

Ispanakta Farklı Elektrik Akımı (DC) Uygulamalarının Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri

Muhammed Loay ALI^{1,*}, Suat ŞENSOY^{1,b}, Selma BİTİK^{2,c}

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Başkale Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar e-mail: Loayali021@gmail.com

^aORCID: (0000-0002-6913-5179), ^bORCID: (0000-0001-7129-6185), ^cORCID: (0000-0002-0563-1130)

Makale Bilgileri	ÖZ
Makale Geçmişi Geliş: 13.11.2022 Kabul: 20.12.2022 Yayın: 31.12.2022	Amaç: Bu çalışma, ıspanakta farklı elektrik akımı (DC) uygulamalarının bitki gelişimi üzerine etkilerini ortaya koyabilmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yöntem: Saksı denemesi olarak yürütülen çalışmada 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 (<i>Spinacia oleracea</i> 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), lipid peroksidasyonu ürünü malondialdehit (MDA) ve enzim aktiviteleri ((süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve askorbat peroksidaz (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. Bulgular: DC elektrik uygulamalarından 2 ve 4 volt uygulamalarının genel olarak ıspanakta besin element içeriğini artırdığı; çeşit-elektrik interaksyonunda 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 F1 çeşidinin, CAT enzim aktivitesi ve MDA da ise 2 volt elektrik uygulamasının ön plana çıktığı tespit edilmiştir. Sonuç: Sonuçta bazı elektrik uygulamalarının bazı ıspanak çeşitlerinde belirli bitki büyüme parametrelerine genellikle olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir.

Effects of Different Electric Current (DC) Applications on Plant Development in Spinach

Article Info	ABSTRACT
Article History Received: 13.11.2022 Accepted: 20.12.2022 Published: 31.12.2022	Purpose: The study was carried out to reveal the effects of different electric current (DC) applications on plant growth in spinach. Method: 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 (<i>Spinacia oleracea</i> L.) varieties were used as plant materials. 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 weights, root fresh and dry weights, chlorophyll amount (SPAD value), lipid peroxidation product malondialdehyde (MDA) and enzyme activities (superoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) and askorbat peroksidaz (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. Results: 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 was concluded that electrical applications had positive effects on plant growth and could be used as an alternative for plant growth. Conclusions and Suggestions: As a result, it was determined that some electrical applications had usually positive effects on some plant growth parameters in some spinach cultivars.



Atıf/Citation: Ali, M. L., Şensoy, S. & Bitik, S. (2022). Ispanakta Farklı Elektrik Akımı (DC) Uygulamalarının Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri, *Ereğli Tarım Bilimleri Dergisi*, 2(2), 48-61.

"This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)"

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. Dünyada 229 bin ton üretim ile Türkiye; Çin, ABD ve Japonya'dan sonra 4. sırada yer almaktadır (FAO, 2019).

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 olup yaprak ayalarının şekli çeşitlere göre büyük farklılık göstermektedir. 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 (Vural ve ark., 2000; Morelock ve Correll, 2008; Şalk ve ark., 2008; Sensoy ve ark., 2011). 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).

Tarım sektöründe UV-B radyasyonu, sıcaklık, kuraklık, CO₂, besinler, ağır metaller ve yaralanma ile bitki tepkilerinin abiyotik olarak ortaya çıkarılmasına ilişkin çok sayıda araştırma yapılmış ve çeşitli incelemeler ile açıklanmıştır. Bununla birlikte, elektriğin bitkileri etkilemek için bir abiyotik stres uyarıcısı olarak sınıflandırılıp sınıflandırılmayacağı açık değildir. Yukarıda bahsedilen abiyotik stres uyarıcıları iyi araştırılmış olsa da elektriğin bitki gelişimi ve metabolitlerin birikimi üzerindeki etkisi iyi anlaşılmamıştır. 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 zorlaştığından, insanların ciddi bir gıda kıtlığı içine düşmesi tahmin edilmektedir. Bu nedenle, tarımsal üretimde verimliliği artırmak için biyo-araştırma ve geliştirme çalışmalarına gereksinim vardır. Farklı alanlarda çeşitli araştırmalar yürütülmektedir. Yapılan bir çalışmada Doğru akım (DC) elektrik alanının havuç tohumunun çimlenmesini ve hıyar, domates, mısır ve soya fasulyesinin verimini artırdığı bildirilmektedir (Kurooka ve ark., 1990).

Okumura ve ark. (2012), tarafından yapılan bir çalışmada turpta (*Raphanus sativus longipinnatus*); (a) Doğru akım (DC) elektrik alanının uygulanması tohum çimlenme oranını arttırdığı, (b) DC elektrik alanının kök uzunluğu ve ağırlığını artırdığı, (c) DC elektrik alanının, tohumda depolanan maddelerin tüketimini teşvik ettiği, (d) DC elektrik alanının muhtemelen Gibberellin fitohormonun çalışmasını aktive ettiği bildirilmiştir. 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 hücrel metabolizmanın olumlu yönde artırılabilirliğini kanıtlamış ve bitki boyu, kök uzunluğu ve yaprak sayısı gibi bazı parametrelerde elektrik alanın 3, 6, 9 ve 12 V şiddetlerinin olumlu etkisi kaydedilmiştir.

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.

Ozuna ve ark. (2017), horozibiği tohumlarının çimlenmesinden önce elektrik akımı ile muamele edilmesinin filizlerinin enzimatik antioksidan sistemi üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve 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 toplam fenol miktarında (35.87 ± 0.17 mg GAE/gDW) 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 ve tohumlar için 5 dk'lık süre önerilmiştir.

Dymek ve ark. (2012)'nin 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.

Bu çalışma standart ve hibrit ıspanak çeşitlerinde farklı elektrik akımı (DC) uygulamalarının, bitki gelişimi üzerine etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

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) ile eşit miktarda amper (0.1 mA) uygulanmıştır. Deneme 16 uygulama ile 4 tekerrür olmak üzere toplam 64 saksıdan oluşmuştur. Tohumların saksıya ekimi yapılmadan önce her uygulama için petri kabı içerisine 50 tohum bırakılmış ve power supply kullanarak 40 saat süreyle elektrik akımı sağlanmıştır. Yetiştirme ortamı olarak 5 litrelik saksılar kullanılmıştır. Saksılara Eylül ayının son haftasında tohum ekimi yapılmış olup, her saksıya 50 tohum bırakılmıştır. Daha sonra seyreltme işlemi yapılarak, her saksıda 5 adet bitki bırakılmıştır.

Tohum Çıkış Oranı, Süresi ve İndeksi:

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)
(Türkmen ve ark., 2002)

Bitki Boyu:

Bitki boyu ve kök boyu hasat yapıldıktan sonra bir cetvel ile mm (± 1) cinsinden ölçülmüştür.

Gövde Çapı:

Bitkilerde gövde çapı kumpas ile mm ($\pm 0,5$) cinsinden belirlenmiştir.

Yaprak Sayısı:

Uygulamalar sonunda ıspanak bitkilerinin tüm yaprakları teker teker sayılarak belirlenmiştir.

Yaprak Alanı (cm² / 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 °C etüvde 48 saat süreyle kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları hassas terazide tartılarak tespit edilmiştir.

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 °C 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 (Kabay ve Şensoy, 2016).

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 °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 yapılmıştır (Güneri Bağcı, 2010; Jebara ve ark., 2010).

Antioksidatif Enzim Analizleri

Dondurulmuş 1 g yaprak örneği (bitkilerin alttan üçüncü yaprağı) 5 ml soğuk 0.1 M Na-fosfat, 0.5 mM Na-EDTA ve 1 mM askorbik asit karışımı (pH: 7.5) ile homojenize edildikten sonra, homojenat 4 °C'de 30 dakika 18000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Bu şekilde hazırlanan homojenatta hemen askorbat peroksidaz (AP) aktivitesi belirlenmiştir. Katalaz (CAT) ve süperoksit dismutaz (SOD) aktivitelerinin belirlenmesi için, 1 g dondurulmuş yaprak örneği 5 ml soğuk 0.1 M Na-fosfat, 0.5 mM Na-EDTA karışımı (pH: 7.5) ile homojenize edildikten sonra, homojenat 4 °C'de 30 dakika 18000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Homojenatın bir kısmında hemen spektrofotometrede 240 nm dalga boyunda H₂O₂'nin kaybolmasının izlenmesi ile CAT aktivitesi, Nitroblue tetrazolium'un (NBT) 560 nm dalga boyunda inhibisyonu sonucu SOD aktivitesi, askorbat peroksidaz aktivitesi ise 290 nm dalga boyunda askorbik aside bağlı H₂O₂'nin indirgenmesi ile ölçülmüştür (Jebara ve ark., 2010; Güneri Bağcı, 2010; Kabay ve Şensoy, 2016).

Besin Elementleri Analizi

Bitkilerde besin element analizi kuru yakma yöntemine göre belirlenmiştir (Kacar, 1984). Besin element okuması AAS'de yapılmıştır, fosfor okuması ise spektrofotometre (Uv-Vis Genesys 10S) de analiz edilmiştir.

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.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Çıkış Oranı, Süresi ve İndeksi

Çeşitler ve uygulamalar arasında ıspanak bitkisi çıkış oranı, çıkış süresi ve çıkış indeksi bakımından elde edilen veriler Tablo 1'de verilmiştir. Çıkış oranı verileri istatistiksel olarak incelendiğinde hem çeşitler, hem elektrik uygulamaları hem de çeşit ve elektrik interaksyonu arasında önemli fark olduğu, fakat çıkış süresi verilerinin istatistiksel olarak önemli olmadığı, çıkış indeksi bakımından elde edilen değerler istatistiksel olarak incelendiğinde ise çeşitler ve çeşit ve elektrik interaksyonu arasında önemli fark olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 1. Ispanak Uygulamalarında Çıkış Oranı (%), Çıkış Süresi (Gün) ve Çıkış İndeksi Değerlerinin Belirlenmesi. Veriler \pm Standart Hata Olarak İfade Edilmiştir.

	Uygulamalar	Matador	Acosta	Revere F1	Rembrandt F1	Ortalama
Çıkış Oranı (%)	0 volt	45.00 \pm 1.29 ^{c**}	71.00 \pm 1.29 ^{ab}	74.50 \pm 2.22 ^{ab}	72.50 \pm 6.60 ^{ab}	65.75 \pm 3.50 ^{A**}
	2 volt	48.50 \pm 6.19 ^c	18.50 \pm 3.78 ^e	57.00 \pm 8.81 ^{a-c}	75.00 \pm 6.61 ^a	49.75 \pm 6.04 ^B
	4 volt	40.50 \pm 7.81 ^{cd}	24.50 \pm 8.77 ^{de}	53.50 \pm 7.68 ^{bc}	71.00 \pm 2.51 ^{ab}	47.38 \pm 5.42 ^B
	8 volt	36.50 \pm 4.65 ^{c-e}	38.00 \pm 9.63 ^{c-e}	54.00 \pm 10.61 ^{a-c}	73.50 \pm 2.63 ^{ab}	50.50 \pm 5.16 ^B
	Ortalama	42.63 \pm 2.74 ^{C***}	38.00 \pm 6.07 ^C	59.75 \pm 4.20 ^B	73.00 \pm 2.24 ^A	
Çıkış Süresi	0 volt	4.304 \pm 1.15	4.749 \pm 0.14	3.758 \pm 0.39	4.765 \pm 0.48	4.394 \pm 0.31
	2 volt	3.732 \pm 0.57	5.852 \pm 0.83	4.700 \pm 0.68	3.884 \pm 0.24	4.542 \pm 0.35
	4 volt	3.984 \pm 1.01	5.225 \pm 0.96	4.707 \pm 0.77	4.143 \pm 0.40	4.515 \pm 0.39
	8 volt	4.069 \pm 1.03	4.409 \pm 0.34	4.364 \pm 0.36	3.321 \pm 0.30	4.041 \pm 0.29
	Ortalama	4.022 \pm 0.44	5.059 \pm 0.33	4.382 \pm 0.28	4.028 \pm 0.21	
Çıkış indeksi	0 volt	11.797 \pm 1.156 ^{a-c*}	10.941 \pm 0.256 ^{a-c}	16.200 \pm 1.943 ^{ab}	14.153 \pm 2.880 ^{a-c}	13.273 \pm 0.978
	2 volt	14.078 \pm 1.847 ^{a-c}	2.422 \pm 0.476 ^f	11.872 \pm 2.778 ^{a-c}	17.928 \pm 2.456 ^a	11.575 \pm 1.745
	4 volt	11.051 \pm 1.476 ^{a-c}	4.495 \pm 1.691 ^{ef}	9.828 \pm 1.876 ^{c-e}	15.510 \pm 1.169 ^{a-c}	10.221 \pm 1.234
	8 volt	9.755 \pm 1.430 ^{c-e}	6.918 \pm 1.858 ^{d-f}	10.807 \pm 2.661 ^{a-c}	19.121 \pm 1.130 ^a	11.650 \pm 1.438
	Ortalama	11.670 \pm 0.783 ^{B***}	6.194 \pm 1.000 ^C	12.177 \pm 1.224 ^B	16.678 \pm 1.050 ^A	

***= $p < 0.001$ Düzeyinde önemli, *= $p < 0.05$ Düzeyinde önemli

Novak ve Bjeliš. (2015) tarafından tohum ve fidelere elektrik uygulamasının etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada farklı elektrik dozları uygulanan fasulye, ıspanak ve turp bitkilerinde çimlenme ve bitki büyüme üzerinde farklı sonuçlar elde edilmiş olup, 1.5 V elektrik uygulamasının kontrol bitkilerine göre daha iyi sonuç verdiği; 4.5 V ve 9 V uygulananlarının ise kontrol bitkilerine göre daha kötü sonuç verdiği tespit edilmiştir. Afrasiyab ve ark. (2020), tarafından nohut üzerine yapılan bir çalışmada 100 gün boyunca günde 10 dakika toprağa 3,6,9 ve 12 volt elektrik verilmiş ve çalışma

sonunda elektrik uygulamalarının nohutta çimlenme oranını artırdığı belirtilmiştir.

Elde edilen sonuçlar ile literatürler karşılaştırıldığında çeşitler arasında elektrik etkisi farklılık gösterebildiği anlaşılmakta olup; uyguladığımız sürenin fazla olduğu; gelecekteki çalışmalarda elektrik voltajı ve süresinin ayarlanması gerektiği düşünülmektedir.

Bitki Boyu

Elektrik uygulaması yapılan ıspanak bitkisinde bitki boyu (cm), kök boyu (cm), gövde çapı (cm) ve yaprak sayısı (adet) bakımından elde edilen veriler Tablo 2’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde bitki boyu ve gövde çapı verilerinin istatistiksel olarak çeşitler arasında önemli bir fark bulunduğu tespit edilmiştir.

Kamweru (2020), yapmış olduğu çalışmada, elektrik alanının Rose coco fasulye çeşidinde çimlenme ve büyüme üzerindeki etkisini incelemiştir. Toprağa belli 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. Elde edilen veriler 4 günde bir kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar, çimlenme üzerinde yaklaşık %27.8 ve boy oranı üzerinde ise %32.1 oranında olumlu bir etki göstermiştir. Lee ve Oh (2020), iki çeşit yaprak lahanası (*Brassica oleracea* var. *acephala*) üzerine yapmış oldukları çalışmada elektrik alanlarının etkisini araştırmışlar. Hidroponik olarak yetiştirilen bitkilerin besin çözeltilisine üç hafta boyunca üç seviyeli elektrik akımı (10, 50 ve 100 mA) uygulanmış. Başta 50 mA olmak üzere elektrik alanlarına maruz kalan lahanası bitkileri kontrole kıyasla sürgün ve kök büyümesinde önemli bir azalmaya neden olmuş. Liu ve ark. (2021), tarafından yapılan bir çalışmada, pamuk bitkisi sürekli olarak farklı yoğunluklarda (0 kV/m, 2 kV/m ve 10 kV/m) güç frekanslı elektrik alanına (PF EF) maruz bırakılmış, pamuk üzerindeki etkileri incelemiş ve çalışma sonunda elektrik yoğunluğunun, pamukta bitki boyunu önemli ölçüde artırdığı rapor edilmiştir.

Scopa ve ark. (2009), tarafından yapılan bir çalışmaya göre Kargı Kamışı (*Arundo donax* L.) 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), iki çeşit yaprak lahanası (*Brassica oleracea* var. *acephala*) üzerindeki elektrik alanlarının etkisini araştırmışlar. Hidroponik olarak yetiştirilen bitkilerin besin çözeltilisine üç hafta boyunca üç seviyeli elektrik akımı (10, 50 ve 100 mA) uygulanmıştır. 50 mA’ya Elektrik akımına maruz kalan TBC çeşidinin bitkileri kontrol bitkilerine göre kök boyu konusunda artış farkı tespit edilmiştir.

Gogo ve ark. (2016), yapmış oldukları bir çalışmada Afrika it üzümü bitkisi üzerinde 8 volt ve 16 volt DC elektrik akımı uygulamışlardır. Voltaj uygulamaları, Afrika it üzümü bitkilerinde gövde çapının olumsuz etkilediği ve kontrol bitkilerinin elektrik uygulamalarına göre daha yüksek gövde çapına sahip oldukları rapor edilmiştir. Lee ve Oh, (2020) iki çeşit yaprak lahanası (*Brassica oleracea* var. *acephala*) üzerine yapmış oldukları çalışmada uygulamış oldukları elektrik akımlarının hidroponik ortamda yetiştirilen bitkilerde gövde çapının farklı etkilendiğini bir çeşit üzerinde olumlu etki yaparken, diğer çeşit üzerine herhangi bir etki yapmadığı rapor 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 elektrik gövde çapı farklı dönemde farklı etkiler göstermiş olduğu, çıkış sonrası ve fide büyüme döneminde olumlu etki yaptığı, verim döneminde gövde çapı oranlarının birbirine benzer değerler aldığı ve bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 2. *Ispanak Uygulamalarında Bitki Boyu (cm), Kök Boyu (cm), Gövde Çapı (cm) ve Yaprak Sayısı (Adet) Değerlerinin Belirlenmesi. Veriler \pm Standart Hata Olarak İfade Edilmiştir.*

Uygulamalar	Matador	Acosta	Revere F1	Rembrandt F1	Ortalama
Bitki Boyu (cm)					
0 volt	14.410 \pm 1.166	9.744 \pm 1.108	12.900 \pm 1.562	11.885 \pm 0.648	12.235 \pm 0.648
2 volt	16.120 \pm 1.308	9.033 \pm 1.089	10.090 \pm 1.928	10.300 \pm 0.489	11.386 \pm 0.952
4 volt	15.660 \pm 1.591	8.038 \pm 0.562	10.780 \pm 0.536	10.080 \pm 1.534	11.139 \pm 0.892
8 volt	13.480 \pm 1.350	8.925 \pm 0.901	11.180 \pm 1.063	9.755 \pm 0.784	10.835 \pm 0.646
Ortalama	14.918 \pm 0.666 ^{A***}	8.935 \pm 0.449 ^C	11.238 \pm 0.671 ^B	10.505 \pm 0.476 ^B	
Kök Boyu (cm)					
0 volt	6.030 \pm 0.514	6.560 \pm 0.785	4.715 \pm 0.571	4.619 \pm 1.128	5.481 \pm 0.413
2 volt	4.490 \pm 0.337	5.189 \pm 0.780	4.300 \pm 0.534	6.283 \pm 0.928	5.065 \pm 0.366
4 volt	5.342 \pm 1.236	6.875 \pm 0.828	4.420 \pm 0.168	5.463 \pm 0.612	5.525 \pm 0.427
8 volt	5.135 \pm 0.756	5.880 \pm 1.201	6.420 \pm 0.737	4.580 \pm 0.892	5.504 \pm 0.448
Ortalama	5.249 \pm 0.380	6.126 \pm 0.443	4.964 \pm 0.328	5.236 \pm 0.445	
Gövde Çapı (cm)					
0 volt	0.765 \pm 0.124	0.765 \pm 0.098	0.563 \pm 0.040	0.615 \pm 0.081	0.677 \pm 0.047
2 volt	0.835 \pm 0.159	0.455 \pm 0.089	0.555 \pm 0.152	0.580 \pm 0.122	0.606 \pm 0.070
4 volt	0.516 \pm 0.031	0.565 \pm 0.081	0.525 \pm 0.019	0.415 \pm 0.104	0.505 \pm 0.034
8 volt	0.637 \pm 0.085	0.630 \pm 0.131	0.560 \pm 0.137	0.275 \pm 0.049	0.525 \pm 0.061
Ortalama	0.688 \pm 0.059 ^{A**}	0.604 \pm 0.054 ^{AB}	0.551 \pm 0.047 ^{BC}	0.471 \pm 0.054 ^C	
Yaprak Sayısı (Adet)					
0 volt	8.100 \pm 0.823	9.650 \pm 0.465	8.450 \pm 0.287	9.000 \pm 0.837	8.800 \pm 0.327
2 volt	9.800 \pm 1.699	8.550 \pm 0.732	8.400 \pm 0.698	9.750 \pm 1.037	9.125 \pm 0.527
4 volt	9.000 \pm 0.868	9.238 \pm 0.657	9.000 \pm 0.779	9.300 \pm 0.835	9.134 \pm 0.354
8 volt	8.400 \pm 0.346	10.050 \pm 1.159	8.400 \pm 0.589	9.800 \pm 0.678	9.163 \pm 0.391
Ortalama	8.825 \pm 0.500	9.372 \pm 0.383	8.563 \pm 0.28	9.463 \pm 0.392	

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

Yaprak- Kök Yaş ve Kuru Ağırlık

Farklı dozlarda doğru akım uygulaması yapılan ıspanak bitkisinde yaprak yaş-kuru ağırlık (gr) ve kök yaş- kuru ağırlık (gr) bakımından elde edilen veriler Tablo 3'te verilmiştir. Tablo incelendiğinde bakılan parametrelerden elde edilen veriler istatistiksel olarak incelendiğinde önemli bir fark bulunmadığı tespit edilmiştir (Tablo 3).

Afrika it üzümü bitkisi üzerine yapılan bir çalışmada, elektrik uygulamalarının it üzümünde yaprak yaş ve kuru ağırlığını sırasıyla %14.4 ve %24.4 önemli oranda arttırdığı rapor edilmiştir (Gogo ve ark., 2016). Hidroponik ortamda yetiştirilen lahanalara farklı seviyelerde (10, 50 ve 100 mA) DC akımı uygulanmış, elde edilen veriler ışığında kontrole göre 50 ve 100 mA uygulamalarında yaprak kuru ağırlığının sırasıyla %61 ve %34, kök kuru ağırlığının ise kontrol bitkilerine göre 1.7 kat daha artış göstermiş olduğu belirlenmiştir (Lee ve Oh., 2020).

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 uygulamalarının yaprak kuru ağırlığı oranı üzerinde artış gösterdiği tespit edilmiştir. Yaprak-kök yaş ve kuru ağırlığı bakımından yaptığımız çalışmada farklı seviyelerde uygulanan elektrik akımlarının çeşit arasında genel olarak artış ve azalışların olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 3. *Ispanak Uygulamalarında Yaprak Yaş-Kuru Ağırlık (gr) ve Kök Yaş- Kuru Ağırlık (gr) Değerlerinin Belirlenmesi. Veriler \pm Standart Hata Olarak İfade Edilmiştir.*

Uygulamalar	Matador	Acosta	Revere F1	Rembrandt F1	Ortalama	
Yaprak yaş ağırlık (gr)	0 volt	4.080 \pm 0.815	4.645 \pm 1.269	5.230 \pm 1.220	5.115 \pm 0.928	4.768 \pm 0.495
	2 volt	6.065 \pm 1.583	3.910 \pm 1.223	4.520 \pm 1.343	5.070 \pm 1.021	4.891 \pm 0.620
	4 volt	6.405 \pm 1.454	4.114 \pm 1.131	4.920 \pm 1.236	5.485 \pm 1.431	5.231 \pm 0.628
	8 volt	4.180 \pm 0.945	4.450 \pm 1.361	4.755 \pm 1.284	6.137 \pm 1.371	4.881 \pm 0.593
	Ortalama	5.183 \pm 0.620	4.280 \pm 0.563	4.856 \pm 0.572	5.452 \pm 0.551	
Yaprak kuru ağırlık (gr)	0 volt	0.299 \pm 0.093	0.352 \pm 0.124	0.362 \pm 0.130	0.417 \pm 0.107	0.357 \pm 0.052
	2 volt	0.447 \pm 0.153	0.252 \pm 0.092	0.298 \pm 0.138	0.386 \pm 0.105	0.346 \pm 0.059
	4 volt	0.471 \pm 0.145	0.264 \pm 0.094	0.452 \pm 0.143	0.410 \pm 0.140	0.399 \pm 0.063
	8 volt	0.265 \pm 0.070	0.423 \pm 0.120	0.262 \pm 0.064	0.431 \pm 0.103	0.431 \pm 0.103
	Ortalama	0.370 \pm 0.059	0.323 \pm 0.052	0.343 \pm 0.058	0.411 \pm 0.051	
Kök yaş ağırlık (gr)	0 volt	0.188 \pm 0.032	0.350 \pm 0.124	0.205 \pm 0.067	0.250 \pm 0.087	0.248 \pm 0.041
	2 volt	0.230 \pm 0.075	0.165 \pm 0.038	0.140 \pm 0.040	0.270 \pm 0.118	0.201 \pm 0.036
	4 volt	0.180 \pm 0.046	0.230 \pm 0.079	0.125 \pm 0.025	0.240 \pm 0.076	0.194 \pm 0.030
	8 volt	0.180 \pm 0.039	0.250 \pm 0.125	0.150 \pm 0.044	0.218 \pm 0.030	0.244 \pm 0.038
	Ortalama	0.194 \pm 0.023	0.249 \pm 0.047	0.155 \pm 0.022	0.199 \pm 0.033	
Kök kuru ağırlık (gr)	0 volt	0.012 \pm 0.005	0.034 \pm 0.015	0.018 \pm 0.009	0.021 \pm 0.011	0.021 \pm 0.005
	2 volt	0.018 \pm 0.008	0.016 \pm 0.005	0.019 \pm 0.013	0.031 \pm 0.017	0.021 \pm 0.005
	4 volt	0.020 \pm 0.008	0.021 \pm 0.010	0.012 \pm 0.006	0.020 \pm 0.005	0.018 \pm 0.004
	8 volt	0.014 \pm 0.006	0.022 \pm 0.011	0.014 \pm 0.006	0.021 \pm 0.004	0.017 \pm 0.003
	Ortalama	0.016 \pm 0.003	0.023 \pm 0.005	0.016 \pm 0.004	0.023 \pm 0.005	

Gerçekleştirmiş olduğumuz çalışma literatür ile kıyaslandığına sonuçların nispeten farklı olduğu; ıspanakta çeşitler arasındaki uygulamaların istatistiksel olarak daha önem arz ettiği anlaşılmaktadır. Çalışılan tür farklılığı ve kullandığımız elektrik doz ve süresi farklı olması nedeniyle bitki boyu, kök boyu, gövde çapı ve yaprak sayısının farklı tepkiler gösterdiği düşünülmektedir.

Yaprak Alanı

Elektrik uygulaması yapılan ıspanak bitkisinde yaprak alanı (cm²), krolofil (SPAD değeri) ve MDA miktarı bakımından elde edilen veriler Tablo 4'te sunulmuştur. Tablo incelendiğinde yaprak alanı verilerinin hem çeşitler hem de çeşit ve elektrik uygulaması interaksyonu arasında, klorofil miktarının ise sadece çeşitler arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğu 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 yaprak lahanası (*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 lahanalar bitkilerinde kontrol bitkilere kıyasla yaprak alanı

değerlerinde önemli bir artış olduğu izlenmiştir. Gogo ve ark. (2016), Afrika itüzümü bitkisi üzerinde DC elektrik akımı (8 volt ve 16 volt) olmak üzere bitki üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Voltaj dozları, karotenoidler (β -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.

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), 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.

Gerçekleştirmiş olduğumuz çalışma, literatür ile kıyaslandığında sonuçların benzerlik gösterdiği, klorofil miktarı (SPAD değeri) üzerinde çeşitlere bağlı olarak nispeten bazı artışlar olduğu gözlenmiştir.

Tablo 4. *Ispanak Uygulamalarında Yaprak Alanı Değerleri (cm²), Klorofil Miktarı (SPAD Değeri) ve MDA (gr/YA) Değerlerinin Belirlenmesi. Veriler \pm Standart Hata Olarak İfade Edilmiştir.*

Uygulamalar	Matador	Acosta	Revere F1	Rembrandt F1	Ortalama	
Yaprak Alanı (cm ²)	0 volt	14.771 \pm 3.000 ^{cd*}	15.436 \pm 4.884 ^{cd}	15.688 \pm 1.863 ^{cd}	23.425 \pm 2.035 ^b	17.330 \pm 1.690
	2 volt	21.175 \pm 2.721 ^{bc}	14.107 \pm 3.880 ^d	14.380 \pm 2.912 ^{cd}	19.463 \pm 2.624 ^{b-d}	17.281 \pm 1.591
	4 volt	31.271 \pm 3.000 ^a	15.062 \pm 3.811 ^{cd}	12.990 \pm 1.478 ^d	17.387 \pm 1.651 ^{b-d}	19.177 \pm 2.198
	8 volt	15.606 \pm 2.006 ^{cd}	16.488 \pm 3.108 ^{cd}	18.019 \pm 2.454 ^{b-d}	17.117 \pm 2.792 ^{b-d}	16.807 \pm 1.195
	Ortalama	20.706 \pm 2.087 ^{A*}	15.273 \pm 1.790 ^B	15.269 \pm 1.112 ^B	19.348 \pm 1.225 ^A	
Klorofil Miktarı (SPAD Değeri)	0 volt	38.125 \pm 2.002	44.275 \pm 2.527	36.625 \pm 3.006	39.350 \pm 2.408	39.594 \pm 1.346
	2 volt	39.925 \pm 3.959	41.675 \pm 3.784	33.300 \pm 2.797	38.700 \pm 1.556	38.400 \pm 1.632
	4 volt	41.175 \pm 2.284	45.525 \pm 2.500	37.725 \pm 1.597	38.300 \pm 2.508	40.681 \pm 1.285
	8 volt	39.350 \pm 1.063	46.325 \pm 4.285	35.575 \pm 3.308	37.700 \pm 1.987	39.738 \pm 1.674
	Ortalama	39.644 \pm 1.175 ^{B***}	44.450 \pm 1.572 ^A	35.806 \pm 1.302 ^C	38.513 \pm 0.973 ^B	
MDA (gr / YA)	0 volt	0.532 \pm 0.028	0.895 \pm 0.444	0.774 \pm 0.121	0.452 \pm 0.143	0.663 \pm 0.117
	2 volt	0.565 \pm 0.084	0.702 \pm 0.238	0.952 \pm 0.227	0.863 \pm 0.185	0.770 \pm 0.095
	4 volt	0.573 \pm 0.208	0.524 \pm 0.556	0.629 \pm 0.028	0.750 \pm 0.669	0.619 \pm 0.073
	8 volt	0.677 \pm 0.121	0.556 \pm 0.090	0.927 \pm 0.092	0.669 \pm 0.229	0.708 \pm 0.073
	Ortalama	0.587 \pm 0.059	0.669 \pm 0.123	0.821 \pm 0.070	0.683 \pm 0.094	

*: $p \leq 0.05$, ***= $p < 0.001$ Düzeyinde önemli

Katalaz (CAT) Aktivitesi

Elektrik uygulaması yapılan ıspanak bitkisinde yaprakta enzim miktarı bakımından elde edilen veriler Tablo 5'te sunulmuştur. Tablo incelendiğinde CAT enzim miktarının elektrik uygulaması

arasında, APX ve SOD enzim miktarının ise hem çeşitler hem de çeşit ve elektrik uygulamaları interaksyonu arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğu tespit edilmiştir.

Leong ve ark. (2016), 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), 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 interaksyonunun önem arz ettiği anlaşılmaktadır.

Tablo 5. Ispanak Uygulamalarında Yaprakta Enzim Aktivite Değerlerinin Belirlenmesi. Veriler \pm Standart Hata Olarak İfade Edilmiştir.

	Uygulamalar	Matador	Acosta	Revere F1	Rembrandt F1	Ortalama
CAT enzimi	0 volt	0.0055 \pm 0.0022	0.0073 \pm 0.0038	0.0056 \pm 0.0008	0.0047 \pm 0.0010	0.0058 \pm 0.0011 ^{B*}
	2 volt	0.0297 \pm 0.0096	0.0159 \pm 0.0130	0.0056 \pm 0.0009	0.0077 \pm 0.0056	0.0147 \pm 0.0045 ^A
	4 volt	0.0125 \pm 0.0081	0.0047 \pm 0.0014	0.0091 \pm 0.0041	0.0045 \pm 0.0031	0.0077 \pm 0.0023 ^{AB}
	8 volt	0.0055 \pm 0.0015	0.0059 \pm 0.0019	0.0033 \pm 0.0011	0.0045 \pm 0.0013	0.0048 \pm 0.0007 ^B
	Ortalama	0.0133 \pm 0.0038	0.0085 \pm 0.0033	0.0059 \pm 0.0011	0.0054 \pm 0.0015	
	APX enzimi	0 volt	0.705 \pm 0.297 ^{a**}	0.214 \pm 0.108 ^{bc}	0.134 \pm 0.070 ^c	0.335 \pm 0.039 ^{bc}
	2 volt	0.254 \pm 0.162 ^{bc}	0.219 \pm 0.106 ^{bc}	0.107 \pm 0.043 ^c	0.259 \pm 0.129 ^{bc}	0.210 \pm 0.055
	4 volt	0.567 \pm 0.084 ^{ab}	0.165 \pm 0.040 ^c	0.134 \pm 0.075 ^c	0.290 \pm 0.031 ^{bc}	0.289 \pm 0.052
	8 volt	0.138 \pm 0.064 ^c	0.411 \pm 0.109 ^{a-c}	0.125 \pm 0.053 ^c	0.723 \pm 0.196 ^{a**}	0.349 \pm 0.083
	Ortalama	0.416 \pm 0.099 ^{A***}	0.252 \pm 0.049 ^{AB}	0.125 \pm 0.028 ^B	0.402 \pm 0.072 ^A	
SOD enzimi	0 volt	3.831 \pm 0.880 ^{b**}	1.963 \pm 0.098 ^b	3.100 \pm 0.557 ^b	32.559 \pm 3.640 ^b	10.799 \pm 3.623
	2 volt	3.533 \pm 0.894 ^b	3.487 \pm 1.245 ^b	3.141 \pm 1.424 ^b	32.620 \pm 8.003 ^a	10.695 \pm 3.756
	4 volt	2.226 \pm 0.140 ^b	1.793 \pm 0.242 ^b	3.041 \pm 0.644 ^b	37.566 \pm 9.099 ^a	11.157 \pm 4.436
	8 volt	2.351 \pm 0.422 ^b	42.662 \pm 8.814 ^a	1.637 \pm 0.037 ^b	42.804 \pm 12.496 ^a	22.394 \pm 6.688
	Ortalama	2.929 \pm 0.337 ^{C***}	10.464 \pm 4.567 ^B	2.803 \pm 0.426 ^C	36.387 \pm 4.123 ^A	

*** = $p < 0.001$, ** = $p < 0.01$ ve * = $p < 0.05$ Düzeyinde önemli

Ispanakta Elektrik Uygulamalarının Bitki Besin Elementleri Miktarlarına Etkisinin Değerlendirilmesi

Yapılan çalışma sonunda ıspanak bitkisinin yapraklarında makro (fosfor (P), magnezyum (Mg), kalsiyum (Ca) ve potasyum (K)) ve mikro (mangan (Mn), demir (Fe), çinko (Zn) ve bakır (Cu)) besin element içeriklerine ait veriler Tablo 6 ve Tablo 7’de verilmiştir. Ispanak yaprağında elde edilen veriler ışığında P % miktarı hem çeşit hem de çeşit ve elektrik uygulaması interaksyonu arasında, Mg% miktarı çeşit, elektrik uygulaması ve çeşit ve elektrik uygulaması interaksyonu arasında, Ca% miktarı çeşitler ve K% miktarı ise çeşit ve elektrik uygulaması interaksyonu arasında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 6). Ispanak yaprağında mikro elementlerden Fe ve Mn (ppm) içeriği hem çeşit hem de çeşit ve elektrik uygulaması interaksyonu arasında, Cu ve Zn (ppm) içeriği ise çeşit ve elektrik uygulaması interaksyonu arasında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Tablo 7).

Gogo ve ark. (2016), 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), iki çeşit yaprak lahanası (*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 muameleleri 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.

Tablo 6. *İspanak Uygulamalarında Yaprakta Makro Mineral Madde (%) Miktarının Belirlenmesi. Veriler \pm Standart Hata Olarak İfade Edilmiştir.*

	Uygulamalar	Matador	Acosta	Revere F1	Rembrandt F1	Ortalama
P (%)	0 volt	0.789 \pm 0.058 ^{b-d} **	0.856 \pm 0.037 ^{a-c}	0.716 \pm 0.022 ^{c-e}	0.740 \pm 0.016 ^{b-e}	0.755 \pm 0.022
	2 volt	0.865 \pm 0.018 ^{a-c}	0.745 \pm 0.053 ^{b-e}	0.679 \pm 0.058 ^{de}	0.844 \pm 0.025 ^{a-c}	0.783 \pm 0.027
	4 volt	0.897 \pm 0.053 ^{ab}	0.956 \pm 0.068 ^a	0.723 \pm 0.051 ^{c-e}	0.749 \pm 0.024 ^{b-e}	0.831 \pm 0.034
	8 volt	0.977 \pm 0.103 ^a	0.851 \pm 0.037 ^{a-c}	0.598 \pm 0.051 ^e	0.628 \pm 0.014 ^e	0.764 \pm 0.049
	Ortalama	0.882 \pm 0.034 ^{A***}	0.852 \pm 0.030 ^A	0.679 \pm 0.025 ^B	0.740 \pm 0.022 ^B	
Mg (%)	0 volt	0.722 \pm 0.0051 ^{b-d} *	0.691 \pm 0.021 ^{b-d}	0.706 \pm 0.017 ^{b-d}	0.696 \pm 0.066 ^{b-d}	0.704 \pm 0.020 ^{AB*}
	2 volt	0.964 \pm 0.026 ^a	0.880 \pm 0.215 ^{ab}	0.527 \pm 0.046 ^d	0.703 \pm 0.024 ^{b-d}	0.769 \pm 0.066 ^A
	4 volt	0.953 \pm 0.016 ^a	0.544 \pm 0.086 ^d	0.621 \pm 0.054 ^{a-c}	0.639 \pm 0.021 ^{cd}	0.689 \pm 0.047 ^{AB}
	8 volt	0.844 \pm 0.052 ^{a-c}	0.592 \pm 0.008 ^d	0.511 \pm 0.057 ^d	0.650 \pm 0.022 ^{cd}	0.649 \pm 0.036 ^B
	Ortalama	0.871 \pm 0.031 ^{A***}	0.677 \pm 0.062 ^B	0.591 \pm 0.029 ^B	0.672 \pm 0.019 ^B	
Ca (%)	0 volt	0.808 \pm 0.052	0.650 \pm 0.088	0.773 \pm 0.046	0.926 \pm 0.082	0.845 \pm 0.031
	2 volt	0.874 \pm 0.059	0.814 \pm 0.069	0.931 \pm 0.206	0.963 \pm 0.034	0.840 \pm 0.062
	4 volt	0.829 \pm 0.049	0.720 \pm 0.059	0.613 \pm 0.047	0.846 \pm 0.013	0.752 \pm 0.032
	8 volt	0.860 \pm 0.062	0.627 \pm 0.055	0.661 \pm 0.042	0.925 \pm 0.024	0.768 \pm 0.039
	Ortalama	0.828 \pm 0.027 ^{AB**}	0.718 \pm 0.039 ^C	0.745 \pm 0.059 ^{BC}	0.915 \pm 0.023 ^A	
K (%)	0 volt	5.926 \pm 0.602 ^{a-c*}	7.723 \pm 0.213 ^a	7.152 \pm 0.180 ^{a-c}	6.273 \pm 0.442 ^{a-c}	6.769 \pm 0.256
	2 volt	7.240 \pm 0.192 ^{a-c}	6.078 \pm 0.485 ^{a-c}	7.529 \pm 1.180 ^{a-c}	6.759 \pm 0.234 ^{a-c}	6.902 \pm 0.326
	4 volt	7.115 \pm 0.219 ^{a-c}	6.924 \pm 0.464 ^{a-c}	5.797 \pm 0.707 ^c	6.374 \pm 0.070 ^{a-c}	6.552 \pm 0.237
	8 volt	7.037 \pm 0.188 ^{a-c}	5.537 \pm 1.114 ^c	6.650 \pm 0.121 ^{a-c}	6.561 \pm 0.022 ^{a-c}	6.507 \pm 0.240
	Ortalama	6.829 \pm 0.206	6.634 \pm 0.333	6.782 \pm 0.354	6.492 \pm 0.123	

*** = $p < 0.001$ Düzeyinde önemli, ** = $p < 0.01$ ve * = $p < 0.05$ Düzeyinde önemli

Gerçekleştirmiş olduğumuz çalışma literatür ile kıyaslandığında sonuçların nispeten farklı olduğu; ıspanakta hem çeşitlerin hem de çeşit-elektrik uygulamaları interaksyonunun 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.

Tablo 7. *Ispanak Uygulamalarında Yaprakta Mikro Mineral Madde (ppm) Miktarının Belirlenmesi. Veriler \pm Standart Hata Olarak İfade Edilmiştir.*

	Uygulamalar	Matador	Acosta	Revere F1	Rembrandt F1	Ortalama
Fe (ppm)	0 volt	1072.15 \pm 36.817a**	817.31 \pm 115.430 b-e	578.94 \pm 62.194 ef	685.48 \pm 41.601 c-f	788.47 \pm 57.249
	2 volt	756.31 \pm 118.268 b-f	518.21 \pm 43.91 f	675.65 \pm 75.743 c-f	899.11 \pm 13.568 a-c	712.32 \pm 48.539
	4 volt	669.27 \pm 65.035 c-f	704.47 \pm 30.275 b-f	622.13 \pm 92.127 d-f	851.94 \pm 10.562 a-c	711.95 \pm 34.346
	8 volt	927.72 \pm 45.400 ab	517.42 \pm 69.059 f	687.10 \pm 155.536 c-f	902.04 \pm 79.169 a-c	758.57 \pm 61.145
	Ortalama	856.36 \pm 51.893 A***	639.35 \pm 46.236 B	640.96 \pm 47.326 B	834.64 \pm 30.586 A	
Mn (ppm)	0 volt	45.187 \pm 1.335 a-c	41.885 \pm 2.995 a-d	40.760 \pm 2.833 b-d	44.387 \pm 3.070 a-c	43.055 \pm 1.275
	2 volt	43.351 \pm 5.348 a-d	37.903 \pm 2.821 cd	41.420 \pm 8.026 a-d	52.577 \pm 3.686 ab	43.813 \pm 2.773
	4 volt	38.037 \pm 0.727 cd	46.488 \pm 2.229 a*	42.134 \pm 3.587 a-d	53.207 \pm 1.341 a*	44.966 \pm 1.764
	8 volt	52.523 \pm 4.167 ab	32.440 \pm 2.225 d	40.825 \pm 4.033 b-d	48.823 \pm 1.487 a-c	43.653 \pm 2.455
	Ortalama	44.774 \pm 2.051 AB	39.679 \pm 1.767 B	41.285 \pm 2.258 B	49.748 \pm 1.476 A**	
Cu (ppm)	0 volt	15.290 \pm 0.456 b*	8.935 \pm 0.700 b	9.730 \pm 0.238 b	9.370 \pm 0.423 b	10.831 \pm 0.703
	2 volt	12.186 \pm 0.409 b	8.437 \pm 0.359 b	8.197 \pm 0.476 b	36.610 \pm 20.220 a	16.357 \pm 5.454
	4 volt	11.747 \pm 0.278 b	13.179 \pm 1.076 b	8.741 \pm 1.000 b	10.727 \pm 0.862 b	11.098 \pm 0.568
	8 volt	15.120 \pm 1.830 b	10.097 \pm 0.982 b	8.597 \pm 0.625 b	8.610 \pm 1.131 b	10.606 \pm 0.881
	Ortalama	13.586 \pm 0.606	10.162 \pm 0.603	8.816 \pm 0.324	16.329 \pm 5.453	
Zn (ppm)	0 volt	119.753 \pm 56.233 a-c*	154.420 \pm 11.553 a-c	116.107 \pm 21.879 a-c	114.870 \pm 4.584 a-c	126.288 \pm 14.407
	2 volt	47.649 \pm 2.739 c	141.390 \pm 31.466 a-c	178.043 \pm 47.820 a-c	138.083 \pm 17.102 a-c	126.291 \pm 18.239
	4 volt	198.740 \pm 96.733 ab	247.330 \pm 12.761 a	116.747 \pm 12.989 a-c	147.187 \pm 32.391 a-c	177.501 \pm 26.505
	8 volt	97.503 \pm 38.050 bc	109.497 \pm 17.924 bc	209.903 \pm 65.219 ab	114.213 \pm 5.354 a-c	132.779 \pm 20.910
	Ortalama	115.911 \pm 29.944	163.159 \pm 15.988	155.200 \pm 21.635	128.588 \pm 9.133	

*** = $p < 0.001$, ** = $p < 0.01$ ve * = $p < 0.05$ Düzeyinde önemli

SONUÇ

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

KAYNAKÇA

- 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.
- Dannehl, D. (2018). Effects of electricity on plant responses. *Scientia Horticulturae*, 234, 382-392.
- 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.
- FAO (2019). Food and agricultural organization bitkisel ürünler istatistikleri, <http://www.fao.org>

- 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.
- 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.
- 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.
- Kabay, T., Şensoy, S. (2016). Kuraklık stresinin bazı fasulye genotiplerinde oluşturduğu enzim, klorofil ve iyon değişimleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3), 380-395.
- 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.
- 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
- Novak, V., Bjeliš, M. (2015). Effect of electricity on growth and development of several plant species. <https://paperzz.com/doc/6851406/effect-of-electricity-on-growth-and-development-of>
- 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*, 55(2), 648-657.
- 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.
- Sensoy, S., Turkmen, O., & Gorgun, Y. (2011). Determination of suitable sowing dates for spinach production in Van ecological condition. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 21, 140-145.
- 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.
- Türkmen, Ö., Şensoy, S., Erdal, İ., & Kabay, T. (2002). Kalsiyum uygulamalarının tuzlu fide yetiştirme ortamlarında domateste çıkış ve fide gelişimi üzerine etkileri. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 12(2), 53-57.

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.