

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**FASULYE TÜRLERİNİN (*Phaseolus ssp.*) YÜKSEK SICAKLIK
STRESİNDE BİYOKİMYASAL TEPKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Thierry Michel TENE

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARLA BİTKİLERİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2023

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**FASULYE TÜRLERİNİN (*Phaseolus ssp.*) YÜKSEK SICAKLIK
STRESİNDE BİYOKİMYASAL TEPKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Thierry Michel TENE

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARLA BİTKİLERİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FASULYE TÜRLERİNİN (*Phaseolus* spp.) YÜKSEK SICAKLIK
STRESİNDE BİYOKİMYASAL TEPKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Thierry Michel TENE

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARLA BİTKİLERİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
Tarafından FDK-2022-5869 nolu proje ile desteklenmiştir.**

TEMMUZ 2023

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FASULYE TÜRLERİNİN (*Phaseolus ssp.*) YÜKSEK SICAKLIK
STRESİNDE BİYOKİMYASAL TEPKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Thierry Michel TENE

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARLA BİTKİLERİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez 21/07/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Cengiz TOKER (Danışman)

Prof. Dr. Ahmet ZEYBEK

Prof. Dr. Ercan CEYHAN

Prof. Dr. M. Fatih CENGİZ

Doç. Dr. Hüseyin ÇANCI

ÖZET

FASULYE TÜRLERİNİN (*Phaseolus* spp.) YÜKSEK SICAKLIK STRESİNDE BİYOKİMYASAL TEPKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Thierry Michel TENE

Doktora Tezi, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cengiz TOKER

Temmuz 2023; 84 sayfa

İklim değişikliğinin neden olduğu yüksek sıcaklık (ısı) stresi, bitkilerde çimlenmeden olgunluğa kadar hayati fizyolojik ve biyokimyasal süreçler üzerine derin etkilere sahiptir. Fasulye türlerinde (*Phaseolus* spp.) ısıyla ilişkili özellikler, iklim değişikliğinin neden olduğu ısı stresi oluşumu ve beklenen ısı artışı nedeniyle çok önemlidir. Fasulye (*P. vulgaris* L.), Aztek fasulyesi (*P. acutifolius* L.), Ateş fasulyesi (*P. coccineus* A. Gray), yıllık fasulye (*P. dumosus* Macfady) ve Lima fasulyesi (*P. lunatus* L.) dahil toplam 196 fasulye genotipi, orta dereceli ısı stresi (tarla) ve aşırı ısı stresi (cam sera) koşulları altında tarımsal-morfolojik özellikler açısından değerlendirilmiştir. Tarlada ve serada iki yıllık bir seleksiyona göre, *P. vulgaris*, *P. acutifolius*, *P. coccineus*, *P. lunatus* türlerinden sekiz ısı stresine tolerant ve iki ısıya duyarlı genotip (*P. vulgaris*), absisik asit (ABA), jasmonik asit (JA), salisilik asit (SA), klorofil içerikleri (CC) ve fotosistem II'nin maksimum kuantum verimliliği açısından karşılaştırılmıştır. *P. acutifolius* (G182), *P. lunatus* (G192) ve *P. coccineus* (G192) genotiplerinin çoğu ısıya dayanıklı olarak seçilmesine rağmen, birkaç fasulye genotipi (G50, G43, G116, G138 ve G123) orta ısı stresi ve aşırı ısı stresi koşullarında ısıya dayanıklılık sergilemişlerdir. Biyokütle, Fv/Fm ve CC, ısı stres direnç değerleri üzerinde önemli doğrudan etkilere sahiptir. Isı stresli koşullar altında, ABA, JA ve SA'nın içsel birikimi, ısı stresi olmayan koşullara kıyasla önemli ölçüde daha yüksek seviyededir. Bu, hayatta kalma stratejileri olarak hormonların rollerini göstermiştir. CC ve Fv/Fm stressiz koşullar altında daha yüksek bulunmuştur. Isıya duyarlı genotipler, genellikle daha yüksek JA ve SA birikimi sergilemiştir; bu, ısı stresi ile farklı başa çıkma mekanizmalarını hayata geçirme olarak yorumlanmıştır. Bu bulgular, *P. acutifolius* gibi ısıya dayanıklı fasulye genotiplerinin kültüre alınmadan önceki evrimsel geçmişleri sırasında edinilen adaptif özelliklerini ortaya koymaktadır.

ANAHTAR KELİMELE: İklim değişikliği, Isı stresi, *Phaseolus*, Yüksek sıcaklık.

JÜRİ: Prof. Dr. Cengiz TOKER (Danışman)

Prof. Dr. Ahmet ZEYBEK

Prof. Dr. Ercan CEYHAN

Prof. Dr. M. Fatih CENGİZ

Doç. Dr. Hüseyin ÇANCI

ABSTRACT

EVALUATION OF BIOCHEMICAL REACTIONS OF BEAN SPECIES (*Phaseolus* spp.) UNDER HEAT STRESS

THIERRY MICHEL TENE

Ph.D. Thesis, Department of Field Crops

Supervisor: Prof. Dr. Cengiz TOKER

July 2023; 84 pages

Heat stress caused by climate change have profound implications from germination to maturity including vital physiological and biochemical processes in plants. Heat associated traits in bean species (*Phaseolus* spp.) is crucial due to the anticipated rise in heat stress frequency and intensity driven by climate change. A total of 196 bean genotypes comprising common bean (*P. vulgaris* L.), tepary bean (*P. acutifolius* L.), scarlet runner bean (*P. coccineus* A. Gray), year bean (*P. dumosus* Macfady), and lima bean (*P. lunatus* L.) were assessed for agro-morphological traits under moderate heat stress (field) and extreme heat stress (glass greenhouse) conditions. According to a two-year selection in field and greenhouse, eight notable heat-tolerant genotypes of *P. vulgaris*, *P. acutifolius*, *P. coccineus*, *P. lunatus* and two heat-sensitive genotypes (*P. vulgaris*) were compared for the endogenous accumulations of abscisic acid (ABA), jasmonic acid (JA), salicylic acid (SA), chlorophyll contents (CC), and maximum quantum efficiency of photosystem II (Fv/Fm) under heat-stressed and non-stressed conditions. Although most genotypes of *P. acutifolius* (G182), *P. lunatus* (G192), and *P. coccineus* (G192) were selected as heat-resistant, a few genotypes of common bean (G50, G43, G116, G138, and G123) exhibited to be heat-tolerant under moderate heat stress and extreme heat stress conditions. Biomass, Fv/Fm and CC had significant direct effects on heat stress resistance scores. Under heat-stressed conditions, the endogenous accumulation of ABA, JA, and SA was significantly higher compared to non-heat-stressed conditions, indicating their role as survival strategies. Conversely, CC and Fv/Fm were higher under non-stressed conditions. Notably, heat-sensitive genotypes generally exhibited higher accumulation of JA and SA than that of heat-tolerant genotypes under non-heat-stressed conditions, suggesting distinctive coping mechanisms. These findings emphasize the adaptive characteristics of heat-tolerant bean genotypes, such as *P. acutifolius*, acquired during their evolutionary history prior to domestication.

KEYWORDS: Climate change, Heat stress, High temperature, *Phaseolus*.

COMMITTEE: Prof. Dr. Cengiz TOKER (Danışman)

Prof. Dr. Ahmet ZEYBEK

Prof. Dr. Ercan CEYHAN

Prof. Dr. M. Fatih CENGİZ

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin ÇANCI

ÖNSÖZ

, Bu vesileyle, sayın Prof. Dr. Cengiz TOKER'e doktora eğitimim boyunca bana sağladığı kesintisiz destek ve rehberlik için, değerli danışmanıma sonsuz saygı ve içten şükranlarımı sunarım. Engin bilginiz, deneyiminiz ve özgün fikirleriniz yolumu aydınlattı ve beni bugün olduğum araştırmacı haline getirdi. Yoğun programınıza rağmen, çalışmalarımnda her zaman mükemmeliyete ulaşabilmem için gösterdiğiniz teşvik ve sabır için teşekkür ederim. Sizin kalitenizde bir bilim insanıyla çalışmak bir onurdur ve bu fırsat için son derece minnettarım.

Doç. Dr. Hüseyin ÇANCI'ya fasulye tohumlarını temin ettiği ve arazi çalışmalarımız sırasında teknik ve malzeme desteği sağladığı için en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca makalelerimin yayınlanması için sağladığınız destek için de müteşekkirim. Katkılarınız araştırmamın başarısı için çok değerlidir.

Prof. Dr. Mehmet Fatih CENGİZ'e, laboratuvarında hormonal analizler için yeni bir öneri formüle etmemdeki yardımlarınız için derinden minnettarım. Sağladığınız sarf malzemeler ve teknik malzemeler analizlerimin yapılmasında çok etkili olmuştur. Rehberliğiniz ve uzmanlığınız akademik yolculuğumda hayati bir rol oynamıştır.

Dr. Hatice SARI ve Tuba EKER, tez çalışmam boyunca değerli bilgi ve tecrübelerinizi benimle paylaştığınız için her ikinize de en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Saha ve laboratuvar olanaklarından faydalanmamı kolaylaştırdığınız, veri analizi ve tez taslağımın revizyonu konusunda yardımlarınız için minnettarım.

Ayrıca, doktora öğrencisi arkadaşım Ümit BABACAN'ın laboratuvarında yaprak örneklerinin hormonal analizindeki yardımlarına teşekkür ederim ve minnettarlık duyduğumu ifade etmek isterim. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında sizin katkılarınız da önemli olmuştur.

Bu çalışmaya maddi destek sağlayan Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimi'ne en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'ne doktora eğitimim boyunca bana sunduğu sayısız imkân ve kaynak için minnettarım.

Akademik yolculuğum sırasında, doktora programım boyunca hem maddi hem de manevi yardımlarından dolayı arkadaşlarım Edafe ODIKO, Daniel NYAMSARY Henock KANATE HACHAAM ve Amar MA'RUF'a şükranlarımı sunarım. Desteğiniz, zorlukların üstesinden gelmemi ve çalışmalarımnda sebat etmemi sağlamada çok değerliydi.

Sevgili eşim Sylvie METIAI FOUADIN'e sonsuz sevgi ve minnettarlığımı ifade etmek isterim. Doktora tez çalışmam boyunca karşılaştığım zorluklar sırasında sarsılmaz varlığınız ve desteğiniz benim güç kaynağım olmuştur. Bana sürekli moral verdiniz ve mümkün olan her şekilde yardımcı oldunuz. Yanımda olduğunuz için size sonsuza dek minnettarım.

Son olarak, sadece üniversite eğitimim sırasında değil, hayatımın her anında yanımda olan sevgili annem Malla Monique'e ve kardeşlerime teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Sürekli manevi desteğiniz ve varlığınız bana sebat etme gücü verdi. Hepiniz hayatımda olduğunuz için gerçekten çok şanslıyım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
AKADEMİK BEYAN	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	5
2.1. Fasulye Türlerinin Kökeni, Dağılımı ve Sistematik Konumu	5
2.1.1. Kökeni ve dağılışı	5
2.1.2. <i>Phaseolus</i> cinsinin sistematik konumu	6
2.2. <i>Phaseolus</i> spp.	7
2.2.1. <i>P. coccineus</i> L.....	8
2.2.2. <i>P. acutifolius</i> A. Gray	9
2.2.3. <i>P. lunatus</i> L.....	10
2.2.4. <i>P. dumosus</i> Macfady.....	11
2.2.5. <i>P. vulgaris</i> L.	11
2.3. <i>Phaseolus</i> spp'nin ekonomik önemi	12
2.3.1. Besinsel içeriği	12
2.3.2. Fasulyenin üretim değerleri	12
2.4. Bitkisel üretim ve iklim değişikliği	13
2.5. <i>Phaseolus</i> Türlerinin Karşılaştığı Stres Faktörleri	13
2.5.1. Canlı stres faktörleri	14
2.6. Fasulyenin Sıcaklık Stresine Tepkisi.....	18
2.6.1. Fasulyenin sıcaklık stresine fenotipik tepkisi	18
2.6.2. Fasulyenin sıcaklık stresine fizyolojik tepkisi.....	19
2.7. Sıcaklık Stresine Hormonal Yanıt	21
3. MATERYAL VE METOT	23
3.1.1. Bitki materyali	23
3.1.2. Sıcaklık stresi için gözlem	24

3.1.3. Hormonlar ve fotosentezin değerlendirilmesi	25
3.1.4. Sıcaklık stresi gözlemi için deneme alanının iklim özellikleri.....	25
3.1.5. Hormonlar ve fotosentezin değerlendirilmesi için deneme alanının iklim özellikleri	26
3.1.6. Deneme alanının toprak özellikleri.....	27
3.1.7. Kimyasallar ve sarf malzemeleri	27
3.2. Metot.....	27
3.2.1. Sıcaklık stresine karşı dayanıklılık gözlemi	27
3.2.2. Fenolojik özellikler	28
3.2.3. Morfolojik özellikler.....	28
3.2.4. Agronomik özellikler.....	28
3.2.5. Fizyolojik özellikler.....	28
3.2.6. Sıcaklık stresi uygulaması ve yaprak örneklerinin toplanması	29
3.2.7. Absisik, jasmonik ve salisilik asit ekstraksiyonları	29
3.2.8. HPLC analizi	32
3.2.9. HPLC Yöntem doğrulama	32
3.3. Veri Analizleri	33
4. BULGULAR	35
4.1. <i>Phaseolus</i> Genotiplerinde Sıcaklık Stresi Gözlemi.....	35
4.1.1. Fenolojik özellikler	35
4.1.2. Morfolojik özellikler.....	35
4.1.3. Agronomik özellikler.....	37
4.1.4. Fizyolojik özellikler.....	38
4.1.5. Sıcaklık stresine karşı dayanıklılık gözlemi	39
4.1.6. Ölçülen özelliklerin sıcaklığa dayanıklılık ilişkileri.....	39
4.1.7. Temel bileşen analizi	43
4.1.8. Aglomeratif hiyerarşik kümeleme	45
4.2. Sıcaklık Stresi Tepkilerinin Hormonlar ve Fotosentez Analizi.....	46
4.2.1. <i>Phaseolus</i> genotiplerinde absisik asit birikimi	46
4.2.2. <i>Phaseolus</i> genotiplerinde jasmonik asit birikimi.....	46
4.2.3. <i>Phaseolus</i> genotiplerinde salisilik asit birikimi.....	50
4.2.4. <i>Fotosistem II</i> 'nin maksimum kuantum verimliliğinin değişimi.....	50

4.2.5. <i>Phaseolus</i> genotiplerinde klorofil içeriğinin değişimi.....	53
5. TARTIŞMA.....	55
5.1. <i>Phaseolus</i> Genotiplerinde Sıcaklık Stresi Gözlemi.....	55
5.2. Sıcaklık Stresi Tepkilerinin Hormonlar ve Fotosentez Analizi.....	59
5.2.1. Sıcaklık stresine yanıt olarak fitohormonal varyasyonlar	59
5.2.2. Sıcaklık stresine tepki olarak fotosentetik parametre varyasyonları	61
6. SONUÇLAR.....	64
7. KAYNAKLAR.....	65
8. EKLER	80
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum – Fasulye türlerinin (*Phaseolus* ssp.) yüksek sıcaklık stresinde biyokimyasal tepkilerinin değerlendirilmesi, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

21/07/2023

Thierry Michel TENE

SİMGELER VE KISALTMALAR

°C:	Santigrat derece
1O2:	Singlet oksijen
ABA:	Absisik asit
APN:	Akdeniz University collection number
APX:	Askorbatatlar peroksidazlar
AUX:	Oksin
BR:	Brassinosteroid
CABi:	Centre for Agriculture and Bioscience
CAT:	Katalazlar
CC:	Klorofil içeriği
CK:	Sitokin
cm:	Santimetre
CMT:	Cell Membrane Thermostability
DF:	Çiçeklenmeye kadar geçen günler,
DP:	Bakla oluşumuna kadar geçen günler,
ET:	Etilen
FAO:	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FAOSTAT:	Gıda ve Tarım Örgütü tarafından tutulan istatistiksel veri tabanı
Fm:	Maksimum floresanı
Fo:	Başlangıç floresanını
Fv/Fm:	PSII'nin maksimum kuantum verimliliği
Fv:	Floresan değişimini
g:	Gram
G:	Gün
GA:	Giberelin
GR:	Glutasyon redüktazları
GRIN:	Germplasm Resources Information Network

H ₂ O ₂ :	Hidrojen peroksitler
ha:	Hektar
HCl:	Hidroklorik asit
HPLC-DAD:	Diode-Array Algılamalı Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
HS:	Sıcaklık stresli büyüme koşulları
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change
JA:	Jasmonik asit
LL:	Yaprakçık uzunluğu,
LOD:	Tespit limiti
LOQ:	Miktar belirleme limiti
LW:	Yaprakçık genişliği,
MAD:	Malondialdehit
ml:	Mililitre
Na:	Information not available.
NPGS:	Ulusal Bitki Germplasm Sistemi
NS:	Sıcaklık stresi olmayan büyüme koşulları
O ₂ -:	Süperoksit radikalleri
OH-:	Hidroksil radikalleri
Pa:	<i>Phaseolus acutifolius</i>
PB:	Bitki biyokütlesi,
Pc:	<i>Phaseolus. coccineus</i>
PH:	Bitki boyu,
PI:	Plant Introduction number in USDA GRIN (Bitki No)
Pl:	<i>Phaseolus lunatus</i> ;
POWO:	Plants of the World Online
POX:	Peroksidaz
PSI:	Fotosistemler I
PSII:	Fotosistemler II

Pv:	<i>Phaseolus vulgaris</i>
PY:	Bitki verimi,
QTL:	Kantitatif Özellik Lokusu
RCBD:	Randomized Complete Block Design
RH:	Bağıl nem oranı
RIL:	Rekombinant kendilenmiş hat
ROS:	hücrelerde reaktif oksijen türleri
RWC:	Bağıl su içeriği
SA:	Salisilik asit
SD:	Standart sapma
SOD:	Süperoksit dismutaz
SPAD:	Soil Plant Analysis Development
UPW:	Ultra temiz su
USDA:	Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı
WP:	Su potansiyeli
µl:	Mikrolitre

ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 2.1.** Evcilleştirmenin ardından yaygın fasulyenin coğrafik dağılımı. Kaynak: (Guerrero vd. 2016).....6
- Şekil 2.3.** *Phaseolus* spp. türleriinin toprakaltı ve toprak üstü kısmını göstermektedir. Hipokotil (1); Radikül (2); Kotiledon (çenek) (3); Kotiledondan sonraki boğum (4); Ana kök (5); Yan kök (6); İlk gerçek yaprak (7); Üçlü yaprakçık (8); Sürgün ucu (9); Boğum arası (10); Hipokotil kemeri (11); Boğumlar (yaprak bağlantı noktası) (12); Noduller (13); ve Kılcal kökler (14). Kaynak: (Hans ve Greg 2019).8
- Şekil 2.4.** *P. coccineus*'un biyokütlesi (A), mozaik renkli tohumları (B) ve çiçekleri (C).9
- Şekil 2.5.** *P. acutifolius*'un çiçek (A), bakla ve yaprakları (B). 10
- Şekil 2.6.** *P. lunatus* ' un çiçek (A), bakla (B), çiçek salkımı (C) ve yaprakları (D)..... 10
- Şekil 2.7.** *P. dumosus*'un çiçek ve baklaları (A), ve yaprakları (B). (Kaynak: Plants of the World Online (POWO)). 11
- Şekil 2.8.** *P. vulgaris*'in bakla (A), çiçek (B) ve yaprakları (C). 12
- Şekil 2.9.** Fasulye zararlıları: A) Fasulye bitkisinde yaprak biti istilası, B) Pancar kurdunun yetişkini, C) Pancar kurdu (*Spodoptera exigua*) yaprak üzerinde, D) *Helicoverpa armigera* tarafından zarara uğrayan taze fasulye, E) Bitki sapı üzerinde beslenen kesme kurdu, F) Yaprak sineğinin neden olduğu tüneller, G) Yetişkin böcek ve fasulye yapraklarına verilen zarar, H) Fasulye kabuğunda beslenen böcek, I) Örümcek akarlarını gösteren bir fasulye yaprağının alt tarafı, ve J) Fasulye yaprağının alt tarafında yumurtalar 15
- Şekil 2.10.** Fasulye hastalıkları: A) *Phaseolus* yaprakları ve baklaları üzerinde *Alternaria* yaprak lekesi belirtileri, B) Antraknoz (*Colletotrichum lindemuthianum*) ile enfekte olmuş *Phaseolus* bitkisi, C) *Phaseolus* yapraklarında fasulye pası *Uromyces appendiculatus* belirtileri, D) *Fusarium oxysporum* f.sp. *phaseoli*.'nin neden olduğu *Fusarium* kök çürüklüğünün ileri belirtilerini gösteren yaygın fasulye kökleri, E) Beyaz küf (*Sclerotinia sclerotum*) fasulye dışı sap ve dallar, F) Yaygın bakteriyel yanıklık lezyonları (*Xanthomonas campestris* syn. *Xanthomonas axonopodis*), G) Yaygın fasulye yaprakları üzerinde bakteriyel kahverengi leke belirtileri (*Pseudomonas syringae*), H) yaygın fasulye broşürünün üst yüzeyinde halo yanıklığı (*Pseudomonas savastanoi* pv. *phaseolicola*) semptomları, I) *Fusarium* sönmüleme (*Fusarium solani*) semptomları...17
- Şekil 3.1.** Sera (A) ve tarlada (B) damlama sulama sistemini ve deneme alanları. 24
- Şekil 3.2.** Orta sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında 2019 ve 2020 yıllarına ait ekimden hasada kadar haftalık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıklar (°C). 26

- Şekil 3.3.** İlkbahar (stressiz koşullar) ve yaz (sıcaklık stresi koşulları) altında günlük minimum (en düşük), maksimum (en yüksek) ve ortalama sıcaklıklar (oC) ve bağıl nem (RH).27
- Şekil 4.1.** Orta derecede sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları altında 2019 ve 2020 yıllarında *Phaseolus* genotiplerinde çiçeklenme (A) ve bakla bağlama (B) günleri. Çubuklar, ortalama $\pm$ standart hataları gösterir.35
- Şekil 4.2.** Orta derecede sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları altında 2019 ve 2020 yıllarında *Phaseolus* genotiplerinde bitki başına düşen sap sayısı (A), bitki boyu (cm) (B), yaprakçık uzunluğu (mm) (C) ve genişliği (mm) (D). Çubuklar, ortalama $\pm$ standart hataları gösterir.....37
- Şekil 4.3.** Orta sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları altında 2019 ve 2020 yıllarında *Phaseolus* genotiplerinde bitki biyokütlesi (g) (A) ve bitki verimi (g) (B). Çubuklar, ortalama $\pm$ standart hataları gösterir.38
- Şekil 4.4.** Orta derecede sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları altında 2019 ve 2020 yıllarında *Phaseolus* genotiplerinde PSII'nin maksimum kuantum verimliliği (A) ve klorofil içeriğinin (CC) (B). Çubuklar, ortalama $\pm$ standart hataları gösterir.....38
- Şekil 4.5.** Orta sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları altında 2019 (A) ve 2020 (B) yıllarında 1-9 görsel ölçeğe göre *Phaseolus* genotiplerinde sıcaklık stresine dayanıklılık (C) ve sıcaklık stresine direnç için bitki sayısı için varyasyon. Çubuklar, standart hataların $\pm$ anlamına gelir. Üç boyutlu çubuklar, 2019 ve 2020'deki bitki sayısını gösterir.40
- Şekil 4.6.** Orta sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) büyüme koşullarında *Phaseolus* genotiplerinde kaydedilen kantitatif özelliklerin katkısının PCA-biplot analiz sonuçları. İlk iki bileşen gözlenen varyasyonun %52'sini açıklamıştır. Siyah, yeşil ve sarı elipsler benzer özellik varyasyonuna sahip farklı genotip gruplarını temsil etmektedir. Oklar, her bir özelliğin katkısını temsil eden özdeğer vektörüdür. Ok uzunluğu ve yönü sırasıyla özelliğin büyüklüğünü ve katkının yönünü gösterir. Daha uzun oklar daha büyük özellik katkısını gösterir.44
- Şekil 4.7.** Orta sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları altında ve 2019 ve 2020 yıllarında *Phaseolus* genotiplerinin dairesel aglomeratif hiyerarşik kümeleneşmesi (CAHC). Belirli bir renkle ilişkilendirilen 1'den 8'e kadar olan sayılar, verilen özelliklere göre çok az veya hiç önemli farklılık göstermeyen 8 genotip grubunu temsil etmektedir.45
- Şekil 4.8.** *Phaseolus* genotiplerinin yapraklarında absisik asit (ABA) birikiminin değişimi. Çubuklar ortalama $\pm$ standart hataları göstermektedir. A: HS ve NS büyüme koşulları altında her bir genotipin varyasyonu; B: genotipler arasındaki varyasyon; C: HS ve NS büyüme koşulları altında tüm genotiplerin toplam varyasyonu; Pa: *P. acutifolius*; Pc: *P. coccineus*; Pl: *P. lunatus*; ve Pv: *P. vulgaris*. G4 ve G49 sıcaklığa duyarlı genotipler iken, geri kalanlar sıcaklığa toleranslı genotiplerdir.48

Şekil 4.9. *Phaseolus* genotiplerinin yapraklarında jasmonik asit (JA) birikimini. Çubuklar, ortalama $\pm$ standart hataları göstermektedir. A: Sıcaklık stresli (HS) ve stressiz (NS) büyüme koşulları altında her bir genotipin varyasyonu; B: genotipler arasındaki varyasyon; C: Sıcaklık stresli (HS) ve stressiz (NS) büyüme koşulları altında tüm genotiplerin toplam varyasyonu; Pa: *P. acutifolius*; Pc: *P. coccineus*; Pl: *P. lunatus*; ve Pv: *P. vulgaris*. G4 ve G49 sıcaklığa duyarlı genotipler iken, geri kalanlar sıcaklığa toleranslı genotiplerdir.49

Şekil 4.10. *Phaseolus* genotiplerinin yapraklarında salisilik asit (SA) birikiminin değişimi. Çubuklar ortalama $\pm$ standart hataları göstermektedir. A: HS ve NS büyüme koşulları altında her bir genotipin varyasyonu; B: genotipler arasındaki varyasyon; C: HS ve NS büyüme koşulları altında tüm genotiplerin toplam varyasyonu; Pa: *P. acutifolius*; Pc: *P. coccineus*; Pl: *P. lunatus*; ve Pv: *P. vulgaris*. G4 ve G49 sıcaklığa duyarlı genotipler iken, geri kalanlar sıcaklığa toleranslı genotiplerdir.51

Şekil 4.11. *Phaseolus* genotiplerinin yapraklarında fotosistem II'nin maksimum kuantum verimliliğinin (Fv/Fm) değişimi. Çubuklar ortalama $\pm$ standart hataları göstermektedir. A: HS ve NS büyüme koşulları altında her bir genotipin varyasyonu; B: genotipler arasındaki varyasyon; C: HS ve NS büyüme koşulları altında tüm genotiplerin toplam varyasyonu; Pa: *P. acutifolius*; Pc: *P. coccineus*; Pl: *P. lunatus* ve Pv: *P. vulgaris*. G4 ve G49 sıcaklığa duyarlı genotipler iken, geri kalanlar sıcaklığa toleranslı genotiplerdir. .52

Şekil 4.12. *Phaseolus* genotiplerinin yapraklarındaki klorofil içeriğinin (CC) değişimi. Çubuklar, ortalama $\pm$ standart hataları göstermektedir. A: HS ve NS büyüme koşulları altında her bir genotipin varyasyonu; B: genotipler arasındaki varyasyon; C: HS ve NS büyüme koşulları altında tüm genotiplerin toplam varyasyonu; Pa: *P. acutifolius*; Pc: *P. coccineus*; Pl: *P. lunatus*; ve Pv: *P. vulgaris*. G4 ve G49 sıcaklığa duyarlı genotipler iken, geri kalanlar sıcaklığa toleranslı genotiplerdir.54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Sıcaklık stresli ve stressiz büyüme koşulları altında ABA, SA, JA, klorofil içeriği ve fotosistem II'nin maksimum kuantumu verimliliği için kullanılan <i>Phaseolus</i> türleri ve genotipleri.....	23
Çizelge 3.2. Fasulye yaprağı örneklerinde ABA, JA ve SA birikimi için HPLC-DAD'de tespit limiti (LOD), miktar belirleme limiti (LOQ), doğrusallık ve tekrarlanabilirlik....	33
Çizelge 4.1. Orta sıcaklık stresi (tarla) koşulları altında <i>Phaseolus</i> genotiplerinde özelliklerin sıcaklık stresine direnç üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerinin path katsayıları.	41
Çizelge 4.2. Aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları altında <i>Phaseolus</i> genotiplerinde özelliklerin sıcak stresine direnç üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerinin path katsayıları.	42

1. GİRİŞ

Fasulye (*Phaseolus* L.) cinsi, Fabaceae Lindl. Familyasına ait önemli bir baklagildir. Fasulye cinsinde 81 kadar tür tanımlanmasına rağmen, beş türün dünya çapında tarımı yapılmaktadır. Bu beş tür; fasulye (*P. vulgaris* L.), Aztek fasulyesi (*P. acutifolius* A. Gray), Ateş fasulyesi (*P. coccineus* L.), Lima fasulyesi (*P. lunatus* L.) ve yıllık fasulye (*P. dumosus* Macfady) olarak bilinirler. Fasulyeler Kolomb öncesi zamanlardan beri kuru veya taze fasulye ve yeşil baklaları için tarıma alınmış baklagil bitkilerinin üyesidir (Hernández vd. 2015; Muñoz vd. 2006). *Phaseolus* cinsi Yeni Dünya yani Amerika kökenli bir bitkidir. Arkeolojik kanıtlar, yabani *Phaseolus* türlerinin binlerce yıl önce Meksika ve Güney Amerika'da bulunduğunu göstermektedir. Fasulyelerin menşei ve çeşitlilik merkezi genellikle Mezoamerika (özellikle Meksika ve Guatemala) ve Güney Amerika'nın And bölgesi (Chacon vd. 2021) olarak tanımlanmaktadır. *Phaseolus* cinsinin 4 ila 6 milyon yıl önce Mezoamerika'da ortaya çıktığına inanılmaktadır. Cins, özellikle Meksika'ya odaklanarak, yalnızca Amerika'da dağılım göstermekte ve yaklaşık 70-85 türden oluşmaktadır (Bitocchi vd. 2012; Delgado-Salinas vd. 2006; Porch vd. 2013). *Phaseolus* türlerinin kültüre alınmasının Amerika'nın farklı bölgelerinde bağımsız olarak gerçekleştiği düşünülmektedir (Chacon ve Isabel 2018). Kültüre alma süreci, daha büyük tohumlar, iyileştirilmiş tat ve daha kolay hasat gibi arzu edilen özelliklere sahip yabani çeşitlerin seçilmesini ve yetiştirilmesini kapsamaktadır. Amerika'nın eski sakinleri bu kültüre alma sürecinde çok önemli bir rol oynamıştır (Bitocchi vd. 2017). Kültüre alınan türler arasında, dünyadaki ekim alanına ve üretim miktarına bağlı olarak fasulyenin baskın olduğu bildirilmiştir (Singh 2013). Fasulye, 2021 yılında 27,7 milyon tonluk küresel üretimi ile, soya fasulyesi [*Glycine max* (L.) Merr.] ve yer fıstığı (*Arachis hypogaea* L.) gibi yağlı tohumlu baklagiller hariç yemeklik baklagiller arasında ilk sırada yer alırken, 771,6 kg/ha dane verimi ile potansiyel veriminden uzak olduğu görülmektedir (FAOSTAT 2023). Düşük ve dengesiz verim esas olarak canlı (hastalıklar, böcekler ve yabani otlar) ve kuraklık ve sıcaklık stresleri ve toprak besin dengesizliği dahil olmak üzere cansız streslerden kaynaklanmaktadır. Fasulye dünyada en çok tüketilen yemeklik baklagillerdendir ve insan beslenmesi için temel bir diyet lifi, nişasta, protein ve potasyum, tiamin, B6 vitamini, düşük asit gibi mineraller sağlamaktadır (Alcázar-Valle vd. 2021; Broughton vd. 2003; Celmeli vd. 2018). Fasulye, yüksek protein içeriği nedeniyle az gelişmiş ülkeler, gelişmekte olan ülkeler ve düşük gelirli aileler tarafından sıklıkla hayvansal protein yerine tercih edilen bir besindir (Latef ve Ahmad 2015a; Miklas vd. 2006; Porch vd. 2013). Gelişmekte olan ülkelere fasulye tarımı sınırlı girdilerle yapılmakta ve fasulye üretimi canlı ve cansız streslerle karşı karşıyadır. Örneğin; hastalıklar, zararlılar, kuraklık, düşük toprak verimliliği ve sıcaklık stresi en önemli streslerdir. Diğer yandan, gelişmiş ülkelere bu tür stres faktörleri genellikle pestisitler, gübreler ve sulama gibi pahalı girdiler kullanılarak ortadan kaldırılmaktadır (Miklas vd. 2006). Ne yazık ki, bu tür girdilerin kullanımı karlılığı ciddi şekilde etkilemekte ve bazen çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu nedenle cansız ve canlı kısıtlamalar dünya çapında fasulye üretimini etkileyen ciddi bir sınırlayıcı faktördür ve gıda güvenliği için büyük bir risk oluşturmaktadır.

Cansız stresler; bitkiler gibi canlı organizmalar üzerindeki olumsuz etkisini ifade etmektedir. Bu faktörler arasında yüksek sıcaklık veya düşük sıcaklık, tuzluluk, kuraklık veya sel, göllenme toprak besin eksikliği veya metal toksitesi bulunur. Büyümenin vejetatif ve üreme aşamasındaki cansız stresler, özellikle kuraklık ve sıcaklık stresi, biyokütle, verimi ve ürünün kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Kumar 2020).

Genel olarak bitki üretimini ve özellikle fasulyeyi etkilemesi muhtemel cansız kısıtlamalar arasında, sıcaklık stresi (HS) endişe uyandırması gereken ciddi bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır (Bomers vd. 2022; Porch vd. 2013; Sehgal vd. 2017; Suárez vd. 2021). HS, bitkiler uzun süre yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında ortaya çıkan bir tür cansız strestir. HS, bitki hücrelerine ve dokularına zarar verebilir, büyüme ve verimin azalmasına neden olabilir (Kumar 2020). HS etkisi, hücresel homeostazı bozar ve büyümeyi geciktirir, gelişmeye ve hatta ölüme neden olabilir. Bitkiler, hareketsiz oldukları ve uzun süre yüksek sıcaklıklara maruz kaldıkları için HS'ye karşı özellikle savunmasızdırlar (Kotak vd. 2007; Parankusam vd. 2017). HS, fizyoloji, büyüme, gelişime, verim ve kalite dahil olmak üzere bir dizi süreci etkiler ve 35–42°C'de HS, kloroplastların ve enzimlerin işleyişi de dahil olmak üzere fotosentezdeki karmaşık biyokimyasal reaksiyonları bozarak fotosentezi düşürür. HS, fotosentez oluşumuna zarar verdiğine, membran akışkanlığındaki değişikliklere ve enzim aktivitesindeki değişikliklere neden olduğuna inanılmaktadır (Zahra vd. 2023). Sıcaklık, 45°C'nin üzerinde çıktığında, fotosentez ciddi şekilde bozulur ve bitkinin hücresel mekanizmasında geri dönüşü olmayan bir hasar meydana gelir. Bununla birlikte, bazı bitkiler yüksek sıcaklıklara diğerlerinden daha toleranslıdır ve bu türler sıcaklık stresiyle başa çıkmak için çeşitli korunma mekanizmaları geliştirmiştir (Traub vd. 2018) Bunlar, hücresel bileşenleri yüksek sıcaklıkların neden olduğu hasarlardan koruyan ısı şoku proteinlerinin üretimini ve membran lipid bileşimindeki değişiklikleri içerir ve bu da membran akışkanlığını ve stabilitesini yüksek sıcaklıklarda korumaya yardımcı olur (Porch ve Jahn Porch 2006; 2001; Sehgal vd. 2017; Stefanov vd. 2011). Fotosenteze ek olarak, sıcaklık stresi bitkilerde solunum, protein sentezi ve lipid metabolizması gibi diğer biyokimyasal süreçleri de etkileyebilir. Bu etkiler bitkinin metabolizmasında, büyümesinde ve gelişiminde değişikliklere yol açabilir ve sonuçta bitkinin yüksek sıcaklık koşullarında hayatta kalma ve üreme yeteneğini etkileyebilir (Chavez-Arias vd. 2018; Stefanov vd. 2011; Verma vd. 2020).

İklim değişikliği nedeniyle fasulye üretim kısıtlamaları ve öngörülen gelecekteki sıcaklık artışları üreticiler için büyük bir sorun olmaktadır (Latef ve Ahmad 2015b; Porch vd. 2013; Porch ve Jahn 2001; Vargas vd. 2021). Çalışmalar, küresel sıcaklıkların 1880'lerden bu yana 0,87°C arttığını, her on yılda 0,15 ila 0,20°C'lik bir artış olacağını ve bunun da çoğu ülkede fasulye üretimini sınırlayacağını göstermektedir (Vargas vd. 2021). Ek olarak, atmosferik sıcaklıktaki her 1°C'lik artış ile yaklaşık %9'luk verim kaybı meydana geleceği bildirilmiştir (López-Hernández ve Cortés 2019). Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporuna göre, sıcaklık stresi etkisi dünyada bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir ve sıcaklık stresinin etkisi yakın gelecekte artarak hissedilecektir (IPCC 2022). Farklı ülkeler ve bölgeler, sıcaklığa dayanıklı ya da toleranslı fasulye geliştirmek için farklı önlemler ve ıslah yaklaşımları geliştirecektir. Isı toleransı ile ilgili özellikler, sıcaklık stresi koşulları altında yeni fasulye seçimi için çok önemlidir. Küresel ısınma devam ederse, önümüzdeki 30 yıl içinde fasulye üretim alanlarının yaklaşık üçte ikisinin etkileneceği tahmin edilmektedir. Bu kısıtlamalarla başa çıkmak için etkili önlemler alınmalıdır ve bu önlemler arasında sıcaklık stresine dayanıklı, besleyici ve üretim potansiyeli yüksek yeni fasulye çeşitlerinin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir (Porch vd. 2013).

HS, fotosentez, solunum ve hormon metabolizması gibi çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri bozarak oksidatif hasara, besin alımının tehlikeye girmesine ve gen ekspresyonunun değişmesine neden olur (Jagadish vd. 2021; Mohammed ve Feleke

2022). Sonuçta bu etkiler bitki biyokütlesinin azalmasına, yaprak yaşlanmasına, büyümenin bozulmasına ve verimliliğinin azalmasına neden olur (Monterroso ve Wien 1990; Soltani vd. 2019; Vargas vd. 2021). HS, proteinlerin, membranların, RNA türlerinin ve hücre iskeleti yapılarının stabilitesini ve enzimatik reaksiyonların verimliliğini etkiler, böylece fizyolojik süreçleri engeller ve metabolik dengesizliklere neden olur (Traub vd. 2018). HS'nin şiddeti ve süresi, fasulyenin gelişim aşaması ile birlikte, tepkilerini etkiler. Absisik asit (ABA), salisilik asit (SA), jasmonik asit (JA), etilen (ET), brassinosteroidler (BR'ler), sitokinler (CK'ler), oksinler (AUX'ler) ve gibberellinler (GA'lar) dahil olmak üzere bitki hormonları, HS'ye karşı bitki tepkilerinin düzenlenmesinde çok önemli roller oynamaktadır (Li vd. 2021; Nazar vd. 2017; Waadt vd. 2022; Zhao vd. 2020). Bu tepkilerin anlaşılması, sıcaklığa dayanıklı çeşitlerin yetiştirilmesi, hormon seviyelerinin manipüle edilmesi gibi yüksek sıcaklıklara karşı bitki toleransını artırmak için yeni stratejilerin geliştirilmesini sağlayacaktır (Bomers vd. 2022; Fahad vd. 2017; Li vd. 2021; Mohammed ve Feleke 2022; Waadt vd. 2022). Bu bilgi, sıcaklığa eğilimli bölgelerde üretimini optimize etmek, iklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkisini azaltmak ve artan küresel sıcaklıklar karşısında gıda güvenliğini sağlamak için gerekli olacaktır (Li vd. 2021).

Absisik asit, jasmonik asit ve salisilik asit, bitkilerin sıcaklık stresine tepkisinde önemli rol oynadığı bilinen büyüme düzenleyicileri arasındadır (Nazar vd. 2017; Raza vd. 2021). Bitkiler, strese maruz kalırlarsa hücreden hücreye ve tek bir dokudan tüm bitkiye sinyal gönderebilirler. Bitkilerin cansız streslere alışması için gerekli olan bu yeteneğe "sistemik sinyalizasyon (SS)" denilmektedir. Birkaç SS, bitkileri streslere karşı korumak için ABA, JA ve SA dahil olmak üzere çeşitli bitki hormonlarıyla bağlantılıdır (Myers Jr vd. 2023). ABA, stoma kapanmasını, fotosentezi ve terlemeyi kontrol ederek sıcaklık stresi de dahil olmak üzere stres koşulları altında bitki büyümesini ve gelişimini düzenler. *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. üzerinde yapılan araştırmalar, ABA eksikliği olan mutantların sıcaklık stresine karşı artan duyarlılık sergilediğini, ABA uygulamasının ise bitki toleransını artırdığını göstermiştir (Silva-Correia vd. 2014). Öte yandan, ABA'ya benzer şekilde, JA, HS de dahil olmak üzere çeşitli canlı ve cansız streslere karşı bitki büyümesini, gelişimini ve savunma mekanizmalarını düzenler (Raza vd. 2021). Domateste yapılan araştırmalar, JA eksikliği olan mutantların sıcaklık stresine karşı daha savunmasız olduklarını ve yüksek sıcaklıklarda bitkinin hayatta kalması için çok önemli olan daha düşük ısı şoku proteinlerine sahip olduklarını ortaya koymuştur (Kazan ve Manners 2008). Benzer şekilde, *A. thaliana*'daki JA'nın, ısı şoku protein sentezinde yer alan genlerin ekspresyonunu düzenlediği bulunmuştur (Clarke vd. 2009). SA, ısı şoku proteinlerinin ve diğer stresle ilişkili proteinlerin sentezini indükler ve HS'ye karşı bitki savunma mekanizmalarını düzenler (Nazar vd. 2017; Rai vd. 2020). SA eksik olan tütün mutantları HS'ye karşı artan duyarlılık gösterirken, eksojen SA uygulaması bitki toleransını artırmıştır (Larkindale ve Huang 2004).

Sıcaklığa dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi, fasulye üretimi için uygun alanları %54'e kadar artırılabilir (Chavez-Arias vd. 2018; Sehgal vd. 2017). Bununla birlikte, çoğu çalışma laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmekte ve bitki seçimi sürecinde önemli bir faktör olan çevrenin değişkenliğini dikkate almamaktadır (Porch 2006; Sehgal vd. 2017). Aynı zamanda, fasulyede verim ve tarımsal morfolojik özellikler arasındaki doğrudan ve dolaylı ilişkiler path analizini kullanarak (Wright 1923), fasulyede birkaç kez incelenmiştir (Ambachew vd. 2015; Asfaw ve Neka 2017; Darkwa vd. 2016; Neto vd. 2006). Path katsayısı, sadece verim kriterlerinin verimi üzerindeki doğrudan katkısını

değil, aynı zamanda diğer özelliklerin dolaylı katkısını da tespit etmede yararlı çok değişkenli bir analizdir. Bununla birlikte, sıcaklık stresine karşı direnç ile agro-morfolojik özellikler ve fizyolojik özellikler arasındaki doğrudan ve dolaylı ilişkilerin aydınlatılması da incelenecek orijinal bir konudur (Agbeleye vd. 2020). Birçok çalışma, HS'nin, olumsuz koşullara karşı bitki tepkilerinde rol oynayan önemli hormonlar olan ABA, JA ve SA seviyelerini etkilediğini göstermiştir (Myers Jr vd. 2023; Nazar vd. 2017; Wang vd. 2021). Singh and Roychoudhury (2023) stresli koşullar altında bitki büyümesini ve gelişimini düzenlemede önemli bir rol oynadıkları için HS'ye yanıt olarak bu hormon seviyelerinde bir artış gözlemlemiştir. *Phaseolus* türlerinin sıcaklık stresine karşı fitohormonal tepkisi bu çalışmadan önce hiç yorumlanmamıştır (WoS, 2023). Bu nedenle bu çalışmada sıcaklık stresi toleransı ile ilgili fenolojik, morfolojik, agronomik ve fizyolojik özelliklerin değerlendirilmesini amaçlanmıştır. Bu çalışmanın bir diğer amacı, içsel hormon (ABA, JA ve SA) birikimlerini, klorofil içeriğini (CC) ve PSII'nin maksimum kuantum verimliliğini (F_v / F_m) sekiz sıcaklığa dayanıklı iki sıcaklığa duyarlı fasulye genotipinde sıcaklık stresi altında ve sıcaklık stresi olmayan koşullar altında karşılaştırmaktır.

2. KAYNAK TARAMASI

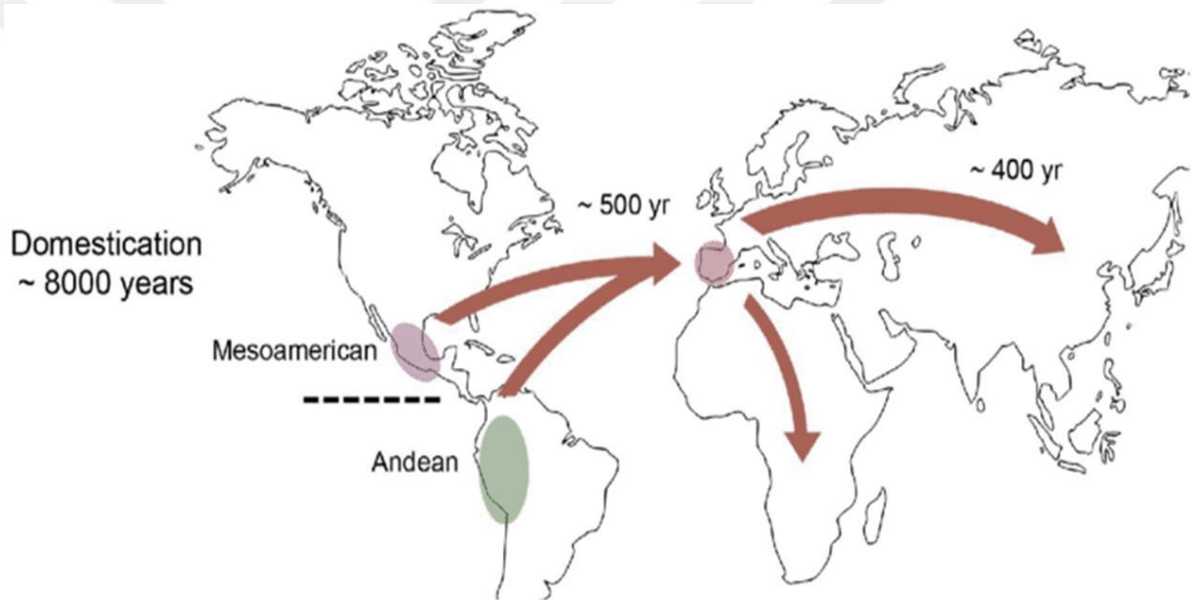
2.1. Fasulye Türlerinin Kökeni, Dağılımı ve Sistematik Konumu

Fasulye (*Phaseolus* L.) cinsi, Fabaceae familyasının otsu bitkilerini içerir. *Phaseolus*'un beş türü kültüre alınmıştır; *P. vulgaris* L. (yaygın olarak fasulye olarak bilinir), *P. coccineus* L. (Ateş fasulyesi), *P. lunatus* L. (Lima fasulyesi), *P. acutifolius* A. Gray (Aztek fasulyesi), and *P. dumosus* (yıllık fasulye). *Phaseolus* cinsi içinde, fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.), dünya fasulye üretiminin% 90'ından fazlasını oluşturduğu için ekonomik açıdan en önemli türdür (FAO, 2020). Yaygın fasulye, dünyada soya fasulyesi (*Glycine max* L. Merr.) ve yer fıstığından (*Arachis hypogea* L.) sonra en önemli üçüncü baklagil bitkisi (Singh vd. 2014). *Phaseolus*, büyüme şekli, tohum özellikleri (boyut, şekil ve renk) ve olgunlaşma süresi bakımından büyük varyasyona sahiptir. Bu değişkenlik, fasulyelerin Amerika, Afrika, Orta Doğu, Çin ve Avrupa gibi çok çeşitli agroekolojik sistemlerin geniş bir yelpazesinde üretilmesini sağlamaktadır. Fasulyelerin taze bakla ve daneleri dünyanın çeşitli yerlerinde tüketilmesine rağmen, fasulye yaygın olarak kuru dane için üretilir ve tüketilir. 24 milyon hektardan fazla, dünyanın yaşanabilir tüm bölgelerinde, ortalama 26 milyon ton üretimle yetiştirilmektedir (FAO, 2019, 2020). Ana üretim alanları arasında Brezilya, Meksika ve Orta Amerika, İber Yarımadası, Orta-Doğu ve Güney Afrika, Çin ve Hindistan bulunmaktadır (Bitocchi vd. 2017; Cortés 2013; Gentry 1969). Sağlık açısından bakıldığında, fasulye, insan hastalıklarının önlenmesindeki özellikleri ve mineral eksikliklerini önlemeye katkısı nedeniyle fonksiyonel bir gıda olarak kabul edilir (Didinger vd. 2022; Ganesan ve Xu, 2017; Phiri, 2015). Ayrıca obezite, diyabet, kardiyovasküler hastalık ve kolon, prostat ve meme kanseri gibi hastalıkların riskini azaltmada önemli bir rol oynarlar (Didinger vd. 2022; Ganesan ve Xu 2017). Sağlık yararlarının, yüksek lif ve nişasta içeriği, kan şekeri ve gastrointestinal fonksiyonu düzenleme kabiliyeti ve fenolik bileşiklerin ve proteinlerin varlığı ile ilgili antioksidan özelliklerinden kaynaklandığına inanılmaktadır (Didinger vd. 2022; Mudryj vd. 2014).

2.1.1. Kökeni ve dağılışı

Phaseolus cinsinin hepsi Amerika'ya özgü yaklaşık 70 kadar türü olduğu bildirilmiştir. Bunlar arasında, farklı yabani atalardan beş türün tarımı yapılmaktadır. Bunlar: fasulye (*P. vulgaris* L.), Lima fasulyesi (*P. lunatus* L.), Ateş fasulyesi (*P. coccineus* L.), Aztek fasulyesi (*P. acutifolius* A. Gray) ve yıllık fasulye (*P. dumosus* Macfady) olarak bildirilmiştir (Bitocchi vd. 2017). Fasulye ve Lima fasulyesi Mezoamerika ve And Dağları'nda kültüre alınmıştır (Bitocchi vd. 2013; Gepts vd. 2000). Bugün, tarımı yapılan beş fasulye türünün yabani akrabaları, Yeni Dünya'nın tropiklerinde ve subtropiklerinde bulunur. Kanada sınırından Arjantin'e, ayrıca Karayip Adaları, Bermuda ve Galapagos Adaları'nda bulunan taksonları bulunmaktadır (Dohle vd. 2019). Bununla birlikte, en fazla *Phaseolus* populasyonu Mezoamerika'da, özellikle Meksika'nın orta dağlık bölgelerinde, güneyde Chiapas'a ve kuzeyde Sierra Madre Occidental'da gözlenmektedir. Bu bölgede bol miktarda fasulye türü ve beş tarımı yapılan *Phaseolus* türünün yakın akrabaları da bulunmaktadır (Freytag ve Debouck, 2002). α -amilaz inhibitörü geninden elde edilen sekans verilerinin analizi yoluyla, bazı araştırmacılar *P. vulgaris*'in yaklaşık 2 milyon (M) yıl önce *P. dumosus* ve *P. coccineus*'tan ayrıldığını ortaya koymuşlardır (Gepts vd. 2000). *P. lunatus*'un *P. vulgaris* ile en uzaktan ilişkili olduğu bildirilmiştir (Delgado-Salinas vd. 2006).

Fasulye, menşe merkezi olan Amerika dışında yaygın olarak yetiştirilmektedir. Bu nedenle, *Phaseolus* türlerinin dağılım (yayılım) sürecinin incelenmesiyle ilgili hemen hemen tüm literatür, *P. vulgaris*'e odaklanmıştır (Bitocchi vd. 2017). Kültürü yapılan fasulye popülasyonlarının yüksek genetik çeşitliliği birçok kıtada bildirilmiştir ve ülkeler ikincil varyasyon merkezleri olarak önerilmiştir. Bunlar arasında İber Yarımadası, Avrupa, Brezilya, Orta-Doğu, Güney Afrika ve Çin'den bahsedilmektedir (Blair vd. 2002; Burle vd. 2010; Gioia vd. 2013; Santalla vd. 2002; X. Zhang vd. 2008) (Şekil 2.1). Fasulyenin Avrupa'da yayılması 16. yüzyılda İspanyol ve Portekizli kaşifler tarafından yapılmıştır. Portekizli tüccarlar daha sonra fasulyeyi Orta Afrika'nın dağlık bölgelerinden kıtanın geri kalanına yaydıkları bildirilmiştir (Purseglove, 1968). Brezilya, And Dağları'na Mezoamerika'dan daha yakın olmasına rağmen, beklenmedik bir şekilde, mezoamerikan *P. vulgaris* en yaygın olanıdır (Burle vd. 2010). Bu, Amerika'nın keşfinden sonraki dönemlerde Mezoamerikan genetik materyalinin çoklu tanıtımlarıyla açıklanabilir (Kmieciak vd. 1988). Çin'de Mezoamerikan *P. vulgaris*'in yaygın olduğu gözlenmiştir (Bitocchi vd. 2017) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Evcilleştirmenin ardından yaygın fasulyenin coğrafik dağılımı. Kaynak: (Guerrero vd. 2016)

2.1.2. *Phaseolus* cinsinin sistematik konumu

Fasulye türleri (*Phaseolus* spp.), $2n = 2x = 22$ kromozom sayısı, Fabaceae Lindl. familyasına ait yıllık ve çok yıllık ağaç benzeri bitkilerin bir cinsidir. Bu cins, hepsi Amerika'ya, özellikle de Mezoamerika'ya özgü yaklaşık 70 bitki türüne sahiptir. Bunlar arasında, Kolomb öncesi zamanlardan beri danelerini tüketmek üzere beş tür tarıma alınmıştır. Bunlar: *P. acutifolius* (Aztek fasulyesi), *P. coccineus* (Ateş fasulyesi), *P. dumosus* (yıllık fasulye), *P. lunatus* (Lima fasulyesi) ve *P. vulgaris* (yaygın olarak fasulye diye bilinir). Günümüzde, *Phaseolus* cinsinin en önemli türü, dünyanın tropikal, yarı tropikal ve ılıman bölgelerinde dünya çapında yetişen fasulye *P. vulgaris*'tir. *Phaseolus* cinsinin sistematigi, Delgado-Salinas vd. (2006) ve Freytag and Debouck (2002) çalışmalarından çıkarılan özelliklerle özetlenebilir.

Bölüm: Tracheophyta

Su ve besin maddelerinin taşındığı vasküler dokulara (ksilem ve floem) sahip bitkilerden oluşan;
 Su ve mineraller ksilem yoluyla ve besinler floem yoluyla taşınır;
 Pteridophyta, Gymnosperms ve Angiosperms olmak üzere üç grup vasküler bitki vardır.

Alt Bölüm: Spermatophytina

Spermatofitler, tohumlu bitkileri, phanerogamlar;

Beş sınıf: Ginkgoopsida, Pinopsida, Gnetopsida, Cycadopsida, Magnoliopsida.

Sınıf: Magnoliopsida

Dikotiledon bitkilerin en ilkel çiçekli bitkiler olduğu düşünülmektedir;

Çeşitli özelliklerle tanımlanırlar;

Gnetofitlere benzer şekilde, tüm dikotlar iki çenek yaprağı, dolayısıyla dikotiledonlar ile çimlenir;

Tüm dikotlar başka benzer özelliklere sahiptir.

Takım: Fabales Bromhead

Fabaceae (baklagiller), Quillajaceae, Polygalaceae (milkwort familyası), Surianaceae;

Cins ve türlerin yüzde 95'inden fazlası baklagil ailesi olan Fabaceae'ye aittir.

Aile: Fabaceae Lindl.

Bakla/bezelye, baklagiller veya fasulye ailesi olarak bilinir;

Ağaçları, çalıları ve meyveleri (baklagiller) kolayca tanınan çok yıllık veya yıllık otsu bitkileri içerir. Caesalpinioideae DC., Cercidoideae LPWG, Detarioideae Burmeister., Dialioideae LPWG, Duparquetioideae LPWG ve Faboideae Rudd. (sinonim Papillioideae DC. alt familyalarını içerir.

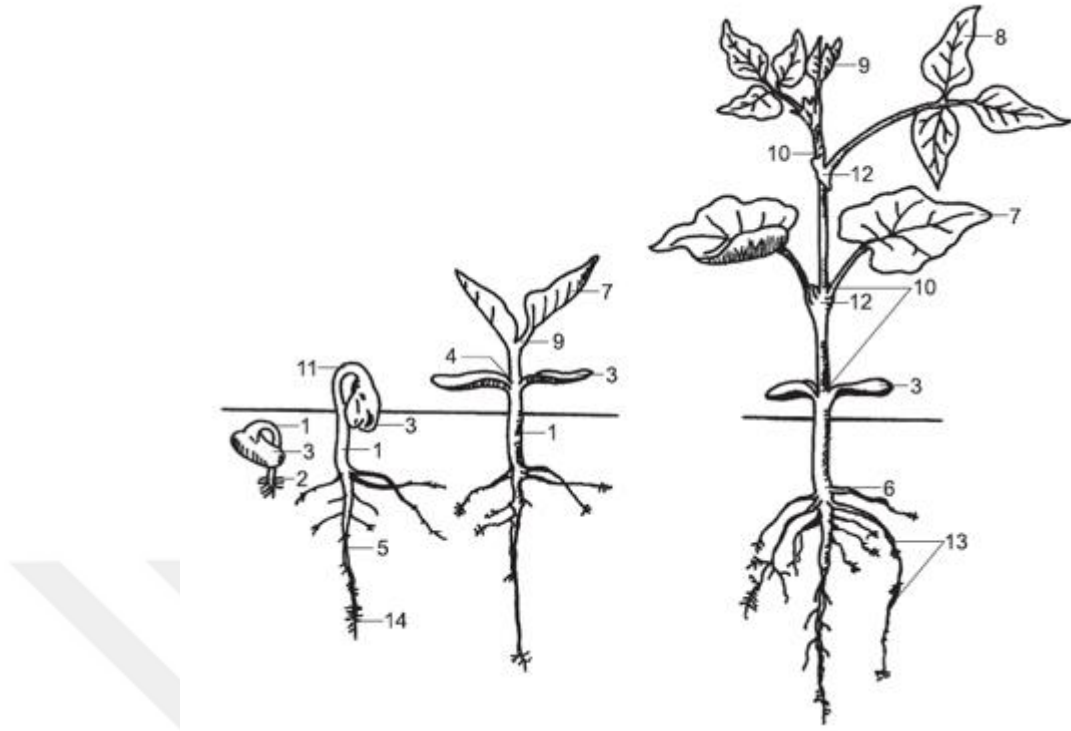
Cins: *Phaseolus* L.

Yaklaşık 70-81 bitki türü içerir;

Bunlar arasında, Kolomb öncesi zamanlardan beri beş türün tarımı yapılır. *Phaseolus* cinsinin en önemli türü, tüm dünyada yetişen fasulye *P. vulgaris*'tir.

2.2. *Phaseolus* spp.

Phaseolus cinsinin eşsiz bir evrimsel ve kültüre alma tarihi vardır. *P. coccineus* ve diğer dört tür arasında çimlenmenin yanı sıra bazı farklılık vardır. Bu tür daha serin yerlere uyum sağlamıştır ve soğuğa toleranslı diğer baklagiller gibi hipogeal çimlenme sergilemektedir. Bitkinin diğer yapısı yeraltı kökleri, yan kökler ve yapraklar bakımından benzerdir (Şekil 2.3).



Şekil 2.2. *Phaseolus* spp. türlerinin toprakaltı ve toprak üstü kısmını göstermektedir. Hipokotil (1); Radikül (2); Kotiledon (çenek) (3); Kotiledondan sonraki boğum (4); Ana kök (5); Yan kök (6); İlk gerçek yaprak (7); Üçlü yaprakçık (8); Sürgün ucu (9); Boğum arası (10); Hipokotil kemeri (11); Boğumlar (yaprak bağlantı noktası) (12); Noduller (13); ve Kılcal kökler (14). Kaynak: (Hans ve Greg 2019).

2.2.1. *P. coccineus* L.

P. coccineus, yerden birkaç metre yükselebilen, uygun koşullarda çok yıllık bir bitki türüdür (Şekil 2.4). *P. coccineus*, diğer türlerden kolayca ayırt edilir. Büyük tohumları (100 tohumun ağırlığı 80 ila 170 g arasında olabilir), dar eliptik hilumu ve kırmızı, beyaz veya daha nadiren iki renkli çiçekler taşıyan büyük salkımları bulunur. Salkımlar 20 cm'ye kadar ve hatta 20'den fazla çiçek salkımları bulunur (Kalloo 1993). Çimlenmesi hipogealdir. Kök şekli irice bir havuç köküne benzer. Etli bir taproot ile, genellikle fusiform, genç kotiledon sürgünlerin birkaç yıl üst üste tekrar büyümesine izin verir. Çiçeklenme, erken çeşitlerde ekimden 50 gün sonrasına kadar gerçekleşebilir. Bitki çalı çeşitlerinde uzun bir süre çiçek üretmeye devam edebilir. Şimdiye kadar, *P. coccineus* kendi kendine tozlaşan olarak kabul edilir, ancak çoğu durumda arıların ve sinek kuşlarının etkisiyle yabancı döllene de maruz kalabilir (Kalloo 1993; Schmit ve Baudoin, 1987).



Şekil 2.3. *P. coccineus*'un biyokütlesi (A), mozaik renkli tohumları (B) ve çiçekleri (C).

2.2.2. *P. acutifolius* A. Gray

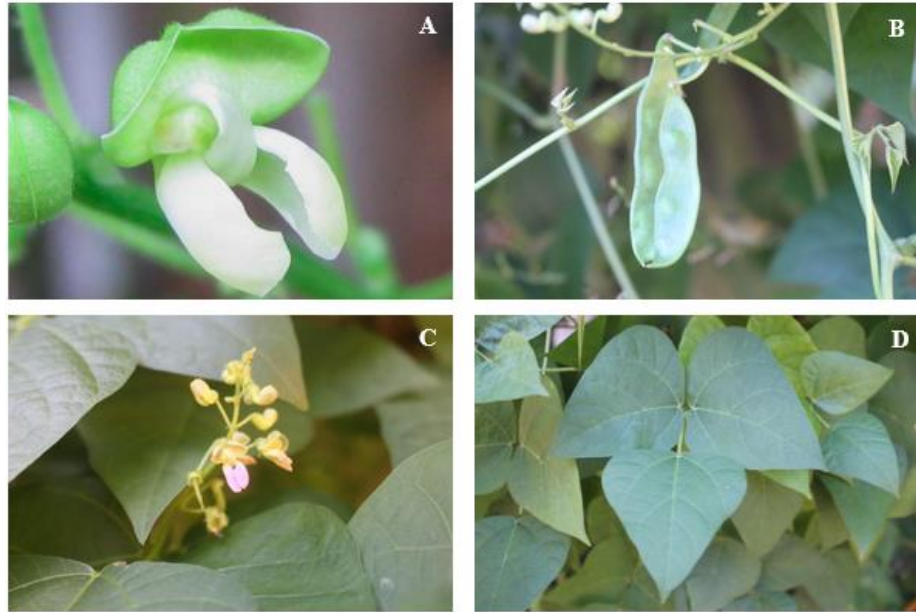
P. acutifolius, epigeal çimlenmesi, dar yaprakçıkları ve eni dar baklaları ile diğer fasulye türlerinden kolayca ayırt edilir. Meyve kümesi 2-4 arındadır, küçük boyutlu pembe çiçekleri (bazı çeşitlerde beyaz) bulunur. Beş ila on yumurta içeren sağlam dikişlere sahip baklaları vardır. *P. acutifolius*'ta otogami baskındır. Hem kültür formları hem de yabani formlar kısa bir döngüye sahiptir, çimlenmeden 27 ila 40 gün sonra çiçek açar ve olgunluk çimlenmeden 60 ila 80 gün sonra gelir. Yabani formlarda, olgunluk esnasında, tohumları kök etrafında 3 m'lik bir yarıçap içinde dağılır. Baklalar çatlar ve daneler etrafa yayılır (Mwale vd. 2020) (Şekil 2.5).



A **B**
Şekil 2.4. *P. acutifolius*'un çiçek (A), bakla ve yaprakları (B).

2.2.3. *P. lunatus* L.

Birkaç modern çeşit dışında *P. lunatus*, epigeal çimlenme ve lifli köklerle karakterize edilen çok yıllık bir türdür. Yabani formları alçak ve orta irtifa tropikal ormanlarına özgüdür. Yarım ay şeklinde tohumları ile diğer türlerden kolayca ayırt edilir. Bununla birlikte, küresel tohumlara sahip bir grup (Karayip) vardır. Salkım, 4 ila 12 küçük çiçek taşır (Baudoin 1991). Brakteolleri çok küçük ve yuvarlaktır ve baklaları pürüzsüz ve üç ila altı yumurta içeren orak şeklindedir. *P. lunatus* kendi kendine tozlaşan bir türdür, ancak bazı durumlarda yabancı döllenme oranları %32'yi aşmaktadır. Erkenci genotipler çimlenmeden 28 ila 35 gün sonra çiçek açar ve gelişim döngülerini çimlenmeden yaklaşık 100 gün sonra tamamlarlar. Öte yandan, diğer genotipler, yıllık yağış mevsimlerine bağlı olarak yılda iki çiçeklenme döngüsüne sahip olabilir (Baudoin 1991, 1993) (Şekil 2.6).



Şekil 2.5. *P. lunatus* ' un çiçek (A), bakla (B), çiçek salkımı (C) ve yaprakları (D).

2.2.4. *P. dumosus* Macfady

P. dumosus, Orta Amerika'ya özgü botanik bir fasulye türüdür. Vahşi doğada, bu tür *P. coccineus*'a en çok benzeyen fasulyedir. Çiçekleri ve salkımları vardır. *P. dumosus* kısa günlerin bir türüdür, fotoperiyot ve çiçeklenme sadece 18 ila 20°C arasında değişen sıcaklıklarda kısa günlerde başlar (Şekil 2.7). Belirli sıcaklık ve yağış koşulları altında, *P. dumosus* pratik olarak kısırdir (Mina-Vargas vd. 2016). Mikroskop altında incelendiğinde, polen koyu bir renklenmeye sahiptir ve hücre duvarları çok incedir. Bununla birlikte, suya batırılmış polenlerin hücre duvarları şişer ve çok daha erken patlar. Diğer koşullarda, *P. dumosus* aseksüel olarak çoğaltılabilir. Genç yapraklı bir sürgün kısmı hemen altından kesilir ve bu kesimler, ıslak bir ortamda yaklaşık on gün sonra, yaklaşık 20°C'lik bir sıcaklıkta yetiştirilir (Buishand 1956; Mina-Vargas vd. 2016).



Şekil 2.6. *P. dumosus*'un çiçek ve baklaları (A), ve yaprakları (B). (Kaynak: Plants of the World Online (POWO)).

2.2.5. *P. vulgaris* L.

P. vulgaris, kararlı veya belirsiz bir büyümeye sahip olabilen yıllık otsu bir fasulye türüdür. Çimlenmede, bitki bir anakök (taproot) taşır, ancak 10-15 cm uzunluğa sahip anakök boyunca çok hızlı bir şekilde yan kökler ortaya çıkar (Duke 2012; Graham ve Ranalli 1997). Fasulyenin çiçekleri kelebek şeklindedir ve yan ve uç kısımlarında taşınır. Çiçeklerin rengi çeşitliliğe bağlı olarak çok değişkendir ve beyaz, pembe veya mor olabilir. Çiçek esas olarak kendi kendine döllenir ve düz veya hafif kavisli bir meyve veya bakla haline gelir. Baklalar, yuvarlak, eliptik, hafifçe yassılaştırılmış veya uzun bir şekilde yuvarlanmış olabilen 4 ila 12 tohum içerir (Gepts ve Debouck 1991). Çiçeklenme süresi çeşitlere ve çevre koşullarına bağlı olarak değişir. Çiçeklenme, erken çeşitler için

çimlenmeden 28 ila 42 gün sonra başlar, ancak geç çeşitlerde çok daha uzun olabilir. Bakla bağlama süresi erkenci çeşitlerde 23 gün, geç çeşitlerde ise 50 gün arasında değişmektedir. Fizyolojik olgunluk, erken çeşitlerde çimlenmeden sadece 60-65 gün sonra ortaya çıkabilir veya geç çeşitlerde çimlenmeden 200 gün sonra uzayabilir (Graham ve Ranalli 1997) (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. *P. vulgaris*'in bakla (A), çiçek (B) ve yaprakları (C).

2.3. *Phaseolus* spp'nin ekonomik önemi

2.3.1. Besinsel içeriği

Tarımı yapılan fasulye türleri içinde en yaygın olarak yetiştirilen ve bilinen *P. vulgaris* türüdür. Bu tür aynı zamanda dünyada en çok tüketilen fasulye olarak küresel olarak tanınmaktadır. Fasulye nispeten basit bir üründür ve daha az girdi talep etmektedir. Amerikan, Asya ve Afrika menülerinde kullanılır. Fasulye daneleri protein (% 22), mikro besinler (Ca, Fe, Mg, P ve K), kompleks karbonhidratlar (% 62), çözünür lif (% 15) içerir ve bu nedenle önemli bir folat kaynağıdır (Myers ve Kmiecik, 2017). Bir sebze olarak tüketilen olgunlaşmamış baklalar yüksek bir su konsantrasyonuna sahiptir ve fasulyede bulunmayan yaklaşık %1,9 protein ve %7 karbonhidrat, C vitamini, karotenoidler ve K vitamini içerir. Fasulye, hayvansal proteinlere alternatif bir beslenme kaynağı olarak yeterli gelire sahip olmayan üçüncü dünya ülkeleri için önemli bir protein, kalori ve eser element kaynağıdır.

2.3.2. Fasulyenin üretim değerleri

Son on yıldaki FAO verilerine genel bir bakış, yaygın fasulye üretiminin 2010 yılında 24,7 milyon tondan 2020 yılında 27,5 milyon tona yükseldiğini göstermektedir. Bu artışın nedenleri, üretime ayrılan alanda bir artış ya da verimlilikte bir artışla birlikte küçük alanlarda birim alanda bitki sayısındaki artışla olabilir. 2010-2020 yılları arasında fasulye

üretimine ayrılan alanın verilerine bir kez daha baktığımızda, ekim alanlarında artış görülmektedir (30,98 milyon ha ile 34,80 milyon ha) (FAO 2019, 2020; Nadeem vd. 2021). Bu iki gözlemden, son on yılda fasulye üretimindeki artışın sadece verimliliğin artmasına bağlı olmadığını, aynı zamanda üretim alanındaki artıştan kaynaklanabileceğini göstermektedir (Siddiq vd. 2022). Dünya fasulye üretiminin önemli bir kısmı üçüncü dünya ülkelerinden gelse de, dünyadaki en fazla fasulye üreticileri Hindistan (3.86 milyon ton), Brezilya (3.01 milyon ton) ve Myanmar'dır (2.4 milyon ton) (FAO, 2019, 2020). Üçüncü dünya ülkeleri, düşük gelirli hane halkları için erişilmesi zor olan hayvansal proteinlere alternatif olan yüksek protein içeriği nedeniyle fasulyenin en büyük tüketicileri arasında yer almaktadır (FAO, 2019; Latef ve Ahmad, 2015; Miklas vd. 2006; T. Porch vd. 2013; Siddiq vd. 2022). Fasulye, atmosferik azotu toprağa bağlayan *Rhizobium* bakterileri sayesinde toprağın fizikokimyasal özelliklerinin iyileştirilmesine etkili bir şekilde katkıda bulunur (Karavidas vd. 2022; Latati vd. 2013). Fasulyenin bu özelliği, fasulyelerin mısır, buğday ve bamya gibi yüksek azot tüketen bitkiler ile rotasyon bitkisi olarak kullanılmaktadır. Ek olarak, hasattan sonra yerde kalan fasulye artıkları, toprak yapısını iyileştirmeye ve buharlaşma yoluyla su kaybını önlemeye yardımcı olmaktadır (Latati vd. 2013).

2.4. Bitkisel üretim ve iklim değişikliği

Bitkisel üretim; sera gazı emisyonları, sıcaklıklar, yağışlar, haşere popülasyonları, hastalıkların görülme sıklığı ve şiddetindeki değişikliklerle tarım üzerinde büyük etkisi olan iklim değişikliğinin zorluklarıyla karşı karşıyadır (Schmidhuber ve Tubiello, 2007). Birçok çalışma, küresel dünya sıcaklıklarının 1970'lerden bu yana her on yılda bir yaklaşık 0,2 °C arttığını ve 1981-2010 yılları arasında 0,6 ile 0,75°C'lik bir artışa ulaştığını göstermiştir (Hansen vd. 2006; Hausefather, 2020). Türkiye'nin yıllık ortalama sıcaklığı 2018 yılında 15,4°C olarak hesaplanmıştır. Bu değer, 1981-2010 ortalama değerinden (13,5°C) 1,9°C daha yüksektir ve 2018'i 1971'den bu yana en sıcak ikinci yıl haline getirmektedir. Genel olarak, ülkenin tüm bölgelerinde ortalama sıcaklıkta bir artış yaşanmıştır. Anadolu'nun bazı doğu bölgelerinde sıcaklık anomalileri 3,0°C'nin üzerinde değerlerle artmıştır (Blunden ve Arndt, 2019). Daha yüksek sıcaklıklar, bitkilerin çiçeklenmesini, fotosentezini, terlemesini ve solunumunu etkileyen daha kısa büyüme sürelerine neden olacaktır (Craufurd ve Wheeler, 2009; Moore vd. 2021). Fasulye, nohut (*Cicer arietinum* L.), mercimek (*Lens culinaris* Medik.) ve bezelye (*Pisum sativum* L.) gibi bazı baklagillere göre sıcaklık stresine karşı daha hassastır. Fasulye, sıcaklıkların yükselmesinden ve değişen yağış düzenlerinden börülce (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), Hint bezelyesi (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), soya fasulyesi (*Glycine max* (L.) Merr.) ve yer fıstığı (*Arachis hypogaea* L.) gibi sıcak mevsim baklagillerinden daha fazla etkilenebileceği beklenmektedir (Hall, 2000).

2.5. *Phaseolus* Türlerinin Karşılaştığı Stres Faktörleri

Fasulye, spesifik *Rhizobium* toprak bakterileri ile sembiyoz yoluyla etkileşime girebilmektedir. Bu olay ile bitki atmosferik azotu toprağa bağlayarak, çeşitli mantar patojenlerine karşı korunmaya da yardımcı olur. Fasulye aynı zamanda önemli bir azot kaynağıdır ve bu nedenle hem ekosistemlerin yapısında hem de sürdürülebilir sistemlerde önemli bir rol oynamaktadır. Buna rağmen, fasulye, verimini ciddi şekilde etkileyen bir dizi canlı (yabani otlar, mantarlar, bakteriler, nematodlar, virüsler, paraziter bitkiler,

böcekler) ve cansız (kuraklık, don, tuzluluk, su basması) faktörlere karşı çok hassastır (Dita vd. 2006).

2.5.1. Canlı stres faktörleri

Fasulye, gelişiminin tüm aşamalarında canlı stres faktörlerine karşı çok hassastır. Böylece tüm bitki parçaları, çeşitlere ve çevreye bağlı olarak görülme sıklığı ve şiddeti olan hastalıklara veya zararlılara karşı duyarlı olabilir (McWilliam ve Dillon, 1986). Çoğu fasulye hastalığı ekim sırasında tohumlar tarafından yayılırken, zararlılar diğer hastalıklar için vektör olabilir. Türkiye'de *Phaseolus* türleri, diğer baklagillerde bulunan hemen hemen aynı hastalık ve zararlılar tarafından saldırıya uğramaktadır (Dillon 1985; McWilliam ve Dillon 1986).

a. *Phaseolus* spp zararlıları

Çoğu baklagil gibi, *Phaseolus* türleri de tarlalarda ve seralarda çok çeşitli zararlılar tarafından saldırıya uğrar. Bu zararlıların bazıları polifagustur ve fasulyelerin yokluğunda çevredeki bitkilerle beslenebilir. Fasulyede de verim ve kalite kaybına neden olan bazı zararlılar: *Spodoptera exigua* Hubner, *Agrotis segetum* Schiff, *Helicoverpa armigera* Hubner veya yaprak bitleri: *Aphis fabae* Scopoli ve *Acyrtosiphon pisum* Harris. Bazı zararlılarda fasulyeye özeldir. Bunlar: Sitonlar, Fitonomlar ve bruchids gibi diğerleri daha spesifiktir (Hamdi vd. 2015; Jemâa vd. 2011). Fasulye bitkisinin vejetatif aşamalarında bazı böcekler tarafından saldırıya uğrayabileceği, ancak daha sonra çiçeklenme ve meyve verme aşamalarında bu zararlıların azaldığı belirtilmektedir (Jackai 1995) Diğer zararlıların ise sadece çiçeklenme ve meyve verme aşamalarında ortaya çıktığı bilinmektedir.

Phaseolus türü bitkilerde 100'den fazla böcek türü tanımlanmıştır. Ancak yaprak bitleri *Aphis fabae* Scopoli ve *Acyrtosiphon pisum*, çiçek thrips (*Megalurothrips sjostedti* Trybom), Lepidoptera (*Maruca vitrata* Fab) ve bakla emici böcekler vejetatif fazda daha büyük bir ekonomik etkiye sahip olan böceklerdir (Adipala vd. 2000). Böcekler esas olarak Chrysomelidae veya Bruchidae familyası, yeşil veya kurutulmuş tohumlara saldıran en fazla kayba neden olan zararlılardır (Delobel ve Tran, 1993; Southgate, 1979; Tapondjou vd. 2002). Böcekler arasında, açık alanda yeşil tohumlarda ve daha sonra kuru tohumlarda yetişen *Bruchus rufimanus* gibi univoltine türleri vardır ve hem olgun duran tohumlarda hem de stokta kurutulmuş sert tohumlarda gelişen polivoltin türleri vardır. Ambar zararlıları 5 veya 6 ay içinde tüm stokları etkilerek büyük hasara ve kalite kaybına neden olabilir (Labeyrie, 1977; Lienard ve Seck, 1994). Fasulyede 20'den fazla tür böcek, depolanmış tohumların ekonomik etkiye sahip zararlıları olarak tanımlanmıştır. Chrysomelidae ailesi iki grup içerir: birincisi yeşil bakla bruchidleri (*Bruchus rufimanus* Bohemen, 1833), bezelye zararlısı (*Bruchus pisorum* Linnaeus, 1758) ve mercimek zararlısı (*Bruchus lentis* Frolich, 1799). İkinci grup, depolanmış kuru tohumlarda çoğalan multivoltin böceklerden oluşur, bu bürölce böcekleri (*Callosobruchus maculatus* Fabricius, 1775), Çin tohum böceği (*Callosobruchus chinensis* Linnaeus, 1758), fasulye tohum böceği (*Acanthoscelides obtectus* Say, 1831), Voandzou tohum böceği (*Callosobruchus subinnotatus* Pic, 1902), fıstık tohum böceği (*Caryedon serratus serratus* Olivier, 1790) ve Afrika bürölce böceği (*Bruchidius atrolineatus* Pic). Bununla birlikte, fasulye böceği *B. rufimanus* ve bürölce

böceği *C. maculatus*, Türkiye'de ve dünyada depolanan fasulyeye saldıran başlıca böcek zararlıları olarak kabul edilir (Dugravot vd. 2002; Robin vd. 2010) (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Fasulye zararlıları: A) Fasulye bitkisinde yaprak biti istilası, B) Pancar kurdunun yetiştirici, C) Pancar kurdu (*Spodoptera exigua*) yaprak üzerinde, D) *Helicoverpa armigera* tarafından zarara uğrayan taze fasulye, E) Bitki sapı üzerinde beslenen kesme kurdu, F) Yaprak sineğinin neden olduğu tüneller, G) Yetişkin böcek ve fasulye yapraklarına verilen zarar, H) Fasulye kabuğunda beslenen böcek, I) Örümcek akarlarını gösteren bir fasulye yaprağının alt tarafı, ve J) Fasulye yaprağının alt tarafında yumurtalar

b. *Phaseolus* spp. hastalıkları

Zararlılar gibi, fasulye üretimi de büyüme döngüsü boyunca çeşitli hastalıklar tarafından saldırıya uğrar. Bitki kontaminasyonunun kaynağı endojen (tohumlar tarafından taşınan hastalıklar) veya fasulye tohumlarına eksojen olabilir. Fasulyede ekonomik kayba neden olabilecek hastalıklar arasında şunları belirtebiliriz: *Alternaria* yaprak lekesi, antraknoz, fasulye pası, fusarium kök çürüklüğü, beyaz küf, bakteriyel yanıklık, bakteriyel kahverengi leke, halo yanıklığı, fusarium sönmülmesi ve fasulye yaygın mozaik virüsü.

Alternaria yaprak lekeleri *Alternaria dauci* mantarından kaynaklanır. Enfeksiyon, serbest nem varlığında çimlenen ve yapraklara yaralardan veya doğal açıklıklardan nüfuz eden tohum kaynaklı veya rüzgar kaynaklı sporlar (conidia) tarafından başlatılabilir (Queiroz vd. 2001). Antraknoz, *Phaseolus* türleri de dahil olmak üzere birçok bitkiyi etkileyen *Colletotrichum lindemuthianum*'un neden olduğu bir mantar hastalığıdır. *Phaseolus* türleri üzerindeki antraknoz belirtileri şunlardır: yapraklarda küçük batık lekeler, lekeler kırmızımsı-kahverengi bir sınıra sahip olabilir, lekeler birleşebilir ve geniş ölü doku alanlarına neden olabilir, hedef benzeri konsantrik halkalara sahip koyu kahverengiden siyaha dairesel yaprak lekeleri, lezyon merkezleri genellikle kahverengiye döner ve çatlar veya düşer, yaprak lekelerine bir atış deliği görünümü verir (Geffroy vd. 2000; Oblessuc vd. 2012; Palacıoğlu vd. 2021). Fasulye pası, *Phaseolus* türleri de dahil olmak üzere birçok bitkiyi etkileyen *Uromyces appendiculatus*'un neden olduğu bir mantar hastalığıdır. *Phaseolus* türleri üzerindeki fasulye pasının belirtileri arasında yapraklar, saplar veya baklalar üzerindeki kahverengi, siyah veya beyaz spor püstülleri bulunur ve püstüller bir kloroz çemberi ile çevrelenebilir (Mersha ve Hau 2008). *Fusarium* kök çürüklüğü, yaygın fasulye de dahil olmak üzere birçok bitkiyi etkileyen *Fusarium oxysporum* f.sp. *phaseoli*'nin neden olduğu bir mantar hastalığıdır. Yaygın fasulyede *Fusarium* kök çürüklüğünün belirtileri arasında bitkinin solması, yaprakların sararması, bitkinin bodurluğu ve köklerin kahverengi renk değişikliği bulunmaktadır (McGovern 2015). Beyaz küf olarak da bilinen *Sclerotinia sclerotum*, fasulye de dahil olmak üzere birçok bitkiyi etkileyen bir mantar hastalığıdır. Bununla birlikte, ayçiçeği, kanola, çoğu sebze, tütün, birçok çiçekli yatak bitkisi ve taş meyveler gibi diğer bitkileri de etkileyebilir. Yaygın bakteriyel yanıklık, *Xanthomonas campestris* (syn. *Xanthomonas axonopodis*) fasulye ve diğer baklagilleri etkiler. Fasulye bitkilerinde yaygın bakteriyel yanıklığın belirtileri arasında yapraklar üzerinde küçük, suya batırılmış lekeler; belirgin sarı halelere sahip kuru, kahverengi lekeler; lekeler birleşebilir ve yaprakların sararması daha genel hale gelir (da Silva Júnior vd. 2022; Tugume vd. 2019). Bakteriyel kahverengi nokta, fasulyeyi etkileyen *Pseudomonas syringae* bakterisinin neden olduğu bir hastalıktır. Fasulyenin bakteriyel kahverengi lekeli yapraklarının belirtileri, yapraklar üzerinde küçük, suya batırılmış lekeleri içerir. Lekeler nekrotik hale gelir ve kahverengiye döner ve lekeler birleşerek yaprak dökülmesine neden olabilir. Halo yanıklığı, fasulyeyi etkileyen *Pseudomonas savastanoi* pv. *phaseolicola* bakterisinin neden olduğu bir hastalıktır. Fasulye yapraklarının üst yüzeyindeki halo yanıklığının belirtileri, yaprakların alt kısımlarına ve hızla kırmızımsı kahverengiye ve kuruya dönüşen yaprak kenarları boyunca dağılmış lekeleri içerir. Kuruduğunda yaprağın her iki tarafında da görünür hale gelirler (CABI 2022; Dönmez ve Aliyeva 2022; Eman ve Afaf 2014). *Fusarium solani*, bitkilerde solmaya, çürümeye ve kök çürümesine neden olabilen bir mantar türüdür. Genel bir mantar türüdür ve bezelye, fasulye, patates ve birçok kabakgilleri enfekte ettiği bilinmektedir. *Fusarium* solmasının belirtileri arasında genel bitki büyümesindeki azalma, solgunluk ve kökler üzerindeki büyük nekrotik lekeler bulunur (Lamichhane vd. 2017) (Şekil 2.9).

Fasulyedeki hastalığın neden olduğu kayıpları azaltmak için çeşitli kontrol stratejileri önerilmiştir. En belirgin olanları şunlardır: toleranslı çeşitlerin kullanımı, sağlıklı tohumların kullanımı, toprak değişikliği, ara kırpma uygulaması ve hastalık vektörlerini azaltmak için pestisitlerin kullanımı (Byiringiro vd. 2017; Uwera vd. 2021). Bununla birlikte, bu yöntemlerin etkinliği pratikte yüksek patojenik değişkenlik, patojenin bitki kalıntılarında uzun süre hayatta kalma yeteneği, geliştirilmiş tohumların bulunamaması

ve yüksek maliyeti ile sınırlıdır (Chilagane vd. 2013). Mantar öldürücüler, mantar hastalıkları ile ilişkili hasat sonrası kayıpları önlemek veya azaltmak için kullanılır (Wasonga vd. 2010). Bununla birlikte, hastalığa toleranslı çeşitlerin kullanımı en etkili ve çevre açısından güvenli kontrol önlemidir (Farrow vd. 2011).



Şekil 2.9. Fasulye hastalıkları: A) *Phaseolus* yaprakları ve baklaları üzerinde *Alternaria* yaprak lekesi belirtileri, B) Antraknoz (*Colletotrichum lindemuthianum*) ile enfekte olmuş *Phaseolus* bitkisi, C) *Phaseolus* yapraklarında fasulye pası *Uromyces appendiculatus* belirtileri, D) *Fusarium oxysporum* f.sp. *phaseoli*'nin neden olduğu *Fusarium* kök çürüklüğünün ileri belirtilerini gösteren yaygın fasulye kökleri, E) Beyaz küf (*Sclerotinia sclerotum*) fasulye dışı sap ve dallar, F) Yaygın bakteriyel yanıklık lezyonları (*Xanthomonas campestris* syn. *Xanthomonas axonopodis*), G) Yaygın fasulye yaprakları üzerinde bakteriyel kahverengi leke belirtileri (*Pseudomonas syringae*), H) yaygın fasulye broşürünün üst yüzeyinde halo yanıklığı (*Pseudomonas savastanoi* pv. *phaseolicola*) semptomları, I) *Fusarium* sönümlenme (*Fusarium solani*) semptomları.

c. Cansız stres faktörleri

Fasulye türleri (*Phaseolus* spp.) olumsuz çevresel koşullara dayanır ve bu nedenle genellikle çok düşük girdi kullanımı olan marjinal arazilerde yetiştirilir (Beebe vd. 2001,

2009; Broughton vd. 2003). Uzun süre strese maruz kalma sırasında bu, bitkinin morfolojisinde ve fizyolojisinde geri dönüşü olmayan değişikliklere yol açabilir ve verimde ciddi bir düşüşe neden olabilir. Yüksek sıcaklıklar, aralıklı şiddetli kuraklıklar ve düşük toprak verimliliği en yaygın cansız stresler arasındadır (Beebe vd. 2009; Muñoz-Perea vd. 2006). Bu cansız üretim faktörleri, Afrika, Asya ve Latin Amerika'daki birçok ülkede elde edilen düşük verimden sorumludur. Çünkü üretimin çoğu yeterli girdi kullanılmadan hane halkları tarafından gerçekleştirilmektedir (Miklas vd. 2006). Toprak verimliliği stresleri öngörülebilirdir ve tohumları ekmeden önce besin girdisi ile tahmin edilebilir. Bununla birlikte, sıcaklık stresi, su stresi, donmuş stres ve tuzluluk stresi gibi diğer stresler iklim değişikliği tarafından uyarılır ve mevsimsel ve öldürücü olabilir. Sıcaklığın normalin üzerinde artması, genel olarak tarım, özel olarak da fasulye ekimi için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Sıcaklıklar mevsimlere ve bölgelere göre değişmekle birlikte, iklim değişikliğinin etkileriyle daha da kötüleşmektedir (Christensen ve Christensen, 2007; Lamichhane vd. 2018). Sıcaklık stresine ek olarak, yükselen sıcaklıklar toprak verimliliğinde bir azalmaya, haşere artışına ve bazı hastalıkların virülansına neden olabilir (Dita vd. 2006).

2.6. Fasulyenin Sıcaklık Stresine Tepkisi

Sıcaklık stresi, baklagillerin büyümesi ve gelişmesiyle ilişkili birçok morfolojik özelliği ve fizyolojik süreci etkiler (Toker ve Çağırğan 1998). Sıcaklık stresinden etkilendiğinde, bitki morfolojik dönüşümlerden fizyolojik reaksiyonlara kadar çeşitli şekillerde reaksiyona girer (Sadeghipour 2012). Morfolojik dönüşümlere gelince, sıcaklık stresinin etkisi, tohumların çimlenmesinden, çiçeklenme yoluyla baklanın doldurulmasına kadar başlar (Siddiqui vd. 2015). Bitkinin sıcaklık stresine fizyolojik tepkisi, transkripsiyon ve normal translasyonun inhibisyonu, ısı şoku proteinlerinin (hsps) yüksek aktivitesi ve termotoleransın indüksiyonu ile karakterizedir. Şiddetli stres eşiklerinde, apoptotik hücre ölümüne yol açan sinyal yolları aktive edilir. Hsps moleküler şaperonlar gibi davranır ve bitki hayatta kalmasını artırarak hücrelere sıcaklık stresinin etkilerinden koruma sağlar (Krishna 2003). Bununla birlikte, bazı türler belirli sıcaklık eşiklerine hafif bir tolerans göstermiştir ve yüksek üretim potansiyeline sahip toleranslı çeşitler geliştirmek için fasulye ıslah programlarında kullanılmaktadır. Bunlar arasında, düşük ve orta rakımlarda (400-2000 m) daha yüksek sıcaklıklara daha iyi adapte olan Mezoamerikan gen havuzundan *P. coccineus* ve *P. lunatus* türlerinden bahsedebiliriz (Porch ve Jahn 2001; Rainey ve Griffiths 2005; Vargas vd. 2021). Genellikle orta rakımlı (1400-2800 m) soğuk iklimlerde yetişen And gen havuzu genotipleri, yüksek sıcaklıklara karşı oldukça hassastır (Vargas vd. 2021).

2.6.1. Fasulyenin sıcaklık stresine fenotipik tepkisi

Sıcaklık, bitki gelişiminin tüm farklı aşamalarında önemlidir. Bununla birlikte, çok yüksek sıcaklıklar bitkinin büyümesinin hemen hemen tüm aşamalarını ciddi şekilde etkiler. Sıcaklık stresi, bitki büyümesi, gelişimi ve verimliliği üzerinde olumsuz etkilere sahip olacak kadar uzun bir süre boyunca yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında ortaya çıkar. Üreme aşamasında yüksek gece ve gündüz sıcaklıklarının, tarla fasulyesindeki verimdeki düşüşten sorumlu olduğu bildirilmiştir (Vargas vd. 2021). Sıcaklık stresinin etkileri, tohumun çimlenme aşamasından baklaların doldurulma aşamasına kadar ve verim üzerinde ciddi sonuçlarla hissedilmeye başlar. Çimlenme stresten etkilendiğinde, tohumların canlılığı olumsuz etkilenir, bu da ısı yaralanmasına veya tohumun erken

ölümüne neden olur (Krishna 2003). Sıcaklık stresi genellikle çiçeklerin, tomurcukların ve baklaların dökülme sorunlarına yol açar. Bu, polen canlılığının azalmasına, düşük bakla dolumuna ve tohum boyutunun azalmasına neden olarak verimde önemli bir azalmaya neden olur (IRIT ve J 1991; T. G. Porch ve Jahn 2001; Shonnard ve Gepts 1994). Gece sıcaklıkları 20°C'nin üzerine çıkınca ve 30°C'nin üzerindeki gündüz sıcaklıkları tohum veriminin düşürülmesinden sorumludur (Bozoglu vd. 2019; T. G. Porch ve Jahn, 2001; Vargas vd. 2021). Sıcaklık stresi tohum çimlenmesini engeller; yapraklarda, dallarda, saplarda ve çiçek salkımında ve sapında zarara neden olur. Bu, yaprakların, çiçeklerin ve baklaların yaşlanmasına ve yok olmasına yol açar; saplara ve köklerin büyümesini ve gelişmesini engeller. Son olarak meyvelerin renk bozulmasına ve malformasyonuna neden olur; verimi azaltır ve aşırı durumda bitkilerin ölümüyle sonuçlanır. Sıcaklık stresi, sürgün ağının asimilasyonu ve sonuç olarak bitkinin toplam kuru ağırlığındaki azalma üzerinde de önemli etkilere sahiptir (Wassie vd. 2019). Sıcaklık stresi ayrıca, anterlerin duvarlarının ayrışmaması, steril polenlerin üretimi ve geliştirilmesi, damgalama üzerindeki canlı polen sayısının azaltılması, polen tüpü oluşturma yeteneğinin engellenmesi, polenlerin damgalamaya yapışma uyumsuzluğu ve doğal ortamda çimlenme kapasitesinin azaltılması ile çiçeklerin tozlaşmasını da etkiler (Fahad vd. 2018; Ihsan vd. 2019). Polen taneleri genellikle sıcaklık stresine karşı daha hassastır ve sıcaklıktaki 25°C'den 35°C'ye yükseliş, polen üretiminde ve canlılıkta bir azalmaya yol açar. Yüksek sıcaklıklarda polenler, oksinlerin biyosentezi anterlerin gelişimini desteklese bile steril kalır (Ihsan vd. 2019).

2.6.2. Fasulyenin sıcaklık stresine fizyolojik tepkisi

Fasulye bitkilerinin karşılaştığı sıcaklık stresinden etkilenen süreçler fotosentez, solunum, translokasyon, iyon emilimi, besin metabolizması, proteinlerin biyosentezi, karbonhidratlar ve büyüme faktörleridir (Sadeghipour 2012). Sıcaklık stresi, su içeriğinde bir azalma, yaprakların su potansiyelinde bir azalma ve turgor kaybı, stomaların kapanması ve hücre genişlemesi ve büyümesinde bir azalma ile karakterize edilir (Rainey ve Griffiths 2005; Shonnard ve Gepts 1994).

a. Sıcaklık stresinin fotosentez üzerine etkisi

Sıcaklık stresi, hem yaprak alanını hem de birim yaprak alanı başına fotosentetik oranı azaltarak fotosentezi azaltır (Souza vd. 2005). Bitkilerin fotosentetik aktivitesi bu nedenle güçlü bir şekilde inhibe edilir ve sıcaklık stresi devam ederse tamamen durabilir. Yüksek sıcaklıkların etkisi altında azalan yaprak büyümesi ve artan yaprak yaşlanması, yapraklardaki fotosentetik aktivitedeki azalmadan da sorumludur (Akıncı ve Lösel 2012). Sıcaklık stresine ayrıca yaprak hücrelerindeki su içeriğinde bir azalma eşlik eder, bu da turgor kaybına, solmaya, hücre genişlemesini durdurmaya, stomaların kapanmasına ve fotosentezin azalmasına neden olur (Ara vd. 2019; Santos vd. 2009). Bu, bitkinin diğer birçok temel metabolik sürecine müdahale ile sonuçlanır.

Sıcaklık stresi altında, yaprak tüylenmesi artar ve ayrıca fotosentezde kullanılabilecek ışık ışınlarını yansıtarak fotosentetik aktivitenin azalmasının nedeni olabilir (Fu ve Ehleringer 1989). Sıcaklık stresi sırasında fotosentezin inhibisyonunun, stomaların kapanması ve dahili CO₂ konsantrasyonunun azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Ribeiro vd. 2004; White ve Castillo 1989). Stoma aktivitesinin sınırlandırılması, stres koşulları altında normal koşullara göre daha fazla vurgulanır

(Ribeiro vd. 2004). Genel olarak, yüksek bitkilerde fotosentetik aktivite oranı, artan sıcaklık stresi koşulları altında solunum hızından daha hızlı azalır. Bunun nedeni, sıcaklık stresinin evapotranspirasyona ve dolayısıyla yapraklardaki suyun azaltılmasına vurgu yapmasıdır. Bitki daha sonra stomaları kısmen veya tamamen kapatarak ve yapraklarındaki karbondioksitin hareketini azaltarak aşırı fotosentetik aktiviteye yanıt verir (Assefa vd. 2015).

Bitkilerin sıcaklık stresine ilk tepkisi, stomaların hızlı bir şekilde kapanmasıdır. Bu stoma kapaması, evapotranspirasyonun sınırlandırılmasına yardımcı olur, bu da yaprakta gaz değişiminin (CO_2 'nin difüzyonu) kısıtlanmasına neden olur (Santos vd. 2006). Bir yandan, fotosentezin stoma dışı sınırlaması, karboksilasyon aktivitesindeki bir azalmadan, ribuloz-1,5-bisfosfatın (RuBP) rejenerasyonunun azalmasından ve fonksiyonel Rubisco miktarındaki azalmadan kaynaklanmaktadır (Lawlor ve Tezara 2009; Santos vd. 2009). Öte yandan, fotosentezin stoma dışı sınırlaması, fotosistemi II'nin (PSII) inhibe edilmiş fonksiyonel aktivitesinden kaynaklanmaktadır. Yüksek konsantrasyonda pigment içeriği, fotosentetik aktivitelerini devam ettirerek bitki büyümesini kontrol etmenin etkili bir yoludur (Chen vd. 2009). Bu, bitkilerin fotosentetik pigment içeriklerindeki varyasyon yoluyla sıcaklık stresine karşı bir tepki sergilediklerini göstermiştir (Kalima, 2014). Esas olarak her iki tipte de (klorofil a ve b) fotosentetik pigmentler, ışınların sabitlenmesinden sorumludur. Klorofil a ve b içeriği genotipe ve çevresel koşullara göre değişir (Farooq vd. 2012).

b. Sıcaklık stresine yanıt olarak hücre zarı termostabilitesi

Hücre zarı termostabilitesi (CMT), bir bitkinin sıcaklık stresi gibi çevresel stresin bir sonucu olarak hücresel membran modifikasyonuna direnme yeteneğidir. Cansız stres ve özellikle sıcaklık stresi, elektrolit sızıntısının artmasına neden olan hücre zarına zarar verme yeteneğine sahiptir. Uygulamada, bu elektrolit sızıntısının göreceli hızı, hücre zarının stabilitesini ölçmek için kullanılır. Yaprak numunesi sulu ortamın elektriksel iletkenliği daha sonra bitkinin strese karşı toleransını değerlendirmek için ölçülür (Yeh ve Lin 2003; J. Zhao vd. 2021). Hücre zarındaki yaralanmalar işlev bozukluğuna yol açmıştır ve sıcaklık stresi toleransının değerlendirilmesinde önemli bir faktör olarak kullanılmaktadır. Ancak stresin kesin yapısal ve fonksiyonel değişim üzerindeki etkileri bugüne kadar çok iyi anlaşılamamıştır ve daha iyi anlaşılması için çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Öte yandan, hücre zarı seviyesinde gözlenen sıcaklık stresine bağlı işlev bozukluğu, iyonlar ve elektrolitler için artan geçirgenliği ile açıklanmaktadır (Ruter 1993). Bitkilerde ısı ve kuraklık toleransını değerlendirmek için kullanılan yöntemler arasında CMT, hassas, pratik ve hızlı bir yöntem olduğu için etkinliğini kanıtlamıştır (Tripathy vd. 2000; J. Zhao vd. 2021).

c. Oksidatif hasar

Bitkiler uzun süre sıcaklık stresine maruz kaldıklarında, oksidatif stres üreten hücrelerde reaktif oksijen türleri (ROS) veya singlet oksijen ($^1\text{O}_2$), süperoksit radikalleri (O_2^-), hidrojen peroksitler (H_2O_2) ve hidroksil radikalleri ($\text{OH}^\cdot$) birikir (Nosaka ve Nosaka, 2017). ROS esas olarak fotosistemler I (PSI) ve II (PSII) sırasında üretilir. PSII'de meydana geldiğinde, klorofillerin üçlü durumunu üreten ve tek bir oksijen üretmek için O_2 için uyarma enerjisine yol açan enerji fazlalığıdır. PSI'nın aşırı indirgenmesi, H_2O_2 üretimini teşvik eden faktör olan süperoksit anyonun üretilmesine yol

açar (Szymańska vd. 2017; Zhao vd. 2021). Membran özelliklerini değiştirerek, ROS (O_2^- , H_2O_2), protein bozulması ve enzim inaktivasyonu yoluyla oksidatif stresi indükler ve bu da sonuçta bitki hücrelerinin yaşayabilirliğini azaltmaya yardımcı olur. Hücre zarının serbest radikallerinin neden olduğu hasarın etkisiyle, sıcaklık stresi lipit peroksidasyonunu indükler. Sıcaklık stresi altında, lipit peroksidasyonunun bir göstergesi olan malondialdehit (MDA) içeriği birçok bitkide önemli ölçüde artmaktadır (Djanaguiraman vd. 2010; Wang vd. 2016). ROS'un sıcaklık stresi altındaki dokular üzerinde neden olduğu hasar, bitkinin programlanmış ölümünü de tetikleyebilir. Bununla birlikte, aşırı ROS birikiminin etkisi altında, bazı çeşitler detoksifikasyon mekanizmaları geliştirir ve böylece sıcaklık stresine karşı toleranslarını artırır. Bitkilerin bu termotoleransı, süperoksit dismutaz (SOD), askorbatatlar peroksidazlar (APX), katalazlar (CAT), glutatyon redüktazları (GR) ve peroksidaz (POX) gibi antioksidan enzimlerin etkisiyle artmaktadır (J. Zhao vd. 2021).

d. Diğer fizyolojik tepkiler

Sıcaklıklardaki sürekli değişimlerin etkisi altında, bitki suyunun durumu ve miktarı genellikle kararsızdır. Bitkideki bu su değişimi, evapotranspirasyon ile dehidrasyona neden olan ve bitkilerin büyümesini ve gelişmesini önemli ölçüde yavaşlatan sıcaklık stresi ile vurgulanır (Zhao vd. 2021). Su potansiyeli (WP) ve bağıl su içeriği (RWC), sıcaklık stresine maruz kaldığında önemli ölçüde azalan ve dolayısıyla fotosentetik verimliliği azaltan verimli su kullanımının diğer parametreleridir (Liu vd. 2020). Öte yandan, sıcaklık stresi geçici veya hafif olduğunda, bitkiler solunum ve terleme hızını düzenlemek ve su kaybı ile ısı dağılımı arasındaki dengeyi yönetmek için mekanizmalar geliştirir. Sıcaklık stresi sırasında hücredeki ozmotik basıncı düzenlemek için, çözünür şeker ve proteinlerin seviyesi de değiştirilir (Zhao vd. 2022).

2.7. Sıcaklık Stresine Hormonal Yanıt

Fitohormonlar, iyi bir büyüme ve gelişmeyi sağlamak için bitkide meydana gelen fizyolojik dönüşümleri düzenlemek için antagonistik etkileri ile sorumluluğa sahiptir. Böylece, bitki önemli süreli sıcaklık stresine maruz kaldığında, etilen, ABA, jasmonik asit (JA) ve salisilik asit (SA) gibi fitohormonların konsantrasyonu aniden artarken, öte yandan, sitokin, oksin ve gibberellin gibi diğer fitohormonların konsantrasyonu azalış göstermektedir (Larkindale ve Huang 2005). Bu fitohormonların konsantrasyonundaki aşırı değişiklikler, hücrelerin erken olgunlaşmasını ve dolayısıyla bitkilerin yaşlanmasını hızlandırır. Sıcaklık stresi ve kuraklık stresi gibi cansız stresler, hücrelerdeki aşırı ABA konsantrasyonunda artışa neden olan ana faktörlerdir (Hemmati vd. 2015; Larkindale ve Huang 2005). Bitki sıcaklık stresinin neden olduğu kuruma altındayken, ABA, altında hayatta kalmak için gerekli biyokimyasal yolları indükleyen ana fitohormondur. ABA ayrıca sıcaklık stresinin bir sonucu olan ozmotik strese yanıt olarak stomaların kapanmasına da müdahale eder (Hemmati vd. 2015). Bu nedenle ABA, bitkinin hayatta kalmasını yönlendirilen birçok genin ekspresyonunun sonucunu değiştirerek bitkilerin kurumaya adaptasyonunda temel bir role sahiptir. Ayrıca, ROS üretimi için koruyucu hücrelere müdahale eder (Miller vd. 2008). ABA gibi, bitkilerin sıcaklık stresine yanıt olarak JA biriktirdiği de gösterilmiştir. JA'nın biyosentezi üzerine yapılan çalışmalar, ABA'nın bitki termotoleransının düzenlenmesine müdahale eden ilk temel hormonlar olarak sıralandığını doğrulayan düşük termal tolerans seviyeleri göstermiştir (Clarke vd. 2009). Ek olarak, *Arabidopsis* bitkileri MeJA ile ön işlemden geçirildiğinde, antioksidan

enzim aktivitesinde bir artış gözlenir. Sıcaklığa tolerans kazandırır, bu da JA'nın bitkinin termotoleransında gerekli olduğunu düşündürür (Clarke vd. 2009; Deviredy vd. 2021). Aşırı duyarlı yanıt (HR) ve edinilmiş sistemik direnç (ASR) yanıtında SA konsantrasyonları ile sinyal yolları arasında pozitif korelasyon vardır. Çalışmalar, SA'nın ısı şoku proteininin (HSP), antioksidan mekanizmaların, Ca₂ homeostazının gen ekspresyonu ile ilişkili olarak, üretkenliği ve verimi artırmak için bitkilerde uzun süreli termotoleransı indükleyebildiğini göstermiştir (Hemmati vd. 2015; Larkindale ve Huang 2005; L.-J. Wang ve Li 2006). Gibberellinler ve sitokinler gibi diğer hormonların da sıcaklık toleransında rol oynadığı bildirilmiştir, ancak etkileri ABA'ninkilere oldukça antagonistiktir. Birçok çalışma, yüksek sıcaklık stresi altında, gibberellin ve sitokinlerin konsantrasyonlarının azaldığını göstermiştir. Bu azalma, köklerin, sürgünlerin ve kuru madde üretiminin büyümesindeki azalma ile ilişkilidir ve stresin etkisini azaltmak için fizyoloji faaliyetlerinin sınırlama sürecinde uygulandığını göstermektedir (Hemmati vd. 2015).



3. MATERİYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Bitki materyali

Fasulyede, sıcaklık stresine karşı dayanıklılık özelliklerini ve tepkilerini incelemek amacıyla, 2019 yılında toplam 170 fasulye (*P. vulgaris* L.) genotipi, 2020 yılında ise sekiz Aztek fasulyesi (*P. acutifolius* Jacq.) genotipi, beş ateş (bombay, İspanyol, Manda) fasulye (*P. coccineus* A. Gray) genotipi, iki yıllık fasulye (*P. dumosus* Macfady) genotipi, beş Lima fasulyesi (*P. lunatus* L.) genotipi ve 176 fasulye (*P. vulgaris* L.) genotipi yetiştirilmiştir. Bitki materyallerinin çoğu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nün (Türkiye) Biyolojik Çeşitlilik ve Genetik Kaynaklarından, Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (USDA) Ulusal Bitki Germplazm Sistemi'nden (NPGS) ve gelişmiş ıslah hatlarından temin edilmiştir (Ek 1). Seleksiyon denemesinden sonra *Phaseolus* türleri, sıcaklık stresine karşı direnç açısından genotipleri karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır. Farklı sayıda *Phaseolus* türünün değerlendirilmesi, Blair vd. (2012) ve Buitrago-Bitar vd. (2021) tarafından yapılan çalışmalar örnek alınmıştır.

Çizelge 3.1. Sıcaklık stresli ve stressiz büyüme koşulları altında ABA, SA, JA, klorofil içeriği ve fotosistem II'nin maksimum kuantumu verimliliği için kullanılan *Phaseolus* türleri ve genotipleri.

Türler	Genotipler	Soy No	Köken	Sıcaklık stresi
<i>P. acutifolius</i>	G182	PI 319447	Mexico	+++
<i>P. coccineus</i>	G180	PI 317580	Guatemala	++
<i>P. lunatus</i>	G192	PI 195341	Guatemala	++
<i>P. vulgaris</i>	G43	APN 14091	Türkiye	+
<i>P. vulgaris</i>	G50	APN 14108	Türkiye	+
<i>P. vulgaris</i>	G116	Na	Italy	+
<i>P. vulgaris</i>	G123	Na	France	+
<i>P. vulgaris</i>	G138	Na	Georgia	+
<i>P. vulgaris</i>	G4	APN 14015	Türkiye	-
<i>P. vulgaris</i>	G49	APN 14107	Türkiye	-

APN: Akdeniz Üniversitesi koleksiyon numarası; PI: USDA GRIN'de Bitki Giriş numarası; Na: Bilgi mevcut değil;-: sıcaklık stresine duyarlı genotipler; +: sıcaklık stresi orta tolerans genotipleri; ++: sıcaklık stresi yüksek toleranslı genotipler; +++: sıcaklık stresi çok yüksek toleranslı genotipler.

İki yıl sera ve tarla çalışmalarından sonra bitki hormonlarının sıcaklık stresine tepkisini değerlendirmek için, bir ateş fasulye genotipi (*P. coccineus* A. Gray), bir Aztek fasulye

genotipi (*P. acutifolius* L.), bir Lima fasulyesi genotipi (*P. lunatus* L.) ve yedi fasulye genotipi (*P. vulgaris*) olmak üzere on genotip kullanılmıştır. Bu on genotip, sıcaklık stresi özelliklerinin taranmasında 2019 yılındaki yapılan çalışmadan elde edilen bulgulara göre seçilmiş olup, bunlar sekiz sıcaklığa dayanıklı ve iki tanesi sıcaklığa duyarlı genotipten oluşmaktadır (Çizelge 3.1).

3.1.2. Sıcaklık stresi için gözlem

Denemeler, iki yıllık bir süreye Nisan 2019 ve Mayıs 2020'de Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye (30°38' E, 36°53' N, deniz seviyesinden 51 m yükseklikte) kampüsünde gerçekleştirilmiştir. Her iki yılda da hem sera (aşırı yüksek sıcaklık) hem de tarla (orta derecede yüksek sıcaklık) stresi koşullarında yürütülmüştür. Dört deneme sırasıyla 2019 ve 2020 yıllarının (sera ve tarla koşulları altında) Mayıs ve Eylül ayları arasında gerçekleştirilmiştir. Bu tarihlerin seçiminde, bitkilerin yıllık sıcaklıkta en yüksek zirvelere maruz kaldığı yaz mevsimi esas alınmıştır.

Denemeler hem serada hem de yağmurla beslenen tarlada üç tekrarlı tesadüf blokları deneme deseni ile gerçekleştirilmiştir (RCBD). Sıra arası ve sıra üzeri mesafe sırasıyla 100 cm ve 20 cm olarak ayarlanmıştır. Çevrenin etkilerini en aza indirmek için, tarla denemelerinde veri toplamak amacıyla parselin ortasındaki üç bitki değerlendirilmiştir. *P. acutifolius*, *P. coccineus*, *P. dumosus* ve *P. lunatus* tohumları laboratuvarında ön çimlendirmeye tabi tutulduktan sonra tarlaya ve seraya ekilmiştir. Kuraklık stresinin etkilerini azaltmak için, saatte 2 L akış hızına ve her bitki sırası için 20 cm aralığa sahip bir damla sulama sistemi kullanılarak düzenli sulama yapılmıştır. Çalışma sırasında hiçbir kimyasal işlem uygulanmamış ve yabancı otlar düzenli olarak elle temizlenmiştir. Sera ve tarlanın sıcaklık ve bağıl nemi, Nutricontrol, İspanya tarafından üretilen bilgisayar destekli MITHRA Clima Pro cihazı kullanılarak günlük olarak kaydedilmiştir. Seradaki bitkiler için yetiştirme koşulları ortalama %85,87 bağıl nem ve 12 saatlik doğal fotoperiyot olmuştur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Sera (A) ve tarlada (B) damlama sulama sistemini ve deneme alanları.

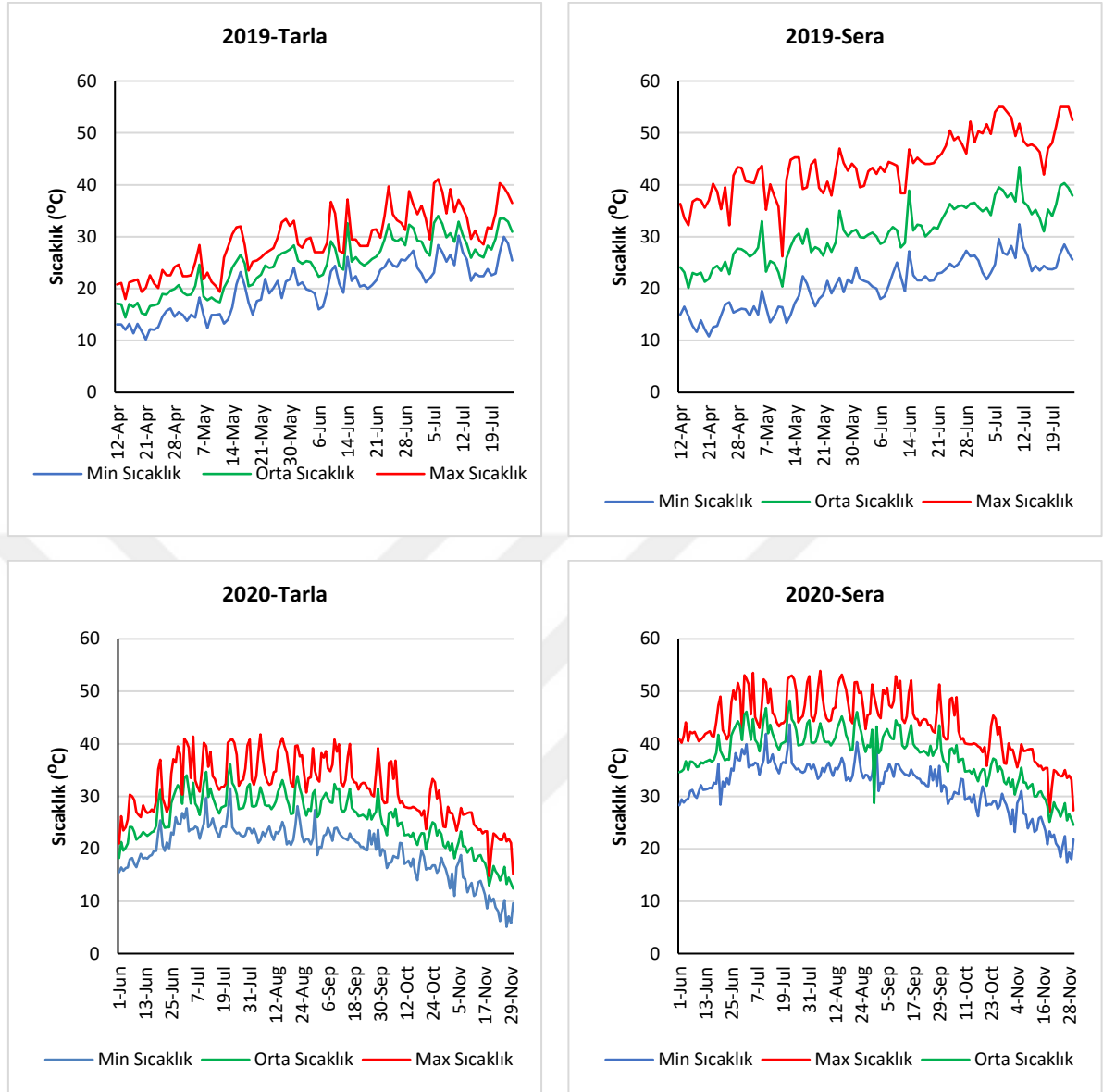
3.1.3. Hormonlar ve fotosentezin değerlendirilmesi

Hormonal ve fotosentez değerlendirmesi için çalışma 2021 yılında Antalya, Türkiye'de Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nin deniz seviyesinden 51 metre yükseklikte 30° 38' E ve 36° 53' N coğrafi koordinatlarında bulunan deneysel serada ve biyoteknoloji laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Sekiz yüksek sıcaklık stresine dayanıklı ve iki duyarlı toplam 10 genotip bu amaçla değerlendirilmiştir. Deneme üç tekrarlı tesadüf blokları deneme deseni olarak gerçekleştirilmiştir (RCBD). Sıra arası ve sıra üzeri mesafe sırasıyla 100 cm ve 20 cm olarak ayarlanmıştır. Ekimden önce *P. acutifolius*, *P. coccineus* ve *P. lunatus* türlerine ait tohumlar laboratuvarda çimlendirilerek dikilmişlerdir. Kuraklık stresinin etkilerini azaltmak için, saatte 2 L akış hızına ve her bitki sırası için 20 cm aralığa sahip bir damla sulama sistemi kullanılarak düzenli sulama yapılmıştır. Seradaki çevresel koşullar, sıcaklık ve bağıl nem de dahil olmak üzere denemeler boyunca kaydedilmiştir.

3.1.4. Sıcaklık stresi gözlemi için deneme alanının iklim özellikleri

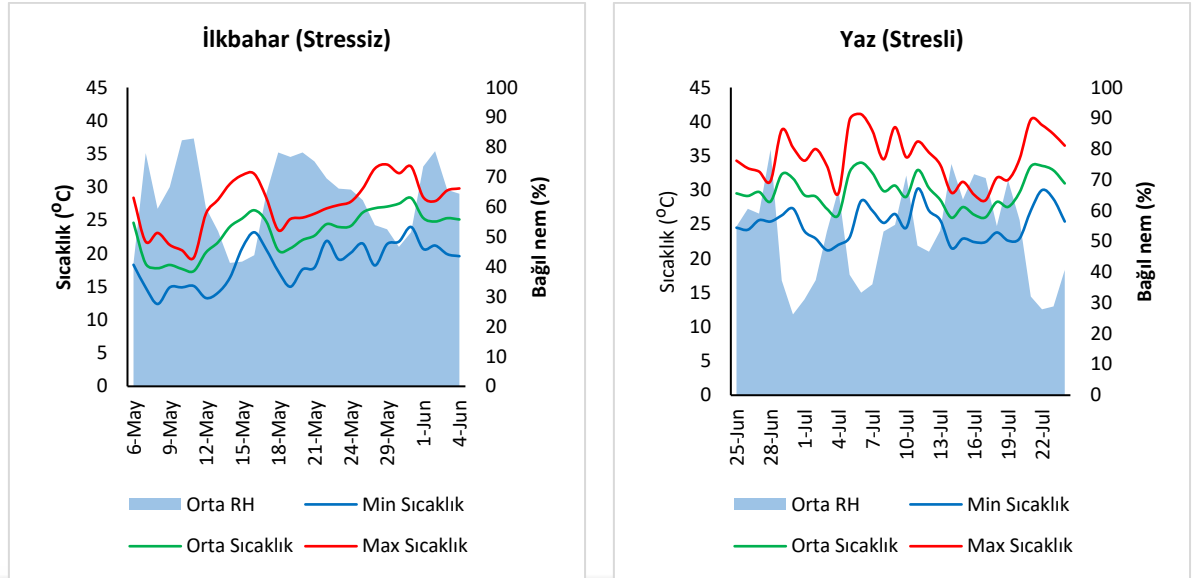
Çalışma dönemi boyunca, maksimum ve minimum günlük sıcaklıklar serada tarladakinden daha yüksek olmuştur. Serada maksimum sıcaklıklar Nisan ayında 43,4°C, Mayıs ayında 47°C, Haziran ayında 52,2°C ve Temmuz ayında 55°C olarak kaydedilirken, yağmurla beslenen tarlada Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında sırasıyla 24,6°C, 33,4°C, 39,7°C ve 40,3°C olarak kaydedilmiştir (Şekil 3.2). Sera ve tarladaki ortalama günlük sıcaklık ekim tarihinden hasada kadar düzenli olarak artış göstermiştir. Çiçeklenme dönemindeki sıcaklıklar serada 47°C, tarlada ise 37,2°C'den başlamıştır. Ortalama günlük bağıl nem (RH) tarlada çok değişken iken, serada yüksek sıcaklık döneminde gözlenen hafif değişimlere rağmen bir miktar tutarlılık göstermiştir (Şekil 3.2). Maksimum sıcaklıklara göre, tarlada ve serada yürütülen denemeler sırasıyla orta sıcaklık stresi ve aşırı sıcaklık stresi koşulları olarak adlandırılacaktır.



Şekil 3.2. Orta sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında 2019 ve 2020 yıllarına ait ekimden hasada kadar haftalık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıklar (°C).

3.1.5. Hormonlar ve fotosentezin değerlendirilmesi için deneme alanının iklim özellikleri

Araştırma dönemi süresince, maksimum, minimum ve ortalama sıcaklıkların yanı sıra bağıl nem hem sıcaklık stresli (HS) hem de sıcaklık stresli olmayan (NS) denemelerden günlük olarak kaydedilmiştir. Günlük ortalama sıcaklıklar HS denemesinde NS denemesine kıyasla sürekli olarak daha yüksek belirlenmiştir. Özellikle, bitkiler HS'de 40,3 °C'lik maksimum sıcaklığa maruz kalırken, NS'de 33,4 °C'lik maksimum sıcaklığa maruz kalmıştır. Ortalama sıcaklık HS denemesinde 35,01 °C ve NS denemesinde 27,5 °C olarak kaydedilmiştir. Minimum sıcaklık HS denemesinde 25,0 °C, NS denemesinde ise 18,5°C olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, Şekil 3.3'te ortalama bağıl nem oranı NS'de (%63,2) HS'ye (%50,8) kıyasla daha yüksek bulunmuştur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. İlkbahar (stressiz koşullar) ve yaz (sıcaklık stresi koşulları) altında günlük minimum (en düşük), maksimum (en yüksek) ve ortalama sıcaklıklar (oC) ve bağıl nem (RH).

3.1.6. Deneme alanının toprak özellikleri

Hem sera hem de yağmurla beslenen tarla denemelerindeki toprak özellikleri daha önce ayrıntılı olarak açıklanmıştır (Eker vd. 2022). Her iki toprakta da azot (N) ve organik maddenin düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. CaCO_3 ve pH sırasıyla %26,8 ve 7,62 olarak ölçülmüştür. Her iki topraktaki demir (Fe) ve çinko (Zn) içerikleri, toprağın yüksek pH'sı nedeniyle eksik olabileceği yorumlanmıştır. Kaydedilen diğer makro ve mikro bitki besin elementlerinin fasulye üretimi için dengeli olduğu düşünülmüştür.

3.1.7. Kimyasallar ve sarf malzemeleri

Analitik standartlar dışındaki tüm kimyasallar analitik ve/veya sıvı kromatografik sınıfıdır. Metanol ve Formik asit %8,5 ekstra saf olarak Isolab'dan (Wertheim, Almanya) temin edilmiştir. Analitik standartların tüm stok çözeltileri metanol içinde hazırlanmıştır. Mobil faz ve dilüsyonların hazırlanması için kullanılan su MP Minipure (Ankara, Türkiye) ultra saf saflaştırma sistemi ile sağlanmıştır. Hormonlar analizi için kullanılan C18-E kartuş kolonu Strata- Phenomenex'ten (Torrance, CA 90501-1430 ABD) temin edilmiştir.

3.2. Metot

3.2.1. Sıcaklık stresine karşı dayanıklılık gözlemi

Fasulye genotiplerinin gözlemi için, Canci and Toker (2009) tarafından nohutta sıcaklık ve kuraklık streslerine karşı dayanıklı nohutları seçmek için kullanılan 1-9 görsel ölçeği bu çalışmada fasulyelere uyarlanmıştır. Bu ölçekle ilişkili puanlar, genotiplere aşağıdaki duruma göre verilmiştir: 1 = çok dayanıklı (yüksek sıcaklık etkilerinden arı, çok iyi bitki canlılığı, erken çiçeklenme ve %100 bakla tutumu); 2 = çok dayanıklı (iyi bitki canlılığı, erken çiçeklenme ve %90-99 bakla tutumu); 3 = dayanıklı (iyi bitki

canlılığı, erken çiçeklenme ve %75-89 bakla tutumu); 4 = orta derecede dayanıklı (orta derecede bitki canlılığı, erken çiçeklenme ve %60-74 bakla tutumu); 5 = toleranslı (bitki canlılığı eksikliği, orta çiçeklenme, zayıf bitki çiçeklenmesi ve %45-59 bakla tutumu); 6 = orta derecede duyarlı (bitki canlılığı eksikliği, orta çiçeklenme ve %30-44 bakla tutumu), 7 = duyarlı (bitki canlılığı eksikliği, geç çiçeklenme ve %15-29 bakla tutumu); 8 = çok duyarlı (bitki canlılığı eksikliği, geç çiçeklenme ve %1-14 bakla tutumu); ve 9 = çok yüksek derecede duyarlı (çiçeklenme yok, bakla tutumu yok ve %100 bitki ölümü). Genotipler çimlenmeden olgunlaşmaya kadar takip edilmiş, duyarlı genotiplerin görsel ölçekte 7 veya 7'den fazla puan almasının ardından değerlendirilmiştir.

3.2.2. Fenolojik özellikler

Çalışma süresince, fasulye genotipleri çiçeklenme günleri (DF) ve bakla bağlama günleri (DP) dahil olmak üzere fenolojik özellikler açısından değerlendirilmiştir. DF, çimlenmeden çiçeklenmeye kadar geçen süre olarak kaydedilirken, DP çimlenmeden ilk bakla oluşumuna kadar geçen süre olarak kaydedilmiştir.

3.2.3. Morfolojik özellikler

Bitki boyu (PH) yerden bitkinin tepesine kadar cm olarak ölçülmüştür. Bitki başına sap sayısı (NS), bitki başına ana sap sayısı olarak sayılarak belirlenmiştir. Bitkinin tepesinden üçüncü yapraktaki (LL) orta yaprakçığın uzunluğu mm cinsinden ölçülürken, üçüncü yapraktaki (LW) orta yaprakçığın genişliği mm cinsinden genişlik olarak kaydedilmiştir. Aynı yaprakçık hem yaprakçık uzunluğu hem de genişliği için değerlendirilmiştir. Bitki büyüme şekli (GH), her genotip için bodur ya da sarılıcı şeklinde büyüme şekli tespit edilmiştir. Tüm bu parametreler, Uluslararası Bitki Genetik Kaynakları Kurulu IBPGR (1982) tarafından önerilen fasulye tanımlayıcısında yer alan özelliklere göre değerlendirilmiştir.

3.2.4. Agronomik özellikler

Bitki başına bitki verimi (PY) ve bitki biyokütlesi (PB), sırasıyla tek bir bitkiye dayalı olarak her bitkinin baklaları ve bir bitkinin toplam kuru ağırlığı ile tohum ağırlığı için g olarak hesaplanmıştır.

3.2.5. Fizyolojik özellikler

Karanlık fazda fotosistem II'nin maksimum kuantum verimliliğini (F_v/F_m) ölçmek için Çek Cumhuriyeti'nde Photon Systems Instruments (PSI) tarafından üretilen FluorPen FP 100 serisi adlı taşınabilir pille çalışan bir florometre kullanılmıştır. Ölçümler bitkinin büyüme aşamasında alınmıştır. Doğru ölçümleri sağlamak için, örneklenen her bitkinin tamamen açılmış üçüncü yaprağı 20 dakika boyunca alüminyum folyo ile tamamen sarılmıştır. Bu sürenin ardından FluorPen FP 100 serisinin klipsleri, parametreleri kaydetmek için yaprağın üst (adaxial) yüzeyine dikkatlice tutturulmuştur. Ölçümler, sıcaklık stresinin etkilerini en üst düzeye çıkarmak için günün en yüksek sıcaklıklara sahip dönemine karşılık gelen öğleden sonra 1 ile 3 arasında gerçekleştirilmiştir. Fotosistem II'nin (PSII) maksimum kuantum verimliliğinin oranı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$F_v = F_m - F_o$$

$$F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m$$

Bu formülde, F_v floresan değişimini, F_m maksimum floresanı, F_o başlangıç floresanını ve F_v/F_m PSII'nin maksimum kuantum verimliliğinin oranını temsil eder. Bu ölçümler için kullanılan yöntem, Marler and Lawton (1994) referansında açıklanan yöntemin değiştirilmiş bir versiyonudur.

Yaprak örneklerinin klorofil içeriği (CC), Tokyo, Japonya'da Konica Minolta tarafından üretilen SPAD-502 Plus adlı bir klorofil ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir. SPAD-502 Plus, bitki yapraklarındaki klorofil içeriğinin tahribatsız tahmini için yaygın olarak kullanılan bir cihazdır. Klorofil içeriği ile korelasyon gösteren birimsiz bir indeks olan SPAD değerini ölçer (Xiong vd. 2015). Bu çalışmada, ölçümler özellikle örneklenen bitkilerin üst kısmından 3. tam açık yaprak üzerinde yapılmıştır. Bütün bitkilerde aynı yaprak ve yaprakçığın kullanılmasının nedeni tutarlılığı sağlamak amacıyla. Bu şekilde farklı yaprak veya farklı gelişim aşamalarından kaynaklanabilecek varyasyonlar önlenmiştir. Ölçüm zamanı, bitki klorofilinin sıcaklığa maksimum tepkisini yakalamak için öğleden sonra 1 ile 3 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Bu dönemde bitkilerin fotosentetik aktivitesi ve klorofil içeriği tipik olarak en yüksek seviyededir. SPAD değerini elde etmek için seçilen yaprak, dedektör yaprağın üst yüzüne (adaksiyal taraf) temas edecek şekilde SPAD-502 Plus cihazının ucuna yerleştirilmiştir. Bu temas, cihazın yaprağın klorofil içeriğini doğru bir şekilde ölçmesini sağlamaktadır. Bu tahribatsız ölçüm tekniğini kullanarak, bitkiye zarar vermeden klorofil içeriği değerlendirilmiş ve zaman içinde tekrarlanan ölçümler gerçekleştirilmiştir.

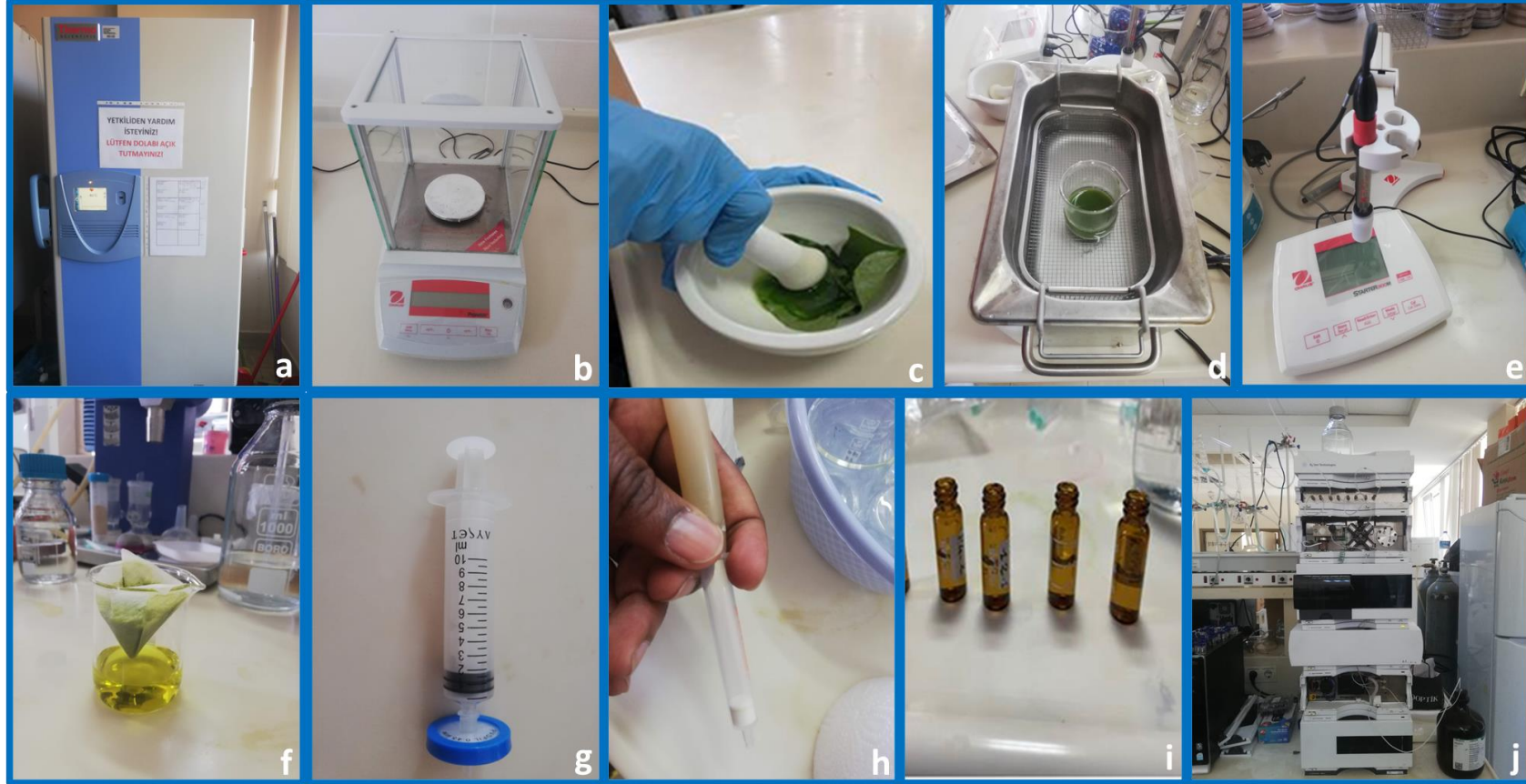
3.2.6. Sıcaklık stresi uygulaması ve yaprak örneklerinin toplanması

Sıcaklık stresi (HS) ve sıcaklık stressiz (NS) koşullar altında iki farklı deneme gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık stresi, bitkiler yaz boyunca serada yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak oluşturulurken, strese maruz kalmayan (kontrol) bitkiler ilkbahar deneyi sırasında cam serada normal koşullar altında yetiştirilmiştir. Yaprak örnekleri, ekimden 20 gün sonra ve çiçeklenmeden önce hem sıcak stresli hem de stressiz ortamda her parselden toplanmıştır. Yaprak örnekleri hemen buz kabına konmuş ve daha sonraki analizlere kadar biyolojik aktivitelerini korumak için -20°C 'de saklanmıştır. Toplanan yaprak örnekleri, sıcaklık stresinin ABA, SA ve JA üzerindeki etkilerini araştırmak üzere ileri analizler için kullanılmıştır.

3.2.7. Absisik, jasmonik ve salisilik asit ekstraksiyonları

Yaprak örneklerinden absisik asit (ABA), jasmonik asit (JA) ve salisilik asit (SA) ekstraksiyon işlemi, küçük değişikliklerle Tansupo vd. (2010) yöntemine göre kombine bir yöntemle belirlenmiştir. Önceden -20°C 'de saklanan yaprak örnekleri -80°C 'lik bir dondurarak kurutma makinesine aktararak 30 dakika boyunca dondurularak kurutulmuştur. Ardından, 2,5 gram dondurularak kurutulmuş yaprak dokusu öğütülmüş ve %80 metanol ve %20 ultra saf sudan (%80 MeOH) oluşan 50 ml ekstraksiyon çözeltisi ile bir havanda homojenize edilmiştir. Homojenize edilmiş yaprak örnekleri daha sonra ultrasonikasyon için 100 ml'lik bir behere aktarılmıştır; bu işlem hücre duvarlarını kırmak ve sitoplazmik içeriği çözücüye salmak için kullanılır ve hücre duvarlarına veya diğer

moleküllere bağlanmış olabilecek hormonların salınmasını kolaylaştırır. Ultrasonikasyon, 15 dakika boyunca 37 kHz ve 30°C'de bir ultrasonik su banyosunda gerçekleştirilmiştir. Ultrasonikasyonun ardından, hücre duvarlarına veya diğer molekülere bağlanmış olabilecek hormon asidini serbest bırakmak için çözeltinin pH seviyesi formik asit kullanılarak 3,5 pH'a ayarlanmıştır. Hormonları ve yaprak dokusu substratını içeren çözelti daha sonra hormon çözeltisi saflaştırması için üç filtrasyon işleminden geçirilmiştir. İlk filtrasyon adımında, organik ekstraktları temizlemek ve ikinci filtrasyonda kullanılan şırınga filtrelerinin gözeneklerini tıkayabilecek büyük partikülleri gidermek için 20~25 µm gözenek boyutuna sahip 4. sınıf kalitatif filtre kağıdı kullanılmıştır. İkinci filtrasyon adımında, bir önceki filtrasyondan gelen süzüntü, Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) gibi yöntemlerle analiz edilmeden önce sıvı ve gaz numunelerinden partikül safsızlıklarının giderilmesi için kullanılan tek kullanımlık, membran bazlı bir cihaz olan 0,22 µm şırınga filtre kullanılarak filtrelenmiştir. Üçüncü filtrasyon adımı, daha fazla saflaştırma için bir Strata C18-E kolonunun (55µm, 70Å; 200mg/3ml) kullanılmasını içeriyordu. Strata C18-E kolonu başlangıçta 300 µl %80 MeOH ile yıkandı ve ardından 500 µl filtrat kolona verildi. Strata C18-E kolonu ABA, SA ve JA'yı tutmuş ve bu hormonlar daha sonra 300 µl %80 MeOH ile kolondan yıkanarak süzüntü içine salınmıştır. Kolonun yıkanmasından elde edilen ve saflaştırılmış hormonları içeren süzüntü toplanmış ve sonraki HPLC ayırma ve analizi için 2 ml HPLC şişelerine (Vial Autosampler HPLC 2.0 mL Large Opening Amber, 12x32mm, GPI 10-425) konulmuştur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Hormon ekstraksiyon protokolü: a) yaprak numunesini -80 °C'de saklamak için kullanılan ultra düşük sıcaklık sağlayan buzdolabı, b) 2,5 g yaprak numunesini tartmak için yüksek hassasiyetli terazi, c) yaprak numuneleri havanda havan tokmağı ile öğütülmüştür, d) yaprak çözeltisini inkübe etmek için kullanılan ultrasonik su banyosu, e) numune çözeltisini formik asit ile 3. asitliğe ayarlamak için kullanılan PH ölçer. 5'e ayarlamak için kullanılan PH metre, f) örnek çözeltisinin filtrasyonu, g) filtrasyon kolonuna enjeksiyon, h) Strata C18-E kolonuna enjeksiyon, i) örnek çözeltisinin HPLC enjeksiyon şişelerine aktarılması ve j) hormon miktar tayini için HPLC-DAD sistemi.

3.2.8. HPLC analizi

Örnekleri 210 nm, 265 nm, 270 nm, 280 nm, 290 nm, 380 nm ve 400 nm olmak üzere yedi farklı dalga boyunda analiz etmek için Diyot Dizili Dedektörlü Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC-DAD) kullanılmıştır. Bununla birlikte, analizler ve kalibrasyon eğrileri için, 270 nm ve 290 nm dalga boyu, ekstrakte edilen hormonlar için en düzgün ve en simetrik pikleri ürettiği için seçilmiştir. Kromatografik ayırma işlemi 250 mm x 4,6 mm x 5 µm boyutlarında bir RESTEK C-18 kolon kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mobil faz %80 metanol (A) ve %20 ultra saf sudan (B) oluşmuştur. Tüm analiz oturumları için izokratik bir profil kullanılmış, toplam çalışma süresi 20 dakika ve akış hızı 1 mL/dakika olmuştur. Kolon sıcaklığı 30°C'de tutuldu ve enjeksiyon hacmi 10 µL idi. Kromatogramdaki pikler 270 nm ve 290 nm'de tespit edilmiştir; bunlar numunelerdeki hormonların miktar tayini ve tanımlanması için kullanılan dalga boylarıdır. Bu dalga boylarının seçimi, verilen kromatografik koşullar altında numunelerdeki hormonların optimum tespiti ve çözünürlüğüne dayanmaktadır.

3.2.9. HPLC Yöntem doğrulama

Geliştirilen tekniğin validasyonu tekrarlanabilirlik, doğrusalılık, tespit limiti (LOD) ve miktar belirleme limiti (LOQ) gibi çeşitli parametreleri içermektedir. Tekrarlanabilirlik, ABA, JA ve SA miktarına bağlı olarak bağıl standart sapma (RSD %) hesaplanarak değerlendirilmiştir. Standart enjeksiyonlar, en düşük kalibre edilmiş seviyede (LCL) ve fasulye yaprağı örneklerinin enjeksiyonlarında gerçekleştirilmiştir. RSD %, yöntemin kesinliğini belirlemek için standart sapmanın (SD) ortalamaya oranı olarak hesaplanmış ve 100 ile çarpılmıştır. Doğruluk, değerlendirme için numunelere konsantrasyonu bilinen bir hormon analitik standardı eklenerek gösterilmiştir. Bu, numunelerdeki absisik asit miktarının belirlenmesinde yöntemin doğruluğunun değerlendirilmesine yardımcı olmuştur. Doğrusalılık, hazırlanan absisik asit standart çözeltileri kullanılarak kalibrasyon eğrileri oluşturularak değerlendirilmiştir. Her numune için altı enjeksiyon yapılmış ve dedektörün farklı absisik asit konsantrasyonlarına verdiği yanıt analiz edilerek yöntemin doğrusalılığı belirlenmiştir. LOD ve LOQ değerleri, LCL ile dokuz bağımsız analitik standart çözeltinin ölçümleri ile sırasıyla standart sapmanın (SD) üç ve on katı çarpılarak hesaplanmıştır. Ayrıca, LOD ve LOQ değerleri aynı partiden üç ayrı fasulye yaprağı numunesi kullanılarak sistematik olarak belirlenmiştir. LOD, güvenilir bir şekilde tespit edilebilen en düşük analit konsantrasyonunu temsil ederken LOQ, kabul edilebilir doğruluk ve hassasiyetle ölçülebilen en düşük konsantrasyonu temsil eder. Kromatografik değerlendirmeler ve kalibrasyon testleri, Agilent Technologies tarafından Palo Alto, CA, ABD'de üretilen ve kromatografi analizi için yaygın olarak kullanılan bir yazılım olan Agilent ChemStation Plus yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu doğrulama parametreleri, fasulye yaprağı örneklerinde ABA, JA ve SA miktarlarının belirlenmesine yönelik geliştirilmiş tekniğin doğruluğunu, kesinliğini ve güvenilirliğini sağlamaya yardımcı olmuştur (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Fasulye yaprağı örneklerinde ABA, JA ve SA birikimi için HPLC-DAD'de tespit limiti (LOD), miktar belirleme limiti (LOQ), doğrusallık ve tekrarlanabilirlik.

Örnekler	Absisik Asit	Jasmonik Asit	Salisilik Asit
Ortalama (Alan)	12,697	14,795	11,340
Standart sapma	0,023	0,222	0,084
RSD (%)	0,181	1,501	0,741
LOD	0,069	0,667	0,251
LOQ	0,229	2,223	0,836
Tekrarlanabilirlik	0,181	1,503	0,737
Korelasyon katsayısı	0,986	0,994	0,999

3.3. Veri Analizleri

Tüm istatistiksel testler R versiyon 3.6.1 istatistik yazılımı ve özel paketler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fenolojik, agro-morfolojik ve fizyolojik özellikler için tanımlayıcı istatistikler hesaplanmış ve genotipler ve denemeler arasında ölçülen tüm özellikler için varyasyonun büyüklüğünü belirlemek için sırasıyla Kruskal-Wallis testleri ve Mann-Whitney U testleri yapılmıştır. Ward yöntemi ile aglomeratif hiyerarşik küme (AHC) analizi, fasulye genotiplerini sıcaklık stresine direnç düzeylerine göre gruplandırmak için R istatistik yazılımı ve APE paketi Sürüm: 5.6-2'de gerçekleştirilmiştir. Path analizi (Wright 1923), sıcaklık stresine dayanıklılık ile çalışılan özellikler arasındaki doğrudan ve dolaylı ilişkileri göstermek için kullanılmıştır (Eker vd. 2022). Orta sıcaklık stresi ve aşırı sıcaklık stresi koşulları kantitatif özellikleri arasında gözlenen farklılıklara dayalı temel bileşen analizi (PCA), çok değişkenli veri analizine adanmış bir R paketi olan FactoMineR kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Lê vd. 2008). Fenolojik, agromorfolojik ve fizyolojik özellikler verileri analizleri için aşağıdaki formüle uygun olarak kısıtlı maksimum olabilirlik (REML) ile genelleştirilmiş bir doğrusal model kullanılmıştır:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2j} + \beta_3 * X_{3ij} + b_i + \epsilon_{ij}$$

Burada Y_{ij} yanıt değişkenidir (*Phaseolus* genotiplerinin özellikleri). β_0 kesişim terimidir. β_1 , β_2 ve β_3 sırasıyla X_{1i} , X_{2j} ve X_{3ij} açıklayıcı değişkenleriyle ilişkili sabit etkilerdir. X_{1i} birinci genotipin etkisini temsil eder. X_{2j} , j. sıcaklık stresi koşulunun (tarla veya sera) etkisini temsil eder. X_{3ij} i. genotip ile j. sıcaklık stresi koşulu arasındaki etkileşim etkisini temsil eder. b_i , 0 ortalama ve σ^2 varyansa sahip normal bir dağılım izlediği varsayılan, i. genotiple ilişkili rastgele etkidir. ϵ_{ij} , 0 ortalama ve σ^2 varyansa sahip normal bir dağılım izlediği varsayılan artık hata terimidir.

ABA, JA, SA, Fv/Fm ve SPAD indeksi dahil olmak üzere ölçülen özellikler için ortalama ve değişkenlik ölçüleri gibi tanımlayıcı istatistikler de hesaplanmıştır.

Genotipler arasındaki varyasyonun büyüklüğünü belirlemek için ANOVA testleri yapılmıştır. Her bir deneyin istatistiksel analizinin sonunda, her iki bölge için hata varyanslarının homojenliği test edilmiş (Bartlett) ve verilerin birleşik analizi yapılmıştır. Asgari önemli fark (LSD, $p \leq 0.05$), her denemedeki tüm fasulye genotipleri için fenolojik, agro-morfolojik ve fizyolojik verilerin ortalamasını karşılaştırmak için kullanılmıştır.

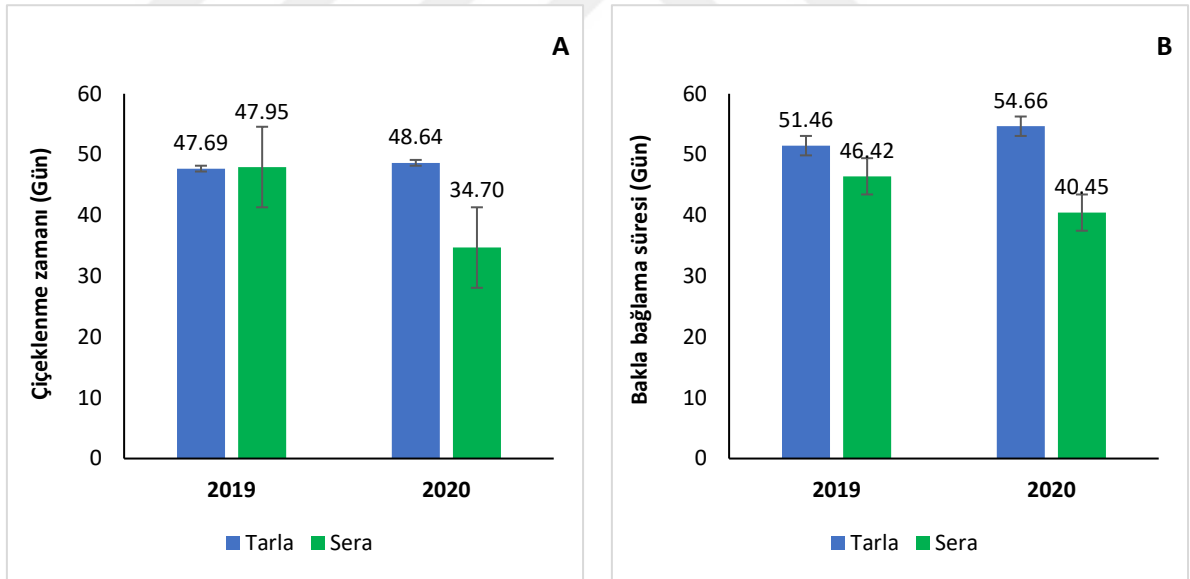


4. BULGULAR

4.1. *Phaseolus* Genotiplerinde Sıcaklık Stresi Gözlemi

4.1.1. Fenolojik özellikler

Araştırmada genotiplerin genel fenolojik özellikleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Çiçeklenmeye kadar geçen gün (DF) sayısı orta sıcaklık stresi (tarla) koşullarında 2019 yılında 34 ile 81 gün arasında ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında 29 ile 69 gün arasında kaydedilirken, 2020 yılında orta sıcaklık stresi (tarla) koşullarında 21 ile 54 gün arasında ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında 29 ile 41 gün arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. 2019 yılında bakla bağlama süresi (DP) orta sıcaklık stresi (tarla) koşullarında 40 ila 77 gün arasında kaydedilirken, aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında 38 ila 57 gün arasında kaydedilmiştir. Diğer yandan, 2020 yılında DP orta sıcaklık stresi (tarla) koşullarında 44 ila 59 gün arasında kaydedilirken, aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında 33 ila 58 gün arasında kaydedilmiştir. Ortalama DF'de 2019 denemelerinde orta sıcaklık stresi (tarla) koşullarında (47,7 gün) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında (48 gün) önemli bir farklılık gözlenmezken, 2020 denemelerinde önemli bir farklılık göstermektedir (tarlada 48,6 gün ve serada 34,7 gün) ($p < 0,05$). DP, 2019 (tarlada 51,5 gün ve serada 46 gün) ve 2020 (tarlada 54,7 gün ve serada 40,5 gün) denemelerinde orta sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) arasında önemli ölçüde farklı ($p < 0,05$) olmuştur.



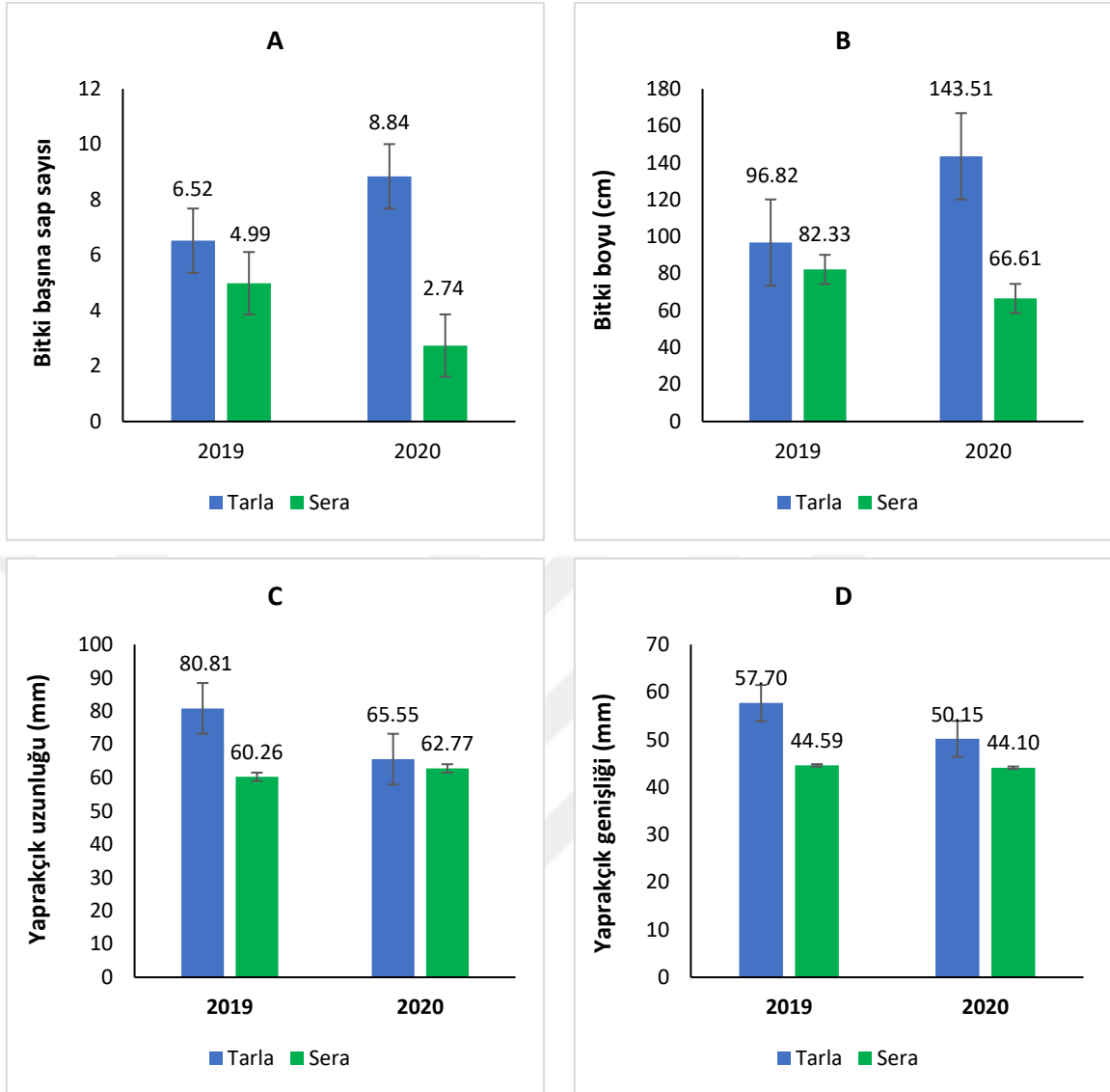
Şekil 4.1. Orta derecede sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları altında 2019 ve 2020 yıllarında *Phaseolus* genotiplerinde çiçeklenme (A) ve bakla bağlama (B) günleri. Çubuklar, ortalama $\pm$ standart hataları gösterir.

4.1.2. Morfolojik özellikler

Fasulye genotiplerinde bitki başına dal sayısı (NS), bitki boyu (PH), yaprak uzunluğu (LL) ve genişliği (LW) gibi bazı morfolojik özellikler orta sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları altında kaydedilmiştir (Şekil 4.2). Yaprak uzunluğunun

ortalaması dışında, ölçülen morfolojik özellikler, orta sıcaklık stresi (tarla) koşulları ile aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları arasında anlamlı bir fark ortaya koymuştur. 2019 yılı denemelerinde bitki başına ortalama dal sayısı orta sıcaklık stresi (tarla) koşullarında 6,5 dal ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında 5 dal iken, 2020 yılında orta sıcaklık stresi (tarla) koşullarında ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında sırasıyla 8,8 ve 2,7 dal olarak belirlenmiştir.

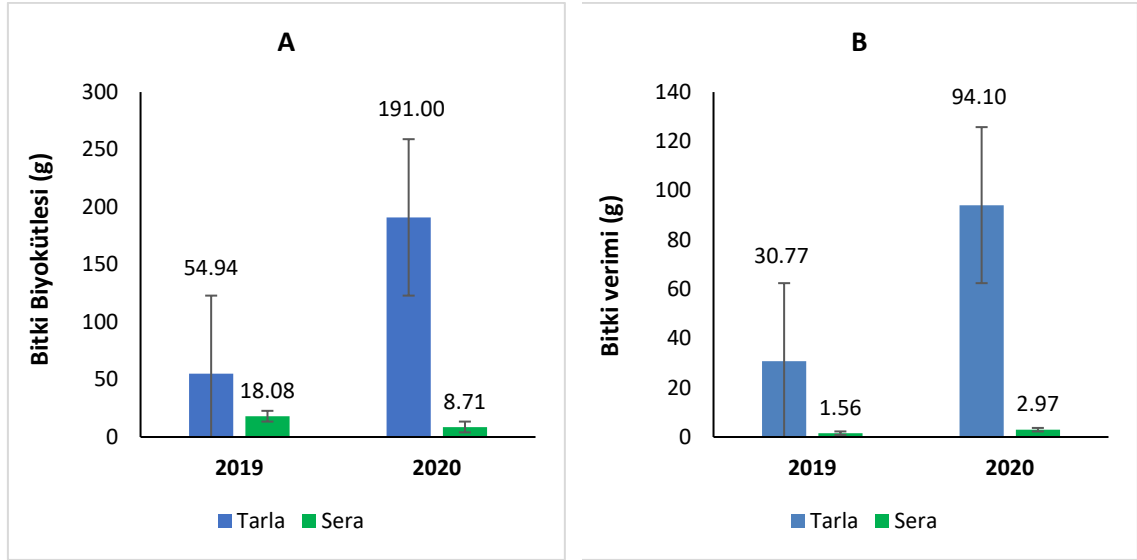
Ortalama bitki boyu 2019 yılında orta sıcaklık stresi (tarla) koşullarında 96,8 cm, aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında 82,0 cm iken, 2020 yılında orta sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında 143,5 cm ve 66,6 cm olarak bulunmuştur. Ortalama yaprakçık uzunluğu 2019 yılında orta sıcaklık stresi (tarla) koşullarında 80,8 mm ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında 60,3 mm iken, 2020 yılında orta derecede sıcaklık stresi (tarla) koşullarında 65,6 mm ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında 62,8 mm olarak tespit edilmiştir. Ortalama yaprakçık genişliği orta sıcaklık stresi (tarla) koşullarında 57,7 mm ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında 44,6 mm iken, 2020 denemelerinde orta sıcaklık stresi (tarla) koşullarında 50,1 mm ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında 44,1 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Orta derecede sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları altında 2019 ve 2020 yıllarında *Phaseolus* genotiplerinde bitki başına düşen sap sayısı (A), bitki boyu (cm) (B), yaprakçık uzunluğu (mm) (C) ve genişliği (mm) (D). Çubuklar, ortalama $\pm$ standart hataları gösterir.

4.1.3. Agromik özellikler

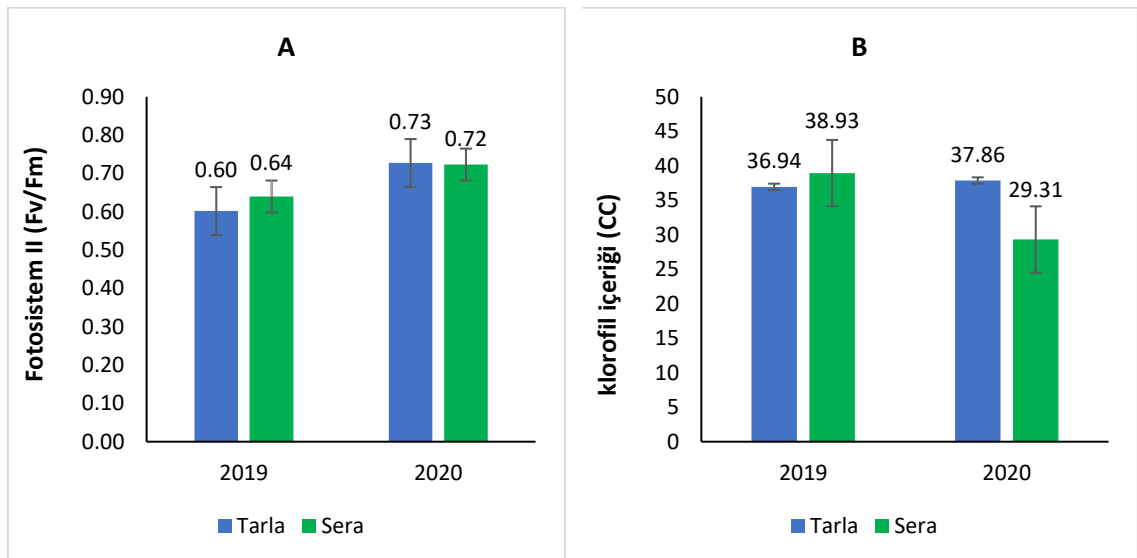
Fasulye genotiplerinin bitki verimi ve bitki biyokütlesi, 2019 ve 2020 denemeleri sırasında orta sıcaklık stresinden (tarla) aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarına kadar anlamlı olarak değişmiştir ($p < 0.05$) (Şekil 4.3). Bitki biyokütlesinin ortalaması, orta derecede sıcaklık stresi (tarla) koşullarında, 2019'da aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarından (tarlada 54.9 g ve serada 18,1 g) ve 2020 denemelerinde (tarlada 191,0 g ve serada 8,7 g) daha yüksekti. Bitki verim ortalamaları, orta sıcaklık stresi (tarla) koşullarında, Şekil 4.3'ta 2019 (tarlada 30,8 g ve serada 1,6 g) ve 2020 (tarlada 94,1 g ve serada 3,0 g) aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarından daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 4.3. Orta sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları altında 2019 ve 2020 yıllarında *Phaseolus* genotiplerinde bitki biyokütlesi (g) (A) ve bitki verimi (g) (B). Çubuklar, ortalama $\pm$ standart hataları gösterir.

4.1.4. Fizyolojik özellikler

PSII'nin (F_v / F_m) maksimum kuantum verimliliği ortalamaları ve SPAD değeri (CC), orta sıcaklık stresi (alan) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları arasında anlamlı bir fark göstermiştir ($p < 0,05$). PSII'nin maksimum kuantum verimliliği araçları, aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında (0,640 F_v/F_m), 2019'da orta dereceli sıcaklık stresi (alan) koşullarından (0,600 F_v/F_m) daha yüksektir. 2020 yılında, PSII'nin maksimum kuantum verimliliği, orta sıcaklık stresi (alan) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında sırasıyla 0,730 ve 0,720 F_v/F_m olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Orta derecede sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları altında 2019 ve 2020 yıllarında *Phaseolus* genotiplerinde PSII'nin maksimum kuantum verimliliği (A) ve klorofil içeriğinin (CC) (B). Çubuklar, ortalama $\pm$ standart hataları gösterir.

Her iki yılda da ölçülen parametreler bakımından genotipler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermiştir ($p < 0.05$). Klorofil içeriğinin (CC) ortalaması, sıcaklık stresi (alan) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları arasında anlamlı bir fark göstermiştir ($p < 0.05$). Ortalama CC, orta derecede sıcaklık stresi (tarla) koşullarında (36,9), 2019 yılında aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarından (38,9) daha yüksekti. 2020 yılında orta derecede sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında sırasıyla 37,9 ve 29,3 CC olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.4).

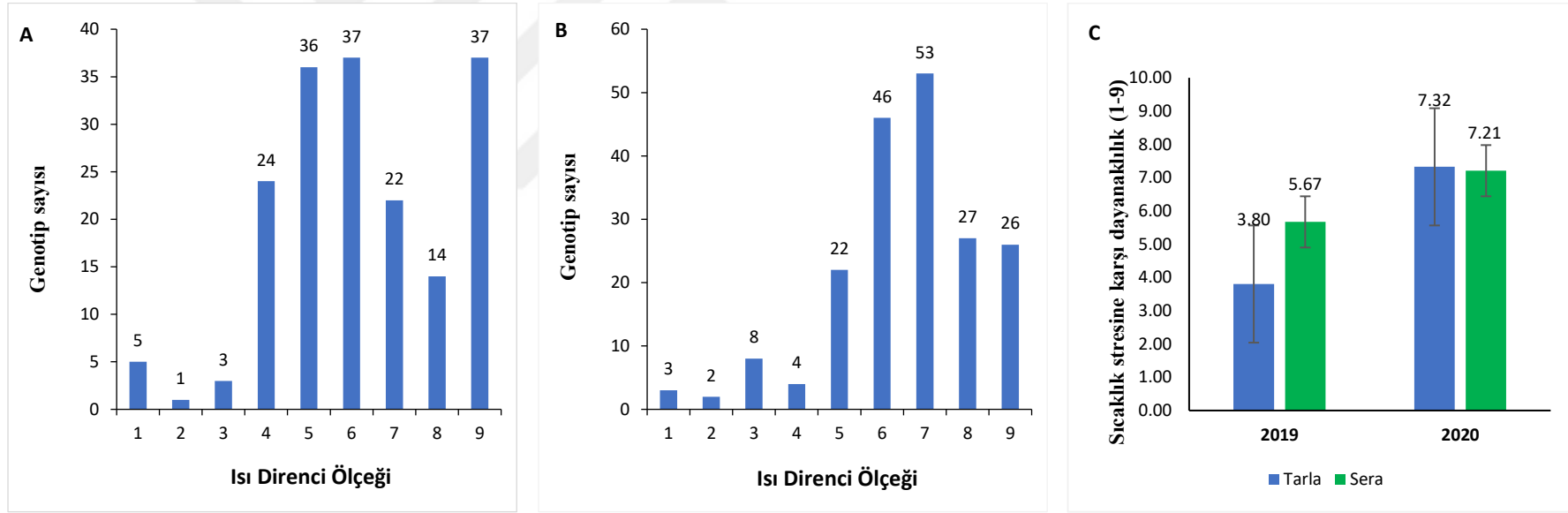
4.1.5. Sıcaklık stresine karşı dayanıklılık gözlemi

Şekil 4.5'e göre 2019 yılında sıcaklık stresine karşı direnç için görsel ölçeklerden elde edilen değerlerin ortalamaları orta sıcaklık stresinde (tarla) 4'ün altında, aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında ise 6'nın altında bulunmuştur. 2020 yılında ise hem orta derecede sıcaklık stresi (tarla) hem de aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında değer ölçeğinde 7 olarak kaydedilmiştir. Aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında görsel ölçeğin sıcaklık stresine karşı dayanıklılık araçlarının orta sıcaklık stresi (alan) koşullarına göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Hem 2019 hem de 2020 çalışmalarında, hem orta derecede sıcaklık stresi (alan) hem de aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında genotipler arasında sıcaklık stresine dayanıklılık için tarama skorunda anlamlı bir değişiklik gözlenmiştir ($p < 0.05$).

2019 çalışmalarının sıcaklık stresi (alan) koşullarında dokuz genotip 1-3 puan arasında bulunurken, aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında (Şekil 4.5 A ve B) 13 *Phaseolus* genotipi 1-3 puan arasında tanımlanmıştır. Genel olarak, Şekil 4.5, G191 (*P. lunatus*), G183 (*P. acutifolius*), G123 (*P. vulgaris*), G13 (*P. vulgaris*), G50 (*P. vulgaris*), G59 (*P. vulgaris*), G192 (*P. lunatus*), G96 (*P. vulgaris*) ve G181 (*P. coccineus*) dahil olmak üzere dokuz dirençli *Phaseolus* genotipi olduğunu göstermiştir. Bu genotipler, 1 ile 3 arasında değişen puanlar almışlardır.

4.1.6. Ölçülen özelliklerin sıcaklığa dayanıklılık ilişkileri

Ölçülen parametrelerin orta sıcaklık stresi (tarla) koşullarında elde edilen sıcaklık dayanıklılığı üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerinin path katsayıları Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Morfolojik özellikler arasında yaprakçık uzunluğu ($p = 0,230^*$), bitki başına dal sayısı ($p = -0,185^*$) ve yaprakçık genişliği ($p = -0,138^*$) fasulye genotiplerinde sıcaklık stresine dayanıklılık üzerinde önemli ölçüde negatif doğrudan etkilere sahiptir. Fizyolojik özellikler arasında, CC ($p = -0,073^*$) ve PSII'nin maksimum kuantum etkinliği ($p = -0,083^*$), sıcaklık stresine dayanıklılık üzerinde önemli ölçüde yüksek negatif doğrudan etkilere sahiptir. Tarımsal özellikler arasında, biyokütlenin ($p = -0,058^*$), orta derecede sıcaklık stresi (tarla) koşulları altında fasulye genotiplerinin ısı direnci üzerinde önemli ölçüde yüksek negatif doğrudan etkiye sahip olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.1).



Şekil 4.5. Orta sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları altında 2019 (A) ve 2020 (B) yıllarında 1-9 görsel ölçeğe göre *Phaseolus* genotiplerinde sıcaklık stresine dayanıklılık (C) ve sıcaklık stresine direnç için bitki sayısı için varyasyon. Çubuklar, standart hataların $\pm$ anlamına gelir. Üç boyutlu çubuklar, 2019 ve 2020'deki bitki sayısını gösterir.

Çizelge 4.1. Orta sıcaklık stresi (tarla) koşulları altında *Phaseolus* genotiplerinde özelliklerin sıcaklık stresine direnç üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerinin path katsayıları.

Özellikler	DF	DP	PH	NS	LL	LW	CC	Fv/Fm	PB	PY
DF	0,058	0,474 *	-0,040	-0,006 *	-0,018	-0,026	-0,019	0,008	0,023	-0,006
DP	0,491 *	0,073	0,119 *	-0,073	0,016	0,053	-0,025	-0,024	0,051	0,017
PH	-0,049	0,140 *	0,014	0,279 *	0,422 *	-0,133 *	0,103 *	0,065	0,285 *	0,010
NS	-0,005	-0,061	0,199 *	-0,185 *	-0,108 *	0,235 *	-0,033	0,024	-0,095 *	0,054
LL	-0,022	0,019	0,430 *	-0,155 *	0,230 *	-0,241 *	-0,005	0,280 *	0,191 *	0,000
LW	-0,023	0,046	-0,098 *	0,244 *	-0,175 *	-0,138 *	0,085 *	0,051	0,081 *	0,034
CC	-0,015	-0,019	0,065 *	-0,029	-0,003	0,073 *	-0,073 *	-0,003	-0,020	-0,004
Fv/Fm	0,007	-0,019	0,044	0,023	0,188 *	0,047	-0,003	-0,083 *	-0,042	-0,008
PB	0,021	0,045	0,215 *	-0,101 *	0,141 *	0,083 *	-0,024	-0,047	-0,058 *	0,018
PY	-0,005	0,012	0,006	0,048	0,000	0,029	-0,004	-0,007	0,015	-0,010

DF: Çiçeklenmeye kadar geçen günler, DP: Bakla oluşumuna kadar geçen günler, PH: Bitki boyu, NS: Dal sayısı, LL: Yaprakçık uzunluğu, LW: Yaprakçık genişliği, PB: Bitki biyokütlesi, PY: Bitki verimi, CC: Klorofil içeriği ve Fv/Fm: PSII'nin maksimum kuantum verimliliği, *: Doğrudan veya dolaylı etkinin değeri, iki özellik arasında önemli bir fark ($p < 0.05$) olduğunu gösterir. Kalın veriler, özelliklerin sıcaklık stresine direnç üzerindeki doğrudan etkisini temsil ederken, diğer veriler kalın özellikler üzerindeki dolaylı etkileri göstermektedir.

Çizelge 4.2. Aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları altında *Phaseolus* genotiplerinde özelliklerin sıcak stresine direnç üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerinin path katsayıları.

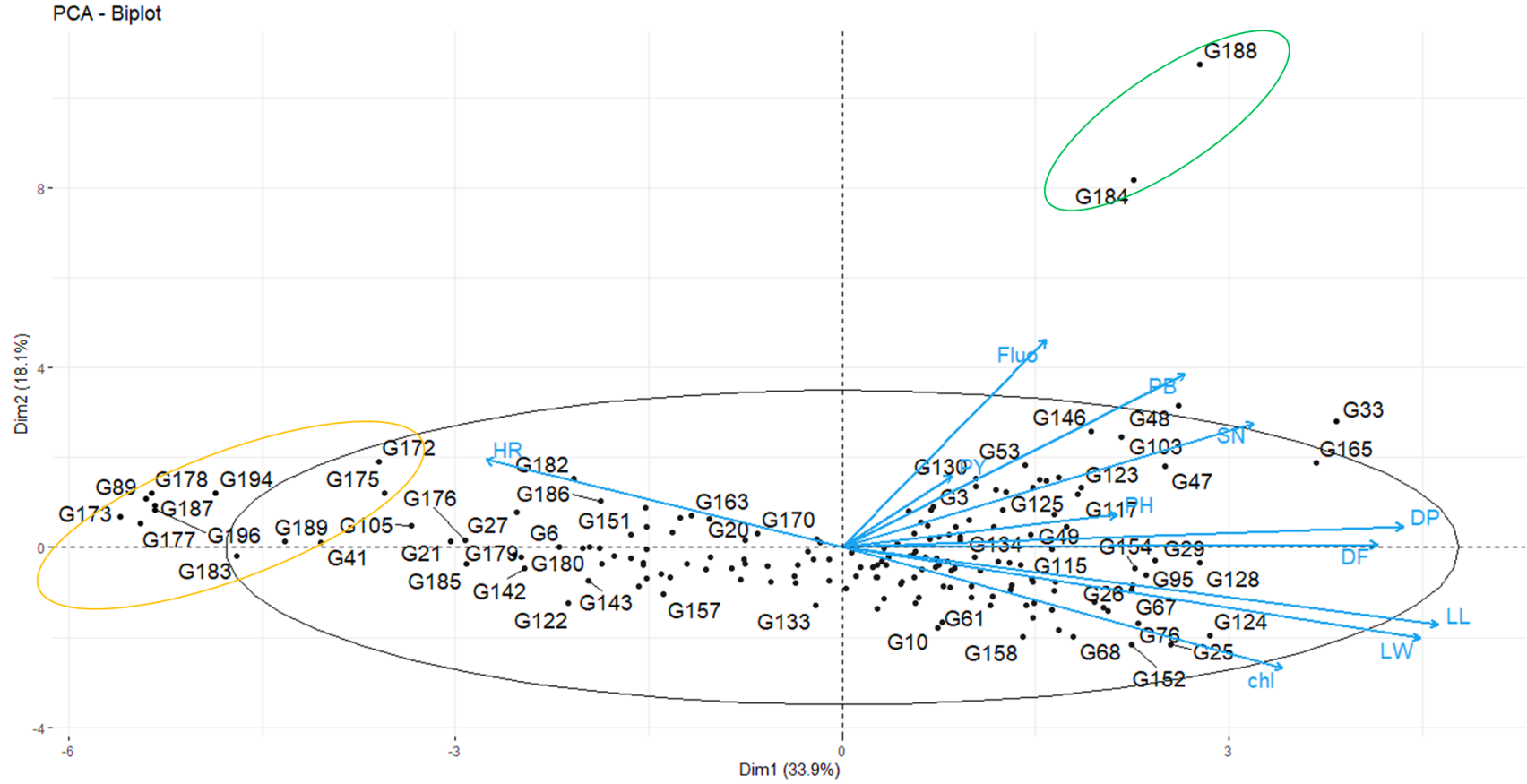
Özellikler	DF	DP	PH	NS	LL	LW	CC	Fv/Fm	PB	PY
DF	0,014	0,165 *	0,013	-0,089 *	-0,055 *	0,036	0,119 *	-0,064	0,039	0,023
DP	0,164 *	-0,057	0,008	-0,056	-0,033	0,003	0,143 *	0,081 *	-0,024	-0,009
PH	0,013	0,009	-0,271 *	0,104 *	-0,014	0,026	0,113 *	0,151 *	0,129 *	0,002
NS	-0,092	-0,058	0,106 *	-0,207 *	0,031	-0,008	0,057	0,066	0,198 *	0,007
LL	-0,214 *	-0,128	-0,052	0,116	-0,208 *	0,864 *	-0,087	0,195 *	-0,034	-0,017
LW	0,140	0,013	0,098	-0,032	0,863 *	0,015	0,227 *	-0,102	0,106	-0,012
CC	0,129 *	0,157 *	0,121 *	0,061	-0,024	0,064 *	-0,140 *	-0,101 *	0,210 *	0,015
Fv/Fm	-0,062	0,079 *	0,144 *	0,062	0,049 *	-0,025	-0,090 *	-0,040	0,010	-0,025
PB	0,042	-0,026	0,137 *	0,208 *	-0,009	0,029	0,207 *	0,011	-0,146 *	-0,002
PY	0,021	-0,008	0,002	0,006	-0,004	-0,003	0,012	-0,023	-0,002	-0,018

DF: Çiçeklenmeye kadar geçen günler, DP: Bakla oluşumuna kadar geçen günler, PH: Bitki boyu, NS: Gövde sayısı, LL: Yaprakçık uzunluğu, LW: Yaprakçık genişliği, PB: Bitki biyokütlesi, PY: Bitki verimi, CC: Klorofil içeriği ve Fv/Fm: PSII'nin maksimum kuantum verimliliği, *: Doğrudan veya dolaylı etkinin değeri, iki özellik arasında önemli bir fark ($p < 0,05$) olduğunu gösterir. Kalın veriler, özelliklerin sıcaklık stresine direnç üzerindeki doğrudan etkisini temsil ederken, diğer veriler kalın özellikler üzerindeki dolaylı etkileri göstermektedir.

Ölçülen parametrelerin aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında elde edilen sıcaklık stresine dayanıklılık puanı üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerinin path katsayıları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Morfolojik özellikler arasında, bitki boyu ($p = -0,271^*$), yaprakçık uzunluğu ($p = -0,208^*$) ve bitki başına dal sayısı ($p = -0,207^*$) fasulye genotiplerinde sıcaklık stresine dayanıklılık puanı üzerinde önemli ölçüde negatif doğrudan etkiye sahipken, klorofil içeriğinin (CC) ($p = -0,145^*$) fizyolojik özellikler arasında en yüksek doğrudan ve negatif etkilere sahip olduğu bulunmuştur. Tarımsal özellikler arasında, biyokütle ($p = -0,146^*$) sıcaklık stresine dayanıklılık puanı üzerinde en yüksek negatif doğrudan etkiye sahiptir. Biyokütle aracılığıyla, CC ($p = 0,210^*$) sıcaklık stresine dayanıklılık puanı üzerinde en yüksek dolaylı etkiye sahip olmuştur (Çizelge 4.2).

4.1.7. Temel bileşen analizi

Temel bileşenler analizi-biplot (PCA-Biplot), bir yandan ısı duyarlılığı ile ilişkili arzu edilen özelliklere sahip genotip gruplarının nasıl belirleneceği konusunda daha güvenilir bilgi elde etmek ve diğer yandan özellikler arasındaki önemli ilişkileri ayırt etmeye yardımcı olmak için gerçekleştirilmiştir. Toplam on iki PC'den yedisinin özdeğeri >1 'dir ve toplam değişkenliğin %98,31'ine katkıda bulunmuştur. Bileşen 1'den bileşen 7'ye kadar değişkenliğe katkı yüzdesinin sırasıyla %44,63, %68,68, %81,16, %90,69, %94,94, %97,11 ve %98,31 olduğu belirlenmiştir. Bu değişkenler kullanılan farklı özelliklerden olumlu ve olumsuz olarak etkilenmiştir. Farklı bileşenlerde değişkenliğe neden olan ana özellikler PC1 için biyokütle verimi (0,7), PC2 için bitki boyu (-0,84), PC3 için bitki biyokütlesi (0,57), PC4 için bitki verimi (-0,59), PC5 için bakla bağlama gün sayısı (-0,578), PC6 için çiçeklenme gün sayısı (0,4), PC7 için bakla bağlama gün sayısı (-0,64), PC8 için SPAD değeri (0,811), PC9 için Fv/Fm (0,93), PC10 için yaprak genişliği (0,78), PC11 için dal sayısı (0,89) ve PC12 için sıcaklığa dayanıklılık (0,91) olmuştur. Bu biplot, varyasyonun çoğunun dokuz ana özellik tarafından açıklandığını göstermiştir: PSII'nin maksimum kuantum etkinliği (Fv/Fm), biyokütle verimi (PB), bitki başına sap sayısı (SN), bakla bağlama gün sayısı (DP), çiçeklenme gün sayısı (DF), yaprakçık uzunluğu (LL), yaprakçık genişliği (LW), sıcaklık stresine direnç skoru (HR) ve SPAD değeri (CC) yüksek sıcaklık ile doğrudan ilişkili özellikler olarak belirlenmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Orta sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) büyüme koşullarında Phaseolus genotiplerinde kaydedilen kantitatif özelliklerin katkısının PCA-biplot analiz sonuçları. İlk iki bileşen gözlenen varyasyonun %52'sini açıklamıştır. Siyah, yeşil ve sarı elipsler benzer özellik varyasyonuna sahip farklı genotip gruplarını temsil etmektedir. Oklar, her bir özelliğin katkısını temsil eden özdeğer vektörüdür. Ok uzunluğu ve yönü sırasıyla özelliğin büyüklüğünü ve katkının yönünü gösterir. Daha uzun oklar daha büyük özellik katkısını gösterir.

4.1.8. Aglomeratif hiyerarşik kümeleme

Aglomeratif hiyerarşik kümeleme (AHC) dendrogramı, her bir genotip arasındaki farklılığın ölçüsü olarak Öklid mesafesi kullanılarak oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, hangi grupların birleştirilmesi gerektiğine karar vermeden önce her grubu diğerlerinden farklı olarak değerlendirir. Kümeleme, her bir küme içindeki karesel farkların toplamını en aza indirmeyi amaçlayan Ward yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen dendrogram, genotipleri sekiz gruba ayırmak için kullanılmıştır. İlk grup iki genotip (G188 ve G184) içerirken, ikinci grup 36 genotip içerdiği belirlenmiştir. Üçüncü grupta sekiz genotip, dördüncü grupta 13 genotip, beşinci grupta 55 genotip, altıncı grupta 12 genotip, yedinci grupta dört genotip (G181, G191, G190 ve G193) ve sekizinci grupta 66 genotip yer almıştır. Genel olarak, AHC dendrogramı ve ortaya çıkan genotip sınıflandırmaları Öklid mesafesi, Ward yöntemi ve aglomeratif hiyerarşik kümeleme yaklaşımının bir kombinasyonu kullanılarak belirlenmiştir. (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Orta sıcaklık stresi (tarla) ve aşırı sıcaklık stresi (sera) koşulları altında ve 2019 ve 2020 yıllarında Phaseolus genotiplerinin dairesel aglomeratif hiyerarşik

kümelenmesi (CAHC). Belirli bir renkle ilişkilendirilen 1'den 8'e kadar olan sayılar, verilen özelliklere göre çok az veya hiç önemli farklılık göstermeyen 8 genotip grubunu temsil etmektedir.

4.2. Sıcaklık Stresi Tepkilerinin Hormonlar ve Fotosentez Analizi

4.2.1. *Phaseolus* genotiplerinde absisik asit birikimi

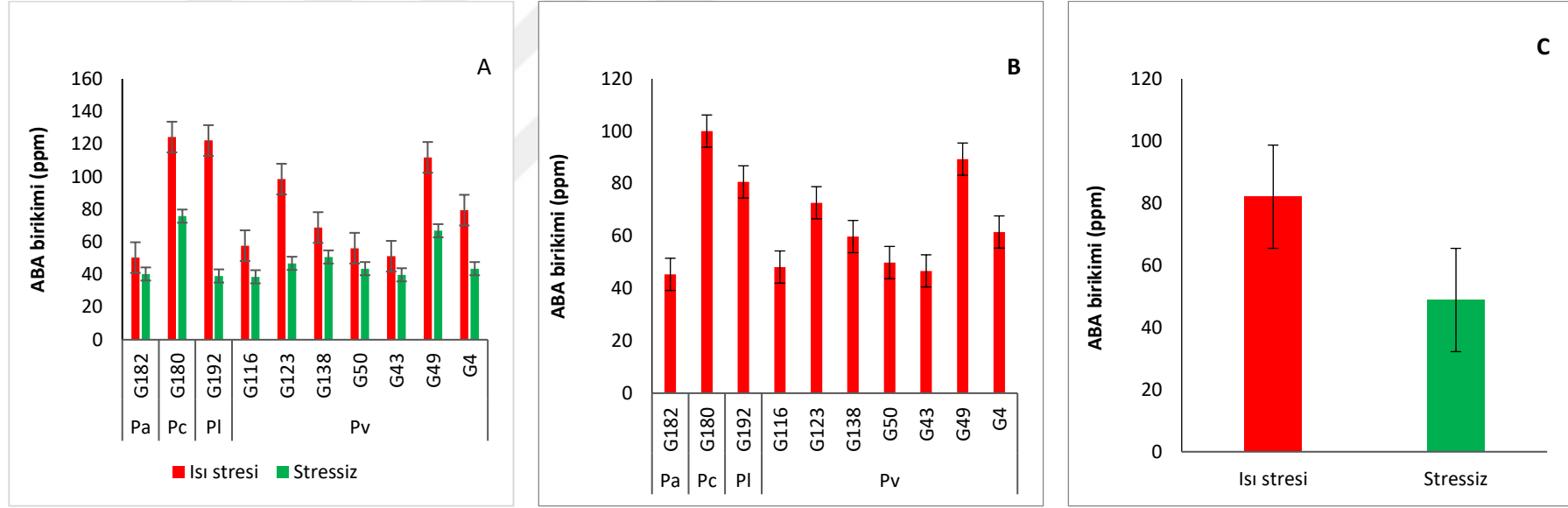
Şekil 4.8A'da sunulan sonuçlar, sıcaklık stresli (HS) ve stressiz (NS) büyüme koşulları altında farklı *Phaseolus* genotiplerinin yapraklarındaki absisik asit (ABA) birikimindeki varyasyon hakkında bilgi vermektedir. Sonuçlar, bazı genotipler için HS ve NS koşulları arasında ABA birikiminde önemli farklılıklar olduğunu göstermektedir ($p<0.05$). Özellikle, *Phaseolus vulgaris* grubunda, G123 (98,5 ppm) ile ilişkili sıcaklığa duyarlı G4 (79,5 ppm) ve G49 (43,6) genotipleri, NS koşullarına kıyasla HS altında yapraklarında daha yüksek ABA birikimi göstermiştir. Benzer şekilde, *Phaseolus coccineus* (G180) ve *Phaseolus lunatus* (G192) da HS koşulları altında yapraklarında daha yüksek ABA biriktirmiştir. G180, HS için 124,3 ppm ve NS için 75,8 ppm ABA konsantrasyonlarına sahipken, G192 HS için 122,2 ppm ve NS için 39,1 ppm konsantrasyonlara sahiptir. Bununla birlikte, *P. acutifolius* (G182) ve iki *P. vulgaris* genotipi (G43 ve G50), Şekil 4.8A'da gösterildiği gibi, HS ve NS koşulları arasında ABA birikiminde önemli farklılıklar göstermemiştir. Genotiplere göre genel ABA birikimi açısından, *P. coccineus* (100,1 ppm), *P. lunatus* (80,7 ppm) ve sıcaklığa duyarlı genotip G49 (89,4 ppm) en yüksek ABA birikimine sahiptir. Diğer *P. vulgaris* genotipleri (G123, G4, G138, G50 ve G116) sırasıyla 72,7 ppm, 61,5 ppm, 59,8 ppm, 49,9 ppm ve 48,2 ppm değerleriyle nispeten yüksek ABA birikimleri göstermiştir. Öte yandan, *P. acutifolius* ve *P. vulgaris* (G43) sırasıyla 45,4 ppm ve 45,5 ppm değerleriyle en düşük ABA birikimine sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.8B). Analiz ayrıca farklı büyüme koşullarının ABA birikimi üzerindeki etkisini de ortaya koymuştur ($p<0.05$). HS koşullarına tabi tutulan bitkiler, ortalama 82,1 ppm değeriyle en yüksek ABA birikimine sahiptir ki, bu da sıcaklık stresinin ABA seviyelerini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Buna karşılık, NS koşulları altında yetiştirilen bitkiler, ortalama 48,5 ppm değeriyle oldukça düşük bir ABA birikimi göstermiştir (Şekil 4.8C).

4.2.2. *Phaseolus* genotiplerinde jasmonik asit birikimi

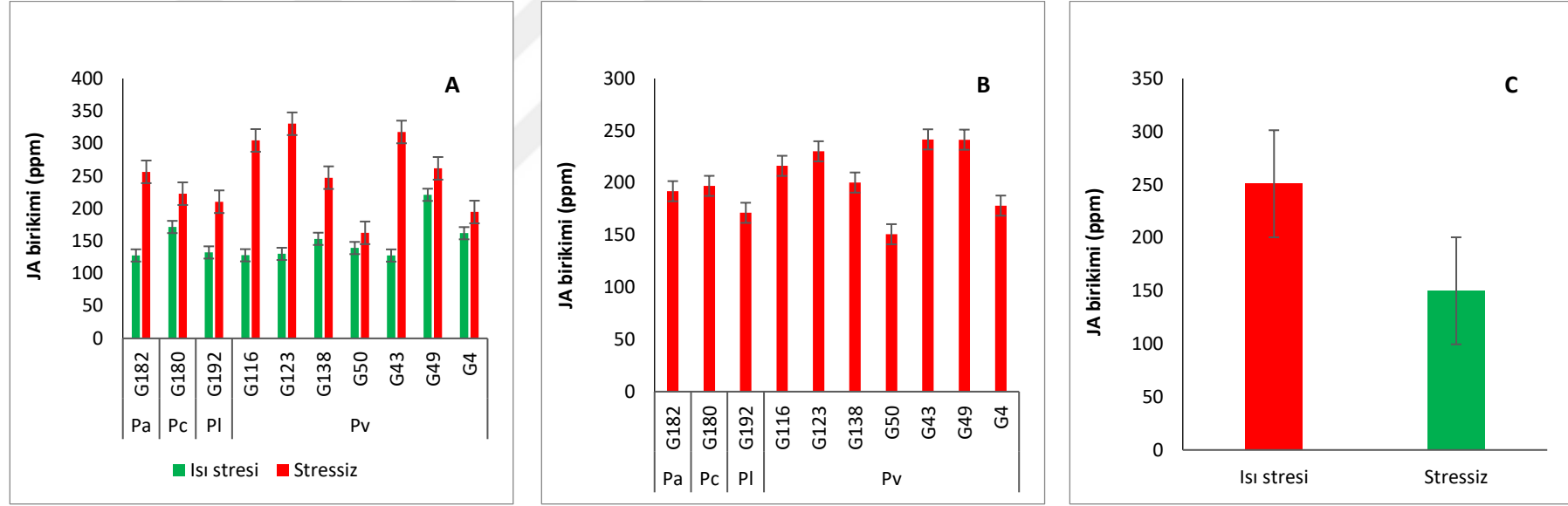
Şekil 4.9A'da sunulan sonuçlar, sıcaklık stresli (HS) ve stressiz (NS) büyüme koşulları altında yaprak örneklerinde jasmonik asit (JA) birikimini göstermektedir. Sonuçlar, JA birikiminin *P. acutifolius*, *P. coccineus* ve *P. lunatus*'ta HS koşulları altında daha yüksek olduğunu göstermektedir. Spesifik olarak, *P. acutifolius* 256,4 ppm, *P. coccineus* 171,5 ppm ve *P. lunatus* 210,4 ppm JA konsantrasyonuna sahiptir. *P. vulgaris* grubunda, sadece G50 genotipi HS ve NS büyüme koşulları arasında JA birikiminde önemli bir değişiklik göstermemiştir (Şekil 4.9A). Genotipler arasında, sıcaklığa duyarlı G49 ve G43 genotipleri sırasıyla 241,4 ppm ve 241,7 ppm değerleriyle en yüksek JA birikimine sahip olmuştur. *P. acutifolius* (197,1 ppm), *P. coccineus* (192,0 ppm) ve dört *P. vulgaris* genotipi (G123, G116, G138 ve G4), sırasıyla 230,3 ppm, 216,3 ppm, 200,3 ppm ve 178,2 ppm JA birikimi ile onları yakından takip etmiştir. Öte yandan, *P. lunatus* ve *P. vulgaris* genotip G50 sırasıyla 171,3 ppm ve 150,8 ppm ile nispeten daha düşük JA birikimi göstermiştir (Şekil 4.9B). NS ve HS koşulları altında yaprak örneklerindeki JA birikiminin genel analizi de önemli farklılıklar ortaya koymuştur ($p<0,05$). HS koşullarına

maruz kalan bitkiler, ortalama 250,9 ppm değeriyle en yüksek JA birikimini göstermiştir; bu da sıcaklık stresinin JA seviyelerini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Buna karşılık, NS koşulları altındaki bitkiler ortalama 149,2 ppm ile önemli ölçüde daha düşük JA birikimi göstermiştir (şekil 4.9C).





Şekil 4.8. *Phaseolus* genotiplerinin yapraklarında absisik asit (ABA) birikiminin değişimi. Çubuklar ortalama $\pm$ standart hataları göstermektedir. A: HS ve NS büyüme koşulları altında her bir genotipin varyasyonu; B: genotipler arasındaki varyasyon; C: HS ve NS büyüme koşulları altında tüm genotiplerin toplam varyasyonu; Pa: *P. acutifolius*; Pc: *P. coccineus*; Pl: *P. lunatus*; ve Pv: *P. vulgaris*. G4 ve G49 sıcaklığa duyarlı genotipler iken, geri kalanlar sıcaklığa toleranslı genotiplerdir.



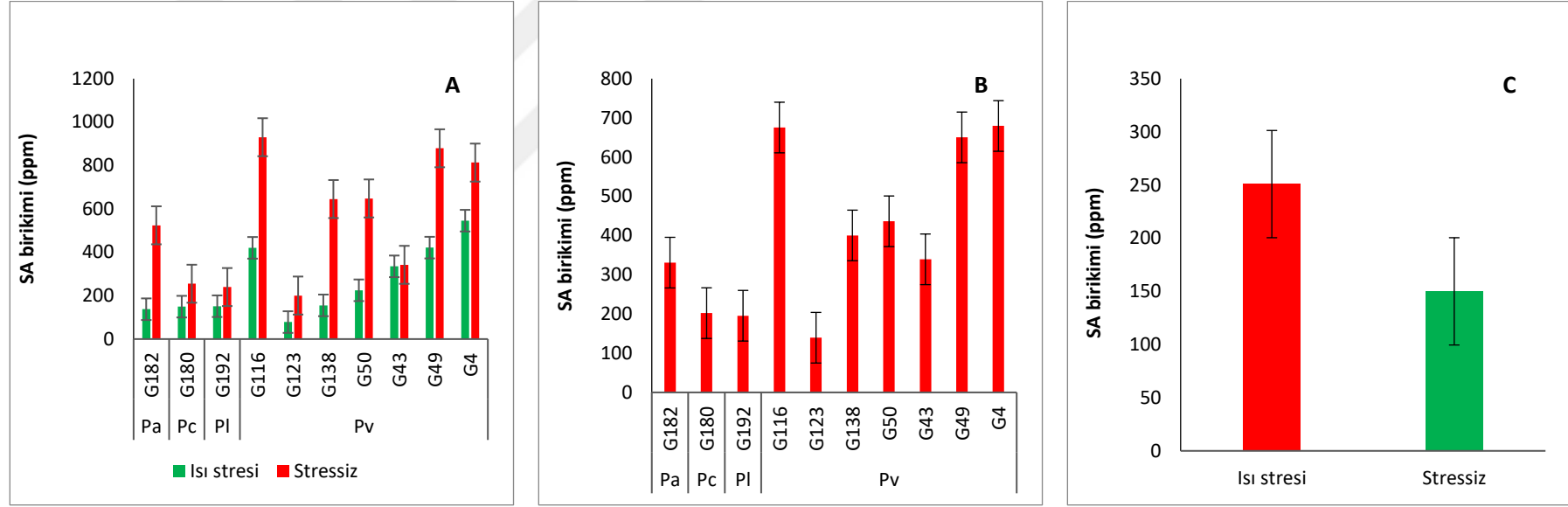
Şekil 4.9. *Phaseolus* genotiplerinin yapraklarında jasmonik asit (JA) birikimini. Çubuklar, ortalama $\pm$ standart hataları göstermektedir. A: Sıcaklık stresli (HS) ve stressiz (NS) büyüme koşulları altında her bir genotipin varyasyonu; B: genotipler arasındaki varyasyon; C: Sıcaklık stresli (HS) ve stressiz (NS) büyüme koşulları altında tüm genotiplerin toplam varyasyonu; Pa: *P. acutifolius*; Pc: *P. coccineus*; Pl: *P. lunatus*; ve Pv: *P. vulgaris*. G4 ve G49 sıcaklığa duyarlı genotipler iken, geri kalanlar sıcaklığa toleranslı genotiplerdir.

4.2.3. *Phaseolus* genotiplerinde salisilik asit birikimi

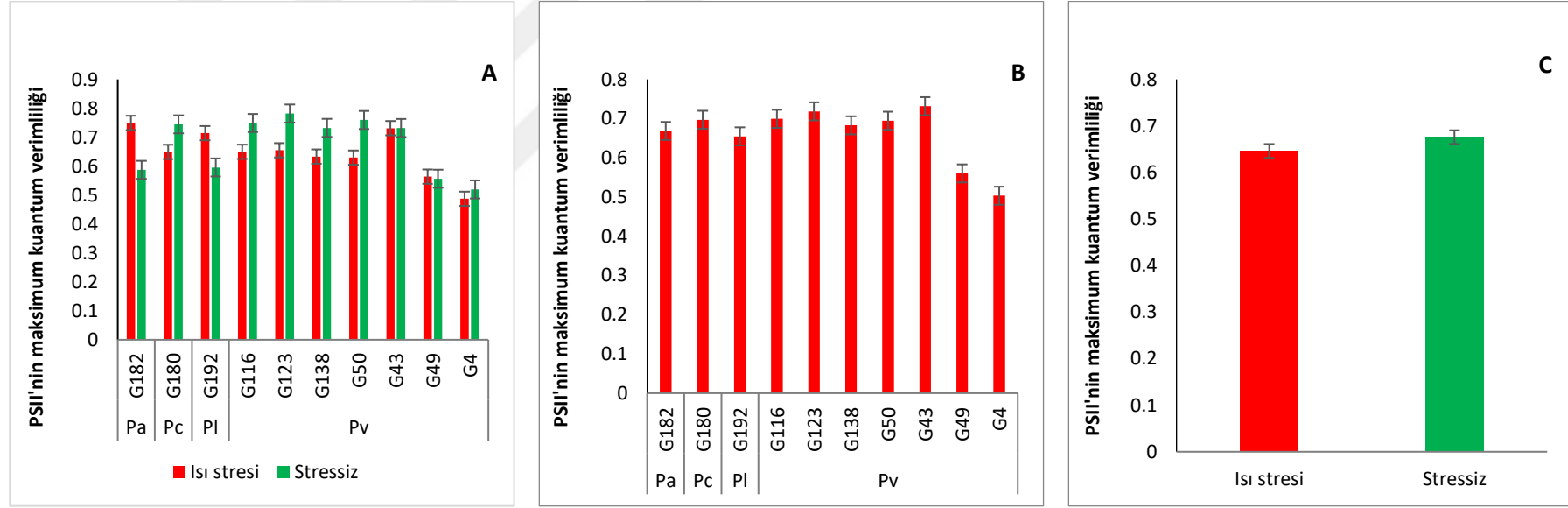
Şekil 4.10A'da verilen sonuçlar, sıcaklık stresli (HS) ve stressiz (NS) büyüme koşulları altında farklı *Phaseolus* genotiplerinde salisilik asit (SA) birikimini tanımlamaktadır. Sonuçlar, her iki koşul altında genotipler arasında SA birikiminde önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir ($p<0,05$). *P. vulgaris* genotiplerinde, sıcaklığa toleranslı G116, ile sıcaklığa hassas G4 ve G49 genotipleri, sırasıyla 813.3 ppm, 645.2 ppm ve 648.0 ppm değerleriyle HS koşulları altında NS koşullarına kıyasla daha yüksek SA birikimine sahiptirler. *P. acutifolius* (137,6 ppm), HS büyüme koşullarında yüksek SA birikimi göstermiştir. Öte yandan, *P. coccineus*, *P. lunatus* ve *P. vulgaris*'in iki genotipi (G123 ve G43) HS ve NS koşulları arasında SA birikiminde önemli farklılıklar göstermemiştir. Şekil 4.10B, farklı genotipler arasında SA birikiminde önemli bir fark olduğunu göstermektedir. *P. vulgaris* grubunda, sıcaklığa duyarlı genotipler G4 ve G49 ile sıcaklığa toleranslı genotip G116, sırasıyla 679,5 ppm, 650,4 ppm ve 675,4 ppm değerleriyle en yüksek SA birikimini sergilemiştir. Buna karşılık, *P. acutifolius*, *P. coccineus* ve *P. lunatus* sırasıyla 330,9 ppm, 202,2 ppm ve 195,5 ppm değerleriyle düşük SA birikimine sahiptir. Ayrıca, Şekil 4.10C NS ve HS koşulları arasında SA birikiminde önemli bir fark olduğunu göstermektedir. HS koşullarına maruz kalan bitkiler 547,8 ppm ile daha yüksek bir ortalama SA birikimine sahipken, NS koşulları altındaki bitkiler 259,4 ppm ile önemli ölçüde daha düşük bir ortalama SA birikimi göstermiştir.

4.2.4. *Fotosistem II*'nin maksimum kuantum verimliliğinin değişimi

Şekil 4.11A'da rapor edildiği üzere fasulye genotiplerinin yapraklarındaki fotosistem II'nin maksimum kuantum verimliliği (Fv/Fm), sıcaklık stresli ve stressiz büyüme koşulları altındaki bitkiler arasında önemli bir farklılık göstermiştir ($p<0,05$). *P. acutifolius*, *P. coccineus*, *P. lunatus* ve *P. vulgaris*'in 4 genotipi (G116, G123, G138 ve G50) HS altında en yüksek Fv/Fm değerini elde etmiştir. Sıcaklığa duyarlı *P. vulgaris* genotipleri (G4 ve G49) ve G43, HS ve NS büyüme koşulları arasında önemli bir Fv/Fm farkı göstermemiştir. Şekil 4.11B'de sunulan on *Phaseolus* fasulye genotipi arasındaki Fv/Fm açısından sonuçlar, genotipler arasında önemli bir varyasyon olduğunu göstermiştir ($p<0,05$). Sıcaklığa duyarlı *P. vulgaris* genotipleri G4 ve G49 sırasıyla 0,505 ve 560 değerleriyle en düşük Fv/Fm değerini elde etmiştir. *P. acutifolius*, *P. coccineus*, *P. lunatus* ve beş *P. vulgaris* genotipi (G116, G123, G138, G50 ve G43) en yüksek Fv/Fm değerini göstermiştir (sırasıyla 0,699, 0,719, 0,683, 0,694 ve 0,732) (Şekil 4.11B). NS ve HS büyüme koşulları arasında önemli bir Fv/Fm farkı tespit edilmemiştir (Şekil 4.11C). HS koşullarına tabi tutulan bitkiler ortalama 0,675 Fv/Fm değeri sergilerken, NS uygulaması altındaki bitkiler ortalama 0,646 Fv/Fm değeri sergilemiştir (Şekil 4.11C).



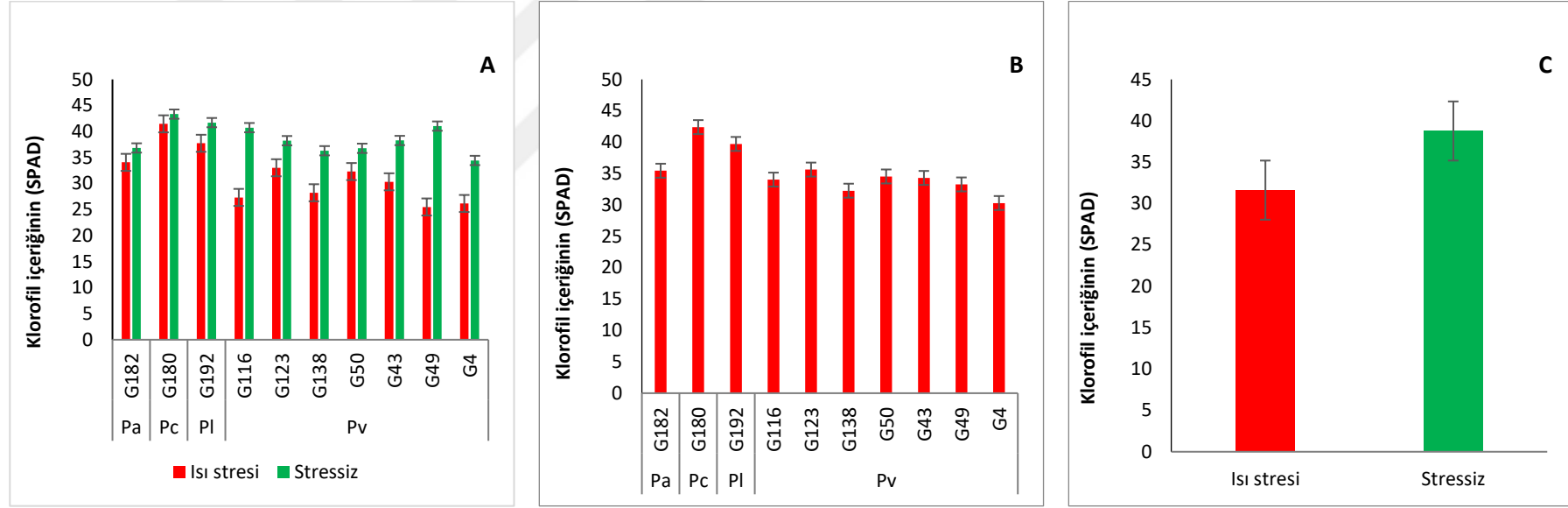
Şekil 4.10. *Phaseolus* genotiplerinin yapraklarında salisilik asit (SA) birikiminin değişimi. Çubuklar ortalama $\pm$ standart hataları göstermektedir. A: HS ve NS büyüme koşulları altında her bir genotipin varyasyonu; B: genotipler arasındaki varyasyon; C: HS ve NS büyüme koşulları altında tüm genotiplerin toplam varyasyonu; Pa: *P. acutifolius*; Pc: *P. coccineus*; Pl: *P. lunatus*; ve Pv: *P. vulgaris*. G4 ve G49 sıcaklığa duyarlı genotipler iken, geri kalanlar sıcaklığa toleranslı genotiplerdir.



Şekil 4.11. *Phaseolus* genotiplerinin yapraklarında fotosistem II'nin maksimum kuantum verimliliğinin (F_v/F_m) değişimi. Çubuklar ortalama $\pm$ standart hataları göstermektedir. A: HS ve NS büyüme koşulları altında her bir genotipin varyasyonu; B: genotipler arasındaki varyasyon; C: HS ve NS büyüme koşulları altında tüm genotiplerin toplam varyasyonu; Pa: *P. acutifolius*; Pc: *P. coccineus*; Pl: *P. lunatus* ve Pv: *P. vulgaris*. G4 ve G49 sıcaklığa duyarlı genotipler iken, geri kalanlar sıcaklığa toleranslı genotiplerdir.

4.2.5. *Phaseolus* genotiplerinde klorofil içeriğinin değişimi

Şekil 4.12A'da göüleceği gibi *Phaseolus* genotiplerinin yapraklarındaki klorofil içeriği (CC), sıcaklık stresli (HS) ve stressiz (NH) büyüme koşulları altındaki bitkiler arasında önemli bir farklılık göstermiştir ($p<0,05$). HS büyüme koşulları altında, *P. acutifolius*, *P. lunatus* ve *P. vulgaris*'in tüm genotipleri daha düşük bir CC seviyesi sergilemiştir. Özellikle, *P. coccineus* HS ve NS büyüme koşulları arasında CC'de önemli bir fark göstermemiştir, bu da uygulamadan bağımsız olarak tutarlı CC değerlerine işaret etmektedir. Çalışma ayrıca incelenen genotipler arasında CC değerlerinde önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur ($p<0,05$). *P. coccineus* ve *P. lunatus* sırasıyla 42,40 ve 39,72 ile üstün klorofil içeriğine işaret eden en yüksek CC değerini sergilemiştir. G138 (30,30) genotipleriyle ilişkili sıcaklığa duyarlı G4 (32,27) ve G49 (33,27) genotipleri, yapraklarında nispeten daha düşük klorofil içeriğine işaret eden en düşük CC değerlerini sergilemiştir (Şekil 4.12B). Genel olarak, CC, Şekil 4.12C'de gösterildiği gibi NS ve HS büyüme koşulları arasında önemli farklılıklar göstermiştir ($p<0,05$). HS büyüme koşulları altında, CC değerleri ortalama 31,62 ile belirgin şekilde daha düşüktür. Buna karşılık, NS büyüme koşulu altındaki bitkiler ortalama 38,76 ile önemli ölçüde daha yüksek bir CC değeri sergilemiştir.



Şekil 4.12. *Phaseolus* genotiplerinin yapraklarındaki klorofil içeriğinin (CC) değişimi. Çubuklar, ortalama $\pm$ standart hataları göstermektedir. A: HS ve NS büyüme koşulları altında her bir genotipin varyasyonu; B: genotipler arasındaki varyasyon; C: HS ve NS büyüme koşulları altında tüm genotiplerin toplam varyasyonu; Pa: *P. acutifolius*; Pc: *P. coccineus*; Pl: *P. lunatus*; ve Pv: *P. vulgaris*. G4 ve G49 sıcaklığa duyarlı genotipler iken, geri kalanlar sıcaklığa toleranslı genotiplerdir.

5. TARTIŞMA

5.1. *Phaseolus* Genotiplerinde Sıcaklık Stresi Gözlemi

Phaseolus genotipleri hem sera (aşırı yüksek sıcaklık stresi) hem de tarla (orta yüksek sıcaklık stresi) koşullarında gelişim döngüleri boyunca sıcaklık stresine maruz bırakılmıştır. Bitkiler büyüdükçe sıcaklık stresi kademeli olarak artmış, maksimum sıcaklığa çiçeklenme ve bakla dolumu sırasında ulaşılmıştır. Fasulye çiçeklenme ve bakla doldurma aşamalarında sıcaklık stresine özellikle duyarlı bir bitkidir ve bitkiler serada aşırı sıcaklık stresi koşulları altında düşük çiçeklenme ve meyve verme görülmüştür. Bununla birlikte, serada çiçek ve bakla üretemeyen birçok genotip, tarla koşullarında iyi dolu baklalar üretebilmiştir. Aşırı sıcaklık koşullarında (serada) günlük maksimum sıcaklık 43,9 °C iken, orta sıcaklık stresi koşullarında (tarlada) 29,2 °C olmuştur. Bu, önceki araştırmalara göre 20 ila 25 °C arasında olan fasulye için optimum büyüme sıcaklığından daha çok daha yüksektir (Porch 2006; Porch ve Jahn 2001; Sehgal vd. 2017; Stefanov vd. 2011). Sıcaklık stresi, tarladaki orta dereceli sıcaklık stresi koşullarına kıyasla seradaki aşırı sıcaklık stresi koşullarında verimde önemli bir azalmaya yol açmıştır (Şekil 4.4).

Bishop vd. (2016), bakla (*Vicia faba* L.) üzerinde yaptıkları çalışmaların sonuçlarına göre, bitkilerin uzun süre sıcaklık stresine maruz kalmasının bir sonucu olarak verimdeki azalmanın nedenini yüksek sıcaklık stresinin olumsuz etkisi olarak açıklamışlardır. Birçok kültür bitkisinde polen canlılığının ve çimlenme gücünün azalması nedeniyle, sıcaklık stresi koşulları altında bitkinin en çok etkilenen kısmının çiçekler olduğunu belirtmişlerdir (Bokshi vd. 2022; Devi vd. 2022; M. Liu vd. 2022; Lohani vd. 2022; Tamindžić vd. 2023; Ullah vd. 2022). Birçok araştırmacı, fasulyenin erkek ve dişi üreme organlarının sıcaklık stresine en duyarlı organları olduğunu fakat erkek organların daha da duyarlı olduğunu bildirmişlerdir (Irit ve J 1991; Porch ve Jahn 2001). Sıcaklık stresi, bitkilerde erkek üreme organları üzerinde olumsuz etkilere yol açarak polen olgunlaşması, çimlenmesi ve polen tüpü oluşumunda azalmaya neden olmaktadır. Bu da tozlaşmanın başarısız olmasına ve ardından yumurtaların döllenmemesine neden olabilir. Çevresel faktörlere ek olarak, bitkilerin spesifik genetik yapısı da sıcaklık stresine dayanma yeteneklerini belirlemede rol oynar. Çiçeklenmeye kadar geçen günler, bakla dolumuna kadar geçen günler ve olgunluk süresi gibi nicel fenolojik özellikler, sıcaklık stresinin bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılabilir. Bu özellikler hem bitki genotipinden hem de çevresel koşullardan etkilenebilir. Bu özellikler ile erkencilik sağlayan bitkiler, yüksek sıcaklıklara maruz kalma sürelerini azaltarak stresten kaçabildikleri için sıcaklık stresine karşı daha fazla toleransa sahip olabilirler. Sıcaklık stresinin bitki üreme organları ve büyüme üzerindeki etkileri karmaşık ve çok yönlü olabilir ve çeşitli genetik ve çevresel faktörlere bağlıdır. Bu faktörleri anlamak, sıcaklık stresinin bitkisel üretim ve verim üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmek için önemlidir (Begcy vd. 2018; Hasanuzzaman vd. 2013; Takeno 2016). Çiçeklenmeye kadar geçen günler ve bakla dolumuna kadar geçen günler, her iki yılda da aşırı sıcaklık stresine (sera) kıyasla orta sıcaklık stresinde (tarla) daha uzun olmuştur (Şekil 4.2). Seradaki yüksek sıcaklıklara rağmen, düşük meyve verme oranı, erkenciliğin düşük çiçeklenme ve meyve verme özelliğinden kaynaklandığını düşündürmektedir. Önceki çalışmalar, yüksek sıcaklıkların belirli gelişim aşamalarını başlatabileceğini ve bitkilerde erken büyümeyi teşvik edebileceğini göstermektedir (Dubal vd. 2016; Neto vd. 2006). Üç sıcaklık stresine

direnç mekanizması tanımlanmıştır: erkencilik, koruyucu morfolojik özellikler yoluyla kaçınma ve ısı ile ilgili solütlerin birikimi yoluyla tolerans (Toker vd. 2007). Erken çiçeklenen *Phaseolus* genotipleri, kritik aşamaları Şekil 3.2 ve 3.3'teki daha yüksek sıcaklık döneminden önce gerçekleştiği için sıcaklık stresinden kaçma konusunda daha avantajlıdır (Matías vd. 2021).

Her bir genotipin kantitatif morfolojik özelliklerinin ifadesi orta ve aşırı sıcaklık stresi koşulları altında değişmektedir (Şekil 4.3). Bu durum, sıcaklık stresinin fasulyenin büyümesi ve gelişmesi üzerindeki etkilerinin genotipe bağlı olduğu anlamına gelebilir ve bu bilgi sıcaklığa dayanıklı çeşitler geliştirmeyi amaçlayan ıslah programları için yararlı olabilir. Fasulyelerin büyümesi sınırlı (determinant/bodur/çalı) ve sarılcı (indeterminant/sırık) genotipleri olarak gruplandırılması, bu bitkilerin büyüme alışkanlıklarının anlaşılmasına yardımcı olabilir. Determinant genotipler sınırlı bir büyüme dönemine sahip olup belirli sayıda bakla üretirken, indeterminate genotipler büyüme mevsimi boyunca büyümeye ve bakla üretmeye devam eder. Bu bilgi, belirli büyüme alışkanlıklarına veya verim özelliklerine sahip bitkiler geliştirmeyi amaçlayan ıslah programları için de yararlı olabilir (IBPGR 1982). Bitkinin büyüme şekli, sıcaklık stresine karşı toleransını etkileyen ve düşük veya yüksek sıcaklıklara yanıt olarak büyümeyi ayarlamasına olanak tanıyan önemli bir özelliktir. Aşırı sıcaklık stresi koşullarında, bodur büyüme alışkanlığına sahip bazı erkenci genotipler olgun baklalar üretirken, sarılcı genotipler çiçek dejenerasyonu yaşamıştır. Fasulyede farklı büyüme şekil ve tipleri bildirilmiştir (Bozoğlu ve Sözen 2007; IBPGR 1982; Kornegay vd. 1992).

Boyutlarına ve boğum sayılarına göre iki tip *Phaseolus* fasulyesi vardır: bodur tip ve sarılcı (tırmanıcı) tip. Bodur genotipler tipik olarak ana gövdede üç ila on boğuma sahiptir ve gövde her zaman bir grup çiçekle sonlanır. Çiçekler oluştuktan sonra büyüme durur. Öte yandan, sarılcı tiplerin ana gövdesinde 11 ila 35 boğum bulunur ve gövdeleri duruma göre hızlı veya orta derecede olabilen bir sarılma tarzında büyür. İki yaygın fasulye türü arasındaki bu morfolojik farklılıklar, yetiştiriciliğinin yanı sıra yemek pişirme ve beslenmede kullanımları için önemli etkilere sahip olabilir (Bozoğlu ve Sözen 2007). Öte yandan, diğer bazı genotipler sarılcı değildir ve yere yayılma eğilimindedir (Michelangeli vd. 2019; Repinski vd. 2012). Fasulyede büyüme şekli genetik faktörlerce idare edilmesine rağmen, ister bodur isterse sarılcı tipte olsun çevresel faktörlerin etkileşiminden güçlü bir şekilde etkilenir (Michelangeli vd. 2019). Bununla birlikte, bu morfolojik özellikler daha ziyade genotip ve çevre etkileşiminden kaynaklanan yerleşik bir doğal adaptasyonun sonucu olabilir. Bu bağlamda, Cortés and Blair (2018) DREB, ASR ve ERECTA gibi aday genlerin kuraklık toleransı ile ilişkili olduğunu belirtmiştir. Aşırı sıcaklık stresi koşulları altında belirli özellikler sergileyen genotiplerin, seçici baskılar yoluyla bu özelliklerden sorumlu genleri miras almış olması mümkündür. Bu, çevresel baskılar nedeniyle belirli özelliklerin bir popülasyonda daha yaygın hale geldiği adaptasyon olarak bilinir. Bununla birlikte, özelliklerin kazanılmasının genetik mutasyonlar, rekombinasyon ve diğer mekanizmalar yoluyla da gerçekleşebileceğini belirtmek önemlidir. Ayrıca, özellikle *P. acutifolius* türünde kültüre alma merkezleri kurak bölgelerle karakterize edilebilirken, bu bölgelerdeki tüm yabani türlerin mutlaka aynı özellikleri sergileyemeyeceğini de belirtmek gerekir. Ayrıca, kültüre alma sürecinde belirli özellikler için insan seçilimi gibi başka faktörler de söz konusu olabilir (Cortés ve Blair 2018; Cortés vd. 2018).

Sıcaklık stresine bağlı verim kayıpları aşırı sıcaklık stresi (sera) koşullarında orta sıcaklık stresi (tarla) koşullarına göre daha yüksek olmuş ve bazı genotiplerde %100'e kadar çıkmıştır (Şekil 4.4). Sıcaklık stresinin etkileri dünyada bölgeden bölgeye farklılık gösterdiğinden (IPCC 2022), bu çalışmada olduğu gibi aşırı sıcaklık koşullarına dayanıklı *Phaseolus* genotiplerine ihtiyaç duyulacaktır. Bu anlamda, son yıllarda Anadolu'nun güney kesiminde ortalama ve aşırı maksimum sıcaklıklar artmakla kalmamış, aynı zamanda yağışlar da düzensiz ve yetersiz olarak kaydedilmiştir (Yönten Balaban ve Akman 2022). Anadolu'nun güney kesiminin iklim değişikliğinden en çok etkilenen bölgelerden biri olacağı tahmin edilmektedir. Sıcaklık stresi etkilerine bağlı verim düşüşü, Nemeskéri vd. (2008) tarafından açıklanan ve verimdeki düşüşün özellikle sıcaklık stresinden etkilenen üreme organlarının değişmesinin bir sonucu olduğunu gösteren durumla benzerlik göstermektedir (da Silva vd. 2018; Porch ve Jahn 2001; Rainey ve Griffiths 2005; Vargas vd. 2021). Fasulye türlerinin sıcaklık stresine toleransında genlerin rolü karmaşıktır ve incelenen türe ve özelliğe bağlı olarak değişebilir. Shonnard and Gepts (1994), fasulyede sıcaklık stresinin kantitatif kalıtımla sonuçlandığını rapor etmiştir. Önemli eklemeli gen etkilerinin mevcut olduğunu bulmuşlardır, bu da fasulyede ısı toleransı için seleksiyonun bu iki özellik için mümkün olabileceğini düşündürmektedir. Öte yandan, fasulyede sıcaklık stresine yanıt olarak üreme organlarında yüksek oranda çiçek dökülmesinin ana genler tarafından kontrol edildiği bulunmuştur. Bu, bu özelliğin kalıtımının birden fazla gendeki sürekli varyasyondan ziyade, önemli etkileri olan az sayıda gen tarafından belirlendiği anlamına gelmektedir (Rainey ve Griffiths 2005). Çalışmamız, seradaki aşırı sıcaklık stresinin hem çiçek dökülmesine hem de bakla düşüklüğüne yol açtığını ve bunun da tarladaki orta sıcaklık stresine kıyasla en düşük verimle sonuçlandığı ortaya konmuştur. Çevresel koşulların bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki etkisine ve aşırı stresin verimini nasıl önemli ölçüde etkileyebileceğine dikkat etmek önemlidir. Sera koşullarında sıcaklık stresinin bitki büyümesi ve verimi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmanın yollarını araştırmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulabilir.

Sıcaklık, bitki büyümesini ve gelişimini etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biridir. Sıcaklığın bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki etkileri hem doğrudan hem de dolaylı olabilir. Sıcaklığın doğrudan etkileri, bitki büyümesi ve gelişimi için gerekli olan enzimatik aktivitenin ve hormon üretiminin uyarılmasını içerir. Sıcaklığın dolaylı etkileri arasında, bitkinin su dengesini ve fotosentez yapma kabiliyetini etkileyebilen, bitkilerin etrafındaki nem oranındaki değişiklikler yer alır. Sıcaklığın bu doğrudan ve dolaylı etkileri sonuçta bitkilerin fenolojik, agro morfolojik ve fizyolojik özelliklerini etkileyebilir (Dubal vd. 2016; Essemine vd. 2010). Bitkiler belirli bir sıcaklık aralığında gelişir ve bu aralığın dışındaki her şey büyümeleri ve hayatta kalmaları için zararlı olabilir. Bitki hücrelerine 45 °C'nin üzerindeki sıcaklıklar zarar verebilir ve bitkinin ölümüne yol açabilir, ancak bazı sıcaklıklar da bitkilere fayda sağlayabilir. Örneğin, düşük sıcaklıklar fizyolojik değişikliklere neden olarak tohum çimlenmesini teşvik edebilir. Yüksek sıcaklıklar ve çevresel stresle başa çıkmak hem genetik hem de çevresel faktörlere bağlıdır. Bazı bitki genotipleri strese daha iyi uyum sağlayabilir ve yaşam döngülerini daha hızlı tamamlayabilirken, diğerleri daha savunmasız ve hasara eğilimli olabilir (Neto vd. 2006).

Açık tarlaya kıyasla serada daha fazla sıcaklık stresi baskısı nedeniyle, 1,0 ile 3,0 arasında puan alan G191, G183, G123, G13, G50, G59, G192, G96 ve G181 genotipleri dışında neredeyse tüm genotipler için verim sıfır olmuştur. Bu sonuçlar daha önce rapor

edilen sonuçlar ile uyumludur (da Silva vd. 2018). *P. acutifolius*, geç çiçeklenmesine rağmen fasulye genotipleri arasında sıcaklık stresine karşı daha dirençli bulunmuştur. Aztek fasulyesi gibi bazı türler için bu durum, Meksika ve Amerika Birleşik Devletleri arasındaki kurak bölgelerden köken alması, kuraklık ve sıcaklık stresi gibi cansız streslere adaptasyon mekanizmalarını geliştirdiği çeşitli seçici baskılara maruz kalmış olmasıyla açıklanabilir (Buitrago-Bitar vd. 2021; Cortés vd. 2020). Fasulyeye kıyasla Aztek fasulyesinin kuraklık ve yüksek sıcaklığa toleranslı olması, fasulyenin genel olarak cansız streslere ve özel olarak sıcaklık stresine karşı ıslahında kullanılabilir. *P. lunatus* ve *P. coccineus* genotipleri erken çiçeklenme nedeniyle kaçış yeteneğine sahiptir. Suárez vd. (2020) bazı *P. acutifolius*, *P. vulgaris* genotiplerinin ve *P. vulgaris* × *P. acutifolius* ve *P. vulgaris* × *P. acutifolius* × *P. coccineus* arasındaki türler arası ve tür içi melezlemelerden (çaprazlamalardan) elde edilen hatların yüksek sıcaklığa daha iyi uyum sağladığını tespit etmiştir. Bu durum, bu çalışmada kullanılan *P. acutifolius* aksesyonlarının sıcaklık stresine tolerans genlerine sahip olduğunu göstermektedir. *P. acutifolius*'un toleransı, sıcaklık stresine eşlik eden kuraklığa eğilimli ortamlarda (Burbano-Erazo vd. 2021) yüksek oranda uyum sağlamış bitki mimarisi ile ilişkilendirilebilir. Diğer çalışmalarda olduğu gibi, sıcaklık stresine toleranslı bazı fasulye genotipleri rapor edilmiştir (Beebe vd. 2009; Rainey ve Griffiths 2005) ve bu genotipler, *P. acutifolius*, *P. coccineus* ve *P. dumosus* dahil olmak üzere diğer *Phaseolus* türleri ile fasulyenin tür içi ve türler arası melezleme çalışmalarında kullanılabilir (Suárez vd. 2020).

Path analizinin, bitkilerin agro morfolojik özellikleri veya verim bileşenleri (Ambachew vd. 2015; Darkwa vd. 2016) ile stres toleransı (Chrigui vd. 2020; Eker vd. 2022) arasındaki doğrudan ve dolaylı ilişkileri gösterdiği bildirilmiştir (Wright 1923). Mevcut literatüre göre, bu çalışma *Phaseolus* tür ve genotiplerinde path analizi kullanılarak sıcaklık stresine dayanıklılık ile agro morfolojik özellikler veya fizyolojik özellikler arasındaki doğrudan ve dolaylı ilişkilerin tespit edildiği ilk çalışmadır (Vargas et al., 2021). Porch (2006), 100-dane ağırlığı, bitki başına bakla sayısı ve hasat indeksinin, bitki sıcaklık stresine maruz kaldığında verim için seleksiyonda kullanılabilecek agronomik faktörler olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, biyokütle, sıcaklık stresi koşulları altında sıcaklığa dayanıklılık puanı üzerinde en yüksek etkiye sahip olmuştur (Çizelge 4.1 ve 4.2). Petkova vd. (2007), sıcaklık stresinin hücrelerde su kaybına neden olduğunu ve bu çalışmada olduğu gibi yapraklarda daralmaya yol açtığını göstermiştir. Bu morfolojik özellikler, Rana vd. (2015) tarafından fasulyede genetik çeşitliliğin ifadesinde bildirilen sonuçlarla tutarlıdır. Klorofil içeriğinin (CC) ve PSII'nin maksimum kuantum verimliliği, sıcaklık stresinden güçlü bir şekilde etkilenen fizyolojik parametrelerdir ve bitkinin sıcaklık stresine karşı direncini sınıflandırmak için önemlidir (Chavez-Arias vd. 2018). Path analizlerine göre, fizyolojik özellikler olarak CC ve PSII'nin maksimum kuantum etkinliği, sıcaklık stresine direnç değerleri üzerinde en önemli etkiye sahiptir. PSII'nin maksimum kuantum verimliliği birçok bitki türünde stresle ilişkilendirilmiştir (Kettler vd. 2022; Yun vd. 2022) ve sıcaklık stresi koşulları altında önemli bir seçim kriteri olarak önerilmiştir (Devi vd. 2022; Zhou vd. 2018). Fizyolojik özelliklere gelince, CC ve PSII'nin maksimum kuantum verimliliği, fasulye yetiştirme programlarında sıcaklık stresine direnç için seçim kriterleri olarak düşünülebilir.

Kantitatif morfolojik özelliklerin temel bileşen analizi, genotiplerin ısı stresli (sera) ve stressiz (tarla) koşullar arasındaki değişkenliğini en çok etkileyen ana özellikleri ortaya çıkarmıştır. Seradaki sıcaklık stresi nedeniyle neredeyse tüm genotiplerin verimi çok az

gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar, Porch (2006), da Silva ve dos da Silva vd. (2018) 100-dane ağırlığı, bitki başına bakla sayısı ve hasat indeksinin, bitki sıcaklık stresine maruz kaldığında verimi daha iyi etkileyebilecek agronomik faktörler olduğunu gösteren sonuçlarıyla uyumludur. Ara genotiplere sahip *P. coccineus* tarlada daha iyi performans göstermiştir.

Morfolojik ve agronomik özellikler arasındaki ve genotipler arasındaki uyum, genotiplerin dört ana kümede gruplandırılmasına yol açmıştır (Şekil 4.7). Sıcaklık stresine tolerans özelliklerine sahip genotipleri belirleme hedefimize uygun olarak, stresli bir ortamda performansın farklı bileşenlerini daha iyi ifade eden genotipler en çok ilgiyi çekmiştir. Bununla birlikte, tarla koşullarında, sıcaklık stresi genellikle kuraklıkla çakışır ve kuraklık stresinin etkilerini şiddetlendirir, bu da tolerans ve biyokütle ve verim tahsisi açısından ikisi arasında gerçek bir sınır oluşturmayı zorlaştırır (Porch 2006; Traub vd. 2018). Genellikle kuraklık stresiyle aynı zamanda ortaya çıkan sıcaklık stresi, kuraklık hasarının artmasına katkıda bulunur (Beebe vd. 2013). Ayrıca, bitkilerin sıcaklık stresi ve kuraklığa karşı tepkileri diğer cansız streslerle aynıdır. López-Hernández and Cortés (2019) çalışmalarında, fasulyede yüksek sıcaklıklara toleransla ilişkili biyolojik süreçlerle ilişkili olduğunu düşündükleri dokuz geni izole etmişlerdir; bunlar arasında Pv08'deki iki transkripsiyon faktörü ve Pv06'daki YTH protein alanları bitki gelişimi ve kuraklık ve ısı gibi cansız streslere yanıtta rol oynamıştır. Fasulye üzerindeki kuraklık etkilerinden kurtulmak için bu çalışmada bitkiler düzenli olarak sulanmıştır. Bu çalışmada sıcaklık ile ilgili özelliklerin dayanıklı donör *Phaseolus* fasulyesinden arzu edilen fasulye çeşitlerine aktarılabilmesi düşünülmektedir (Cortés ve López-Hernández 2021). Baklada yapılan seleksiyon çalışması (Akgun ve Canci 2023) gibi, yüksek sıcaklığa dayanıklı olarak seçilen fasulye genotipleri, özellikle Türkiye'nin Akdeniz bölgesinde ikinci ürün olarak aşırı sıcaklık stresi koşulları altında doğrudan yetiştirme potansiyeline sahiptir.

5.2. Sıcaklık Stresi Tepkilerinin Hormonlar ve Fotosentez Analizi

Çalışmanın bu kısmında yüksek sıcaklık stressiz (NS) ve sıcaklık stresli (HS) koşullarında yürütülen iki bağımsız denemede 10 *Phaseolus* tür ve genotipinde absisik asit (ABA), jasmonik asit (JA) ve salisilik asit (SA) düzeyleri ve iki fizyolojik parametre (Fotosistem II'nin maksimum kuantum verimliliği (Fv/Fm) ve klorofil içeriği (CC) araştırılmıştır. Sekiz ısıya tolerant ve iki duyarlı fasulye tür ve genotipi kullanılmıştır. Genotipler arasında fasulye (*Phaseolus vulgaris*), Aztek fasulyesi (*P. acutifolius* A. Gray), ateş ya da bombay fasulye (*P. coccineus* L.) ve Lima fasulyesi (*P. lunatus* L.) kullanılmıştır (Tene vd. 2023).

5.2.1. Sıcaklık stresine yanıt olarak fitohormonal varyasyonlar

Stressiz (NS) ve sıcaklık stresi (HS) koşulları altındaki genotipler arasında ABA, JA ve SA birikimleri üzerinde dikkate değer farklılıklar gözlenmiştir. Spesifik olarak, bazı genotipler, NS koşullarına kıyasla HS altında önemli ölçüde daha yüksek ABA, JA ve SA seviyeleri gösterirken, diğerleri iki koşulda da tutarlı seviyelerini korumuştur. Bu sonuçlar, *Phaseolus* tür ve genotiplerinde sıcaklık stresinin fitohormon seviyeleri üzerindeki önemli etkisini vurgulamaktadır (Soltani vd. 2019; Vargas vd. 2021). Birçok genotipte HS altında ABA, JA ve SA seviyelerinin artması, bitkinin sıcaklık stresine verdiği tepkiyi (Vargas vd. 2021) göstermektedir (Wang vd. 2021; Yang vd. 2023). ABA

birçok çalışmada hem canlı hem de cansız streslerde salgılanan hormonu olarak iyi bilinmektedir (Alazem ve Lin 2017). Bitkilerde cansız streslerin iyileştirilmesindeki rolü, stres dışı koşullar altında bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için önemli olması ile iyi bilinmektedir (Dar vd. 2017; Mehrotra vd. 2014). ABA, bitkilerde cansız stres toleransının düzenlenmesinde en kritik ve merkezi hormondur ve bu tür streslere karşı içsel (endojen) bir tolerans indükleyicisi olarak hareket eder (Dar vd. 2017). Bir siklopentan yağ asidi olan fitohormon jasmonik asit (JA), cansız streslere karşı bitki tepkilerine aracılık eder. JA seviyelerindeki artış, sıcaklık stresi adaptasyonu da dahil olmak üzere canlı ve cansız streslere karşı bitki savunmasına katkısını göstermektedir (Hou ve Tsuda 2022; Li vd. 2022). Cansız streste, JA genellikle fizyolojik ve moleküler tepkilerde rol oynar (Wang vd. 2020). Cansız stresler, JA biyosentezinde ve sinyalizasyonunda yer alan genlerin ekspresyonunu düzenleyerek JA metabolizmasını ve JA yanıtlarını hızlı ve dinamik bir şekilde etkileyerek JA'nın bitki cansız stres yanıtlarında çok önemli bir role sahip olduğunu göstermektedir (Kim vd. 2021; Wang vd. 2020). Birçok çalışma, JA'yı cansız strese karşı bitki direnci ile yakından ilişkili bir bitki sinyal molekülü olarak tanımlamıştır. Birçok çalışma, SA biyotrofik ve yarı biyotrofik patojenlere karşı bağışıklığı destekleyen temel bir bitki savunma hormonu olduğunu kanıtlamış olsa da son çalışmalar SA'nın kuraklık, yüksek ve düşük sıcaklık, tuzluluk, ozon, UV radyasyonu ve ağır metaller gibi cansız stres tepkilerinin sinyallenmesine de katıldığını göstermiştir (Cai vd. 2022; Hara vd. 2012; Khan vd. 2015; J. Liu vd. 2022). Bazal savunmada ve lokal immün yanıtların amplifikasyonunda ve sistemik edinilmiş direncin oluşturulmasında çok önemli roller oynar (Peng vd. 2021). SA, bitki savunma mekanizmalarını tetikleyebilir ve biyosidal zirai kimyasallara uygulanabilir bir alternatif haline getirebilir (Mohamed vd. 2020). Genel olarak, her iki hormonun, JA ve SA'nın yolları antagonistiktir ve bu etkileşim bitkinin çeşitli streslere karşı direncini indükler (Bari ve Jones 2009; Ghorbel vd. 2021). Benzer şekilde, daha yüksek ABA seviyeleri, stoma kapanması ve antioksidan sistemler gibi stres tepkilerini düzenlemedeki rolüne bağlanabilir (Chen vd. 2020; Hsu vd. 2021). Bu çalışmada sunulan sonuçlar, Padilla vd. (2023) su stresi koşulları yaşayan aşılı biber bitkilerinde SA, ABA ve JA seviyelerinde bir artış gözlemleyen önceki araştırmalarla uyumludur. Mevcut çalışma ile Padilla vd. (2023)'nin araştırması arasındaki bu tutarlılık, cansız stresin, özellikle sıcaklık stresinin, bitkilerdeki fitohormon seviyeleri üzerindeki etkisinin anlaşılmasını daha da güçlendirmektedir. ABA'nın soğuğa duyarlı ve soğuğa dayanıklı Bermudagrass genotiplerinin tepkisi üzerindeki etkilerini araştırarak, Huang vd. (2017) soğuk stresin ABA birikiminin artmasına ve fotosistem II'nin performansına yol açtığını göstermiştir. Bu bulgular, ABA'nın özellikle soğuk streste, cansız strese karşı bitki toleransını geliştirmedeki rolünü vurgulamaktadır. Bu, HS koşullarında ABA'nın NS'ye kıyasla daha yüksek birikimi ile ilgili sonuçlarımızla doğrulanmaktadır (Şekil 4.9). Bununla birlikte, strese karşı fitohormon yanıtlarının (Verma vd. 2016), bu çalışmada *Phaseolus* tür ve genotipleri arasında gözlenen farklı kalıplarla kanıtlanmıştır. Genotipler ve stresli ya da stressiz koşullar arasındaki fitohormon seviyelerindeki önemli farklılıklar, *Phaseolus* tür ve genotiplerinde sıcaklık stresine verilen yanıtı yöneten karmaşık bir düzenleyici ağı göstermektedir. HS altında daha yüksek SA, ABA ve JA seviyeleri sergileyen genotipler, sıcaklık stresi ile başa çıkma yeteneklerini artıran genetik özelliklere sahip olabilir (Jha vd. 2022; Kapoor vd. 2021; Ohama vd. 2017; Zhao vd. 2020). Öte yandan, farklı stress koşulları arasında tutarlı seviyeleri koruyan genotipler, farklı stres tolerans mekanizmaları kullanabilir veya fitohormon birikimine yansımayan alternatif yollara güvendiği söylenebilir (Maheswari vd. 2021).

Ayrıca, genotipler arasında SA, ABA ve JA birikiminin önemli varyasyonları da bulunmuştur. En yüksek ABA birikimi *P. coccineus*'ta, en düşük ABA birikimi ise G43 ve *P. coccineus*'ta gözlenmiştir. Sıcaklığa duyarlı genotipler G4 ve G49 yüksek SA birikimlerine sahipken, *P. coccineus* ve *P. lunatus* ve bazı *P. vulgaris* genotipleri (G113) en düşük SA birikimlerine sahip olmuştur. Duyarlı genotip G49 en yüksek JA birikimine sahipken, G192 ve G50 en düşük JA birikimine sahip olmuştur. Sonuçlar, *Phaseolus* tür ve genotipleri arasında SA, ABA ve JA birikiminde önemli farklılıkların olduğunu göstermektedir. Bu, *Phaseolus* tür ve genotiplerinin fitohormon sinyalizasyonuna ve metabolizmasına farklı tepkiler gösterebileceğini düşündürmektedir. Bu varyasyonlar, bu fitohormonların sentezini, düzenlenmesini ve sinyal yollarını etkileyebilecek genotipler arasındaki genetik farklılıklardan kaynaklanabilir (Chen vd. 2020; Wani vd. 2016). HS koşulları altında bu fitohormonların daha yüksek birikimleri, bitkilerin sıcaklık stresi ile başa çıkmak için kullandıkları adaptif mekanizmaların katılımlarını göstermektedir (Jha vd. 2022). SA, savunma tepkilerini aktive etmedeki rolü ile bilinir ve birikimi, stresle ilişkili yolların aktivasyonunu göstermektedir (Bittner vd. 2022). ABA, bitki stres tepkilerinin kilit bir düzenleyicisidir ve artan birikimi, HS adaptasyonuna katılımını göstermektedir (Jha vd. 2022; Kapoor vd. 2021). JA, patojenlere ve böcek saldırılarına karşı savunma da dahil olmak üzere çeşitli stres tepkilerinde rol oynar ve birikimi, sıcaklık stresine karşı bitki direncindeki rolünü göstermektedir (Jha vd. 2022).

Fasulye genotipleri arasındaki fitohormon varyasyonlarını karşılaştırmak için önceki çalışmalardan veya çalışmalardan açıkça bahsedilmemektedir. Bununla birlikte, bu çalışmanın *Phaseolus* fasulyesi genotiplerinde SA, ABA ve JA'nın intergenotip varyasyonunu vurgulayarak mevcut bilgilere katkıda bulunduğu sonucuna varılabilir. Önceki çalışmalar farklı bitki türlerine odaklanmış olduğundan, bu çalışmayı çoklu genotipler ve fitohormonlar arasındaki kapsamlı bir analiz sağlaması açısından değerli kılmaktadır.

5.2.2. Sıcaklık stresine tepki olarak fotosentetik parametre varyasyonları

Fotosistem II (PSII)'nin kuantum verimliliği, fotosentezin ilk adımlarında yer alan bir protein kompleksidir. PSII fotokimyasının maksimum kuantum verimliliği, PSII fotokimyasının maksimum verimliliğini yansıtan Fv/Fm oranı ile ölçülür. Bitkilerde erken stres tespiti için yaygın olarak kullanılmaktadır (Sharma vd. 2015; Sharma vd. 2017). Genotipler ve uygulanan stres koşulları arasında fotosistem II'nin (Fv/Fm) maksimum kuantum etkinliğinde önemli farklılıklar gözlenmiştir. HS koşulları altında, *P. acutifolius* (G182) ve *P. lunatus* (G192), NS tedavisine kıyasla anlamlı derecede daha yüksek Fv/Fm seviyeleri göstermiştir. Bu, bu genotiplerin sıcaklık stresine karşı daha dirençli olduğunu ve stresli koşullar altında daha yüksek bir fotosentetik verimlilik seviyesini koruyabileceğini göstermektedir (Muñoz vd. 2021). Bu sonuca paralel olarak, Sharma vd. (2015) tarafından yapılan gibi birçok çalışma, sıcaklık stresi altında yüksek Fv/Fm için seçilen çeşitlerin yüksek fotosentez, toplam klorofil, stoma iletkenliği, terleme ve kuru maddeyi koruduğunu göstermiştir. Bu bulgular, bu çeşitlerin sıcaklık stresine karşı daha dirençli olduğunu ve stresli koşullar altında daha yüksek bir fotosentetik verimlilik seviyesini koruyabileceğini göstermektedir. Polania vd. (2020) *P. acutifolius*, kuzey Meksika ve güneydoğu ABD'nin daha sıcak ve daha kurak ortamlarından doğal olarak yetiştiği için genellikle aşırı kuraklık toleransı için seçilmiştir. Ek olarak, *P. acutifolius* türü Sonora Çölü'ne özgü olduğu için sıcağa ve kuraklığa yüksek oranda adapte olduğunu göstermektedir (Buitrago-Bitar vd. 2021; Moghaddam vd. 2021).

Sıcaklığa duyarlı genotip G4 ve G49, HS ve NS büyüme koşulları arasında anlamlı bir farklılık göstermemiştir ve HS durumuna bağlı olarak değerlerinin nispeten düşük kaldığı anlaşılabılır (Tene vd. 2023). Aynı şekilde, Polania vd. (2022) kuraklık stresi altında *Phaseolus* genotipleri üzerinde bir çalışma yürüttüklerinde, kuraklığa dayanıklı ve kuraklığa duyarlı genotipler arasındaki fotosentetik verimliliğin önemli bir varyasyonunu bulmuşlardır. Klorofil içeriği (CC) açısından, HS ve NS büyüme koşulları altında genotip arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. HS büyüme koşulları altında, sıcaklığa duyarlı genotipler G4 ve G49, NS büyüme koşullarına kıyasla anlamlı derecede düşük CC sergilemiştir. Bu sonuç, sıcaklık stresi altında klorofil içeriğinde bir azalma olduğunu göstermektedir (Roy vd. 2021)). Bununla birlikte, *P. acutifolius* ve *P. coccineus*, HS ve NS tedavileri arasında CC'de anlamlı bir fark göstermemiştir. Bu da stresli ve stressiz koşullardan bağımsız olarak tutarlı klorofil içeriğini koruduğunu düşündürmektedir. Xiong vd. (2015), çevresel faktörlerin ve yaprak özelliklerinin SPAD tabanlı CC tahminini etkileyebileceğini göstermiştir. Bu, SPAD okumaları ile yaprak alanı başına CC içeriği arasındaki ilişkinin, çevresel faktörlerden ve bitki türlerinin yaprak özelliklerinden etkilenebileceğini düşündürmektedir. Aynı şekilde, HS altında bırakılan genotiplerdeki yüksek klorofil içeriği, HS toleranslı genotipler olarak alınabilir (Hamblin vd. 2014; Zhu vd. 2020).

Bazı genotipler, HS koşulları altında sürekli olarak daha yüksek Fv/Fm seviyeleri göstermiş ve bu da sıcaklık stresine karşı dayanıklılıklarını artırmıştır (Kohila ve Gomathi 2018). Bu bulgular, Fv/Fm ölçümlerine dayanarak artan ısı toleransına sahip genotipleri tanımlayan Polania vd. (2022) tarafından desteklenmektedir. Benzer şekilde, HS koşulları altında klorofil içeriğindeki azalma, iki üst buğday yaprağının SPAD değerinin, sıcaklık stresi altında yaprak alanlarının yeşil tutulmasında klorofil içeriğinin önemini gösteren yeşil kalma özelliği ile anlamlı bir korelasyonunu bulan Roy vd. (2021) sonuçlarıyla uyumludur. Klorofil moleküllerine sıcaklığa bağlı hasar, önceki araştırmalarda kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Yüksek sıcaklıklar, klorofil moleküllerinin yapılarını ve işlevlerini etkileyen çeşitli hasar biçimlerine yol açabilir (Hu vd. 2020; Jespersen vd. 2016; Zahra vd. 2023). Bazı genotipler yüksek Fv/Fm değerleri sergilemiştir. Bu da bu genotiplerin stres altında fotosentez yeteneklerinin verimli olduğunu göstermiştir. Diğer genotipler daha düşük Fv/Fm değerini göstermiştir ki bu da fotosentetik etkinliği düzenleyen faktörlerin genetik temeli olduğunu düşündürmektedir (Chaudhary vd. 2020; Sarkar vd. 2021; Zahra vd. 2023). Ek olarak, bu çalışma tür ve genotiplerin CC seviyelerinde önemli farklılıklar ortaya koymuştur. *P. coccineus* (G180) ve *P. lunatus* (192) yapraklarında üstün klorofil içeriği olduğu düşünülmüştür. Öte yandan, sıcaklığa duyarlı G4 ve G49 genotiplerinin yapraklarında nispeten daha düşük klorofil içeriği olduğunu gösteren düşük bir CC seviyesi bulunmuştur. Mevcut sonuçlar, farklı bitki genotipleri arasında klorofil floresansı ve klorofil içeriğinde farklılıklar bildiren önceki çalışmalarla uyumludur (Kandel 2020; Monostori vd. 2016) Örneğin; Xiong vd. (2015) farklı ortamlarda yetiştirilen yedi türün SPAD değerleri, klorofil içeriği ve yaprak alanı başına yaprak azot (N) içeriği arasındaki ilişkileri tahmin eden çalışmada, SPAD değerleri ile yaprak alanı başına klorofil içeriği arasında benzer ilişkiler göstermiştir. Daha yüksek bir SPAD değeri, yaprakta daha yüksek bir klorofil içeriğini gösterir ki, bu da üstün fotosentetik kapasite ve potansiyel olarak daha yüksek ürün verimi anlamına gelebilir (Kandel 2020). Ek olarak, eğer bir fasulye genotipi sürekli olarak diğer genotiplere kıyasla en yüksek CC'yi gösteriyorsa, genotipin yapraklarında üstün CC'ye sahip olduğu anlamına gelir. Bu, klorofil sentezi ve bozulması ile ilgili genlerin

ekspresyonunu etkileyen çeşitli genetik ve çevresel faktörlerden kaynaklanabilir. On *Phaseolus* tür ve genotipi arasında hem Fv/Fm hem de CC'de gözlenen önemli varyasyonlar, genetik çeşitliliği ve fotosentetik verimlilik ve klorofil içeriğindeki farklılıkları göstermektedir. Daha yüksek Fv/Fm değerlerine sahip genotiplerin daha iyi fotosentetik kapasiteye ve dolayısıyla daha yüksek biyokütle üretim potansiyeline sahip olması muhtemeldir. Benzer şekilde, daha yüksek CC'li genotipler, bitki büyümesi ve gelişimi için çok önemli olan daha büyük fotosentetik parametrelere de sahip olabilir (Honda vd. 2021; Yang vd. 2020).

Tür ve genotiplerin CC seviyesi, NS ve HS büyüme koşulları arasında önemli farklılıklar göstermiştir. HS büyüme koşulları altında, CC ortalama değeri 31.62 ile oldukça düşük gerçekleşmiştir. Buna karşılık, NS büyüme koşulu altındaki bitkiler, ortalama 38.76 ile önemli ölçüde daha yüksek bir CC sergilemiştir. Bu, sıcaklık stresinin bitkilerin CC'sini olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir. Bu çalışmadaki bulgular farklı şeker kamışı klonlarının aşırı kışlama koşullarında ölçülen CC ve Fv/Fm değerleri ile uyumludur (Sakaigaichi vd. 2019). Çalışmada, test edilen üç klondan birinin (KY08-1200) soğutma stresinden daha az etkilendiğini ve deneyin sonuna kadar daha yüksek bir Fv/Fm değeri sunduğunu bulunmuştur. Araştırmacılar, SPAD indeksi tarafından ölçülen azalmış CC'nin, soğuğa dayanıklı klonların gözlenmesi için basit bir gösterge olduğu sonucuna varmışlardır. Başka bir çalışmada, farklı hastalık seviyeleri altındaki çeltik yapraklarının SPAD değerinin farklı dalga boylarına duyarlı olduğu bulunmuştur. Mevcut bitki örtüsü indeksleri ile karşılaştırıldığında, SPAD değeri ile spektral fraktal boyut indeksi (SFDI) arasında daha güçlü bir pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Ortalama korelasyon katsayısı 0.826 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmalar, CC'nin stressiz (NS) ve sıcaklık stresi (HS) koşulları altında önemli farklılıklar gösterebileceğini göstermektedir. HS koşulları altında, CC, NS koşullarına kıyasla önemli ölçüde daha düşük olabilir, bu da sıcaklık stresi nedeniyle klorofil içeriğinde bir azalmaya işaret etmektedir (Ling vd. 2011).

6. SONUÇLAR

Sıcaklık stresinin fasulye genotiplerinin kantitatif agro-morfolojik ve fizyolojik özellikleri üzerindeki etkisinin önemli olduğu ve önemli verim kayıplarına yol açtığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, bazı *Phaseolus* tür ve genotipleri, aşırı sıcaklık koşulları altında bile bakla ve tohum üretmeye devam ederek kayda değer bir ısı direnci göstermiştir. Özellikle, *P. acutifolius*, *P. coccineus* ve *P. lunatus* genotipleri sıcaklık stresine karşı üstün tolerans sergilerken, bazı genotipler normalden daha erken veya daha geç olmak üzere değişen çiçeklenme modelleri sergilemiştir. Biyokütle, bitki boyu ve yaprakçık eni ve boyu gibi özellikler, sıcaklık stresine direncin olumlu göstergeleri olarak tanımlanmıştır. Özellikle, biyokütle, yaprakçık uzunluğu ve genişliğinin sıcaklık stresine direnç üzerinde istatistiki anlamda önemli doğrudan etkilere sahip olduğu bulunurken, klorofil içeriği (CC) ve PSII'nin maksimum kuantum verimliliği (Fv/Fm) de sıcaklık stresine dirence önemli ölçüde katkıda bulunmuştur.

Sıcaklık stresine direncin altında yatan mekanizmaları keşfetmek için sıcaklık stresi ve stressiz koşullar altında 10 *Phaseolus* tür ve genotipinde fitohormon birikimleri ve fizyolojik parametreler de araştırılmıştır. Sonuçlar, genotipler arasında fitohormon seviyelerinde önemli farklılıklar olduğunu ve bazılarının sıcaklık stresine yanıt olarak daha yüksek seviyelerde ABA, JA ve SA sergilediğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, bu fitohormonların bitkinin sıcaklık stresine verdiği tepkiye ve savunma mekanizmalarındaki rollerine işaret etmektedir. Ek olarak, fotosentetik parametrelerde farklı tepkiler gözlenmiş, bazı genotipler fotosistem II verimliliğinin bir ölçüsü olan daha yüksek Fv/Fm seviyeleri göstererek sıcaklık stresine karşı dayanıklılık göstermiştir. Bununla birlikte, birkaç genotip klorofil içeriğinde bir düşüş yaşamıştır.

Çalışma, *Phaseolus* tür ve genotipleri arasındaki stres tolerans mekanizmalarındaki genetik çeşitliliğin ve varyasyonun altını çizmektedir. Sıcaklık stresine karşı üstün tepkiler sergileyen genotipler tespit edilmiştir. Bu bulgular, bitkilerin sıcaklık stresine verdiği tepkilere ilişkin bilgi birikimimizi derinleştirmekte ve olumsuz koşullar altında bitki performansını değerlendirirken birden fazla parametreyi dikkate almanın önemini vurgulamaktadır. Belirlenen değişkenlik ve olumlu özellikler, sıcaklık stresine dayanıklılığı artırmayı amaçlayan bitki ıslah programlarının geliştirilmesine hem sıcaklığa toleranslı tür ve genotiplerle hem de önerilen seleksiyon kriterleri ile katkıda bulunacaktır.

7. KAYNAKLAR

- Agbeleye, O. A., Akinyosoye, S. T., ve Adetumbi, J. A. (2020). Correlation, path coefficient and principal component analysis of yield components in mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] accessions. *Tropical Agriculture*, 97(4), 212-218.
- Akgun, D., ve Canci, H. (2023). Selection of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Genotypes for High Yield, Essential Amino Acids and Low Anti-Nutritional Factors. *Agriculture*, 13(5), 932.
- Alazem, M., ve Lin, N.-S. (2017). Antiviral roles of abscisic acid in plants. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1760.
- Alcázar-Valle, M., García-Morales, S., Mojica, L., Morales-Hernández, N., Sánchez-Ororio, E., Flores-López, L., Enríquez-Vara, J. N., ve Lugo-Cervantes, E. (2021). Nutritional, antinutritional compounds and nutraceutical significance of native bean species (*Phaseolus* spp.) of Mexican cultivars. *Agriculture*, 11(11), 1031.
- Ambachew, D., Mekbib, F., Asfaw, A., Beebe, S. E., ve Blair, M. W. (2015). Trait associations in common bean genotypes grown under drought stress and field infestation by BSM bean fly. *The Crop Journal*, 3(4), 305-316.
- Asfaw, D., ve Neka, M. (2017). Factors affecting adoption of soil and water conservation practices: the case of Wereillu Woreda (District), South Wollo Zone, Amhara Region, Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(4), 273-279.
- Bari, R., ve Jones, J. D. (2009). Role of plant hormones in plant defence responses. *Plant Molecular Biology*, 69, 473-488.
- Beebe, S., Rao, I., Blair, M., ve Butare, L. (2009). Breeding for abiotic stress tolerance in common bean: Present and future challenges. *SABRAO J Breed Genet*, 41.
- Beebe, S. E., Rao, I. M., Blair, M. W., ve Acosta-Gallegos, J. A. (2013). Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology*, 4, 35.
- Begcy, K., Sandhu, J., ve Walia, H. (2018). Transient Heat Stress During Early Seed Development Primes Germination and Seedling Establishment in Rice [Original Research]. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01768>
- Bishop, J., Potts, S. G., ve Jones, H. E. (2016). Susceptibility of faba bean (*Vicia faba* L.) to heat stress during floral development and anthesis. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202(6), 508-517.
- Bitocchi, E., Nanni, L., Bellucci, E., Rossi, M., Giardini, A., Zeuli, P. S., Logozzo, G., Stougaard, J., McClean, P., Attene, G., ve Papa, R. (2012). Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. *Proc Natl Acad Sci USA*, 109(14), E788-796. <https://doi.org/10.1073/pnas.1108973109>
- Bitocchi, E., Rau, D., Bellucci, E., Rodriguez, M., Murgia, M. L., Gioia, T., Santo, D., Nanni, L., Attene, G., ve Papa, R. (2017). Beans (*Phaseolus* spp.) as a Model for Understanding Crop Evolution. *Front Plant Sci*, 8, 722. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00722>

- Bittner, A., Cieřla, A., Gruden, K., Lukan, T., Mahmud, S., Teige, M., Vothknecht, U. C., ve Wurzinger, B. (2022). Organelles and phytohormones: a network of interactions in plant stress responses. *Journal of Experimental Botany*, 73(21), 7165-7181.
- Blair, M. W., Soler, A., ve Cortes, A. J. (2012). Diversification and population structure in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *PLoS One*, 7(11), e49488. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049488>
- Bokshi, A. I., Thistlethwaite, R. J., Chaplin, E. D., Kirii, E., Trethowan, R. M., ve Tan, D. K. (2022). Physiological traits for evaluating heat-tolerance of Australian spring wheat cultivars at elevated CO₂. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208(2), 178-196.
- Bomers, S., Sehr, E. M., Adam, E., von Gehren, P., Hansel-Hohl, K., Prat, N., ve Ribarits, A. (2022). Towards Heat Tolerant Runner Bean (*Phaseolus coccineus* L.) by Utilizing Plant Genetic Resources. *Agronomy*, 12(3), 612.
- Bozoğlu, H., ve Sözen, Ö. (2007). Some agronomic properties of the local population of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of Artvin province. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31(5), 327-334.
- Broughton, W. J., Hernandez, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P., ve Vanderleyden, J. (2003). Beans (*Phaseolus* spp.) - model food legumes. *Plant and Soil*, 252(1), 55-128. <https://doi.org/Doi 10.1023/A:1024146710611>
- Buitrago-Bitar, M. A., Cortés, A. J., López-Hernández, F., Londoño-Caicedo, J. M., Muñoz-Florez, J. E., Muñoz, L. C., ve Blair, M. W. (2021). Allelic diversity at abiotic stress responsive genes in relationship to ecological drought indices for cultivated tepary bean, *Phaseolus acutifolius* A. Gray, and its wild relatives. *Genes*, 12(4), 556.
- Burbano-Erazo, E., León-Pacheco, R. I., Cordero-Cordero, C. C., López-Hernández, F., Cortés, A. J., ve Tofiño-Rivera, A. P. (2021). Multi-environment yield components in advanced common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)× tepary bean (*P. acutifolius* A. Gray) interspecific lines for heat and drought tolerance. *Agronomy*, 11(10), 1978.
- CABI. (2022). *Pseudomonas savastanoi* pv. *phaseolicola* (halo blight (of beans)) (Vol. CABI Compendium). CABI International CABI. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.44987>
- Cai, Z., Guo, H., Shen, S., Yu, Q., Wang, J., Zhu, E., Zhang, P., Song, L., Zhang, Y., ve Zhang, K. (2022). Generation of the salicylic acid deficient Arabidopsis via a synthetic salicylic acid hydroxylase expression cassette. *Plant Methods*, 18(1), 1-12.
- Canci, H., ve Toker, C. (2009). Evaluation of yield criteria for drought and heat resistance in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(1), 47-54.

- Celmeli, T., Sari, H., Canci, H., Sari, D., Adak, A., Eker, T., ve Toker, C. (2018). The nutritional content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in comparison to modern varieties. *Agronomy*, 8(9), 166.
- Chacon, S., ve Isabel, M. (2018). The domestication syndrome in *Phaseolus* crop plants: A review of two key domestication traits. *Origin and Evolution of Biodiversity*, 37-59.
- Chacon, S., Maria Isabel, Martinez, C., Jaime, Duitama, J., ve Debouck, D. G. (2021). Gene flow in *Phaseolus* beans and its role as a plausible driver of ecological fitness and expansion of cultigens. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 618709.
- Chaudhary, S., Devi, P., Bhardwaj, A., Jha, U. C., Sharma, K. D., Prasad, P. V. V., Siddique, K. H. M., Bindumadhava, H., Kumar, S., ve Nayyar, H. (2020). Identification and Characterization of Contrasting Genotypes/Cultivars for Developing Heat Tolerance in Agricultural Crops: Current Status and Prospects [Review]. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.587264>
- Chavez-Arias, C. C., Ligarreto-Moreno, G. A., ve Restrepo-Diaz, H. (2018). Evaluation of heat stress period duration and the interaction of daytime temperature and cultivar on common bean. *Environmental and Experimental Botany*, 155, 600-608. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.08.012>
- Chen, K., Li, G. J., Bressan, R. A., Song, C. P., Zhu, J. K., ve Zhao, Y. (2020). Absciscic acid dynamics, signaling, and functions in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 62(1), 25-54.
- Chrigui, N., Sari, D., Sari, H., Eker, T., Cengiz, M. F., Ikten, C., ve Toker, C. (2020). Introgression of resistance to leafminer (*Liriomyza cicerina* Rondani) from *Cicer reticulatum* Ladiz. to *C. arietinum* L. and relationships between potential biochemical selection criteria. *Agronomy*, 11(1), 57. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010057>
- Clarke, S. M., Cristescu, S. M., Miersch, O., Harren, F. J. M., Wasternack, C., ve Mur, L. A. J. (2009). Jasmonates act with salicylic acid to confer basal thermotolerance in *Arabidopsis thaliana*. *New Phytologist*, 182(1), 175-187. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02735.x>
- Cortés, A. J. (2013). On the Origin of the Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *American Journal of Plant Sciences*, 04(10), 1998-2000. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.410248>
- Cortés, A. J., ve Blair, M. W. (2018). Genotyping by sequencing and genome-environment associations in wild common bean predict widespread divergent adaptation to drought. *Frontiers in Plant Science*, 9, 128.
- Cortés, A. J., ve López-Hernández, F. (2021). Harnessing Crop Wild Diversity for Climate Change Adaptation. *Genes*, 12(5), 783. <https://doi.org/10.3390/genes12050783>

- Cortés, A. J., López-Hernández, F., ve Osorio-Rodriguez, D. (2020). Predicting thermal adaptation by looking into populations' genomic past. *Frontiers in Genetics*, 11, 564515.
- Cortés, A. J., Skeen, P., Blair, M. W., ve Chacón-Sánchez, M. I. (2018). Does the genomic landscape of species divergence in Phaseolus beans coerce parallel signatures of adaptation and domestication? *Frontiers in Plant Science*, 9, 1816.
- da Silva, D. A., dos Reis, R. L. d. M., Gonçalves, J. G. R., Carbonell, S. A. M., ve Chiorato, A. F. (2018). Effect of heat stress on common bean under natural growing conditions in three locations in different climate zones in the state of So Paulo, Brazil. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 10(6), 134-145.
- da Silva Júnior, T. A. F., do Nascimento, D. M., da Silva, J. C., Soman, J. M., Gonçalves, R. M., ve Maringoni, A. C. (2022). Common bacterial blight of beans: an integrated approach to disease management in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 47(4), 457-469. <https://doi.org/10.1007/s40858-022-00504-1>
- Dar, N. A., Amin, I., Wani, W., Wani, S. A., Shikari, A. B., Wani, S. H., ve Masoodi, K. Z. (2017). Absciscic acid: A key regulator of abiotic stress tolerance in plants. *Plant Gene*, 11, 106-111.
- Darkwa, K., Ambachew, D., Mohammed, H., Asfaw, A., ve Blair, M. W. (2016). Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for drought stress adaptation in Ethiopia. *The Crop Journal*, 4(5), 367-376. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.06.007>
- Delgado-Salinas, A., Bibler, R., ve Lavin, M. (2006). Phylogeny of the genus Phaseolus (Leguminosae): a recent diversification in an ancient landscape. *Systematic Botany*, 31(4), 779-791.
- Devi, P., Jha, U. C., Prakash, V., Kumar, S., Parida, S. K., Paul, P. J., Prasad, P. V. V., Sharma, K. D., Siddique, K. H. M., ve Nayyar, H. (2022). Response of Physiological, Reproductive Function and Yield Traits in Cultivated Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Under Heat Stress [Original Research]. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.880519>
- Didinger, C., Foster, M. T., Bunning, M., ve Thompson, H. J. (2022). Nutrition and Human Health Benefits of Dry Beans and Other Pulses. In *Dry Beans and Pulses* (pp. 481-504). John Wiley ve Sons, Ltd. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119776802.ch19>
- Dönmez, M. F., ve Aliyeva, Z. (2022). Biological Control of Bean Halo Blight Disease (*Pseudomonas Savastanoi* Pv. *Phaseolicola*) with Antagonist Bacterial Strains. *Gesunde Pflanzen*. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00746-8>
- Dubal, I., Troyjack, C., Aisenberg, G. R., Koch, F., Szareski, V. J., Pimentel, J. R., Nardino, M., Carvalho, I., Olivoto, T., ve Souza, V. (2016). Effect of temperature on bean seed germination: vigor and isozyme expression. *American Journal of Agricultural Research*, 1(5), 1-9.
- Eker, T., Sari, H., Sari, D., Canci, H., Arslan, M., Aydinoglu, B., Ozay, H., ve Toker, C. (2022). Advantage of Multiple Pods and Compound Leaf in Kabuli Chickpea

- under Heat Stress Conditions. *Agronomy*, 12(3), 557. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030557>
- Eman, O. H., ve Afaf, Z. (2014). Biocontrol of halo blight of bean caused by *Pseudomonas phaseolicola*. *International Journal of Virology*, 10(3), 235-242.
- Essemine, J., Ammar, S., ve Bouzid, S. (2010). Impact of heat stress on germination and growth in higher plants: physiological, biochemical and molecular repercussions and mechanisms of defence. *Journal of Biological Sciences*, 10(6), 565-572.
- Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., ve Saud, S. (2017). Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science*, 1147.
- FAOSTAT. (2023). *FAOSTAT statistical database*. In [Rome] : FAO, c1997-. <https://search.library.wisc.edu/catalog/999890171702121>
- Freytag, G. F., ve Debouck, D. G. (2002). *Taxonomy, distribution, and ecology of the genus Phaseolus (Leguminosae-Papilionoideae) in North America, Mexico and central America*. BRIT.
- Ganesan, K., ve Xu, B. (2017). Polyphenol-Rich Dry Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and Their Health Benefits. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(11), 2331. <https://doi.org/10.3390/ijms18112331>
- Geffroy, V., Sévignac, M., De Oliveira, J. C., Fouilloux, G., Skroch, P., Thoquet, P., Gepts, P., Langin, T., ve Dron, M. (2000). Inheritance of partial resistance against *Colletotrichum lindemuthianum* in *Phaseolus vulgaris* and co-localization of quantitative trait loci with genes involved in specific resistance. *Mol Plant Microbe Interact*, 13(3), 287-296. <https://doi.org/10.1094/mpmi.2000.13.3.287>
- Gentry, H. S. (1969). Origin of the common bean, *Phaseolus vulgaris*. *Economic Botany*, 23(1), 55-69. <https://doi.org/10.1007/bf02862972>
- Ghorbel, M., Brini, F., Sharma, A., ve Landi, M. (2021). Role of jasmonic acid in plants: the molecular point of view. *Plant Cell Reports*, 40, 1471-1494.
- Guerrero, N., Isidra-Arellano, M., Mendoza Cozatl, D., ve Valdés-López, O. (2016). Common Bean: A Legume Model on the Rise for Unraveling Responses and Adaptations to Iron, Zinc, and Phosphate Deficiencies. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00600>
- Hamblin, J., Stefanova, K., ve Angessa, T. T. (2014). Variation in Chlorophyll Content per Unit Leaf Area in Spring Wheat and Implications for Selection in Segregating Material. *PLoS One*, 9(3), e92529. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092529>
- Hans, K., ve Greg, E. (2019). *Dry Bean Production Guide (A1133-20, Revised Dec. 2019)*. <https://www.ndsu.edu/agriculture/ag-hub/publications/dry-bean-production-guide>
- Hara, M., Furukawa, J., Sato, A., Mizoguchi, T., ve Miura, K. (2012). Abiotic stress and role of salicylic acid in plants. *Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability*, 235-251.

- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R., ve Fujita, M. (2013). Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5), 9643-9684.
- Hernández, D., Sanjuana, Muruaga, M., José S, Vargas, V., Ma Luisa Patricia, Martínez, M., Jairo, Chávez, S., José L, Gill-Langarica, H. R., ve Mayek-Pérez, N. (2015). Advances in genetic diversity analysis of *Phaseolus* in Mexico. *Molecular Approaches to Genetic Diversity*, 1, 47-73.
- Honda, S., Ohkubo, S., San, N. S., Nakkasame, A., Tomisawa, K., Katsura, K., Ookawa, T., Nagano, A. J., ve Adachi, S. (2021). Maintaining higher leaf photosynthesis after heading stage could promote biomass accumulation in rice. *Scientific Reports*, 11(1), 7579. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86983-9>
- Honour, J. W. (2006). High-performance liquid chromatography for hormone assay. *Methods Mol Biol*, 324, 25-52. <https://doi.org/10.1385/1-59259-986-9:25>
- Hou, S., ve Tsuda, K. (2022). Salicylic acid and jasmonic acid crosstalk in plant immunity. *Essays in Biochemistry*, 66(5), 647-656.
- Hsu, P. K., Dubeaux, G., Takahashi, Y., ve Schroeder, J. I. (2021). Signaling mechanisms in abscisic acid-mediated stomatal closure. *The Plant Journal*, 105(2), 307-321.
- Hu, S., Ding, Y., ve Zhu, C. (2020). Sensitivity and Responses of Chloroplasts to Heat Stress in Plants [Review]. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00375>
- Huang, X., Shi, H., Hu, Z., Liu, A., Amombo, E., Chen, L., ve Fu, J. (2017). ABA is involved in regulation of cold stress response in bermudagrass. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1613.
- IBPGR. (1982). Descriptors for *Phaseolus vulgaris*. In: IBPGR Rome, Italy.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (D. C. R. H. O. Pörtner, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama., Ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>
- Irit, K., ve J, K. (1991). The Effect of Temperature on the Production and Abscission of Flowers and Pods in Snap Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Annals of Botany*, 67(4), 391-399. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088155>
- Jagadish, S. K., Way, D. A., ve Sharkey, T. D. (2021). Plant heat stress: Concepts directing future research. *Plant, Cell ve Environment*, 44(7), 1992-2005.
- Jespersen, D., Zhang, J., ve Huang, B. (2016). Chlorophyll loss associated with heat-induced senescence in bentgrass. *Plant Science*, 249, 1-12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.04.016>
- Jha, U. C., Nayyar, H., ve Siddique, K. H. (2022). Role of phytohormones in regulating heat stress acclimation in agricultural crops. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-24.

- Kandel, B. P. (2020). Spad value varies with age and leaf of maize plant and its relationship with grain yield. *BMC Research Notes*, 13(1), 475. <https://doi.org/10.1186/s13104-020-05324-7>
- Kapoor, B., Kumar, P., Sharma, R., ve Kumar, A. (2021). Regulatory interactions in phytohormone stress signaling implying plants resistance and resilience mechanisms. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 1-16.
- Kazan, K., ve Manners, J. M. (2008). Jasmonate signaling: toward an integrated view. *Plant Physiology*, 146(4), 1459-1468.
- Kettler, B. A., Carrera, C. S., Nalli Sonzogno, F. D., Trachsel, S., Andrade, F. H., ve Neiff, N. (2022). High night temperature during maize post-flowering increases night respiration and reduces photosynthesis, growth and kernel number. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208(3), 335-347. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jac.12589>
- Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A., ve Khan, N. A. (2015). Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6, 462.
- Kim, H., Seomun, S., Yoon, Y., ve Jang, G. (2021). Jasmonic acid in plant abiotic stress tolerance and interaction with abscisic acid. *Agronomy*, 11(9), 1886.
- Kohila, S., ve Gomathi, R. (2018). Adaptive physiological and biochemical response of sugarcane genotypes to high-temperature stress. *Indian Journal of Plant Physiology*, 23(2), 245-260. <https://doi.org/10.1007/s40502-018-0363-y>
- Kornegay, J., White, J. W., ve de la Cruz, O. O. (1992). Growth habit and gene pool effects on inheritance of yield in common bean. *Euphytica*, 62(3), 171-180. <https://doi.org/10.1007/BF00041751>
- Kotak, S., Larkindale, J., Lee, U., von Koskull-Döring, P., Vierling, E., ve Scharf, K.-D. (2007). Complexity of the heat stress response in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(3), 310-316.
- Kumar, S. (2020). Abiotic stresses and their effects on plant growth, yield and nutritional quality of agricultural produce. *Int. J. Food Sci. Agric*, 4, 367-378.
- Lamichhane, J. R., Dürr, C., Schwanck, A. A., Robin, M.-H., Sarthou, J.-P., Cellier, V., Messéan, A., ve Aubertot, J.-N. (2017). Integrated management of damping-off diseases. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(2), 10. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0417-y>
- Larkindale, J., ve Huang, B. (2004). Thermotolerance and antioxidant systems in *Agrostis stolonifera*: involvement of salicylic acid, abscisic acid, calcium, hydrogen peroxide, and ethylene. *Journal of Plant Physiology*, 161(4), 405-413.
- Latef, A. A. H. A., ve Ahmad, P. (2015a). Legumes and breeding under abiotic stress. In *Legumes under Environmental Stress* (pp. 1-20). <https://doi.org/10.1002/9781118917091.ch1>
- Latef, A. A. H. A., ve Ahmad, P. (2015b). Legumes and breeding under abiotic stress: An overview. In M. M. Azooz ve P. Ahmad (Eds.), *Legumes under Environmental*

- Stress* (pp. 1-20). John Wiley ve Sons, Ltd.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118917091.ch1>
- Lê, S., Josse, J., ve Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1 - 18.
<https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Li, C., Xu, M., Cai, X., Han, Z., Si, J., ve Chen, D. (2022). Jasmonate signaling pathway modulates plant defense, growth, and their trade-offs. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(7), 3945.
- Li, N., Euring, D., Cha, J. Y., Lin, Z., Lu, M., Huang, L.-J., ve Kim, W. Y. (2021). Plant hormone-mediated regulation of heat tolerance in response to global climate change. *Frontiers in Plant Science*, 11, 627969.
- Ling, Q., Huang, W., ve Jarvis, P. (2011). Use of a SPAD-502 meter to measure leaf chlorophyll concentration in *Arabidopsis thaliana*. *Photosynthesis Research*, 107(2), 209-214. <https://doi.org/10.1007/s11120-010-9606-0>
- Liu, J., Qiu, G., Liu, C., Li, H., Chen, X., Fu, Q., Lin, Y., ve Guo, B. (2022). Salicylic acid, a multifaceted hormone, combats abiotic stresses in plants. *Life*, 12(6), 886.
- Liu, M., Sheng, D., Liu, X., Wang, Y., Hou, X., Wang, Y., Wang, P., Guan, L., Dong, X., ve Huang, S. (2022). Dissecting heat tolerance and yield stability in maize from greenhouse and field experiments. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208(3), 348-361. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jac.12590>
- Lohani, N., Singh, M. B., ve Bhalla, P. L. (2022). Short-term heat stress during flowering results in a decline in Canola seed productivity. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208(4), 486-496. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jac.12534>
- López-Hernández, F., ve Cortés, A. J. (2019). Last-generation genome–environment associations reveal the genetic basis of heat tolerance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Frontiers in Genetics*, 10, 954.
- Maheswari, M., Varalaxmi, Y., Sarkar, B., Ravikumar, N., Vanaja, M., Yadav, S. K., Jyothilakshmi, N., Vijayalakshmi, T., Savita, S., ve Rao, M. S. (2021). Tolerance mechanisms in maize identified through phenotyping and transcriptome analysis in response to water deficit stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27, 1377-1394.
- Marler, T. E., ve Lawton, P. D. (1994). Error in interpreting field chlorophyll fluorescence measurements: heat gain from solar radiation. *HortScience*, 29(10), 1172-1174.
- Matías, J., Rodríguez, M. J., Cruz, V., Calvo, P., ve Reguera, M. (2021). Heat stress lowers yields, alters nutrient uptake and changes seed quality in quinoa grown under Mediterranean field conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 207(3), 481-491. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jac.12495>
- McGovern, R. J. (2015). Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*. *Crop Protection*, 73, 78-92.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.02.021>

- Mehrotra, R., Bhalothia, P., Bansal, P., Basantani, M. K., Bharti, V., ve Mehrotra, S. (2014). Absciscic acid and abiotic stress tolerance—Different tiers of regulation. *Journal of Plant Physiology*, 171(7), 486-496.
- Mersha, Z., ve Hau, B. (2008). Effects of bean rust (*Uromyces appendiculatus*) epidemics on host dynamics of common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Plant Pathology*, 57(4), 674-686.
- Michelangeli, J. A. C., Ricaurte, J., Sinclair, T. R., Rao, I. M., ve Beebe, S. E. (2019). Influence of plant density and growth habit of common bean on leaf area development and N accumulation. *Journal of Crop Improvement*, 33(5), 620-632. <https://doi.org/10.1080/15427528.2019.1644694>
- Miklas, P. N., Kelly, J. D., Beebe, S. E., ve Blair, M. W. (2006). Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: From classical to MAS breeding. *Euphytica*, 147(1-2), 105-131. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-4600-5>
- Moghaddam, S. M., Oladzad, A., Koh, C., Ramsay, L., Hart, J. P., Mamidi, S., Hoopes, G., Sreedasyam, A., Wiersma, A., Zhao, D., Grimwood, J., Hamilton, J. P., Jenkins, J., Vaillancourt, B., Wood, J. C., Schmutz, J., Kagale, S., Porch, T., Bett, K. E., . . . McClean, P. E. (2021). The tepary bean genome provides insight into evolution and domestication under heat stress. *Nature Communications*, 12(1), 2638. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22858-x>
- Mohamed, H. I., El-Shazly, H. H., ve Badr, A. (2020). Role of salicylic acid in biotic and abiotic stress tolerance in plants. *Plant Phenolics in Sustainable Agriculture: 1*, 533-554.
- Mohammed, A., ve Feleke, E. (2022). Future climate change impacts on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) phenology and yield with crop management options in Amhara Region, Ethiopia. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3(1), 1-14.
- Monostori, I., Árendás, T., Hoffman, B., Galiba, G., Gierczik, K., Szira, F., ve Vágújfalvi, A. (2016). Relationship between SPAD value and grain yield can be affected by cultivar, environment and soil nitrogen content in wheat. *Euphytica*, 211(1), 103-112. <https://doi.org/10.1007/s10681-016-1741-z>
- Monterroso, V. A., ve Wien, H. C. (1990). Flower and pod abscission due to heat stress in beans. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115(4), 631-634.
- Muñoz, L., Rivera, M., Muñoz, J., Sarsu, F., ve Rao, I. (2021). Heat stress-induced changes in shoot and root characteristics of genotypes of tepary bean (*Phaseolus acutifolius* A. Gray), common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and their interspecific lines. *Australian Journal of Crop Science*, 51-59. <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.09.sp-6>
- Muñoz, L. C., Duque, M. C., Debouck, D. G., ve Blair, M. W. (2006). Taxonomy of tepary bean and wild relatives as determined by amplified fragment length polymorphism (AFLP) markers. *Crop Science*, 46(4), 1744-1754.

- Myers Jr, R. J., Fichman, Y., Zandalinas, S. I., ve Mittler, R. (2023). Jasmonic acid and salicylic acid modulate systemic reactive oxygen species signaling during stress responses. *Plant Physiology*, 191(2), 862-873.
- Nazar, R., Iqbal, N., ve Umar, S. (2017). Heat stress tolerance in plants: action of salicylic acid. *Salicylic acid: A multifaceted hormone*, 145-161.
- Nemeskéri, E., Remenyik, J., ve Fári, M. (2008). Studies on the drought and heat stress response of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties under phytotronic conditions. *Acta Agronomica Hungarica*, 56(3), 321-328. <https://doi.org/https://doi.org/10.1556/AAgr.56.2008.3.8>
- Neto, N. B. M., Prioli, M. R., Gatti, A. B., ve Cardoso, V. J. M. (2006). Temperature effects on seed germination in races of common beans (*Phaseolus vulgaris* *Phaseolus vulgaris* *Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Scientiarum. Agronomy*, 28(2), 155-164. www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026569012
- Oblessuc, P. R., Borges, A., Chowdhury, B., Caldas, D. G. G., Tsai, S. M., Camargo, L. E. A., ve Melotto, M. (2012). Dissecting *Phaseolus vulgaris* Innate Immune System against *Colletotrichum lindemuthianum* Infection. *PLoS One*, 7(8), e43161. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043161>
- Ohama, N., Sato, H., Shinozaki, K., ve Yamaguchi-Shinozaki, K. (2017). Transcriptional regulatory network of plant heat stress response. *Trends in Plant Science*, 22(1), 53-65.
- Padilla, Y. G., Gisbert-Mullor, R., López-Galarza, S., Albacete, A., Martínez-Melgarejo, P. A., ve Calatayud, Á. (2023). Short-term water stress responses of grafted pepper plants are associated with changes in the hormonal balance. *Frontiers in Plant Science*, 14.
- Palacioğlu, G., Özer, G., Yeken, M. Z., Çiftçi, V., ve Bayraktar, H. (2021). Resistance sources and reactions of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars in Turkey to anthracnose disease. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68(8), 3373-3381.
- Parankusam, S., Adimulam, S. S., Bhatnagar-Mathur, P., ve Sharma, K. K. (2017). Nitric oxide (NO) in plant heat stress tolerance: current knowledge and perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1582.
- Peng, Y., Yang, J., Li, X., ve Zhang, Y. (2021). Salicylic acid: biosynthesis and signaling. *Annual Review of Plant Biology*, 72, 761-791.
- Petkova, V., Denev, I. D., Cholakov, D., ve Porjazov, I. (2007). Field screening for heat tolerant common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) by measuring of chlorophyll fluorescence induction parameters. *Scientia Horticulturae*, 111(2), 101-106. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.10.005>
- Polania, J. A., Chater, C. C., Covarrubias, A. A., ve Rao, I. M. (2020). *Phaseolus* species responses and tolerance to drought. *The plant family Fabaceae: Biology and physiological responses to environmental stresses*, 319-336.
- Polania, J. A., Salazar-Chavarría, V., Gonzalez-Lemes, I., Acosta-Maspons, A., Chater, C. C. C., ve Covarrubias, A. A. (2022). Contrasting *Phaseolus* Crop Water Use

- Patterns and Stomatal Dynamics in Response to Terminal Drought. *Front Plant Sci*, 13, 894657. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.894657>
- Porch, T. G. (2006). Application of stress indices for heat tolerance screening of common bean. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192(5), 390-394. <https://doi.org/DOI 10.1111/j.1439-037X.2006.00229.x>
- Porch, T. G., Beaver, J. S., Debouck, D. G., Jackson, S. A., Kelly, J. D., ve Dempewolf, H. (2013). Use of Wild Relatives and Closely Related Species to Adapt Common Bean to Climate Change. *Agronomy*, 3(2), 433-461. <https://www.mdpi.com/2073-4395/3/2/433>
- Porch, T. G., ve Jahn, M. (2001). Effects of high-temperature stress on microsporogenesis in heat-sensitive and heat-tolerant genotypes of *Phaseolus vulgaris*. *Plant, Cell ve Environment*, 24(7), 723-731. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00716.x>
- Queiroz, F., de Fs Muniz, M., ve Menezes, M. (2001). *Alternaria brasiliensis* sp. nov., a leaf pathogen on *Phaseolus vulgaris*. *Mycopathologia*, 150, 61-65.
- Rai, K. K., Pandey, N., ve Rai, S. P. (2020). Salicylic acid and nitric oxide signaling in plant heat stress. *Physiologia Plantarum*, 168(2), 241-255.
- Rainey, K. M., ve Griffiths, P. D. (2005). Inheritance of heat tolerance during reproductive development in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(5), 700-706. <https://doi.org/Doi 10.21273/Jashs.130.5.700>
- Rana, J. C., Sharma, T. R., Tyagi, R. K., Chahota, R. K., Gautam, N. K., Singh, M., Sharma, P. N., ve Ojha, S. N. (2015). Characterisation of 4274 accessions of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germplasm conserved in the Indian gene bank for phenological, morphological and agricultural traits. *Euphytica*, 205(2), 441-457. <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1406-3>
- Raza, A., Charagh, S., Zahid, Z., Mubarik, M. S., Javed, R., Siddiqui, M. H., ve Hasanuzzaman, M. (2021). Jasmonic acid: a key frontier in conferring abiotic stress tolerance in plants. *Plant Cell Reports*, 40(8), 1513-1541.
- Repinski, S. L., Kwak, M., ve Gepts, P. (2012). The common bean growth habit gene PvTFL1y is a functional homolog of Arabidopsis TFL1. *Theor Appl Genet*, 124(8), 1539-1547. <https://doi.org/10.1007/s00122-012-1808-8>
- Roy, C., Chattopadhyay, T., Ranjan, R., Hasan, W., Kumar, A., ve De, N. (2021). Association of leaf chlorophyll content with the stay-green trait and grain yield in wheat grown under heat stress conditions. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 57. <https://doi.org/10.17221/45/2021-CJGPB>
- Sakaigaichi, T., Tsuchida, H., Adachi, K., Hattori, T., Tarumoto, Y., Tanaka, M., Hayano, M., Sakagami, J.-I., ve Irei, S. (2019). Phenological Changes in the Chlorophyll Content and Its Fluorescence in Field-Grown Sugarcane Clones Under Over-Wintering Conditions. *Sugar Tech*, 21(5), 843-846. <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0693-0>

- Sarkar, S., Islam, A. K. M. A., Barma, N. C. D., ve Ahmed, J. U. (2021). Tolerance mechanisms for breeding wheat against heat stress: A review. *South African Journal of Botany*, 138, 262-277. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.01.003>
- Sehgal, A., Sita, K., Kumar, J., Kumar, S., Singh, S., Siddique, K. H. M., ve Nayyar, H. (2017). Effects of Drought, Heat and Their Interaction on the Growth, Yield and Photosynthetic Function of Lentil (*Lens culinaris* Medikus) Genotypes Varying in Heat and Drought Sensitivity. *Front Plant Sci*, 8, 1776. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01776>
- Sharma, D. K., Andersen, S. B., Ottosen, C. O., ve Rosenqvist, E. (2015). Wheat cultivars selected for high Fv /Fm under heat stress maintain high photosynthesis, total chlorophyll, stomatal conductance, transpiration and dry matter. *Physiol Plant*, 153(2), 284-298. <https://doi.org/10.1111/ppl.12245>
- Sharma, D. K., Torp, A. M., Rosenqvist, E., Ottosen, C.-O., ve Andersen, S. B. (2017). QTLs and Potential Candidate Genes for Heat Stress Tolerance Identified from the Mapping Populations Specifically Segregating for Fv/Fm in Wheat [Original Research]. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01668>
- Shonnard, G. C., ve Gepts, P. (1994). Genetics of Heat Tolerance during Reproductive Development in Common Bean. *Crop Science*, 34(5), 1168-1175. <https://doi.org/DOI 10.2135/cropsci1994.0011183X003400050005x>
- Silva-Correia, J., Freitas, S., Tavares, R. M., Lino-Neto, T., ve Azevedo, H. (2014). Phenotypic analysis of the Arabidopsis heat stress response during germination and early seedling development. *Plant Methods*, 10(1), 1-11.
- Singh, A., ve Roychoudhury, A. (2023). Abscissic acid in plants under abiotic stress: crosstalk with major phytohormones. *Plant Cell Reports*. <https://doi.org/10.1007/s00299-023-03013-w>
- Singh, M., Bisht, I. S., ve Dutta, M. (2014). *Broadening the Genetic Base of Grain Legumes* (M. Singh, I. S. Bisht, ve M. Dutta, Eds.). Springer India. <http://link.springer.com/10.1007/978-81-322-2023-7>
- Singh, S. P. (2013). *Common bean improvement in the twenty-first century* (Vol. 7). Springer Science ve Business Media.
- Soltani, A., Weraduwege, S. M., Sharkey, T. D., ve Lowry, D. B. (2019). Elevated temperatures cause loss of seed set in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) potentially through the disruption of source-sink relationships. *BMC Genomics*, 20(1), 1-18.
- Stefanov, D., Petkova, V., ve Denev, I. D. (2011). Screening for heat tolerance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines and cultivars using JIP-test. *Scientia Horticulturae*, 128(1), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.12.003>
- Suárez, J. C., Contreras, A. T., Anzola, J. A., Vanegas, J. I., ve Rao, I. M. (2021). Physiological Characteristics of Cultivated Tepary Bean (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) and Its Wild Relatives Grown at High Temperature and Acid Soil Stress Conditions in the Amazon Region of Colombia. *Plants*, 11(1), 116.

- Suárez, J. C., Polanía, J. A., Contreras, A. T., Rodríguez, L., Machado, L., Ordoñez, C., Beebe, S., ve Rao, I. M. (2020). Adaptation of common bean lines to high temperature conditions: genotypic differences in phenological and agronomic performance. *Euphytica*, 216(2), 28. <https://doi.org/10.1007/s10681-020-2565-4>
- Takeno, K. (2016). Stress-induced flowering: the third category of flowering response. *Journal of Experimental Botany*, 67(17), 4925-4934. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw272>
- Tamindžić, G., Ignjatov, M., Miljaković, D., Červenski, J., Milošević, D., Nikolić, Z., ve Vasiljević, S. (2023). Seed Priming Treatments to Improve Heat Stress Tolerance of Garden Pea (*Pisum sativum* L.). *Agriculture*, 13(2), 439.
- Tansupo, P., Suwannasom, P., Luthria, D. L., Chanthai, S., ve Ruangviriyachai, C. (2010). Optimised separation procedures for the simultaneous assay of three plant hormones in liquid biofertilisers. *Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques*, 21(2), 157-162.
- Tene, T. M., Sari, H., Canci, H., Maaruf, A., Eker, T., ve Toker, C. (2023). Traits Related to Heat Stress in *Phaseolus* Species. *Agriculture*, 13(5), 953.
- Toker, C., Lluch, C., Tejera, N., Serraj, R., ve Siddique, K. (2007). 23 Abiotic Stresses. *Chickpea breeding and management*, 474.
- Traub, J., Naeem, M., Urrea, C. A., Austic, G., Kelly, J. D., ve Loescher, W. (2018). Screening for heat tolerance in *Phaseolus* spp. using multiple methods. *Crop Science*, 58(6), 2459-2469.
- Tugume, J. K., Tusiime, G., Sekamate, A. M., Buruchara, R., ve Mukankusi, C. M. (2019). Diversity and interaction of common bacterial blight disease-causing bacteria (*Xanthomonas* spp.) with *Phaseolus vulgaris* L. *The Crop Journal*, 7(1), 1-7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.10.002>
- Ullah, A., Nadeem, F., Nawaz, A., Siddique, K. H., ve Farooq, M. (2022). Heat stress effects on the reproductive physiology and yield of wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208(1), 1-17.
- Vargas, Y., Mayor-Duran, V. M., Buendia, H. F., Ruiz-Guzman, H., ve Raatz, B. (2021). Physiological and genetic characterization of heat stress effects in a common bean RIL population. *PLoS One*, 16(4), e0249859. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249859>
- Verma, D. K., Patel, S., ve Kushwah, K. S. (2020). Green biosynthesis of silver nanoparticles and impact on growth, chlorophyll, yield and phytotoxicity of *Phaseolus vulgaris* L. *Vegetos*, 33(4), 648-657. <https://doi.org/10.1007/s42535-020-00150-5>
- Verma, V., Ravindran, P., ve Kumar, P. P. (2016). Plant hormone-mediated regulation of stress responses. *BMC Plant Biology*, 16, 1-10.
- Waadt, R., Seller, C. A., Hsu, P.-K., Takahashi, Y., Munemasa, S., ve Schroeder, J. I. (2022). Plant hormone regulation of abiotic stress responses. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 23(10), 680-694.

- Wang, J., Song, L., Gong, X., Xu, J., ve Li, M. (2020). Functions of jasmonic acid in plant regulation and response to abiotic stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), 1446.
- Wang, Y., Mostafa, S., Zeng, W., ve Jin, B. (2021). Function and mechanism of jasmonic acid in plant responses to abiotic and biotic stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(16), 8568.
- Wani, S. H., Kumar, V., Shriram, V., ve Sah, S. K. (2016). Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *The Crop Journal*, 4(3), 162-176.
- WoS, (2023) <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search> (Haziran 2023 tarihinde erişilmiştir).
- Wright, S. (1923). The theory of path coefficients a reply to Niles's criticism. *Genetics*, 8(3), 239.
- Wurst, M., Přikryl, Z., ve Vokoun, J. (1984). High-performance liquid chromatography of plant hormones: II. Determination of plant hormones of the indole type. *Journal of Chromatography A*, 286, 237-245. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)99191-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)99191-5)
- Xiong, D., Chen, J., Yu, T., Gao, W., Ling, X., Li, Y., Peng, S., ve Huang, J. (2015). SPAD-based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf characteristics. *Scientific Reports*, 5(1), 13389. <https://doi.org/10.1038/srep13389>
- Yang, H., Dong, B., Wang, Y., Qiao, Y., Shi, C., Jin, L., ve Liu, M. (2020). Photosynthetic base of reduced grain yield by shading stress during the early reproductive stage of two wheat cultivars. *Scientific reports*, 10(1), 14353. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71268-4>
- Yang, W., Zhou, Z., ve Chu, Z. (2023). Emerging Roles of Salicylic Acid in Plant Saline Stress Tolerance. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4), 3388.
- Yönten Balaban, A., ve Akman, K. (2022). Climate Change Adaptation Policies of Metropolitan Municipalities In Turkey. *Visionary E-Journal/Vizyoner Dergisi*, 13(36).
- Yun, H., Cai, L., Du, D., Guo, Y., Sun, H., Zhong, X., Peng, X., Dai, J., ve Zhang, C. (2022). Fine mapping and phenotype assessment of the novel lesion mimic and early senescence lmes5 mutant in rice. *Euphytica*, 218(4), 45. <https://doi.org/10.1007/s10681-022-02991-4>
- Zahra, N., Hafeez, M. B., Ghafaar, A., Kausar, A., Al Zeidi, M., Siddique, K., ve Farooq, M. (2023). Plant Photosynthesis under Heat Stress: Effects and Management. *Environmental and Experimental Botany*, 206, 105178. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105178>
- Zhao, J., Lu, Z., Wang, L., ve Jin, B. (2020). Plant Responses to Heat Stress: Physiology, Transcription, Noncoding RNAs, and Epigenetics. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(1), 117. <https://doi.org/10.3390/ijms22010117>

- Zhou, R., Hyldgaard, B., Yu, X., Rosenqvist, E., Ugarte, R. M., Yu, S., Wu, Z., Ottosen, C.-O., ve Zhao, T. (2018). Phenotyping of faba beans (*Vicia faba* L.) under cold and heat stresses using chlorophyll fluorescence. *Euphytica*, 214(4), 68. <https://doi.org/10.1007/s10681-018-2154-y>
- Zhu, Y., Luo, X., Nawaz, G., Yin, J., ve Yang, J. (2020). Physiological and Biochemical Responses of four cassava cultivars to drought stress. *Scientific Reports*, 10(1), 6968. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63809-8>.



8. EKLER

Ek 1. Orta (tarla) ve aşırı (sera) sıcaklık stresi koşullarında ısı toleransı için kullanılan *Phaseolus* türleri ve genotipleri.

Genotip No	Species	Accession No.	Koleksiyon Yeri	Köken
G1	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G2	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14013	Rize	Türkiye
G3	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14014	Amasya	Türkiye
G4	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14015	Kütahya	Türkiye
G5	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14016	Hatay	Türkiye
G6	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14017	İstanbul	Türkiye
G7	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14023	Kars	Türkiye
G8	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14026	Gömbel/ Antalya	Türkiye
G9	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14029	Burdur	Türkiye
G10	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14031	Çumra/ Konya	Türkiye
G11	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G12	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14032	Isparta	Türkiye
G13	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14036	Kayseri	Türkiye
G14	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14040	Çanakkale	Türkiye
G15	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14041	Tekirdağ	Türkiye
G16	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14042	Kırlareli	Türkiye
G17	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14043	Kastamonu	Türkiye
G18	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14044	Kırlareli	Türkiye
G19	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14049	Niğde	Türkiye
G20	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14051	Adana	Türkiye
G21	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14056	Erzurum	Türkiye
G22	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14067	Kütahya	Türkiye
G23	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14069	Çorum	Türkiye
G24	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14070	Amasya	Türkiye
G25	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14071	Na	Türkiye
G26	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14072	Na	Türkiye
G27	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14073	Na	Türkiye
G28	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14074	Na	Türkiye
G29	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G30	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14077	Na	Türkiye
G31	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14078	Na	Türkiye
G32	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14079	Na	Türkiye
G33	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14080	Na	Türkiye
G34	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14082	Na	Türkiye
G35	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G36	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14083	Na	Türkiye
G37	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14084	Na	Türkiye
G38	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14085	Na	Türkiye
G39	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14086	Na	Türkiye

G40	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14087	Na	Türkiye
G41	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14088	Na	Türkiye
G42	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14090	Na	Türkiye
G43	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14091	Na	Türkiye
G44	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14092	Na	Türkiye
G45	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14102	Na	Türkiye
G46	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14104	Na	Türkiye
G47	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14105	Na	Türkiye
G48	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14106	Na	Türkiye
G49	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14107	Na	Türkiye
G50	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14108	Na	Türkiye
G51	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14109	Na	Türkiye
G52	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14111	Na	Türkiye
G53	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14112	Na	Türkiye
G54	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14116	Na	Türkiye
G55	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14118	Na	Türkiye
G56	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14120	Na	Türkiye
G57	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14134	Bekişli/ Eşme/ Uşak	Türkiye
G58	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14138	Antalya Pazar	Türkiye
G59	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14140	Na	Türkiye
G60	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14141	Na	Türkiye
G61	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Yumutalık/Adana	Türkiye
G62	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Akin	Türkiye
G63	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Antalya Pazar	Türkiye
G64	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Aras 98	Türkiye
G65	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Bucak	Türkiye
G66	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Bulduk	Türkiye
G67	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Dimyat Gold	Türkiye
G68	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Dimyat Kara Fasulye	Türkiye
G69	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Gombe	Türkiye
G70	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Kacang Merah	Türkiye
G71	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Kamerun
G72	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Kamerun
G73	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Kamerun
G74	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Kamerun
G75	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Karasehir 90	Türkiye
G76	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Kayseri Develi	Türkiye
G77	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Kayseri Pinarbarbaşı	Türkiye
G78	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Kayseri Yesil Kenk	Türkiye
G79	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Kayseri Yesilhisar	Türkiye
G80	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Local 10	Türkiye
G81	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Local 14	Türkiye
G82	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Local 5	Türkiye
G83	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Local 6	Türkiye
G84	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Local 7	Türkiye

G85	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Local 8	Türkiye
G86	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Local 9	Türkiye
G87	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Malezya
G88	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Malezya
G89	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Malezya
G90	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G91	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G92	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G93	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G94	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G95	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Önceler 98	Türkiye
G96	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Ramuan Kering	Türkiye
G97	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Terzi Baba	Türkiye
G98	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Trabzon 2	Türkiye
G99	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Trabzon 4	Türkiye
G100	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Welda Enni Uzuu	Türkiye
G101	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Y. Turkay	Türkiye
G102	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Yar Ala Barbanya	Türkiye
G103	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Yar Dermason	Türkiye
G104	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Yarutiye	Türkiye
G105	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G106	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Nunhems BV	Türkiye
G107	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Nunhems BV	Türkiye
G108	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Nunhems BV	Türkiye
G109	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Nunhems BV	Türkiye
G110	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Nunhems BV	Türkiye
G111	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Nunhems BV	Türkiye
G112	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Nunhems BV	Türkiye
G113	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Nunhems BV	Türkiye
G114	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Nunhems BV	Türkiye
G115	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	İtalya
G116	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	İtalya
G117	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	İtalya
G118	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Antalya	Türkiye
G119	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Fransa
G120	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Fransa
G121	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Fransa
G122	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Fransa
G123	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Fransa
G124	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Fransa
G125	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Fransa
G126	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	İtalya
G127	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	İtalya
G128	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	İtalya
G129	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	İtalya

G130	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Gürcistan
G131	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Kursunlu/Antalya	Türkiye
G132	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G133	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Antalya	Türkiye
G134	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Rize	Türkiye
G135	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G136	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Gürcistan
G137	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Gürcistan
G138	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Gürcistan
G139	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Gürcistan
G140	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Gürcistan
G141	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Karacaşehir	Türkiye
G142	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G143	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G144	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Konyaaltı/Antalya	Türkiye
G145	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Konyaaltı/Antalya	Türkiye
G146	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Seydikemer/Muğla	Türkiye
G147	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Gürcistan
G148	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Nunhems BV	Türkiye
G149	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Alanya/Antalya	Türkiye
G150	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Alanya/Antalya	Türkiye
G151	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Alanya/Antalya	Türkiye
G152	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Alanya/Antalya	Türkiye
G153	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Alanya/Antalya	Türkiye
G154	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Alanya/Antalya	Türkiye
G155	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Alanya/Antalya	Türkiye
G156	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Dalaman/Muğla	Türkiye
G157	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Oturak boysur	Türkiye
G158	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Dalaman/Muğla	Türkiye
G159	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14003	Na	Türkiye
G160	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14005	Na	Türkiye
G161	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14006	Na	Türkiye
G162	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14007	Na	Türkiye
G163	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14008	Na	Türkiye
G164	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14018	Na	Türkiye
G165	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Antalya	Türkiye
G166	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Antalya	Türkiye
G167	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G168	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Samsun	Türkiye
G169	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G170	<i>Phaseolus vulgaris</i>	APN 14011	Na	Türkiye
G171	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Pronkboon	Groentezaden	Hollanda
G172	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Na	Na	Türkiye
G173	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Dwarf bean	Na	Türkiye

G174	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Polka	Na	Türkiye
G175	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Stamslaboon	Groentezaden	The Netherlands
G176	<i>Phaseolus Hybr.</i>	PI 413672	Na	Colombia
G177	<i>Phaseolus coccineus</i>	PI 535284	Na	Guatemala
G178	<i>Phaseolus coccineus</i>	PI 311211	Na	Guatemala
G179	<i>Phaseolus coccineus</i>	PI 257222	Na	Colombia
G180	<i>Phaseolus coccineus</i>	PI 317580	Na	Guatemala
G181	<i>Phaseolus coccineus</i>	PI 325594	Na	Mexico
G182	<i>Phaseolus acutifolius</i>	PI 319447	Na	Mexico
G183	<i>Phaseolus acutifolius</i>	PI 239056	Na	Morocco
G184	<i>Phaseolus acutifolius</i>	PI 477033	Na	United State
G185	<i>Phaseolus acutifolius</i>	PI 309881	Na	Costa Rica
G186	<i>Phaseolus acutifolius</i>	PI 535202	Na	United States
G187	<i>Phaseolus acutifolius</i>	PI 535236	Na	United States
G188	<i>Phaseolus acutifolius</i>	PI 307802	Na	El Salvador
G189	<i>Phaseolus acutifolius</i>	PI 312198	Na	Mexico
G190	<i>Phaseolus lunatus</i>	PI 299389	Na	Brazil
G191	<i>Phaseolus lunatus</i>	PI 256423	Na	El Salvador
G192	<i>Phaseolus lunatus</i>	PI 195341	Na	Guatemala
G193	<i>Phaseolus lunatus</i>	PI 256820	Na	Ecuador
G194	<i>Phaseolus lunatus</i>	PI 257409	Na	Costa Rica
G195	<i>Phaseolus dumosus</i>	PI 311196	Na	Guatemala
G196	<i>Phaseolus dumosus</i>	PI 201323	Na	Mexico

APN: Akdeniz Üniversitesi toplama numarası; PI: USDA GRIN bitki kimlik numarası;
Na: Bilgi mevcut değildir.

ÖZGEÇMİŞ

THIERRY MICHEL TENE

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2018-2023	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Antalya
Türkçe Hazırlık Sınıfı 2017-2018	Akdeniz Üniversitesi Yabancı Diller Yüksekokulu, Antalya
Yüksek Lisans 2015-2016 (Yatay geçiş)	Yaounde I Üniversitesi Fen Fakültesi, Hayvansal Organizmalar Anabilim Dalı, Kamerun
Yüksek Lisans 2011-2013	Dschang Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Kamerun
Lisans 2008-2011	Dschang Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Kamerun

MESLEK BİLGİLERİ

Araştırma Görevlisi 2014-2017	International Institute of Tropical Agriculture, IITA-Kamerun
----------------------------------	--

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- Tene TM, Sari H, Canci H, Maaruf A, Eker T, Tokar C. Traits Related to Heat Stress in *Phaseolus* Species. *Agriculture*. 2023; 13(5):953.
<https://doi.org/10.3390/agriculture13050953>.
- Mogo, A., Thierry, M. T., Temgoua, E., Fovo, J. D., Nopogwo, J. F., Mangaptche, E. N.,

... ve Yemefack, M. (2019). Evaluation de quelques cultivars de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) en fonction des populations de mouches blanches (*Bemisia tabaci* Genn), des maladies et de la fertilisation du sol. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 26(4), 1329-1345.

3. Mogo, A., Nopogwo, J. F., Mangaptche, E. N., Tamouh, R. G., Temgoua, E., Woin, N., ... ve Rachid, H. (2018). Field Evaluation of Some Cassava Cultivars against the African Cassava Mosaic Disease in the Humid Forests of Cameroon. *Annual Research and Review in Biology*, 1-8.

