



Ultrasonik Ses Dalgalarının Çilek Fidelerinin Bazı Vejetatif Büyüme ve Kurak Koşullarda Biyokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi

Effect of Ultrasonic Sound Waves on some
Vegetative Growth and Biochemical Characteristics of
Strawberry Seedlings in Drought Conditions

Neslişah AYKOÇ¹, Selcan ÖZYALIN², Gülden BALCI³

¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Yozgat
· nesliaykoc@gmail.com · ORCID > 0009-0003-5761-3668

²Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Yozgat
· slcntsc@gmail.com · ORCID > 0000-0003-4831-8600

³Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Yozgat
· gulden.balci@bozok.edu.tr · ORCID > 0000-0002-8681-0383

Makale Bilgisi/Article Information

Makale Türü/Article Types: Araştırma Makalesi/Research Article

Geliş Tarihi/Received: 21 Ekim/October 2024

Kabul Tarihi/Accepted: 17 Aralık/December 2024

Yıl/Year: 2025 | **Cilt-Volume:** 40 | **Sayı-Issue:** 1 | **Sayfa/Pages:** 53-72

Atıf/Cite as: Aykoç, N., Özyalin, S., Balci, G. "Ultrasonik Ses Dalgalarının Çilek Fidelerinin Bazı Vejetatif Büyüme ve Kurak Koşullarda Biyokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi" Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 40(1), Şubat 2025: 53-72.

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Gülden BALCI

ULTRASONİK SES DALGALARININ ÇİLEK FİDELERİNİN BAZI VEJETATİF BÜYÜME VE KURAK KOŞULLARDA BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZ

Bu çalışmada, iki aşamalı olarak kurgulanmıştır. Birinci aşamada ses dalgalarının çilek fidelerinin vejetatif ve biyokimyasal özelliklerini belirleme ikinci aşamada ise kuraklık stresine karşı etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Denemede 3 bitki grubu incelemeye alınmıştır. Birinci grupta hiçbir işlem yapılmayıp saksılara dikimi yapılan kontrol bitkileri, ikinci grupta kökleri 30 dakika boyunca 37 kHz ses dalgasına maruz bırakılan ve saksılara dikilen (KSU), son grupta ise deneme boyunca 30 dakika boyunca 37 kHz'lik ses dalgalarına maruz bırakılan su ile sulanan (SUS) bitkiler yer almıştır. Ses dalgalarının etkilerini belirlemek için çilek fidelerinde bazı fiziksel ve biyokimyasal ölçümler yapılmıştır. Çalışmada, ultrasonik ses dalgası uygulamaları içerisinde SUS uygulamasının, hem vejetatif büyüme üzerine hem de biyokimyasal parametreler üzerine etkisi en önemli bulunmuştur. Sırasıyla kontrol bitkilerinde ve SUS bitkilerinde; kök uzunluğu 13.18 ve 20.18 cm bitki-1; yaprak alanı 58.35 ve 199.53 cm² bitki-1; yaprak taze ağırlığı 2.83 ve 8.00 g bitki-1, yaprak kuru ağırlığı 0.79 ve 1.71 g bitki-1; toplam fenolik 3.88 ve 5.18 mg g-1; malondialdehit 4.40 ve 7.43 nmol g-1; prolin 0.16 ve 0.20 µmol g-1; toplam klorofil 273.77 ve 319.73 mg g-1; karotenoid 10.28 ve 10.98 mg g-1 olarak belirlenmiştir. Biyokimyasal parametrelerin interaksyonları incelendiğinde ise Kurak x SUS ve Kurak x KSU uygulamaları önemli bulunmuştur. Sonuç olarak, ses dalgası uygulamaları çilek fidelerinin vejetatif gelişmesine önemli katkı sağlamış ve özellikle kurak koşullarda biyokimyasal yapısında önemli artışlar sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Bitki Gelişimi, Bitkisel Özellikler, Fragaria Ananassa, Ultrases, Su Stresi.



EFFECT OF ULTRASONIC SOUND WAVES ON SOME VEGETATIVE GROWTH AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF STRAWBERRY SEEDLINGS IN DROUGHT CONDITIONS

ABSTRACT

This study aimed to determine the effects of sound waves on the vegetative and biochemical properties of strawberry seedlings. Three plant groups were examined in the experiment. The first group included control plants that were planted in pots without any treatment, the second group included plants whose roots were

exposed to 37 kHz sound waves for 30 minutes and planted in pots (RSW), and the last group included plants that were watered with water that was exposed to 37 kHz sound waves for 30 minutes throughout the experiment (IW). Some physical and biochemical measurements were made on strawberry seedlings to determine the effects of sound waves. In the study, SUS application on both vegetative growth and biochemical parameters was found to be the most important among ultrasonic sound wave applications. In control plants and IW plants respectively; root length 13.18, 20.18 cm plant⁻¹; leaf area 58.35, 199.53 cm² plant⁻¹; leaf fresh weight 2.83, 8.00 g plant⁻¹, leaf dry weight 0.79, 1.71 g plant⁻¹; total phenolic 3.88, 5.18 mg g⁻¹; malondialdehyde 4.40, 7.43 nmol g⁻¹; proline 0.16, 0.20 µmol g⁻¹; total chlorophyll 273.77, 319.73 mg g⁻¹; carotenoids were determined as 10.28 and 10.98 mg g⁻¹. When the interactions on biochemical parameters were examined, Drought x IW and Drought x RSW applications were found to be the most important. As a result, sound wave applications made a significant contribution to the vegetative development of strawberry seedlings and provided significant increases in their biochemical structure, especially in drought conditions.

Keywords: Plant Growth, Vegetative Characteristics, *Fragaria Ananassa*, Ultrasound, Water Stress.



1. GİRİŞ

Üzümsü meyveler içerisinde önemli bir yer tutan çilek (*Fragaria x ananassa* Duch.), *Rosales* takımı, *Rosaceae* familyası, *Fragaria* cinsi içerisinde yer almaktadır. Çilek, zengin bir tür çeşitliliğine sahiptir ve geniş ekolojik sınırlar içerisinde yetiştiriciliği yapılabilen bir türdür. Çilek meyvesinin, birçok meyve türünün bulunmadığı aylarda pazarda bulunabilmesi, tadı ve aroması, insan sağlığına katkısı ile artan bir talebi de beraberinde getirmektedir ve pazarda yüksek fiyatlarla alıcı bulabilmektedir (Çakaryıldırım, 2004; Yılmaz, 2009). Çilek aynı zamanda insan sağlığı açısından önemli olan antosiyanin, karotenoid, flavonol ve flavonoidler gibi fenolik bileşikler ve yüksek C vitamini içermektedir (Yılmaz, 2009; Alexandre ve ark., 2012; Sinha ve ark., 2012; Albaş ve ark., 2022). Taze tüketiminin yanı sıra meyve suyu yapımında, derin dondurma ve konserve yapımında yoğun olarak kullanılmaları nedeniyle çilek üretimi her yıl artmaktadır.

2022 FAO verilerine göre dünyada toplam 398.123 hektar (ha) alanda 9.579.069 ton çilek üretimi yapılmıştır (FAO, 2024). Üretimde ilk sırayı Çin alırken (3.364.007 ton), Çin'i sırasıyla Amerika Birleşik Devleti (1.261.890 ton), Türkiye (728.112 ton), Mısır (637.842 ton) ve Meksika (568.271 ton) takip etmiştir Farklı iklim ve toprak yapısı ile çilek yetiştiriciliğinde önemli bir potansiyeli bulunan Tür-

kiye, dünya çilek üretiminde önemli bir paya (%7.6) sahiptir. 2023 yılı TÜİK verilerine göre Türkiye’de toplam 219.835 dekar (da) alanda 676.818 ton çilek üretimi yapılmıştır (TÜİK, 2024). Üretimde ilk sırayı, toplam çilek üretiminin %24.8’lik kısmını karşılayan Mersin (167.607 ton) alırken, bunu Aydın (106.272 ton), Çanakkale (82.504 ton), Konya (66.908 ton) ve Bursa (45.849 ton) izlemiştir.

Ses, maddesel ortamlarda (katı, sıvı, gaz) boyuna dalgalar halinde yayılan bir enerji türü olarak tanımlanmaktadır. Ses dalgaları, katı, sıvı ve gaz gibi ortamlarda moleküllerin titreşmesi sonucu yayılır. Ses enerjisi ise, bir ses kaynağından yayılan ve ortamda titreşimler oluşturan bir enerji türüdür. Bu enerji moleküllerin hareketinden kaynaklanmaktadır ve bir ortamdan diğerine geçerken enerji taşımaktadır. Ses enerjisi, frekans ve sesin yüksekliği (şiddeti) gibi özelliklere bağlı olarak farklı yoğunluklarda olabilmektedir. İnsan kulağı, 20 hertz (Hz) ile 20 kilohertz (kHz) frekans aralığında kalan sesleri duyma yeteneğine sahiptir. Bu sınırın üzerinde kalan seslere “ultrases”, bu sınırın altında kalan seslere de “infrases” denilmektedir (Peker, 1989; Mason ve ark., 2005; Dikilitaş ve ark., 2016; Dikilitaş ve ark., 2018). Ses dalgası ile ilgili farklı alanlarda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar frekans, ses şiddeti ve süre gibi özellikler kullanılarak çok çeşitlidir. Yapılan çalışmalarda frekans ve ses şiddetinin organizmalar üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri incelenmiştir. Bitkisel üretimde, ses dalgalarının bitki gelişimine (Ananthakrishnan ve ark., 2007), meyve muhafazası ve kalitesine (Ozkurt ve Altuntas, 2018; Görgüç ve ark., 2019) etkileri konularında çalışmalar yapılmıştır.

Ultrasonik ses dalgalarının uygulanması sırasında, en belirgin etki, sıvı içinde hava kabarcıklarının oluşmasına neden olan mekanik etkidir (Raviyan ve ark., 2005). Yüksek enerjili ses dalgaları bir sıvıdan geçerken baloncuklar veya kavitasyon (sıvı gıdalarda kabarcıklar) meydana getirir. Bu süreçte üründe çok az bir sıcaklık artışı olur, bu yüzden sıcaklığa bağlı olumsuz etkiler büyük ölçüde azaltılır (Mason ve Lorimer, 1988). Ultrasonik ses dalgaları bu yolla bitki ya da meyve yüzeyindeki zararlı mikroorganizmaların uzaklaştırılmasında da kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada, klor dioksit (ClO_2) (0, 5, 10, 20, 40 ppm) çözeltisi ile kombine edilen ultrases (170 kHz) uygulamasının, elma ve marul üzerindeki antimikrobiyal etkinliği araştırılmıştır. Elma ve marulun dezenfeksiyonu için yapılan çalışmada, farklı sürelerde ClO_2 uygulaması yapılan ortamın sıcaklığı 20.1 °C iken, 170 kHz ultrasonik ses dalgası uygulanan ortam sıcaklığının elmalarda sırasıyla 3, 6 ve 10 dakika boyunca 40.1, 44.9 ve 50.3 °C’ye çıktığı bildirilmiştir. Benzer sonuçlar maruldan da elde edilmiştir. Araştırmacılar, ultrases uygulamasının sıcaklığı artırarak bazı mikroorganizmaların ölmesini sağlayabileceğini ve bu yolla dezenfeksiyona katkıda bulunabileceğini belirtmişlerdir (Huang ve ark., 2006).

Ultrasonik ses dalgaları, gıda sanayinde oksidasyonu hızlandırma, enzim aktivitesini inhibe etme, emülsiyon, ekstraksiyon, kristalizasyon, filtrasyon, gaz gi-

derme işlemleri için kullanılmaktadır. Ayrıca gıdaların muhafaza ve raf ömürlerini uzatma ile tüketicilerin daha doğal ve daha taze gıda taleplerini karşılamak amacıyla da kullanılmaktadır (Ulusoy ve Karakaya, 2011). Chen ve Zhu (2011), klor dioksit (20, 40 ve 60 mg l⁻¹ ClO₂; 5, 10 ve 15 dakika süreyle) ve ultrasonik ses dalgası (40 kHz frekans; 80, 100 ve 120 W güç; 5, 10 ve 15 dakika süreyle) uygulamalarının erik meyvesinin (*Prunus salicina* L.) hasat sonrası depolama kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırmanın sonucuna göre, 10 dakika boyunca eş zamanlı ClO₂ (40 mg l⁻¹) ve ultrasonik (100 W) işlemlerinin kombinasyonu uygulamasının erik meyvesinin başlangıç mikroflorasını azaltmada ve duyu niteliklerini korumada etkili olduğu ve meyve raf ömrünü de uygulama yapılmayan kontrol bitkilerine göre 25 gün arttırdığı bildirilmiştir.

Ultrases uygulamalarının, tohumların çimlenme oranına ve kalitesine olumlu etkiler yaptığı bilinmektedir. Bu kapsamda birçok farklı tohum üzerinde çalışmalar yapılmıştır (Goussous ve ark., 2010; Aladjadjiyan, 2011; Machikowa ve ark. 2013; Demirsoy ve ark., 2020). Takahashi ve ark. (1991), çimlenen çeltik ve hıyar tohumlarına 2 saat boyunca 50 Hz frekansta bir titreşim uygulamış ve hipokotil uzunluğuna olumlu etkiler yaptığını ifade etmişlerdir. Benzer bulgular Arabidopsis bitkisi üzerinde de elde edilmiştir (Johnson ve ark., 1998).

Ses dalgalarının farklı bitkilere uygulanması ile bu bitkilerin aromatik bileşenlerinde artış sağladığı yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Örneğin, *Actinidia chinensis* (Yang ve ark., 2004), krizantem (Shao ve ark., 2008) ve *Dendrobium candidum* (Li ve ark., 2008), bitkilerine uygulanan ses dalgasının hormon ve enzim seviyelerini arttırdığı bildirilmiştir. *A. chinensis* bitkisine uygulanan 1 kHz frekansında 100 desibel (dB) şiddetindeki ses dalgası ile ATP (Adenozin trifosfat) sentezinde ve hücre dayanıklılığında artış sağlanmıştır. Aynı etki süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) enzim seviyelerinde de gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmada, yaprak, kök ve gövdede artan enzim seviyeleri, malondi-aldehit seviyesindeki azalmayla ilişkili bulunmuştur. Fakat, ses dalgası değerlerinin 1 kHz ve 100 dB seviyesini geçtiği durumda yukarıda bahsedilen değerlerde düşüş yaşandığı ifade edilmiştir (Yang ve ark., 2003). SOD ve CAT enzimleri, süperoksit (O₂⁻) radikal iyonlarının O₂ (oksijen) ve H₂O₂ (hidrojen peroksit) moleküllerine dönüştürülmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, bu enzimlerin seviyesindeki artış, stres metabolitlerinin azaltılmasında önemli bir kaynak olarak işlev görmektedir (Dikilitaş ve ark., 2016).

Ses dalgaları, dokularda hormon düzeylerinin değişimine de etki etmektedir. Bochu ve ark. (2001), yapmış oldukları çalışmalarında, krizantem bitkilerine 1.4 kHz frekansında 95 dB gücündeki ses dalgasını 10 gün süre ile uygulamışlardır. Çalışmanın sonucunda, ses dalgasının indol asetik asit (IAA) seviyesinde artışa, absisik asit (ABA) seviyesinde ise azalmaya neden olduğu ifade edilmiştir. Bu du-

rumun, doku oluşumunu hızlandırdığı gibi farklı doku oluşumuna da yol açtığı bildirilmiştir. Yiyao ve ark. (2002), belirli ses dalgalarının krizantem bitkisinin gelişimine olumlu katkıda bulunduğunu, ancak ses dalgasının enerji seviyesi arttığında bu etkinin tersine döndüğünü belirtmişlerdir. Örneğin, düşük frekanslı ses dalgalarının bitki ve tohumlar üzerinde olumlu etkiler yarattığı bilinirken, yüksek frekanslı ses dalgalarının olumsuz etkiler yaratabileceği de tespit edilmiştir. Hatta, yüksek titreşimli ses dalgaları düşük ses seviyelerinde bile hassas bitkiler üzerinde ölümcül etkilere neden olabilmektedir (Chivukula ve Ramaswamy, 2014). Bu durumlarda, sesin şiddeti kadar frekansı ve bitkinin duyarlılığı da dikkate alınması gereken konulardır.

Çilekte yapılan bir çalışmada, ultrases uygulamasının meyve çürümesi ve çilek meyvesinin fizyolojik kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Hasat edilen çilekler 10 dakika boyunca 20 °C'de 0, 25, 28, 40 ve 59 kHz ultrases ile muamele edilmiş ve ardından 8 gün boyunca 5 °C'de depolanmıştır. Çalışmanın sonunda, 40 kHz ultrases uygulamasının çürüme oranını ve mikroorganizma sayısını önemli ölçüde azalttığı ifade edilmiştir. Ultrases uygulamasının ayrıca meyve sertliğinin azalmasını engellediği ve toplam çözünür kuru madde, toplam titre edilebilir asitlik ve C vitamini seviyelerini önemli ölçüde arttırdığı bildirilmiştir (Cao ve ark., 2010). Benzer şekilde Alexandre ve ark. (2012), ultrases dalgası (35 kHz) ile muamele edilen çilek meyvelerinin 6 günlük oda sıcaklığında depolamasından sonra antosiyanin seviyesinin kimyasal çözelti ile yıkanan meyvelerden daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Başka bir çalışmada çilek meyveleri, su içerisinde 20 dakika boyunca ultrasonik ses dalgasına maruz bırakılmış ve depolama sırasında kalite kayıpları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda ultrasonik ses dalgası ile muamele edilen meyve örneklerinde çürümeler ve kalite kayıpları kontrol grubuna göre daha az olduğu belirlenmiştir (Zhanga ve ark., 2018). Türkiye'de yapılan bir çalışmada, hasat edilen çilekler, ultrases (550 W/35 kHz) ve peroksiasetik asit (40 ppm) ile 5 dakika boyunca yıkanmış, ardından yıkama yapılmayan kontrol grubu çilekler de dahil olmak üzere steril ambalajlara yerleştirilerek 14 gün boyunca +4 °C'de depolanmıştır. Depolama boyunca çileklerde fizikokimyasal ve mikrobiyolojik kalite özellikleri incelenmiştir. Ultrasonik yıkamanın, kavitasyon etkisiyle çileklerde mikrobiyal yükün azaltılması ve biyoaktif özelliklerin korunmasında diğer yöntemlere göre daha etkili olduğu bildirilmiştir (Görgüç ve ark., 2019).

Küresel iklim değişikliğinin etkileri, bitkiler üzerinde birçok olumsuz durumu beraberinde getirmektedir. Doğadaki birçok biyotik ve abiyotik çevresel faktör, bitkilerde strese yol açmaktadır. Bu stres, bitkilerde önemli fizyolojik ve metabolik değişikliklere neden olur. Bu değişiklikler, bitkilerin büyüme ve gelişimini olumsuz etkiler; ürünün kalitesinde ve miktarında azalmaya, hatta bitkinin veya bitki organlarının ölümüne sebep olabilir. Abiyotik stresler arasında, kuraklık stresi bitki büyümesi ve gelişimini en çok etkileyen faktörlerden biridir. Kuraklık

stresi, bitkinin ihtiyaç duyduğu suyun toprakta azalması ve atmosferik koşulların transpirasyon ve evaporasyonu artırması sonucu ortaya çıkar. Bu durum uzun süre devam ederse, önce bitkilerde solgunluk, ardından bitki ölümü gerçekleşir (Kacar ve ark., 2013).

Yapılan literatür taramasında, ultrasonik ses dalgalarının çiçek bitkisinde büyüme ve stres koşullarında dayanımları üzerine bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Çalışmada, ultrasonik ses dalgalarının çiçek fidelerinin vejetatif büyüme ve kurak koşullarda biyokimyasal özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Denemede Monterey nötr gün çiçek çeşidi kullanılmıştır. Bu çeşit erkenci olup meyve kalitesi oldukça iyidir (Balcı ve ark., 2017).

Ses kaynağı olarak ELMA S 80 H Elmasonic model ultrasonik su banyosu kullanılmıştır (Şekil 1). 7.3 litre kapasiteli ultrasonik ses banyosu, 37 kHz frekansında, 150 W gücündedir. Ultrasonik ses banyosu uygulamaları oda koşullarında yapılmıştır.



Şekil 1. Denemede kullanılan ultrasonik su banyosu

Figure 1. Ultrasonic water bath used in the experiment

2.2. Yöntem

Deneme 14.10.2021 tarihinde Yozgat Bozok Üniversitesi'ne ait cam serada kurulmuştur. Fide dikimleri, 1:1 oranında torf:perlit doldurulan 2 litrelik saksılara yapılmıştır. Ultrasonik ses dalgası uygulaması yapılan ve yapılmayan çiçek bitkilerinin genel görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Ultrasonik ses dalgası uygulaması yapılan (KSU ve SUS) (b, c) ve yapılmayan (kontrol) (a) çileklerin genel görüntüsü

Figure 2. General view of strawberries with (RSW and IW) (b, c) and without (control)(a) ultrasonic sound wave application

Deneme 3 uygulama şeklinde yürütülmüştür.

- Kontrol:** Bu gruptaki bitkiler 30 dakika suda bekletilip ve kök budamaları yapılarak saksılara dikilmiştir. Bu grup deneme boyunca çeşme suyu ile sulanmıştır.
- Kök bölgesine ultrasonik ses dalgası uygulaması (KSU):** İkinci gruptaki fideleler, kökleri içi su dolu ultrasonik su banyosuna yerleştirilerek 30 dakika boyunca ses dalgalarına maruz bırakılmış ve saksılara dikilmiştir. Bu gruptaki bitkiler deneme boyunca çeşme suyu ile sulanmıştır.
- Deneme boyunca ultrasonik ses dalgasına maruz bırakılan su ile sulama (SUS):** Üçüncü gruptaki bitkiler ise 30 dakika suda (çeşme suyunda) bekletilip saksılara dikilmiştir. Can suyu da dâhil olmak üzere deneme boyunca ultrasonik ses dalgası uygulanmış (30 dakika) su ile sulanmıştır. Ses dalgası uygulaması sulamadan hemen önce yapılmıştır. Denemede bitkilerin sıvı gübre (18+18+18+İZ; N+P+K+İZ) ile bir kez gübrelenmiştir.

Kontrollü koşullarda yürütülen deneme 2 aşamada değerlendirilmiştir. Birinci aşamada ses dalgalarının çilek fidelerinin vejetatif büyümesi üzerine etkileri incelenmiş, yaklaşık bir ay yürütülen birinci aşamada sadece fiziksel ölçümler yapılmıştır. Uygulamalar tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 15 bitki olacak şekilde kurulmuştur. Ortalamalar arasındaki farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma yöntemine göre belirlenmiştir. Birinci aşamasındaki denemenin deseni Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Araştırmanın birinci aşamasındaki ultrases uygulamasının deneme deseni

Table 1. Trial design of ultrasound application in the first phase of the study

| Uygulama Application | 1. Tekerrür 1. Replication | 2. Tekerrür 2. Replication | 3. Tekerrür 3. Replication |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Kontrol Control | 15 Bitki 15 Plants | 15 Bitki 15 Plants | 15 Bitki 15 Plants |
| KSU RSW | 15 Bitki 15 Plants | 15 Bitki 15 Plants | 15 Bitki 15 Plants |
| SUS IW | 15 Bitki 15 Plants | 15 Bitki 15 Plants | 15 Bitki 15 Plants |

Denemenin ikinci aşamasında ise ses dalgalarının kuraklığa maruz bırakılan çilek fidelerinin bazı biyokimyasal içerikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Bunun için bir önceki aşamada yetiştirilen çilek fideleri kullanılmış olup her uygulama ve tekerrürdeki bitkiler ikiye ayrılmıştır. Normal yetiştirme şartlarındaki bitkilere uygulamalar bir önceki aşamadaki gibi devam edilmiş, kurak koşullardaki bitkiler ise serbest kuraklığa bırakılmıştır. Kuraklık stresine maruz bırakılan fidelerde yaprak solgunluğu görüldüğünde (yaklaşık bir hafta sonra) deneme sonlandırılmış ve yaprak örnekleri alınmıştır. Analizler tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre varyans analizine tabi tutularak ortalamalar arasındaki farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma yöntemine göre belirlenmiştir. İkinci aşamasındaki denemenin deseni Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Araştırmanın ikinci aşamasındaki ultrases ile kuraklık uygulamasının deneme deseni

Table 2. Trial design of drought application with ultrasound in the second phase of the study

| Yetiştirme Koşulu <i>Cultivation Condition</i> | Uygulama <i>Application</i> | 1. Tekerrür <i>1. Replication</i> | 2. Tekerrür <i>2. Replication</i> | 3. Tekerrür <i>3. Replication</i> |
|---|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | Kontrol | 6 Bitki | 6 Bitki | 6 Bitki |
| | <i>Control</i> | 6 Plants | 6 Plants | 6 Plants |
| NormalŞart <i>Normal Condition</i> | KSU | 6 Bitki | 6 Bitki | 6 Bitki |
| | <i>RSW</i> | 6 Plants | 6 Plants | 6 Plants |
| | SUS | 6 Bitki | 6 Bitki | 6 Bitki |
| | <i>IW</i> | 6 Plants | 6 Plants | 6 Plants |
| | Kontrol | 6 Bitki | 6 Bitki | 6 Bitki |
| | <i>Control</i> | 6 Plants | 6 Plants | 6 Plants |
| Kuraklık <i>Drought</i> | KSU | 6 Bitki | 6 Bitki | 6 Bitki |
| | <i>RSW</i> | 6 Plants | 6 Plants | 6 Plants |
| | SUS | 6 Bitki | 6 Bitki | 6 Bitki |
| | <i>IW</i> | 6 Plants | 6 Plants | 6 Plants |

2.2.1. Fiziksel Ölçümler

Fide yaş ağırlığı: Her uygulamadan sökülen 3 bitkinin kökleri çeşme suyu ile yıkanarak kök, gövde ve yapraklarına ayrılmıştır. Daha sonra bu bitki parçaları 0.01 gram (g)'a duyarlı terazide tartılmıştır (Balcı ve ark., 2017).

Fide kuru ağırlığı: Yaş ağırlıkları alınan fide parçaları 70 °C'ye ayarlanan etüvde 5 gün boyunca kurutulmuş ve kurutulan parçalar 0.01 g'a duyarlı terazide tartılmıştır (Balcı ve ark., 2017).

Gövde çapı: Dijital kumpas ile çilek fidelerinin gövde çapları ölçülmüştür.

Kök uzunluğu: Bitkinin kök boğazından itibaren cetvel yardımı ile ölçülmüştür.

Yaprak alanı: Denemede yaprak alanları ADC BioScientific Area Meter AM 300 model yaprak alan ölçer ile ölçülmüştür (Balcı ve ark., 2017).

2.2.2. Biyokimyasal Analizler

Biyokimyasal analizler için deneme boyunca iki kez yaprak örneği alınmıştır. İlk yaprak örneği dikimden yaklaşık 2 ay sonra (normal şartlarda) alınırken ikinci yaprak örneği deneme serbest kuraklığa bırakıldıktan 1 hafta sonra alınmıştır. Alınan yaprak örneklerinde aşağıdaki analizler yapılmıştır.

Klorofil miktarı: Dışı folyo ile kaplanan falcon tüplerinin içerisinde 0.25 g yaprak örneği tartılmıştır. Her tüpe 8 ml aseton konulup örnekler homojenizatörde parçalanmıştır. Örnekler parçalandıktan sonra Watmann 42 filtre kâğıdı ile süzölmüştür. Süzöntüler 645 ve 663 nm dalga boyunda spektrometrede okunmuştur. Veriler, Gunes ve ark. (2007)'nin çalışmasında belirtilen formüle göre hesaplanmıştır.

Karotenoid içeriğinin belirlenmesi: Dışı folyo ile kaplanan falcon tüplerinin içerisinde 0.25 g yaprak örneği tartılmıştır. Her tüpe 8 ml aseton konulup örnekler parçalanmıştır. Parçalama işleminden sonra Watmann 42 filtre kâğıdı ile süzölmüştür. Süzöntüler 480, 663 ve 645 nm'de spektrometrede okunmuştur. Karotenoid miktarları aşağıda verilen formüllere göre mg g^{-1} olarak hesaplanmıştır (Formül 1).

$$\text{Karotenoid (mg g}^{-1}\text{)} = A_{480} + (0.114 \times A_{663} - 0.638 \times A_{645})$$

Prolin analizi: Örneklerde prolin miktarının belirlenmesi Bates ve ark. (1973)'nin metoduna göre yapılmıştır. Buna göre 0.5 gram örnek tartılmış ve üzerine %3'lük sülfosalisilik asit eklenerek homojenizatörde parçalanmıştır.

Daha sonra 4000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmiştir. Üstteki sıvı fazdan 2 ml alıp başka bir cam tüpe aktarılmıştır. İçinde örnek sıvı olan cam tüplerin üzerine 2 ml asit ninhidrin ve glasiyel asidik asit eklenmiştir. Tüpler 100 °C'de 1 saat su banyosunda bekletildikten sonra tüpler, buz içerisinde soğutulmuştur. Daha sonra tüplere 4 ml toulen ilave edilerek 15 saniye vortekslenmiştir. Üstte kalan sıvı faz spektrofotometre küvetlerine aktararak 520 nm'de okuma yapılmıştır.

Malondialdehit (MDA) içeriği: Cam tüplerin içerisinde 0.2 g örnek tartılmıştır. Tartılan örneklerin üzerine 0.25 ml %0.1 trichloroacetic acid (TCA) eklenerek vortekslenmiştir. 4000 rpm'de 5 dakika santrifüjledikten sonra üst fazdan 1 ml alınarak başka cam tüplere aktarılmıştır. Üzerine 4 ml %0.5 2-thiobarbituric acid (TBA) içeren %20'lik TCA ekledikten sonra 95 °C'de yarım saat su banyosunda bekletilmiştir. Sonrasında spektrofotometrede 400, 532 ve 600 nm'de absorbans okumaları yapılmıştır. MDA içeriği Zhang ve ark. (2005)'nin çalışmasında belirtilen formüle göre hesaplanmıştır.

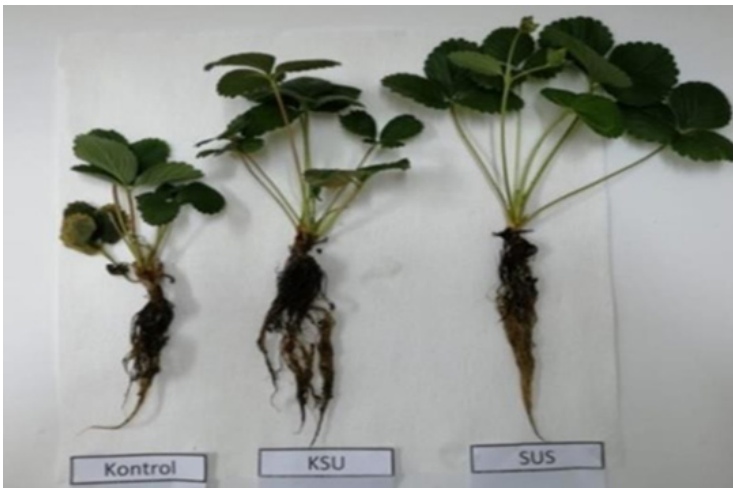
Toplam fenolik madde analizi: Folin Ciocalteu kolorimetrik metodu kullanılarak Singleton ve Rossi (1965)'nin metoduna göre yapılan analizde, falcon tüplerin

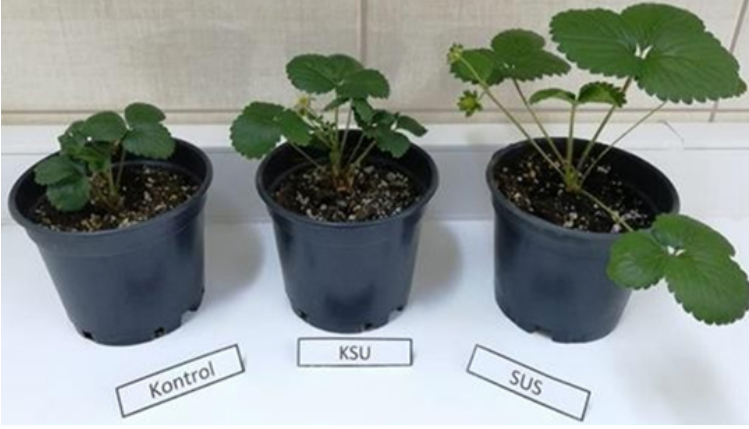
içerisinde 2 g tartılan örneklerin üzerine 5 ml %95'lik ethanol eklenerek homojenizatörde parçalanmıştır. Daha sonra yarım saat 45 °C su banyosunda bekletilmiştir. Su banyosundan çıkarılan örnekler 4000 rpm'de 5 dakika santrifüjlenmiştir. Üstte kalan berrak sıvıyı başka bir falcon tüpe aktarılıp örneklerin içerisindeki ethanolün uçurulması için hazırlanmıştır. Sıvısı uçurulan tüplere 1 ml metanol eklenerek örnekler çözülmüştür. Cam tüplere aktarılan örneklerin üzerine folin, doymuş sodyum karbonat (NaCO_3) ve saf su ilave edildikten sonra oda sıcaklığında 2 saat karanlıkta bekletilmiştir. Spektrofotometre okumaları 765 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Toplam fenolik bileşik miktarları, standart gallik asit çözeltisinden hazırlanan körveden yararlanılarak, gallik asit eşdeğeri (GAE) şeklinde mg g^{-1} cinsinden verilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Ultrasonik Ses Dalgalarının Vejetatif Büyüme Üzerine Etkileri

Ultrasonik ses dalgası uygulamalarının vejetatif büyüme üzerine etkileri Şekil 3'te verilmiştir. Sonuçların, istatistiksel değerlendirilmesinde farklar arasındaki önemlilik düzeyi 0.05 olarak belirlenmiştir. Veriler karşılaştırıldığında ultrasonik ses dalgalarının gövde çapı üzerine istatistiksel olarak etki etmediği belirlenmiştir (Şekil 4). Kök uzunluğu üzerine ultrasonik ses dalgalarının etkisine bakıldığında önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). En uzun kökler SUS uygulamasından elde edilirken en kısa kökler kontrol grubunda belirlenmiştir (sırasıyla 20.18 ± 0.79 - 13.18 ± 1.28 cm). Yaprak alanı incelendiğinde ise kök uzunluğunda olduğu gibi önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4). Denemede yaprak alanları 199.53 ± 19.43 - 58.35 ± 8.78 cm^2 bitki⁻¹ aralığında (sırasıyla SUS ve Kontrol) belirlenmiştir.



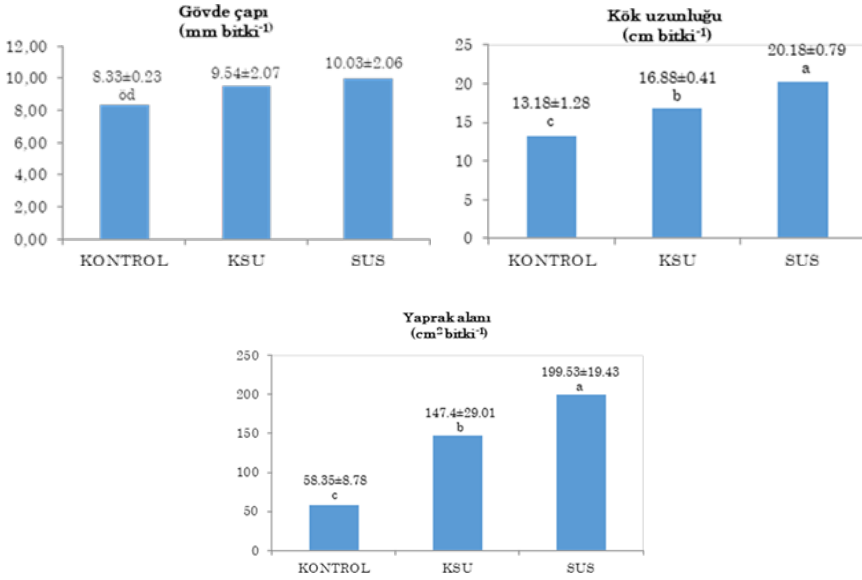


Şekil 3. Ultrasonik ses dalgası uygulaması yapılan (KSU ve SUS) ve yapılmayan (kontrol) bitkiler arasındaki vejetatif büyüme farkı

Figure 3. *Difference in vegetative growth between plants treated with ultrasonic sound waves (RSW and IW) and those not treated (control)*

Yapılan bir çalışmada *Actinidia chinese* bitkisinin fidelerine uygulanan ses dalgalarının kök uzunluğunu, kök aktivitesi gibi değerler üzerine olumlu etkisi olduğu bildirilmiştir (Yang ve ark., 2004). Qi ve ark. (2010), seralarda çilek bitkisi üzerine yürüttükleri çalışmada ses dalgası uygulanan bitkilerin yaprak alanlarının kontrol grubuna oranla daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

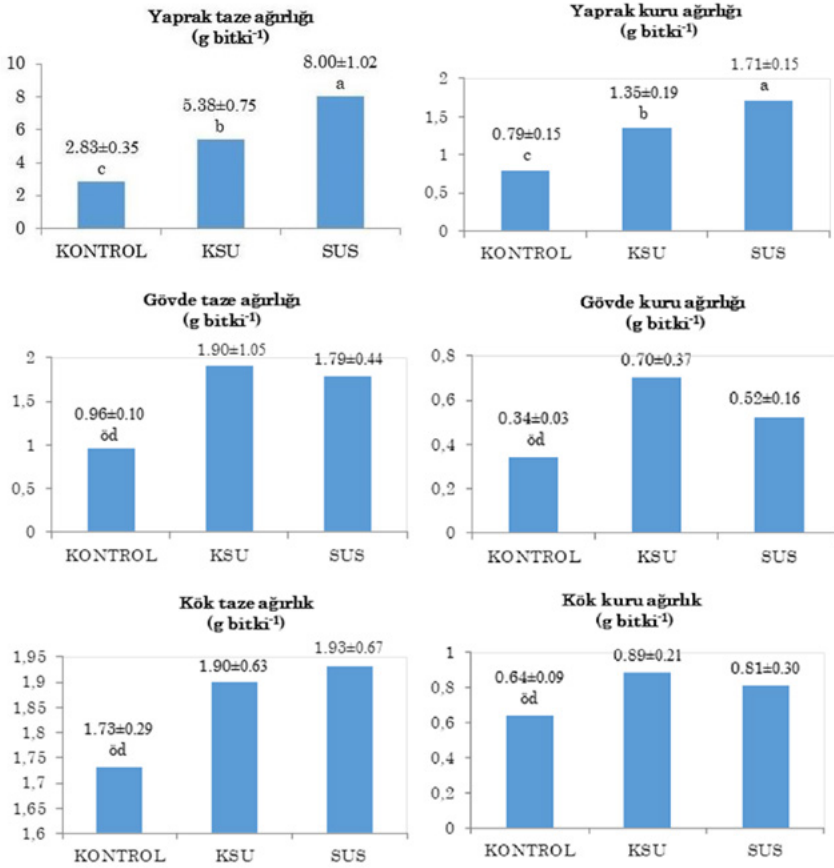
Elde edilen veriler incelendiğinde ses dalgası uygulamalarının taze gövde ve kök ağırlıkları ile kuru gövde ve kök ağırlıkları arasında istatistiksel olarak bir fark belirlenmezken taze ve kuru yaprak ağırlıkları üzerine etkisi önemli olmuştur (Şekil 5). En yüksek yaş ve kuru yaprak ağırlıkları SUS uygulamasında elde edilmiştir (sırasıyla 8.00 ± 1.02 - 1.71 ± 0.15 g).



Şekil 4. Ultrasonik ses dalgası uygulamasının çilek fidelerinin bazı vejetatif büyüme parametreleri üzerine etkisi

Figure 4. Effects of ultrasonic sound wave treatment on some vegetative growth parameters of strawberry seedlings

Çalışmada, ses dalgalarının yaprak ağırlıkları üzerine önemli bir etki sağlarken gövde ve kök ağırlıkları üzerine bir etkisi olmamıştır. Oi ve ark. (2010), çileklere uygulanan ultrasonik ses dalgalarının daha kuvvetli büyüme sağladığını rapor etmişlerdir. Ozkurt ve Altuntas (2018), yaptıkları çalışmada çilek bitkisinde gövde ve kök ağırlıkları (taze ve kuru) üzerine ses dalgası uygulamalarının olumlu sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. Ananthkrishnan ve ark., (2007), yaptıkları çalışmada elektron mikroskobunda ultrasonik ses dalgası uygulanan kökleri incelemişlerdir. Kök epidermis hücrelerinin ses dalgaları tarafından tahrip edildiğini tespit etmişlerdir. Bunun sonucunda ses dalgalarının su ve mineral maddelerinin bitki içerisine akışını hızlandırabileceğini ve bitkilerde büyümeyi teşvik edebileceğini ileri sürmüşlerdir.



öd: önemli değil

Şekil 5. Ultrasonik ses dalgası uygulamasının çiçek fidelerinin taze ve kuru ağırlıkları üzerine etkisi

Figure 5. Effects of ultrasonic sound wave treatments on the fresh and dry weights of strawberry seedlings

3.2. Ultrasonik Ses Dalgalarının Kurak Koşullarda Bazı Biyokimyasal Parametreler Üzerine Etkileri

İncelenen tüm biyokimyasal parametreler üzerine yetiştirme koşullarının çok önemli etki yaptığı belirlenmiştir. Sonuçların, istatistiksel değerlendirilmesinde farklar arasındaki önemlilik düzeyi 0.05 olarak belirlenmiştir. Ses dalgası uygulaması MDA ve klorofil içerikleri üzerine çok önemli, toplam fenolik, prolin ve

karotenoid içerikleri üzerine önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Yetiştirme koşulları ve ses dalgası uygulaması interaksyonuna bakıldığında ise karotenoid içerikleri üzerine etkisi olmadığı, klorofil a ve klorofil b üzerine çok önemli, diğer parametreler üzerine önemli etkisi olduğu görülmüştür (Çizelge 3).

Kuraklık stresi ile birlikte toplam fenolik içeriğinin arttığı, en yüksek toplam fenolik içeriği ise SUS uygulamasından elde edildiği tespit edilmiştir. Yetiştirme koşulları ve ses dalgası uygulaması interaksyonu incelendiğinde ise en yüksek sonuç K x KSU uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 3). Çevresel stresin bitkilerde fenolik madde birikimini arttırdığı bilinmektedir (Cook ve ark., 2004; Karuppasamy, 2009; Ozkurt ve Altuntas, 2018).

Çilekte MDA içeriğinin kuraklık stresi ile yükseldiği görülmüştür. Ses dalgası uygulamaları kontrol grubu ile karşılaştırıldığında MDA içeriğini arttırdığı tespit edilmiştir. İnteraksiyon incelendiğinde en düşük MDA içeriği Normal Şart (NŞ) x Kontrol uygulamasında en yüksek K x SUS ve K x KSU uygulamalarında belirlenmiştir (Çizelge 3). Ses dalgalarının hücre zarının yapısını değiştirebildiği ve deforme ettiği bilinmektedir (Wang ve ark., 1998; Ananthakrishnan ve ark., 2007; Rokhina ve ark., 2009). Chen ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada, ultrasonik ses dalgalarının MDA içeriğini artırdığını ifade etmişlerdir.

Çilek fidelerinin prolin miktarını, kuraklık stresi ($0.25 \pm 0.03 \mu\text{mol g}^{-1}$) ve SUS ($0.20 \pm 0.08 \mu\text{mol g}^{-1}$) uygulamaları arttırmıştır. İnteraksiyon incelendiğinde kurak koşullarda uygulanan ses dalgalarının prolin miktarını yükselttiği görülmektedir (Çizelge 3). Serbest prolin stres altındaki bitkilerde önemli ölçüde artar. Şişme basıncından korunmak amacıyla bitki su potansiyelini düşürmek için prolin miktarını artırır (Zare ve ark., 2014). Ses dalgasının oluşturduğu stresin prolin molekülü sayesinde antioksidant olduğu bilinen melatonin miktarını artırarak dayanıklılık sağladığı yönde görüşler mevcuttur (Tyagi ve ark., 2023). Yakupoğlu (2023), yaptığı çalışmada, ses dalgasının biber fidelerinin prolin ve içsel melatonin miktarını arttırdığını bildirmiştir.

Çalışmada kuraklık stresi ($332.94 \pm 16.15 \text{ mg g}^{-1}$) ve SUS ($319.73 \pm 29.36 \text{ mg g}^{-1}$) uygulamasının çilekte toplam klorofil içeriğini arttırdığı belirlenmiştir (Çizelge 3). Yapılan çalışmalarda ses dalgası uygulamasıyla çilek yapraklarında klorofil miktarının arttığı görülmüştür (Qi ve ark. 2010; Meng ve ark., 2012).

Karotenoid içerikleri klorofil içeriklerinde olduğu gibi kurak ($11.01 \pm 0.51 \text{ mg g}^{-1}$) ve SUS ($10.98 \pm 0.65 \text{ mg g}^{-1}$) uygulamaları ile yükseldiği görülmüştür (Çizelge 3). Yapılan bazı çalışmalar ses dalgalarının hücre zarını etkilemesiyle strese karşı koruyan antioksidan sistemi indüklediğini ve koruyucu olduğu bilinen karotenoidlerin miktarını arttırdığını bildirmişlerdir (Chen ve ark. 2008; Wei ve ark. 2012).

Çizelge 3. Ultrasonik ses dalgalarının kurak koşullarda bazı biyokimyasal parametreler üzerine etkisi

Table 3. Effect of ultrasonic sound waves on some biochemical parameters in arid conditions

| Uygulama Application | | Toplam Fenolik Total Phenolic (GAE) (mg g ⁻¹) | MDA MDA (nmol g ⁻¹) | Prolin Proline (μmol g ⁻¹) |
|-------------------------------------|---|---|---------------------------------------|--|
| Yetiştirme Koşulu (YK) | Normal Şart (NŞ) Normal Condition (NC) | 4.09±0.74b | 3.27±1.31b | 0.11±0.04b |
| Cultivation Condition (CC) | Kuraklık (K) Drought (D) | 4.99±1.20a | 8.84±1.97a | 0.25±0.03a |
| Ses Dalgası (SD) Sound wave (SW) | Kontrol Control | 3.88±1.26b | 4.40±2.80c | 0.16±0.11b |
| | SUS IW | 5.18±0.65a | 7.43±2.80a | 0.20±0.08a |
| | KSU RSW | 4.56±0.91b | 6.34±3.78b | 0.18±0.07ab |
| İnteraksiyon Interaction | | | | |
| | NŞ x Kontrol NC x Control | 3.37±0.62b | 2.10±0.34d | 0.06±0.00c |
| | NŞ x SUS NC x IW | 4.83±0.29ab | 4.92±0.66c | 0.14±0.05b |
| YK x SD | NŞ x KSU NC x RSW | 4.07±0.38ab | 2.80±0.08d | 0.12±0.01b |
| CC x SW | K x Kontrol D x Control | 4.38±1.62ab | 6.70±2.00b | 0.26±0.02a |
| | K x SUS D x IW | 5.53±0.76a | 9.95±1.00a | 0.27±0.04a |
| | K x KSU D x RSW | 5.05±1.08a | 9.87±0.15a | 0.24±0.02a |
| Önemlilik Significance | | | | |
| Yetiştirme Koşulu | | ** | ** | ** |
| Cultivation Condition | | | | |
| Ses Dalgası | | * | ** | * |
| Sound wave | | | | |
| YK x SD | | * | * | * |
| CC x SW | | | | |

Çizelge 3. Devamı...

Table 3. Continued...

| Uygulama Application | | Kl-a Chl-a (mg g ⁻¹) | Kl-b Chl-b (mg g ⁻¹) | Top Kl Tot Chl (mg g ⁻¹) | Kar Car (mg g ⁻¹) |
|---|---|--|--|--|-------------------------------------|
| Yetiştirme Koşulu (YK) Cultivation Condition | Normal Şart (NŞ) Normal Condition (NC) | 137.70±2.40a | 112.02±37.90b | 249.71±36.75b | 10.06±0.69b |
| | Kuraklık (K) Drought (D) | 133.82±0.89b | 199.13±15.92a | 332.94±16.15a | 11.01±0.51a |
| Ses Dalgası (SD) Sound wave (SW) | Kontrol Control | 135.94±2.44a | 137.83±62.20b | 273.77±59.89b | 10.28±0.75b |
| | SUS IW | 134.44±1.28b | 185.29±29.89a | 319.73±29.36a | 10.98±0.65a |
| | KSU RSW | 136.89±3.48a | 143.59±53.53b | 280.48±51.11b | 10.35±0.78b |
| | | | | | |
| İnteraksiyon Interaction | | | | | |
| YK x SD CC x SW | NŞ x Kontrol NC x Control | 138.20±0.37a | 81.33±1.28c | 219.53±1.62c | 9.59±0.09 |
| | NŞ x SUS NC x IW | 135.02±0.48b | 157.67±5.69b | 292.69±5.26b | 10.54±0.14 |
| | NŞ x KSU NC x RSW | 139.86±2.15a | 97.04±30.00c | 236.90±32.01c | 10.05±1.06 |
| | K x Kontrol D x Control | 133.67±0.36b | 194.33±22.64a | 328.00±22.85a | 10.96±0.21 |
| | K x SUS D x IW | 133.86±1.67b | 212.91±4.31a | 346.78±5.84a | 11.41±0.68 |
| | K x KSU D x RSW | 133.91±0.27b | 190.14±2.65a | 324.05±2.61a | 10.65±0.25 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Önemlilik Significance | | | | | |
| Yetiştirme Koşulu Cultivation Condition | | ** | ** | ** | ** |
| Ses Dalgası Sound wave | | ** | ** | ** | * |
| YK x SD CC x SW | | ** | ** | * | öd ns |

Kl a: Klorofil a; Kl b: Klorofil b; Top Kl: Toplam klorofil; Kar: Karotenoid; öd: önemli değil; ns: not significant
Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark 0.05 seviyesinde önemli değildir.
öd: Ortalamalar arasındaki fark 0.05 seviyesinde önemli değildir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ultrasonik ses dalgalarının çilek fidelerinin bazı büyüme kriterlerine etkisi incelendiğinde ses dalgası uygulanan su ile sulanan (SUS) gruptaki bitkilerin daha hızlı ve kuvvetli büyüdüğü belirlenmiştir. Kurak stresine maruz bırakılan bu fide-lerin biyokimyasal özellikleri incelendiğinde ses dalgalarının da bitkide hafif stres yapması nedeniyle MDA değerini arttırdığı buna karşılık diğer parametrelerde iyileşme olduğu görülmüştür.

Çilek bitkilerine uygulanan ses dalgalarının, hafif strese neden olduğu ve bunun savunma mekanizmasını tetikleyerek sekonder metabolit üretimini arttırdığı düşünülmektedir. Ultrasonik ses dalgası uygulaması ile ilgili bitki araştırmaları incelendiğinde yetiştiricilik açısından gelecek vaat eden bir alan olduğu görülmektedir. Bununla birlikte verim ile arasındaki karşılıklı ilişkilerin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Sürdürülebilir tarım için daha ayrıntılı uygulamalar yapılarak ultrasonik ses dalga uygulamaları ile büyüme ve verim arasındaki ilişki belirlenmelidir.

Teşekkür

Bu çalışma 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Desteği ile yürütülen araştırma verilerinden üretilmiştir. Maddi katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışma etik kurul onayı gerektirmez.

Yazar Katkı Oranları

Çalışmanın Tasarlanması (Design of Study): NA(%15), SÖ(%5), GB(%80)

Veri Toplanması (Data Acquisition): NA(%75), SÖ(%20), GB(%5)

Veri Analizi (Data Analysis): NA(%5), SÖ(%15), GB(%80)

Makalenin Yazımı (Writing Up): NA(%10), SÖ(%40), GB(%50)

Makalenin Gönderimi ve Revizyonu (Submission and Revision): NA(%5), SÖ(%45), GB(%50)

KAYNAKLAR

- Aladadjijyan, A., 2011. Ultrasonic stimulation of the development of lentils and wheat seedlings. *Romanian Journal of Biophysics*, 21 (3), 179-188. <https://www.researchgate.net/> (erişim tarihi 18 Ekim 2024).
- Albaş, M.G., Gürbüz, B., Bölük, E., Sözeri Atik, D., Veliöğlu, H. M., Palabıyık, İ., 2022. Laktik asit bazlı propolis ilavesinin taze çilek suyunun raf ömrüne etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(4), 788-797. doi: 10.33462/jotaf.1078584.
- Alexandre, E. M. C., Brandão, T. R. S., Silva, C. L. M., 2012. Efficacy of non-thermal technologies and sanitizer solutions on microbial load reduction and quality retention of strawberries. *Journal of Food Engineering*, 108 (3), 417-426. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.09.002.
- Ananthakrishnan, G., Xia, X., Amutha, S., Singer, S., Muruganatham, M., Yablomsky, S., Fisher, E., Gaba, V. 2007. Ultrasonic treatment stimulates multiple shoot regeneration and explant enlargement in recalcitrant squash cotyledon explants *in vitro*. *Plant Cell Reports*, 26, 267-276. Doi:10.1007/s00299-006-0235-1.
- Balci, G., Koç, A., Keles, H., Kılıç, T. 2017. Yozgat koşullarında bazı çilek çeşitlerinin performanslarının değerlendirilmesi. *Meve Bilimi*, 4 (2), 6-12. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/393324> (erişim tarihi 18 Ekim 2024).
- Bates, L. S., Waldren, R. P., Teare, I. D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207. <https://link.springer.com/article/10.1007/bf00018060> (erişim tarihi 18 Ekim 2024).
- Bochu, W., Hucheng, Z., Yiyao, L., Yi, J., Sakanishi, A., 2001. The effects of alternative stress on the cell membrane deformability of chrysanthemum callus cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 20, 321-325. doi:10.1016/S0927-7765(00)00181-8.
- Çakarıydırım, N., 2004. Çilek. Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü (T.E.A.E)- Bakış 7 (12), 1-4.
- Cao, S., Hu, Z., Pang, B., Wang, H., Xie, H., Wu, F., 2010. Effect of ultrasound treatment on fruit decay and quality maintenance in strawberry after harvest. *Food Control*, 21(4), 529-532. doi:10.1016/j.foodcont.2009.08.002.
- Chen, B., Huang, J., Wang, J., Huang, L., 2008. Ultrasound effects on the antioxidative defense systems of *Periphyridium cruentum*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 61, 88-92. doi:10.1016/j.colsurfb.2007.07.009.
- Chen, Z., Zhu, C., 2011. Combined effects of aqueous chlorine dioxide and ultrasonic treatments on postharvest storage quality of plum fruit (*Prunus salicina* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 61 (2-3), 117-123. doi: 10.1016/j.postharvbio.2011.03.006.
- Chivukula, V. ve Ramaswamy, S. 2014. Effect of different types of music on *Rosa chinensis* plants. *International Journal of Environmental Science and Development*, 5(5), 431-434.
- Cook, D., Fowler, S., Fiehn, O., Thomashow, M. F., 2004. A prominent role for the CBF cold response pathway in configuring the low-temperature metabolome of *Arabidopsis*. *Proceedings of the National Academy of Science*, 101, 15243-15248. doi:10.1073/pnas.0406069101.
- Demirsoy, M., Aydın, M., Gürbüz, B., 2020. Farklı ultrasonik ses dalgası uygulamalarının *Solanum torvum* tohumlarındaki çimlenme ve çıkış değerleri üzerine etkisi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 354-362. doi: 10.35193/bseufbd.713385.
- Dikilitaş, M., Balak, M. V., Şimşek, E., Dikilitaş, S. K., 2018. Ses dalgaları ile hücrelerde geri dönüşmez DNA hasarları oluşturmak mümkün müdür? *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 22(4), 560-571. doi: 10.29050/harranziraat.427049.
- Dikilitaş, M., Balak, V., Karakaş, S., 2016. Ses dalgalarının tarımsal ürünlerin muhafazası ve bitki gelişimi üzerine etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 20 (4), 338-355. doi: 10.29050/harranziraat.282277.
- FAO, 2024. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (Erişim tarihi: 09.08.2024).
- Görgüç, A. Gençdağ, E., Tecimen, S., Anakız, S., Öztürk K.S., Bıyık, H.H., Yılmaz, F. M., 2019. Effect of ultrasound washing process on the quality parameters of fresh strawberry during cold storage. *Turkish Journal of Agriculture, Food Science and Technology*, 7 (9), 1457-1464. doi: 10.24925/turjafv7i9.1457-1464.2754.
- Goussous, S., Samarah, N., Alqudah, A., Othman, M., 2010. Enhancing seed germination of four crop species using an ultrasonic technique. *Experimental Agriculture*, 46 (2), 231-242. doi: 10.1017/S0014479709991062.
- Gunes, A., Inal, A., Bağcı, E. G., Pilbeam, D. J., 2007. Silicon-mediated changes of some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach and tomato grown in sodic-b toxic soil. *Plant Soil*, 290, 103-114. doi: 10.1007/s11104-006-9137-9.
- Huang, T., Xu, C., Walker, K., West, P., Zhang, S., Weese, J., 2006. Decontamination efficacy of combined chlorine dioxide with ultrasonication on apples and lettuce. *Journal of Food Science*, 71 (4), 134-139. doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00015.x.
- Johnson, K. A., Sistrunk, M. L., Polisensky, D. H., Braam, J., 1998. *Arabidopsis thaliana* responses to mechanical stimulation do not require ETR1 or EIN2. *Plant Physiology*, 116, 643-doi: 10.1104/pp.116.2.643.
- Kacar, B., Katkat, A.V., Öztürk, Ş., 2013. Bitki Fizyolojisi, (5. Basım), 486-535. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık. 558 syf.
- Karuppusamy, S., 2009. A review on trends in production of secondary metabolites from higher plants by *in vitro* tissue, organ and cell cultures. *Journal of Medicinal Plants Research*, 3 (13), 1222-1239. <https://academicjournals.org/journal/JMPR/article-full-text-pdf/EEE689215753.pdf> (erişim tarihi 18 Ekim 2024).

- Li, B., Wei, J. M. ve Wei, X. L., 2008. Effect of sound wave stress on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation of *Dendrobium candidum*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 63 (2), 269-275. doi: 10.1016/j.colsurfb.2007.12.012.
- Machikowa, T., Kulrattanarak, T., Wonprasaid, S., 2013. Effects of ultrasonic treatment on germination of synthetic sunflower seeds. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 73 (1), 53-55.
- Mason, T. J., Lorimer, J. P., 1988. General principles. in sonochemistry: theory, applications and uses of ultrasound in chemistry. (Eds. T. J. Mason and J. P. Lorimer), pp. 17-63, Ellis Horwood: Chichester.
- Mason, T., Riera, E., Vercet, A., Lopez-Buesa, P., 2005. Application of ultrasound. In D. W. Sun (Ed.), *Emerging Technologies For Food Processing*, pp. 323-350, California: Elsevier Academic Press.
- Meng, Q., Zhou, Q., Zheng, S., Gao, Y., 2012. Responses on photosynthesis and variable chlorophyll fluorescence of *Fragaria ananassa* under sound wave. *Energy Procedia*, 16, 346-352. doi: 10.1016/j.egypro.2012.01.057
- Ozkurt, H., Altuntas, O., 2018. Quality parameter levels of strawberry fruit in response to different sound waves at 1000 Hz with different dB values (95, 100, 105 dB). *Agronomy*, 8 (7), 127. doi: 10.3390/agronomy8070127.
- Peker, M., 1989. Ultrases ile katı, sıvı ve gaz ortamların fiziksel özelliklerinin incelenmesi (Tez no: 8849). [Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Qi, L., Teng, G., Hou, T., Zhu, B., Liu, X., 2010. Influence of sound wave stimulation on the growth of strawberry in sunlight greenhouse. In *Computer and Computing Technologies in Agriculture III: Third IFIP TC 12 International Conference, CCTA 2009, October 14-17, 2009, Revised Selected Papers 3*, pp. 449-454, Springer Berlin Heidelberg, Beijing, China.
- Raviyan, P., Zhang, Z., Feng H., 2005. Ultrasonication for tomato pectinmethylesterase inactivation: Effect of cavitation intensity and temperature on inactivation. *Journal of Food Engineering*, 70, 189-196. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.09.028.
- Rokhina, E. V., Lens, P., Virkutyte, J., 2009. Low-frequency ultrasound in biotechnology: state of the art. *Trends in Biotechnology*, 27, 298-306. <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S0167-7799%2809%2900049-3> (erişim tarihi 18 Ekim 2024).
- Shao, H. B., Li, B., Wang, B. C., Tang, K., Liang, Y., 2008. A study on differentially expressed gene screening of Chrysanthemum plants under sound stress. *Comptes Rendus Biologies*, 331, 329-333. doi: 10.1016/j.crv.2008.02.007.
- Singleton, V. L., Rossi, J. R., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid. *American Journal of Enology and Viticulture*. 16 (3), 144-158. doi: 10.5344/ajev.1965.16.3.144.
- Sinha, N., Sidhu, J., Barta, J., Wu, J., Cano, M. P. 2012. *Handbook of fruits and fruit processing*. John Wiley & Sons.
- Takahashi, H., Suge, H., Kato, T., 1991. Growth promotion by vibration at 50 Hz in rice and cucumber seedlings. *Plant Cell Physiology*, 32, 729-732. doi: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a078137.
- TÜİK, 2024. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (Erişim tarihi: 09.08.2024)
- Tyagi, A., Ali, S., Park, S., Bae, H., 2023. Assessing the effect of sound vibrations on plant neurotransmitters in *Arabidopsis*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(8), 5216-5223. doi: 10.1007/s00344-023-10918-z
- Ulusoy, K., Karakaya, M., 2011. Gıda endüstrisinde ultrasonik ses dalgalarının kullanımı. *Gıda*, 36 (2), 113-120. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/78594> (erişim tarihi 18 Ekim 2024).
- Wang B C, Yoshikoshi A, Sakanishi A. 1998. Carrot cell growth response in a stimulated ultrasonic environment. *Colloids and Surfaces (B: Biointerfaces)*, 12, 89-95.
- Wei, M., Yang, C. Y., Wei, S. H., 2012. Enhancement of the differentiation of protocorm-like bodies of *Dendrobium officinale* to shoots by ultrasound treatment. *Journal of Plant Physiology*, 169 (8),770-774. doi: 10.1016/j.jplph.2012.01.018.
- Yakupoğlu, G., 2023. Effects of magnetic field and ultrasound applications on endogenous melatonin content and drought stress tolerance of pepper seedlings. *Horticulturae*, 9 (6), 704. doi: 10.3390/horticulturae9060704.
- Yang, X. C., Wang, B. C., Duan, C. R., 2003. Effects of sound stimulation on energy metabolism of *Actinidia chinensis* callus. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 30, 67-72. Doi: 10.1016/S0927-7765(03)00027-4.
- Yang, X. C., Wang, B. C., Ye, M., 2004. Effects of different sound intensities on root development of *Actinidia chinensis* plantlet. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 10, 274-276.
- Yılmaz, H., 2009. Çilek. *Hasad Yayıncılık*, İstanbul, Türkiye, 348 syf.
- Yiyao, L., Bochu, W., Xuefeng, L., Chuanren, D., Sakanishi, A., 2002. Effects of sound field on the growth of Chrysanthemum callus. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 24, 321-326. doi: 10.1016/S0927-7765(01)00275-2.
- Zare, H., Mohsenzadeh, S., Mortazavi, S., Moradshahi, A., 2014. The effect of high frequency electromagnetic wave (Mobile phone) on Proline aa content in *Zea mays* seedling. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 3 (10), 1100-1103. <http://ijfas.com/wp-content/uploads/2014/11/1100-1103.pdf> (erişim Tarihi 18 Ekim 2024).
- Zhang, H. J., Huang, W. D., Liu, Y. P., Pan, Q. H., 2005. Effects of temperature acclimation pretreatment on the ultrastructure of mesophyll cells in young grape plants (*Vitis vinifera* L. cv. Jingxiu) under cross-temperature stresses. *Journal of Integrative Plant Biology*, 47, 959-970. doi: 10.1111/j.1744-7909.2005.00109.x.
- Zhang, L., Zhao, S., Laia, S., Chena, F., Yang, H., 2018. Combined effects of ultrasound and calcium on the chelate-soluble pectin and quality of strawberries during storage. *Carbohydrate Polymers*, 200, 427-435. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.08.013.