G55	570,0	292,5	431,3	29,6	15,5	22,6	10,9	10,3	10,6
G56	1042,5	390,0	716,3	36,3	26,4	32,9	10,1	9,0	9,5
G57	927,5	290,0	608,8	29,0	20,2	26,3	10,5	9,5	10,0
G58	685,0	122,5	403,8	35,1	40,8	35,9	8,0	7,2	7,6
G59	927,5	400,0	663,8	35,5	25,8	31,9	8,9	9,0	9,0
G60	540,0	272,5	406,3	22,5	26,0	23,6	9,4	6,7	8,1
G61	1067,5	740,0	903,8	30,7	31,2	30,9	10,1	9,7	9,9
G62	547,5	665,0	606,3	20,2	28,9	24,2	8,3	9,2	8,7
G63	812,5	370,0	591,3	23,5	27,9	24,7	8,4	7,9	8,1
G64	617,5	227,5	422,5	21,7	27,6	23,0	8,6	8,5	8,5
G65	410,0	562,5	486,3	22,8	30,8	26,8	10,3	10,3	10,3
G66	492,5	217,5	355,0	23,5	22,6	23,2	9,3	7,5	8,4
G67	892,5	275,0	583,8	28,7	24,4	27,6	7,6	10,4	9,0
G68	560,0	127,5	343,8	26,4	18,9	24,6	7,7	7,5	7,6
G69	865,0	295,0	580,0	28,2	28,8	28,4	8,9	8,9	8,9
G70	915,0	385,0	650,0	32,5	31,1	32,1	8,0	8,5	8,2
G71	937,5	577,5	757,5	31,9	27,5	30,1	8,2	8,5	8,3
G72	822,5	345,0	583,8	33,9	32,1	33,4	10,8	10,7	10,7
G73	692,5	377,5	535,0	28,4	30,8	29,2	8,1	9,2	8,6
G74	742,5	252,5	497,5	26,8	28,1	27,1	9,0	7,2	8,1

Tablo 15. (Devamı)

G75	625,0	227,5	426,3	30,9	33,1	31,4	9,1	6,3	7,7
G76	622,5	182,5	402,5	34,8	17,4	28,4	9,8	9,0	9,4
G77	165,0	147,5	156,3	29,3	32,8	30,9	10,5	7,9	9,2
G78	690,0	622,5	656,3	24,5	30,0	26,9	9,7	8,0	8,8
G79	815,0	222,5	518,8	29,1	24,1	27,9	8,7	7,5	8,1
G80	417,5	342,5	380,0	24,6	26,1	25,2	8,5	9,4	8,9
G81	802,5	312,5	557,5	31,8	31,6	31,7	9,9	8,5	9,2
G82	1345,0	487,5	916,3	33,8	31,5	33,2	13,0	9,4	11,2
G83	370,0	390,0	380,0	27,7	70,9	40,3	10,6	8,7	9,6
G84	715,0	460,0	587,5	24,5	25,9	25,1	11,2	9,5	10,3
G85	300,0	82,5	191,3	24,2	22,8	23,9	7,1	7,4	7,2
G86	742,5	257,5	500,0	31,3	26,8	30,0	8,9	6,5	7,7
G87	657,5	360,0	508,8	28,3	31,6	29,4	9,1	6,5	7,8
G88	602,5	295,0	448,8	25,9	21,5	24,3	9,0	9,0	9,0
G89	417,5	242,5	330,0	23,2	27,3	24,6	9,1	8,2	8,7
G90	250,0	207,5	228,8	21,5	27,7	23,9	9,1	10,0	9,5
G91	717,5	325,0	521,3	40,1	28,0	35,3	8,8	8,7	8,7
G92	652,5	382,5	517,5	32,8	29,7	31,6	9,2	8,7	8,9
G93	312,5	587,5	450,0	20,3	30,1	25,8	7,8	9,2	8,5
G94	145,0	25,0	85,0	28,3	12,5	23,9	8,6	6,7	7,7
G95	795,0	525,0	660,0	32,0	29,4	30,9	9,6	8,5	9,0
G96	515,0	342,5	428,8	28,0	24,5	26,5	7,4	6,8	7,1
G97	1012,5	577,5	795,0	28,2	32,8	29,7	8,6	7,9	8,2
G98	832,5	367,5	600,0	26,6	28,0	27,0	10,8	8,9	9,8
G99	432,5	462,5	447,5	23,5	34,6	28,2	9,4	7,2	8,3
G100	812,5	517,5	665,0	26,3	29,4	27,4	9,9	8,7	9,3
G101	800,0	467,5	633,8	31,1	37,4	33,1	8,8	7,9	8,3
G102	915,0	165,0	540,0	29,9	23,2	28,6	9,0	8,2	8,6
G103	850,0	355,0	602,5	33,8	30,9	32,9	10,5	8,2	9,3
G104	1347,5	640,0	993,8	29,8	23,1	27,2	10,3	10,3	10,3
G105	717,5	280,0	498,8	27,9	32,5	29,0	8,5	8,2	8,3
G106	1037,5	695,0	866,3	35,5	29,1	32,6	9,6	9,0	9,3
G107	1037,5	400,0	718,8	30,4	26,4	29,2	9,2	8,0	8,6
G108	950,0	697,5	823,8	32,1	31,2	31,7	8,1	7,2	7,7
G109	310,0	92,5	201,3	38,2	24,7	33,9	7,7	7,4	7,5
G110	1145,0	730,0	937,5	32,1	30,6	31,5	9,6	8,0	8,8
G111	655,0	255,0	455,0	27,7	26,5	27,4	9,4	8,7	9,1
G112	40,0	42,5	41,3	20,8	16,2	18,1	8,4	8,2	8,3
G113	950,0	282,5	616,3	28,1	30,5	28,7	8,0	8,9	8,4
G114	1040,0	570,0	805,0	32,1	29,8	31,3	10,4	9,5	9,9
G115	702,5	300,0	501,3	29,1	25,3	27,8	8,1	8,2	8,1
G116	815,0	340,0	577,5	32,6	29,6	31,6	7,2	7,7	7,4
G117	895,0	370,0	632,5	32,0	24,1	29,2	10,0	8,7	9,3
G118	687,5	357,5	522,5	23,1	26,0	24,0	9,5	9,0	9,2
G119	855,0	637,5	746,3	24,7	28,5	26,2	11,0	11,5	11,2
G120	565,0	615,0	590,0	23,5	31,5	27,1	9,8	9,4	9,6
G121	297,5	372,5	335,0	21,4	24,6	23,1	11,5	10,0	10,7
G122	320,0	200,0	260,0	22,9	26,2	24,0	11,4	8,4	9,9
G123	922,5	250,0	586,3	28,6	20,8	26,5	8,5	7,5	8,0
G124	455,0	207,5	331,3	28,2	30,7	29,0	8,3	7,6	7,9
G125	625,0	345,0	485,0	23,1	29,4	25,0	10,1	8,2	9,1
G126	582,5	342,5	462,5	37,3	29,1	33,8	8,2	7,0	7,6
G127	705,0	210,0	457,5	29,8	19,8	26,7	8,0	7,0	7,5
G128	520,0	572,5	546,3	20,6	29,9	24,6	9,7	9,2	9,4
G129	665,0	452,5	558,8	31,1	36,9	33,3	11,4	10,0	10,7
G130	322,5	267,5	295,0	27,7	30,1	28,8	9,7	10,2	9,9
G131	767,5	452,5	610,0	21,5	30,2	24,0	9,2	8,0	8,6
G132	420,0	510,0	465,0	22,7	26,0	24,4	9,9	8,7	9,3
G133	432,5	557,5	495,0	21,7	28,1	24,9	9,4	8,0	8,7
G134	555,0	340,0	447,5	22,4	30,2	24,9	10,0	7,5	8,7
G135	780,0	370,0	575,0	33,2	34,4	33,6	9,0	8,0	8,5
G136	792,5	305,0	548,8	25,4	24,9	25,2	11,0	9,7	10,3
G137	685,0	232,5	458,8	27,4	31,0	28,2	8,4	6,5	7,4
G138	752,5	492,5	622,5	21,4	28,1	23,7	7,7	7,5	7,6
G139	375,0	315,0	345,0	20,8	24,7	22,4	9,0	10,3	9,7
G140	335,0	185,0	260,0	35,7	30,8	33,8	10,9	8,7	9,8
G141	1272,5	325,0	798,8	35,3	22,0	31,5	9,6	6,9	8,2
G142	105,0	300,0	202,5	26,6	31,6	30,1	8,4	9,3	8,8

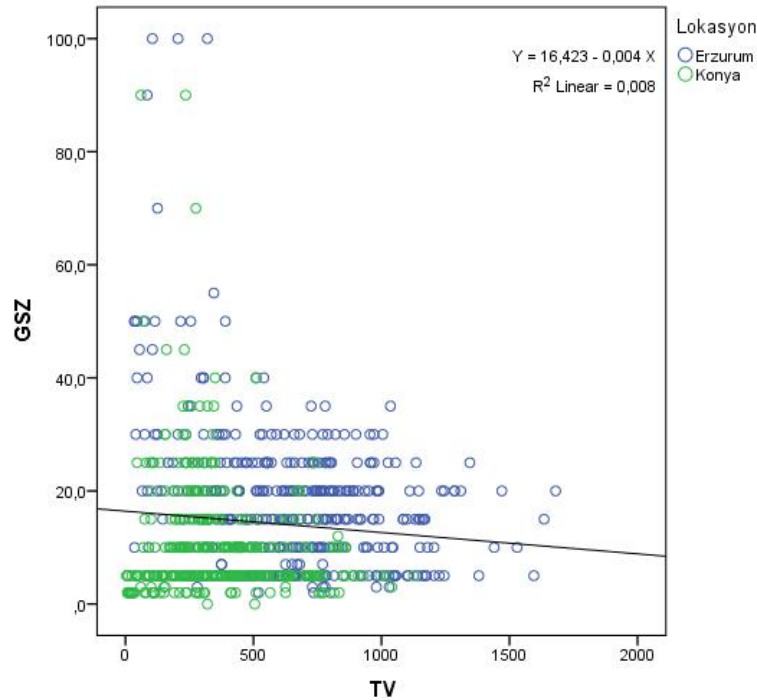
Tablo 15. (Devamı)

G143	582,5	27,5	305,0	21,8	15,7	21,4	8,9	6,0	7,4
G144	770,0	707,5	738,8	26,0	34,5	29,5	10,1	10,5	10,3
G145	575,0	257,5	416,3	24,1	25,4	24,5	8,3	7,9	8,1
G146	677,5	400,0	538,8	29,9	27,8	29,1	9,3	7,7	8,5
G147	395,0	232,5	313,8	22,9	23,5	23,2	9,9	9,4	9,6
G148	657,5	522,5	590,0	24,6	25,2	24,8	9,0	9,5	9,3
G149	827,5	370,0	598,8	34,1	31,2	33,1	11,6	6,2	8,9
G150	755,0	202,5	478,8	29,3	22,2	27,5	7,6	7,3	7,5
G151	320,0	307,5	313,8	22,9	24,8	23,8	7,8	7,5	7,6
G152	962,5	300,0	631,3	28,0	28,6	28,1	8,1	8,0	8,0
G153	1062,5	475,0	768,8	31,6	26,6	29,9	7,5	6,8	7,1
G154	190,0	147,5	168,8	31,1	19,3	24,6	7,2	5,9	6,5
G155	875,0	382,5	628,8	31,8	31,9	31,8	9,6	8,3	8,9
G156	720,0	210,0	465,0	29,8	26,7	29,1	8,2	8,0	8,1
G157	980,0	290,0	635,0	27,1	20,9	25,4	8,6	7,8	8,2
G158	730,0	360,0	545,0	22,5	20,0	21,6	7,5	9,2	8,3
G159	560,0	682,5	621,3	21,3	30,8	25,7	11,8	9,0	10,4
G160	492,5	555,0	523,8	21,1	33,6	26,3	7,6	7,5	7,5
G161	942,5	505,0	723,8	35,9	33,1	34,9	10,4	8,2	9,3
G162	675,0	512,5	593,8	28,9	32,5	30,4	9,9	8,7	9,3
G163	1167,5	735,0	951,3	32,9	31,3	32,2	9,4	9,2	9,3
G164	110,0	50,0	80,0	22,1	19,0	21,1	9,8	8,2	9,0
G165	800,0	262,5	531,3	27,9	26,9	27,7	9,1	7,0	8,1
G166	347,5	760,0	553,8	20,6	27,8	25,0	9,6	8,0	8,8
G167	950,0	330,0	640,0	30,4	35,7	31,6	9,9	8,2	9,0
G168	757,5	562,5	660,0	23,3	34,9	27,1	10,3	8,5	9,4
G169	785,0	387,5	586,3	31,4	27,7	30,1	9,3	8,5	8,9
G170	777,5	362,5	570,0	31,9	34,1	32,6	9,9	7,4	8,6
G171	807,5	752,5	780,0	30,3	27,6	29,0	9,6	7,0	8,3
G172	57,5	15,0	36,3	23,5	30,0	24,6	5,5	8,0	6,7
G173	830,0	635,0	732,5	27,2	31,4	28,8	8,2	6,7	7,4
G174	755,0	345,0	550,0	33,0	28,2	31,3	7,7	7,7	7,7
G175	280,0	97,5	188,8	21,5	24,4	22,2	8,9	7,4	8,1
G176	70,0	38,5	54,3	21,7	28,0	23,6	8,7	4,7	6,7
G177	1325,0	192,5	758,8	28,1	23,0	27,3	8,2	7,2	7,7
G178	120,0	37,5	78,8	29,1	21,4	26,8	9,0	7,7	8,3
G179	605,0	432,5	518,8	33,4	37,2	34,9	8,9	7,2	8,0
G180	555,0	360,0	457,5	23,1	22,7	22,9	9,1	7,5	8,3
Ortalama	663,1	358,5	510,8	28,6	28,1	28,4	9,3	8,2	8,8
LSD değerleri									
Lokasyon			26,8			1,1			0,2
Genotip			256,0			10,6			1,8
L × G			362,0			15,0			2,5

Şekil 38'e göre, tane veriminin görsel soğuk zararı üzerinde negatif yönlü bir etkisi olduğu görülmektedir ($Y = 16,423 - 0,004X$). R^2 değeri çok düşük (0,008) olmuş, tane veriminin görsel soğuk zararındaki toplam değişimi neredeyse hiç açıklamadığını göstermiştir.

Taner ve Sade (2005), serin iklim tahıllarında bitki büyüdükçe soğuğa olan hassasiyetlerinin arttığını özellikle sapa kalkma döneminde meydana gelen düşük sıcaklıkların boş başak oluşumuna dolayısıyla da verim kayıplarına neden olduğunu belirtmişlerdir. Ji *et al.* (2017), araştırmasında, sapa kalkma döneminde ilkbahar düşük sıcaklık stresinin buğdayda başak ve başak başına tane sayısını önemli ölçüde azalttığını ve bunun sonucunda %3,1-56,4 oranında tane verimi azalmasına neden olduğunu açıklamıştır. Tane veriminde artışı sağlamak için biyolojik verimi düşürmeden başaktaki tane sayısı ve hasat indeksi artırmak ve bunu sağlamak için de bitki boyunu kısaltmak gerekmektedir (Avçin vd. 1997; Narayanan *et al.* 2014). Soğuk stresine bağlı olarak verim kayıpları, biyolojik olarak kısa saplar, daha düşük

yaprak alanı ve azalmış fotosentez kapasitesiyle ilişkili olan, üretken kardeş, başak ve başakta tane sayısının azalmasıyla karakterize edildiği açıklamıştır (Valluru *et al.* 2012; Li *et al.* 2015a). Nuttall *et al.* (2019), araştırmasında çiçeklenme döneminde düşük sıcaklık stresi uygulamasında her 1 °C'lık düşüş için tane sayısının ve veriminin sırasıyla %8,8 ve %7,2 oranında azaldığı sonucunu bulmuştur. Zhang *et al.* (2022), düşük sıcaklık stresinin buğdayda bitki başına verimi büyük ölçüde azalttığını açıklamıştır. Benzer şekilde Chen *et al.* (2024), çalışmasında düşük sıcaklık stresinin iki farklı buğday çeşidinde bitki başına tane verimini önemli ölçüde azalttığını belirtmiştir. Dildar and Rasul (2009), minimum sıcaklıktaki düşüşün buğdayda tane verimini azalttığını bildirmiştir. Thakur *et al.* (2010), düşük sıcaklığın tohum tutumunu azalttığını, döllemeyi bozduğunu, zayıf tohum dolumunu ve son olarak tane verimini düşürdüğünü tartışmışlardır. Küçüközdemiş (2016), Erzurum koşullarında farklı yerel ve ticari buğday çeşitlerinde tane veriminin 114,99 - 352,49 kg/da arasında; Koşunkartay (2019), Erzurum koşullarında buğday ileri mutant hatlarında tane verimin 22,7 - 670,6 kg/da arasında; Dumlu (2023), 186 Kırık buğday genotipi ve 8 standart çeşitte iki yıllık ortalama tane veriminin 125,3 - 565,9 kg/da arasında değiştiğini belirtmiştir. Farklı araştırmacılar Konya koşullarında tane veriminin 154,58 - 258,43 kg/da (Aydoğan vd. 2007), 268,9 - 413,4 kg/da (Çöl, 2007), 447,42 - 709,08 kg/da (Aydoğan ve Soylu 2017), 247,65 - 395,42 kg/da (Demir ve Topal 2020) arasında değiştiğini belirtmiştir.



Şekil 38. Tane verimi (TV) ile görsel soğuk zararı (GSZ) arasındaki ilişkiler

Hasat İndeksi

Varyans analizi sonuçlarında görüldüğü gibi genotiplerin hasat indeksine etkisi önemli, lokasyon ve lokasyon $\times$ genotip interaksiyonunun ise hasat indeksi üzerine etkisi önemsiz olmuştur (Tablo 13). Lokasyon ortalamalarına göre Erzurum (%28,5) ve Konya lokasyonunda (%28,0) birbirine çok yakın hasat indeksi değerleri elde edilmiş ve istatistiksel olarak bir fark elde edilmemiştir (Tablo 15). Birleşik değerlere göre hasat indeksi değerleri %19,1 ile %48,8 arasında değişmiş ve en yüksek hasat indeksi değeri 83 nolu hatta (%48,8), en düşük ise 143 nolu hatta (%19,1) elde edilmiştir (Tablo 15).

Tane veriminin toprak üstü biyokütleyle (hasat tanesi dahil) oranı olarak hesaplanan hasat indeksi (Hİ), taneye asimilat dağılımının bir verimlilik göstergesi ve ürün verimini en üst düzeye çıkarmak için bir ürün ıslahı kriteri olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Hay, 1995; Wiesmeier *et al.*, 2014). Li *et al.* (2011), hasat indeksi parametresini bitkilerin çevresel koşullara ve iklimsel değişime karşı verdiği tepkilerin görülebildiği önemli parametrelerden birisi olarak tanımlamıştır. Ürün hasat indeksinin dünya genelinde 1960'lardan bu yana arttığı bildirilmiştir (Wiesmeier *et al.*, 2014) ve verilerdeki Hİ normalde tahıllar için teorik maksimum değer olan $\sim 0,62$ (%62)'den daha düşüktür (Austin *et al.* 1980). Austin *et al.* (1980), araştırmalarında, %50'ye yakın hasat indeksi değeri sonucunu elde etmiş, bu değer %60'a çıkarılmasıyla verimde yaklaşık %25 oranında genetik kazanç elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Fan *et al.* (2017), soğuk karasal iklimlerde 11 ana ürünün 10'u için (patates hariç) hasat indeksi ile ürün verimi arasında önemli doğrusal ilişkiler bulmuş, daha yüksek ürün verimi arayışının genellikle kısmen hasat indeksini artırarak gerçekleştirildiğini açıklamışlardır. Liu *et al.* (2019), düşük sıcaklık seviyesinin azalması ve düşük sıcaklık süresinin artmasıyla buğday bitkisinde hasat indeksinin azaldığını belirtmiş, düşük sıcaklık uygulamaları altında başak oluşumu (Zadok 45) sırasında boğum oluşumu (Zadok 31) sırasında olduğundan daha düşük hasat indeksi değerini elde etmişlerdir. Koşunkartay (2019), Erzurum koşullarında buğday ileri mutant hatlarında hasat indeksinin %8,9 - 31,2 arasında değiştiği sonucunu elde etmiştir. Koç vd. (2021), Konya kıraç koşullarında yürüttükleri çalışmada, hasat indeksinin %22,2 – 41,3 arasında ve ortalamasının %32 olduğu sonucunu elde etmiştir. Olgun vd. (2022), Eskişehir kıraç koşullarında yürüttükleri çalışmada, 49 buğday çeşidinde hasat indeksi değerlerinin 16,83-56,45 arasında değiştiğini ve ortalama değerinin 32,85 olduğunu belirtmiştir.

Başak Uzunluğu

Tablo 16'daki varyans analizi sonuçlarında görüldüğü gibi lokasyon ve genotiplerin başak uzunluğu üzerine etkisi çok önemli, lokasyon ve genotip interaksiyonunun ise başak uzunluğu üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur.

Başak uzunluğunun lokasyon ortalaması Tablo 15'te görüldüğü gibi Erzurum lokasyonunda 9,3 cm, Konya lokasyonunda ise 8,2 cm olmuştur. Başak uzunluğu birleşik değerlere göre genotipler arasında 6,5 cm ile 11,4 cm arasında değişmiş ve en uzun başak uzunluğu 1 nolu hatta (11,4 cm), en kısa başak uzunluğu ise 154 nolu hatta (6,5 cm) elde edilmiştir (Tablo 15).

Tablo 16. Genotiplerin Başak Uzunluğu (BU), Başakta Başakçık Sayısı (BBS), Başakta Tane Sayısı (BTS) ve Bin Tane Ağırlığı (BTA) Parametrelerine Ait Varyasyon Analizi Sonuçları

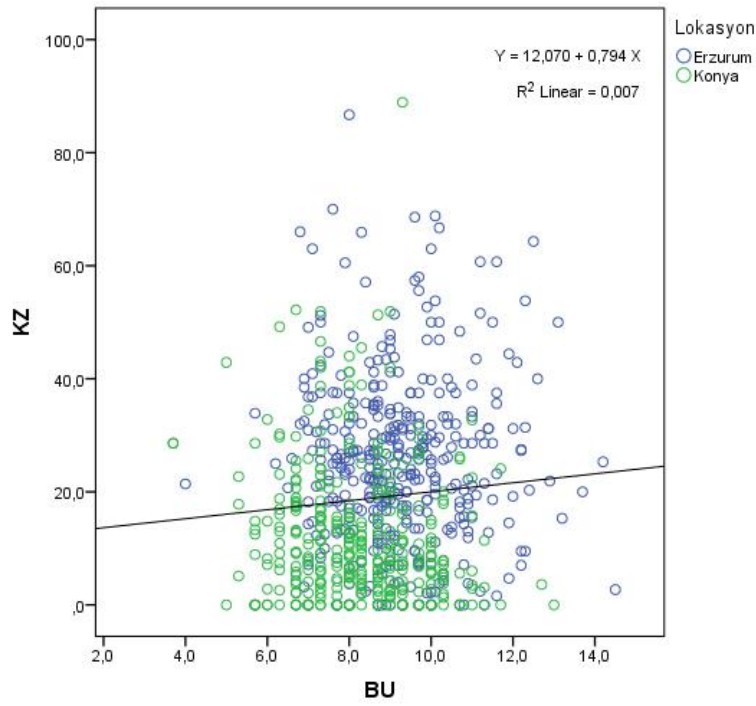
Varyasyon Kaynakları	KARELER ORTALAMASI				
	SD	BU	BBS	BTS	BTA
Lokasyon	1	193,5**	201,1**	9867,4**	9,4
Genotip	181	3,8**	8,0**	147,2**	52,8**
Lokasyon x Genotip	181	1,6	3,0	68,7	12,7**
Hata	364	1,7	3,4	69,5	7,2
Toplam	728				

* ile işaretli kareler ortalaması değerleri 0,05 hata ihtimali düzeyinde önemlidir.

** ile işaretli kareler ortalaması değerleri 0,01 hata ihtimali düzeyinde önemlidir.

Şekil 39'a göre, başak uzunluğunun kış zararı üzerinde pozitif yönlü bir etkisi olduğu görülmektedir ($Y = 12,070 + 0,794X$). R^2 değeri çok düşük (0,007) olmuş, başak uzunluğunun kış zararındaki toplam değişimi neredeyse hiç açıklamadığını göstermiştir.

Başak gelişimi, hücre çoğalması ve farklılaşmasının koordine edildiği morfogenetik bir süreçtir (Shitsukawa *et al.* 2007; Li *et al.* 2018). Zečević *et al.* (2008), başak uzunluğunun genetik olarak kontrol edildiğini, ancak büyük ölçüde çevresel faktörlere bağlı olduğunu açıklamıştır. Araştırma sonuçlarına göre, ortalama başak uzunluğu değerinin 7,0 - 9,8 cm arasında değiştiğini belirtmiştir. Yu *et al.* (2022), düşük sıcaklık uygulamalarının, başak uzunluğunu önemli ölçüde azalttığını belirtmiştir. Küçüközdemir (2016), Erzurum koşullarında farklı yerel ve ticari buğday çeşitlerinde başak uzunluklarının 4,51 - 13,43 cm; Dumlu (2023), Erzurum koşullarında 186 Kırık buğday genotipi ve 8 standart çeşitte iki yıllık ortalama başak uzunluğunun 5,86 – 20,36 cm arasında değiştiğini belirtmiştir.



Şekil 39. Başak uzunluğu (BU) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler

Başakta Başakçık Sayısı

Tablo 16'daki varyans analizi sonuçlarında görüldüğü gibi lokasyon ve genotiplerin başakta başakçık sayısı üzerine etkisi çok önemli, lokasyon ve genotip interaksyonunun ise başakta başakçık sayısı üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Başakta başakçık sayısı lokasyon ortalaması Tablo 17'de görüldüğü gibi Erzurum lokasyonunda 15,2 adet, Konya lokasyonunda ise 14,2 adet olmuştur. Birleşik değerlere göre başakta başakçık sayısı genotipler arasında 11,5 adet ile 18,8 adet arasında değişmiş ve en fazla başakta başakçık sayısı 55 nolu hatta (18,8 adet) en az başakta başakçık sayısı ise 149 nolu hatta (11,5 adet) elde edilmiştir (Tablo 17).

Tablo 17. Genotiplerin Başakta Başakçık Sayısı (BBS), Başakta Tane Sayısı (BTS) ve Bin Tane Ağırlığı (BTA) Parametrelerine Ait Ortalama Değerleri

Genotipler	BBS			BTS			BTA (g)		
	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik	Erzurum	Konya	Birleşik
NOR	19,4	13,5	16,5	51,1	28,3	39,7	31,5	34,6	33,0
ZAG	15,2	14,3	14,8	47,5	35,2	41,3	37,1	36,4	36,7
G1	18,9	17,9	18,4	63,8	41,9	52,8	35,8	34,0	34,9
G2	16,6	13,9	15,2	53,9	42,8	48,4	39,5	37,8	38,7
G3	14,0	16,7	15,4	41,2	42,5	41,9	39,5	39,7	39,6
G4	15,5	14,8	15,2	45,2	35,4	40,3	36,1	39,3	37,7
G5	16,9	15,5	16,2	49,6	44,9	47,2	33,7	34,8	34,3
G6	18,2	13,2	15,7	50,2	36,4	43,3	32,4	33,7	33,0
G7	16,4	14,0	15,2	44,6	34,4	39,5	39,5	40,7	40,1
G8	13,2	14,0	13,6	36,2	31,0	33,6	45,6	36,3	41,0
G9	14,6	13,5	14,1	39,8	32,3	36,1	46,9	45,5	46,2
G10	13,7	13,0	13,4	39,6	33,5	36,6	42,5	39,6	41,1
G11	14,6	14,2	14,4	41,6	32,7	37,2	38,0	34,7	36,3
G12	13,8	14,9	14,3	37,6	38,0	37,8	36,7	37,0	36,8
G13	16,3	14,5	15,4	43,8	32,5	38,2	42,0	39,1	40,5
G14	12,8	14,2	13,5	38,7	39,5	39,1	43,2	42,8	43,0
G15	13,9	14,8	14,4	44,3	35,7	40,0	44,8	43,2	44,0

Tablo 17. (Devamı)

G16	15,8	14,7	15,2	44,3	34,2	39,2	44,6	45,3	44,9
G17	13,2	14,8	14,0	27,0	36,9	31,9	47,1	42,6	44,9
G18	17,2	15,5	16,4	51,1	41,8	46,5	41,0	41,1	41,0
G19	15,0	15,5	15,3	46,6	39,0	42,8	41,1	39,8	40,4
G20	15,8	14,5	15,2	46,7	41,8	44,3	37,0	37,1	37,0
G21	14,0	13,2	13,6	37,4	39,0	38,2	45,1	45,3	45,2
G22	15,3	16,0	15,7	48,3	41,8	45,1	34,2	31,3	32,7
G23	15,0	15,0	15,0	45,2	35,8	40,5	42,1	44,3	43,2
G24	15,2	12,7	14,0	43,6	31,2	37,4	42,0	43,4	42,7
G25	17,3	14,2	15,7	61,5	37,4	49,4	43,9	38,4	41,2
G26	14,9	14,7	14,8	40,1	37,5	38,8	37,6	37,9	37,7
G27	16,9	12,5	14,7	53,0	28,7	40,8	40,6	40,5	40,6
G28	14,1	12,0	13,1	42,3	30,9	36,6	42,4	44,2	43,3
G29	16,1	14,5	15,3	39,6	45,3	42,5	23,9	33,1	28,5
G30	14,9	14,2	14,5	50,0	46,5	48,3	34,8	35,3	35,0
G31	12,7	14,2	13,5	28,3	31,5	29,9	38,1	38,1	38,1
G32	13,4	12,3	12,9	38,3	31,5	34,9	41,7	39,8	40,7
G33	14,6	10,5	12,6	45,5	22,2	33,9	41,6	40,0	40,8
G34	15,0	8,0	11,5	41,4	17,7	29,6	44,3	47,4	45,8
G35	14,3	14,0	14,2	39,6	27,4	33,5	48,8	47,9	48,3
G36	15,2	14,2	14,7	37,4	29,2	33,3	36,1	39,0	37,5
G37	15,3	15,2	15,2	40,0	33,0	36,5	36,6	37,7	37,2
G38	15,0	14,2	14,6	40,8	35,2	38,0	39,9	39,7	39,8
G39	15,8	15,0	15,4	42,4	34,9	38,6	41,1	41,2	41,1
G40	13,2	14,0	13,6	35,9	39,0	37,5	37,4	38,1	37,8
G41	14,3	14,4	14,3	39,0	31,7	35,4	39,1	38,3	38,7
G42	14,2	11,7	13,0	34,2	27,5	30,9	41,9	40,8	41,3
G43	11,1	12,0	11,6	24,7	24,0	24,4	35,3	33,4	34,3
G44	14,2	12,4	13,3	42,0	26,9	34,4	36,6	38,1	37,3
G45	15,4	13,9	14,6	48,8	35,0	41,9	41,5	44,3	42,9
G46	17,4	15,8	16,6	56,0	43,8	49,9	41,5	39,9	40,7
G47	19,2	17,7	18,4	63,2	51,5	57,4	37,1	36,4	36,7
G48	15,2	14,5	14,9	49,5	39,9	44,7	38,6	39,2	38,9
G49	18,5	13,4	15,9	63,6	33,9	48,7	41,5	39,3	40,4
G50	15,2	11,4	13,3	56,5	27,5	42,0	43,1	40,0	41,6
G51	16,8	14,7	15,7	49,5	35,7	42,6	44,6	42,6	43,6
G52	15,2	15,7	15,4	36,6	34,9	35,7	35,9	38,3	37,1
G53	16,6	17,7	17,1	41,4	42,4	41,9	37,6	40,8	39,2
G54	17,5	15,7	16,6	49,0	27,5	38,3	43,2	39,4	41,3
G55	18,7	18,9	18,8	58,2	52,0	55,1	38,1	37,7	37,9
G56	17,5	16,2	16,8	54,5	48,5	51,5	36,4	40,2	38,3
G57	17,5	16,9	17,2	49,0	41,7	45,3	40,8	36,8	38,8
G58	14,6	12,9	13,7	31,3	30,5	30,9	35,6	35,2	35,4
G59	16,6	16,3	16,5	44,5	43,4	43,9	45,8	42,9	44,3
G60	15,5	12,7	14,1	42,7	29,5	36,1	41,2	37,5	39,3
G61	17,2	14,5	15,9	58,3	46,2	52,2	39,5	40,8	40,1
G62	14,6	15,3	15,0	38,2	38,8	38,5	36,6	35,0	35,8
G63	15,5	15,7	15,6	48,2	42,5	45,4	33,5	38,8	36,1
G64	15,3	14,2	14,8	33,3	37,9	35,6	31,4	43,2	37,3
G65	16,0	16,3	16,2	49,1	47,0	48,1	40,3	39,3	39,8
G66	14,3	12,2	13,2	37,7	30,4	34,0	40,2	41,8	41,0
G67	13,6	17,0	15,3	35,6	46,4	41,0	35,6	36,8	36,2
G68	12,2	14,0	13,1	29,9	26,5	28,2	31,2	33,3	32,2
G69	14,3	14,5	14,4	45,7	41,2	43,4	38,1	38,2	38,2
G70	14,2	15,4	14,8	35,0	45,9	40,4	43,6	44,2	43,9
G71	14,0	15,0	14,5	32,7	33,7	33,2	49,8	40,9	45,3
G72	16,6	15,9	16,2	48,6	51,4	50,0	34,9	38,5	36,7
G73	13,6	14,4	14,0	34,4	38,2	36,3	38,8	39,2	39,0
G74	14,1	12,7	13,4	36,2	27,5	31,9	40,3	39,3	39,8
G75	13,6	11,9	12,7	46,4	23,9	35,1	39,0	43,9	41,4
G76	14,4	13,8	14,1	37,5	34,2	35,8	47,7	46,3	47,0
G77	16,4	12,9	14,6	46,5	34,7	40,6	34,2	38,2	36,2
G78	16,7	14,7	15,7	47,0	39,5	43,3	36,1	36,3	36,2
G79	12,0	13,0	12,5	31,1	34,2	32,7	39,4	37,4	38,4
G80	12,6	13,7	13,2	37,9	36,9	37,4	40,1	36,5	38,3
G81	15,0	15,0	15,0	42,3	44,0	43,2	30,8	37,6	34,2
G82	18,3	15,5	16,9	53,2	41,2	47,2	32,7	37,5	35,1
G83	17,0	15,2	16,1	48,6	39,2	43,9	42,7	40,8	41,7

Tablo 17. (Devamı)

G84	16,5	14,4	15,4	55,9	39,4	47,6	31,8	34,2	33,0
G85	12,6	11,9	12,2	25,8	27,2	26,5	40,6	40,6	40,6
G86	14,3	11,3	12,8	43,4	29,2	36,3	43,6	39,7	41,6
G87	15,9	12,4	14,1	48,5	28,9	38,7	30,5	35,9	33,2
G88	13,4	13,2	13,3	43,7	36,7	40,2	41,3	38,6	40,0
G89	15,5	13,2	14,3	45,5	34,2	39,8	45,0	41,2	43,1
G90	14,5	15,9	15,2	35,0	41,2	38,1	42,8	39,5	41,1
G91	15,1	16,2	15,7	41,9	40,5	41,2	39,7	37,4	38,5
G92	15,2	15,0	15,1	45,1	43,3	44,2	43,1	38,4	40,7
G93	14,1	15,5	14,8	29,8	41,4	35,6	21,0	32,6	26,8
G94	14,8	12,0	13,4	39,3	24,5	31,9	33,1	36,4	34,7
G95	15,8	14,9	15,3	43,5	35,4	39,4	37,7	38,1	37,9
G96	13,6	12,9	13,2	33,2	25,0	29,1	38,0	33,8	35,9
G97	14,7	14,4	14,5	38,3	39,4	38,8	39,4	34,1	36,7
G98	18,1	16,2	17,1	44,3	39,0	41,7	30,4	33,7	32,0
G99	15,3	12,4	13,8	40,0	29,2	34,6	34,1	38,1	36,1
G100	16,1	15,0	15,6	47,5	36,9	42,2	39,5	40,2	39,8
G101	15,0	14,4	14,7	37,9	32,4	35,1	39,0	39,9	39,4
G102	15,2	13,9	14,5	39,3	25,8	32,6	37,3	37,2	37,2
G103	15,9	14,0	15,0	47,2	33,5	40,4	37,3	36,6	36,9
G104	16,3	17,4	16,8	51,8	47,7	49,7	43,9	37,8	40,8
G105	15,5	12,5	14,0	41,2	28,5	34,9	38,1	36,3	37,2
G106	16,5	16,5	16,5	52,5	41,9	47,2	41,7	38,1	39,9
G107	16,5	13,7	15,1	47,3	42,0	44,7	35,9	32,8	34,4
G108	13,9	12,5	13,2	40,7	36,2	38,4	38,8	42,9	40,8
G109	11,8	12,7	12,2	29,9	25,7	27,8	42,0	39,0	40,5
G110	15,6	12,2	13,9	35,1	28,8	32,0	37,9	39,9	38,9
G111	15,4	14,4	14,9	47,9	40,0	44,0	38,1	33,8	35,9
G112	12,1	12,9	12,5	26,2	26,0	26,1	37,1	32,9	35,0
G113	13,9	14,2	14,1	35,2	37,7	36,4	37,9	33,8	35,9
G114	15,9	15,5	15,7	51,1	50,2	50,6	32,1	36,2	34,1
G115	14,6	14,5	14,6	36,9	33,0	35,0	37,4	34,9	36,1
G116	13,2	13,4	13,3	32,5	33,0	32,8	45,6	37,4	41,5
G117	16,7	16,2	16,5	51,3	36,9	44,1	35,5	36,8	36,2
G118	15,7	16,2	15,9	40,5	42,5	41,5	31,3	36,7	34,0
G119	15,6	16,4	16,0	49,0	50,2	49,6	39,3	38,2	38,7
G120	15,4	13,9	14,6	38,7	34,9	36,8	34,9	36,4	35,6
G121	19,1	16,5	17,8	40,5	41,9	41,2	38,8	41,3	40,0
G122	17,7	15,8	16,8	55,3	35,7	45,5	38,9	41,0	39,9
G123	14,3	13,3	13,8	41,0	37,5	39,3	39,2	38,4	38,8
G124	12,9	13,5	13,2	36,3	36,0	36,2	39,0	37,1	38,0
G125	18,2	15,2	16,7	53,6	36,2	44,9	36,8	35,7	36,2
G126	15,1	13,3	14,2	46,3	30,5	38,4	37,1	40,3	38,7
G127	14,8	12,4	13,6	39,1	29,9	34,5	35,9	34,2	35,1
G128	15,1	13,9	14,5	37,4	33,0	35,2	27,7	33,4	30,5
G129	17,2	17,9	17,5	55,9	43,2	49,6	33,3	31,9	32,6
G130	16,6	17,4	17,0	49,5	44,5	47,0	44,7	41,5	43,1
G131	15,8	14,2	15,0	40,3	38,3	39,3	35,1	35,6	35,3
G132	16,8	15,3	16,1	51,4	31,8	41,6	34,5	35,7	35,1
G133	14,6	14,0	14,3	38,9	35,5	37,2	32,6	34,4	33,5
G134	17,4	13,5	15,5	53,4	30,5	42,0	32,4	34,8	33,6
G135	14,4	13,4	13,9	46,8	37,2	42,0	39,8	37,7	38,7
G136	16,4	16,4	16,4	46,6	40,7	43,7	37,0	36,4	36,7
G137	14,0	13,0	13,5	39,4	29,8	34,6	35,0	39,3	37,1
G138	14,3	16,0	15,2	43,3	34,2	38,7	33,6	37,4	35,5
G139	15,0	17,0	16,0	42,0	50,7	46,4	40,3	40,2	40,2
G140	17,4	14,7	16,1	48,8	34,9	41,8	42,3	40,7	41,5
G141	14,7	12,8	13,8	48,2	31,9	40,0	41,8	43,1	42,4
G142	15,1	13,7	14,4	40,9	48,0	44,5	37,4	40,2	38,8
G143	15,5	11,8	13,7	44,4	25,8	35,1	38,2	40,4	39,3
G144	16,5	18,9	17,7	56,9	58,0	57,5	35,3	35,0	35,1
G145	14,2	12,5	13,4	41,1	29,4	35,2	32,9	32,1	32,5
G146	14,6	13,2	13,9	36,2	29,7	33,0	36,3	39,9	38,1
G147	16,5	15,4	15,9	43,3	37,4	40,3	47,3	42,5	44,9
G148	14,3	15,5	14,9	35,6	43,9	39,7	35,5	40,1	37,8
G149	10,5	12,5	11,5	40,2	28,7	34,4	35,9	39,5	37,7
G150	13,3	12,5	12,9	42,4	29,9	36,1	37,2	36,9	37,0
G151	12,5	13,3	12,9	30,9	32,0	31,5	42,5	38,9	40,7

Tablo 17. (Devamı)

G152	15,0	14,4	14,7	39,2	43,5	41,4	35,8	34,1	34,9
G153	11,1	12,2	11,6	31,9	27,7	29,8	40,4	37,5	39,0
G154	13,1	10,9	12,0	31,6	22,7	27,1	39,3	37,5	38,4
G155	15,9	15,2	15,5	49,5	37,0	43,3	37,7	39,3	38,5
G156	15,4	13,9	14,6	42,9	37,2	40,0	41,8	39,8	40,8
G157	15,3	14,2	14,8	40,4	39,0	39,7	36,0	33,5	34,8
G158	15,4	15,9	15,6	37,8	48,9	43,3	30,2	37,9	34,0
G159	19,0	15,2	17,1	50,4	37,5	44,0	23,8	33,1	28,5
G160	13,1	12,9	13,0	33,5	35,9	34,7	26,6	36,6	31,6
G161	16,5	14,5	15,5	51,5	33,5	42,5	33,1	37,9	35,5
G162	16,4	14,7	15,5	50,3	36,4	43,3	35,3	39,0	37,1
G163	16,6	16,0	16,3	45,2	43,2	44,2	39,3	37,9	38,6
G164	17,2	13,8	15,5	47,3	32,5	39,9	40,7	38,3	39,5
G165	15,1	12,0	13,6	46,0	29,7	37,8	38,7	40,2	39,4
G166	16,3	13,9	15,1	45,8	38,0	41,9	26,0	33,6	29,8
G167	14,7	14,7	14,7	45,0	38,2	41,6	33,7	32,8	33,3
G168	16,2	14,7	15,4	49,3	36,3	42,8	43,9	37,3	40,6
G169	14,4	14,0	14,2	40,1	33,0	36,6	35,4	33,6	34,5
G170	16,7	13,9	15,3	51,3	31,5	41,4	34,9	33,4	34,1
G171	15,6	12,5	14,1	53,8	30,3	42,1	39,8	39,3	39,5
G172	11,5	12,7	12,1	22,8	31,7	27,3	35,5	46,8	41,2
G173	17,0	14,2	15,6	49,6	30,5	40,1	34,9	39,8	37,3
G174	13,9	13,8	13,9	37,4	28,4	32,9	36,2	35,2	35,7
G175	15,9	13,2	14,6	38,5	31,0	34,8	32,5	36,3	34,4
G176	16,2	9,5	12,9	46,4	18,0	32,2	39,6	39,4	39,5
G177	14,7	13,0	13,9	44,8	39,7	42,2	37,9	37,5	37,7
G178	14,8	13,7	14,2	37,9	34,4	36,1	39,6	40,5	40,0
G179	15,8	14,0	14,9	46,0	31,3	38,7	41,7	39,0	40,3
G180	13,6	11,0	12,3	33,0	26,7	29,9	39,3	42,5	40,9
Ortalama	15,2	14,2	14,7	43,2	35,8	39,5	38,1	38,3	38,2
LSD									
Lokasyon			0,3			1,2			0,4
Genotip			2,6			11,6			3,7
L × G			3,6			16,4			5,3

Başakta başakçık sayısı başak uzunluğuna göre değişmekte, uzun boylu başaklarda başakta başakçık sayısı daha fazla olmaktadır. Çalışmamızda hem başak uzunluğu hem de başakta başakçık sayısı Erzurum lokasyonunda daha fazla olmuş ve farklı lokasyonların başak uzunluğu ve başakta başakçık sayısında farklılıklara neden olduğu görülmektedir (Tablo 13).

Başak başına buğday tanesi sayısı, başak başına başakçık sayısı ve başakçık başına tane sayısının birleşimi ile belirlenmekte ve her buğday başakçığında birden fazla tane bulunmaktadır. Bu durum, buğday başakçığını en temel tane verimi bileşenlerinden biri yapmaktadır (Wolde *et al.* 2019). Benzer şekilde Qu *et al.* (2009), artan başakçık sayısı nedeniyle tane veriminin artan başakçık sayısı ile arttığını bildirmiştir.

Buğdayı etkileyen geç ilkbahar soğuğu esas olarak, genç başakların, bazı başakçıkların ve hatta tüm başakçıkların zarar görmesine veya ölümüne neden olan ve buğday veriminde azalmaya yol açan, birleşme ile başaklanma arasında meydana gelen bir tür agrometeorolojik afeti ifade etmektedir (Xiao *et al.* 2021). Yu *et al.* (2022), düşük sıcaklık uygulamalarının başakçık sayısını önemli ölçüde azalttığını belirtmiştir. Bununla birlikte Su *et al.* (2022), başaklanma aşamasındaki düşük sıcaklığın, buğday başakçığının zarar görme oranını artırdığını ve buğday başakçığının tohum bağlama oranını azalttığını belirtmiştir. Ayrıca, başaklanma

aşamasındaki düşük sıcaklığın, başakçıklarda çözünebilir şeker ve sakkaroz içeriğini artırırken fruktoz içeriğini azalttığını belirtmiştir. Sonuç olarak, başaklanma aşamasındaki düşük sıcaklığın sakkaroz taşınmasını ve metabolizmasını etkileyerek başakçıkların bütünlüğünü bozduğunu ve böylece buğdayın tohum bağlama oranını azalttığını açıklamıştır.

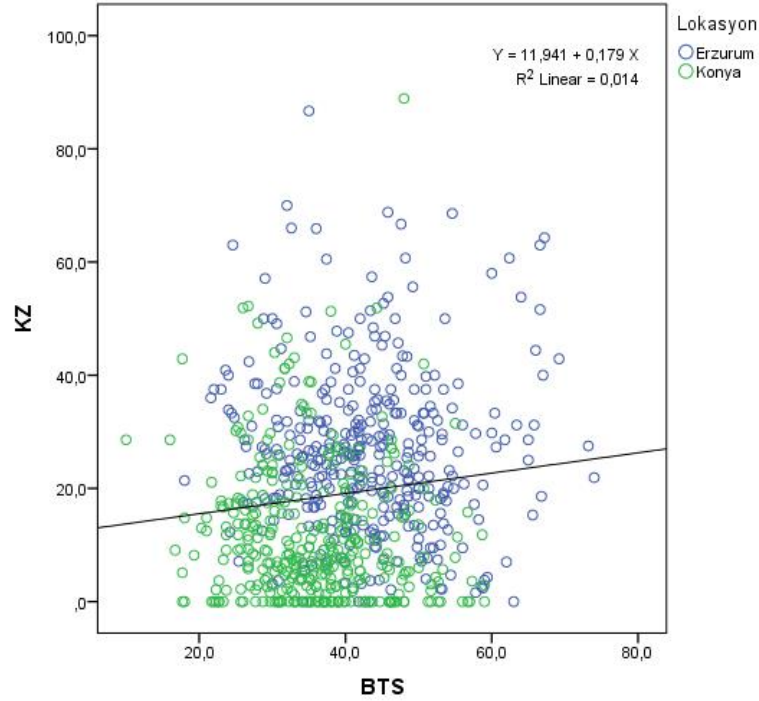
Başakta Tane Sayısı

Varyans analizi sonuçlarında görüldüğü gibi lokasyon ve genotiplerin başakta tane sayısı üzerine etkisi çok önemli, lokasyon ve genotip interaksiyonunun ise başakta tane sayısı üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur (Tablo 16). Lokasyon ortalamalarına baktığımızda başakta tane sayısı Tablo 17’de görüldüğü gibi Erzurum lokasyonunda 43,2 adet, Konya lokasyonunda ise 35,8 adet olmuştur. Birleşik değerlere göre başakta tane sayısı genotipler arasında 24,4 adet ile 57,5 adet arasında değişmiş ve en fazla başakta tane sayısı 144 nolu hatta (57,5 adet) en az tane sayısı ise 43 nolu hatta (24,4 adet) elde edilmiştir (Tablo 17). Çalışmamızda hem başak uzunluğunun hem de başakta başakçık sayısının Erzurum lokasyonunda daha fazla olması Erzurum lokasyonunda başakta tane sayısının da daha fazla olmasına neden olmuştur.

Şekil 40’a göre, başakta tane sayısının kış zararı üzerinde pozitif yönlü bir etkisi olduğu görülmektedir ($Y = 11,941 + 0,179X$). R^2 değeri çok düşük (0,014) olmuş, başakta tane sayısının kış zararındaki toplam değişimi neredeyse hiç açıklamadığını göstermiştir.

Başakta tane sayısı, buğday tane verimini belirlemede önemli bir faktördür (Zhang *et al.* 2019). İlkbahar soğuk stresi koşulları altında, bitki başına başak sayısının ve başak başına tane sayısının düşük olması, tane üretiminin azalmasına birincil derecede neden olmaktadır (Liu *et al.* 2019). Subedi *et al.* (1998), başaklanma ve çiçeklenme aşamalarında soğuğa maruz kalmanın, başak başına tane sayısında önemli bir azalmaya neden olduğunu; sonuç olarak nihai tane verimini %78’e düşürdüğünü belirtmiştir. Al-Issawi *et al.* (2013), çiçeklenme öncesi, çiçeklenme ve çiçeklenme sonrası aşamalarda don uygulamasını yaptıkları bir çalışmada, uygulamanın çiçeklenme sırasında uygulandığında başakçık başına tane sayısının daha fazla etkilendiğini belirtmiştir. Knott (2020), başaklanma ve çiçeklenme aşamasındaki düşük sıcaklığın, çiçeklerin dejenerasyonuna ve polen verimliliğinde ve başakta tane sayısında azalmaya yol açtığını belirtmiştir. Ayrıca Yu *et al.* (2022), düşük sıcaklık uygulamalarının başakta tane sayısını önemli ölçüde azalttığını belirtmiştir. Benzer şekilde Chen *et al.* (2024), çalışmasında düşük sıcaklık stresinin buğdayda başakta tane sayısını önemli ölçüde azalttığını belirtmiştir. Erzurum koşullarında yapılan çalışmalarda: Bayram vd. (2017), 64 ekmeklik buğday genotipinde başaktaki tane sayısının 13,7- 26,6 adet arasında; Küçüközdemir (2016), farklı yerel ve ticari buğday çeşitlerinde başakta tane sayısının 16,51 - 51,35 adet arasında;

Dumlu (2023), 186 Kırık buğday genotipi ve 8 standart çeşitte başakta tane sayısının 17,07 – 51,42 adet arasında değiştiğini bildirmiştir.



Şekil 40. Başakta tane sayısı (BTS) ile kış zararı (KZ) arasındaki ilişkiler

Bin Tane Ağırlığı

Tablo 16'daki varyans analizi sonuçlarında görüldüğü gibi lokasyonların bin tane ağırlığına etkisi önemsiz, genotip ve lokasyon x genotip interaksyonu ise bin tane ağırlığına etkisi çok önemli bulunmuştur. Bin tane ağırlığı Erzurum lokasyonunda ortalama 38,1 g, Konya lokasyonunda ise ortalama 38,3 g olarak elde edilmiş ancak istatistiksel olarak bir fark elde edilmemiştir (Tablo 17). Birleşik değerlere göre genotipler arasında bin tane ağırlığı 26,8 g ile 48,3 g arasında değişmiştir. Bin tane ağırlığı en fazla 35 nolu hatta, en az ise 93 nolu hatta elde edilmiştir (Tablo 17).

Düşük sıcaklık ve maruz kalma süresi buğday verim bileşenlerinin temel belirleyicileridir. Özellikle, sıcaklık seviyesi başak başına tane sayısını önemli ölçüde etkilerken, maruz kalma süresinin tane ağırlığı üzerinde daha büyük etkisi olmaktadır (Jiang *et al.* 2025). Wang (2012), düşük sıcaklığın, esas olarak tanenin gelişimini başaklanma aşamasından çiçeklenme aşamasına kadar etkilediğini ve tane ağırlığında bir azalmaya neden olduğunu belirtmiştir. Ejaz *et al.* (2023), araştırmasında 1000 tane ağırlığının hem yazlık hem de kışlık buğday çeşitlerinde soğuk stresi altında azaldığını sonucunu elde etmiştir. Yu *et al.* (2022), düşük sıcaklık uygulamalarının başakta tane ağırlığını önemli ölçüde azalttığını, ancak normal sıcaklık uygulama ve düşük sıcaklık uygulama grupları arasında 1000 tane ağırlığında önemli bir fark bulunmadığını belirtmiştir. Düşük sıcaklık stresinin buğdayda 1000 tane

ağırlığını düşürdüğü farklı araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir (Zhang *et al.* 2022; Chen *et al.* 2024). Erzurum koşullarında yapılan çalışmalarda: Küçüközdemir (2016), farklı yerel ve ticari buğday çeşitlerinde başakta 1000 tane ağırlığının 28,05 – 55,13 g; Bayram vd. (2017), 64 ekmeklik buğday genotipinde 1000 tane ağırlığının 28,9-43,3 g; Koşunkartay (2019), buğday ileri mutant hatlarında 1000 tane ağırlığının 32,5 ile 42,3 g; Dumlu (2023), 186 Kırık buğday genotipi ve 8 standart çeşitte iki yıllık ortalama 1000 tane ağırlığının 25,29 - 43,29 g arasında değiştiğini belirtmiştir.

Korelasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Korelasyon analizine göre kış zararı ile görsel soğuk zararı (0,338**) arasındaki ilişki pozitif yönde ve anlamlı olarak bulunmuştur (Tablo 18).

Kış zararı ile ÇS (0,485**), FOS (0,482**), SPAD 0 (0,216**), SPAD 15 (0,094*), BU (0,081*) ve BTS (0,119**) arasında pozitif yönde doğrusal önemli; kanopi 0 (-0,319**), kanopi 15 (-0,239**), MBS (-0,122**), Fv/Fm15 (-0,183**) ve Fv/Fm25 (-0,165**) arasında doğrusal ilişki ise negatif yönde önemli bulunmuştur. Kış zararının kalan diğer parametreler ile arasındaki doğrusal ilişki ise önemsiz bulunmuştur (Tablo 18).

Görsel soğuk zararı ile KÖBS (-0,123**), KSBS (-0,225**), Kanopi 0 (-0,254**), Kanopi 15 (-0,224**), Kanopi 25 (-0,201**), MBS (-0,193**), BV (-0,099**), TV (-0,091*), Fv/Fm 0 (-0,125**), Fv/Fm15 (-0,075*) ve Fv/Fm25 (-0,149**) arasında doğrusal ilişki negatif yönde önemli; ÇS (0,330**), FOS (0,325**) ve SPAD 0 (0,151**) arasındaki doğrusal ilişki ise pozitif yönde önemli bulunmuştur. Görsel soğuk zararının kalan diğer parametreler ile arasındaki doğrusal ilişki ise önemsiz bulunmuştur (Tablo 18).

Tablo 18. Denmede İncelenen Parametreler Arasındaki İlişkilere Ait Korelasyon Analizi Sonuçları¹

	KÖBS	KSBS	LT ₅₀	KZ	GSZ	ÇS	FOS	SPAD 0	SPAD 15	SPAD 25	Kanopi 0	Kanopi 15	Kanopi 25	BB	MBS	BV	TV	HI	BU	BBS	BTS	BTA	Fv/Fm 0	Fv/Fm 15	Fv/Fm 25
KÖBS	1																								
KSBS	0,903**	1																							
LT ₅₀	0,000	0,024	1																						
KZ	-0,006	-0,392**	-0,020	1																					
GSZ	-0,123**	-0,225**	-0,065	0,338**	1																				
ÇS	0,070	-0,133**	0,006	0,485**	0,330**	1																			
FOS	0,066	-0,133**	0,007	0,482**	0,325**	0,996**	1																		
SPAD 0	-0,025	-0,116**	0,067	0,216**	0,151**	0,306**	0,309**	1																	
SPAD 15	0,018	-0,023	0,058	0,094*	0,038	0,158**	0,169**	0,481**	1																
SPAD 25	-0,028	-0,024	0,061	-0,023	-0,047	-0,007	0,004	0,272**	0,532**	1															
Kanopi 0	0,108**	0,233**	0,042	-0,319**	-0,254**	-0,698**	-0,691**	-0,254**	-0,156**	-0,003	1														
Kanopi 15	0,058	0,155**	0,038	-0,239**	-0,224**	-0,505**	-0,495**	-0,250**	-0,070	-0,013	0,461**	1													
Kanopi 25	0,113**	0,095*	-0,042	-0,028	-0,201**	-0,178**	-0,173**	-0,105**	-0,028	-0,017	0,231**	0,428**	1												
BB	0,156**	0,125**	-0,008	0,031	-0,066	0,444**	0,459**	-0,159**	-0,006	-0,002	-0,172**	-0,075*	0,050	1											
MBS	0,665**	0,659**	0,026	-0,122**	-0,193**	0,266**	0,267**	0,063	0,072	0,025	-0,023	-0,005	0,080*	0,400**	1										
BV	0,536**	0,465**	0,047	0,055	-0,099**	0,513**	0,521**	0,107**	0,182**	0,077*	-0,234**	-0,137**	0,078*	0,564**	0,782**	1									
TV	0,479**	0,415**	0,060	0,050	-0,091*	0,482**	0,491**	0,154**	0,228**	0,136**	-0,224**	-0,142**	0,057	0,491**	0,726**	0,915**	1								
HI	0,045	0,034	0,027	0,016	-0,047	0,024	0,030	0,119**	0,146**	0,129**	0,052	0,011	0,013	0,050	0,097**	0,034	0,361**	1							
BU	0,074*	0,046	0,04	0,081*	0,072	0,340**	0,350**	0,164**	0,078*	0,060	-0,225**	-0,210**	0,001	0,251**	0,194**	0,347**	0,333	0,049	1						
BBS	0,094*	0,082*	0,055	0,042	0,005	0,262**	0,272**	0,077*	0,057	0,056	-0,141**	-0,078*	0,101**	0,307**	0,225**	0,349**	0,311**	0,024	0,787**	1					
BTS	0,125**	0,069	0,007	0,119**	0,072	0,375**	0,385**	0,186**	0,144**	0,109**	-0,243**	-0,207**	0,041	0,307**	0,247**	0,402**	0,409**	0,115**	0,802**	0,787**	1				
BTA	-0,268**	-0,244**	-0,103**	-0,013	0,066	-0,027	-0,016	-0,017	0,224**	0,187**	-0,072	0,008	0,023	0,065	-0,226**	-0,107**	-0,044	0,113**	-0,028	-0,089*	-0,040	1			
Fv/Fm 0	0,100**	0,097**	0,017	-0,013	-0,125**	0,082*	0,093*	-0,060	0,020	0,024	-0,019	0,118**	0,198**	0,141**	0,125**	0,147**	0,125**	0,017	0,034	0,090*	0,024	-0,027	1		
Fv/Fm15	-0,097**	-0,006	0,013	-0,183**	-0,075*	-0,167**	-0,167**	0,040	0,175**	0,193**	-0,016	-0,014	-0,002	-0,080*	-0,103**	-0,090*	-0,075*	-0,011	0,055	0,040	0,013	0,205**	-0,022	1	
Fv/Fm25	-0,014	0,054	0,058	-0,165**	-0,149**	-0,307**	-0,305**	-0,078*	0,141**	0,284**	0,240**	0,214**	0,098**	-0,100**	-0,048	-0,100**	-0,082*	0,022	-0,098*	-0,047	-0,058	0,055	0,055	0,121**	1

* ile işaretli korelasyon değerleri 0,05 hata ihtimali düzeyinde önemlidir.

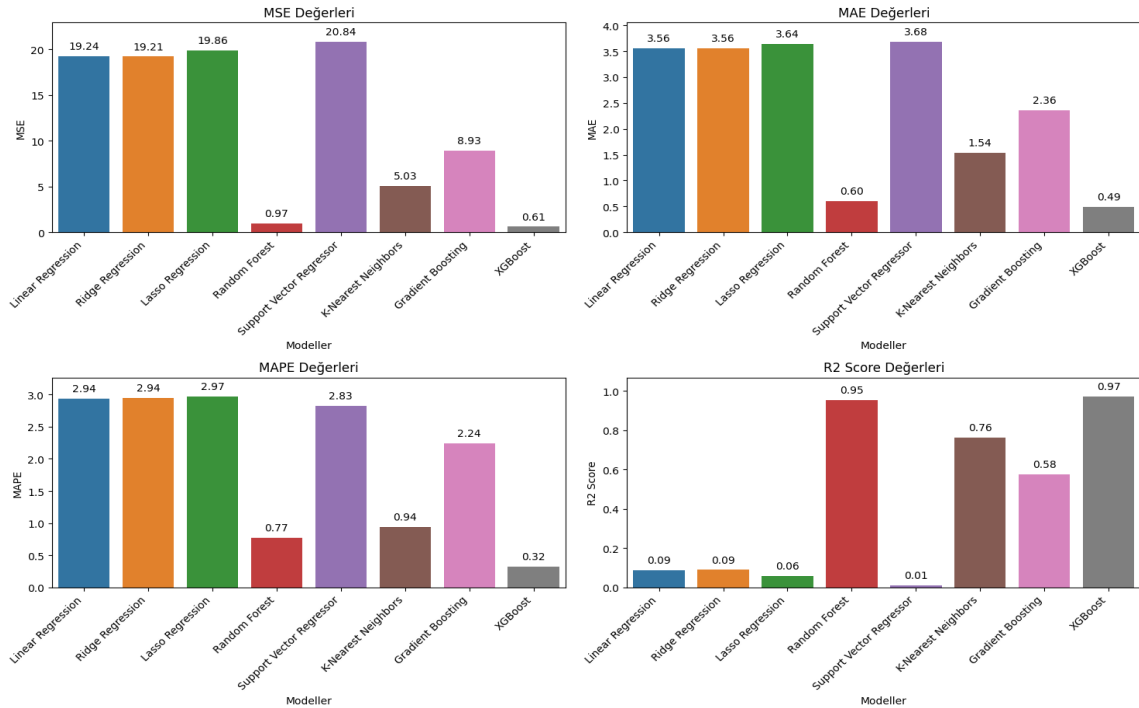
** ile işaretli korelasyon değerleri 0,01 hata ihtimali düzeyinde önemlidir.

1. **KÖBS:** Kıştan önce bitki sayısı, **KSBS:** Kıştan sonra bitki sayısı, **KZ:** Kış zararı, **GSZ:** Görsel soğuk zararı, **ÇS:** Çiçeklenme süresi, **FOS:** Fizyolojik olum süresi, **SPAD 0:** çiçeklenme dönemindeki SPAD değeri, **SPAD 15:** Çiçeklenmeden 15 gün sonraki SPAD değeri, **SPAD 25:** Çiçeklenmeden 25 gün sonraki SPAD değeri, **Kanopi 0:** çiçeklenme dönemindeki kanopi değeri, **Kanopi 15:** Çiçeklenmeden 15 gün sonraki kanopi değeri, **Kanopi 25:** Çiçeklenmeden 25 gün sonraki kanopi değeri, **BB:** Bitki boyu, **MBS:** Metrekarede başak sayısı, **BV:** Biyolojik verim, **TV:** Tane verimi, **HI:** Hasat indeksi, **BU:** Başak uzunluğu, **BBS:** Başakta başakçık sayısı, **BTS:** Başakta tane sayısı, **BTA:** Bin tane ağırlığı, **Fv/Fm 0:** çiçeklenme dönemindeki Fotosistem II (PS II) maksimum enerji verimi değeri, **Fv/Fm 15:** Çiçeklenmeden 15 gün sonraki Fotosistem II (PS II) maksimum enerji verimi değeri, **Fv/Fm 25:** Çiçeklenmeden 25 gün sonraki Fotosistem II (PS II) maksimum enerji verimi değeri

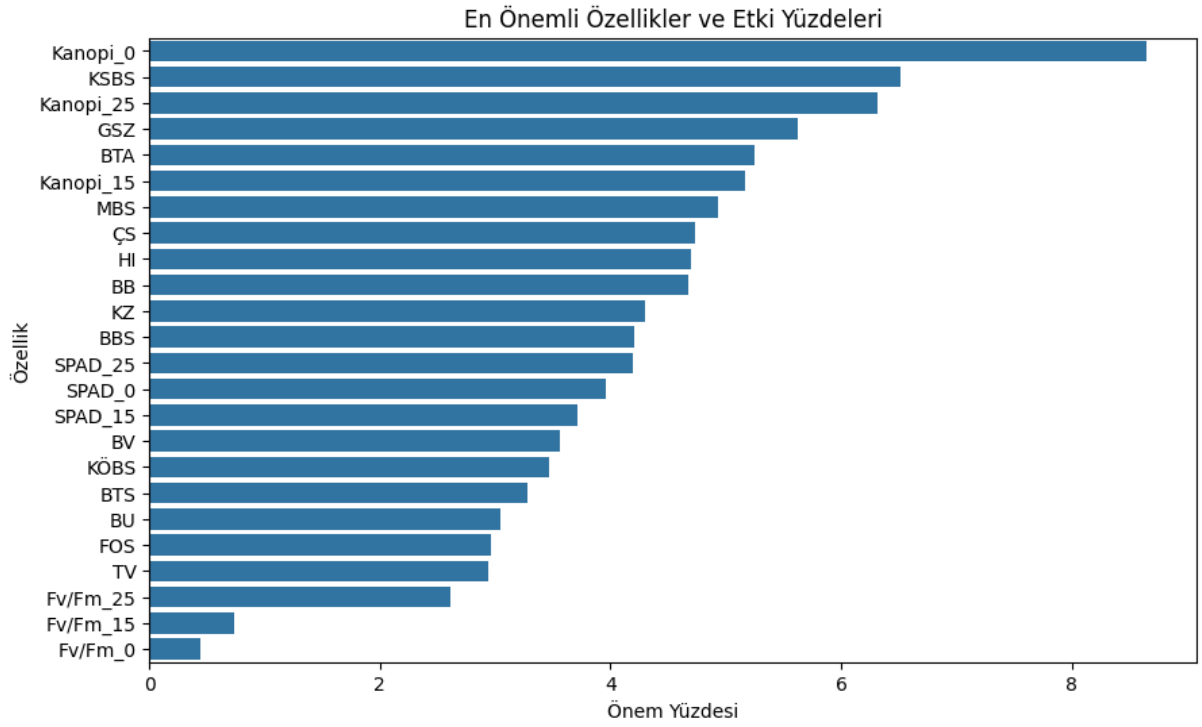
LT₅₀ Değerleri için Regresyon Metriklerinin Değerlendirilmesi

Şekil 41'e göre dört farklı regresyon metriği (MSE, MAE, MAPE ve R²) açısından makine öğrenmesi algoritmalarının performansı karşılaştırılmıştır. Bu veri seti için XGBoost (R² = 0,97) ve Random forest (R² = 0,95) modelleri genel olarak en iyi performansı göstermiş, özellikle düşük hata (MSE, MAE, MAPE) ve yüksek R² değerine sahiptir. Bu sonuç XGBoost modelinin LT₅₀ değerindeki değişkenliğin %97'sini, Random forest modelinin ise LT₅₀ değerindeki değişkenliğin %95'ini açıklayabildiğini göstermektedir.

LT_{Lt} değerinin tahmin edilmesinde tüm özelliklerin etki yüzdesi Şekil 42'de verilmiştir. Sırasıyla en yüksek önem yüzdesi çiçeklenme döneminde kanopi değeri (Kanopi 0), kıştan sonra bitki sayısı (KSBS) ve çiçeklenmeden 25 gün sonraki kanopi değeri (Kanopi 25) özelliklerinde (parametrelerinde); en düşük önem yüzdesi ise sırasıyla Fv/Fm 0 (çiçeklenme dönemi), Fv/Fm 15 (çiçeklenmeden 15 gün sonraki dönem) ve Fv/Fm 25 (çiçeklenmeden 25 gün sonraki dönem) parametrelerinde elde edilmiştir. Genel anlamada LT₅₀ değerinin tahmin edilmesinde tüm özellikler etki göstermiş ancak tüm özelliklerin etki yüzdesi %10'un altında kalmıştır.



Şekil 41. LT₅₀ değerlerinin tahmin edilmesi için dört farklı regresyon metriği (MSE, MAE, MAPE ve R²) açısından makine öğrenmesi algoritmalarının performansının karşılaştırılması

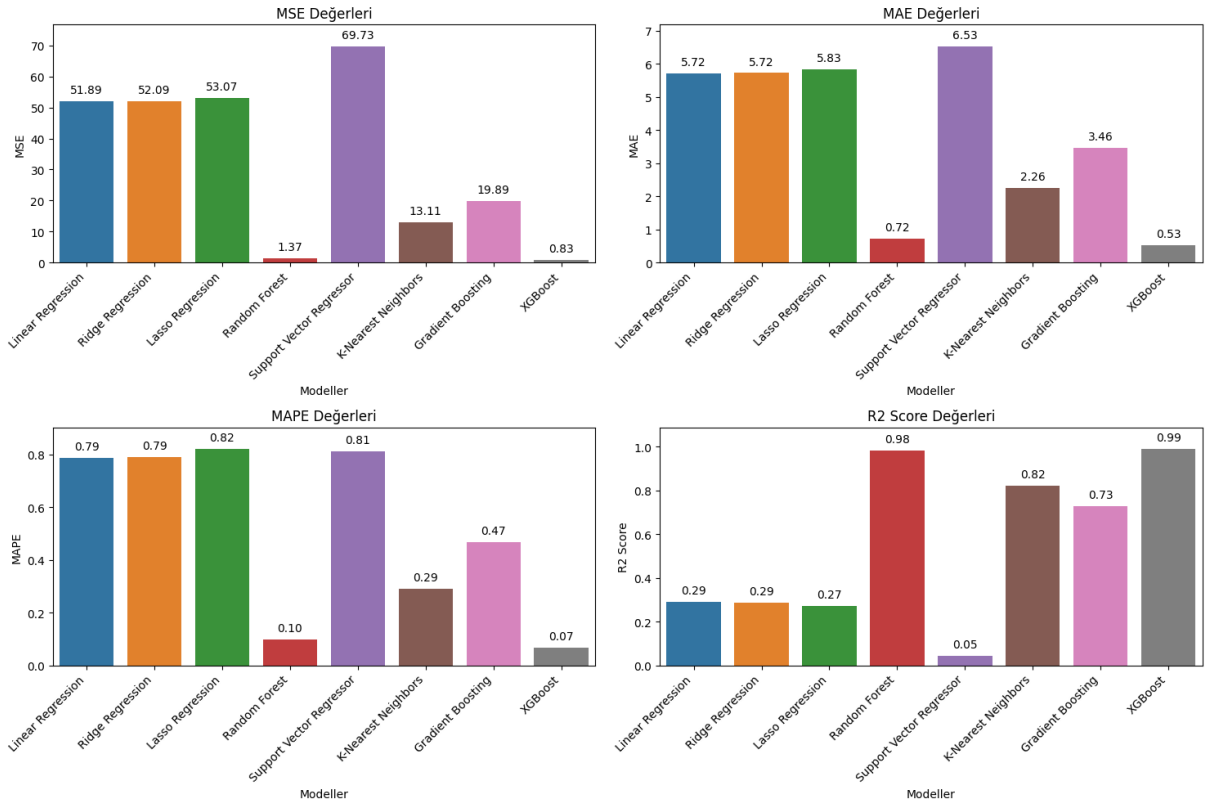


Şekil 42. LT₅₀ değerlerinin tahmin edilmesinde değerlendirilen özellikler (parametreler) ve etki yüzdeleri

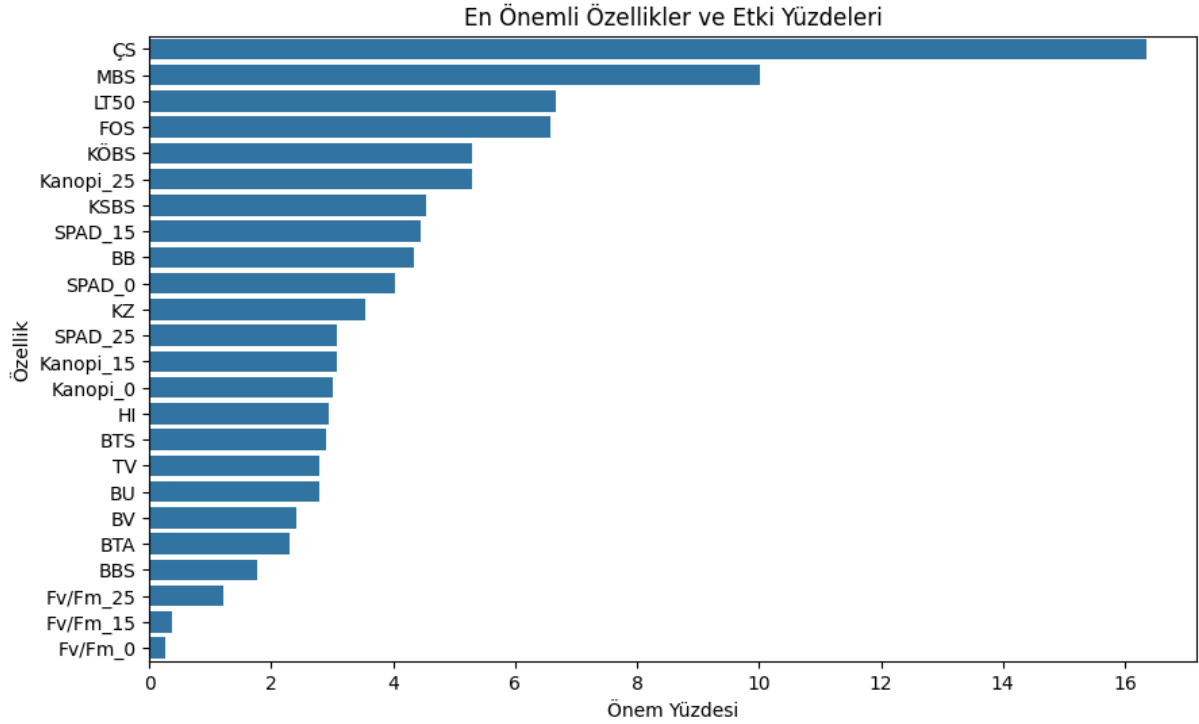
Görsel Soğuk Zararı Değerleri için Regresyon Metriklerinin Değerlendirilmesi

Şekil 43’te, dört farklı regresyon metriği (MSE, MAE, MAPE ve R²) açısından makine öğrenmesi algoritmalarının performansı karşılaştırılmıştır. Bu veri seti için XGBoost, hem hata metriklerinde (MSE, MAE, MAPE) hem de R² için en iyi performansı gösteren modeldir. XGBoost modelinden sonra en iyi performans gösteren model Random Forest modeli olmuştur. Support Vector Regressor modeli MAPE metriği dışında diğer metriklerde en kötü performansı göstermiştir.

Şekil 44’e göre görsel soğuk zararı değerinin tahmin edilmesinde sırasıyla en yüksek önem yüzdesi çiçeklenme süresi (ÇS), metrekarede başak sayısı (MBS) ve LT₅₀ değeri parametrelerinde; en düşük önem yüzdesi ise sırasıyla Fv/Fm 0 (çiçeklenme dönemi), Fv/Fm 15 (çiçeklenmeden 15 gün sonraki dönem) ve Fv/Fm 25 (çiçeklenmeden 25 gün sonraki dönem) parametrelerinde elde edilmiştir.



Şekil 43. Görsel soğuk zararı değerlerinin tahmin edilmesi için dört farklı regresyon metriği (MSE, MAE, MAPE ve R^2) açısından makine öğrenmesi algoritmalarının performansının karşılaştırılması

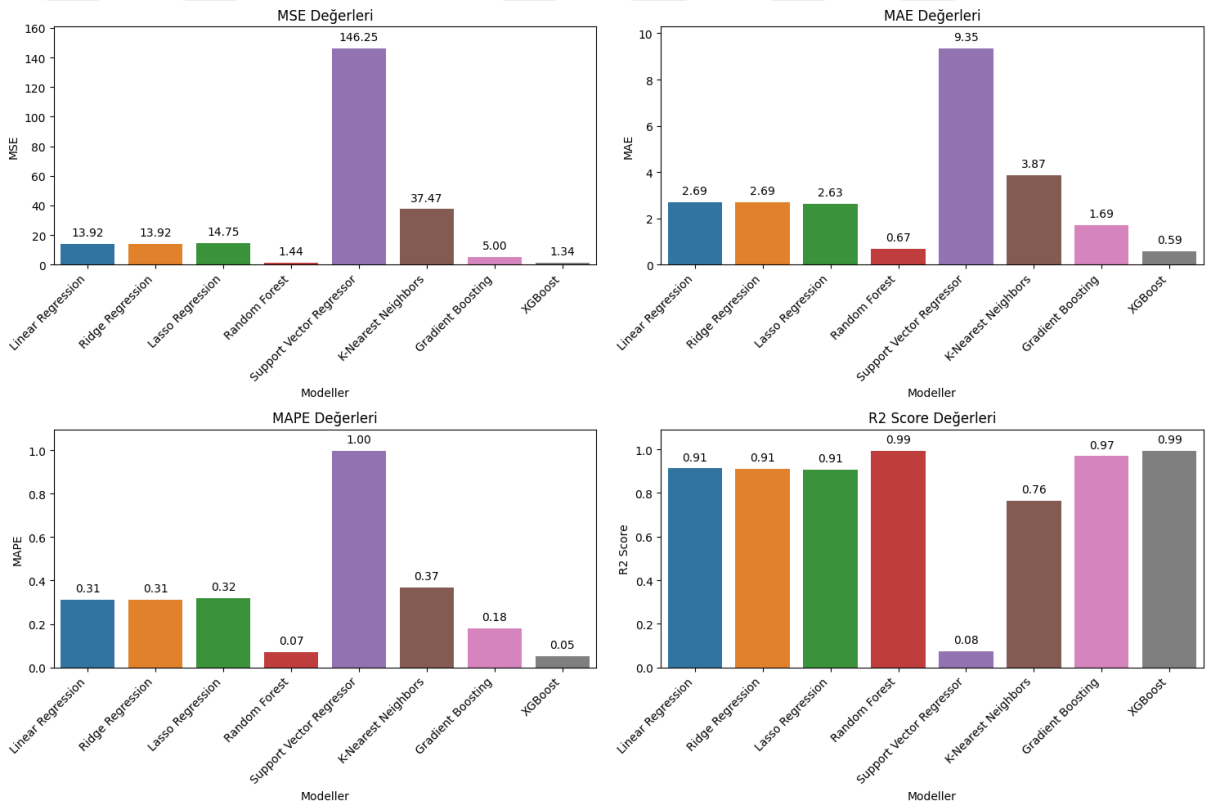


Şekil 44. Görsel soğuk zararının tahmin edilmesinde değerlendirilen özellikler (parametreler) ve etki yüzdeleri

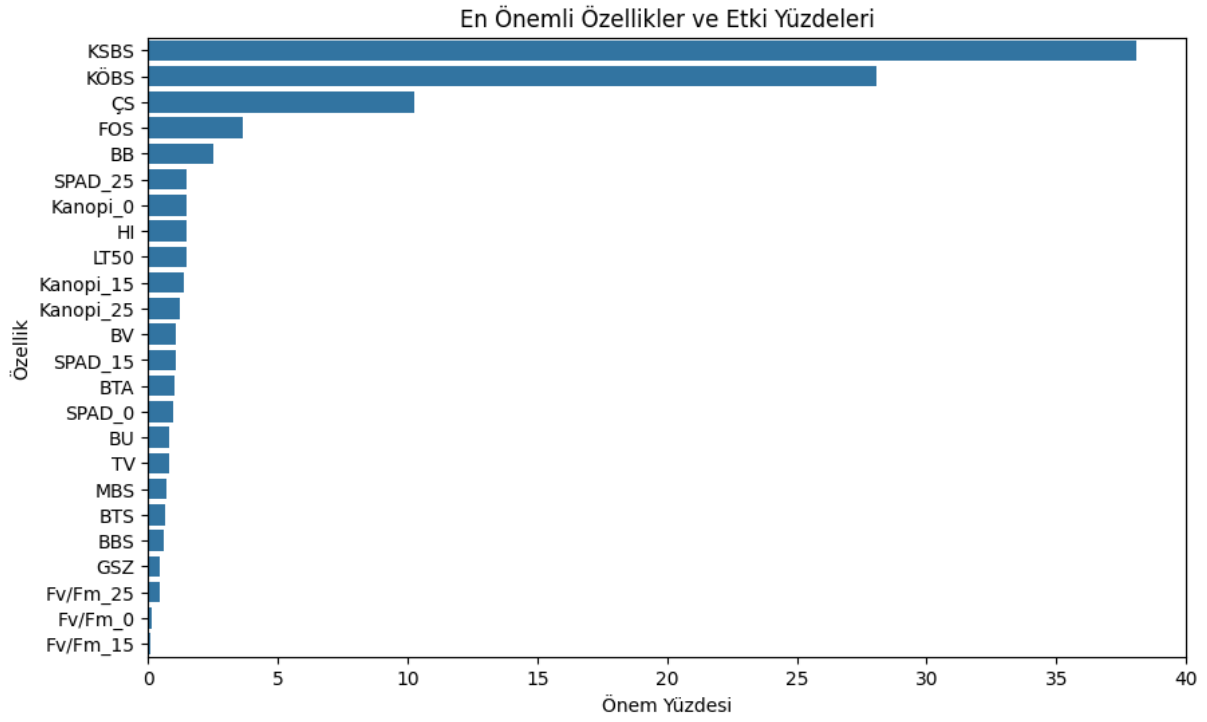
Kış Zararı Değerleri için Regresyon Metriklerinin Değerlendirilmesi

Şekil 45'te, dört farklı regresyon metriği (MSE, MAE, MAPE ve R^2) açısından makine öğrenmesi algoritmalarının performansı karşılaştırılmıştır. Bu veri seti için XGBoost, tüm metriklerde en iyi performansı sergileyen modeldir ve bu veri seti için en uygun modeldir. Random Forest, XGBoost'tan sonra en iyi sonucu üretmiştir. Support Vector Regressor, tüm metriklerde en düşük performansı göstermiştir ve bu veri seti için uygun bir model değildir.

Şekil 46'ya göre kış zararı değerinin tahmin edilmesinde sırasıyla en yüksek önem yüzdesi kıştan sonra bitki sayısı (KSBS), kıştan önce bitki sayısı (KÖBS) ve çiçeklenme süresi (ÇS) özelliklerinde; en düşük önem yüzdesi ise sırasıyla Fv/Fm 0 (çiçeklenme dönemi), Fv/Fm 15 (çiçeklenmeden 15 gün sonraki dönem) ve Fv/Fm 25 (çiçeklenmeden 25 gün sonraki dönem) parametrelerinde elde edilmiştir.



Şekil 45. Kış zararı değerlerinin tahmin edilmesi için dört farklı regresyon metriği (MSE, MAE, MAPE ve R^2) açısından makine öğrenmesi algoritmalarının performansının karşılaştırılması



Şekil 46. Kış zararının tahmin edilmesinde değerlendirilen özellikler (parametreler) ve etki yüzdeleri

Makine öğrenmesi temelli yaklaşımlar, ürün türü sınıflandırması (Cai *et al.* 2018) ve ürün veriminin modellenmesi (Alvarez, 2009; Johnson *et al.* 2016; Kaul *et al.* 2005) gibi tarımsal uygulamalar için giderek daha fazla kullanılmaktadır (Cai *et al.* 2019). Makine öğrenimi algoritmaları ile, buğday bitkisinde verim (Cai *et al.* 2019; Bian *et al.* 2022; Chergui, 2022; Liu *et al.* 2022; Bai *et al.* 2024; Lou *et al.* 2024; Gawdiya *et al.* 2024; Liu *et al.* 2024; Zheng *et al.* 2025), hastalık (Feng *et al.* 2022; Khan *et al.* 2022; Jiang *et al.* 2023), yatma (Zhang *et al.* 2020; Long *et al.* 2025), genotiplerin sınıflandırılması (Golcuk and Yasar 2023), tanelerin sınıflandırılması (Charytanowicz, 2023; Agarwal and Bachan 2023;), biyokütle tahmini (Bates *et al.* 2022; Zhai *et al.* 2023), klorofil içeriği (Wang *et al.* 2022; Wang *et al.* 2023), genomik seleksiyon (Sandhu *et al.* 2021), başak sayımı (Fernandez-Gallego *et al.* 2020), protein içeriği (Zhou *et al.* 2021) gibi birçok özelliğin tahmini yapılmıştır.

Araújo *et al.* (2023), çalışmalarında, “Tarımda en çok kullanılan ML algoritmaları nelerdir?” sorusuna yanıt olarak, RF’nin en yaygın ML algoritması olarak ortaya çıktığını ve genel dağılımın %19,2’sini oluşturduğunu belirtmiştir. Bu popülerliğin RF’nin karmaşık tarımsal zorluklarla başa çıkmada oldukça yetenekli olmasını sağlayan çok yönlülüğüne ve sağlamlığına bağlı olabileceği belirtilmiştir. “ML’nin tarıma entegre edilmesinin etkileri ve sonuçları nelerdir?” sorusuna ise cevap olarak, ML uygulamalarının tarım alanına entegre edilmesinden kaynaklanan bir dizi dönüştürücü etki ortaya çıkarılmıştır. Yani, ML tabanlı hassas tarım tekniklerine atfedilebilecek tarımsal üretimin verimliliğinde, özellikle kaynak

tahsis stratejilerindeki ilerlemelerle ilgili olarak, su, gübre ve pestisit gibi girdilerin akıllıca kullanılmasıyla önemli bir artış gözlemlenmiştir. Bai *et al.* (2024) araştırmalarında, süreç tabanlı ürün modelleri ve makine öğrenimi algoritmalarının kombinasyonu, gelecekteki ürün verimini tahmin etmek için daha uygun olduğunu ve adaptasyon stratejileri geliştirmeye ve tarımsal risk yönetimini iyileştirmeye yardımcı olacağını belirtmiştir.

Ruan *et al.* (2022), çalışmalarında birden fazla saha yılı yakın algılama ve hava durumu özellikleriyle yönlendirilen kapsamlı bir tarla ölçeğinde kışlık buğday verim tahmin modeli sunmuş, elde ettikleri sonuçlara göre, grup öğrenme yöntemlerinin (RF, GBDT, XGBoost) en iyi performansı gösterdiğini belirtmişlerdir. Ashfaq *et al.* (2025), araştırmalarında farklı yapay zekâ modellerinin kullanılmasının, buğdayda verim tahminlerinin doğruluğunu önemli ölçüde artırdığını ve RF' en sağlam genelleme yeteneklerini sergilediğini belirtmiştir. Ayrıca RF modelinin, hasat sezonu öncesinde buğday verimini etkili ve güvenilir bir şekilde tahmin ettiği sonucunu elde etmişlerdir.

Özellikle makine öğrenimi algoritmalarının buğdayda verim tahmini üzerine çok sayıda araştırma olmasına rağmen soğuk ve don zararı üzerine çalışmalar yetersiz kalmaktadır. Shammi *et al.* (2023), araştırmalarında, RF modelinin tarla koşullarında don olaylarının termodinamik özelliklerini, yani buğday çiftliğinde donlu ve don olmayan gecelerde aşırı soğuma ve kristalleşmeyi tespit ettiğini belirtmişlerdir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmamızda, Norstar ve Zagros ebeveynlerin melezlemesi ile elde edilen F12 kademesindeki 180 adet rekombinant kendilenmiş hat ve ebeveynlerinin soğuğa dayanıklılığını belirlemek amacıyla iki farklı lokasyonda (Erzurum ve Konya) yürütülen bu çalışmanın sonuçlarına göre lokasyon, genotip ve lokasyon x genotip interaksyonunu görsel soğuk zararı üzerine etkisi çok önemli bulunmuştur. Lokasyonların kış zararı üzerine etkisi çok önemli, genotiplerin kış zararı üzerine etkisi önemli, lokasyon ve genotip interaksyonunun kış zararı üzerine etkisi ise önemsiz bulunmuştur. Elde ettiğimiz sonuçlara göre hem görsel soğuk zararı hem de kış zararı Erzurum lokasyonunda Konya lokasyonuna göre daha fazla olmuştur. İklim verilerine göre Erzurum ilinde ortalama ve minimum sıcaklık derecelerinin Konya iline göre daha düşük olması, genotiplerin sıfır ve sıfırın altındaki sıcaklık derecelerine daha uzun bir süre maruz kalması Erzurum lokasyonunda görsel soğuk zararı ve kış zararını artırmıştır.

Günümüzde yapay zekâ bitkisel üretimin farklı alanlarında kullanılmaya başlamasından dolayı, buğday bitkisinde soğuğa dayanıklılığın belirlenmesinde yapay zekâ modellerinin uygulanabilirliğini denemek ve ıslah programlarında kullanılabilecek yapay zekâ tabanlı bir modelin geliştirilmesi planlanmıştır. Bu nedenle çalışmamızda LT_{50} , görsel soğuk zararı ve kış zararını tahmin etmek için dört farklı regresyon metriği (MSE, MAE, MAPE ve R^2) açısından sekiz farklı makine öğrenmesi algoritmalarının performansı karşılaştırılmıştır. XGBoost ve RF modelleri genel olarak en iyi performansı göstermiş, özellikle düşük hata (MSE, MAE, MAPE) ve yüksek R^2 değerine sahip olmuştur. LT_{50} değerinin tahmin edilmesinde çiçeklenme döneminde kanopi değeri, görsel soğuk zararı değerinin tahmin edilmesinde çiçeklenme süresi ve kış zararı değerinin tahmin edilmesinde ise kıştan sonra bitki sayısı en yüksek önem yüzdesine sahip olmuştur. Bu kapsamda geliştirilen tahmin modelleri, buğdayın soğuğa dayanıklılığı açısından genetik materyallerin seçilmesini hızlandırmak ve buğday ıslah programlarının etkinliğini artırmak için kullanılabilir. Bununla birlikte makine öğrenimi algoritmalarının soğuğa dayanıklılığın belirlenmesi ile ilgili yeterli çalışma olmadığından hem makine öğrenimi hem de derin öğrenme algoritmaları buğday bitkisinde soğuk ve don zararının tahmin edilmesiyle ilgili daha fazla çalışma yapılmalı ve en doğru ve güvenilir modeller belirlenmelidir.

KAYNAKÇA

- Acevedo, E., Silva, P. and Silva, H., 2002. Wheat growth and physiology. Bread wheat, improvement and production, 30, 39-70.
- Afzal, F., Chaudhari, S. K., Gul, A., Farooq, A., Ali, H., Nisar, S., Sarfraz B, Shehzadi, K. J and Mujeeb-Kazi, A., 2015. Bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under biotic and abiotic stresses: An overview. Crop production and global environmental issues, 293-317.
- Agarwal, D. and Bachan, P., 2023. Machine learning approach for the classification of wheat grains. Smart Agricultural Technology, 3, 1-10.
- Aha, D. W., Kibler, D. and Albert, M. K., 1991. Instance-based learning algorithms. Machine learning, 6, 37-66.
- Akkaya, A., 1993. Fosforlu gübre miktarı ve uygulama yöntemlerinin kışlık buğdayda verim ve bazı verim unsurlarına etkisi. Atatürk Ü. Zir. Fak. Der., 24: 36-50.
- Al-Issawi, M., Rihaan, H. Z., El-Sarkassy, N. and Fuller, M. P., 2013. Frost hardiness expression and characterisation in wheat at ear emergence. Journal of Agronomy and Crop Science, 199(1), 66-74.
- Allen, D. J. and Ort, D. R., 2001. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. Trends in plant science, 6(1), 36-42.
- Alpaydin, E., 2014. Introduction to machine learning, Third edition. MIT press. Cambridge, Massachusetts London, England.
- Alvarez, R., 2009. Predicting average regional yield and production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach. European Journal of Agronomy, 30(2), 70-77.
- Araghi, S. G. and Assad, M. T., 1998. Evaluation of four screening techniques for drought resistance and their relationship to yield reduction ratio in wheat. Euphytica, 103(2), 293-299.
- Aran, A. ve Kıvanç, F., 1989. Konya ve Aksaray Ovası Koşullarında Buğday ve Arpanın Azot - Su İlişkileri ve Su Tüketimi. T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Konya Araştırma Enstitü Müdürlüğü Yayınları; Genel Yayın No: 131, Rapor Serisi No: 105, Konya.
- Araújo, S. O., Peres, R. S., Ramalho, J. C., Lidon, F. and Barata, J., 2023. Machine learning applications in agriculture: current trends, challenges, and future perspectives. Agronomy, 13(12), 1-27.
- Ashfaq, M., Khan, I., Afzal, R. F., Shah, D., Ali, S. and Tahir, M., 2025. Enhanced wheat yield prediction through integrated climate and satellite data using advanced AI techniques. Scientific Reports, 15(1), 1-25.
- Askari-Khorasgani, O., Hatterman-Valenti, H., Flores, F. B. and Pessarakli, M., 2019. Managing plant-environment-symbiont interactions to promote plant performance under low temperature stress. Journal of Plant Nutrition, 42(16), 2010-2027.
- Atar, B. ve Kara, B., 2017. Bazı kışlık buğday çeşitlerinin erken fide dönemindeki gelişimleri. Ziraat Fakültesi Dergisi, 12(1), 34-38.

- Atieno, J., Li, Y., Langridge, P., Dowling, K., Brien, C., Berger, B., Varshney, R. K. and Sutton, T., 2017. Exploring genetic variation for salinity tolerance in chickpea using image-based phenotyping. *Scientific Reports*, 7(1), 1-11.
- Austin, R. B., Bingham, J., Blackwell, R. D., Evans, L. T., Ford, M. A., Morgan, C. L. and Taylor, M., 1980. Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *The journal of agricultural science*, 94(3), 675-689.
- Avçin, A., Avcı, M. ve Dönmez, Ö., 1997. Orta Anadolu Şartlarında Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Çeşitlerinin Verimlerindeki Genetik Gelişmeler, *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 6, 1-14.
- Aydoğan, S. ve Soylu, S., 2017. Ekmeklik buğday çeşitlerinin verim ve verim öğeleri ile bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 24-30.
- Aydoğan, S., Akçacık, A. G., Şahin, M. ve Kaya, Y., 2007. Ekmeklik buğday (*T. aestivum* L.) genotiplerinde verim ve bazı kalite özellikleri arasındaki ilişkiler. *Tarla bitkileri merkez araştırma enstitüsü dergisi*, 16(1-2), 21-30.
- Bai, H., Xiao, D., Tang, J. and Li Liu, D., 2024. Evaluation of wheat yield in North China Plain under extreme climate by coupling crop model with machine learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 217, 1-12.
- Baker, N. R. and Rosenqvist, E., 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of experimental botany*, 55(403), 1607-1621.
- Baker, N. R., 2008. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59(1), 89-113.
- Bal, F. and Kayaalp, F., 2021. Review of machine learning and deep learning models in agriculture. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 5(2), 309-323.
- Barlow, K. M., Christy, B. P., O'Leary, G. J., Riffkin, P. A. and Nuttall, J. G., 2015. Simulating the impact of extreme heat and frost events on wheat crop production: A review. *Field crops research*, 171, 109-119.
- Bates, J., Jonard, F., Bajracharya, R., Vereecken, H. & Montzka, C. (2022). Machine learning with uas lidar for winter wheat biomass estimations. *AGILE: GIScience Series*, 3(23), 1-4.
- Bayram, S., Öztürk, A. ve Aydın, M., 2017. Ekmeklik buğday genotiplerinin Erzurum koşullarında tane verimi ve verim unsurları yönünden değerlendirilmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(4), 569-579.
- Bhat, J. A., Feng, X., Mir, Z. A., Raina, A., and Siddique, K. H., 2023. Recent advances in artificial intelligence, mechanistic models, and speed breeding offer exciting opportunities for precise and accelerated genomics-assisted breeding. *Physiologia Plantarum*, 175(4), 1-12.
- Bian, C., Shi, H., Wu, S., Zhang, K., Wei, M., Zhao, Y., Sun, Y., Zhuang, H., Zhang, X. and Chen, S., 2022. Prediction of field-scale wheat yield using machine learning method and multi-spectral UAV data. *Remote Sensing*, 14(6), 1-18.
- Blum, A., 2000. Towards standard assays of drought resistance in crop plants. *Production in Water-Limited Environments*, 29-35.
- Bolouri, P., 2018. Kışlık Buğdayda Soğuğa Dayanıklılık ile İlgili QTL'lerin Belirlenmesi. *Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.*

- Breiman, L., 2001. Random forests, *Mach Learn*, 45 (1), 5-32.
- Brigg, K. G. and Ayten-Fisu, A., 1979. The effect of seedling rate, seeding date and location on grain yield, maturity, protein percentage and protein yield of some spring wheats in central Alberta. *Canadian Journal of Plant Science*, 59(4), 1139-1145.
- Brule-Babel, A. L., and Fowler, D. B., 1989. Use of controlled environments for winter cereal cold hardiness evaluation: Controlled freeze tests and tissue water content as prediction tests. *Canadian Journal of Plant Science* 69(2), 355-366.
- Buriro, M., Oad, F. C., Keerio, M. I., Tunio, S., Gandahi, A. W., Hassan, S. W. U. and Oad, S. M., 2011. Wheat seed germination under the influence of temperature regimes. *Sarhad J. Agric*, 27(4), 539-543.
- Cai, Y., Guan, K., Lobell, D., Potgieter, A. B., Wang, S., Peng, J., Xu, T., Asseng, S., Zhang, Y., You, L. and Peng, B., 2019. Integrating satellite and climate data to predict wheat yield in Australia using machine learning approaches. *Agricultural and forest meteorology*, 274, 144-159.
- Cai, Y., Guan, K., Peng, J., Wang, S., Seifert, C., Wardlow, B. and Li, Z., 2018. A high-performance and in-season classification system of field-level crop types using time-series Landsat data and a machine learning approach. *Remote sensing of environment*, 210, 35-47.
- Certel, B. T., 2016. *Phaseolus spp. Gen Kaynaklarının Soğuk ve Don Stresine Tolerans Açısından Fenotiplenmesi ve Genotiplenmesi*. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Antalya.
- Charytanowicz, M., 2023.. Explainable Ensemble Machine Learning for Wheat Grain Identification. In 2023 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW) (pp. 903-911). IEEE.
- Chen, X., Liu, L., Cai, H., Zheng, B. and Li, J., 2024. Effects of spring low-temperature stress on winter wheat seed-setting characteristics of spike. *Plant, Soil and Environment*, 70(2), 84-92.
- Chergui, N., 2022. Durum wheat yield forecasting using machine learning. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 6, 156-166.
- Chinnusamy, V., Zhu, J. and Zhu, J. K., 2007. Cold stress regulation of gene expression in plants. *Trends in plant science*, 12(10), 444-451.
- Çöl, M., 2007. Geçmişten günümüze ekmeklik buğdayda verim ve kalitedeki gelişmeler. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Deane, C., 1994. Whole plant and tissue culture studies on frost tolerance in cauliflower, Ph. D., The National University of Ireland.
- Demir, F. ve Topal, A., 2020. Konya Koşullarında Buğday Genotiplerinde Yatmanın Verim ve Kaliteye Etkisi. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi*, 9(2), 113-121.
- Deryabin, A., Zhukova, K., Naraikina, N. and Venzhik, Y., 2024. Effect of low temperature on content of primary metabolites in two wheat genotypes differing in cold tolerance. *Metabolites*, 14(4), 1-15.
- Dildar, H.K. and R. Ghulam., 2009. Early yield assessment of wheat on meteorological basis for Potohar region. *Pak. J. Meteorol.*, 1, 73-87.
- Dilmurodovich, D. S., Usmanovna, H. S., Ugli, J. E. J. and Vokhidovna, S. N., 2021. Selection of cold-tolerant varieties and lines of bread wheat. *Наука и образование сегодня*, 4 (63), 30-33.

- DPIRD, 2022. The science of frost and frequently asked questions. Agriculture and Food. <https://www.agric.wa.gov.au/frost/science-frost-and-frequently-asked-questions> (12.11.2024).
- Dumlu, B., 2023. Kırık Buğday Popülasyonlarının Soğuğa Dayanıklılık, Bazı Tarımsal Özellikler ve Kalite Bakımından Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Ejaz, I., Pu, X., Naseer, M. A., Bohoussou, Y. N. D., Liu, Y., Farooq, M., Zhang, J., Wang, Z. and Sun, Z., 2023. Cold and drought stresses in wheat: A global meta-analysis of 21st century. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(9), 5379-5395.
- Fan, J., McConkey, B., Janzen, H., Townley-Smith, L. and Wang, H., 2017. Harvest index-yield relationship for estimating crop residue in cold continental climates. *Field Crops Research*, 204, 153-157.
- FAO, 2023. Crops and livestock products, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (12.12.2024).
- Feng, Z. H., Wang, L. Y., Yang, Z. Q., Zhang, Y. Y., Li, X., Song, L., He, Li., Duan, J. Z. and Feng, W., 2022. Hyperspectral monitoring of powdery mildew disease severity in wheat based on machine learning. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1-16.
- Fernandez-Gallego, J. A., Lootens, P., Borra-Serrano, I., Derycke, V., Haesaert, G., Roldán-Ruiz, I., Araus, J., and Kefauver, S. C., 2020. Automatic wheat ear counting using machine learning based on RGB UAV imagery. *The Plant Journal*, 103(4), 1603-1613.
- Fischer, R. A., 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science*, 105(2), 447-461.
- Fowler, D. B., 1979. Selection for Winterhardness in Wheat. II. Variation within Field Trials 1. *Crop Science*, 19(6), 773-775.
- Frederiks, T. M., Christopher, J. T. and Borrell, A. K., 2008. Low temperature adaption of wheat post head-emergence in northern Australia.
- Frederiks, T. M., Christopher, J. T., Sutherland, M. W., and Borrell, A. K., 2015. Post-head-emergence frost in wheat and barley: defining the problem, assessing the damage, and identifying resistance. *Journal of Experimental Botany*, 66(12), 3487-3498.
- Gawdiya, S., Kumar, D., Ahmed, B., Sharma, R. K., Das, P., Choudhary, M. and Mattar, M. A., 2024. Field scale wheat yield prediction using ensemble machine learning techniques. *Smart Agricultural Technology*, 9, 1-11.
- Genty, B., Briantais, J. M. and Baker, N. R., 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 990(1), 87-92.
- Golcuk, A. and Yasar, A., 2023. Classification of bread wheat genotypes by machine learning algorithms. *Journal of Food Composition and Analysis*, 119, 1-10.
- Gou, C., Zafar, S., Fatima, N., Hasnain, Z., Aslam, N., Iqbal, N., Sammar, A., Hui, L., Jia, L., Bo, C., Arthur, R. and Abbas, M., 2024. Machine and deep learning: Artificial intelligence application in biotic and abiotic stress management in plants. *Frontiers in Bioscience-Landmark*, 29(1), 1-15.
- Guo, P., Baum, M., Varshney, R. K., Graner, A., Grando, S., Ceccarelli, S., 2008. QTL for chlorophyll and chlorophyll fluorescence parameters in barley under post flowering drought. *Euphytica*, 163 (2), 203-214.

- Gusta, L. V., Fowler, D. B. and Tyler, N. J., 1982. Factors influencing hardening and survival in winter wheat. Plant cold hardiness and freezing stress: mechanism and crop implications, 2, 23-40.
- Han, J., Kamber, M. and Pei, J., 2011. Data Mining: Concepts and Techniques, Amsterdam, The Netherlands Elsevier. 1-216
- Han, J., Pei, J. and Tong, H., 2022. Data mining: concepts and techniques. Morgan kaufmann, 1-687.
- Hassan, M. A., Xiang, C., Farooq, M., Muhammad, N., Yan, Z., Hui, X., Yuanyuan, K., Bruno, A. K., Lele, Z. and Jincai, L., 2021. Cold stress in wheat: plant acclimation responses and management strategies. Frontiers in plant science, 12, 1-15.
- Hay, R. K. M., 1995. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. Ann. Appl. Biol. 126, 197-216.
- Hunter, M. C., Smith, R. G., Schipanski, M. E., Atwood, L. W., and Mortensen, D. A., 2017. Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification. Bioscience, 67(4), 386-391.
- Iqbal, J., Hayat, K., Hussain, S., Ali, A. and Bakhsh, M. A. A. H. A., 2012. Effect of seeding rates and nitrogen levels on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). Pakistan Journal of Nutrition, 11(7), 531-536.
- Jan, S., Kumar, S., Yousuf, M., Shafi, S., Majid, R., Khan, M. A., ... and Mir, R. R., 2023. Do diverse wheat genotypes unleash their biochemical arsenal differentially to conquer cold stress? A comprehensive study in the Western Himalayas. Physiologia plantarum, 175(6), 1-17.
- Ji, H. T., Xiao L. J., Xia Y. C., Song H., Liu B., Tang L. B., Cao W. X., Zhu Y., Liu L. L., 2017. Effects of jointing and booting low temperature stresses on grain yield and yield components in wheat. Agricultural and Forest Meteorology, 243, 33-42.
- Ji, W., Hu, X., Kang, M., Qiu, X., Liu, B., Tang, L., Zhu, Y., Cao, W. and Liu, L., 2023. Effects of pre-anthesis low-temperature stress on the mineral components in wheat grains. Frontiers in Plant Science, 14, 1-17.
- Jiang, Q., Wang, H. and Wang, H., 2023. Severity assessment of wheat stripe rust based on machine learning. Frontiers in Plant Science, 14, 1-22.
- Jiang, X., Chen, Q., Agathokleous, E., Zhang, J., Yang, Z. and Takin, M. P., 2025. Effects of Low-Temperature Stress During Anthesis Stage on Dry Matter Accumulation and Yield of Winter Wheat. Agronomy, 15(4), 1-24.
- Johnson, M.D., Hsieh, W.W., Cannon, A.J., Davidson, A., Bédard, F., 2016. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies by remotely sensed vegetation indices and machine learning methods. Agric. For. Meteorol. 218-219(2016), 74-84.
- Kalaji, H. M., Schansker, G., Brestic, M., Bussotti, F., Calatayud, A., Ferroni, L., ... and Bába, W., 2017. Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel. Photosynthesis research, 132(1), 13-66.
- Kang, G., G. Li, W. Yang, Q. Han, H. Ma, Y. Wang, J. Ren, Y. Zhu, and T. Guo., 2013. Transcriptional profile of the spring freeze response in the leaves of bread wheat (*Triticum aestivum* L.), Acta Physiol. Plant., 35, 575-587.
- Kantar, F., Çiftçi, V., İkten, H., Gözen, V. ve Tepe, A., 2018. Fasulye (*Phaseolus* sp.) Gen Kaynaklarının Hücre ve Bitki Seviyesinde Soğuk Stresine Tolerans Açısından Fenotiplenmesi, Tübitak (COST FA1306) 114O806 Nolu Proje Sonuç Raporu.

- Kara, B. ve Tülübaş, N., 2019. Kırar Koşullarda Güzlük (Zamanında ve Geç Ekim) ve Yazlık Ekilen Buğdayın Tane Verimi İle Bazı Kalite Özelliklerinin Karşılaştırılması. Türk Doğa ve Fen Dergisi, 8(1), 8-12.
- Karn, R. K. and Suresh, A., 2023. Prediction of Crops Based on a Machine Learning Algorithm. In 2023 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI) (pp. 1-8). IEEE.
- Kaul, M., Hill, R. L. and Walthall, C., 2005. Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. Agricultural Systems, 85(1), 1-18.
- Kaye, C. and Guy, C. L., 1995. Perspectives of plant cold tolerance: physiology and molecular responses, Science Progress 78, 271-299.
- Khan, H., Haq, I. U., Munsif, M., Mustaqeem, Khan, S. U. and Lee, M. Y., 2022. Automated wheat diseases classification framework using advanced machine learning technique. Agriculture, 12(8), 1-20.
- Kıral, A. S. ve Özcan, H., 1990. Erzurum kırar şartlarında Lancer kışlık ekmeklik buğday çeşitinde tohum, fosfor ve azot uygulama miktarları. Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enst. Yay. No: 5, Erzurum.
- Knott, C. A., 2020. Estimated winter wheat yield reduction following spring freeze events in field conditions. Crop, Forage & Turfgrass Management, 6, 1-4.
- Koç, E., Akın, B. and Olgun, M., 2021. Modern ve Yerel Buğdayların Bazı Önemli Özelliklerindeki Uzunluk Varyasyonlarının Biyolojik Verim ve Hasat İndeksi Üzerine Etkileri. Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi, 14(2), 87-97.
- Koç, S. ve Çifci, E. A., 2022. Ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) hat ve çeşitlerinin farklı çevrelerde bazı tarımsal özellikler yönünden incelenmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 36(1), 103-118.
- Koç, S., 2023. Bazı ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L) çeşitlerinin verim ve kalite özellikleri bakımından performanslarının belirlenmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, Türkiye.
- Koşunkartay, H., 2019. Buğday ileri mutant hatlarının tarımsal özelliklerinin Erzurum kuru tarım şartlarında değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Kruse, E. B., Carle, S. W., Wen, N., Skinner, D. Z., Murray, T. D., Garland-Campbell, K. A., and Carter, A. H., 2017. Genomic regions associated with tolerance to freezing stress and snow mold in winter wheat. G3: Genes, Genomes, Genetics, 7(3), 775-780.
- Küçüközdemiş, Ü., 2016. Doğu Anadolu Yerel Buğday Çeşitlerinin Erzurum Koşullarındaki Performansı ve Soğuğa Dayanıklılık Derecelerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Langer, S. M., Longin, C. F. H. and Würschum, T., 2014. Flowering time control in European winter wheat. Frontiers in plant science, 5(537), 1-11.
- Li, H., Luo, Y., Xue, X., Zhao, Y., Zhao, H. and Li, F., 2011. Estimating harvest index of winter wheat from canopy spectral reflectance information. J. Food Agric. Environ, 9(3-4), 420-425.
- Li, H., Zhou, Y., Xin, W., Wei, Y., Zhang, J. and Guo, L., 2019. Wheat breeding in northern China: achievements and technical advances. The Crop Journal, 7(6), 718-729.

- Li, X., Cai, J., Liu, F., Zhou, Q., Dai, T., Cao, W. and Jiang, D., 2015b. Wheat plants exposed to winter warming are more susceptible to low temperature stress in the spring. *Plant Growth Regulation*, 77(1), 11-19.
- Li, X., Pu, H., Liu, F., Zhou, Q., Cai, J., Dai, T., Cao, W. and Jiang, D., 2015a. Winter wheat photosynthesis and grain yield responses to spring freeze. *Agronomy Journal*, 107(3), 1002-1010.
- Li, Y., Fu, X., Zhao, M., Zhang, W., Li, B. O., An, D., Li, J., Zhang, A., Liu, R. and Liu, X., 2018. A genome-wide view of transcriptome dynamics during early spike development in bread wheat. *Scientific Reports*, 8(1), 1-16.
- Lichtenthaler, H. K., 1998. The stress concept in plants: an introduction. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 851, 187-198.
- Lin, F., Li, C., Xu, B., Chen, J., Chen, A., Hassan, M. A., Liu, B., Xu, H., Chen, X., Sun, J. and Li, J., 2023. Late spring cold reduces grain number at various spike positions by regulating spike growth and assimilate distribution in winter wheat. *The Crop Journal*, 11(4), 1272-1278.
- Liu, F., Su, L., Luo, P., Tao, W., Wang, Q. and Deng, M., 2024. Prediction Models of Growth Characteristics and Yield for Chinese Winter Wheat Based on Machine Learning. *Agronomy*, 14(839), 1-18.
- Liu, L., Ji, H., An, J., Shi, K., Ma, J., Liu, B., Tang, L., Cao, W. and Zhu, Y., 2019. Response of biomass accumulation in wheat to low-temperature stress at jointing and booting stages. *Environmental and Experimental Botany*, 157, 46-57.
- Liu, Y., Wang, S., Wang, X., Chen, B., Chen, J., Wang, J., Huang, M., Wang, Z., Ma, L., Wang, P., Amir, M. & Zhu, K., 2022. Exploring the superiority of solar-induced chlorophyll fluorescence data in predicting wheat yield using machine learning and deep learning methods. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, 1-11.
- Long, J., Zhang, Z., Zhang, Q., Zhao, X., Igathinathane, C., Xing, J., Saha, C. K., Sheng, W., Li, H. and Zhang, M., 2025. Comprehensive wheat lodging detection under different UAV heights using machine/deep learning models. *Computers and Electronics in Agriculture*, 231, 1-16.
- Lou, Z., Lu, X. and Li, S., 2024. Yield Prediction of Winter Wheat at Different Growth Stages Based on Machine Learning. *Agronomy*, 14, 1-17.
- Ma, J., Du, K., Zheng, F., Zhang, L., Gong, Z. and Sun, Z., 2018. A recognition method for cucumber diseases using leaf symptom images based on deep convolutional neural network. *Computers and electronics in agriculture*, 154, 18-24.
- Mahajan, S. And Tuteja N., 2005. Cold, salinity and drought stresses: an over- view. *Arch Biochem Biophys*, 444,139-158.
- Mahmood, R., 2002. In vitro effect of salt on the vigor of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets. *International Journal of Biotechnology (Pakistan)*, 1(2-4), 73-77.
- Maxwell, K. and Johnson, G. N., 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *Journal of experimental botany*, 51(345), 659-668.
- McKhann, H. I., Gery, C., Bérard, A., Lévêque, S., Zuther, E., Hinch, D. K., Mita, S. D., Brunel, D. and Téoulé, E., 2008. Natural variation in CBF gene sequence, gene expression and freezing tolerance in the Versailles core collection of *Arabidopsis thaliana*. *BMC Plant Biology*, 8(105), 1-18.

- Mossad, M. G., Ortiz-Ferrara, G., Mahalakshmi, V. and Fischer, R. A., 1995. Phyllochron response to vernalization and photoperiod in spring wheat. *Crop Science*, 35(1), 168-171.
- Muratoglu, A., Demir, M. S., Yaganoglu, M. and Angin, I., 2025. Estimating virtual water content and yield of wheat using machine learning tools. *Journal of Hydrology*, 651, 1-11.
- Murphy, M. E., Boruff, B., Callow, J. N. and Flower, K. C., 2020. Detecting frost stress in wheat: A controlled environment hyperspectral study on wheat plant components and implications for multispectral field sensing. *Remote Sensing*, 12(447), 1-20.
- Mushtaq, M. A., Ahmed, H. G. M. D. and Zeng, Y., 2024. Applications of artificial intelligence in wheat breeding for sustainable food security. *Sustainability*, 16(13), 1-25.
- Mühleisen, J., Piepho, H. P., Maurer, H. P., Longin, C. F. H. and Reif, J. C., 2014. Yield stability of hybrids versus lines in wheat, barley, and triticale. *Theoretical and applied genetics*, 127(2), 309-316.
- Narayanan, S., Mohan, A., Gill, K. S. and Prasad, P. V., 2014. Variability of root traits in spring wheat germplasm. *PLoS One*, 9(6), 1-15.
- Nayyar, H., Bains, T.S., Kumar, S. and Kaur, G., 2005. Chilling effect during seed filling on accumulation of seed reserves and yield of chickpea. *J. Sci. Food Agric.* 85, 1925-1930.
- Nishiyama, I., 1995. Damage due to extreme temperatures. In: Matsuo, T., Kumazawa, K., Ishii, R., Ishihara, H., Hirata, H. (Eds.), *Science of the Rice Plant*. Food and Agriculture Policy Research Center, Tokyo, Japan, pp. 769-812.
- Nuttall, J. G., Perry, E. M., Delahunty, A. J., O'Leary, G. J., Barlow, K. M. and Wallace, A. J., 2019. Frost response in wheat and early detection using proximal sensors. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 205(2), 220-234.
- Olgun, M., Başçiftçi, Z. B., Arpacioğlu, N. G. A., Belen, S., Katar, D., Katar, N. ve Aydın, D., 2022. Bazı Buğday Çeşitlerinde Verim, Verim Unsurları ve Kalite Parametrelerinin İncelenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 15(2), 124-142.
- Öztürk, A. and Aydın, M., 2017. Physiological characterization of Turkish bread wheat genotypes for resistance to late drought stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 41(6), 414-440.
- Öztürk, A., 1999. Kuraklığın Kışlık Buğdayın Gelişmesi ve Verimine Etkisi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(5), 531-540.
- Öztürk, A., Çağlar, Ö. ve Tufan, A., 2001. Bazı Makarnalık Buğday Çeşitlerinin Erzurum Koşullarına Adaptasyonu. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2), 117-123.
- Öztürk, İ. ve Avcı, R., 2014. Ekmeklik buğdayda (*Triticum aestivum* L.) tane verimi ile bazı tarımsal karakterler arası ilişkiler. *Journal of Field Crops Central Research Institute (Turkey)*, 23(2), 49-55.
- Pang, Y., Wu, Y., Liu, C., Li, W., St. Amand, P., Bernardo, A., ... and Liu, S., 2021. High-resolution genome-wide association study and genomic prediction for disease resistance and cold tolerance in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 134(9), 2857-2873.
- Pearce, R. S. and Fuller, M. P., 2001. Freezing of barley studied by infrared video thermography. *Plant Physiology*, 125(1), 227-240.
- Pearce, R. S., 2001. Plant freezing and damage. *Annals of botany*, 87(4), 417-424.

- Pearce, S., Zhu, J., Boldizsár, Á., Vágújfalvi, A., Burke, A., Garland-Campbell, K., Galiba, G., Dubcovsky, J., 2013. Large deletions in the CBF gene cluster at the Fr-B2 locus are associated with reduced frost tolerance in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 126(11), 2683-2697.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... and Duchesnay, É., 2011. Scikit-learn: Machine learning in Python. *the Journal of machine Learning research*, 12, 2825-2830.
- Prozherina, N., Freiwald, V., Rousi, M. and Oksanen, E., 2003. Interactive effect of springtime frost and elevated ozone on early growth, foliar injuries and leaf structure of birch (*Betula pendula*). *New Phytologist*, 159(3), 623-636.
- Qu, H. J., Li, J. C., Shen, X. S., Li, R. Y., Wei, F. Z. and Zhang, Y., 2009. Effects of plant density on grain number and grain weight at different spikelets and grain positions in winter wheat cultivars. *Acta Agronomy Science*, 35, 1875-1883.
- Rajashekar, C. B. and Panda, M., 2014. Water stress is a component of cold acclimation process essential for inducing full freezing tolerance in strawberry. *Scientia Horticulturae*, 174, 54-59.
- Rapacz, M. and Woźniczka, A., 2009. A selection tool for freezing tolerance in common wheat using the fast chlorophyll a fluorescence transient. *Plant Breeding*, 128(3), 227-234.
- Rapacz, M., Sasal, M., Kalaji, H. M. and Kościelniak, J., 2015. Is the OJIP test a reliable indicator of winter hardiness and freezing tolerance of common wheat and triticale under variable winter environments?. *PloS one*, 10(7), 1-18.
- Rihan, H. Z., Al-Issawi, M., and Fuller, M. P., 2017. Advances in physiological and molecular aspects of plant cold tolerance. *Journal of Plant Interactions*, 12(1), 143-157.
- Robles-Zazueta, C. A., Crespo-Herrera, L. A., Piñera-Chavez, F. J., Rivera-Amado, C., and Aradottir, G. I., 2024. Climate change impacts on crop breeding: Targeting interacting biotic and abiotic stresses for wheat improvement. *The Plant Genome*, 17(1), 1-9.
- Rodriguez, M. G., Reynolds, M. P., Estrada, J. A. E., Gonzales, M. T. R., 2004. Association between canopy reflectance indices and yield and physiological traits in bread wheat under drought and well irrigated conditions. *Aust. J. Agric. Res.*, 55 (11), 1139-1147.
- Sakal, M., 2020. Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kısa Açıklamaları. <http://muratsakal.com/?p=230> (18.07.2025).
- Sandhu, K. S., Aoun, M., Morris, C. F. and Carter, A. H. 2021. Genomic selection for end-use quality and processing traits in soft white winter wheat breeding program with machine and deep learning models. *Biology*, 10(7), 1-19.
- Sandhu, K., Patil, S. S., Pumphrey, M., and Carter, A., 2021. Multitrait machine-and deep-learning models for genomic selection using spectral information in a wheat breeding program. *The Plant Genome*, 14(3), 1-17.
- Sanga, S., Mero, V., Machuve, D. and Mwanganda, D., 2020. Mobile-based deep learning models for banana diseases detection. *arXiv preprint arXiv:2004.03718*, 1-4.
- Sanghera, G. S., Wani, S. H., Hussain, W. and Singh, N. B., 2011. Engineering cold stress tolerance in crop plants. *Current genomics*, 12(1), 30-43.
- Sarker, I. H., 2021. Machine learning: Algorithms, real-world applications and research directions. *SN computer science*, 2(3), 1-21.

- Sarker, I. H., Kayes, A. S. M. and Watters, P., 2019. Effectiveness analysis of machine learning classification models for predicting personalized context-aware smartphone usage. *Journal of Big Data*, 6(1), 1-28.
- Scott, I. M., Clarke, S. M., Wood, J. E. and Mur, L. A., 2004. Salicylate accumulation inhibits growth at chilling temperature in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 135(2), 1040-1049.
- Shammi, S., Sohel, F., Diepeveen, D., Zander, S. and Jones, M. G., 2023. Machine learning-based detection of frost events in wheat plants from infrared thermography. *European Journal of Agronomy*, 149, 1-11.
- Sharma, R., Kukreja, V. and Gupta, R., 2023. Enhancing wheat crop resilience: An efficient deep learning framework for the detection and classification of rust disease. In 2023 4th International Conference for Emerging Technology (INCET), Belgaum, India.
- Shewry, P. R., 2009. Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60(6), 1537-1553.
- Shitsukawa, N., Tahira, C., Kassai, K. I., Hirabayashi, C., Shimizu, T., Takumi, S., Mochida, K., Kawaura, K., Ogihara, Y. and Murai, K., 2007. Genetic and epigenetic alteration among three homoeologous genes of a class E MADS box gene in hexaploid wheat. *The Plant Cell*, 19(6), 1723-1737.
- Sofield, I., Evans, L. T., Cook, M. G. and Wardlaw, I. F., 1977. Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Functional Plant Biology*, 4(5), 785-797.
- Šramková, Z., Gregová, E. and Šturdík, E., 2009. Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. *Acta chimica slovacica*, 2(1), 115-138.
- Su, H., Rose, R. and Song, Y. H., 2022. Effect of low temperature levels on the developmental characteristics of wheat spikelets. *Proceedings of the 20th Agronomy Australia Conference*, Toowoomba, Queensland.
- Subedi, K. D., Gregory, P. J., Summerfield, R. J., and Gooding, M. J., 1998. Cold temperatures and boron deficiency caused grain set failure in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research*, 57(3), 277-288.
- Taner, S. ve Sade, B., 2005. Düşük sıcaklığın serin iklim tahıllarına etkileri. *Journal of Crop Research (Turkey)*, 2(2), 19-28.
- Thakur, P. and Nayyar, H., 2013. Facing the cold stress by plants in the changing environment: Sensing, signaling, and defending mechanisms. In: N. Tuteja and S.S. Gill, editors, *Plant acclimation to environmental Stress*. Springer Science+Business Media., New York. p. 29-69.
- Thakur, P., Kumar, S., Malik, J. A., Berger, J. D., and Nayyar, H., 2010. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: an overview. *Environmental and Experimental Botany*, 67(3), 429-443.
- Theocharis, A., Clément, C. and Barka, E. A., 2012. Physiological and molecular changes in plants grown at low temperatures. *Planta*, 235, 1091-1105.
- Thomashow, M. F., 2010. Molecular basis of plant cold acclimation: insights gained from studying the CBF cold response pathway. *Plant Physiology*, 154(2), 571-577.
- Tian, Y., Zheng, C., Chen, J., Chen, C., Deng, A., Song, Z., Zhang, B., Zhang, W., 2014. Climatic warming increases winter wheat yield but reduces grain nitrogen concentration in east China. *Plos One*, 9(4), 1-9.
- Tilling, A. K., O'Leary, G. J., Ferwerda, J. G., Jones, S. D., Fitzgerald, G. J., Rodriguez, D. and Belford, R., 2007. Remote sensing of nitrogen and water stress in wheat. *Field Crops Research*, 104(1-3), 77-85.

- Togninalli, M., Wang, X., Kucera, T., Shrestha, S., Juliana, P., Mondal, S., Pinto, F. Govindan, V., ... and Poland, J., 2023. Multi-modal deep learning improves grain yield prediction in wheat breeding by fusing genomics and phenomics. *Bioinformatics*, 39(6), 1-11.
- Tschurr, F., Kirchgessner, N., Hund, A., Kronenberg, L., Anderegg, J., Walter, A., and Roth, L. Frost damage index: the antipode of growing degree days, *Plant Phenomics* 5, 1-10.
- TÜİK, 2023. Bitkisel Üretim İstatistikleri, <http://www.tuik.gov.tr> (12.12.2024).
- Ullah, A., Nadeem, F., Nawaz, A., Siddique, K. H. And Farooq, M., 2022. Heat stress effects on the reproductive physiology and yield of wheat. *Journal of agronomy and crop science*, 208(1), 1-17.
- Valluru, R., Link, J., and Claupein, W., 2012. Consequences of early chilling stress in two *Triticum* species: plastic responses and adaptive significance. *Plant Biology*, 14(4), 641-651.
- Vij, S., Tyagi A. K., 2007. Emerging trends in the functional genomics of the abiotic stress response in crop plants. *Plant Biotechnology journal*, 5(3), 61-380.
- Wan, S. B., Tian, L., Tian, R. R., Pan, Q. H., Zhan, J. C., Wen, P. F., Chen, J. Y., Zhang, P., Wang, W. and Huang, W. D., 2009. Involvement of phospholipase D in the low temperature acclimation-induced thermotolerance in grape berry. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(6), 504-510.
- Wang, Q., Chen, X., Meng, H., Miao, H., Jiang, S., & Chang, Q. (2023). UAV hyperspectral data combined with machine learning for winter wheat canopy SPAD values estimation. *Remote Sensing*, 15, 1-18.
- Wang, W., Cheng, Y., Ren, Y., Zhang, Z. and Geng, H., 2022. Prediction of chlorophyll content in multi-temporal winter wheat based on multispectral and machine learning. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1-17.
- Wang, X., Cai, J., Liu, F., Jin, M., Yu, H., Jiang, D., Wollenweber, B., Dai, T. and Cao, W., 2012. Pre-anthesis high temperature acclimation alleviates the negative effects of post-anthesis heat stress on stem stored carbohydrates remobilization and grain starch accumulation in wheat. *Journal of Cereal Science*, 55(3), 331-336.
- Wiesmeier, M., Hübner, R., Dechow, R., Maier, H., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Reischl, A., Schilling, B., von Lützow, M. and Kögel-Knabner, I., 2014. Estimation of past and recent carbon input by crops into agricultural soils of southeast Germany. *Eur. J. Agron.* 61, 10-23.
- Wolde, G. M., Mascher, M. and Schnurbusch, T., 2019. Genetic modification of spikelet arrangement in wheat increases grain number without significantly affecting grain weight. *Molecular Genetics and Genomics*, 294(2), 457-468.
- Wu, Y., Wang, X., Peng, X., Ge, J., Cai, J., Huang, M., Zhou, Q., Zhong, Y., Jiang, D. and Jiang, D., (2023) Cold priming improves chilling resistance in wheat seedlings: Changing of photosystem II imprints during recovery from priming. *Environmental and Experimental Botany*, 207, 1-11.
- Wurr, D. C. E. and Fellows, J. R., 1983. The effect of the time of seedling emergence of crisp lettuce on the time of maturity and head weight at maturity. *Journal of Horticultural Science*, 58(4), 561-566.
- Xiao, L., Liu, B., Zhang, H., Gu, J., Fu, T., Asseng, S., Liu, L., Tang, L. and Zhu, Y., 2021. Modeling the response of winter wheat phenology to low temperature stress at elongation and booting stages. *Agricultural and Forest Meteorology*, 303, 1-13.

- Xiao, L., Liu, L., Asseng, S., Xia, Y., Tang, L., Liu, B., Cao, W. and Zhu, Y., 2018. Estimating spring frost and its impact on yield across winter wheat in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 260, 154-164.
- Xie, Q., Mayes, S. and Sparkes, D. L., 2015. Carpel size, grain filling, and morphology determine individual grain weight in wheat. *Journal of experimental botany*, 66(21), 6715-6730.
- Yang, J. and Zhang, J., 2006. Grain filling of cereals under soil drying. *New phytologist*, 169(2), 223-236.
- Yıldırım, T., 2003. Doğu Anadolu Bölgesinde Yetiştirilen Bazı Buğday ve Arpa Genotiplerinde Soğuğa Dayanıklılık ve Vernalizasyon İhtiyacının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Yu, X., Jiang, Y., Yao, H., Ran, L., Zang, Y. and Xiong, F., 2022. Cytological and molecular characteristics of delayed spike development in wheat under low temperature in early spring. *The Crop Journal*, 10(3), 840-852.
- Zabihi-e-Mahmoodabad, R., Jamaati-e-Somarin, S., Khayatnezhad, M. and Gholamin, R., 2011. Effect of cold stress on germination and growth of wheat cultivars. *Advances in Environmental Biology*, 5(1), 94-97.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T. and Konzak, C. F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6), 415-421.
- Zečević, V., Knežević, D., Mićanović, D. and Madić, M., 2008. Genetic and phenotypic variability of spike length and plant height in wheat. *Kragujevac Journal of Science*, 30, 125-130.
- Zeng, Y., Yu, J., Cang, J., Liu, L., Mu, Y., Wang, J. and Zhang, D., 2011. Detection of sugar accumulation and expression levels of correlative key enzymes in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) at low temperatures. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 75(4), 681-687.
- Zhai, W., Li, C., Cheng, Q., Mao, B., Li, Z., Li, Y., Din, F., Qin, S., Fei, S. and Chen, Z., 2023. Enhancing wheat above-ground biomass estimation using UAV RGB images and machine learning: multi-feature combinations, flight height, and algorithm implications. *Remote Sensing*, 15(14), 1-18.
- Zhang, H., Richards, R., Riffkin, P., Berger, J., Christy, B., O'Leary, G., ... and Merry, A., 2019. Wheat grain number and yield: The relative importance of physiological traits and source-sink balance in southern Australia. *European Journal of Agronomy*, 110, 1-12.
- Zhang, Y., Liu, L., Chen, X. and Li, J., 2022. Effects of low-temperature stress during the anther differentiation period on winter wheat photosynthetic performance and spike-setting characteristics. *Plants*, 11(3), 1-14.
- Zhang, Z., Flores, P., Igathinathane, C., L. Naik, D., Kiran, R. and Ransom, J. K., 2020. Wheat lodging detection from UAS imagery using machine learning algorithms. *Remote sensing*, 12(11), 1-19.
- Zhao, K., Tao, Y., Liu, M., Yang, D., Zhu, M., Ding, J., Zhu, X., Guo, W. and Li, C., 2022. Does temporary heat stress or low temperature stress similarly affect yield, starch, and protein of winter wheat grain during grain filling?. *Journal of Cereal Science*, 103, 1-10.
- Zhao, L. M., Li, M., Zheng, D. F., Wang, S. Q., Gu, C. M., Na, Y. G., Xie, B. S., 2015. Advances in plant physiological changes and regulation of exogenous substances after chilling injury. *Chin. Agric. Sci. Bull.* 31, 217-223.

- Zheng, M., Hu, H., Niu, Y., Shen, Q., Jia, F., & Geng, X. (2025). Modeling of winter wheat yield prediction based on solar-induced chlorophyll fluorescence by machine learning methods. *European Journal of Remote Sensing*, 58(1), 1-22.
- Zhong, X., Mei, X., Li, Y., Yoshida, H., Zhao, P., Wang, X., Han, L., Hu, X., Huang S., Huang, J. and Sun, Z., 2008. Changes in frost resistance of wheat young ears with development during jointing stage. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194(5), 343-349.
- Zhou, X., Kono, Y., Win, A., Matsui, T. and Tanaka, T. S., 2021. Predicting within-field variability in grain yield and protein content of winter wheat using UAV-based multispectral imagery and machine learning approaches. *Plant Production Science*, 24(2), 137-151.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Hasan KARTAY
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lisans:	
Yüksek lisans:	
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi
Tezden Üretilmiş Yayınlar	
1-	