



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANA BİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

**ENDÜSTRİYEL KENEVİR (*Cannabis sativa* L.) BİTKİSİNDE BİTKİ
GELİŞİMİNİN VE LİF VERİMİNİN HİDROPONİK YÖNTEMLE
TEŞVİK EDİLMESİ**

Mehmet Yusuf ORCAN

**Mayıs-2025
BATMAN**

T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANA BİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

ENDÜSTRİYEL KENEVİR (*Cannabis sativa* L.) BİTKİSİNDE BİTKİ
GELİŞİMİNİN VE LİF VERİMİNİN HİDROPONİK YÖNTEMLE
TEŞVİK EDİLMESİ

Mehmet Yusuf ORCAN

Danışman
Prof. Dr. Filiz AKBAŞ

Diğer Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Süreyya NAMLI Prof. Dr. Filiz AKBAŞ Prof. Dr. M. Emre EREZ
Doç. Dr. Ercan ÇINAR Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ÖZDEMİR

Mayıs-2025
BATMAN

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Yusuf ORCAN tarafından hazırlanan “Endüstriyel Kenevir (*Cannabis sativa* L.) Bitkisinde Bitki Gelişiminin ve Lif Veriminin Hidroponik Yöntemle Teşvik Edilmesi” adlı tez çalışması 23/05/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Biyoloji Ana Bilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Süreyya NAMLI

.....

Danışman

Prof. Dr. Filiz AKBAŞ

.....

Üye

Prof. Dr. Mehmet Emre EREZ

.....

Üye

Doç. Dr. Ercan ÇINAR

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ÖZDEMİR

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

İmza
Mehmet Yusuf ORCAN
Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

Endüstriyel Kenevir (*Cannabis sativa* L.) Bitkisinde Bitki Gelişiminin ve Lif Veriminin Hidroponik Yöntemle Teşvik Edilmesi

Mehmet Yusuf ORCAN

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Biyoloji Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Filiz AKBAŞ

2025, 102 Sayfa

İnsanlık tarihinin en eski kültür bitkilerinden biri olan kenevir (*Cannabis sativa*), bütün sanayi kollarında ekonomik değere sahip, hemen hemen tüm kullanım alanlarında üstünlükleri söz konusu olan kıymetli bir bitkidir. Kenevir lifleri en kaliteli lifler arasında olup aynı zamanda antibakteriyel özelliğe sahiptir. Kenevir tarımında biyoteknolojik yöntemlerin kullanılması bitkinin verim ve kalite unsurlarını arttırmaya yönelik çalışmaları kapsamakta olup son yıllarda yaygınlaşmıştır. Tarımsal biyoteknolojik çalışmaların başlıcalarından biri olan hidroponik yöntem (topraksız tarım) sağladığı birçok avantajından dolayı modern tarımda önemli bir yere sahiptir.

Endüstriyel kenevir bitkisi ve bu bitkinin liflerinden elde edilen ürünler ile küresel endüstriyel ürün pazarına ülkemizi rekabetçi ve iddialı bir şekilde dahil edebilmek için yapılan bu çalışmada, tarımsal biyoteknolojik bir yöntem olan topraksız tarım (durgun su kültürü) kullanılarak lif veriminin artırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla tescilli, yerli bir çeşit olan Narlı kenevir (*Cannabis sativa* L.) bitkisinde, durgun su kültüründe, indol bütirik asit (IBA), silisyum (Si) elementi ve bazı makro elementlerin (azot, fosfor, potasyum) bitki gelişimi ve lif verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Başlangıç materyali olarak kullanılan Narlı kenevir tohumları çimlendirme ortamına ekilerek 2 hafta boyunca gelişmeye bırakılmıştır. 2 haftanın sonunda 2. gerçek yaprak çiftini veren kenevir bitkileri, 3 farklı durgun su kültürü ortamı (Grup-1: N:P:K besinleri 255:45:267 oranında; Grup-2: NPK + 10 ppm Si; Grup-3: NPK + 1 ppm IBA) ile topraklı saksı (Grup-4: toprak:torf:perlit / 1:1:1) ortamında yaklaşık 2 ay geliştirilmiştir. Bu süre sonunda hasat edilen bitkilerde, kök yaş-kuru ağırlığı, gövde yaş-kuru ağırlığı, gövde uzunluğu, gövde kalınlığı, yaprak boyu ve eni, nispi su içeriği (%NSİ), fotosentetik pigment içeriği, malondialdehit (MDA), yaprak sekonder metabolit (CBD, THC, CBN) içeriği, % lif içeriği, toplam selüloz içeriği parametreleri ışığında, farklı yetiştirme ortamlarının ve yetiştirme ortamlarındaki farklı uygulamaların etkisi incelenmiştir. Hasat edilen bitkilerde havuzlama yöntemi kullanılarak, liflerin bitkinin odunsu kısmından %100 oranında ayrıldığı görülmüştür.

Yapılan analizler neticesinde kök yaş-kuru ağırlığı, gövde yaş-kuru ağırlığı, gövde uzunluğu, gövde kalınlığı, yaprak boyu ve eni, %NSİ, fotosentetik pigment içeriği, % lif içeriği, toplam selüloz içeriği bakımından topraksız ortamın, topraklı ortamdaki sonuçlara göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte yine topraksız ortamda, bitkide stres göstergesi olan MDA içeriği ve yaprak sekonder metabolit (CBD, THC, CBN) içeriği açısından en düşük sonuçlar elde edilmiştir. Tüm bu parametrelerde test edilen gruplar arasında Si içeren durgun su kültürü ortamında yetiştirilen kenevir bitkilerinin en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir.

Çalışmada, durgun su kültüründe IBA uygulamasının bitkinin genel olarak incelenen tüm gelişim parametrelerinde en düşük sonuçları verdiği görülmüştür. IBA uygulaması yapılan

bitkiler, lif verimi, selüloz içeriği, bitki boyu, gövde/kök yaş-kuru ağırlığı, %NSİ parametrelerinde en düşük değere sahipken, stres altında miktarı artan MDA ve sekonder metabolit (CBD, THC, CBN) içeriği açısından ise en yüksek değere sahip olmuştur.

Bu tez çalışmasının temel hedeflerinden biri olan lif veriminin artırılmasıyla ilgili sonuçlar değerlendirildiğinde; lif içeriği Si uygulamasında %29,122 (Grup-2); Grup-1'de %24,018; Grup-4'de %19,989; Grup-3'de %13,743 olarak bulunmuştur. Lif kalitesini belirleyen unsur olan selüloz içeriğinin, test edilen uygulamalarda ortalama %61 ile %82 aralığında olduğu belirlenmiştir. %82'lik en yüksek toplam selüloz oranı Si uygulanmış durgun su kültürü ortamında yetiştirilen bitkilerden elde edilmiştir.

Sonuç olarak durgun su kültüründe Si uygulanarak yetiştirilen kenevir bitkisinde hem lif verimi hem lif kalitesi bakımından topraklı ortama göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda endüstriyel kenevir bitkisinin yetiştirilmesinde, kullanılan durgun su kültürü yöntemi ile uygulanabilir önemli bir alternatif sunulmuştur. Yapılan bu tez çalışmasının, ülkemizde bu alanda yapılan ilk araştırma olması sebebiyle, tarımsal biyoteknolojik yollarla kenevir bitkisinde lif veriminin artırılmasına yönelik literatürde yer alan boşluğa önemli ölçüde katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Cannabis sativa*, durgun su kültürü, endüstriyel kenevir, lif verimi, silisyum, tarımsal biyoteknoloji

ABSTRACT

DOCTORAL THESIS

Promotion of Plant Growth and Fiber Yield in Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Plants by Soilless Culture

Mehmet Yusuf ORCAN

Batman University Graduate Education Institute

Biology Department of Science

Advisor: Prof. Dr. Filiz AKBAS

2025, 102 Pages

Hemp (*Cannabis sativa*), one of the oldest cultivated plants in human history, is a valuable plant that has economic value in all industrial branches and has superiorities in almost all areas of use. Hemp fibers are among the highest quality fibers and also have antibacterial properties. The use of biotechnological methods in hemp agriculture includes studies to increase the yield and quality of the plant and has become widespread in recent years. Hydroponic method (soilless agriculture), one of the main agricultural biotechnological studies, has an important place in modern agriculture due to its many advantages.

In this study, which was carried out in order to include our country in the global industrial product market in a competitive and assertive way with the industrial hemp plant and the products obtained from the fibers of this plant, it was aimed to increase the fiber yield by using soilless agriculture (deep water culture), which is an agricultural biotechnological method. For this purpose, the effects of indole butyric acid (IBA), silicon (Si) and some macro elements (nitrogen, phosphorus, potassium) on plant growth and fiber yield were investigated in Narlı hemp (*Cannabis sativa* L.), a registered local variety, in deep water culture. Narlı hemp seeds used as starting material were sown in germination medium and left to grow for 2 weeks. At the end of 2 weeks, hemp plants that produced the 2nd pair of true leaves were grown in 3 different deep water culture media (Group-1: N:P:K nutrients at a ratio of 255:45:267; Group-2: NPK + 10 ppm Si; Group-3: NPK + 1 ppm IBA) and soil pot (Group-4: soil:peat:perlite / 1:1:1) for approximately 2 months. At the end of this period, the effects of different growing media and different treatments in growing media were investigated in the light of root fresh-dry weight, stem fresh-dry weight, stem length, stem thickness, leaf length and width, relative water content (%RWC), photosynthetic pigment content, malondialdehyde (MDA), leaf secondary metabolite (CBD, THC, CBN) content, % fiber content, total cellulose content parameters in the harvested plants. Pooling method was used in the harvested plants to ensure 100% separation of fibers from the woody part of the plant.

As a result of the analysis, it was determined that the soilless medium gave better results than the soily medium in terms of root fresh--dry weight, stem fresh--dry weight, stem length, stem thickness, leaf length and width, %RWC, photosynthetic pigment content, % fiber content, total cellulose content. However, the lowest results were obtained in the soilless medium in terms of MDA content and leaf secondary metabolite (CBD, THC, CBN) content, which are indicators of stress in the plant. In all these parameters, it was determined that hemp plants grown in deep water culture medium containing Si gave the best results among the groups tested.

In the study, it was observed that IBA treatment in deep water culture gave the lowest results in all developmental parameters of the plant in general. IBA-treated plants had the lowest values in terms of fiber yield, cellulose content, plant height, stem/root fresh-dry weight, %RWC,

while had the highest values in terms of MDA and secondary metabolite (CBD, THC, CBN) content, which increased under stress.

When the results related to increasing fiber yield, which is one of the main objectives of this thesis study, were evaluated; fiber content was 29.122% in Group-2; 24.018% in Group-1; 19.989% in Group-4; 13.743% in Group-3. The cellulose content, which is the determinant of fiber quality, was determined to be in the range of 61% to 82% on average in the tested treatments. The highest total cellulose content of 82% was obtained from plants grown in Si-treated deep water culture medium.

As a result, better results were obtained in terms of both fiber yield and fiber quality in hemp plants grown by Si-treatment in deep water culture compared to soil environment. Considering these results, a significant alternative that can be applied in the cultivation of industrial hemp plants has been presented with the deep water culture method used. Since this thesis study is the first research in this field in our country, it is thought that it will contribute significantly to the gap in the literature regarding the increase of fiber yield in hemp plants through agricultural biotechnological methods.

Keywords: *Cannabis sativa*, deep water culture, industrial hemp, fiber yield, silicon, agricultural biotechnology

ÖNSÖZ

YÖK öncelikli alan 100/2000 doktora bursu ile Tarımsal Biyoteknoloji alanında doktora tezime destek veren Yüksek Öğretim Kurumu'na teşekkür ederim. Çalışmaların deneysel aşamalarının yürütülmesinde alan açan, Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi'ni, Merkezi Laboratuvar Uygulama ve Araştırma Merkezi'ni, Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Araştırma Laboratuvarı'nı kullanmama izin veren Batman Üniversitesi'nin tüm yetkililerine teşekkür ederim.

Kenevir yetiştiriciliği için izin alınması aşamasında katkısı olan T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı'na, T.C. Batman Valiliği'ne ve Batman İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi arz ederim.

“Hayatta en hakiki mürşit ilimdir, fendir. İlim ve fennin dışında mürşit aramak gaflettir, dalalettir ve hatta ihanettir” sözünü her zaman kılavuz edineceğim, vizyonu, düşünceleri, öngörülerini, devlet adamlığı, çocuk sevgisi, öğretmene, köylüye olan saygısı, askeri dehası ile Ulu Önder Mustafa Kemal Atatürk'e ve Cumhuriyet rejimini bizlere armağan ederek, bunun fırsat eşitliğinden faydalanmamızı sağlayan tüm silah arkadaşlarına ve aziz şehitlerimize en derin teşekkürlerimi sunarım.

Tanıştığımız günden bu güne bana sunduğu katkılar için, ilim ve irfan okyanusu olan danışman hocam Prof. Dr. Filiz Akbaş'ın her bir damlasına sonsuz teşekkürler.

Çalışmamın deneysel aşamasında ve analiz sürecinde hem fiziksel hem düşünsel katkı sunan Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Selçuk Kuru'ya teşekkür ederim.

Kannabinoid içeriğinin GC-MS ile tayin edilmesinde yardımını esirgemeyen ve içinden geldiğim “analitik cihaz servis ve uygulama uzmanlığı”nın tecrübeli bir yöneticisi olan, Metin Yıldırım'a yardımı, kibar ve anlayışlı yaklaşımından dolayı teşekkür ederim.

Yoklukta üzülmemizi, varlıkta şımarmamızı engelleyerek bizleri iyilik, vicdan ve hak yolunda yetiştiren babam Mehmet Aydın, sahip olduğu multiple-sklerozis hastalığının bedenini eksiltmesine rağmen şefkatinde, güler yüzünde, pozitif enerjisinde, hoş sohbetinde, anneliğinde eksilme olmayan annem Betül'e teşekkürler.

Varlığı güven veren, biricik kardeşim Refik Onur Orcan'a teşekkürler.

Fikirleriyle, ufkuyla her zaman yolumu aydınlatan dayım Prof. Dr. Mehmet Melih İnal'a teşekkürlerimi sunarım.

Yukarıda yazdığım teşekkürleri çarpan parantezine almak suretiyle: hayat arkadaşım, bu tezin yapılmasında en büyük destekçim, çok sevdiğim kıymetli eşim Dr. Öğr. Üyesi Pınar Karakuş Orcan'a teşekkürlerin en büyüğünü ederim.

İleride bu satırları okuyacak olan canım kızım Cemre, canım oğlum Aren'e sonsuz selam...

Mehmet Yusuf ORCAN
BATMAN-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
ÖN SÖZ	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ.....	16
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	22
2.1. Tarihçe	22
2.2. Kenevir Sistematigi	22
2.3. Kenevir Morfolojisi	23
2.4. Gövde ve Lif Yapısı.....	25
2.5. Kullanım Alanları	27
2.5.1. Medikal kenevir	27
2.5.2. Endüstriyel kenevir.....	28
2.6. Ülkemizde Kenevir Yetiştiriciliği.....	30
2.6.1. Tescilli, yerli kenevir çeşitleri	30
2.7. Kenevir Tarımı, Biyoteknolojik Yaklaşımlar ve Topraksız Tarım	31
2.7.1. Besleyici film tekniği	32
2.7.2. Aeroponik sistem.....	32
2.7.3. Durgun su kültürü.....	33
2.8. Silisyum elementinin bitki gelişimi üzerine etkisi	34
2.9. Azot, fosfor, potasyum besin elementlerinin bitki gelişimi üzerine etkisi	34
2.10. İndol bütirik asit'in bitki gelişimi üzerine etkisi.....	36
2.11. Önceki Çalışmalar	36
3. MATERYAL ve METOD	40
3.1. Materyal.....	40
3.1.1. Bitki Materyali	40
3.2. Metod.....	41
3.2.1. Bitki yetiştirme ortamı	41
3.2.2. Tohumların çimlendirilmesi	42
3.2.3. Kenevir bitkisinin vejetatif gelişim ortamı	43
3.2.4. Deneme deseni ve besi yeri uygulamaları	45
3.2.4.1. Besi yeri ortamının hazırlanması.....	45
3.2.4.2. Azot, fosfor, potasyum stok besin elementlerinin hazırlanması	46
3.2.4.3. Silisyum stok besin elementinin hazırlanması	46
3.2.4.4. İndol bütirik asit stok çözeltisinin hazırlanması.....	46
3.2.5. Yapılan analizler.....	48

3.2.5.1. Kök taze ağırlığı:	48
3.2.5.2. Kök kuru ağırlığı:	49
3.2.5.3. Gövde taze ağırlığı	49
3.2.5.4. Gövde kuru ağırlığı	50
3.2.5.5. Gövde uzunluğu	50
3.2.5.6. Gövde kalınlığı	51
3.2.5.7. Yaprak boyu	52
3.2.5.8. Yaprak eni.....	53
3.2.5.9. Yaprak nispi su içeriği	54
3.2.5.10. Fotosentetik pigment içeriği	55
3.2.5.11. Lipid peroksidasyonu derecesinin belirlenmesi (malondialdehit içeriği)	55
3.2.5.12. Yaprak sekonder metabolit içeriği	56
3.2.5.13. Lif verimi	57
3.3. İstatistiksel analizler	60
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	61
4.1. Bitki kök yaş ve kuru ağırlığı.....	62
4.2. Bitki gövde yaş ve kuru ağırlığı.....	64
4.3. Bitki gövde uzunluğu.....	66
4.4. Bitki gövde kalınlığı	67
4.5. Bitki yaprak boyu ve eni	69
4.6. Bitki yaprak nispi su içeriği (%NSİ)	70
4.7. Bitki fotosentetik pigment içeriği	72
4.8. Yaprak MDA (lipid peroksidasyonu derecesi) içeriği.....	74
4.9. Yaprak sekonder metabolit (CBD, Δ ⁹ THC, CBN) içeriği	76
4.10. Lif verimi.....	80
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR.....	89
EKLER	103

ÇİZELGELER LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Kenevir tohumu üretim istatistikleri (Anonim, 2024)	18
Çizelge 1.2. Kenevir lifi üretim istatistikleri (Anonim, 2024)	19
Çizelge 2.1. Ülkelere göre endüstriyel kenevirin THC oranları (DeCarlo and	29
Çizelge 3.1. Besi yeri içeriğindeki bileşikler	44
Çizelge 4.1. Narlı kenevir bitkisinde kök yaş ve kuru ağırlıkları	61
Çizelge 4.2. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde gövde yaş ve kuru ağırlıkları	63
Çizelge 4.3. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde gövde uzunlukları	65
Çizelge 4.4. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde gövde kalınlıkları	67
Çizelge 4.5. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde yaprak boyu ve eni	68
Çizelge 4.6. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde yaprak nispi su içeriği	70
Çizelge 4.7. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde yaprak pigment içerikleri	71
Çizelge 4.8. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde MDA içeriği	73
Çizelge 4.9. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde CBD, Δ^9 THC, CBN içeriği (%m/m)	75
Çizelge 4.10. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde lif içeriği	79
Çizelge 4.11. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde toplam selüloz miktarı	81

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Endüstriyel kenevir (Anonim 2025)	23
Şekil 2.2. Yaprak genel görünümü (Raman ve ark., 2017)	24
Şekil 2.3. Erkek çiçek yapısı (Anonim, 2021a)	25
Şekil 2.4. Dişi çiçek yapısı (Anonim, 2021a)	25
Şekil 2.5. a: selüloz, b: hemiselüloz, c: lignin, d: galakturonik asit (Tezara ve ark., 2016)	26
Şekil 2.6. Havuzlama işlemi sonrası liflerin gövdeden ayrılması (Gizlenci ve ark., 2019)	27
Şekil 2.7. Besleyici film tekniği sisteminin temel prensibi ve örnek modeli	32
Şekil 2.8. Aeroponik sisteminin temel prensibi (İncemehmetoğlu, 2012)	33
Şekil 2.9. Durgun su kültürünün temel prensibi (İncemehmetoğlu, 2012)	33
Şekil 3.1. Narlı çeşidi kenevir tohumları	40
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan LED'in dalga boyu spektrumu	41
Şekil 3.3. Çimlendirme ortamının genel görüntüsü	42
Şekil 3.4. Çimlendirilen kenevir bitkileri	43
Şekil 3.5. Kenevir bitkisinin topraksız yetiştirme ortamı	43
Şekil 3.6. Topraklı yetiştirme ortamı	43
Şekil 3.7. Bitki yetiştirme ortamının genel görüntüsü	43
Şekil 3.8. Bitkilerin 3 haftalık genel görünümü	46
Şekil 3.9. Bitkilerin 4 haftalık genel görünümü	46
Şekil 3.10. Bitkilerin 6 haftalık genel görünümü	46
Şekil 3.11. Bitkilerin 7 haftalık genel görünümü	46
Şekil 3.12. 8 haftalık gelişim periyodu sonrası bitkilerin hasat edilmesi	47
Şekil 3.13. Hasat sonrası analize hazırlanan bitki kökleri	47
Şekil 3.14. Hasat sonrası analize hazırlanan bitki gövdeleri	48
Şekil 3.15. Hasat sonrası bitkilerde gövde uzunluğu ölçümü	49
Şekil 3.16. Bitkilerde gövde kalınlığı ölçümü	50
Şekil 3.17. Bitkilerde yaprak uzunluğu ölçümü	51
Şekil 3.18. Bitkilerde yaprak eni ölçümü	52
Şekil 3.19. Nispi su içeriğinin hesaplaması için turgora alınan bitkiler	53
Şekil 3.20. MDA standart eğrisi	55
Şekil 3.21. Kannabidiol (CBD) standart eğrisi	56
Şekil 3.22. Delta9-tetrahidrokannabinol (Δ^9 THC) standart eğrisi	56
Şekil 3.23. Kannabinol (CBN) standart eğrisi	56
Şekil 3.24. Havuzlama işlemi sonrası liflerin gövdeden ayrılması	57
Şekil 4.1. Bitkilerin hasat öncesi genel görünümü	60
Şekil 4.2. Kenevir bitkisinde kök yaş ve kuru ağırlıkları değişim grafiği	62
Şekil 4.3. Kenevir bitkisinde gövde yaş ve kuru ağırlıkları değişim grafiği	64
Şekil 4.4. Kenevir bitkisinde gövde uzunluğu değişim grafiği	66
Şekil 4.5. Kenevir bitkisinde gövde kalınlığı değişim grafiği	67
Şekil 4.6. Kenevir bitkisinde yaprak boyu ve eninin değişim grafiği	69
Şekil 4.7. Kenevir bitkisinde yaprak nispi su içeriği değişim grafiği	70
Şekil 4.8. Kenevir bitkisinde yaprak fotosentetik pigment içeriği değişim	72
Şekil 4.9. Kenevir bitkisinde yaprak MDA içeriği değişim grafiği	74
Şekil 4.10. Kenevir bitkisinde CBD içeriği (%m/m) değişim grafiği	77
Şekil 4.11. Kenevir bitkisinde Δ^9 THC içeriği (%m/m) değişim grafiği	77

Şekil 4.12. Kenevir bitkisinde CBN içeriği (%m/m) değişim grafiği	77
Şekil 4.13. Kenevir bitkisinde % lif içeriği değişim grafiği	80
Şekil 4.14. Kenevir bitkisinde % selüloz içeriği değişim grafiği	82



SİMGELER VE KISALTMALAR

M.Ö.	milattan önce
ark.	arkadaşları
EIHA	Avrupa Endüstriyel Kenevir Organizasyonu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
kg	kilogram
cm	santimetre
mS/cm	milisiemens/santimetre
dS/cm	desisiemens/santimetre
$\mu\text{mol/m}^2\text{s}^1$	mikromol/metre-kare.saniye
kg/ha	kilogram/hektar
mg/L	miligram/litre
ppm	“per part million” (milyonda bir birim)
g	gram
$^{\circ}\text{C}$	santigrat derece
mL	mililitre
mg	miligram
L	litre
M	molar
dk	dakika
rpm	“rotation per minute” (bir dakikada dönüş)
nm	nanometre
ppb	“per part billion” (milyarda bir birim)
ng/mL	nanogram/mililitre
%	yüzde
μL	miktolitre
pH	“potential of hydrogen” (hidrojen potansiyeli)
MS	kütle spektrometrisi
m/z	iyon/yük
Δ	delta
IBA	indol bütirik asit
MDA	malondialdehit
TBA	tiyobarbitürik asit
TCA	triklorasetik asit
THC	tetrahidrokannabinol
CBG	kannabigerol
CBD	kannabidiol
CBN	kannabinol
CBC	kannabikromen
CBV	kannabivarin
Si	silisyum
N	azot
P	fosfor
K	potasyum
vb.	ve benzeri
BFT	besleyici film tekniği
UV	ultraviyole
SRM	“selected reaction monitoring”

SIM	“selected ion monitoring”
NSİ	nispi su içeriği
PP	polipropilen
LED	“light emitted diode”
RTK	rozet terminal kompleks
ECS	endokannabinoid sistem
YDD	yaşam döngüsü değerlendirmesi
TA	taze ağrılık
KA	kuru ağrılık



1. GİRİŞ

Kenevir (*Cannabis sativa*), kökeninin M.Ö. 8000 yıllarına kadar dayandığı arkeolojik araştırmalar neticesinde bulunmuş, insanlık tarihinin en eski kültür bitkilerinden biridir. M.Ö. 2700'lü yıllarda Çin'de tıbbi amaçlı bir bitki olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu yıllarda Asya'dan Avrupa'ya taşındığı düşünülmekte olup günümüzde tüm dünyada tarımsal üretimi devam etmektedir (Ulaş, 2018). Yazılı kaynaklara göre Anadolu'da kenevir yetiştiriciliğinin M.Ö. 1500'lü yıllarda yapıldığı bilinmektedir (Kaya ve Öner, 2020).

Kenevir bitkisi ilk defa Carlous Linnaeus tarafından 1753 yılında *Cannabis sativa* L. olarak adlandırılmıştır. 1785'te Fransız biyolog Jean-Baptiste Lamarck, *C. sativa*'dan morfolojik olarak farklı ve Hindistan kökenli olan *Cannabis indica* türünü tanımlamıştır. 1924'te Janischevsky Rusya'da, diğer iki türden farklı özelliklere sahip olan *Cannabis ruderalis* türünü keşfetmiştir (Anderson, 1980; Gönen, 2009). Her ne kadar *C. indica* ve *C. ruderalis*'in *C. sativa*'nın alt türleri olduğunu düşünen araştırmacılar olsa da, ortak görüşe göre kenevirin sistematik olarak üç türünün tanımlandığını söylemek mümkündür. Bunlardan *C. ruderalis* 'yabani kenevir' olarak bilinirken, *C. sativa* en yaygın olarak kültürü yapılan, yağ ve lif üretiminde esas olarak kullanılan türdür. *C. indica* ise içeriğinde bulunan yüksek oranda psikoaktif maddeler nedeniyle tüm dünyada ekimi ve tarımı yasaklanmış olan türdür (Yıldırım ve Çalışkan, 2020).

Kısa gün bitkisi olan kenevir, Cannabinaceae familyasına ait tek yıllık, otsu, çiçekli bir bitkidir. Tüm kısımlarından yararlanma imkanı olan, bütün sanayi kollarında ekonomik değere sahip, hemen hemen tüm kullanım alanlarında üstünlükleri söz konusu olan kıymetli bir bitkidir. Örneğin, çatı ve duvar malzemesi üretiminde lif ve mineral karışımının ağırlık, dayanıklılık ve kalite kriterleri göz önüne alındığında beton kullanımına oranla daha avantajlı olduğu saptanmıştır. Ayrıca kenevir ile yapılan bu karışımın kullanıldığı inşaatlarda nemlenme oranı düşmekte ve ısı izolasyonu en iyi düzeyde olmaktadır (Gönen, 2009). Tüm bu yapıların geri dönüşüme elverişli olması ve çevre kirliliğine sebep olmaması bitkinin bir diğer önemli üstünlüğüdür (Aytaç ve ark., 2017).

Kenevir, diğer lif bitkileri ile karşılaştırıldığında yetiştirilmesinde daha az suya ihtiyaç duyar, oldukça hızlı büyür, kök sistemleri sayesinde kuraklığa dayanıklıdır ve pek çok coğrafyada yaygın bir şekilde kültürü yapılabilmektedir. Lignoselülozik lifleri en kaliteli lifler arasında olup aynı zamanda antibakteriyel özelliğe sahiptir (Hao ve ark., 2014; Khan ve ark., 2015). Bu sebeple antibakteriyel tekstil ürünleri (Cassano ve ark., 2013) ve cerrahi malzeme üretimine (Gu, 2006) oldukça elverişlidir. Kâğıt sanayisi günümüzde ağaçların kullanımına bağımlı haldedir. Yapılan araştırmalarda belli bir alandaki kenevir topluluğundan aynı orandaki orman alanından dört kat fazla selüloz elde edilebildiği ortaya konmuştur (Yıldırım ve Koca Çalışkan, 2020).

Bu üstünlüklerine ek olarak kenevirin; birim alanda yüksek oranda yaprağa sahip olması sebebiyle oksijen salımının yüksek olması, sürdürülebilir olmayan ham maddelerin (petrol türevlerinden elde edilen plastik, toksik polimerler ve ormanlardan elde edilen kâğıt gibi) yerini alabilmesi, yakacak olarak kullanıldığında dahi karbon ayak izinin daha az olması diğer avantajları arasındadır. Tüm bunların yanında yabancı otlarla mücadelede diğer tarla bitkilerinden üstün olması, üretiminde ekonomik anlamda kayıtlara geçmiş hastalığının az olması, terpen ve terpenoid gibi sekonder metabolitler içerdiği için zararlılara karşı oldukça dayanıklı olması sebebiyle insektisit, fungusit vb. ilaçlara pek ihtiyacının olmaması gibi özellikleri, kenevirin çevre dostu bir bitki olduğunu, ağaç popülasyonlarının korunmasında ve doğaya saygılı tarım uygulamalarında kilit role sahip olabileceğini göstermektedir (Aytaç ve ark., 2017; Yıldırım ve Koca Çalışkan, 2020).

Kenevir bitkisinin çiçeklerinin, tıbbi amaçlarla tüketilen kannabinoller olarak bilinen psikoaktif ve fizyolojik olarak aktif kimyasal bileşikleri içerdiği belirtilmiştir. Kenevirin, pamuk lifi ve sentetik lif üretiminin artması ve özellikle psikoaktif madde içeriğinin suistimal edilmesi sebebiyle pek çok ülkede yetiştiriciliği önemli ölçüde kısıtlanmıştır. Narkotik özelliğinden dolayı birçok ülkede yasaklanan kenevir son yıllarda endüstriyel amaçlı üretilmeye başlanmıştır. Endüstriyel kenevir tarımı ile ilgili yasal düzenlemeler yapıp tetrahidrokannabinol (THC) oranı düşük çeşitler ıslah edilmiştir (Kaya ve Öner, 2020; Karcier, M. 2021).

Farklı kullanım alanları olan kenevirden, yiyecek (kenevir tohumu), hayvan yemi, vücut bakım ürünleri, cila, ahşap mastik, etanol, biyodizel, biyo-bozunur plastik maddeler, inşaat malzemeleri, giyim, kâğıt ve ilaç gibi birçok ürün elde edilmiştir. Kenevir liflerinin tekstil ürünlerinde de kullanımının olduğu bilinmektedir. Ayrıca Türkiye’de lif amaçlı tarımı yapılacak kenevirin; organik tarım kapsamında yapılması

durumunda, organik tekstil ürünlerinin pazarını oluşturma potansiyelinin oldukça yüksek olduğu bildirilmiştir (Kaya ve Öner, 2020; Karcıer, M. 2021).

Avrupa ülkelerinde kenevir ekimi 2002'den 2017 yılı sonuna kadar yaklaşık 90.000 hektara ulaşmıştır. Ülkemizde bu rakam 100 dekarın altındadır. Avrupa Endüstriyel Kenevir Organizasyonu'nun (EIHA) tahminleri doğrultusunda; 2025'e kadar kenevirin odunsu kısmı ve tozunun 60 kat, kenevir lifi ile güçlendirilmiş biyokompozitlerin 4 kat, kenevir tohumu ve gıda pazarının 60 kat artacağı; hayvansal yatak malzemelerinin 3 kat, kenevirden kâğıt üretiminin 20 kat artacağı öngörülmektedir (Kaya, S. ve Öner, E., 2020)

29.09.2016 tarihli Resmi Gazetede yayınlanan yönetmelik kapsamında Türkiye'de 19 ilde (Amasya, Antalya, Bartın, Burdur, Çorum, İzmir, Karabük, Kastamonu, Kayseri, Kütahya, Malatya, Ordu, Rize, Samsun, Sinop, Tokat, Uşak, Yozgat ve Zonguldak) kenevir üretimine izin verilmiştir. Ayrıca kenevir tarımının geliştirilmesine yönelik olarak Samsun ilinde Ondokuz Mayıs Üniversitesi bünyesinde ve Yozgat Bozok Üniversitesi bünyesinde olmak üzere iki adet "Kenevir Araştırmaları Enstitüsü" kurulmuştur (Göre, M. ve Kurt, O., 2021).

Ülkemizde 1971 yılına kadar devam eden kenevir üretimi bu tarihten sonra gerilemeye başlamış, 1990 yılında alınan karar ve çıkartılan yönetmelikle kontrollü olarak yetiştiriciliğine izin verilmiştir. Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü verilerine göre, kenevir tohumu üretimi, 2013 yılında 1 tona düşmüş ve sonraki yıllarda yıllık 1 tonun altında gerçekleşmiştir. 2018-2023 yılları arasında hem tohum hem de lif üretiminde belirgin bir artış meydana gelmiştir (**Çizelge 1.1.** ve **Çizelge 1.2.**).

Çizelge 1. 1. Kenevir tohumu üretim istatistikleri (Anonim, 2024)

Yıl	Üretim Alanı (Dekar)	Miktar (Ton)
2018	59	3
2019	536	20
2020	4.252	273
2021	317	20
2022	1 963	159
2023	3.923	327

Çizelge 1. 2. Kenevir lifi üretim istatistikleri (Anonim, 2024)

Yıl	Üretim Alanı (Dekar)	Miktar (Ton)
2018	55	7
2019	160	19
2020	101	9
2021	324	21
2022	365	31
2023	2.117	359

Pamuk, yün, ipek ve keten gibi geleneksel kaynakların yetersiz kalması, yeni doğal lif araştırmalarının yapılması ve biyobozunur özellik sergileyen alternatif lif arayışları ile son yıllarda Kenevir lifi, portakal lifi, dut lifi, ananas yaprağı lifi, muz lifi, bambu lifi, tohum lifi ve benzeri birçok yeni liften faydalanılmaya başlanmıştır (Karthik ve ark., 2015). Özellikle tekstil ve moda endüstrisinde büyük bir potansiyele sahip olan yeşil moda anlayışında gövde (sak) liflerinden elde edilen keten ve kenevir gibi lifler, sürdürülebilir bir biçimde geleceğe yönelik çevreci yaklaşım sergileyen lifler olarak kabul edilmektedir (Kurtuldu ve İşmal, 2020). Biyobozunur özelliğinin yanı sıra pigment ve lignin içeriği sayesinde UV emici olarak davranması (Samanta ve ark., 2015), çevresel faktörlere daha düşük seviyede maruz kalması, pestisit içermemesi ve az miktarda gübre kullanılarak elde edilebilmesi (Hayo, 2004), alerjik etkilerinin olmaması (Pejic ve ark., 2008), daha az alanda daha verimli oranda ürün elde edilebilmesi (Cherrett ve ark., 2005) gibi özellikleri kenevir lifinin “doğal lüks bir lif” (Hassan, 2015) olarak tanımlanmasını sağlamaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) analizlerinde de organik olarak üretilen kenevir lifinin pamuk ve poliesterden daha çevreci lif olduğu kanıtlanmıştır (Hansen ve Schaltegger, 2016). En eski tekstil lif kaynağı sayılan kenevir lifi, mükemmel mekanik özelliklere sahip olup günümüzde sicim, halat, çuval gibi üretimlerin dışında, otomobil endüstrisinde de iç donanım işlemlerinde oldukça fazla kullanım alanı bulmaktadır (Hu ve Lim, 2005).

Hızlı büyüyen otsu bir bitki olan kenevir, kısa sürede yüksek miktarda biyokütle oluşturma potansiyeline sahiptir. Kenevir sapı, bünyesinde selülozik ve odunsu lifler bulundurmaktadır. Sapların iç kısmında odunsu kısım bulunurken, bunları çevreleyen dış kısmında ise selüloz bakımından zengin uzun sak lifleri bulunmaktadır. İç kısımdaki

odunsu lifler ve dış kısımdaki sak lifleri birbirinden farklı özelliklere sahip oldukları için farklı alanlarda kullanılma potansiyelleri bulunmaktadır (Manaia ve ark., 2019).

Yüksek mukavemet, aşınmaya karşı direnç, nefes alabilirlik, yüksek nem çekme, boncuklanmama, anti bakteriyel özellik, UV koruma sağlama, yüksek elektrostatik özellik sergilemesinden dolayı kenevir lifi pek çok alanda tercih edilen bir liftir. Kullanıldığı ürünler açısından çeşitli kaynaklara bakıldığında 50.000’den fazla üründe kullanımının olduğu söylenebilir. Kenevir bu çoklu kullanım yönüyle endüstriyel kenevir olarak adlandırılmaktadır. 1940’larda, kenevir bitkisinin otomobillerde kullanılmaya başlanmasının öncüsü olarak bilinen Henry Ford kenevir lifinin geniş alanlarda kullanılmasının örneklerindendir (Karche ve Singh, 2019). Büyük otomobil üreticileri de, araçlarında kenevir ürünlerini kullanmaktadırlar (Wirthschafter, 2004).

Biyobozunur yapıdaki kenevir lifi son yıllarda endüstriyel kullanımlarının yanı sıra, antimikrobiyal, nem emicilik gibi özelliklerinden dolayı hazır giyim sektöründe de tercih edilmektedir (Lee, 2016). Tekstil sektörü ile beraber kenevir liflerinden kompozit malzemelerin üretiminde de çokça yararlanılmaktadır. Tutkal ve diğer polimer malzemelerle iyi bağlar kurmasının bir sonucu olarak, mobilya sektöründe özellikle döşemelik kumaş kullanımında tercih edilirken otomobil endüstrisinde kapı ve koltuk panelleri gibi alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca çevre dostu olması, liflerinin şekillenebilme özelliği ve kullanım kolaylığından dolayı kenevir bitkisinden üretilmiş tekstil ürünlerine ve kompozit malzemelere talep gün geçtikçe artmaktadır (Perçin ve ark., 2018).

Kenevir, sadece çevresel sürdürülebilirliği açısından değil, diğer lifler ile kıyaslandığında üretim maliyeti açısından da tercih edilen bir liftir. Öyle ki, kenevirden üretilen kompozit yalıtımlar, cam lifinden üretilen kompozit yalıtımların yerine kullanıldığında % 23 daha hafif ve % 20 maliyet tasarrufu sağlanmıştır (La Rosa ve ark., 2013).

Kenevir ile ilgili araştırmalar bir çok yolla geliştirilebilir. Ancak yetiştiricilikte kalite ve verim unsurları ön plana çıkmaktadır. Yetiştirilmesinin ekonomik ve çevresel bir çok olumlu etkisinin olduğu ortaya konan kenevir bitkisinin verimi günümüz tarımsal biyoteknolojik yöntemlerinin ilgi alanına girmektedir (Göre, M. ve Kurt, O., 2021).

Kenevir tarımında biyoteknolojik yöntemlerin kullanılması bitkinin verim ve kalite unsurlarını arttırmaya yönelik çalışmaları içermekte olup *in vitro* mikroçoğaltım, iç mekan yetiştiriciliği (indoor growing), topraksız tarım gibi yöntemler ile kenevir yetiştiriciliğine biyoteknolojik olarak yaklaşılmaktadır.

Tarımsal biyoteknolojik yöntemlerin başlıcalarından biri olan hidroponik, sağladığı bir çok avantajından dolayı modern tarımda önemli bir yer kapsamaktadır. Hidroponik temel olarak, toprak kullanmadan, bitkinin ihtiyaç duyduğu mikro ve makro besin elementlerinin suda çözünmesi ve bitkinin ihtiyaç duyduğu besinleri direkt sudan alması prensibine dayanan bitki yetiştirme yöntemidir.

Topraksız tarım, bitkinin büyüme ortamı için farklı substratlar (vermikülit, perlit, hindistan cevizi kompostu, su vb...) kullanılarak bu ortamlara bitkinin ihtiyaç duyduğu besinlerin eklenmesi ile yapılan bitki yetiştirme yöntemidir. Hidroponik tarım ise bitkinin ihtiyaç duyduğu besinleri kökleri aracılığıyla direkt olarak sudan alarak uygulanan tarımsal biyoteknolojik bir yöntemdir. Bu yöntemde bitki, kökleri başka hiç bir ortam olmaksızın direkt suyun içinde yüzmek suretiyle beslenmesini sağlayarak gelişmektedir.

Son yıllarda dünyada topraksız tarıma artan ilgilinin sonucu kenevir bitkisinin hidroponik ortamlarda yetiştirilmesi yaygınlaşmaktadır. Ancak ülkemizde kenevir tarımı yasal izinler çerçevesinde geleneksel tarım yöntemleriyle yapılmaktadır. Endüstriyel kenevir bitkisi ve bu bitkinin liflerinden elde edilen ürünler ile küresel endüstriyel ürün pazarına ülkemizi rekabetçi ve iddialı bir şekilde dahil edebilmek için yaptığımız bu çalışmada tarımsal biyoteknolojik bir yöntem olan hidroponik teknik kullanılarak lif veriminin artırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla endüstriyel kenevir (*Cannabis sativa* L.) bitkisinde, öncelikle hidroponik ortamın optimizasyonu sağlanmış ve akabinde indol bütirik asit (IBA), silisyum (Si) elementi ve bazı makro elementlerin (azot, fosfor, potasyum) farklı konsantrasyonlarının bitki gelişimi ve lif verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma ülkemizde bu alanda yapılan ilk çalışma olup tarımsal biyoteknolojik yollarla kenevir bitkisinde lif veriminin artırılmasına yönelik literatürde yer alan boşluğu önemli ölçüde dolduracağı kanaatindeyiz.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Tarihçe

Cannabaceae familyasının üyesi olan *Cannabis sativa* hint keneviri olarak da bilinmekte ve tarihin en eski kültür bitkilerinden biri olma özelliğini taşımaktadır. Bazı kaynaklarda, ilk kez M.Ö. 2500'lü yıllarda Çin'de giysi kumaşlarında kullanıldığına dair bulgulara rastlanmıştır (Ulaş, 2018). Bununla birlikte Çin topraklarında yapılan arkeolojik bulgulara ise bulunan polen kalıntılarından kenevir tarımının M.Ö. 4000 yıllarına kadar dayandığı, Avrupa ve Amerika kıtasında tarımının yapılması ile tüm dünyaya yayılış gösterdiği bildirilmektedir (Hui-Lin, 1974; Hand ve ark., 2016). Bitkinin tıbbi amaçlı kullanılmasına M.Ö. 100 yıllarında Hindistan'da rastlanmakta ve bu amaçla kullanımının Avrupa'da 1700'lü yılları bulduğu bilinmektedir (Himmetoğlu, 2020).

Ülkemizde Dündartepe (Samsun) höyüğünde yapılan arkeolojik çalışmalar neticesinde urgan yapımında kullanılan bir aletin bulunması ve yapılan incelemeler sonucu, kenevir tarımının Anadolu'da M.Ö. 1500'lü yıllara dayandığını işaret etmektedir (Gizlenci ve ark., 2019; Dölen, 1992; Mert, 2009).

2.2. Kenevir Sistematigi

Kenevir, 7700 tür ve 260 cinsi içerisinde barındıran ve çiçekli bitkilerin bir takımı olan Rosales takımına ait Cannabaceae familyasından bir bitkidir. Günümüzde Cannabaceae familyasına ait 10 cins bulunmaktadır (Celtis, Trema, Gironneira, Aphananthe, Humulus, Cannabis, Pteroceltis, Parasponia, Lozanella, Chaetachme) (Yang ve ark., 2013). Cannabaceae familyasının bir üyesi olan Cannabis cinsi kenevir bitkisinin içinde bulunduğu 3 farklı türü barındırmaktadır. Bunlar: *Cannabis sativa*, *Cannabis indica* ve *Cannabis ruderalis* olarak adlandırılmaktadır. Her ne kadar 3 türe ayrılmışsa da bitkinin kimyasal içeriğiyle ve farklı zamanlarda gösterdiği değişik morfolojik yapısıyla ilgili yapılan çeşitli kemo-taksonomik ve morfo-taksonomik çalışmalarda bitkinin tek bir tür, *Cannabis sativa*, olarak adlandırılabilceği genel kabul görmüştür. Bu kabul Cannabis cinsinin türlerinin birbirinden ayrılmasında zorluk yaşanmasından kaynaklanmaktadır. Tür sınıflandırmasının kesinliğe ulaşabilmesi için kapsamlı genetik çalışmalar yapılması önem arz etmektedir (Hazeekamp ve Verpoorte, 2006). Kenevir bitkisinin taksonomik sınıflandırılması aşağıda belirtildiği şekildedir.

Alem: Plantae

Alt alem: Tracheobionta

Sınıf: Magnoliopsida

Takım: Urticales

Familiya: Cannabaceae

Cins: Cannabis

Tür: *Cannabis sativa* L. (Bakış ve ark., 2011)

2.3. Kenevir Morfolojisi

Kenevir, 1-6 m uzunluğa erişebilen çoğunlukla dioik, tek yıllık, otsu, kısa gün bitkisidir. Sapları yeşil, içi boş silindirik yapıdadır. Bitkinin dallanması çeşitlere göre farklılık göstermektedir. Bazı çeşitlerde (medikal kenevir) yan dallar zıttan alternatif yöne büyürken bazı çeşitlerde (endüstriyel kenevir) dallanma olmaksızın bitki tek gövde üzerinde boyuna uzama gösterir (**Şekil 2.1.**).



Şekil 2. 1. Endüstriyel kenevir (Anonim 2025)

Yaprak sapları 7 cm uzunluğa kadar erişebilir. Olgun bir kenevir bitkisinde yapraklar plamatelik (lobları tek noktadan çıkan) şekilde 5-7 lobludur. Loblar sapa yakın kısımdan ortaya doğru genişleme ve ortadan lobun ucuna doğru daralma gösterir. En alttaki lob çifti genellikle diğerlerinden küçüktür ve geriye doğru bakar. Yaprak uçları sivri mızrak şeklindedir. Yaprakların kenarlarında çentikler bulunur ve çentikler yaprak ucunu gösterecek şekilde eğimlidir. Her yaprak lobunun birincil orta damarı ve her iki yanında ikincil damarlar bulunur (**Şekil 2.2.**) (Raman ve ark., 2017).



Şekil 2. 2. Yaprak genel görünümü (Raman ve ark., 2017)

Erkek ve dişi çiçekler ayrı bitkilerde bulunur. Erkek çiçekler koltuk altı gevşek dallı salkımlar üzerinde taşınan soluk yeşil renktedir. Salkımlardaki çiçekler tek başına, kümeler halinde veya 3 çiçekli kümeler halinde bulunur. Her çiçek beş tepal, beş stamen ve ince bir saptan oluşur (Şekil 2.3.). Dişi çiçekler çeşitlere göre beyaz, mor, kahverengi gibi farkı renklere sahip olabilir. Neredeyse sapsız ve çiftler halinde taşınır. Her çiçek, tepe noktasında bir çift uzun ince tüylü tepecikle biten bir stilusa sahip yumurtalıktan, yumurtalığı çevreleyen zarsı bir çiçek örtüsünden oluşur (Şekil 2. 4.). Kenevir bitkisinin hemen hemen tüm toprak üstü kısımları trikomlarla kaplıdır. Glandüler trikomlar, *C. sativa*'da kannabinoidlerin sentezi ve depolanması için birincil yapılardır. Glandüler olmayan trikomlar, gövdelerde, yapraklarda, yaprak saplarında, stipullarda ve tepelerde bulunan tek hücreli örtücü trikomlardır (Raman ve ark., 2017). Trikomlar bitkinin vejetatif gelişim döneminin sonlanması ve generatif döneme başlaması ile birlikte salgılanmaya başlanır.



Şekil 2. 3. Erkek çiçek yapısı (Anonim, 2021a)



Şekil 2. 4. Dişi çiçek yapısı (Anonim, 2021a)

2.4. Gövde ve Lif Yapısı

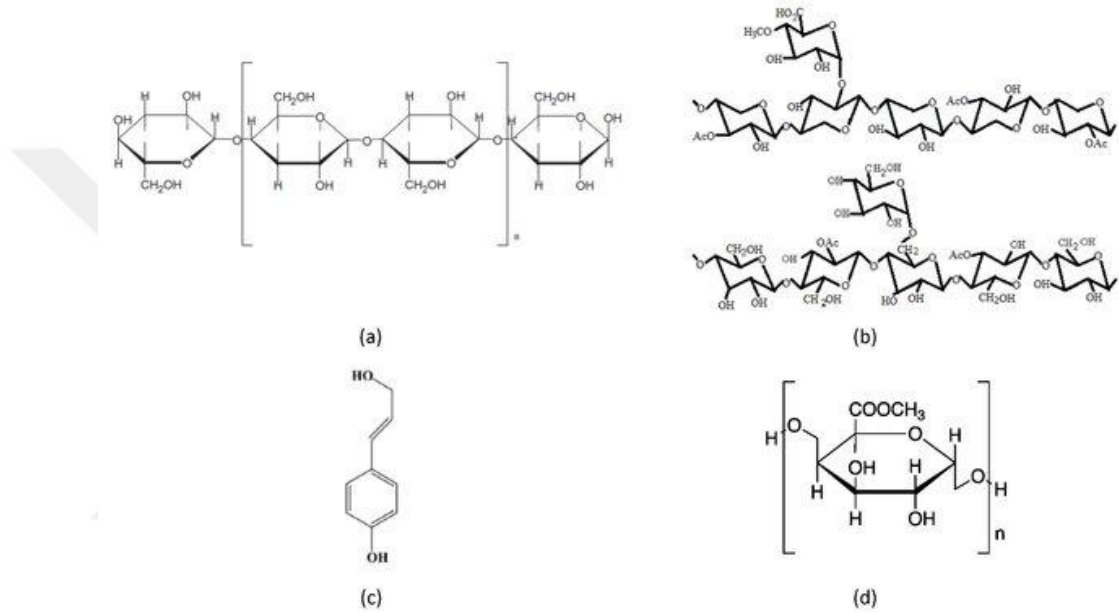
Endüstriyel kenevir uzun, yan dallanması olmayan içi boş bir gövde yapısına sahiptir. Gövde kütikül, epidermis, korteks, floem, ksilem, lümen elemanlarından oluşur. Kütikül/epidermis, sapın hücrelerini neme, buharlaşmaya ve ani sıcaklık değişimlerine karşı koruyan ve gövdeye kısmen mekanik takviye sağlayan dış tabakadır. Bitki, havalandırmayı, buharlaşmayı ve gaz alış verişini sağlayan stomalardan oluşur. Klorofil içeren ince korteks, sak lif demetleriyle floem tabakasına yapışır. Ksilem ve lümen, toplam sap kütlesinin yaklaşık %75'ini oluşturan ve fotosentez sırasında oluşan çözünebilir organik bileşiklerin taşınması ile köklerden tüm bitkiye su ve mineral dağılımından sorumlu olan büyük odunsu tabakayı oluşturur. Bitkinin orta kısmında bulunan ksilem, her ikisi de taşıma işlevine sahip olan parankima ve bitkiye sertlik ile kuvvet veren libriform liflerden (çekirdek lifler) oluşur (Zimniewska, 2022). Hücre duvarında bulunan polisakkarit yapıdaki selüloz, hemiselüloz ve lignin bitkide “lignoselülozik lif” yapısını oluşturur. Bitki saplarından elde edilen lifler selüloz, hemiselüloz, lignin, pektin, mumlar, yağlar ve kül içerir. Sak liflerinde oluşan ana makromoleküler bileşik, lif tipine, çeşidine ve ekstraksiyon yöntemine bağlı olarak kuru kütlenin yaklaşık %40 ila %80'i arasında değişen miktarlarda selülozdur. Kenevir bitkisinin liflerini kıymetli kılan ise yapısında bulundurduğu selüloz oranının, çeşit ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişmekle birlikte, %70-80'lere kadar ulaşmasıdır (Olesen ve Plackett, 1999).

Kenevir lifleri; primer bast lifleri ve sekonder bast lifleri olmak üzere farklı kökenlere sahip iki lif tipinden oluşmaktadır. Endüstride, sekonder lifler bitkiye sertlik sağlayan odunsu lignin maddesini içerdiği için daha çok primer lifler tercih edilmektedir (Gökgöz, 2022). Primer lifler, yüksek kaliteli iplikler elde etmek için tercih edilirken; sekonder lifler, tercih edilmemektedir. Çünkü sekonder lifler, eğirme için çok kısadır ve bu liflerin varlığı primer liflerden ince ve homojen ipliklerin üretimini engellemektedir. Ayrıca sekonder lifler; ince, esnek ve homojen ipliklerin üretimi için zararlı olan lignini çok fazla içermektedir. Tekstilde temel olarak, primer liflerin kullanılması tercih edilmektedir (Westerhuis ve ark., 2019).

Selüloz bir polisakkarittir ve bitkideki plazma zarında rozet terminal komplekslerinin (RTK'ler) sentezi ile üretilir. RTK'lerin protein yapıları, selüloz zincirlerini sentezleyen selüloz sentaz enzimlerini içermektedir. Selüloz hidrofiliktir, suda ve çoğu organik çözücüde çözünmez. Kenevir bitkisindeki liflerin ana bileşeni olan

selüloz, lif emiciliği, boyanabilirlik, kimyasal modifikasyon kabiliyeti ve lif işlemeye uygunluğu gibi önemli özellikler taşımaktadır (Zimniewska, 2022).

Hemiselüloz, hemen hemen tüm karasal bitki hücre duvarlarında selüloz ile birlikte bulunan arabinoksilanlar gibi bir dizi karbonhidrat zincirinden oluşan (ksiloz, mannoz, galaktoz, ramnoz, arabinoz) bir polisakkarittir. (Şekil 2.5.). Hemiselüloz, bitki hücresinin orta lameline hakimdir ve yapının dış katmanlarındaki selüloz için orta zemin desteği sağlar. Hemiselüloz ayrıca bitkiye yapısal doku desteği sağlamak için lignin ile etkileşime girebilir (Sheller ve Ulakov, 2010; Tezara ve ark., 2016).



Şekil 2. 5. a: selüloz, b: hemiselüloz, c: lignin, d: galakturonik asit (Tezara ve ark., 2016)

Lignin, hücre duvarının yapısal bütünlüğünü ve gövdenin sertliği ile dayanıklılığını sağlayan bir polisakkarittir. Ayrıca lignin, hücre duvarını su geçirmez hale getirerek, suyun ve çözünen maddelerin vasküler sistem aracılığıyla taşınmasını sağlar ve bitkileri patojenlere karşı korumada rol oynar (Boerjan ve ark., 2003).

Kenevir bitkisinde liflerin ayrılması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar arasında çiğde bekletme, mekanik ayırma, kimyasal işlem, havuzlama, enzim uygulama başta gelen yöntemlerdir. Burada amaç liflerin, bitkinin odunsu bölümünden ayrılmasını sağlamaktır (Kaya ve Öner, 2020). Bu yöntemler arasında geleneksel olarak kullanılan havuzlama yöntemi lif eldesinde başarılı sonuçlar vermektedir. Jankauskiene ve ark., (2015) lif ayırma metodlarının kenevir lifinde bazı kalite parametreleri üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında suda havuzlama yönteminin lif kalitesi üzerine olumlu etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Bu yöntemde yapraklarından ayrılan kenevir

gövdesi, taze bir şekilde temiz suyun bulunduğu havuzlara yatırılarak odunsu kısım ile liflerin ayrılması sağlanır. Sıcaklığı 25-30 °C arasında olan suda 3-5 gün arası bekletilen kenevir bitkisinde gövdeden liflerin ayrılması sağlanır (Şekil 2.6.).



Şekil 2.6. Havuzlama işlemi sonrası liflerin gövdeden ayrılması (Gizlenci ve ark., 2019)

2.5. Kullanım Alanları

Kenevir, günümüzde farklı kısımları kullanılarak farklı alanlarda faydalanan ve bir çok ıslah çeşidi bulunan bir bitkidir. Genel olarak bitkiyi kullanım alanları açısından ikiye ayırmak mümkündür. Medikal kenevir ve endüstriyel kenevir.

2.5.1. Medikal kenevir

Medikal kenevir çeşitleri dünyada bitkinin insan sağlığı açısından kullanılması yönünde geliştirilen ve yetiştirilen bitkilerdir. Bu tip kenevir çeşitleri endüstriyel kenevir çeşidinden morfolojik ve fizyolojik açıdan farklılık göstermektedir. Endüstriyel kenevirle kıyaslandığında, türe ve çeşidine bağlı olarak değişmekle beraber, internodlardan çıkan meristemler de ana gövde kadar büyüme ve gelişme göstermektedir. Bitkinin dişi organları erkeğe göre çok daha yüksek oranda aktif kimyasal bileşikler içermekte ve generatif evrede yan dallar da yüksek oran ve yoğunlukta çiçeklenme göstermektedir. Tüm bu farklılıklar bitkinin etken maddeleri olan fitokannabinoidlerin en yüksek oranının dişi çiçeğinde bulunması ile ilişkilidir.

Kenevirden elde edilen fitokannabinoidler [kannabigerol (CBG), kannabidiol (CBD), kannabinol (CBN), kannabikromen (CBC), kannabivarin (CBV), tetrahidro kannabinol (THC)] endokannabinoid sistem (ECS) vasıtasıyla, insan fizyolojik süreçlerinin düzenlenmesinde ve yenilenmesinde rol oynayarak insan sağlığına fayda sağlamaktadır (Maccarone ve ark., 2015). ECS insan vücudunda düşünme, hafıza, zevk ve zaman algısı ile ilgili fizyolojik mekanizmalarda görev alan, enzimatik sistemleri içeren karmaşık bir sinyalizasyon sistemidir. Kannabinoid reseptörleri hücre zarında veya hücre içinde bulunan ve hücre içindeki metabolik işlevleri değiştirerek ortamdaki kimyasallara cevap veren proteinlerdir. Vücutta doğal olarak üretilen dopamin, serotonin gibi hormonları tanımada rol oynadığı gibi fitokannabinoid sinyallerine benzer yanıtlar verdiği 1990'lı yıllarda keşfedilmiştir (Paez ve Campillo, 2019; Pertwee, 2010).

Kannabinoidlerin gastrointestinal düzenleme, nörodejenerasyon, antioksidatif, antibakteriyel, antidiyabetik, antidepresif, antiinflamatuvar ve antikanser etkileri yapılan çalışmalarla ortaya konmaktadır. Crowley ve ark., (2024) yaptıkları bir çalışmada, kannabinoidlerin çeşitli faktörlere bağlı olarak barsak peristaltizmini hem uyarabildiği hem inhibe edebildiğini rapor etmişlerdir. Araştırmacılar gastrointestinal sistemdeki inflamatuvar bozuklukların azaltılmasında kannabinoidlerin rol oynadığını ve sonuç olarak, kannabinoidlerin gastrointestinal sistem bozukluklarının tedavisinin bileşenleri olarak kullanılması ihtimali olduğunu bildirmişlerdir. Raja ve ark., (2020) CBD ve Δ^9 THC'nin antioksidan aktivitesini insan nöronal hücrelerinden oluşan *in vitro* bir sistem kullanarak araştırmışlardır. THC'nin oksidatif stresle mücadele etme potansiyelinin yüksek olduğunu, CBD'nin ise kayda değer bir antioksidan aktivite göstermediğini bunun yanında kenevir ekstraktlarının önemli bir antioksidan aktivite sergilediğini ve bu aktivitenin CBD'nin, THC'nin antioksidan aktivitesi üzerinde herhangi bir antagonist etkisi olmadığını bildirmişlerdir. Mammana ve ark., (2019) psikoaktif olmayan iki fitokannabinoid olan CBG ve CBD'nin anti-inflamatuvar, antioksidan ve anti-apoptotik özelliklerini araştırmışlardır. CBG'yi tek başına ve CBD ile kombine şekilde uyguladıkları çalışmalarında bu kannabinoidlerin anti-inflamatuvar, antioksidan ve anti-apoptotik etkileri gösterdiğini rapor etmişlerdir.

2.5.2. Endüstriyel kenevir

Kenevir bitkisinin endüstriyel kenevir olarak sınıflandırılması içeriğindeki THC oranı ile ilgilidir. THC bitkinin, keyif verme, halüsinasyon görme, sarhoşluk yaratma gibi

psikoaktif etkileri olan sekonder metabolitidir. Endüstriyel kenevirin THC oranında uluslararası bir standart yoktur. Endüstriyel kenevir tarımının yapılabilmesi için bitkinin içeriğindeki THC oranına farklı ülkeler farklı sınırlamalar getirmektedir (Olesen ve Plackett, 1999). Bununla birlikte bitkide psikoaktif etkinin görülmediği en düşük eşik değer %1 olarak kabul edilmektedir. Bu eşik değere bağlı kalınarak farklı ülkeler farklı THC oranları belirlemişlerdir (**Çizelge 2. 1.**).

Çizelge 2. 1. Ülkelere göre endüstriyel kenevirin THC oranları (DeCarlo and Weaver, 2023)

Ülkeler	THC Oranı (Maksimum)
Amerika Birleşik Devletleri	%0,3
Avrupa Birliği	%0,3
Kanada	%0,3
Çin	%0,3
Birleşik Krallık	%0,2
Paraguay	%0,5
Ukrayna	%0,08
Güney Afrika	%0,01

THC oranları düşürülmüş endüstriyel kenevir bitkisinin sap ve lif kısmı birçok alanda kullanılmaktadır. Tekstil sanayi, kağıt sanayi, yapı malzemesi ve kompozit sanayi, çimento ve inşaat sanayi bu bitkinin başlıca kullanım alanlarıdır.

Kenevir lifi tabanlı tekstil ürünlerinin tercih edilmesi genellikle hijyenik özellikleriyle ilişkilendirilmektedir. Kenevir lifi karışımı kumaşlar, antimikrobiyal ve hipoalerjenik olmasının yanı sıra küflenmeye karşı da dayanıklılık sağlamaktadır. Ayrıca hava koşullarına ve ultraviyole ışınlarına karşı pamuk ve ipeğe göre daha dayanıklı olması nedeniyle kolay deforme olmaz (Crini ve ark., 2020).

Kenevir lifi, hamurunun yüksek kaliteli fiziksel özellikleri ve çekme mukavemeti nedeniyle kağıt yapmak için ideal ve verimli bir hammaddedir. Kenevir kağıdı, ağaç bazlı kağıda göre ayrışmaya karşı daha dayanıklıdır ve sararmaya daha az eğilimlidir (Harris ve ark., 2022; Ranalli ve Venturi, 2004).

Yüksek kaliteli yapı malzemeleri, kireç, kil veya çimento gibi bir bağlayıcının lif parçacıklarıyla karıştırılmasıyla üretilir. Bu malzemeler kenevir betonu veya kenevir kireci olarak adlandırılan biyokompozitlerdir (Crini ve ark., 2020). Khoathane ve ark.,

(2008) polipropilen (PP) bazlı kompozitlere %30'a kadar kenevir lifi ekledikleri çalışmalarında, tüm kompozitlerde lif miktarının artmasının çekme dayanımı, elastik modül ve eğilme dayanımında artışa, darbe dayanımında ise azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir.

Günümüzde kenevirle güçlendirilmiş doğal lifler, birçok otomotiv markasının iç bileşenlerinde kullanılmaktadır. Gövde panelleri, koltuklar, bagaj kaplamaları, rüzgarlıklar, yalıtım panelleri gibi pek çok parçada kenevir lifi ile güçlendirilmiş polyester kompozitler ve biyoplastikler kullanılmaktadır (Ahmad ve ark., 2015).

2.6. Ülkemizde Kenevir Yetiştiriciliği

Cumhuriyetin ilk yıllarında Kastamonu ilinde tarımına başlanan kenevir, Kamu İktisadi Teşebbüs'leri ile desteklense de, tarımda mekanizasyon ve sanayileşmede atılan adımlara karşılık hammadde yetersizliğinden dolayı sürdürülememiştir. 1940'lı yıllara gelindiğinde Türkiye genelinde ekili tarımsal alanlarda azalmaya paralel olarak kenevir tarımında da azalma görülmektedir. 1960'lı yıllardan sonra yüksek iş gücü gereksinimi, tarımda mekanizasyonun istenen seviyede artmaması, sentetik liflerin üretim maliyetinin daha uygun olması, kenevirin içeriğinde bulunan THC'nin psikoaktif etkilerinden dolayı üreticilerin ekimi konusundaki çekinceleri ve devlet kontrol mekanizması gibi nedenlerle tarımı hızla düşmüştür. 1960'lı yıllarda yaklaşık 13.000 hektar olan kenevir ekim alanı 2017 yılına gelindiğinde 10 hektara kadar düşmüştür (Ceylan, 2021).

12.06.1932 tarih ve 2313 sayılı kanun gereği esrar hammaddesi elde etmek için kenevir ekimi yasaklanmıştır. 25.05.1979 tarih ve 2336 sayılı kanun ile her türlü kenevir ekimi izne tabi olarak yasallaştırılmıştır. 29.09.2016 tarih ve 29842 sayılı Resmi Gazete ile "Kenevir Yetiştiriciliği ve Kontrolü Hakkında Yönetmelik" yayınlanmış ve bu yönetmeliğe göre Amasya, Antalya, Bartın, Burdur, Çorum, İzmir, Karabük, Kastamonu, Kayseri, Kütahya, Malatya, Ordu, Rize, Samsun, Sinop, Tokat, Uşak, Yozgat ve Zonguldak illerinde kenevir yetiştiriciliği İl mülki idare amiri izni ile kontrollü olarak gerçekleştirilmektedir.

2.6.1. Tescilli, yerli kenevir çeşitleri

THC oranı düşük kenevir genotipleri geliştirilmesi çalışmaları kapsamında Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü ve Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından yürütülen tescil çalışmaları sonucunda ülkemizde 2 çeşit (Narlı ve

Vezir isimleri ile) tescillenmiştir. Bu çeşitlerden lif keneviri olarak ıslah edilen “Narlı” çeşidi %0,024 oranında THC, tohumluk kenevir olarak ıslah edilen “Vezir” ise %0,096 oranında THC içerikleri bulundurmaları itibariyle endüstriyel kenevir sınıflandırmasına uymaktadır (Anonim, 2021b).

2.7. Kenevir Tarımı, Biyoteknolojik Yaklaşımlar ve Topraksız Tarım

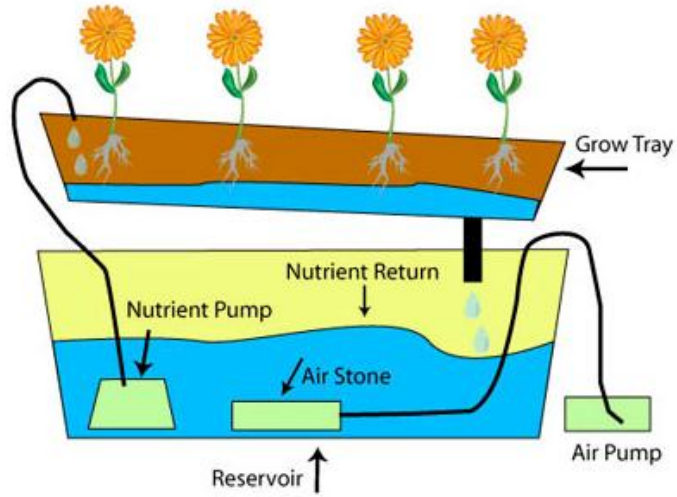
Tarla koşullarında geleneksel olarak yetiştirilmesinin yanı sıra sera koşullarında veya özel olarak tasarlanmış bitki büyütme ortamlarında da yetiştirilebilen kenevir bitkisi, yetiştirilme koşulları açısından geniş bir spektruma sahiptir. Gevşek, geçirimli, yumuşak killi-kumlu özellikler taşıyan toprakta optimum yetişen kenevir bitkisi, nispeten sert, geçirimi düşük topraklarda da yetişebilmektedir. Bu durum bitkinin kök sistemi ile ilgilidir. Optimum toprak durumunda ana kök 2 metre kadar derinlere inebilirken toprağın geçirimsiz olduğu şartlarda daha az derinlere inerek sık yan dallanma ile gelişimini sürdürebilmektedir (Amaducci ve ark., 2008). Kısa gün bitkisi olması açısından ekim zamanı ülkemizde Mart-Nisan ayları olan kenevir bitkisi vejetatif gelişim aşamasını minimum 14/10 saat ışık/karanlık fotoperiyodunda gerçekleştirir (Hall ve ark., 2014). Ayrıca iklim koşulları açısından da geniş bir yayılıma sahiptir. Ilıman, yağışlı bölgelerin yanı sıra kurak ve sıcak bölgelerde de yetişebilmektedir. Toprak asitliği bakımından da geniş bir spektruma sahip olan kenevir bitkisi 5,8 - 7,5 pH aralığında iyi gelişebilmektedir (Small, 2016).

Yetiştirilme koşullarının verdiği avantajlarla kenevir, geleneksel tarımın dışında, yenilikçi ve teknolojik yöntemlere de uyum sağlayabilmektedir. Kenevir, geniş pH aralığı, ortam nem ve sıcaklığı, kontrollü ışık ortamının sağlandığı özel tasarımı kapalı alanda, sera koşullarında yetiştirilebilmektedir. Geleneksel tarımın dışında topraksız tarım, kenevir için önemli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Topraksız tarım yöntemi olan hidroponik, genel anlamda bitkinin beslenmesi için ihtiyaç duyduğu mikro ve makro besin elementlerini doğrudan su ortamından alması prensibine dayanan bir bitki yetiştirme yöntemidir. Bu yönteme dayanarak çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu modelleri 3 ana başlıkta toplamak mümkündür:

- Besleyici film tekniği (BFT)
- Aeroponik sistem
- Durgun su kültürü

2.7.1. Besleyici film tekniği

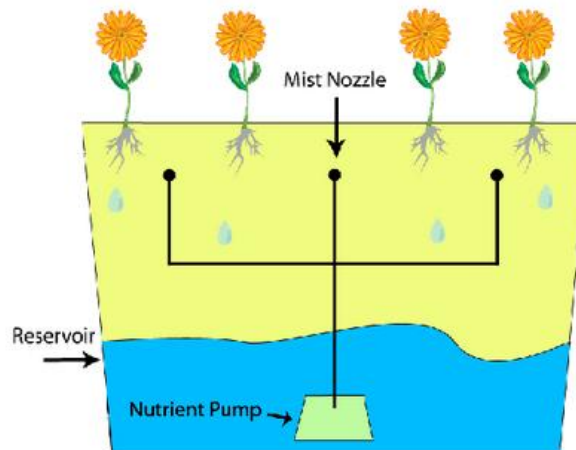
Temel olarak, besin solüsyonunun bir rezervuardan bitkilerin bulunduğu kök ortamına ulaştırılıp solüsyonun tekrar rezervuara dönüşünün sağlandığı, sürekli bir döngüye dayanan hidroponik bitki yetiştirme metodudur (Şekil 2. 7.).



Şekil 2.7. Besleyici film tekniği sisteminin temel prensibi ve örnek modeli (İncemehmetoğlu, 2012)

2.7.2. Aeroponik sistem

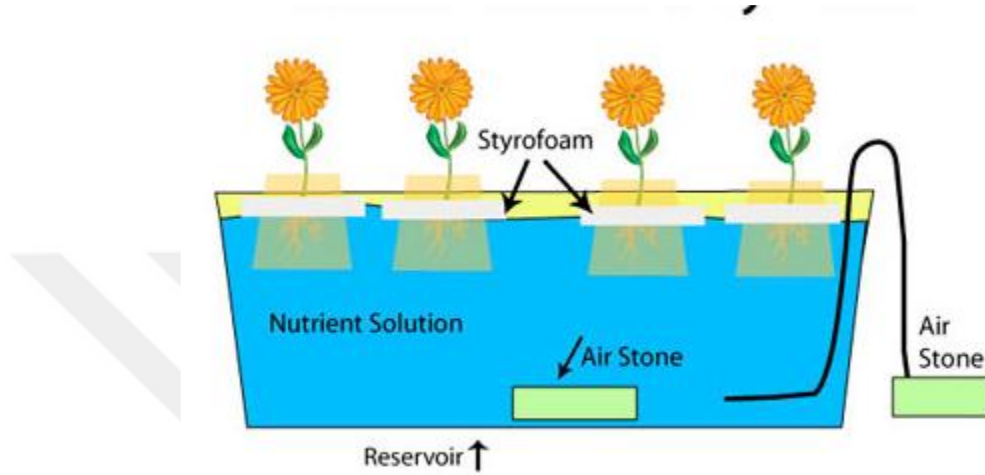
BFT sistemine benzer olarak, bitkinin kapalı ortamda bulunan kök sistemine besin solüsyonunun püskürtülmesi yoluyla gerçekleştirilen bitki yetiştirme yöntemidir (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Aeroponik sisteminin temel prensibi (İncemehmetoğlu, 2012)

2.7.3. Durgun su kültürü

Bitkinin köklerinin, mikro ve makro besin elementlerini içeren suyun içinde bulunarak doğrudan beslenmesi prensibine dayanan bir topraksız tarım yöntemidir (Şekil 2.9.). Suyun içinde hava pompasına bağlı olan hava taşı bulunur. Bu pompa dış ortamdan aldığı havayı besin tankına vererek suyun hem oksijenlenmesini hem de besin elementlerinin devamlı karışması ile homojenizasyonu sağlar.



Şekil 2.9. Durgun su kültürünün temel prensibi (İncemehmetoğlu, 2012)

Besin ortamındaki mikro ve makro besin elementlerinin miktarını ayarlamanın temel unsur olduğu bu yöntemde suyun pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri önemlidir. pH suyun asitlik seviyesini gösteren birimdir. Bitkiler kök bölgelerinden besin elementlerini alırlarken farklı asitlik seviyesinde farklı besin elementlerini alırlar. Demir ve mangan gibi elementler pH'ın 4,5-5,5 aralığındaki asitlik bölgesinde bitki tarafından alınırken, kalsiyum daha çok pH'ın nötral ve bazik bölgeye yakın olduğu pH 6-8 aralıklarda bitki tarafından alınır. pH'ın 5,5-6,5 olduğu aralık tüm besin elementlerinin alınabilmesi açısından toprak ve su için optimum aralık olarak görülmektedir (Hartemink, ve Barrow, 2023). EC ise suda bulunan anyonik ve katyonik element ve bileşiklerin yoğunluğunu gösteren bir ifadedir. Besi ortamına eklenen mikro ve makro besin elementlerinin miktarına göre EC değeri mS/cm veya dS/cm cinsinden farklılık göstermektedir.

2.8. Silisyum elementinin bitki gelişimi üzerine etkisi

Yeryüzünde karbondan sonra en fazla bulunan element olan silisyum, bitkilerin büyümesinde ve gelişmesinde birçok açıdan önemli rol oynamaktadır (Ali ve Bijay, 2024).

Bitki kökleri büyüme ve gelişmede hayati bir rol oynar. Bitkiyi toprağa sıkıca bağlayıp, yer üstü yapılara stabilite ve destek sağlayan kökler, topraktan su ve temel besinleri emerek bitkinin hayatta kalmasını ve büyümesini sağlamaktadır. Zorlu çevre koşullarıyla karşı karşıya kalan bitkilerde, silisyumun varlığının kök büyümesini arttırdığı bulunmuştur. Silisyumun hücre bölünmesini ve uzamasını teşvik ettiğine ve bunun da daha uzun ve daha yoğun kök sistemlerinin gelişmesine yol açtığına dair çalışmalar da bulunmaktadır (Dakora ve Nelwamondo 2003; Vaculíková ve ark., 2014; Mišúthová ve ark., 2021).

Çeşitli hormonların üretim ve sinyal yollarını düzenlemek, silisyumun etkilediği mekanizmalardan birisidir. Araştırmacılar, silisyumun, oksinler, sitokininler ve gibberellinler gibi bitki gelişimini kolaylaştıran önemli hormonların üretimi üzerinde olumlu bir etki yaratabileceğini bildirmektedir (Markovich ve ark., 2017; Tripathi ve ark., 2021b; Gao ve ark., 2022; Li ve ark., 2023). Hwang ve ark., (2007), silisyum uygulamasının gibberellin seviyelerinde artışa yol açtığını ve bunun sonucunda gövde uzamasında ve bitki boyunda artışa neden olduğunu bildirmişlerdir.

Silisyum elementinin, bitkiler tarafından alınan ve asimile edilen mikro-makro besin elementlerinin alımını iyileştirdiği ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. Alsaedi ve ark., (2019), Sirisuntornlak ve ark., (2021), Jinger ve ark., (2022) ve Kaaria, Gweyi-Onyango ve Muui (2023) tarafından yapılan çalışmalarda, silisyumun bitki dokularında kalsiyum, fosfor ve potasyum gibi temel besin maddelerinin alımı ve taşınması üzerinde olumlu etkisi olduğunu bildirmişlerdir.

2.9. Azot, fosfor, potasyum besin elementlerinin bitki gelişimi üzerine etkisi

Azot, canlılığın yapı taşı olan amino asit, klorofil gibi hücre elemanlarının yapısında bulunan temel yaşamsal moleküllerin başlıca elementidir (Kaur ve ark., 2023). Toprağın ana yapısında temel olarak bulunmayıp, toprak ekosistemine hava veya organik canlılar aracılığı ile katılmaktadır. Bu yüzden toprakta noksanlığı olan besin elementlerinin başında gelir. Bitkide hücre oluşumu, vejetatif gelişim, biyokütle artışı, çiçeklenme ve meyve tutma oranı gibi pek çok işlevi bulunan N ile ilgili çalışmalar

günümüzde de devam etmektedir (Bolat ve Kara, 2017). Saloner ve Bernstein, (2020) kenevirde fotosentetik pigment konsantrasyonu ve bitkinin net fotosentez oranının, N uygulama oranıyla pozitif korelasyon gösterdiğini bildirmektedir. Cockson ve ark., (2019) azotu yeteri kadar içeren koşullarda yetiştirilen bitkilerin, eksik azot koşullarında yetiştirilen bitkilerden %50 daha fazla biyokütleyle sahip olduğunu bildirmektedir. Landi ve ark., (2019) fazla miktarda uygulanan azotun ise, bitkide selüloz ve lignin içeriğini azaltarak ve lif kalitesini düşürdüğünü ve gövdenin mekanik dayanıklılığını azalttığını bildirmektedir.

Fosfor, kayaların yapısından veya bazalt ve volkanik yapılardan ayrılarak toprakta inorganik olarak ya da organik bileşik kaynaklı olarak bulunmaktadır. P, nükleik asitlerin yapısında bulunması itibarıyla bitkiler için önemli bir elementtir. Hücre bölünmesi ve çiçek oluşumunda gerekli element olan P, generatif bitki gelişiminde rol oynamaktadır (Bolat ve Kara, 2017). Islam ve ark., (2023) 3 farklı P konsantrasyonu (40, 80, 120 mg/kg) uyguladıkları endüstriyel kenevir bitkisinde bazı gelişim parametrelerini incelemişlerdir. Uygulama yapılan tüm konsantrasyonlarda kontrole göre bitki gövde kuru ağırlığında, kök kuru ağırlığında, gövde uzunluğunda artış olduğunu, 80 mg/kg P uygulamasının yaprak klorofil içeriğinde en yüksek değeri verdiğini bildirmektedir. Bernstein ve ark., (2019) topraksız ortamda yetiştirilen kenevir bitkisinde fosforun, toprak verimliliğinin düşük olduğu koşullarda bitki verimini artırabileceğini bildirmektedir.

Potasyum, tohumun olgunlaşması, kök gelişimi, klorofil oluşumu gibi fizyolojik olaylarda, yaprak stoma hücrelerinin açılıp kapanma olayında ve hücresel olarak iyon transferinde görev alan önemli bir besin kaynağıdır (Ahmadi ve ark., 2024). K ile ilgili yapılan çalışmalar sınırlı olsa da Moscariello ve ark., (2021) K'nin kenevir biyokütlesini ve tohum verimini önemli ölçüde etkileyebileceğini, ancak bitkinin büyümesi ve gelişimi için gerekli olmaya devam ettiğini bildirmektedir. Coffman ve ark., (1979) Kenevirin olgunlaştıkça, özellikle lif geliştirme aşamalarında K talebinin arttığını ve bunun da lif kalitesini etkilediğini bildirmektedir. Saloner ve Bernstein, (2022) medikal tip kenevirde hidroponik ortamda yaptıkları çalışmalarında farklı konsantrasyonlarda uyguladıkları K elementinin düşük oranlarının bitki büyüme ve biyokütlesini olumsuz etkilediğini diğer oranlarda önemli ölçüde etkisinin olmadığını bildirmektedir.

2.10. İndol bütirik asit'in bitki gelişimi üzerine etkisi

Oksin grubundan bir bitki büyüme düzenleyicisi olan IBA hücre büyüme ve genişlemesi, hücre uzaması, doku gelişimi ve kök oluşumunu teşvik etme gibi olaylardan sorumludur. Yapraklarda ve tepe tomurcuklarında sentezlenirler. Bitkinin gelişim gösteren uç bölgelerinde yer almaktadırlar (Kumlay ve Eryiğit, 2011). Bir diğer biyoteknolojik bitki yetiştirme yöntemi olan *in vitro* çoğaltımda kök oluşumunu teşvik edici olarak yaygın bir şekilde kullanılsa da topraklı veya topraksız yetiştirmede kullanımı ve uygulanması ile ilgili çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Salas ve ark., (2003) topraksız ortamda yetiştirdikleri kavun bitkisine IBA uygulamasının verimi ve su-besin ilişkilerini iyileştirmede etkili bir araç olmadığını bildirmektedirler. McLoad ve ark., (2022) endüstriyel kenevirin çelikle üretilmesinde IBA'nın kök oluşumuna etkisini araştırmışlardır. Topraksız ortamda yaptıkları çalışmada, farklı konsantrasyonlarda uygulanan IBA'nın kök gelişiminde etkili olduğu ancak uygulamalar arasında önemli bir fark olmadığını bildirmektedir.

2.11. Önceki Çalışmalar

Yapılan literatür taramasında bu tez çalışmasının konusu olan tescilli çeşidimiz Narlı kenevir bitkisinin topraksız ortamda yetiştirilmesi ile ilgili çalışmaya rastlanmadığı için genel olarak topraksız ortam ve kenevir ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Aubin ve ark., (2015), endüstriyel kenevir bitkisinde N, P ve K gübrelemesi uyguladıkları çalışmalarında N uygulamasının biyokütle verimi, tohum verimi ve tohum protein konsantrasyonunda artış sağladığını bunun yanında selüloz ve hemiselüloz biyokütlesini olumlu etkilediğini ancak bu etkinin sınırlı kaldığını bildirmişlerdir.

Treftz ve Omaye (2015), çilek bitkisini sera ortamında topraklı ve topraksız olarak karşılaştırmalı yetiştirmişler ve topraksız yetiştirmenin meyve verimi ile bitki sayısı açısından daha avantajlı olduğunu bildirmişlerdir.

Tang ve ark., (2016) hem endüstriyel hem medikal kenevir olarak kullanılan (dual purpose) 14 çeşitte lif ve tohum verimini arttırmaya yönelik çalışma yapmışlardır. Çalışmada 4 farklı iklim koşulunda yetiştirilen kenevir türlerinin arasındaki genetik varyasyona bağlı olarak vejetatif gelişim süreleri ve lif verimlerinde farklılıklar görülmüştür. Araştırmacılar, gelişim döneminin 56 gün ile 121 gün arasında değiştiğini, lif veriminin ise %21 ile %43 arasında olduğunu bildirmişlerdir.

Shedeed ve ark., (2016), keten bitkisinde potasyum silikat ve magnezyum silikat uygulamasının, bitkide makro ve mikro besin elementi içeriğine etkisini araştırmışlardır. bu çalışmaya göre araştırmacılar silisyum varlığının bitki besin element içeriğini kontrole göre arttırdığını bildirmektedirler.

Campiglia ve ark., (2017), N gübresinin endüstriyel kenevir bitkisinde bazı tarımsal parametreler üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında 100 kg/ha N uygulamasının 50 kg/ha uygulamasına oranla, çiçeklenme ve tohum veriminden ziyade, gövde gelişimi üzerine olumlu etkisinin olduğunu bildirmişlerdir.

Papastilianou ve ark., (2018), 3 farklı azot gübrelemesi (20 kg/ha, 180 kg/ha 240 kg/ha) uyguladıkları çalışmalarında, endüstriyel kenevirde genel olarak artan N gübreleme oranı ile kenevir biyokütle veriminin, gövde kuru ağırlığının, bitki boyunun ve çiçeklenme indekslerinin olumlu yönde etkilendiğini bildirmişlerdir.

Phantong ve ark., (2018), *Globba schomburgkii* ve *Globba marantina* süs bitkilerini toprak ve hidroponik ortamda karşılaştırmalı olarak yetiştirmişlerdir. Yetiştirme koşulları karşılaştırıldığında hidroponik ortamın çiçek sayısı, erken çiçeklenme, gövde kalınlığı, yaprak alanı parametrelerinin topraklı ortama göre daha avantajlı olduğunu bildirmişlerdir.

Yep ve Zheng (2020), aquaponic ortamda medikal kenevir yetiştiriciliği için K ve mikro besin elementleri uyguladıkları çalışmalarında K eksikliğinin önemini vurgulamışlar ve kontrollü besin elementi uygulamalarının hidroponik ortamda verimli bir şekilde sürdürülebileceğini bildirmişlerdir.

Saloner ve Bernstein (2020), değişen N konsantrasyonunun kenevir bitkisindeki bazı büyüme parametrelerini inceledikleri çalışmalarında hidroponik yöntemle yetiştirdikleri bitkiye 30, 80, 160, 240 ve 320 mg/L N uygulamışlardır. 160 mg/L uygulanan N konsantrasyonunun optimal büyüme ve gelişme sağladığını, 240 ve 320 mg/L konsantrasyonlarının bazı parametreler üzerinde olumsuz etkiye sebep olduğunu bildirmişlerdir.

Punja ve Rodriges (2021), bitki kök patojenlerini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada kenevir bitkisini hidroponik yöntem kullanarak yetiştirmişlerdir.

Papastilianou ve ark., (2021), 3 farklı endüstriyel kenevir çeşidi kullanarak, N gübrelemesinin bitki gelişimine etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada 180 ve 240 kg/ha uygulanan N'un kenevir biyokütlesini kontrole göre arttırdığını, bu artışın bazı çeşitlerde istatistiksel olarak önemli olmayıp, bazılarında önemli olduğunu, bildirmişlerdir.

Bevan ve ark., (2021), N, P ve K besinlerinin farklı konsantrasyonlarının medikal kenevir bitkisinde çiçeklenme dönemine etkisini araştırmak için durgun su kültüründe optimizasyon çalışması yapmışlardır. 194 mg/L N, 59 mg/L P konsantrasyonun çiçek verimi için optimal oranlar olduğunu bildirmişlerdir.

Lowe (2021), Si elementini nanopartikül formunda uyguladığı kenevir (*Cannabis sativa*) ve fesleğen (*Ocimum basilicum*) bitkilerinde büyüme, gelişme ve verim parametrelerini çalışmıştır. Silisyumun genel olarak tohum çimlenmesi ve bitki boyu üzerine olumlu etkileri olduğunu raporlamıştır.

Yang ve ark., (2021), vejetatif gelişim dönemi boyunca farklı dozlardaki N uygulamasının kenevir bitkisinin büyüme parametrelerine etkisini, bitkiyi hidroponik ortamda yetiştirerek araştırmışlardır. N konsantrasyonu arttıkça bitki boyunun, gövde çapının ve biyokütlenin arttığını raporlamışlardır.

Tang ve ark., (2022), azot gübrelemesinin kenevir bitkisinde lif verimi üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında 300, 600, 900 kg/ha N uygulamışlardır. Yüksek konsantrasyonun sak liflerinin veriminde azalmaya neden olduğunu 300 ve 600 kg/ha N uygulamasının ölçülen tüm parametrelerde kontrole göre verimde artış sağladığını bildirmişlerdir.

Beheshti, ve Khorasaninejad (2022), topraklı ve topraksız 4 farklı ortamda yetiştirdikleri kenevir bitkisinde silikon elementinin bazı büyüme ve fizyolojik parametreler üzerine etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak, hidroponik kültür ortamıyla verimin arttığını, silikonun besin elementlerinin alımını ve verim parametrelerini olumlu yönde etkilediğini bildirmişlerdir.

Tayade ve ark., (2022), akıllı gübreleme sistemlerinde Si elementinin bitkilerde genel olarak sürdürülebilirlik ve ürün iyileştirilmesi konularında olumlu sonuçlar verdiğini ve kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Atoloye ve ark., (2022), 2 farklı medikal kenevir çeşidine uyguladıkları 4 farklı azot dozu (0, 56, 112, 224 kg/ha) ile bitkideki kannabidiol (CBD) verimini inceledikleri çalışmalarında artan N oranının CBD oranını arttırdığını, 140-190 kg/ha arasındaki dozun optimum verim sağladığını bildirmişlerdir.

Cheng ve ark., (2022), endsütriyel keneviri farklı LED ışıkları (beyaz, mavi, kırmızı, mavi-kırmızı) altında yetiştirdikleri çalışmalarında gövde taze ağırlığı, gövde kuru ağırlığı, klorofil içeriği, gaz değişim oranı, antioksidant kapasite gibi parametrelerdeki değişimleri incelemişlerdir. Beyaz LED ile karşılaştırıldığında, mavi LED'in bitkide gövde taze biyokütleyi gövde kuru biyokütleyi, gövde çapını ve klorofil

içeriğini önemli ölçüde arttırdığını, buna karşın kırmızı ve mavi-kırmızı LED'in bitki biyokütlesini azalttığını raporlamışlardır.

Şahin, M. 2023, yerli kenevir çeşidi Narlı ile yaptığı tarla çalışmasında farklı azot dozlarının lif verimi ve kalitesine etkisini araştırmıştır. Bu çalışmaya göre en yüksek lif verimini yüksek azot uygulamasından elde edildiğini bildirmiştir.

Wei ve ark., (2023), aeroponik ortamda N, P, K besin elementlerinin farklı dozlarını uygulayarak yetiştirdikleri endüstriyel kenevir bitkisinde biyokütleyi ve kannabinoid içeriğini araştırmışlardır. Araştırmalarının sonucunda bitki büyümesinin ve CBD veriminin N uygulaması ile önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir.

Kaur ve ark., (2024), 5 farklı endüstriyel kenevir çeşidiyle yaptıkları çalışmalarında azot gübresinin farklı dozlarının (0, 56, 112, 168, 224, ve 280 kg/ha) bitkinin boyu, tohum verimi ve biyokütle verimi üzerine etkisini araştırmışlardır. Genetik olarak 2 çeşitte tohum ve biyokütle veriminin N uygulaması ile değişmediğini, bunun yanında diğer çeşitlerde 168-224 kg/ha arasındaki azot uygulamasının daha yüksek verim sağladığını bildirmişlerdir.

Roman ve ark., (2024), farklı ışık yoğunlukları altında besin açısından zenginleştirilmiş toprak torf perlit karışımında yetiştirdikleri endüstriyel kenevirde bitki boyu, gövde taze-kuru ağırlık vb. parametrelerdeki değişiklikleri incelemişlerdir. 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ yoğunlukta bitki boyu düşerken, 130 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ de morfolojik parametrelerin kontrole göre daha yüksek olduğunu, gövde çapında %52, yaprak taze ağırlığında %130, gövde taze ağırlığında %116 ve kök taze ağırlığında %264 oranında arttığını bildirmişlerdir.

3. MATERİYAL ve METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Bitki Materyali

Tez çalışmasında başlangıç materyali olarak endüstriyel kenevir bitkisi seçilmiş ve gerekli izinler T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Batman Valiliği ve Batman İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden alınmıştır (EK 1, EK 2, EK 3). Çalışmada kullanılacak Narlı çeşidine ait kenevir tohumları Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmiştir (Şekil 3. 1.). Deneysel çalışmalar Batman Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi, Merkezi Laboratuvar Uygulama ve Araştırma Merkezi ve Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Araştırma laboratuvarında yürütülmüştür.



Şekil 3. 1. Narlı çeşidi kenevir tohumları

3.2. Metod

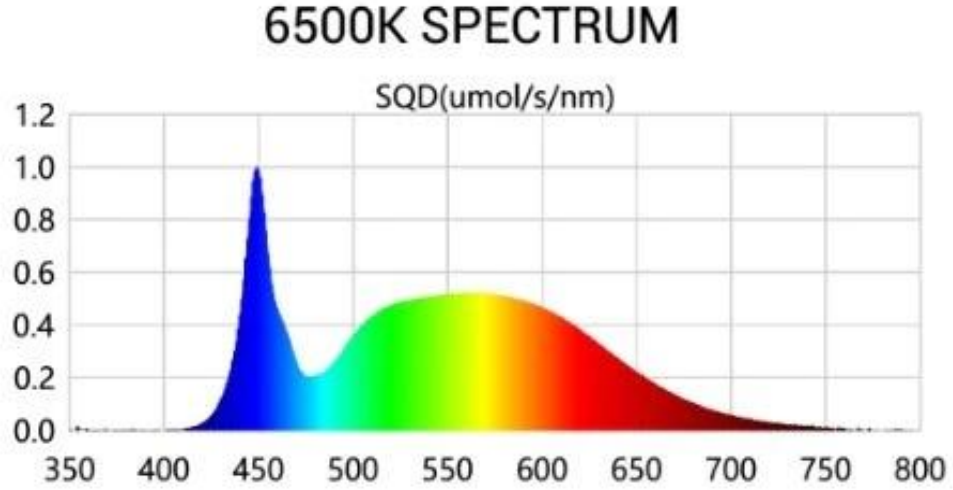
Çalışmamız; kenevir bitkisinin kapalı ortamda, bitki yetiştirme ışığı kullanılarak yetiştirilmesi prensibi ile yürütülmüştür. Yetiştirme ortamı olarak derin su kültürü yöntemi kullanılmış, bitkiler Hoagland besin solüsyonunun (Hoagland ve Arnon, 1938) modifiye edilmiş versiyonu ile yetiştirilmiştir. Bu çalışmanın yanında aynı koşullarda bitkiler, topraklı saksılarda da yetiştirilerek topraklı/topraksız ortamda yetiştirilen kenevirlerdeki değişimler araştırılmıştır.

3.2.1. Bitki yetiştirme ortamı

Çalışmamızda, bitki yetiştirmede tarımsal biyoteknolojik yöntemlerden biri olarak kullanılan topraksız tarım uygulanmıştır. Bunun için kapalı ortama, özel bitki yetiştirme ortamı hazırlanmış, oda sıcaklığı 24-26°C, nem %60-65 olacak şekilde ayarlanmıştır.

Bitkilerin yetişeceği su kültürü ortamı için 3,5 L hacminde kapaklı kovalar tedarik edilmiştir. 5 cm'lik "punch" kullanılarak kapaklarda delikler açılmış ve bu deliklere bitkilerin yetişeceği saksılar yerleştirilmiştir. Hem besin suyunu karıştırmak hem de suya oksijen sağlamak için kapaklarda 1 cm'lik delik açılarak ucunda hava taşı olan hortum 3,5 L'lik kovanın içine konulmuştur. Daha sonra bu hortumlar, 21 kovaya ayrı ayrı hava sağlayacak şekilde birleştirilerek hava pompasına bağlanmıştır. Kurulan derin su kültürü sisteminin çalışılabilirliğini optimal olarak ayarlamak için değişik bitki gruplarında bir çok denemeler yapılmıştır. Bitkilerin derin su kültürü ortamındaki besin solüsyonundan beslenmesi ve fidelere mekanik destek sağlaması için 3 ayrı ortam (taş yünü, çimlendirme sünger, kil bilyesi) kullanılmıştır. Bu denemeler sonucunda kil bilyelerinin en uygun ortam olduğu tespit edilmiştir. Yapılan denemelerde suda meydana gelen yosunlaşma büyük problem olarak görülmüştür. Bunun önüne geçilmesi için besin solüsyonu ve bitki yetiştirme kovalarının haftada 1 değiştirilmesi suretiyle bu soruna çözüm getirilmiştir. Tüm bu denemeler sonucunda elde edilen deneyim ve veriler kenevir bitkisinin derin su kültürü ortamında yetiştirilmesinde kullanılmıştır.

Bitkinin yetişmesi için kullanılan LED ışık ile fotoperiyot 16:8 saat, ışık/karanlık olarak ayarlanmıştır. Çalışmada bitki yetiştirme LED'leri (Şekil 3. 2.) ile derin su kültürü ortamında kenevir bitkisi vejetatif olarak geliştirilmiştir.



Şekil 3. 2. Çalışmada kullanılan LED'in dalga boyu spektrumu

3.2.2. Tohumların çimlendirilmesi

Kenevir tohumlarının çimlendirilmesi için literatür bilgileri ışığında 4 farklı ortam (taş yünü, çimlendirme süngeri, kil bilyeleri ve toprak) denenmiştir. Bu denemeler sonucunda daha iyi sonuç veren ortamın torf, toprak, perlit karışımı içeren (1:1:1) çimlendirme ortamı olduğu belirlenmiştir. Kenevir tohumları her bir tohum bir kapta olacak şekilde topraklı küçük kaplara 2-3 cm derinliğinde gömülerek çimlenmeye bırakılmıştır (Şekil 3. 3.).



Şekil 3. 3. Çimlendirme ortamının genel görüntüsü

3.2.3. Kenevir bitkisinin vejetatif gelişim ortamı

Çimlenme ortamında 2 hafta süreyle gelişen ve 2. gerçek yaprak çiftini veren bitkiler (**Şekil 3.4.**), hidroponik saksılara kil bilyesi desteği konularak, her bir bitki bir kapta olacak şekilde özel olarak tasarlanmış topraksız derin su kültürü ortamına aktarılmıştır (**Şekil 3.5.**). Aynı zaman diliminde 2. gerçek yaprak çiftini veren kenevir bitkileri torf, toprak, perlit karışımını 1:1:1 oranında içeren topraklı saksılara aktarılmıştır (**Şekil 3.6.**). Hazırlanan tüm saksılar ışık, sıcaklık kontrolünün sağlandığı Batman Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezinde büyüme odasında gelişmeye bırakılmıştır (**Şekil 3.7.**).





Şekil 3.4. Çimlendirilen kenevir bitkileri



Şekil 3.5. Kenevir bitkisinin topraksız yetiştirme ortamı



Şekil 3.6. Topraklı yetiştirme ortamı



Şekil 3.7. Bitki yetiştirme ortamının genel görüntüsü

3.2.4. Deneme deseni ve besi yeri uygulamaları

Kenevir bitkisinin Narlı çeşidi topraksız ortamda optimal besi yeri isteklerini belirlemek amacıyla bir ön çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada yarım güç Hoagland besi yeri ortamına N, P ve K elementlerini sırasıyla 50:10:50, 100:20:100, 150:30:150 ppm oranlarında içeren 3 farklı besi yeri ortamı eklenmiştir. Bu çalışma sonucuna bakılarak en iyi topraksız yetiştirme ortamının 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K olduğu belirlenmiştir.

Topraksız ortamda yetiştirilen kenevir bitkisinde bitki gelişiminin ve lif veriminin belirlenmesi için çalışmamızda 4 farklı deneme grubu oluşturulmuştur. 1. 2 ve 3. grupta bitkiler durgun su kültürü ortamında 4. Grupta bitkiler topraklı saksı ortamında, yetiştirilmiştir. Her bir bitki 20 cm aralıklarla, 3,5 litre hacmindeki saksılara yerleştirilmiştir.

Grup 1: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K

Grup 2: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 10 ppm Si

Grup 3: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 1 ppm IBA

Grup 4: Topraklı saksı ortamı (torf:toprak:perlite / 1:1:1)

3.2.4.1. Besi yeri ortamının hazırlanması

1/2 Hoagland besi yeri stok çözeltisi ve stok çözeltiden kullanılan miktar **Çizelge 3.1.** de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Besi yeri içeriğindeki bileşikler

Bileşik	Stok Çözeltideki Miktar (g/L)	Besin Suyundaki Miktar (ml/L)
KNO ₃	101	3
Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O	236	2
MgSO ₄ •7H ₂ O	493	1
NH ₄ H ₂ PO ₄	57,5	1
H ₃ BO ₃	2,86	1
MnCl ₂	1,81	1
ZnSO ₄ •7H ₂ O	0,22	1
CuSO ₄ •5H ₂ O	0,08	1
Na ₂ MoO ₄ •2H ₂ O	0,12	1
Fe Keratör	15	1,5

Yukarıdaki elementler ve miktarlar kullanılarak 1/2 Hoagland çözeltisi için yaklaşık 105 ppm N, 117 ppm K, 15 ppm P, 80 ppm Ca, 64 ppm S, 48 ppm Mg, elde edilmiştir. 1/2 Hoagland besiyeri yerine eklenen 150:30:150 ppm N:P:K ile toplamda N miktarı 255 ppm, P miktarı 45 ppm, K miktarı 267 ppm bitki besini elde edilmiştir.

3.2.4.2. Azot, fosfor, potasyum stok besin elementlerinin hazırlanması

150:30:150 ppm N:P:K içeren stok solüsyon hazırlamak için potasyum nitrat (KNO_3 – Sigma 1.05063) amonyum nitrat (NH_4NO_3 – Merck 101188) ve amonyum fosfat monobazik ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ – Sigma A1645) kullanılmıştır. Bu amaçla 101 gr KNO_3 , 80 gr NH_4NO_3 ve 115 gr $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 1'er litrelik suda ayrı ayrı çözülmüştür.

3.2.4.3. Silisyum stok besin elementinin hazırlanması

1000 ppm Si içeren stok besin solüsyonu, sodyum meta silikattan (Na_2SiO_3 – Sigma 307815) 4,346 gr tartılarak 1 litre suda çözülerek hazırlanmıştır.

3.2.4.4. İndol bütirik asit stok çözeltisinin hazırlanması

Ticari olarak alınan IBA (Sigma - I5386 CAS: 133-32-4), 100 mg tartılıp etanollü suda çözüldü ve 1 lt'ye tamamlanarak 100 ppm'lik stok IBA çözeltisi hazırlanmıştır.

Derin su kültürü ortamındaki besiyerlerinde kontaminasyonu ve yosunlaşmayı engellemek ve besin suyundaki elementlerin miktarlarını bitkiler için yeterli seviyede tutabilmek amacıyla haftada 1 besin solüsyonu yenilenmiştir. Bitkiler N, P, K, besin elementleri, Si ve IBA içeren derin su kültürü ortamında ve toprakta gelişmeye bırakılmıştır (Şekil 3.8., Şekil 3.9., Şekil 3.10., Şekil 3.11., Şekil 3.12.).



Şekil 3.8. Bitkilerin 3 haftalık genel görünümü



Şekil 3.9. Bitkilerin 4 haftalık genel görünümü



Şekil 3.10. Bitkilerin 6 haftalık genel görünümü



Şekil 3.11. Bitkilerin 7 haftalık genel görünümü

Yaklaşık 8 hafta (62 gün)'lık gelişim periyodunun sonunda, kenevir bitkileri hasat edilmiş ve bitki gelişimi ile lif veriminin ne oranda etkilendiği aşağıdaki analizler yapılarak araştırılmıştır (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. Yaklaşık 8 haftalık gelişim periyodunun sonunda bitkilerin hasat edilmesi

3.2.5. Yapılan analizler

3.2.5.1. Kök taze ağırlığı:

Hasat edilen kenevirin kökleri ayrılarak çeşme suyu ile yıkandı. Besi yeri içeriği temizlenen kökler distile sudan geçirildikten sonra 35°C sıcaklıkta 2 saat boyunca etüvde tutularak suyun buharlaşması sağlandı. Besi yeri içeriği ve sudan arınan köklerin ağırlığı hassas terazi kullanılarak tespit edildi (**Şekil 3.13.**). Uygulamada 7 adet Narlı çeşidine ait kenevir bitkisi materyallerinin verileri ortalama kök taze ağırlığı olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.13. Hasat sonrası analize hazırlanan bitki kökleri

3.2.5.2. Kök kuru ağırlığı:

Yaş ağırlığı ölçülen toplam 7 adet bitkisel materyal, 55 C'de ağırlık değişimi olmayıncaya kadar etüvde bekletildi ve hassas terazide tartım yapılarak ortalama kök kuru ağırlığı belirlendi.

3.2.5.3. Gövde taze ağırlığı

Gelişim süresi sonunda Hasat edilen bitkinin sapı, yaprakları ve yan dalları kesilerek gövdeden ayrıldı. Oda sıcaklığında neminin uzaklaşması için 2 saat bekletilen 7 adet gövdenin taze ağırlığı hassas terazi ile ölçülerek ortalama taze ağırlık belirlendi (şekil 3.14.).



şekil 3.14. Hasat sonrası analize hazırlanan bitki gövdeleri

3.2.5.4. Gövde kuru ağırlığı

Yaş ağırlığı llen 7 adet bitkisel materyal, 55°C’de ağırlık değişimi olmayıncaya kadar etüvde bekletildi ve hassas terazide tartım yapılarak ortalama gövde kuru ağırlığı belirlendi.

3.2.5.5. Gövde uzunluğu

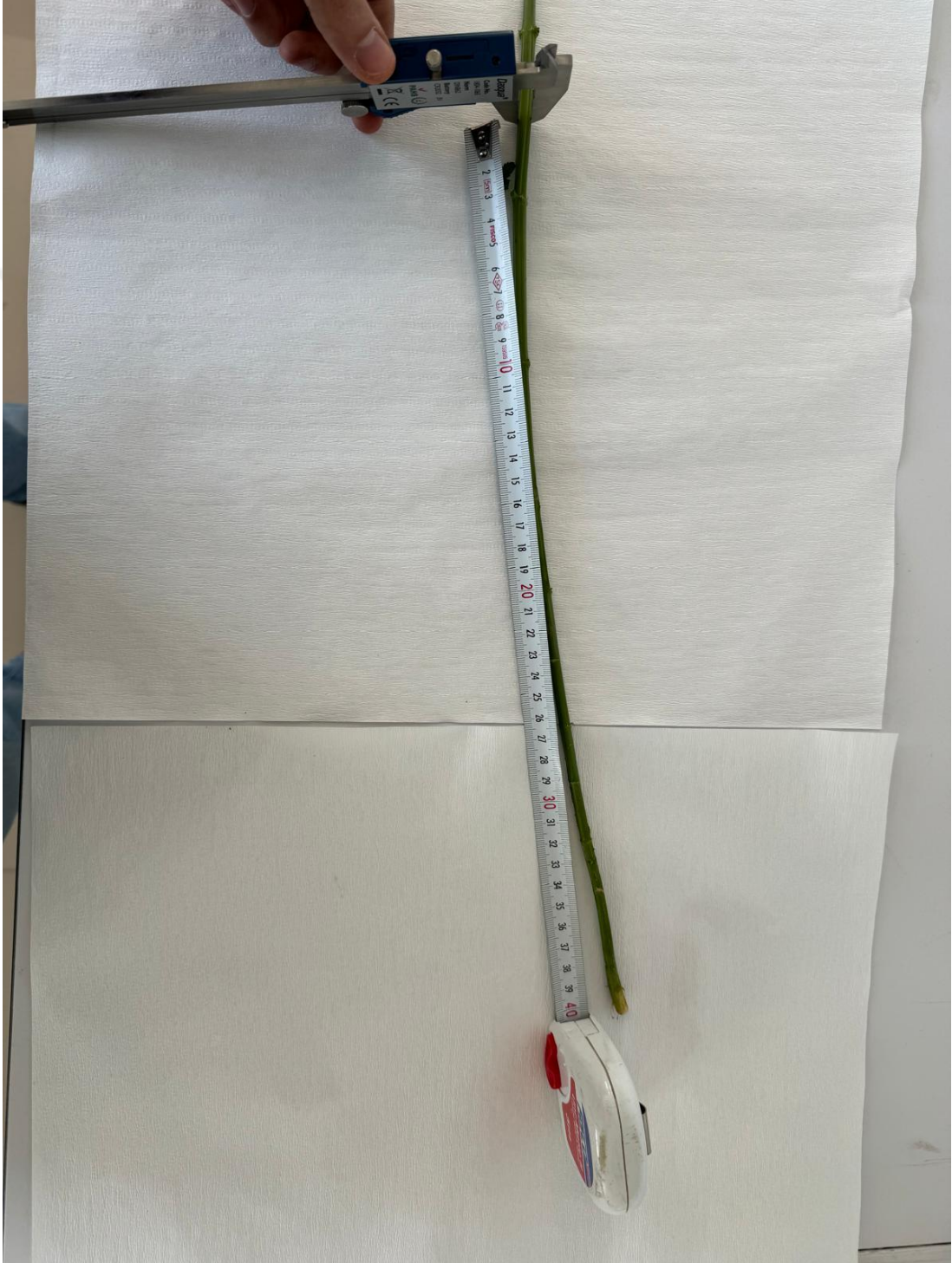
Gelişim periyodu sonunda bitkinin ana gövdesinden (kökün bitip yeşil aksamın başladığı kısım) en üst ucuna kadar olan 7 adet bitkinin uzunluğu ölçülerek ortalama gövde uzunluğu hesaplandı (şekil 3.15.).



şekil 3.15. Hasat sonrası bitkilerde gövde uzunluğu lm

3.2.5.6. Gövde kalınlığı

Gövde kalınlığının ölçülmesi için 7 adet bitkinin gövdeleri alındı. Bitkinin toprak üstünde yeşil aksamının başladığı yerden 40 cm yukarısı seçildi ve bu noktada her bir örnek için gövdenin kalınlığı dijital kumpas kullanılarak belirlendi (şekil 3.16.).



şekil 3.16. Bitkilerde gövde kalınlığı lm

3.2.5.7. Yaprak boyu

Hasat sonrası rastgele seçilen 3 kenevir bitkisinden örnekler alındı. Kenevir bitkilerinde yaprak ucundan yaprak tabanına kadar olan uzunluk dijital kumpas ile ölçülerek ortalama yaprak boyu belirlendi. (Şekil 3.17.).



Şekil 3.17. Bitkilerde yaprak uzunluğu ölçümü

3.2.5.8. Yaprak eni

Hasat sonrası rastgele seçilen 3 kenevir bitkisinden örnek alınarak yaprak ayasının en geniş yerinden geçen ve orta damara dik olan doğruyun uzunluğu dijital kumpas ile ölçülerek ortalama yaprak eni belirlendi (Ekren, S., ve ark., Ö., 2021) (Şekil 3.18.).



Şekil 3.18. Bitkilerde yaprak eni ölçümü

3.2.5.9. Yaprak nispi su içeriği

Rastgele seçilen 3 adet kenevir yaprağının yaş ağırlıkları ölçülerek 6 saat süre ile steril saf su içinde bekletildi ve bitkilerin turgorlu ağırlıkları ölçüldü. Bitkisel materyaller, 55°C'de etüvde ağırlık değişimi olmayıncaya kadar bekletildikten sonra kuru ağırlıkları saptandı. Her bir gruba ait örneklerin nispi su içeriği aşağıdaki formüle göre % olarak hesaplandı. (Barr ve Weatherley, 1962) (şekil 3.19.).

$$\text{Nispi Su İçeriği (\% NSİ)} = [(YA - KA) / (TA - KA)] \times 100$$

YA=Yaş ağırlık, KA=Kuru ağırlık, TA=Turgorlu ağırlık



şekil 3.19. Nispi su içeriğinin hesaplaması için turgora alınan bitkiler

3.2.5.10. Fotosentetik pigment içeriği

Hasat sonrası kenevir bitkilerinde total klorofil, klorofil a, klorofil b ve karotenoid içeriği ölçümleri Arnon (1949)'a göre yapılmıştır. Her bir gruba ait rastgele alınan 0.25 g taze yaprak örnekleri 2 mL %80'lik asetonla havanda homojenize edilmiştir. Homojenat filtre kağıdından süzdürülerek daha sonra %80'lik aseton ile 5 mL'ye tamamlanmıştır. Ekstraktlar 5000 rpm'de 5 dk santrifüj edilerek, absorbans değerleri spektrofotometrik olarak klorofil a 663, klorofil-b 645 ve karotenoid 480 nm'de alınmıştır. Fotosentetik pigment miktar ölçüm çalışmaları 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

Fotosentetik pigmentlerin miktarları aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır:

$$\text{mg klorofil-a / g doku} = [\Delta A_{663} \times 12.70 - \Delta A_{645} \times 2.69] (V/1000 \times W)$$

$$\text{mg klorofil-b / g doku} = [\Delta A_{645} \times 22.90 - \Delta A_{663} \times 4.68] (V/1000 \times W)$$

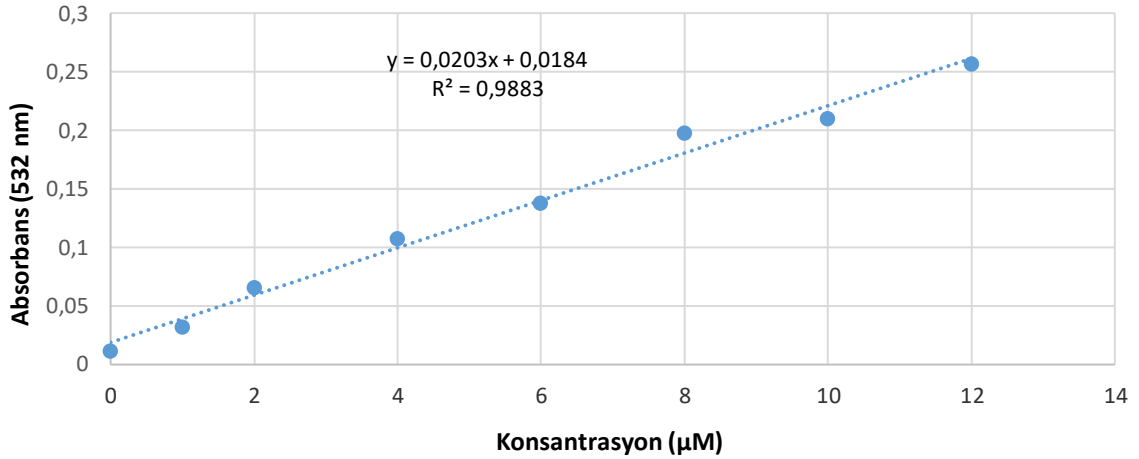
$$\text{mg total klorofil / g doku} = [\Delta A_{645} \times 20.2 + \Delta A_{663} \times 8.02] V/1000 \times W$$

$$\text{mg karotenoid / g doku} = [\Delta A_{480} + \Delta A_{663} \times 0.114 - \Delta A_{645} \times 0.638/112.50] (V/1000 \times W)$$

Eşitliklerde; Δ , ekstraktın belirtilen dalga boyundaki absorbans değerini; V, %80'lik asetonun ml olarak son hacmini; W, ekstre edilen dokunun g olarak yaş ağırlığını göstermektedir.

3.2.5.11. Lipid peroksidasyonu derecesinin belirlenmesi (malondialdehit içeriği)

Yaprak dokularında meydana gelen hücre zarı hasarını ölçmek için lipid peroksidasyonunun son ürünü olan malondialdehit (MDA) miktarı tiyobarbütirik asit (TBA) testi ile belirlendi (Ohkawa ve ark., 1979). Bunun için yetiştirilen tüm bitkilerden rastgele alınan yaprak örnekleri sıvı azotta ezildi. Her bir gruptaki 7 adet bitkiden alınan yaprak örneklerinden 100 mg tartılarak üzerlerine 2 mL %5'lik triklorasetikasit (TCA) eklendi ve havanda ezilerek homojenize edildi. Homojenat, 25°C, 10.000 rpm'de 15 dakika santrifüj edildi. Daha sonra 1 mL süpernatant alınarak, üzerine %0,5 TBA içeren %20'lik TCA çözeltisinden 1 mL eklendi. Çözelti reaksiyonu sıcak su banyosunda (95°C'de 1 saat) sağlandıktan sonra, buzlu su banyosuna aktarılarak reaksiyon durduruldu ve spektrofotometrik yöntem ile 532 nm dalga boyunda köre karşı (%0,5 TBA içeren %20'lik TCA çözeltisi) absorbans ölçümü yapıldı (Şekil 3.20. MDA kalibrasyon grafiği).



Şekil 3.20. MDA standart eğrisi

3.2.5.12. Yaprak sekonder metabolit içeriği

Bitkilerin yaprak sekonder metabolit içerikleri (CBD, CBN, Δ^9 THC) belirlenerek bitki gelişimi sırasında yapraklardaki metabolit değişimi saptandı. Tüm gruplardan rastgele alınan yaprak örnekleri oda sıcaklığında ve ışık olmayan ortamda kurutuldu. 7 adet bitkiden alınan kuru materyaller 3 gr tartılarak 20 mL metanol ile 24 saat boyunca çalkalayıcı karıştırıcıda 130 rpm’de ekstrakte edildi.

Analizler AI/AS 3000 otomatik örnekleyici (auto sampler) ile kombine edilmiş Thermo (Trace 1300) marka gaz kromatografi (GC) cihazı, TSQ 8000 Evo kütle spektrometrisi (MS) ile yapıldı.

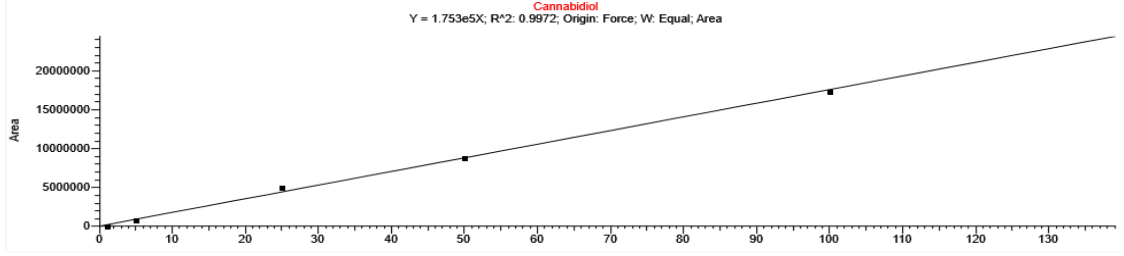
Çalışmada Restek marka Rxi-5ms (30 m, 0,25 mm, 0,25 µm) cat: #13423 kapiler kolon kullanıldı. İnlet sıcaklığı 280°C’de, 1 µL örnek hacmi kullanılarak split modda (split oranı 1:10) enjeksiyon yapıldı. Taşıyıcı gaz olarak helyum 1 mL/dk akış hızında kullanıldı. MS transfer sıcaklığı 300°C, iyon kaynağı sıcaklığı 250°C olarak ayarlandı.

Kolon programı, sıcaklık 200°C’de 2 dakika bekletilerek başlangıç sıcaklığına ayarlandı. Daha sonra 10°C/dk artış hızıyla final sıcaklığı 320°C’ye yükseltilip 5 dakika bekletilerek toplam 19 dakikalık analiz süresi ile analiz tamamlandı.

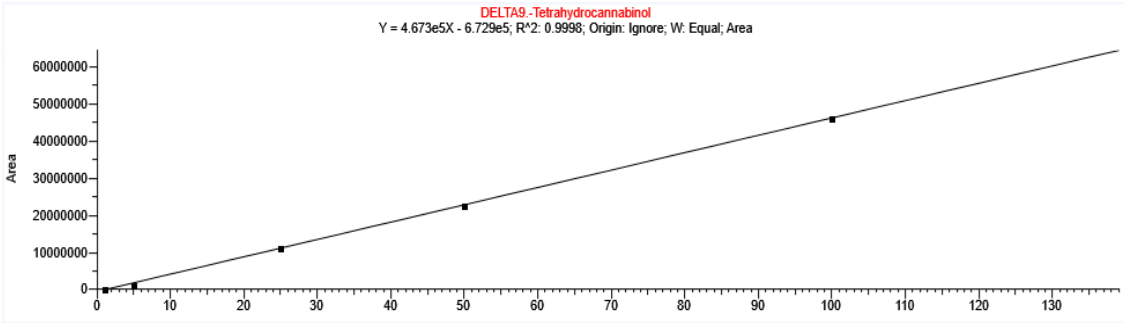
Analitlerin belirlenmesi için kütle spektrometrisi analizinde SRM (selected reaction monitoring), SIM (selected ion monitoring) ve kütle taraması modları 45-550 m/z (iyon/yük) aralığında kullanılarak CBD için 231,500 - 232,500 m/z, Δ^9 THC için 243,000 - 244,000 m/z, CBN için 295,500 - 296,500 m/z değerleri tespit edildi.

Çalışmada Restek marka (cat #34014) kannabinoid standardı kullanıldı. CBD, CBN ve Δ^9 THC metabolitlerini karışım halde içeren standart numune ile kalibrasyon

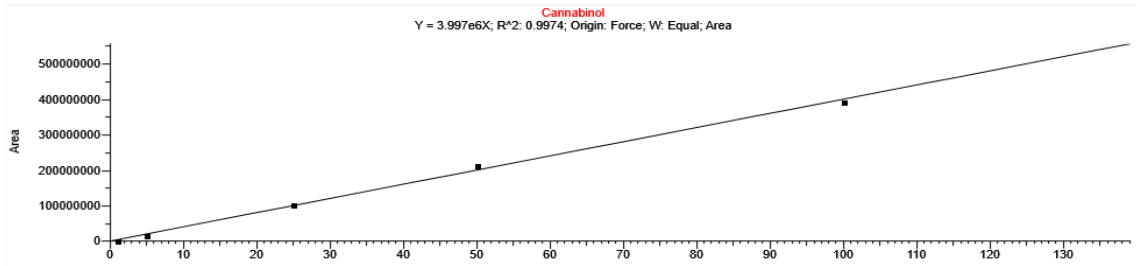
eğrisi çizildi ve doğrusal çalışma aralığı belirlendi. Bunun için sırasıyla 1, 5, 25, 50, 100 ng/mL (ppb) konsantrasyonunda hazırlanan standart ile kalibrasyon eğrisi çizildi (Şekil 3.21, Şekil 3.22, Şekil 3.23).



Şekil 3.21. Kannabidiol (CBD) standart eğrisi



Şekil 3.22. delta9-tetrahidrokannabinol (Δ^9 THC) standart eğrisi



Şekil 3.23. Kannabinol (CBN) standart eğrisi

3.2.5.13. Lif verimi

Lif verimini belirlemek için hasat edilen kenevir bitkilerinde lif içeriği (%) ve toplam selüloz içeriği analiz edildi.

Lif içeriği (%): Hasat edilen kenevir bitkilerine, yan dal ve yapraklar ayrıldıktan sonra 5 gün boyunca oda sıcaklığında saf suda bekletilerek havuzlama işlemi uygulandı. Havuzlama işlemi sonucunda %100 oranında birbirinden ayrılan gövde ve lifler oda sıcaklığında ağırlık değişimi olmayıncaya kadar kurumaya bırakıldı. 7 adet kenevirden

elde edilen lifler ile % lif içeriği, Tsaliki, E. ve ark., (2021)'nın uyguladığı metoda göre hesaplandı (Şekil 3.24.).

$$Li (\%) = (KA_{lif} \times 100) / KA_{toplaml}$$

Li= lif içeriği, KA_{lif} = kuru lif ağırlığı, $KA_{toplaml}$ = gövde toplam kuru ağırlığı



Şekil 3.24. Havuzlama işlemi sonrası liflerin gövdeden ayrılması

Selüloz içeriği: 7 adet bitki gövdesinden elde edilen lifler, önerilen metoda göre analiz edilerek (Lan ve ark., 2011) bitkideki toplam selülozun değişim oranı hesaplandı. Bu metoda göre lif örneklerinden bir miktar kuru madde tartılarak 2:1 oranında toluen/etanol karışımı ile 3 saat yüksek sıcaklıkta geri soğutucu altında muamele edildi. Kaynamanın

sonunda materyal filtre edilerek sabit tartıma gelinceye kadar kurutuldu ve ekstraktif madde miktarı hesaplandı.

$$W_1 = \frac{G_0 - G_1}{G_0} * 100$$

W₁: ekstraktif madde yüzdesi, **G₀**: ekstraksiyon işlemi öncesi tartılan numune miktarı (g), **G₁**: ekstraksiyon sonrası numuneden kalan miktar (g)

Daha sonra ekstraktif maddeden (G₀) bir miktar tartılıp balon jojeye alınarak üzerine 0,5M NaOH eklendi. Bu karışım 3,5 saat boyunca geri soğutucu altında karıştırıldı. Daha sonra filtre edilen numune sabit tartıma gelene kadar kurutularak aşağıdaki formül yardımıyla hemi-selüloz miktarı hesaplandı.

$$W_2 = \frac{G_1 - G_2}{G_0} * 100$$

W₂: hemi-selüloz yüzdesi, **G₀**: ekstraksiyon öncesi kuru madde miktarı, **G₁**: ekstraktif maddeden alınan örnek kütlesi, **G₂**: bazik muamele sonrası filtre edilen örnek kütlesi

Ekstraktif madde miktarı tayininden sonra kalan kalıntıdan 1 g tartıldı. Bu örnek üzerine yavaşça %72'lik H₂SO₄ eklendi. 24 saat boyunca 8-15 °C sıcaklığında asit ile muamele edilen örneğin üzerine 300 ml saf su eklendi ve bu karışım 1 saat boyunca geri soğutucu altında kaynatıldı. İşlem sonrası kalan numune filtrasyon ile ayrıldı. Örnek, sülfat iyonu kalmayana kadar saf su ile 4-5 kere yıkanıp filtrasyon tekrarlandı. Filtrasyon sonucu ortamda sülfat iyonu kalıp kalmadığı BaCl₂ ile kontrol edildi. Sülfat iyonlarından arındırılan örnek sabit tartıma gelene kadar kurutuldu. Sonrasında aşağıdaki formüle göre lignin miktarı hesaplandı.

$$W_3 = \frac{G_4 - (1 - W_1)}{G_3} * 100$$

W₃: lignin yüzdesi, **G₄**: ekstraksiyon sonrası kalan örneğin kütlesi, **G₃**: ekstraktif madde miktarı analizi sonrası kalan örnek kütlesi (1 g)

Selüloz miktarının hesaplanması:

$$W_4 = 100 - (\% \text{kül} + W_1 + W_2 + W_3)$$

W₄: selüloz yüzdesi, **W₁**: ekstraktif madde yüzdesi, **W₂**: hemi-selüloz yüzdesi, **W₃**: lignin yüzdesi, **%kül**: örnekteki kül yüzdesi)

3.3. İstatistiksel analizler

İstatistiki analizler SPSS “for Windows 20.0 Standart version” paket programı kullanılarak kontrol ve uygulama grupları arasındaki farklılıklar tek yönlü varyans analizi (ONE-WAY ANOVA) ve DUNCAN çoklu aralık testine göre $p \leq 0.05$ önemlilik değerinde yapıldı (Duncan 1955).



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırmada endüstriyel kenevirin (*Cannabis sativa* L.), yerel Narlı çeşidine ait tohumlar materyal olarak kullanılmıştır. Çalışmada, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsünden temin edilen tohumlardan gelişen bitkilerin gelişiminin ve lif veriminin artırılması amacıyla tarımsal biyoteknolojik yöntemlerden biri olan durgun su kültürü kullanılmıştır. Bölüm 3.2.2. ve 3.2.3.'de belirtilen şekilde yetiştirilen bitkilerde, su kültürü ortamında 3 farklı uygulama ile topraklı ortamın etkisi test edilmiştir. Tüm uygulamalara ait bitkiler yaklaşık 8 hafta (62 gün) sonunda hasat edilmiştir (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Bitkilerin hasat öncesi genel görünümü

Çimlenmeye bırakıldıktan itibaren 77 günlük gelişim periyodu sonunda hasat edilen bitkilerin fizyolojik gelişimlerini, lif verimini ve geliştirme koşullarının yaratabileceği stres faktörlerini değerlendirmek amacıyla, kök ve gövdede taze-kuru ağırlık, gövde uzunluğu, gövde kalınlığı, yaprak boyu ve eni, yaprak nispi su içeriği, fotosentetik pigment içeriği, MDA içeriği, yaprak sekonder metabolit içeriği, lif içeriği (% m/m), selüloz içeriği gibi ölçüm ve analizler yapılmıştır. Bu verilere ait bulgular aşağıda sunulmuştur.

4.1. Bitki kök yaş ve kuru ağırlığı

Toprak ve durgun su kültürü ortamında yetiştirilen Narlı kenevir çeşidine ait bitkilerin kök yaş ve kuru ağırlıklarına ait veriler **Çizelge 4.1.**'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Narlı kenevir bitkisinde kök yaş ve kuru ağırlıkları

Uygulama	Kök Yaş Ağırlık (g)	Kök Kuru Ağırlık (g)	% Yaş-kuru Ağırlık
Grup-1	3,051±0,14 ^a	0,521±0,027 ^{ba}	17,07
Grup-2	3,200±0,46 ^a	0,543±0,031 ^a	16,96
Grup-3	1,269±0,03 ^b	0,369±0,039 ^c	29,07
Grup-4	1,915±0,64 ^{ba}	0,422±0,030 ^{cb}	22,03

*Her bir sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar $p \leq 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir

*n=7, 7 bitkinin ortalaması kullanılmıştır

Grup-1: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K

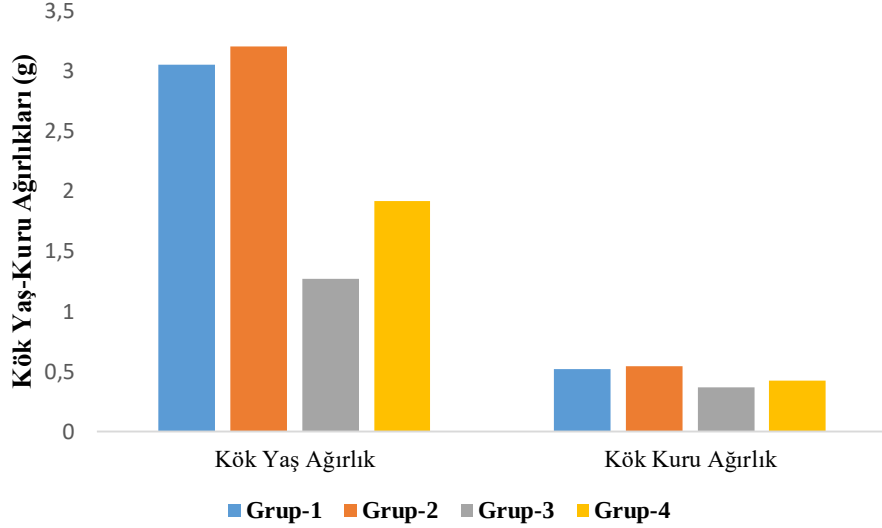
Grup-2: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 10 ppm Si

Grup-3: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 1 ppm IBA

Grup-4: Topraklı saksı ortamı (torf:toprak:perlit / 1:1:1)

Uygulama grupları arasındaki kök yaş ağırlığı incelendiğinde genel olarak farklılıklar olduğu, özellikle durgun su kültürü ile toprak ortamında yetiştirilen bitkilerde (IBA uygulanan Grup-3 hariç) bu farkın belirgin olduğu görülmüştür. **Çizelge 4.1.**'deki veriler incelendiğinde Si uygulanan Grup-2'deki bitkilerin (3,200 g) diğer uygulamalara göre en yüksek değere sahip olduğu belirlenmiştir. Kök yaş ağırlığı bakımından Grup-2'yi sırasıyla, Grup-1 (3,051 g), Grup-4 (1,915 g) takip etmiştir. Çalışmada kök yaş ağırlığı bakımından en düşük veriler durgun su kültüründe IBA uygulanan Grup-3 (1,269 gr)'den elde edilmiştir.

Çizelge 4.1.'de verilen, bitkilerin kök kuru ağırlıklarına ait veriler incelendiğinde, kök yaş ağırlığındaki verilerle sıralama açısından benzer olduğu ancak kök kuru ağırlıklarında uygulamalar arasında genel olarak istatistiksel farklılıkların da olduğu tespit edilmiştir. Buna göre en yüksek kök kuru ağırlığı kök yaş ağırlığı ile benzer şekilde sırasıyla Grup-2 (0,543 g), Grup-1 (0,521 g), Grup-4 (0,422 g) ve Grup-3 (0,369 g) şeklinde olmuştur. Uygulama grupları, durgun su kültürü ve toprak olarak karşılaştırıldığında ise Grup-3 (IBA) hariç durgun su kültürünün daha yüksek sonuçlar verdiği ve istatistiksel olarak da anlamlı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir (**Şekil 4.2.**).



Şekil.4.2. Kenevir bitkisinde kök yaş ve kuru ağırlıkları değişim grafiği

Roman ve ark., (2024), endüstriyel kenevirde, bitkilerin taze ve kuru ağırlığının farklı ışık yoğunluklarında değiştiğini ve kök taze ağırlığında artış olduğunu rapor etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada da toprak ve durgun su kültürü ile yetiştirilen endüstriyel kenevir bitkileri arasında kök yaş-kuru ağırlığı bakımından önemli farklılıklar olduğu ve durgun su kültürünün daha yüksek sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Lowe (2021), silisyumun genel olarak kenevir bitkilerinde tohum çimlenmesi ve bitki boyu üzerine olumlu etkileri olduğunu raporlamıştır. Aynı şekilde, domates (Haghighi ve Pessarakli, 2013), mısır (Kaya ve ark., 2007), portakal (Mahmoud ve ark., 2022), bitkisiyle yapılan çalışmalarda Si uygulamasının kök yaş ve kuru ağırlığını arttırdığı belirlenmiştir. Yapılan tez çalışmasında, araştırmacıların bulguları ile benzer şekilde Si uygulamalarının kök-yaş kuru ağırlığını arttırdığı görülmüştür. Uygulama grupları arasında Si uygulanan grupta en yüksek kök yaş / kuru ağırlığı (3,200 g / 0,543 g) elde edilmiştir. Silisyum, hücre bölünmesini ve uzamasını teşvik ederek daha yoğun kök sistemlerinin gelişmesini sağlamaktadır (Vaculíková ve ark., 2014; Mišúthová ve ark., 2021). Aynı zamanda silisyum elementinin, bitkiler tarafından kullanılan kalsiyum, fosfor ve potasyum gibi makro besin elementlerinin alınımı ve taşınması üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır (Alsaeedi ve ark., 2019; Sirisuntornlak ve ark., 2021; Jinger ve ark., 2022). Yaptığımız çalışmada yüksek sonuçların Si uygulamasından elde edilmesinin yukarıda belirtilen özelliklerinden kaynaklandığı kanaatini taşımaktayız.

IBA, hücre büyüme ve genişlemesi, hücre uzaması, doku gelişimi ve kök oluşumunu teşvik etme gibi olaylardan sorumlu, oksin grubundan bir bitki büyüme

düzenleyicisidir. Topraklı veya topraksız yetiştirmede bitki gelişimi için kullanımı ve uygulanması ile ilgili oldukça az sayıda çalışma bulunmaktadır. Ambebe (2025) *Vitex diversifolia* tropikal bitkisinde kök gelişimini teşvik etmek amacıyla yaptığı çalışmada, IBA uygulanan gruptaki bitkilerin kök yaş ağırlığının diğer uygulamalara göre daha düşük ölçüldüğünü raporlamıştır. Salas ve ark., (2003) topraksız ortamda yetiştirdikleri kavun bitkisinde IBA uygulamasının, verim ve su-besin alımında etkili bir araç olmadığını bildirmektedirler. Yapılan bu tez çalışmasında da araştırmacıları destekler nitelikte, Narlı kenevir çeşidinde en düşük kök yaş/kuru ağırlığı IBA uygulanan gruptan elde edilmiştir. Bununla birlikte McLoad ve ark., (2022) endüstriyel kenevirin çelik ile üretilmesinde yüksek konsantrasyonlarda uygulanan IBA'nın kök gelişiminde etkili olduğunu rapor etmiştir.

4.2. Bitki gövde yaş ve kuru ağırlığı

Toprak ve durgun su kültürü ortamında yetiştirilen kenevir bitkilerinin gövde yaş ve kuru ağırlıklarına ait veriler Çizelge 4.2. de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde gövde yaş ve kuru ağırlıkları

Uygulama	Gövde Yaş Ağırlık (g)	Gövde Kuru Ağırlık (g)	% Yaş-kuru Ağırlık
Grup-1	4,796±0,14 ^a	1,380±0,04 ^a	28,77
Grup-2	4,920±0,05 ^a	1,370±0,08 ^a	27,84
Grup-3	3,350±0,36 ^b	0,910±0,07 ^b	27,16
Grup-4	3,870±0,32 ^b	1,070±0,09 ^{ba}	27,64

*Her bir sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar $p \leq 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir

*n=7, 7 bitkinin ortalaması kullanılmıştır

Grup-1: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K

Grup-2: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 10 ppm Si

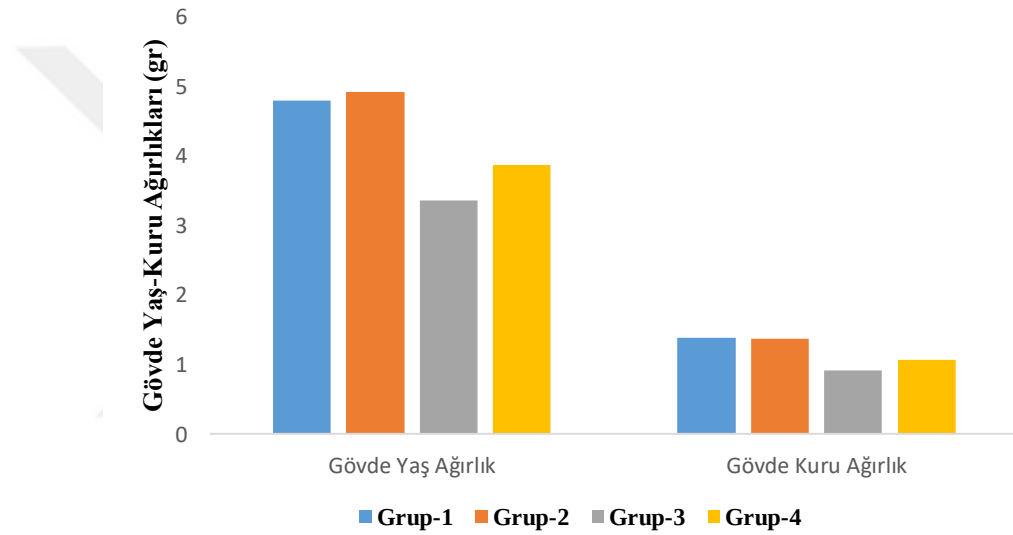
Grup-3: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 1 ppm IBA

Grup-4: Topraklı saksı ortamı (torf:toprak:perlite / 1:1:1)

Çizelge 4.2.'deki veriler ışığında, topraklı ve topraksız ortamda yetiştirilen kenevir bitkisinde farklı uygulamaların bitki gövde yaş ağırlıklarına etkisi incelendiğinde en yüksek değerin Grup-2'de (4,920 g) olduğu görülmüştür. Gövde yaş ağırlığı bakımından Grup-2'yi sırasıyla, Grup-1 (4,796 g), Grup-4 (3,870 g) takip etmiştir. Çalışmada gövde yaş ağırlığı bakımından en düşük veriler Grup-3'deki (3,350 g) bitkilerden elde edilmiştir. En iyi gövde yaş ağırlığının elde edildiği Grup-2 ile Grup-1 arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir. Benzer şekilde Grup-3 (3,350 g) ve Grup-4 (3,870 g)'de yetişen bitkilerin gövde yaş ağırlıkları arasında istatistiksel

olarak anlamlı fark görülmemiştir. Ancak bu uygulama grupları, Grup-1 ve Grup-2 ile karşılaştırıldıklarında istatistiksel olarak anlamlı derecede farklılıklar görülmüştür.

Gövde kuru ağırlıkları bakımından gruplar arasında önemli farklılıkların olmadığı, ağırlıkların en yüksekten düşüğe doğru sırasıyla Grup-1, Grup-2, Grup-4 ve Grup-3’de olduğu görülmüştür. Bunun yanında IBA uygulanan (Grup-3) bitkilerde 0,910 g olarak ölçülen ortalama gövde kuru ağırlığı, diğer 2 grup (Grup-1, Grup-2) ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturan bir düşüş göstermiştir. 0,910 g ortalama ağırlık ile IBA uygulanan bitkilerin, gövde kuru ağırlığı parametresi açısından gruplar arasında en düşük ağırlığa sahip grup olduğu görülmüştür. Gövde kuru ağırlığı bakımından en iyi sonuç ise 1,380 g ile Grup-1’den elde edilmiştir (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Kenevir bitkisinde gövde yaş ve kuru ağırlıkları değişim grafiği

Cheng ve ark., 2022’de, Roman ve ark., 2024’de yaptıkları çalışmada endsütriyel kenevirde farklı LED ışıklarının gövde taze ve kuru ağırlığında değişimlere sebep olduğunu rapor etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada da farklı yetiştirme ortamları olan hidroponik ve topraklı ortam arasında gövde taze ve kuru ağırlığı bakımından farklılıklar meydana gelmiştir.

Papastylianou ve ark., (2018), endüstriyel kenevirde, artan N gübreleme oranı ile gövde kuru ağırlığının arttığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde Campiglia ve ark., (2017), endüstriyel kenevir bitkisinde N uygulamasının gövde gelişimi üzerine, biyokütle arttırması bakımından, olumlu etkisinin olduğunu rapor etmişlerdir. Yapılan bu çalışmada, araştırmacıların bulgularını destekler nitelikte en yüksek gövde kuru ağırlığı, Grup-1’deki kenevir bitkilerinden elde edilmiştir.

Luyckx ve ark., 2021 yılında endüstriyel kenevir bitkisi ile yaptıkları çalışmada, hidroponik ortamda kadmiyum ve silisyum uygulamalarının kontrol grubu ile karşılaştırıldığında bitkideki değişimleri incelemişlerdir. Gövde yaş ve kuru ağırlıkları açısından Si uygulanan grupta, kontrole göre bir azalma olduğunu ancak bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını raporlamışlardır. Yapılan tez çalışmasında araştırmacıların sonuçlarıyla benzer şekilde gövde kuru ağırlığı bakımından, Grup-2 (1,370 g)'de, en iyi sonucun elde edildiği Grup-1 (1,380 g)'e göre azalma meydana geldiği ancak bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte gövde yaş ağırlığında en iyi sonuç Grup-2'den elde edilmiştir. Çalışmamızla benzer şekilde başka bitki gruplarında da yapılan çalışmalarda silisyum uygulamalarının gövde yaş ve kuru ağırlığında artışlara sebep olduğu bildirilmiştir (Ma ve ark., 1989; Wang ve ark., 2025).

4.3. Bitki gövde uzunluğu

Toprak ve durgun su kültürü ortamında yetiştirilen Narlı kenevir çeşidine ait bitkilerin gövde uzunluğuna ait veriler **Çizelge 4.3.**'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde gövde uzunlukları

Uygulama	Bitki boyu (cm)
Grup-1	97,928±4,16 ^{ba}
Grup-2	92,762±3,41 ^b
Grup-3	64,642±3,85 ^c
Grup-4	113,285±4,43 ^a

* Her bir sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar $p \leq 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

* n=7, 7 bitkinin ortalaması kullanılmıştır

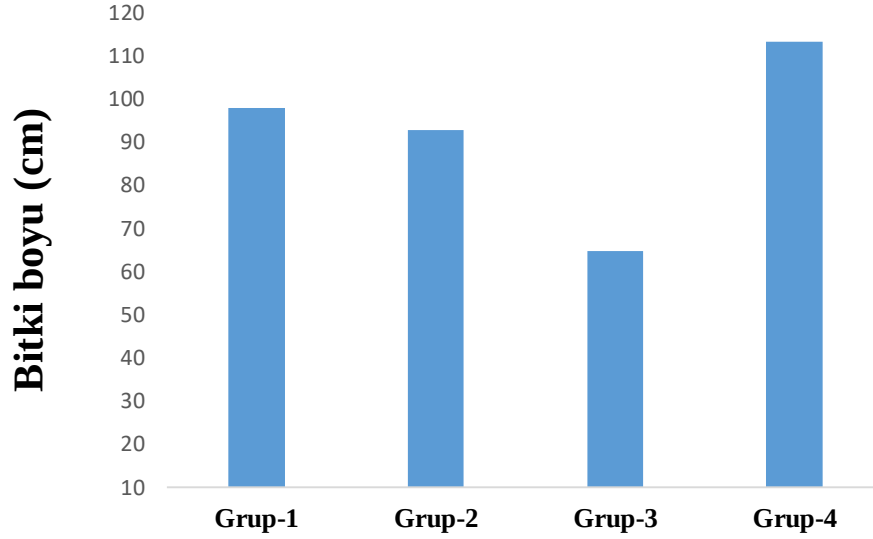
Grup-1: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K

Grup-2: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 10 ppm Si

Grup-3: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 1 ppm IBA

Grup-4: Topraklı saksı ortamı (torf:toprak:perlit / 1:1:1)

Çizelge 4.3.'de kenevir bitkilerinin boy uzunluğu incelendiğinde toprak ortamında yetiştirilen bitkilerin boy ortalaması 113,285 cm değeri ile tüm gruplar arasında en yüksek değer olarak ölçülmüş bunu sırasıyla hidroponik ortam olan Grup-1 (97,928 cm), Grup-2 (92,762 cm) ve Grup-3 (64,642 cm) takip etmiştir (**Şekil 4.4.**).



Şekil 4.4. Kenevir bitkisinde gövde uzunluğu değişim grafiği

Yang ve ark., (2021), hidroponik ortamda vejetatif gelişim dönemi boyunca farklı dozlardaki N uygulamasının kenevir bitkisinde bitki boyunda artış sağladığını raporlamışlardır. Aynı şekilde Rezghiyan ve ark., (2025) nanosilikon uygulamasının, bitkinin boyunu artırdığını bildirmişlerdir. Alamri ve ark., (2025) yaptıkları çalışmada hidroponik koşullar altında yetiştirilen kenevir bitkisinde Si uygulamasının bitki boyu üzerinde fark yarattığını ancak bu farkın tüm uygulama gruplarında istatistiksel olarak önemli olmadığını bildirmişlerdir. Araştırmacıların bulgularını destekler nitelikte, yapılan bu tez çalışmasında en yüksek bitki boyu toprakta yetişen kenevir bitkilerinden (Grup-4: 113,285 cm) elde edilmiş, bunu 97,928 cm ile, hidroponik ortam olan Grup-1’de yetişen bitkiler takip etmiştir. Ayrıca başka bitki gruplarında da Si elementinin bitki boyu üzerine etkisinin olumlu olduğu bildirilmiştir (Lee ve ark., 2010; Upduay ve ark., 2025).

4.4. Bitki gövde kalınlığı

Kenevirde farklı yetiştirme ortamlarının bitki gövde kalınlığı üzerine olan etkisine ait veriler **Çizelge 4.4.**’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde gövde kalınlıkları

Uygulama	Gövde Kalınlığı (cm)
Grup-1	4,961±0,32 ^{ba}
Grup-2	5,542±0,46 ^a
Grup-3	4,107±0,15 ^b
Grup-4	4,270±0,19 ^b

* Her bir sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar $p \leq 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

* n=7, 7 bitkinin ortalaması kullanılmıştır

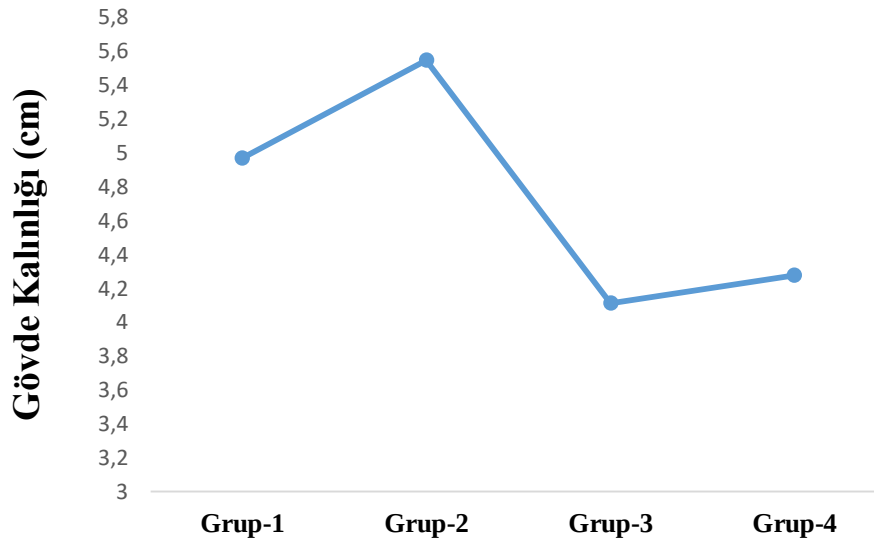
Grup-1: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K

Grup-2: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 10 ppm Si

Grup-3: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 1 ppm IBA

Grup-4: Topraklı saksı ortamı (torf:toprak:perlit / 1:1:1)

Gövde kalınlığına ait veriler incelendiğinde hidroponik ortam ile topraklı ortam arasında önemli farklılıklar olduğu görülmüştür. Tüm uygulama grupları arasında, ortalama 5,542 cm gövde kalınlığı değeri ile en kalın gövdeye sahip bitkiler Grup-2'den elde edilmiş bunu 4,961 cm ortalama değer ile Grup-1 takip etmiştir. Toprakta yetiştirilen bitkilerin gövde kalınlığı ise ortalama 4,270 cm olarak hesaplanmıştır. Çalışmada en düşük gövde kalınlığı verileri ise 4,107 cm ile Grup-3'deki bitkilerden elde edilmiştir. Bununla birlikte Si uygulanan bitkilerin gövde kalınlığı ortalamasındaki artış, topraklı ortam ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Şekil 4.5.).



Şekil 4.5. Kenevir bitkisinde gövde kalınlığı değişim grafiği

Phantong ve ark., (2018), *Globba schomburgkii* ve *Globba marantina* süs bitkilerini topraklı ve topraksız ortamda karşılaştırmalı olarak yetiştirmişlerdir. Yetiştirme koşulları karşılaştırıldığında topraksız ortamın topraklı ortama göre daha avantajlı olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacıları destekler nitelikte, yapılan bu tez çalışmasında da yetiştirme koşulları karşılaştırıldığında gövde kalınlığı bakımından

hidroponik ortamın topraklı ortamdan daha iyi sonuç verdiği (Grup-3 hariç) belirlenmiştir.

Yang ve ark., (2021), N uygulamasının kenevir bitkisinin gövde çapını ve biyokütlesini arttırdığını raporlamışlardır. Luyckx ve ark., (2022) hidroponik ortamda yetiştirdikleri kenevir bitkisinde Si uygulamasının Zn stresi üzerine etkisini araştırmışlardır. Si uygulaması, bitki gövde kalınlığında artış gösterirken bu artış kontrol ile karşılaştırıldığında önemsiz, Zn stresi uygulaması ile karşılaştırıldığında önemli bulunmuştur. Yapılan bu tez çalışmasında Si uygulamasının hidroponik ortamda kenevir bitkisinin gövde kalınlığı üzerinde artış meydana getirdiği, bu artışın diğer gruplar ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir. Rezghiyan ve ark., (2025), kenevir bitkisinde Si uygulamasının gövde kalınlığını arttırdığını bildirmişlerdir.

4.5. Bitki yaprak boyu ve eni

Yapılan tez çalışmasında farklı bitki yetiştirme ortamlarının kenevir bitkisinde yaprak boyu ve enine etkisi **Çizelge 4.5.**'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde yaprak boyu ve eni

Uygulama	Yaprak Boyu (cm)	Yaprak Eni (cm)
Grup-1	16,116±1,86 ^a	3,32±0,66 ^a
Grup-2	15,400±1,77 ^a	3,01±0,60 ^a
Grup-3	10,640±0,30 ^b	2,95±0,59 ^a
Grup-4	12,500±0,52 ^{ba}	3,06±0,61 ^a

* Her bir sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar $p \leq 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir

* n=3, 3 bitkinin ortalaması kullanılmıştır

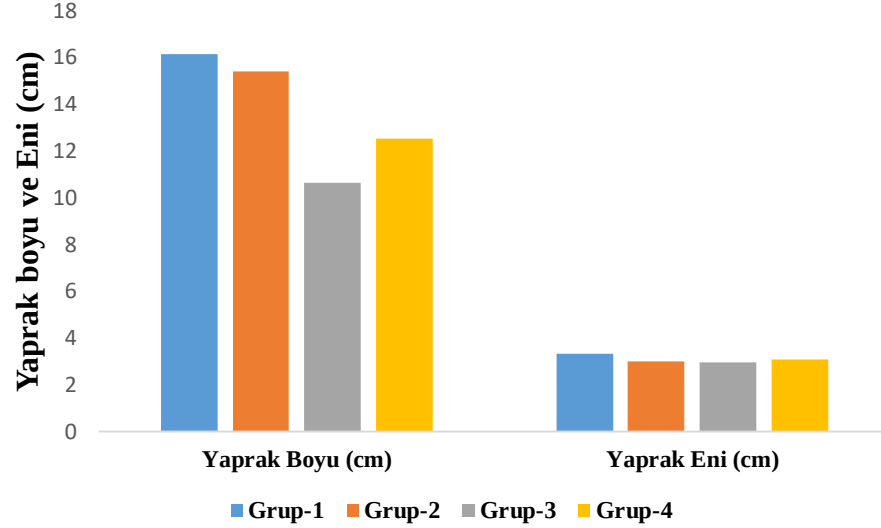
Grup-1: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K

Grup-2: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 10 ppm Si

Grup-3: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 1 ppm IBA

Grup-4: Topraklı saksı ortamı (torf:toprak:perlite / 1:1:1)

Tüm uygulamalar arasında hem yaprak boyu (16,116 cm) hem de yaprak eni (3,32 cm) bakımından en yüksek sonuçlar Grup-1'deki bitkilerden elde edilmiştir. Genel olarak bunu sırasıyla Grup-2, Grup-4 ve Grup-3 takip etmiştir. Grup-3'de 10,640 cm olarak ölçülen yaprak boyu diğer tüm uygulamalar arasında en düşük değer olmuştur. Bununla birlikte yaprak eni bakımından tüm uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık görülmemiştir (**Şekil 4.6.**).



Şekil 4.6. Kenevir bitkisinde yaprak boyu ve eninin değişim grafiği

Phantong ve ark., (2018), süs bitkilerini topraklı ve topraksız ortamda karşılaştırmalı olarak yetiştirdikleri çalışmalarında, topraksız ortamda yetişen bitkilerdeki yaprak alanının topraklı ortama göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Yaptığımız çalışmada kenevir bitkisinde hidroponik ortamın hem yaprak boyu hem de yaprak eni bakımından topraklı ortama göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Babu ve ark., (2025) pirinç bitkisinde yaptıkları çalışmada Si uygulamasının yaprak boyunda artış meydana getirdiğini bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada da hidroponik ortamda Si uygulaması, topraklı ortam ile karşılaştırıldığında, kenevir bitkisinin yaprak boyunda artış meydana getirmiştir. Bununla birlikte Ashraf ve ark., (2018) turp bitkisinde yaprak uzunluğu ve genişliğine IBA'nın etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar ile benzer şekilde, yapılan bu çalışmada IBA uygulamasının, yaprak boyu ve yaprak eni bakımından en düşük sonuçları vererek, bu parametreler üzerinde etkisinin olmadığı görülmüştür.

4.6. Bitki yaprak nispi su içeriği (%NSİ)

Toprak ve durgun su kültürü ortamında yetiştirilen Narlı kenevir çeşidine ait bitkilerin yapraklarındaki nispi su içeriği yüzdesi (%NSİ) **Çizelge 4.6.**'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde yaprak nispi su içeriği

Uygulama	NSİ (%)
Grup-1	88,666±1,52 ^{ba}
Grup-2	94,289±2,88 ^a
Grup-3	71,537±4,66 ^c
Grup-4	80,666±2,60 ^{cb}

* Her bir sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar $p \leq 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir

* n=3, 3 bitkinin ortalaması kullanılmıştır

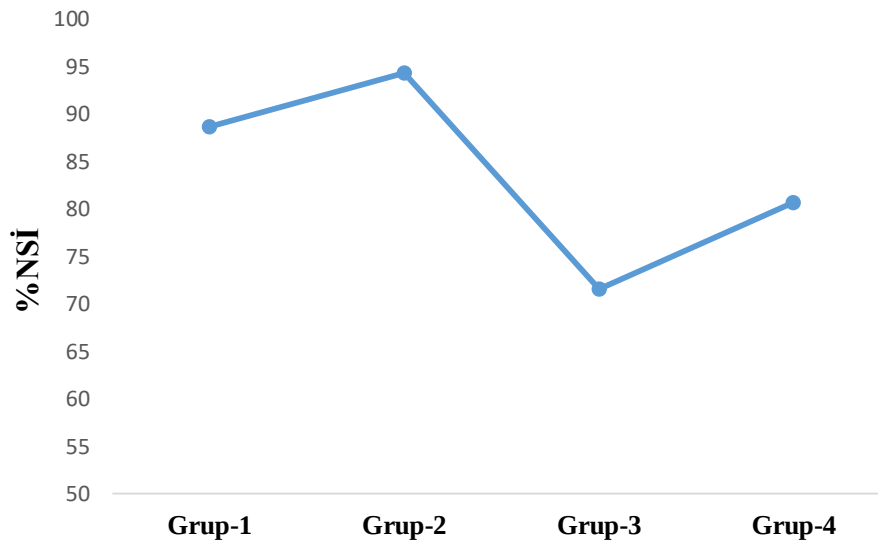
Grup-1: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K

Grup-2: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 10 ppm Si

Grup-3: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 1 ppm IBA

Grup-4: Topraklı saksı ortamı (torf:toprak:perlit / 1:1:1)

Yaprak nispi su içeriği bakımından Grup-2'deki bitkilerin %94,289 ile en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Daha sonra %NSİ içeriği sırasıyla Grup-1: %88,666, Grup-4: %80,666 ve Grup-3: %71,537 şeklinde ölçülmüştür. En yüksek %NSİ'ye sahip Grup-2 ile topraklı ortam olan Grup-4 arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür. %NSİ bakımından yetiştirme ortamının önemli olduğu ve hidroponik ortamın (IBA uygulanan Grup-3 hariç) topraklı ortama göre tercih edilebileceği belirlenmiştir. Uygulamada en düşük %NSİ değeri IBA uygulanarak yetiştirilen bitkilerden elde edilmiştir. (Şekil 4.7.).



Şekil 4.7. Kenevir bitkisinde yaprak nispi su içeriği değişim grafiği

Luyckx ve ark., (2023) hidroponik ortamda, çinko stresi altında yetiştirdikleri endüstriyel kenevir bitkisinde Si uygulamasının etkilerini araştırmışlardır. Si uygulanan grupta, diğer uygulamalar ile karşılaştırıldığında su içeriğinin yükseldiğini ancak bu artışın istatistiksel olarak önemli olmadığını bildirmişlerdir. Yapılan bu tez çalışmasında araştırmacıların sonucunu destekler nitelikte en iyi %NSİ değeri Si uygulanan gruptan elde

edilmiştir. Bununla birlikte topraklı ortam ile karşılaştırıldığında silisyum uygulamasının istatistiksel olarak önemli bir fark yarattığı belirlenmiştir. Başka bitki gruplarında Si ile ilgili yapılan çalışmalarda (Ghanem ve ark., 2019, sorgum; Helaly ve ark., 2017, mango; Haghighi ve Pessarakli, 2019, domates) Si uygulamasının, Si uygulanmayan gruplara göre %NSİ içeriğini arttırdığını ve bu artışın istatistiksel olarak önemli olduğu bildirilmiştir.

Silisyum elementi, bitkilerin büyümesinde ve gelişmesinde birçok açıdan önemli rol oynamaktadır. Literatürde bulunan çalışmalar genellikle silisyumun bitkilerde stres koşullarına karşı etkilerini inceleyen çalışmalar olmasına rağmen Si uygulamasının yaprak %NSİ içeriğini arttırdığını göstermektedir. Yapılan bu tez çalışmasında, diğer çalışmalar ile uyumlu olarak, Si uygulamasının kenevir bitkisinde yaprak nispi su içeriğini artırıcı etkisi olduğu görülmüştür.

4.7. Bitki fotosentetik pigment içeriği

Toprak ve durgun su kültürü ortamında yetiştirilen Narlı kenevir çeşidine ait bitkilerin yapraklarındaki fotosentetik pigment içerikleri klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid değerleri ölçülerek belirlenmiş ve **Çizelge 4.7.**'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde yaprak pigment içerikleri

Uygulama	Klorofil-a İçeriği (mg/g TA)	Klorofil-b İçeriği (mg/g TA)	Toplam Karotenoid İçeriği (µg/g TA)
Grup-1	1,402±0,021 ^b	0,569±0,039 ^b	4,521±0,21 ^b
Grup-2	1,503±0,068 ^a	0,692±0,042 ^a	5,074±0,63 ^a
Grup-3	1,085±0,059 ^d	0,458±0,040 ^b	3,597±0,44 ^d
Grup-4	1,247±0,020 ^c	0,536±0,077 ^b	4,144±0,35 ^c

* Her bir sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar $p \leq 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir

* n=7, 7 bitkiden alınan toplam 0,25g taze yaprak örneği ile 3 tekrarlı olarak çalışılmıştır.

Grup-1: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K

Grup-2: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 10 ppm Si

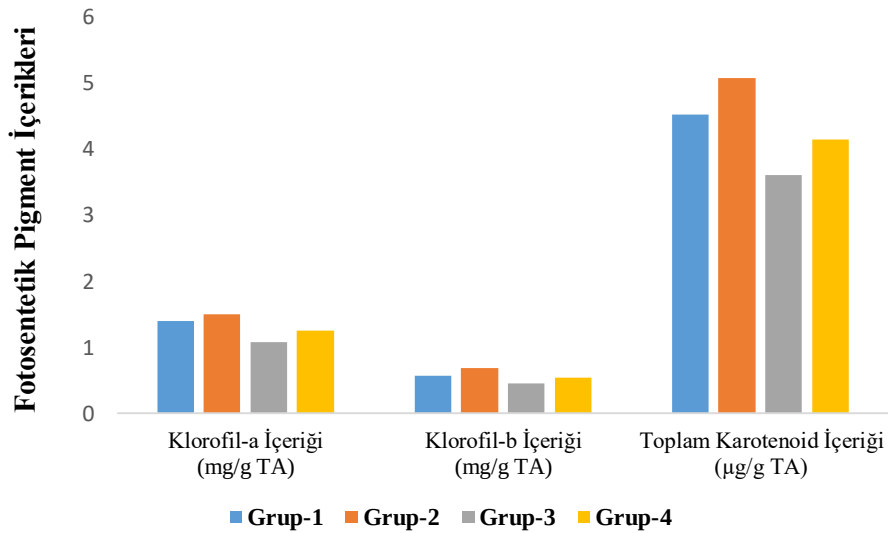
Grup-3: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 1 ppm IBA

Grup-4: Topraklı saksı ortamı (torf:toprak:perlit / 1:1:1)

Topraklı ve topraksız ortamda yetiştirilen kenevir bitkilerinin pigment içeriği incelendiğinde klorofil-a içeriği en yüksek Grup-2'de (1,503 mg/g TA) daha sonra sırasıyla Grup-1 (1,402 mg/g TA), Grup-4 (1,247 mg/g TA) ve Grup-3'de (1,085 mg/g TA) ölçülmüştür. Her bir uygulama arasında, Klorofil-a içeriği bakımından ortaya çıkan bu farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ayrıca Grup-2'de ortaya çıkan klorofil-a içeriğindeki bu fark diğer tüm gruplardan istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Klorofil-b içeriği de klorofil-a içeriği ile benzer şekilde yüksekten düşüğe Grup-2, Grup-1, Grup-4, Grup-3 (sırasıyla; 0,692 mg/g TA, 0,569 mg/g TA, 0,536 mg/g TA, 0,458 mg/g TA) şeklinde sıralanmıştır. Klorofil-b içeriği açısından klorofil-a içeriğinden farklı olarak, Grup-1, Grup-3 ve Grup-4 arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bununla birlikte en iyi verinin elde edildiği Grup-2, diğer 3 gruptan farklı ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Toplam karotenoid içeriği incelendiğinde değerler yüksekten düşüğe Grup-2, Grup-1, Grup-4, Grup-3 (sırasıyla; 5,074 µg/g TA, 4,521 µg/g TA, 4,144 µg/g TA, 3,597 µg/g TA) şeklinde sıralanmıştır. Klorofil-a içeriğinde olduğu gibi toplam karotenoid içeriğinde de grupların her biri birbirinde farklı ve gruplar arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Karotenoid içeriği açısından yüksek değer Klorofil-a ve b’de olduğu gibi Grup-2’den elde edilmiştir (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Kenevir bitkisinde yaprak fotosentetik pigment içeriği değişim grafiği

Beheshti ve Khorasaninejad (2023), farklı yetiştirme ortamları kullanarak yetiştirdikleri kenevir bitkisinde Si elementinin büyüme ve gelişme parametrelerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmaya göre Si uygulanan bitkilerde uygulanmayanlara göre fizyolojik ve morfolojik parametrelerde artış olduğunu ve topraksız yetiştirme ortamında yetiştirilen kenevir bitkisinin topraklı ortama göre daha verimli olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bu tez çalışmasında, araştırmacıların bulgularını destekler nitelikte topraksız ortamda yetiştirilen kenevir bitkilerine Si uygulamasının bitki pigment içeriği bakımından en yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Topraksız ortamda yapılan bir diğer çalışmada *Camelina sativa* bitkisinde, artan Si (2,5 ppm, 5 ppm)

konsantrasyonunun bitkinin klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid içeriğini arttırdığı görülmüştür (Alamri ve ark., 2025).

Benzer şekilde Helaly ve ark., (2017), mango bitkisinde kuraklık stresinin etkilerini inceledikleri çalışmalarında Si elementinin hem kontrole göre hem de stres uygulanan bitkilere göre pigment içeriğini arttırdığını bildirmişlerdir. Xavier ve ark., (2025) farklı dozlarda silisyum uyguladıkları kabak (*Cucumis sativus* L.) bitkisinde uygulanan doza bağlı olarak toplam klorofil içeriğinde kontrole göre artış olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmalara benzer şekilde, yapılan bu tez çalışmasında da Si uygulamasının pigment içeriğinde artış sağladığı görülmüştür.

Si elementi bitki büyüme ve gelişmesinde olumlu etkilerini pigment içeriğini arttırması bakımından göstermektedir. Literatürdeki örnek çalışmalara paralel olarak bu tez çalışmasında da Si uygulamasının, yaprak pigment (klorofil a, klorofil b, karotenoid) içeriğini arttırdığı belirlenmiştir.

4.8. Yaprak MDA (lipid peroksidasyonu derecesi) içeriği

Toprak ve durgun su kültürü ortamında yetiştirilen Narlı çeşidi endüstriyel kenevir bitkisinde yetiştirme koşullarının ve farklı uygulamaların bitki gelişimine etkisini ve hücre hasarı derecesini belirlemek amacıyla MDA içeriği incelenmiştir (**Çizelge 4.8.**).

Çizelge 4.8. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde MDA içeriği

Uygulama	MDA içeriği ($\mu\text{mol/g TA}$)
Grup-1	2,718 $\pm$ 0,12 ^c
Grup-2	2,812 $\pm$ 0,08 ^c
Grup-3	6,452 $\pm$ 0,28 ^a
Grup-4	4,278 $\pm$ 0,16 ^b

* Her bir sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar $p \leq 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir

* n=7, 7 bitkiden alınan toplam 100 mg taze yaprak örneği ile 3 tekrarlı olarak çalışılmıştır.

Grup-1: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K

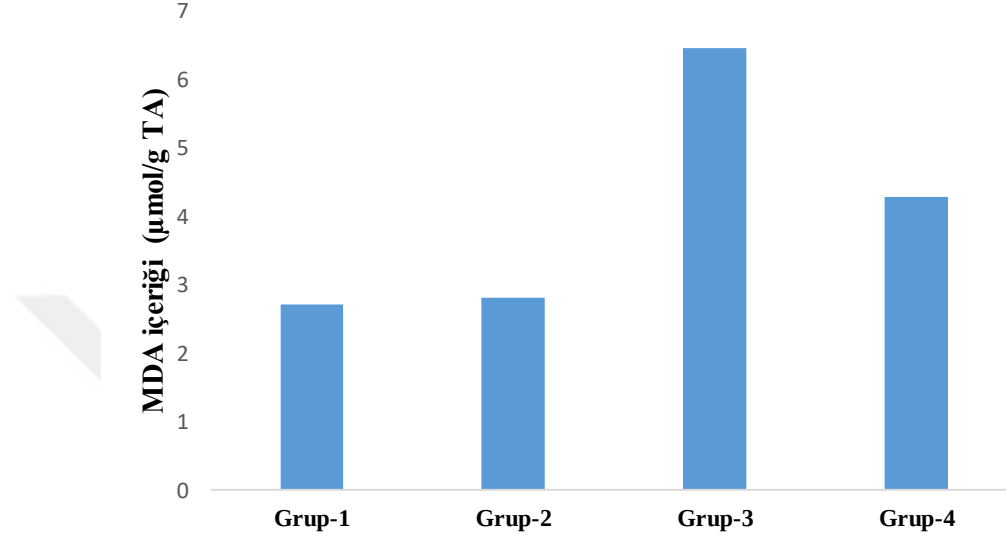
Grup-2: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 10 ppm Si

Grup-3: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 1 ppm IBA

Grup-4: Topraklı saksı ortamı (torf:toprak:perlit / 1:1:1)

Uygulamalar arasında karşılaştırma yapıldığında en yüksek MDA içeriği Grup-3'deki kenevir bitkilerinde görülmüş ve 6,452 $\mu\text{mol/g}$ olarak ölçülmüştür. Bu değer ile IBA uygulamasının, diğer uygulamalar ile karşılaştırıldığında, bitkide hücre zarı yıkımına en çok sebep olan uygulama olduğu belirlenmiştir. Toprakta yetiştirilen kenevir bitkilerindeki MDA içeriği 4,278 $\mu\text{mol/g}$ olarak ölçülmüş ve IBA'dan sonra hücre zarı yıkımının en yüksek olduğu uygulama olmuştur.

Hidroponik ortamda yetiştirilen Grup-1 ve Grup-2’de MDA içeriği Grup-3’e göre yaklaşık 3 kat, Grup-4’e göre yaklaşık 2 kat daha az ölçülmüştür. Grup-1 ve Grup-2 ile Grup-3 ve Grup-4 arasında oluşan bu farkların istatistiksel olarak da anlamlı olduğu, bunun yanında MDA içeriği en düşük bulunan 2 uygulama (Grup-1 ile Grup-2) arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür (**Şekil 4.9.**).



Şekil 4.9. Kenevir bitkisinde yaprak MDA içeriği değişim grafiği

MDA, hücre zarı yıkımının ürünlerinden ve bitkide önemli stres parametrelerinden biridir. Luyckx ve ark., (2023), endüstriyel kenevir kullanarak yaptıkları çalışmada durgun su kültüründe yetiştirdikleri bitkilere Zn ve Si uygulamışlardır. Buna göre Zn ve Si uygulanmayan kontrol grubu ile karşılaştırıldığında Si uygulamasının bitkide MDA içeriğini azalttığını raporlamışlardır. Benzer bir çalışmada yine Luyckx ve ark., (2021), hidroponik ortamda yetiştirdikleri endüstriyel kenevir bitkisine Cd uygulamışlar ve Si uygulamasının bitkiye etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmaya göre Cd uygulaması ile karşılaştırılan Si uygulamasının MDA içeriğini azalttığını bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada da endüstriyel kenevir bitkisinde hücre zarı yıkımının son ürünü olan MDA içeriği en düşük oranlar durgun su kültüründe Grup-1 ve Grup-2’deki bitkilerde ölçülmüş ve bu 2 grup arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bununla birlikte bulgularımızı destekler nitelikte, başka bitki gruplarında da benzer sonuçlar bildirilmiş ve Si uygulamasının MDA içeriğinde azalmayı sağlayarak Si elementinin MDA içeriğini düşürücü etkisi olduğu raporlanmıştır (Mahmoud ve ark., 2022; Aouz ve ark., 2023).

Literatürde yapılan çalışmalar genel olarak Si elementinin stres parametrelerine karşı etkilerini araştırmak üzerine yapılmış olmakla birlikte yapılan bu tez çalışmasındaki sonuçlarla paralellik göstermektedir. Bu sonuçlar gösteriyor ki Si uygulaması bitkide hücre zarı hasarını düşürücü etki göstermiş, Si uygulanan yetiştirme ortamındaki bitki yapraklarının MDA miktarı diğer gruplardan anlamlı derecede düşük bulunmuştur. Bunun yanında IBA uygulamasının diğer uygulamalar ile karşılaştırıldığında bitkide hücre zarı hasarına neden olduğu görülmüştür.

4.9. Yaprak sekonder metabolit (CBD, Δ^9 THC, CBN) içeriği

Narlı çeşidi endüstriyel kenevir (*Cannabis sativa* L.) bitkisinde farklı yetiştirme ortamlarının (toprak ve hidroponik) ve yetiştirme ortamlarındaki farklı besin içeriğinin bitkide bazı sekonder metabolit (CBD, Δ^9 THC, CBN) içeriğinde ne gibi değişikliklere neden olduğunu incelemek amacıyla yaprak sekonder metabolit içerikleri araştırılmış ve Çizelge 4.9.'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde CBD, Δ^9 THC, CBN içeriği (%m/m)

Uygulama	CBD (%m/m)	Δ^9 -THC (%m/m)	CBN (%m/m)
Grup-1	0,0213±0,002 ^b	0,0020±0,0003 ^b	0,0003±0,00003 ^b
Grup-2	0,0134±0,001 ^b	0,0017±0,0003 ^b	0,0002±0,00003 ^b
Grup-3	0,0395±0,004 ^a	0,0032±0,0006 ^a	0,0002±0,00003 ^b
Grup-4	0,0326±0,003 ^a	0,0033±0,0007 ^a	0,0009±0,00012 ^a

* Her bir sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar $p \leq 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir

* n=7, 7 bitkiden alınan toplam 3 gr kuru yaprak örneği ile 3 tekrarlı olarak çalışılmıştır.

Grup-1: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K

Grup-2: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 10 ppm Si

Grup-3: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 1 ppm IBA

Grup-4: Topraklı saksı ortamı (torf:toprak:perlit / 1:1:1)

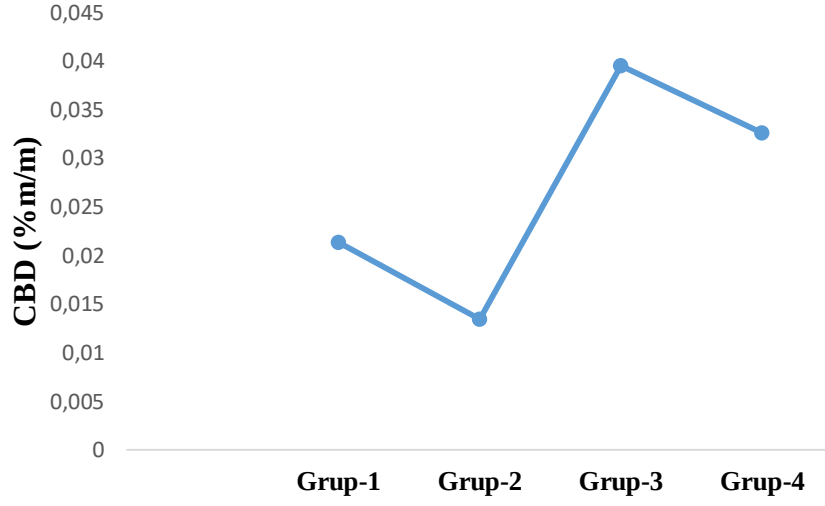
Sekonder metabolit içeriği CBD açısından incelendiğinde sonuçlar, yüksekte düşüğe sırasıyla Grup-3, Grup-4, Grup-1, Grup-2 şeklinde meydana gelmiştir. Grup-3 ve Grup-4'ün en yüksek içeriğe sahip olduğu görülmüş ve bu gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı bulunmuştur. Bunun yanında Grup-1 ve Grup-2 ile, Grup-3 ve Grup-4 CBD içeriği açısından karşılaştırıldığında istatistiksel olarak önemli derecede fark bulunmuş ancak Grup-1 ile Grup-2 arasında önemli bir fark görülmemiştir (**Şekil 4.10.**).

Çizelge 4.9 incelendiğinde, gruplar arasındaki Δ^9 THC içeriği de CBD içeriği ile paralellik göstermektedir. Grup-3 ve Grup-4'de Δ^9 THC içeriği Grup-1 ve Grup-2 uygulamasından yaklaşık 1,5-2 kat fazla bulunmuştur. Aynı şekilde Grup-4 ile Grup-3'ün

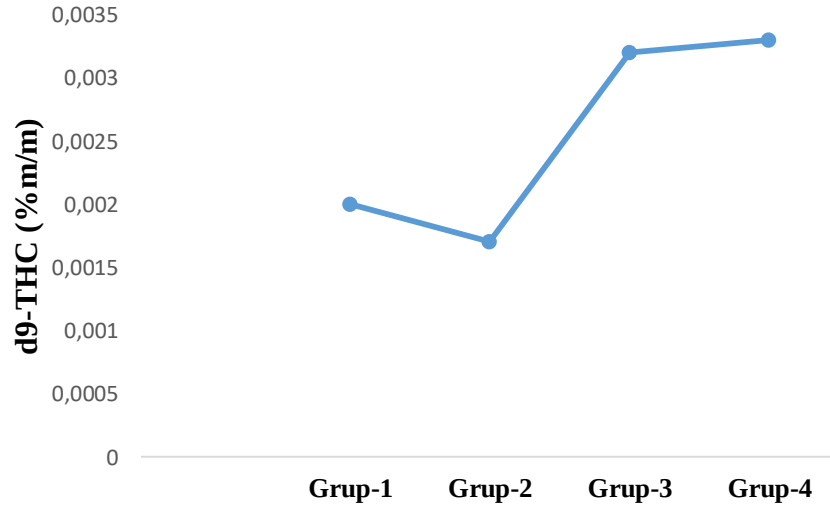
kendi arasında ve Grup-1 ile Grup-2'nin kendi arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmazken, Grup-3 ve Grup-4, Grup-1 ve Grup-2 ile karşılaştırıldığında Δ^9 THC içeriği bakımından farkın önemli olduğu görülmüştür (**Şekil 4.11.**).

CBN içeriğinde (Δ^9 THC ve CBD içeriğinden farklı olarak) en yüksek değer %0,0009 ile toprakta yetiştirilen Grup-4'deki kenevir bitkisinden elde edilmiştir. Grup-4'ün CBN içeriği ile diğer 3 gruptaki bitkilerin CBN içeriği arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuş ve içeriklerin yüksekten düşüğe sırasıyla Grup-1, Grup-2, Grup-3'de % 0,0003; %0,0002; %0,0002 olduğu görülmüştür. Bunun yanında Grup-1, Grup-2 ve Grup-3 'deki bitkilerde CBN içeriği arasında önemli bir fark bulunmamıştır (**Şekil 4.12.**).

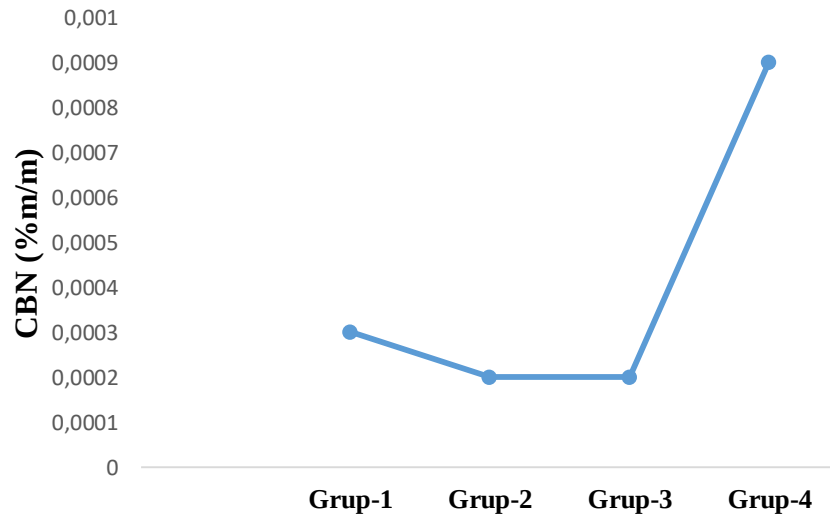




Şekil 4.10. Kenevir bitkisinde CBD içeriği (%m/m) değişim grafiği



Şekil 4.11. Kenevir bitkisinde Δ^9 THC içeriği (%m/m) değişim grafiği



Şekil 4.12. Kenevir bitkisinde % Δ^9 THC içeriği (%m/m) değişim grafiği

Kenevir bitkisinin endüstriyel olarak sınıflandırılmasında yüzdesel olarak THC içeriği baz alınmakta ve psikoaktif etkinin görülmediği en düşük THC eşik değeri %1 olarak kabul edilmektedir (Olesen ve Plackett, 1999). Bu bilgiye paralel olarak yapılan bu tez çalışmasında kullanılan yerli çeşit Narlı endüstriyel kenevir bitkisinde uygulama yapılan tüm gruplarda THC değeri %1'in altında ve oldukça düşük bulunmuştur.

Veazie ve ark., (2023), serada yetiştirilen kenevirde farklı Si substrat ilavelerinin bitkide mikro besin elementlerinin alımı, bitki büyümesi üzerindeki etkisi ve kannabinoid içeriğine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmaya göre bitki yetiştirme ortamına eklenen farklı konsantrasyonlardaki kalsiyum silikatın (CaSiO_3) toplam THC oranında azalmaya neden olduğunu ancak bu azalmanın istatistiksel olarak önemli olmadığını bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada (Lowe, 2021), silisyum nanopartikül uygulamasının 4 farklı kenevir çeşidi üzerine etkisi araştırılmıştır. Araştırmacı endüstriyel kenevir bitkisini 2 farklı substrat ortamında yetiştirmiş ve Si uygulamasının bazı gruplarda THC ve CBD içeriğini azalttığını bazı gruplarda etkilemediğini raporlamıştır. Benzer başka bir çalışmada Rezghiyan ve ark., (2025) kuraklık stresine karşı nano silikon uygulamasının kenevir bitkisinde terpenoid ve CBD içeriğine etkisini araştırmışlar, Si uygulanan gruplardaki CBD içeriğinin uygulanmayan gruplara göre azalış gösterdiğini, bu azalmanın stresin derecesine göre istatistiksel olarak önemli olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bu tez çalışmasında, yukarıda verilen çalışmaların bulgularını destekler nitelikte benzer sonuçlar elde edilmiş, Si uygulamasının genel olarak CBD, $\Delta^9\text{THC}$ ve CBN içeriğinde azalmayı sağladığı belirlenmiştir. Bununla birlikte Trajkovska ve ark., (2025) *in vitro* kültür ortamında yetiştirilen kenevir bitkisinde IBA'nın farklı konsantrasyonlarının bitkide CBD ve THC içeriğinde azalmaya yol açtığını bildirmişlerdir. Bizim çalışmamızda ise araştırmacının bulgusunun aksine, IBA uygulamasının kenevir bitkisinde stres faktörü gibi davranarak CBD, $\Delta^9\text{THC}$ ve CBN içeriğinde artışa neden olduğu görülmüştür.

Literatürde bulunan, kenevir bitkisinde Si uygulamasının kannabinoid içeriği üzerindeki etkisini inceleyen sınırlı sayıdaki çalışmalar ile bu tez çalışması genel olarak paralellik göstermektedir. Silisyum uygulamasının bitkiler üzerinde stresin olumsuz etkilerini azaltan ve bitki gelişimini arttıran etkisi göz önüne alındığında bu tez çalışmasında Si uygulamasının, stres durumunda miktarı artan sekonder metabolit içeriğinde azalmaya neden olduğu görülmüştür.

4.10. Lif verimi

Toprak ve durgun su kültürü ortamında yetiştirilen kenevir bitkisinde lif içeriği ve selüloz içeriği incelenmiştir.

Lif içeriği (%m/m): Narlı çeşidi endüstriyel kenevir bitkisinde en önemli parametrelerden biri olan lif içeriğinin ağırlık bakımından %'sel oranı **Çizelge 4.10.**'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde lif içeriği

Uygulama	Lif içeriği (% m/m)
Grup-1	24,018±2,77 ^{ba}
Grup-2	29,122±3,36 ^a
Grup-3	13,743±1,58 ^c
Grup-4	19,989±2,30 ^{cb}

* Her bir sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar $p \leq 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir

* n=7, 7 bitkinin ortalaması kullanılmıştır

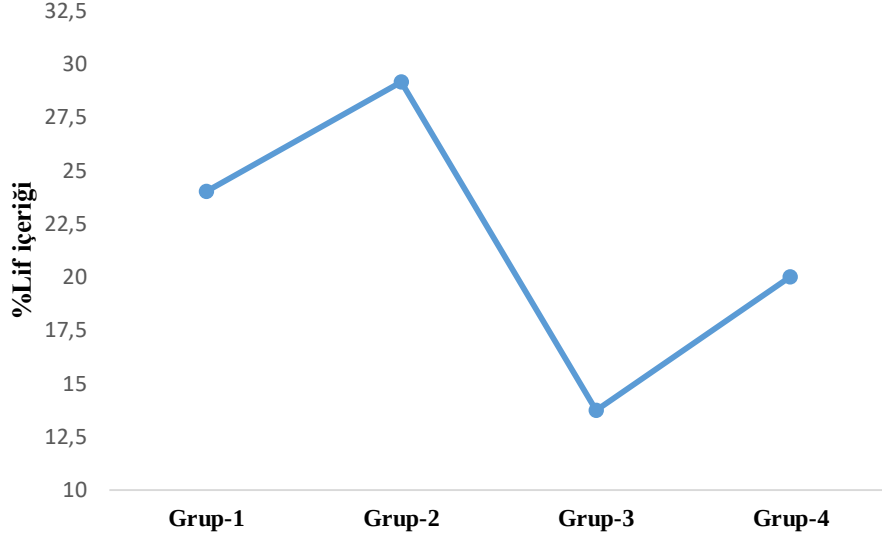
Grup-1: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K

Grup-2: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 10 ppm Si

Grup-3: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 1 ppm IBA

Grup-4: Topraklı saksı ortamı (torf:toprak:perlit / 1:1:1)

Bu sonuçlara göre en yüksek lif içeriği %29,122 Grup-2'deki kenevir bitkisinden elde edilmiştir. Grup-2'yi takiben %24,018 lif içeriği Grup-1'de bulunurken Grup-4'deki kenevir bitkisinde lif içeriği %19,989 bulunmuştur. Lif içeriği bakımından en düşük yüzdeye sahip olan uygulama ise %13,743 ile Grup-3 olmuştur. Toprak ve durgun su kültürü olmak üzere 2 farklı yetiştirme ortamı kullanılarak yapılan bu tez çalışmasında, lif içeriği açısından en verimli ortamın Si içeren Grup-2 olduğu, Grup-3 ve Grup-4 ile arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte Si uygulamasından sonra, lif verimi bakımından en verimli sonuç Grup-1'den elde edilmiş ve bu 2 grup arasında istatistiksel olarak fark olmadığı belirlenmiştir. Si uygulamasından elde edilen %lif içeriği, IBA uygulaması yapılan kenevir bitkilerinin lif içeriğinden yaklaşık 2,5 kat, toprakta yetiştirilen kenevir bitkilerinin lif içeriğinden yaklaşık 1,5 kat daha yüksek bulunmuştur (**Şekil 4.13.**).



Şekil 4.13. Kenevir bitkisinde % lif içeriği değişim grafiği

Kenevir bitkisinde liflerin ayrılması için çiğde bekletme, mekanik ayırma, kimyasal işlem, havuzlama, enzim uygulama gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Kaya ve Öner, 2020). Bu yöntemler arasında geleneksel olarak kullanılan havuzlama yöntemi lif eldesinde en başarılı sonuçları vermektedir. Jankauskiene ve ark., (2015) lif ayırma metodlarının kenevir lifinde bazı kalite parametreleri üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında suda havuzlama yönteminin lif kalitesi üzerine olumlu etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında da suda havuzlama yöntemi kullanılmış yapraklarından ayrılan kenevir gövdesi, taze bir şekilde temiz suyun bulunduğu havuzlara yatırılarak odunsu kısım ile liflerin ayrılması sağlanmıştır. Sıcaklığı 25-30°C arasında olan suda 3-5 gün arası bekletilen kenevir bitkisinde liflerin, bitkinin odunsu kısmından %100 oranında ayrılması sağlanmıştır.

Tsaliki ve ark., (2021), farklı kenevir çeşitlerini lif ve tohum verimliliği açısından incelemek için kenevir yetiştirmişlerdir. 4 aylık yetiştirme periyodunun sonunda en yüksek lif içeriklerinin Santhica 27 çeşidinde %27,3, Tygra çeşidinde %26,5, Bialobrzskie çeşidinde %27,1 olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bu tez çalışmasında Narlı kenevir çeşidinde yaklaşık %29 lif içeriği Si uygulanan durgun su kültürü ortamından elde edilmiştir. Literatür ile karşılaştırıldığında elde edilen yüksek lif içeriği önemli bir veri oluşturmaktadır. Başka bir çalışmada Deleuran ve Frengmark (2005), Danimarka'da 2 farklı bölge koşullarında yetiştirilen ve 4-5 ay arasında değişen hasat zamanları ile % lif içeriğinin çeşit ve koşullara bağlı olarak en düşük %22,1 en yüksek %33,8 olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bu tez çalışmasında Narlı kenevir çeşidi

yaklaşık 2 aylık durgun su kültüründeki gelişim ortamında %24 (Grup-1) ve %29 (Grup-2) lif içeriği elde edilmiştir. Literatürdeki bu çalışma ile karşılaştırıldığında daha kısa sürede daha yüksek lif içeriğinin elde edilmesi dikkate değer bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Luyckx ve ark., (2022) ağır metal içeren ve içermeyen toprakta endüstriyel kenevir bitkisinde silisyum uygulamasının etkilerini araştırdıkları çalışmalarında Si uygulamasının bitkide % lif içeriğini istatistiksel olarak etkilemediğini bildirmişlerdir. Araştırmacıların bulgularının aksine yaptığımız çalışmada en yüksek lif içeriği Si uygulanan Grup-2'den elde edilmiş ve %lif değeri bakımından Si uygulanan durgun su kültürü ile toprakta yetişen bitkiler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Literatür ile karşılaştırıldığında yapılan çalışmalar bir bütün olarak değerlendirildiğinde endüstriyel kenevir bitkisi için oldukça önemli olan %lif içeriğinin çeşide ve yetiştirme koşullarına göre farklılıklar gösterdiği sonucuna varılabilir.

Selüloz içeriği (%m/m): Toprak ve durgun su kültürü ortamında yetiştirilen Narlı çeşidi endüstriyel kenevir bitkisinin lif kalitesini belirleyen parametrelerden biri olan toplam selüloz içeriği % ağırlık olarak, **Çizelge 4.11.**'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı uygulamalar yapılan kenevir bitkisinde toplam selüloz miktarı

Uygulama	Toplam Selüloz (%)
Grup-1	77,25±3,41 ^{ba}
Grup-2	82,49±2,89 ^a
Grup-3	61,59±2,97 ^b
Grup-4	73,85±3,78 ^{ba}

* Her bir sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar $p \leq 0.05$ seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir

* n=7, 7 bitkinin ortalaması kullanılmıştır

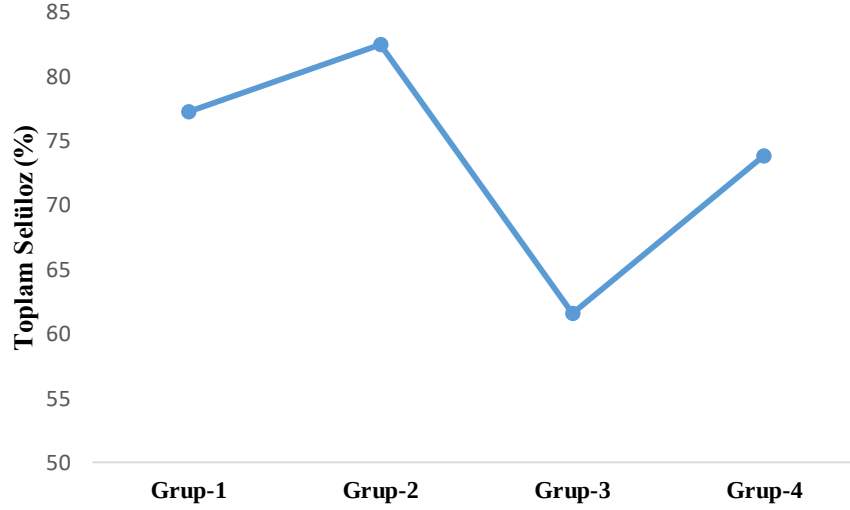
Grup-1: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K

Grup-2: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 10 ppm Si

Grup-3: 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 1 ppm IBA

Grup-4: Topraklı saksı ortamı (torf:toprak:perlit / 1:1:1)

Çizelge 4.11'deki veriler incelendiğinde selüloz içeriğinin uygulamalara göre farklılıklar gösterdiği ve Grup-2'nin %82,49 oran ile en yüksek toplam selüloz içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Bunu daha sonra sırasıyla Grup-1, Grup-4 ve Grup-3 (sırasıyla %77,25; %73,85; %61,59) takip etmiştir. Si uygulaması yapılan bitkilerdeki toplam selüloz içeriği, en düşük toplam selüloz içeriğinin elde edildiği IBA uygulaması yapılan bitkilerden yaklaşık %34 daha yüksek hesaplanmış ve bu fark istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur (**Şekil 4.14.**).



Şekil. 4.14. Kenevir bitkisinde % selüloz içeriği değişim grafiği

Selüloz bir polisakkarittir ve bitkideki plazma zarında RTK'lerin sentezi ile üretilir (Bishop, 2015). Kenevir bitkisindeki liflerin ana bileşeni olan selüloz, lif emiciliği, boyanabilirlik, kimyasal modifikasyon kabiliyeti ve lif işlemeye uygunluğu gibi önemli özellikler taşımaktadır (Zimniewska, 2022). Bu amaçla, yaptığımız çalışmada lif kalitesini belirleyen bir parametre olan toplam selüloz içeriği incelenmiştir. Ülkemizde kenevir ile ilgili yapılan çalışmalarda hidroponik ortamın kullanılmamış olması, yapılan bu çalışmanın sonuçlarını ayrıca önemli kılmaktadır.

Manaia ve ark., (2019) yayınladıkları çalışmalarında selüloz içeriğinin, kenevirde (*Cannabis sativa* L.) %70-85 oranında olduğunu bildirmişlerdir. Jaldon ve ark., (1995) kenevir gövdelerinden elde ettikleri liflerin toplam selüloz oranını incelemişlerdir. Buna göre araştırmacılar toplam selüloz oranının %71 olduğunu bildirmişlerdir. Jankauskienė ve ark., (2015) 2 farklı havuzlama işlemi kullanarak ayırdıkları kenevir liflerinde toplam selüloz oranlarını %84-88 aralığında olduğunu raporlamışlardır. Benzer çalışmalarda kenevir liflerindeki toplam selüloz oranını Thomson ve ark., (2005) %80-86, Smole ve ark., (2013) %77 olarak bildirmişlerdir.

Literatürde elde edilen verilere göre farklı çeşitlere ait kenevir bitkisinin liflerindeki selüloz oranı en az %70 en fazla %86 olduğu görülmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında literatür ile uyumlu olarak, farklı uygulamalar altında yetiştirdiğimiz kenevir bitkisinin gövdesinden elde edilen liflerdeki toplam selüloz oranı ortalama %61 ile %82 arasında değişim göstermiştir. Yapılan bu çalışmada 2 aylık vejetasyon

döneminin sonunda %82'lik toplam selüloz oranının Si uygulanmış durgun su kültürü ortamında yetiştirilen bitkilerden elde edilmesi ayrıca dikkat çekici bir sonuçtur.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında endüstriyel kenevirin (*Cannabis sativa* L.), yerel Narlı çeşidine ait tohumlardan gelişen bitkilerin gelişiminin ve lif veriminin artırılması amacıyla tarımsal biyoteknolojik yöntemlerden biri olan durgun su kültürü kullanılmıştır. Bu yöntemle yetiştirilen bitkilerde durgun su kültüründe 3 farklı ortam ile toprak ortamının [**Grup-1:** 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K; **Grup-2:** 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 10 ppm Si; **Grup-3:** 1/2 Hoagland + 150:30:150 N:P:K + 1 ppm IBA; **Grup-4:** Topraklı saksı ortamı (torf:toprak:perlit / 1:1:1)] etkisi test edilmiştir. Bitkilerin fizyolojik gelişimleri, lif verimi ve geliştirme koşullarının yaratabileceği stres faktörlerini değerlendirmek amacıyla, kök ve gövdede taze-kuru ağırlık, gövde uzunluğu, gövde kalınlığı, yaprak boyu ve eni, yaprak nispi su içeriği, fotosentetik pigment içeriği, MDA içeriği, yaprak sekonder metabolit içeriği, lif içeriği (% m/m), selüloz içeriği gibi ölçüm ve analizler yapılmıştır. Elde edilen verilere ait sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- Uygulama grupları arasındaki kök yaş ağırlığı incelendiğinde Grup-2'deki bitkilerin diğer uygulamalara göre en yüksek değere sahip olduğu belirlenmiştir. Kök yaş ağırlığı bakımından Grup-2'yi sırasıyla, Grup-1, Grup-4 takip etmiştir. Çalışmada kök yaş ağırlığı bakımından en düşük veriler Grup-3'ten elde edilmiştir. En yüksek kök kuru ağırlığı kök yaş ağırlığı ile benzer şekilde sırasıyla Grup-2, Grup-1, Grup-4 ve Grup-3 şeklinde olmuştur.
- Topraklı ve topraksız ortamda yetiştirilen kenevir bitkisinde farklı uygulamaların bitki gövde yaş ağırlıklarına etkisi incelendiğinde en yüksek değerin Grup-2'deki bitkilerde olduğu görülmüştür. Çalışmada gövde yaş ağırlığı bakımından en düşük veriler Grup-3'teki bitkilerden elde edilmiştir. Gövde kuru ağırlıklarının, yüksekten düşüğe doğru sırasıyla Grup-2, Grup-1, Grup-4 ve Grup-3 şeklinde olduğu görülmüştür.
- Kenevir bitkilerinin boy uzunluğu incelendiğinde toprak ortamında yetiştirilen bitkilerin (Grup-4) boy ortalaması tüm gruplar arasında en

yüksek değer olarak ölçülmüş bunu sırasıyla hidroponik ortam olan Grup-1, Grup-2 ve Grup-3 takip etmiştir.

- Gövde kalınlığına ait veriler incelendiğinde hidroponik ortam ile topraklı ortam arasında önemli farklılıklar olduğu görülmüştür. Tüm uygulama grupları arasında, en kalın gövdeye sahip bitkiler Grup-2'den elde edilmiş bunu Grup-1 takip etmiştir. En düşük gövde kalınlığı verileri ise Grup-3'teki bitkilerden elde edilmiştir.
- Yaprak boyu ve yaprak eni bakımından en yüksek sonuçlar hidroponik ortamda yetişen Grup-1'deki bitkilerden elde edilmiştir.
- Toprak ve durgun su kültürü ortamında yetiştirilen Narlı kenevir çeşidine ait bitkilerin yapraklarındaki nispi su içeriği yüzdesi değerlendirilmiş, Grup-2'deki bitkilerin en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Bunu sırasıyla Grup-1, Grup-4 ve Grup-3 takip etmiştir. Uygulamalar arasında en düşük %NSİ değeri IBA uygulanan hidroponik ortamda yetiştirilen bitkilerden elde edilmiştir.
- Topraklı ve topraksız ortamda yetiştirilen kenevir bitkilerinin fotosentetik pigment içeriklerinde meydana gelen değişimler klorofil-a, klorofil-b ve toplam karotenoid içerikleri incelenerek değerlendirilmiştir. Her üç pigment için de en yüksek değer Grup-2'den elde edilirken en düşük değere Grup-3 sahip olmuştur.
- Toprak ve durgun su kültürü ortamında yetiştirilen Narlı çeşidi endüstriyel kenevir bitkisinde yetiştirme koşullarının ve farklı uygulamaların bitki gelişimine etkisini ve hücre hasarı derecesini belirlemek amacıyla MDA içeriği incelenmiştir. Uygulamalar karşılaştırıldığında en yüksek MDA içeriği Grup-3'deki kenevir bitkilerinde görülmüş ve bu nedenle IBA uygulamasının, diğer uygulamalar ile karşılaştırıldığında, bitkide hücre zarı yıkımına en çok sebep olan uygulama olduğu belirlenmiştir. MDA içeriği ve dolayısıyla membran hasarı en düşük olan uygulamalar sırasıyla Grup-1 ile Grup-2 olarak belirlenmiştir.
- Narlı çeşidi endüstriyel kenevir (*Cannabis sativa* L.) bitkisinde bazı önemli sekonder metabolitlerin (CBD, Δ^9 THC, CBN) içeriğinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. CBD açısından incelendiğinde

sonuçlar, yüksekten düşüğe doğru sırasıyla Grup-3, Grup-4, Grup-2, Grup-1 şeklinde meydana gelmiştir. Uygulamalar arasındaki Δ^9 THC içeriği de CBD içeriği ile kısmen paralellik göstermiştir. Grup-3 ve Grup-4’de Δ^9 THC içeriği Grup-1 ve Grup-2 uygulamasından fazla bulunmuştur. CBN içeriğinde en yüksek değer toprakta yetiştirilen Grup-4’deki kenevir bitkisinden elde edilmiştir.

- Lif içeriği bakımından en yüksek değer, Si (Grup-2) uygulaması ile durgun su kültüründe yetişen kenevir bitkisinden elde edilmiştir. En düşük lif içeriği yüzdesine sahip olan uygulama ise Grup-3 olmuştur. Si uygulamasından elde edilen %lif içeriği IBA uygulaması yapılan kenevir bitkilerinin lif içeriğinden yaklaşık 2,5 kat, toprakta yetiştirilen kenevir bitkilerinin lif içeriğinden yaklaşık 1,5 kat daha yüksek bulunmuştur.
- Toprak ve durgun su kültürü ortamında yetiştirilen Narlı eşidi endüstriyel kenevir bitkisinin lif kalitesini belirleyen parametrelerden biri olan toplam selüloz içeriği % ağırlık olarak değerlendirilmiştir. Uygulamalara göre farklılıklar olduğu ve Si uygulaması yapılan Grup-2’nin en yüksek toplam selüloz içeriğine sahip olduğu grlmştir. Bunu daha sonra sırasıyla Grup-1, Grup-4 ve Grup-3 takip etmiştir. Si uygulaması yapılan bitkilerdeki toplam selüloz içeriği, en düşük toplam selüloz içeriğinin elde edildiği IBA uygulaması yapılan bitkilerden yaklaşık %34 daha yüksek hesaplanmış ve bu fark istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur.

Hemen hemen tüm kullanım alanlarında üstünlükleri ile kıymetli bir bitki olan kenevir ve lifleri en kaliteli lifler arasında yer almaktadır. Bitkinin verim ve kalite unsurlarını arttırmaya yönelik olarak gerçekleştirilen bu çalışmada tarımsal biyoteknolojik bir yöntem olan topraksız tarım (durgun su kültürü) kullanılarak lif veriminin arttırılması hedeflenmiştir. Test edilen tüm parametrelerde topraksız ortamın, topraklı ortamdan daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, topraksız ortamda IBA uygulamasının bitki gelişimi ve lif verimi üzerine olumsuz etkilerinin olduğu grlmştir. IBA’daki bu etkilerin sebeplerinin daha detaylı incelenebilmesi için, ileride yapılacak çalışmalarda, farklı besi yeri ve konsantrasyonları uygulanması veya ortamın fiziksel koşullarının (ışık, sıcaklık gibi) eşitlendirilmesi önerilmektedir. Topraksız ortamda yapılan uygulamalar içerisinde Si içeren durgun su kültürü ortamında yetiştirilen kenevir bitkilerinin hem lif verimi (%29 lif içeriği) hem de lif kalitesi (%82

toplam selüloz içeriği) bakımından topraklı ortamdan daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Si elementinin bu olumlu etkilerinin elementin kimyasal yapısından kaynaklandığı, bitki gelişiminde rol oynayan mineral elementlerin alımını kolaylaştırarak bitkinin beslenmesini arttırıcı etki gösterdiği düşünülmektedir.

Ayrıca kenevir bitkisinin vejetasyon süresi göz önüne alındığında, tohumlar 14 günlük çimlendirme periyodundan sonra topraklı ve topraksız olarak uygulamaya alınmış ve 62 günlük gelişim süresi sonunda hasat edilmiştir. Kısa gün bitkisi olan kenevirin ülkemizde geleneksel tarım ile ekim tarihi Nisan-Mayıs, hasat tarihleri ise Ağustos-Eylül ayları civarındadır. Yaklaşık 4 aylık gelişim süresi ile karşılaştırıldığında, tez çalışmasında kullanılan yöntem, vejetasyon süresini 2,5 aya düşürmesi açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Farklı besi yeri uygulamasının yanında, kurulan deney düzeneğinde tek çeşit ışık kaynağı kullanılmıştır. Narlı çeşidi kenevir bitkisinde gelişim ve lif verimi çalışmaları, farklı ışık kaynakları kullanılarak, bitkinin bu kaynaklara vereceği yanıtlar daha detaylı araştırılmalıdır.

Küresel ısınma, kuraklık, su kıtlığı gibi çevresel sorunlar düşünüldüğünde, geleneksel tarıma alternatif yöntemler geliştirilmelidir. Topraksız tarım, sürdürülebilirliği, verimi, çevreye olan katkısı ile önemli bir alternatiftir. Bu bağlamda tez çalışmasında endüstriyel kenevir bitkisinin yetiştirilmesinde kullanılan durgun su kültürü yöntemi ile uygulanabilir önemli bir alternatif sunulmuştur. Yapılan bu tez çalışmasının, ülkemizde bu alanda yapılan ilk araştırma olması sebebiyle, tarımsal biyoteknolojik yollarla kenevir bitkisinde lif veriminin arttırılmasına yönelik literatürde yer alan boşluğa önemli ölçüde katkı sağlayacağı ve bu alanda yapılacak çalışmalara öncülük ederek yeni çalışmalara ilham olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmad, F., Choi, H.S. & Park, M.K. (2015). A review: Natural fiber composites selection in view of mechanical, light weight, and economic properties. *Macromol. Mater. Eng.*, 300, 10–24, <https://doi.org/10.1002/mame.201400089>
- Ahmadi, F., Kallinger, D., Starzinger, A. & Lackner, M. (2024). Hemp (*Cannabis sativa* L.) Cultivation: Chemical Fertilizers or Organic Technologies, a Comprehensive Review. *Nitrogen*, 5(3), 624-654, <https://doi.org/10.3390/nitrogen5030042>
- Alamri, A.M., Alharby, H.F., Muhammad, M.N., Bukhari, A., Ahmad, Z., Alvi, A.M., Majrashi, A. & Alharbi B.M. (2025). Enhancing photosynthetic efficiency and antioxidant activity in camelina under cadmium stress through foliar. *Journal of Plant Nutrition*, 1-16, <https://doi.org/10.1080/01904167.2025.2460193>
- Ali, A.M. & Bijay-singh. (2024). Silicon: a crucial element for enhancing plant resilience in challenging environments. *Journal of Plant Nutrition*, 48(3), <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2406479>
- Alsaeedi, A., El-Ramady, H., Alshaal, T., El-Garawany, M., Elhawat, N. & Al-Otaibi, A. (2019). Silica nanoparticles boost growth and productivity of cucumber under water deficit and salinity stresses by balancing nutrients uptake. *Plant Physiology and Biochemistry*, PPB 139(1), 10, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.008>
- Amaducci, S., Colauzzi, M., Bellocchi, G. & Venturi, V. (2008). Modelling post-emergent hemp phenology (*Cannabis sativa* L.): Theory and evaluation. *Europ. J. Agronomy*, 28(2), 90-102, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.05.006>
- Ambebe, T.F. (2025). Effects of root inducing agents on rooting performance of *Vitex diversifolia* stem cuttings. *Res. J. Agriculture and Forestry Sci.*, 13(1), 6-10.
- Anderson, L.C. (1980). Leaf variation among *Cannabis* species from a controlled garden. *Botanical Museum Leaflets, Harvard University*, 28(1), 61-69.
- Anonim. (2021a). Şekil 2.3, Şekil 2.4
- Anonim. (2021b). T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı, Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü, Ankara, (web: 10.07.2024.) https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Yay%C4%B1nlar/Tescil%20Raporlar%C4%B1/2021/Pamuk-%C5%9EekerPancar%C4%B1/2021_Kenevir_Nar%C4%B1_Vezir_Tescil%20Raporu_11_03_2021.pdf
- Anonim. (2024). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), İstatistik Veri Portalı, “Tekstilde Kullanılan Bitkiler” verileri <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2024-53447>

Anonim. (2025). Şekil 2.2. <http://www.tarimsitesi.net/urun-778-Kenevir-bitkisi.html>

Aouz, A., Khan, I., Chattha, M.B., Ahmad, S., Ali, M. Ali, I., Ali, A. Alqahtani, F.M., Hashem, M., Albishi, T.S., Qari, S.H., Chatta, M.U. Hassan, M.U. (2023). Silicon induces heat and salinity tolerance in wheat by increasing antioxidant activities, photosynthetic activity, nutrient homeostasis, and osmo-protectant synthesis. *Plants*, 12, 2606, <https://doi.org/10.3390/plants12142606>

Arche, T. & Singh, M.R. (2019). The application of hemp (*Cannabis sativa* L.) for a green economy: a review. *Turkish Journal of Botany*. 43(6), 2, <https://doi.org/10.3906/bot-1907-15>

Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 15.

Ashraf, M.I., Sajad, S. & Ikbali, R. (2018). Effect of plant growth regulators (Iba and 2,4-D) on the morphology and biochemical characteristics of radish (*Raphanus sativus* L.). *International Journal of Applied Science - Research and Review*, 5(2), 6, <https://doi.org/10.21767/2394-9988.100071>

Atoloye, I.A., Adesina, I., Shahbazi A. & Bhowmik, A. (2022). Response of cannabidiol hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties grown in the southeastern United States to nitrogen fertilization. *Open Agriculture*, 7(1), <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0094>

Aubin, M.P., Seguin, P., Vanasse, A., Tremblay, G.F., Mustafa, A.F. & Charron, J.B. (2015). Industrial hemp response to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization. *Crop, Forage Turfgrass Management*, 1(1), 1-10, <https://doi.org/10.2134/cftm2015.0159>

Aytaç, S., Arslanoğlu Ş.F. ve Ayan, A.K. (2017). Endüstriyel tip kenevir (*Cannabis sativa* L.) yetiştiriciliği. *Karadeniz'in Lif Bitkileri (Keten- Kendir- Isırgan) Çalıştayı*, 27-35.

Babu, P.M., Thakuria, D., Majumdar, S. & Kalita, H.C. (2025). Sources and application methods of silicon for rice in acid soil. *Silicon*, 17, 499-515, <https://doi.org/10.1007/s12633-024-03212-4>

Bakis, Y., Babac, M. T., & Uslu, E. (2011). Updates and improvements of Turkish Plants Data Service (TÜBİVES). In Health Informatics and Bioinformatics (HIBIT), 2011 6th International Symposium on (pp. 136-140). IEEE.

Barr, H.D. & Weatherley, P.E. (1962). A reexamination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. *Aust. J. Biol. Sci.* 15, 413-428.

Beheshti, F. & Khorasaninejad, S. (2023). Effect of silicon on some growth, physiological and phytochemical properties of *Cannabis sativa* L. in soil and soilless culture. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*. 10(4), 44-61, <https://doi.org/10.30495/ejmp.2022.1957995.1687>

- Bernstein, N., Gorelick, J., Zerahia, R. & Koch, S. (2019). Impact of N, P, K and humic acid supplementation on the chemical profile of medical cannabis (*Cannabis sativa* L.). *Front. Plant Sci.* 10:736. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00736>
- Bevan, L., Jones, M. and Zheng, Y. (2021). Optimisation of nitrogen, phosphorus, and potassium for soilless production of *Cannabis sativa* in the flowering stage using response surface analysis. *Front. Plant Sci.* 12:764103 <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.764103>
- Bidhendi, A.J., Chebli, Y. and Geitmann, A. (2020). “Fluorescence visualization of cellulose and pectin in the primary plant cell wall”. *Journal of Microscopy*. 278:3, 164-181. <https://doi.org/10.1111/jmi.12895>
- Bishop, C.A. (2015). *Vacuum Deposition onto Webs, Films, and Foils*. William Andrew Publishing: Oxford. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-29644-1.00033-5>
- Boerjan, W., Ralph, J. & Baucher, M. (2003). Lignin Biosynthesis. *Annu. Rev. Plant Biol.* 54, 519–546. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.54.031902.134938>
- Bolat, İ. ve Kara. Ö. (2017). Bitki besin elementleri: Kaynakları, işlevleri, eksik ve fazlalıkları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19 (1), 218-228. <https://doi.org/10.24011/barofd.251313>
- Campiglia, E., Radicetti, E. & Mancinelli, R. (2017). Plant density and nitrogen fertilization affect agronomic performance of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) in Mediterranean environment. *Industrial Crops and Products*, 100, 246-254. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.02.022>
- Carlo Moscariello, C., Matassa, S., Esposito, G. & Papirio, S. (2021). From residue to resource: The multifaceted environmental and bioeconomy potential of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). *Resources, Conservation and Recycling*, 175, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105864>
- Cassano, R., Trombino, S., Ferrarelli, T., Nicoletta, F.P., Mauro, M.V., Giraldi, C. & Picci, N. (2013). Hemp fiber (*Cannabis sativa* L.) derivatives with antibacterial and chelating properties. *Cellulose*, 20(1), 547-557, <https://doi.org/10.1007/s10570-012-9804-3>
- Ceylan. O. (2021). Cumhuriyetin ilk döneminde geleneksel bir ürün: Kastamonu kendirinin (kenevir) tarihsel gelişimi (1923-1950). *Belge Dergisi*. 22, 195-218, <https://doi.org/10.33431/belgi.886054>
- Cheng, X., Wang, R., Liu, X., Zhou, L., Dong, M., Rehman, M., Fahad, S., Liu, L. & Deng, G. (2022). Effects of light spectra on morphology, gaseous exchange, and antioxidant capacity of industrial hemp. *Front. Plant Sci.* 13, 937436. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.937436>
- Cherrett, N., Barrett, J., Clemett, A., Chadwick, M. & Chadwick, M. (2005). Ecological footprint and water analysis of cotton, hemp and polyester, Stockholm Environmental Institute.

- Cockson, P., Landis, H., Smith, T., Hicks, K. & Whipker, B. E. (2019). Characterization of nutrient disorders of *Cannabis sativa*. *Applied Sciences*, 9(20), 4432, <https://doi.org/10.3390/app9204432>
- Coffman, C.B. ve Gentner, W.A. (1979). Greenhouse propagation of *Cannabis Sativa* L. by vegetative cuttings. *Econ Bot*, 33, 124–127, <https://doi.org/10.1007/BF02858280>
- Crini, G., Lichtfouse, E., Chanut, G. & Crini, N.M. (2020). Applications of hemp in textiles, paper industry, insulation and building materials, horticulture, animal nutrition, food and beverages, nutraceuticals, cosmetics and hygiene, medicine, agrochemistry, energy production and environment: a review. *Environ Chem Lett*, 18, 1451–1476, <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01029-2>
- Crowley, K., Kiraga, Ł., Miszczuk, E., Skiba, S., Banach, J., Latek, U., Mendel, M. & Chłopecka, M. (2024). Effects of cannabinoids on intestinal motility, barrier permeability, and therapeutic potential in gastrointestinal diseases. *Int. J. Mol. Sci*, 25, 6682. <https://doi.org/10.3390/ijms25126682>
- Dakora, F. D. & Nelwamondo, A. (2003). Silicon nutrition promotes root growth and tissue mechanical strength in symbiotic cowpea. *Functional Plant Biology*, 30 (9), 947–953. <https://doi.org/10.1071/FP02161>
- DeCarlo, S. & Weaver, M. (2023). Keeping the high out of hemp: Global THC standards”. U.S. International Trade Commission, Executive Briefings on Trade (EBOT), May 2024 [web: 03.07.2024] https://www.usitc.gov/publications/332/keeping_high_out_hemp_global_thc_standards.htm
- Deleuran, L.C. & Flengmark, P.K. (2006). Yield potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars in Denmark. *Journal of Industrial Hemp*, 10(2), 19-31, https://doi.org/10.1300/J237v10n02_03
- Dilek, E. (2023). Yerli ve yabancı endüstriyel kenevir liflerinin mekanik ve boyanabilirlik özelliklerinin incelenmesi. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Ege Üniversitesi.
- Dölen, E. (1992). *Tekstil Tarihi*. Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları.
- Duncan, D.B. (1955). Multiple range and multiple F test. *Biometrics*, 11 (1), 1-42.
- Ekren, S., Geren, H. ve Çevik, Ö. (2021). Farklı azot dozlarının flue-cured (virginia) tütününde verim ve bazı verim özelliklerine etkisi. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 5(1), 202-209, <https://doi.org/10.46291/ISPECJASvol5iss1pp202-209>
- Gao, H., Yu, W., Yang, X., Liang, J., Sun, X., Sun, M., Xiao, Y. & Peng, F. (2022). Silicon enhances the drought resistance of peach seedlings by regulating hormone, amino acid, and sugar metabolism. *BMC Plant Biology*, 22 (1), 422. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03785-5>

- Ghanem, H.E., Aldesuquy, H.S. & Elshafii, H.A. (2019). Silicon alleviates alkalinity stress of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) plants by improving plant water status, pigments, protein, nucleic acids and carbohydrates contents. *Advances in Agricultural Technology & Plant Sciences*, 2(2).
- Gizlenci, Ş., Acar, M., Yiğen, Ç. ve Aytaç, S. (2019). *Kenevir Tarımı*. Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü.
- Gökgöz, A.B. (2022). Medikal ve endüstriyel kenevirin günümüzdeki yeri, önemi ve Türkiye ekonomisine katkı potansiyeli. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi.
- Gönen, S. (2009). *Cannabis sativa* L. bitkisinin morfolojisi ve anatomisi üzerine bir araştırma. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi] Ege Üniversitesi.
- Göre, M. ve Kurt, O. (2021). Bitkisel üretimde yeni bir Trend: kenevir. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 4(1), 138-157, <https://doi.org/10.38001/ijlsb.789970>
- Gu, L.F. (2006). Surgical sewing free zipper made of antibiotic material hemp fiber. CN Patent Y, 2829641.
- Haghighia, M. & Pessarakli, M. (2013). Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherrytomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. *Scientia Horticulturae*, 161, 111-117, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.034>
- Hall, J., Bhattarai, S.P. & Midmore, D.J. (2014). The effects of photoperiod on phenological development and yields of industrial hemp. *Journal of Natural Fibers*, 11(1), 87-106, <https://doi.org/10.1080/15440478.2013.846840>
- Hand, A., Blake, A., Kerrigan, P., Samuel, P. & Friedberg, J. (2016). History of medical cannabis. *Journal of Pain and Symptom Management*, 9, 387-394.
- Hansen, E.G. & Schaltegger, S. (2016). Mainstreaming of sustainable cotton in the German clothing industry. *Sustainable Fibres for Fashion Industry* https://doi.org/10.1007/978-981-10-0522-0_2
- Hao, X.M., Yang, Y., An, L.X., Wang, J.M. & Han, L. (2014). Study on antibacterial mechanism of hemp fiber. *In Advanced Materials Research*, 887, 610-613, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.887-888.610>
- Hartemink, A.E. & Barrow, N.J. (2023). Soil pH - nutrient relationships: the diagram. *Plant Soil*. 486, 209-215. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05861-z>
- Harris, A.T., Riddlestone, S., Bell, Z. & Hartwell, P.R. (2008). Towards zero emission pulp and paper production: the BioRegional MiniMill. *Journal of Cleaner Production*, 16, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.02.005>

- Hassan, M.M. (2015). *Sustainable processing of luxury textiles*. Handbook of Sustainable Luxury Textiles and Fashion. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-287-633-1_5
- Hayo M. G. W. (2004). Life cycle analysis of field production of fibre hemp, the effect of production practices on environmental impacts, *Euphytica*, 140, 13-23, <https://doi.org/10.1007/s10681-004-4750-2>
- Hazekamp, A. & Verpoorte, R. (2006). Structure elucidation of the tetrahydrocannabinol complex with randomly methylated β -cyclodextrin. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 29(5), 340-347, <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2006.07.001>
- Helaly, M.N., El-Hoseiny, H., El-Sheery, N.I., Rastogi, A. & Kaleji, H.M. (2017). Regulation and physiological role of silicon in alleviating drought stress of mango. 118, 31-44, <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.05.021>
- Himmetoğlu, M.F. (2020). Eski çağda kenevir bitkisinin kullanım ve yayılımı hakkında yeni bir değerlendirme. *International Journal of History*, 12(3), <https://doi.org/10.9737/hist.2020.871>
- Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. (1938). The water-culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station*. 347.
- Hu, R.H. & Lim, J.K. (2005). Natural fiber reinforced composites and their applications in automobile industry. Proceedings of 2055 International conference on mechanical and automobiles, Jeonju, Korea, 255-260.
- Hui-Lin, L. (1974). An archaeological and historical account of cannabis in China. *Economic Botany*, 28, 437-448.
- Hwang, S. J., Hamayun, M., Kim, H.Y., Na, C. I., Kim, K. U., Shin, D. H., Kim, S. Y. & I. Lee, J. (2007). Effect of nitrogen and silicon nutrition on bioactive gibberellin and growth of rice under field conditions. *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 10(4), 281–286.
- Islam, M.M., Rengel, Z., Storer, P., Siddique, K.H.M. & Solaiman, Z.M. (2023). Phosphorus fertilisation differentially influences growth, morpho-physiological adaptations and nutrient uptake of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). *Plant Soil*, 492, 301–314. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06171-8>
- İncemehmetoğlu, A. (2012). *Investigation the effects of different support medium on product with nutrient film technique*. [Doctoral dissertation. Middle East Technical University].
- Jaldon, C.G., Dupeyre, D. & Vignon, M.R. (1995). Fibres from semi-retted hemp bundles by steam explosion treatment. *Biomass and Bioenergy*, 14(3), 251-260, [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10039-3](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10039-3)

- Jankauskienė, Z., Butkutė, B., Gruzdevienė, E., Cesevičienė, J. & Fernando, A.L. (2015). Chemical composition and physical properties of dew- and water-retted hemp fibers. *Industrial Crops and Products*, 75, Part B, 206-211, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.044>
- Jinger, D., Dhar, S., Dass, A., Sharma, V. K., Paramesh, V., Parihar, M., Joshi, E., Singhal, V., Gupta, G. & Prasad, D. (2022). Co-fertilization of silicon and phosphorus influences the dry matter accumulation, grain yield, nutrient uptake, and nutrient-use efficiencies of aerobic rice. *Silicon*, 14 (9), 4683–4997, <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01239-5>
- Kaaria, K., Gweyi-Onyango, J. & Muui, C. (2023). Silicon amendment–influence on sorghum growth, yield, and nutrient uptake under water stress. *Journal of Plant Nutrition*. 46 (18), 4357–4376. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2222132>
- Karcıer, M. (2021). Farklı ekstraksiyon metodları ile elde edilen kenevir tohum ve yağlarının fiziksel ve kimyasal kompozisyonu. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Karthik, T., Rathinamoorthy, R., Ganesan, P. (2015). *Sustainable Luxury Natural Fibers—Production, Properties, and Prospects*. Handbook of Sustainable Luxury Textiles and Fashion. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-287-633-1_4
- Kaur, N., Brym, Z., Oyola, L.A.M. & Sharma, L.K. (2023). Nitrogen fertilization impact on hemp (*Cannabis sativa* L.) crop production: A review. *Agronomy Journal*, 115(4), 1557-1570, <https://doi.org/10.1002/agj2.21345>
- Kaur, N., Griffin, W., Sandhu, A., Sidhu, S., Brym, Z., Sharma, L. (2024). “Nitrogen application and cultivar effects on industrial hemp yield dynamics”. *Agronomy Journal*, 116 (2), 727-736. <https://doi.org/10.1002/agj2.21537>
- Kaya, C., Tuna, L. & Higgs, D. (2006) Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 29(8), 1469-1480, <https://doi.org/10.1080/01904160600837238>
- Kaya, S. ve Öner, E. (2020). Kenevir liflerinin eldesi, karakteristik özellikleri ve tekstil endüstrisindeki uygulamaları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 11(1), 108-123. <https://doi.org/10.29048/makufebd.693406>
- Khan, B.A., Wang, J., Warner, P. & Wang, H. (2015). Antibacterial properties of hemp hurd powder against *E. coli*. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(10), <https://doi.org/10.1002/app.41588>
- Khoathane, M.C., Vorster, O.C. and Sadiku, E.R. (2008). Hemp fiber-reinforced 1-pentene/polypropylene copolymer: the effect of fiber loading on the mechanical and thermal characteristics of the composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 27(14), <https://doi.org/10.1177/0731684407086325>
- Kumlay, M. Eryiğit, T. (2011). Bitkilerde büyüme ve gelişmeyi düzenleyici maddeler: bitki hormonları. *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.* 1(2), 47-56.

- Kurtuldu, E. ve İşmal, Ö.E. (2020). Sürdürülebilir tekstil üretim ve tasarımında yeniden değer kazanan lif: kenevir. *Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Dergisi*, (12)24.
- La Rosa A. D., Cozzo, G., Latteri, A., Recca, A., Björklund, A., Parrinello, E. & Cicala, G. (2013). Life Cycle assessment of a novel hybrid glass-hemp/thermoset composite. *Journal of Cleaner Production*, 44, 69-76, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.038>
- Lan., W, Liu, C.F. & Sun, R.C. (2011). Fractionation of bagasse into cellulose, hemicelluloses, and lignin with ionic liquid treatment followed by alkaline extraction. *J. Agric. Food Chem*, 59(16), 8691–8701.
- Landi, S., Berni, R., Capasso, G., Hausman, J.-F., Guerriero, G. & Esposito, S. (2019). Impact of nitrogen nutrition on *Cannabis sativa*: an update on the current knowledge and future prospects. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(22), 1–16, <https://doi.org/10.3390/ijms20225803>
- S. K. Lee., Sohn, E. Y., Hamayun, M., Yoon, J. Y. & Lee, I. J. (2010). Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. *Agroforest Syst*, 80, 333-340, <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9299-6>
- Lee, K.E. & Sanders, E.A. (2016). *Hanji, the Mulberry Paper Yarn, Rejuvenates Nature and the Sustainable Fashion Industry of Korea*. Green Fashion. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0111-6_7
- Lowe, M. (2021). Effects of silica nanoparticle liquid fertilizer on germination and yield in various plant species. [ProQuest Dissertations & Theses. Arkansas State University].
- Luyckx, M., Hausman, J.F., Blanquet, M., Guerriero, G. & Lutts, S. (2021). Silicon reduces cadmium absorption and increases root-to-shoot translocation without impacting growth in young plants of hemp (*Cannabis sativa* L.) on a short-term basis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 37963–37977, <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12912-y>
- Luyckx, M., Blanquet, M., Isenborghs, A., Guerriero, G., Bidar, G., Waterlot, C., Francis Douay, F. & Lutts, S. (2022). Impact of silicon and heavy metals on hemp (*Cannabis sativa* L.) bast fibres properties: an industrial and agricultural perspective. *Int J Environ Res*, 16 (82), <https://doi.org/10.1007/s41742-022-00446-1>
- Luyckx, M., Hausman, J.F., Guerriero, G. & Lutts, S. (2023). Silicon reduces zinc absorption and triggers oxidative tolerance processes without impacting growth in young plants of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 943-955, <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21797-4>
- Ma, J., Nishimura, K. & Takahashi, E. (1989). Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. *Soil Science and Plant Nutrition*, 35(3), 347-356, <https://doi.org/10.1080/00380768.1989.10434768>

- Maccarrone, M., Bab, I., Bíró, T., Cabral, G.A., Dey, S.K., di Marzo, V., Konje, J.C., Kunos, G., Mechoulam, R., Paher, P., Shahrkey, K.A. Zimmer, A. (2015). Endocannabinoid signaling at the periphery: 50 years after THC. *Trends in Pharmacological Sciences*. 36(5), 277-296. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2015.02.008>
- Mahmoud, L.M., Shalan, A.M., El-Boray, M.S., Vincent, C.I., El-Kady, M.E., Grosser, J.W. & Dutt, M. (2022). 295, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110856>
- Mammana, S., Cavalli, E., Gugliandolo, A., Silvestro, S., Pollastro, F., Bramanti, P. & Mazzon, E. (2019). Could the combination of two non-psychotropic cannabinoids counteract neuroinflammation? effectiveness of cannabidiol associated with cannabigerol. *Medicina*, 55(11), 747, <https://doi.org/10.3390/medicina55110747>
- Manaia, J.P., Manaia, A.T. & Rogdriges, L. (2019). Industrial hemp fibers: an overview. *Fibers*, 7(12), 106, <https://doi.org/10.3390/fib7120106>
- Markovich, O., Steiner, E., Kouřil, Š., Tarkowski, P., Aharoni, A. & Elbaum, R. (2017). Silicon promotes cytokinin biosynthesis and delays senescence in Arabidopsis and Sorghum. *Plant, Cell & Environment* 40(7), 1189–1196. <https://doi.org/10.1111/pce.12913>
- Mastalerczuk, G., Jarmułowicz, B.B., Rybkowska M. S., Błaszczuk, B.M., Borucki, W. & Dąbrowski, P. (2025). Silicon mitigates the adverse effects of drought on *Lolium perenne* physiological, morphometric and anatomical characters. *PeerJ*, 13, 18944, <https://doi.org/10.7717/peerj.18944>
- McLeod, A., Vining, K., Hoskins, T. & Contreras. R. (2022). Impact of indole-3-butyric acid concentration and formulation and propagation environment on rooting success of ‘I3’ hemp by stem cuttings. *HortTechnology*, 32(3), 321-324, <https://doi.org/10.21273/HORTTECH05016-21>
- Mert, M. (2009). *Lif Bitkileri*. Nobel Yayinevi, Ankara.
- Mišúthová, A., Slováková, L., Kollárová, K. & Vaculík, M. (2021). Effect of silicon on root growth, ionomics and antioxidant performance of maize roots exposed to As toxicity. *Plant Physiology and Biochemistry*. 168, 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.10.012>
- Ohkawa, H., Ohishi, N. & Yagi, Y. (1979). Assay of lipid peroxides in animal tissue by thiobarbituric acid reaction. *Analytical Biochemistry*, 95, 351-358.
- Olesen, P.O. & Plackett, D.V. (1999). *Perspectives on the performrance of natural plant fibres*. In Proceedings of the Natural Fibres Performance Forum, Copenhagen, Denmark.
- Paez, J.A. & Campillo, N.E. (2019). Innovative therapeutic potential of cannabinoid receptors as targets in Alzheimer’s Disease and Less Well-Known Diseases.

- Papastylianou, P., Kakabouki, I. & Travlos, I. (2018). Effect of nitrogen fertilization on growth and yield of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(1), 197–201, <https://doi.org/10.15835/nbha46110862>
- Papastylianou, P., Kousta, A., Kakabouki, I., Travlos, I. & Iliadi, D. (2021). Nitrogen utilization efficiency and yield traits of dual-purpose industrial hemp cultivars in a Mediterranean environment. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 69(1), 104-118. <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1959551>
- Pejic, B. M., Kostic, M., Skundric, P. & Praskalo, J. (2008). The effects of hemicelluloses and lignin removal on water uptake behavior of hemp fibers. *Bioresource Technology*, 99(15), 7152-7159, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.073>
- Perçin O., Ertekin M. ve Muslu M. S. (2018). İç mimari mobilya üretimi için sürdürülebilir ve ekolojik malzemeler”. *Türk İslam Dünyası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(18).
- Pertwee, R.G. (2010). Receptors and channels targeted by synthetic cannabinoid Receptor agonists and antagonists. *Current Medicinal Chemistry*, 17(14), 1360-1381, <https://doi.org/10.2174/092986710790980050>
- Phantong, P., Machikowa, T., Saensouk, P. & Muangsang, N. (2018). Comparing growth and physiological responses of *Globba schomburgkii* Hook. f. and *Globba marantina* L. under hydroponic and soil conditions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 30:2, 157-164. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i2.1616>
- Punja, Z.K. & Rodriguez, G. (2018). Fusarium and pythium species infecting roots of hydroponically grown marijuana (*Cannabis sativa* L.) plants. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 40(4), 498-513, <https://doi.org/10.1080/07060661.2018.1535466>
- Raja, A., Ahmadi, S., de Costa, F., Li, N. & Kerman, K. (2020). Attenuation of oxidative stress by cannabinoids and cannabis extracts in differentiated neuronal cells. *Pharmaceuticals*, 13, 328, <https://doi.org/10.3390/ph13110328>
- Raman, V., Lata, H., Chandra, S., Khan, I.A. & ElSohly, M.A. (2017). *Morpho-anatomy of marijuana (Cannabis sativa L.)*. Cannabis sativa L. - Botany and Biotechnology, Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-319-54564-6_5
- Ranalli, P. & Venturi, G. (2004). Hemp as a raw material for industrial applications. *Euphytica*, 140, 1-6, <https://doi.org/10.1007/s10681-004-4749-8>
- Rezghiyan, A., Esmaeili, H. & Farzaneh, M. (2025). Nanosilicon application changes the morphological attributes and essential oil compositions of hemp (*Cannabis sativa* L.) under water deficit stress. *Scientific reports*, 15, 3400, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87611-6>

- Roman, M., Li, M., Yuan, J., Rehman, M. & Liu, L. (2024). Dynamics of industrial hemp vegetative growth and metabolite accumulation in response to light intensity. *South African Journal of Botany*. 169, 82-94, <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.002>
- Salas, M.C., Urrestarazu, M. & López, J. (2003). Effect of iba application by fertigation on melon in soilless culture. *Acta Hortic.* 609, 225-228, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.609.32>
- Saloner, A. & Bernstein, N. (2020). Response of medical cannabis (*Cannabis sativa* L.) to nitrogen supply under long photoperiod. *Front. Plant Sci.* 11:572293, <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.572293>
- Saloner, A. & Bernstein, N. (2022). Effect of potassium (K) supply on cannabinoids, terpenoids and plant function in medical cannabis. *Agronomy*, 12(5), 1242. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051242>
- Samanta, K.K., Basak, S. & Chattopadhyay, S.K. (2015). *Specialty Chemical Finishes for Sustainable Luxurious Textiles*. Handbook of Sustainable Luxury Textiles and Fashion. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-287-633-1_7
- Shedeed, S.I., Bakry, B.A. & Nofal, O.A. (2016). Response of flax (*Linum usitatissimum* L.) nutrients content to foliar application by two different sources of silicon fertilizers. *Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci.* 7(6), 393–398.
- Sheller, H.V. & Ulvskov, P. (2010). Hemicelluloses. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61, 263-289. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112315>
- Sirisuntornlak, N., Ullah, H., Sonjaroon, W., Anusontpornperm, S., Arirob, W. & Datta, A. (2021). Interactive effects of silicon and soil pH on growth, yield and nutrient uptake of maize. *Silicon*, 13(2), 289–99. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00427-z>
- Smole, M.S., Hribernik, S., Kleinschek, K.S. & Kreže, T. (2013). *Plant fibres for textile and technical applications*. Advances in Agrophysical Research. <https://doi.org/10.5772/52372>
- Small, E. (2016). *Cannabis a complete guide*. Taylor & Francis Group, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9781315367583>
- Şahin, M. (2023). Yerli kenevir çeşitlerinde azot dozu uygulamalarının lif verimi ile bazı kalite özellikleri üzerine etkisi. [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- Tang K., Struika, P.C., Yina, X., Thouminotc, C., Bjelková, M., Stramkalee, V. & Amaducci, S. (2016). Comparing hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars for dual-purpose production under contrasting environments. *Industrial Crops and Products*. 87, 33-44. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.026>
- Tang, K., Wang, J., Yang, Y., Deng, G., Yu, J., Hu, W., Guo, L., Du, G. & Liu, F. (2022). Fiber hemp (*Cannabis sativa* L.) yield and its response to fertilization and planting

- density in China. *Industrial Crops and Products*. 177, 114542. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114542>
- Tayade, R., Ghimire, A., Khan, W., Lay, L., Attipoe, J.Q. & Kim, Y. (2022). Silicon as a smart fertilizer for sustainability and crop improvement”. *Biomolecules*. 12(8), 1027. <https://doi.org/10.3390/biom12081027>
- Tezara, C., Siregar, J.P., Lim, H.Y., Fauzi, F.A., Yazdi, M.H., Moey, L.K. & Lim, J.W. (2016). Factors that affect the mechanical properties of kenaf fiber reinforced polymer: A review. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 10(2), 2159-2175, <https://doi.org/10.15282/jmes.10.2.2016.19.0203>
- Thangavelu, K., Subramani, K.B. (2016). *Sustainable biopolymer fibers—production, properties and applications*. Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0522-0_5
- Thomsen, A.M., Rasmussen, S., Bohn, V., Nielsen, K.V. & Thygesen, A. (2005). Hemp raw materials: The effect of cultivar, growth conditions and pretreatment on the chemical composition of the fibres. *Risø National Laboratory*.
- Trajkovska, A., Tusevski, O., Gjorgievska, V.S. Karanfilova, I.C., Davkova, I., Karapandzova, M., Stefkov, G., Kulevanova, S. & Simic, S.G. (2015). Cannabinoid production in various *Cannabis sativa* L. in vitro cultures. *Plant Cell Tiss Organ Cult*, 160, 10, <https://doi.org/10.1007/s11240-024-02940-0>
- Treftz, C. & Omaye, S.T. (2015). Comparision between hydroponic and soil systems for growing strawberries in a greenhouse. *Int. J. Agr. Ext.* 3(3), 195-200, <https://journals.esciencepress.net/index.php/IJAE/article/view/1236/676>
- Tripathi, D.K., Vishwakarma, K., Singh, V. P., Prakash, V., Sharma, S., Muneer, S., Nikolic, M., Deshmukh, R., Vaculík, M. & Corpas, F.J. (2021). Silicon crosstalk with reactive oxygen species, phytohormones and other signaling molecules. *Journal of Hazardous Materials*, 408, 124820, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124820>
- Tsaliki, E., Kalivas, A., Jankauskiene, Z., Irakli, M., Cook, C., Grigoriadis, I., Panoras, I., Vasilakoglou, I. & Dhima, K. (2021). Fibre and seed productivity of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties under Mediterranean conditions. *Agronomy*, 11(1), 171 <https://doi.org/10.3390/agronomy11010171>
- Ulaş, E. (2018). *Gerçek Köye Dönüş Projesi: Kenevir*. Hiperlink Yayınları.
- Udpuay, S., Ullah, H., Himanshu, S.K., Caparrós, P.G., Praseartkul, P., Tisarum, R., Cha-um, S. & Datta, A. (2025). Morpho-physiological and yield responses of okra to exogenous application of silicon and plant growth regulators under drought stress. *J Soil Sci Plant Nutr*, <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02274-6>
- Vaculíková, M., Vaculík, M., Šimková, L., Fialová, I., Kochanová, Z., Sedláková, B. & Luxová, M. (2014). Influence of silicon on maize roots exposed to antimony—growth and antioxidative response. *Plant Physiology and Biochemistry*, 83, 279–84. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.08.014>

- Veazie, P., Jeong, K.Y., Ballance, M.S. & Whipker, B.E. (2023). The Use of silicon substrate amendments to decrease micronutrient concentrations at varying micronutrient fertility rates with *Cannabis sativa* 'Auto CBG'. *HortScience*, 58(7), 797–803, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI117162-23>
- Wadas, W. & Kondraciuk, T. (2025). The role of foliar-applied silicon in improving the growth and productivity of early potatoes. *Agriculture*, 15, 556, <https://doi.org/10.3390/agriculture15050556>
- Wang, L., Pan, T., Li, S., Wang, Yi., White, J.C., Xing, B. & Cai, K. (2025). *Environmental Science: Nano*, 12(2), 1401-1413, <https://doi.org/10.1039/D4EN00511B>
- Wei, X., Zhou, W., Long, S., Guo, Y., Qiu, C., Zhao, X. & Wang, Y. (2023). Effects of different N, P, and K rates on the growth and cannabinoid content of industrial hemp. *Journal of Natural Fibers*, 20(1), 2159605, <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2159605>
- Westerhuis, W., van Delden, S.H., van Dam, J.E.G., Marinho, J.P.P., Struik, P.C. & Stomph, T.J. (2019). Plant weight determines secondary fibre development in fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *Ind Crop Product*, 139, 1-8, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111493>
- Wirtshafter, D. E. (2004). Ten years of a modern hemp industry. *Journal of Industrial Hemp*, 9(1), 9-14, https://doi.org/10.1300/J237v09n01_03
- Xavier, M.F.N., Flores, R.A., Cruz, D.R.C., Ferreira, I.V.L., de Castro, J.P.V., da Silva, M.L., Muniz, M.P., da Silva, V.B., Milagres, V.A.C., Abdala, K.O., do Carmo, R.T. & Momesso, L. (2025). Foliar fertilization with a soluble silicon source can alter pigment production in leaves and increase fruit production in cucumbers (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 1-18, <https://doi.org/10.1080/01904167.2025.2477268>
- Yafuso E.J. & Boldt, J.K. (2024). Development of a hydroponic growing protocol for vegetative strawberry production. *Hort.Science*, 59(3), 384–393, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI117523-23>
- Yang, M-Q., Velzen, R. V., Bakker, F.T., Sattarian, A., Li, D.Z. & Yi, T-S. (2013). Molecular phylogenetics and character evolution of Cannabaceae. *Taxon*, 62(3), 473-485, <https://doi.org/10.12705/623.9>
- Yang, Y., Zha, W., Tang, K., Deng, G., Du, G. & Liu, F. (2021). Effect of nitrogen supply on growth and nitrogen utilization in hemp (*Cannabis sativa* L.). *Agronomy*. 11(11), 2310, <https://doi.org/10.3390/agronomy11112310>
- Yep, B. And Zheng, Y. (2020). Potassium and micronutrient fertilizer addition in a mock aquaponic system for drug-type *Cannabis sativa* L. cultivation. *Canadian Journal of Plant Science*. 101(3), <https://doi.org/10.1139/cjps-2020-0107>

Yıldırım, S. ve Çalışkan, U.K. (2020). Kenevir ve sağlık alanında kullanımı. *Ankara Ecz. Fak. Derg.*, 44(1), 112-136, <https://doi.org/10.33483/jfpau.559665>

Zimniewska, M. (2022). Hemp fibre properties and processing target textile: A Review. *Materials*. 15, 1901. <https://doi.org/10.3390/ma15051901>



EKLER

EK-1 Kenevir yetiştiriciliği izin belgesi

T.C. Batman Valiliği İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Bilimsel Araştırma Amacıyla Kenevir Yetiştiriciliği İzin Belgesi	
Araştırma Projesinin Yürütüldüğü Kurum	
Araştırma Kurumunun Adı	Batman Üniversitesi Rektörlüğü
Adresi	Batman Üniversitesi Gıda Analizleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (Gıda Analiz Laboratuvarı)
Araştırma Projesinin Adı	Endüstriyel Kenevir (Cannabis sativa L.) Bitkisinde Bitki Gelişiminin ve Lif Veriminin Hidroponik Yöntemle Teşvik Edilmesi
Araştırma Projesinin Yürütüleceği Yer	
İli	Batman
İlçesi	Merkez
Köyü	Cigerlo
Mevkii	Hydroponik Serası
Ada/Parsel No	2058/1
Yetiştirilecek Alanın Yüzölçümü (da.)	1
Yukarıda belirtilen kurumun "Endüstriyel Kenevir (Cannabis sativa L.) Bitkisinde Bitki Gelişiminin ve Lif Veriminin Hidroponik Yöntemle Teşvik Edilmesi" adlı projesi kapsamında, bilimsel araştırma amacıyla yukarıda belirtilen yerde kenevir yetiştirilmesine izin verilmesi hususunu olurlarınıza arz ederim.	

EK-2 Etik kurul kararı

1

T.C. BATMAN ÜNİVERSİTESİ ETİK KURUL KARARI	
Toplantı Tarihi	: 10.11.2021
Toplantı Sayısı	: 2021/03
Toplantıda Alınan Karar Sayısı	: 30
Üniversitemizin Etik Kurulu, Rektör Yardımcısı Prof. Dr. Rohat CEBE Başkanlığında toplanarak aşağıdaki kararlar alınmıştır.	

Karar 2021/03-15

Üniversitemiz Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı 1960341003 nolu Mehmet Yusuf ORCAN'ın"Endüstriyel Kenevir (Cannabis sativa L.) Bitkisinde Bitki Gelişimi ve Lif Veriminin Hidroponik Yöntemle Teşvik Edilmesi" konulu çalışma yapma talebine ilişkin 10.11.2021 tarihli ve 36376 sayılı yazı görüşüldü;

Yapılan görüşmeler sonucunda; Üniversitemiz Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı 1960341003 nolu Mehmet Yusuf ORCAN'ın"Endüstriyel Kenevir (Cannabis sativa L.) Bitkisinde Bitki Gelişimi ve Lif Veriminin Hidroponik Yöntemle Teşvik Edilmesi" konulu çalışma yapma talebinin uygun görüldüğüne oy birliği ile karar verilmiştir.

EK-3 Kenevir yetiştiriciliği başvuru formu

T.C. Batman Valiliğine Kenevir Yetiştiriciliği Başvuru Formu	
Başvuru Sahibi Bilgileri	
Adı	Mehmet Yusuf
Soyadı	ORCAN
T.C Kimlik Numarası/Vergi Numarası	
Baba Adı	
Doğum Yeri/ Yılı	
Adresi Tel. No	Batman Üniversitesi Gıda Analizleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (Gıda Analiz Laboratuvarı)
Arazi Bilgileri	
İli	Batman
İlçesi	Merkez
Köyü/Beldesi	Kuyubaşı Köyü
Mevkii	Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü Hidroponik Serası
Ada/ Parsel No	2058/1
Yüzölçümü (da)	1
Yukarıda mahallini belirttiğim arazinin 1 (bir) dekarında Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi hidroponik serasında "Endüstriyel Kenevir (<i>Cannabis sativa</i> L.) Bitkisinde Bitki Gelişiminin ve Lif Veriminin Hidroponik Yöntemle Teşvik Edilmesi" isimli doktora tezi için bilimsel araştırma amacıyla kenevir yetiştirmek istiyorum. Tetkiki ile gerekli yetiştiricilik izninin verilmesini arz ederim./...../20.... İmza Adı ve Soyadı Öğr. Gör. MEHMET YUSUF ORCAN	