



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**KALSİYUM KARBONAT (CaCO₃) VE BOR (B)'A
MARUZ BIRAKILMIŞ *LYCOPERSICON
ESCULENTUM* CV. SC2121 (DOMATES)
ÇEŞİDİNİN C₃ VE C₄ FOTOSENTETİK
AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Oğuz AY

Biyoloji Anabilim Dalı

İzmir
2021

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**KALSİYUM KARBONAT (CaCO₃) VE BOR(B)'A
MARUZ BIRAKILMIŞ *LYCOPERSICON
ESCULENTUM* CV. SC2121 (DOMATES)
ÇEŞİDİNİN C₃ VE C₄ FOTOSENTETİK
AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ**

Oğuz AY

Danışman: Prof. Dr. Hatice DEMİRAY

Biyoloji Anabilim Dalı
Botanik Yüksek Lisans programı

İzmir
2021

Oğuz AY tarafından YÜKSEK LİSANS tezi olarak sunulan “KALSİYUM KARBONAT (CaCO₃) VE BOR(B)'A MARUZ BIRAKILMIŞ *LYCOPERSICON ESCULENTUM* CV. SC2121 (DOMATES) ÇEŞİDİNİN C₃ VE C₄ FOTOSENTETİK AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 08.01.2021 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri :

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Hatice DEMİRAY

.....

Raportör Üye : Doç. Dr. Aylin EŞİZ DEREBOYLU

.....

Üye : Prof. Dr. Levent ŞIK

.....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi / Doktora Tezi olarak sunduğum “KALSİYUM KARBONAT (CaCO_3) VE BOR(B)'A MARUZ BIRAKILMIŞ *LYCOPERSICON ESCULENTUM* CV. SC2121 (DOMATES) ÇEŞİDİNİN C_3 VE C_4 FOTOSENTETİK AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

08 / 01 / 2021

Oğuz AY

ÖZET

**KALSİYUM KARBONAT (CaCO₃) VE BOR(B)'A
MARUZ BIRAKILMIŞ *LYCOPERSICON ESCULENTUM*
CV. SC2121 (DOMATES) ÇEŞİDİNİN C₃ VE C₄
FOTOSENTETİK AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ**

AY, Oğuz

Yüzsek Lisans Tezi, Biyoloji Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hatice DEMİRAY

Ocak 2021, 88 sayfa

Sıcaklık ve diğer çevresel değişiklikler, bitki büyümesi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. İnsanlar bitkilere doğrudan veya dolaylı şekilde çok önemli bir besin kaynağı olarak güvendikleri için, yeni çevre düzenine ne kadar uyum sağlayabileceklerini bilmek çok önemlidir. Bu yüzden bitkilerin fotosentez mekanizmalarının önemi vurgulanmalıdır. C₄ bitkilerinin sıcaklık ve tuzluluk streslerine dayanıklılığı bilindiği için, gıda olarak kullandığımız C₃ bitkilerinin C₄ yolağına dönüştürülmesi çalışmaları yapılmaktadır. Bizim çalışmamızda bir C₃ bitkisi olan *Lycopersicon esculentum* cv. sc2121 çeşidine Hoagland solüsyonunda, borsuz, 3 katı Bor, 3 kat CaCO₃ ve 3 kat bor + 3 kat CaCO₃ birlikte olacak şekilde deney grupları oluşturuldu. Bu tez çalışmasında C₄ bitkilerinin belirteci olan Pep Karboksilaz enzimindeki artışları ve bitki büyüme parametlerinde olumlu artışlar Bor ile birlikte CaCO₃'ün birlikte verildiği deneme grubunda saptamış bulunmaktayız. Yaprak orta damarlarından alınan kesitlerde kranz anatomisi olduğu gözlenmiştir. Çalışmamızda uyguladığımız 3 katı bor ve 3 katı CaCO₃ birlikte uygulandığı Hoagland solüsyonu ile yetiştirilmiş fidelerde C₄ bitkisine dönüşüm olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler : *Lycopersicon esculentum*, C₃ den C₄ e dönüşüm, Pep Karboksilaz, Kranz anatomi

ABSTRACT

**DETERMINATION OF C₃ AND C₄ PHOTOSYNTHETIC
ACTIVITIES OF *LYCOPERSICON ESCULENTUM* CV.
SC2121 (TOMATOES) VARIETIES EXPOSED TO
CALCIUM CARBONATE (CaCO₃) AND BORON (B)**

AY, Oğuz

MSc in Biology,

Supervisor: Prof. Dr. Hatice DEMİRAY

January 2021, 88 pages

Temperature and other environmental changes have a direct impact on plant growth. Because people rely directly or indirectly on plants as a vital food source, it is essential to know how well they can adapt to the new landscape. Therefore, the importance of plants' photosynthesis mechanisms should be emphasized. Since the resistance of C₄ plants to temperature and salinity stresses is known, studies are carried out to transform the C₃ plants we use as food into the C₄ pathway. In our study, experimental groups were formed for *Lycopersicon esculentum* cv sc2121, a C₃ plant, in Hoagland solution with 3 times Boron, 3 times Boron, 3 times Boron and 3 times boron + 3 times CaCO₃. In this thesis study, we have determined increases in Pep Carboxylase enzyme, which is a marker of C₄ plants, and positive increases in plant growth parameters in the experimental group in which CaCO₃ was given together with Boron. It has been observed that there is a Kranz anatomy in the sections taken from the leaf middle veins. In our study, it was observed that the seedlings grown with the Hoagland solution, in which 3 times boron and 3 times CaCO₃ were applied together, were transformed into C₄ plants.

Keywords: *Lycopersicon esculentum*, C₃ to C₄ conversion, Pep Carboxylase, Kranz anatomy

ÖNSÖZ

Günümüzde meydana gelen küresel iklim değışiklikleri nedeniyle besin kıtlığının oluşabileceği ve artan nüfusa yetemeyeceği düşünölmektedir. Bu nedenle kuraklığa ve aşırı strese dayanıklı bitkilerin yetiştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Aşırı stres koşullarına tolerans gösteren bitki grubunun C₄ bitkileri olduğu bilindiği için özellikle tahıl gereksinimizi karşılayan buğday, arpa, pirinç vs gibi C₃ bitkilerinin C₄'e dönüşüm çalışmalarının revaçta olması bizi bu konuda çalışmaya yöneltmiştir. Biz de yurtiçi tüketimde oldukça önemli olan C₃ bitkisi domates fidesinde C₄'e, bazı mikro (B) ve makro elementlerle (CaCO₃) nasıl dönüştürebileceğinin deneysel verilerle, bitkinin büyüme parametlerini ve C₄ enzimi olan PEP karboksilazın ölçüm değerlerini ve bitki anatomisinde indikatör olan kranz anatomi yapısını inceleyerek bu konuya bir katkı getirmeyi amaçladık.

Tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Hatice DEMİRAY'a teşekkür ve minnetimi özellikle belirtmek isterim.

İZMİR

24.11.2020

Oğuz AY

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1 GİRİŞ	1
1.1 Fotosentez Üzerindeki Çevresel Etki	1
1.2 C ₃ Fotosentezi	2
1.3 C ₄ Fotosentezi	3
1.4 Kranz Anatomisi	5
1.5 CAM BİTKİLERİ	7
1.6 Evrim ve Mühendislik ile Yapabileceklerimiz	7
1.7 C ₃ -C ₄ adaptasyonu	8
1.8 Bor Elementinin Bitkiler Üzerindeki Etkisi	11
1.9 Domatesin Önemi, Üretimi ve Ülkemizdeki Yeri	18
2 MATERYAL ve METHOD	23
2.1 Bitki Temini	23
2.2 Çimlenme Yüzdesi Hesaplanması	23
2.3 Bitkilerin Büyüme Parametreleri	23
2.4 Hoagland Solüsyonu Hazırlanması	23
2.5 Kök Gövde Boylarının ve Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Ölçülmesi	25
2.6 Hormon Analizleri	26
2.7 PEP Karboksilaz Analizleri	26
2.8 Anatomik kesitlerin alınması	26
3 BULGULAR	27
3.1 Enzim sonuçları	27
3.1.1 Enzim Microplate Ölçümleri	27
3.2 Hormon Sonuçları	28
3.3 Hormon Ölçümleri	29
3.4 Bitkilerin Büyüme Parametreleri	31
3.4.1 10. Gündeki fidelerin çimlenme yüzdeleri:	39
3.5 Anatomik Kesitler	39
3.6 Bitkilerin Meyve Bağlama Kapasiteleri	41
4 TARTIŞMA	42

KAYNAKLAR DİZİNİ.....	65
TEŞEKKÜR	87
ÖZGEÇMİŞ	88



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa No
3.1. Farklı ortamlarda yetiştirilen ve 10.Gün hasat edilen bitkilerin 10. ve 120. Sn de mikroplate PEP karboksilaz enzim içerikleri.	28
3.2. Farklı ortamlarda yetiştirilen ve 21.Gün hasat edilen bitkilerin 10. ve 120. Sn de mikroplate PEP karboksilaz enzim içerikleri.....	28
3.3 Farklı uygulamalar yapılmış ortamlarda yetişen <i>Lycopersicon esculantum</i> bitkisindeki ABA ve IAA içeriği	30
3.4 Farklı hoagland kombinasyonlarıyla sulanmış <i>Lycopersicon esculantum</i> sp bitkilerin IAA içeriği.....	30
3.5 Farklı hoagland kombinasyonlarıyla sulanmış <i>Lycopersicon esculantum</i> sp bitkilerin ABA içeriği.....	31
3.6 Domatesin farklı besin ortamlarındaki kök ve gövde boyları grafiği.....	37
3.7 Domates kök ve gövde kuru ağırlıkları grafik.....	38
3.8 Domates kök ve gövde yaş ağırlıkları grafik.....	38
3.9 Domates çimlenme yüzdesi.....	39
3.10 Domates anatomik kesitte demet kını hücreleri.....	40
3.11 Domates anatomik kesitte demet kını hücreleri.....	40
3.12 Toprak koşullarına aktarılan domates fideleri.....	41

TABLULAR DİZİNİ

2.1 Hoagland besin çözeltisinin formülü.....	24
2.2 Besin çözeltisindeki makro ve mikro bitki besinlerinin iyonik formları ve normal konsantrasyon oranları	25
3.1 Hormon ölçümlerinin istatistiki sonuçları.....	29
3.2. Grup 1 domates bitkisinin farklı yetiştirme gruplarındaki domates fidelerinin kök ve gövde boyları, kuru ve yaş ağırlıkları	31
3.3 Grup 2 domates bitkisinin farklı yetiştirme gruplarındaki domates fidelerinin kök ve gövde boyları, kuru ve yaş ağırlıkları.....	33
3.4 Grup 3 domates bitkisinin farklı yetiştirme gruplarındaki domates fidelerinin kök ve gövde boyları, kuru ve yaş ağırlıkları.....	34
3.5 Grup 4 domates bitkisinin farklı yetiştirme gruplarındaki domates fidelerinin kök ve gövde boyları, kuru ve yaş ağırlıkları.....	34
3.6 Grup 5 domates bitkisinin farklı yetiştirme gruplarındaki domates fidelerinin kök ve gövde boyları, kuru ve yaş ağırlıkları.....	35
3.7 Kök, gövde boyu, kuru ve yaş ağırlıkları istatistiki sonuçları.....	36

1 GİRİŞ

Bitkiler, dünyanın çeşitli bölgelerinde yaşamları boyunca, yüksek tuzluluğa maruz kalma, toprakta ve atmosferde suyun kısıtlı olması gibi çeşitli yaşamsal streslerle karşı karşıya kalırlar. Küresel iklim değişikliği, günlük, mevsimsel ve yıllık ortalama sıcaklıklarda artışlara ve anormal derecede düşük ve yüksek sıcaklıkların yoğunluğunda, sıklığında ve süresinde artışlara neden olur. Sıcaklık ve diğer çevresel değişiklikler, bitki büyümesi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir ve bitki dağılımında ana belirleyici faktörlerdir. Birleşmiş Milletler Nüfus Projeksiyonu incelendiğinde büyüyen dünya nüfusu, 2020'de 8.3 milyara, 2030 yılında 9.4 milyara, 2040 yılında 10.3 milyara ve 2050 yılında ise 12 milyara ulaşacaktır. Artan nüfusu desteklemek için üretilen besin miktarının da artırılması gerekmektedir.

İnsanlar bitkilere doğrudan veya dolaylı şekilde çok önemli bir besin kaynağı olarak güvendikleri için, yeni çevre düzenine ne kadar iyi dayanabileceklerini ve / veya uyum sağlayabileceklerini bilmek çok önemlidir. Bu nedenle, kuraklık ile tuzluluk streslerine karşı bitkilerin verdiği fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler tepkilerin anlaşılması ve stres koşullarında kültür bitkilerinin performanslarının kararlı hale getirilmesi, gelecekte besin güvenliğinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

1.1 Fotosentez Üzerindeki Çevresel Etki

Tüm bitkiler atmosferik karbondioksiti alır ve fotosentez süreciyle onu şeker ve nişastaya dönüştürür, ancak bunu farklı şekillerde yaparlar. Her bitki sınıfı tarafından kullanılan özel fotosentez yöntemi (veya yolu), Calvin Döngüsü adı verilen bir dizi kimyasal reaksiyonun bir varyasyonudur. Bu reaksiyonlar, bir bitkinin oluşturduğu karbon moleküllerinin sayısını ve türünü, bu moleküllerin depolandığı yerleri ve en önemlisi iklim değişikliğinin incelenmesi için bir bitkinin düşük karbonlu atmosferlere, daha yüksek sıcaklıklara ve azaltılmış su ve nitrojene dayanma kabiliyetini etkiler.

Botanikçiler tarafından C₃, C₄ ve CAM olarak adlandırılan bu fotosentez süreçleri, küresel iklim değişikliği çalışmalarıyla doğrudan ilgilidir çünkü C₃ ve C₄ bitkileri, atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonundaki değişikliklere, sıcaklık ve su mevcudiyetindeki değişikliklere farklı şekilde yanıt verir. İnsanlar şu anda daha sıcak, daha kuru ve daha düzensiz koşullarda gelişmeyen bitki türlerine bağımlıdır. Gezegen ısınmaya devam ederken, araştırmacılar bitkilerin değişen ortama adapte edilebileceği yolları keşfetmeye başladılar. Fotosentez süreçlerini değiştirmek, bunu yapmanın bir yolu olabilir.

Bitkilerin abiyotik streslere karşı verdiği fizyolojik, moleküler ve biyokimyasal tepkilerin anlaşılması yaşamsal faaliyetlerin sürdürülebilirliği ve doğrudan besin olarak kullanılan kültür bitkilerinin performanslarının kararlı hale getirilmesi, gelecekteki besin riskini ortadan kaldırmak adına çok önemlidir. Bitkilerin yaşamsal faaliyetleri fotosentez yapabilme yeteneğine doğrudan bağlıdır. Fotosentez için 3 farklı karboksilasyon yolu belirlenmiş olup bu kapsamda bitkileri C₃, C₄ ve CAM olmak üzere 3 gruba ayırırız. C₄ tip fotosentez yolunun içerdiği anatomik ve fizyolojik farklılıklar sayesinde, bu bitkilerin biyotik ve abiyotik streslere karşı daha dayanıklı olduğu bilinmektedir.

1.2 C₃ Fotosentezi

İnsan gıdası ve enerjisi için güvendiğimiz kara bitkilerinin büyük çoğunluğu, karbon fiksasyonu için en eski yol olan C₃ yolunu kullanır ve bu, tüm taksonomilerin bitkilerinde bulunur. Prosimianlar, yeni ve eski dünya maymunları ve tüm maymunlar da dahil olmak üzere tüm vücut boyutlarındaki neredeyse tüm insan olmayan primatlar, C₄ ve CAM bitkilerinin bulunduğu bölgelerde yaşayanlar bile, beslenmek için C₃ bitkilerine bağlıdır. Pirinç, buğday, soya fasulyesi, çavdar ve arpa gibi tahıl gevrekleri; manyok, patates, ıspanak, domates ve patates gibi sebzeler; elma, şeftali ve okalipütüs gibi ağaçlar C₃ bitkilerine örnek olarak verilebilir.

Fotosentezin karanlık reaksiyonlarda, ilk oluşturdukları kararlı ürün; 3 karbonlu PGA'dır. Fotosentezin karanlık reaksiyonlarında CO₂'yi ilk yakalayan molekül RuBisCO'dur. Karanlık reaksiyonlar mezofil hücrelerinde gerçekleştirilir.

Yüksek ışık şiddeti, yüksek sıcaklık, düşük CO₂ ve yüksek O₂ konsantrasyonlarında çok kolay fotorespirasyon gerçekleştiğinden; fotosentez hızları C₄ bitkilerinden daha yavaştır.

C₃ yolu en yaygın olanı olmakla birlikte, aynı zamanda verimsizdir. Rubisco sadece CO₂ ile değil, aynı zamanda O₂ ile de reaksiyona girerek asimile karbonu boşa harcayan bir süreç olan fotorespirasyona yol açar. Mevcut atmosferik koşullar altında, C₃ bitkilerindeki potansiyel fotosentez oksijen tarafından % 40'a kadar bastırılır. Kuraklık, yüksek ışık ve yüksek sıcaklıklar gibi stres koşulları altında bu baskılamanın kapsamı artar. Küresel sıcaklıklar yükseldikçe, C₃ bitkileri hayatta kalmak için mücadele edecek - onlara bağımlı olduğumuz için biz de hayatta kalacağız.

1.3 C₄ Fotosentezi

Tüm kara bitki türlerinin yalnızca yaklaşık %3'ü C₄ yolunu kullanır (Sage,2004) , ancak bunlar tropik, subtropik ve sıcak ılıman bölgelerdeki neredeyse tüm otlaklara hakimdir. C₄ bitkileri ayrıca mısır, sorgum ve şeker kamışı gibi oldukça verimli mahsulleri içerir. Bu ürünler biyoenerji alanına öncülük ederken, insan tüketimi için tamamen uygun değildir. C₄ bitkileri güneş ışığına bolca erişime sahip uzun büyüme mevsimlerinde gelişir. Hatta bazıları tuza toleranslıdır ve araştırmacıların geçmişteki sulama çabalarından kaynaklanan tuzlanma yaşayan alanların tuza dayanıklı C₄ türlerinin ekilerek restore edilip edilemeyeceğini düşünmelerine olanak tanır.

Bitkilerde evrilen C₄ tip fotosentez ismini C₃ tipi fotosentezden farklı olarak, oluşan ilk ürünün 4 karbonlu OAA (oksaloasetat) olmasından alır. C₄ fotosentezinin tüm varyasyonlarında ortak noktası PEP karboksilaz tarafından CO₂ bağlanmasıdır. C₄ fotosentez yolu bazı biyokimyasal ve anatomik değişimler sonucu CO₂'nin Rubisco etrafında yoğunlaştırılması ile ortaya çıkmıştır. Böylelikle Rubisco'nun oksijenaz reaksiyonu ve buna bağlı olarak fotorespirasyon metabolizması C₄ bitkilerinde baskılanmıştır (Sage, 2004). C₄ bitkilerindeki anatomik farklılık için Kranz anatomisinden bahsedilir. Yapraklarda mezofil ve demet kını hücreleri olarak iki özelleşmiş hücre tipi bulunur. CO₂'in Rubisco'nun etrafında yoğunlaşmasından sonra dekarboksile olması gerekir. Dekarboksilasyon sonucu 3

karbonlu asit PEP karboksilazın bulunduğu kısma döner (Hatch, 1987; Sage, 2004; Sommer vd., 2012; Rao ve Dixon, 2016).

C₄ fotosentezinin, kuraklık, sıcaklık ve yüksek ışık şiddetine adaptasyon olarak evrildiği öne sürülmüştür (Gowik ve Westhoff, 2011). Bu durumun adaptasyon olduğunun açıklamasının yaygınlığı C₄ fotosentezinin düşük CO₂ düzeylerinde ortaya çıkmasıyla da alakalıdır (Ehleringer et al., 1991, 1997; Cerling et al., 1997; Sage, 2012). Her şekilde C₄ fotosentezinin bitkinin yaşadığı stres koşullarına bir yanıt olduğunu söyleyebiliriz. C₄ fotosentezinin evrimsel sürecinde fotorespirasyonun oluşturduğu olumsuzluğun giderilmesi olduğu düşünülmektedir. Fotorespirasyon CO₂'in kaybına neden olur. Bu durum fotosentez verimliliğini düşürür. Bu durumun önüne geçmek için bitkiler ya fotorespirasyon yapmaz ya da çok az yaparlar. Bu bitkilerin fotorespirasyon yapmamasının sebebi Rubisco'nun etrafında çok fazla miktarda CO₂ birikmesidir.

Oluşan ilk ürün olan oksaloasetat diğer 4 karbonlu asitlere (malat, aspartat) dönüşür ve demet kını hücrelerine geçer. Burada dekarboksilasyona uğrayarak CO₂'nin Rubisco tarafından fikse edilmesini sağlar ve buradan sonra C₃ fotosentez döngüsü çalışmaya başlar. Dekarboksilasyondan sonra ortaya çıkan 3 karbonlu ürün mezofil hücrelerine geri döner. C₄ fotosentez mekanizmasına sahip bitkiler 3 biyokimyasal alt tipte sınıflandırılmaktadır. Bunlar demet kını hücresinde C₄ asit dekarboksilasyonunda görev alan enzimlerine göre: NAD malik enzim (NAD-ME), NADP malik enzim (NADP-ME) ve fosfoenolpirüvat karboksikinaz (PCK) tipleridir (Hattersley, 1992).

C₄ fotosentezi, fotorespirasyonun önüne geçmekte oldukça etkilidir ve angiospermlerin 19 familyasında 45 kere bağımsız olarak konvergent evrim yoluyla evrilmiştir. Bu açıdan konvergent evrimin en önemli örneklerinden birini teşkil etmektedir. 7500 çiçekli bitki türünde olduğu bilinmektedir. Çoğu C₄ türü çimdir (4500 tür), ardından hasırotu (1500 tür) ve sonra dikotiller (1200 tür) vardır (Sage, 2012).

1.4 Kranz Anatomisi

1970'lerin başından başlayarak, Kranz anatomisinin C₄ fotosentezi olan bitkilerin en önemli ayırt edici özelliklerinden biri olduğu kabul edildi (Hatch ve ark., 1971). C₃ bitkileri ile karşılaştırıldığında C₄ bitkilerinin demet kını hücreleri çok daha gelişmiş fizyolojik görevlere sahiptir. Bu durum, C₄ bitkilerinin demet kını hücrelerinin daha büyük olması ve daha fazla organel içermesine yol açmıştır. Bazı durumlarda neredeyse 1:1 mezofil:demet kını hücresi oranı gözlenir. Bir C₄ yaprağının anatomisi genel olarak sürekli tekrar eden bir “iletim demeti-demet kını-mezofil-mezofil-demet kını-iletim demeti” düzenine sahiptir.

Atmosferik CO₂'nin fosfoenolpiruvat karboksilaz (PEPC) ile reaksiyona sokulması ile C₄ asitlerinin Rubisco'ya dekarboksilasyonu ile CO₂'nin bağışlanması arasında mekansal olarak ayrılması gerekir; bunun birçok karasal C₄ bitkisinde, iki biyokimyasal yol olarak ve ultrastrüktürel olarak farklı fotosentetik hücrelerin, yani Kranz anatomisinin kooperatif işlevi ile gerçekleştiği gösterilmiştir.

Freitag ve Stichler (2002), *Bienertia*'da “Bienertioid” olarak adlandırdıkları yeni bir anatomi türü tanımladı ve bir C₄ veya fakültatif C₄ / C₃ türü olarak işlev gördüğünü önerdi. Işık mikroskopi çalışmalarında Kranz anatomisinden yoksun olduklarını gösterdiler fakat bunun yerine klorenkim hücreleri, sitoplazmanın küresel, nişasta içeren bir merkezi bölmeye ve nişastasız bir çevresel bölmeye eşsiz bir ayrımı sergilediler. *Bienertia* (*B. cycloptera*, *B. sinuspersici* ve *B. kavirense*) cinsinde, olgun kollenkima hücreleri, alışılmadık derecede büyüktür ve kendine özgü bir hücresel yapıya sahiptir. Hücrenin kloroplastlarının büyük kısmı, hücrenin merkezinde konumlandırılmıştır. Bu “merkezi kloroplast bölmesi” (CCC), büyük bir boşluk ile çevrilidir. Hücrenin kloroplastlarının bir kısmı 'periferik' olarak adlandırılan hücrenin yüzeyi boyunca dağılır ve CCC'den vakuol ile ayrılır.

Kranz yaprağı anatomisine sahip bitkilerin C₄ türü olarak işlev gördüğü kesin olarak tespit edilmiştir. Bu bitkilerde, klorenkim, iki biyokimyasal ve anatomik açıdan farklı fotosentetik hücre tipinden oluşur: dış bir palizat mezofil hücresi tabakası ve demet kını veya Kranz hücreleri adı verilen bir iç tabaka (Sage ve Monson, 1999). C₄ fotosentezinin biyokimyası ve ana fotosentetik enzimlerin hücre içi ve hücre içi ortak çalışması üzerine yapılan kapsamlı çalışmalardan (Edwards

ve Walker, 1983; Hatch, 1987; Edwards et al., 2001), C₄ yolunda, atmosferik CO₂'nin, mezofil hücrelerinin sitozolunda lokalize olan PEPC ile sabitlendiği ve ürünün oksaloasetatın, aspartat veya malat gibi C₄ ürünlerine dönüştürüldüğü tespit edilmiştir. Aspartat ve malat, bitişik demet kını (Kranz) hücrelerine, bu C₄ ürünlerinin dekarboksilat oluşturucu CO₂ olduğu plasmodesmata vasıtasıyla taşınır. CO₂ daha sonra demet kını hücreleriyle sınırlı olan Rubisco ile sabitlenir. C₄ bitkileri, C₄ ve C₃ döngülerindeki reaksiyonların uzamsal bölümlenmesini, yüksek aktiviteleri ve C₄ döngüsünün miktarlarını içeren bir dizi özellik ile tanımlanır. C₄ bitkileri, C₄ ve C₃ döngülerindeki reaksiyonların mekansal bölümlenmesini, yüksek aktiviteler ve miktarlarda C₄ döngüsü enzimlerinin, C₄ tipi karbon izotop kompozisyonunun, C₄ döngüsüne gündüz CO₂ alımının ve C₄ döngüsünün eksikliği içeren bir dizi özellik ile karakterize edilir.

Bienertia 'nın klorenkiması önceden tanımlanmış fotosentetik tiplerin aksine çok sıradışıdır. Bu çalışmanın sonuçları, tüm temel fizyolojik ve biyokimyasal özelliklere sahip bir C₄ bitkisi olarak işlev gösterdiğini, ancak tek bir fotosentetik hücre içinde, yani Kranz anatomisi olmadan mekansal bölümlenmeyi sağladığını göstermektedir. NAD-ME ile yüksek enzim aktivitesi ve immünoreaktivite ve NADP-ME için düşük aktivite ve immünoreaktivite, *Bienertia*'nın *S. laricina* gibi bir NAD-ME tipi C₄ türü olduğunu gösterir.

C₄ bitkilerinde ve C₃-C₄ ara ürünlerinde, demet kını hücrelerinin mitokondrisinde glisin dekarboksilazın spesifik lokalizasyonu, fotorespirasyonu azaltmak için önemli bir evrimsel gelişme olarak kabul edilir. *Moricandia*, *Panicum*, *Flaveria* ve *Mollugo* cinslerinde gösterildiği gibi, C₄ ve C₃-C₄ türlerinde bu enzim, Kranz hücrelerinde mitokondri ile sınırlıyken, C₃ türünde hem mezofil hem de Kranz hücre tipi olmayan mitokondri içinde bulunur (Hylton ve diğerleri, 1988; Rawsthorne ve diğerleri, 1988). Enzimin, demet kını hücrelerinde belirgin mitokondrilerde ortaya çıkması, fotorese edilen CO₂, C₃ siklusu tarafından yeniden takviye edildiğinden, CO₂ sınırlaması altında karbon kazancını artırır (Hylton ve diğerleri, 1988; Rawsthorne ve diğerleri, 1988).

Klasik olarak, son yirmi yıla kadar literatürde Kranz anatomisi denilen bir anatomik organizasyon çeşidinin C₄ fotosentezi için şart olduğu düşünülmüştür fakat sonraki bulgular bunun şart olmadığını göstermiştir (Voznesenskaya, 2001;

Voznesenskaya, 2002). Kranz anatomisi, neredeyse bütün monokotil ve dikotil, iki-hücreli C₄ tip bitkilerinde görülmektedir (Gowik ve Westhoff, 2011).

1.5 CAM Bitkileri

Crassulaceae, Cactaceae, Orchidaceae, Bromeliaceae ve Euphorbiceae familyalarına giren birçok bitki CAM (crassulacean asit metabolizması) bitkisidir. Bu fotosentez türü, düşük su mevcudiyetine bir adaptasyondur ve kurak bölgelerdeki bitki türlerinde meydana gelir. Tam CAM fotosentezi yapan bitkilerde, yapraklardaki stomalar, evapotranspirasyonu azaltmak için gündüz kapatılır ve gece açılıp karbondioksiti alır. Kaktüsler ve diğer sukkulentler, *Clusia*, *Agave tequilana*, *Ananas* gibi bitkiler CAM bitkilerine örnek olarak verilebilir.

CAM bitkileri, suyu sınırlı olan yarı kurak çöller gibi ortamlarda iyi performans göstermelerini sağlayan bitkilerde en yüksek su kullanım verimliliğini sergiler. Ananas ve tekila agav gibi birkaç istisna dışında CAM bitkileri yiyecek ve enerji kaynakları için insan kullanımı açısından nispeten istismar edilmemiştir.

1.6 Evrim ve Mühendislik ile Yapabileceklerimiz

Küresel gıda güvensizliği halihazırda son derece akut bir sorundur ve verimsiz gıda ve enerji kaynaklarına sürekli bağlılığı tehlikeli bir seyir haline getirmektedir, özellikle atmosferimiz karbon açısından zengin hale geldikçe bitki döngülerinin nasıl etkileneceğini bilmiyorsak. Atmosferik CO₂'deki azalma ve Dünya'nın ikliminin kurumasının C₄ ve CAM evrimini teşvik ettiği düşünülüyor, bu da yüksek CO₂'nin C₃ fotosentez alternatiflerini destekleyen koşulları tersine çevirme olasılığını artırıyor.

Atalarımızdan elde edilen kanıtlar, hominidlerin diyetlerini iklim değişikliğine uyarlayabildiğini gösteriyor. *Ardipithecus ramidus* ve *Ar anamensis*'in her ikisi de C₃ bitkilerine bağımlıydı, ancak yaklaşık dört milyon yıl önce bir iklim değişikliği doğu Afrika'yı ormanlık bölgelerden savanaya

çevirdiğinde hayatta kalan türler - *Australopithecus afarensis* ve *Kenyanthropus platyops* - karışık C₃ / C₄ tüketicileriydi. 2,5 milyon yıl önce, iki yeni tür gelişti: Odağı C₄ / CAM gıda kaynaklarına kayan *Paranthropus* ve hem C₃ hem de C₄ bitki çeşitlerini tüketen erken *Homo sapiens*.

1.7 C₃-C₄ adaptasyonu

C₃ bitkilerini C₄ türüne dönüştüren evrim süreci, son 35 milyon yılda bir kez değil en az 66 kez gerçekleşmiştir. Bu evrimsel adım, fotosentetik performansın ve su ve nitrojen kullanım verimliliğinin artmasına yol açtı. Sonuç olarak, C₄ bitkileri, C₃ bitkilerinden iki kat daha fazla fotosentez kapasitesine sahiptir ve daha yüksek sıcaklıklar, daha az su ve mevcut nitrojen ile baş edebilir. Bu nedenlerden ötürü, biyokimyacılar şu anda C₄ ve CAM özelliklerini (proses verimliliği, yüksek sıcaklıklara tolerans, daha yüksek verim ve kuraklık ve tuzluluğa direnç), küresel ısınma ile karşılaşılan çevresel değişiklikleri dengelemenin bir yolu olarak C₃ bitkilerine taşımının yollarını bulmaya çalışıyorlar. En azından bazı C₃ modifikasyonlarının mümkün olduğuna inanılıyor çünkü karşılaştırmalı çalışmalar, bu bitkilerin işlev bakımından C₄ bitkilerinininkine benzer bazı ilkel genlere zaten sahip olduğunu göstermiştir. C₃ ve C₄ hibritleri elli yıldan fazla bir süredir takip edilirken, kromozom uyumsuzluğu ve hibrit kısırılık başarısı nedeniyle ulaşılamaz durumda kaldı.

Dünya popülasyonu alarm veren oranlarda arttıkça bir diğer “yeşil devrime” olan ihtiyaç, besin isteklerini karşılayacaktır. Bu probleme olası bir çözümlerle pirincin fotosentetik mekanizmasında daha etkin ve daha yüksek bir kapasiteli C₄ yolağını kurmaktır.

Günümüzden 450 milyon yıl önce fotosentetik organizmalar karalarda oluştu ve bütün bu yıllar boyunca karasal bitkilerin morfolojileri ve fotosentetik mekanizmaları farklılaştı (Sage,2004). C₃ bitkilerinde CO₂ ribuloz bifosfat karboksilaz/oksijenaz (RubisCO) tarafından 3 karbonlu bileşik oluşturmak üzere Calvin çemberinde yakalanır. C₄ ve Crassulacean Asit Metabolizması (CAM) yollarını kullanan bitkiler C₃ bitkilerinden evrimleşmiştir. Her ikisinde de bikarbonatın fiksasyonundan 4 karbonlu organik asit oluşur. Rubisco tarafından alınan CO₂ deki etkinlik C₄ karbon mekanizmasının ilavesiyle arttırılmaktadır.

Rubisco C₃ bitkilerinde CO₂'yi fikse eden ana enzim olarak bugünkü atmosferik koşullarda CO₂'nin zayıf bir katalizatörüdür. CO₂ kadar O₂ 'yi kullanmaya da eğilimi vardır. Rubisco oksijenaz aktivitesi fotorespirasyon yolağındaki fosfoglikolatın geri dönüşümünü gerektirmektedir, bu da ilk olarak fikse edilen CO₂'nin kaybı neticesinde bir enerji israfına yol açar. Kranz anatomisinin avantajına sahip C₄ bitkileri fotosentetik reaksiyonları mezofili demet kını hücreleri arasında bölümlere ayrılırlar. Damarlar etrafında dairesel halkalar şeklinde düzenlenmiş genişlemiş demet kını hücreleriyle çevrelenen mezofil hücreleri kranz anatomisini oluşturmaktadır. Mezofil hücrelerinde üretilen C₄ asitleri bu hücelere yakın mesafede bulunan ve calvin çemberinin oluşturulduğu demet kını hücrelerine difüze olur. Karbonik anhidraz (CA) fosfoenolpiruvatkarboksilaz (PEPC), NADP malat dehidrogenaz (MDH) piruvatortofosfatdikinaz (PPDK) ve ilgili düzenleyici proteinler mezofil hücrelerinde depolanırken NADP malik enzim (ME) ve Rubisco demet kını hücrelerinde sınırlıdır. Tüm bu enzimleri kodlayan genler C₃ bitkilerinde bulunmaktadır fakat ekspirasyon seviyeleri C₄ türlerinden daha küçüktür.

C₄ bitkileri fotosentezindeki farklılıklar nedeniyle C₃ bitkilerinden %50 kadar yüksek etkinlikte ışığı kullanırlar. C₃ ürünleriyle mukayese edildiğinde C₄ ürünleri daha iyi verim, su ve nitrojenin daha etkin kullanımına sahiptirler. Besin isteklerimizi ancak bir yeşil devrim gerçekleştirerek karşılayabileceğiz. Pirinç gibi bir C₃ ürününde verim kaynağı sınırlıdır, örneğin yaprakların fotosentetik aktivitesi daha fazla sayıdaki başakçıkları doldurmaya yetmez. Bu problemin olası çözüm yolu pirinçte daha yüksek kapasitedeki bir fotosentetik mekanizmayı, C₄ yolağını kurmaktır. C₄ pirincinin amaçlanması hırsıyla uluslararası C₄ pirinç konsorsiyumu Filipinler'de hem gelişmiş enstitülerden hem de gelişmekte olan ülkelerin bilim adamlarını kapsayan 24 araştırma grubunu içeren uluslararası Pirinç araştırma enstitüsü (IRRI Philipinnes, 2008) kurulmasına yol açtı. C₄ pirinci konsorsiyumunda pek çok projeler ele alınmıştır. Bunların içinde fizyolojik fenotiplenme, kranz anatomi özelliğindeki pirinç mutanlarını görüntüleme ve C₄ fotosentezi genlerini pirince dahil etme konularını kapsayan pek çok proje C₄ pirinç konsorsiyumunda ele alındı (Covshoff ve ark., 2012).

En önemli bulgulardan birisi pirinçte C₄ fotosentezini başlatmak için gerekli genlerin belirlenmesi ve transformasyonudur. İşlevsel C₄ devresi mezofil

hücrelerinde Calvin – Benson devresinin bir kısmının tekrar regülasyonunu da içermektedir. C₄ mühendisliğinin bir başka bulgusu da C₄ devresinin alt hücre bölümleri arasında metaboliklerin akışını sağlayan taşıyıcıların ilavesidir. Farklı proteomik çalışmalarla aday taşıyıcılar belirlendiği gibi (Friso et al., 2010) aynı zamanda mısırdan uygun hücre tipine özel birikim mısırdan klonlandı. Ki bunlar; OAA/ malat antiporter (OMT1), dikarboksilat transporterları (DiT1 ve DiT2) ve PEP/fosfat translokatorü PPT1 ‘dir. Pirinçteki mısır promoterlarını mezofile özgün ekspresyon kalıpları ZmPEPC ve ZmPPDK olarak belirlenmiştir. Bu promoterlar pirinçte kuvvetli mezofil spesifik ekspresyonu belirlemede başarıyla kullanılmaktadır. Uygun lokalizasyonlu transgenik bitkiler ve her proteinin uygun fonksiyonel seviyeleri transgenleri depolamak üzere çaprazlanacaktır. Bunun sonucunda C₄ fotosentezi geleneksel besleme ile daha iyi agronomik nitelikte elit pirinç varyetelerine dönüştürülecektir.

Özelleşmiş yaprak anatomisi iki hücreli C₄ fotosentezinin ayrılmaz bir parçası olsa da, hiçbir C₄ yaprak anatomisini kontrol eden genlerin hiçbiri tanımlanmamıştır. Benzer şekilde demet kını hücrelerindeki süberilizasyon ile ilgili genler sonra mezofil ve demet kını hücreleri arasındaki plazmodezmatıl ilişkiyi sağlayan genler ve dimorfik kloroplastların üretimi ve pozisyonu henüz belirlenememiştir (Kajala ve ark., 2011).

C₄ bitkilerinin yaprakları C₄ asitlerinin mezofilden demet kını hücrelerine difüzyon mesafesini ve damarlara fotosentatların taşınım mesafesini azaltan, artmış bir damar yoğunluğu sergilerler. Azaltılmış damar boşluklu ve C₄ benzeri yaprak anatomisi özellikli aktiflenmiş etiketli pirinç popülasyonları ortaya çıkarıldı. Benzer şekilde *Sorghum bicolor* ve *Setaria viridis* mutant popülasyonları C₄ özelliklerinin kaybını çalışmak için üretildi (Brutnell et al., 2010; Kajala et al.,2011). Azaltılmış damar yoğunluklu ve damarlar arasında artmış sayıda mezofil hücreli pirinç mutantları başarılı bir şekilde belirlendi. Mutajenize C₄ *Sorghum bicolor* ve *Setaria viridis*’den elde edilen bilgilerin birleştirilmesiyle ve aktifleşmiş etiketli pirinç popülasyonları ile C₃ ’den C₄’ü tetikleyen aday genleri belirlemeye yardımcı olabilecektir. C₄ bitkilerinin etkinliği yaprak klorofili a ve b oranındaki değişimlerle belirlenir ve bunun sonucunda klorofil miktarındaki değişimler ortaya çıkarılır. Üç yıl içerisinde C₄ pirincinin prototipinin mümkün olabileceği

umulmakta. Fenotipi optimizasyonu ve C₄ bitkisinin çiftçilerinin tarlalarında kültüre alınması için hazır hale gelmesinde arazi testleri için onbeş yıllık araştırma gereklidir (Caemmerer ve ark., 2012).

1.8 Bor Elementinin Bitkiler Üzerindeki Etkisi

Bitki kökleri tarafından, çoğunlukla çeperin fosfolipid çift tabakasından geçerek hücreye kolayca giren küçük yüksüz borik asit molekülleri biçiminde alınır (Marschner, 1995; Brown et al., 2002). Bor, bir bitki mikro besin maddesidir, yani 1 µ / g – 1 mg / g kadar küçük miktarlarda normal büyüme ve gelişme için gereklidir.

19. yüzyılın ortalarından beri bitki organizmalarının bor içerdiği bilinmektedir (Ploquin, 1967). Unsurun gerekli olduğu iddiası olmasa da, buğday dahil birçok bitki türünde varlığı bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Bor, 1915'te Mazé tarafından mikro besin olarak çalışılmıştır; ancak yazarın kullandığı deneysel teknikler daha sonra sorgulanmıştır. Bu nedenle Warington, bitki metabolizması için elementin gerekliliğini kanıtlayan ilk yazar olarak kabul edilmektedir. Daha sonra borun çeşitli monokotiledon ve dikotiledon türler (Sommer and Lipman, 1926), iğne yapraklılar (Ludbrook, 1942), eğrelti otları (Bowen and Gauch, 1965) ve fitoplankton türleri (Lewin, 1966) için temel bir mikro besin olduğu doğrulandı. Genel olarak tarımsal bitkiler için elementin önemi anlaşıldı (Warington, 1937). Bor, hayvan organizmaları için temel veya en azından oldukça faydalı bir mikro besindir ve makro mineraller Ca, P ve Mg, trigliserit, glikoz, amino asitler, proteinler, reaktif oksijen türleri ve steroid hormonlarının metabolizmasını etkiler. İnsanlar için önerilen günlük alım miktarı 1-13 mg'dır ve birincil kaynaklar meyveler, sebzeler, kuruyemişler ve baklagillerdir (WHO/FAO/IAEA Geneva, 1996; Khaliq et al., 2018).

Neredeyse bir asırdır borun temel bir mikro besin olduğu bilinmektedir; bununla birlikte bitki metabolizmasındaki rolü hala tartışılmaktadır (Lewis, 2018; Wimmer et al., 2019). Elementin birincil işlevi hücre duvarı sentezinde rol alma, yapısını ve bütünlüğünü korumadır. Duvarda bulunan bor miktarı bitki türüne, organa ve bor arzına bağlıdır (Goldbach et al., 2000). Bitkiler boru küçük yüksüz

borik asit molekülleri (yaklaşık% 96) şeklinde ve ayrıca borat anyonlarını önemli ölçüde daha az miktarda alırlar (Bolaños et al., 2004). Her iki bileşik de cis hidroksil gruplarına sahip bileşiklerle kolayca kompleksler oluşturur. Borat, ramnogalacturonan II (RGII) monomerlerinin apioz kalıntıları arasında ester bağları oluşturur, böylece hücre duvarının yapısına ve işlevine katkıda bulunur. Genel olarak, monokotiledon bitkiler, hücre duvarlarında dikotiledon bitkilerden daha az pektin içerirler; bu nedenle, nispeten daha düşük bor gereksinimleri ve fazla bor için daha düşük toleransları vardır (Berger,1949; Chormova, 2016).

Borun bitki metabolizmasındaki birincil rolünün, hangi işleve sahip olursa olsun cis-diol gruplarıyla moleküllerin stabilizasyonu olabileceği varsayılmıştır (Bolaños et al., 2004). Bor, plazma membranından glikoproteinler ve glikolipidlerle cis-diol kompleks bileşikleri oluşturur, böylece yapısını korur. Membran metabolizmasında ve fonksiyonunda rol oynar, böylece enzim reaksiyonlarının yanı sıra iyonların, metabolitlerin ve hormonların taşınmasında rol oynar (Shelp,1993; Goldbach and Wimmer, 2007) . Element, enzimleri uyarır, inhibe eder veya stabilize eder; şekerlerin membran boyunca taşınmasında, lignin ve flavonoid sentezinde ve oksinlerin, nitrojen bileşiklerinin ve fenollerin metabolizmasında rol oynar (Power and Woods, 1997; Gauch and Dugger, 1953; Seth and Aery, 2017).

Yetersiz bor temini koşullarında gözlenen kök büyümesinin durması, pirimidin baz eksikliklerinin bir sonucu olarak DNA sentezinin inhibisyonundan kaynaklanmaktadır (Blevins and Lukaszewski, 1998). Element hücre bölünmesi (Lovatt,1985; Brown and Hu,1997), doku vejetatif büyüme ve farklılaşması (Cakmak, I.; Römheld, 1997), translyasyon, transkripsiyon (Dzondo-Gadet et al., 2002), baklagiller ve mikorizada azot fiksasyonu (Bolaños et al., 2004; Sonmez vd., 2009) ile ilgilidir.

Bor eksikliği, fotosentetik kapasiteyi ve fotosentetik ürünlerin taşınmasını etkiler (Goldbach, H.E. et al., 2007; Wang, N. Et al., 2015; Han, S. Et al., 2008). Bor eksikliği olan *Citrus sinensis* yapraklarında stomatal iletkenlik ve CO₂ asimilasyonunda azalma ve hücreler arası CO₂ konsantrasyonlarında artış bulundu. Heksoz ve nişasta birikimi artar ve sükroz birikimi azalır, bu da CO₂ asimilasyonunda geri besleme düzenlemesi anlamına gelir. Antioksidan enzimler aktif kalır; bununla birlikte, sistem bir bütün olarak oksidatif hasardan korunmada

yeterince etkili değildir (Han, S. Et al., 2008). Eksiklik altında net karbon dengesini korumak için, köklerde aşağı regüle edilirken yapraklarda solunum, organik asit metabolizması, amino asit biyosentezi ve anapleurotik yol yukarı regüle edilir. Hem yapraklarda hem de köklerde fenolik konsantrasyon artar (Lu, Y.B. et al., 2014; Lu, Y.B. et al., 2015).

Yetersiz bor tedariki çok sayıda biyokimyasal, fizyolojik ve anatomik değişikliğe neden olur; bu nedenle yoksunluğun birincil ve ikincil etkilerini kesin olarak ayırt etmek son derece zordur. Apikal meristemdeki hücre bölünmesinin kesintiye uğraması, kök büyümesinin azalmasına ve hatta durmasına neden olan en belirgin etkidir. Bor eksikliği, polen tüpünün mikrosporogenezini, çimlenmesini ve uzamasını azaltarak erkek fertilesini azaltır (Cheng, C. Et al., 1993). Döllenmeden sonra, beslenme bozukluğu embriyogenezi etkiler ve tohumun bozulması veya eksik veya hasarlı embriyoların oluşumuyla sonuçlanır Dell, B. Et al., 1997; Matoh, T., 1997; Lovatt, C.J., 1985; Shelp, B.J. et al., 1995; Rerkasem, B. Et al., 2019).

Bor alımı, diğerlerinin yanı sıra, çeşitli bitki türleri, aşırı yüksek bor konsantrasyonları ve deneylerde kullanılan farklı teknikler nedeniyle uzun süredir tartışmalı bir konu olarak kabul edildi (Hu, H. Ela., 1997). Bitkiler bor'u, ağırlıklı olarak borik asit formunda kökler yoluyla alırlar. Küçük, çözünür, ayrışmamış ve yüksüz bir moleküldür ve lipid çift katmanları arasında kolayca göç eder. Bor, topraktan iyon olarak alınmayan tek elementtir. Yeterli tedarik koşullarında, element pasif difüzyonla ve protein katalizi ve enerji tüketimi olmadan taşınır. Hücrenin bor geçirgenliğinin yüksek olması, terleme akışı boyunca karakteristik akı örüntüleri ve yaprakların uçlarındaki birikim nedeniyle pasif difüzyon uzun zamandır tek taşıma mekanizması olarak düşünülmüştür (Raven, J.A 1980; Marschner, H., 1995; Nable, R.O. et al., 1998). Dış bor artışını takiben bor doku içeriğindeki doğrusal artışların yanı sıra (Nable, R.O., 1980) metabolik inhibitörlerin ve hem düşük hem de yüksek sıcaklıkların (2–42 °C) birikimi bozmaması (Brown, P.H. et al., 1994) bu bakış açısını doğruluyor gibi görünüyordu. Elementin hücreye kısmen pasif difüzyon yoluyla lipid çift tabakasından ve kısmen de protein kanalları, akuaporinler veya Hg duyarlı diğer kanallar yoluyla girdiği öne sürülmüştür (Dordas, C. et al., 2000).

Bor hareketliliği açısından bitki türleri arasındaki önemli farklılıklar, elementi besinler arasında benzersiz kılar. Poliollerin (örneğin sorbitol, mannitol, dulcitol) fotosentezin birincil ürünleri olduğu türlerde bor, hızlı ve önemli ölçüde floem-hareketlidir. Hareketlilik, borun poliollerle kompleksleşmesinden kaynaklanmaktadır. Bu tür türler Prunus, Malus ve Pyrus cinslerindedir (kuru erik, armut, elma, kiraz, badem, erik, şeftali, kayısı) ve ayrıca soğan, kereviz, havuç, zeytin, fasulye, bezelye, karnabahar, lahana, kuşkonmaz, ve kahve. Öte yandan bor, birincil fotosentetik ürün olarak sakarozlu türlerde floem hareketliliğini kısıtlamıştır. Bu türler (örneğin buğday, arpa, ceviz) çoğunluğu temsil eder. Bor, terleme akışı boyunca hareket eder ve sonunda birikir. Bu nedenle, elementin konsantrasyonu, yaprağın geri kalanına göre yaprak uçlarında ve kenar boşluklarında önemli ölçüde daha yüksektir. Aksine, bor konsantrasyonu floem-hareketli türlerin yaprakları arasında aynıdır. Sürekli olarak, yaşlı yapraklarda nispeten daha yüksek bor konsantrasyonu, kısıtlı floem hareketliliği anlamına gelir. Genç yapraklarda ve meyvelerde daha yüksek konsantrasyon, önemli floem hareketliliğini gösterir (Brown, P.H. et al., 1996; Stangoulis, J. et al., 2000).

Bitki dokusu bor içeriğindeki ve aynı zamanda bor toleransı ve duyarlılığındaki türler arası farklılıklar, pasif taşıma hipotezini zayıflattı. Bitki dokusu bor içeriğinin genellikle toleranslı türlerde ve genotiplerde daha düşük olduğu kabul edildi (Bellaloui, N. et al., 1998; Nable, R.O. et al., 1988; Paull, J.G., 1988; Rehman, S., et al., 2006), ancak istisnalar bildirildi (Yau, S.K.; Hamblin, J. Et al., 1994; Brdar-Jokanović, M., 2013). Yine de, toleranstaki farklılıklar yalnızca terlemedeki farklılıklar ile açıklanamaz, çünkü yukarıdakiler, toleranslı bitkilerin hassas bitkilerden yedi kat daha yüksek su kullanım etkinliği göstermeleri gerektiği anlamına gelir (Nable, R.O., 1997). Daha yüksek hücre duvarı pektin içeriği (Hu, H. et al., 1996; Matoh, T. et al., 1996), duvarda veya sitoplazmada inaktivasyon (Nable, R.O. et al., 1997; Reid, R. et al., 2009), vakuole (Roessner, U. et al., 2006; Wakuta, S. et al., 2016) ve hücre duvarına (Papadakis, I.E. et al., 2018) ayrılma, bitki organları arasında yeniden dağılım (Nable, R.O., 1989), kök hücre plazma membranlarının (Nable, R.O., 1988; Paull, J.G. et al., 1988; Huang, C. et al., 1980) azalmış geçirgenliği yoluyla toleranslı genotiplere giriş ve köklerden (Reid, R., 2007) dışa akım, bitki bor toleransı için olası mekanizmalar olarak varsayılmıştır.

Yine de, aktif taşıma toleransa dahil edilmelidir (Frommer, W.B. et al., 2002; Roberts, S.K., 2006).

Pasif difüzyon, eksiklik durumunda bitki bor taleplerini karşılayamadığından, borik asit kanalları ve borat taşıyıcıları, büyüyen dokulara alım ve translokasyonda yer almalıdır. İhracatçılar ayrıca aşırı bor koşullarında hariç tutulmaktadır. Borik asidi taşıyan kanallar ana iç protein (MIP) ailesindedir, alt aile nodulin 26 benzeri iç proteinler (NIP'ler). Bu tür ilk kanal Arabidopsis'te tanımlanmış ve NIP5; 1 (Takano, J. et al., 2006) olarak adlandırılmıştır. Bor yoksunluğuna maruz kalan kök hücrelerde işlev görür ve dış bor artarsa aşağı regüle edilir (Takano, J. et al., 2010; Wang, S. et al., 2017). NIP6; 1, ksilemden floeme (Tanaka, M., 2008) bor transferinde ve mikrosporogenezde NIP7; 1'de rol alır (Li, T. et al., 2011). Arpa, mısır ve pirinçte homolog kanallar bulundu (Schnurbusch, T. et al., 2010; Shao, J.F. et al., 2018).

Bor eksikliği altında işleyen borat taşıyıcıları (BOR) ilk olarak Arabidopsis'te (Tanaka, M. et al., 2008; Noguchi, K. et al., 1997; Takano, J. et al., 2002) belirlenmiş ve homologları pirinç, buğday, mısır ve diğer bitki türleri için rapor edilmiştir (Nakagawa, Y. et al. 2007; Diehn, T.A. et al., 2019). Arabidopsis'te şimdiye kadar yedi BOR tespit edildi. BOR1, sırasıyla NIP5; 1 ve NIP6; 1 ile işbirliği yaparak, köklerden ksileme bor taşınmasında ve yapraklara translokasyonunda yer almaktadır. BOR2, çapraz bağlanan RGII moleküllerine (Miwa, K. et al., 2013; Chormova, D. et al., 2014) katılarak kök büyümesini desteklerken, BOR4 esas olarak dokulardan dışlama yoluyla aşırı boron toleransında işlev görür. BOR4 homologları arpa, buğday ve diğer tarım bitkilerinde bulunmuştur (Sutton, T. et al., 2007; Miwa, K. et al., 2006; Reid, R. et al., 2014). Ortamdaki bor mevcudiyetine ek olarak, CO₂ ve ışınım gibi dış faktörler bu proteinlerin işlevini etkiler (Mishra, S., 2018).

Bununla birlikte, bitkilerin bor stresiyle başa çıkma mekanizmalarının aydınlatılması zor bir görev olmaya devam etmektedir. Örneğin, turunçgil köklerinde bor eksikliğine yanıtta yer alan proteinler, hücre taşınması, biyolojik düzenleme ve sinyal iletimi, stres yanıtları ve diğer (protein, nükleik asit, karbonhidrat ve enerji, hücre duvarı ve hücre iskeleti, lipid) metabolik süreçler. Düşük bor'a kök adaptasyonu, azalmış solunumla ilgili mikroRNA'nın yukarı ve

aşağı regülasyonunu, reaktif oksijen türlerini süpürme yeteneğini geliştirmeyi, hücre taşınmasını artırmayı, yanal kök sayısını artırmayı, iyileştirilmiş ozmoproteksiyonu ve diğer metabolik reaksiyonları içerebilir (Yang, L.T. et al., 2015; Lu, Y.B. et al., 2014). Ek olarak, transkripsiyonel düzeyde düşük bor için adaptif mekanizmalarda kökler ve yapraklar arasında birçok farklılık vardır; sinyal transdüksiyonu ve stres savunmasıyla ilgili farklı şekilde ifade edilen parçaların çoğu sırasıyla köklerde ve yapraklarda aşağı ve yukarı regüle edilir (Lu, Y.B. et al., 2015). Hücre duvarı metabolizması ve transmembran taşınmasında rol oynayan çeşitli genler, narenciyede bor eksikliği altında oldukça düzenlenir. Çok sayıda metabolik yol (lignin biyosentezi, nitrojen metabolizması ve glikolitik yol) stresten etkilenir (Zhou, G.-F. Et al., 2015). Bor alımı ve dağıtımının fizyolojik temeline ilişkin ileri düzey bilgi birikimi, bor noksanlığına ve fazlalığına toleranslı bitkilerin yetiştirilmesini kolaylaştırmalıdır. Bor eksikliğinin indüklediği transkript birikimlerine sahip genler, çeşitli çalışmalarda (Takano, J. Et al., 2006; Kobayashi, M. et al., 2004; Kasajima, I. et al., 2007) ve eksiklik altında normal Arabidopsis kökü büyümesinde rol alan düşük bor (WRKY6) tarafından indüklenen bir transkripsiyon faktör geninin ilk tanımlanmasında (Kasajima, I. et al., 2010) tanımlanmıştır. Bununla birlikte, bu tür suyla uzun süreli sulama, toprak üzerinde zararlı bir etkiye sahip olabilir. Sulama suyunda toprağın sürdürülebilirliğine zarar vermeyen bor eşiği $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 'dir (Vera, A. et al., 2019).

Borik asit yağmurla çözülebilen bir bileşik olduğu için nemli alanlarda doğal olarak bor eksikliği görülür. Çin, kuzeybatı Hindistan, Nepal, Japonya, Bangladeş, Brezilya alanları bor eksikliğiyle tehdit altında olan alanlardır ama dünyada en az 80 ülkede bu eksiklik beklenir.

Bor eksikliğine karşılık toprak bor toksisitesi daha az yaygındır ve genellikle kurak ve yarı kurak alanlarda bulunur. Topraktaki bor oranının fazla olduğu bildirilen ülkeler içerisinde Avustralya, ABD, Rusya, Türkiye, Meksika, İsrail, Irak, Mısır, Suriye, Fas, Ürdün, Libya, Hindistan, Pakistan, Malezya, Peru, Şili, Macaristan, Sırbistan ve İtalya yer alır (Nable, R.O. et al., 1997; Miljkovi'c, N., 1960; Landi, M. et al., 2019).

Topraktaki mikro besinlerin limit değerlerini belirlemek çok zordur. Bu özellikle bor içinde geçerlidir. Dünyadaki tarımsal toprakların büyük bir çoğunluğu

5-30 ppm bor içerir. Bu nötr pH'daki kuru topraklarla hesaplanmıştır (Kloke, A.,1980). Buna rağmen sadece total toprak borunun sadece küçük bir kısmı (%1-3) suda çözülebilir. Bitkiler için besin olarak kullanılabilir. Diğer fraksiyonları (özellikle absorbe edilene, oksit ve organik olarak bağlı, kalıntı bor) belli özel çevresel koşullar altında reaksiyona girerek transforme edilebilir haldedir (Shah, A., 2017; Camacho-Cristóbal, J.J., 2008; Padbhushan, R. and Kumar, D, 2017).

Bor eksikliği ve toksisitesi arasındaki aralık çok dardır. Diğer elementlerden de dardır (Rerkasem, B. et al., 1997). Genel olarak, 0.5 ppm'den daha az sıcak suyla ekstrakte edilebilen bor içeren topraklar yetersiz kabul edilirken, sadece birkaç ppm toksisiteye neden olabilir (Yau, S.K, et al., 1994). Allison'a göre 0.7 ppm optimal kabul edilir. 1,5 ppm'den yüksek miktarlar bazı hassas türler için toksiktir (Alloway, B.J., 1995; Paull, J.G. et al., 1991).

Doğu Nepal, kuzeydoğu Hindistan, kuzeydoğu Bangladeş ve güneybatı Çin'deki yarı cüce varyetelerin yayılımı yeşil devrim esnasında günümüzden 50-60 yıl önce gözlemlendi ve buğdayda bor eksikliğine dikkat çekildi (Rerkasem, B. et al., 2004). Bu eksiklik 130 bitki türünde daha dünyadaki hemen hemen tüm ülkelerde meydana gelmiştir . Shorrocks, V.M., 1997; Sillanpaa, M. et al., 1985; Furlani, Â.M.C. et al., 2003). Buna karşın 1984'e kadar tahıl bitkilerinde bor toksisitesi gözlenmemiştir. Arpa'da (Clipper kültüvarında) Avustralyada yetişen, yüksek toprak boru nedeniyle %17 verimde düşüş gözlemlendi. Arpa'nın gövde ve danesindeki bor konsantrasyonları 96.0 ve 6.6 ppm'di. Karakteristik kahverengi nekrotik lekeler yapraklarda toksisiteyi belirleyen lekeler öncelikle fungusla (*Pyrenohora teves* f.ssp maculata) atfedilmişti. Toksisitenin öncelikle ılıman kurak (>250 mm ve)yarı kurak bölgelerde (>250-450mm çökeltme) (Nable, R.O. et al., 1997; Paull, J.G. et al., 1991) görülmüş olmasına rağmen düşük nemli soğuk alanlarla görülebilmektedir (Mahalakshmi, V. et al., 1985). Bu durumda bitkiler optimal sıcaklık ve su rejimlerine adapte olabilecekleri aynı miktarda elementi alırlar. Buna karşın kök büyümesi soğuk, kurak kışı takiben azaltılmaktadır. Bunun sonucunda bor toksisitesinin gözle görülebilen semptomları bitkilerin hayat değerinin ilk fazlarında çıkmaktadır.

Bor eksikliği genellikle uygun bor gübrelerinin uygulanmasıyla yönetilir. En bilinen uygulama topraktan gübrelemedir. Buna rağmen yaprak uygulamaları ve

tohum primingi (dormansi kırıcı) ile de uygulanabilir. Sayısız zirai bitkinin performansı bor gübreleri kullanarak özellikle verim açısında ve belli bazı fizyolojik parametlerin iyileştirmesi bakımından su idaresi ve klorofil miktarı açısından önemli miktarda iyileştirilebilmektedir. Eksikliği ve toksitesi arasındaki aralığın çok dar olmasıyla her ilave edilen bor dikkatli ilave edilmelidir (Günes, A. vd., 2003; Fujiyama, B.S. et al., 2019).

Bor fazlalığı olan toprakların iyileştirmesi süzme ile farklı ilaveleri ekleyerek ve ya toleranslı bitkileri yetiştirerek gerçekleştirilir. Bor eksik sularla yıkama örneğin; nehir suyu , tuzlu topraklarda başarılı ekimler için uygulanmaktadır (Nable, R.O. et al., 1997; Reeve, R.C. et al., 1955; Dhassi, K. et al., 2019). Bor ve diğer elementler olan Ca, S, Zn, Si, ve Al gibi elementlerle arasındaki ilişki hem toprağı iyileştirmek ve ya bitkilerin toksik etkilerini iyileştirmek için kullanılmaktadır (Hossain, A.K.M.Z. et al., 2005; Turan, M.A. et al., 2009). Çeşitli bitki büyüme regülatörleri gibi organik maddeler fazla boru uzaklaştırmak için uygulanır (El-Feky, S.S. et al., 2012; Esteban, V. et al., 2016).

1.9 Domatesin Önemi, Üretimi ve Ülkemizdeki Yeri

Ülkemiz ekonomisinde çok önemli bir yeri olan domates, yetiştirme yapılan bölgelerde çiftçimizin önemli gelir kaynaklarından birisini oluşturmaktadır. Özellikle Marmara, Akdeniz ve bölgemiz olan Ege’de büyük boyutlarda domates yetiştirilmektedir. Ülkemizin iklim şartlarının bu sebzenin yetiştirilmesi için çok uygun oluşu bu sebzeyi işleyecek bir sanayinin 1970’li yıllardan itibaren hızla kurulmuş bulunması, bu sebzeyle olan yönelmeyi hızlandırmış ve ülkemiz domates üretiminde dünya ülkeleri arasında alt sıralardan hızla üst sıralara tırmanarak Amerika ve İtalya gibi üretim devlerinin arasına girmeyi başarmıştır. C vitamini, potasyum, folat ve K vitamini kaynağı olan domatesin sofraların vazgeçilmezi oluşu üretiminin önemini arttırmaktadır.

İtalyan domatesi (*Solanum lycopersicum*) ile yapılan çalışmalarda borun (0.0, 2.0, 4.0 g/fide) toprak uygulamalarında ve kalsiyum uygulamasında (uygulama yok, haftalık, iki haftada bir) çiçeklenme üzerine agronomik performans üzerine ve çiçeklerin verimi üzerine iki büyüme mevsimi (ilkbahar - yaz ve yaz - sonbahar) boyunca etkileri değerlendirilmiştir. İlkbahar-yaz büyüme mevsiminin sonbahar-

yaz büyüme mevsimine göre daha verimli olduğu görülmüştür. Ayrıca iki haftada bir uygulanan %0.6 CaCl₂ uygulamasının bitki başına meyve sayısında bir artış gösterdiği ve verimi arttırdığı saptanmıştır.

Domates birkaç coğrafik enlemde farklı dikim sistemleriyle kültüre alınabilmektedir (Shirahige et al., 2010). Brezilya’da domates için toplam kültür altına alınan alan 55 bin hektar olarak tespit edilmiştir. Sosyoekonomik ilişkiler (Schwarz et al., 2013), besinsel faktörleri tüketimin artması nedeniyle en önemli besindir. İtalyan domatesi lezzeti ve mutfaktaki büyük kullanılabilirliği nedeniyle oldukça kalitelidir. Çok sayıdaki kompleks faktörler ve biyokimyasal yollar domates verimini etkileyebilir; örneğin Ca eksikliği çiçeklenmeye ve çürümeye yol açar ki bu da yetiştiriciler için kaçınılması gereken bir kayıp sebebidir. Ca hücre dokularında immobildir. Bu nedenle meyvenin büyümesi için belirli bir miktara gereksinim vardır. Çok düşük taşınım hızı nedeni ile kalsiyum eksikliğinin en karakteristik semptomu olgun olmayan meyvelerin apikal kısmındaki dokularda bir gevşektir. Bu da kendini açık kahverengi düzensiz yumuşak lekeler şeklinde gösterir. Bunlar daha sonra meyve büyüdükçe daha koyulaşır. Ca eksikliği meyveyi içsel olarak kahverengileşmesiyle de görülebilir (Bresolin et al., 2010). Kalsiyum meyveler tarafından absorpsiyon ve taşınımına bağlı olarak bitkinin genetik yapısı da çiçeklerin ve çürümenin belirmesinde rol oynar (Greenleaf and Adams, 1969). Bazı kültürler ve ya hibritler kalsiyumca eksik ortamlarda daha iyi iş görür. Bu nedenle hangi kültürün ekileceğine dikkatli karar vermek gerekmektedir. Yapraklardan uygulanan kalsiyum floem ile yeni dokulara taşınır ve akış metabolik aktiviteye bağlıdır (Dechen and Nachtigall, 2007). Ca eksiklikleri bor eksiklikleri ile bağlantılı olarak çalışılmaktadır. Çünkü bu elementlerin benzerlikleri hücre duvarı fonksiyonları ile ilişkilidir. Yamauchi et al. (1986)’e göre bor yokluğu domates yapraklarının hücre duvarındaki pektinin kalsiyum miktarında bir düşüşe yol açar. Bor eksiklikleri koyu lezyonlar ve bölünmelere sebebiyet verir. Bunun sonucunda da domates veriminde azalma görülür (Malavolta et al., 1989). Bununla birlikte bor eksiklikleri çiçeklenmeyi ve polinasyonu azaltır. Çünkü bor karbonhidrat metabolizmasında translokasyonda regülatör olarak yer alır. (Silva and Faria, 2004).

Güney Brezilyada domatesler geleneksel olarak iklim koşullarının daha uygun olduğu ilkbahar mevsiminde büyütülür ve bu sebzenin yüksek fiyatlarına sonbahar mevsiminde rastlanır. Çünkü düşük sıcaklık ve daha az güneş ışığı gibi kültüründeki büyük zorluklarından dolayı fiyatlar yükselmektedir.

Yenidünya kökenli bir bitki olan domates dört yüz yıl içinde tüm dünyaya yayılmış ve en fazla yetiştirilen yaş sebze hâline gelmiştir. Türkiye, domateste dünyada en fazla üretim yapan dördüncü, en çok sofralık taze domates ihracatı yapan beşinci ve en fazla salça ihraç eden üçüncü ülke konumundadır. Açıkta ve örtüaltında üretilen, yerde ve sırik formunda askıda yetiştirilebilen, taze ve işlenmiş olarak pazarlanabilen domateste büyük bir çeşit zenginliği mevcuttur. Son elli yıl içinde domates üretimimiz büyük bir değişim yaşamış, kabuk değiştirerek modern bir görünüm kazanmıştır. Üretimin üçte ikisi sofralık olarak satılmakta, üçte biri salçaya işlenmektedir. Domateste sera tarımı oldukça büyümüş ve örtüaltı tarımı sofralık üretimin %40'ını karşılar hâle gelmiştir. Mevcut üretimimiz iç tüketim gereksinmesinin %15 kadar üzerindedir. Aradaki fark taze veya işlenmiş olarak ihraç edilmektedir. İyi bir strateji ile hem sofralık hem de işlenmiş domates ihracatını geliştirmek mümkün görünmektedir. Bunun için ürün kalitesinin yükseltilmesi ve ayrıca gıda güvenliği kavramı içinde izlenebilir üretim modellerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Domates dünyada en fazla yetiştirilen sebzelerin başında gelmektedir. FAO verilerine göre 1,1 milyar ton olan toplam sebze üretiminde domates 162 milyon ton ile %15'lik paya sahiptir. Türkiye'de ise 12,6 milyon tona ulaşan üretimi ile toplam sebze üretimindeki payı %40'ı geçmiştir (Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, 2020). Yüksek adaptasyon yeteneği, açıkta tarımının yanında örtüaltı yetiştiriciliğine de yatkınlığı, ayrıca çeşitli biçimlerdeki işleme endüstrisine elverişliliği gibi nedenlerle Ekvator'dan güney ve kuzey yarım kürenin uç noktalarına kadar her yerde üretilmekte ve tüketilmektedir. En yoğun yetiştirildiği ve en çok tüketildiği bölgelerden birisi, Türkiye'nin de içinde yer aldığı Akdeniz Havzası'dır. Peralta ve Spooner'a (2007) göre bu bölgede kişi başına yıllık domates tüketimi 60-70 kg'ı bulmakta; Yunanistan, Libya, Mısır gibi bazı ülkelerde 100 kg'ı da geçmektedir. Türkiye'de ise kişi başına domates tüketimi miktarı 115 kg/yıl civarındadır (Yanmaz ve ark 2015). Yüksek düzeyde A, E ve C vitaminleri ile başta potasyum olmak üzere birçok mineral madde ve bitkisel lif zenginliğinin yanında içerdiği

likopen, betakaroten ve flavonoidler ile diğer fenolik bileşikler domatesin sağlık açısından değerini arttırmakta, birçok hastalığa karşı koruyucu özelliklere sahip kılmaktadır. Türkiye, domates üretiminde Çin, Hindistan ve ABD'den sonra dördüncü sırayı almaktadır. 1960'ların başında 1 milyon ton olan üretim miktarı yaklaşık olarak her on yılda bir ikiye katlanarak 1990'larda 6 milyon tona yükselmiş, 2010'da 10 milyon tona ve 2015'te de 12,6 milyon tona çıkmıştır. Bu zaman dilimi içinde dünyadaki toplam üretim miktarı yaklaşık 6 kez artarken Türkiye'deki artış 11 kez olmuş; ekiliş alanları dünyada 3 katına çıkarken Türkiye'de 6 katına çıkmıştır. Üretimdeki artışın yarısı ekim alanlarından gelirken yarısı da verim artışından kaynaklanmıştır. Verim artışının ortaya çıkmasında sulama, gübreleme gibi kültürel işlemlerin iyileşmesi önemli rol oynamıştır. Fakat verimdeki artışlar esas olarak nitelikli çeşit ve tohumluk kullanımı ile örtüaltı tarımının yaygınlaşmasından kaynaklanmıştır.

Domates, dünyada en çok üretilen, tüketilen ve ticarete konu olan tarım ürünlerinin başında gelmesi, insan beslenmesinde vazgeçilmez ürünlerden olması ve gıda sanayinde dondurulmuş, konserve, salça, ketçap, turşu gibi çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olması nedeniyle önemli sebzelerin başında gelmektedir. FAO 2017 verilerine göre, 1,1 milyar ton olan dünya yaş sebze üretiminde domates 182 milyon ton ile %16'lık paya sahiptir. Dünya domates üretiminde 2017 yılı itibarıyla 59,6 milyon tonluk üretim ile Çin ilk sırada, 20,7 milyon tonluk üretimi ile Hindistan ikinci, Türkiye 12,75 milyon ton ile üçüncü ve 12,6 milyon tonluk üretimi ile ABD dördüncü sırada yer almaktadır. Dünyada lider konumda olan Çin, toplam dünya domates üretiminin %32'lik kısmını karşılamaktadır. UN-Comtrade'in 2018 yılı verilerine göre dünya domates ihracatında Meksika birinci sırada yer alırken Hollanda ikinci, İspanya ise üçüncü sırada yer almaktadır. Beşinci sırada yer alan Türkiye'nin 2018 yılında ihracattaki payı ise 525 bin tondan %1 artarak 530 bin tona yükselmiştir. Domates ithalatında ise 1,8 milyon ton ithalat miktarı ile ABD dünya ithalat miktarında tek başına %25,4' lük bir pay ile birinci sırada yer alırken, 731 bin tonluk ithalatıyla Almanya ikinci sırada, 577 bin tonluk ithalatıyla Rusya ise üçüncü sırada yer almıştır. Türkiye'nin ithalatı ise önceki yıla oranla %88 artarak 553 tondan 1041 tona yükselmiştir. Domates ithalat miktarında dünya sıralamasında önemli bir yer almayan Türkiye ihracat miktarındaki payı ile dünyada beşinci sırada yer almaktadır.

Bugün Türkiye üretim miktarı ve ürün kalitesi ile pek çok ülkeyi geride bırakmıştır. SC2121 açık tarla yetiştiriciliğine uygun, sofralık kalitesi yüksek, ince kabuklu, meyveleri ortalama 7 cm çapında ve erkenci bir domatesi çeşididir. Adaptasyon kabiliyeti oldukça iyidir. Hastalıklara dayanıklılığının ve veriminin artırılmasının önemi sofralarımızı doğrudan etkileyecek ve ticari verimi arttıracak önemli etkidir. Bu çalışmanın amacı CaCO_3 ve B fazlalığının etkileri bir C_3 bitkisi olan domateste (SC2121), büyüme parametrelerine olan etkisi ve C_4 fotosentetik aktivitesi yönünden değerlendirilmiştir.



2 MATERYAL ve METHOD

2.1 Bitki Temini

Domates (*Lycopersicon esculentum* cv. SC2121) tohumu Menemen Ziraat Araştırma Merkezinden temin edilmiştir.

2.2 Çimlenme Yüzdesi Hesaplanması

Toplamda 20 saksı içeresine 1 kontrol ve 4 farklı deneme grubu olmak üzere perlit ile doldurularak her bir saksının içeresine 1 gece öncesinden akan musluk suyu içerisinde ön çimlendirmesi yapılan yaklaşık 20şer tohum ekilerek her gün 100 ml iyi içme suyu ile 5 gün boyunca sulandı. Çimlenen bitkilerin yüzde değerleri saptanmıştır.

2.3 Bitkilerin Büyüme Parametreleri

Denemede katı ortam olarak perlit ile hazırlanan harç kullanılmıştır. Çapı 16,5 cm ve derinliği 19 cm olan 3 litrelik saksılara 770 g mutlak kuru harç konulmuştur. İyi bir drenaj için saksıların dibi delinmiştir.

Besin çözeltisine 0-5 ve 15 mg l⁻¹ Borik asit (H₃BO₃) ve 0 – 200 ve 600 mg l⁻¹ Kalsiyum (Ca⁺²) dozları ayrı ayrı ve birlikte uygulanmıştır. Deneme 3x4 faktöriyel desene göre 3 tekrarlı olarak kurulmuştur.

2.4 Hoagland Solüsyonu Hazırlanması

Besin çözeltisinin makro ve mikro element içeriği Hoagland ve Arnon (1950)'a göre hazırlanmıştır. Kullanılan besin çözeltisinde makro ve mikro besin element içeriği aşağıda verilmiştir:

11.1 mM nitrat (NO₃⁻); 0.87 mM dihidrojen fosfat (H₂PO₄⁻); 6.37 mM potasyum (K⁺); 2.8 mM kalsiyum (Ca⁺²); 1.71 mM magnezyum (Mg⁺²); 1.71 mM sülfat (SO₄⁻²); 2.5 mg/L demir (Fe); 0.5 mg/L mangan (Mn); 0.5 mg/L bor (B); 0.02 mg/L bakır (Cu); 0.05 mg/L çinko (Zn); 0.01 mg/L molibden (Mo)'dir.

Bu besin çözeltisini hazırlamak için kalsiyum nitrat tetrahidrat (Ca(NO₃)₂.4H₂O), potasyum dihidrojen fosfat (KH₂PO₄), potasyum nitrat (KNO₃), magnezyum sülfat heptahidrat (MgSO₄.7H₂O), mangan klorür dihidrat

(MnCl₂.2H₂O), borik asit (H₃BO₃), çinko sülfat heptahidrat (ZnSO₄.7H₂O), bakır sülfat pentahidrat CuSO₄.5H₂O, amonyum molibdat tetrahidrat (NH₄)₆Mo₇O₂₇.4H₂O, Ethylene diamine di-2- hydroxyphenyl acetate (Fe-EDDHA) kullanılmıştır.

Tablo.2.1 Hoagland besin çözeltisinin formülü	
STOK ÇÖZELTİ	Kullanma çözeltisi, ml/l
1. Çözelti	
1M Potasyum dihidrojen fosfat	1.0
1M Potasyum nitrat	5.0
1M Kalsiyum nitrat	5.0
1M Magnezyum sülfat	2.0
2. Çözelti	
1M Amonyum dihidrojen fosfat	1.0
1M Potasyum nitrat	6.0
1M Kalsiyum nitrat	4.0
1M Magnezyum sülfat	2.0
MİKROELEMENT STOK ÇÖZELTİSİ	g/lt
Borik asit (H ₃ BO ₃)	2.86
Mangan klorit (MnCl ₂ .4H ₂ O)	1.81
Çinko sülfat (ZnSO ₄ .5H ₂ O)	0.22
Molibdat asit (H ₂ MoO ₄ .H ₂ O)	0.02
Bakır sülfat (CuSO ₄ .5H ₂ O)	0.08
Demir çözeltisi	1 ml/lt Besin
1. Çözelti için	
% 0.5 Demir Amonyum Sitrat	1 ml/l
2. Çözelti için	
% 0.5 Fe-Klevt	2 ml/l

Tablo.2.2 Besin çözeltilisindeki makro ve mikro bitki besinlerinin iyonik formları ve normal konsantrasyon oranları

ELEMENT	İYONİK FORM	ÇÖZELTİDEKİ KONSANTRASYON (mg/l, ppm)
Makroelementler		
N	NO ₃ yada NH ₄	100-200
P	HPO ₄ ⁻² yada H ₂ PO ₄ ^{-1*}	30-50
K	K ⁺	100-200
Ca	Ca ⁺²	100-200
Mg	Mg ⁺²	30-70
Mikroelementler		
B	H ₃ BO ₃ yada BO ₃ ^{-3**}	0.2-0.4
Cl	Cl ⁻¹	5.0
Cu	Cu ⁺²	0.01-0.1
Fe	Fe ⁺² yada Fe ⁺³	2-12
Mn	Mn ⁺²	0.5-2.0
Mo	MoO ₄ ⁻²	0.05-0.2
Zn	Zn ⁺²	0.05-0.10

* Besin Çözeltilisinin pH' ına Bağlı **Besin Çözeltilerinde B' un Daha Çok Moleküler H₃BO₃ Formunda Olması İstenir.

2.5 Kök Gövde Boylarının ve Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Ölçülmesi

Farklı deneme grubunda her birinden 5 er saksı olmak üzere besin solüsyonuyla sulanarak yetiştirilen on günlük bitkilerin kök ve gövde boyları, kuru ve yaş ağırlıkları ölçülerek istatistik değerlendirmeleri yapılmıştır.

Deneme sonunda elde edilen veri kümesi varyans analizi ve LSD testi (P<0.05) yapılarak değerlendirilmiştir (Wade C.Driscoll, 1996).

2.6 Hormon Analizleri

Hoagland kombinasyonlarıyla sulanmış bitkilerin her bir grubundan 10.günde hormon analizleri için 15 g yaprak örnekleri alındı. İnternal hormonların ekstraksiyonunda Yürekli (1980)'ye göre modifiye edilmiş Scott ve Jacops (1964)'un yöntemi kullanılarak içsel indol-3-asetik asit (IAA) ve absisik asit (ABA) miktarları tayin edildi. Bu hormonların eldesinde Nitsch ve Nitsch (1955) yöntemi uygulandı. Kantitatif ölçümler IAA için Yürekli (1980) tarafından modifiye edilmiş Fletcher and Zalik (1963)'e göre ve ABA değerleri Yürekli (1980) tarafından modifiye edilmiş Milborrow (1970)'a göre spektrofotometrik olarak tayin edildi.

2.7 PEP Karboksilaz Analizleri

10.günde enzim denemeleri için ilk çıkan yaprakçıklar (yaklaşık 0.1'er gr) hasat edildi. Kalan kısımlar 21 gün boyunca tekrar sulanmaya devam edildi. Fosfoenolpiruvat karboksilaz enzimlerinin Microplate yöntemiyle PEP carboxylase kiti ile spektrofotometrede ölçülmüştür.

2.8 Anatomik kesitlerin alınması

Hoagland solüsyonuyla sulanmış bitkilerden 21.gün sonunda anatomik kesit almak üzere hasat edilen örnekler %70lik etil alkol çözeltisine alındı.

3 BULGULAR

3.1 Enzim sonuçları

Toplamda 20 saksı içerisinde 1 kontrol ve 4 farklı deneme grubu olmak üzere perlit ile doldurularak her bir saksının içerisinde 1 gece öncesinden akan musluk suyu içerisinde ön çimlendirmesi yapılan yaklaşık 20şer tohum ekilerek her gün 100 ml iyi içme suyu ile 5 gün boyunca sulandı. 5. Günden sonra saksılar gruplara ayrılarak 100er ml her bir saksıya olmak üzere hoagland besin solüsyonu (gruplara göre farklı ilaveli) ile sulanmaya devam edildi. 10.günde enzim denemeleri için ilk çıkan yaprakçıklar (yaklaşık 0.1'er gr) hasat edildi. Kalan kısımlar 21 gün boyunca tekrar sulanmaya devam edildi. Microplate yöntemiyle spektrofotometrede yapmış olduğumuz fosfoenolpiruvat karboksilaz enzimlerinin ölçüm sonuçları aşağıda verilmektedir.

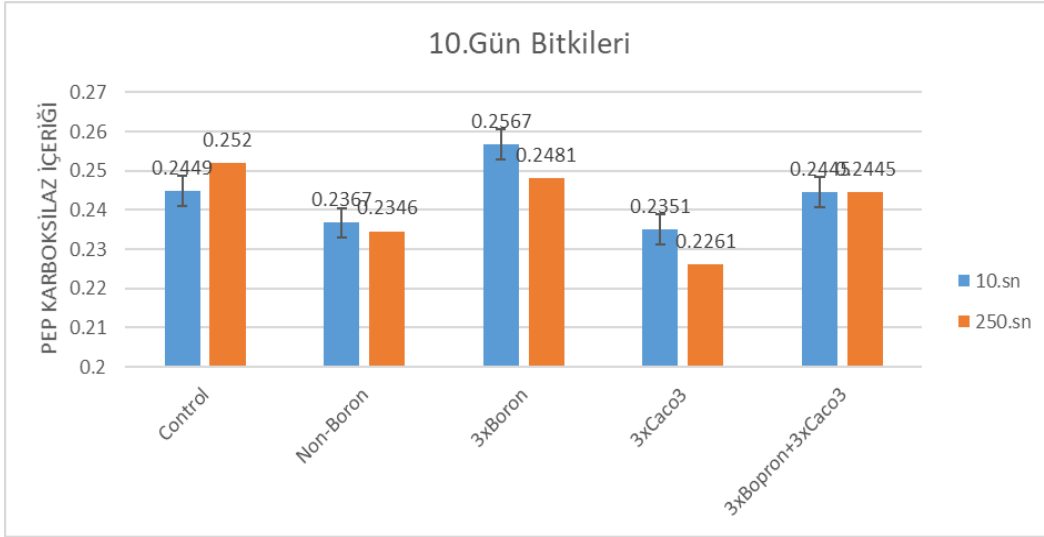
3.1.1 Enzim Microplate Ölçümleri

10. gün toplanan bitkiden

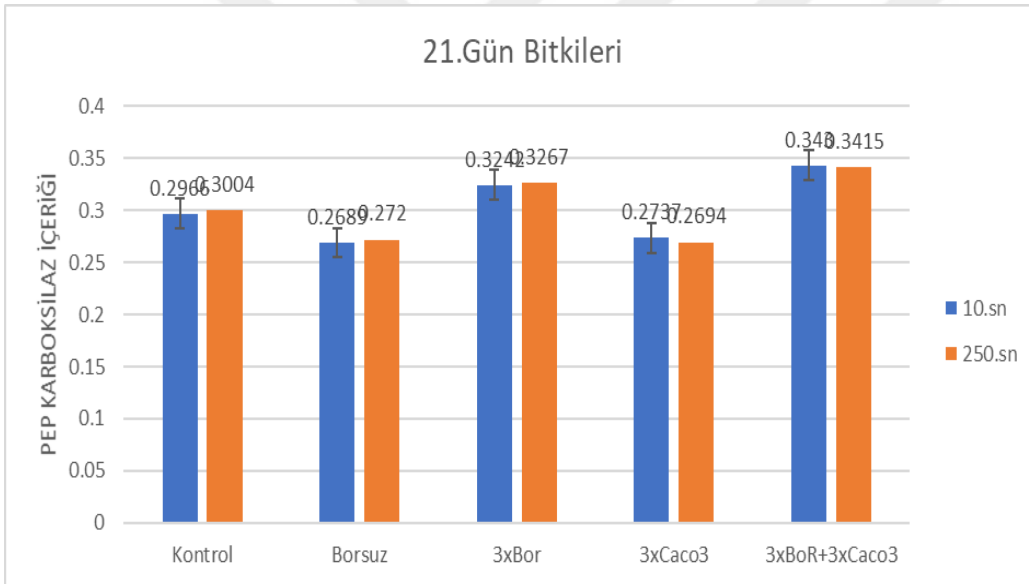
	10.sn	250.sn
F1-	0,2449	0,2520
F2 –	0,2367	0,2346
F3-	0,2567	0,2481
F4-	0,2351	0,2261
F5-	0,2445	0,2445

21.gün toplanan

	10.sn	250.sn
H1-	0,2966	0,3004
H2-	0,2689	0,2720
H3-	0,3242	0,3267
H4-	0,2737	0,2694
H5 –	0,3430	0,3415



Çizelge 3.1 Farklı ortamlarda yetiştirilen ve 10.Gün hasat edilen bitkilerin 10 ve 250. sn de mikroplate PEP karboksilaz enzim içerikleri.



Çizelge 3.2 Farklı ortamlarda yetiştirilen ve 21.Gün hasat edilen bitkilerin 10 ve 250. sn de mikroplate PEP karboksilaz enzim içerikleri.

3.2 Hormon Sonuçları

Farklı Hoagland kombinasyonlarıyla sulanmış bitkilerin her bir grubundan 10.günde hormon analizleri için yaprak örnekleri alındı. Yapılan spektrofotometrik ölçümler sonucunda elde edilen değerler aşağıda verilmektedir:

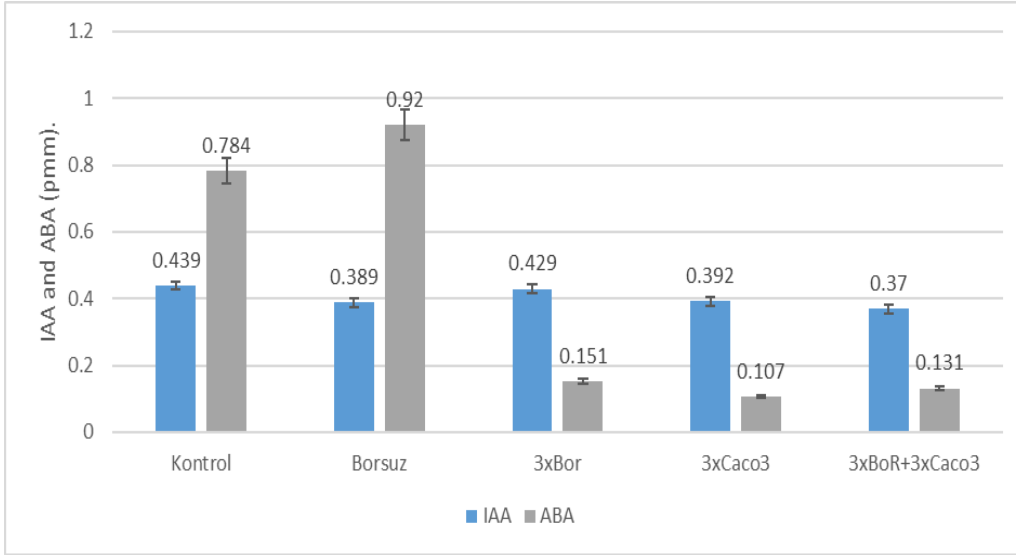
3.3 Hormon Ölçümleri

IAA-> 224		ABA-> 263 (Evolution 60 Thermosciencific)	
IAA		ABA	
(100x) 1A	0,398	1A	0,778
(100x) 1B	0,480	1B	0,791
(100x) 2A	0,382	2A	0,932
(100x) 2B	0,397	2B	0,909
(100x) 3A	0,419	(100x) 3A	0,165
(100x) 3B	0,439	(100x) 3B	0,138
(100x) 4A	0,460	(100x) 4A	0,108
(100x) 4B	0,324	(100x) 4B	0,106
(100x) 5A	0,383	(100x) 5A	0,125
(100x) 5B	0,358	(100x) 5B	0,137

Uygulama	Hormon	
	IAA	ABA
Kontrol	0.439±0.041	0.784±0.006 ^{bcd}
Borsuz	0.389±0.007	0.920±0.011 ^{acde}
3katı Bor	0.429±0.010	0.151±0.013 ^{abd}
3katı CaCO ₃	0.392±0.068	0.107±0.001 ^{abce}
3katıBor+3katı CaCO ₃	0.370±0.012	0.131±0.006 ^{abd}

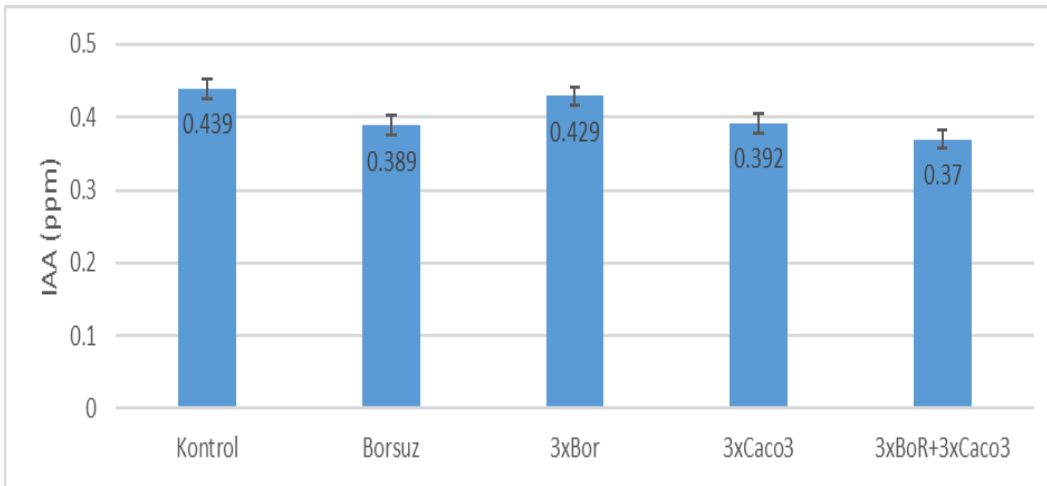
Tablo 3.1 Hormon ölçümlerinin istatistiki sonuçları

“a” ve kontrol grubu, “b” ve Borsuz, “c” ve x3 Bor grubu, “d” ve x3 CaCO₃, “e” ve x3 Bor+x3 CaCO₃ grubu istatistiki açıdan anlamlıdır (p≤0.05).

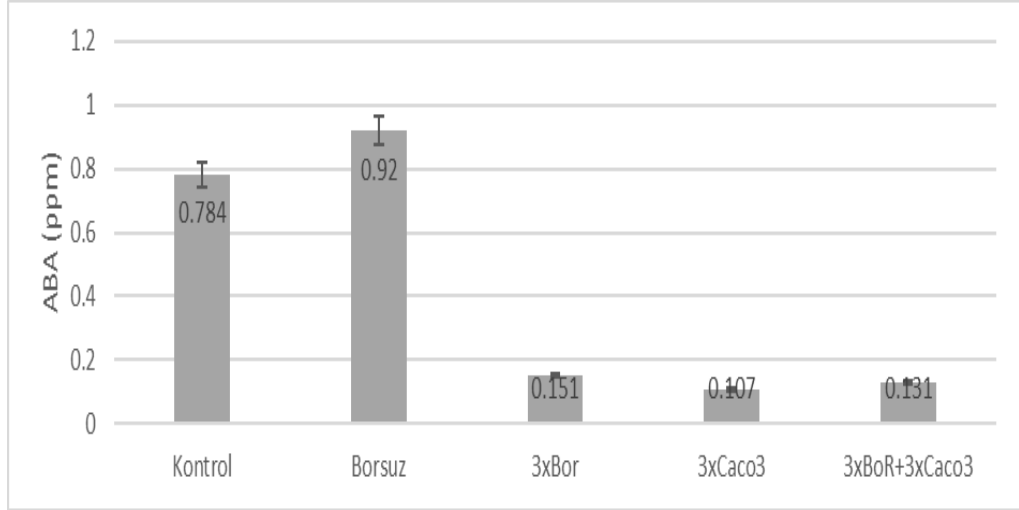


Çizelge 3.3 Farklı uygulamalar yapılmış ortamlarda yetişen *Lycopersicon esculantum* bitkisindeki ABA ve IAA içeriği

Tüm gruplar arasında IAA değerlerinde önemli bir fark gözlenmezken, ABA değerleri 3 katı Bor, 3 katı CaCO₃ ve 3katı Bor+ 3katı CaCO₃ uygulanmış gruplarda, kontrol ve borsuz gruba göre çarpıcı bir şekilde düşüş göstermiştir. Sonuçlar nm olarak birim değerindedir.



Çizelge 3.4 Farklı hoagland kombinasyonlarıyla sulanmış *Lycopersicon esculantum* sp bitkilerin IAA içeriği.



Çizelge 3.5 Farklı hoagland kombinasyonlarıyla sulanmış *Lycopersicon esculantum* sp bitkilerin ABA içeriği

Lycopersicon esculantum sp.'nin farklı uygulama gruplarındaki ABA içeriği. Kontrol ve Borsuz gruplara göre diğer uygulama grupları ortalama %83,45 ABA içeriğinde düşüş göstermiştir.

3.4 Bitkilerin Büyüme Parametreleri

Hoagland solüsyonu ile sulanarak büyütülen fidelerin hepsi 30. Günde hasat edildi. Beş grup halinde kontrol grubu, bor eklenmemiş Hoagland, 3 katı bor eklenmiş Hoagland, 3 katı kalsiyum eklenmiş Hoagland ve 3 katı bor ve kalsiyum birlikte eklenmiş Hoagland grupları ayrı ayrı değerlendirilerek buradan elde edilen bitkilerin kök ve gövde boyları ölçüldü, kuru ve yaş ağırlıkları ayrı ayrı saptandı. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir:

GRUP 1 - KONTROL					
BOY (cm)		YAŞ AĞIRLIK (g)		KURU AĞIRLIK (g)	
KÖK	GÖVDE	KÖK	GÖVDE	KÖK	GÖVDE
3,9	9	0,0076	0,1882	0,0009	0,01
1,6	2	0,0005	0,0245	0,0003	0,0017
8,2	8,8	0,0076	0,1653	0,0017	0,0086
3,9	4,8	0,0041	0,1066	0,0002	0,005
4,6	10	0,0041	0,1862	0,0007	0,0097
3,8	8,6	0,0022	0,1329	0,0002	0,0066
2	10,8	0,0024	0,211	0,0009	0,0097
2,5	16	0,0042	0,4805	0,0008	0,0228

7,7	15,5	0,0168	0,4725	0,0038	0,0244
4	11,5	0,0068	0,3002	0,0011	0,0153
1	2	0,0022	0,0414	0,0002	0,0014
3,2	16,5	0,0078	0,4605	0,001	0,0211
5,2	8	0,005	0,1357	0,0027	0,0088
5,6	17,8	0,0064	0,401	0,0042	0,0244
7	14,1	0,0051	0,2932	0,0039	0,0203
3,5	14,5	0,0062	0,2825	0,0032	0,019
5,9	8,7	0,0032	0,1215	0,0028	0,0099
11,8	21	0,0131	0,5725	0,0058	0,0348
7,2	17,4	0,0138	0,4932	0,0057	0,0346
5,7	13,5	0,0099	0,3824	0,0052	0,0257
4,6	6	0,002	0,0959	0,0017	0,0086
2,6	10,9	0,0083	0,1795	0,0021	0,0146
7,1	9,9	0,0038	0,1662	0,0021	0,0116
5,2	9,9	0,0035	0,1651	0,0036	0,0136
4	6,9	0,0034	0,0928	0,0016	0,008
7,6	10,8	0,0048	0,1582	0,0037	0,0123
3,2	10,7	0,0025	0,166	0,0017	0,013
4,4	10,7	0,0146	0,306	0,0025	0,0214
5,5	11,2	0,0072	0,224	0,0014	0,012
3,2	4	0,0055	0,0883	0,002	0,0051
5,5	11,3	0,0069	0,2522	0,0023	0,0163
4,3	17,5	0,009	0,4232	0,0033	0,0225
9,2	23	0,0151	0,829	0,0048	0,0408
9,1	12,3	0,013	0,2838	0,0031	0,0172
6,1	12,7	0,0119	0,2627	0,0024	0,0163
6,5	12	0,013	0,202	0,0016	0,0146
9,5	16,2	0,015	0,4844	0,0052	0,031
6,2	13	0,0054	0,3188	0,0025	0,0217
8,8	11,3	0,0043	0,2239	0,0028	0,0163
4,9	14	0,0084	0,3965	0,0031	0,0238
1,6	2,7	0,0048	0,0524	0,0009	0,0044
1,2	7	0,0023	0,0845	0,0008	0,006
5	14,7	0,0072	0,4275	0,0018	0,0175

Tablo 3.2 Grup 1 domates bitkisinin farklı yetiştirme gruplarındaki domates fidelerinin kök ve gövde boyları, kuru ve yaş ağırlıkları

GRUP 2 – BORSUZ					
BOY (cm)		YAŞ AĞIRLIK (g)		KURU AĞIRLIK (g)	
KÖK	GÖVDE	KÖK	GÖVDE	KÖK	GÖVDE
4.8	7.2	0.0056	0.1575	0.0012	0.0098
8.6	6.3	0.0043	0.0803	0.0026	0.0048
5.6	11.9	0.0032	0.2258	0.001	0.0138
6	6.5	0.0028	0.151	0.0012	0.0102
4.7	6.2	0.0111	0.1591	0.002	0.0105
5.5	11.3	0.0163	0.2813	0.0038	0.0169
4.6	8	0.0046	0.1966	0.0011	0.0125
8.4	8.5	0.012	0.1911	0.0031	0.0126
5.3	7.3	0.0082	0.2031	0.0013	0.0125
5.6	11	0.0083	0.2281	0.0017	0.0132
5.7	13.4	0.0234	0.4072	0.0034	0.025
7.3	12.5	0.017	0.2937	0.0032	0.0176
4.1	5.9	0.0055	0.1238	0.0016	0.0072
6	9.2	0.0062	0.1977	0.0017	0.0131
5.4	10.5	0.0033	0.201	0.001	0.0126
4.6	8.4	0.0042	0.162	0.0006	0.0098
2	14.6	0.0023	0.377	0.0004	0.0217
11	14.2	0.0073	0.2944	0.0019	0.0137
3.8	6.4	0.0016	0.0981	0.0004	0.0048
1.6	13.5	0.007	0.3296	0.001	0.0174
8.6	12.6	0.0115	0.3075	0.0024	0.0157
7.1	13.5	0.0055	0.3097	0.0015	0.0176
5.5	9.8	0.0022	0.1557	0.0016	0.0088
4.1	10.8	0.0029	0.189	0.0016	0.0105
3.6	8.6	0.003	0.1151	0.0007	0.0078
7.7	12.5	0.0087	0.3048	0.0026	0.019
7.5	12.6	0.0124	0.289	0.0046	0.0145
9.6	12.7	0.0048	0.2596	0.001	0.0143
3.4	13.1	0.0049	0.3046	0.0012	0.0164
10	19	0.0075	0.6203	0.0024	0.0312
4.6	12.6	0.0065	0.2865	0.0022	0.0182
8.6	12	0.0104	0.4205	0.0034	0.0233
2.1	18.5	0.004	0.49	0.001	0.028
7.6	16.5	0.106	0.4906	0.0048	0.03

Tablo 3.3 Grup 2 domates bitkisinin farklı yetiştirme gruplarındaki domates fidelerinin kök ve gövde boyları, kuru ve yaş ağırlıkları

GRUP 3- X3 BOR					
BOY (cm)		YAŞ AĞIRLIK (g)		KURU AĞIRLIK (g)	
KÖK	GÖVDE	KÖK	GÖVDE	KÖK	GÖVDE
7.5	11.7	0.0059	0.2667	0.0011	0.0152
3.5	4.4	0.0021	0.1327	0.0006	0.0076
2.8	4.8	0.0003	0.0592	0.0002	0.0031
4.3	4.5	0.022	0.8	0.0002	0.0048
4.2	8	0.0012	0.1157	0.0001	0.0075
5	4.5	0.0023	0.0692	0.0005	0.0031
2.5	8.3	0.0032	0.1708	0.0004	0.01
7.5	8.3	0.0024	0.1645	0.0003	0.01
4.7	7.5	0.0028	0.154	0.0001	0.0105
4.2	8	0.0043	0.1433	0.0002	0.0085
3.5	6.8	0.0031	0.1255	0.0001	0.007
5.6	8.4	0.0021	0.1663	0.0004	0.0088
5.5	12	0.006	0.3057	0.001	0.0183
9	16.2	0.017	0.6123	0.0032	0.0338
4.5	5.5	0.0022	0.0861	0.0002	0.0063
6	9	0.003	0.1287	0.0012	0.0063
3.5	8.5	0.0018	0.1142	0.0005	0.0057
7.7	9	0.0143	0.222	0.002	0.0126
8	9.5	0.0058	0.2066	0.0014	0.0105

Tablo 3.4 Grup 3 domates bitkisinin farklı yetiştirme gruplarındaki domates fidelerinin kök ve gövde boyları, kuru ve yaş ağırlıkları

GRUP 4- X3 CaCO₃					
BOY (cm)		YAŞ AĞIRLIK (g)		KURU AĞIRLIK (g)	
KÖK	GÖVDE	KÖK	GÖVDE	KÖK	GÖVDE
1.2	4.8	0.0019	0.0952	0.0006	0.0061
9.8	10.5	0.0028	0.2488	0.0014	0.0133
2	4	0.0019	0.0946	0.0007	0.0056
1	4.5	0.0049	0.0838	0.0005	0.0051
7.1	15.5	0.0051	0.4111	0.002	0.0223
6.5	10	0.0055	0.2218	0.0015	0.0116
10	11	0.0048	0.2281	0.002	0.0136
2.8	9.7	0.0016	0.2155	0.0001	0.0116
7.3	9.2	0.0065	0.188	0.0017	0.0107
2.4	6.8	0.0061	0.1377	0.0009	0.0077
1.4	5.9	0.0012	0.1141	0.0004	0.0065
5	5.2	0.0043	0.0979	0.0002	0.0056

2.4	4.6	0.0038	0.0732	0.0003	0.004
1.9	4	0.0076	0.0979	0.0015	0.0051
2.3	6.4	0.0021	0.137	0.0003	0.0078
4	5	0.0048	0.135	0.0001	0.007
4.3	7	0.001	0.1162	0.0002	0.0072
2.6	7.6	0.0022	0.1333	0.0002	0.0079
1.5	5.8	0.0051	0.1375	0.0008	0.0089
2.3	8.3	0.0047	0.1305	0.0004	0.008
1.5	9.5	0.002	0.1611	0.0003	0.0097
6.7	7.7	0.0039	0.1711	0.0017	0.0098
2.8	11	0.0025	0.2354	0.0001	0.0124
9.4	11.4	0.0045	0.2533	0.0011	0.0138
1.7	6.4	0.002	0.1035	0.0002	0.0064
3.7	9.5	0.0042	0.175	0.0007	0.0097
3.2	8	0.0083	0.2254	0.0007	0.013
9.5	11.5	0.0087	0.2894	0.0016	0.015

Tablo 3.5 Grup 4 domates bitkisinin farklı yetiştirme gruplarındaki domates fidelerinin kök ve gövde boyları, kuru ve yaş ağırlıkları

GRUP 5- X3 BOR + X3 CaCO3					
BOY (cm)		YAŞ AĞIRLIK (g)		KURU AĞIRLIK (g)	
KÖK	GÖVDE	KÖK	GÖVDE	KÖK	GÖVDE
4.5	10.6	0.004	0.2121	0.0027	0.0139
9.2	13.5	0.0071	0.312	0.0029	0.0184
6.1	13.5	0.0087	0.4534	0.0035	0.0252
4.1	9.9	0.003	0.218	0.0024	0.0145
4	7.2	0.0074	0.122	0.0021	0.0076
10.6	7.8	0.0044	0.1129	0.0023	0.0095
3.5	7.2	0.006	0.1198	0.0018	0.0082
3.7	6.9	0.0035	0.1108	0.0017	0.0077
4.7	5.3	0.0066	0.0948	0.0022	0.0063
9	12	0.0096	0.3555	0.0033	0.0206
11.6	13.5	0.0089	0.3347	0.003	0.0209
6.7	7.8	0.0017	0.1177	0.0023	0.0082
2.4	8.4	0.0048	0.1907	0.0016	0.0117
2.5	10.5	0.0041	0.158	0.0017	0.0099
7	9.5	0.0057	0.2233	0.0027	0.0124
2.5	10	0.0095	0.2104	0.0024	0.0118
2	7	0.0067	0.1255	0.0019	0.0085
3.7	6.8	0.0058	0.1613	0.0023	0.0111
4.9	12.2	0.0052	0.2716	0.0021	0.0157
6	11	0.0091	0.2616	0.0028	0.0164
4	12.2	0.0067	0.2358	0.002	0.0139
6.8	8.2	0.0036	0.1758	0.0021	0.0102

4.4	12.6	0.0078	0.3218	0.0027	0.0189
7.8	16	0.0157	0.437	0.0027	0.0242
2.3	11	0.0134	0.3763	0.0025	0.0213
5	11.4	0.0108	0.287	0.0021	0.0161
5	136.6	0.0112	0.3905	0.0022	0.022
4.5	12.3	0.0052	0.3075	0.0024	0.0177
2.4	13	0.0045	0.2766	0.0012	0.0147
3	11	0.0068	0.228	0.0014	0.0143
6.5	13.3	0.0054	0.3147	0.0015	0.0184
4	11	0.0066	0.2353	0.002	0.0123

Tablo 3.6 Grup 5 domates bitkisinin farklı yetiştirme gruplarındaki domates fidelerinin kök ve gövde boyları, kuru ve yaş ağırlıkları

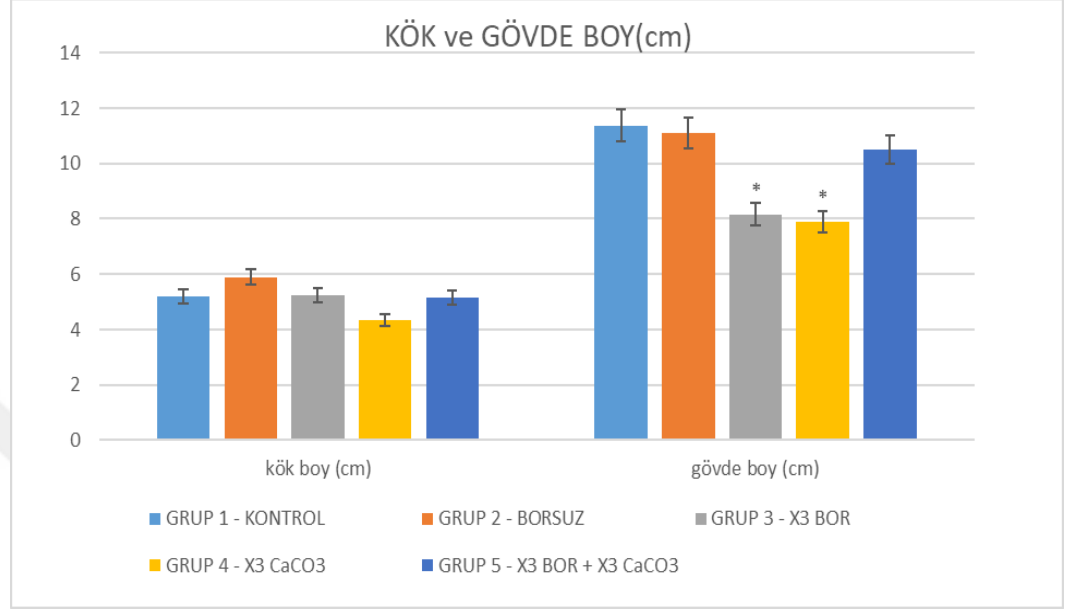
Uygulama	BOY (cm)		YAŞ AĞIRLIK (g)		KURU AĞIRLIK (g)	
	Kök boy	Gövde boy	Kök yaş ağırlık	Gövde yaş ağırlık	Kök kuru ağırlık	Gövde kuru ağırlık
Kontrol	6.128±0.978	11.377±0.721	0.006±0.004	0.263±0.167 ^d	0.0023±0.001 ^{cd}	0.158±0.009 ^{cd}
Borsuz	5.900±0.396	11.106±0.586	0.010±0.017	0.261±0.122	0.0019±0.001 ^d	0.015±0.006 ^d
x3 Bor	5.237±0.436	8.153±0.677	0.005±0.005	0.212±0.018	0.00072±0.0007 ^a	0.0099±0.006 ^a
x3 CaCO ₃	4.154±0.551 ^a	7.886±0.535	0.004±0.002	0.618±0.763 ^a	0.00079±0.0006 ^{abe}	0.0094±0.003 ^{abe}
x3 Bor+x3 CaCO ₃	5.138±0.434	14.350±3.969	0.006±0.003	0.242±0.099	0.0022±0.0005 ^d	0.0144±0.005 ^d

Tablo 3.7 Kök, gövde boyu, kuru ve yaş ağırlıkları istatistiki sonuçları

“a” ve kontrol grubu, “b” ve Borsuz, “c” ve x3 Bor grubu, “d” ve x3 CaCO₃, “e” ve x3 Bor+x3 CaCO₃ grubu istatistiki açıdan anlamlıdır (p≤0.05)

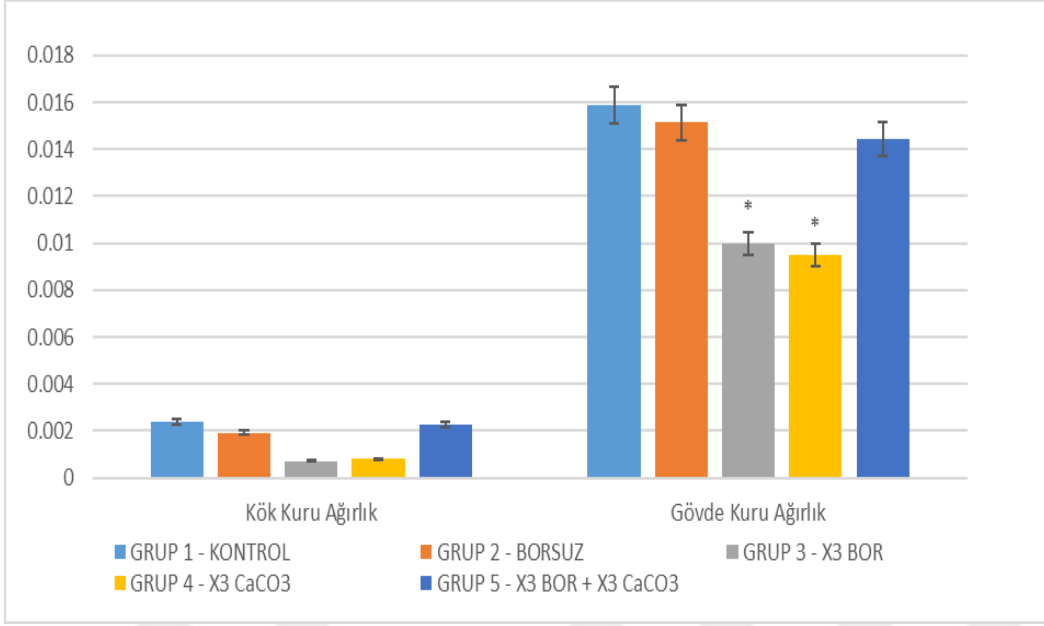
Sonuçların istatistiksel değerlendirmesi SPSS 23 (SPSS, IBM) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kontrol ile İşlemlerin etkileri arasındaki farklar tek yönlü varyans analizi (ANOVA) TUKEY testi kullanılarak yapılmıştır.

(a yazanlar kontrole göre sonuç anlamlı, b yazanlar borsuz grubuyla karşılaştırıldığında anlamlı, c yazanlar x3 bor uygulama grubuna göre anlamlı, d yazanlar x3 CaCO₃ uygulama grubuna göre anlamlı, e yazanlar x3 Bor+x3 CaCO₃ grubu ile karşılaştırıldığında istatistiki açıdan anlamlı)



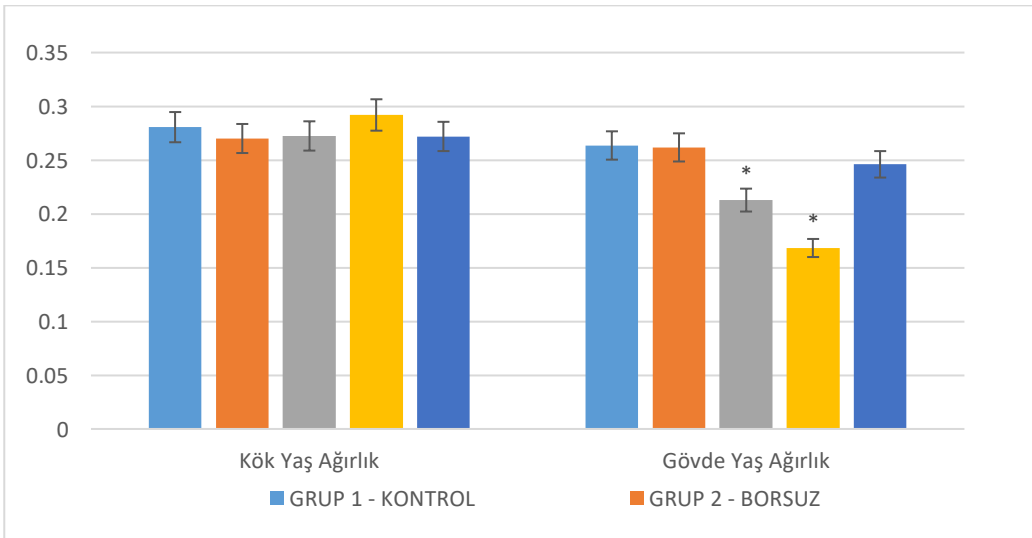
Çizelge 3.6 Domatesin farklı besin ortamlarındaki kök ve gövde boyları grafiği.

Lycopersicon esculentum cv. SC2121 (domates) çeşidinin kök ve gövde boylarının karşılaştırılması. Kök boyu kontrol grubuna göre borsuz grupta (Grup 2) %13,46 artış göstermiştir. Bor eksikliği kök uzamasını teşvik ederken, gövde boyu kontrol grubuna yakın sonuç vermiştir. Bunun yanında 3 katı bor uygulaması yapılmış grupta (Grup 3) kontrol grubuyla kök uzunlukları benzerlik gösterirken aynı uygulama gövde uzamasını kontrol grubuna göre %28,32 oranında düşürmüştür. 3 katı CaCO₃ (Grup 4) teşvikli grup kök uzamasını olumsuz etkilemiştir ve kontrol grubuna göre kök boyunda %17,30 azalma tespit edilmiştir. 3 katı CaCO₃ grubu gövde uzamasında kontrol grubuna göre çarpıcı bir şekilde düşüş göstermiştir. 3 katı CaCO₃ + 3 katı BOR uygulanan grup kontrol grubuna hem kök hem gövde boyunda benzerlik gösterir.



Çizelge 3.7 Domates kök ve gövde kuru ağırlıkları grafik

Lycopersicon esculentum cv. SC2121 (domates) çeşidinin Kök ve Gövde kuru ağırlıklarının karşılaştırılması. Kontrol grubu Borsuz grupla kök ve gövde kuru ağırlığı oranlarında benzerlik göstermektedir. 3 katı bor uygulaması yapılmış grupta (Grup 3) kontrol grubuna göre kökte %70,83 azalış, gövdede %37,10 azalış göstermektedir. 3 katı CaCO₃ (Grup 4), Grup 3 ile kök ve gövde kuru ağırlıklarında benzerlik göstermektedir. İlginç bir şekilde 3 katı CaCO₃ + 3 katı BOR uygulanan grup kök kuru ağırlığını ve gövde kuru ağırlığını kontrol grubuyla benzerlik göstererek birlikte bitki büyüme ve gelişmeyi olumlu etkilediğini göstermektedir.

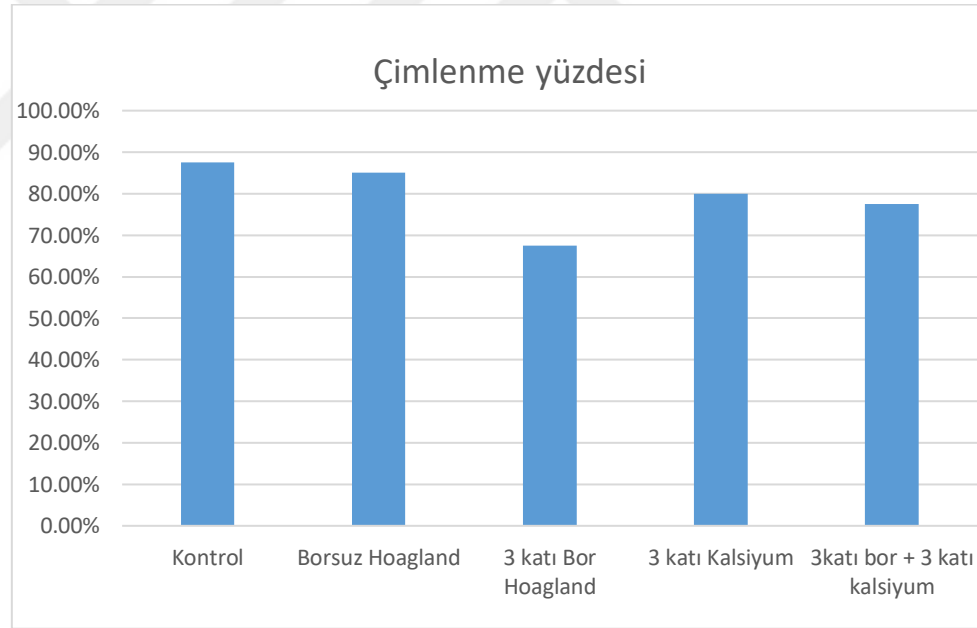


Çizelge 3.8 Domates kök ve gövde yaş ağırlıkları grafik

Lycopersicon esculentum cv. SC2121 (domates) çeşidinin Kök ve Gövde yaş ağırlıkları karşılaştırıldığında Kök yaş ağırlıklarının tüm gruplar arası çok büyük oranda değişiklik göstermediği görülmektedir. Çarpıcı bir şekilde grup 4 CaCO₃ oranını kökte arttırdığı için kök yaş ağırlığı kontrole göre arttırmıştır. Bunun yanında grup 4 gövde yaş ağırlığını kontrole göre %36,12 azaltmıştır. Gruplar arası gövde yaş ağırlığı grup 1 ve grup 2 'te benzerlik gösterirken, 3 kat BOR uygulanan ve 3 katı CaCO₃ uygulanan gruplarda gövde yaş ağırlığı belirgin bir şekilde azalmıştır.

3.4.1 10. Gündeki fidelerin çimlenme yüzdeleri:

Kontrol grubu, borsuz Hoagland, 3 katı borlu Hoagland, 3 katı Kalsiyum karbonatlı Hoagland ve 3 katı bor ve kalsiyum birlikte Hoagland olmak üzere 5 farklı gruba ayrılan toplam 20 saksının her birine 20şer tohum ekildi. Toplam 80 tohumun çimlenme oranları gruplara göre yüzdesi aşağıdaki grafikte verilmiştir:

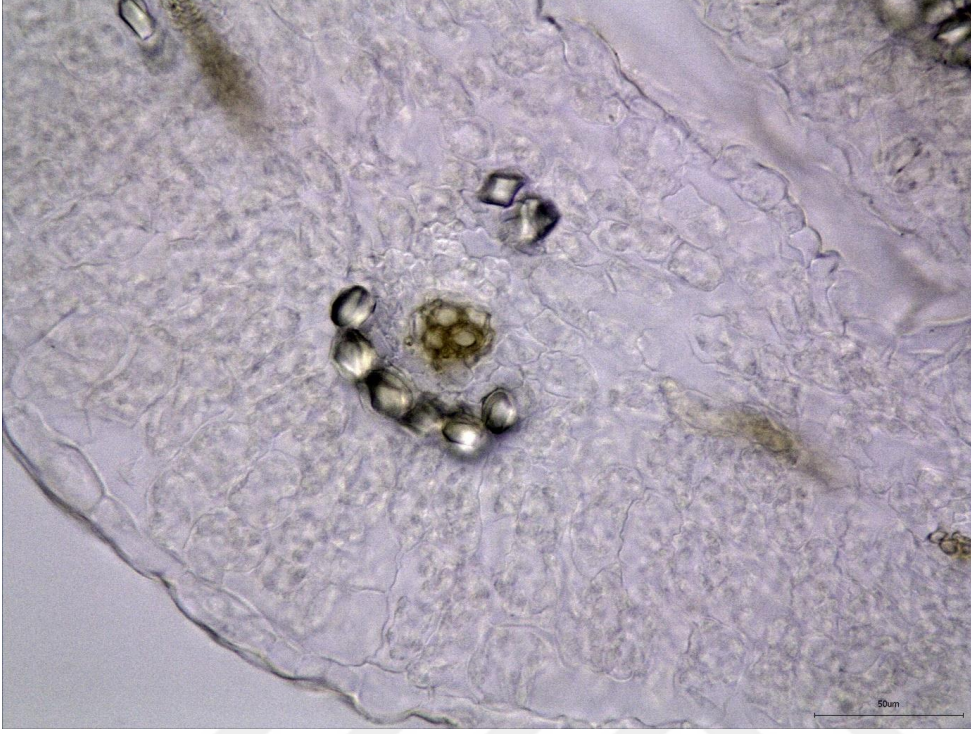


Çizelge 3.9 Domates çimlenme yüzdesi

3.5 Anatamik Kesitler

21.gün sonunda anatomik kesit almak üzere hasat edilen örnekler %70lik etil alkol çözeltisine alındı. Kontrol, Borsuz, 3 kat H₃BO₃, 3 kat CaCO₃, 3 kat H₃BO₃+ 3 kat CaCO₃ uygulamalarından alınan anatomik kesitler alındı.

3katı H_3BO_3 + 3katı $CaCO_3$ uygulanmış domates yaprağının orta damarında demet kını hücreleri görülmektedir.



Çizelge 3.10 Domates anatomik kesitte demet kını hücreleri



Çizelge 3.11 Domates anatomik kesitte demet kını hücreleri

3.6 Bitkilerin Meyve Bağlama Kapasiteleri

Kontrol grubu, borsuz Hoagland, 3 katı borlu Hoagland, 3 katı Kalsiyum karbonatlı Hoagland ve 3 katı bor ve kalsiyum birlikte Hoagland olmak üzere 5 farklı gruba ayrılan toplam 20 saksıda bahęe toprağına ekildi.



Çizelge 3.12 Toprak koşullarına aktarılan domates fideleri

Bitkilerin büyüdüğü ama meyve bağlamadığı gözlenmiştir.

4 TARTIŞMA

Domates (*Solanum lycopersicum* L.) nispeten kısa ömürlü bir mahsul olup, dünya çapında en önemli sebzelerden birisidir (Seisuke ve Neelima, 2008) ve dünyanın hemen hemen her ülkesinde açık alanlarda ve seralarda yetiştirilmektedir. Domates, patates, tütün, biber gibi diğer iyi bilinen türleri de içeren Solanaceae familyasına aittir (Ayandiji et al., 2011). Bitki tipik olarak 1-3 metre yükseklikte büyür ve genellikle yere yayılan, zayıf bir gövdeye sahip bitkidir (Renato ve diğerleri, 2014).

Domates taze olarak tüketilir veya işlenmiş püre, salça, toz, ketçap, sos ve çorba haline getirilir veya bütün meyve olarak konserve edilir (Blum et l., 2005). Katarakt, kemik metabolizması ve astım alanında tıbbi olarak faydalı antioksidan bileşenlere sahiptir. (Freeman and Reimers, 2010). Domates, A, B ve C vitamini kaynağı olduğu ve aynı zamanda potasyum, demir ve fosfor gibi iyi miktarda mineral içerdiği için sağlıklı bir beslenme kaynağına katkıda bulunur (Charchar ve diğerleri, 2003). Günlük domates alımı vücuda kanser ve kardiyovasküler hastalık riskini azaltan karoten ve likopen gibi bazı besinleri sağlar (Bock ve diğerleri, 1992). Bu mahsulün önemine rağmen, endüstriyel atıklarla toprak kirliliği, mazot, nakliye ve pazara erişilebilirlik dahil olmak üzere ülkenin neresinde yetiştirilirse yetiştirilsin çeşitli üretim kısıtlamaları vardır.

Domates bitkileri de makro ve mikro besin maddelerine ihtiyaç duyar. Gübre, optimum sonuçların elde edilmesinde önemli bir role sahip olan bir tarımsal üretim aracıdır. Gübreleme, hasatta bitkiler tarafından tamamen emilen bazı besin maddelerini toprağa eklemeyi amaçlar (Wibowo ve Kalatham, 2017). Domates bitkilerinin ihtiyaç duyduğu makro besin elementlerinden biri kalsiyumdur. Kalsiyum, bitki büyümesi için temel makro besin maddelerinden biridir. Kalsiyum, meyve kalitesinin korunmasında, hücre bütünlüğünün korunmasında ve meyve büyümesinde önemli bir role sahiptir (Ayyub ve diğerleri, 2012). Huang et al. (2003), kalsiyum uygulamasının domateslerde meyve kırılmasını azaltabileceğini belirtmiştir. Kalsiyum aynı zamanda mükemmel meyve ve tohum oluşumunu da teşvik eder (Novizan, 2002).

Bitkilerde makro besinlerin ve mikro besinlerin, bitkilerin metabolizmasını, yapısını doğrudan veya dolaylı olarak etkilediği bilinmektedir. Bu minerallerin

yetersiz veya fazla sağlanması bitki anatomisinde değişikliklere neden olabilir. Besinlerin bitki anatomisi üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlayan anatomik çalışmalar, temel öneme sahiptir, çünkü öncelikle metabolik yollara zarar vermenin yanı sıra, mineral beslenmedeki değişiklikler dokuların yapısını ve işlevini ve dolayısıyla bitkinin gelişimini tehlikeye atabilir. Doğru mineral beslenmesi önemlidir, çünkü besin eksikliği veya fazlalığı bitki metabolizmasını etkileyerek uyarılma mekanizmalarını tetikler. Eksiklik veya fazlalık devam ederse, bu uyarılma mekanizmaları, büyüme eksikliği, anatomik düzensizlik ve morfolojik semptomlara yansyarak bitki homeostazını sürdürmede başarısız olur.

Makro elementlerden kalsiyum (Ca), büyüme, hücre duvarı kalınlığı ve yeniden şekillenmenin yanı sıra bitki dokusu gelişiminden de sorumludur. Ca'nın yaprakların anatomisi üzerindeki etkisi, bitki hücrelerindeki işlevleri ve içerisindeki organelleriyle ispatlanmaktadır. Hücre duvarının orta tabakasında, plazma zarının dış yüzeyinde, endoplazmik retikulumda ve vakuolde yüksek Ca konsantrasyonları bulunur. Böylece Ca, hücre duvarı stabilizasyonu, hücre uzaması ve salgılama süreçlerinde, membran stabilizasyonu, katyon-anyon dengesi ve osmoregülasyon olaylarında yer alır ve ikincil haberci olarak işlev yapar.

Kalsiyumun bitkilerdeki işlevleri, Hanson (1984), Kirkby and Pilbeam (1984) tarafından geniş çapta incelenmiştir. Ca, bitki büyümesi ve gelişmesindeki çevresel faktörler ve tepkiler arasında sinyal iletiminde ikincil bir haberci olarak işlev görmesi nedeniyle bitki büyümesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bitki büyümesinde ve besin alımında Ca'nın önemli rolü pek çok şekilde vurgulanmaktadır. Ciddi derecede eksik bitkilerde Ca-eksikliği olan doku hücrelerinden düşük molekül ağırlıklı çözünen maddelerin sızmasının artması, zar yapılarının genel bir parçalanması ve hücre bölünmesi kaybı ile en kolay şekilde gösterilebilir (van Goer, 1996). Toprak koşullarının gelişmesi ve mineral elementler arasında dengenin sağlanması, toprak verimliliği ve bitki üretimi için de önemlidir. Bitkilerin beslenme stresine tepki verme mekanizmaları birbirine benzer olsa da, türler ve / veya çeşitler arasında küçük farklılıklar gözlenmektedir. Bu nedenle, bitki üretiminde bu farklılıkların bilinmesi çok önemlidir çünkü bitkiler beslenme stresi yaşadıklarında üretim maliyetleri daha yüksektir. Domateste de mineral beslenme üzerine yapılan bir çalışmada, besin birikimi, büyüme ve üretim tepkileri,

besinlerin kalitesi üzerindeki etkileri, eksiklik semptomları ve yaprak özellikleri dahil olmak üzere, domates mineral beslemesinin farklı yönlerini araştırmıştır. Ayrıca, Ca ile beraber Mg eksikliğine bağlı fizyolojik tepkiler olarak, terlemede azalma, şeker ve nişasta birikimi, artmış oksidatif stres, metabolit değişiklikleri, Mg arasındaki etkileşimler ve fotosentetik aktivitede düşüş olduğu çeri domateslerde gösterilmektedir (Martinez et al., 2020). Ca eksikliği olan bitkilerde, süngerimsi parankim oranı tam muamelede gözlenenenden %25 daha yüksek olmasına rağmen, bu durumda palisade parankim hücrelerinin uzunluğu daha düşük olduğu için yaprağın son kalınlığı etkilenmemiştir. Orta damardaki floem hipertrofisi ve hiperplazisi, Ca eksikliği olan bitkilerin ana anatomik değişimi olarak gözlemlenebilir ve elek tüp elemanlarının sayısındaki artışla doğrulanabilir. Ksilem ile ilişkili olarak, Ca-eksikliği olan bitkilerde kap elemanlarının sayısında ve çapında bir değişiklik olmamıştır, ancak kap elemanlarının kapladığı toplam alan, kontrolden daha yüksekti. Kontrole kıyasla, gövdede, Ca-eksikliği olan bitkilerde sadece klorenkima yüzdesi ve sklereidlerin hücre duvarının kalınlığı azaldı.

Ca-eksikliği olan bitkiler, klorofilli doku oranında küçük değişiklikler gösteren yapraklar üretti, ancak mezofil yüzdesi değişmeden kaldı. Vasküler dokularla ilgili olarak, ksilem damar elemanlarının işgal ettiği toplam alan 1,47 kat, floemin elek tüp elemanlarının sayısı ise 2,35 kat artmıştır. Bu, yaprağın anatomik değişikliklerinin doğrudan fotosentetik bölgeleri etkilemeyeceğini, bunun yerine ksilem tarafından su ve tuz tedarikini ve Ca-eksikliği olan bitkilerde floem tarafından organik materyalin taşınmasını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Floem hiperplazisi, bitkinin bu vasküler dokudaki sap translokasyonunu maksimize etmek için Ca veya Mg eksikliği koşulları altında uyarlamalı bir stratejisi olarak anlaşılabilir. Prokambiyum ve vasküler kambiyum gibi meristemlerin aktivitesindeki değişiklikler, floem hiperplazisi ve çeri domates bitkilerinde ksilem kap elemanlarının kapladığı alanın artması ile ilişkili olabilir. Sapta, Ca eksikliği olan bitkilerde klorenkima dokusu %16.08 azalmıştır, ancak daha belirgin olan, floem dışındaki sklereidlerin duvar kalınlığının azalmasıdır. Mg eksikliği olan bitkilerin saplarında da benzer yanıt gözlenir, bu da hem Ca hem de Mg eksikliğinin ikincil hücre duvarı sentezindeki problemlerle ilişkili olacağını gösterir. Ca eksikliği olan bitkilerde floem lifi oluşumu tehlikeye girebilir, bu da Ca

eksikliğinin, ksileme kıyasla floem oluşumu üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğunu gösterir (Martinez et al., 2020).

Bu çalışmada gözlemlendiği gibi, floem sklereidlerin hücre duvarları, kontrol ile karşılaştırıldığında Ca eksikliği altında daha ince idi. Hücre duvarı, orta lamel ve plazma zarının dış yüzeyi, temel yapısal fonksiyonlara sahip olan yüksek Ca konsantrasyonuna sahip alanlardır; bu nedenle, bu elementin tedarikindeki herhangi bir değişlik, bu yapıların oluşumuna zarar verebilir. Çeri domates saplarında hem Ca hem de Mg eksikliğinin en belirgin semptomu, floemin dışında bulunan destek hücrelerinin (sklereidler) hücre duvarı kalınlığındaki belirgin azalmadır. Sklereidler hücre duvarı kalınlığındaki azalma, Ca ve Mg, hücre duvarı pektinleri ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğundan, bu iyonların hücre duvarı birikimi sürecindeki katkısıyla ilişkili olabilir. Kalsiyumsuz dokuda poligalakturonaz aktivitesi artar ve Ca eksikliğinin tipik bir semptomu hücre duvarlarının parçalanması ve etkilenen dokuların çökmesidir. Çeri domates bitkilerinde destekleyici hücrelerin hücre duvarı kalınlaşmasındaki azalma, vücudun mekanik mukavemetini bir bütün olarak azaltabilir (Martinez et al., 2020).

Bir diğer mikro element olan Bor (B)'un etkilerine baktığımızda; B yeterlilik ve toksisite aralığı diğer mikro besinlere göre daha dar olan temel bir mikro besindir. B bakımından zengin topraklar, B eksikliği olan topraklardan daha az yaygınlığa sahip olmalarına rağmen, B toksisitesiyle olan ilişkileri nedeniyle büyük önem taşımaktadır (Herrera Rodríguez ve diğerleri 2010; Nable, Bańuelos ve Paull 1997; Papadakis ve diğerleri 2004). Bunun sonucu olarak birçok bitkide önemli miktarda verim kaybına neden olabilen B toksisitesi, kurak ve yarı kurak bölgelerde pH'ı yüksek topraklarda en yaygın beslenme sorunudur. Sulama suları, yüzey madenciliğinden kaynaklanan atıklar, havadaki kül, endüstriyel kaynaklar ve deniz sedimanlarından gelişen topraklar B'nin en önemli kaynaklarıdır (Nable, Bańuelos ve Paull 1997). Ek olarak, özellikle tuzlu topraklarda zayıf drenaj, ekilebilir topraklarda B konsantrasyonunun artmasından sorumlu olabilir (Grieve ve Poss 2000). Fazla B, membran geçirgenliğinde (MP) artış, membran bütünlüğünde ve yapısında bozulma (Karabal, Yücel ve Öktem, 2003) gibi önemli değişikliklere neden olmakta ve dolayısıyla yüksek bitkilerin ekonomik verimi ve kalitesi düşmektedir.

B toksisitesinin, hücre duvarı genişlemesinin inhibisyonu, sürgün ve kök büyümesinin inhibisyonu, düşük yaprak klorofil içeriği ve fotosentetik oranları dahil olmak üzere önemli fizyolojik etkileri vardır (Nable, Bañuelos ve Paull 1997). Ayrıca B fazlası, membran sızıntısında, lipidlerin peroksidasyonunda ve prolin birikiminde artışa neden olur (Eraslan ve ark. 2007). Ayrıca, çok sayıda çalışma, B ile diğer besinler, özellikle azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) arasındaki etkileşimlerin mahsul verimini ve besin verimini etkilediğini göstermiştir (Bariya, Bagtharia ve Patel 2014).

Buğdayda bitki besin maddesinin alımında B fazlalığının antagonistik bir etkisi bildirilirken (Singh, Dahiya ve Narwal 1990), domateste besin alımı üzerinde sinerjik bir etki olduğu belirtilmiştir (Carpena-Artes ve Carpena-Ruiz 1987). Literatürden, toksik-B'nin metalik besinlerin alımı üzerindeki etkilerinin bitki ve metalik iyon türlerine ve büyüyen ortam koşullarına bağlı olarak değişebileceği açıktır.

İletken dokuların korunmasında hem K hem de B gereklidir (Mengel ve Kirkby 2001). Bitki sistemindeki üst üste binen rollerin bir sonucu olarak K, B'yi ve diğer alkali katyonları (Ca, Mg ve Na) etkiler. B toksisitesinin alkali katyonlarla, özellikle Ca ve Na ile etkileşimi ile ilgili olarak, araştırmacılar tarafından çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bununla birlikte, B ve K'nin büyüyen ortamdaki bitki büyümesi ve besinlerdeki değişiklikler üzerindeki birleşik etkilerine ilişkin sınırlı bir anlayış vardır. Ayrıca Samet, Cıkılı ve Dursun (2013) hem B hem de K uygulamalarında fasulyenin Fe, Zn, Cu ve Na içeriklerinin arttığını ancak Ca içeriklerinin azaldığını bildirmişlerdir.

Domates (Carpena-Artes ve Carpena-Ruiz 1987; Eraslan ve ark. 2007), turp (Tariq ve Mott 2006a), mısır ve sorgum (Ismail 2003) gibi bazı bitkilerde fazla B işlemiyle K içeriklerinde artışlar bildirilmiştir. Ayrıca, artan K ve B arzıyla birlikte fasulye (Samet, Cıkılı ve Dursun 2013) ve hıyar (Cıkılı, Samet ve Dursun 2013) için önceki çalışmalarda da benzer sonuçlar bildirilmiştir. Yaprakların MP'si(membran geçirgenliği), hem K yokluğunda hem de varlığında, artan B seviyeleri ile arttı. Eraslan ve ark. (2007) domateste, Güneş ve ark. (2006) asmada ve Ismail (2003) mısır ve sorgumda sonuçlarıyla bağdaşmıştır. MP'deki bir artış,

lipid peroksidasyonundaki artışa ve aşırı B'nin neden olduğu zar hasarına atfedilebilir (Samet, Cikili ve Dursun, 2017).

Bor bir mikroelementtir ve bitkilerin talepleri büyük ölçüde farklılık gösterir; eksiklik ve toksisite seviyeleri aralıkları dardır. B yönetimi, optimum uygulama aralığı sınırlı olduğundan ve optimum B uygulama oranları bir topraktan diğerine farklılık gösterebildiğinden zordur (Gupta, 1993; Marschner, 1995). Bitkilerde B'nin işlevleri, kation ve anyon emilimi, su ilişkileri, polen canlılığı ve fosfor, nitrojen, yağlar ve karbonhidratların metabolizmasıyla ilişkilendirilmiştir (Shol'nik, 1965). Bor aynı zamanda hücre bölünmesini, hücre duvarı sentezini, zarın işleyişini, şeker taşınmasını, farklılaşmasını, bitki hormon seviyelerinin düzenlenmesini, kök uzamasını ve bitkilerin büyümesini etkiler (Marschner, 1995).

Ca ve B, birincil duvarlarda, hücre zarlarında, meyve büyümesinde ve bitki hücrelerinin gelişiminde hayati unsurlar olarak kabul edilirler (Pilbeam ve Morely, 2007). Toprakta bitki sürgünlerine, yapraklarına ve meyvelerine Ca ve B alımı ve taşınması çok sınırlıdır ve genellikle alım terleme yoluyla su kaybına bağlıdır; bu nedenle Ca ve B bitkilerde hareketsiz elementler olarak sınıflandırılır (Clarkson, 1984). Ca humat, B humat ve Hümik asitin farklı konsantrasyonları domates ve salatalık fidelerine sera koşullarında uygulanmış, büyüme ve verim üzerine etkileri araştırılmıştır. Sonuçlara göre Ca ve B humat besin solüsyonlarının toprak profilini iyileştirdikleri ve besinsel değerini arttırdıkları gözlenmiştir (Melek Ekinci ve ark., 2015).

Yüksek kaliteli sulama suyunun tuzluluğu ve kıtlığı, devam eden iklim değişikliğinin bitki fizyolojik süreçlerini, bitki büyümesini ve dünya çapında bahçecilik mahsulü üretimi için ciddi sonuçları olan agronomik performansı olumsuz etkileyen iki önemli yan etkisidir. Dünyada ekili alanların %20'sinin ve sulanan alanların %33'ünün su ve toprak tuzluluğunun artması nedeniyle sorun yaşadığı bildirilmektedir. Toprak çözeltisindeki artan tuz seviyelerinin rizosferdeki ozmotik basıncı artırdığı ve bunun bitkiler için su mevcudiyetinde ve besin alımında bir azalmaya yol açtığı bilinmektedir. Tuzluluk stresinin ayrıca bitkilerin hem birincil hem de ikincil metabolizmasını etkileyen bitki fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerini olumsuz etkilediği kanıtlanmıştır. Çok sayıda çalışma, artan sodyum klorür (NaCl) seviyelerinin bitki boyu ve canlılığı, yaprak alanı ve yaprak sayısı

üzerindeki olumsuz etkisini göstermiştir. Bitki fotosentetik oranı, protein içeriğini olumlu veya olumsuz olarak değiştirebilen yüksek tuzluluktan da olumsuz etkilenir, böylece kaliteyi etkiler ve tuzluluğun etkilerine direnmek için birkaç bitki ikincil metabolizma sürecini ve antioksidan mekanizmalarını tetikler. Tuzluluğun olumsuz etkilerinin hafifletilmesi için, katyonların köklendirme sistemi veya yapraktan uygulamalar yoluyla eksojen uygulaması dahil olmak üzere çeşitli yöntemler önerilmiştir.

Yapılan bir çalışmada borik asit ve bakır sülfat yapraktan uygulanarak domatesin büyüme ve verimi üzerine etkileri araştırılmıştır (Herris and Puvanitha,2017). 40 gün sonunda fideler plastik torbalara dikilerek 30 gün süresince büyüme gözlenmiştir. Sonuçlara göre yapraktan 150 ve 250 ppm bakır sülfat uygulamalarının bitkilerin boyunu arttırdığı ve 250 ppm Borik asit ve 250 ppm Borik asit + bakır sülfat uygulamalarının bitki başına yaprak sayısını arttırdığı bulunmuştur. 250ve 350 ppm borik asitin yalnız başına ve bakır sülfat ile borik asitin birlikte uygulaması en uzun köklerin oluşumunu sağlarken borik asitin 150 ve 250 ppm uygulaması en yüksek meyve verimine ve borik asitin 350 ppm uygulaması ise meyvelerin sayısında artışına yol açmıştır.

Borun, bakırın ve bunların birleşiminin yapraktan uygulamasının bitkilerin ve meyvelerinin kuru ağırlıklarını da arttırdığı gözlenmiştir. Borik asitin 150 ve 250 ppmlik uygulamaları %7.32 ve %7.14 oranında verimi arttırmıştır. En düşük kuru ağırlıklar meyvede kontrol grubunda gözlenmektedir. Bunun nedeni borun yaprak uygulamalarının polen tübü çimlenmesini arttırmış olması ve tane bağlamayı, hormonal metabolizmaya katkısını ve bölünmedeki artışı ve hücrenin büyümesini arttırmasıdır. Bu sonuçlar bor uygulamasının bitki metabolizmasında kilit rol oynadığı, kök büyümesini arttıracığı ve bunun sonucunda daha iyi nitrojen kullanımına yol açacağı ve daha fazla karbonhidrat sentezine yol açacağı ve proteinleri ve suyu bitkilerin daha etkin bir şekilde kullanacağı Moeinian ve ark.,(2011) ile aynıdır.

Bor yüksek bitkilerin normal büyümesi için gerekli bir mikrobeseindir. Fazla miktarlarda absorbe edildiğinde toksik olabilir ve çok sayıda zararlı etkiyi tetikleyebilir. Domates bor uygulamalarına en iyi cevap veren ürünlerden bir tanesidir. Borun (0.0, 100,200,300,400 ppm) domatesin büyümesi ve bazı

metabolik aktiviteleri üzerine 9 ve 30 günlük büyüme periyodunda çimlenme ve saksı denemeleri yürütülmüştür. Farklı konsantrasyonlarının uygulanması, kontrole kıyasla düşük bor konsantrasyonu (100 ve 200ppm) uygulamalarının taze ve kuru ağırlıkları önemli ölçüde arttırdığı gözlenmiştir. Bor uygulamalarına tepki olarak kalsiyum ve bor içeriği domatesin kök ve gövdesinde artarken, potasyumun ise gövdede arttığı kökte azaldığı gözlenmiştir. Sodyumun ise kökte arttığı gövdede azaldığı gözlenmiştir. Uygulanan bor konsantrasyonlarında glutamat- okzoloasetat ve glutamat- privatransamilaz enzimlerinin önemli miktarda arttığı gözlemlenmiştir. İlâveten artan bor konsantrasyonlarıyla dereceli olarak kök ve gövdede çözülebilen proteinlerinde arttığı gözlemlenmiştir.

Çiçeklenme mevsiminin başında dolmalık biberlerinin yapraklarına iki haftada bir uygulanan bor, kalsiyum, bor ve kalsiyum birlikte uygulamaları sonucunda fotosentetik verim ve meyve verimi artmıştır. Yapraktan kalsiyum uygulamaları ve hormon uygulamaları gaz değişimini ve meyve verimini etkilememiştir. Borun en önemli etkisi meyvelerin sayısında bir artış olarak gözlenmektedir. Bununla birlikte kalsiyum ile birlikte yapraktan püskürtme ile uygulama sonucunda meyvelerin sağlamlığı gözlenmiştir (Andre Zeist 2018).

Topraktan uygulanan borun kalkerli tuzlu topraklarda büyüyen pamukta büyümeyi, verimi ve lif kalitesini arttırdığı gözlenmiştir (Rahman ve ark., 2020). B'nin yapraktan uygulanması pamuk üretkenliğini artırır; ancak, B uygulanan toprağın pamuk büyümesini ve verimini iyileştirmedeki rolü konusunda bilgi sınırlıdır. Bu çalışma, B uygulanan toprağın pamuk mahsulünün büyümesini, verimini ve lif kalitesini iyileştirmedeki rolünü araştırdı. Çalışmaya beş farklı B dozu (yani 0.00, 2.60, 5.52, 7.78 ve 10.04 mg kg⁻¹ toprak) ve iki pamuk kültivarı (yani, CIM-600 ve CIM-616) dahil edildi. Topraktan uygulanan B (2.60 mg kg⁻¹) büyümeyi, verimi, fizyolojik parametreleri ve lif kalitesini önemli ölçüde iyileştirirken, 10.04 mg kg⁻¹ uygulaması köklerde, tohumlarda, yapraklarda ve saplarda B dağılımını iyileştirmiştir. Bitki boyu (% 12), yaprak alanı (% 3), koza sayısı (% 48), koza büyüklüğü (% 59), koza ağırlığı (% 52), tohum pamuk verimi (% 52), fotosentezde önemli gelişme kaydedildi.

Bor çoğunlukla borik asit şeklinde köklerden alınan bir esensial bitki mikrobisidir. Bitki metabolizmasındaki önemli rolü moleküllerin cis-diol

grupları şeklinde stabilizasyonudur. Element hücre duvarı membran yapısında ve fonksiyonunda yer alır. Bu nedenle sayısız iyon, metabolit ve hormonun taşınım reaksiyonlarında işlev görür. Borun eksikliği ve toksisitesi arasındaki aralık çok dardır ve yetersiz bor alımı tarım bitkilerinin verimi üzerine zararlı etki yaratır. Eksiklik problemi gübreleme ile çözülebilirken bor toksisitesinin olduğu topraklar çeşitlik prosedürler kullanılarak iyileştirilebilir ama bu yaklaşımlar çok pahaladır, zaman alır ve etkileri geçicidir.

Bitki türleri, bor istekleri açısından tür içerisindeki genotipler de bitki türleri kadar çok farklılaşırlar. Bu nedenle kullanılabilir toprak boru bir ürün için eksik olan, diğeri için toksik etki gösterebilir. Bor alınımındaki eksiklik ve toksisite toleransını gösteren türler arası genetik değişkenlik geniş olarak bildirilmektedir. Bu bilgiler borun fizyolojisi ve genetiği ile birlikte verilir. Böylece bütün bunların sonucunda etkin ve tolerans gösteren varyetelerin gelişimi yetersiz veya aşırı bor temininin çözümünde sürdürülebilir bir çözüm sunar.

Kök büyümesi bor eksikliğine gövde büyümesinden daha hassastır. Apikal meristemde bor eksikliğine bağlı olarak hücre bölünmesinin durmasıyla kök uzaması inhibe edilir. Aşırı eksiklik altında kök şapkası kaybolur, büyüme durur ve kök uçları ölür. Gövde / kök oranı artar ve bitkiler kuraklığa ve besin dengesizliklerine daha hassas hale gelir. Genç yaprakların anadamarına ysakın olan boyuna bölmeler ve yaprak uçları şekil olarak buğrdayda deforme olmuştur (Snowball, K. and Robson, A.D., 1983) ama ; bu semptomlar arazide nadir olarak görülmektedir (Rerkasem, B. and Jamjod, S., 2004). Aşırı ve uzayan eksiklikler durumunda internodyumlar kısalır ve yapraklar üzerinde nekrotik lekeler oluşur.

Bor gereksinimleri bitkinin hayat döngüsündeki reproduktif fazda genellikle daha yüksektir. Bunun sonucunda arazi koşullarında eksikliğin görsel semptomları belirmeden önemli miktarda ürün azalabilir (Dell, B and Huang, L, 1997). Eksiklik için vejetatif fazla kritik seviye buğday yapraklarında 1ppm'dir. Buna karşın toksisteye benzer olarak yaprak bor konsantrasyonu bor kullanımının etkinliğini yansıtmak için gerekli değildir (Asad, A. et al., 2001; Wongmo, J Et al., 2004). Diğer taraftan 7-8 ppm anterlerde ve 5-6 ppm de karpellerde buğday sterilitesiyle sonuçlanır (Rerkasem, B. and Jamjod, S., 1997). Diğer bir belirgin etkisi eksikliğin reproduktif fazla erkek bireylerin sterilitesidir. Eğer fertilizasyon oluşmazsa tohum

oluşmayabilir.buna bağlı olarak bor eksikliğinin en bilinen etkisi örneğin buğdayda başak başına düşen tohum sayısında bir azalmadır (Rerkasem, B. et al., 1993) ve aşırı durumlarda da besin eksikliğine bağlı olarak verim %100 azalabilir (Pant, J et al., 1998). Diğer genotiplerde verimi azaltan koşullarda kararlı genotipler bor kullanımına daha etkin olarak belirtilir (Rerkasem, B., 2004).

Floem mobil türler eksiklikle nadiren karşılaşır. Çünkü içsel boru taşıyabilme kabiliyetine sahiptirler. Bu nedenle poliollerin üretimindeki bir artış bor kullanımının etkinliğinin arttıran etkin bir strateji olabilir. Bu olay transformasyon yoluyla başarılı (örn; tütün, pirinç) veya yüksek poliol üretimi olan genotipleri seçimi yoluyla gerçekleştirilir (Bellaloui, N. and Brown, P.H., 1998; Brown, P.H. and Shelp, B.J., 1997; Bellaloui, N. et al., 1999; Bellaloui, N et al., 2003).

Kullanım eksikliği köklerden bitkinin üst organlarına borun yüksek transfer kapasitesiyle bağlantılıdır(Huang, L et al., 2001; Nachiangmai, D et al., 2004). Takano et al. (2002) *Arabidopsis thaliana* membran proteinlerinden BOR1'in ksilemde bor yüklenmesinden sorumlu olduğunu ve eksiklik koşullarında bunun transloke edildiğini ilk kez bulmuşlardır. Protein, hayvanlardaki bikarbonat taşıyıcı ile homologdur. Bor eksikliğine toleranslı bir Arabidopsis kuşağı üretildi (Miwa, K et al., 2006). Bu, köklerden yer üstü organlara artan bir bor translokasyonuna neden olan BOR1 üretiminin artmasıyla başarılıdır. Transgenik bitkiler, vahşi tip verimi %100 azaltan yetersizlik koşullarında başarılı bir şekilde verdiler ve fazla borona karşı artan duyarlılık sergilemediler. Daha sonra büyük tarımsal bitkilerde tespit edilen taşıyıcılar, iyileştirilmiş bor kullanım verimliliğine sahip çeşitlerin ıslahı veya tasarlanmasını amaçlayan daha ileri araştırmalar için temel oluşturmaktadır (Miwa, K et al., 2010; Yoshinari, A. and Takano, J., 2017; Kato, Y et al., 2009; Yuan, D et al., 2017).

Örneğin, bor noksanlığı koşullarında gelişmiş büyüme ile transgenik domates soyları (kültivar Micro-Tom) tasarlandı (Uraguchi, S et al., 2014). Dönüşüm, Agrobacterium aracılığıyla. Domates genellikle meyve veren mahsullerin bir modeli olarak kullanılır. AtBOR1'in (*Arabidopsis thaliana* BOR1) güçlü ifadesi nedeniyle hatlar bor açısından verimlidir. Transgenik olmayan bitkiler ile karşılaştırıldığında, eksiklik koşullarında yetiştirilen transgenik bitkiler daha yüksek sürgün kuru ağırlığına ve ayrıca sürgün ve meyve bor konsantrasyonuna sahiptir. Bu çalışmanın

sonuçları, transgenik mahsullerin bor eksikliği olan alanlar için sürdürülebilir bir çözüm olabileceğine işaret etmektedir. Başka bir yaklaşım, bor kullanım verimliliği için işaretçi destekli seleksiyon ıslahı olabilir.

Özellik, çoğu tarımsal bitkide poligeniktir. *Brassica napus*'ta, örneğin, verimlilik bor alımını, nakliyesini ve kullanımını içerir. Önceden oluşturulmuş yüksek yoğunluklu genetik harita sayesinde, bor kullanım verimliliğine dahil olan birkaç kantitatif özellik lokusu (QTL) belirlendi. QTL'lerle ilişkili moleküler belirteçlerin geliştirilmesi, yetiştiricilerin verimli genotipleri tanımlamasına yardımcı olmalıdır. Bununla birlikte, bor kullanım verimliliğinin fizyolojisi ve genetiği hakkındaki bilgileri iyi büyüme, kalite ve verime sahip bor verimli bitki çeşitlerine aktarmak için yapılacak önemli araştırmalar vardır (Yuan, D et al., 2017; Zhang, D et al., 2014; Pommerrenig, B et al., 2018).

Bor toksisitesinin semptomları, kısıtlı ve önemli floem hareketliliği olan türler arasında farklılık gösterir. Floem hareketsiz türlerde bor, ksilem yoluyla hareket eder ve terleme akışının sonunda birikir. Buna göre, arpa ve buğdaydaki yaprak semptomları, ilk başta kenarlarda oluşan ve ardından yaprak yüzeyinin çoğunu kaplayan kahverengi lezyonlarla yaprak uçlarından yayılan kloroz ve nekrozu içerir. En yaşlı yapraklar ilk önce bitkinin tepesine yayılan hastalıktan etkilenir. Ciddi durumlarda, yaprak kınlarında, gövdelerde, sivri uçlarda ve kılçıklarda kahverengi lezyonlar bulunur. Kök yüksekliğinde, kuru madde ağırlığında, bitki başına diken sayısında ve verimde bir azalmanın yanı sıra, gecikmiş çıkış ve gecikmiş yapraklanma rapor edilmiştir (Nable, R.O, 1988; Paull, J.G et al., 1988; Rehman, S et al., 2006; Mahalakshmi, V et al., 1995; Yau, S.K et al., 1995; Eaton, F.M, 1944; Cartwright, B et al., 1984; Christensen, J.J, 1934; Paull, J.G et al., 1990). Genel olarak, semptomlar arpada buğdaydan daha belirgindir ve daha erken ortaya çıkar (Yau, S.K et al., 1995). Bor konsantrasyonu toprak derinliği ile artarsa, semptomlar daha sonra ortaya çıkar ve verim daha az düşer (Brennan, R.F and Adcock, K.G, 2004). Aşırı bor, yaprak alanını, genişliğini veya uzunluğunu etkilemez (Yau, S.K and Saxena, M.C, 1997). Hidroponik olarak yetiştirilen buğday ve arpada genel kök zayıflığı ve yan köklerin azalmış büyümesi tanımlanmıştır (Nable, R.O, 1988). Tüm bor toksisite semptomlarının ciddiyeti genotipler arasında değişir, örneğin bor uygulamalarında kuru madde ağırlığı daha düşük, aynı veya

daha yüksek olanlar vardır (Torun, A vd., 2006). Buğday ve arpada hem verim azalması hem de bor toksisitesinin görsel semptomları açısından genotipler arasında önemli değişkenliğin yanı sıra verim azalması da gözlenmiştir (Paull, J.G et al., 1988; Cartwright, B. et al., 1984; Yau, S.K and Saxena, M.C, 1997; Paull, J.G et al., 1990; Yau, S.K. and Ryan, J, 2008) . Ayrıca, belirgin toksisite semptomlarına ve yüksek sürgün bor konsantrasyonuna rağmen, yüksek toprak bor koşullarında stabil verime sahip genotipler vardır (Avcı, M. ve Akar, T., 2005).

Mısır, domates, havuç ve yoncada fazla bor oluşumu azalır (Bañuelos, G.S et al., 1999). Floem-mobile Prunus, Malus ve Pyrus türleri için genç sürgün ucunun kesilmesi, yaprak aksilinin zamklanması, gövdeler ve yaprak sapları boyunca kahverengi mantar lezyonları ve tomurcuk dökülmesi bildirilmiştir. Kerevizde düzensiz gövde şekli ve deforme olmuş genç yapraklar bor toksisitesinin semptomları olarak ortaya çıkar(Brown, P.H. and Shelp, B.J, 1997).

Bitki bor konsantrasyonları ile ilgili literatür verilerindeki çarpıcı farklılıklar, bitki türleri (bor hareketliliği), organ (örneğin, buğday bayrağı yaprağındaki konsantrasyon, tahıllara göre yaklaşık 10 kat daha yüksektir (Campbell, T.A et al., 1993)), yaşam evresi (eski bitkiler şunları içerir: daha fazla bor (Moody, D.B et al., 1988)), işlem bor konsantrasyonu, genotip ve deneysel teknik (Furlani, Â.M.C et al., 2013; Nable, R.O et al., 1990; Turan, M.A vd., 2018). Genellikle buğdayda bitki borunun% 68'i yapraklarda, %16'sı köklerde, %10'u başakta ve %6'sı saplarda bulunur (Subedi, K.D et al., 1999). Saha denemeleri çok sayıda çevresel faktörün etkisi altındadır; ancak kontrollü koşullarda gerçekleştirilen denemelerin deneysel tasarımı da bor alımını etkilemektedir. Tencere boyutu ve türü, sıcaklığı, sulama rejimi ve uygulanan işlemlerin yoğunluğu, kontrollü koşullarda besin alımını etkileyen faktörler arasındadır (De Vries, M.P.C, 1980). Bitkiler laboratuvarında açık tarlada olduğundan önemli ölçüde daha fazla miktarda bor alır (Paull, J.G et al., 1990). Tarlada yetiştirildiğinde kritik arpa sürgün bor konsantrasyonu 30 ppm iken, seralarda yetiştirilen birkaç genotip 140 ppm'de maksimum verime ulaşmıştır (Cartwright, B et al., 1986). Kritik bitki bor konsantrasyonu, verimde% 10'dan fazla azalma ile sonuçlanan konsantrasyondur (Brennan, R.F. and Adcock, K.G., 2004). Buğday ve arpa için önerilen en düşük kritik sürgün bor konsantrasyonları 10-16 ppm'dir (Mengel, K. And Kirkby, E.A., 1987; Gupta, U.C, 1976); ancak başka bir

çalışmada, bunlar 10-130 ppm aralığındaydı (Nable, R.O et al.,1997). Kontrollü koşullarda yapılan denemelerde, kritik sürgün bor konsantrasyonları 60 ppm(Gupta, U.C et al., 1976) ve 80 ppm(Nable, R.O., 1988; Davis, R.D et al., 1978) idi. Başka bir deneyde (Furlani, Â.M.C et al., 2003), hem 44 hem de 318 ppm kritik bor konsantrasyonlarına sahip buğday genotipleri tanımlanmıştır. 324-648 ppm aralığı, aşırı borla işlenmiş durum buğdayı sürgünlerinde belirlenmiştir (Torun, A vd., 2006). Tarlada yetişen bitkilerin sürgünlerinde, toksik bor konsantrasyonları buğday ve arpada 10-30 ppm (Gupta, U.C et al., 1976), hatta arpada 68-323 ppm (Cartwright, B et al., 1986) idi.

Başka bir çalışmanın (Brennan, R.F. and Adcock, K.G., 2004) sonuçlarına göre, arpa sürgünlerinde kritik bor konsantrasyonları 4-76 ppm ve bayrak yaprağındakiler 273 ppm idi.

Floem hareketliliği kısıtlı bir tür olarak arpa, yaprak uçlarında yaprak tabanına kıyasla önemli ölçüde daha yüksek (10-50 kat) bor içeriğine sahiptir, bu da yaprak konsantrasyonunun uç ve kalan yaprak kısımlarının oranına bağlı olduğunu düşündürmektedir. Bor birikimi terlemeden etkilenir; artan su kullanım koşullarında bor birikmesi ve yaprak uçlarındaki konsantrasyonu artar (Nable, R.O et al., 1990). Aşırı dış bor, Arabidopsis'te bor toleransının bir mekanizması olarak hareket edebilen su taşınmasını ve terlemeyi azaltır (Macho-Rivero, M.A et al.,2018). Ayrıca bor, yapraklardan yağmurla kolayca süzülür (Reid, R. and Fitzpatrick, K., 2009). Bu nedenle, evrensel kritik bor konsantrasyonlarının tanımlanması neredeyse imkansızdır.

Genel kabul gören görüş, toleranslı arpa ve buğday genotiplerinin, deneyin türüne ve toprak veya besin çözeltisi bor konsantrasyonlarına bakılmaksızın tüm organlarda daha düşük bor konsantrasyonuna sahip olduğudur (Bellaloui, N. and Brown, P.H., 1998; Paull, J.G et al., 1988; Rehman, S et al., 2006; Ghaffari Nejad, S.A et al., 2015). Ancak, arpa, ekmeklik ve aşırı bora toleranslı durum buğdayı genotiplerinin sürgün bor konsantrasyonundaki değişkenlik bildirilmiştir (Yau, S.K et al., 1994). Bu nedenle, bazı genotipler daha az bor alır veya yer değiştirir ve bazı genotipler daha yüksek doku bor konsantrasyonunu tolere eder. Örneğin, 70 durum buğdayı genotipi incelenmiş ve sırasıyla yüksek ve düşük sürgün bor konsantrasyonlarına sahip toleranslı ve hassas genotipler tanımlanmıştır (Torun, A

vd., 2006). Fide aşamasında bor toleransı için taranan 40 ekmeçlik buğday genotipini içeren bir laboratuvar denemesinde, tolerans parametreleri ile bitki bor konsantrasyonu arasında bir ilişki bulunamamıştır (Brdar-Jokanovi'c, M et al., 2013). Öte yandan, toleranslı genotipler nispeten daha yüksek bor içeriğine sahipti ve bu, hassas genotiplerde bor dahil tüm besinlerin alımının azalmasıyla açıklandı.

Açıktır ki, deneyin türü, arıtma gücü, bor ölçüm birimleri, genotip, büyüme aşaması ve bitki organı, tarımsal bitkilerde optimal ve kritik bor konsantrasyonunu etkiler.

Birkaç yazar, genotiplerin coğrafi kökeni ile bor toleransı arasındaki olası bir bağlantıyı araştırmaya çalıştı. Hindistan, Japonya ve Afganistan'dan gelen buğday çeşitleri çoğunlukla toleranslıdır (Moody, D.B et al., 1988), İran, Afganistan, Suriye, Pakistan ve Türkiye'den gelen arpa ve durum buğdaylarına benzer (Yau, S.K et al., 1995; Ferreyra, R.E et al., 1997). Bununla birlikte, Arjantin, Türkiye ve Irak'tan ekmeçlik buğday genotipleri grubunda, yazarlar bor toleransı açısından önemli farklılıklar kaydetmişlerdir. En büyük değişkenlik İtalyan çeşitlerinde tespit edildi. Avustralya, ABD, Kanada, Mısır ve kuzeybatı Avrupa'dan buğday genotiplerinin, Rus (Yau, S.K et al., 1994) ve Avrupa arpa genotiplerinin (Yau, S.K., 2002) yanı sıra duyarlı olduğu kanıtlandı (Moody, D.B et al., 1988). Şili menşeli mısır, havuç, domates ve yonca germplazmasının, Kuzey Amerika germplazmasından daha fazla boron toleranslı olduğu kanıtlanmıştır (Bañuelos, G.S et al., 1999).

Çeşitli kökenlere sahip genotipler arasında, B toleransındaki farklılık, bir edafik adaptasyonla, yani aşırı toprak bor problemi olan bölgelerde bulunan üreme merkezlerinde bor toleransına yönelik çoğunlukla istenmeyen seçim ile açıklanabilir. Birkaç örnek bu bakış açısını doğrulamaktadır. Şili'nin kuzeyindeki deneme setinde 42 tarım bitkisinin çeşitli genotiplerinde büyüme ve verim incelendi (Ferreyra, R.E et al., 1997). Yüzyıllar boyunca bölgedeki tarım arazileri yüksek bor içeren tuzlu su ile sulanmıştır. Yerel çeşitler, bu koşullarda beklenenden önemli ölçüde daha iyi sonuç verdi. Bor toleransı tarlada yetiştirilen farklı menşeli buğdaylarda araştırılmış (Kalayci, M vd., 1998; Brdar-Jokanovi'c, M., 2017) ve yerel çeşitler (sırasıyla Türkiye ve Sırbistan) beslenme bozukluğuna en çok adapte edilenler olarak ayırt edilmiştir. İki Suriyeli yerel popülasyon test edildi; bunlardan

biri bor toksisitesine eğilimli yarı kurak bir bölgede, diğeri ise yüksek yağışlı bölgeden. Beklendiği gibi, birincisi toleranslıydı ve ikincisi bor fazlalığına duyarlıydı (Yau, S.K., 2002).

Kullanım verimliliği için test edilen 45 Avustralya buğday genotipinden 44'ü verimsizdi (Rerkasem, B. and Jamjod, S., 1997) Benzer şekilde, Uluslararası Mısır ve Buğday İyileştirme Merkezi (CIMMYT) germplazması, özellikle makarnalık buğday olmak üzere, genellikle verimsizdir. 1108 hat arpa, tritikale, ekmek ve durum buğdayının yaklaşık dörtte üçü bor eksikliğine duyarlıdır (Rerkasem, B. et al., 2004). Bununla birlikte, Avustralya'daki toksisite sorununa rağmen, buğdayların çoğu aşırı bora duyarlıdır. Bu, ıslahta kullanılan başlangıç materyalinin dar genetik değişkenliği ile açıklandı. Orta toleranslı kültür ittifakı genellikle Avustralya çeşitlerinin soyağacındadır (Moody, D.B et al., 1988).

Buğdayda bor toleransının genetiğini araştırmayı amaçlayan ilk araştırma, ek bir şekilde hareket eden en az üç bağlantısız ana gen belirlendiğinde Paull araştırma grubu [70,149,209] tarafından gerçekleştirildi. Lokuslar 4AL, 7BL ve 7DL kromozomları üzerine yerleştirildi. 7B lokusu (Bo1), Avustralya buğday çeşitlerinin çoğunda bor toleransının kaynağını temsil ettiği için kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır (Reid, R., 2007; Schnurbusch, T et al., 2010; Pallotta, M. Et al., 2014; Jefferies, S.P et al., 2000; Emebiri, L.C. and Ogbonnaya, F.C., 2015).

Bor toksisitesi ile noksanlığı arasındaki dar aralık, bor gübrelemesi ve bor aşırı toprakların iyileştirilmesiyle ilgili maliyet ve kısıtlamalar, çevresel koşulların alım ve kullanım üzerindeki etkileri, kullanım verimliliği ve tolerans açısından belirlenen türler arası geniş değişkenlik göz önüne alındığında ve fizyolojisi ve genetiğiyle ilgili son bulgular, gelecekte başarılması mümkün olabilecek en iyi çözüm, geniş toprak bor konsantrasyonlarına göre ayarlanmış tarım bitkileri çeşitlerinin üretilmesi olacaktır.

Bor, bitki besinleri arasında birçok yönden benzersizdir; bununla birlikte, özellikle türler arasında hareketlilik açısından önemli farklılıklar, eksiklik ve toksisite arasındaki dar aralık ve yetersiz arza farklı türler arası ve türler arası tepki ile ayırt edilir. Hem bor noksanlığı hem de toksisite, çeşitli tarımsal bitkilerin verimi üzerinde zararlı etkilere sahip olabilir. Bor noksanlığıyla ilgili sorunları çözmek için

gübrelemenin yanı sıra bor kullanımında etkili olan yetiştirme çeşitlerinin önerilmiştir. Bu beslenme bozukluğunun etkileri, bitki yaşamının üreme aşamasında ve elementin floem-hareketsiz olduğu türlerde daha belirgindir. Hem transgenik hem de markör yardımcı seleksiyon yetiştirme yaklaşımları, mahsulün bor kullanım verimliliğini artırmak için etkili stratejiler olabilir. Eksiklikten farklı olarak, toprak bor toksisitesinin iyileştirilmesi çok daha zordur; bu nedenle, toleranslı mahsuller yetiştirmek tek sürdürülebilir çözüm olabilir. Bor toksisitesi tolerans mekanizmalarına ilişkin yeni bulgularla birlikte, geniş tür içi genetik değişkenlik, bor aşırı topraklarda tatmin edici verimlerle yetiştirme çeşitlerini kolaylaştırmalıdır.

Bor kök büyümesini inhibe eder (Nable 1988; Reid et al. 2004; Choi et al. 2007). Bu nedenle de dünyadaki yarı kurak alanların önemli bir problemidir. Yapılan bir çalışmada borik asit uygulamasının sebep olduğu kök büyümesi inhibisyonuyla kök meristemlerinin büyüklüğünün azaldığı gösterilerek problem moleküler temeli ortaya konmaya çalışılmıştır. Meristem büyüklüğündeki azalış hücre bölünmesindeki bir azalma sonucunda oluşur. Mitotik hücre sayısı önemli miktarda azalır ve hücre döngüsünün kilit regülatörlerinin ekspresyon seviyesi tekrar düzenlenir. Bu hücre döngüsündeki düzenlemenin sitokin ve oksin sinyali yoluyla ortaya çıkmadığı gözükmektedir. Global ekspresyon analizleri bor toksisitesinin abisisik asit sinyali ile gen ekspresyonunu indüklediğini, ABA cevabını ve hücre çeperi modifikasyonlarını indüklediğini ve su taşıyıcılarını kodlayan genleri represe ettiğini göstermektedir. Bu sonuçlara göre bor toksisitesi su ve borik asit alınımında bir azalmaya yol açar. Bu da kök büyümesini inhibe eden hidrik stres oluşumunu tetikler (Felip Aquea et al.,2012).

Biz de kendi çalışmamızda tohum çimlenmesi denememizde 3 katı bor uyguladığımız Hoagland solüsyonu ile çimlendirilmiş domates (*Lycopersicon esculentum* cv. SC2121) fidelerinde diğer gruplara göre (kontrol, borsuz,3katı CaCO₃ ve 3katı bor + CaCO₃) en düşük çimlenme yüzdesinin elde edildiği deneme grubu olarak karşımıza çıkmaktadır. Deneme bitkilerimizin en düşük kök boyunun 3 katı CaCO₃ ilaveli Hoagland solüsyonu ile büyütülmüş fidelerde olduğu gözlenmektedir. 3 katı B denemelerinde ise bunu takip eden bir değer ortaya çıkmaktadır.

Bor için yapılan toprak analizleri ince dokulu topraklarda tutarlı olmayan sonuçlar verdiği için ve asidik toprakların CaCO_3 ile iyileştirilmesi pratikte yapılan bir uygulama olduğundan CaCO_3 ile iyileştirilmiş killi topraklardaki bitki tarafından kullanılabilen bor ekstraktlarının uygunluğu genelde çalışılmıştır. Araştırmada bor absorpsiyonu üzerine pH'ın etkisi araştırılmıştır ve sıcak su ile ekstrakte edilebilen bor miktarlarındaki değişiklikler, manitolle ekstre edilen bor miktarındaki değişiklikler ve killi topraklara bor ve CaCO_3 ilavesi ile toprak ve çözülebilir bor üzerindeki değişiklikler *Medicago sativa* (alfa alfa) bitkisi üzerinde çalışılmıştır. Topraktaki ekstrete edilebilir bor miktarları sırası ile HW-B>mannitol bor MANN-B > SONN-B'dır. Toprakta çözülebilir bor artan pH ile azalmaktadır. 2,5 ve 5.0 gr CaCO_3 kg^{-1} alfa alfadaki kuru ağırlık verimini arttırırken 0.5 ve 1.5 mg bor kg^{-1} hiç bir etki göstermemiştir. İlave edilen bor yokluğunda alfa alfa gövdelerini bor konsantrasyonu artan pH ile azalmaktadır. Alfa alfa gövdelerinde bor konsantrasyonu ile topraktaki ekstrete edilebilir bor arasında linear korelasyon vardır. Her 3 ekstraktant içinde ve borun total alınımı önemli bir miktarda ekstrete edilebilir borun her formuyla ilişkiliyken sadece HW-B hariç diğer bütün formlarıyla önemli miktarda ilişkilidir. CaCO_3 ile bitki gövdelerindeki borun seyreltilmesi bor eksikliği şeklinde sonuçlanabilmektedir (Chunming Su et al.,1994). Bizim çalışmalarımızda elde ettiğimiz sonuçlara göre 3 katı bor ve 3 katı CaCO_3 'ü birlikte verdiğimizde, 3 katı borda düşük olan kuru ağırlık bunu takiben 3 katı CaCO_3 'te düşük olan gövde kuru ağırlık miktarlarının bor ile CaCO_3 'ün birlikte verildiği deneme grubunda gövde kuru ağırlığı artmış olduğu ve bor uygulamasının olmadığı deneme grubuyla da yaklaşık olarak eşit değerler verdiği görülmektedir. Bor uygulamasının olmadığı domates fidelerinde ise gövde kuru ağırlığının kontrole yakın olduğu tespit edilmiştir. Domates fidelerinin kök kuru ağırlığına geldiğimizde ise bor ile birlikte CaCO_3 uyguladığımız grupta kök kuru ağırlıklarının kontrole en yakın değerleri verdiği saptanmıştır. Bu da CaCO_3 'ün yukarıda verilen taşıyıcı etkisini göstermektedir. Bunu takiben bor uygulamasının olmadığı fidelerin kök kuru ağırlığı gelmektedir. Daha sonra 3 katı CaCO_3 uygulamasının olduğu fideler ve en son da 3 katı bor uygulamasının olduğu fideler takip etmektedir.

CaCO_3 çökelme işlemlerinde özgün mineral fazlarını belirlemekte (kalsit ve ya vaterit) ve bor kordinasyonunun modunu (trigonal, tetragonal) belirlemek için

CaCO₃ çökelmelerini farklı pH ve bor konsantrasyonlarında araştırılmıştır. CaCO₃ ile bor birlikteliğinin etkileşiminin miktarı genelde 8-12 pH aralığındaki sulu bor konsantrasyonlarında artmaktadır. 30-50 mmol bor konsantrasyonlarında pH'ın 10 olduğu CaCO₃ ile borun uzaklaştırılması maksimum değere ulaşmaktadır (yaklaşık 250mmol kg⁻¹). Vateritin kalsite dönüşümü 8 ve 10 pH da artarken sulu poliborat anyonlarının (100mmol) aşırı konsantrasyonları kalsitin kristal büyümesini engellemektedir. Genellikle bor eksikliğinin bitkilerde kök uzamasını inhibe ettiği bilinmektedir (Nable 1988; Reid et al. 2004; Choi et al. 2007). Bizim çalışmamızda da CaCO₃'ün bor ile birlikte ilavesinin kök boyunun kontrole yakın değerlere çektiği ve en fazla kök boyuna ulaştığı ve CaCO₃'ün B'yi taşıdığını kanıtlar niteliktedir.

Mineral besinler aşırı ya da yetersiz miktarda bulduklarında bitkilerdeki etkileri akut olabilmektedir ve bu da abiyotik stres olarak tanımlanır. Arpa kültürlerindeki borun toksik etkilerine cevaben hormonal seviyelerdeki tepkisinin araştırıldığı bir çalışmada (Ayvaz vd., 2012), bitki büyüme ve gelişiminin artan bor konsantrasyonlarıyla azaldığı tespit edilmektedir. Artan bor konsantrasyonlarında çözülebilir total proteinde her iki kültürde artmaktadır. Ayrıca bor uygulamasının endojenik IAA bileşiğinde her iki kültürde da bir artışa sebep olduğu gözlenmiştir. 10 ve 20 ppm bor uygulamasının endojenik ABA miktarında da Vamik Hoca kültüründe bir artışa sebep olurken Efes98'de ise azalış gözlenmektedir. Bor uygulamasının yokluğu ise her iki kültürde da endojenik IAA ve ABA miktarında bir artışa sebebiyet vermiştir. Bu sonuçlara göre her iki kültüründe bora tepkisi farklıdır ve Efes98'in toksisiteye Vamik hoca kültüründen daha dirençli olduğu gözlenmektedir. Bizim çalışmamızda 3 katı bor Hoagland solüsyonu ile sulanmış fidelerimizdeki IAA ve ABA miktarlarının en yüksek değerleri oluşturduğu gözlenmektedir. 3 katı borlu (18,6 mg kg⁻¹) Hoagland solüsyonu ile büyütülmüş domates çeşidimizde IAA (0,429) ve ABA(0,151) hormonları değerlerinin en yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu da yukarıdaki araştırmacıların değerleri ile paralel sonuçlar elde ettiğimizi göstermiştir.

Asidik topraklar üzerinde ürün üretimi Al, Mg fazlalığı ve bu topraklardaki fosfor eksikliği yüzünden oldukça sınırlıdır (Ritchie 1989; Kennedy 1992). Zirai ürünlerin asidik topraklarda üretimi bu nedenle kalsit (CaCO₃) ve Dolomit

(CaCO₃.MgCO₃) gibi sınırlı materyallerin ve azot, fosfor gibi gübrelerin ilavesini gerektirmektedir. Bunlar sadece toprağın kimyasal özellikleri değil aynı zamanda besin kullanılabilirliğini ve mikro elementlerin toksisitesini de etkiler.

Bor toksisitesini azaltmak için kalsiyumun etkisi buğday bitkisinin sera koşullarında borun 4 farklı seviyede (0,5,10 ve 20 mh kg⁻¹ borik asit olarak H₃BO₃) ve 3 dozaj kalsiyum (0,100 ve 200 mg kg⁻¹ Kalsiyum klorid CaCl₂) olarak denenmesiyle araştırılmıştır. Buğday bitkisi (*Triticum aestivum* Gerek-79). Bor toksisitesi semptomları 10 ve 20 mg Bkg⁻¹ seviyelerinde Ca uygulamaksızın kuvvetli bir şekilde oluşmuştur. Ca uygulamaksızın bor toksitesi semptomları 5 mg B kg⁻¹ seviyesinde çok zayıftır. Yüksek seviyelerde Ca uygulaması ile büyümüş buğday bitkileri toksisite semptomlarını az göstermişlerdir. Bor uygulamasıyla bitkinin gövde ve kök kuru ağırlıkları kuvvetli bir şekilde repreze olmuş ve azalmıştır. Ca uygulaması borun bitki üzerindeki ket vurucu etkilerini azaltmaktadır. Gövde ve kök bor konsantrasyonları ve bor alımı, artan bor uygulamasıyla artmakta fakat Ca uygulamalarıyla da azalmaktadır. Buna zıt olarak uygulanan Ca uygulaması, Ca konsantrasyonlarını ve alımını arttırmış, bor konsantrasyonları ve alımını da azaltmıştır. Total bor ve Ca'nın büyük bir çoğunluğu bitkinin hücre çeperlerinde lokalize olur. Uygulanmış bor hücre çeperindeki bor konsantrasyonunu arttırırken, hücre çeperindeki Ca konsantrasyonunu da azaltmaktadır. İlave olarak uygulanan kalsiyum hücre çeperinin Ca konsantrasyonunu arttırırken hücre çeperinin bor konsantrasyonunu da azaltmaktadır. Tüm bunların sonucunda bor toksisitesinin bitki büyüme ortamına Ca ilavesi ile azaltılabileceği görülmektedir (Murat Ali Turan ve ark., 2009).

Lycopersicon esculentum cv. SC2121 çeşidiyle farklı bor ve CaCO₃ uygulamalarıyla yapmış olduğumuz denememizde 3 katı bor ile hazırlanmış Hoagland solüsyonuyla yetiştirilmiş fidelerde kök ve kök kuru ağırlığının en az olduğu, buna karşın 3 katı bor ile birlikte 3 katı CaCO₃ uygulamasının sonucunda yetişen fidelerde kontrole yakın kök kuru ağırlığı elde edildiği gözlenmektedir. *Lycopersicon esculentum* fidelerinde 3 katı bor ile yetiştirilmiş gövde kuru ağırlığının 3 katı CaCO₃ uygulanmış fidelerden sonra geldiği gözlenmektedir. En düşük gövde kuru ağırlığı değerleri 3 katı CaCO₃ ilaveli Hoagland solüsyonuyla sulanmış fidelerde ortaya çıkmaktadır. Gövde kuru ağırlığı verileri bizim

çalışmamızda en yüksek değerine bor ilavesiz ortamlarda ulaşmakta ve CaCO_3 ile birlikte bor ilave edilmiş verilerle karşılaştırıldığında eşit sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. Bu da bize bor ile birlikte CaCO_3 uygulamasının bor eksikliği oluşturduğunu domateste göstermiştir.

Bor toksistesinin antioksidant mekanizma üzerine fonksiyonlarının incelenmesi *Zea mays* bitkisi üzerinde kinetin ve IAA'nın hafifletici etkileri olarak ortaya konmaktadır. Mısır bitkileri 0,05 ve 2 mmol borlu besin solüsyonlarında 8 gün çimleninceye kadar sulanmış ve daha sonra bitkiler 7 gün boyunca bu koşullarda büyütülmüştür. 15 günlük büyüme sonunda deiyonize su(kontrol), 1 ve 2 mmol kinetin ve ya IAA mısır bitkilerinin yapraklarına her 7 günde bir uygulanmıştır. 21 gün sonunda bitkiler hasat edilmiş büyüme ve su ilişkileri oksidatif ve antioksidatif araştırılmıştır. Bor toksistesini önemli miktarda kuru maddeyi ve fotosistem II'yi azaltmış. Fotosistem II'yi ve yaprak negatif su miktarını sterese uğramamış bitkiler ile karşılaştırıldığında azalmıştır. Buna karşın elektrolitik kırılma, H_2O_2 , serbest prolin, manniyaldehit MDA ve peroksidaz, superoksit dismutaz ve katalaz aktivitelerini arttırmıştır. Bor fazlalığında yetişmiş mısır bitkilerinin yapraklarına kinetin ve IAA uygulaması büyümeyi önemli olarak iletmesine rağmen bitki su statüsü ve çeşitli prolin gibi antioksidan enzimlerin aktivitesi artmıştır. Fakat elektrolitik leakage H_2O_2 ve MDA içeriklerinde azalma görülmüştür. Bor toksistesini yaprak borunu arttırmış ve yaprak K^+ , Ca^{+2} ve fosfor içeriklerini kontrol bitkileriyle karşılaştıklarında azaltmıştır. Bitki yapraklarına uygulanmış kinetin ve IAA yaprakların dokusal borunu azaltmış, buna karşın Ca, K ve P değerlerinde önemli bir artış ile sonuçlanmıştır. Sonuçta kinetin ve IAA püskürtülmesinin bor toksistesinin mısır bitkilerinin üzerindeki kötü etkilerini önemli miktarda azalttığı görülmektedir. Bunun da azalan miktarda bor, H_2O_2 ve MDA kadar anahtar antioksidan enzimlerin aktivitelerindeki bir artışla ilişkili olduğu ortaya koymaktadır. Çalışmamızda 3 katı bor uygulanmış Hoagland besin solüsyonunda yetiştirilmiş domates fidelerinde en yüksek IAA içeriği olduğu saptanması yukarıdaki çalışmanın sonuçlarıyla paralellik göstermektedir (Kaya, C ve ark., 2018).

Kurak bölge topraklarında yetiştirilen asma (*Vitis vinifera*) bor beslenmesi üzerine kalsiyum ve potasyum etkileri üzerine yapılmış bir çalışmada (Kızılgöz vd.,

2009) Hilvan (Şanlıurfa)'da yetiştirilen asma çeşitlerinin bor içeriğinin oldukça yüksek olduğu saptanmıştır. Topraktaki alınabilir bor düzeylerinin Ca ve K ile önemli düzeyde pozitif ilişkili olduğu saptanmaktadır. Bitkiler için mutlak gerekli olan ve çok önemli fonksiyonel özelliklere sahip olan kalsiyum ve borun metabolik işlevleri birbirine benzemektedir. Buna göre kalsiyumun bitkilerde metabolik işlevleri; hücre duvarlarında yer almak, kök uzamasına ve bölünmesine etki yapmak, bitki dokularını donma-çözülme stresine karşı korumak, katyon-anyon dengesinin sağlanmasında rol oynamak ve kök salgısı üzerine etki etmek olarak belirtilebilir. Borun şekerlerin taşınması, hücre duvarı sentezi, lignin ve hücre duvarının oluşumu, karbonhidrat, RNA, solunum, IAA (indol asetik asit) ve fenol metabolizmaları ile biyolojik membranların yapısal ve fonksiyonel özellikleri üzerine önemli işlevleri vardır. Potasyumun bitkilerdeki metabolik işlevlerini ise enzim aktivitesinde ve fotosentezde görev almak, fotosentez ürünlerinin taşınmasını sağlamak, hücre büyümesinde ve su bütçesinin dengelenmesinde rol oynamak olarak belirtmek mümkündür (Marschner, 1997; Kacar ve Katkat, 1998).

Güneydoğu Anadolu kurak bölge toprakları genel olarak kireç ve potasyum bakımından zengindir. Eyüpoğlu'na (1999) göre bölge topraklarının % 60'ı %5 ve daha fazla CaCO_3 ve %97'si 160 ppm'den daha fazla 1 N HNO_3 ile ekstrakte edilebilir potasyum içermektedir. Bununla birlikte bitkilerin kalsiyumla beslenmesinde sorunlar yaşanmaktadır. Örneğin, Şanlıurfa'da yetiştirilen asma çeşitlerinde yaygın Ca ve Mg noksanlığının mevcut olduğu bildirilmektedir (Kızılgöz ve ark., 2004). Son yıllarda yapılan pek çok araştırma, bitkilerin kök yüzeyindeki B miktarı ile topraktaki Ca ve K iyonları arasında antagonistik etkileşimin var olduğunu ortaya koymaktadır (Brady and Weil, 2008). Gupta (1972), bitkide Ca/B oranının >697 olması durumunda arpada bor noksanlığı görüldüğünü, Ca/B=260 olduğunda bitkinin yeterli düzeyde B ve Ca ile beslendiğini, Ca/B oranının 7-22 arasında olması durumunda ise, ciddi B toksitesinin görüldüğünü bildirmektedir. Midcap, (1999), bitki yapraklarındaki Ca/B oranını 500:1 olarak bildirmektedir. Tariq and Mott, (2006), Toprak çözeltisindeki Ca/B oranının topraktaki fosfor, demir, bor ve molibdenle negatif; azot, potasyum, kalsiyum, magnezyum, sodyum, çinko, mangan ve bakırla pozitif istatistikî ilişki gösterdiğini bildirmektedir. Turp bitkisinin indikatör bitki olarak kullanıldığı bir araştırmada bitkide Ca/B oranının 500:1-1000:1 arasında bulunduğu

durumda bitki besin elementi alımının en yüksek düzeyde olduğu bildirilmektedir (Tariq and Mott, 2007). Evans ve ark., (1994), asit topraklara 2.5 ve 5.0 g CaCO₃ kg⁻¹ ilavesinin yonca bitkisi sürgünlerinin gelişimini artırdığını ve kalsiyum ilavesine bağlı olarak bitkideki B ile topraktaki bitkilerce alınabilir B arasında istatistiki bakımdan doğrusal bir ilişkinin var olduğunu ifade etmektedir. Börekçi (1986), kireçleme ile pH'sı nötr yapılan topraklardaki borun % 90 oranında fiske edildiğini ve bu oranın kireçlenmemiş topraklardaki B fiksasyonunun 4 katı olduğunu bildirmektedir. Kızılgöz ve ark., (2004) yaptıkları bir araştırmada bitkilerin bor alımı ile toplam ve suda çözünebilir kalsiyum formları arasında istatistiki açıdan önemli negatif ilişkiler saptamışlardır (p<0.01). Bitkilerin bor alımı üzerine toprak neminin ve transpirasyonun da son derece önemli etkisi bulunmaktadır (Kacar ve ark., 2002; Tisdale et al., 1993).

Bitki hormonları besin kullanılabilirliği gibi çevresel koşullara bitki büyümesini uyarlar. *Brassica napus* fideleri artan bor gereksinimi altında yetiştirilmiştir ve çeşitli hormonlar Lc/Ms ile teşhis edilmiştir. Artan gövde bor konsantrasyonları ABA ve IAA konsantrasyonlarında azalmayla görülürken, bor eksikliğinde sadece Indol 3 asetonitril sentezlendiği ortaya çıkmaktadır. Buna karşılık gövde bor konsantrasyonları sitokinlerle yakında ilişkilidir. Giberellin biyosentezi de artan bor gereksinimiyle artmaktadır. Brassicasteroid castasteronun özellikle suboptimal bor besini altında büyüyen gövdeleri desteklediği gözlenmektedir (Pommerrenig, B et al., 2018).

İnsan popülasyonundaki büyüme oranı ürün verimlerindeki ilerlemelerden daha hızlıdır. Gelecekte insanları beslemek için çoklu stratejiler gereklidir. Önerilen yaklaşımlardan biri C₃ ürünlerinin verim potansiyelini arttırmak için daha etkin C₄ yolağına C₃ ürünlerinin fotosentezini modifiye etmektir. C₄ fotosenteziyle ilgili kompleks değişimlere bağlı olarak bu dönüşümün biyolojinin 21. asırdaki en büyük görevlerden biri olacağı kaçınılmazdır (Covshoff and Hibberd., 2012). Yeşil devrim tahıl üretiminde büyük ilerleme yol açmıştır. Bununla beraber son yıllarda bitki besleyicileri nüfus artışına paralel olarak ürün artışında başarısızlığa uğramışlardır. 2030 yılında Dünya tahıl üretiminin %50 artacağı ve besin isteğiyle karşı karşıya kalmacağı düşünülmektedir. İklimdeki belirsizliklerin artışına bağlı olarak genetik

ilerlemeler ürünü arttırırsa bunun faydalı olabileceği düşünülmektedir. Var olan besin bitkilerinin veriminin maksimum arttırılabilmesi kısmen bir çözümdür. Teorik olarak bazı türlerin fotosentetik kapasitesini arttırarak ürün verimini %50 arttırmak mümkündür. Pratikte mümkün olabileceği ispatlanırsa büyük oranda gelecekte besin güvenliği sağlanabilecektir. Verim potansiyeli 4 faktöre bağlıdır; i) Büyüme dönemindeki total güneş ışığı ii) bitkinin fotosentetik aktif radyasyonu kabul etme etkinliği iii) kabul edilen fotosentetik aktif radyasyonun kuru maddeye dönüşümü (radyasyon kullanımını etkinliği) iv) Danenin hasat kaynakları.

Teorikte C_4 fotosentezi kullanarak C_3 bitkilerinin RUE değerinin %50 arttıracakını göstermektedir. Bu da besinleri C_3 'den C_4 'e dönüştürmenin global besin krizini azaltacağına dikkat çeker. C_4 bitkileri yapraklarında görülen Kranz benzeri anatomiyi C_3 bitkilerine tanıtırma çabaları için iki hücreli NadpME C_4 yaprağı genetik olarak mühendislik yapılmıştır. Klasik kranz anatomisi hedef olarak seçilerek bu anahtar modifikasyonu uygulanmıştır. Çünkü en verimli C_4 bitkileri bu hücresel kalıba sahiptir.

Biz de çalışmamızda C_4 bitkilerinin belirteci olan Pep karboksilaz enzimidaki artışları Bor ile birlikte $CaCO_3$ 'ün birlikte verildiği deneme grubunda saptamış bulunmaktayız. 10 günlük domates fidelerinde yapmış olduğumuz Pep karboksilaz ölçümlerinde 10. ve 250. saniyedeki ölçümlerin eşit olarak kalsiyumun ve borun birlikte verildiği fidelerde kontrol değerleriyle hemen hemen aynı olduğu hatta kontrol değerlerini de aştığı gözlenmektedir. 21. gün fidelerinde ise $CaCO_3$ ve bor birlikte uygulamasının kontrol değerlerinin çok üstünde olarak eşit bir şekilde artmış olduğu gözlenmektedir. Buradan çıkan sonuca göre çalışmamızda uyguladığımız 3 katı bor ve 3 katı $CaCO_3$ birlikte uyguladığı Hoagland solüsyonu ile yetiştirilmiş fidelerde C_4 bitkisine dönüşüm olduğu gözlenmektedir. Yaprak orta damarlarından alınan kesitlerde kranz anatomisi olduğu gözlenmiştir. Bu da çalışmamızın genetik mühendisliği olmadan saha çalışması yapılarak bir alternatif olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abo-Hamad, S. A., & El-Feky, S. S.**, 2014, Effect of boron on growth and some physiological activities of tomato plant. *Life Science Journal*, 11(7), 403-408.
- Agulhon, P. H.**, 1988, Présence et utilité du bore chez les végétaux. *Nutrition Reviews*, 46(10), 353-355.
- Albacete, A., Ghanem, M. E., Martínez-Andújar, C., Acosta, M., Sánchez-Bravo, J., Martínez, V., ... & Pérez-Alfocea, F.**, 2008, Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Journal of Experimental Botany*, 59(15), 4119-4131.
- Aquea, F., Federici, F., Moscoso, C., Vega, A., Jullian, P., Haseloff, J. I. M., & ARCE-JOHNSON, P. A. T. R. I. C. I. O.**, 2012, A molecular framework for the inhibition of Arabidopsis root growth in response to boron toxicity. *Plant, cell & environment*, 35(4), 719-734.
- Asad, A., Bell, R. W., & Dell, B.**, 2001, A critical comparison of the external and internal boron requirements for contrasting species in boron-buffered solution culture. *Plant and Soil*, 233(1), 31-45.
- Ayvaz, M., Guven, A., & Fagerstedt, K.**, 2015, Does excess boron affect hormone levels of potato cultivars?. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 29(5), 887-891.
- Ayvaz, M., Koyuncu, M., Güven, A., & Fagerstedt, K. V.**, 2012, Does boron affect hormone levels of barley cultivars?. *EurAsian Journal of BioSciences*, 6(1), 113-120.
- Bellaloui, N., Brown, P. H., & Dandekar, A. M.**, 1999, Manipulation of in vivo sorbitol production alters boron uptake and transport in tobacco. *Plant Physiology*, 119(2), 735-742.
- Bellaloui, N., Yadav, R. C., Chern, M. S., Hu, H., Gillen, A. M., Greve, C., ... & Brown, P. H.**, 2003, Transgenically enhanced sorbitol synthesis facilitates phloem-boron mobility in rice. *Physiologia Plantarum*, 117(1), 79-84.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Berger, K. C.**, 1949, Boron in soils and crops. In *Advances in agronomy* (Vol. 1, pp. 321-351). Academic Press.
- Blätke, M. A., & Bräutigam, A.**, 2019, Evolution of C4 photosynthesis predicted by constraint-based modelling. *Elife*, 8, e49305.
- Blevins, D. G., & Lukaszewski, K. M.**, 1998, Boron in plant structure and function. *Annual review of plant biology*, 49(1), 481-500.
- Bolaños, L., Lukaszewski, K., Bonilla, I., & Blevins, D.**, 2004, Why boron?. *Plant Physiology and Biochemistry*, 42(11), 907-912.
- Bowen, J. E., & Gauch, H. G.**, 1965, The Essentiality of Boron for *Dryopteris dentata* and *Selaginella apoda*. *American Fern Journal*, 55(2), 67-73.
- Brdar, J. M., Zoric, M., KONDIC, S. A., Maksimovic, I., Kobiljski, B., & KRALJEVIC, B. M.**, 2017, Boron tolerance in wheat accessions of different origin estimated in controlled and field conditions.
- Brdar-Jokanović, M.**, 2020, Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), 1424.
- Brdar-Jokanović, M., Maksimović, I., Kraljević-Balalić, M., Zeremski-Škorić, T., Kondić-Špika, A., & Kobiljski, B.**, 2013, Boron concentration vs. content as criterion for estimating boron tolerance in wheat. *Journal of plant nutrition*, 36(3), 470-480.
- Brown, P. H., & Hu, H.**, 1994, Boron uptake by sunflower, squash and cultured tobacco cells. *Physiologia Plantarum*, 91(3), 435-441.
- Brown, P. H., & Hu, H.**, 1996, Phloem mobility of boron is species dependent: evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. *Annals of Botany*, 77(5), 497-506.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Brown, P. H., & Hu, H.**, 1997, Does boron play only a structural role in the growing tissues of higher plants?. In *Plant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment* (pp. 63-67). Springer, Dordrecht.
- Brutnell, T. P., Wang, L., Swartwood, K., Goldschmidt, A., Jackson, D., Zhu, X. G., ... & Van Eck, J.**, 2010, *Setaria viridis*: a model for C4 photosynthesis. *The Plant Cell*, 22(8), 2537-2544.
- Cakmak, I., & Römheld, V.**, 1997, Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. *Plant and Soil*, 193(1-2), 71-83.
- Chormova, D., & Fry, S. C.**, 2016, Boron bridging of rhamnogalacturonan-II is promoted in vitro by cationic chaperones, including polyhistidine and wall glycoproteins. *New Phytologist*, 209(1), 241-251.
- Chormova, D., Messenger, D. J., & Fry, S. C.**, 2014, Boron bridging of rhamnogalacturonan-II, monitored by gel electrophoresis, occurs during polysaccharide synthesis and secretion but not post-secretion. *The Plant Journal*, 77(4), 534-546.
- Colby, S. M., Crock, J., Dowdle-Rizzo, B., Lemaux, P. G., & Croteau, R.**, 1998, Germacrene C synthase from *Lycopersicon esculentum* cv. VFNT Cherry tomato: cDNA isolation, characterization, and bacterial expression of the multiple product sesquiterpene cyclase. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(5), 2216-2221.
- Costan, A., Stamatakis, A., Chrysargyris, A., Petropoulos, S. A., & Tzortzakis, N.**, 2020, Interactive effects of salinity and silicon application on *Solanum lycopersicum* growth, physiology and shelf-life of fruit produced hydroponically. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(2), 732-743.
- Cousins, A. B., Mullendore, D. L., & Sonawane, B. V.**, 2020, Recent developments in mesophyll conductance in C3, C4, and crassulacean acid metabolism plants. *The Plant Journal*, 101(4), 816-830.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Covshoff, S., & Hibberd, J. M.**, 2012, Integrating C4 photosynthesis into C3 crops to increase yield potential. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 209-214.
- Davis, R. D., Beckett, P. H. T., & Wollan, E.**, 1978, Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley. *Plant and Soil*, 49(2), 395-408.
- Driscoll, Wade C.**, 1996, Robustness of the ANOVA and Tukey-Kramer statistical tests. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 31, Issues 1–2, Pages 265-268.
- Dzondo-Gadet, M., Mayap-Nzietchueng, R., Hess, K., Nabet, P., Belleville, F., & Dousset, B.**, 2002, Action of boron at the molecular level. *Biological Trace Element Research*, 85(1), 23-33.
- Edwards, G., Franceschi, V.R., Ku, M.S.B., Voznesenskaya, E.V., Pyankov, V.I. and Andreo, C.S.**, 2001, Compartmentation of photosynthesis in cells and tissues of C4 plants. *J. Exp. Bot.* 52, 577-590.
- Edwards, G.E. and Walker, D.A.**, 1983, C3,C4: Mechanisms, and Cellular and Environmental Regulation, of Photosynthesis. Oxford: Blackwell Scientific Publications
- Eggert, K., & von Wirén, N.**, 2017, Response of the plant hormone network to boron deficiency. *New Phytologist*, 216(3), 868-881.
- Ehleringer JR, Cerling TE, Helliker BR**, 1997, C4 photosynthesis, atmospheric CO2, and climate. *Oecologia* 112: 285–299
- Ehleringer JR, Sage RF, Flanagan LB, Pearcy RW**, 1991, Climate change and the evolution of C4 photosynthesis. *Trends Ecol Evol* 6: 95–99
- Ehleringer, J.R.; Cerling, T.E.** "C3 and C4 Photosynthesis" in "Encyclopedia of Global Environmental Change," **Munn, T.; Mooney, H.A.; Canadell, J.G., editors.**, 2002, John Wiley and Sons. London, pp 186–190.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ehleringer, J. R., & Cerling, T. E. , 2002,**C3 and C4 photosynthesis. *Encyclopedia of global environmental change*, 2, 186-190.
- Ekinçi, M., ESRİNGÜ, A., Dursun, A., Yildirim, E., Turan, M., KARAMAN, M. R., & Arjumend, T., 2015,** Growth, yield, and calcium and boron uptake of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) asaffected by calcium and boron humate application in greenhouse conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(5), 613-632.
- Elena V. Voznesenskaya, Vincent R. Franceschi, Olavi Kiirats, Elena G. Artyusheva, Helmut Freitag, Gerald E. Edwards, 2002,** Proof of C4 photosynthesis without Kranz anatomy in *Bienertia cycloptera* (Chenopodiaceae), *The Plant Journal* 31(5), 649-662
- El-Feky, S. S., El-Shintinawy, F. A., Shaker, E. M., & Shams El-Din, H. A., 2012,** Effect of elevated boron concentrations on the growth and yield of barley (*'Hordeum vulgare'*L.) and alleviation of its toxicity using different plant growth modulators. *Australian Journal of Crop Science*, 6(12), 1687.
- Emebiri, L. C., & Ogbonnaya, F. C., 2015,** Exploring the synthetic hexaploid wheat for novel sources of tolerance to excess boron. *Molecular breeding*, 35(2), 68.
- Esteban, V., Cartagena, P. P., Iturrieta, L. T., & Bastías, E., 2016,** Remediation of salt and boron-affected soil by addition of organic matter: an investigation into improving tomato plant productivity. *Idesia*, 34(3), 25-32.
- Fan, Z., Kong, M., Ma, L., Duan, S., Gao, N., Xuqing, C., & Yongsheng, T., 2020,** Transcriptome analysis of a novel maize bsd C4 mutant using RNA-seq. *Plant Signaling & Behavior*, 15(8), 1777374.
- Ferreyra, R. E., Aljaro, A. U., Ruiz, R. S., Rojas, L. P., & Oster, J. D., 1997,** Behavior of 42 crop species grown in saline soils with high boron concentrations. *Agricultural Water Management*, 34(2), 111-124.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Freitag, H., & Stichler, W.** , 2002, *Bienertia cycloptera* Bunge ex Boiss., Chenopodiaceae, another C4 Plant without Kranz Tissues286. *Plant Biology*, 4(1), 121-132.
- Friso, G., Majeran, W., Huang, M., Sun, Q., & Van Wijk, K. J.**, 2010, Reconstruction of metabolic pathways, protein expression, and homeostasis machineries across maize bundle sheath and mesophyll chloroplasts: large-scale quantitative proteomics using the first maize genome assembly. *Plant physiology*, 152(3), 1219-1250.
- Fujiyama, B. S., Silva, A. R. B. E., Silva Júnior, M. L. D., Cardoso, N. R. P., Fonseca, A. B. D., Viana, R. G., & Sampaio, L. S.**, 2019, Boron fertilization enhances photosynthesis and water use efficiency in soybean at vegetative growth stage. *Journal of Plant Nutrition*, 42(19), 2498-2506.
- Furlani, Â. M. C., Carvalho, C. P., Freitas, J. G. D., & Verdial, M. F.**, 2003, Wheat cultivar tolerance to boron deficiency and toxicity in nutrient solution. *Scientia Agricola*, 60(2), 359-370.
- Gadetskaya, A. V., Mohamed, S. M., Tarawneh, A. H., Mohamed, N. M., Ma, G., Ponomarev, B. N., ... & Ross, S. A.**, 2017, Phytochemical characterization and biological activity of secondary metabolites from three *Limonium* species. *Medicinal Chemistry Research*, 26(11), 2743-2750.
- Gauch, H. G., & Dugger Jr, W. M.**, 1953, The role of boron in the translocation of sucrose. *Plant Physiology*, 28(3), 457.
- Goldbach, H. E., & Wimmer, M. A.**, 2007, Boron in plants and animals: is there a role beyond cell-wall structure?. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(1), 39-48.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Goldbach, H. E., Wimmer, M. A., & Findelee, P.**, 2000, Discussion paper: Boron—how can the critical level be defined?. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163(1), 115-121.
- Gowik, U., & Westhoff, P.**, 2011, The path from C3 to C4 photosynthesis. *Plant Physiology*, 155(1), 56-63.
- Grodzinski, B., Jiao, J., & Leonardos, E. D.**, 1998, Estimating Photosynthesis and Concurrent Export Rates in C3 and C4 Species at Ambient and Elevated CO₂ 1, 2. *Plant Physiology*, 117(1), 207-215.
- Gupta, U. C.** (1993). *Boron and its role in crop production*. CRC press.
- Gupta, U. C.**, 1971, Boron and molybdenum nutrition of wheat, barley and oats grown in Prince Edward Island soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 51(3), 415-422.
- Gupta, U. C., MacLeod, J. A., & Sterling, J. D. E.**, 1976, Effects of boron and nitrogen on grain yield and boron and nitrogen concentrations of barley and wheat. *Soil Science Society of America Journal*, 40(5), 723-726.
- GÜNEŞ, A., Alpaslan, M., Inal, A., Adak, M. S., Eraslan, F., & Çiçek, N.**, 2004, Effects of boron fertilization on the yield and some yield components of bread and durum wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27(6), 329-335.
- Han, S., Chen, L. S., Jiang, H. X., Smith, B. R., Yang, L. T., & Xie, C. Y.**, 2008, Boron deficiency decreases growth and photosynthesis, and increases starch and hexoses in leaves of citrus seedlings. *Journal of plant physiology*, 165(13), 1331-1341.
- Harris, K. D., & Puvanitha, S.**, 2017, Influence of Foliar Application of Boron and Copper on Growth and Yield of Tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv 'Thilina').
- Hatch, M. D.**, 1971, The C₄-pathway of photosynthesis. Evidence for an intermediate pool of carbon dioxide and the identity of the donor C₄-dicarboxylic acid. *Biochemical Journal*, 125(2), 425-432.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hatch, M. D.**, 1987, C4 photosynthesis: a unique blend of modified biochemistry, anatomy and ultrastructure. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Reviews on Bioenergetics*, 895(2), 81-106.
- Hayat, S., Hasan, S. A., Fariduddin, Q., & Ahmad, A.**, 2008, Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. *Journal of Plant Interactions*, 3(4), 297-304.
- Hoagland, D.R. Arnon, D.I.**, 1950. The Water Culture Method for Growing Plants Without Soil. Calif. Agric. Exp. Stn. Circ. 347, 39 p., New York.
- Hossein Akhani, João Barroca, Nuria Koteeva, Elena Voznesenskaya, Vincent Franceschi, Gerald Edwards, Seyed Mahmood Ghaffari, and Hubert Ziegler**, 2005, *Bienertia sinuspersici* (Chenopodiaceae): A New Species from Southwest Asia and Discovery of a Third Terrestrial C4 Plant Without Kranz Anatomy, The American Society of Plant Taxonomists, 30(2):290-301.
- Huang, C., & Graham, R. D.**, 1990, Resistance of wheat genotypes to boron toxicity is expressed at the cellular level. *Plant and Soil*, 126(2), 295-300.
- Huang, L., Bell, R. W., & Dell, B.**, 2001, Boron supply into wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Wilgoyne) ears whilst still enclosed within leaf sheaths. *Journal of Experimental Botany*, 52(361), 1731-1738.
- Hylton, C.M., Rawsthorne, S., Smith, A.M., Jones, D.A. and Woolhouse, H.W.**, 1988, Glycine decarboxylase is confined to the bundle sheath cells of leaves of C3-C4 intermediate species. *Planta* 175, 452-459
- Ivan Jurić, Vinicio González-Pérez, Julian M. Hibberd, Gerald Edwards and Nigel J. Burroughs**, 2017, Size matters for single-cell C4 photosynthesis in *Bienertia*, *Journal of Experimental Botany*, Vol. 68, No. 2 pp. 255–267
- Izzah, A., Iswahyudi, F. N. U., & Sukma, K. P. W.**, 2020, Pengaruh Penggunaan Nano Kalsium Terhadap Produksi Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Agriprima, Journal of Applied Agricultural Sciences*, 4(1), 1-5.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Jefferies, S. P., Pallotta, M. A., Paull, J. G., Karakousis, A., Kretschmer, J. M., Manning, S., ... & Chalmers, K. J.**, 2000, Mapping and validation of chromosome regions conferring boron toxicity tolerance in wheat (*Triticum aestivum*). *Theoretical and applied Genetics*, 101(5-6), 767-777.
- Kajala, K., Covshoff, S., Karki, S., Woodfield, H., Tolley, B. J., Dionora, M. J. A., ... & Quick, W. P.**, 2011, Strategies for engineering a two-celled C4 photosynthetic pathway into rice. *Journal of experimental botany*, 62(9), 3001-3010.
- Kalayci, M., Alkan, A., Cakmak, I., Bayramoğlu, O., Yilmaz, A., Aydin, M., ... & Ozberisoy, F.**, 1998, Studies on differential response of wheat cultivars to boron toxicity. *Euphytica*, 100(1-3), 123-129.
- Kasajima, I., & Fujiwara, T.**, 2007, Identification of novel *Arabidopsis thaliana* genes which are induced by high levels of boron. *Plant biotechnology*, 24(3), 355-360.
- Kasajima, I., Ide, Y., Yokota Hirai, M., & Fujiwara, T.**, 2010, WRKY6 is involved in the response to boron deficiency in *Arabidopsis thaliana*. *Physiologia plantarum*, 139(1), 80-92.
- Kato, Y., Miwa, K., Takano, J., Wada, M., & Fujiwara, T.**, 2009, Highly boron deficiency-tolerant plants generated by enhanced expression of NIP5; 1, a boric acid channel. *Plant and Cell Physiology*, 50(1), 58-66.
- Kaya, C., Akram, N. A., & Ashraf, M.**, 2018, Kinetin and indole acetic acid promote antioxidant defense system and reduce oxidative stress in maize (*Zea mays* L.) plants grown at boron toxicity. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37(4), 1258-1266.
- Kızılgöz, İ., Sakin, E., & Tutar, E.**, 2020, Kurak Bölge Topraklarında Yetiştirilen Asmanın *Vitis vinifera* L. Bor Beslenmesi Üzerine Kalsiyum ve Potasyumun Etkisi. *Ziraat Mühendisliği*, (353), 56-59.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kobayashi, K., Hashimoto, Y., & Wang, S. L.**, 2020, Boron incorporation into precipitated calcium carbonates affected by aqueous pH and boron concentration. *Journal of hazardous materials*, 383, 121183.
- Kobayashi, M., Mutoh, T., & Match, T.**, 2004, Boron nutrition of cultured tobacco BY-2 cells. IV. Genes induced under low boron supply. *Journal of experimental botany*, 55(401), 1441-1443.
- Kumar, R., Kumar, P., Sharma, V., & Kumar, H.**, 2017, Genetic engineering to establish a C4-metabolism in C3 plants for crop improvement: A review. *Journal of Cell & Tissue Research*, 17(2).
- Landi, M., Margaritopoulou, T., Papadakis, I. E., & Araniti, F.**, 2019, Boron toxicity in higher plants: An update. *Planta*, 1-22.
- Lewin, J.**, 1966, Boron as a growth requirement for diatoms 1. *Journal of Phycology*, 2(4), 160-163.
- Lewis, D. H.**, 2019, Boron: the essential element for vascular plants that never was. *New Phytologist*, 221(4), 1685-1690.
- Li, M., Zhao, Z., Zhang, Z., Zhang, W., Zhou, J., Xu, F., & Liu, X.**, 2017, Effect of boron deficiency on anatomical structure and chemical composition of petioles and photosynthesis of leaves in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Scientific Reports*, 7(1), 1-9.
- Li, T., Choi, W. G., Wallace, I. S., Baudry, J., & Roberts, D. M.**, 2011, Arabidopsis thaliana NIP7; 1: an anther-specific boric acid transporter of the aquaporin superfamily regulated by an unusual tyrosine in helix 2 of the transport pore. *Biochemistry*, 50(31), 6633-6641.
- Liu, G., Dong, X., Liu, L., Wu, L., Peng, S. A., & Jiang, C.**, 2015, Metabolic profiling reveals altered pattern of central metabolism in navel orange plants as a result of boron deficiency. *Physiologia plantarum*, 153(4), 513-524.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Liu, Y., Yue, L., Wang, C., Zhu, X., Wang, Z., & Xing, B.,** 2020, Photosynthetic response mechanisms in typical C3 and C4 plants upon La₂O₃ nanoparticle exposure. *Environmental Science: Nano*, 7(1), 81-92.
- Lu, Y. B., Qi, Y. P., Lee, J., Guo, P., Ye, X., Jia, M. Y., ... & Chen, L. S.,** 2015, Long-term boron-deficiency-responsive genes revealed by cDNA-AFLP differ between *Citrus sinensis* roots and leaves. *Frontiers in plant science*, 6, 585.
- Lu, Y. B., Yang, L. T., Li, Y., Xu, J., Liao, T. T., Chen, Y. B., & Chen, L. S.,** 2014, Effects of boron deficiency on major metabolites, key enzymes and gas exchange in leaves and roots of *Citrus sinensis* seedlings. *Tree physiology*, 34(6), 608-618.
- Lu, Y. B., Yang, L. T., Qi, Y. P., Li, Y., Li, Z., Chen, Y. B., ... & Chen, L. S.,** 2014, Identification of boron-deficiency-responsive microRNAs in *Citrus sinensis* roots by Illumina sequencing. *BMC plant biology*, 14(1), 1-16.
- Ludbrook, W. V.,** 1942, The effects of various concentrations of boron on the growth of pine seedlings in water culture.
- Macedo, L. O., Mattos Júnior, D., Jacobassi, R., Hippler, F. W. R., Quaggio, J. A., & Boaretto, R. M.** Efficiency of foliar application of sparingly soluble sources of boron and zinc in citrus. *Scientia Agricola*, 78(1).
- Mai, K. K. K., Gao, P., & Kang, B. H.,** 2020, Electron Microscopy Views of Dimorphic Chloroplasts in C4 Plants. *Frontiers in Plant Science*, 11.
- Martinez, H. E. P., Maia, J. T. L. S., Ventrela, M. C., Milagres, C. D. C., Cecon, P. R., Clemente, J. M., & Garbin, C. Z.,** 2020, Leaf and Stem Anatomy of Cherry Tomato Under Calcium and Magnesium Deficiencies. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 63.
- Martínez-Andújar, C., Ruiz-Lozano, J. M., Dodd, I. C., Albacete, A., & Pérez-Alfocea, F.,** 2017, Hormonal and nutritional features in contrasting rootstock-mediated tomato growth under low-phosphorus nutrition. *Frontiers in Plant Science*, 8, 533.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mazé, P.**, 1915, Détermination des éléments minéraux rares nécessaires au développement du maïs. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de L'académie des Sciences*, 160, 211-214.
- Mazlum, Y., & Şirin, S.**, 2020, The Effects of Using Different Levels of Calcium Carbonate (CaCO₃) on Growth, Survival, Molting Frequency and Body Composition of Freshwater Crayfish Juvenile, *Pontastacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823).
- Milborrow, B. V.**, 1970, The metabolism of abscisic acid. *Journal of Experimental Botany*. 21: 16-20.
- Miwa, K., Takano, J., & Fujiwara, T.**, 2006, Improvement of seed yields under boron-limiting conditions through overexpression of BOR1, a boron transporter for xylem loading, in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal*, 46(6), 1084-1091.
- Miwa, K., Wakuta, S., Takada, S., Ide, K., Takano, J., Naito, S., ... & Fujiwara, T.**, 2013, Roles of BOR2, a boron exporter, in cross linking of rhamnogalacturonan II and root elongation under boron limitation in *Arabidopsis*. *Plant physiology*, 163(4), 1699-1709.
- Miyao, M.**, 2003, Molecular evolution and genetic engineering of C₄ photosynthetic enzymes. *Journal of experimental botany*, 54(381), 179-189.
- Moreno, M. M., Villena, J., González-Mora, S., & Moreno, C.**, 2019, Response of healthy local tomato (*Solanum lycopersicum* L.) populations to grafting in organic farming. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.
- Moreno-Teruel, M. D. L. Á., Valera, D., Molina-Aiz, F. D., López-Martínez, A., Peña, A., Marín, P., & Reyes-Rosas, A.**, 2020, Effects of Cover Whitening Concentrations on the Microclimate and on the Development and Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Inside Mediterranean Greenhouses. *Agronomy*, 10(2), 237.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Moreno-Teruel, M. D. L. Á., Valera, D., Molina-Aiz, F. D., López-Martínez, A., Peña, A., Marín, P., & Reyes-Rosas, A., 2020,** Effects of Cover Whitening Concentrations on the Microclimate and on the Development and Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Inside Mediterranean Greenhouses. *Agronomy*, 10(2), 237.
- Nable, R. O., 1988,** Resistance to boron toxicity amongst several barley and wheat cultivars: a preliminary examination of the resistance mechanism. *Plant and soil*, 112(1), 45-52.
- Nable, R. O., 1989,** *Effects of boron toxicity upon the mineral nutrient composition of barley and wheat cultivars.* Adelaide, SA, CSIRO Division of Soils.
- Nable, R. O., Bañuelos, G. S., & Paull, J. G., 1997,** Boron toxicity. *Plant and soil*, 193(1-2), 181-198.
- NABLE, R. O., LANCE, R. C., & CARTWRIGHT, B., 1990,** Uptake of boron and silicon by barley genotypes with differing susceptibilities to boron toxicity. *Annals of Botany*, 66(1), 83-90.
- Nachiangmai, D., Dell, B., Bell, R., Huang, L., & Rerkasem, B., 2004,** Enhanced boron transport into the ear of wheat as a mechanism for boron efficiency. *Plant and soil*, 264(1-2), 141-147.
- Nitsch, J.P., Nitsch, C., 1955,** The separation of natural plant growth substances by paper chromatography. *Beitrag zur Biologie der Pflanzen*, 31: 387-408.
- Noguchi, K., Yasumori, M., Imai, T., Naito, S., Matsunaga, T., Oda, H., ... & Fujiwara, T., 1997,** bor1-1, an *Arabidopsis thaliana* mutant that requires a high level of boron. *Plant Physiology*, 115(3), 901-906.
- Okanume, O. E., Joseph, O. M., Agaba, O. A., Habila, S., & ADEBAYO, O. B., 2017,** Effect of Industrial Effluent on the Growth, Yield and Foliar Epidermal Features of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Jos, Plateau State, Nigeria. *Notulae Scientia Biologicae*, 9(4), 549-556.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Okanume, O. E., Joseph, O. M., Agaba, O. A., Habila, S., & ADEBAYO, O. B.**, 2017, Effect of Industrial Effluent on the Growth, Yield and Foliar Epidermal Features of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Jos, Plateau State, Nigeria. *Notulae Scientia Biologicae*, 9(4), 549-556.
- Oluyemi, E. A., Feuyit, G., Oyekunle, J. A. O., & Ogunfowokan, A. O.**, 2008, Seasonal variations in heavy metal concentrations in soil and some selected crops at a landfill in Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 2(5), 089-096.
- Pant, J., Rerkasem, B., & Noppakoonwong, R.**, 1998, Effect of water stress on the boron response of wheat genotypes under low boron field conditions. *Plant and Soil*, 202(2), 193-200.
- Papadakis, I. E., Tsiantas, P. I., Tsaniklidis, G., Landi, M., Psychoyou, M., & Fasseas, C.**, 2018, Changes in sugar metabolism associated to stem bark thickening partially assist young tissues of *Eriobotrya japonica* seedlings under boron stress. *Journal of plant physiology*, 231, 337-345.
- Paull, J. G., Cartwright, B., & Rathjen, A. J.**, 1988, Responses of wheat and barley genotypes to toxic concentrations of soil boron. *Euphytica*, 39(2), 137-144.
- Paull, J. G., Rathjen, A. J., & Cartwright, B.**, 1991, Major gene control of tolerance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) to high concentrations of soil boron. *Euphytica*, 55(3), 217-228.
- Ploquin, J.**, 1967, Le bore dans l'alimentation. *Bull. Soc. Sci. Hyg. Aliment*, 55(1), 70-113.
- Pommerrenig, B., Junker, A., Abreu, I., Bieber, A., Fuge, J., Willner, E., ... & Bienert, G. P.**, 2018, Identification of rapeseed (*Brassica napus*) cultivars with a high tolerance to boron-deficient conditions. *Frontiers in plant science*, 9, 1142.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Qi, H., Hua, L., Zhao, L., & Zhou, L.,** 2011, Carbohydrate metabolism in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings and yield and fruit quality as affected by low night temperature and subsequent recovery. *African Journal of Biotechnology*, 10(30), 5743-5749.
- Rac, A., & Fulgosi, H.,** 2020, Qualitative and quantitative dataset of TROL protein interaction with C3 and C4 ferredoxin: NADP⁺ oxidoreductases. *Data in brief*, 28, 105038.
- Rao, X., & Dixon, R. A.,** 2016,. The differences between NAD-ME and NADP-ME subtypes of C4 photosynthesis: more than decarboxylating enzymes. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1525.
- Raven, J. A.,** 1980, Short-and long-distance transport of boric acid in plants. *New Phytologist*, 84(2), 231-249.
- Rawsthorne, S., Hylton, C.M., Smith, A.M. and Woolhouse, H.W.,** 1988, Distribution of photorespiratory enzymes between bundle-sheath and mesophyll cells in leaves of the C3-C4 intermediate species *Moricandia arvensis* (L.) DC. *Planta* 176, 527-532
- Rehman, S., Park, T. I., Kim, Y. J., Seo, Y. W., & Yun, S. J.,** 2006, Inverse relationship between boron toxicity tolerance and boron contents of barley seed and root. *Journal of plant nutrition*, 29(10), 1779-1789.
- Reid, R., & Fitzpatrick, K. L.,** 2009, Redistribution of boron in leaves reduces boron toxicity. *Plant signaling & behavior*, 4(11), 1091-1093.
- Reid, R.,** 2007, Identification of boron transporter genes likely to be responsible for tolerance to boron toxicity in wheat and barley. *Plant and cell physiology*, 48(12), 1673-1678.
- Reid, R.,** 2014, Understanding the boron transport network in plants. *Plant and soil*, 385(1-2), 1-13.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rerkasem, B., & Jamjod, S.**, 1997, Boron deficiency induced male sterility in wheat (*Triticum aestivum* L.) and implications for plant breeding. *Euphytica*, 96(2), 257-262.
- Rerkasem, B., & Jamjod, S.**, 1997, Genotypic variation in plant response to low boron and implications for plant breeding. *Plant and Soil*, 193(1-2), 169-180.
- Rerkasem, B., Netsangtip, R., Lordkaew, S., & Cheng, C.**, 1993, Grain set failure in boron deficient wheat. *Plant and soil*, 155(1), 309-312.
- Rerkasem, B., Nirantrayagul, S., & Jamjod, S.**, 2004, Increasing boron efficiency in international bread wheat, durum wheat, triticale and barley germplasm will boost production on soils low in boron. *Field Crops Research*, 86(2-3), 175-184.
- Roessner, U., Patterson, J. H., Forbes, M. G., Fincher, G. B., Langridge, P., & Bacic, A.**, 2006, An investigation of boron toxicity in barley using metabolomics. *Plant physiology*, 142(3), 1087-1101.
- Sage R.F.**, 2001, C4 plants, *Encyclopedia of Biodiversity*, 1, 575–598
- Sage RF**, 2004, The evolution of C4 photosynthesis, *New Phytologist* 161, 341 – 370.
- Sage, R. F., & Zhu, X. G.**, 2011, Exploiting the engine of C4 photosynthesis. *Journal of experimental botany*, 62(9), 2989-3000.
- Sage, R.F. and Monson, R.K.**, 1999, *C4 Plant Biology*. New York: Academic Press, pp. 596.
- Sage, R.F.**, 2014, "Photosynthetic efficiency and carbon concentration in terrestrial plants: the C4 and CAM solutions" in *Journal of Experimental Botany* 65(13), pp. 3323–3325.
- Sage, R.F., Christin, P.A., Edwards, E.J.**, 2011, The C4 plant lineages of planet Earth, *J. Exp. Bot.*, 62, 3155–3169 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sage, R.F., Li, M. and Monson, R.K.**, 1999, The taxonomic distribution of C4 photosynthesis. In: C4 Plant Biology (Sage, R.F. and Monson, R.K., eds). New York: Academic Press, pp. 551±584
- Sage, R.F., Sage, T.L., Kocacinar, F.**, 2012, Photorespiration and the Evolution of C4 Photosynthesis, *Annual Review of Plant Biology*, 63(1):19-47 pp.
- Sahin, S., Gebologlu, N., & Karaman, M. R.**, 2015, Interactive effect of calcium and boron on growth, quality and mineral content of tomato (*Solanum lycopersicon L.*). *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(5), 1624-1628.
- Samet, H., Çikili, Y., & Dursun, S.**, 2017, Changes in Metallic Cation Accumulation in Tomato (*Solanum Lycopersicum L.*) Affected by Boron and Potassium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(8), 898-907.
- Schnurbusch, T., Hayes, J., Hrmova, M., Baumann, U., Ramesh, S. A., Tyerman, S. D., ... & Sutton, T.**, 2010, Boron toxicity tolerance in barley through reduced expression of the multifunctional aquaporin HvNIP2; 1. *Plant Physiology*, 153(4), 1706-1715.
- Scott, T.K., Jacops, W.P.**, 1964, Critical assesment of tecniques for identifying the physiologically significant auxin in plant. In: *Regulateurs Naturels de la Croissance Vegetale*, CNRS-Paris, 457-474.
- Schuler, M. L., Mantegazza, O., & Weber, A. P.**, 2016, Engineering C4 photosynthesis into C3 chassis in the synthetic biology age. *The Plant Journal*, 87(1), 51-65.
- Seth, K., & Aery, N. C.**, 2017, Boron induced changes in biochemical constituents, enzymatic activities, and growth performance of wheat. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(11), 244.
- Shao, J. F., Yamaji, N., Liu, X. W., Yokosho, K., Shen, R. F., & Ma, J. F.**, 2018, Preferential distribution of boron to developing tissues is mediated by the intrinsic protein OsNIP3. *Plant physiology*, 176(2), 1739-1750.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Shelp, B. J., Marentes, E., Kitheka, A. M., & Vivekanandan, P.,**1995, Boron mobility in plants. *Physiologia Plantarum*, 94(2), 356-361.
- Sillanpää, M., & Vlek, P. L. G.,** 1985, Micronutrients and the agroecology of tropical and Mediterranean regions. In *Micronutrients in tropical food crop production* (pp. 151-167). Springer, Dordrecht.
- Sommer, A. L., & Lipman, C. B.,** 1926, Evidence on the indispensable nature of zinc and boron for higher green plants. *Plant physiology*, 1(3), 231.
- Sonmez, O., Aydemir., & Kaya.,** 2009, Mitigation effects of mycorrhiza on boron toxicity in wheat (*Triticum durum*) plants. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 37(2), 99-104.
- Souri, M. K., & Tohidloo, G.,** 2019, Effectiveness of different methods of salicylic acid application on growth characteristics of tomato seedlings under salinity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 6(1), 26.
- Sowjanya, B. A., Narayana, B. D., & Shreyas, S.,** 2019, Enhancement of photosynthetic efficiency of C3 plants. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 8, 775-786.
- Stangoulis, J., Tate, M., Graham, R., Bucknall, M., Palmer, L., Boughton, B., & Reid, R.,** 2010, The mechanism of boron mobility in wheat and canola phloem. *Plant physiology*, 153(2), 876-881.
- Su, C., & Evans, L. J.,** 1996, Soil solution chemistry and alfalfa response to CaCO₃ and MgCO₃ on an acidic Gleysol. *Canadian Journal of Soil Science*, 76(1), 41-47.
- Su, C., Evans, L. J., Bates, T. E., & Spiers, G. A.,** 1994, Extractable soil boron and alfalfa uptake: calcium carbonate effects on acid soil. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1445-1450.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sutton, T., Baumann, U., Hayes, J., Collins, N. C., Shi, B. J., Schnurbusch, T., ... & Langridge, P.**, 2007, Boron-toxicity tolerance in barley arising from efflux transporter amplification. *Science*, 318(5855), 1446-1449.
- Takano, J., Noguchi, K., Yasumori, M., Kobayashi, M., Gajdos, Z., Miwa, K., ... & Fujiwara, T.**, 2002, Arabidopsis boron transporter for xylem loading. *Nature*, 420(6913), 337-340.
- Takano, J., Tanaka, M., Toyoda, A., Miwa, K., Kasai, K., Fuji, K., ... & Fujiwara, T.**, 2010, Polar localization and degradation of Arabidopsis boron transporters through distinct trafficking pathways. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(11), 5220-5225.
- Takano, J., Wada, M., Ludewig, U., Schaaf, G., Von Wirén, N., & Fujiwara, T.**, 2006, The Arabidopsis major intrinsic protein NIP5; 1 is essential for efficient boron uptake and plant development under boron limitation. *The Plant Cell*, 18(6), 1498-1509.
- Tanaka, M., Takano, J., Chiba, Y., Lombardo, F., Ogasawara, Y., Onouchi, H., ... & Fujiwara, T.**, 2011, Boron-dependent degradation of NIP5; 1 mRNA for acclimation to excess boron conditions in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 23(9), 3547-3559.
- Tanaka, M., Wallace, I. S., Takano, J., Roberts, D. M., & Fujiwara, T.**, 2008, NIP6; 1 is a boric acid channel for preferential transport of boron to growing shoot tissues in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 20(10), 2860-2875.
- Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü**, 2020
- Turan, M. A., Taban, N., & Taban, S.**, 2009, Effect of calcium on the alleviation of boron toxicity and localization of boron and calcium in cell wall of wheat. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37(2), 99-103.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Uraguchi, S., Kato, Y., Hanaoka, H., Miwa, K., & Fujiwara, T.,** 2014, Generation of boron-deficiency-tolerant tomato by overexpressing an Arabidopsis thaliana borate transporter AtBOR1. *Frontiers in plant science*, 5, 125.
- Vera, A., Moreno, J. L., García, C., Morais, D., & Bastida, F.,** 2019, Boron in soil: The impacts on the biomass, composition and activity of the soil microbial community. *Science of the Total Environment*, 685, 564-573.
- von Caemmerer, S., Quick, W. P., & Furbank, R. T.,** 2012, The development of C4 rice: current progress and future challenges. *science*, 336(6089), 1671-1672.
- Voznesenskaya, E.V., Franceschi, V.R., Kiirats, O., Freitag, H. and Edwards, G.E.,** 2001b Kranz anatomy is not essential for terrestrial C4 plant photosynthesis. *Nature* 414, 543±546
- Wakuta, S., Fujikawa, T., Naito, S., & Takano, J.,** 2016, Tolerance to excess-boron conditions acquired by stabilization of a BOR1 variant with weak polarity in Arabidopsis. *Frontiers in cell and developmental biology*, 4, 4.
- Wang, N., Yang, C., Pan, Z., Liu, Y., & Peng, S. A.,** 2015, Boron deficiency in woody plants: various responses and tolerance mechanisms. *Frontiers in plant science*, 6, 916.
- Wang, S., Yoshinari, A., Shimada, T., Hara-Nishimura, I., Mitani-Ueno, N., Ma, J. F., ... & Takano, J.,** 2017, Polar localization of the NIP5; 1 boric acid channel is maintained by endocytosis and facilitates boron transport in Arabidopsis roots. *The Plant Cell*, 29(4), 824-842.
- Warington, K.,** 1923, The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. *Annals of Botany*, 37(148), 629-672.
- Warington, K.,** 1937, Boron in agriculture. *Nature*, 140(3554), 1016-1016.
- Wimmer, M. A., Abreu, I., Bell, R. W., Bienert, M. D., Brown, P. H., Dell, B., ... & Wirén, N.,** 2019, Boron: an essential element for vascular plants. *New Phytologist*, Early-View.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Wongmo, J., Jamjod, S., & Rerkasem, B.,**2004, Contrasting responses to boron deficiency in barley and wheat. *Plant and soil*, 259(1-2), 103-110.
- World Health Organization.,** 1996, *Trace elements in human nutrition and health.* World Health Organization.
- Wrobel, K., Karasiński, J., Tupys, A., Arroyo Negrete, M. A., Halicz, L., Wrobel, K., & Bulska, E.,** 2020, Magnesium–Isotope Fractionation in Chlorophyll-a Extracted from Two Plants with Different Pathways of Carbon Fixation (C3, C4). *Molecules*, 25(7), 1644.
- Yang, L. T., Qi, Y. P., Lu, Y. B., Guo, P., Sang, W., Feng, H., ... & Chen, L. S.,** 2013, iTRAQ protein profile analysis of *Citrus sinensis* roots in response to long-term boron-deficiency. *Journal of proteomics*, 93, 179-206.
- Yau, S. K., Hamblin, J., & Ryan, J.,** 1994, Phenotypic variation in boron toxicity tolerance in barley, durum and bread wheat [*Hordeum vulgare*, *Triticum aestivum*, *Triticum durum*]. *Barley and Wheat Newsletter*.
- Yuan, D., Li, W., Hua, Y., King, G. J., Xu, F., & Shi, L.,** 2017, Genome-wide identification and characterization of the aquaporin gene family and transcriptional responses to boron deficiency in *Brassica napus*. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1336.
- Yürekli, A.K.,** 1980, Tepe tomurcuğunun dekapitasyonundan sonra geçen süreye bağlı olarak Pisum'un ilk internodyumundaki içsel hormon değişimlerine ilişkin bir araştırma. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi, Seri B. Cilt IV, Sayı: 1, 2, 3, 4.
- Zahedi, S. M., Karimi, M., & Venditti, A.,** 2019, Plants adapted to arid areas: specialized metabolites. *Natural Product Research*, 1-18.
- Zamban, D. T., Prochnow, D., Caron, B. O., Turchetto, M., Fontana, D. C., & Schmidt, D.,** 2018, Applications of calcium and boron increase yields of Italian tomato hybrids (*Solanum lycopersicum*) in two growing seasons. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 12(1), 82-93.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Zeist, A. R., Zanin, D. S., Camargo, C. K., de Resende, J. T., Ono, E. O., & Rodrigues, J. D.**, 2018, Fruit yield and gas exchange in bell peppers after foliar application of boron, calcium, and Stimulate. *Horticultura Brasileira*, 36(4), 498-503.
- Zhang, D., Zhao, H., Shi, L., & Xu, F.**, 2014, Physiological and genetic responses to boron deficiency in *Brassica napus*: a review. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(3), 304-313.
- Zhang, X., Pu, P., Tang, Y., Zhang, L., & Lv, J.**, 2019, C4 photosynthetic enzymes play a key role in wheat spike bracts primary carbon metabolism response under water deficit. *Plant Physiology and Biochemistry*, 142, 163-172.
- Zhou, G. F., Liu, Y. Z., Sheng, O., Wei, Q. J., Yang, C. Q., & Peng, S. A.**, 2015, Transcription profiles of boron-deficiency-responsive genes in citrus rootstock root by suppression subtractive hybridization and cDNA microarray. *Frontiers in plant science*, 5, 795.
- Zou, Z., Polishchuk, I., Bertinetti, L., Pokroy, B., Politi, Y., Fratzl, P., & Habraken, W. J.**, 2018, Additives influence the phase behavior of calcium carbonate solution by a cooperative ion-association process. *Journal of Materials Chemistry B*, 6(3), 449-457.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince engin bilgi birikimi ve tecrübesiyle desteğini her zaman hissettiğim, bilimin ışığında bana yön veren, etik değerlerle bizlere örnek olmaya çalışan başta danışmanım olan değerli hocam Prof. Dr. Hatice DEMİRAY olmak üzere, akademik deneyimi ve güler yüzü ile her zaman destek olan Doç. Dr. Aylin EŞİZ DEREBOYLU'ya teşekkürü borç bilirim.

Tez sürecim boyunca ihtiyacım olan her zamanda yanımda olan, bilgilerini ve tecrübelerini esirgemeyen değerli lisanüstü arkadaşlarım Cemre TATLI, Bahadır AYZAZ ve Yiğit KÜÇÜKÇOBANOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca desteğini her an hissettiğim, eğitimimi herşeyin önünde tutan, bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi canım ailem, babam Orhan, annem Necmiye ve abim Onur AY'a sonsuz teşekkürler..

ÖZGEÇMİŞ

Oğuz Ay, 29.05.1990'da İstanbul'da doğmuştur. 2007 yılında İzzet Ünver lisesinden mezun olmuştur. Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Botanik Opsiyonundan 2016 yılında mezun olmuştur. 2017 yılında lisansüstü eğitimine, Prof. Dr. Hatice DEMİRAY danışmanlığında, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Botanik A.B.D.'de başlamıştır. Yüksek lisans eğitimi süresince tez konusu olan *Lycopersicum esculentum* (Domates) bitkisinde Bor ve Kalsiyum karbonat mineralleri ile zenginleştirilmiş besin solüsyonlarının bitkinin Pep karboksilaz enzimine etkileri ile ilgili fizyolojik çalışması, bitkilerin etken maddeleri olan sekonder bileşiklerin izolasyonu konusunda bugüne kadar alkaloid, glikozit, uçucu yağlar gibi sekonder bileşikleri *Glaucium*, *Astragalus*, *Phaeophyte*, *Rhodophyte*, *Lavandula*, *Cinnemum sp.*, *Hibiscus çiçeği*, *Melaleuca alternifolia* üyeleri gibi çeşitli türlerden izole etmiştir. *Citrus sp.* (portakal) kabuğundan doku kültürü yoluyla etken madde arttırımı çalışmalarını ve bazı yok olmakta olan endemik türlerimizin korunması yönünde mikropropagasyon çalışmalarını doku kültürü laboratuvarında yürütmüştür. "Türkiyede Doğal Yayılış Gösterdiği Tüm Loklilerinden Toplanan *Glaucium* Türlerinin Kemotaksonomik Çalışması" başlıklı FGA-2018-20129 kodlu BAP projesinde araştırmacı olarak çalışmıştır.