

**KALSİYUM UYGULAMASININ SU BASKINI STRESİNE
MARUZ BIRAKILAN SOYA BİTKİSİNİN (*Glycine max* L.)
GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

**EFFECTS OF CALCIUM TREATMENT ON GROWTH OF
SOYBEAN (*Glycine max* L.) EXPOSED TO SUBMERGENCE
STRESS**

Kamile Hazal TATAR

PROF. DR. Nuran ÇİÇEK
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Biyoloji Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır

2024

ÖZET

Kalsiyum Uygulamasının Su Baskını Stresine Maruz Bırakılan Soya Bitkisinin (*Glycine max* L.) Gelişimi Üzerine Etkileri

Kamile Hazal TATAR

Yüksek Lisans, Biyoloji Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nuran ÇİÇEK

Haziran 2024, 86 sayfa

İklim değişikliği nedeni ile ortaya çıkan su taşkını stresi evrensel düzeyde bitki gelişimini ve tarımsal verimi olumsuz etkileyen önemli abiyotik stres faktörlerinden biridir. Günümüzde su baskınlarının sıklığının ve şiddetinin arttığı görülmektedir. Ülkemizde de bu sorun tecrübe edilmekte özellikle Karadeniz ve Marmara bölgelerinde tarımsal verim kayıplarına neden olmaktadır. Su baskınlarının sıklıkla görüldüğü bu bölgeler su baskınına dayanıklı olmayan soya yetiştiriciliğinin de yapıldığı bölgelerdir. Strese maruz kalan bitkilere farklı uygulamalar yapılarak tolerans kazandırmak mümkün olabileceğine dair sonuçlar literatürde mevcuttur. Bu uygulamalardan farklı kalsiyum tuzlarının kullanımı ile sinyal yolları çalıştırılarak strese dayanım kazanımı sağlanmıştır. Bu bilgiler ışığında bu tez kapsamında, su baskınına orta dayanıklı olduğu belirlenen Cinsoy soya genotipinde, ön denemelerde belirlenerek bulunan 10 mM kalsiyum ile ön uygulamaların su taşkınına (su baskını, yarı batık ve tam batık) dayanım kazanımı sağlayıp sağlamadığı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal [biyokütle, kök-sürgün boyu, oransal su miktarı (RWC), pigment miktarları (klorofil, karotenoid, antosiyanin ve flavonoid) membran bütünlüğü, fotokimyasal etkinlik ve POD, GR, APX enzim aktiviteleri analizler ile incelenmiştir. Sonuç olarak, 10 mM kalsiyum uygulamasının bitki morfolojisindeki etkisi, bu tez kapsamında uygulama süresi göz önünde bulundurulduğunda, morfolojik etkiler yerine daha çok fizyolojik ve biyokimyasal (fotosentez ve antioksidant sistemler) yollarında kalsiyumun iyileştirme etkisi gözlemlenmiştir. Cinsoy genotipi, ROT'un zararlı etkilerini azaltmak için POD enzim aktivitesini etkin bir şekilde artırarak detoksifikasyonu diğer enzimlere göre

daha başarılı gerçekleştirdiği görülmüştür. Aynı zamanda, su taşkını stresine maruz kalan bitkilerde, artan H_2O_2 seviyeleri bir sinyal molekülü ve/veya serbest radikal olarak POD aktivitesini tetiklemiş ve tolerans kazanımına katkıda bulunmuş olabilir. Bu durum, bitkilerin oksidatif hasardan korunmasını sağlamakta ve stres koşullarına adaptasyonunu desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler: *Glycine max*, Fotosentez, Kalsiyum uygulaması, Dayanım mekanizması, Su Taşkını, Tolerans



ABSTRACT

Effects of Calcium Treatment on Growth of Soybean (*Glycine max* L.) Exposed to Submergence Stress

Kamile Hazal TATAR

Master of Science, Department of Biology

Supervisor: Prof.Dr. Nuran ÇİÇEK

June 2024, 86 pages

Due to climate change, flood stress has emerged as a significant abiotic factor that adversely affects plant development and agricultural productivity on a global scale. The frequency and severity of floods are increasing, which is also being experienced in our country, particularly in the Black Sea and Marmara regions, leading to agricultural yield losses. These regions, frequently affected by floods, are also areas where soybean cultivation, particularly non-flood-tolerant varieties, is conducted. Literature indicates that it is possible to enhance stress tolerance in plants subjected to stress through various treatments. Among these treatments, the use of different calcium salts has been shown to activate signaling pathways that confer stress resistance. In light of this information, this thesis investigates whether pre-treatments with 10 mM calcium, identified in preliminary trials, can enhance flood tolerance (submergence, partial submergence, and complete submergence) in the moderately flood-tolerant soybean genotype Cinsoy. This was assessed through morphological, physiological, and biochemical analyses including biomass, root-shoot length, relative water content (RWC), pigment contents (chlorophyll, carotenoid, anthocyanin, and flavonoid), membrane integrity, photochemical activity, and the activities of enzymes such as POD, GR, and APX.

The results indicated that the 10 mM calcium treatment, considering the duration of application within the scope of this thesis, had a more pronounced effect on physiological and biochemical pathways (photosynthesis and antioxidant systems) rather than morphological effects. The Cinsoy genotype effectively increased POD enzyme activity to mitigate the harmful effects of reactive oxygen species (ROS),

performing detoxification more successfully compared to other enzymes. Furthermore, increased H_2O_2 levels in plants subjected to flood stress may have acted as a signaling molecule and/or free radical, triggering POD activity and contributing to tolerance acquisition. This situation supports the protection of plants from oxidative damage and their adaptation to stress conditions.

Keywords: *Glycine max*, Photosynthesis, Calcium treatment, Response mechanism, Flooding, Tolerance



TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi, birikimini ve tecrübelerini paylaşan, bugüne kadar bana kattığı bakış açısı ve bilimsel etik ile tezimi ivedilikle bitirmemi sağlayan her zaman yanımda olan değerli hocam Prof. Dr. Nuran ÇIÇEK'e;

Yol gösterici kişiliği ile verdiği değerli önerileri ve sağladığı olanaklardan dolayı yüksek lisans eğitimim süresince desteğini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Yasemin EKMEKÇI'ye;

Yaşadığım her sorunda ulaşabildiğim ve sabırla yardımını aldığım, hem bir hoca hem de bir abla şefkatiyle yanımda olan Dr. Öğr. Üyesi Şeküre ÇULHA ERDAL'a;

Yüksek Lisans hayatım boyunca bu alanda bilmediği hiçbir şey olmayan, sorunlarım ne ile ilgili olursa olsun çözebilen, bu yolda asla beni yalnız bırakmayan canım labmatem, Omar Khalid NASHAT'a ve çok şey öğrendiğim Seda YİRMİBEŐ'e; psikolojik danışmanlarım Elif UYSAL'a ve Sıla Yağmur BEYAZ'a; yüksek lisans hayatımı güzelleştiren tüm arkadaşlarıma;

Bugüne kadar aldığım her kararıma saygı duyan ve destek olan canım aileme;

Tez deneylerim boyunca yardımlarını esirgemeyen bütün özel çalışma öğrencilerimize ve stajyerlerimize;

Teşekkür ediyorum.

Kamile Hazal TATAR
Haziran 2024, Ankara

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

| | |
|--|------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | iii |
| TEŞEKKÜR..... | v |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ..... | vi |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | x |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | xiii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ..... | xiv |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. GENEL BİLGİLER..... | 4 |
| 2.1. Soya (<i>Glycine max</i> (L.) Merr.) Bitkisi..... | 4 |
| 2.2. Soya Bitkisinin Morfolojik Özellikleri ve Gelişim Evreleri..... | 5 |
| 2.3. Bitkilerde Stres ve Stres Faktörleri..... | 7 |
| 2.3.1. Su Taşkını Stresi..... | 9 |
| 2.3.2. Su Taşkını Stresinin Bitkiler Üzerindeki Anatomik, Morfolojik, Fizyolojik ve Biyokimyasal Etkileri..... | 12 |
| 2.3.2.1. Aerenkima oluşumu..... | 13 |
| 2.3.2.2. Radyal Oksijen Bariyeri Oluşumu (ROL)..... | 13 |
| 2.3.2.3. Adventif Kök Oluşumu..... | 13 |
| 2.3.2.4. Hipertrofik Lentisel Oluşumu..... | 14 |
| 2.3.2.5. Fotosentez..... | 14 |

| | |
|---|----|
| 2.3.2.6. Yapraktaki Hiponastik Büyüme..... | 15 |
| 2.3.2.7. Hormon Düzenlemeleri..... | 16 |
| 2.3.2.8. Makro ve Mikro elementler..... | 16 |
| 2.3.3. İyon Bağımlı Sinyal İletim Yolları..... | 17 |
| 2.3.3.1. Stres Altındaki Bitkilerin Hücrelerindeki Ca ²⁺ Sinyal Ağı..... | 18 |
| | |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM..... | 21 |
| 3.1. Bitki Materyali..... | 21 |
| 3.2. Bitki Yetiştirme Yöntemi ve Deney Planı | 21 |
| 3.3. Ölçümler ve Analizler..... | 25 |
| 3.3.1. Morfolojik Ölçümler..... | 25 |
| 3.3.1.1. Sürgün ve Kök Boyu Ölçümü..... | 25 |
| 3.3.1.2. Yaş ve Kuru Ağırlık (Biyokütle) Ölçümleri..... | 26 |
| 3.3.2. Fizyolojik ve Biyokimyasal Ölçümler..... | 26 |
| 3.3.2.1. Oransal Su Kapsamının Ölçümü..... | 26 |
| 3.3.2.2. Fotosentetik Pigment Miktarının Belirlenmesi..... | 26 |
| 3.3.2.3. Antosiyanin ve Flavonoid Miktarlarının Belirlenmesi..... | 26 |
| 3.3.2.4. Malondialdehit (MDA) ve Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Miktarlarının Belirlenmesi..... | 27 |
| 3.3.2.5. Polifazik Klorofil a Floresansı Ölçümleri..... | 28 |
| 3.3.2.6. Bazı Antioksidan Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi..... | 29 |
| 3.3.2.6.1. Protein İçeriğinin Belirlenmesi..... | 29 |

| | |
|---|----|
| 3.3.2.6.2. Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesinin Belirlenmesi | 30 |
| 3.3.2.6.3. Glutatyon Redüktaz (GR) Aktivitesinin Belirlenmesi | 30 |
| 3.3.2.6.4. Peroksidaz (POD) Aktivitesinin Belirlenmesi..... | 31 |
| 3.4. Veri Analizi..... | 31 |
| 4. BULGULAR..... | 32 |
| 4.1 Farklı Su Taşkını Koşullarına Maruz Kalan Soya Bitkisinde Kalsiyum Ön Uygulamasının Meydana Getirdiği Morfolojik Değişimler..... | 32 |
| 4.1.1. Sürgün Boyundaki Değişimler..... | 32 |
| 4.1.2. Kök Boyundaki Değişimler..... | 33 |
| 4.1.3. Yaş Ağırlıkta Değişimler. | 33 |
| 4.1.4. Kuru Ağırlıkta Değişimler..... | 34 |
| 4.2 Farklı Su Taşkını Koşullarına Maruz Kalan Soya Bitkisinde Kalsiyum Ön Uygulamasının Meydana Getirdiği Fizyolojik Değişimler..... | 35 |
| 4.2.1. Oransal Su İçeriğindeki Değişimler..... | 35 |
| 4.2.2. Fotosentetik Etkinlikteki Değişimler | 36 |
| 4.2.2.1. OJIP Eğrilerindeki (Kautsky Eğrileri) Değişimler..... | 36 |
| 4.2.2.2. Fotosentetik Aygıtların Spesifik Enerji Akışlarındaki Değişimi... | 37 |
| 4.2.2.3. Yaprakların Fenomenolojik Enerji Akışlarındaki Değişimler..... | 38 |
| 4.2.2.4. Diğer Bazı JIP-Test Parametrelerindeki Değişimler..... | 41 |
| 4.3. Farklı Su Taşkını Koşullarına Maruz Kalan Soya Bitkisinde Kalsiyum Ön Uygulamasının Meydana Getirdiği Biyokimyasal Değişimler..... | 43 |
| 4.3.1. Fotosentetik Pigment Miktarlarındaki Değişimler..... | 43 |
| 4.3.2. Antosiyanin ve Flavonoid Miktarlarındaki Değişimler..... | 43 |

| | |
|---|----|
| 4.3.3. MDA ve H ₂ O ₂ Miktarlarındaki Değişimler..... | 44 |
| 4.3.4. Bazı Antioksidant Enzim Aktivitelerindeki Değişimler..... | 46 |
| 4.3.4.1. Toplam Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi..... | 46 |
| 4.3.4.2. Toplam Glutasyon Redüktaz (GR) Aktivitesi..... | 47 |
| 4.3.4.3. Toplam Peroksidaz (POD) Aktivitesi..... | 47 |
| 5. TARTIŞMA..... | 49 |
| 6. ÖNERİLER..... | 54 |
| KAYNAKLAR..... | 55 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 64 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | | |
|------------|---|----|
| Şekil 2.1. | 2023-2024 yılı ülkelerin soya üretimi..... | 5 |
| Şekil 2.2. | Soya bitkisinin genel yapısı | 6 |
| Şekil 2.3. | Soya [<i>Glycine max</i> (L.) Merrill] bitkisinin gelişim evreleri..... | 7 |
| Şekil 2.4. | Bitki gelişimine etki eden biyotik ve abiyotik stres faktörleri..... | 8 |
| Şekil 2.5. | Su taşkınının nedenleri..... | 10 |
| Şekil 2.6. | Bitki gelişimini etkileyen su taşkını stres türleri | 11 |
| Şekil 2.7. | Su taşkınının bitkiler üzerindeki etkileri | 12 |
| Şekil 2.8. | Su taşkınına dayanımda hormonal düzenlemeler..... | 16 |
| Şekil 2.9. | Stres altındaki bitkilerin hücrelerindeki Ca^{+2} sinyal ağı..... | 19 |
| Şekil 3.1. | Ön denemelere yapılan mM uygulamaları ve morfolojik etkileri.... | 22 |
| Şekil 3.2. | İklim dolabında 14 gün büyütülen bitkilerin genel görünümü..... | 22 |
| Şekil 3.3. | Deneme planı..... | 24 |
| Şekil 3.4. | A) HandyPEA cihazının genel görünümü, B) Biolyzer HP3 programında analiz görüntüsü, C) JIP testinin şematik bir sunumu D) Fotosentetik materyaldeki tipik polifazik klorofil a fluoresans yükselişi ve fotosentetik aparatındaki süreçler E) JIP-test sonuçlarının grafiksel sunum türü (radar ve membran ile yaprak modelinde pipeline) örnekleri..... | 28 |
| Şekil 4.1. | Farklı su taşkını koşullarına maruz kalan soya bitkisinde kalsiyum ön uygulamasının sürgün boyuna etkisi..... | 32 |

| | | |
|------------|--|----|
| Şekil 4.2. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde kalsiyum ön uygulamasının kök boyu üzerine etkisi..... | 33 |
| Şekil 4.3. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde kalsiyum ön uygulamasının yaş ağırlık üzerine etkisi..... | 34 |
| Şekil 4.4. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde kalsiyum ön uygulamasının kuru ağırlık üzerine etkisi..... | 35 |
| Şekil 4.5. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde kalsiyum ön uygulamasının oransal su içeriği üzerine etkisi..... | 36 |
| Şekil 4.6. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının OJIP eğrilerinde (Kautsky eğrisi) meydana getirdiği değişimler..... | 37 |
| Şekil 4.7. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının fotosentetik aygıtlardaki RC başına enerji akışlarında (spesifik) oluşturduğu değişimler (A, ABS/RC; B, TR0/RC; C, ET0/RC; D, DI0/RC..... | 39 |
| Şekil 4.8. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının fotosentetik aparatındaki fenomenolojik enerji akışları (yaprak modelinde birim yaprak alanı başına, CSo) üzerine etkisi. Fenomenolojik enerji akış parametrelerini gösteren okların genişlikleri, parametrelerin nispi değerlerini temsil etmektedir. Enerji akışları; her bir yaprak alanı başına absorplanan enerji (ABS/CSo), yakalanan enerji (TR/CSo), elektron taşıma (ET/CSo) ve aşırı uyarılma enerjisinin ısı olarak yayılımını (DI/CSo) içermektedir. Siyah daireler inaktif, açık daireler aktif reaksiyon merkezlerini temsil etmektedir..... | 40 |
| Şekil 4.9. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının bazı JIP-Test parametreleri üzerine etkisi..... | 42 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 4.10. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının antosiyanin miktarı üzerine etkisi..... | 44 |
| Şekil 4.11. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının flavonoid miktarı üzerine etkisi | 45 |
| Şekil 4.12. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının MDA miktarı üzerine etkisi..... | 45 |
| Şekil 4.13. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının H ₂ O ₂ miktarı üzerine etkisi..... | 46 |
| Şekil 4.14. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının APX aktivitesi üzerine etkisi..... | 46 |
| Şekil 4.15. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının GR aktivitesi üzerine etkisi..... | 47 |
| Şekil 4.16. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının POD aktivitesi üzerine etkisi..... | 48 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | | |
|--------------|--|----|
| Çizelge 3.1. | Hoagland besin çözeltisi içeriği..... | 23 |
| Çizelge 3.2. | Deney gruplarına ait rumuzlar ve açıklamaları..... | 25 |
| Çizelge 3.3. | OJIP testte kullanılan bazı terimlerin, tanımlamalarının ve formüllerinin özeti..... | 29 |
| Çizelge 4.1. | Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının fotosentetik pigment miktarları (mg.ml-1.g.YA-1) üzerine etkisi..... | 43 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

| | |
|-----------------|-------------------------|
| °C | Santigrat derece |
| % | Yüzde |
| cm | Santimetre |
| dk | Dakika |
| g | Gram |
| kg | Kilogram |
| m | Metre |
| cm ² | Santimetrekaire |
| ml | Mililitre |
| mm | Milimetre |
| mM | Milimolar |
| nm | Nanometre |
| MA | Moleküler ağırlık |
| L | Litre |
| Log | Logaritma |
| ppm | Milyonda bir birim |
| rpm | Dakikadaki devir sayısı |
| s | Saniye |
| µg | Mikrogram |
| µl | Mikrolitre |
| µmol | Mikromol |
| µs | Mikro saniye |

Kısaltmalar

| | |
|---|--|
| ABS/RC | Aktif reaksiyon merkezinin verimli anten büyüklüğü |
| ANOVA | Varyans analizi (Analyses of variance) |
| AOT | Aktif Oksijen Türleri |
| AÖF | Anlamlı önemli fark |
| APX | Askorbat peroksidaz |
| ATP | Adenozin trifosfat |
| BSA | Sığır serum albümini (Bovine serum albumin) |
| Ca | Kalsiyum |
| CaCl ₂ | Kalsiyum Klorür |
| PT | Ön Uygulama (Pre-treatment) |
| DI ₀ /RC | Bir aktif reaksiyon merkezinin enerji dağılımı |
| EDTA | Etilendiamintetraasetik asit |
| ET ₀ /ABS(ϕE_0) | Elektron transportunun maksimum verimi (PHI(E ₀)) |
| ET ₀ /RC | Reaksiyon merkezi başına elektron transportu |
| ET ₀ /TR ₀ (Ψ_0) | Q _A 'dan elektron transport zincirine bir elektronu hareket ettirme etkinliğini |
| F_0 | Karanlığa adapte olmuş yapraklardaki minimum fluoresans |
| F_M | Karanlığa adapte olmuş yapraklardaki maksimum fluoresans |
| F_V | Karanlığa adapte olmuş yapraklardaki değişken fluoresans |
| $F_V/F_M(\phi P_0)$ | PSII'nin potansiyel fotokimyasal etkinliği (TR ₀ /ABS) |
| F_V/F_0 | PSII'de O ₂ oluşturan kompleksin etkinliği |
| GR | Glutatyon redüktaz |

| | |
|---|--|
| GSH | İndirgenmiş glutatyon |
| GSSG | Yükseltgenmiş glutatyon |
| H ₂ O ₂ | Hidrojen peroksit |
| HCl | Hidroklorik asit |
| KA | Kuru ağırlık |
| KATI | Kuru ağırlık tolerans indeksi |
| KH ₂ PO ₄ | Potasyum di hidrojen fosfat |
| LSD | Anlamli Önemli Fark |
| MDA | Malondialdehit |
| NADPH | Nikotinamid adenin dinükleotid |
| Na ₂ EDTA | Di sodyum etilendiamin tetraasetik asit |
| NH ₄ NO ₃ | Amonyum nitrat |
| O ₂ ⁻ | Süperoksit radikali |
| ¹ O ₂ | Singlet oksijen |
| OH· | Hidroksil radikali |
| PI-PI _{abs} | Performans indeksi |
| PI _{top} | Toplam performans indeksi |
| POD | Peroksidaz |
| PSI | Fotosistem I |
| PSII | Fotosistem II |
| PVP | Polivinilpirolidon |
| RE ₀ /ABS (ϕR_0) | Q _A ⁻ dan ferrodoksine elektron transportunun kuantum verimi |
| RE ₀ /ET ₀ (δR_0) | İndirgenmiş sistemler arası elektron alıcılarının bir elektronu PSI son elektron alıcılarına hareket ettirme etkinliği |

| | |
|------|---|
| SPSS | Sosyal bilimler için istatistik paket programı (Statistical Package for the Social Sciences) |
| TA | Taze ağırlık |
| TBA | Tiyobarbütirik asit |
| TCA | Trikloroasetik asit |
| TFA | Trifloroasetik asit |
| UV | Ultraviyole |



1. GİRİŞ

İklim değişiminin bir sonucu olarak oluşan küresel ısınma, beraberinde yağış rejimlerinin değişimine yol açmıştır. Son altmış yılda, dünya genelinde su taşkınlarının (sel olaylarının) sıklığında ve şiddetinde artış olduğu bildirilmektedir (Bailey-Serres ve ark., 2012). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından 2006-2016 yılları arasındaki on yıllık süreçte tarımsal ürünlerde meydana gelen tüm zarar ve kayıpların yaklaşık üçte ikisinin nedeninin su taşkınlarının (sel) olduğu bildirilmektedir (Fukao ve ark., 2019). Tahmin edilen ve gözlemlenen yağış ve sıcaklık değerleri arasındaki farklılıkların eşit olmayan bir dağılım sergilediği iklim senaryoları ile ortaya konulmuş (Avcı ve ark., 2021) ve bu ekstrem koşulların sıklığının daha da artacağı öngörülmektedir. Genel olarak, aşırı miktarda yağış ve kötü toprak drenajı nedeni ile ortaya çıkan su taşkınları, toprak gözeneklerindeki hava, su ile yer değiştirmekte ve bunun sonucunda topraktaki oksijen seviyeleri hızla düşmekte ve hipoksi (oksijen eksikliği) sorunu da oluşmaktadır (Garcia ve ark., 2020). Yağışlı mevsimlerin zamanının daralması ve bu kısa zamanda yağış miktarlarının artması sebebiyle özellikle tarımsal bitkiler su taşkını stresine daha çok maruz kalmaktadır (Oladosu ve ark., 2020). Dolayısıyla; su taşkınları, bitkilerin morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerini (biyokütle, bitki boyu, yaprak alanı, fotosentez, solunum, membran stabilitesi, pigment miktarları, savunma sistemi elemanları vb.) olumsuz yönde etkileyerek tarımsal verim kayıplarına yol açmaktadır (Oladosu ve ark., 2020).

Bitkiler, büyüme ve gelişmelerinin farklı evrelerinde çeşitli su taşkını tiplerine maruz kalabilirler. Bu su taşkını tiplerinden biri olan kök batıklığı (waterlogging) stresi ile ilgili çeşitli bitkiler ile birçok çalışma literatürde yer alırken, yarı (kısmi) ve tam batıklığın (submergence) bitki büyüme ve gelişmesi üzerine etkilerine ilişkin çalışmalar sınırlı sayıdadır.

Bitkilerde verimi belirleyen temel metabolik süreçlerden biri de fotosentezdir. Su taşkınları koşullarında fotosentetik etkinliği devam ettirebilme yeteneği bitkilerin bu strese karşı dayanımında önemli etkenlerden biridir. Bitkiler, su altında kalması durumunda muhtemelen stomalarını hızla kapatarak, yaprağa giren CO₂'i sınırlandırılmakta (Chaves, 1991; Cornic, 2000; Chaves ve ark., 2009) ve bunun sonucunda fotosentetik aktivitede azalmaya yol açmaktadır. Su taşkını stresinde bitkilerin fotosentetik etkinliklerindeki sınırlanma, işığın yakalanması ve kullanımı

arasındaki bir dengesizliğe bağlı olarak inhibisyonlara yol açtığı bildirilmektedir (Nashat, 2022). Bununla ilişkili olarak özellikle PSII'nin PSI'den ekstrem su rejimlerine karşı daha hassas olduğu bildirilmektedir (Lin ve ark., 2015). Fotosistemlerin fonksiyonlarındaki engellenme, yüksek enerjili elektronların moleküler oksijene (O_2) aktarılıp (Mittler, 2002; 2017), singlet oksijen (1O_2), süperoksit (O_2^-), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali ($HO\cdot$) gibi reaktif oksijen türlerinin (ROT) oluşumuna neden olup, tilakoid membranlarda peroksidasyonlara yol açabilmektedir. Çevresel streslerin ortak bileşeni aslında hücrelerin farklı bölümlerinde ROT'ların aşırı üretimidir (Smirnoff, 1993; Chaves ve ark., 2009; Striker, 2012; Mittler, 2017) ve bu aşırı üretim, membranların peroksidasyonlarının neden olan oksidatif hasarlara yol açmaktadır. Bitkiler, oksidatif hasarların etkilerini bertaraf etmek için birçok savunma mekanizmaları geliştirirler. Bu mekanizmalarından en önemlileri, ROT uzaklaştırıcı sistemler ve fotokimyasal yol ile aşırı eksitasyon enerjisinin ısı olarak dağıtıldığı ışık koruyucu mekanizmalardır. ROT uzaklaştırıcı sistemler, süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR), peroksidaz (POD) ve katalaz (CAT) gibi enzimatik yol ile askorbik asit, glutatyon, α -tokoferol, β -karoten ve fenolikler gibi enzimatik olmayan antioksidanlardır (Apel ve Hirt, 2004; Asada, 2006; Valliyodan ve Nguyen, 2006; Shi ve ark., 2012; Striker, 2012; Zhou ve ark., 2015; Yao ve ark., 2017). Çoğu kültür bitkisi su taşkınlarına karşı duyarlı olmakla birlikte, habitatlarında bu stresle karşılaşmaları durumunda, diğer stres koşullarında olduğu gibi, bunun üstesinden gelebilmek için savunma mekanizmalarını aktive ederek tolerans geliştirebildikleri bildirilmiştir (Zhou ve ark., 2016). Ayrıca su taşkınlarının olumsuz etkileri iyileştirme/hafifletmeye yönelik farklı uygulamalar ile tolerans kazanımının sağlanacağı çalışmalarına gereksinim vardır (Ou ve ark., 2017; Francini ve Sebastiani, 2019).

Bitkilerde su taşkını sinyalin algılanmasında yer alan çok yönlü fonksiyonlara sahip sinyal molekülleri mevcuttur ve bunlardan birisi de kalsiyum (Ca^{+2}) iyonudur. Stres koşulları altında Ca, sinyal iletim yollarının önemli bir bileşeni olup, hücresel konsantrasyonlarındaki değişiklikler tuz stresi, oksidatif stres, su taşkını, soğuk, ışık ve patojen stresi de dahil olmak üzere çeşitli abiyotik ve biyotik faktörler tarafından indüklenebildiği belirlenmiştir (Porto ve ark., 2013; Riveras ve ark., 2015; Mohanta ve ark., 2018). Su taşkını stresinde kalsiyum ikincil haberci olarak görev almasının yanı sıra, oksidatif stresin hafifletilmesine ve stres altında hücre çeperinin bütünlüğünün

korunmasına da yardımcı olduğu bildirilmektedir (Shabbir ve ark.,2022). Ayrıca bitki hücrelerinin yapı ve fonksiyonunda önemli bir yere sahip olan kalsiyumun, stres koşullarına maruz kalan bitkilerin büyüme ve gelişmesinde gözlenen olumsuz etkileri hafifletici ve/veya iyileştirici etkileri bazı sınırlı sayıda çalışmalarla ortaya konulmaya çalışılmıştır. (Al-Harbi, 1995; Türkmen ve ark., 2002; 2004).

İklim değışikliğinin bir sonucu olarak ÷lkemizde özellikle Karadeniz bölgesinde oluşan zamansız, yoğun ve şiddetli yağışlar su taşkınlarına yol açmakta tarımsal bitkilerin özellikle de yaygın ekimi yapılan soya yetiştiriciliğini olumsuz etkileyeceği ve önemli verim kayıplarının olacağı tahmin edilmektedir. Karadeniz Bölgesi'nde 1930'lu yıllarda ekimine başlanan soya bitkisi (*Glycine max* L.), hem protein bakımından zengin bir yağ bitkisi olması hem de kullanım alanlarının çokluğu ile önemli tarımsal bitkilerden biridir (Bayar ve Yılmaz, 2005). Soya bitkisinin verim ve adaptasyonunun da su taşkını stresinden olumsuz etkilendiği ve çeşitli adaptasyon mekanizmalarını devreye sokabildikleri bildirilmiştir (Andjelkovic, 2018; Wang ve ark., 2018; Jia ve ark., 2021). Morfolojik, fizyolojik ve anatomik adaptasyon mekanizmalarına adventif kök, hipertrofik lentisel, aerenkima ve radyal oksijen kaybı (ROL) bariyeri oluşumu, hiponastik büyüme örnek olarak verilebilir (Jia ve ark., 2021; Voesenek ve ark., 2003; Shimamura ve ark., 2010). Ayrıca, soya fasulyesinin su taşkını dayanım mekanizmaları birçok omik çalışmaları ile de ortaya konulmuştur (Oh ve Komatsu, 2015; Wang ve ark., 2018). Bunların yanı sıra farklı tip su taşkınlarına maruz kalan (yarı batık ve tam batık) soya bitkisinin cevapları morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal analizler ile ortaya konularak karakterize edilmiştir (Nashat, 2022).

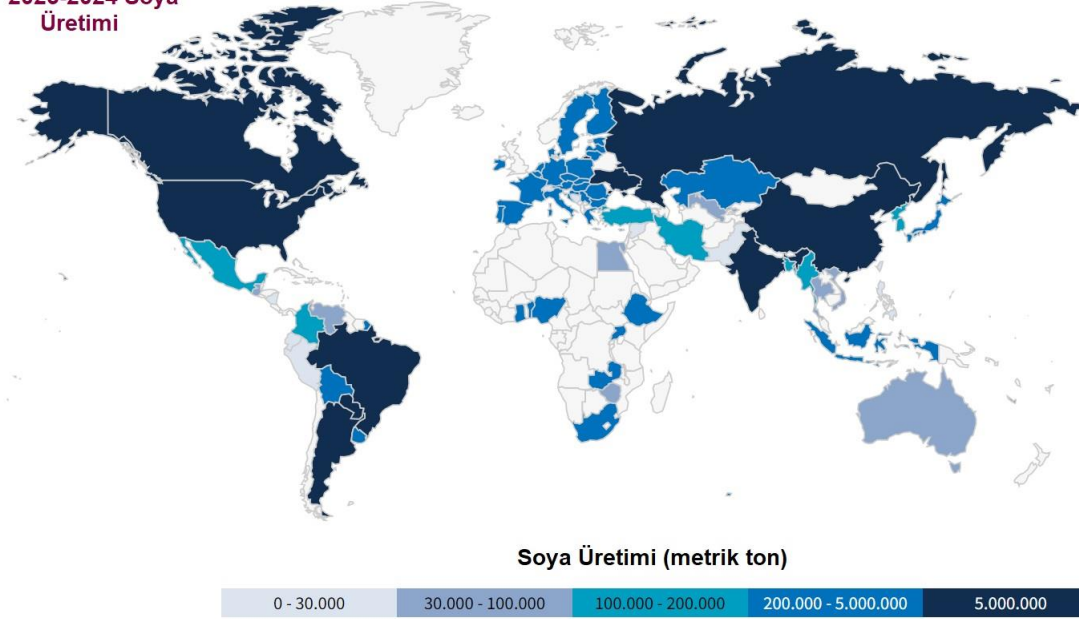
Bunun yanı sıra soya bitkisinde Ca⁺² uygulamasının kök uçlarındaki hücre ölümünü engelleyip kök uzamasını sağlayarak bitkilerde su taşkını stresine karşı toleransını arttırdığı bildirilmiştir (Oh ve ark., 2014; Ou ve ark., 2017). Bu bağlamda bu tez kapsamında su taşkının üç farklı tipine (kök baskını, yarı ve tam batık) maruz kalan Cinsoy soya genotipinde kalsiyum ön uygulamasının meydana getirdiği değışimler ve Ca⁺² sinyallesinin su taşkını stresine karşı iyileştirici etkisinin olup olmadığı ve tolerans mekanizmasında yer alıp almadığı ortaya konulmuş ve tartışılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Soya Bitkisi [*Glycine max* (L.) Merrill]

Soya bitkisi [*Glycine max* (L.) Merrill], Fabaceae ailesine ait, Rosales takımında yer alan tek yıllık bir türdür. Kazık kök sistemi, bileşik yaprakları, küçük beyaz veya mor çiçekleri ve genellikle bir-dört tohum içeren bakla tipi meyveleri ile önemli bir yağ bitkisidir. Ekimi yapılan soya çeşitlerinin tipik bitki boyu 0.2-1.5 m arasındadır. Yetiştirilen soya bitkisinin, Çin'in Huang-Huai Vadisi'nde yaklaşık 5.000 yıl önce yabani atası (*Glycine soja* Sieb. & Zucc.)'dan ıslah edildiği yaygın olarak kabul edilmektedir (Fang ve Kong, 2022). İlk olarak Asya kıtasında keşfedilen soya bitkisi, daha sonra ise besin değeri yüksek olması sebebiyle birçok bölgede kültüre alınarak yetiştirilmiştir ki; dünyada en çok ekim alanına sahip yağ bitkilerinden de birisidir. Amerika'da soya ekili olan ve Arjantin, Bolivya, Brezilya vs. bölgeleri içerisine alan coğrafi bölge, "Soya Cumhuriyeti" olarak adlandırılan tek ve birleşik bir bölgesel ekonomik alan olarak değerlendirilmektedir. Bu kadar önemli olmasını sağlayan sebepler ise; yaklaşık %18-22 yağ, %35-40 protein, %30 karbonhidrat ve %5 mineral madde, çok sayıda vitamin ve aminoasitler içermesi nedeniyle bitkisel yağ ve proteinin ana kaynağı olmasıdır. Soya bitkisi, genellikle yağ, gıda (soya sütü, soya sosu, tofu peyniri vb) ve yem endüstrilerinde ve biyoyakıt üretiminde kullanılır. Bu çok işlevlilik ve yüksek besin içeriği, soyanın küresel tarım ve endüstriyel üretimde önemli bir yere sahip olmasını sağlamıştır (Şekil 2.1) (Turzi, 2011; Lee ve ark., 2011; Giraud, 2014; FAO 2017; Latifinia ve Esvand, 2022; Maleki ve ark., 2013). Amerika Birleşik Devleti (ABD) Tarım Bakanlığı yayınladığı 2023 yılı verilerine göre; en çok soya üretiminde Brezilya, ABD, Arjantin, Çin gibi ülkeler ilk sıralarda yer alırken, Türkiye soya üretiminde 28. Sıradadır (<https://fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000>). 2023 yılında Türkiye'nin soya üretiminin bir önceki yıla göre azalarak yaklaşık 138 bin ton olduğu bildirilmektedir (TUİK, 2023).

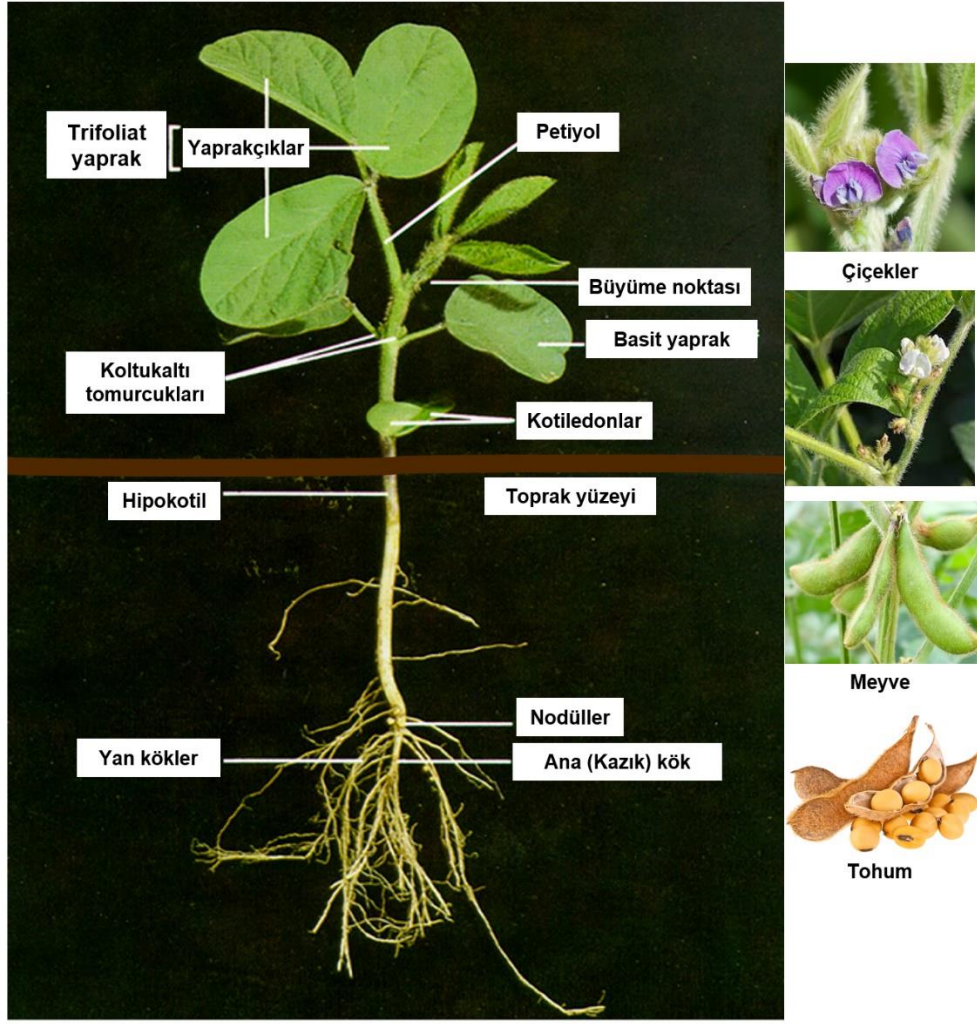
2023-2024 Soya Üretimi



Şekil 2.1. 2023-2024 yılı ülkelerin soya üretimi
(<https://fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000>).

2.2. Soya Bitkisinin Morfolojik Özellikleri ve Gelişim Evreleri

Soya bitkisi genel olarak 60-70 cm derinliğe ulaşan ve yoğun yan kök gelişimi sergileyen kazık kök sistemine sahiptir (Şekil 2.2). Bu kökler üzerinde azot fiksasyonunu gerçekleştiren bakterilerin bulunduğu nodül yapıları oluşmaktadır. Soya genotipine bağlı olarak, 10-15 nod (boğum)'dan oluşan gövde boyu; koşullar ile ekim zamanı gibi değişkenlere bağlı olarak 60-150 cm arasında değişmektedir. Soya bitkisinin ilk gerçek yaprakları basit olup, sonraki yapraklar trifoliat (üçlü) şeklinde bileşik yapraklardır. Yaprak koltuklarında 3-15 adet kısa saplı çiçekler bulunur. Çiçek rengi genotipe bağlı olarak değişmekle birlikte beyaz ve mordur. Bakla tipi (legümen) meyvelerin boyu 3-5 cm, yaklaşık 1 cm kalınlıkta olup, genel olarak 2-4 tohum içerir. Bir bitkide genel olarak 30-40 bakla bulunmaktadır, ancak genotipin boyuna, ekim zamanına, sıklığına vb koşullara göre bu sayı değişmektedir. Tohumlar genellikle sarı veya kahverengi tonlarında; yuvarlak veya yassı şekillidir (Nazlıcan, 2002).



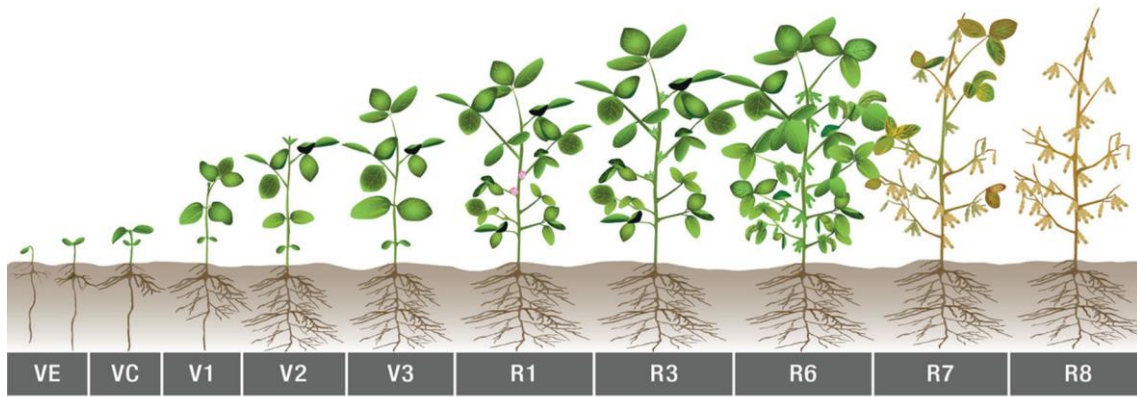
Şekil 2.2. Soya bitkisinin genel yapısı

(<https://www.ndsu.edu/agriculture/sites/default/files/2021-11/a1174.pdf>)

Soya bitkisinin gelişim evreleri vejetatif ve generatif evre olmak üzere iki temel evreden oluşmakta; her iki evre de kendi içinde alt evrelere (VE, VC, V1...V6 ve R1-R8) ayrılmaktadır (Şekil 2.3). Yeterli nem ve uygun sıcaklığa sahip koşullarda soya bitkisinin tohumundan önce birincil (primer) kök çıkar, daha sonra kotiledonlar toprak yüzeyine çıkar (VE, çimlenme). Kotiledonlar, bitkinin besin ihtiyacını, çimlenmeden sonraki 7-10 gün boyunca karşılar. Kotiledonlar tamamen ortaya çıktıktan kısa bir süre sonra, kotiledon evresi (VC) denilen aşamada, ikinci nodda tek parçadan ibaret yapraklar (basit yapraklar) gelişir ve fotosentezle karbohidrat sentezlemeye dolayısıyla enerji üretmeye başlar. İlk trifoliat (üç yapraklı) yaprakların gelişimi ve tamamen uzaması, büyümenin V1 aşamasını oluşturur ve ana gövde üzerinde her üç yaprakçığı

tamamen gelişmiş yaprakla birlikte, diğer bir V aşaması oluşturur. V6 aşamasına kadar trifoliat yapıların oluşmaya ve boy uzamasının devam ettiği vejetatif evre sürer.

R1 aşamasında herhangi bir nodda (genellikle 3-6. nodda) çiçeklenme başlar ve ana kök ile yan (sekonder) köklerin gelişimi devam eder. R6 aşamasında tohum oluşumu tamamlanıp, olgun tohumlar meydana getirilmektedir. R7 ve R8 döneminde olgunlaşmaya devam tohumları içeren baklalar ve bitkinin diğer yapıları sararmaya başlar. Sararmalar tamamen bittiğinde soya bitkisi hasat edilmeye hazır anlamına gelmektedir (Purcell ve Montserrat, 2014; Kandel ve Endres, 2019; Rees ve ark., 2019).

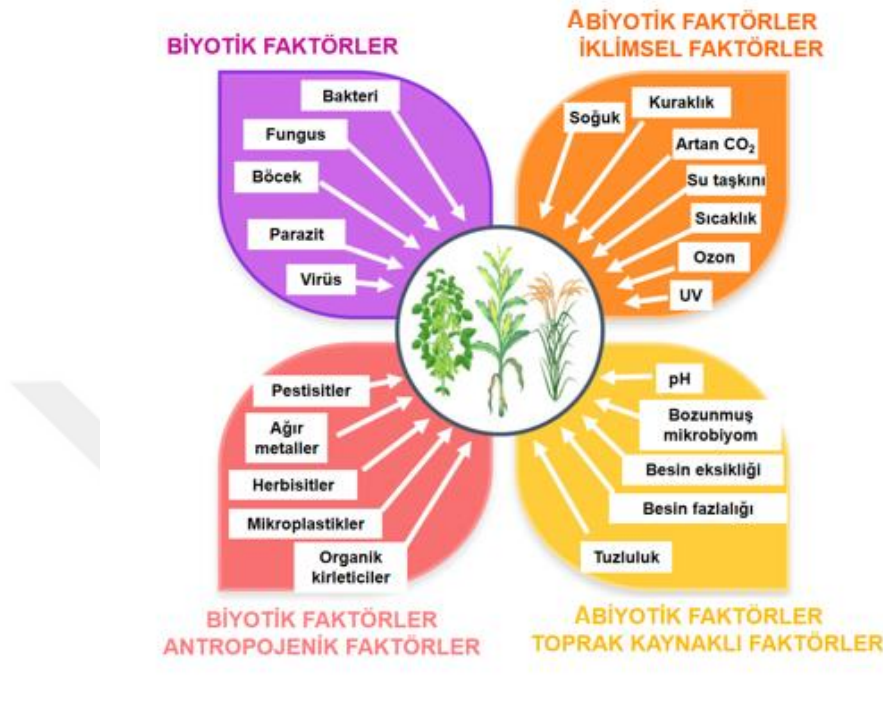


Şekil 2.3. Soya [*Glycine max* (L.) Merrill] bitkisinin gelişim evreleri (<https://www.krugerseed.com/en-us/agronomy-library/soybean-growth-stages.html>)

2.3. Bitkilerde Stres ve Stres Faktörleri

Stres, olumsuz çevre koşulları nedeniyle canlıların bazı fonksiyon ve sistemlerinde bir denge ve düzen bozukluğu sonucu ortaya çıkan fizyolojik, biyokimyasal ve davranışsal bir yanıttır (Taiz, 1984). Bitkiler için en uygun büyüme koşulları bitkinin, maksimum büyüme ve üreme potansiyeline ulaşmasını sağlayan koşullardır. Bu koşullar (faktörler) normal aralıkların dışına çıkması durumunda, bitki gelişimi üzerinde olumsuz fizyolojik ve biyokimyasal etkiler oluştururlar. Bitkiler zaman ve coğrafik yerleşime göre değişen pek çok abiyotik kimyasal ve fiziksel faktörün ve/veya biyotik faktörün bulunduğu zorlu ortamlarda büyür ve ürerler. Stres, bitkilerin büyüme ve gelişmesini engellediği gibi hayatta kalmasına kadar giden bir süreci etkilemektedir. Stres oluşturan faktörlere, stres faktörleri denilmekte olup, bitkilerde biyotik ve abiyotik stres faktörleri olmak üzere iki ana başlıkta incelenmektedir (Şekil 2.4). Bitkiler, doğal

habitatlarda veya yetiştirme alanlarında, rutin olarak farklı abiyotik ve/veya biyotik stres koşullarına ve bunların kombinasyonlarına eş zamanlı veya ardışık maruz kalabilmektedir (Zandalinas ve ark., 2024).



Şekil 2.4. Bitki gelişimine etki eden biyotik ve abiyotik stres faktörleri (Zandalinas ve ark., 2024'ten modifiye edilmiştir)

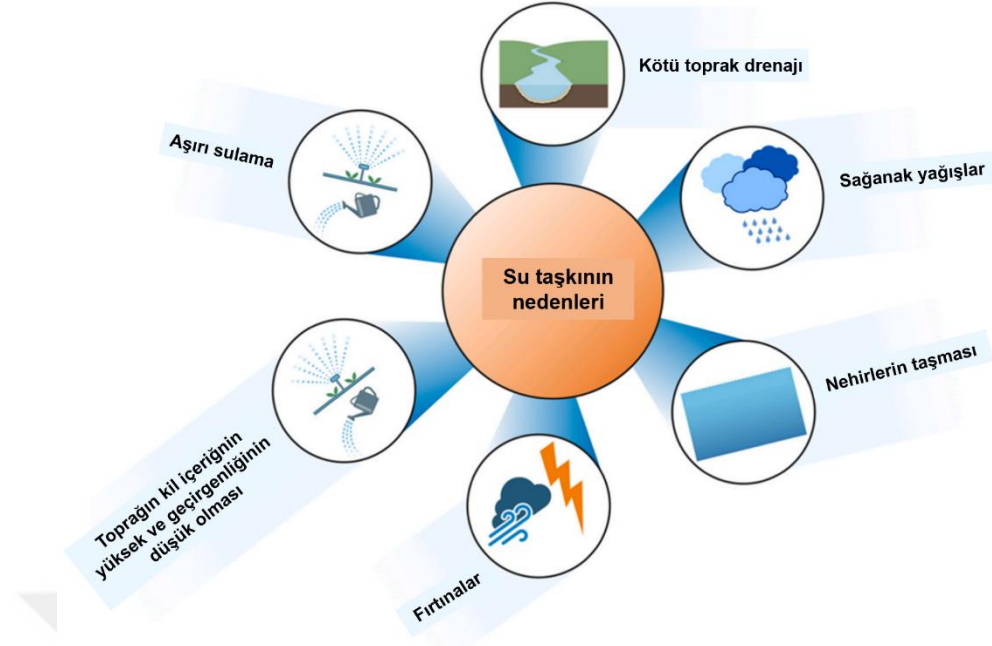
Bitkiler evrimsel süreçleri gereği 450 milyon yıl önce karasal habitatlarda yaşamaya başlamalarından bu yana; stres faktörlerinden etkilenmiş ve bu zor koşullarla başa çıkmak zorunda kalmışlardır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 2021'de yayınladığı 6. Değerlendirme Raporu'na göre insan kaynaklı sera gazlarındaki artış, aşırı hava olaylarının sıklığını ve yoğunluğunu artırmıştır (<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>). NASA iklim değişikçe, küresel olarak aşırı hava koşullarının da etkilendiğini, karasal ve sucul ortamlarda rekor kıran sıcaklık dalgalanmaları, sağanak yağışlar, şiddetli seller, yıllar süren kuraklıklar, aşırı orman yangınları ve kasırgalar nedeni ile su taşkınları daha sık ve daha şiddetli hale geldiğini bildirmektedir (<https://science.nasa.gov/climate-change/extreme-weather/>). İklim değişikliğinin bu şiddetle artışı bitkilerin gelişimini daha da olumsuz etkiyeceği; dolayısıyla tarımsal verimin düşmesi, bitki hastalıklarının artması ve habitat kaybı

oluşması öngörülmektedir (Valliyodan ve Nguyen, 2006; Gray ve Brady, 2016; Sperdouli, ; Mellidou ve Moustakas, 2021; Renziehausen, Frings ve Schmidt-Schippers, 2024).

2.3.1. Su Taşkını Stresi

Su taşkını stresi, dünya genelinde son zamanlarda çok daha dikkate alınması gereken stres faktörlerinden biridir. Su taşkını, genellikle aşırı yağışlar, buzulların erimesi, nehirlerin taşması veya deniz seviyesindeki yükselmeler gibi nedenlerle suların normal seviyelerinin üzerine çıkması ve karasal alanları kaplaması olayıdır (Şekil 2.5). Bu olay, yerleşim yerleri, tarım arazileri ve doğal ekosistemler için ciddi riskler taşımaktadır. NASA'nın son 27 yıldır uydu ölçüm verileri, hem ısıyı hapseden sera gaz birikiminden hem de buzulların erimesi sebebiyle deniz seviyesinde yükselmeler meydana geldiğini, hatta tüm buzullar erirse, küresel deniz seviyesinin 60 metreden fazla yükseleceğini elde edilen verilerle yapılan modelleme çalışmaları göstermektedir (NASA 2018). Ayrıca, Kulp ve Strauss (2019) su seviyesinin yükselmesinin sahil şeridinde yaşayan insanlar başta olmak üzere canlıları olumsuz yönde etkileyeceğinden bildirmişlerdir.

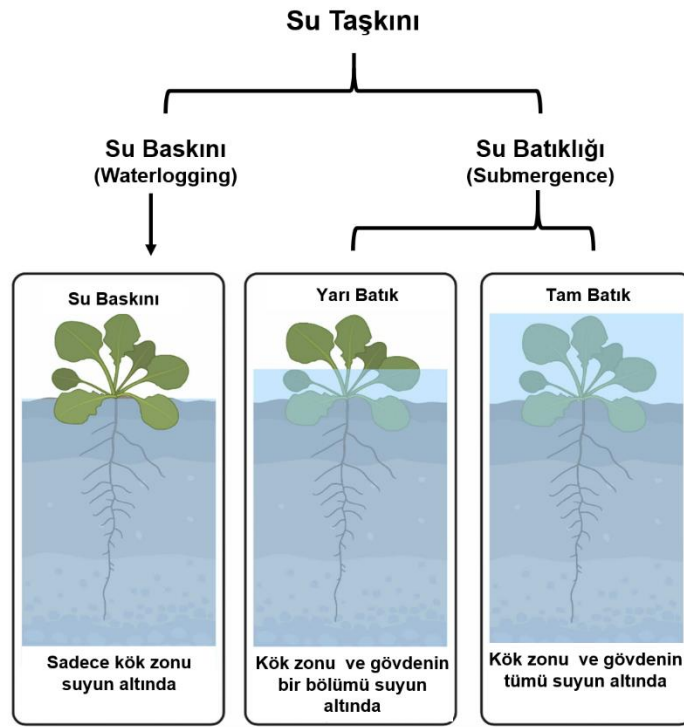
Su seviyesinin yıl içinde düzenli olarak yükselip alçalması nedeniyle belirli bitki ve hayvan türlerinin gelişimi için ideal koşullar yaratıp olumlu sonuçlar veren durumlar da vardır. Longoz ormanları, yıl boyunca birkaç kez su baskınına uğrayarak özel bir ekosistem oluşturur. Bu ormanlar, nehir deltaları veya göl kenarlarında bulunan ve suyun taşmasıyla oluşan, zengin biyolojik çeşitliliğe sahip sulak alanlardır. Longozlar, suyun doğal döngüsünde ve taşkın kontrolünde önemli rol oynar, suyu filtreleyerek su kalitesini artırır ve erozyonu önler. Ayrıca karbon depolama kapasiteleri sayesinde iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynar. Longoz ormanları, korunması gereken önemli ekosistemlerdir ve su baskınları ile doğal döngüler, bu alanların biyolojik çeşitliliğini ve ekolojik işlevlerini sürdürmeleri için hayati öneme sahiptir (Başkent, M. ve Çolak A. H.,2017).



Şekil 2.5. Su taşkınının nedenleri (Manghwar ve ark., 2024'ten modifiye edilmiştir)

Su taşkını stresi, genellikle üç ana kategoriye ayrılır: Su baskını (waterlogging), yarı batık (partial submergence) ve üçüncü olarak tam batık (complete submergence) (Şekil 2.6). Bu terimler, bitkilerin su altında kaldığı süre ve derinliğe bağlı olarak farklı su taşkını tipini veya şiddetini ifade etmektedir. Su baskını, toprağın suya doymun hale gelmesi ve hava boşluklarının suyla dolması durumudur. Bu durum, köklerin yeterli oksijen alamamasına neden olur çünkü su, havanın kökler tarafından erişilebilir olmasını engeller. Sonuç olarak, bitkilerde fotosentez yapma kapasitesinde ve besin alımında düşüş meydana gelir. Yarı batık, bitkinin sadece bir kısmının (kökler ve gövdenin yaklaşık $\frac{1}{2}$ 'si) su altında kalması durumudur. Genellikle bitkinin alt kısımları su altında kalırken, üst kısımları su yüzeyinin üzerinde kalır. Bu durum, bitkinin hem su altındaki kısımlarında hem de su üstündeki kısımlarında farklı streslere yol açabilir. Su altındaki kısımlar oksijensiz kalırken, su üstündeki kısımlar fotosentez yapmaya devam edebilir. Kaçış stratejisi, bitkilerin yarı batık taşkın koşullarından aktif olarak kaçınmak için gerçekleştirdiği adaptasyonları içerir. Bu strateji, genellikle bitkilerin hızlı büyüme ve uzama tepkileriyle karakterize edilir. Örneğin, yaprak sapları veya gövdelerin hızla uzaması, bitkinin su yüzeyinin üzerine çıkmasını sağlar. Bu süreçte, etilen ve gibberellin gibi hormonlar önemli rol oynar. Etilen, bitkinin uzama tepkisini tetiklerken, gibberellinler (GA) bu uzamayı destekler. Böylece, bitki su yüzeyine çıkarak oksijen ve

ışık alımını sürdürebilir. Tam batık ise, bitkinin tamamının su altında kaldığı durumdur. Bu durum, özellikle hızlı su seviyesi yükselmeleri sırasında görülür. Bitki su yüzeyinin altında kaldığı için, ışık alamaz, ışık alamadığında enerji üretimi ve fotosentetik performansı düşer. Bitkilerin bu tam batık su taşkın stresine karşı metabolik faaliyetlerini minimumda tutarak hayatta kalmalarını sağlayan strateji ise sessizlik stratejisidir. Bu strateji, enerji tüketimini azaltmak ve hayati fonksiyonları korumak için geliştirilmiştir. Bitkiler, enerji depolayarak ve büyümeyi geçici olarak durdurarak, su seviyeleri normale döndüğünde tekrar aktif büyümeye geçerler. Etilen ve absisik asit (ABA) bu süreçte kilit rol oynar; etilen genellikle stoma kapanmasını ve büyümenin yavaşlamasını tetiklerken, ABA bitkinin stres koşullarına dayanıklılığını artırır. Bitkilerin bu stres koşullarına tepkileri, bitki türüne, gelişim evresine ve çevresel koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (Bailey-Serres ve Voeselek, 2008).

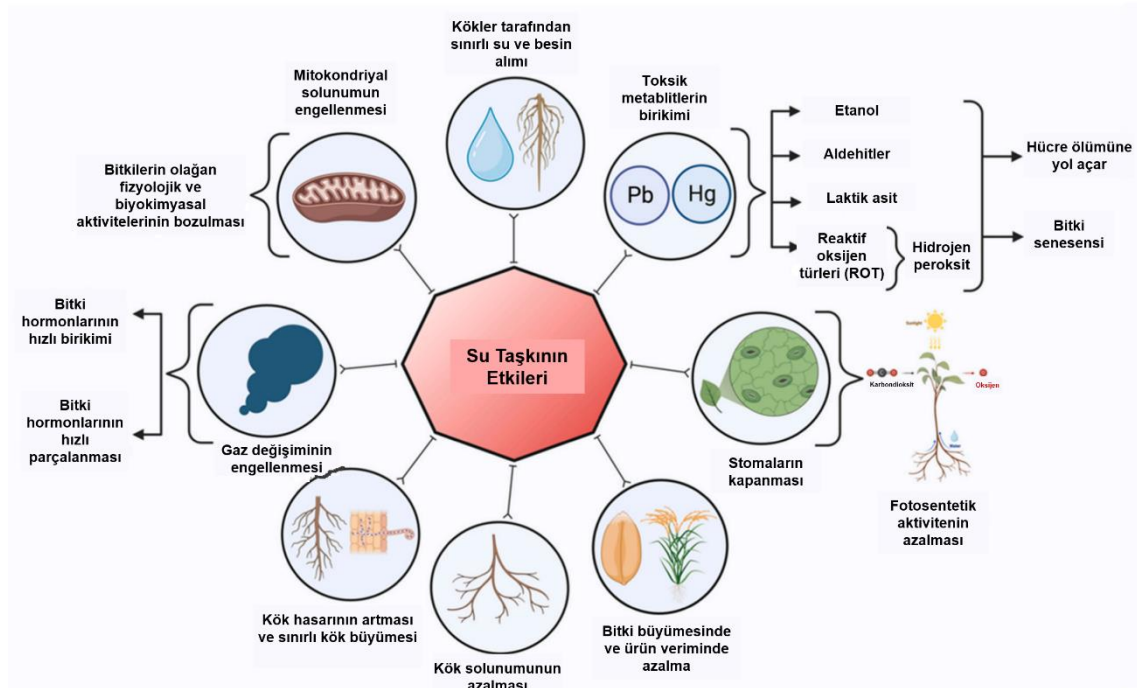


Şekil 2.6. Bitki gelişimini etkileyen su taşkını stres türleri (Combs-Giroir ve Gschwend, 2024'ten modifiye edilmiştir)

2.3.2. Su Taşkını Stresinin Bitkiler Üzerindeki Anatomik, Morfolojik, Fizyolojik ve Biyokimyasal Etkileri

Su taşkını, bitkilerin kök sisteminin işlevini bozarak su ve besin alımını azaltır. Kökler, su ve besin maddelerinin alımında önemli bir rol oynar; ancak, suyla dolmuş toprak bu işlemi engeller. Su taşkını stresi sırasında toprak su doygunluğu, gaz difüzyon süreçleri üzerinde dramatik sonuçlar doğurur. Gazlar suda, havadan 10 bin kat daha yavaş difüze olur. Bu nedenle, su taşkınının ana etkilerinden biri, bitkinin suya batık kısmında mevcut oksijen havuzunun azalmasıdır. Bu durum, bitkide oksijen eksikliğine (hipoksiya) ve uzun süreli su taşkını stresinde oksijensizliğe (anoksiya) yol açar. Anoksiya koşulları, bitkilerin solunum metabolizmasını olumsuz etkiler ve ATP üretiminin azalmasına neden olur. Bu durumda bitkiler, enerji verimliliğini azaltan anaerobik solunuma geçerler. Hipoksiya ve anoksiya koşullarında, bitkilerin metabolik faaliyetleri dramatik şekilde azalır ve bu da bitkilerin genel büyüme ve gelişimini olumsuz yönde etkiler (Sasidharan ve ark., 2018; Dat ve ark., 2004; Xin Wang ve Setsuko Komatsu, 2022; Renziehausen ve ark., 2024).

Yapılan birçok çalışma, su taşkını stresinin kısa ve uzun vadede bitkiler üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur (Şekil 2.7). Su taşkınına maruz kalan bitkiler, anatomik, morfolojik ve fizyolojik düzeylerde birçok adaptasyon geliştirmektedir.



Şekil 2.7. Su taşkınının bitkiler üzerindeki etkileri (Manghwar ve ark., 2024'ten modifiye edilmiştir)

2.3.2.1. Aerenkima oluşumu

Aerenkima, bitkinin hücrelerinde büyük, içi boş hava kanallarının oluşumunu ifade etmektedir. Hücre içi sinyaller ve hormonlar (örneğin, etilen), su baskını gibi stres koşullarına yanıt olarak aerenkima oluşumunu tetikler. Su taşkını ve diğer oksijensiz koşullara maruz kalan bitkilerde görülen özel bir doku tipi olan bu doku, köklerden yapraklara oksijen taşınmasını sağlamak ve bu yapı sayesinde gazların serbestçe hareket etmesi mümkün olmaktadır (Voeselek ve Bailey-Serres, 2015).

2.3.2.2. Radyal Oksijen Bariyeri Oluşumu (ROL)

Bitkilerde radyal oksijen bariyeri (ROL), özellikle su baskını gibi oksijensiz koşullar altında köklerde görülen bir yapıdır. ROL bariyeri, köklerin iç kısımlarında üretilen oksijenin dış ortama, yani anoksiya halindeki toprağa sızmasını engeller. Bu bariyerin temel amacı, kök dokularında oksijenin korunmasını sağlamak ve kök solunumunu optimize etmektir. Bu yapı, bitkinin yaşamsal aktivitelerini sürdürebilmesi için son derece önemlidir. ROL bariyeri, köklerin ekzoderm ve endodermis kısmında oluşur. Bu yapı, hücrelerin kaspari şeridi olarak bilinen bölgesinde süberin ve bazen lignin birikimiyle karakterize olmaktadır. Süberin, su ve gaz geçirmez bir polimerdir ve bu bölgede biriken süberin, köklerin radyal kesitinde bir bariyer oluşturarak oksijenin dışarıya kaçmasını engeller. Bunların yanında, toksik maddelerin kök dokularına girişini sınırlayarak bitki yaşamını korur. Su ve çözülmüş maddelerin ise kökler aracılığıyla taşınmasını seçici olarak düzenleyebilmektedir. Hormon sinyalleri (örneğin etilen) ve kök içindeki oksijen konsantrasyonundaki değişiklikler, süberin birikimini artırarak bariyerin oluşumunu hızlandırır (Daly ve Tracy, 2020).

2.3.2.3. Adventif Kök Oluşumu

Adventif kökler, bitkilerin genellikle stres koşulları altında geliştirdiği özel köklerdir ve bu kökler, bitkinin hayatta kalmasına ve adaptasyonuna yardımcı olurlar. Özellikle su baskını gibi stres faktörleriyle karşılaşıldığında, bitkilerin oksijen eksikliğine karşı geliştirdiği bir savunma mekanizması olarak ortaya çıkarlar. Adventif kökler, su altında

kalan bitkilere oksijen sağlayarak anaerobik koşullarda hayatta kalmalarını kolaylaştırır. Bu kökler, genellikle bitkinin gövdesi veya yapraklarından çıkararak oksijen alımını artırır. Normal kök sistemi su altında kaldığında işlevini yitirebilir; adventif kökler ise su ve besin alımını sürdürmek için alternatif bir yol sağlar ve bitkinin beslenme ihtiyaçlarını karşılar. Su baskını sırasında bitkiler toprağa tutunma yeteneklerini kaybedebilirler; adventif kökler, bitkinin toprakla bağlantısını koruyarak mekanik stabilite sağlar ve bitkinin devrilmesini engeller. Ayrıca, adventif kök oluşumu bitkilerin çevresel değişikliklere hızlı ve etkili bir şekilde yanıt vermesine olanak tanır ve bu kökler bitkinin stresli koşullara uyum sağlamasında önemli bir rol oynar. Sonuç olarak, adventif kökler, bitkilerin su baskını gibi stres koşullarına karşı hayatta kalmalarını sağlayan kritik yapılar olarak işlev görür ve bitkinin adaptasyon kapasitesini artırır. Genç *Solanum dulcamara* bitkileri, kök su taşkınına maruz kaldıklarında adventif kök oluşumu olgun bitkilere göre daha yavaş gerçekleşir ve tam su altında kalan genç bitkilerde adventif kök oluşumu gözlenmez. Olgun bitkiler, kök su taşkını sırasında hızlı bir şekilde adventif kökler oluşturabilirken, tam su altında kalan olgun bitkilerde adventif kök oluşumu su yüzeyine ulaşana kadar baskılanır ve gecikir. Su taşkını derinliğine bağlı olarak, kök su taşkını olgun bitkilerde adventif kök oluşumunu teşvik eder ve köklerin hızlı bir şekilde büyümesini sağlarken, derin su taşkını adventif kök oluşumunu önemli ölçüde geciktirir ve tamamen su altında kalan bitkiler, su yüzeyine çıkana kadar adventif kök oluşturmazlar (Zhang ve ark., 2015).

2.3.2.4. Hipertrofik Lentisel Oluşumu

Hipertrofik lentisel, bazı bitki türlerinde belirlenen ve özellikle stres koşulları altında önemli ölçüde gelişim gösteren bir yapıdır. Lentiseller, bitkilerin kök ve gövdelerindeki kabuk bölgesinde yer alan, atmosfer ile gaz değişimini sağlayan minik açıklıklardır. Normal şartlar altında, bu lentiseller hava ile dolu olup, bitkinin çevresel gaz alışverişini (oksijen alımı ve karbondioksit salınımı) mümkün kılar. Hipertrofik lentiseller, stres durumlarında bu standart lentisellerin büyüyerek genişlemesi ve daha belirgin hale gelmesiyle meydana gelmektedir (Jackson ve Ricard, 2003).

2.3.2.5. Fotosentez

Su taşkını stresi, klorofil a ve b gibi fotosentetik pigmentlerin içeriğinde azalmaya neden olabilir. Bu azalma, bitkinin ışık enerjisini yakalama kapasitesini düşürür ve

dolayısıyla fotosentez verimliliğini azaltır. Uzun süreli su taşkını, fotosistem II (PS II)'ye zarar vererek elektron taşıma zincirinde bozulmalara yol açabilir. PSII, fotosentezin ışık reaksiyonlarının bir parçası olarak kritik bir rol oynar ve bu sistemdeki herhangi bir hasar, fotosentetik elektron taşınmasını engeller. Su baskını, fotosentetik enzimlerin aktivitelerini azaltabilir. Bu enzimler, Calvin döngüsünde ve diğer fotosentetik süreçlerde kritik roller oynar ve aktivitelerindeki azalma, fotosentez hızını düşürür. *Allophylus edulis* bitkisi üzerinde Duarte ve ark. (2020) yaptığı çalışmada, uzun süreli su taşkınlarına karşı hassas olan bu bitkide su taşkını koşullarında, bitkilerin fotosentetik kapasitesi azaldığı ve PS II'de hasar oluşturduğu ortaya konulmuştur. Soya genotipleri ile yapılan çalışmada da su taşkını koşullarının fotosentetik kapasitede azalmaya yol açtığı saptanmıştır (Nashat, 2022).

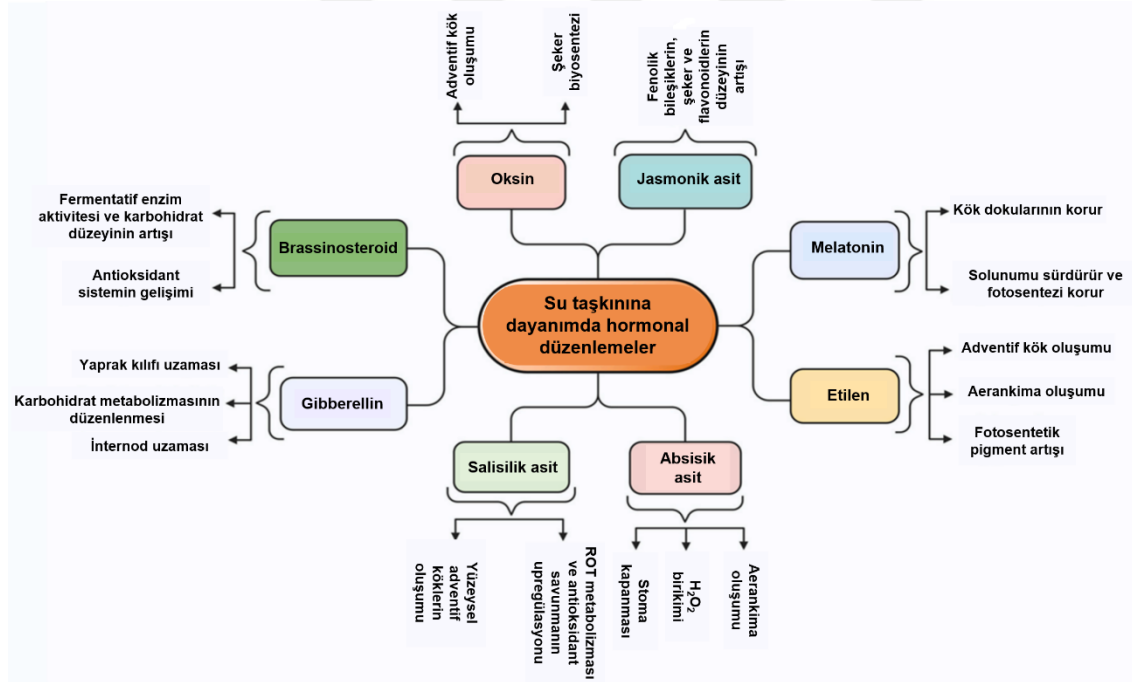
2.3.2.6. Yapraktaki Hiponastik Büyüme

Hiponastik büyüme, bitkilerin su baskını gibi stresli çevresel koşullara karşı geliştirdiği adaptif bir yanıt olarak önem arz etmektedir. Bu süreç, bitkinin hayatta kalmasını ve normal büyüme ve gelişme süreçlerini sürdürebilmesini sağlar. Hiponastik büyüme, yaprak sapının alt tarafındaki hücrelerin hızlı ve yönlendirilmiş bir şekilde uzaması sonucu gerçekleşir. Bu, yaprakların yukarı doğru hareket etmesine yol açar. Etilen gibi bitki hormonları bu süreci düzenler ve bitkinin çevresel değişikliklere hızlı bir şekilde tepki vermesini sağlar. Rauf ve ark. (2013), çalışmasında *Arabidopsis thaliana* bitkisinde su baskını (su altında kalma) durumunda meydana gelen hızlı yaprak hareketini düzenleyen bir transkripsiyon faktörü olan SPEEDY HYPONASTIC GROWTH (SHYG) araştırılmıştır. Su altında kalma, bitkinin yapraklarını hızla yukarı doğru hareket ettirerek havayla temasını yeniden sağlamasına neden olur. Bu süreçte, SHYG'nin, etilen biyosentezinde yer alan bir enzim olan ACC OXIDASE5 (ACO5) geninin ekspresyonunu doğrudan düzenlediği ve bu şekilde etilen üretimini arttırdığı bulunmuştur. SHYG'nin aşırı ifadesi, su altında kalma durumunda yaprak hareketini ve hücre genişlemesini artırırken, SHYG'nin noksanlığı bu tepkileri büyük ölçüde azaltır. Bu sonuçlar, SHYG'nin, su basması durumunda bitkinin hayatta kalma tepkilerini düzenleyen önemli bir transkripsiyon faktörü olduğunu göstermektedir (Rauf ve ark., 2013). Hiponastik büyüme ile ilgili başka bir makalede, suyun üzerinde büyüyen ve böylece atmosferle temasını yeniden sağlayarak bu durumu yöneten türlerden biri olan *Rumex palustris* ile çalışılmıştır. Bitkideki bu süreç ile yaprakların yukarı doğru kıvrılması (Abaksiyal büyüme) ve ardından yaprak saplarının güçlü bir şekilde uzaması

(hiponastik büyüme) ile su taşkını stresine nasıl cevap oluşturduğunu ortaya koymuşlardır (Heydarian ve ark., 2010).

2.3.2.7. Hormon Düzenlemeleri

Su taşkını, bitkilerin hormon düzeylerinde değişikliklere neden olarak adaptasyon süreçlerini etkiler (Şekil 2.8). Etilen seviyelerinin artması, su taşkınına karşı hızlı büyüme tepkilerini ve kök morfolojisindeki değişiklikleri teşvik eder. Absisik asit (ABA) seviyelerinin artışı, stomaların kapanmasını düzenleyerek su kaybını azaltır ve bitkilerin su stresine adaptasyonunu sağlar. Gibberellik asit (GA) seviyelerinin değişimi, bitkilerin büyüme süreçlerini düzenleyerek uzun vadeli adaptasyonları destekler. Sitokinin (CK) seviyelerinin azalması ise hücre bölünmesini ve kök gelişimini teşvik ederken, su taşkını sırasında bu seviyelerin düşmesi bitkilerin stres tepkilerini kontrol eder. Bu hormonlar, bitkilerin su taşkınına karşı adaptasyonunu düzenler ve stres tepkilerini kontrol eder (Cutler, 2010; Hattori, 2011; Hedden ve Thomas, 2012; Kudo ve Makita, 2018; Wang ve Komatsu, 2022; Manghwar ve ark., 2024).



Şekil 2.8. Su taşkınına dayanımda hormonal düzenlemeler (Manghwar ve ark., 2024'ten modifiye edilmiştir)

2.3.2.8. Makro ve Mikro elementler

Bitkinin stresle başa çıkabilmesi için gerekli olan mikro ve makro elementler, önemli metabolik süreçleri ve enzim aktivitelerini desteklemektedir. Mikro ve makro

elementlerin bitkilerde stres yanıtları üzerindeki etkileri birçok makale ve araştırmada gözlemlenmiştir. İz miktarda gerekli olan mikro elementler; demir, çinko, bakır, bor, molibden, nikel ve klordur. Makro elementler ise, karbon, oksijen, hidrojen, azot, fosfor, magnezyum, kükürt ve kalsiyumdur. Bu makro elementler, bitkilerin sağlıklı büyümesi ve gelişimi için zorunlu olup, her biri bitki dokularında çeşitli biyokimyasal süreçleri ve yapısal fonksiyonları desteklemektedir. Makro elementlerin yetersizliği bitkide çeşitli fizyolojik bozukluklara ve büyüme problemlerine yol açabilir, dolayısıyla tarımsal uygulamalarda bu elementlerin yeterli düzeyde sağlanması büyük önem taşımaktadır (Marschner, 2012).

Bunun yanı sıra birkaç elementte bitki büyüme ve gelişme sürecininin düzenlenmesinde sinyal iletiminde yer almaktadır. Bunlardan kritik önem taşıyan makro elementlerden biri de kalsiyum (Ca^{+2})'dur. Bitkilerde kalsiyumun alınımı, kökler aracılığıyla gerçekleşir ve ksilem aracılığıyla bitki dokularına taşınır. Bu var olan kalsiyum, bitki büyümesi ve strese adaptasyon üzerinde kritik roller oynamaktadır. Aynı zamanda hücre içi sinyal iletimi ve hormonal dengenin sağlanmasında temel bir rol oynamakta, bu da bitkinin gelişimini ve çevresel değişikliklere yanıtını etkileyebilmektedir. Yeterli Ca seviyeleri, hücre bölünme ve uzamasında, hücre duvarının stabilitesini korumada, kök gelişiminde ve stres koşullarına yanıt oluşturma süreçlerinde bitkinin genel yapısını ve ürün verimini önemli ölçüde desteklemektedir. Kalsiyum, kök gelişimini ve genel bitki gelişimini de destekler, bu da su ve besin maddelerinin daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır. Bu nedenlerden dolayı, kalsiyumun bitkilerde yeterli seviyelerde bulunması, tarımsal üretimin kalitesi ve verimliliği açısından büyük önem taşır. (White ve Broadley, 2003; Hepler, 2005). Kalsiyum eksikliğinde ise tüm bu bitki gelişimi ve büyümesi engellenmektedir. Kalsiyumun bitki için yeterli olmaması durumunda, köklerin daha zayıf ve kısa olması, hücre duvarı zayıflaması, patojenler gibi biyotik, tuzluluk kuraklık ve su taşkını gibi abiyotik streslere karşı bitki direncinin daha az olmasına sebebiyet vermektedir (White ve Broadley, 2003).

2.3.3. İyon Bağımlı Sinyal İletim Yolları

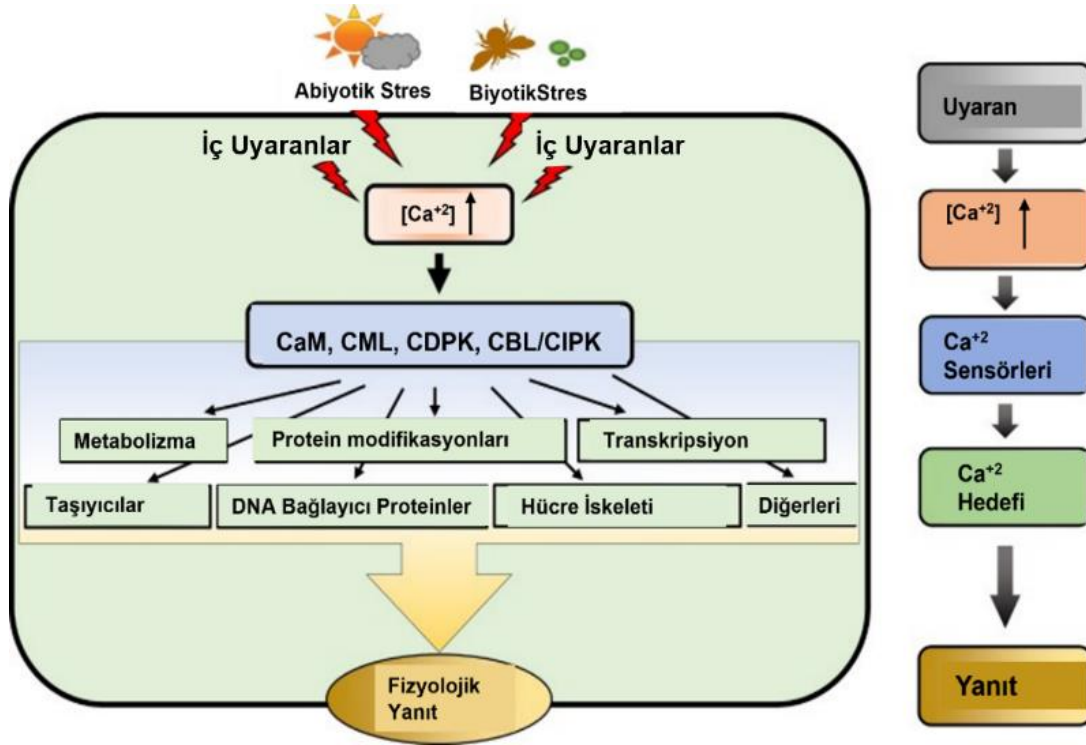
Su taşkını sırasında etilen biyosentezine ve ardından mısır köklerinde aerenkima oluşumuna yol açan sinyal iletim yolunda kalsiyum akışlarının kritik bir rol oynadığı,

kalsiyum antagonistleri kullanılarak gösterilmiştir. Su taşkınına takiben mısır köklerinde ve Arabidopsis'te birkaç dakika içinde sitozolik Ca^{+2} seviyelerinde geçici bir artış gözlenir. Bu kalsiyum artışı, herhangi bir gen ifadesi (ekspresyon) değişikliğinden önce meydana gelir, ancak hem mısır hem de Arabidopsis'te alkol dehidrogenaz enziminin aktive olması için gereklidir. Son olarak, aerenkima gelişimi sırasında Ca^{+2} sinyallemesinin rolü gösterilmiştir. Bu nedenle, hipoksiya gen regülasyonu ve aerenkima gelişimi sırasında kalsiyumun, sinyal iletim yollarında rol oynadığına dair güçlü kanıtlar vardır (Dat, 2004).

Bitkilerde kalsiyum (Ca^{+2}) sinyal yolları, bitkilerin çevresel ve içsel uyarılara yanıt vermelerini sağlayan karmaşık ve önemli mekanizmalardır. Abiyotik stresler, hücre içinde hızlı ve geçici Ca^{+2} dalgalarının oluşmasına neden olur. Bu dalgalar, hücre içindeki kalsiyum depolarından veya dış ortamdan Ca^{+2} girişini tetikleyen kalsiyum kanalları aracılığıyla oluşur. Ca^{+2} sinyalleri, stresle ilgili genlerin ifadesini düzenleyerek bitkilerin strese yanıt vermesini sağlar. Ca^{+2} bağımlı protein kinazlar (CDPK'lar) ve diğer Ca^{+2} bağımlı enzimler aktive olur ve metabolik yolların düzenlenmesini sağlar. Ca^{+2} sinyalleri, reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini ve detoksifikasyonunu düzenleyen antioksidan enzimlerin aktivasyonunu tetikler. Şiddetli stres koşullarında, Ca^{+2} sinyalleri programlanmış hücre ölümü (apoptoz) süreçlerini başlatabilir. Ancak, düşük düzeyde stres altında koruyucu mekanizmalar devreye girer ve hücre hayatta kalma yolları aktive olur (Kudla ve ark., 2010).

2.3.3.1. Stres Altındaki Bitkilerin Hücrelerindeki Ca^{+2} Sinyal Ağı

Abiyotik ve biyotik streslerin yanı sıra iç uyarılar, daha sonra kalmodulinler (CaM'ler), kalmodulin benzeri proteinler (CML'ler), Ca^{+2} 'ya bağımlı protein kinazlar (CDPK'ler) ve kalsinörin gibi Ca^{+2} sensörleri tarafından kodu çözülen [Ca^{+2}] değerinde bir artışı tetikler (Şekil 2.9). B benzeri proteinler (CBL'ler) ve bunun etkileşimli protein kinazı (CIPK'ler). Bu sensörler çeşitli aşağı akış süreçlerini etkinleştirir ve bu da orijinal uyarıya uygun olarak genel bir hücre tepkiye yol açar (Pirayesh ve ark., 2021).



Şekil 2.9. Stres altındaki bitkilerin hücrelerindeki Ca^{+2} sinyal ağı (Pirayesh ve ark., 2021'den modifiye edilmiştir)

Kalsiyum uygulamalarında bitki gelişimi, meyve oluşumu yanıtları üzerine birçok araştırma yapılmış, deney sonuçları paylaşılmıştır. Ali ve ark. (2014) deney sonuçlarına göre, Kalsiyum klorür uygulaması, meyve kalitesini iyileştirmiştir. Meyve sertliği üzerindeki olumlu etki, kalsiyumun meyve dokusunu güçlendirici özelliklerine bağlanmıştır. Meyvenin fiziksel özelliklerini iyileştirirken aynı zamanda asitlik ve C vitamini içeriği gibi kimyasal özellikler üzerinde de olumlu etkiler gösterdiğini söylemiştir. (Ali ve ark., 2014).

Başka bir makalede, kalsiyum uygulamasının sonuçlarında; kalsiyum iyonlarının hücre içi sinyalizasyonunda önemli roller oynadığını ortaya koymakta ve kalsiyumun, fotosentetik elektron taşıma zinciri ve foton enerjisinin kullanılması süreçlerinde düzenleyici bir faktör olarak işlev gördüğü belirtilmiştir. (Schönherr, 2000).

Mengel ve ekibinin araştırmalarına göre, soya bitkisinde meydana gelen kalsiyum eksikliği, büyüme hızında güçlü bir azalmaya neden olmaktadır. Bu durum, kök

uçlarının zamanla kahverengiye dönüşmesiyle devam etmekte ve ilerleyen süreçte bitkinin ölümüyle sonuçlanmaktadır (Bagale, 2021).

Weng ve arkadaşları, kalsiyum konsantrasyonlarının artmasının, fidanların boy ve çapı, fotosentez oranları, klorofil ve şeker içeriği gibi önemli büyüme parametreleri üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermiş, bitkilerin besin alımını ve stresle başa çıkma kapasitesini artırdığını iletmişlerdir (Weng ve ark., 2022).

Son yıllarda birçok soya bitkisi tohumu üzerinde abiyotik stresin etkileri ile ilgili proteomik çalışmalar yapmıştır. Soya bitkisinde sel ve kuraklık stresi altında kalsiyum uygulamasının etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, sitozolik kalsiyumu azalttıklarında, stres koşulları altında protein katlama ve enerji metabolizmasının nasıl etkilendiğini ortaya koymuşlardır. Bulgular, su taşkını stresi altında kalsiyumun kök ucu hücrelerinde protein katlama sürecinde önemli olduğunu ve enerji metabolizmasını modifiye ettiğini göstermiştir. Ayrıca kalsiyumun, streslere yanıt olarak bitkinin daha iyi uyum sağlamasına yardımcı olduğu belirtilmiştir. Her ne kadar birden fazla proteomik çalışmalar yapılmış olsa da kalsiyumun soya üzerindeki iyileştirici etkisini tam anlamıyla açıklamamışlardır (Wang ve Komatsu, 2017; Wang ve Komatsu, 2020; Wang ve ark., 2021). Bu bağlamda, kalsiyum ön uygulamasının su taşkınına maruz kalan soya genotipinde (*Glycine max* L. Merrill, cv Cinsoy) su taşkınına dayanım kazanımının bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal analizler ile araştırılması bu tezin temel amacını oluşturmaktadır. Bu amaca ulaşmak için; kalsiyum (Ca^{+2}) ön uygulamalı ve uygulamaz farklı tip su taşkını koşullarına [su baskını, Waterlogging), yarı batık (partial submergence) ve tam batık (complete submergence)] maruz bırakılan soya genotiplerinin oluşturduğu yanıtlar bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal analizler ile incelenerek dayanım kazanımının ortaya konulması hedeflenmiştir.

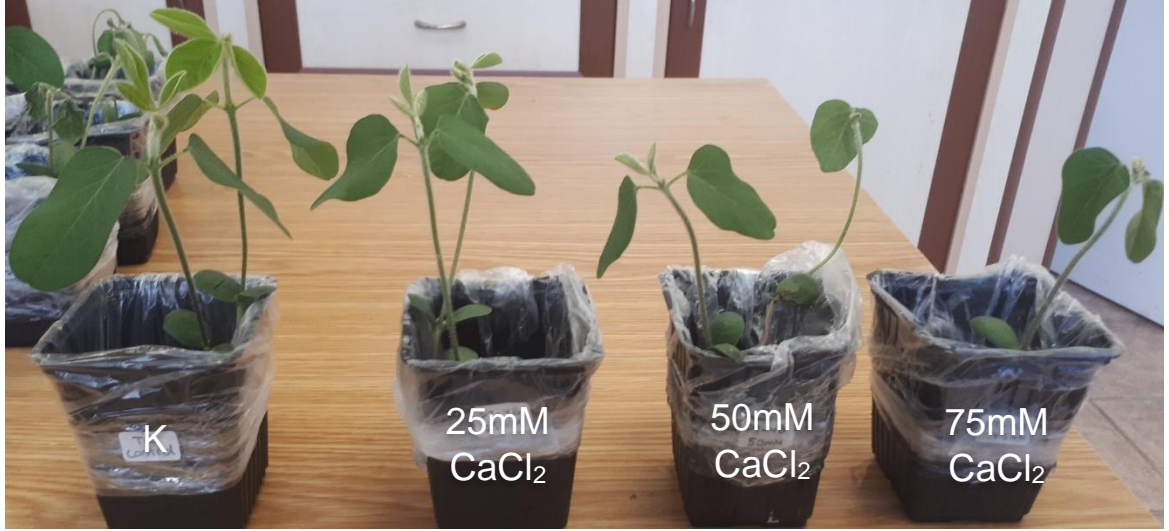
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Bitki Materyali

Bu tez çalışmasında bitki materyali olarak daha önce yapılan çalışmalarda su taşkınına orta düzeyde toleranslı (orta düzeyde dayanıklı) olduğu belirlenen tescilli soya genotipi [*Glycine max* (L.) Merr. cv Cinsoy] kullanılmıştır (Nashat ve ark., 2021). Cinsoy soya genotipine ait tohumlar, çeşidin tescil sahibi olan T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden (Tescil tarihi: 15.04.2010) temin edilmiştir.

3.2. Bitki Yetiştirme Yöntemi ve Deney Planı

Embriyosu sağlam, yaklaşık aynı büyüklüğe ve morfolojiye sahip 30'ar tohum seçilip 15x20 cm ebatlarındaki çimlendirme kaplarına yerleştirilmiş, rastgele deneme deseninde çimlenmeye bırakılmıştır. Denemeler, $26\pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta, 16 saat fotoperiyotta ve $180\text{-}200\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık yoğunluğunda, %45-55 nem koşullarındaki kontrollü iklim dolabında yürütülmüştür (Şekil 3.1). Çimlenme kaplarına 2 günde bir $\frac{1}{2}$ Hoagland besin çözeltisi eklenmiş (Çizelge 3.1) ve çimlenen tohumları su ve besin ihtiyacı sağlanmıştır. 7 gün sonra, çimlenen fideler, her saksıda 2'şer birey olacak şekilde 150 g silis kumu (akvaryum kumu) içeren 6x6x9 cm boyutlarına sahip saksılara aktarılmış ve kontrol ile uygulama gruplarına ayrılmıştır (Şekil 3.2 ve Çizelge 3.2). Daha önce yapılan çalışmalarda yetiştirme ortamı olarak torf, perlit, vermikülit ve kum kültürleri su taşkını stres uygulamalarında kullanılmak üzere test edilmiş, bu ortamlardan sadece kum kültürü suyun kaldırma kuvvetini yenerek su ile birlikte yükselmeyip bitkilerin tutunabileceği bir ortam sağlaması nedeniyle yetiştirme ortamı olarak kullanılmıştır (Nashat, 2021). Kontrol grubu saksılar $\frac{1}{2}$ seyreltilmiş Hoagland besin çözeltisi ile sulanırken, diğer saksılara ait olduğu grubun çözeltisi uygulanmıştır. Ön uygulama olarak kullanılacak CaCl_2 konsantrasyonu ön çalışmalar yapılarak belirlenmiştir. Bu çalışmalarda 10, 20, 25, 30, 40, 50 ve 75 mM CaCl_2 uygulanan bitkilerin fotosentetik aktiviteleri ile bazı morfolojik parametreler ölçülmüş ve değerlendirmeler sonucunda Hoagland besin çözeltisindeki miktar da göz önünde bulundurularak 10 mM CaCl_2 konsantrasyonun ön uygulama olarak kullanılmasına karar verilmiştir. On dört günlük kontrol ve uygulama grubu fideleri morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ölçüm ve analizler yapılmak üzere hasat edilmiştir (Şekil 3.1)



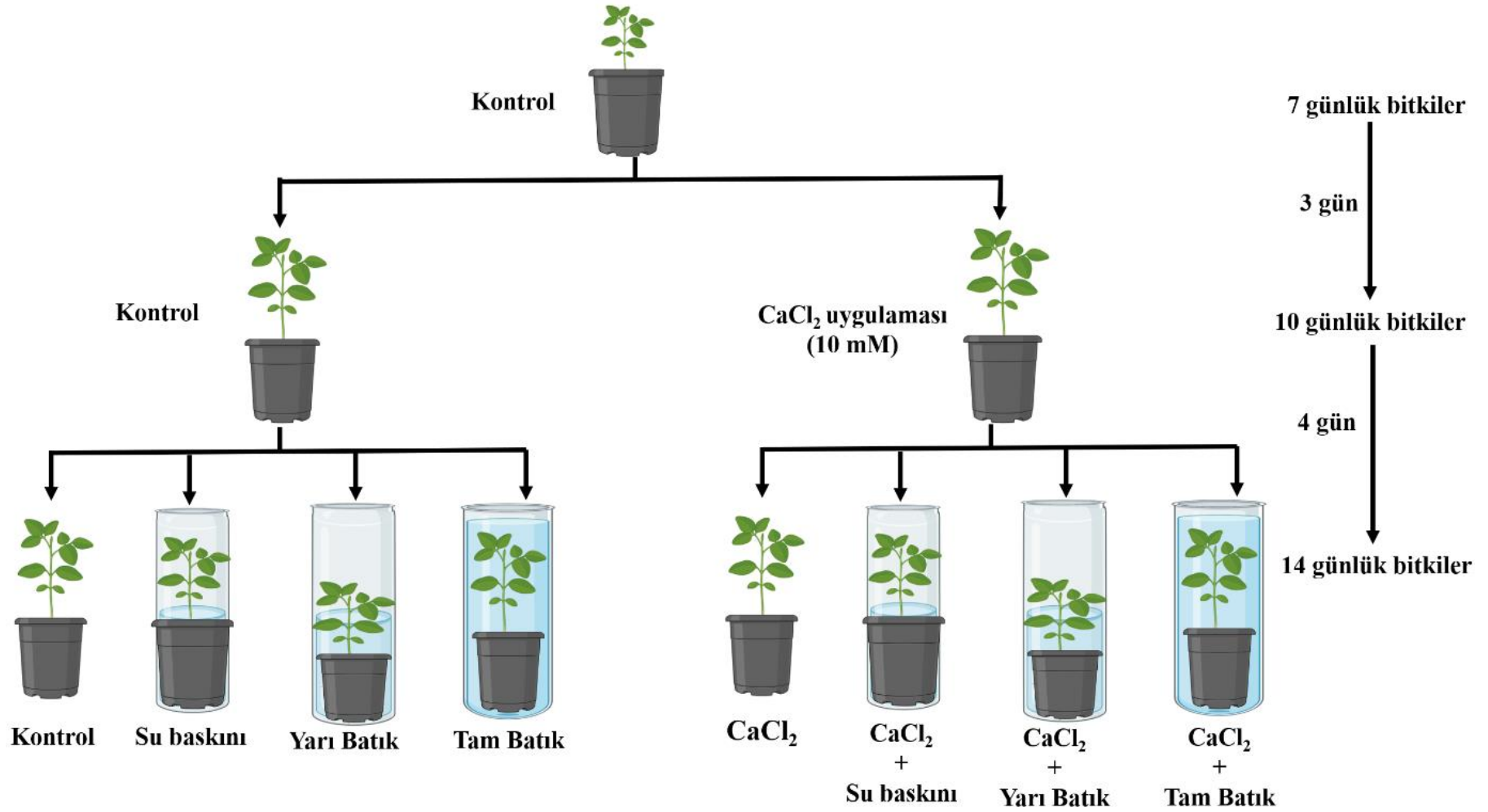
Şeki 3.1: Ön denemelerde yapılan mM uygulamaları ve morfolojik etkileri



Şekil 3.2. İklim dolabında 14 gün büyütülen bitkilerin genel görünümü

Çizelge 3.1. Hoagland besin çözeltisi içeriği (Hoagland D.R. ve Arnon D.I., 1950)

| | Elementler | Reçete miktarı |
|-------------------------|--|-------------------------|
| Makro elementler | Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O | 0.821 g.L ⁻¹ |
| | KNO ₃ | 0.506 g.L ⁻¹ |
| | KH ₂ PO ₄ | 0.136 g.L ⁻¹ |
| | MgSO ₄ .7H ₂ O | 0.120 g.L ⁻¹ |
| Mikro elementler | MnCl ₂ .4H ₂ O | 1.80 g.L ⁻¹ |
| | H ₃ BO ₃ | 2.9 g.L ⁻¹ |
| | ZnCl ₂ | 0.12 g.L ⁻¹ |
| | CuCl ₂ .2H ₂ O | 0.05 g.L ⁻¹ |
| | FeEDTA | 0.02 mM |



Şekil 3.3. Deneme planı

Çizelge 3.2. Deney gruplarına ait rumuzlar ve açıklamaları

| Rumuz | Açıklama |
|----------------|--|
| K | Deneme süresinde (14 gün) ½ Hoagland uygulanan kontrol bitkileri |
| Ca | 7 gün ½ Hoagland, 7 gün 10 mM CaCl ₂ +½ Hoagland uygulanan ön uygulama için kontrol bitkileri |
| S.B. | 10 gün ½ Hoagland, 4 gün su baskınına maruz bırakılan bitkiler |
| Ca+S.B. | 7 gün ½ Hoagland, 3 gün 10 mM CaCl ₂ +½ Hoagland uygulanan ön uygulama + 4 gün su baskınına maruz bırakılan bitkiler |
| Y.B. | 10 gün ½ Hoagland, 4 gün yarı batık su baskınına maruz bırakılan bitkiler |
| Ca+Y.B. | 7 gün ½ Hoagland, 3 gün 10 mM CaCl ₂ +½ Hoagland uygulanan ön uygulama + 4 gün yarı batık su baskınına maruz bırakılan bitkiler |
| T.B. | 10 gün ½ Hoagland, 4 gün tam batık su baskınına maruz bırakılan bitkiler |
| Ca+T.B. | 7 gün ½ Hoagland, 3 gün 10 mM CaCl ₂ +½ Hoagland uygulanan ön uygulama + 4 gün tam batık su baskınına maruz bırakılan bitkiler |

3.3. Ölçümler ve Analizler

3.3.1. Morfolojik Ölçümler

3.3.1.1. Sürgün ve Kök Boyu

Kontrol ve farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan fidelerin kök sürgün ayırımından en son yaprağın çıktığı noktaya (sadece kotiledon varsa, bu bölümün alt noktasına kadar; ilk yapraklar çıktı ise çıkış noduna kadar) kadar olan uzunlukları ölçülerek sürgün boyu (cm bitki⁻¹) ve kök-sürgün ayırımından kök ucuna kadar olan uzunluk ölçülerek de kök boyu (cm bitki⁻¹) belirlenmiştir.

3.3.1.2. Yaş ve Kuru Ağırlık (Biyokütle) Ölçümleri

Soya genotipine ait fideler tartılarak fidelerin yaş ağırlıkları (g bitki⁻¹), yaş ağırlıkları belirlenen fidelerin, etüvde (80°C ve 48 saat) kurutulduktan sonra yeniden tartılarak kuru ağırlıkları (gr bitki⁻¹) belirlenmiştir.

3.3.2. Fizyolojik ve Biyokimyasal Ölçüm ve Analizler

3.3.2.1. Oransal Su Kapsamının Ölçümü

Kontrol ve farklı şiddetteki su taşkını uygulamalarında maruz bırakılan bitkilerin yaprak dokularının oransal su kapsamını belirlemek üzere, yapraktan 1 cm'lik örnekler (n= 5) alınıp tartılarak (yaş ağırlık, YA) 5 ml distile su içeren falkon tüplere konulmuştur. Falkon tüpler, 24 saat oda sıcaklığında çalkalayıcıda çalkalanmış (100 rpm), sonra dokular tüplerden çıkarılıp tekrar tartılmıştır [hidrate (turgorlu) ağırlık, HA]. Daha sonra tartılan dokular, 80°C'lik etüvde 48 saat kurutulmuş kuru ağırlıkları (KA) kaydedilmiştir. Yaprak dokularındaki oransal su içeriği (%) Farrant (2000)'a göre hesaplanmıştır.

3.3.2.2. Fotosentetik Pigment Miktarlarının Belirlenmesi

Fotosentetik pigment miktarlarının belirlenmesi için, ilk gerçek yapraklardan alınan örnekler %100'lük asetonda homojenize edilerek özütler elde edilmiştir. Hazırlanan özütlerin absorbanansı, spektrofotometrede karotenoid için 470, klorofil b için 644.8 ve klorofil a için 661.6 nm dalga boylarında okunmuştur. Klorofil a, b ve a+b (toplam klorofil) ve karotenoid (x+c) miktarları Lichtenthaler (1987)'e göre aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır:

$$\text{Klorofil a (kl.a)} = (11.24 \times A_{661.6}) - (2.04 \times A_{644.8})$$

$$\text{Klorofil b (kl.b)} = (20.13 \times A_{644.8}) - (4.19 \times A_{661.6})$$

$$\text{Toplam klorofil (kl a+b)} = (7.05 \times A_{661.6}) - (18.09 \times A_{644.8})$$

$$\text{Karotenoid (x+c)} = [(1000 \times A_{470}) - (1.9 \times \text{kl.a}) - (63.14 \times \text{kl.b})] / 214$$

3.3.2.3. Antosiyanin ve Flavonoid Miktarlarının Belirlenmesi

Kontrol ve uygulama gruplarına ait bitkilerin yaprak dokularındaki antosiyanin içeriği Mancinelli ve ark. (1975)'na göre, flavonoid içeriği ise Mirecki ve Teramura (1984)'ya göre ölçülmüştür. Her bir uygulamadan 0.1 g taze yaprak örneğine 6 ml %79 metanol,

%20 distile su ve %1 HCl'den oluşan karışım eklenerek homojenize edilmiştir. Homojenat +4°C'de 10000 rpm'de 20 dk boyunca santrifüjlendikten sonra elde edilen süpernatandan aşağıda belirtilen metotlar takip edilerek antosiyanin ve flavonoid içeriği saptanmıştır.

Elde edilen süpernatanın spektrofotometrede (Shimadzu UV-Vis Double Beam) 530 ve 657 nm dalga boylarında absorbans değerleri kaydedilip değerlerden antosiyanin miktarı ($\text{mg ml}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ YA}$) hesaplanmıştır.

Flavonoid içeriği için elde edilen süpernatanın spektrofotometrede (Shimadzu UV-Vis Double Beam) 300 nm dalga boyunda absorbans değerleri okunarak, yaprak dokularındaki flavonoid miktarı kaydedilen değerlerden kontrole göre yüzde olarak hesaplanmıştır.

3.3.2.4. Malondialdehit (MDA) ve Hidrojen Peroksit (H_2O_2) Miktarlarının Belirlenmesi

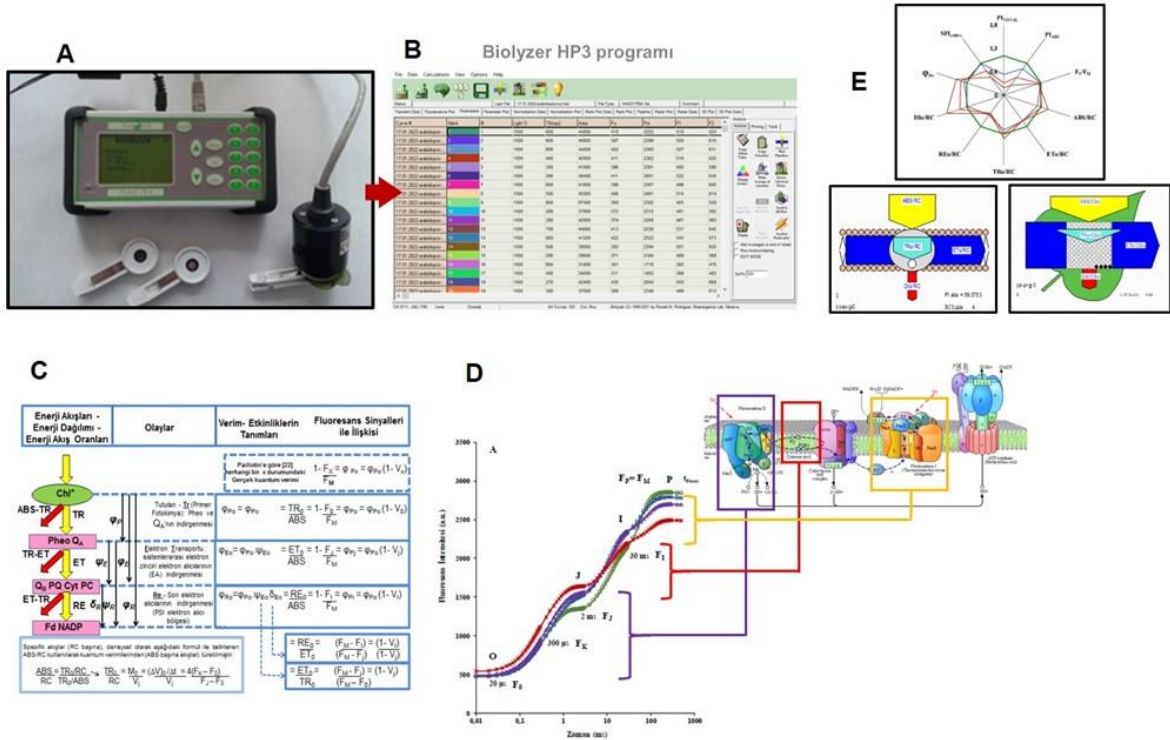
Yaprak dokularından alınan örneklerde MDA ve H_2O_2 miktarları Esterbauer ve Cheeseman (1990)'a göre yapılmıştır. Kontrol ve stres grubundaki bitkilerden alınan 0,1 g yaprak örneği 4 ml %0.1 trikloroasetik asit (TCA) ile 4°C'de homojenize edilmiştir. Homojenat 10000 rpm'de 15 dk santrifüj edilerek elde edilen süpernatandan aşağıda belirtilen yöntemlere göre MDA ve H_2O_2 miktarı belirlenmiştir.

MDA miktarını belirlemek için cam tüpe alınan 0.5 ml süpernatanın üzerine 1 ml TCA-TBA-HCl (%15 trikloroasetik asit, %0.375 tiobarbitürik asit, 0.25 N HCl) ajanı ve 0,5 ml pH'sı 7.6 olan 0.1 M Tris/HCl tamponundan eklenmiştir. Reaksiyon karışımı, 97°C'lik su banyosunda 45 dk reaksiyona sokularak ve buradan çıkarılan tüpler buz banyosuna konularak reaksiyon durdurulmuştur. Bu işlemden sonra reaksiyon karışımı 10000 rpm'de 5 dk santrifüjlenip spektrofotometrede (Spekro UV-Vis Double Beam PC) 532 ve 600 nm dalga boylarında absorbans değerleri okunmuştur. Yaprak dokularındaki MDA miktarı nmol g T.A.^{-1} olarak belirlenmiştir.

H_2O_2 miktarını belirlemek için cam tüpe alınan 0.5 ml süpernatanın üzerine 0.5 ml pH'sı 7.6 olan 0.1 M tris/HCl tamponu ve 1 ml 1 M KI eklenmiştir. Reaksiyon karışımı 90 dk karanlıkta bekletilip, spektrofotometrede (Spekro UV-Vis Double Beam PC) 390 nm dalga boyunda absorbans değerleri okunmuştur. Yaprak dokularındaki H_2O_2 miktarı standart eğri kullanılarak $\mu\text{mol g T.A.}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

3.3.2.5. Polifazik Klorofil a Fluoresansı Ölçümleri

Polifazik klorofil a floresans verileri, tilakoid zarlardaki enerji akışı teorisini temel alan JIP-Testi ile biyofiziksel parametrelere çevrilerek, fotosistemlerin durumu, fonksiyonu ve yapısı hakkında oldukça detaylı bilgiler elde edilmesini sağlamaktadır. Polifazik klorofil a floresansı ölçümleri Portatif Floresans Ölçüm Cihazı (HandyPEA, Hansatech Ltd., UK) ile yapılmıştır (Şekil 3.2). Soya çeşidinin kontrol ve stres gruplarına ait bitkilerinin karanlığa adapte edilen yapraklarının 4 mm'lik alanında, 3 dioddan sağlanan 600 Wm^{-2} ($3000 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)'lik kırmızı ışıkla floresans yayılımı uyarılmıştır ve 12 bit çözünürlükte, 1 s süresince kaydedilmiştir (Strasser ve ark., 2000; Toth ve ark., 2005). Elde edilen OJIP verilerinden; bitkilerin canlılığı (vitalitesi) hakkında önemli ve kantitatif bilgilerin çıkarımlarının yapılmasını sağlayan, Biolyzer HP3 programı ile analiz edilmiş ve soya genotipinin fizyolojik durumu ve fotosentetik verimi değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen JIP-Testinin bazı parametreleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. A) HandyPEA cihazının genel görünümü, B) Biolyzer HP3 programında analiz görüntüsü, C) JIP testinin şematik bir sunumu D) Fotosentetik materyaldeki tipik polifazik klorofil a floresans yükselişi ve fotosentetik aparatındaki süreçler E) JIP-test sonuçlarının grafiksel sunum türü (radar ve membran ile yaprak modelinde pipe-line) örnekleri (Toth vd., 2005; Strasser vd. 2010'dan modifiye edilmiştir).

3.3.2.6. Bazı Antioksidan Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi

3.3.2.6.1. Protein Miktarının Belirlenmesi

Glycine max kontrol ve uygulama gruplarına ait yaprak örneklerinin protein konsantrasyonları, Bradford (1976) yöntemine göre sığır serum albümini (BSA) standardı kullanılarak saptanmıştır. 20 µl örnek çözelti ile 480 µl distile su karıştırıldıktan sonra, karışıma 5 ml Bradford çözeltisi eklenmiştir. Vorteks ile yaklaşık 30 saniye homojen hale getirilen karışım oda sıcaklığında 10 dk inkübe edilmiştir. Çözeltinin absorbans değerleri spektrofotometrede (Shimadzu UV-Vis Double Beam) 595 nm dalga boyunda üç tekrarlı olacak şekilde okunmuştur.

Çizelge 3.3. OJIP testte kullanılan bazı terimlerin, tanımlamalarının ve formüllerinin özeti (Tsimilli-Michael ve Strasser, 2008; Strasser ve ark., 2010; Guha ve ark., 2013)

| Teknik ve hesaplanan fluoresans parametreleri | |
|---|---|
| $F_0 \equiv F_{20\mu s}$ | Minimum fluoresans intensitesi (O basamağı); PSII'nin tüm reaksiyon merkezleri açık |
| $F_K \equiv F_{300\mu s}$ | 300 µs'deki fluoresans intensitesi |
| $F_J \equiv F_{2ms}$ | 2 ms'deki fluoresans intensitesi (J basamağı) |
| $F_I \equiv F_{30ms}$ | 30 ms'deki fluoresans intensitesi (I basamağı) |
| $F_P \equiv F_M$ | Maksimum fluoresans intensitesi (P basamağı); PSII'nin tüm reaksiyon merkezleri kapalı |
| M_0 (dV/dt) ₀ | $4(F_{300\mu s} - F_0)/(F_M - F_0)$ Relative değişken klorofil fluoresans eğrisi V_t ($F_0 \equiv F_{20\mu s}$ için)'nin tahmini başlangıç eğimi (ms ⁻¹ 'deki) veya fotokimyanın başlangıç hızı |
| V_J | $(F_J - F_0)/(F_M - F_0)$ OJIP eğrisinin J basamağındaki relatif değişken fluoresans |
| V_I | $(F_I - F_0)/(F_M - F_0)$ OJIP eğrisinin I basamağındaki relatif değişken fluoresans |
| $SFI_{(ABS)}$ | PSII'nin yapısal ve fonksiyonel indeksi |
| Spesifik akışlar- Her bir reaksiyon merkezi başına enerji akışları | |
| ABS/RC | $M_0 (1/V_J) (1/\phi_{P_0})$ Reaksiyon merkezi (RC) başına absorpsiyon (PSII anten klorofilleri için); t= 0'da absorplanan enerji akışı veya ortalama anten büyüklüğü |
| TR_0/RC | $M_0 (1/V_J)$ t= 0'da yakalanan enerji akışı (reaksiyon merkezi başına) |
| ET_0/RC | $M_0 (1/V_J) \Psi_0$ t= 0'da elektron transportu (reaksiyon merkezi başına) |
| DI_0/RC | $(ABS/RC) - (TR_0/RC)$ t= 0'da Fotokimya dışında ısı olarak kaybedilen enerji (reaksiyon merkezi başına) |
| RE_0/RC | $M_0 (1/V_J)(1-V_I)$ RC başına Q_A^- 'dan PSI son elektron alıcılarına elektron transportunun kuantum verimi |
| Fenomenolojik akışlar-Ölçüm yapılan yaprak alanı bazında enerji akışları | |

| | |
|---|---|
| ABS/CS_0 | $t= 0$ 'da absorplanan enerji akışı |
| TR_0/CS_0 | $\phi\phi_{P0} (ABS/CS_0)$, $t= 0$ 'da yakalanan enerji akışı |
| ET_0/CS_0 | $\psi_0 \phi_{P0} \cdot \psi_0 \cdot (ABS/CS_0)$, $t= 0$ 'da elektron transportu |
| DI_0/CS_0 | $\phi_0 (ABS/CS_0) - (TR_0/CS_0)$, Bir PSII'de fotokimya dışında kaybedilen enerji |
| Performans indeksleri ve bileşenleri | |
| RC/ABS | Reaksiyon merkezi başına PSII anten klorofilleri tarafından indirgenen Q_A miktarı |
| $\phi_{P0}/(1 - \phi_{P0})$ | Primer fotokimyasal reaksiyonun etkinliği |
| $\psi_0/(1 - \psi_0)$ | Sistemden ayrılan elektronların sistemde biriken elektronlara oranı |
| $\delta R_0/(1 - \delta R_0)$ | İndirgenen PSI son elektron alıcılarının kuantum verimi |
| PI_{ABS} | $[\gamma_{RC}/(1 - \gamma_{RC})] \times [\phi_{P0}/(1 - \phi_{P0})] \times [\psi_0/(1 - \psi_0)]$ PSII tarafından foton absorpsiyonundan sistemler arası elektron alıcılarının indirgenmesine kadar olan enerji korunumunun performans indeksi (Potansiyel) |
| PI_{TOP} | $PI_{ABS} \times [\delta_{R0}/(1 - \delta_{R0})]$ Toplam performans indeksi, PSI'in son elektron alıcısına kadar olan performans indeksi |

3.3.2.6.2. Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesinin Belirlenmesi

APX (EC 1.11.1.11) aktivitesi Wang ve ark., (1991)'na göre belirlenmiştir. Yaklaşık 0.5 g taze doku, sıvı azotla öğütülüp 50 mM Tris-HCl (pH 7.2), %2 polivinilprolidon (PVP), 1 mM Na₂EDTA ve 2 mM askorbat içeren ekstraksiyon çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Homojenat, 12.000 rpm ve +4°C'de 20 dk santrifüj edilip 50 mM K-PO₄ tamponu (pH 6.6), 2.5 mM askorbat, 10 mM H₂O₂ ve 100 µg protein içeren enzim karışımından oluşan reaksiyon çözeltisi hazırlanmıştır. Reaksiyon, H₂O₂'in eklenmesiyle başlatılıp askorbat konsantrasyonundaki azalma, 290 nm'de enzim ekstratı içermeyen reaksiyon çözeltisine karşılık kaydedilmiştir. Enzim aktivitesi, askorbatın ekstinksiyon katsayısı (2.8 mM/cm.290nm) kullanılarak reaksiyonun başlangıç hızından hesaplanmıştır.

3.3.2.6.3. Glutatyon Redüktaz (GR) Aktivitesinin Belirlenmesi

GR (EC 1.6.4.2) aktivitesi Sgherri ve ark. (1994)'na göre belirlenmiştir. Yaklaşık 0.5 g taze doku, sıvı azotla öğütülüp 100 mM K-PO₄ (pH 7.0), %2 PVP ve 1 mM Na₂EDTA içeren ekstraksiyon çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Homojenat, 14.000 rpm ve +4°C'de 20 dk santrifüj edilip 100 mM K-PO₄ tamponu (pH 7.8), 2 mM Na₂EDTA, 0.5

mM okside glutasyon (GSSG), 0.2 mM NADPH ve 100 µg protein içeren enzim karışımından oluşan reaksiyon çözeltisi hazırlanmıştır. Reaksiyon, NADPH'in eklenmesiyle başlatılmıştır. Düzeltme, NADPH yokluğunda GSSG oksidasyonu ile yapılmıştır (Rao et al., 1995). Enzim aktivitesi, NADPH'in ekstinksiyon katsayısı (6.2 mM/cm.340 nm) kullanılarak reaksiyonun başlangıç hızından hesaplanmıştır.

3.3.2.6.4. Peroksidaz (POD) Aktivitesinin Belirlenmesi

POD (EC 1.11.1.7) aktivitesi Pütter (1974)'e göre belirlenmiştir. Yaklaşık 0.5 g taze doku, sıvı azotla öğütülüp 100 mM K-PO₄ (pH 7.0), %2 PVP ve 1 mM Na₂EDTA içeren ekstraksiyon çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Homojenat, 14.000 rpm ve +4°C'de 20 dk santrifüj edilip 100 mM K-PO₄ tamponu (pH 7.0), 0.316 mM guaiakol, 0.116 mM H₂O₂ ve 100 µL enzim karışımından oluşan reaksiyon çözeltisi hazırlanmıştır. Reaksiyon, H₂O₂'in eklenmesiyle başlatılmıştır. Enzim aktivitesi, guaiakol'ün ekstinksiyon katsayısı (26.6 mM/cm. 470 nm) kullanılarak reaksiyonun başlangıç hızından hesaplanmıştır.

3.4. Veri Analizi

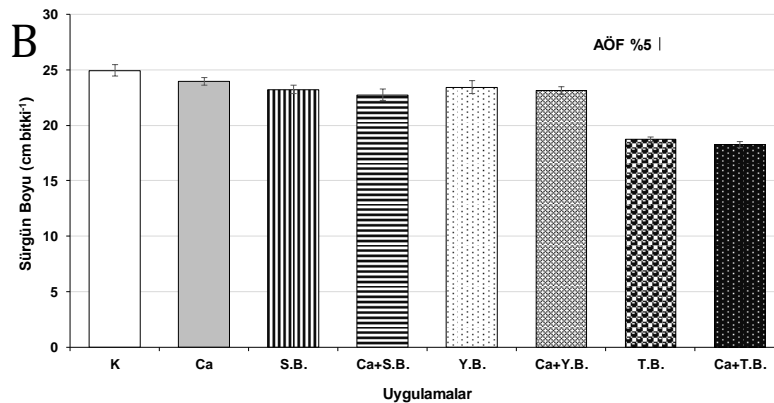
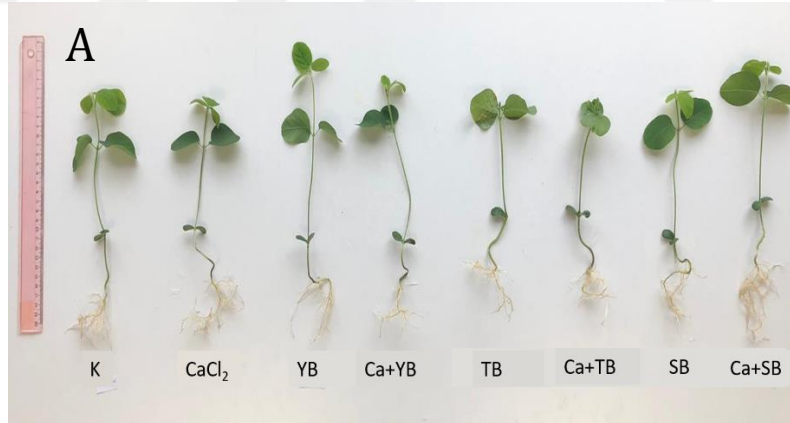
Denemeler, rastgele deneme deseninde, 3 deney tekrarı, 10 teknik tekrar olacak şekilde düzenlenmiştir. Denemelerden elde edilen verilere, istatistik paket programı (SPSS 20.0 software, IBM SPSS Statistics) kullanılarak istatistiki varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Uygulamalar arasındaki fark her bir değişken için Anlamlı Önemli Fark [AÖF, Least Significant Differences; (LSD)] %5 önem düzeyinde kontrol edilerek değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Farklı Su Taşkını Koşullarına Maruz Kalan Soya Bitkisinde Kalsiyum Ön Uygulamasının Meydana Getirdiği Morfolojik Değişimler

4.1.1. Sürgün Boyundaki Değişimler

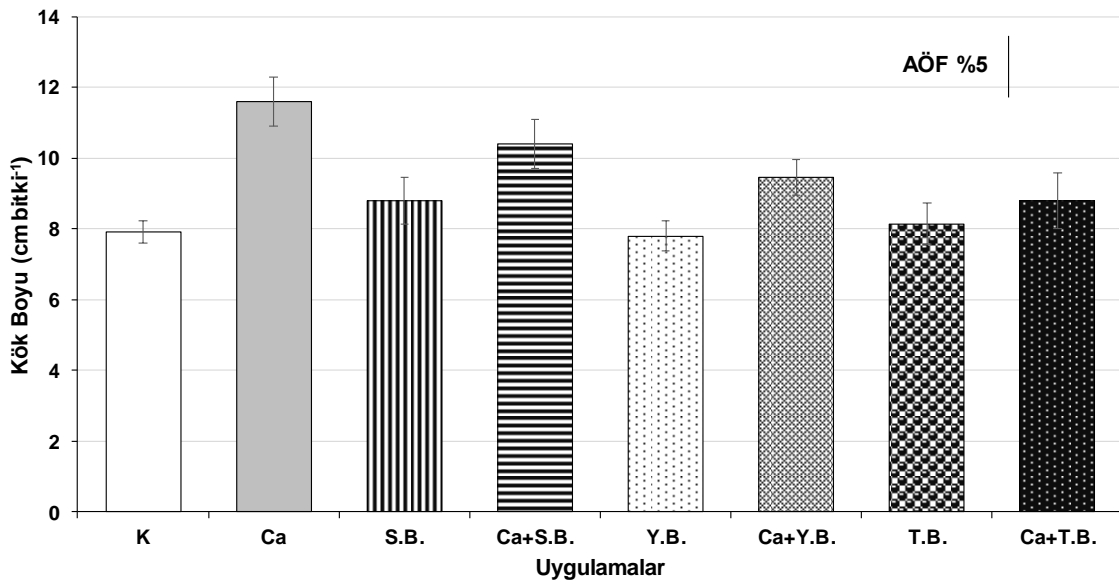
Bu tez kapsamında kalsiyum ön uygulamasının soya bitkisinde farklı su baskını koşullarına bir dayanım sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır. Kontrol (K) ve CaCl_2 (Ca) grubu bitkilerin sürgün boyları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir değişim saptanmamıştır (Şekil 4.1). Su baskını (S.B., waterlogging), yarı batık (Y.B., flooding) ve tam batık (T.B., submerge) stres grupları kontrol grubu ile karşılaştırıldığında; farklı su taşkını koşulları sürgün boyunu sırası ile yaklaşık %7, %6 ve %25 oranında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde azaltmıştır (Şekil 4.1; $P < 0.05$). Kalsiyum ön uygulama gruplarında da benzer sonuçlar belirlenmiştir, tüm Ca grupları kontrole göre önemli düzeyde sürgün boyunu azaltırken kendi grupları arasında anlamlı farklılıklar saptanmamıştır.



Şekil 4.1. Farklı su taşkını koşullarına maruz kalan soya bitkisinde kalsiyum ön uygulamasının sürgün boyuna etkisi; deney grupları görseli(A), grafik(B).

4.1.2. Kök Boyundaki Değişimler

Su baskını, yarı batık ve tam batık olmak üzere farklı su taşkını stres koşulları altında kalan soya bitkisinde kök boyu, yarı batık grubu hariç kontrol grubuna göre artmıştır (kontrole göre su baskını grubunda yaklaşık %11, tam batık grubunda yaklaşık %3 artış), bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Şekil 4.2). Ca ön uygulaması kök boyunu kontrole göre sadece Ca+S.B. grubunda anlamlı düzeyde (yaklaşık %30 artış) artırırken ($P<0.05$), diğer gruplar arasında önemli olmamıştır (sırası ile yaklaşık %19 ve %11 artış) (Şekil 4.2).

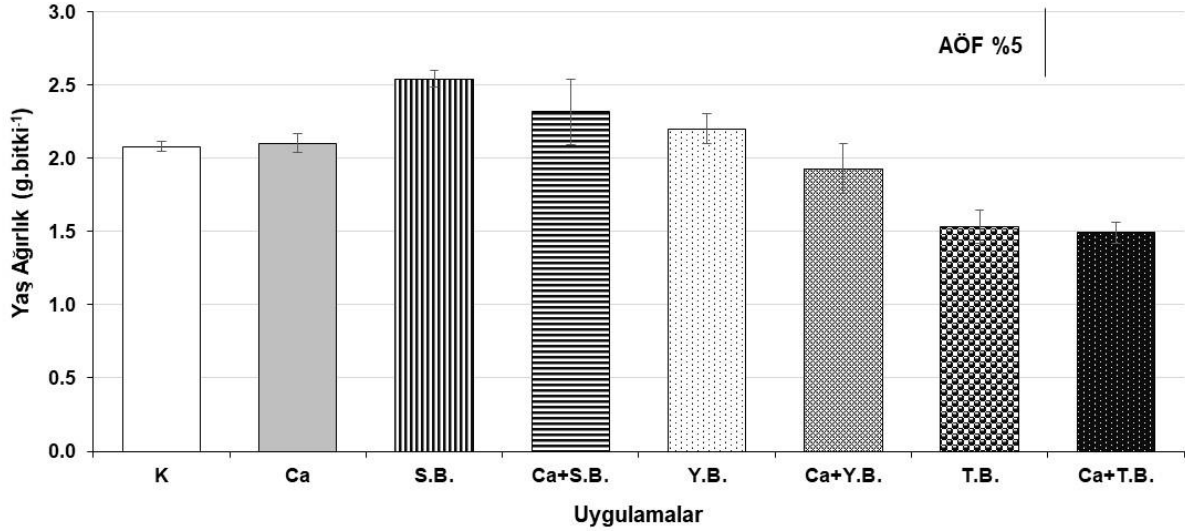


Şekil 4.2. Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde kalsiyum ön uygulamasının kök boyu üzerine etkisi

4.1.3. Yaş Ağırlıkta Değişimler

Farklı su taşkını koşulları yaş ağırlıkta değişimlere yol açmıştır (Şekil 4.3). Su baskını ve yarı batık koşullar yaş ağırlıkta kontrole göre sırasıyla yaklaşık %6 ve %22 artışa; tam batık koşulu ise kontrole göre yaklaşık %26 oranında azalışa neden olduğu

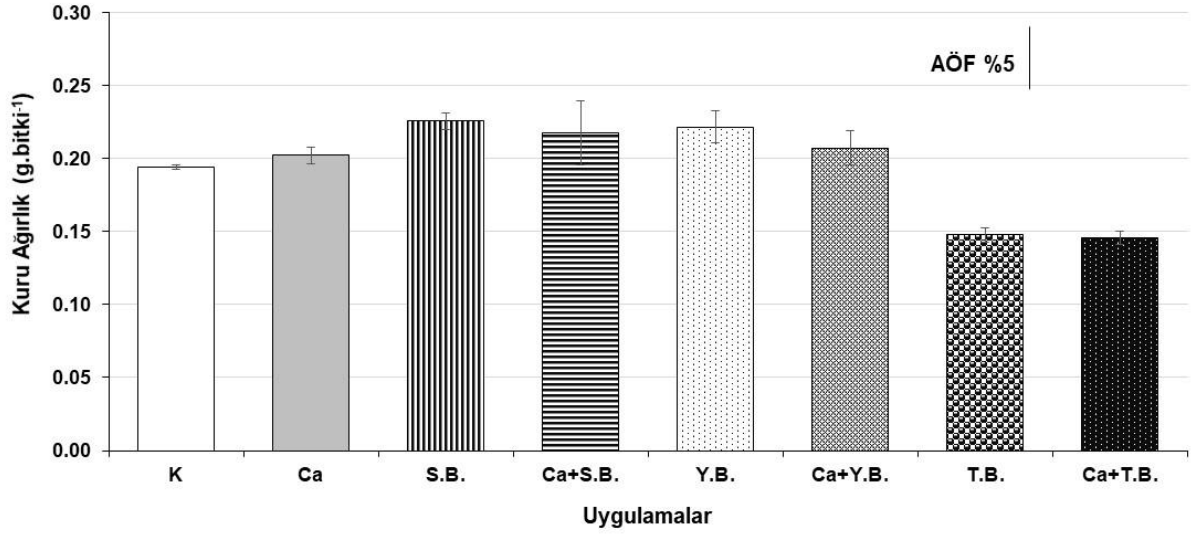
saptanmıştır (Şekil 4.3). Su taşkınları nedeni ile yaş ağırlıkta meydana gelen artışlar istatistiksel olarak anlamlı olmazken, azalış önemli bulunmuştur. Ca ön uygulamalarında yaş ağırlık, uygulamasız su taşkını koşullarına göre azalmıştır ancak bu değişimler anlamlı olmamıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde kalsiyum ön uygulamasının yaş ağırlık üzerine etkisi

4.1.4. Kuru Ağırlıkta Değişimler

Su ekstremlerinde kuru ağırlık, yaş ağırlıkta meydana gelen değişimlere benzer bir eğilim sergilemiştir (Şekil 4.4). Su baskını koşulunda kuru ağırlık kontrole göre yaklaşık %16, yarı batık koşulda ise %14 artış belirlenirken, tam batık su taşkınında kuru ağırlığın kontrole göre yaklaşık %24 oranında istatistiksel olarak öneli düzeyde azaldığı saptanmıştır ($P<0.05$). Kalsiyum ön uygulamalı gruplar (Ca+SB, Ca+YB, Ca+TB) ile kendi stres grupları (SB, YB, TB) karşılaştırıldığında; ön uygulama gruplarının kuru ağırlıklarının azaldığı ancak aralarında anlamlı bir fark bulunmamıştır.

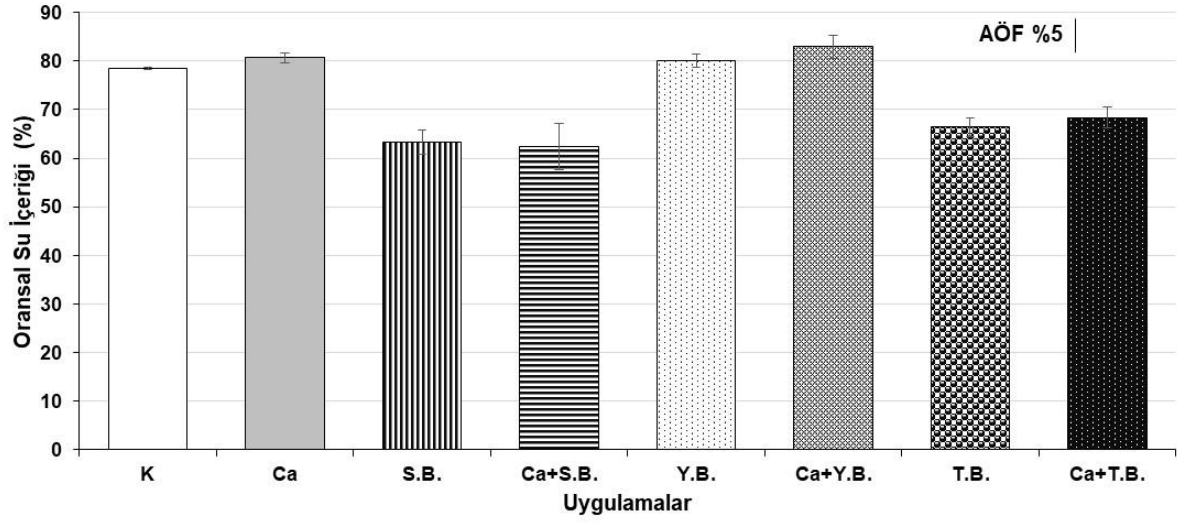


Şekil 4.4. Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde kalsiyum ön uygulamasının kuru ağırlık üzerine etkisi

4.2. Farklı Su Taşkını Koşullarına Maruz Kalan Soya Bitkisinde Kalsiyum Ön Uygulamasının Meydana Getirdiği Fizyolojik Değişimler

4.2.1. Oransal Su İçeriğindeki Değişimler

Farklı su taşkını koşulları soya genotipinin oransal su içeriği (RWC) miktarını farklı etkilediği belirlenmiştir (Şekil 4.4). Su baskını (S.B.) ve tam batıklık (T.B.) koşullarında RWC kontrole göre sırası ile yaklaşık %19 ve 17 olmak üzere önemli oranda ($P < 0.05$) azalmıştır. Yarı batıklık taşkın koşulunda ise RWC %2 oranında artmış ancak bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Kalsiyum ön uygulama grupları ile stres grupları karşılaştırıldığında, oransal su içeriği miktarlarında hafif artış olmakla birlikte, anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir.

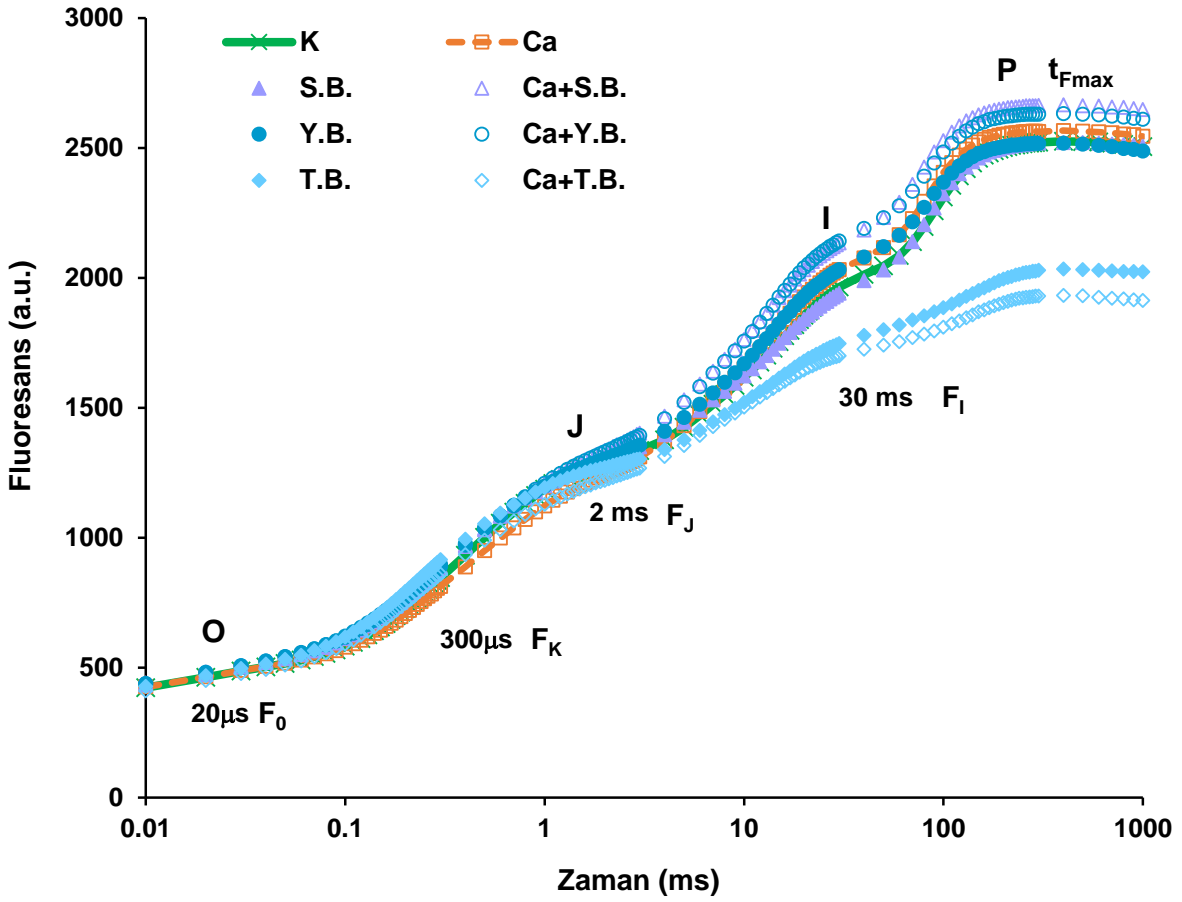


Şekil 4.5. Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde kalsiyum ön uygulamasının oransal su içeriği üzerine etkisi

4.2.2. Fotosentetik Etkinlikteki Değişimler

4.2.2.1. OJIP Eğrilerindeki (Kautsky Eğrileri) Değişimler

Su taşkını koşulları soya bitkisinin fotosentetik aparatlarının fonksiyonelliğinde farklı düzeylerde etkilenmelere yol açtığı 30 dk karanlığa uyumlandırılan yapraklarda polifazik klorofil fluoresans ölçümleri ile belirlenmiştir (Şekil 4.6). Ölçülen değerler logaritmik ölçekte grafiklendirildiğinde; O, J, I ve P basamaklarından ibaret ve bitkinin fotosentetik yapının fonksiyonelliğini yansıtan kendine özgü polifazik OJIP eğrisi (Kautsky eğrisi) elde edilmiştir. Polifazik Kautsky eğrisi, farklı tipte su taşkını koşullarına maruz kalan soya bitkisinde fotosistemlerinin redoks durumunda değişikliklere yol açtığını ve tam batık koşulu hariç Ca ön uygulamasının su taşkınlarının etkilerini hafiflettiğini göstermektedir (Şekil 4.6). Tam batık (T.B.) koşulu diğer su taşkını tiplerine göre fotosentetik etkinlikte daha belirgin ve dramatik değişime yol açtığı Kautsky eğrilerinin şeklinde açıkça anlaşılmaktadır (Şekil 4.6). Su baskını (S.B.) ve yarı batık (Y.B.) koşullarının Q_A , plastokinon havuzu ve PS I'in redoks durumlarında (sırası ile O-J, J-I ve I-P basamakları), kontrol grubuna yakın olmakla birlikte etkilenmeler meydana getirdiği, Ca ön uygulamasının ise bu etkileri hafiflettiği saptanmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının OJIP eğrilerinde (Kautsky eğrisi) meydana getirdiği değişimler

4.2.2.2. Fotosentetik Aygıtların Özel (Spesifik) Enerji Akışlarındaki Değişimler

Farklı su taşkını koşulları fotosentetik aygıtların reaksiyon merkezi (RC) başına (spesifik) enerji akışlarında değişimlere yol açmıştır (Şekil 4.7). Her bir RC tarafından absorplanan enerjiyi ya da anten boyutu yansıtan ABS/RC'nin, tüm su taşkını koşullarında (S.B., Y.B. ve T.B.) kontrol grubuna göre anlamlı seviyede düzeyde arttığı saptanmıştır ($P < 0.05$). Stres gruplarında kontrole kıyasla; su baskınında yaklaşık %10, yarı batıkta %12, tam batık su taşkınında ise %32 oranında artış tespit edilmiştir (Şekil 4.7A). Bu değişimler, kalsiyum ön uygulaması yapılması ile kontrol seviyelerine dönmüştür.

Farklı su taşkını stresleri, soya genotipinin reaksiyon merkezi başına yakalanan enerji akışı (TR_0/RC) ve elektron transportu (ET_0/RC) ile fotokimya dışında ısı şeklinde

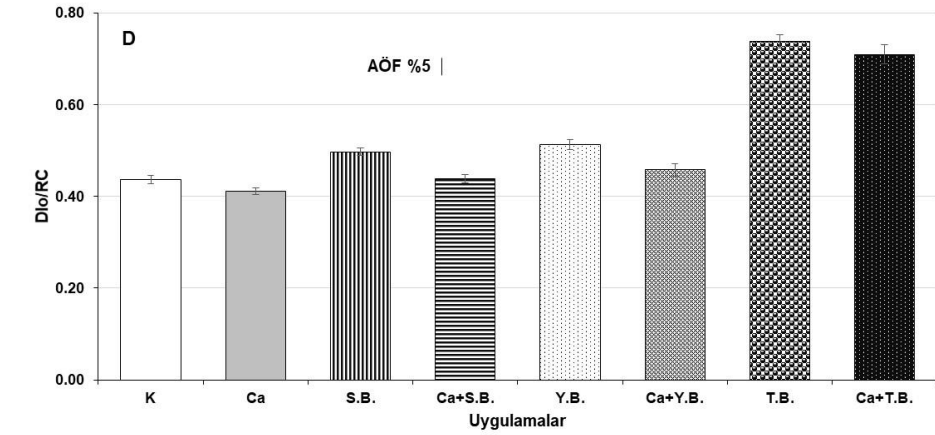
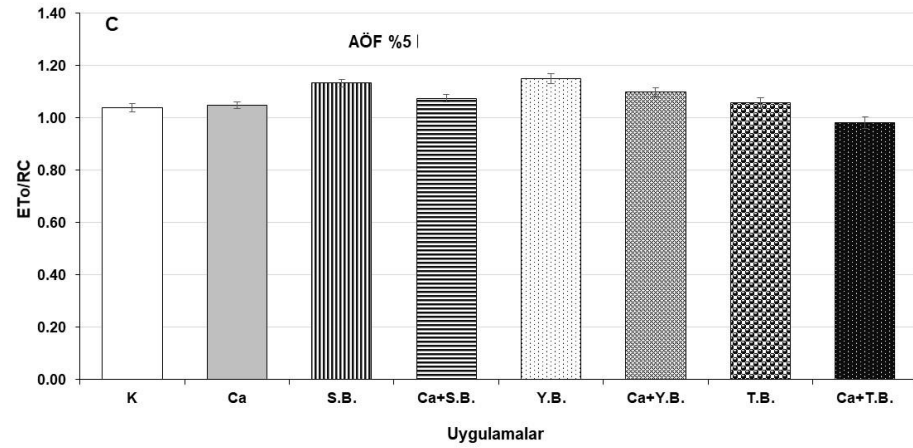
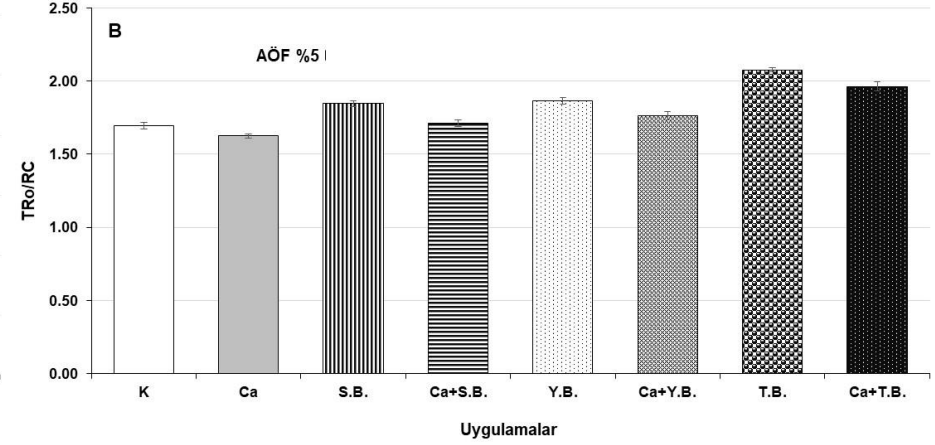
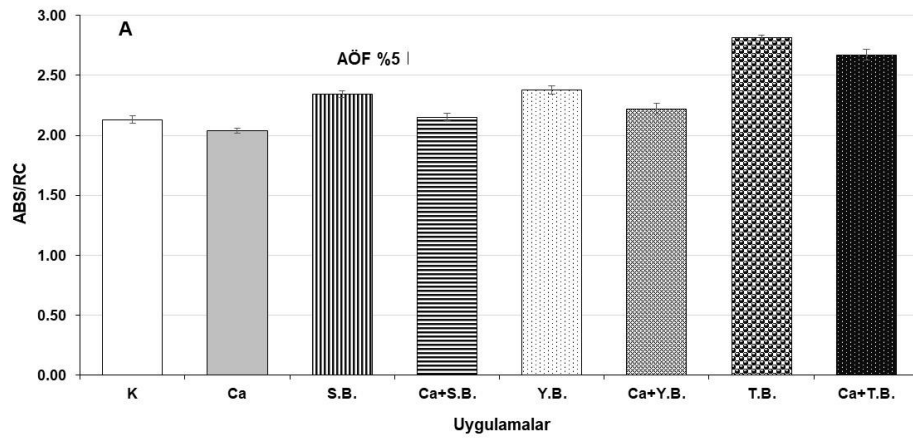
kaybedilen enerjinin (DI_0/RC), ABS/RC 'de olduğu gibi, anlamlı düzeyde artmasına yol açmıştır ($P<0.05$; Şekil 4.7B). TR_0/RC ; su baskını, yarı batık ve tam batık su taşkınlarında sırası ile kontrole göre yaklaşık %9, %10 ve %23 olmak üzere önemli seviyede artarken, Ca ön uygulamalı tüm stres gruplarında hemen hemen kontrol seviyelerine inmiştir.

Kontrol grubu ve stres grupları kıyaslandığında yine ET_0/RC 'de önemli artışlar belirlenmiştir (S.B. stresinde yaklaşık %9, Y.B.'de %11 ve T.B. stresinde %2 oranında artış) ama tam batık stresindeki bu artış istatistiksel olarak anlamlı görülmemiştir. Kalsiyum ön uygulaması stres gruplarının hepsinde ET_0/RC oranında istatistiksel olarak önemli düşüşler meydana gelmiştir ($P<0.05$), bu düşüşlerden Ca+Y.B. grubunda %6, Ca+T.B. grubunda ise yaklaşık %7 oranında azalış olmuştur (Şekil 4.7C).

Fotokimya dışında ısı olarak kaybedilen enerji (DI_0/RC) su taşkını koşulları ile kontrole göre anlamlı düzeyde arttığı saptanmıştır ($P<0.05$; Şekil 4.7D). Su baskını stresinde kontrole göre yaklaşık %14, yarı batık stresinde %18 ve tam batık stresinde %69 oranında artış gözlemlenmiştir. Kalsiyum ön uygulaması ile bu artışlar S.B. ve Y.B. koşullarında kontrol seviyesine düşerken, T.B. koşulunda Ca uygulaması önemli bir azalma sağlamamıştır (Şekil 4.7D).

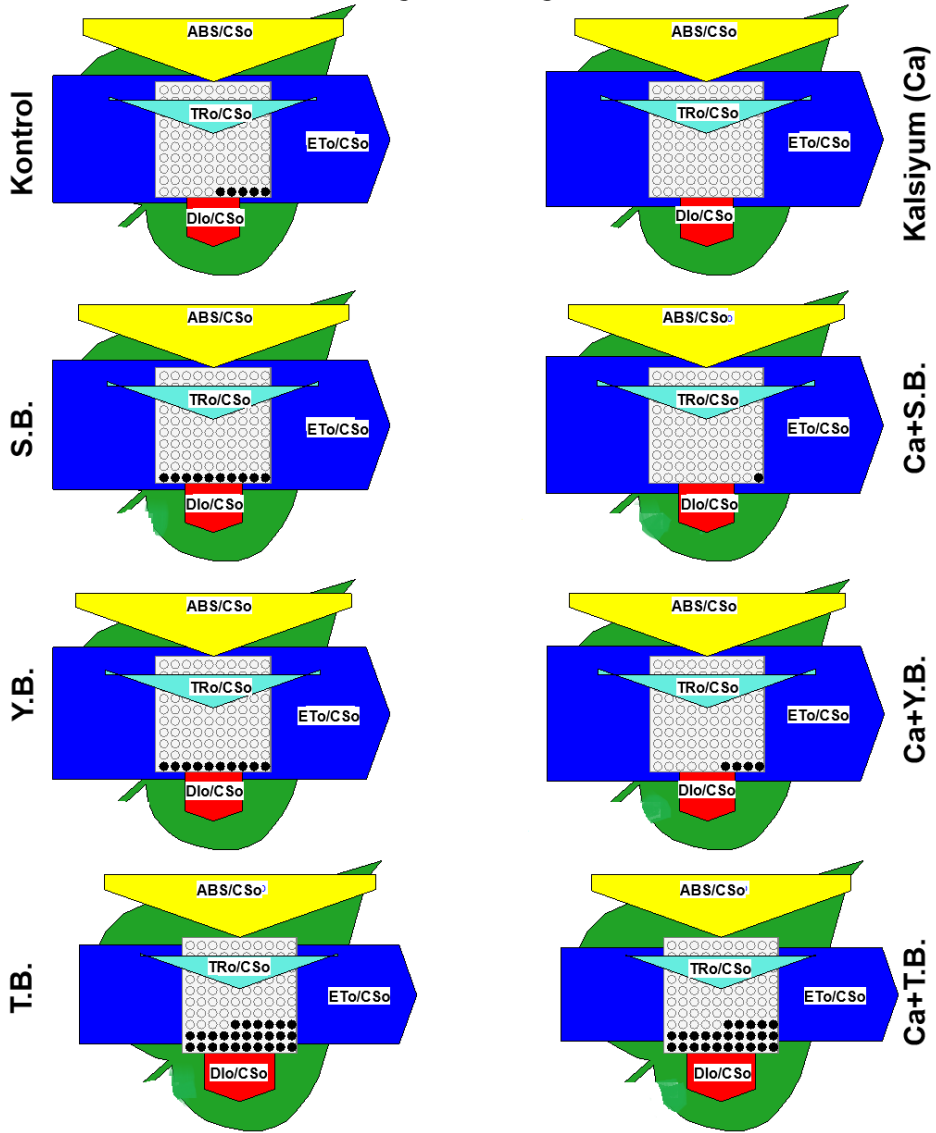
4.2.2.3. Yaprakların Fenomenolojik Enerji Akışlarındaki Değişimler

Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinin yapraklarının fenomenolojik enerji akışlarında [birim yaprak alanı bazında (CS_0)] değişimler meydana gelmiştir (Şekil 4.8). Ölçüm yapılan yaprak alanı bazında absorplanan uyarılma enerjisi (ABS/CS_0) farklı su taşkını streslerinde arttığı ve tam batık su taşkını hariç diğer stres koşullarında artışların kontrole göre istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.8). Ca ön uygulaması su baskını ve yarı batık koşullarında ön uygulamasız gruplara göre önemli bir değişim oluşturmazken, tam batık koşullarında anlamlı bir düşüşe yol açmıştır (Şekil 4.8). Yaprak alanı bazında yakalanan enerji (TR_0/CS_0) tüm su taşkını uygulamalarında (ön uygulamasız veya ön uygulamalı) kontrole göre önemli oranda ($P<0.05$) arttığı, ancak kendi grupları arasında meydana gelen değişimlerin, tam batık grubu, hariç istatistiksel olarak anlamlı olmadığı saptanmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.7. Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının fotosentetik aygıtlardaki RC başına enerji akışlarında (spesifik) oluşturduğu değişimler (A, ABS/RC; B, TR_o/RC; C, ET_o/RC; D, DI_o/RC

Fenomenolojik Enerji Akışları



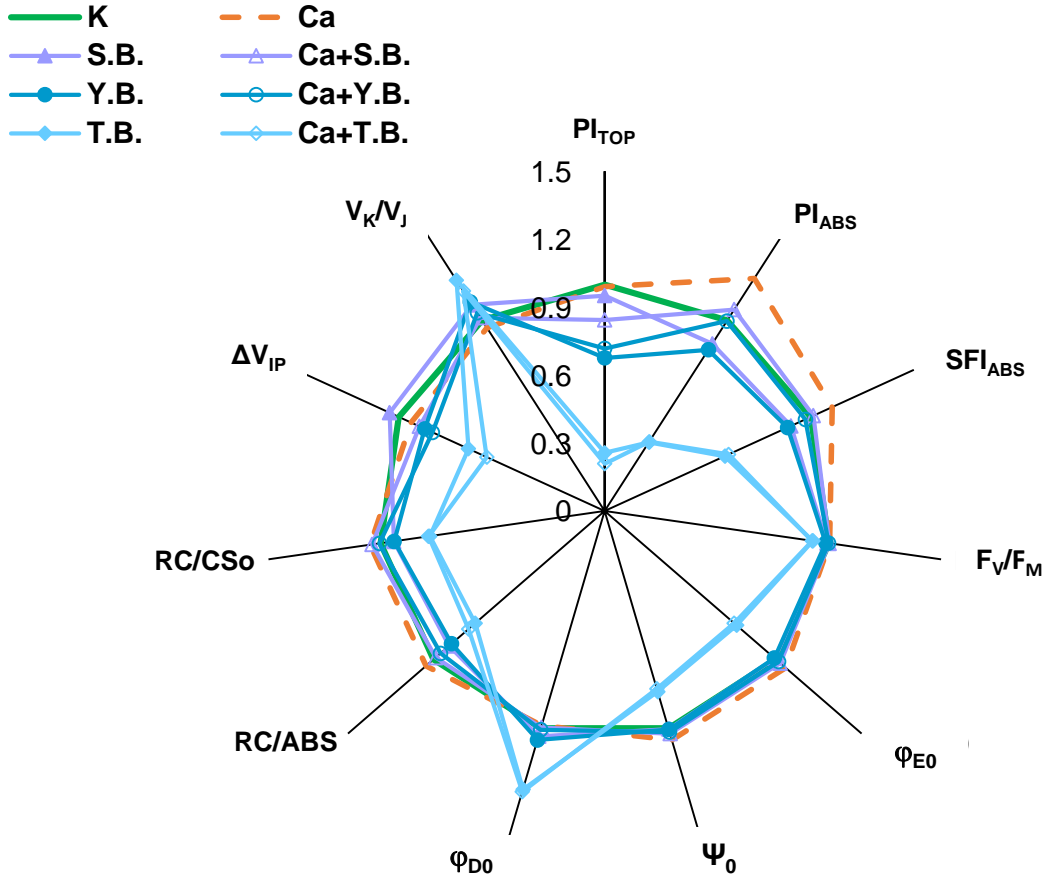
Şekil 4.8. Farklı su taşıma koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının fotosentetik aparatındaki fenomenolojik enerji akışları (yaprak modelinde birim yaprak alanı başına, CSo) üzerine etkisi. Fenomenolojik enerji akış parametrelerini gösteren okların genişlikleri, parametrelerin nispi değerlerini temsil etmektedir. Enerji akışları; her bir yaprak alanı başına absorplanan enerji (ABS/CSo), yakalanan enerji (TR/CSo), elektron taşıma (ET/CSo) ve aşırı uyarılma enerjisinin ısı olarak yayılımını (DI/CSo) içermektedir. Siyah daireler inaktif, açık daireler aktif reaksiyon merkezlerini temsil etmektedir.

Absorblanan ışık enerjisinin fotokimyada kullanımı (ET_0/CS_0), Ca ön uygulamalı ve uygulamasız su baskını (S.B.) ve yarı batık koşullarda kontrole göre artarken, ön uygulamalı ve uygulamasız tam batık su taşkını koşulunda azalmıştır (Şekil 4.8). Bu değişimler S.B hariç tüm uygulamalarda istatistiki olarak önemli ($P<0.05$) bulunmuştur. Tüm su taşkını koşulları (S.B., Y.B. ve T.B.) alınan eksitasyon enerjisinin önemli oranda ısı olarak kullanılmasına [DI_0/CS_0 , fotokimya dışında kullanımda artış] yol açmıştır (Şekil 4.8). Ca ön uygulaması, T.B. hariç, enerjinin ısı şeklinde kaybını kontrol seviyesine kadar düşürdüğü saptamıştır. Her iki T.B. koşulunun da kontrole göre önemli düzeyde ($P<0.05$) olmak üzere absorblanan enerjinin fotokimyasal olmayan süreçte kullanılmasına neden olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.8).

4.2.2.4. Diğer Bazı JIP-Test Parametrelerindeki Değişimler

Su taşkını koşulları (tüm su taşkını tipleri) fotosistemlerin yapısal, fonksiyonel kararlılığını, uyarılma enerjisinin fotokimyasal ve/veya fotokimya dışında kullanılma etkinliğini, elektron transportu verimi, fotosentetik performanslarını, yapısal hasarlar ya da inhibisyonlar hakkında bilgi veren önemli bazı JIP-Test parametrelerinde önemli sapmalara (değişikliklere) neden olmuştur (Şekil 4.9.). İncelenen parametrelerde meydana gelen sapmalar taşkının tipine göre değişim göstermektedir ki bu durum Kautsky eğrisinde açıkça görülebilmektedir (Şekil 4.6 ve 4.9). Fotosistemlerin yapısal stabilitesini ve işlevselliğini yansıtan yapı-fonksiyon indeksinin (SFI_{ABS}) tüm su taşkını koşullarında kontrole göre anlamlı şekilde azaldığı ($P<0.05$) bulunurken, Ca+T.B. hariç, diğer Ca ön uygulamalarının olumsuz etkilenmeyi kontrol seviyesinin de üzerinde iyileştirdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.9). Tam batık stres koşulunda da Ca ön uygulaması iyileştirme yapmasına rağmen yeterli olmadığı belirlenmiştir.

Su taşkınları primer fotokimyanın maksimum etkinliğini (F_V/F_M , ϕ_{P0}), elektron transportunun kuantum verimini (ϕ_{E0}) ve bir elektronun Q_A 'dan daha ileriye taşıma etkinliğini (Ψ_0) özellikle tam batık koşulunda kontrole göre istatistiki olarak önemli ($P<0.05$) düzeyde etkilediği, Ca ön uygulamasının da etkinliklerin, tam batık hariç, kontrol seviyesinde devamlılığını sağladığı saptanmıştır (Şekil 4.9). Bununla birlikte; ısı dağılımının kuantum oranı (ϕ_{D0}), yarı batık, tam batık ve Ca+tam batık su taşkını koşullarında kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı ($P<0.05$) seviyede arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Farklı su taşkın koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının bazı JIP-Test parametreleri üzerine etkisi

Su taşkınları PS II reaksiyon merkezinin yoğunluğunun (RC/CS₀), aktif RC başına PSII antenin boyutunun (RC/ABS) ve PS I'in akseptör kısmının etkinliğinin (ΔV_{IP}) önemli düzeyde azalmasına yol açmış, Ca ön uygulaması genel olarak sadece su baskın koşulunda olumsuz etkinin iyileştirilmesini sağlamıştır (P<0.05; Şekil 4.9). Ayrıca, su taşkınlarının PS II'nin donör kısmında oksijen çıkış kompleksinin (OEC) inhibisyonuna ve yapıda olası hasara (V_K/V_J'de artış) sebep olduğu, Ca ön uygulamalarının su taşkınlarının olumsuz etkilerini önemli oranda hafiflettiği tespit edilmiştir (P<0.05; Şekil 4.9)

4.3. Farklı Su Taşkını Koşullarına Maruz Kalan Soya Bitkisinde Kalsiyum Ön Uygulamasının Meydana Getirdiği Biyokimyasal Değişimler

4.3.1. Fotosentetik Pigment Miktarlarındaki Değişimler

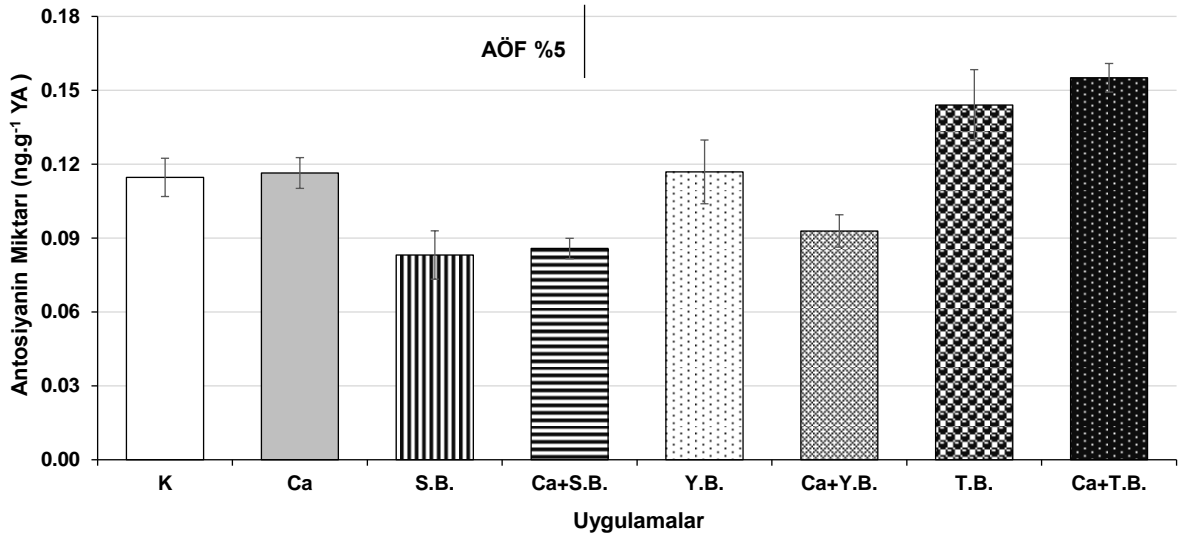
Fotosentetik pigment miktarları su taşkınlarından farklı etkilemiştir (Çizelge 4.1). Su taşkını (tümü) koşulları pigment içeriklerini kontrole düzeyinde kalmasını sağlarken veya kontrole göre hafif şekilde artırırken; Ca ön uygulamalı tam batık koşulda (Ca+T.B.) azaltmıştır. Ancak bu değişimler genel olarak istatistiksel açıdan önemli olmamıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının fotosentetik pigment miktarları ($\text{mg.ml}^{-1}.\text{g.YA}^{-1}$) üzerine etkisi (Ortalama \pm Standart Hata)

| Uygulama | Klorofil a | Klorofil b | Toplam klorofil (a+b) | Klorofil a/b oranı | Toplam karotenoid (x+c) | a+b/ x+c |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|-----------------|
| Kontrol | 2.94 \pm 0.14 | 0.92 \pm 0.05 | 3.86 \pm 0.19 | 3.19 \pm 0.06 | 0.72 \pm 0.03 | 5.32 \pm 0.06 |
| Ca | 2.97 \pm 0.21 | 0.90 \pm 0.07 | 3.87 \pm 0.28 | 3.30 \pm 0.03 | 0.72 \pm 0.06 | 5.42 \pm 0.06 |
| S.B. | 3.18 \pm 0.18 | 0.95 \pm 0.05 | 4.13 \pm 0.23 | 3.34 \pm 0.02 | 0.75 \pm 0.04 | 5.49 \pm 0.04 |
| Ca+S.B. | 3.16 \pm 0.20 | 0.97 \pm 0.06 | 4.13 \pm 0.25 | 3.25 \pm 0.05 | 0.77 \pm 0.04 | 5.35 \pm 0.03 |
| Y.B. | 2.95 \pm 0.23 | 0.89 \pm 0.06 | 3.83 \pm 0.29 | 3.32 \pm 0.04 | 0.72 \pm 0.06 | 5.37 \pm 0.07 |
| Ca+Y.B. | 3.52 \pm 0.12 | 1.09 \pm 0.04 | 4.61 \pm 0.15 | 3.22 \pm 0.01 | 0.83 \pm 0.03 | 5.55 \pm 0.06 |
| T.B. | 2.95 \pm 0.13 | 0.94 \pm 0.04 | 3.89 \pm 0.17 | 3.15 \pm 0.02 | 0.73 \pm 0.03 | 5.28 \pm 0.13 |
| Ca+T.B. | 2.54 \pm 0.27 | 0.76 \pm 0.08 | 3.30 \pm 0.34 | 3.32 \pm 0.02 | 0.67 \pm 0.05 | 4.88 \pm 0.43 |
| AÖF %5 | 0.806 | 0.242 | 1.043 | 0.128 | 0.178 | 0.538 |

4.3.2. Antosiyanin ve Flavonoid Miktarlarındaki Değişimler

Antosiyanin miktarı su baskını (S.B.) ile Ca ön uygulamalı tam batık su taşkını koşullarında kontrole göre anlamlı ($P<0.05$) değişim sergilemiştir. S.B., antosiyanin miktarını kontrole göre azaltırken (yaklaşık %28), Ca+T.B.'nin arttırdığı (yaklaşık %34) tespit edilmiştir (Şekil 4.10). Su taşkınları nedeniyle meydana gelen diğer değişimler (kontrole göre artış veya azalış) istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Şekil 4.10).



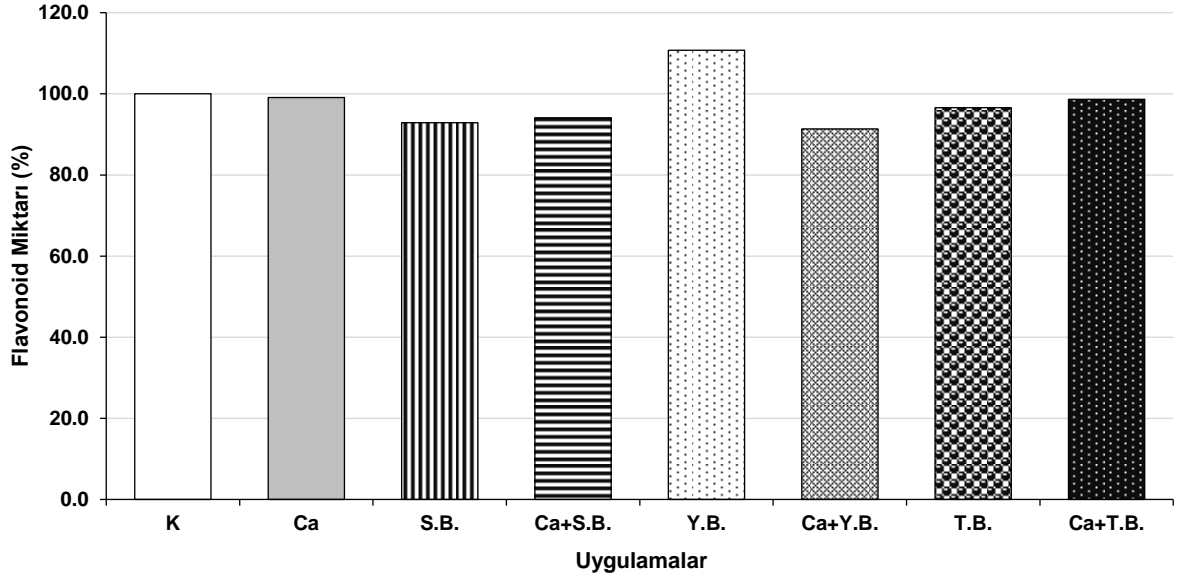
Şekil 4.10. Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının antosiyanin miktarı üzerine etkisi

Ca ön uygulamalı veya uygulamasız su taşkını koşullarına maruz kalan soya bitkisinin flavonoid miktarı da antosiyanin miktarına benzer bir değişim sergilemiştir (Şekil 4.10 ve 4.11). Kontrol grubu ile su taşkını stres grupları kıyaslandığında; su baskını ve tam batık koşullarının flavonoid miktarlarında sırası ile yaklaşık %7 ve %3 oranında azalışa, yarı batıkta yaklaşık %11 oranında artışa neden olduğu belirlenmiştir. Flavonoid miktarının kendi uygulama gruplarına göre, Ca+S.B. grubunda %1.27, Ca+T.B. %2.10 oranında artarken, Ca+Y.B. grubunda ise %17 oranında azaldığı saptanmıştır (Şekil 4.11).

4.3.3. MDA ve H₂O₂ Miktarlarındaki Değişimler

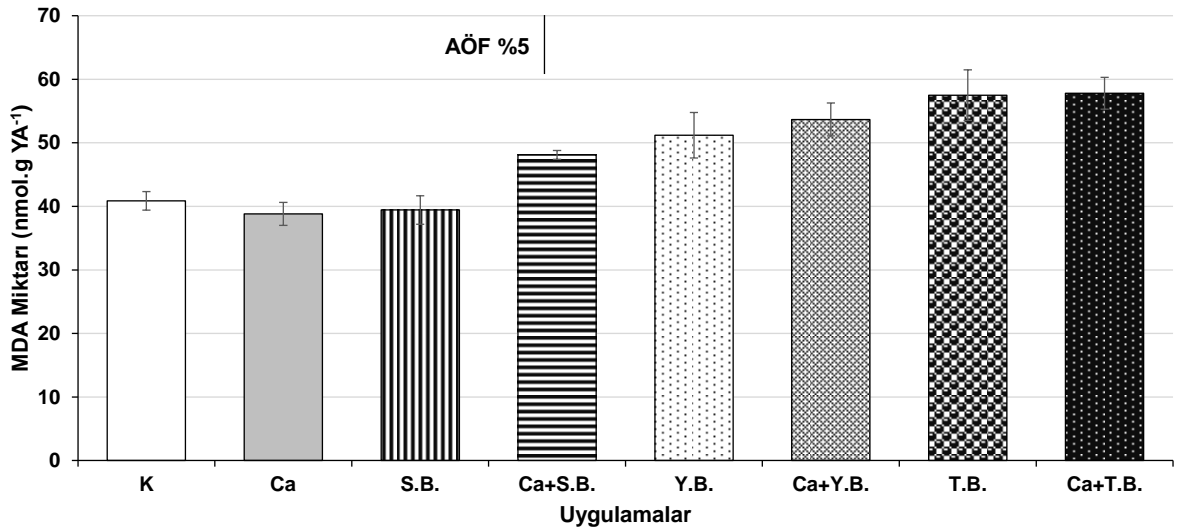
Su baskını hariç diğer su taşkını koşulları MDA miktarını kontrole göre anlamlı ($P < 0.05$) seviyede arttırmıştır (Şekil 4.12). Yarı batık ve tam batık su taşkını koşullarının MDA miktarlarını kontrole göre sırası ile yaklaşık %25 ve %40 artışa yol açtığı saptanmıştır. Ca+Y.B. ile Ca+T.B. ön uygulama gruplarının da MDA miktarını kontrole göre sırası ile yaklaşık %31 ve %41 arttırdığı tespit edilmiştir (Şekil 4.12).

H₂O₂ miktarı da hemen hemen MDA miktarına benzer bir trend sergilemiştir. Su baskını hariç diğer uygulama koşulları H₂O₂ miktarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$) artışlara yol açtığı bulunmuştur (Şekil 4.13).

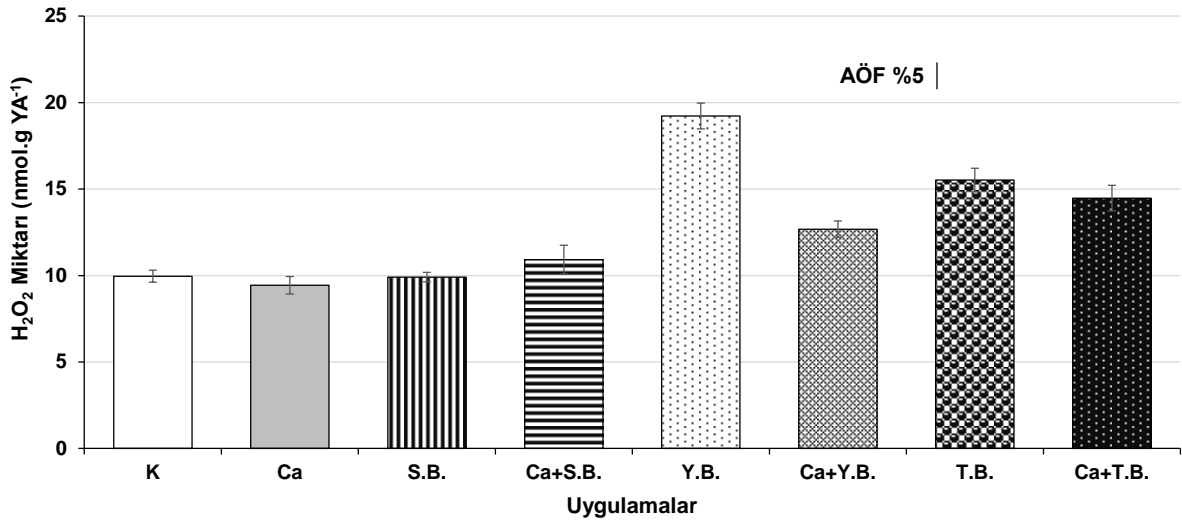


Şekil 4.11. Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının flavonoid miktarı üzerine etkisi

Yarı batık ve tam batık taşkın stresleri H_2O_2 miktarlarını kontrole göre sırasıyla yaklaşık %93 ve %56 seviyesinde olmak üzere önemli oranda artış meydana getirdiği saptanmıştır. Ca ön uygulama grupları bu artışları, yarı batık grubunda %34 oranında önemli miktarda azalttığı ($P<0.05$), tam batık grubunda ise %7 azalttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.12. Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının MDA miktarı üzerine etkisi

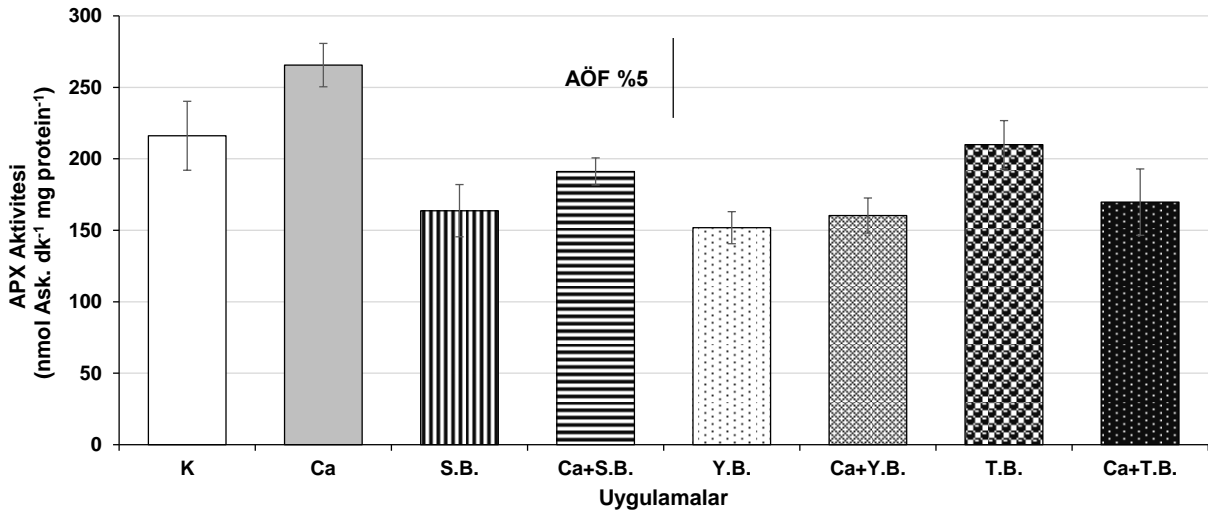


Şekil 4.13. Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının H₂O₂ miktarı üzerine etkisi

4.3.4. Bazı Antioksidant Enzim Aktivitelerindeki Değişimler

4.3.4.1. Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesindeki Değişimler

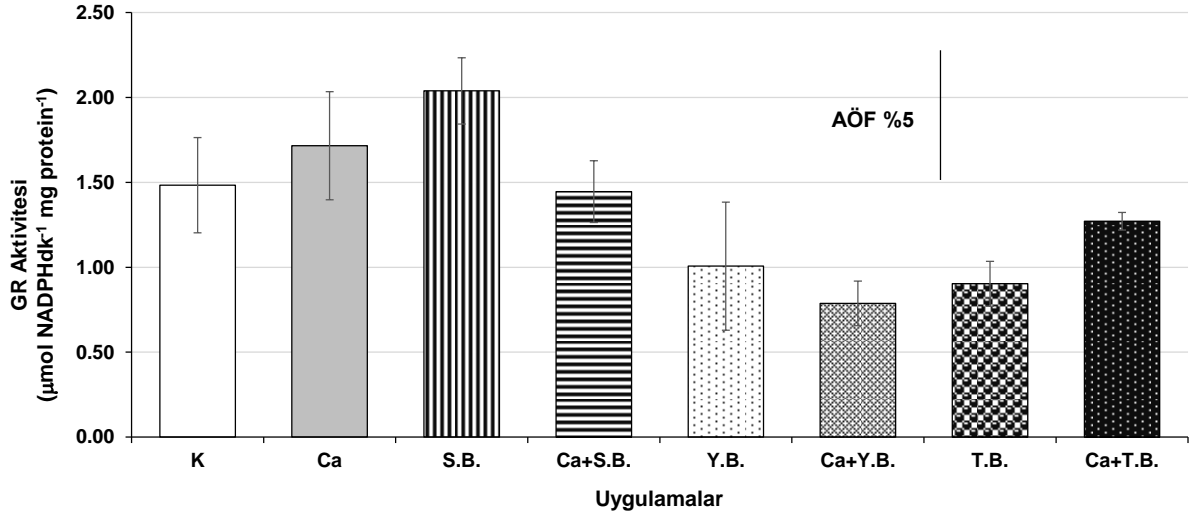
Farklı tipte su taşkını koşulları APX aktivitesini kontrole göre azaltması ile birlikte, sadece Ca ön uygulamalı ve uygulamasız yarı batık koşulda istatistiksel olarak önemli düzeyde ($P < 0.05$) azalma belirlenmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının APX aktivitesi üzerine etkisi

4.3.4.2. Glutasyon Redüktaz (GR) Aktivitesindeki Değişimler

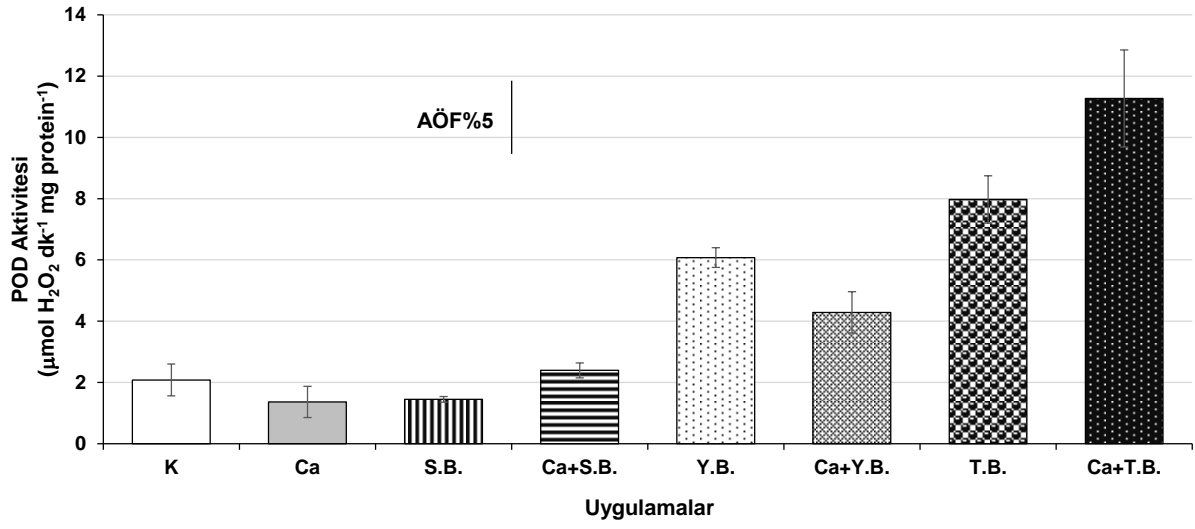
Su taşkını koşulları soya bitkisinin GR aktivitesini farklı etkilemiştir. Ca ön uygulamalı ve uygulamaz su taşkınına maruz kalan soya bitkilerinin GR enzim aktivitesinin, su baskını koşulu hariç, azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.15). Gözlenen değişimlerin tümü istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.



Şekil 4.15. Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının GR aktivitesi üzerine etkisi

4.3.4.3. Peroksidaz (POD) Aktivitesindeki Değişimler

Farklı su taşkını koşulları, S.B., Ca+S.B. ve Ca+Y.B. koşulları hariç, peroksidaz aktivitesini kontrole göre önemli düzeyde arttırmıştır (Şekil 4.16). Ca ön uygulamanın yarı batık koşulda POD aktivitesinin yaklaşık %29 azalmasına; tam batık koşulda ise aktivitenin yaklaşık %41 artmasına neden olduğu saptanmıştır. Bu değişimlerden sadece T.B. ile Ca+T.B. koşullarındaki istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$) olmuştur (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Farklı su taşkını koşullarına maruz bırakılan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının POD aktivitesi üzerine etkisi

5. TARTIŞMA

İklim değişimi nedeni ile ortaya çıkan su taşkınları küresel düzeyde bitki gelişimini ve tarımsal verimi olumsuz etkileyen önemli abiyotik stres faktörlerinden biridir. Türkiye'nin denize kıyısı olan bütün bölgeleri, yoğun yağışlar ve su taşkınlarına sıkça maruz kalmakta, bu durum tarım arazilerinde ciddi verim kayıplarına yol açmaktadır. Dünya genelinde ise, iklim değişikliği nedeniyle su taşkınlarının sıklığı ve şiddeti artmakta, bu da tarımsal üretim alanlarının geniş bölgelerde etkilenmesine neden olmaktadır (Manik ve ark., 2019; Habib-ur-Rahman ve ark., 2022). Bu sebeple, su taşkını stresine karşı bitkilerin tolerans mekanizmasını artırmak için çeşitli tarımsal ve biyoteknolojik stratejiler geliştirilmektedir. Bunlardan biri de bitkilerin su taşkınlarına karşı toleransını arttırmada kalsiyum ön uygulamalarıdır. Kalsiyum, hücre bölünme ve uzama süreçlerinin düzenlenmesinde, hücre çeperlerinin güçlenmesine ve bütünlüğünün korunmasında, hücre zarlarının stabilizasyonunda ve hücresel işlevlerin iyileşmesinde rol oynamaktadır. Tarımsal uygulamalarda ve bitki biyolojisi çalışmalarında su taşkını stresine karşı bitkilerin toleransını arttırmak için kalsiyum uygulamalarının önemi ifade edilmektedir (Fukao ve ark., 2019; Yang ve ark., 2023)

Kalsiyum ön uygulamalarının, su taşkını stresinin bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini belirli düzeyde iyileştirilebildiği bildirilmiştir (Liu ve ark., 2024). Bu tez kapsamında Ca uygulamalı ve uygulamasız gruplarda yapılan morfolojik olarak ölçülen parametrelerdeki değişim incelendiğinde; kalsiyum ön uygulaması sadece su baskını koşulunda iyileştirme sağlamıştır (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Ancak diğer su taşkını tiplerinde iyileştirme istatistiki olarak anlamlı bulunmamıştır. Yapılan bir çalışmada da kalsiyumun yarı batık su taşkını koşulu altındaki bitkilerin morfolojisinde iyileştirme sağladığı bildirilmiştir (Porto ve ark., 2013). Bu çalışmada da kalsiyumun iyileştirme etkisinin sadece kök bölgesinin su taşkınına maruz kaldığı uygulamada tolerans kazanımında yeterli olurken diğer su taşkını tiplerinin şiddetinin, daha etkili olması nedeni ile fenotipe muhtemelen yansımamıştır. Su taşkını tipinin yanı sıra ön uygulama konsantrasyonu ve maruz kalınan süre tolerans kazanımında önemli faktörlerdir.

Su taşkını koşulları bitkilerinin su içeriğindeki değişimi etkilemekte ancak su taşkını tipleri arasında farklılıklar olmaktadır. Oransal su içeriğindeki değişimine incelendiğinde, kontrole göre yarı batık bu süreçten etkilenmemiş, tam batık stresinde

ise azalma meydana geldiği saptanmıştır. Kalsiyum ön uygulama gruplarında, oransal su içeriğindeki değişim gözlemlenmemesinin sebebi, su taşkını sırasında pH'nın düşmesiyle ortamdaki proton iyon konsantrasyonunun artması buna bağlı olarak aquaporinlerin çalışma mekanizmasının bozulması ve bitkinin ortamdaki suyu alamamasından kaynaklanmış olabilir (Fric ve ark., 2013). Bu süreçte kalsiyumun etkili bir rolü bulunmadığı ve daha çok proton iyon değişimi ile ilişkili olduğu için kalsiyum gruplarında iyileştirme görülmemiş stres grupları ile paralel korelasyon göstermiştir.

Stres altında, bitkiler reaktif oksijen türleri (ROT) üretir ve bu ROT'lar, lipid peroksidasyonunu başlatarak malondialdehit (MDA) gibi yan ürünlerin oluşumuna yol açmaktadır. Kalsiyum ve malondialdehit (MDA), bitkilerin çevresel streslere karşı geliştirdiği savunma mekanizmalarının kritik bileşenleri olarak görev almaktadır. MDA, oksidatif stresin bir göstergesi olarak membran hasarını ve hücrel yanıtı düzenlerken, kalsiyum sinyal iletim ağı ile hücre içi savunma mekanizmalarını aktive ederek bitkilerin hayatta kalmasını sağlar (Davies, 2014; Morales ve Munné-Bosch, 2019). Kalsiyum ön uygulamalı ve uygulamaz yarı batık ve tam batık su taşkını koşullarında MDA miktarının kontrole göre arttırdığı tespit edilmiştir (Şekil 4.12). Bu uygulamalarda membranlarda peroksidasyon sonucu oluşan MDA miktarındaki artışın çok düşük düzeyde ve membran bütünlüğünü ortadan kaldıracak şiddette kronik bir inhibisyona neden olmadığı saptanmıştır. Fotokimyasal ölçümlerden elde edilen veriler de bu sonucu destekler niteliktedir (Şekil 4.9).

Çevresel stres etmenlerinde olduğu gibi su taşkınlarında da bitkilerin fotosentetik aktiviteleri olumsuz etkilenmektedir. Fotosentezdeki bu olumsuz etkilenme klorofil a floresans kinetiğindeki değişimler ile ortaya konulmuştur. Klorofil a floresans yükselişleri (OJIP), JIP testi analizleri ile fotosentetik aparatlardaki enerji kullanımları hakkında ayrıntılı bilgiler elde edilmekte böylece bitkilerde stresin etkileri ortaya konulmaktadır (Oukarroum ve ark., 2007; Kalaji ve ark., 2016). Bu tez kapsamında OJIP eğrisi, soya bitkisinde farklı su taşkını koşullarında tipik kaustky eğrisi elde edilmiştir. OJIP eğrisinin J-I ve I-P fazlarında uygulamalar arasında ayırımın başladığı, bu fazlarda sırası ile plastokinon (PQ) havuzunda redükte PQ birikiminin olduğunu ve bunun nedeninin muhtemelen PSI'nin son elektron alıcı havuzunun indirgenme oranında bir etkilenmeden kaynaklandığı saptanmıştır (şekil 4.6). Ancak I-P fazındaki düşüş sadece bitkinin tamamın su altında kaldığı tam batık su taşkını koşulunda dramatik olmuştur. Bu dramatik düşüş, PSI'nin son elektron akseptörlerine elektron

taşıma etkinliği ile PSI'deki aktif reaksiyon merkezi miktarındaki azalmaya bağlı olarak PSI'deki sınırlanmayı yansıtmaktadır, ki çeşitli araştırmacılar bu etkiyi açıklayarak temellendirmişlerdir (Goltsev ve ark., 2016; Ripoll ve ark., 2016; Kalaji ve ark., 2016; 2018).

Fotosentetik aparatlardaki enerji kullanımları ve akışları JIP testi ile hesaplanmış ve soya bitkisinde PSII'nin reaksiyon merkezi (RC) başına enerji akışları, kalsiyum ön uygulamalı veya uygulamasız su taşkını koşullarından etkilenmiştir (Şekil 4.7): Reaksiyon merkezi başına, soğurulan eksitasyon enerjisi [yani, ortalama anten büyüklüğünü (ABS/RC)], tutulan enerji (TR_0/RC) ve elektron transferi (ET_0/RC) ile fotokimyasal olmayan enerji kaybı (DI_0/RC) su taşkınına bağlı olarak anlamlı düzeyde artmıştır (Şekil 4.7). Ca ön uygulaması ile bu değişimlerin tüm su taşkını koşullarında hafifletildiği belirlenmiştir.

Su taşkını stresi altındaki soya bitkisinin fotosentetik performans ve yapı-fonksiyon indeksleri [(PI (PI_{ABS} ve PI_{TOP}) ve SFI_{ABS}] taşkın şiddetine bağlı olarak önemli düzeyde azalmıştır (Şekil 4.9). Kalsiyum uygulaması ile artan su taşkını şiddeti, PI'leri ve SFI_{ABS} üzerindeki olumsuz etkiyi hafifletilerek, bitkinin strese karşı tolerans kazanımı sağlanabildiği ortaya konulmuştur.

Polifazik klorofil a fluoresansının pipe-line grafik modelinde iki tip gösterimi (ifadesi) vardır: Biri reaksiyon merkezi (RC) başına enerji akışları, diğeri fenomenolojik enerji akışları (ölçüm yapılan yaprak alanı bazında)'dır. Su taşkını stresinin PS II'deki fenomenolojik enerji akışlarında da önemli değişimlere neden olduğu saptanmıştır (Şekil 4.8). Yaprak alanı başına absorplanan (ABS/CS_0), yakalanan (TR_0/CS_0), elektron transportu (ET_0/CS_0) ve ısı şeklinde enerjinin kaybında (DI_0/CS_0) su taşkını koşullarında kontrollerine göre anlamlı bir artış bulunmuştur. Bu artışların nedeni, DI_0/CS_0 hariç, uygulama sonrasında muhtemelen inaktif RC'leri (siyah daireler) miktarının artışından kaynaklanmaktadır (Şekil 4.8).

Su taşkını stresi altındaki bitkilerin fotosentetik aparatlarındaki fotokimyasal performans ve fonksiyonlarındaki azalış, aktif reaksiyon merkezindeki azalma (Q_A redükte etmeyen RC'lerdeki artış) ve enerjinin ısı olarak kaybı ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, su taşkını stresi her iki fotosistemi (PSI ve PSII) de olumsuz etkilediği ve PSII'in PSI'e göre daha fazla etkilendiği belirlenmiştir (örneğin V_K/V_J oranında artış). Soya bitkisinde su taşkını koşullarının etkilenme derecesinin su

baskını<yarı batık su baskını< tam batık su baskını sırasında olduğu saptanmış, ancak en şiddetli su taşkını koşulunda dahi etkilenmenin fotokimyasal süreci tamamen durduracak şiddette olmadığı ve kalsiyum uygulaması ile bu etkilenmenin tam batık su taşkını koşulu hariç hafifletilebildiği belirlenmiştir. Bu bulgular, MDA ve biyokütle sonuçları ile de uyumludur (Şekil 4.4 ve Şekil 4. 12). Ayrıca fotosentetik pigment miktarlarında kontrole göre istatistiksel olarak önemli değişimlerin olmaması da fotosentetik makinenin durumunu korumaya ve fonksiyonunu sürdürmeye çalıştığına işaret edebilir (Çizelge 4.1).

Su taşkını stresine maruz kalan bitkilerde, (ROT)'ların üretiminin arttığı daha önceki çalışmalarda saptanmıştır (Nashat, 2022; Teoh, 2022). Bu artış, oksidatif hasarlara yol açmaktadır. Hidrojen peroksit (H_2O_2), oksidatif stres altında kalsiyum kapılarını açarak iyonların hücre içine girişini sağlar ve bu sayede hücrelerin oksidatif strese karşı oluşturulan yanıtın hızlı ve etkili bir yanıt olmasını destekler (Davies, 2014). Ca^{+2} homeostazı bitkilerde antioksidan savunmaları düzenleyerek H_2O_2 'nin detoksifikasyonunu sağladığını göstermiştir. Ayrıca hücre içi Ca^{+2} artışı, detoksifikasyon enzimlerinin seviyesini arttırdığı, ROT'u nötralize etmeye yardımcı olduğu ortaya konulmuştur (Hossain ve ark., 2015). Tez çalışmasından elde edilen veriler bu görüşü destekler niteliktedir (Şekil 4.13). Ca uygulamalı yarı batık grubunda H_2O_2 miktarının, yarı batık stres grubuna göre azalmasının sebebi Ca iyonunun peroksidaz grubu enzimlerin ifadesini arttırması dolayısıyla olmuş olabilir ki POD aktivitesindeki değişim bu fikri desteklemektedir (Şekil 4.16). Tam batık gruplarında strese bağlı bir artış söz konusu olsa da tam batıklıkta görülen sessizlik stratejisinden dolayı kalsiyumun etkisi diğer su taşkını tiplerine göre açık bir şekilde görülmemiştir (Jia ve ark., 2021). Bunun yanı sıra; bitkiler, stres nedeni ile oluşan ROT'ların uzaklaştırılması ve hücre membranlarının stabilitesinin devamlılığını sağlamak için enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidant savunma sistemini etkin şekilde çalıştırabilirler. Bu tez çalışmasında da bazı enzimatik antioksidantların aktiviteleri incelenmiş ve su taşkını koşulları enzim aktivitelerinde değişimler meydana getirdiği belirlenmiştir (Şekil 4.14-16). Taşkınlar nedeni ile APX ve GR aktiviteleri genel olarak azalırken, POD aktivitesi artmıştır. Bitki ROT'un zararlı etkilerini azaltmak için POD enzim aktivitesini etkin bir şekilde arttırarak detoksifikasyonu diğer enzimlere göre daha başarılı gerçekleştirdiği görülmektedir (Şekil 4.16). Kalsiyum uygulamasının su taşkını tipleri altında; su baskını grubu hafif seyreden bir stres olduğu için POD

miktarında anlamlı bir değişim görünmemektedir. Yarı batık ve tam batık gruplarında farklı dayanım mekanizmaları çalıştığı için farklı fizyolojik yanıtlar görölmektedir. Yarı batık grubu kaçış stratejisini benimsediği için kalsiyumun POD ifadesini artırmadaki sinyal yolağı dışında, farklı adaptasyon yolaklarını aktive eden sinyalleri oluşturmuş olabilir. Tam batık grubu ise sessizlik stratejisi göstererek metabolik aktivasyonunu minimize edip sadece hayatta kalma için gerekli olan yanıtları oluşturan sinyalleri ifade etmeye yönelmiştir. Bu bağlamda, kalsiyuma bağlı olarak POD enziminin artışı, bu grubun ROT'ları detoksifiye etmek için ortaya çıkan yanıtların bir sonucu olarak artmış olabilir.

Aynı zamanda, su taşkını stresine maruz kalan bitkilerde, artan H₂O₂ seviyeleri bir sinyal molekülü ve/veya serbest radikal olarak POD aktivitesini tetiklemiş ve tolerans kazanımına katkıda bulunmuş olabilir. Bu durum, bitkilerin oksidatif hasardan korunmasını sağlamakta ve stres koşullarına adaptasyonunu desteklemektedir (erný ark., 2018).

Tez sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde;

Farklı tiplerdeki su taşkını koşullarına maruz kalan soya bitkisinde Ca ön uygulamasının strese tolerans kazanımındaki rolü anlaşılmaya çalışılmıştır. Üç farklı su taşkını koşulu (su baskını, yarı batık ve tam batık su taşkını) birlikte ve Ca ön uygulaması ile tolerans kazanımı ilk kez bu tez çalışmasında araştırılmıştır.

- Ca ön uygulamasının tolerans kazanımındaki rolü su taşkını tipine göre değişiklik sergilemiştir. Ancak, yarı batık su taşkınında kazanımda daha etkin rol aldığı ileri sürülebilir.
- Su taşkını stresi soya bitkisinin membran bütünlüğünde, dolayısı ile fotosentetik performansında değişimler sergilemesine yol açmıştır. Ca ön uygulaması taşkın tipine bağlı olmakla birlikte etkilenmeyi hafifletmiştir. Ayrıca, fotosentetik süreç farklı şiddetteki stres koşulları ile tamamen durdurulamamıştır.
- Su taşkını koşulları soya bitkisinin dokularında ROT'ların birikimini teşvik etmiş ve bitki, detoksifikasyonu yapabilmek için özellikle POD enzim aktivitesini arttırarak savunma sistemini efektif çalıştırmıştır.
- Soya bitkisi genel olarak su baskını ve yarı batık su taşkını koşullarında **“kaçış”** yanıtı olarak tanımlanan bir büyüme durumu sergilerken; tam batık su

taşkıını koşulunda “**sessizlik-pasiflik**” diye tanımlanan, metabolik süreçlerini yavaşlattığı ve dolayısı ile büyümesini en aza indirdiği bir yanıt oluşturmaktadır. Ca ön uygulaması bu yanıtların işleyişinde sinyal ağıında rol oynuyor olabilir.

Öneriler;

- Ca ön uygulamasının etkisini daha net gözlemleyebilmek için uygulama konsantrasyonun ve süresinin artırılması ile yeniden normal koşullara uyumun incelenmesi (recovery) yerinde olacaktır.
- Ca sinyal iletim yollarının ayrıntılı bir şekilde incelenmesi ile su taşkıınına tolerans kazanım mekanizmasının ortaya konulması mümkün olabilir.
- Ca ön uygulaması optimize edilerek (uygulama dozu, şekli, süre vs) su taşkıını nedeniyle yaşanan tarımsal verim ve biyoçeşitlilik kaybı azaltılabilir.

KAYNAKÇA

Al-Harbi, A.R., Growth and nutrient composition of tomato and cucumber seedlings as affected by sodium chloride salinity and supplemental calcium, *Journal of Plant Nutrition*, 18(7), 1403-1416, **1995**.

Ali, I., Abbasi, N. A. and Hafiz, I.A., Physiological response and quality attributes of peach fruit cv. Florida king as affected by different treatments of calcium chloride, putrescine and salicylic acid. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 51(1), 33-39, **2014**.

Ali, Q., Daud, M.K., Haider, M.Z., Ali, S., Rizwan, M., Aslam, N. and Zhu, S.J., Seed priming by sodium nitroprusside improves salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters, *Plant Physiology and Biochemistry*, 119, 50-58, **2017**.

Andjelkovic, V. (Ed.), *Plant, Abiotic Stress and Responses to Climate Change*, BoD–Books on Demand, **2018**.

Avcı, P., Bayarı, C.S. and Özyurt, N.N., Assessing the effect of climate change on groundwater use in Demre coastal aquifer (Antalya, Turkey), coupled use of climate scenarios and numerical flow modeling. *Environmental Earth Sciences*, 80(6), 1-18, **2021**.

Bagale S., Nutrient management for soybean crops. *International Journal of Agronomy*, 1-10, **2021**.

Bailey-Serres, J. and Voesenek, L. A. C. J., Flooding stress: acclimations and genetic diversity. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 313-339, **2008**.

Bailey-Serres, J., Fukao, T., Gibbs, D.J., Holdsworth, M.J., Lee, S.C., Licausi, F. and van Dongen, J.T., Making sense of low oxygen sensing, *Trends in Plant Science*, 17(3), 129-138, **2012**.

Bayar, R. and Yılmaz, M., Türkiye’de soya fasulyesi ve önemi. *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 2(1), 1-12, **2005**.

Beyer Jr, W.F. and Fridovich, I., Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in conditions, *Analytical Biochemistry*, 161(2), 559-566, **1987**.

Bradford, M.M., A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding, *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254, **1976**.

Chung, H.J. and Ferl, R.J., Arabidopsis alcohol dehydrogenase expression in both shoots and roots is conditioned by root growth environment, *Plant Physiology*, 121, 429–436, **1999**.

Costa, L.M.S., Vilasboa, J., Fett-Neto, A.G., Rodrigues, N.F., Bered, F. and Margis, R., Responses to submergence and recovery in seedlings of the rheophyte *Dyckia brevifolia* (Bromeliaceae). *Environmental and Experimental Botany*, 201, 104984, **2022**.

Cutler, S.R., Rodriguez, P.L., Finkelstein, R.R. and Abrams, S.R., Abscisic acid: emergence of a core signaling network. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 651-679, **2010**.

Dat, J.F., Capelli, N., Folzer, H., Bourgeade, P. and Badot, P.M., Sensing and signalling during plant flooding. *Plant Physiology and Biochemistry*, 42(4), 273-282, **2004**.

Davies, J.M., Annexin-mediated calcium signaling in plants. *Plants*, 3(1), 128-140, **2014**.

Duarte, C.I., Martinazzo, E.G., Bacarin, M.A. and Colares, I.G., Seed germination, growth and chlorophyll a fluorescence in young plants of *Allophylus edulis* in different periods of flooding. *Acta physiologiae plantarum*, 42, 1-11, **2020**.

Ejiri, M., Fukao, T., Miyashita, T. and Shiono, K., A barrier to radial oxygen loss helps the root system cope with waterlogging-induced hypoxia. *Breeding Science*, 71(1), 40-50, **2021**.

Esterbauer, H. and Cheeseman, K.H., Determination of aldehydic lipid peroxidation products: malonaldehyde and 4-hydroxynonenal, In *Methods in enzymology* (Vol. 186, pp. 407-421), Academic Press, **1990**.

Fang, C. and Kong, F., Soybean. *Current Biology*, 32(17), R902-R904, **2022**.

FAO- Soybean prices, economic growth and poverty in Argentina and Brazil Background paper to the UNCTAD-FAO Commodities and Development Report Commodity Markets, Economic Growth and Development, **2017**.

Francini, A., and Sebastiani, L., Abiotic stress effects on performance of horticultural crops, *Horticulturae*, 5(4), 67, **2019**.

Fukao, T., Barrera-Figueroa, B.E., Juntawong, P. and Peña-Castro, J.M., Submergence and waterlogging stress in plants: a review highlighting research opportunities and understudied aspects, *Frontiers in Plant Science*, 10, 340, **2019**.

Garcia, N., da-Silva, C.J., Cocco, K.L.T., Pomagualli, D., de Oliveira, F.K., da Silva, J.V.L. and do Amarante, L., Waterlogging tolerance of five soybean genotypes through different physiological and biochemical mechanisms, *Environmental and Experimental Botany*, 172, 103975, **2020**.

Giraudó, M.E., The political economy of commodity regions: the case of soybean in South America. In FLACSO-ISA Joint International Conference, Buenos Aires, Argentina, **2014**.

Halliwell, B., Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life, *Plant Physiology*, 141(2), 312-322, **2006**.

Hattori, Y., Nagai, K. and Ashikari, M., Rice growth adapting to deepwater. *Current Opinion in Plant Biology*, 14(1), 100-105, **2011**.

Hedden, P. and Thomas, S.G., Gibberellin biosynthesis and its regulation. *Biochemical Journal*, 444(1), 11-25, **2012**.

Heydarian, Z., Sasidharan, R., Cox, M.C., Pierik, R., Voesenek, L.A. and Peeters, A. J., A kinetic analysis of hyponastic growth and petiole elongation upon ethylene exposure in *Rumex palustris*. *Annals of Botany*, 106(3), 429-435, 20109, **2010**.

Hossain, M.A., Bhattacharjee, S., Armin, S.M., Qian, P., Xin, W., Li, H. Y. and Tran, L.S.P., Hydrogen peroxide priming modulates abiotic oxidative stress tolerance: insights from ROS detoxification and scavenging. *Frontiers in plant science*, 6, 141857, **2015**.

Jackson, M. B. and Ricard, B., Physiology, biochemistry and molecular biology of plant root systems subjected to flooding of the soil. *Root ecology*, 193-213, **2003**.

Jia, W., Ma, M., Chen, J. and Wu, S., Plant morphological, physiological and anatomical adaptation to flooding stress and the underlying molecular mechanisms, *International Journal of Molecular Sciences*, 22(3), 1088, **2021**.

Komatsu, S., Thibaut, D., Hiraga, S., Kato, M., Chiba, M., Hashiguchi, A. and Yasue, H., Characterization of a novel flooding stress-responsive alcohol dehydrogenase expressed in soybean roots, *Plant Molecular Biology*, 77(3), 309-322, **2011**.

Kudla, J., Batistič, O. and Hashimoto, K., Calcium signals: the lead currency of plant information processing. *The Plant Cell*, 22(3), 541-563, **2010**.

Kudo, T. and Makita, N., Cytokinin and auxin biosynthesis and their roles in plant development and environmental response, *Plant and Cell Physiology*, 59(7), 2018.

Kulp, S.A. and Strauss, B.H., New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nature communications*, 10(1), 1-12., **2019**.

Kumar, A., Nayak, A.K., Hanjagi, P.S., Kumari, K., Vijayakumar, S., Mohanty, S. and Panneerselvam, P., Submergence stress in rice: adaptive mechanisms, coping strategies and future research needs, *Environmental and Experimental Botany*, 186, 104448, **2021**.

Latifinia, E. and Eisvand, H.R., Soybean physiological properties and grain quality responses to nutrients, and predicting nutrient deficiency using chlorophyll fluorescence. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2), 1942-1954, **2022**.

Lichtenthaler, H.K., Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes, *Methods in Enzymology*, 148, 350-382, **1987**.

Maleki, A., Naderi, A., Naseri, R., Fathi, A., Bahamin, S. and Maleki, R., Physiological performance of soybean cultivars under drought stress. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 2(6), 38-44, **2013**.

Maloof, J.N., Nozue, K., Mumbach, M.R. and Palmer, C.M., LeafJ: an ImageJ plugin for semi-automated leaf shape measurement, *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, (71), e50028, **2013**.

Manik, S. N., Pengilley, G., Dean, G., Field, B., Shabala, S. and Zhou, M., Soil and crop management practices to minimize the impact of waterlogging on crop productivity. *Frontiers in plant science*, 10, 140 **2019**.

Marschner, P., Rhizosphere biology. In Marschner's mineral nutrition of higher plants (pp. 369-388), Academic Press, **2012**.

Mirecki, R.M. and Teramura, A.H., Effects of ultraviolet-B irradiance on soybean: V. The dependence of plant sensitivity on the photosynthetic photon flux density during and after leaf expansion, *Plant Physiology*, 74(3), 475-480, **1984**.

Mohanta, T.K., Bashir, T., Hashem, A., Abd_Allah, E.F., Khan, A.L. and Al-Harrasi, A.S., Early events in plant abiotic stress signaling: interplay between calcium, reactive oxygen species and phytohormones, *Journal of Plant Growth Regulation*, 37(4), 1033-1049, **2018**.

Moustafa, M., Amer, M. and Hassan, M.U., Plant adaptation to flooding stress under changing climate conditions: Ongoing breakthroughs and future challenges. *Plants*, 12(22), 3824 **2023**.

Muhlenbock, P., Plaszczyca, M., Plaszczyca, M., Mellerowicz, E. and Karpinski, S., Lysigenous aerenchyma formation in Arabidopsis is controlled by Lesion Simulating Disease 1. *The Plant Cell*, 19(11), 3819-3830, **2007**.

Nashat, O.K., Soya (*Glycine max* L.) genotipleri su taşkınının indüklediği morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişimler, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, **2022**.

Nazlıcan, A.N., Soya Yetiştiriciliği Çukurova Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Adana. (https://arastirma.tarim.gov.tr/cukurovataem/Belgeler/Yetistiricilik/soya-yetistiriciligi_1.pdf) (Erişim tarihi : 20.04.2024), **2006**.

Oh, M. and Komatsu, S., Characterization of proteins in soybean roots under flooding and drought stresses, *Journal of Proteomics*, 114, 161-181, **2015**.

Oh, M., Nanjo, Y. and Komatsu, S., Gel-free proteomic analysis of soybean root proteins affected by calcium under flooding stress, *Frontiers in Plant Science*, 5, 559, **2014**.

Oladosu, Y., Rafii, M.Y., Arolu, F., Chukwu, S.C., Muhammad, I., Kareem, I. and Arolu, I.W., Submergence tolerance in rice: Review of mechanism, breeding and, future prospects, *Sustainability*, 12(4), 1632, **2020**.

Ou, L.J., Liu, Z.B., Zhang, Y.P. and Zou, X.X., Effects of exogenous Ca²⁺ on photosynthetic characteristics and fruit quality of pepper under waterlogging stress. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 77(2), 126-133, **2017**.

Pirayesh, N., Giridhar, M., Khedher, A. B., Vothknecht, U. C. and Chigri, F., Organellar calcium signaling in plants: An update. *biochimica et biophysica Acta (bbA)-molecular Cell Research*, 1868(4), 118948, **2021**.

Porto, B.N., Alves, J.D., Magalhães, P.C., Castro, E.M., Campos, N.A., Souza, K.R.D. and Santos, M.O., Calcium-dependent tolerant response of cell wall in maize mesocotyl under flooding stress, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(2), 134-143, **2013**.

Purcell, L.C., Montserrat, S. and Ashlock, L., Soybean growth and development. *Arkansas Soybean Production Handbook*, Chapter 2, **2014**.

Pütter, J., Peroxidases, in: Bergmeyer HU (Ed.). *Methods of Enzymatic Analysis*, Vol. II, Academic Press, New York, pp 685-690, **1974**.

Rauf, M., Arif, M., Fisahn, J., Xue, G. P., Balazadeh, S. and Mueller-Roeber, B., NAC transcription factor speedy hyponastic growth regulates flooding-induced leaf movement in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, 25(12), 4941-4955, **2013**.

Rees, J., Specht, J., Elmore, R., Nygren, A., and Mueller, N., Considerations after crusted soybean. *University of Nebraska-Lincoln*, **2019**.

Riveras, E., Alvarez, J.M., Vidal, E.A., Oses, C., Vega, A. and Gutiérrez, R.A., The calcium ion is a second messenger in the nitrate signaling pathway of *Arabidopsis*, *Plant Physiology*, 169(2), 1397-1404, **2015**.

S.B. Gray, S.M. Brady, Plant developmental responses to climate change. *Dev. Biol.*, 419 (1) , pp. 64-77, **2016**.

Sairam, R.K., Dharmar, K., Chinnusamy, V. and Meena, R.C., Waterlogging-induced increase in sugar mobilization, fermentation, and related gene expression in the roots of mung bean (*Vigna radiata*), *Journal of Plant Physiology*, 166(6), 602-616, **2009**.

Sasidharan, R., Hartman, S., Liu, Z., Martopawiro, S., Sajeev, N., van Veen, H. and Voesenek, L.A., Signal dynamics and interactions during flooding stress. *Plant physiology*, 176(2), 1106-1117, **2018**.

Schönherr, J. ,Calcium chloride penetrates plant cuticles via aqueous pores. *Planta*, 212, 112-118, **2000**.

Sgherri, C.L.M., Loggini, B., Puliga, S. and Navari-Izzo, F., Antioxidant system in *Sporobolus stapfianus*: changes in response to desiccation and rehydration, *Phytochemistry*, 35(3), 561-565, **1994**.

Shabbir, R., Javed, T., Hussain, S., Ahmar, S., Naz, M., Zafar, H. and Pinghua, C.,Calcium homeostasis and potential roles in combatting environmental stresses in plants. *South African Journal of Botany*, 148, 683-693, **2022**.

Shimamura, S., Yamamoto, R., Nakamura, T., Shimada, S. and Komatsu, S., Stem hypertrophic lenticels and secondary aerenchyma enable oxygen transport to roots of soybean in flooded soil, *Annals of Botany*, 106(2), 277-284, **2010**.

Sperdoui, I.; Mellidou, I.; Moustakas, M. Harnessing chlorophyll fluorescence for phenotyping analysis of wild and cultivated tomato for high photochemical efficiency under water deficit for climate change resilience. *Climate* 9, 154, **2021**.

Strasser, R.J., Srivastava, A. and Tsimilli-Michael, M., The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples, in: Yunus M. Pathre U. and Mohanty P. (Eds.). *Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation*. Taylor and Francis, London, pp. 443-480, **2000**.

Striker, G. G.,Flooding stress on plants: anatomical, morphological and physiological responses. *Botany*, 1(1), 3-28, **2012**.

Taiz, L., Plant cell expansion: regulation of cell wall mechanical properties. *Annual review of plant physiology*, 35(1), 585-657, **1984**.

Teoh, E.Y.; Teo, C.H.; Baharum, N.A.; Pua, T.-L.; Tan, B.C. Waterlogging Stress Induces Antioxidant Defense Responses, Aerenchyma Formation and Alters Metabolisms of Banana Plants. *Plants*, **2022**.

Tóth, S.Z., Schansker, G., Kissimon, J., Kovács, L. and Strasser, R.J., Biophysical studies of photosystem II-related recovery processes after a heat pulse in barley seedlings (*Hordeum vulgare* L.), *Journal of Plant Physiology*, 162(2), 181-194, **2005**.

Turzi, M., The soybean republic. *Yale J. Int'l Aff.*, 6, 59, **2011**.

Türkmen, O., Sensoy, S., Erdal, I. ve Kabay, T., Kalsiyum uygulamalarının tuzlu fide yetiştirme ortamlarında domateste çıkış ve fide gelişimi üzerine etkiler, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 12, 53-57, **2002**.

Türkmen, Ö., Dursun, A., Turan, M. and Erdinç, Ç., Calcium and humic acid affect seed germination, growth, and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings under saline soil conditions, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science*, 54(3), 168-174, **2004**.

Valliyodan, B. and Nguyen, H. T. , Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. *Current opinion in plant biology*, 9(2), 189-195, **2006**.

Voesenek, L. A., & Bailey-Serres, J., Flood adaptive traits and processes: an overview. *New Phytologist*, 206(1), 57-73, **2015**.

Voesenek, L.A.C.J., Benschop, J.J., Bou, J., Cox, M.C.H., Groeneveld, H.W., Millenaar, F.F. and Peeters, A.J.M., Interactions between plant hormones regulate submergence-induced shoot elongation in the flooding-tolerant dicot *Rumex palustris*, *Annals of Botany*, 91(2), 205-211, **2003**.

Wang, S.Y., Jiao, H. and Faust, M., Changes in ascorbate, glutathione and related enzyme activities during thiodiazuron-induced bud break of apple, *Plant Physiology*, 82, 231-236, **1991**.

Wang, X. and Komatsu, S. ,Proteomic analysis of calcium effects on soybean root tip under flooding and drought stresses. *Plant and Cell Physiology*, 58(8), 1405-1420, **2017**.

Wang, X. and Komatsu, S., The role of phytohormones in plant response to flooding. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(12), 6383, **2022**.

Wang, X. and Komatsu, S.,Proteomic techniques for the development of flood-tolerant soybean. *International journal of molecular sciences*, 21(20), 7497, **2020**.

Wang, X., Hu, H., Li, F., Yang, B.,Komatsu, S. and Zhou, S.,Quantitative proteomics reveals dual effects of calcium on radicle protrusion in soybean. *Journal of proteomics*, 230, 103999, **2021**.

Wang, X., Sakata, K. and Komatsu, S., An integrated approach of proteomics and computational genetic modification effectiveness analysis to uncover the mechanisms

of flood tolerance in soybeans, *International Journal of Molecular Sciences*, 19(5), 1301, **2018**.

Weng, X., Li, H., Ren, C., Zhou, Y., Zhu, W., Zhang, S. and Liu, L., Calcium regulates growth and nutrient absorption in poplar seedlings. *Frontiers in plant science*, 13, 887098, **2022**.

White, P. J. and Broadley, M. R., Calcium in plants. *Annals of botany*, 92(4), 487-511, **2003**.

Yang, L., Li, N., Liu, Y., Miao, P., Liu, J., and Wang, Z., Updates and Prospects: Morphological, Physiological, and Molecular Regulation in Crop Response to Waterlogging Stress. *Agronomy*, 13(10), 2599 **2023**.

Zandalinas S.I., Casal J., Rouached H. and Mittler R., Stress combination: from genes to ecosystems. *Plant J.* 2024 Mar;117(6):1639-1641. doi: 10.1111/tpj.16681. PMID: 38488207, **2024**.

Zhang, Q., Visser, E.J., de Kroon, H. and Huber, H., Life cycle stage and water depth affect flooding-induced adventitious root formation in the terrestrial species *Solanum dulcamara*. *Annals of Botany*, 116(2), 279-290, **2015**.