T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

ISPANAKTA FARKLI ELEKTRİK AKIMI (DC) UYGULAMALARININ BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Muhammed Loay ALİ
DANIŞMAN : Prof. Dr. Suat ŞENSOY

VAN-2022

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

ISPANAKTA FARKLI ELEKTRİK AKIMI (DC) UYGULAMALARININ BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Muhammed Loay ALİ

VAN-2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Suat ŞENSOY danışmanlığında, Muhammed Loay ALİ tarafından sunulan "Ispanakta Farklı Elektrik Akımı (DC) Uygulamalarının Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 10/01/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Suat ŞENSOY İmza:

Üye: Doç. Dr. Turgay KABAY İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Yelderem AKHOUNDNEJAD İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun …./…./…... tarih ve …../…... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

İmza

Muhammed Loay ALİ

ÖZET

ISPANAKTA FARKLI ELEKTRİK AKIMI (DC) UYGULAMALARININ BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

ALİ, Muhammed Loay
Yüksek Lisans Tezi, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Suat ŞENSOY
Ocak 2022, 59 sayfa

Bu çalışma, ıspanakta farklı elektrik akımı (DC) uygulamalarının bitki gelişimi üzerine etkilerini ortaya koyabilmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Saksı denemesi olarak yürütülen araştırmada farklı direkt elektrik akımı (DC) uygulamaları (0, 2, 4 ve 8 volt) ve bitkisel materyal olarak da Matador, Acosta, Revere F1 ve Rembrandt F1 ıspanak (*Spinacia oleracea* L.) çeşitleri kullanılmıştır. Deneme sonunda, Çıkış hızı ve yüzdesi, çıkış indeksi, bitki boyu, kök boyu, gövde çapı, yaprak sayısı, yaprak alanı, yaprak taze ve kuru ağırlığı, kök taze ve kuru ağırlığı, klorofil miktarı (SPAD değeri), lipit peroksidasyonu ürünü malondialdehit (MDA) ve enzim aktiviteleri (SOD, CAT ve APX), belirlenip; yaprakta makro-mikro besin elementi [fosfor (P), potasyum (K), magnezyum (Mg), kalsiyum (Ca), sodyum (Na), demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu) ve çinko (Zn)] analizleri yapılmıştır. Yapılan DC elektrik uygulamalarından 2 ve 4 volt uygulamalarının genel olarak ıspanakta besin element içeriğini artırdığı; çeşit-elektrik interaksiyonunda ise 2 volt uygulamasının ve Rembrandt F1 ve Matador çeşitlerinin ön plana çıktığı belirlenmiştir. APX ve SOD enzim aktivitelerinde 8 volt elektrik uygulamasının ve Rembrandt F1çeşidinin, CAT enzim aktivitesi ve MDA da ise 2 volt elektrik uygulamasının ön plana çıktığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, genelde bazı elektrik uygulamalarının bazı ıspanak çeşitlerinde bazı bitki büyüme parametrelerine olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Besin maddesi, Bitki gelişimi, DC Elektrik akımı, Enzim, Ispanak.

ABSTRACT

EFFECTS OF DIFFERENT ELECTRIC CURRENT (DC) APPLICATIONS ON PLANT DEVELOPMENT IN SPINACH

ALİ, Muhammed Loay
M. Sc. Thesis, Horticultural Sciences
Supervisor: Prof. Dr. Suat ŞENSOY
January 2022, 59 pages

The study was carried out in order to reveal the effects of different electric current (DC) applications on plant growth in spinach. In the research carried out as a pot experiment, different direct electric current (DC) applications (0, 2, 4 and 8 volts) and Matador, Acosta, Revere F1 and Rembrandt F1 spinach (*Spinacia oleracea* L.) varieties were used as plant material. At the end of the experiment, germination rate and percentage, plant height, root length, stem diameter, number of leaves, leaf area, leaf fresh and dry weight, root fresh and dry weight, chlorophyll amount (SPAD value), lipid peroxidation product malondialdehyde (MDA) and enzyme activities (SOD, CAT and APX), were determined; and macro-micro nutrient elements in the leaf [phosphorus (P), potassium (K), magnesium (Mg), calcium (Ca), sodium (Na), iron (Fe), manganese (Mn), copper (Cu) and zinc (Zn) were analyzed. Of the DC electrical applications, it was determined that 2 and 4 volt applications generally increased the nutrient content of spinach; and in the variety-electricity interaction, 2 volt application and Rembrandt F1 and Matador varieties came to the fore. It was determined that 8 volt electricity application was prominent in APX and SOD enzyme activities in Rembrandt F1 variety, while 2 volt electrical application was prominent for CAT enzyme activity and in MDA enzyme activities. As a result, it has been concluded that electrical applications have positive effects on plant growth and can be used as an alternative for plant growth. As a result, it was determined that some electrical applications had usually positive effects on some plant growth parameters in some spinach cultivars.

Keywords: DC Electric current, Enzyme, Nutrient, Plant growth, Spinach.

ÖN SÖZ

Bu çalışmada tez konu seçiminden çalışmanın tamamlanmasına kadar her türlü bilgi ve desteğini esirgemeyen değerli danışmanım sayın Prof. Dr. Suat ŞENSOY'a ve Jüri üyeleri Doç. Dr. Turgay KABAY'a ve Dr. Öğr. Üyesi Yelderem AKHOUNDNEJAD'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmamın elektrik fikri konusunda bilgi ve desteklerini eksik etmeyen Doç.Dr. Cüneyt TEMUR hocama ve Tez çalışmamın analiz kısmında yardımlarını esirgemen Öğretim Görevlisi Dr. Selma KIPÇAK'a, Dr. Yekbun ALP'e, Yüksek Ziraat Mühendisi Nurettin YILMAZ'a inşaat mühendisi Arif HAJKADOR ve inşaat mühendisi Muhammed Amro HAJKAMEL'e teşekkür ederim. Tez sürecinde bana yardımcı olan Ziraat Mühendisi Havva GÜRBÜZ'e teşekkür ederim. Tezin her aşamasında yanımda olan, benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen değerli aileme ve eşime sonsuz teşekkürü borç bilirim.

2022

Muhammed Loay ALİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT iii
ÖN SÖZ v
İÇİNDEKİLER vii
ÇİZELGELER LİSTESİ xxi
ŞEKİLLER LİSTESİ xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR xv
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ 5
3. MATERYAL VE YÖNTEM 11
3.1 Elektrik Uygulama Aşamaları 11
3.2. Yetiştirme Yeri 12
3.3. Yetiştirme Ortamı Özellikleri 13
3.4. Çalışmanın Yürütüldüğü İklim Koşulları 13
3.5. Yapılan Ölçüm ve Analizler 14
3.6. Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi 17
3.6.1. Katalaz (CAT) aktivitesi: 17
3.6.2. Süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi: 17
3.6.3. Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi 18
3.7. Besin Elementleri Analizi: 18
3.8. Verilerin Değerlendirilmesi 19
4. BULGULAR 21
4.1. Çıkış Oranı, Süresi ve İndeksi 21
4.2. Bitki Boyu 23
4.3. Kök Boyu 24
4.4. Gövde Çapı 24
4.5. Yaprak Sayısı 25
4.6. Yaprak Alanı 26
4.7. Yaprak Yaş Ağırlığı 27
4.8. Yaprak Kuru Ağırlığı 28

Sayfa

4.9. Kök Kuru ve Yaş Ağırlığı 28
4.10. Klorofil Miktarı (SPAD değeri) 30
4.11. Bitkilerde Lipit Peroksidasyonu Ürünü Malondialdehit (MDA) Miktarı 31
4.12. Katalaz (CAT) Aktivitesi 31
4.13. Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi 32
4.14. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesi 33
4.15. Ispanakta Farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Fosfor (P) Miktarına Etkisi 34
4.16. Ispanakta Farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Magnezyum (Mg) Miktarına Etkisi 34
4.17. Ispanakta Farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Kalsiyum (Ca) Miktarına Etkisi 35
4.18. Ispanakta Farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Potasyum (K) Miktarına Etkisi 36
4.19. Ispanakta Farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Demir (Fe) Miktarına Etkisi 37
4.20. Ispanakta Farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Mangan (Mn) Miktarına Etkisi 38
4.21. Ispanakta Farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Bakır (Cu) Miktarına Etkisi 38
4.22. Ispanakta farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Çinko (Zn) Miktarına Etkisi 39
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 41
5.1. Çıkış Oranı, süresi ve indeksi 41
5.2. Bitki Boyu 42
5.3. Kök Boyu 43
5.4. Gövde Çapı 44
5.5. Yaprak Sayısı 45
5.6. Yaprak Alanı 46
5.7. Yaprak Yaş ve Kuru Ağırlık Değerleri 46
5.8. Kök Yaş ve Kuru Ağırlığı 48

Sayfa

5.9. Klorofil Miktarı (SPAD değeri) 48
5.10. Bitkilerde Lipit Peroksidasyonu Ürünü Malondialdehit (MDA) 49
5.11. Katalaz (CAT) Aktivitesi 50
5.12. Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi 51
5.13. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesi 51
5.14. Ispanakta Elektrik Uygulamalarının Bitki Besin Elementleri Miktarlarına Etkisinin Değerlendirilmesi 52
5.15. Sonuç 54
KAYNAKLAR 55
ÖZ GEÇMİŞ 59

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Denemede yer alan uygulamalar 11

Çizelge 3.2. Denemede kullanılan toprağın özellikleri 13

Çizelge 4.1.Ispanak uygulamalarında çıkış oranı (%).....21

Çizelge 4.2. Ispanak uygulamalarında çıkış süresi (gün) 22

Çizelge 4.3. Ispanak uygulamalarında çıkış indeksi.....23

Çizelge 4.4. Ispanak uygulamalarında bitki boyu (cm).....23

Çizelge 4.5. Ispanak uygulamalarında bitki kök boyu (cm).....24

Çizelge 4.6. Ispanak uygulamalarında bitki gövde çapı (cm) 25

Çizelge 4.7. Ispanak uygulamalarında bitki yaprak sayısı (adet).....26

Çizelge 4.8. Ispanak uygulamalarında yaprak alanı değerleri (cm^2).....27

Çizelge 4.9. Ispanak uygulamalarında bitki sürgün yaş ağırlığı (gr).....27

Çizelge 4.10. Ispanak uygulamalarında bitki sürgün kuru ağırlığı (gr).....28

Çizelge 4.11. Ispanak uygulamalarında bitki kök yaş ağırlığı (gr) 29

Çizelge 4.12. Ispanak uygulamalarında bitki kök kuru ağırlığı (gr) 30

Çizelge 4.13. Ispanak uygulamalarında klorofil miktarı (SPAD değeri) 30

Çizelge 4.14. Ispanak uygulamalarında MDA enzimi değerleri (gr / YA) 31

Çizelge 4.15. Ispanak uygulamalarında Katalaz enzimi değerleri (gr YA/ dk) 32

Çizelge 4.16. Ispanak uygulamalarında APX enzimi değerleri (gr YA/ dk).....33

Çizelge 4.17. Ispanak uygulamalarında SOD enzimi değerleri (gr / YA).....33

Çizelge 4.18. Ispanak uygulamalarında fosfor (P) miktarı % 34

Çizelge 4.19. Ispanak uygulamalarında Magnezyum (Mg) miktarı %.....35

Çizelge 4.20. Ispanak uygulamalarında Kalsiyum (Ca) miktarı % 36

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.21. Ispanak uygulamalarında Potasyum (K) miktarı % 37

Çizelge 4.22. Ispanak uygulamalarında demir (Fe) miktarı ppm.....37

Çizelge 4.23. Ispanak uygulamalarında Mangan (Mn) miktarı ppm.....38

Çizelge 4.24. Ispanak uygulamalarında Bakır (Cu) miktarı ppm.....39

Çizelge 4.25. Ispanak uygulamalarında Çinko (Zn) miktarı ppm 40

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Elektrik uygulamaları hazırlama şekli.....12

Şekil 3.2. Yetiştirme yerinden bir görünüm. 12

Şekil 3.3. 01 Ekim – 30 Ekim 2021 tarihleri arasında sıcaklık grafiği.....13

Şekil 3.4. 01 Ekim 2021-30 Ekim 2021 tarihleri arasındaki nem grafiği.....14

Şekil 3.5. Sürgün boy ölçümü ve kök boyu ölçümü.....14

Şekil 3.6. Yaprak kuru ağırlığı ölçümü. 15

Şekil 3.7. SPAD metre ile klorofil miktarının belirlenmesi. 16

Şekil 3.8. Laboratuvar görüntüleri (a. Homojenizasyon işlemi yapılarken, b. Karışım 95ºC'de 30 dakika bekletme işlemi, c. 532 ve 600 nm dalga boyunda okuma yapılırken).....17

Şekil 3.9. 40 W ışık kaynağında örneklerin bekletilmesi 18

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
A	Amper
ºC	Santigrat derece
Ca	Kalsiyum
cm	Santimetre
Cu	Bakır
DC	Doğru akım
Fe	Demir
H_2O_2	Hidrojen peroksit
K	Potasyum
mA	Miliamper
Mg	Magnezyum
mg	Miligram
mL	Mililitre
mm	Milimetre
Mn	Mangan
ppm	Part per million (milyonda bir kısım)
Zn	Çinko
%	Yüzde

1. GİRİŞ

Ispanak (*Spinacia oleracea* L.), *Amaranthaceae* familyası içerisinde yer alan ve yaprağı yenen en önemli kışlık sebze türlerinden birisidir. Dünya çapında yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan ıspanağın yıllık üretimi 30 milyon tondan fazladır. Bu üretimde 229 bin ton üretim ile Türkiye, Çin, ABD ve Japonya'dan sonra 4. sırada yer almaktadır (FAO, 2019). Çiğ, haşlanmış ya da fırınlanmış olarak tüketilebilen ıspanak düşük kalorili olmasına karşın askorbik asit (Vitamin C) içeriği açısından oldukça zengin bir bitkidir (Toledo ve ark., 2003). Suda çözülebilen vitaminleri oldukça fazla olan ıspanak bitkisi ışığa, ısıya ve oksijene oldukça duyarlı olduğundan hasattan hemen sonra bir işlem görmez ise bozulmaya başlar (Alibas Ozkan ve ark., 2007).

Ispanak bütün bölgelerimizde yetiştirilebilen bir sebzedir. Sıcak bölgelerimizde yaz sonlarında ve kışın, soğuk bölgelerimizde ise kış ve ilkbahar döneminde üretilir. Ispanak tohumla üretilen tek yıllık otsu bir bitkidir. Yaprakları basit yaprak tipinde, yaprak ayalarının şekli çeşitlere göre büyük farklılık gösterir. Aynı bitki üzerinde meydana gelen yapraklarda bitkinin gelişme dönemine bağlı olarak, morfolojik farklılıklar meydana gelir. Yaprak sapları oldukça uzun, sapın gövdeye bağlandığı dip kısmı genişleyerek yayvan bir hal alır. Ispanak, fazla su tutmayan ve ağır olmayan her tip toprakta başarıyla yetiştirilebilen serin iklim sebzesidir. 16-18 °C de optimum gelişme gösteren soğuğa oldukça dayanıklı olup sıcaklık 20°C'nin üzerine çıkmaya başladığında hızlı bir şekilde generatif döneme geçerek çiçek sapı oluşturmaya başlamaktadır. Ispanaklarda özellikle azotlu gübrelere dayalı bir gübreleme yapılır. Yetiştirme süresince tüm bakım işlemleri dikkatle yapılmalıdır (Vural ve ark., 2000; Morelock ve Correll, 2008; Şalk ve ark., 2008).

Ispanak, Orta Asya'ya özgüdür ve yaygın olarak İran'da ortaya çıktığı düşünülmektedir (Ryder, 1979; Nonnicke, 2000; Dicoteau, 2000; Swiader ve Ware, 2002). İlk olarak Çinliler tarafından MS 600 civarında bahsedilmiş ve burada Pers otu olarak adlandırılmıştır. Yetiştirilmesinde ilk başta Araplar tarafındanvkuzey Afrika'ya getirilmiş olup, ilk yetiştiriciliği orada yapılmış ve 1100 MS Mooroslar aracılığıyla İspanyol yolu kullanılarak Kuzey Avrupa'ya götürülmüştür (Ryder, 1979; Nonnicke,

2000; Dicoteau, 2000; Swiader ve Ware, 2002). Erken kolonistler tarafından Kuzey Amerika'ya getirilmiş ve 1806'da üç çeşit tanınmış olup, 1828'de ilk savoy çeşidi bildirilmiştir (Nonnicke, 2000; Dicoteau, 2000).

Son zamanlarda dünya nüfusu artışını hızlandırmakta ve 2050'de nüfusun dokuz milyarı aşacağı tahmin edilmektedir. Ancak toprak bozulması, su kıtlığı vb. nedenlerle tarım arazilerini elde etmek artık zordur ve bu yüzden dünya insanlarının ciddi bir gıda kıtlığı içine düşme potansiyeli bulunmaktadır. Bu nedenle, tarımsal bitkilerde hasat verimliliğini artırmak için biyo-araştırma ve geliştirme çalışmalarına gereksinim vardır. Faklı alanlarda çeşitli araştırmalar yürütülmekle birlikte Doğru akım (DC) elektrik alanının havuç tohumunun çimlenmesini ve hıyar, domates, mısır ve soya fasulyesinin verimini arttırdığı bildirilmektedir (Kurooka ve ark., 1990).

Daha önce yürütülen bir çalışmada (Okumura ve ark., 2012) *Raphanus sativus longipinnatus* (daikon turp) için aşağıdaki bildirimler yapılmıştır: (a) Doğru akım (DC) elektrik alanının uygulanması tohum çimlenme oranını iyileştirmektedir (b) DC elektrik alanı kök uzunluğu ve ağırlığını artırmaktadır (c) DC elektrik alanı, tohumda depolanan maddelerin tüketimini teşvik etmektedir (d) DC elektrik alanı muhtemelen Gibberellin adlı fitohormonun çalışmasını aktive etmektedir.

İletken bir maddeye elektrik uygulandığında elektronlar negatif (-) ten pozitif (+) yöne doğru hareket etmeye başlar. Bu harekete elektrik akımı denir. Birimi amperdir. Akımlar doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) olarak ikiye ayrılır. DC; zamana bağlı olarak yönü ve şiddeti değişmeyen akımdır. AC; zamana bağlı olarak yönü ve şiddeti değişen akımdır (Nilsson ve Riedel, 2007). Elektrik ayrıca iletkenlerde ve yarı iletkenlerde hareket eden elektronlar veya bir elektrolitteki iyonlar tarafından taşınan ve amper (A) olarak ölçülen elektrik yükünün akışı olan elektrik akımını da içerir (Horowitz ve Hill, 2015).

Doğru elektrik akımı (DC), tek yönlü bir elektrik yükü akışı olduğu veya elektrik yükünün hareketinin yalnızca bir tarafa yönlendirildiği bir sistem anlamına gelmektedir. Buna karşılık elektrik yükünün hareketi, alternatif elektrik akımı (AC) sistemlerinde periyodik olarak yönünü tersine çevirir. Manyetik alanlar ayrıca elektrik terimine aittir ve manyetik malzemelerin (örneğin, kalıcı mıknatıs), elektrik akımlarının (örneğin, bir bobinden geçen akımlar) veya bir elektrik alanındaki geçici değişikliklerin neden olduğu

manyetik etkilerdir. Bir manyetik alan genellikle birimi Tesla (T) olarak ifade edilen manyetik akı yoğunluğu cinsinden ölçülmektedir. Muhtemelen en önemli manyetik alan, jeomanyetik alan cadısı olarak da adlandırılan Dünya'nın manyetik alanıdır ve 50 μT mertebesinde manyetik akı yoğunluğuna sahiptir (Kobayashi ve ark., 2004).

Daha önce yapılan çalışmalarda dormansiye AC'nın etkisinin olmadığı, DC'nın ise etkisinin olduğu rapor edilmiştir (Kurooka ve ark., 1990). Elektrik akımı iki yönlü olarak (yerçekimi yönünde ve yerçekimine tersyönde) üzüm bitkisine uygulandığında dormansi süresini kısaltmada elektrik akımının farklı etkilerinin olduğu görülmüştür (Kurooka ve ark., 1990). Bu çalışmalara dayanarak uygulamalarda DC iki yönlü olarak kullanılmıştır.

Tarım sektöründe UV-B radyasyonu, sıcaklık, kuraklık, CO_2, besinler, ağır metaller ve yaralanma ile bitki tepkilerinin abiyotik olarak ortaya çıkarılmasına ilişkin çok sayıda araştırma yapılmış ve çeşitli incelemelerde açıklanmıştır. Bununla birlikte, elektriğin bitkileri etkilemek için bir abiyotik stres uyarıcısı olarak sınıflandırılıp sınıflandırılamayacağı açık değildir. Yukarıda bahsedilen abiyotik stres uyarıcıları iyi araştırılmış olsa da, elektriğin bitki gelişimi ve metabolitlerin birikimi üzerindeki etkisi iyi anlaşılmamıştır.

Stres koşullarına maruz kalan bitkiler, fotosentetik pigmentler, prolin, glisin, betain, ve protein gibi azotlu bileşiklerin, toplam çözünür şekerler, toplam fenolik bileşikler, flavonoitler, β-karoten ve likopen gibi nonenzimatik antioksidanların ve askorbat peroksidaz, guaiakol peroksidaz, glutatyon redüktaz, katalaz ve süperoksit dismutaz gibi enzimatik antioksidanların değiştiği ve ayrıca toleranslı türlerde söz konusu bileşiklerin duyarlı türlere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Smirnoff, 2005; Koca ve ark., 2007).

Bu Yüksek lisans tezinin amacı ıspanakta farklı elektrik akımı (DC) uygulamalarının, farklı standart ve hibrit ıspanak çeşitlerinde bitki gelişimi üzerine etkilerini incelemektir.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Elektriksel alanın hücre zarı reseptörlerini yeniden düzenlenmesine neden olduğu ve dolaylı olarak hücre zarı potansiyelini değiştirdiği rapor edilmiştir (Robinson, 1985). Dışarıdan verilen elektriksel akımın, bitki hücrelerindeki içsel ve doğal iyon akışı kontrolünü değiştirdiği bildirilmiştir (Rathore ve Goldsworthy, 1985).

Rathore ve ark. (1988), düşük dozlarda (1-2 mA) elektrik uygulamalarının tütünde kallus kültüründe büyüme ve sürgün regenerasyonun uyardığını rapor edilmişlerdir. On günden fazla bir uygulamanın etkili olmadığı da belirtilmektedir.

Inaba ve ark. (1995), hıyar meyvelerine elektrik akımı uygulayarak doku özellikleri analiz etmişlerdir. Araştırmacılar 0 – 3 mA (500-1000 HZ) uygulanan elektrik akımının organların fonksiyonlarını ve/ya sitoplazmik pH'yı değiştirerek etilen sentezini (ACC Sentaz) uyardığını belirlemişlerdir

Moon ve Chung (1999), domates tohumlarında 15 ile 60 saniye elektrik akımı (4-12 kV/cm) uygulamaları kontrol grubuna göre çimlenmeyi 1.1–2.8 kez hızlandırdığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte 12 kV/cm 60 sn üzerinde engelleyici etkileri gözlemlenmiştir.

Moon ve Chung (1999), çalışmalarında domates tohumu çimlenmesi hızlandırmak amacıyla AC elektrik alanı ve manyetik alanı en ideal koşulları belirlemesi için bir deneme kurmuşlar; Muamele edilen tohumun yüzde çimlenme oranları, normal koşullar altında çimlenen ve muamele görmemiş tohumunki ile karşılaştırılmıştır. Tohumlar, 4 ila 12 kV/cm arasında değişen AC elektrik alanları ve 3 ila 1000 G arasında değişen AC manyetik akı yoğunlukları ile muamele edilmiş ve karşılık gelen eşit dinlenme süreleri ile 15 ila 60 s arasında değişen üç zaman periyoduna maruz bırakılmıştır. İşlem görmüş domates tohumunun yüzde çimlenme oranlarının işlem görmemiş tohum ile karşılaştırıldığında yaklaşık 1.1-2.8 kat hızlandırıldığı bulunmuştur ancak elektrik alanının 12 kV/'den fazla olması durumunda çimlenme üzerinde engelleyici bir etki göstermiştir.

Knorr ve ark. (2001) kütle transferini artırmak için elektrik alan darbeleri uygulanmasından fayda sağlayacak ve dolayısıyla ozmotik dehidrasyona veya bitki hücre

ekstralarının ekspresyonuna yardımcı olacak gıda işleme olanaklarını gözden geçirmiş ve çeşitli bitki dokuları üzerindeki yüksek elektrik alan darbelerinin (HELP) etkilerini incelemişlerdir. Elektrik alanları, esas olarak sıvı hücre içeriğini tutan zarların geçirgenliğini arttırdığından suyun içinden geçebileceği daha büyük açıklıklar yaratırlar; bitki dokularını kurutmak ve konsantre etmek için difüze edilebilir ve ayrıca bu açıklıklar tersine çevrilebilirse besinler veya aroma bileşikleri gibi arzu edilen bileşenlerin daha kolay verilmesini sağlarlar.

Lynikiene ve Pozliene (2003), arpada 4-10 gün elektrik uygulamalarının (10 V) tohum çimlenmesini kontrol grubuna kıyasla artırdığını belirtmişlerdir. Belyavskaya (2004), bitkilerde uzun süre düşük manyetik alana maruz kalma sonucu hücresel, dokusal ve organsal farklı biyolojik etkilere yol açmakta olduğunu bildirmiştir.

De Souza ve ark. (2006), düşük manyetik alanlarının domateste çimlenme ve fide gelişimi üzerinde olumlu etkileri olduğu tespit edilmiş manyetik alana maruz kalan bitkiler meyveleri daha büyük ve meyve verimi daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

İkincil metabolitler normalde sağlıklı bitki dokusunda saptanamayan veya düşük miktarlarda bulunan, mikrobiyal enfeksiyon durumlarda yanıt olarak yüksek miktarlarda sentezlenen bileşiklerdir (Kaimoyo ve ark., 2008). Çeşitli abiyotik ve biyotik stres faktörlerinden dolayı bitki bileşiklerinin daha fazla sentezlendiği görülmüştür. Bu çalışmada; bezelye köklerinde, 30-199 mA arasında bir DC ile muamele edildiğinde fenolik bileşik (+)-pisatin seviyeleri kontrol bitkilere göre 13 kat yükseltmiştir.

Dannehl ve ark. (2009)'nın yürüttükleri bir denemede, turp ve tere bitkilerinin kökleri boyunca aralıklı DC akımı vermek için elektrotlar kullanılmıştır. Kontrol bitkilerle karşılaştırıldığında, günde bir saat 1000 mA ile muamele edilen turp köklerinde en yüksek toplam fenol içeriği %46 olarak gözlenmiştir. Bu değerler, kontrol uygulamalarında elde edilen değerlere kıyasla %12.8 ve %9.1 oranında artmıştır.

Almaghrabi ve Elbeshehy (2012), 9 adet buğday çeşidinde zayıf elektromanyetik alanın (3000 gauss 30 dk) uygulamanmış , çıkış oranı sürgün uzunluğu, kök uzunluğu, sürgün/kök uzunluğu, fide uzunluğu, fide yaş ve kuru ağırlığı gibi normal fidelere göre farklı bitki büyüme parametreleri incelenmiş deneme sonucunda Çıkış oranı ve diğer büyüme parametleri üzerinde olumlu etkinin olduğu belirtmişlerdir.

Pant ve ark. (2012), Anabaena varibalis üzerinde doku kültür alt kültüründe 10A 80 dk elektrik akımı uygulanmış. Bu çalışmanın sonuçları, fenolik bileşiklerin üretimi ve antioksidan aktivite için Anabaena variabilis'in elektrikle işlenmesinin olumlu etkisini göstermiştir. Elektrikle muamele edilmiş alg biyokütlesinin metanol özütü, daha yüksek miktarda toplam fenolik içerik ve serbest radikal süpürme aktivitesi göstermiş. Elektrik tedavisinin belirli metabolitlerin üretimini değiştirmek için fiziksel bir yöntem olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlar; ancak yöntemin oluşturulmasından önce daha karmaşık çalışmalara ihtiyaç vardır.

Yöntemi oluşturmadan önce gereklidir. Dannehl ve ark. (2012), doğrudan elektrik uygulaması yapılan horozibiği bitkisinin tohum ve fidelerinde sekonder metabolitlerin ortaya çıktığını bildirmişlerdir. Biyokimyasal açıdan bu tepkinin Ca^{+2}'un açığa çıkmasını teşvik ettiği için membran geçirgenliğine katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Membran seviyesindeki bu değişimler katyon kanalları boyunca Ca^{+2} akışını hızlandırdığı görülmüştür. Ayrıca doğrudan elektrik uygulanan su terelerinde Ca^{+2} seviyesindeki değişim, Dannehl ve ark. (2012), tarafından rapor edilmiştir.

Dannehl ve ark. (2012), uygulanan aralıklı DC elektrik akımının (IDC) farklı yoğunluklarının bahçe tere filizlerinde fitokimyasal bileşiklerin seviyeleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Bir haftalık işlem görmüş ve işlem görmemiş bitkiler toplanmış ve toplam fenol içeriğini, ilişkili antioksidan aktiviteyi analiz etmek için kullanılmıştır. İşlem görmüş bahçe teresinin ikincil metabolizmasındaki değişiklikleri açıklamak için makro ve mikro besinlerin belirli elementlerine ek olarak klorofil, proteinler ve ağır metaller ilave olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, diğer abiyotik elisitörlerin aksine klorofil, proteinler ve fenoliklerin biyosentezini desteklemek için zayıf IDC seviyelerinin uygulanabileceğini göstermiştir. 1400 mA'lık bir IDC, bahçe teresindeki toplam fenol içeriğini ve diğer biyosentetik ürünleri önemli ölçüde en üst düzeye çıkarmak için yeterince etkilemiş ve hiçbir hasar belirtisi göstermemiş; ağır metallerin birikmesi bahçe teresinde toksik etki göstermemiş ve insan tüketimine yönelik yasal düzenlemeleri aşmamıştır.

Viktor ve Bjeliš. (2015) tarafından tohum ve fidelere elektrik uygulamasının etkilerinin araştırıldığı bir başka çalışmada ise farklı elektrik dozları uygulanan fasulye, ıspanak ve turp bitkilerinde oldukça farklı sonuçlar elde edilmiş olup, 1.5 V elektrik

uygulamasının kontrol bitkilerine göre daha iyi sonuç verdiği görülürken, 4.5 V ve 9 V uygulananların kontrol bitkilerine göre daha kötü sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Yüksek besinsel ve tıbbi değerine sahip Afrika itüzümü (*Solanum scabrum* Mill.) gibi yerli Afrika yapraklı sebzelerin üretimi, yetersiz hasat öncesi teknikler nedeniyle hala sınırlıdır. Elektrik akımının gıda ürünlerinde kaliteyi arttırdığı bilinmektedir. Bu nedenle yürütülen bir çalışmada (Gogo ve ark., 2016), doğrudan elektrik akımının (DC) büyüme ve karakteristik biyoaktif ve sağlığı geliştirici bileşikler üzerindeki etkileri, farklı morfolojik bölümlerde, yani Afrika itüzümü yaprakları ve gövdelerinde değerlendirilmiştir. Altı haftalık bitkiler, 12 gün boyunca 8 ve 16 V, 10 saat/gün voltaj ile uygulanan farklı DC'ye maruz bırakılmıştır. İşlem görmemiş bitkiler kontrol olarak kullanılmıştır. Bitki büyümesi, birincil ve ikincil bitki bileşikleri değerlendirmiştir. DC uygulanması yaprak taze (% 11.5-14.4) ve kuru (%12.1-24.2) ağırlığı ve yaprakları (%29.1-55.3) artırmıştır. Artan DC ile klorofillerin ve karotenoidlerin biyosentezi artırılmıştır. Ayrıca, DC uygulamaları ile hemiselüloz gibi diyet lifi fraksiyonları (%23.3-45.3) desteklenirken selüloz ve lignin etkilenmemiştir. DC nedeniyle hücre zarı geçirgenliğinin değişmesi, Afrika itüzümü yapraklarında biyoaktif bileşiklerin gelişip büyümesine yol açan fizyolojik süreçlere sahip olmuştur.

Leong ve ark. (2016) yapmış oldukları bir çalışmada antikosidatif enzim (SOD, CAT ve APX) değerlerinin, 2 kV/cm aralıklı elektrik uygulanan buğday çimi tohumlarında elektrik uygulanmayanlara göre çok fazla artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Unsugmi ve ark. (2017)'nın çalışmalarına göre doğrudan elektrik akımının farklı bitkilerden elde edilen tohumların verimi ve çimlenmesi üzerine olumlu etkileri üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Elektrik akımı, tohumlardaki çeşitli fizyolojik değişiklikleri tanımlayarak çimlenen tohumlarda daha hızlı su emilimi ve solunum ile sonuçlanabilmektedir. Bu araştırmada, 24 saatlik mili amper aralığındaki doğru elektrik akımının nohutta tohum çimlenmesinin indüklenmesini arttırdığı bulunmuştur. Ayrıca, plumula'nın ortaya çıkmasından sonra, elektrikle işlem görmüş tohumlarda kök ve sürgün büyümesinin makul ölçüde daha hızlı olduğu bulunmuştur. Ayrıca, elektrikle muamele edilmiş tohumlarda indirgeyici şekerlerin mevcut olduğu, ancak kontrol numunelerinde bulunmadığı ve elektrikle muamele edilmiş numunelerde protein içeriğinin yaklaşık iki katına çıktığı tespit edilmiştir.

Dymek ve ark. (2012)'nın çalışmasına göre, darbeli elektrik alanlarının (PEF) uygulanması üzerine çimlenen arpa tohumlarının metabolik tepkileri araştırılmıştır. Maltlık arpa tohumları 24 saat boyunca havalandırılmış suda demlenmiş ve değişen voltajlarda (0 (kontrol), 110, 160, 240, 320, 400 ve 480 V) PEF ile işleme tabi tutulmuştur. Tohumların daha sonra doymuş havada çimlenmeyi bitirmesine izin verilmiştir. Çimlenmekte olan arpanın PEF'e maruz kalmasının, tohumların brüt metabolik aktivitesini önemli ölçüde etkilemeden kök oluşumunu etkilediği, izotermal kalorimetri ile ölçüldüğü gibi gösterilmiştir. Hem embriyonun hem de nişastalı endospermin protein 2-DE profillerinin araştırılması, tespit limitinden daha yüksek konsantrasyonlarda bulunan proteinlerde önemli bir değişiklik bulunmadığı gösterilmiştir. Bununla birlikte western blot, PEF ile muamele edilmiş tohumlarda a-amilaz konsantrasyonunun azaldığını göstermiştir.

Ozuna ve ark. (2017), horozibiği tohumlarının çimlenmesinden önce elektrik akımı ile muamele edilmesinin filizlerinin enzimatik antioksidan sistemi üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve doğru elektrik akımı (DC) uygulamaları altında tohumlarda ve horozibiği filizlerinde biyoaktif bileşiklerdeki değişiklikleri ve enzimatik antioksidan aktiviteleri belirlemişlerdir. Horozibiği tohumları, farklı sürelerde (0, 2, 5, 10 ve 30 dakika) 500 mA'da DC ile muamele edilmiş ve 6 gün boyunca filizlenmeye (% 85 RH, 25 ± 2 °C) bırakılmıştır. DC ile muamele edilmiş tohumlardan 6 günlük filizlerde antioksidan enzimatik aktivitelerde ve flavonoidlerin (15.44 ± 0.56 mg RE/gDW) ve fenolik bileşiklerin (35.87 ± 0.17 mg GAE/gDW) toplam içeriğinde önemli değişiklikler bulunmuştur. Sonuçlar, kısa süre (5 dakika) için DC tedavisinin, horozibiği filizlerinin enzimatik antioksidan sisteminde nicel değişikliklere neden olabileceğini ve böylece filizlerin, sağlığı iyileştirici özelliklere sahip olduğunu bildirmektedir. Ozuna e ark (2017), horozibiği tohumları 500 mA direkt akımda farklı sürelerde (0, 2, 5, 10 ve 30 dk) tutulmuş ve 6 günlük fidelerde enzim seviyeleri tespit edilmiştir. Antioksidant, flavonid içeriği ve fenolik bileşiklerinde enzim aktivesinde önemli değişiklikler gözlenmiş ve 5 dk'lik süre önerilmiştir.

Dannehl, (2018) mevcut çalışmalara dayanarak, elektriğin bitkileri etkilemek için abiyotik stres uyarıcısı olarak görülebileceğini önermiştir. Bu bağlamda birçok rapor; bitkilere güçlü veya zayıf elektrik alanları, manyetik alanlar veya elektrik akımları

uygulandığında dezavantajdan çok avantaj olduğunu göstermiştir. Genel olarak, ön işlem olarak tohumlara elektrik ve manyetik alanların uygulanmasının, sonraki bitki gelişimini iyileştirmek için basit bir yöntem olduğu not edilebilmektedir. Buna çimlenme oranı, kök ve sürgün uzunluğu, toplam yaş ve kuru ağırlık, meyve verimi, ayrıca yaprak alanı, dallar, fotosentez, stoma iletkenliği, farklı iyonların birikimi ve klorofil içeriği dahildir. Manyetik alanlara maruz kalan tohumlar ayrıca daha yüksek ROS üretimi ve buna bağlı olarak POD, SOD ve CAT gibi antioksidan savunma sistemlerinin aktivasyonu ile tepki verebilir. Bu durum, elektriğin hem bitkilerin hem de tohumların stres tepkilerini harekete geçirebileceği anlamına gelmektedir.

Afrasiyab ve ark. (2020) 100 gün boyunca her günde 10 dakikaya kadar toprağa 3,6,9 ve 12 volt maruz bırakılmıştır ve çalışma sonucunda elektrik çimlenme oranı attırdığı gibi hücresel metabolizmanın olumlu yönde artırılabileceğini kanıtlamış ve bitki boyu, kök uzunluğu ve yaprak sayısı gibi bazı parametrelerde elektrik alanın 3, 6, 9 ve 12 V şiddetlerinin olumlu etkisi kaydedilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu deneme 2021 yılında İstanbul ili Bağcılar İlçesi'nde açık alanda bir saksı denemesi olarak yürütülmüş; gerekli analizler Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bahçe Bitkileri Laboratuvarında yapılmıştır.

Denemede ikişer adet ıspanak standart çeşidi (MATADOR ve ACOSTA) ve ikişer adet de F1 ıspanak çeşidi (REVERE ve REMBRANDT) kullanılmıştır.

Doğru elektrik akımı (DC) uygulamaları olarak 40 saat süreyle power supply kullanılarak tohumlara farklı voltaj dozları (0, 2, 4 ve 8 volt) uygulanmıştır.

Yetiştirme ortamı olarak 5 litrelik saksılara eşit oranda bölünüp hazırlanmıştır. Eylül ayının son haftasında tohum ekimi yapılmış olup, her saksıya 50 tohum bırakılmıştır. Daha sonra seyreltme işlemi yapılarak, her saksıda 5 adet bitki bırakılmıştır. Hasat işlemi ise 16.11.2021 tarihinde yapılmıştır. Deneme 16 uygulama ile 4 tekerrür olmak üzere toplam 64 saksı içermiştir.

Çizelge 3.1. Denemede yer alan uygulamalar

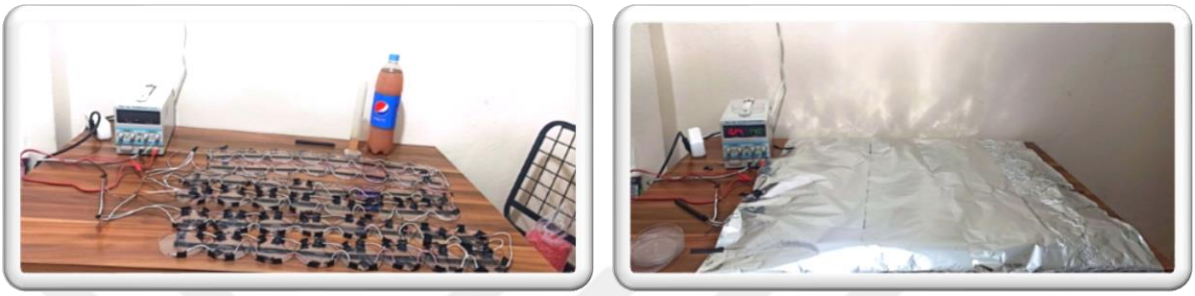
No	Uygulama	No	Uygulama
1	Kontrol (0 Volt) Matador	9	Kontrol (0 Volt) Acosta
2	2 Volt + Matador	10	2 Volt + Acosta
3	4 Volt + Matador	11	4 Volt + Acosta
4	8 Volt + Matador	12	8 Volt + Acosta
5	Kontrol (0 Volt) Revere F1	13	Kontrol (0 Volt) Rembrandt F1
6	2 Volt + Revere F1	14	2 Volt + Rembrandt F1
7	4 Volt + Revere F1	15	4 Volt + Rembrandt F1
8	8 Volt + Revere F1	16	8 Volt + Rembrandt F1

3.1 Elektrik Uygulama Aşamaları

Her uygulama için Petri kabı içerisinde 50 tohum bırakılmış ve power supply kullanarak 40 saat süreyle elektrik akımı sağlanmıştır.

Denemede verilen voltaj dozları (0, 2, 4 ve 8 Volt) ile petrilere eşit miktarda amper (0.1 mA) verilmiştir.

Elektrik iletkenliğini sağlamak için saf su kullanılmış ve her 1 litreye 15 gram NPK gübresi ekleyerek ortam iletkenliği sağlanmıştır.



Şekil 3.1. Elektrik uygulamaları hazırlama şekli.

3.2. Yetiştirme Yeri

40 saat elektrik akımı verildikten sonra Petri kabındaki tohumlar daha önceden hazırlanmış saksılara ekilmiş ve ilk sulama yapılmıştır. Gübreleme işlemi bir defa yapılmış olup, her saksıya 5 gram NPK gübresi verilmiştir.



Şekil 3.2 Yetiştirme yerinden bir görünüm.

3.3. Yetiştirme Ortamı Özellikleri

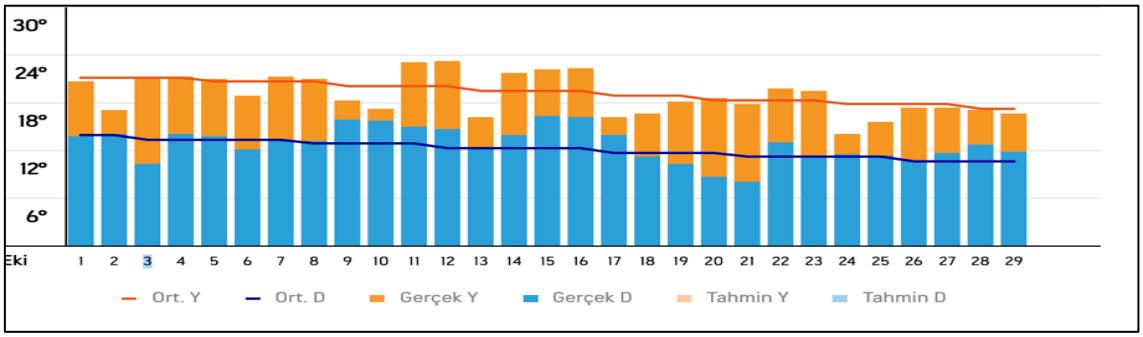
Denemede yetiştirme ortamı olarak bahçe toprağı olup, analiz sonuçları Çizelge 3.2 de yer almaktadır.

Çizelge 3.2. Denemede kullanılan toprağın özellikleri

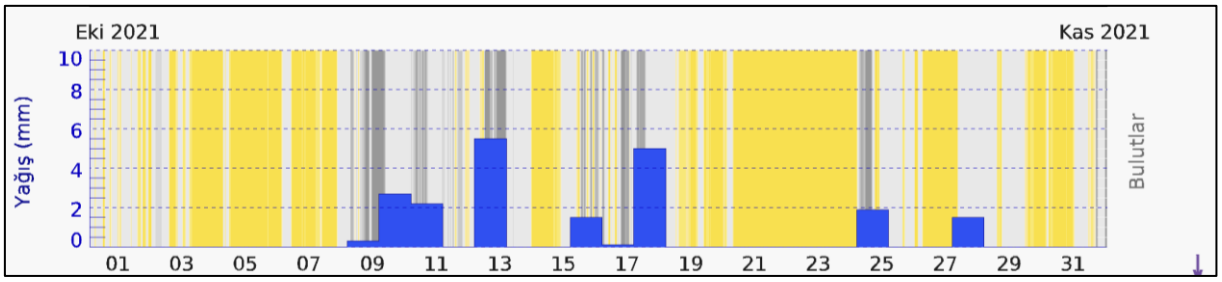
Analiz Tipi	BİRİM	Sonuç	Durumu
Fosfor (P)	Kg/da	41.79	Çok fazla
Potasyum (K)	Kg/da	50.03	Yeterli
Organik Madde	%	4.38	Yüksek
Kireç (%)	%	0.97	Az kireçli
pH	%	8.14	7.5- 8.5 Hafif alkali
Elektriksel İletkenlik/ Tuz (%)	%	0.13	Tuzsuz
Bünye	%	Kum:37.13 Kil:32.43 Silt:30.43	CL (Killi-tınlı)
Azot (N)	%	0.47	Çok fazla
Mangan (Mn)	mg/kg	4.75	Az
Sodyum (Na)	mg/kg	56.3	
Demir (Fe)	mg/kg	84.49	Yeterli
Bakır (Cu)	mg/kg	4.41	Yeterli
Çinko (Zn)	mg/kg	16.50	Çok fazla
Kalsiyum (Ca)	mg/kg	3500	Yeterli
Magnezyum (Mg)	mg/kg	215.55	Yeterli

3.4. Çalışmanın Yürütüldüğü İklim Koşulları

Deneme açık hava şartlarında yapıldığından dolayı meteoroloji verilerinden yararlanılmıştır (Şekil 3.1 ve 3.2).



Şekil 3.3. 01 Ekim – 30 Ekim 2021 tarihleri arasında sıcaklık grafiği.



Şekil 3.4. 01 Ekim 2021-30 Ekim 2021 tarihleri arasındaki nem grafiği.

3.5. Yapılan Ölçüm ve Analizler

Tohum çıkış oranı, süresi ve indeksi:

Çıkış oranı (ÇO, %)=(G/T)×100 (1)

Çıkış Süresi (OÇS, gün)= [(1. günde G×1.gün) + (2. günde G×2.gün) + (3.günde G×3.gün) + (n. günde G×n.gün)] / (Toplam G)

Çıkış İndeksi (Çİ)= (1. Günde Ç.O/Dt1) + (2. günde Ç.O/Dt2) + (n. günde Ç.O/Dtn)

Bitki boyu: Bitki boyu hasat yapıldıktan sonra kök boğazından büyüme ucuna kadar bir cetvel ile mm (±1) cinsinden ölçülmüştür. (Şekil 3.5)



Şekil 3.5.Sürgün boy ölçümü ve kök boyu ölçümü.

Kök boyu: Bitki kök boyu kök boğazından kök ucuna kadar bir cetvel ile mm (±1) cinsinden ölçülmüştür.

Gövde çapı: Bitkilerde gövde çapı kumpas ile mm (±0,5) cinsinden belirlenmiştir.

Yaprak sayısı: Uygulamalar sonunda ıspanak bitkilerinin tüm yaprakları teker teker sayılarak belirlenmiştir

Yaprak alanı (cm^2 / bitki) : Ispanak bitkisinin farklı yaşlardaki yapraklarının alanı kağıt üzerinde çizilmiş ve tarayıcı ile fotoğrafı çekilmiş daha sonra IMAGEJ bilgisayar programı kullanılarak yaprak alanı hesaplanmıştır.

Yaprak taze ve kuru ağırlığı: Uygulamalar sonucunda hasat edilen tüm bitkilerin yaprak ağırlığı 0.1g hassasiyetindeki bir terazide tartılarak kaydedilmesinin ardından bitki sayısına bölünerek bitki yaşı belirlenmiştir. Aynı örnekler bir gün açıkta serilerek bekletilmiş, ardından 65 ^oC etüvde 48 saat süreyle kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları hassas terazide tartılarak tespit edilmiştir (Şekil. 3.6).



Şekil 3.6.Yaprak kuru ağırlığı ölçümü.

Kök taze ve kuru ağırlığı**:** Uygulamalar sonucunda hasat edilen tüm bitkilerin kök ağırlığı 0.1g hassasiyetindeki bir terazide tartılarak kaydedilmiştir. Daha sonra aynı örnekler bir gün açıkta serilerek bekletilmiş ve 65 ^oC etüvde 48 saat kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları da hassas terazide tartılarak tespit edilmiştir.

Klorofil miktarının (SPAD değeri) belirlenmesi: Çalışmada hasat olgunluğundaki bitkilerin üzerindeki klorofil miktarını belirlemek için SPAD metre kullanılmıştır. Aynı bitkinin farklı yapraklarında 3 ile 4 ölçüm yapılmış ve alınan ölçümler toplanıp yapılan ölçüm miktarına bölünerek o bitkinin klorofil miktarı belirlenmiştir. (Şekil 3.7)



Şekil 3.7.SPAD metre ile klorofil miktarının belirlenmesi.

Bitkilerde lipit peroksidasyonu ürünü malondialdehit (MDA) miktarının belirlenmesi: Bitkilerin alttan 3. yaprağından alınan 0.5 g yaprak örneği 10 ml % 0.1'lik trikloroasetik asit (TCA) ile homojenize edildikten sonra homojenat 15000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj edilen örneğin berrak kısmından 1 ml alınıp üzerine 4 ml % 20'lik TCA içerisinde çözülmüş % 0.5'lik tiobarbiturik asit (TBA) katılmıştır. Karışım 95 ^{o}C'de 30 dakika bekletildikten sonra hızla buz banyosunda soğutulup 10000 rpm'de 10 dakika santrifüj yapıldıktan sonra berrak kısımda 532 ve 600 nm dalga boyunda okuma yapılmış ve aşağıdaki eşitlik ile Eş 3.3'e göre MDA içeriği hesaplanmıştır (Güneri Bağcı, 2010; Jebara ve ark., 2010) (Şekil 3.8).

MDA = ((A532-632)xV(10 ml sabit)x1000)/ExW

A: dalga boyu

V: homojenize edilen TCA miktarı 10 ml (sabit)

E: 155 mm/gram (sabit)

W: taze bitki örneği miktarı (0.5 gram sabit)



Şekil 3.8. Laboratuvar görüntüleri (a. Homojenizasyon işlemi yapılarken, b. Karışım 95ºC'de 30 dakika bekletme işlemi, c. 532 ve 600 nm dalga boyunda okuma yapılırken).

3.6. Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi

3.6.1. Katalaz (CAT) aktivitesi:

Katalaz aktivitesi, 240 nm dalga boyunda H2O2'nin kaybolmasının izlenmesi ile belirlenmiştir. Reaksiyon çözeltisi olarak 0.05 M fosfat tamponu (KH_2PO_4), 1.5 mM H_2O_2 karışımı kullanılmıştır (pH: 7.0). 2.5 ml reaksiyon çözeltisi ile 0.2 ml bitki ekstraktı karıştırılmıştır. Spektrofotometrede 240 nm dalga boyunda 0. ve 60. Saniye okumaları alınmıştır. Reaksiyon 0.1 ml enzim ekstraktının ilavesi ile başlatılmıştır. Değerlendirme 1 dakika içinde absorbansdaki değişim dikkate alınarak yapılmıştır (Güneri Bağcı, 2010; Jebara ve ark., 2010).

3.6.2. Süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi:

Reaksiyon çözeltisi olarak 50 mM Na-fosfat tamponu (Na_2HPO_4 x H_2O_2), 0.1 mM Na- EDTA, 33 µM NBT, 5 µM riboflavin, 13 mM methionin karışımı kullanılmıştır (pH: 7.0). 2.5 ml reaksiyon çözeltisi ile 0. 1 veya 0.2 ml bitki ekstraktı karşılaştırılmıştır. Reaksiyon 25 ºC'de 75 µmol m^{-2} s^{-1} (40 W) ışık altında 10 dakika bekletilerek sağlanmıştır (Şekil 3.7.). Kontrol çözeltisi enzimsiz olarak karanlıkta aynı süre bekletilmiştir. Kontrol ve Reaksiyon çözeltisi 560 nm'de okunmuştur (Şekil 3.11). SOD

aktivitesi ünite olarak NBT'un % 50'sini indirgeyen aktivite olarak belirlenmiştir (Güneri Bağcı, 2010; Jebara ve ark., 2010).

3.6.3 Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi

Askorbat peroksidaz aktivitesi, 290 nm dalga boyunda askorbik aside bağlı H_2O_2'nin indirgenmesi ölçülmüştür. Reaksiyon çözeltisi olarak 50 mM fosfat tamponu (KH_2PO_4), 0.5 mM askorbik asit, 0.1 mM EDTA, 1.5 mM H2O2 karışımı kullanılmıştır (pH: 7.0). 3 ml reaksiyon çözeltisi ile 0.1 ml bitki ekstraktı karıştırılmıştır. Spektrofotometrede 290 nm dalga boyunda 0. ve 60. saniye okumaları alınmıştır. Reaksiyon 0.1 ml enzim ekstraktının ilavesi ile başlatılmıştır. Değerlendirme 1 dakika içinde absorbansdaki değişim dikkate alınarak yapılmıştır (Jebara ve ark. 2010; Güneri Bağcı 2010).



Şekil.3.9. 40W ışık kaynağında örneklerin bekletilmesi.

3.7. Besin Elementleri Analizi

Analizler, önceden etüvde kurutulan bitki örnekleri toz haline getirildikten sonra kuru yakma yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bitkilerden 0.5 gram örnek alınarak krozelerde 1 ml etil alkol ile ön yakma işlemi yapılmıştır. Krozeler soğuduktan sonra yaklaşık 9-12 saat süreyle 500 ^oC'de kül fırınında yakma işleminin ardından küle 3 NHCl'den 4 ml karıştırılarak krozeler hot pleyt üzerinde sarı renk alıncaya kadar bekletilmiştir. Hot pleyt üzerinden alınan porselen krozeler önceden hazırlanmış süzme

seti yardımıyla 50 ml balon jojelere aktarılarak üzeri saf su ile tamamlanmıştır. Elde edilen bu ekstrakt (Kacar 1984)'a göre belirlenmiştir. Potasyum (K), magnezyum (Mg), kalsiyum (Ca), demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu) ve çinko (Zn) içerikleri Van Y.Y.Ü. Bilim Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde analiz edilmiş, fosfor (P) ise spektrofotometre(Uv-Vis Genesys 10S)de analiz edilmiştir. (Kuşvuran 2010; Güneri Bağcı 2010)

3.8. Verilerin Değerlendirilmesi

Deneme sonucunda elde edilen veriler SPSS paket programında tesadüf parselleri faktöriyel deneme desenine göre varyans analizi ile değerlendirilmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunan sonuçlarda, uygulamalar arasındaki farklılığı belirlemek için %1 veya %5 önem düzeyinde Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanarak, sonuçlar ortalamaların yanında harfli gösterim şeklinde ifade edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Çıkış Oranı, Süresi ve İndeksi

Çeşitler ve uygulamalar arasında ıspanak bitkisi çıkış oranı bakımından farklılıklar incelenmiştir (Çizelge 4.1). Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde çeşitler arasında önemli fark bulunmuştur (p=0.001); sırasıyla en fazla çıkış oranı (%73.00) Rembrandt F1 çeşidinde görülmüş ve ardından Revere F1 çeşidi (%59.75) gelmiştir. Matador ve Acosta çeşitleri en düşük çıkış oranlarına (sırasıyla %42.53 ve % 38.00) sahip olmuştur. Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında da önemli fark bulunmuştur (p=0.002); sırasıyla en fazla çıkış oranı (%65.75) kontrol uygulamasında görülmüştür. 8 volt, 2 volt ve 4 volt uygulamaları (%50.500, 49.750, 47.375) kontrole göre daha düşük çıkış oranlarına sahip olmuştur. Çeşit ve elektrik interaksiyonundan elde edilen verilerin istatistiksel olarak incelendiğinde önemli fark bulunmuştur (p=0.006), en yüksek değer Rembrandt F1 çeşidinde 2 volt (%75.00) uygulamasından elde edilirken, en düşük değer Acosta çeşidinde 2 volt (%18.50) uygulamasında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1. Ispanak uygulamalarında çıkış oranı (%)

	0 volt	**2 volt**	**4 volt**	**8 volt**	**Ortalama**
Matador	45.00 ± 1.291 c**	48.50 ± 6.185 c	40.50 ± 7.805 cd	36.50 ± 4.646	42.63 ± 2.737 C***
Acosta	71.00 ± 1.291 ab	18.50 ± 3.775 e	24.50 ± 8.770 de	38.00 ± 9.626 cde	38.00 ± 6.066 C
Revere F1	74.50 ± 2.217 ab	57.00 ± 8.813 abc	53.50 ± 7.676 bc	54.00 ± 10.614 abc	59.75 ± 4.203 B
Rembrandt F1	72.50 ± 6.602 ab	75.00 ± 6.608a	71.00 ± 2.508 ab	73.50 ± 2.630 ab	73.00 ± 2.236 A
Ortalama	65.75 ± 3.502 A**	49.75 ± 6.041B	47.38 ± 5.424 B	50.50 ± 5.156 B	

***=p<0.001 Düzeyinde önemli, **=p<0.01 Düzeyinde önemli

Çeşitler ve uygulamalar arasında ıspanak bitkisi çıkış süresi bakımından farklılıklar incelenmiştir (Çizelge 4.2). Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde çeşitler arasında önemli fark bulunmamıştır (p=0.117); sırasıyla en yüksek çıkış süresi (5.059 gün) Acosta çeşidinde görülmüş ve ardından Revere F1 çeşidi (4.382 gün) gelmiştir. Rembrandt F1 ve Matador çeşitleri en düşük çıkış süresi (sırasıyla 4.028 ve 4.022 gün) sahip olmuştur. Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında da önemli fark bulunmamıştır (p=0.710); sırasıyla en

yüksek çıkış süresi (4.542 gün) 2 volt uygulamasında görülmüştür. 4 volt, 0 volt ve 8 volt (sırasıyla: 4.515, 4.394, 4.041 gün) uygulamaları 2 volta göre daha düşük çıkış süresine sahip olmuştur. Çeşit ve elektrik interaksiyonundan elde edilen verilerin istatistiksel olarak incelendiğinde önemli fark bulunmamıştır (p=0.811), en yüksek değer Acosta çeşidinde 2 volt (5.852 gün) uygulamasından elde edilirken en düşük değer Rembrandt F1 çeşidinde 8 volt (3.321 gün) uygulamasında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2. Ispanak uygulamalarında çıkış süresi (gün)

	0 volt	**2 volt**	**4 volt**	**8 volt**	**Ortalama**
Matador	4.304 ± 1.147^{öd}	3.732 ± 0.572	3.984 ± 1.012	4.069 ± 1.028	4.022 ± 0.435^{öd}
Acosta	4.749 ± 0.144	5.852 ± 0.831	5.225 ± 0.963	4.409 ± 0.338	5.059 ± 0.327
Revere F1	3.758 ± 0.386	4.700 ± 0.684	4.707 ± 0.771	4.364 ± 0.364	4.382 ± 0.278
Rembrandt F1	4.765 ± 0.479	3.884 ± 0.243	4.143 ± 0.398	3.321 ± 0.301	4.028 ± 0.212
Ortalama	4.394 ± 0.311^{öd}	4.542 ± 0.353	4.515 ± 0.389	4.041 ± 0.287	

^{öd}: önemli değil

Çeşitler ve uygulamalar arasında ıspanak bitkisi çıkış indeksi bakımından farklılıklar incelenmiştir (Çizelge 4.3). Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde çeşitler arasında önemli fark bulunmuştur (p=0.001); sırasıyla en yüksek çıkış indeksi (16.678) Rembrandt F1 çeşidinde görülmüş ve ardından Revere F1 çeşidi (12.177) gelmiştir. Matador ve Acosta çeşitleri en düşük çıkış indeksi (sırasıyla 11.670 ve 6.194) sahip olmuştur. Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında da önemli fark bulunmamıştır (p=0.155); sırasıyla en yüksek çıkış indeksi (13.273) 0 volt uygulamasında görülmüştür. 8 volt, 2 volt ve 4 volt (sırasıyla: 11.650, 11.575, 10.221) uygulamaları kontrole göre daha düşük çıkış süresine sahip olmuştur. Çeşit ve elektrik interaksiyonundan elde edilen verilerin istatistiksel olarak incelendiğinde önemli fark bulunmamıştır (p=0.032), en yüksek değerler ise Rembrandt F1 çeşidinde 8 ve 2 volt uygulamalarında (sırasyıla: 19.121, 17.928) elde edilirken en düşük değer Acosta çeşidinde 2 volt (2.422) uygulamasında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3. Ispanak uygulamalarında çıkış indeksi

	0 volt	2 volt	4 volt	8 volt	Ortalama
Matador	11.797 ± 1.156 abc*	14.078 ± 1.847 abc	11.051 ± 1.476 abc	9.755 ± 1.430 cde	11.670 ± 0.783 B***
Acosta	10.941 ± 0.256 abc	2.422 ± 0.476 f	4.495 ± 1.691 ef	6.918 ±1.858 def	6.194 ± 1.000 C
Revere F1	16.200 ± 1.943 ab	11.872 ± 2.778 abc	9.828 ± 1.876 cde	10.807 ± 2.661 abc	12.177 ± 1.224 B
Rembrandt F1	14.153 ± 2.880 abc	17.928 ± 2.456 a	15.510 ± 1.169 abc	19.121 ± 1.130 a	16.678 ± 1.050 A
Ortalama	13.273 ± 0.978 öd	11.575 ± 1.745	10.221 ± 1.234	11.650 ± 1.438	

***=p<0.001 Düzeyinde önemli, *=p<0.05 Düzeyinde önemli, öd: önemli değil

4.2. Bitki Boyu

Çeşitler arasında ıspanak bitkisi boyu bakımından farklılıklar belirlenmiştir (Çizelge 4.4). Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde çeşitler arasında önemli fark bulunmuştur (p=0.001); sırasıyla en fazla boy alan çeşit Matador çeşidinde (14.918 cm) görülmüş, ardından Revere F1 çeşidi (11.238 cm) gelmiştir. Rembrandt F1 ve Acosta çeşitleri en düşük boy oranlarına (sırasıyla 10.505 ve 8.935 cm) sahip olmuştur. Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında da önemli fark bulunmamıştır (p=0.297); en yüksek bitki boyu (12.235 cm) kontrol uygulamasında görülmüş ve 2, 4 ve 8 volt uygulamaları kontrole göre daha düşük boy oranlarına sahip olmuştur (sırasıyla; 11.386, 11.139, 10.835 cm). Çeşit-elektrik interaksiyonundan elde edilen veriler istatistiksel olarak incelendiğinde önemli fark bulunmamıştır (p=0.833). Bununla birlikte en yüksek değer Matador çeşidinde 2 volt (16.120 cm) uygulamasından elde edilirken en düşük değer Acosta çeşidinde 4 volt (8.038 cm) uygulamasında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.4. Ispanak uygulamalarında bitki boyu (cm)

	0 volt	2 volt	4 volt	8 volt	Ortalama
Matador	14.410 ± 1.166 öd	16.120 ± 1.308	15.660 ± 1.591	13.480 ± 1.350	14.918 ± 0.666 A***
Acosta	9.744 ± 1.108	9.033 ± 1.089	8.038 ± 0.562	8.925 ± 0.901	8.935 ± 0.449 C
Revere F1	12.900 ± 1.562	10.090 ± 1.928	10.780 ± 0.536	11.180 ± 1.063	11.238 ± 0.671 B
Rembrandt F1	11.885 ± 0.648	10.300 ± 0.489	10.080 ± 1.534	9.755 ± 0.784	10.505 ± 0.476 B
Ortalama	12.235 ± 0.648 öd	11.386 ± 0.952	11.139 ± 0.892	10.835 ± 0.646	

***=p<0.001 Düzeyinde önemli, öd: önemli değil

4.3. Kök Boyu

Çeşitler ve uygulamalar arasında ıspanak bitkisi kök yaş ağırlığı bakımından farklılıklar incelenmiştir (Çizelge 4.5). Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde çeşitler arasında önemli fark bulunmamakla birlikte (p=0.256); en fazla kök boyu Acosta çeşidinde (6.126 cm) görülmüş, ardından Matador çeşidi (5.249 cm) gelmiştir. Rembrandt F1 ve Revere F1 çeşitleri en düşük kök boyuna (sırasıyla 5.236 ve 4.964 cm) sahip olmuştur. Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında da önemli fark bulunmamıştır (p=0.831); yine de en fazla kök boyu (5.525 cm) 4 volt uygulamasında görülmüştür. 8 volt, 0 volt ve 2 volt uygulamaları 4 volta göre daha düşük kök boyu değerlerine sahip olmuştur (sırasıyla; 5.504, 5.481, 5.065 cm). Çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonundan elde edilen veriler istatistiksel olarak incelendiğinde de önemli fark bulunmamıştır (p=0.474); bununla birlikte en yüksek değer Acosta çeşidinde 4 volt (6.875 cm) uygulamasından elde edilirken en düşük değer Revere F1 çeşidinde 2 volt (4.300 cm) uygulamasında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.5. Ispanak uygulamalarında bitki kök boyu (cm)

	0 volt	**2 volt**	**4 volt**	**8 volt**	**Ortalama**
Matador	6.030 ± 0.514 öd	4.490 ± 0.337	5.342 ± 1.236	5.135 ± 0.756	5.249 ± 0.380 öd
Acosta	6.560 ± 0.785	5.189 ± 0.780	6.875 ± 0.828	5.880 ± 1.201	6.126 ± 0.443
Revere F1	4.715 ± 0.571	4.300 ± 0.534	4.420 ± 0.168	6.420 ± 0.737	4.964 ± 0.328
Rembrandt F1	4.619 ± 1.128	6.283 ± 0.928	5.463 ± 0.612	4.580 ± 0.892	5.236 ± 0.445
Ortalama	5.481 ± 0.413 öd	5.065 ± 0.366	5.525 ± 0.427	5.504 ± 0.448	

öd: önemli değil

4.4. Gövde Çapı

Çeşitler arasında ıspanak bitkisi gövde çapı bakımından farklılıklar belirlenmiştir (Çizelge 4.6). Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde çeşitler arasında önemli fark bulunmuştur (p=0,056); sırasıyla en kalın gövde çapı Matador çeşidinde (0.688 cm) görülmüş ve ardından Acosta çeşidi (0.604 cm) gelmiştir. Rembrandt F1 çeşidi en düşük gövde çapına (0.471 cm) sahip olmuştur. Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında da önemli fark bulunmamıştır (p=0.

172); fakat en fazla gövde çapı (0.677 cm) kontrol uygulamasında görülmüştür. 2 volt, 4 volt ve 8 volt uygulamaları kontrole göre daha düşük gövde çapı değerlerine sahip olmuştur (sırasıyla; 0.606, 0.525, 0.505 cm). Çeşit-elektrik interaksiyonundan elde edilen veriler istatistiksel olarak incelendiğinde önemli fark bulunmamıştır (p=0. 301). Bununla birlikte en yüksek değer Matador çeşidinde 2 volt (0.835 cm) uygulamasından elde edilirken en düşük değer Rembrandt F1 çeşidinde 8 volt (0.275) uygulamasında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6. Ispanak uygulamalarında bitki gövde çapı (cm)

	0 volt	**2 volt**	**4 volt**	**8 volt**	**Ortalama**
Matador	0.765 ± 0.124 öd	0.835 ± 0.159	0.516 ± 0.031	0.637 ± 0.085	0.688 ± 0.059 A**
Acosta	0.765 ± 0.098	0.455 ± 0.089	0.565 ± 0.081	0.630 ± 0.131	0.604 ± 0.054 AB
Revere F1	0.563 ± 0.040	0.555 ± 0.152	0.525 ± 0.019	0.560 ± 0.137	0.551 ± 0.047 BC
Rembrandt F1	0.615 ± 0.081	0.580 ± 0.122	0.415 ± 0.104	0.275 ± 0.049	0.471 ± 0.054 C
Ortalama	0.677 ± 0.047 öd	0.606 ± 0.070	0.505 ± 0.034	0.525 ± 0.061	

**=p<0.01 Düzeyinde önemli, öd: önemli değil

4.5. Yaprak Sayısı

Çeşitler ve uygulamalar arasında ıspanak bitkisi yaprak sayısı bakımından farklılıklar incelenmiştir (Çizelge 4.7). Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde çeşitler arasında önemli fark bulunmamıştır (p=0.450); fakat en fazla yaprak sayısı Rembrandt F1 çeşidinde (9.463 adet) görülmüş, ardından Acosta çeşidi (9.372 adet) gelmiştir. Matador ve Revere F1 çeşitleri en düşük yaprak sayısı (sırasıyla 8.825 ve 8.563 adet) değerlerine sahip olmuştur. Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında da önemli fark bulunmamıştır (p=0.930); sırasıyla en fazla yaprak sayısı (9.163 adet) 8 volt uygulamasında görülmüştür. 4 volt, 2 volt ve 0 volt uygulamaları 8 volta göre daha düşük yaprak sayısı oranlarına sahip olmuştur (sırasıyla; 9.134, 9.125, 8.800 adet). Çeşit-elektrik interaksiyonundan elde edilen veriler istatistiksel olarak incelendiğinde önemli fark bulunmamıştır (p=0.908); yine de en yüksek değer Acosta çeşidinde 8 volt (10.050 adet) uygulamasından elde edilirken en düşük değer Revere F1 çeşidinde 8 volt (8.400 adet) uygulamasında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7. Ispanak uygulamalarında bitki yaprak sayısı (adet)

	0 volt	2 volt	4 volt	8 volt	Ortalama
Matador	8.100 ± 0.823 öd	9.800 ± 1.699	9.000 ± 0.868	8.400 ± 0.346	8.825 ± 0.500 öd
Acosta	9.650 ± 0.465	8.550 ± 0.732	9.238 ± 0.657	10.050 ± 1.159	9.372 ± 0.383
Revere F1	8.450 ± 0.287	8.400 ± 0.698	9.000 ± 0.779	8.400 ± 0.589	8.563 ± 0.28
Rembrandt F1	9.000 ± 0.837	9.750 ± 1.037	9.300 ± 0.835	9.800 ± 0.678	9.463 ± 0.392
Ortalama	8.800 ± 0.327 öd	9.125 ± 0.527	9.134 ± 0.354	9.163 ± 0.391	

öd: önemli değil

4.6. Yaprak Alanı

Çeşitler ve uygulamalar arasında ıspanak bitkisi yaprak alanı bakımından farklılıklar incelenmiştir (Çizelge 4.8). Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde çeşitler arasında önemli farklar bulunmuştur (p=0.011), sırasıyla en fazla yaprak alanı değeri Matador çeşidinde (20.706 cm^2) ardından Rembrandt F1 (19.348 cm^2) çeşidinde görülmüş; en düşük yaprak alanına sahip olan çeşitler olarak sırasıyla Acosta (15.273 cm^2) ve sonra Revere F1 (15.269 cm^2) çeşidi tespit edilmiştir. Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında önemli bir fark bulunmamakla birlikte (p=0.482); sırasıyla en yüksek yaprak alanı 4 volt uygulamasında (19.177 cm^2) görülmüş; ardından 0 volt (17.330 cm^2) gelmiş ve en düşük yaprak alanı değerine sahip olan uygulamalar 2 volt (17.281 cm^2) sonra 8 volt (16.807 cm^2) olmuştur. Çeşit ve elektrik interaksiyonundan elde edilen verilerin istatistiksel olarak incelendiğinde önemli farklar bulunmuştur (p=0.035); en yüksek değer Matador çeşidinde 4 volt (31.271 cm^2) uygulamasında iken, en düşük değer Revere F1 çeşidinde 4 volt (12.990 cm^2) uygulamasında ve Acosta 2 volt uygulamasında (14.107 cm^2) tespit edilmiştir.

Çizelge 4.8. Ispanak uygulamalarında yaprak alanı değerleri (cm^2)

	0 volt	2 volt	4 volt	8 volt	Ortalama
Matador	14.771 ± 3.000 cd*	21.175 ± 2.721 bc	31.271 ± 3.000a	15.606 ± 2.006 cd	20.706 ± 2.087 A*
Acosta	15.436 ± 4.884 cd	14.107 ± 3.880 d	15.062 ± 3.811 cd	16.488 ± 3.108 cd	15.273 ± 1.790 B
Revere F1	15.688 ± 1.863 cd	14.380 ± 2.912 cd	12.990 ± 1.478 d	18.019 ± 2.454 bcd	15.269 ± 1.112 B
Rembrandt F1	23.425 ± 2.035 b	19.463 ± 2.624 bcd	17.387 ± 1.651 bcd	17.117 ± 2.792 bcd	19.348 ± 1.225 A
Ortalama	17.330 ± 1.690 öd	17.281 ± 1.591	19.177 ± 2.198	16.807 ± 1.195	

*: p≤0.05, öd:önemli değil

4.7. Yaprak Yaş Ağırlığı

Çeşitler ve uygulamalar arasında ıspanak bitkisi yaş sürgün ağırlığı bakımından farklılıklar incelenmiştir (Çizelge 4.9). Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde çeşitler arasında önemli fark bulunmamıştır (p=0.450); bununla birlikte sırasıyla en fazla sürgün ağırlığına sahip olan çeşit Rembrandt F1 çeşidinde (5.452 gr) görülmüş, ardından Matador çeşidi (5.183 gr) gelmiştir. Revere F1 ve Acosta çeşitleri en düşük yaş sürgün ağrılığı değerlerine (sırasıyla 4.856 ve 4.280 gr) sahip olmuştur. Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında da önemli fark bulunmamıştır (p=0.936); fakat en fazla sürgün yaş ağrılığı olan değeri (5.231 gr) 4 volt uygulamasında görülmüştür. 2 volt, 8 volt ve 0 volt uygulamaları 4 volta göre daha düşük sürgün yaş ağırlığı değerlerine sahip olmuştur (sırasıyla; 4.891, 4.881, 4.768 gr). Çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonundan elde edilen verilerin istatistiksel olarak incelendiğinde de önemli fark bulunmamıştır (p=0.937); bununla birlikte en yüksek değer Matador çeşidinde 4 volt (6.405 gr) uygulamasından elde edilirken en düşük değer Acosta çeşidinde 2 volt (3.910 gr) uygulamasında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.9. Ispanak uygulamalarında bitki sürgün yaş ağırlığı (gr)

	0 volt	2 volt	4 volt	8 volt	Ortalama
Matador	4.080 ± 0.815 öd	6.065 ± 1.583	6.405 ± 1.454	4.180 ± 0.945	5.183 ± 0.620 öd
Acosta	4.645 ± 1.269	3.910 ± 1.223	4.114 ± 1.131	4.450 ± 1.361	4.280 ± 0.563
Revere F1	5.230 ± 1.220	4.520 ± 1.343	4.920 ± 1.236	4.755 ± 1.284	4.856 ± 0.572
Rembrandt F1	5.115 ± 0.928	5.070 ± 1.021	5.485 ± 1.431	6.137 ± 1.371	5.452 ± 0.551
Ortalama	4.768 ± 0.495 öd	4.891 ± 0.620	5.231 ± 0.628	4.881 ± 0.593	

öd: önemli değil

4.8. Yaprak Kuru Ağırlığı

Çeşitler ve uygulamalar arasında ıspanak bitkisi kuru sürgün ağırlığı bakımından farklılıklar incelenmiştir (Çizelge 4.10). Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde çeşitler arasında önemli fark bulunmamıştır (p=0.677); en fazla sürgün kuru ağırlığına sahip olan çeşit Rembrandt F1 çeşidinde (0.411 gr) görülmüş, ardından Matador çeşidi (0.370 gr) gelmiştir. Revere F1 ve Acosta çeşitleri en düşük kuru sürgün ağrılığı değerlerine (sırasıyla 0.343 ve 0.323 gr) sahip olmuştur. Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında da önemli fark bulunmamıştır (p=0.852); yine de en fazla sürgün kuru ağrılığı (0.431 gr) 8 volt uygulamasında görülmüştür. 4 volt, 0 volt ve 2 volt uygulamaları 8 volta göre daha düşük sürgün kuru ağırlığı değerlerine sahip olmuştur (sırasıyla; 0.399, 0.357, 0.346 gr). Çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonundan elde edilen veriler istatistiksel olarak incelendiğinde önemli fark bulunmamakla birlikte (p=0.909), en yüksek değer Matador çeşidinde 4 volt (0.471 gr) uygulamasından elde edilirken, en düşük değer Acosta çeşidinde 2 volt (0.252 gr) uygulamasında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.10. Ispanak uygulamalarında bitki sürgün kuru ağırlığı (gr)

	0 volt	**2 volt**	**4 volt**	**8 volt**	**Ortalama**
Matador	0.299 ± 0.093 öd	0.447 ± 0.153	0.471 ± 0.145	0.265 ± 0.070	0.370 ± 0.059 öd
Acosta	0.352 ± 0.124	0.252 ± 0.092	0.264 ± 0.094	0.423 ± 0.120	0.323 ± 0.052
Revere F1	0.362 ± 0.130	0.298 ± 0.138	0.452 ± 0.143	0.262 ± 0.064	0.343 ± 0.058
Rembrandt F1	0.417 ± 0.107	0.386 ± 0.105	0.410 ± 0.140	0.431 ± 0.103	0.411 ± 0.051
Ortalama	0.357 ± 0.052 öd	0.346 ± 0.059	0.399 ± 0.063	0.431 ± 0.103	

öd: önemli değil

4.9. Kök Kuru ve Yaş Ağırlığı

Çeşitler ve uygulamalar arasında ıspanak bitkisi kök yaş ağırlığı bakımından farklılıklar incelenmiştir (Çizelge 4.11). Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde çeşitler arasında önemli fark bulunmamakla birlikte (p=0.257); en fazla kök yaş ağırlığına sahip olan çeşit Acosta çeşidinde (0.249 gr) görülmüş, ardından Rembrandt F1 çeşidi (0.244 gr) gelmiştir. Matador ve Revere F1 çeşitleri en düşük yaş

kök ağırlığı değerlerine (sırasıyla 0.194 ve 0.155 gr) sahip olmuştur. Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında da önemli fark bulunmamakla birlikte (p=0.805); en fazla kök yaş ağırlığı (0.248 gr) 0 volt uygulamasında görülmüştür. 2 volt, 8 volt ve 4 volt uygulamaları 0 volta göre daha düşük kök yaş ağırlığı değerlerine sahip olmuştur (sırasıyla; 0.201, 0.199, 0.194 gr). Çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonundan elde edilen verilerin istatistiksel olarak incelendiğinde de önemli fark bulunmamıştır (p=0.946); bununla birlikte en yüksek değer Acosta çeşidinde 0 volt (0.350 gr) uygulamasından elde edilirken, en düşük değer Revere F1 çeşidinde 4 volt (0.125 gr) uygulamasında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.11. Ispanak uygulamalarında bitki kök yaş ağırlığı (gr)

	0 volt	**2 volt**	**4 volt**	**8 volt**	**Ortalama**
Matador	0.188 ± 0.032 öd	0.230 ± 0.075	0.180 ± 0.046	0.180 ± 0.039	0.194 ± 0.023 öd
Acosta	0.350 ± 0.124	0.165 ± 0.038	0.230 ± 0.079	0.250 ± 0.125	0.249 ± 0.047
Revere F1	0.205 ± 0.067	0.140 ± 0.040	0.125 ± 0.025	0.150 ± 0.044	0.155 ± 0.022
Rembrandt F1	0.250 ± 0.087	0.270 ± 0.118	0.240 ± 0.076	0.218 ± 0.030	0.244± 0.038
Ortalama	0.248 ± 0.041 öd	0.201± 0.036	0.194± 0.030	0.199 ± 0.033	

öd: önemli değil

Çeşitler ve uygulamalar arasında ıspanak bitkisi kök kuru ağırlığı bakımından farklılıklar incelenmiştir (Çizelge 4.12). Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde çeşitler arasında önemli fark bulunmamakla birlikte (p=0.495); en fazla kök kuru ağırlığı Acosta ve Rembrandt F1çeşitlerinde (0.023 gr) görülmüş, ardından da Matador ve Revere F1 çeşitleri gelmiştir (0.016 gr) gelmiştir. Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında da önemli fark bulunmamakla birlikte (p=0.969); en fazla kök kuru ağırlığı (0.021 gr) 0 volt ve 2 volt, uygulamalarında görülmüştür. 4 volt ve 8 volt uygulamaları 0 volta göre daha düşük kök kuru ağırlığı değerlerine sahip olmuştur (sırasıyla; 0.018, 0.017 gr). Çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonundan elde edilen verilerin istatistiksel olarak incelendiğinde de önemli fark bulunmamıştır (p=0.945); bununla birlikte en yüksek değer Acosta çeşidinde 0 volt (0.034 gr) uygulamasından elde edilirken, en düşük değer Revere F1 çeşidinde 4 volt (0.012 gr) uygulamasında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.12. Ispanak uygulamalarında bitki kök kuru ağırlığı (gr)

	0 volt	2 volt	4 volt	8 volt	Ortalama
Matador	0.012 ± 0.005 öd	0.018 ± 0.008	0.020 ± 0.008	0.014 ± 0.006	0.016 ± 0.003 öd
Acosta	0.034 ± 0.015	0.016 ± 0.005	0.021 ± 0.010	0.022 ± 0.011	0.023 ± 0.005
Revere F1	0.018 ± 0.009	0.019 ± 0.013	0.012 ± 0.006	0.014 ± 0.006	0.016 ± 0.004
Rembrandt F1	0.021 ± 0.011	0.031 ± 0.017	0.020 ± 0.005	0.021 ± 0.004	0.023 ± 0.005
Ortalama	0.021 ± 0.005 öd	0.021 ± 0.005	0.018 ± 0.004	0.017 ± 0.003	

öd: önemli değil

4.10. Klorofil Miktarı (SPAD değeri)

Çeşitler ve uygulamalar arasında ıspanak bitkisi klorofil miktarı (SAPD değeri) bakımından farklılıklar incelenmiştir (Çizelge 4.13). Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde çeşitler arasında önemli fark bulunmuştur (p=0.001); sırasıyla en fazla klorofil miktarı (SPAD değeri) Acosta çeşidinde (44.450) görülmüş, ardından Matador çeşidi (39.644) gelmiştir. Rembrandt F1 ve Revere F1 çeşitleri en düşük klorofil miktarı (SPAD değeri) değerlerine (sırasıyla 38.513 ve 35.806) sahip olmuştur. Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında da önemli fark bulunmamakla birlikte (p=0.831); en yüksek klorofil miktarı (SPAD değeri) (40.681) 4 volt uygulamasında görülmüştür. 8 volt, 0 volt ve 2 volt uygulamaları 4 volta göre daha düşük klorofil miktarı (SPAD değeri) değerlerine sahip olmuştur (sırasıyla; 39.738, 39.594, 38.400). Çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonundan elde edilen veriler istatistiksel olarak incelendiğinde önemli fark bulunmamıştır (p=0.474); bununla birlikte en yüksek değer Acosta çeşidinde 8 volt (46.325) uygulamasından elde edilirken en düşük değer Revere F1 çeşidinde 2 volt (33.300) uygulamasında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.13. Ispanak uygulamalarında klorofil miktarı (SPAD değeri)

	0 volt	2 volt	4 volt	8 volt	Ortalama
Matador	38.125 ± 2.002 öd	39.925 ± 3.959	41.175 ± 2.284	39.350 ± 1.063	39.644 ± 1.175 B***
Acosta	44.275 ± 2.527	41.675 ± 3.784	45.525 ± 2.500	46.325 ± 4.285	44.450 ± 1.572 A
Revere F1	36.625 ± 3.006	33.300 ± 2.797	37.725 ± 1.597	35.575 ± 3.308	35.806 ± 1.302 C
Rembrandt F1	39.350 ± 2.408	38.700 ± 1.556	38.300 ± 2.508	37.700 ± 1.987	38.513 ± 0.973 B
Ortalama	39.594 ± 1.346 öd	38.400 ± 1.632	40.681 ± 1.285	39.738 ± 1.674	

***=p<0.001 Düzeyinde önemli, öd: önemli değil

4.11. Bitkilerde Lipit Peroksidasyonu Ürünü Malondialdehit (MDA) Miktarı

Yapılan çalışma sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde MDA bakımından hem çeşit hem elektrik uygulamaları hem de çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonunda (sırasıyla P=0.417, P=0.719, 0.785) istatistiksel olarak önemli farklılıkların bulunmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.14). MDA oranları incelendiğinde çeşitler arasında genel ortalamaya bakıldığında sıralamanın Revere F1, Rembrandt F1, Acosta ve Matador ve (sırasıyla 0.821, 0.683, 0.669 ve 0.587 gr YA) şeklinde olduğu belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde en yüksek MDA oranı 2 volt uygulamasında ardından 8 volt, 0 volt ve 4 volt (sırasıyla 0.770, 0.708, 0.663, 0.619 gr / YA) uygulamalarında tespit edilmiştir. Çeşit-elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değer Revere F1 çeşidi ve 2 volt elektrik uygulamasında (0.952 gr / YA) tespit edilmişken, en düşük değerin Rembrandt F1 çeşidi ve 0 volt elektrik uygulamasında (0.452 gr / YA) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.14. Ispanak uygulamalarında MDA enzimi değerleri (gr / YA)

	0 volt	**2 volt**	**4 volt**	**8 volt**	**Ortalama**
Matador	0.532 $\pm$ 0.028 ^{öd}	0.565 $\pm$ 0.084	0.573 $\pm$ 0.208	0.677 $\pm$ 0.121	0.587 $\pm$ 0.059 ^{öd}
Acosta	0.895 $\pm$ 0.444	0.702 $\pm$ 0.238	0.524 $\pm$ 0.556	0.556 $\pm$ 0.090	0.669 $\pm$ 0.123
Revere F1	0.774 $\pm$ 0.121	0.952 $\pm$ 0.227	0.629 $\pm$ 0.028	0.927 $\pm$ 0.092	0.821 $\pm$ 0.070
Rembrandt F1	0.452 $\pm$ 0.143	0.863 $\pm$ 0.185	0.750 $\pm$ 0.669	0.669 $\pm$ 0.229	0.683 $\pm$ 0.094
Ortalama	0.663 $\pm$ 0.117 ^{öd}	0.770 $\pm$ 0.095	0.619 $\pm$ 0.073	0.708 $\pm$ 0.073	

^{öd}: önemli değil

4.12. Katalaz (CAT) Aktivitesi

Çeşitler ve uygulamalar arasında ıspanak bitkisi katalaz enzimi değerleri bakımından farklılıklar Çizelge 4.15'de incelenmiştir. Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde çeşitler arasında önemli bir fark bulunmamakla birlikte (p=0.2109), sırasıyla en fazla katalaz enzimi değeri Matador çeşidinde (0.0133) görülmüş ve ardından Acosta sonra Revere F1 ve Rembrandt F1 gelmiştir.

Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında önemli fark bulunmuştur (p=0.0468); sırasıyla en fazla katalaz enzimi değeri 2

volt uygulamasında görülmüş, ardından 4 volt uygulaması gelmiştir. Kontrol ve 8 volt uygulamaları benzer sonuçlar vermiştir.

Çeşit ve elektrik interaksiyonundan elde edilen veriler istatistiksel olarak incelendiğinde önemli fark bulunmamakla birlikte (p=0.4167); en yüksek değer Matador 2 volt (0.0297) uygulamasında iken, en düşük değer Revere F1 çeşidinde 8 volt (0.0033) uygulamasında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.15. Ispanak uygulamalarında Katalaz enzimi değerleri (gr YA/ dk)

	0 volt	**2 volt**	**4 volt**	**8 volt**	**Ortalama**
Matador	0.0055 ± 0.0022 öd	0.0297 ± 0.0096	0.0125 ± 0.0081	0.0055 ± 0.0015	0.0133 ± 0.0038 öd
Acosta	0.0073 ± 0.0038	0.0159 ± 0.0130	0.0047 ± 0.0014	0.0059 ± 0.0019	0.0085 ± 0.0033
Revere F1	0.0056 ± 0.0008	0.0056 ± 0.0009	0.0091 ± 0.0041	0.0033 ± 0.0011	0.0059 ± 0.0011
Rembrandt F1	0.0047 ± 0.0010	0.0077 ± 0.0056	0.0045 ± 0.0031	0.0045 ± 0.0013	0.0054 ± 0.0015
Ortalama	0.0058 ± 0.0011 B*	0.0147 ± 0.0045 A	0.0077 ± 0.0023 AB	0.0048 ± 0.0007 B	

* = p<0.05 Düzeyinde önemli, öd: önemli değil

4.13. Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde (APX) aktivitesi elektrik uygulamaları istatistiksel olarak önemli farklılıkların (P=0,466) bulunmadığını belirlemekle birlikte (APX) aktivitesi sıralamasında, 8 volt uygulamasının ardından da 0 volt, 4 volt ve 2 volt (sırasıyla 0.349, 0.347, 0.289, 0.210 gr YA/dk) gelmiştir. Bununla birlikte hem çeşitler hem de çeşit- ve elektrik uygulamaları interaksiyonunda (sırasıyla P=0.001, P=0.015) istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.16). (APX) aktivitesi incelendiğinde çeşitler arasında genel ortalamaya bakıldığında APX aktivitesi sıralaması, Matador, Rembrandt F1, Acosta ve Revere F1 (sırasıyla 0.416, 0.402, 0.252 ve 0.125 gr YA/dk) şeklinde olduğu belirlenmiştir. Çeşit ve elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında, en yüksek değerleriin Rembrandt F1 çeşidi ve 8 volt elektrik uygulamasında (0.723 gr YA/dk) ve Matador çeşidi 0 volt elektrik uygulamasında (0.705 gr YA/dk) olduğu tespit edilmişken en düşük değerler Revere F1 çeşidi ve 2, 8, 4 ve 0 volt elektrik uygulamasında sırasıyla (0.107, 0.125, 0.134, 0.134 gr YA/dk) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.16. Ispanak uygulamalarında APX enzimi değerleri (gr YA/ dk)

	0 volt	2 volt	4 volt	8 volt	Ortalama
Matador	0.705 ± 0.297 a**	0.254 ± 0.162 bc	0.567 ± 0.084 ab	0.138 ± 0.064 c	0.416 ± 0.099 A***
Acosta	0.214 ± 0.108 bc	0.219 ± 0.106 bc	0.165 ± 0.040 c	0.411 ± 0.109 abc	0.252 ± 0.049 AB
Revere F1	0.134 ± 0.070 c	0.107 ± 0.043 c	0.134 ± 0.075 c	0.125 ± 0.053 c	0.125 ± 0.028 B
Rembrandt F1	0.335 ± 0.039 bc	0.259 ± 0.129 bc	0.290 ± 0.031 bc	0.723 ± 0.196 a**	0.402 ± 0.072 A
Ortalama	0.347 ± 0.092 öd	0.210 ± 0.055	0.289 ± 0.052	0.349 ± 0.083	

*** = p<0.001 Düzeyinde önemli, **=p<0.01 Düzeyinde önemli, öd: önemli değil

4.14. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesi

Yapılan bu çalışma doğrultusunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde (SOD) aktivitesi elektrik uygulamaları ile istatistiksel olarak önemli farklılıkların (P=0,466) bulunmadığı belirlenmekle birlikte (SOD) aktivitesi sıralamasında 8 volt uygulaması ardından 4 volt, 0 volt ve 2 volt (sırasıyla 22.394, 11.157, 10.799, 10.695 gr / YA) gelmiştir. Bununla birlikte hem çeşitler hem de çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonunda (sırasıyla P=0.001, P=0.015) istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.17). (SOD) aktivitesi incelendiğinde çeşitler arasında genel ortalamaya bakıldığında sıralamanın Rembrandt F1, Acosta, Matador ve Revere F1 (sırasıyla 36.387, 10.464, 2.929 ve 2.803 gr/ YA) şeklinde olduğu belirlenmiştir. Çeşit ve elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında Rembrandt F1 çeşidinin 2, 4 ve 8 volt uygulaması sırasıyla (32.559, 37.566, 42.804 gr / YA) ile Acosta çeşidinin 8 volt uygulaması diğer interaksiyonlara göre daha yüksek değerlere sahip olmuştur.

Çizelge 4.17. Ispanak uygulamalarında SOD enzimi değerleri (gr / YA)

	0 volt	2 volt	4 volt	8 volt	Ortalama
Matador	3.831 ± 0.880 b**	3.533 ± 0.894 b	2.226 ± 0.140 b	2.351 ± 0.422 b	2.929 ± 0.337 C***
Acosta	1.963 ± 0.098 b	3.487 ± 1.245 b	1.793 ± 0.242 b	42.662 ± 8.814 a	10.464 ± 4.567 B
Revere F1	3.100 ± 0.557 b	3.141 ± 1.424 b	3.041 ± 0.644 b	1.637 ± 0.037 b	2.803 ± 0.426 C
Rembrandt F1	32.559 ± 3.640 b	32.620 ± 8.003 a	37.566 ± 9.099 a	42.804 ± 12.496 a	36.387 ± 4.123 A
Ortalama	10.799 ± 3.623 öd	10.695 ± 3.756	11.157 ± 4.436	22.394 ± 6.688	

*** = p<0.001 Düzeyinde önemli, **=p<0.01 Düzeyinde önemli, öd: önemli değil

4.15. Ispanakta Farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Fosfor (P) Miktarına Etkisi

Yapılan çalışma sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde fosfor (P) oranları elektrik uygulamalarında istatistiksel olarak önemli farklılıkların (P=0,349) bulunmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte hem çeşitler hem de çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonunda (sırasıyla P=0.001, P=0.013) istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.18). Fosfor oranları incelendiğinde çeşitler arasında genel ortalamaya bakıldığında; Matador ve Acosta'dan sonra Rembrandt F1 ve Revere F1 (sırasıyla 0.882, 0.852, 0.740 ve 0.679 %) şeklinde olduğu belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde, P oranı 4 volt uygulamasında ardından da 2 volt, 8 volt ve 0 volt (sırasıyla 0.831, 0.783, 0.764 ve 0.755 %) gelmiştir. Çeşit ve elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değerler Matador çeşidi ve 8 volt elektrik uygulamasında (0.977 %) ve Acosta çeşidi ve 4 volt elektrik uygulamasında (0.956 %) tespit edilmişken, en düşük değerler Revere F1 çeşidi ve 8 volt elektrik uygulamasında (0.598 %) ve Rembrandt F1 çeşidi ve 8 volt elektrik uygulamasında (0.628 %) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.18. Ispanak uygulamalarında fosfor (P) miktarı (%)

	0 volt	**2 volt**	**4 volt**	**8 volt**	**Ortalama**
Matador	0.789 ± 0.058 bcd**	0.865± 0.018 abc	0.897 ± 0.053 ab	0.977 ± 0.103 a	0.882 ± 0.034 A***
Acosta	0.856 ± 0.037 abc	0.745± 0.053 b-e	0.956 ± 0.068 a*	0.851 ± 0.037 abc	0.852 ± 0.030 A
Revere F1	0.716 ± 0.022 cde	0.679 ± 0.058 de	0.723 ± 0.051 cde	0.598 ± 0.051 e	0.679 ± 0.025 B
Rembrandt F1	0.740 ± 0.016 b-e	0.844 ± 0.025 abc	0.749 ± 0.024 b-e	0.628 ± 0.014 e	0.740 ± 0.022 B
Ortalama	0.755 ± 0.022 öd	0.783 ± 0.027	0.831 ±0.034	0.764 ± 0.049	

*** = p<0.001 Düzeyinde önemli, *=p<0.05 Düzeyinde önemli, öd: önemli değil

4.16. Ispanakta Farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Magnezyum (Mg) Miktarına Etkisi

Yapılan çalışma sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde magnezyum (Mg) oranları hem çeşitler ve uygulamalar hem elektrik uygulamaları hem de çeşit ve elektrik uygulamaları interaksiyonunda (sırasıyla P=0.001, P=0.096, P=0.038)

istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.19). Mg oranları incelendiğinde çeşitler arasında genel ortalamaya bakıldığında en fazla değer (% 0.871) Matador çeşidinde bulunmuş ve bu çeşidi Acosta, Rembrandt F1 ve Revere F1 (sırasıyla 0.677, 0.672 ve 0.591 %) izlemiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde en yüksek değer Mg oranı 2 volt uygulamasında (% 0.769) bulunmuş ve ardından da 0 volt, 4 volt ve 8 volt uygulamaları (sırasıyla 0.704, 0.689, 0.649 %) gelmiştir. Çeşit ve elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değerler Matador çeşidi 2 volt ve 4 volt elektrik uygulamalarında (sırasıyla %0.964 ve %0.953) tespit edilmişken, en düşük. Revere F1 2 ve 8 volt uygulaması (sırasıyla %0.527 ve %0.511) ve Acosta 4 ve 8 volt uygulamaları (sırasıyla %0.544 ve %0.592) da diğer en düşük değerlere sahip olmuştur.

Çizelge 4.19. Ispanak uygulamalarında magnezyum (Mg) miktarı (%)

	0 volt	**2 volt**	**4 volt**	**8 volt**	**Ortalama**
Matador	0.722 ± 00.051 bcd*	0.964 ± 0.026 a	0.953 ± 0.016 a	0.844 ± 0.052 abc	0.871 ± 0.031 A***
Acosta	0.691 ± 0.021 bcd	0.880 ± 0.215 ab	0.544 ± 0.086 d	0.592 ± 0.008 d	0.677 ± 0.062 B
Revere F1	0.706 ± 0.017 bcd	0.527 ± 0.046 d	0.621 ± 0.054 abc	0.511 ± 0.057 d	0.591 ± 0.029 B
Rembrandt F1	0.696 ± 0.066 bcd	0.703 ± 0.024 bcd	0.639 ± 0.021 cd	0.650 ± 0.022 cd	0.672 ± 0.019 B
Ortalama	0.704 ± 0.020 AB öd	0.769 ± 0.066 A*	0.689 ±0.047 AB	0.649 ± 0.036 B	

*** = p<0.001 Düzeyinde önemli, *=p<0.05 Düzeyinde önemli, öd: önemli değil

4.17. Ispanakta Farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Kalsiyum (Ca) Miktarına Etkisi

Yapılan çalışma sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde kalsiyum (Ca) oranları çeşitler ve (P=0,004) istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu belirlenirken hem elektrik uygulanmaları hem de çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonunda (sırasıyla P=0.239, P=0.207) istatistiksel olarak önemli farklılıkların olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.20). Çeşitler arasında genel ortalamaya bakıldığında en fazla sırasıyla Rembrandt F1, Matador, Acosta, ve Revere F1 (sırasıyla 0.915, 0.828, 0.745 ve 0.18 %) olduğu belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde (Ca) oranı sıralaması, en yüksek değer 0 volt uygulamasında ardından da 2 volt, 8 volt ve 4 volt (sırasıyla 0.845, 0.840, 0.768 ve 0.752, %) gelmiştir. Çeşit ve elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değerin Rembrandt F1 çeşidi ve 2 volt elektrik

uygulamasında (0.964 %) tespit edilmişken, en düşük değer Revere F1 çeşidi ve 4 volt elektrik uygulamasında (0.613 %) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.20. Ispanak uygulamalarında kalsiyum (Ca) miktarı (%)

	0 volt	**2 volt**	**4 volt**	**8 volt**	**Ortalama**
Matador	0.808 ± 0.052 öd	0.814 ± 0.069	0.829 ± 0.049	0.860 ± 0.062	0.828 ± 0.027 AB**
Acosta	0.874 ± 0.059	0.650 ± 0.088	0.720 ± 0.059	0.627 ± 0.055	0.718 ± 0.039 C
Revere F1	0.773 ± 0.046	0.931 ± 0.206	0.613 ± 0.047	0.661 ± 0.042	0.745 ± 0.059 BC
Rembrandt F1	0.926 ± 0.082	0.963 ± 0.034	0.846 ± 0.013	0.925 ± 0.024	0.915 ± 0.023 A
Ortalama	0.845 ± 0.031 öd	0.840 ± 0.062	0.752 ± 0.032	0.768 ± 0.039	

** = p<0.01 Düzeyinde önemli, öd: önemli değil

4.18. Ispanakta Farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Potasyum (K) Miktarına Etkisi

Yapılan çalışma sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde potasyum (K) oranları çeşit- elektrik uygulamaları interaksiyonunda (P=0,069) istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu belirlenmişken hem elektrik uygulanmaları hem de çeşitler arasında (sırasıyla P=0.571, P=0.656) istatistiksel olarak önemli farklılıkların olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.21). Çeşitler arasında genel ortalamaya bakıldığında sıralamanın, Matador, Acosta, Revere F1 ve Rembrandt F1 (sırasıyla 6.829, 6.782, 6.634 ve 6.492 %) şeklinde olduğu belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde K oranı bakımından, 2 volt uygulaması ardından da 0 volt, 4 volt ve 8 volt (sırasıyla 6.902, 6.769, 6.552 ve 6.507 %) gelmiştir. Çeşit ve elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değer Revere F1 çeşidi ve 0 volt elektrik uygulamasında (7.723 %) olarak tespit edilmişken, en düşük değerlerin Acosta ve 8 volt (%5.537) ve Revere F1 çeşidi ve 8 volt elektrik uygulamasında (5.797%) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.21. Ispanak uygulamalarında potasyum (K) miktarı (%)

	0 volt	2 volt	4 volt	8 volt	Ortalama
Matador	5.926 ± 0.602 abc*	7.240 ± 0.192 abc	7.115 ± 0.219 abc	7.037 ± 0.188 abc	6.829 ± 0.206 öd
Acosta	7.723 ± 0.213 a	6.078 ± 0.485 abc	6.924 ± 0.464 abc	5.537 ± 1.114 c	6.634 ± 0.333
Revere F1	7.152 ± 0.180 abc	7.529 ± 1.180 abc	5.797 ± 0.707 c	6.650 ± 0.121 abc	6.782 ± 0.354
Rembrandt F1	6.273 ± 0.442 abc	6.759 ± 0.234 abc	6.374 ± 0.070 abc	6.561 ± 0.022 abc	6.492 ± 0.123
Ortalama	6.769 ± 0.256 öd	6.902 ± 0.326	6.552 ± 0.237	6.507 ± 0.240	

* = p<0.05 Düzeyinde önemli, öd: önemli değil

4.19. Ispanakta Farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Demir (Fe) Miktarına Etkisi

Yapılan çalışma sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde demir (Fe) oranı bakımından elektrik uygulamaları istatistiksel olarak önemli farklılıkların bulunmadığı belirlenmiştir (P=0.315). Bununla birlikte hem çeşitler ve hem de çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonunda (sırasıyla P=0.001, P=0.004) istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.10). Demir oranı incelendiğinde çeşitler arasında genel ortalamaya bakıldığında en fazla değerler sırasıyla Matador ve Rembrandt F1 eşitlerinde; en düşük değerler ise Revere F1 ve Acosta çeşitlerinde (sırasıyla 856.362, 834.643, 640.955 ve 639.350 ppm) olduğu belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde en yüksek Fe oranı, 0 volt uygulamasında ve ardından da 8 volt, 2 volt ve 4 volt (sırasıyla 788.470, 758.572, 712.319, 711.950 ppm) gelmiştir. Çeşit-elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değer Matador çeşidi ve 0 volt elektrik uygulamasında (1072.150 ppm) tespit edilmişken, en düşük değerlerin Acosta çeşidi 8 volt ve 2 volt elektrik uygulamasında (517.420 ppm ve 518.207 ppm) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.22. Ispanak uygulamalarında demir (Fe) miktarı ppm

	0 volt	2 volt	4 volt	8 volt	Ortalama
Matador	1072.15 ± 36.817a**	756.31 ± 118.268 b-f	669.27 ± 65.035 c-f	927.72 ± 45.400 ab	856.36 ± 51.893 A***
Acosta	817.31 ± 115.430 b-e	518.21 ± 43.91 f	704.47 ± 30.275 b-f	517.42 ± 69.059 f	639.35 ± 46.236 B
Revere F1	578.94 ± 62.194 ef	675.65 ± 75.743 c-f	622.13 ± 92.127 def	687.10 ± 155.536 c-f	640.96 ± 47.326 B
Rembrandt F1	685.48 ± 41.601 c-f	899.11 ± 13.568 abc	851.94 ± 10.562 abc	902.04 ± 79.169 abc	834.64 ± 30.586 A
Ortalama	788.47 ± 57.249 öd	712.32 ± 48.539	711.95 ± 34.346	758.57 ± 61.145	

*** = p<0.001 Düzeyinde önemli, **=p<0,01 Düzeyinde önemli, öd: önemli değil

4.20. Ispanakta Farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Mangan (Mn) Miktarına Etkisi

Yapılan çalışma sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde mangan (Mn) oranı bakımından elektrik uygulamaları istatistiksel olarak önemli farklılıkların bulunmadığı belirlenmiştir (P=0.933) hem çeşitler ve uygulamalar hem de çeşit ve elektrik uygulamaları interaksiyonunda (sırasıyla P=0.003, P=0.071) istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.23). Mangan (Mn) oranı incelendiğinde çeşitler arasında genel ortalamaya bakıldığında sıralamanın Rembrandt F1, Matador, Revere F1 ve Acosta (sırasıyla 49.748, 44.774, 41.285 ve 39.679 ppm) şeklinde olduğu belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde en yüksek değer Mn oranı 4 volt uygulamasında, ardından da 2 volt, 8 volt ve 0 volt (sırasıyla 44.966, 43.813, 43.653, 43.055 ppm) gelmiştir. Çeşit-elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değerler Rembrandt F1 çeşidi ve 4 volt elektrik uygulamasında (53.207 ppm) ve Acosta çeşidi ve 4 volt elektrik uygulamasında (46.488 ppm) ve tespit edilmişken, en düşük değerin Acosta çeşidi ve 8 volt elektrik uygulamasında (32.440 ppm) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.23. Ispanak uygulamalarında mangan (Mn) miktarı (ppm)

	0 volt	**2 volt**	**4 volt**	**8 volt**	**Ortalama**
Matador	45.187 ± 1.335 abc	43.351 ± 5.348 a-d	38.037 ± 0.727 cd	52.523 ± 4.167 ab	44.774 ± 2.051 AB
Acosta	41.885 ± 2.995 a-d	37.903 ± 2.821 cd	46.488 ± 2.229 a*	32.440 ± 2.225 d	39.679 ± 1.767 B
Revere F1	40.760 ± 2.833 bcd	41.420 ± 8.026 a-d	42.134 ± 3.587 a-d	40.825 ± 4.033 bcd	41.285 ± 2.258 B
Rembrandt F1	44.387 ± 3.070 abc	52.577 ± 3.686 ab	53.207 ± 1.341 a*	48.823 ± 1.487 abc	49.748 ± 1.476 A**
Ortalama	43.055 ± 1.275 öd	43.813 ± 2.773	44.966 ± 1.764	43.653 ± 2.455	

** = p<0.01 Düzeyinde önemli, *=p<0.05 Düzeyinde önemli, öd: önemli değil

4.21. Ispanakta Farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Bakır (Cu) Miktarına Etkisi

Yapılan çalışma sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde bakır (Cu) oranı bakımından hem elektrik uygulamaları hem de çeşitlerler bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıkların bulunmadığı belirlenmiştir (sırasıyla P=0.369, P=0.196).

Çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonunda (P=0.074) istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.24). Cu oranı incelendiğinde çeşitler arasında genel ortalamaya bakıldığında sıralamanın Rembrandt F1, Matador, Acosta ve Revere F1 (sırasıyla 16.329, 13.586, 10.162 ve 8.816 ppm) şeklinde olduğu belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde Cu oranı, en yüksek değer 2 volt uygulamasında ve ardından da 4 volt, 0 volt ve 8 volt uygulamaları (sırasıyla 16.357, 11.098, 10.831, 10.606 ppm) gelmiştir. Çeşit ve elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değerin Rembrandt F1 çeşidi ve 2 volt elektrik uygulamasında (36.610 ppm) tespit edilmişken, diğer uygulamaların aynı grupta yer aldığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.24. Ispanak uygulamalarında bakır (Cu) miktarı (ppm)

	0 volt	**2 volt**	**4 volt**	**8 volt**	**Ortalama**
Matador	15.290 ± 0.456 b*	12.186 ± 0.409 b	11.747 ± 0.278 b	15.120 ± 1.830 b	13.586 ± 0.606 öd
Acosta	8.935 ± 0.700 b	8.437 ± 0.359 b	13.179 ± 1.076 b	10.097 ± 0.982 b	10.162 ± 0.603
Revere F1	9.730 ± 0.238 b	8.197 ± 0.476 b	8.741 ± 1.000 b	8.597 ± 0.625 b	8.816 ± 0.324
Rembrandt F1	9.370 ± 0.423 b	36.610 ± 20.220 a	10.727 ± 0.862 b	8.610 ± 1.131 b	16.329 ± 5.453
Ortalama	10.831 ± 0.703 öd	16.357 ± 5.454	11.098 ± 0.568	10.606 ± 0.881	

*=p<0.05 Düzeyinde önemli, öd: önemli değil

4.22. Ispanakta Farklı (DC) Elektrik Akımı Uygulamalarının Bitki Çinko (Zn) Miktarına Etkisi

Yapılan çalışma sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde çinko (Zn) oranı bakımından hem elektrik uygulanmaları hem de çeşitler arasından istatistiksel olarak önemli farklılıkların bulunmadığı belirlenmiştir (sırasıyla P=0.266, P=0.309). Çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonunda (P=0.095) istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.25). Zn oarnı incelendiğinde çeşitler arasında genel ortalamaya bakıldığında sıralamanın Acosta, Revere F1, Rembrandt F1 ve Matador (sırasıyla 163.159, 155.200, 128.588 ve 115.911 ppm) şeklinde olduğu belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde en yüksek Zn oranı, 4 volt uygulamasında ve ardından da 8 volt, 2 volt ve 0 volt uygulamalarında (sırasıyla 177.501, 132.779, 126.291 ve 126.288 ppm) tespit edilmiştir. Çeşit-elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değer Acosta çeşidi ve 4 volt elektrik

uygulamasında (247.330 ppm) tespit edilmişken en düşük değer Matador çeşidi ve 2 volt elektrik uygulamasında (47.649 ppm) belirlenmiştir

Çizelge 4.25. Ispanak uygulamalarında çinko (Zn) miktarı (ppm)

	0 volt	**2 volt**	**4 volt**	**8 volt**	**Ortalama**
Matador	119.753 ± 56.233 abc*	47.649 ± 2.739 c	198.740 ± 96.733 ab	97.503 ± 38.050 bc	115.911 ± 29.944 öd
Acosta	154.420 ± 11.553 abc	141.390 ± 31.466 abc	247.330 ± 12.761 a	109.497 ± 17.924 bc	163.159 ± 15.988
Revere F1	116.107 ± 21.879 abc	178.043 ± 47.820 abc	116.747 ± 12.989 abc	209.903 ± 65.219 ab	155.200 ± 21.635
Rembrandt F1	114.870 ± 4.584 abc	138.083 ± 17.102 abc	147.187 ± 32.391 abc	114.213 ± 5.354 abc	128.588 ± 9.133
Ortalama	126.288 ± 14.407 öd	126.291 ± 18.239	177.501 ± 26.505	132.779 ± 20.910	

*=p<0.05 Düzeyinde önemli, öd: önemli değil

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. Çıkış Oranı, Süresi ve İndeksi

Bu tez çalışmasında elektrik uygulamaları istatiksel olarak önemli olmaması ile birlikte en fazla çıkış oranı kontrol grubunda (%65.75) tespit edilirken, 8 volt, 2 volt ve 4 volt uygulamaları (50.500, 49.750 ve 47.375) değerleri tespit edilmiştir. Çeşit-elektrik interaksiyonunda en fazla çimlenme oranı Matador çeşidinde 2 volt uygulamasında (%75.00) tespit edilmiştir.

Bu tez çalışmasında elektrik uygulamaları istatiksel olarak önemli olmaması ile birlikte sırasıyla en yüksek çıkış süresi (4.542 gün) 2 volt uygulamasında görülmüştür. 4 volt, 0 volt ve 8 volt (sırasıyla: 4.515, 4.394, 4.041 gün) uygulamaları 2 volta göre daha düşük çıkış süresine sahip olmuştur. Çeşit ve elektrik interaksiyonundan elde edilen verilerin istatistiksel olarak incelendiğinde önemli fark bulunmamıştır en yüksek değer Acosta çeşidinde 2 volt (5.852 gün) uygulamasından elde edilirken en düşük değer Rembrandt F1 çeşidinde 8 volt (3.321 gün) uygulamasında tespit edilmiştir.

Bu tez çalışmasında elektrik uygulamaları istatiksel olarak önemli olmaması ile birlikte sırasıyla en yüksek çıkış indeksi (13.273) 0 volt uygulamasında görülmüştür. 8 volt, 2 volt ve 4 volt (sırasıyla: 11.650, 11.575 ve 10.221) uygulamaları kontrole göre daha düşük çıkış süresine sahip olmuştur. Çeşit ve elektrik interaksiyonundan elde edilen verilerin istatistiksel olarak incelendiğinde önemli fark bulunmamıştır en yüksek değerler ise Rembrandt F1 çeşidinde 8 ve 2 volt uygulamalarında (sırasıyla: 19.121 ve 17.928) elde edilirken, en düşük değer Acosta çeşidinde 2 volt (2.422) uygulamasında tespit edilmiştir.

Viktor ve Bjeliš. (2015) tarafından tohum ve fidelere elektrik uygulamasının etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada ise farklı elektrik dozları uygulanan fasulye, ıspanak ve turp bitkilerinde çimlenme ve bitki büyüme üzerinde oldukça farklı sonuçlar elde edilmiş olup 1.5 V elektrik uygulamasının kontrol bitkilerine göre daha iyi sonuç verdiği görülürken, 4.5 V ve 9 V uygulananların kontrol bitkilerine göre daha kötü sonuç verdiği tespit edilmiştir. Çalışmada voltaj ve süre ayarlaması gerektiğinde belirtilerek daha fazla deneyimler ve çalışmalar yapılması gerektiğini rapor etmiştir.

Başka bir çalışma ise elektriğin nohut bitkisi üzerinde etkisi incelemeye hedeflenmiştir (Afrasiyab ve ark., 2020). 100 gün boyunca her günde 10 dakikaya kadar toprağa 3,6,9 ve 12 volt maruz bırakılmıştır ve çalışma sonucunda elektrik çimlenme oranı artığı belirtilmişlerdir

Elde edilen sonuçlar ile literatür arasında karşılaştırma yaptıktan sonra çeşitler arasında elektrik etkisi farklılık gösterebildiği anlaşılmakta olup; uyguladığımız sürenin fazla olduğu; gelecekteki çalışmalarda elektrik voltajı ve süresinin ayarlanması gerektiği düşünülmektedir

5.2. Bitki Boyu

Bu tez çalışması sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde bitki boyu bakımından elektrik uygulamalarının istatistiksel olarak önemli farklılıkların bulunmadığı belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde bitki boyu en yüksek oran (12.235 cm) kontrol uygulamasında görülmüştür. 2 volt, 4 volt ve 8 volt uygulamaları kontrole göre daha düşük boyu oranlarına sahip olmuştur (sırasıyla; 11.386, 11.139 ve 10.835 cm). Çeşit-elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değer, Matador çeşidinde 2 volt (16.120 cm) uygulamasından elde edilmiştir. Kamweru (2020) yapmış olduğu çalışmada, elektrik alanının Rose coco fasulye çeşidinde bitkilerinin çimlenmesi ve büyümesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Toprağa bir elektrik alanı uygulanmış ve oda koşullarında günde 6 saat 9V DC akım ile elektrik darbesi oluşturan farklı polaritelere sahip (- ve +) bakır plaka çiftlerinde oluşan elektrik enerjisi yoğunluğu cinsinden ifade edilmiştir. Araştırılan büyüme parametreleri, çimlenme oranı ve sapların yüksekliği ve her 4 günde bir kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar, çimlenme üzerinde yaklaşık %27.8 artış ve boy oranı üzerinde %32.1 oranında olumlu bir etki göstermiştir.

Lee ve Oh, (2020) yapmış oldukları çalışma ise iki çeşit lahana (Brassica oleracea var. acephala) üzerindeki elektrik alanlarının etkisini araştırmışlar. Hidroponik olarak yetiştirilen bitkilerin besin çözeltisine üç hafta boyunca üç seviyeli elektrik akımı (10, 50 ve 100 mA) uygulanış. Başta 50 mA olmak üzere elektrik alanlarına maruz kalan lahana

bitkileri (kontrol) kıyasla sürgün ve kök büyümesinde önemli bir azalmaya neden olmuştur.

Liu ve ark., (2021) yaptıkları çalışma, pamuk bitkisi sürekli olarak farklı yoğunluklarda (0 kV/m, 2 kV/m ve 10 kV/m) güç frekanslı elektrik alanına (PF EF) maruz bırakılmış ve pamuk üzerindeki etikleri incelemiş çalışma sonucunda elektrik, pamuk bitki boyu üzerinde önemli ölçüde artırdığı rapor edilmiştir.

Gerçekleştirmiş olduğumuz çalışma literatür ile kıyaslandığına sonuçların nispeten farklı olduğu; ıspanakta hem çeşitler hem de çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonunun daha önem arz ettiği anlaşılmaktadır. Çalışılan tür farklılığı ve kullandığımız elektrik doz ve süresi farklı olması nedeniyle bitki boyunda farklı tepkiler gösterildiği düşünülmektedir.

5.3. Kök Boyu

Bu tez çalışması sonunda Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında da önemli fark bulunmamıştır; yine de en fazla kök boyu (5,525 cm) 4 volt uygulamasında görülmüştür. 8 volt, 0 volt ve 2 volt uygulamaları 4 volta göre daha düşük kök boyu değerlerine sahip olmuştur (sırasıyla; 5.504, 5.481, 5.065 cm). Çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonundan elde edilen veriler istatistiksel olarak incelendiğinde de önemli fark bulunmamış; bununla birlikte en yüksek değer Acosta çeşidinde 4 volt (6.875 cm) uygulamasından elde edilirken, en düşük değer Revere F1 çeşidinde 2 volt (4.300 cm) uygulamasında tespit edilmiştir.

Scopa ve ark., (2009) yapmış oldukları çalışmaya göre *Arundo donax* L.' (Kargı Kamışı) bitkisi, organik substrat üzerinde büyütülerek bir DC elektrik alanına (10 mA akım yoğunluğu ile 12,0 V m^{-1} maruz bırakılmıştır. Muamele edilen bitkilerin kök uzunluğu 50-60 cm arasında değişirken, kontrol 4 - 7 cm'lik bir uzunluk değişkeni göstermiştir.

Lee ve Min, (2020) yapmış oldukları çalışmada ise iki çeşit lahana (*Brassica oleracea* var. *acephala*) üzerindeki elektrik alanlarının etkisini araştırmışlar. Hidroponik olarak yetiştirilen bitkilerin besin çözeltisine üç hafta boyunca üç seviyeli elektrik akımı

(10, 50 ve 100 mA) uygulanmış. 50 mA'ya Elektrik akımına maruz kalan TBC çeşidinin bitkileri kontrol göre kök boyu konusunda artış farkı tespit edilmiştir.

Gerçekleştirmiş olduğumuz çalışma literatür ile kıyaslandığına sonuçların nispeten farklı olduğu; ıspanakta hem çeşitler hem de çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonunun daha önem arz ettiği anlaşılmaktadır. Çalışılan tür farklılığı ve kullandığımız elektrik doz ve süresi farklı olması nedeniyle bitki boyunda farklı tepkiler gösterildiği düşünülmektedir.

5.4. Gövde Çapı

Bu tez çalışması sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde gövde çapı elektrik uygulamalarının istatistiksel olarak önemli farklılıkların bulunmadığı belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde gövde çapı en yüksek oran (0.677 cm) kontrol uygulamasında görülmüştür. 2 volt, 8 volt ve 4 volt uygulamaları kontrole göre daha düşük gövde çapı oranlarına sahip olmuştur (sırasıyla; 0.606, 0.525 ve 0.505 cm). Çeşit-elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değer, Matador çeşidinde 2 volt (0.835 cm) uygulamasından elde edilmiştir. Gogo ve ark. (2016), yapmış oldukları bir çalışmada Afrika itüzümü bitkisi üzerinde DC elektrik akımı (8 volt ve 16 volt) olmak üzere bitki üzerindeki etkilerini incelemiştir. Voltaj uygulamaları, Afrika itüzümü bitkilerinin gövde çapını olumsuz etkilediği ve kontrol bitkileri, elektrik uygulamalarına kıyasla daha yüksek gövde çapı sahip oldukları rapor edilmiştir.

Başka bir çalışmada ise Lee ve Oh, (2020) iki çeşit lahana (*Brassica oleracea* var. *acephala*) üzerindeki elektrik alanlarının etkisini araştırmışlar. Hidroponik olarak yetiştirilen bitkilerin besin çözeltisine üç hafta boyunca üç seviyeli elektrik akımı (10, 50 ve 100 mA) uygulanmış ve gövde çapı üzerinde elektrik, bir çeşit üzerinde olumlu etki yaparken diğer çeşide etkilemediği ve farklık göstermediği rapor edilmişir.

Pamuk bitkisi üzerinde elektrik etkileri inceleyen bir çalışmada Liu ve ark., (2020) pamuk bitkisi sürekli olarak farklı yoğunluklarda (0 kV/m, 2 kV/m ve 10 kV/m) güç frekanslı elektrik alanına (PF EF) maruz bırakılmış ve çalışma sonucunda elektrik gövde çapı farklı dönemde farklı etkiler göstermiş, çıkış sonra ve fide büyüme döneminde

olumlu etki yaparken, verim döneminde gövde çapı oranları birbirine benzer ve farklık tespit edilmemiştir.

Gerçekleştirmiş olduğumuz çalışma literatür ile kıyaslandığına sonuçların nispeten farklı olduğu; ıspanakta hem çeşitler hem de çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonunun daha önem arz ettiği anlaşılmaktadır. Çalışılan tür farklılığı ve kullandığımız elektrik doz ve süresi farklı olması nedeniyle bitki boyunda farklı tepkiler gösterildiği düşünülmektedir.

5.5. Yaprak Sayısı

Bu tez çalışması sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde gövde çapı elektrik uygulamalarının istatistiksel olarak önemli farklılıkların bulunmadığı belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde yaprak sayısı en yüksek değer (9.163 adet) 8 volt uygulamasında görülmüştür. 4 volt, 2 volt ve 0 volt uygulamaları 8 volta göre daha düşük yaprak sayısı oranlarına sahip olmuştur (sırasıyla; 9.134, 9.125, 8.800 adet). Çeşit ve elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında ise en yüksek değer Acosta çeşidinde 8 volt (10.050 adet) uygulamasından elde edilmiştir. Gogo ve ark. (2016), yapmış oldukları bir çalışmada Afrika itüzümü bitkisi üzerinde DC elektrik akımı (8 volt ve 16 volt) olmak üzere bitki üzerindeki etikleri incelemiştir. Voltaj uygulamaları, Afrika itüzümü bitkilerinin yaprak sayısı üzerinde herhangi bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir.

Başka bir çalışmada ise Afrasiyab ve ark. (2020) elektriğin nohut bitkisi üzerinde etkisini incelemeyi hedeflenmiştir; 100 gün boyunca her gün 10 dakikaya kadar toprağa 3, 6, 9 ve 12 volt verilmiştir. Çalışma sonucunda elektrik uygulamasının yaprak sayısını arttırdığı en yüksek değer 3 volt olup, ardından 6, 9, 12 volt uygulamaları gelmiştir; elde edilen oranlar sırayla (25.3, 25.2, 19.3 ve 15) olarak tespit edilmiştir.

Gerçekleştirmiş olduğumuz bu tez çalışmasında literatür ile kıyaslandığına sonuçların nispeten farklı olduğu; ıspanakta hem çeşitler hem de çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonunun daha önem arz ettiği anlaşılmaktadır. Çalışılan tür farklılığı ve kullandığımız elektrik doz ve süresi farklı olması nedeniyle bitki boyunda farklı tepkiler gösterildiği düşünülmektedir.

5.6. Yaprak Alanı

Bu tez çalışmasında elektrik uygulamalarından elde edilen sonuçların istatistiksel olarak önemli olmaması ile birlikte en yüksek yaprak alanına sahip bitkiler 4 volt uygulamasında (19.177 cm^2) görülmüş olup, çeşit-elektrik interaksiyonunda en fazla yaprak alanı Matador çeşidinde 4 volt uygulamasında (31.271 cm^2) tespit edilmiştir. Dannehl, (2018) mevcut çalışmalara dayanarak elektriğin bitkileri etkilemek için abiyotik stres uyarıcısı olarak görülebileceğini önermiştir. Bu bağlamda birçok rapor; bitkilere güçlü veya zayıf elektrik alanları, manyetik alanlar veya elektrik akımları uygulandığında dezavantajlardan çok,avantaj olduğunu göstermiştir. Genel itibarıyla; ön işlem olarak tohumlara elektrik ve manyetik alanların uygulanmasının, bitki gelişimini iyileştirmek için basit bir yöntem olduğu not edilebilmektedir. Buna çimlenme oranı, kök ve sürgün uzunluğu, toplam yaş ve kuru ağırlık, meyve verimi, yaprak alanı, dallar, fotosentez, stoma iletkenliği, farklı iyonların birikimi ve klorofil içeriği dahildir.

Lee ve Oh, (2020) yapmış oldukları çalışmada iki çeşit lahana (*Brassica oleracea* var. *acephala*) üzerindeki elektrik alanlarının etkisini araştırmışlar. Hidroponik olarak yetiştirilen bitkilerin besin çözeltisine üç hafta boyunca üç seviyeli elektrik akımı (10, 50 ve 100 mA) uygulanmış. Başta 50 mA olmak üzere elektrik alanlarına maruz kalan lahana bitkilerinde kontrol bitkilere kıyasla yaprak alanı değerlerinde önemli bir artış olduğu izlenmiştir.

Gerçekleştirmiş olduğumuz çalışma, literatür ile kıyaslandığına sonuçlar tutarlıdır.

5.7. Yaprak Yaş ve Kuru Ağırlık Değerleri

Bu tez çalışması sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde yaş sürgün ağırlığı elektrik uygulamalarının istatistiksel olarak önemli farklılıkların bulunmadığı belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde yaprak ağırlığı en yüksek değeri (5.231 gr) 4 volt uygulamasında görülmüştür. 2 volt, 8 volt ve 0 volt uygulamaları, 4 volta göre daha düşük sürgün yaş ağırlığı oranlarına sahip olmuştur (sırasıyla; 4.891, 4.881,

4.768 gr). Çeşit-elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değer (6.405 gr), Matador çeşidinde 4 volt uygulamasından elde edilmiştir.

Yapılan çalışma sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde kuru sürgün ağırlığı elektrik uygulamalarının istatistiksel olarak önemli farklılıkların bulunmadığı belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde yaprak sayısı en yüksek değer (0.431 gr) 8 volt uygulamasında görülmüştür. 4 volt, 0 volt ve 2 volt uygulamaları 8 volta göre daha düşük sürgün kuru ağırlığı değerlerine sahip olmuştur (sırasıyla; 0.399, 0.357, 0.346 gr). Çeşit-elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında ise en yüksek değer Matador çeşidinde 4 volt (0.471 gr) uygulamasından elde edilmiştir.

Gogo ve ark. (2016) yapmış oldukları bir çalışmada Afrika itüzümü bitkisi üzerinde DC elektrik akımı (8 volt ve 16 volt) olmak üzere bitki üzerindeki etikleri incelemiştir. 127 µA'nın, Afrika itüzümü bitkilerinin yaprakların yaş ve kuru ağırlığını sırasıyla %14.4 ve %24.4 oranında önemli ölçüde artırdığını göstermişlerdir.

Lee ve Oh, (2020) yapmış oldukları çalışmada ise iki çeşit yaprak lahana (*Brassica oleracea* var. *acephala*) üzerindeki elektrik alanlarının etkisini araştırmışlar. Hidroponik olarak yetiştirilen bitkilerin besin çözeltisine üç hafta boyunca üç seviyeli elektrik akımı (10, 50 ve 100 mA) uygulanmış. Elektrik akımına maruz kalan bitkilerin sürgün kuru ağırlıklarında, uygulamanın ilk iki haftasında kontrol bitkilerininkinden farklı olmamakla birlikte, üçüncü haftada önemli bir farklılık olmuştur; 50- ve 100-mA (sırasıyla 25.6 ve 58.8 V/m) muamelelerine tabi tutulan TBC çeşidi, kontrole (7.0 V/m) kıyasla sırasıyla %61 ve %34 artış göstermiştir.

Pamuk bitkisi üzerinde elektrik etkileri inceleyen bir çalışmada Liu ve ark., (2020) pamuk bitkisi sürekli olarak farklı yoğunluklarda (0 kV/m, 2 kV/m ve 10 kV/m) güç frekanslı elektrik alanına (PF EF) maruz bırakılmış ve çalışma sonucunda elektrik yaprak kuru ağırlığı oranı üzerinde artış göstermiştir.

Yaprak yaş ve kuru ağırlığı bakımından yaptığımız çalışmada da elektrik uygulamalarında artışlar gözlemlenmiştir.

5.8. Kök Yaş ve Kuru Ağırlığı

Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında da önemli fark bulunmamakla birlikte en fazla kök yaş ağırlığı (0.248 gr) 0 volt uygulamasında görülmüştür. 2 volt, 8 volt ve 4 volt uygulamaları, 0 volta göre daha düşük kök yaş ağırlığı değerlerine sahip olmuştur (sırasıyla; 0.201, 0.199, 0.194 gr). Çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonundan elde edilen verilerin istatistiksel olarak incelendiğinde de önemli fark bulunmamıştır; bununla birlikte en yüksek değer (0.350 gr) Acosta çeşidinde 0 volt uygulamasından elde edilirken, en düşük değer (0.125 gr) Revere F1 çeşidinde 4 volt uygulamasında tespit edilmiştir.

Elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde elektrik uygulamaları arasında da önemli fark bulunmamakla birlikte en fazla kök kuru ağırlığı (0.021 gr) 0 volt ve 2 volt, uygulamalarında görülmüştür. 4 volt ve 8 volt uygulamaları 0 volta göre daha düşük kök kuru ağırlığı değerlerine sahip olmuştur (sırasıyla; 0.018, 0.017 gr). Çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonundan elde edilen veriler istatistiksel olarak incelendiğinde de önemli fark bulunmamıştır ($p=0.945$); bununla birlikte en yüksek değer (0.034 gr) Acosta çeşidinde 0 volt uygulamasından elde edilirken, en düşük değer (0.012 gr) Revere F1 çeşidinde 4 volt uygulamasında tespit edilmiştir.

Lee ve Oh, (2020) yapmış oldukları çalışmada ise iki çeşit lahana (*Brassica oleracea* var. *acephala*) üzerindeki elektrik alanlarının etkisini araştırmışlar. Hidroponik olarak yetiştirilen bitkilerin besin çözeltisine üç hafta boyunca üç seviyeli elektrik akımı (10, 50 ve 100 mA) uygulanmış ve elektrik akımına maruz kalan her iki çeşidin bitk kök kuru ağırlığının kontrol bitkilerine göre 1.7 kat daha artırılmış rapor edilmiştir.

Gerçekleştirdiğimiz çalışmada incelenmiş literatürden farklı sonuçlar elde edilmiştir. Çalışılan tür farklılığı ve kullandığımız elektrik doz ve süresi farklı olması nedeniyle bitki boyunda farklı tepkiler gösterildiği düşünülmektedir.

5.9. Klorofil Miktarı (SPAD Değeri)

Bu tez çalışması sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde klorofil miktarı (SPAD değeri) bakımından elektrik uygulamalarının istatistiksel olarak önemli

farklılıkların bulunmadığı belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde yaprak sayısı en yüksek değeri (40.681) 4 volt uygulamasında görülmüştür. 8 volt, 0 volt ve 2 volt uygulamaları 4 volta göre daha düşük klorofil miktarına sahip olmuştur (sırasıyla; 39.738, 39.594, 38.400). Çeşit-elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında ise en yüksek değer Acosta çeşidinde 8 volt (46.325) uygulamasından elde edilmiştir. Gogo ve ark. (2016), yapmış oldukları bir çalışmada Afrika itüzümü bitkisi üzerinde DC elektrik akımı (8 volt ve 16 volt) olmak üzere bitki üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Voltaj dozları, karotenoidler (ß-karoten ve lutein), klorofil a ve b'nin yanı sıra Mg, Ca ve Zn gibi karakteristik mineral elementler ve yapısal karbonhidratlar (hemiselüloz) seviyelerini yükseltmiştir.

Pamuk bitkisi üzerinde elektrik etkileri inceleyen bir çalışmada Liu ve ark., (2020) pamuk bitkisi sürekli olarak farklı yoğunluklarda (0 kV/m, 2 kV/m ve 10 kV/m) güç frekanslı elektrik alanına (PF EF) maruz bırakılmış ve çalışma sonucunda elektrik klorofil değeri farklı dönemde farklı etkiler göstermiştir. Çıkış sonrası ve fide büyüme döneminde her hangi bir fark ya da etki yapmamış iken, verim döneminde elektriğe maruz kalan bitkilerin klorofil miktarı kontrole göre daha yüksek bulunmuştur ve bitkinin yaşlanmasını geciktirmede yardımcı olabileceğini ve yaprak ve kloroplast aktivitesini daha uzun süre korunabileceği gösterilmiştir.

Yaptığımız çalışmada da klorofil miktarı (SPAD değeri) üzerinde çeşit-elektrik uygulaması interaksiyonuna bağlı olarak nispeten bazı artışlar gözlenmiştir.

5.10. Bitkilerde Lipit Peroksidasyonu Ürünü Malondialdehit (MDA)

Bu tez çalışması sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde MDA bakımından elektrik uygulamalarının istatistiksel olarak önemli farklılıkların bulunmadığı belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde en yüksek MDA oranı 2 volt uygulamasında ardından 8 volt, 0 volt ve 4 volt (sırasıyla 0.770, 0.708, 0.663, 0.619 gr/YA) uygulamalarında tespit edilmiştir. Çeşit-elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değer (0.952 gr/YA) Revere F1 çeşidi ve 2 volt elektrik uygulamasında tespit edilmişken, en düşük değerin (0.452 gr/YA) Rembrandt F1 çeşidi ve 0 volt elektrik uygulamasında olduğu belirlenmiştir.

Pamuk bitkisi üzerinde elektrik etkileri inceleyen bir çalışmada Liu ve ark., (2020) pamuk bitkisi sürekli olarak farklı yoğunluklarda (0 kV/m, 2 kV/m ve 10 kV/m) güç frekanslı elektrik alanına (PF EF) maruz bırakılmış ve çalışma sonucunda MDA değeri farklı dönemde farklı etkiler göstermiş; çıkış sonrası ve fide büyüme döneminde EF muamelesi kontrol ile karşılaştırıldığında daha büyük ve 10 kV/m grubundaki aktivite 2 kV/m'deki aktiviteden biraz daha düşük bulunmuştur.

Huang ve ark., (2006) yapmış oldukları bir çalışmada, iki hıyar çeşidi (Bingo 1 ve Bingo 2) üzerinde elektrik alanı ve hidropriming işlemleri uygulamışlar ve Bingo 1 çeşidi üzerinde 3 dakika 5 kV/cm elektrik alanına maruz bırakma ve Bingo 2 çeşidinde ise 5 dakika 5 kV/cm elektrik alanına maruz bırakma sonucu olarak MDA uygulamalarında önemli ölçüde azalma tespit edilmiştir.

Gerçekleştirdiğimiz çalışmayı literatür ile kıyaslarken sonuçların nispeten tutarlı olduğu gözlenmiştir.

5.11. Katalaz (CAT) Aktivitesi

Bu tez çalışmasında elektrik uygulamalarından elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak incelediğinde önemli fark bulunmuş olup, en fazla katalaz aktivitesi 2 volt uygulamasında (0.0147 gr YA/ dk) tespit edilmiştir. Çeşit-elektrik interaksiyonundan elde edilen veriler istatistiksel olarak incelendiğinde önemli fark bulunmamıştır.

Leong ve ark. (2016) yapmış oldukları bir çalışmada 2 kV/cm aralıklı elektrik uygulanan buğday çimi tohumlarında antikosidatif enzim (SOD, CAT ve APX) değerlerinin elektrik uygulanmayanlara göre artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Pamuk bitkisi üzerinde elektrik etkileri inceleyen bir çalışmada, Liu ve ark., (2020) pamuk bitkisi sürekli olarak farklı yoğunluklarda (0 kV/m, 2 kV/m ve 10 kV/m) güç frekanslı elektrik alanına (PF EF) maruz bırakılmış ve çalışma sonucunda CAT aktivesinde önemli ölçüde artmış ve bu etki, pamuk büyüme periyodu boyunca devam etmiştir

Huang ve ark., (2006) yapmış oldukları bir çalışmada, iki hıyar çeşidi (Bingo 1 ve Bingo 2) üzerinde elektrik alanı ve hidropriming işlemleri uygulamışlar; Bingo 1 çeşidi üzerinde 3 dakika 5 kV/cm elektrik alanına maruz bırakma ve Bingo 2 çeşidinde ise 5

dakika 5 kV/cm elektrik alanına maruz bırakma sonucu olarak SOD, CAT ve APX aktiviteleri artmıştır.

Gerçekleştirdiğimiz çalışmayı literatür ile kıyaslarken sonuçların nispeten tutarlı olduğu gözlenmiştir.

5.12. Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesi

Bu tez çalışması sonucunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde (APX) aktivitesi elektrik uygulamaları istatistiksel olarak önemli farklılıkların bulunmadığı belirlenmekle birlikte, en fazla APX aktivitesi (0.349 gr YA/dk) 8 volt uygulamasında tespit edilmiştir, Bununla birlikte hem çeşitler hem de çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonunda (sırasıyla P=0.001, P=0.015) istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu belirlenmiştir; en yüksek değer (0.723 gr YA/dk) Rembrandt F1 8 volt uygulamasında bulunmuştur.

Leong ve ark. (2016) yapmış oldukları bir çalışmada, 2 kV/cm aralıklı elektrik uygulanan buğday çimi tohumlarında antikosidatif enzim (SOD, CAT ve APX) değerlerinin elektrik uygulanmayanlara göre artış gösterdiği tespit etmişlerdir.

Huang ve ark., (2006) yapmış oldukları bir çalışmada, iki hıyar çeşidi Bingo 1 ve Bingo 2) üzerinde elektrik alanı ve hidropriming işlemleri uygulamışlar; Bingo 1 çeşidi üzerinde 3 dakika 5 kV/cm elektrik alanına maruz bırakma ve Bingo 2 çeşidinde ise 5 dakika 5 kV/cm elektrik alanına maruz bırakma sonucu olarak SOD, CAT ve APX aktiviteleri artmıştır.

Gerçekleştirmiş olduğumuz çalışma literatür ile kıyaslandığına sonuçların nispeten farklı olduğu; ıspanakta hem çeşitlerin hem de çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonunun daha çok önem arz ettiği anlaşılmaktadır.

5.13. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Aktivitesi

Bu tez çalışması sonunda elde edilen veriler ışığında ıspanak bitkisinde (SOD) aktivitesi bakımından elektrik uygulamaları arasında istatistiksel olarak önemli farklılıkların bulunmadığı belirlenmiştir. Elektrik uygulamaları incelendiğinde (SOD)

aktivitesi 8 volt uygulamasında ardından 4 volt, 0 volt ve 2 volt (sırasıyla 22.394, 11.157, 10.799, 10.695 gr / YA) gelmiştir. Çeşit ve elektrik uygulaması interaksiyonuna bakıldığında en yüksek değer (42.804 gr / YA) Rembrandt F1 çeşidi ve 8 volt elektrik uygulamasında tespit edilmiştir.

Leong ve ark. (2016) yapmış oldukları bir çalışmada 2 kV/cm aralıklı elektrik uygulanan buğday çimi tohumlarında antioksidatif enzim (SOD, CAT ve APX) değerlerinin elektrik uygulanmayanlara göre artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Pamuk bitkisi üzerinde elektrik etkileri inceleyen bir çalışmada Liu ve ark., (2020) pamuk bitkisi sürekli olarak farklı yoğunluklarda (0 kV/m, 2 kV/m ve 10 kV/m) güç frekanslı elektrik alanına (PF EF) maruz bırakılmış ve çalışma sonucunda SOD aktivitesi, fide ve çiçeklenme aşamalarında etkilenmiştir.

Huang ve ark., (2006) yapmış oldukları bir çalışmada, iki hıyar çeşidi Bingo 1 ve Bingo 2) üzerinde elektrik alanı ve hidropriming işlemleri uygulamışlar; Bingo 1 çeşidi üzerinde 3 dakika 5 kV/cm elektrik alanına maruz bırakma ve Bingo 2 çeşidinde ise 5 dakika 5 kV/cm elektrik alanına maruz bırakma sonucu olarak SOD, CAT ve APX aktiviteleri artmıştır.

Gerçekleştirmiş olduğumuz çalışma literatür ile kıyaslandığına sonuçların nispeten farklı olduğu; ıspanakta hem çeşitlerin hem de çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonunun daha çok önem arz ettiği anlaşılmaktadır.

5.14. Ispanakta Elektrik Uygulamalarının Bitki Besin Elementleri Miktarlarına Etkisinin Değerlendirilmesi

Bu tez çalışması sonunda elektrik uygulamaları ve çeşit-elektrik interaksiyonunu incelediğinde karşımıza bu sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

Fosfor (P) miktarı, elektrik uygulamasında artış göstermiş olup, 4 volt uygulamasında bitkiler %0.831 P değerine sahip olmuştur; çeşit-elektrik interaksiyonunundaki durum ise en yüksek değer Matador çeşidi 8 volt uygulamasında (%0.977 P) tespit edilmiştir.

Magnezyum (Mg) miktarı, elektrik uygulamasında artış göstermiş olup, 2 volt uygulamasında bitkiler %0.769 Mg değerine sahip olmuştur; çeşit-elektrik

interaksiyonunundaki durum ise en yüksek değer Matador çeşidi 2 volt uygulamasında (% 0.953 Mg) tespit edilmiştir.

Kalsiyum (Ca) miktarı, elektrik uygulamasında azılış göstermiş olup, 0 volt uygulamasında bitkiler %0.845 Ca değeri sahip olmuştur; çeşit-elektrik interaksiyonunundaki durum ise en yüksek değer Rembrandt F1 çeşidi 2 volt uygulamasında % 0.963 Ca olarak tespit edilmiştir.

Potasyum (K) elektrik uygulamasında artış göstermiş olup, 2 volt uygulamasında bitkiler (6.902 %) değeri sahip olmuştur; çeşit ve çeşit elektrik interaksiyonunundaki durum ise en yüksek değer Acosta çeşidi 0 volt uygulamasında (7.723 %) tespit edilmiştir.

Demir (Fe) elektrik uygulamasında azılış göstermiş olup, 0 volt uygulamasında bitkiler (788.470 ppm) değeri sahip olmuştur; çeşit ve çeşit elektrik interaksiyonunundaki durum ise en yüksek değer Matador çeşidi 0 volt uygulamasında (1072.150 ppm) tespit edilmiştir.

Mangan (Mn) elektrik uygulamasında artış göstermiş olup, 4 volt uygulamasında bitkiler (44.966 ppm) değeri sahip olmuştur; çeşit ve çeşit elektrik interaksiyonunundaki durum ise en yüksek değer Rembrandt F1 çeşidi 4 volt uygulamasında (53.207 ppm) tespit edilmiştir.

Bakır (Cu) elektrik uygulamasında artış göstermiş olup, 2 volt uygulamasında bitkiler (16.357 ppm) değeri sahip olmuştur; çeşit ve çeşit elektrik interaksiyonunundaki durum ise en yüksek değer Rembrandt F1 çeşidi 2 volt uygulamasında (36.610 ppm) tespit edilmiştir.

Çinko (Zn) elektrik uygulamasında artış göstermiş olup, 4 volt uygulamasında bitkiler (177.501 ppm) değeri sahip olmuştu;r çeşit ve çeşit elektrik interaksiyonunundaki durum ise en yüksek değer Acosta çeşidi 4 volt uygulamasında (247.330 ppm) tespit edilmiştir.

Gogo ve ark. (2016) yapmış oldukları bir çalışmada Afrika itüzümü bitkisi üzerinde DC elektrik akımının (8 volt ve 16 volt) etkilerini incelemiştir. Voltaj uygulamaları, Afrika itüzümü bitkilerinin minerallerini ve ağır metallerini hem yapraklarda hem de gövdelerde farklı şekilde etkilemiştir. Voltajdaki genel bir artış, analiz edilen mineral elementlerin ve ağır metallerin çoğunda bir artışa neden olmuştur.

Genel olarak yapraklarda daha yüksek N, C, Ca, Mg, Fe, Zn, Ni ve Cd içeriği gözlenirken gövdelerde K, Na, Pb ve Cr içerikleri daha yüksek bulunmuştur.

Lee ve Min, (2020) yapmış oldukları çalışmada ise iki çeşit yaprak lahana (*Brassica oleracea* var. *acephala*) üzerindeki elektrik alanlarının etkisini araştırmışlar. Hidroponik olarak yetiştirilen bitkilerin besin çözeltisine üç hafta boyunca üç seviyeli elektrik akımı (10, 50 ve 100 mA) uygulanmış ve elektrik akımına maruz kalan bitkilerin besin elementleri miktarlarının şu şekilde etkilendiği açıklanmıştır: Birinci çeşitte fosfor (P), demir (Fe), manganez (Mn) ve bor (B) absorpsiyonu, kontrol ile karşılaştırıldığında 50 mA muamele ile yaklaşık 1.3 ila 1.7 kat artmış ve potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), kükürt (S), çinko (Zn) ve bakır (Cu) hem 50 mA hem de 100 mA uygulamaları ile artmış; sodyum (Na), tüm elektrik muamele altında 1.4 ila 1,5 kat arasında önemli ölçüde artmış; Nikel (Ni) ve molibden (Mo) sadece 10 mA ve 50 mA muameleri altında analiz için kullanılan ekipman tarafından saptanabilmiştir. İkinci çeşitte ise Fe ve Zn alımı, kontrol ile karşılaştırıldığında 50 mA muamele ile yaklaşık 1.3 ve 1.8 kat artmıştır

Gerçekleştirmiş olduğumuz çalışma literatür ile kıyaslandığına sonuçların nispeten farklı olduğu; ıspanakta hem çeşitlerin hem de çeşit-elektrik uygulamaları interaksiyonunun daha önem arz ettiği anlaşılmaktadır. Bitki besin elementleri bazı elektrik uygulamaları ile birlikte artış göstermişken, bazıları düşüş göstermiştir; bu durumun elektrik voltaj dozundan ve uygulama süresi farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.15. Sonuç

Yapılan bu çalışmada ıspanak çeşitleri üzerinde uygulanan farklı elektrik uygulamalarının nispeten farklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Genelde bazı elektrik uygulamalarının bazı ıspanak çeşitlerinde bazı bitki büyüme parametrelerine olumlu etkileri olduğu tespit edilmektedir. Elektrik uygulamalarının olumlu etkilerinin artırılmasında gelecekte her çeşide uygun elektrik akımı doz ve süresini belirlemek amacıyla daha fazla çalışma ve deneme kurulması gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Afrasiyab, A., Zafar, J., Muhmmad, H., 2020. Effect of electric field on seed germination and growth parameters of chickpea *Cicer arietinum* L. ***Ukrainian Journal of Ecology***, **10** (4): 12-16.

Alibas-Ozkan, I., Akbudak B., Akbudak N., 2007. Microwave Drying Characteristics of Spinach. ***Journal of Food Engineering,*** **78** (2): 577-583.

Almaghrabi, O. A., Elbeshehy, E. K., 2012. Effect of weak electromagnetic field on grain germination and seedling growth of different wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. ***Life Science Journal,*** **9**:1615-1622.

Belyavskaya, N.A., 2004. Biological effects due to weak magnetic field on plants. ***Advances in space Research,*** **34**: 1566–1574.

Dannehl, D., Huyskens-Keil, S., Eichholz, I., Ulrichs, C., Schmidt, U., 2009. Effects of intermittent-direct-electric-current (IDC) on polyphenols and antioxidant activity in radish (*Raphanus sativus* L.) during growth. ***Journal of Applied Botany and Food Quality,*** **83**: 54–59.

Dannehl, D., Huyskens-Keil, S., Wendorf, D., Ulrichs, C., Schmidt, U., 2012. Influence of intermittent-direct-electric-current (IDC) on phytochemical compounds in garden cress during growth. ***Food chemistry,*** **131**: 239–246.

Dannehl, D., 2018. Effects of electricity on plant responses. ***Scientia Horticulturae***, **234**: 382-392.

De Souza, A., Garcia, D., Sueiro, L., Gilart, F., Porras, E., Licea, L., 2006. Pre-sowing magnetic treatments of tomato seeds increase the growth and yield of plants. ***Bioelectromagnetics,*** **27**: 247–257.

Dicoteau, D.R., 2000. Spinach. ***Vegetable Crops,*** 221-237 Prentice Hall.

Dymek, K., Dejmek, P., Panarese, V., Vicente, A. A., Wadsö, L., Finnie, C., Galindo, F. G., 2012. Effect of pulsed electric field on the germination of barley seeds. ***LWT-Food Science and Technology,*** **47** (1): 161-166.

Gogo, E. O., Huyskens-Keil, S., Krimlowski, A., Ulrichs, C., Schmidt, U., Opiyo, A., Dannehl, D., 2016. Impact of direct-electric-current on growth and bioactive compounds of African nightshade (*Solanum scabrum* Mill.) plants. ***Journal of Applied Botany and Food Quality***, **89**: 60-67.

Güneri Bağcı E., 2010***. Nohut Çeşitlerinde Kuraklığa Bağlı Oksidatif Stresin Fizyolojik ve Biyokimyasal Parametrelerle Belirlenmesi*** (doktora tezi, basılmamış). AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Horowitz, P., Hill, W., 2015. ***The Art of Electronics***, 3 ed. Cambridge University Press, New York.

Huang, R., Sukprakarn, S., Phavaphutanon, L., Juntakool, S., Chaikul, C., 2006. A comparison of electric field treatments to hydropriming on cucumber seed germination enhancement. ***Agriculture and Natural Resources***, **40** (3): 559-565.

Inaba, A., Manabe, T., Tsuji, H., Iwamoto, T., 1995. Electrical impedance analysis of tissue properties associated with ethylene induction by electric currents in cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit. ***Plant physiology,*** **107**: 199–205.

Jebara S, Jebara M, Limam F, Aouani, M.E., 2010. Changes in ascorbate peroxidase, catalase, guaiacol peroxidase and superoxide dismutase activities in common bean (*Phaseolus vulgaris*) nodules under salt stress. ***Journal of Plant Physiology***, **162** (8): 929-936.

Kaimoyo, E., Farag, M. A., Sumner, L. W., Wasmann, C., Cuello, J. L., Van Etten, H., 2008. Sub-lethal levels of electric current elicit the biosynthesis of plant secondary metabolites. ***Biotechnology Progress,*** **24** (2): 377-384.

Kanyago, G. A., Kuria, K. P., 2020. Effect of electric field in the soil on the germination and growth rate of rosecoco beans plant. ***Researchjournali's Journal of Agriculture,*** **7** (1): 2-11.

Knorr, D., Angersbach, A., Eshtiaghi, M.N., Heinz, V., Lee, D.U., 2001. Processing concepts based on high intensity electric field pulses. ***Trends in Food Science & Technology,*** **12**: 129–35.

Kobayashi, M., Soda, N., Miyo, T., Ueda, Y., 2004. Effects of combined DC and AC magnetic fields on germination of hornwort seeds. ***Bioelectromagnetics,*** **25**: 552–559.

Koca, H., Bor, M., Özdemir, F., Türkan, İ., 2007. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars**.** ***Environmental and Experimental Botany*****, 60**: 344-351.

Kurooka, H., Horiuchi, S., Fukunaga, S., Yuda, E., 1990. Effects of electric current on breaking bud dormancy in grapes. *Bulletin of the University of Osaka Prefecture*. ***Series B, Agriculture and Biology,*** **42**: 111-119.

Lee, S., Oh, M.M., 2021. Electric stimulation promotes growth, mineral uptake, and antioxidant accumulation in kale (*Brassica oleracea* var. acephala). ***Bioelectrochemistry***, **138**: 107727.

Leong, S. Y., Burritt, D. J., Oey, I., 2016. Electropriming of wheatgrass seeds using pulsed electric fields enhances antioxidant metabolism and the bioprotective capacity of wheatgrass shoots. ***Scientific Reports***, **6** (1): 1-13.

Liu, X., Wan, B., Hua, H., Li, X., 2021. Electric field generated by high-voltage transmission system is beneficial to cotton growth**.** ***Acta Ecologica Sinica*****,41:** 552-559

Lynikiene, S., Pozeliene, A., 2003. Effect of electrical field on barley seed germination stimulation. ***Agricultural Engineering International: CIGR Journal,*** **3** (7):1-8.

Morelock, T.E., Correll, J.C., 2008. ***Vegetables*** I. Ed.; J. Prottens, F. Nuez, M. Carena. ISBN: 978-0-387- 72291-7. Springer, Newyork.189-218.

Moon, J.D., Chung, H.S., 2000. Acceleration of germination of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields. ***Journal of electrostatics,*** **48**: 103–114.

Okumura, T., Muramoto, Y., Shimizu, N., 2012. Influence of DC electric field on growth of daikon radish (*Raphanus* sativus). ***IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation***, **19** (6): 2237-2241.

Ozuna, C., Cerón-García, A., Sosa-Morales, M.E., Salazar, J.A.G., León-Galván, M.F., del Rosario Abraham-Juárez, M., 2017. Electrically induced changes in amaranth

seed enzymatic activity and their effect on bioactive compounds content after germination. ***Journal of food science and technology,*** 1–10.

Pant, G., Kumar, G., Karthik, L., Prasuna, R.G., Vankata, K., Rao, B., 2012. Effect of electric treatment on total pehnolic content and antioxidant activity of Anabaena variabilis. ***International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences,*** **4**: 128–131.

Rathore, K.S., Goldsworthy, A., 1985 Electrical control of shoot regeneration in plant tissue cultures. ***Bio/Technology,*** **3**: 1107–1109

Rathore, K.S., Hodges, T.K., Robinson, K.R., 1988. A refined technique to apply electrical currents to callus-cultures. ***Plant physiology,*** **88**: 515–517.

Ryder, E.J., 1979. ***Leafy Salad Vegetables*** **I**. 195-227 AV.

Scopa, A., Colacino, C., Barone Lumaga, M. R., Pariti, L., Martelli, G., 2009. Effects of a weak DC electric field on root growth in Arundo donax (Poaceae). ***Acta Agriculturae Scandinavica Section B–Soil and Plant Science***, **59** (5): 481-484.

Smirnoff, N., 2005. Ascorbate, Tocopherol and Carotenoids: Metabolism, Pathway Engineering and Functions. In: Smirnoff N, Ed. Antioxidants and Reactive Oxygen Species in Plants. ***Oxford: Blackwell Publishing Ltd***. p:53-86.

Swiader. J.M., Ware, G.W., 2002. ***Producing Vegetable Crops*** 5th ed. 481-498 Interstate.

Şalk, A., Arın, L., Deveci, M., 2008. ***Özel Sebze Yetiştiriciliği***. Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, ISBN: 978-9944-0786-0-3. 47-61

Toledo, M.E.A., Ueda, Y., Imahori, Y., Ayaki, M., 2003. L-ascorbic Acid Metabolism in Spinach (*Spinacia oleracea* L.) during Postharvest Storage in Light and Dark. ***Postharvest Biology and Technology***, **28** (1): 47-57.

Unsugmi, H., Sahai, P., Sinha, V. B., Dutta, R., 2017. Electrical augmentation of seed germination in chickpea. ***Plant Archieves***, **17**: 1661-1664.

Novak, V., Bjelis, M., 2015. Effect of electricity on growth and development of several plant species ***14. Hrvatst: Biolosti Kongresi***

Vural, H., Eşiyok, D., Duman, İ., 2000. ***Kültür Sebzeleri (Sebze Yetiştirme)*** Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, ISBN: 975- 97190-0-2. S:95-105.

ÖZ GEÇMİŞ

Lise eğitimi Halep İbn-i Sina okulunda tamamlamış ve Van YYÜ Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde 2018 yılında bölüm birincisi olarak lisans eğitimini Bahçe Bitkileri Bölümü'nde tamamlamıştır.

VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORİJİNALLİK RAPORU

Tarih: 24/01/2022

Tez Başlığı / Konusu: ISPANAKTA FARKLI ELEKTRİK AKIMI (DC) UYGULAMALARININ BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 45 sayfalık kısmına ilişkin, 24/01/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 5 (yüzde beş)'dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:
- Materyal ve yöntem hariç,
- Kaynaklar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Muhammed Loay Ali
Öğrenci No:
Anabilim Dalı: Bahçe Bitkileri
Programı:
Statüsü: ▪ Yüksek Lisans □ Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

ENSTİTÜ ONAY
UYGUNDUR