



**BAĞ BUDAMA ATIKLARINDAN ELDE EDİLEN
BİYOKÖMÜR KATKILI HİDROJELLERİN
FİTOTOKSİKOLOJİK ETKİSİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZEHRANUR ÇAYLALI

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
AĞUSTOS - 2024**

**BAĞ BUDAMA ATIKLARINDAN ELDE EDİLEN
BİYOKÖMÜR KATKILI HİDROJELLERİN
FİTOTOKSİKOLOJİK ETKİSİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZEHRANUR ÇAYLALI
ORCID ID: 0009-0000-5563-4607

MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. AYDENİZ DEMİR
ORCID ID: 0000-0002-3803-3647

MERSİN
AĞUSTOS – 2024

ÖZET

BAĞ BUDAMA ATIKLARINDAN ELDE EDİLEN BİYOKÖMÜR KATKILI HİDROJELLERİN FİTOTOKSİKOLOJİK ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Günümüzde tüm dünyada etkisini hissettiren küresel iklim değişikliği ve kuraklık su kıtlığını da beraberinde getirmektedir. Su kıtlığının tarımsal ürünlerin verimi ve dağılımında olumsuz etkiler oluşturması kaçınılmazdır ve bu sorunun çözümü için araştırmalar devam etmektedir. Son yıllarda toprağın su tutma kapasitesini ve topraktan besin alımını arttırması nedeniyle biyobozunur polimerik hidrojellerin tarımsal uygulamalarda kullanımına olan ilgi artmaktadır. Bu çalışmada, bağ budama atıklarından üretilen biyokömür ve biyokömür katkılı hidrojellerin üzüm bağlarının kuraklık stresine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, çalışmanın ilk aşamasında bağ budama atıklarından yavaş piroliz yöntemiyle farklı koşullarda biyokömür elde edilesi gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise PVA ve SA polimerleri kullanılarak hidrojel sentezlenmiş ve son olarak da %0,1- %0,2, %0,3, %0,4 ve %0,5 oranında biyokömür içeren hidrojel üretilmiştir. Sentezlenen biyokömürün ve ham hidrojellerin elementel içeriği, karakterizasyonu ve bazı fizikokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Saksı denemeleri aşamasında ise farklı oranlarda biyokömür içeren hidrojellerin çelikleme ile üretilen Sultan 7 cinsi üzüm asmasının büyümesi üzerinde etkileri gözlemlenmiştir. Farklı ortamlarda yetiştirilen asma bitkilerindeki klorofil içeriği, bitki boyu izlenmiş olup ayrıca bitkilerde antioksidatif strese bağlı enzimler (SOD, MDA) araştırılmıştır. Biyokömür içeren hidrojellerin şişme kapasiteleri, biyokömür içeriği ile belirli bir noktaya kadar artmış, sonrasında azalmıştır. Hidrojellerin tohum çimlenmesi üzerindeki etkileri incelendiğinde, biyokömür katkılı hidrojellerin, saf hidrojellere ve kontrol örneklerine kıyasla tohum çimlenmesini olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Biyokömür içeriğinin artması, çimlenme oranlarını ve fidelerin kök-sürgün uzamasını artırmıştır. Normal sulama koşullarında, biyokömür katkılı hidrojellerin kullanımı, asma bitkilerinin klorofil içeriğinde ve boylarındaki artışlarda belirgin bir iyileşme sağlamıştır. Özellikle %0,5 biyokömür içeren hidrojellerle yapılan uygulamalarda bitki boyunda ve klorofil içeriğinde önemli artışlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asma, Bağ Budama Atıkları, Biyokömür, Hidrojel, Piroliz.

Danışman: Doç. Dr. Aydeniz Demir, Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE PHYTOTOXICOLOGICAL EFFECT OF BIOACCUMULATION DOPED HYDROGELS OBTAINED FROM VINEYARD PRUNING WASTES

Global climate change and drought, which are making their impact felt worldwide today, also bring about water scarcity. It is inevitable that water scarcity will have negative effects on the yield and distribution of agricultural products, and research is ongoing to solve this problem. In recent years, biodegradable polymeric hydrogels have gained popularity in agricultural applications due to their potential to improve soil nutrient uptake and water retention. This study looked into the impact of biochar and biochar-added hydrogels produced from vineyard trimming waste on drought stress. For this purpose, in the first step of the study, biochar was obtained from vineyard trimming wastes by the slow pyrolysis processes under varying conditions. In the second step, the hydrogel was synthesized using PVA and SA polymers, and finally, hydrogels containing 0.1%–0.2%, 0.3%, 0.4%, and 0.5% biochar were produced. The elemental content, characterization, and physicochemical properties of the synthesized biochar and hydrogels have been investigated. During the pot experiments, the effects of hydrogels containing different rates of biochar on the growth of Sultan 7 grapevines produced by cuttings were observed. Chlorophyll content and plant height in grapevine plants cultivated in different environments were monitored, and antioxidative stress-related enzymes (SOD, MDA) in plants were determined as well. The swelling capacity of biochar-containing hydrogels increased with biochar content up to a certain point and then decreased. When the effects of hydrogels on seed germination were examined, it was observed that biochar-added hydrogels positively affected seed germination compared to pure hydrogels and control samples. The increase in biochar content improved seedling germination and root shoot elongation. Under normal irrigation conditions, using biochar-added hydrogels significantly improved the chlorophyll content and height increases of grapevine plants. Significant plant height and chlorophyll content increases were obtained, especially in applications with hydrogels containing 0.5% biochar.

Keywords: Vine, Vineyard pruning waste, Biochar, Hydrogel, Pyrolysis.

Advisor: Doç. Dr. Aydeniz Demir, Department of Environmental Engineering, Mersin University, Mersin.

TEŞEKKÜR

Akademik hayatımın bir üst noktası olan yüksek lisans bitirme tezi çalışmasının belki de en heyecan verici yanı teşekkür bölümüne ulaşmaktı. Uzun ve zahmetli tez çalışmamın sonunda her türlü desteğiyle yanımda olan ve beni hiç yalnız bırakmayan tez danışman hocam Doç. Dr. Aydeniz DEMİR'e, yüksek lisans tez çalışmam boyunca desteklerini benden esirgemeyen hocalarım Prof. Dr. Yağmur UYSAL ve Doç. Dr. Zeynep Görkem DOĞAROĞLU'na ve bölüm başkanı Prof. Dr. Mehmet Ali Mazmancı hocama, lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca desteklerini esirgemeyendeğerli hocalarıma ve katkılarından ötürü teşekkürlerimi borç bilirim.

Her daim beni destekleyen en büyük destekçim annem Feriha ÇAYLALI'ya, yaşasaydı çok mutlu olacağına ve her daim arkamda olacağını bildiğim babam Sadık ÇAYLALI'ya, bundan sonra hep yanımda olacağına inandığım Mehmetcan YÜCEL'e, ablama, kardeşime, arkadaşlarıma ve tüm aileme çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, TÜBİTAK tarafından “İklim Değişikliğiyle Karşı Karşıya Olan Akdeniz Üzüm Bağlarının Biyolojik Yönetimi ve Korunması İçin Ekolojik Araştırma” isimli ve 122N055 numaralı proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	5
2.1. Asma Bitkisi ve Özellikleri	5
2.2. Hidrojeller	7
2.2.1. Hidrojellerin Sınıflandırılması	10
2.2.2. Sentez	10
3. MATERYAL ve YÖNTEM	13
3.1. Asma Bitkisi	13
3.2. Yöntem	14
3.2.1. Budama Atıklarından Biyokömür Elde Edilmesi	14
3.2.2. Biyokömür Katkılı Hidrojellerin Sentezi (BKH/SA/PVA)	14
3.2.3. Sentezlenen Hidrojellerin Karakterizasyonu	15
3.2.4. Denge şişme kapasitesinin belirlenmesi	15
3.2.5. Şişme Kinetiğinin Belirlenmesi	15
3.2.6. Çimlenme / Fitotoksosite Testi	16
3.2.7. Saksı Denemeleri	16
3.2.8. Enzim Analizleri	17
3.2.9. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Analizi	17
3.2.10. Lipid Peroksidasyonu (MDA)	18
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	21
4.1. Asma Fidanlarının Ekimi	21
4.2. Asma Fidanlarında Saksı Değişimi, Budama ve Hidrojel Ekleme İşlemleri	22
4.3. Biyokömür Üretimi ve Karakterizasyonu	23
4.4. Saf (PVA/SA) ve Biyokömür Katkılı (PVA/SA/BK) Hidrojellerin Sentezi	25
4.5. Üretilen Saf ve Biyokömür Katkılı Hidrojellerin Karakterizasyonu	25
4.6. Hidrojellerin Şişme Kapasitelerinin Belirlenmesi	26
4.7. Hidrojellerin Şişme Kinetiğinin Belirlenmesi	27
4.8. Tohum Çimlenme Testleri	28
4.9. Saksı Deneylerinin Sonuçları	29
4.9.1. Normal Sulama Koşullarında Asma Bitkilerinin Klorofil İçeriğindeki Değişiklikler	29
4.9.2. Normal Sulama Koşullarında Asma Bitkilerinin Boylarındaki Değişimler	30
4.10. Enzim Derişimleri	31
4.10.1. Süperoksit Dismütaz (SOD) Aktivitesi	31
4.10.2. Malondialdehit (MDA) aktivitesi	32
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	47

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Deneme planı (saksılardaki torf/HG oranları ve kuraklık setleri)	23



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan asma bitkisi	13
Şekil 3.2. Saksı denemeleri	17
Şekil 4.1. Manisa Bağcılık Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen asma fidanları	21
Şekil 4.2. 1:1 oranında torf:perlit karışımı içeren saksılara asma fidanlarının ekimi	22
Şekil 4.3. Asmaların budanması ve budanan asmaların ilk sürgünleri	22
Şekil 4.4. Saksı büyütme, budama ve hidrojel ekleme işlemleri	23
Şekil 4.5. Asma budama atıklarından üretilen üretilen biyokömürün SEM görüntüsü	24
Şekil 4.6. Asma budama atıklarından üretilen biyokömürün FTIR spektrumu	24
Şekil 4.7. Hidrojel sentezinin aşamaları	25
Şekil 4.8. Saf (a) ve biyokömür katkılı (b) hidrojellerin SEM görüntüleri	26
Şekil 4.9. Asma biyokömürü katkılı hidrojel kompozitlerin saf sudaki şişme kapasiteleri	27
Şekil 4.10. Saf ve biyokömür içerikli hidrojellerin şişme kapasitelerinin zamana bağlı değişimi	28
Şekil 4.11. a) ABHG ve saf HG uygulaması altındaki buğday tohumlarının çimlenme yüzdesi, b) çimlenme sonrası fidelerin görüntüsü, c) buğday fidelerinin kök ve sürgün uzaması ve d) buğdayın fide canlılık indeksi	29
Şekil 4.12. Normal sulama koşullarında asma bitkilerinin klorofil içeriğinin zamanla (2-15. haftalar) değişimi	30
Şekil 4.13. Normal sulama koşullarında bitki boyunun zamanla (2-15. haftalar) değişimi	31
Şekil 4.14. Normal sulama koşullarında farklı derişimlerde biyokömür katkılı hidrojel uygulamalarına maruz bırakılan asma bitkilerindeki SOD aktivitesi değişimi	32
Şekil 4.15. Normal sulama koşullarında farklı derişimlerde biyokömür katkılı hidrojel uygulamalarına maruz bırakılan asma bitkilerindeki MDA aktivitesi değişimi	33

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltma/Simgesi	Tanım
ABHG	Asma Biyokömürlü Hidrojel
BK	Biyokömür
BKH	Biyokömürlü Hidrojel
USS	Ultra Saf Su
HG	Hidrojel
SEP	Süper Emici Polimer
SA	T Zamanındaki Su Alımı
MDA	Lipid Peroksidasyonu
SOD	Süperoksit Dismutaz
CaCl ₂	Kalsiyum Klorür
NBT	Nitro blue tetrazolyum klorid
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi
KH ₂ PO ₄	Potasyum Dihidrojen Fosfat
K ₂ HPO ₄	Dipotasyum Fosfat
TCA	Trikloroasetik Asit
TBA	Tiyobarbitirik Asit
SA	Sodyum Aljinat
PVA	Polivinil Alkol
HCl	Hidroklorik Asit
SVI	Fide Canlılık İndeksi
Na ₂ CO ₃	Sodyum Karbonat

1. GİRİŞ

İklim değişikliğinin su kıtlığı nedeniyle tarım üzerindeki olumsuz etkileri küresel anlamda ciddi bir endişe konusu haline gelmiştir (Kang vd., 2014; O'Neill vd., 2020; Právělie vd., 2020; X. Wang vd., 2023). Global ölçekteki bu değişimler tarımsal üretimi ve insanların gıdaya ulaşımını giderek daha fazla etkilemektedir (Fróna vd., 2021; Lamboll vd., 2011). Bu durum, birçok bölgede gıda güvenliğini tehdit etmektedir (Meyfroidt, 2018; The World Bank Annual Report 2013, 2013; Thornton vd., 2018). Tarım, ilk çağlardan itibaren insanlığın gıda ürünlerine ulaşması için önemli olmuştur ve medeniyetimizin temel direği olmaya devam etmektedir. Ürün çeşitliliği ve verimi; genişleyen küresel nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak, değişen iklim koşullarına uyum sağlamak ve sürdürülebilirlikle ilgili sorunları çözmek için zaman içinde büyük ölçüde değişmiştir. Tarım ile nüfus dinamikleri, iklim değişikliği, sürdürülebilirlik ve küresel pazarın büyüklüğü gibi önemli değişkenler arasındaki ilişki, tarımsal bakış açısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmuştur (Morchid vd., 2024). Büyük miktarlarda tarımsal atıkların değerli ürünlere dönüştürülmesinin değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve biyoekonominin ilerlemesi için acil bir endişe kaynağıdır. Tarımsal atıklar, mahsuller hasat edildikten sonra sebzeler, meyveler, kümes hayvanları, süt ürünleri ve mahsul atıkları dahil olmak üzere ham tarımsal kaynakların işlenmesinin yan ürünleridir (Periyasamy vd., 2023). Şu anda, tarım uygulamaları tüm dünyada önemli ölçüde artmaktadır. Bu tarımsal uygulama artışları nedeniyle tarımsal atık üretimi de artmıştır.

İklim değişikliği ve vahşi tarımsal sulamanın neden olduğu küresel tatlı su kıtlığı, son zamanlarda tarımsal üretim başta olmak üzere tüm ekosistemler için bir kriz haline gelmiştir. Yeterli ve temiz gıdaya erişim, dünyadaki en önemli endişelerden biridir. Küresel nüfusun artmasıyla birlikte gıda ve tarımsal üretime olan talep önemli ölçüde artmıştır. Bu nedenle, dünyadaki gıda ve tarımsal üretim talebini karşılamak için su ve toprak yönetimi hayati öneme sahiptir (Doğaroğlu vd., 2022). Ülkemiz özellikle de Akdeniz havzası küresel ölçüde değişen bu ekolojik süreçlerden etkilenen bölgeler arasında başta yer almaktadır (Hekimoğlu vd., 2008). İklim değişikliğinin su kıtlığını ve bitkilerdeki su stresini artıracakları öngörülmektedir (IPCC, 2023). Su kıtlığı, genellikle yetersiz yağış veya kuraklık gibi faktörlerin neden olduğu, su bulunabilirliğinin azalan dönemlerini ifade eder. Öte yandan, su stres, bulunabilirliğe kıyasla yüksek su tüketimi olduğunda ortaya çıkar (Guillaume vd., 2016). Su kıtlığı, suya büyük ölçüde bağımlı olan tarımsal faaliyetler için oldukça tehdit edici bir unsur olup yetersiz toprak neminin tarımsal üretimin verimini azaltması da kaçınılmazdır.

Kısıtlı su teminini yönetmek, kök bölgeleri için uygun toprak nemini korumak, ürün verimini ve kalitesini tehlikeye atmadan su kullanım verimliliğini artırmak için modern sulama teknolojilerine yönelmek zorunluluk haline gelmiştir.

Hidrojel polimer teknolojisinin kullanımı, kurak iklimlerde su emilimini ve tutulmasını ele alan çok işlevli bir toprak düzenleyici olarak son yıllarda dikkat çekmektedir (Uysal vd., 2024). Hidrojellerin kullanımı, kurak ve yarı kurak bölgelerde yaygın olarak kullanılan su tasarrufu sağlayan bir sulama stratejisi olarak bilinir (Rafieian vd., 2019). Büyük su içeriği nedeniyle yüksek derecede esnekliğe sahip doğal veya sentetik malzemelerden yapılmış üç boyutlu polimer ağına hidrojel adı verilmektedir. Fizyolojik koşullar altında, çok miktarda su veya biyolojik sıvı tutabilirler ve canlı dokulara benzer yumuşak bir lastik kıvamı ile karakterize edilirler, bu da onları çeşitli uygulamalar için ideal bir madde haline getirir (Ullah vd., 2015). Hidrojeller, su moleküllerini hapseden, depolayan ve serbest bırakılmasını sağlayan üç boyutlu çapraz bağlı bir yapıya sahip polimerlerdir (Mondal, 2019).

Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinde temel ilke toprak verimliliğini korumaktır. Toprak verimliliği, toprağın bitki büyümesini destekleme şeklini ifade eder. Düşük toprak verimliliği, dünyanın birçok yerinde büyük endişe yaratmaktadır. Kurak ve yarı kurak bölgelere ait toprak, genellikle tarımsal faaliyetler için uygun değildir ve su tutma kapasitesi ve besin içeriği düşüktür (Sim vd., 2021). Son yıllarda, geniş tarım alanlarında hidrojel uygulamasının teşvik edilmesi ile su kıtlığının ve sulama sıklığının düşürüldüğü, toprakta gübre salınımının iyi yönetildiği ve bitki gelişiminin arttığı belirlenmiştir (Li ve Chen, 2020; Liu ve Huang, 2016).

Tarımsal faaliyetler sonucu ortaya çıkan tarımsal atıklar da çevresel açıdan çözüm bulunması gereken bir sorundur. Çevreye artan ilgi ve döngüsel ekonomilerin gelişmesiyle birlikte artan sayıda çalışma tarımsal atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesine ve yeniden kullanılmasına odaklanmaktadır. Geri dönüşüm yöntemleri daha çok tarımsal atıkların enerji kaynağı, kompost veya solucan gübresi olarak kullanılmasına odaklanmıştır. Son birkaç yılda, sürdürülebilir tarıma entegre edilecek organik materyallerin kullanımına ilişkin araştırmalarda dikkate değer bir artış olmuştur.

Bu çevre dostu biyo-uyarıcılarının en umut verici seçenekleri arasında, tarımsal atıklardan elde edilen biyokömür uygulamaları, tarımda toprak verimliliğini artırmak, sürdürülebilir tarımsal üretime yardımcı olmak ve farklı biyotik/abiyotik streslerin bitki üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için potansiyel olarak değerli uygulamalardır (Semida vd., 2019). Biyokömür çeşitli biyokütleden yapılan gözenekli kömürü (ince toz haline getirilmiş odun kömürü) tanımlamak için kullanılan yeni bir terimdir. Biyokömür, sınırlı veya oksijensiz bir ortamda odun, budama atıkları, yapraklar, çimenler veya tarımsal biyokütlenin eksik yanması sonucu elde edilir. Biyokömürün toprağa uygulanmasının birçok faydası vardır. Bunlar; toprağın verimliliğini artırmak, tohum çimlenmesini teşvik etmek, bitkilerin vejetatif büyümesini arttırmak, toprağın hastalıklara karşı direncini arttırmak, toksik kirleticilerin adsorbe edilmesi ve toprağın su tutma kapasitesinin artırılması şeklinde sıralanabilir. Aynı zamanda biyokömür üretimi, işleminden elde edilen nihai ürünün değeri nedeniyle ekonomik olarak karlı olan hızlı bir süreçtir, ancak aynı zamanda bir enerji kaynağı ve karbon depolaması olarak da kullanılabilir.

Bağcılık, dünya çapında ekilen ve %50' si Avrupa'da bulunan yaklaşık yedi milyon hektar asma ile yüksek ekonomik değere sahiptir (OIV, 2020). Üzüm bağları büyük bir biyolojik çeşitliliğe ev sahipliği yapabilirler (Bruggisser vd., 2010; Fernandez-Mena vd., 2021; Geldenhuys vd., 2021), çok yıllık yapıları nedeniyle bir dizi ekosistem hizmeti sağlayabilir, yüksek kaliteli doğal ve yarı doğal alanlar ve özel habitat yapıları bakımından zengin manzaralar oluşturabilir (Winkler vd., 2017; Garcia vd., 2018). Örtü bitkilerinin farklı biyolojik çeşitlilik seviyeleri ve ilgili ekosistem hizmetleri üzerindeki olumlu etkisi birçok çalışma ile gösterilmiştir. (Burns vd., 2016; Guzman vd., 2019; Saenz-Romo vd., 2019; Hall vd., 2020; Paiola vd., 2020; Geldenhuys vd., 2021; Zanettin vd., 2021).

Bağlar arası bitki örtüsünün yönetimi ve bunun topraklar, asmalar ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki sonuçları hakkındaki mevcut bilgiler, tarımsal ekosistemlerdeki karmaşık etkileşimlerin altını çizmektedir. Tüm bu çevresel ve tarımsal faktörlerdeki farklılıklar göz önüne alındığında, bitki örtüsü yönetiminin pedo-iklim koşullarının ve üzüm çeşitlerinin ötesinde asma büyümesi ve üzüm kalitesi üzerinde genel etkilerinin olup olmadığını bilmeye ihtiyaç vardır. Mevcut bilgilere dayanarak, kalıcı bir bitki örtüsünün su ve besinlerle rekabet nedeniyle asma büyümesini, üzüm meyvesi olgunlaşmasını ve üzüm kalitesini olumsuz etkileyeceği tahmin edilmektedir.

Besin kullanımını en üst düzeye çıkarmak ve su kullanımını optimum düzeyde tutabilmek için, özellikle kurak veya yarı kurak bölgelerde toprak ve su yönetimini doğru idare etmek esastır. Su ve gübre, mahsul verimini kontrol eden en önemli iki ana faktördür. Günümüzde yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde mahsul üretim ve verimliliğini artırmak, fazla sulama suyunu ve bitki besinlerini tutmak, su ve besin kullanımında hidrojelleri kuru veya yarı kurak tarım alanlarında toprak katkı maddesi olarak kullanmak iyi bir yaklaşım olarak görülmektedir (Li ve Chen, 2020).

Dünyadaki küresel ısınmanın neden olduğu sıcaklık ve yağışlardaki anormal değişiklikler, tarımsal üretim ve su kaynakları güvenliği için büyük bir sorun teşkil etmektedir. İklim değişikliği, ciddi kuraklık ve su kıtlığı, mahsul verim kayıpları ve sosyo-ekonomik sonuçlar dahil olmak üzere bir dizi eko-çevre sorununa neden olabilir (Li vd., 2020). Bu nedenle tarımsal üretimi artırmak için su ve gübre kullanımının optimize edilmesi küresel bir zorunluluk haline gelmiştir. Son yıllarda kuraklıkla mücadelede toprakta su tutulmasında kullanılan yöntemlerden biri, ağırlığına göre büyük miktarlarda suyu emen suda çözünmeyen 3D ağ polimerleri olan hidrojellerin toprağa uygulanmasıdır (Nassaj-Bokharaei vd., 2021).

Bu çalışmada bağ budama atıklarından biyokömür elde edilmesi ve biyokömür katkılı hidrojellerin sentezlenmesi amaçlanmıştır. Biyokömür üretiminde kullanılan hammaddenin fizikokimyasal özellikleri, piroliz sonucu elde edilen ürünün kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada budama atıklarından elde edilecek olan biyokömürün öncelikle optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Biyokömür optimizasyonu yapıldıktan sonra, bitki büyüme ortamında farklı oranlarda biyokömür içeren hidrojeller sentezlenerek, karakterize edilmiş ve hem saf hidrojin hem de biyokömür katkılı hidrojellerin asma bitkisi büyümesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Bu araştırmanın tamamlanmasıyla;

1. Herhangi bir amaçla kullanılmayan budama atıkları biyokömüre dönüştürülerek ekonomiye katkı sağlanmıştır.
2. Çalışmada kullanılan budama atıklarından piroliz yöntemi sonucu elde edilen biyokömürlü hidrojellerin sentezlenmesi sonucunda yeşil mühendislik yaklaşımı uygulanmıştır.
3. Bu çalışmanın ileride yapılacak olan benzer çalışmalara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.
4. Çalışma bittikten sonra elde edilen sonuçlar, ulusal veya uluslararası literatürde paylaşılacaktır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. Asma Bitkisi Ve Özellikleri

Bitkiler doğanın çok büyük bir bölümünü kaplamakta ve insanoğlunun en önemli besin ihtiyacını karşılamaktadır. İlk çağlarda insanoğlu doğada kendiliğinden yetişen bitkileri toplayıp besin kaynağı olarak kullanmıştır. İlerleyen dönemlerde bitkileri kendileri yetiştirmiş ve kullanmaya başlamıştır. Bu keşifle insanlık yerleşik hayata geçmiştir. Tarım, günümüzde bile insanlık tarihinin en büyük keşiflerinden biridir (Altıntaş, 2019).

Üzüm yetiştirme; dünyada ekvatorun kuzeyinde 30-50°, güneyindeyse 30-40° enlem dereceleri arasında daha çok yapılmaktadır (Köse, 2014). Bu alanlarda asma, oldukça elverişli ekolojik şartlara sahip olduğu için büyük bir çeşitlilik göstermekte ve dünya üzerinde yoğun olarak yetiştirilmektedir. Ülkemizin kuzeydoğu bölümünü de içeren Karadeniz ve Hazar Denizi arasında yer alan saha, asmanın anavatanı ve kültürünün olduğu yer olarak bilinmektedir (Bekar, 2016; Çakır vd., 2018). Üzümün çok yönlü değerlendirme imkânına sahip olması; üzüm yetiştiriciliğinin çoğu ülkede başta gelen tarım sektörleri arasında sayılmasına yol açmıştır. Anadolu'da yaş veya kurutulularak tüketmenin yanı sıra yöreden yöreye değişiklik gösteren üzümün şırası, pekmez, sirke, pestil, gibi oldukça zengin bir değerlendirme imkanı bulunmaktadır. Ayrıca henüz olmamış üzüm (koruk), sülük ve filizlerden de son zamanlarda turşu yapılmaktadır (Adınır, 2011; Gülcü ve Torcuk, 2016; Gülcü, 2016). Ülke tarımında önemli bir yere sahip olan üzüm yetiştiriciliği, insanın dengeli beslenmesinde önemlidir ve birçok ailenin geçim kaynağını oluşturmaktadır (Elmalı, 2008; Kiracı, 2016; Korkutal vd., 2009; Semerci vd., 2015).

Tarımsal üretimi etkileyen iki ana faktör sulama ve gübreleme faaliyetleridir (Du vd., 2015). Bu nedenle, tarım için gerekli su tüketiminin azaltılması ve bitki besinlerinin optimal kullanımı, bir ülkede sürdürülebilir tarımın geliştirilmesinde öncelik olarak kabul edilmektedir (Aouada vd., 2008). Günümüzde, küresel gıda üretimini güvence altına almak ve daha sağlıklı gıda ürünleri geliştirmek için modern sulama yöntemlerinin kullanılması esastır. Öte yandan, tarımsal faaliyetlerin zaman içinde yoğunlaşması (fazla gübre uygulaması) toprak erozyonuna ve toprak verimliliğinin azalmasına yol açmaktadır (Kopittke vd., 2019). Ekosistemde toprak ve su kirliliğine en büyük katkı sağlayanlardan biri, gübrelerin kontrolsüz kullanımı olarak belirlenmiştir. Tarımsal uygulamalarda çok uzun süredir devam eden aşırı sulama ve gübreleme; erozyona ve yer altı suyunun %40 ila 60'ının kaybolmasına neden olmaktadır.

Artan tarımsal faaliyetler sonucunda tarımsal atıkların miktarı da artmıştır. Son yıllarda, tarımsal atıkların yönetimi ve bertarafına ilişkin çalışmalar artmıştır. Yüzyılımızda nüfus artışına bağlı olarak iklim değişikliği ve doğal su kaynaklarının tükenmesi çevresel, kültürel ve ekonomik sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunlara çözüm bulmak ve tarımsal atıkların geri dönüşümünü sağlamak için yenilikçi teknolojilere ve döngüsel çözümlere ihtiyaç vardır.

Tarım sektörünün temel amacı nüfusa yetecek miktarda gıda üretmek olmasına rağmen atıklar ve kalıntı için herhangi bir yöntem sistemi uygulanmamakta ve bu da çevre sorunlarının büyümesine neden olmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde tarımsal kültür ve tarımsal sanayinin payına düşen yurtiçi gayrisafi milli hasıla yaklaşık %20'dir (Beltrán-Ramírez et al., 2019).

Yağmur ve sulama suyunun kıtlığı, mahsul verimliliği ve ekili alan için suyun belirleyici faktör olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde kritik bir sorundur (Han vd., 2018). Ayrıca kumlu topraklar, düşük su tutma kapasitesi ve kök bölgesinin altında aşırı yağmur ve sulama suyu drenajı ile karakterize edilir, bu da verimsiz su ve gübre kullanımına neden olur (Fan vd., 2005; Wei vd., 2016). Sığ köklü ve yüksek su gereksinimi olan mahsuller yetiştirilirken bu sorunlar daha da şiddetlenir (Bhardwaj vd., 2007; Fan vd., 2005). Bu tür kayıplar, biyolojik olarak parçalanabilen çeşitli süper emici polimerler kullanılarak gübre granüllerinin kapsüllenmesiyle yönetilebilir (Zhang vd., 2020). Bu biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerin kullanılması, mineral besinlerin kademeli olarak salınmasına ve minerallerin mahsuller tarafından verimli bir şekilde alınmasına olanak tanır, bu da toprak ve su kirliliğini azaltır (Li ve Chen, 2018). Ek olarak, gübre uygulamalarının sıklığını ve aşırı doz gibi önemli olumsuz etkileri azaltılabilir (Ma vd., 2018).

Biyokömür (BK), 350 ila 900 ° C arasında değişen sıcaklıklar kullanılarak anoksik koşullar altında biyokütlenin pirolizi ile üretilen karbon açısından zengin, son derece gözenekli malzemelerdir (Das ve Ghosh, 2022). Gazlaştırma, hidrotermal karbonizasyon ve piroliz (yavaş ve hızlı), atık biyokütleyi biyokömüre dönüştürmek için kullanılabilir (Gaur vd., 2022). Piroliz koşulları değiştikçe biyokömür'ün konumu değişir (Al-Wabel vd., 2013). Hammadde türü ve piroliz koşulları, biyokömürün kimyasal bileşimini etkiler. Genel olarak, daha yüksek seviyelerde azot, kükürt, kalsiyum, magnezyum, fosfor, daha geniş yüzey alanı ve daha yüksek katyon değişim yetenekleri, daha yavaş bir piroliz işlemiyle ilişkilidir. Bunun nedeni, biyokömürün yavaş piroliz işlemi sırasında oksijen, hidrojen, azot, toplam fosfor ve kükürt gibi kolayca ayrışabilen ve uçucu bileşenlerini kaybetmesidir (Lehmann ve Joseph, 2015).

Pirolize biyokömür; iyon değişimi, birlikte çöktürme, fiziksel adsorpsiyon, küre içi kompleksleşme, elektrostatik katyonik çekim ve elektrostatik yüzey kompleksleşmesi yoluyla topraktaki ağır metallerin hareketsizleştirilmesinde de çok etkilidir (Singh vd., 2020). Biyokütle az oksijenli, basit endüstriyel ölçekte pirolize edildiğinde bir tür karbonlu malzeme oluşur (Wang vd., 2020). Ek olarak, biyokömür inşaat, biyolojik sindirim, hayvancılık, su arıtma, kompost oluşturma, toprak iyileştirme, enerji depolama ve tarım alanlarında kullanılabilir (Osman vd., 2022). Potansiyel tarımsal, finansal ve çevresel avantajları nedeniyle BK, gelecek vaat eden bir toprak düzenleyici olarak işlev görme potansiyeline sahiptir (Tu vd., 2020). Kompleks organik maddesi, karbonun yaklaşık % 40-75'ini oluşturur ve mikroorganizmaların bu materyali parçalaması zordur (Zhang vd., 2016).

Bu özellikleri nedeniyle çalışmada bağ budama atıklarından piroliz yöntemiyle elde edilen BK, belirli oranlarda hidrojele katkı malzemesi olarak eklenmiştir. Böylece, BK'nın asma bitkisinin gelişimine etkisi incelenmiştir.

2.2. Hidrojeller

Hidrofilik fonksiyonel grupların bağlandığı çapraz bağlı polimerler hidrojelleri oluşturur (Godiya vd., 2019; Li ve Chen, 2020). Hidrojeller, kendine özgü gözenekli yapıları ve çeşitli hidrofilik fonksiyonel grupları nedeniyle tarımsal topraklarda fazla su ve besin maddeleri için potansiyel depolardır. Yapılan bir araştırmaya göre, geleneksel poliakrilamid hidrojellerin kuru ağırlıklarının 326 katını damıtılmış suda tutabildikleri gösterilmiştir (Kim vd., 2010). Mahsul yetiştiriciliğinde verimli su kullanımını en üst düzeye çıkarmak için toprak değişiklikleri olarak uygulanmıştır (Suresh vd., 2018). Biyolojik olarak parçalanabilen taşıyıcı hidrojeller, çok miktarda besin depolanabilmesini, bunların yavaş yavaş toprak çözeltisine salınmasını ve ideal koşullar altında besin konsantrasyonunu daha uzun süre korunmasını sağlayabilmektedir.

Kirlenmiş toprakları iyileştirmek için biyosorbent olarak biyokömürün kullanılması da son zamanlarda ilgi çekmiştir. Biyokömür geniş bir yüzey alanına sahiptir ve çeşitli fonksiyonel gruplardan oluşur (Wang vd., 2009). Bununla birlikte, sınırlı adsorpsiyon kapasitesi, farklı kirleticileri adsorbe etmedeki zorluğu ve belirli ağır metallerin hareketliliğini kolaylaştırması da dahil olmak üzere, saf BK' nın toprak düzenleyici olarak kullanılmasının önemli dezavantajları vardır (Feng vd., 2017). Çevresel uygulanabilirliğini artırmak için BK' nın işlevselleştirilmesi bir bileşik haline getirilmesi gerekir. Hidrojel-biyokömür bileşimi tipik olarak mineral besinleri çapraz bağlı yapılarına absorbe ederek, güçlü bağlarla tutarak ve parçalanmayı geciktirerek işlev görür (Das ve Ghosh, 2022). Endüstriyel atıklardan, hayvan kıllarından ve tarımsal atıklardan yapıldığı için diğer birçok malzemeden daha ucuzdur (Li vd., 2020). Başka bir şekilde, biyokömürün üç boyutlu bir yapıya dönüştürülmesinin, biyokömür parçacıklarının ayrılması ve yenilenmesi sorununa olası bir çözüm olduğu düşünülmektedir. Hidrojel bazlı toprak katkı maddelerinin su tutma kapasitesini artırma ve toprak yapısını stabilize etme açısından avantajları son zamanlarda daha fazla ilgi görmüştür (Ma vd., 2020).

Toprak verimliliği, toprağın bitki büyümesini destekleme şeklini ifade eder. Düşük toprak verimliliği, dünyanın birçok yerinde büyük bir endişe kaynağıdır. Kurak ve yarı kurak bölgelerde su kaynaklarından daha etkin yararlanmak için yeni yöntem ve teknolojilerin kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle toprak suyunun korunması ve toprağın su tutma kapasitesini artırıcı tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu amaçla son zamanlarda organik kaynaklara ilave olarak toprak düzenleyicileri olan polimerik maddeler geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar toprağa hidrojel uygulamasının, bitkinin kullandığı su miktarını etkilemediğini, bitki kök bölgesinde kullanılabilir suyun artmasını sağlayarak, sulamalar arasındaki zamanı uzattığını ve bu sayede bitkilerin su stresinden daha az zarar gördüğünü göstermektedir (Arıcan ve Kale, 2016). Son yıllarda, geniş tarım alanlarında hidrojel uygulamasının teşvik edilmesiyle, su kıtlığının ve sulama sıklığının düşürülmesi, toprakta gübre salınımının yönetilmesi sağlanmıştır (Li ve Chen, 2020; B. Ma vd., 2020). Sonuç olarak, tarımsal kullanıma uygun fonksiyonel hidrojeller üretmek için çaba sarf edilmektedir. Süper emici polimerler (SEP) veya hidrojeller doğası gereği hidrofiliktir ve çapraz bağlı polimerik zincirler içerirler ve çok fazla

su veya sulu çözeltiyi emme ve tutma kapasitesine sahiptirler. Hidrojellerdeki üç boyutlu hidrofilik polimer ağları, yapısal bütünlüklerini kaybetmeden su veya sulu çözeltileri absorbe etmelerini sağlar (Ma vd., 2020). SEP örnekleri olan polimer bazlı hidrojeller, tarımda su tasarrufu ve diğer tarımsal amaçlar için sıklıkla kullanılmaktadır (Bai vd., 2010). Bitkilerin sağlığı ve verimi de toprağa bazı ürünler dahil edilerek artırılabilir. Toprak verimliliğini korumak için toprak katkı maddesi olarak biyokömür adı verilen pratik bir piroliz ürünü kullanılmaktadır (Doğaroğlu vd., 2022). Hidrojellerde kullanılan biyokömürlü hidrojeller, sulu ortamlarında mekanik mukavemete ve çözünmeye katkıda bulunabilir (Das ve Ghosh, 2022). Topraktaki karbon içeriğinin artmasına ve topraktaki su içeriğinin artmasına yardımcı olmak için biyokömür önemli bir etkindir (Alghamdi vd., 2021; Garcia-Ibañez vd., 2020), toprağa biyokömür (BK) eklenmesinin, besin ve su kullanımındaki özelliklerini, verimini ve verimliliğini artırabileceği yaygın olarak kabul edilmektedir. Biyokömür, biyokütlenin pirolizinin veya gazlaştırılmasının karbon açısından zengin bir yan ürünüdür. Potansiyel tarımsal, finansal ve çevresel avantajları nedeniyle biyokömür, gelecek vaat eden bir toprak düzenleyici olarak işlev görme potansiyeline sahiptir. Toprağa BK'nın eklenmesi, bitki besinlerini adsorbe ederek ve immobilize ederek verimliliği artırabilir (Warnock vd., 2007). Toprağın su tutma kabiliyetini artırarak (Basso vd., 2013) toprağın kütle yoğunluğunun azaltılması, besin sızıntısının önlenmesi ve katyon değişim kapasitesinin artırılmasını sağlar (Nzediegwu vd., 2019). Hidrojel bazlı toprak katkı maddelerinin su tutma kapasitesini iyileştirme ve toprak yapısını stabilize etme açısından avantajları son zamanlarda artan ilgi görmüştür (Ma vd., 2020). Hidrojel-BK kompozitini toprak değişikliği olarak uygulayan sadece birkaç araştırma bilinmektedir (X. An vd., 2020; Wen vd., 2016).

Geçtiğimiz yirmi yıl, sentetik polimerlerin dünya çapında farklı alanlarda kullanılmasına tanık olunmuştur. Bununla birlikte, sentetik polimerlerin doğallığı bozunamaz. Her yıl tüm dünyada yaklaşık 150 milyon ton plastik üretimi yapılmakta ve ne yazık ki üretim katlanarak devam etmektedir (Okada, 2002). Sentetik polimerlerle ilgili ciddi sorun, geleneksel olarak kullanılan doğal polimerik malzemelere kıyasla daha yüksek dayanıklılıklarıdır, bu da boşa harcanan ve parçalanmamış polimerler nedeniyle ciddi çevresel kirliliğe neden olur. Bir diğer önemli konu ise gıda ve tarımsal plastik atıkların bertarafı ile ilgilidir. Yukarıda bahsedilen sorunlar, geleneksel plastik malzemelere alternatif olarak kabul edilen çevre dostu bozunabilir polimerlerin kullanılmasıyla çözülebilir. Son zamanlarda, çevre sorunlarına bir çözüm olarak çevre dostu, biyolojik olarak parçalanabilen polimerlere ve plastiklere daha fazla yer verilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır (Luckachan ve Pillai, 2011). Biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerin temel avantajı; aktif çamur, doğal toprak, göl ve deniz gibi doğal ekosistemlerde tamamen ayrışmalarıdır (Kim vd., 2006). Biyolojik olarak parçalanabilen yapıları, biyolojik enzimlerin ve mikroorganizmaların etkisiyle kimyasal olarak dönüştürülebilme yeteneklerine karşılık gelmektedir. Doğal polisakkaritlere dayalı biyolojik olarak parçalanabilen polimerler düşük maliyetli ve büyük ölçekte üretilebilir (Parra vd., 2004; Tiwari vd., 2009).

Hidrojeller, üç boyutlu polimerik ağları içinde önemli miktarlarda hem suyu hem de besinleri tutar. Bu nedenle, büyüme sonuçlarını iyileştirmek için tohumların/fidelerin yerel mikro ortamını değiştirme yeteneğine sahiptirler. Hem güvenlik hem de sürdürülebilirlik açısından doğal biyopolimer bazlı hidrojellerin kullanımı daha avantajlıdır. Hidrojellerin ağ yapısı tipik olarak polimer zincirleri arasındaki fiziksel etkileşim ve/veya kimyasal çapraz bağlanma ile oluşur. Çapraz bağlamanın doğası, gücü ve kapsamı, belirli bir uygulama türüne uyacak şekilde jel özelliklerini (mekanik mukavemet, gözeneklilik ve şişme davranışı gibi) özelleştirmek için uyarlanabilir. Bu derleme, (i) mahsullere kuraklık direnci sağladıkları, (ii) kritik besinler için rezervuar görevi gördükleri, (iii) tohum kaplama maddeleri olarak işlev gördükleri ve (iv) nakil başarı oranını iyileştirdikleri tarımda hidrojellerin kullanımını vurgulamaktadır. Tarım sektöründeki bir dizi uygulama için hidrojellerin biyolojik olarak parçalanabilirliği çevresel uyumluluğu da tartışılmaktadır. Son olarak, hidrojelleri belirli tarımsal uygulamalara uyum sağlayacak şekilde değiştirmenin zorlukları, geleceğin sürdürülebilir tarım uygulamalarında bu yeni yumuşak malzemelerin tüm potansiyelinden yararlanmak için aşılması gereken sorunlar da dahil olmak üzere detaylandırılmıştır. Ayrıca, bazı hidrojellerin sağlam yapısı, yeraltı su tablalarına sızmanın neden olduğu gübre kayıplarının önlenmesine yardımcı olabilir, böylece genel gübre talebini azaltabilir ve ikincil çevre kirliliğini sınırlayabilir. Hidrojel kullanımının da toprak gözenekliliğini önemli ölçüde artırdığı gösterilmiştir. Su moleküllerinin emilimi üzerine, hidrojel parçacıkları şişer ve boyut olarak artar, böylece toplam kütle yoğunluğu azalır. Bu, tohum ve bitki köklerine gerekli havalandırmayı/oksijenlenmeyi kolaylaştırır (Tiwari vd., 2009; Tiwari ve Singh, 2007). Hidrojen ilavesinin toprak gözenekliliği üzerindeki etkisi toprağın türünden etkilenir. Kıl, kum ve kumlu tınlı toprakta toprağın özgül gözenekliliğinde ortalama % 4, 10 ve 19 oranında bir artış gözlenmiştir, bu da toprağın farklı fiziksel özelliklerine göre hidrojel parçacıklarının etkileşiminde bir farklılığa işaret etmiştir (Tiwari ve Singh, 2007).

Fizyolojik koşullar altında, çok miktarda su veya biyolojik sıvı tutabilirler ve canlı dokulara benzer yumuşak bir lastik kıvamı ile karakterize edilirler, bu da onları çeşitli uygulamalar için ideal bir madde haline getirir. İstenen işlevsellik, tersinirlik, sterilizasyonbilite ve biyoyumluluk gibi karakteristik özelliklere sahip hidrojeller, dokuları ve organları veya canlı dokuların işlevini tedavi etmek veya değiştirmek ve biyolojik sistemle etkileşime girmek için hem maddi hem de biyolojik gereksinimleri karşılar (Luckachan ve Pillai, 2011; Okada, 2002). Hidrojeller, dünyadaki yaşamdan beri doğada bulunur. Hidratlanmış hücre dışı matris bileşenleri olan bakteriyel biyofilmler ve bitki yapıları doğada her yerde bulunan su şişmiş motiflerdir. Jelatin ve agar da insanlık tarihinin başlarında çeşitli uygulamalar için bilinmekte ve kullanılmaktadır, ancak biyomedikal uygulamalar için tasarlanmış bir malzeme sınıfı olarak hidrojellerin modern tarihi doğru bir şekilde izlenebilir.

Artan nüfus ve buna bağlı artan tarımsal ürün talebi, tarımsal faaliyetler için daha fazla su ihtiyacına ve mahsuller için daha fazla toprak kullanımına dönüşmektedir (Leser, 2013). Kolombiya'da tarım tüketicileri mevcut suyun yaklaşık %70'ini tüketmektedir (Arévalo, 2012; IDEAM, 2014; IDEAS, 2015). Hidrojeller, çoğu mahsulün ek sulama gerektirmesi nedeniyle tarım sektörü için mevcut

ihtiyaçlara alternatif olarak sunulmaktadır. Hidrojeller, su moleküllerini emmelerini, depolamalarını ve serbest bırakmalarını sağlayan üç boyutlu çapraz bağlı bir yapıya sahip polimerlerdir (Mohan vd., 2006; Pourjavadi ve Mahdavinia, 2006). En önemli uygulamalar arasında kişisel hijyen ürünleri imalatı, tıbbi (Arredondo, 2009), çevresel (ağır metallerin uzaklaştırılması) (Orozco-Guareño vd., 2011) ve tarım (Barón Cortés vd., 2007; Liang vd., 2013) yer almaktadır. En önemli tarım alanları sırasıyla bahçecilik, bahçecilik ve silvikültürdür (Vundavalli vd., 2015). Kolombiya'da, Kolombiya'nın Magangue Bolivar belediyesindeki arredomango gibi mahsullerdeki kuraklığa karşı koymak için hidrojel uygulaması ele alınmaktadır (Asohofrucol, 2014). Ürüne en çok talep gösteren ülkeler arasında Çin, Japonya, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve Orta Doğu ülkeleri yer almaktadır. Bu ürünün çoğu hijyen ürünleri üretimine yönelik olmasına rağmen, süper emici hidrojel tüketiminde tarım endüstrisi ikinci sırada yer almaktadır (Cannazza vd., 2014). Tarımsal uygulamalar için hidrojeller sentezlenmiş akrilatlarla dayanmaktadır. Bu bileşenler, hızlı büyümeye neden olan toprakta mevcut suyun artmasına (Rojas de Gáscue vd., 2006), su stresi altında bir bitkinin hayatta kalmasına (Barón Cortés vd., 2007; Cannazza vd., 2014; Hüttermann vd., 2009; Zhong vd., 2012) ve gübrelerin kontrollü salınmasına etkiye bulunmuştur (Liang vd., 2013).

2.2.1. Hidrojellerin Sınıflandırılması

Hidrojellerin sınıflandırılması; fiziksel özelliklerine, şişmenin doğasına, hazırlama yöntemine, kökenine, iyonik yüklerine, kaynaklarına, biyolojik bozunma hızına ve çapraz bağlamanın gözlenen doğasına bağlıdır (Qiu ve Park, 2001). Fiziksel jellerde, çapraz bağlama işleminin doğası fizikseldir. Bu normalde hidrofobik birleşme, zincir agregasyonu, kristalleşme, polimer zincir kompleksi iyonu ve hidrojen bağı gibi fiziksel işlemlerle elde edilir. Öte yandan, kimyasal bir hidrojel hazırlamak için kimyasal bir işlem, yani kimyasal kovalent çapraz bağlama (aynı anda veya polimerizasyon sonrası) kullanılır.

2.2.2. Sentez

Hidrojeller, akrilamid gibi doğal ve sentetik monomerik ve polimerik birimlerin spektrumundan yapılır (Zhang vd., 2016). Bunlar kitosan, nişasta, selüloz (B. An vd., 2015; Godiya vd., 2019), aljinat (Sahraei ve Ghaemy, 2017), sakızlar (Ding vd., 2018), selüloz (Gharekhani vd., 2017), pirinç kabuğu (De France vd., 2017) gibi polisakkaritlerdir. Doğal polisakkaritlerden sentezlenen HGs, sentetik baz malzemeye göre üstünlüğe sahiptir, çünkü birincisi biyolojik yenilenebilirlik, kolay bulunabilirlik ve çevre dostu olma açısından avantajlara sahiptir. Bu jeller, üç boyutlu bir jel yapısı oluşturan suyla temas ettiğinde nemlenen farklı hidrofilik gruplardan oluşur (Wan vd., 2016).

Son on yılda, cam boncuklar (J. Ma vd., 2018), silika jel (Arshad vd., 2019; Imyim vd., 2015), poliamin boncuklar (Mohammed vd., 2016; Zhang vd., 2016), aljinat boncuklar (Charfi vd., 2018; Ren

vd., 2016), polietilen tereftalat (Wei vd., 2016), poliüretan (Wang vd., 2018) gibi önemli sayıda alternatif polimer; polivinil alkol (Wang vd., 2018), poliakrilik asit (Pakdel ve Peighambaroust, 2018), polyester (Oryan vd., 2018) vb. HG sentezi için araştırılmıştır. Bu farklı baz malzemeler, üç boyutlu bir jel ağı oluşturan farklı kimyasal (termal, foto veya radyasyona bağlı) veya fiziksel yollardan çapraz bağlanır. Ayrıca, bağlantıların davranışı ve yoğunluğu, sentezlenen jelin kimyasal yapılanmasını ve emme kapasitesini etkiler. Çapraz bağlama ayrıca, ana polisakkarite kıyasla daha düşük pH çözeltilerine ve daha yüksek sıcaklık aralıklarına direnç kazandırır (Zahir vd., 2017). Sentezdeki en büyük sınırlama, kristal alanlardaki çapraz bağlanma yoğunluğundaki artışla birlikte sorpsiyon bölgelerinin azaltılmasıdır, bu da daha sonra polimerik matrisin orijinal kristal düzenlemesini bozar (Akhtar vd., 2016).





3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Asma Bitkisi

Asma (*Vitis vinifera* L.), insanlık tarihi boyunca en önemli kültür bitkileri içinde sayılmış ve her dönemde kullanılmıştır. Çeşitli büyük medeniyetlerin simgesi ve zenginlik göstergesi sayılmış, efsanelere ve sanat eserlerine konu olmuştur. Tarihçesi MÖ 5000 yılına kadar dayanır. Anavatanı; Anadolu'yu da içine alan Küçük Asya, Kafkasya'yı da kapsayan bölgedir. Bugün çok büyük ekonomik öneme sahip olmakla birlikte, şaraplık, sofralık ve kurutmalık olarak dünyanın birçok bölgesinde tarımı yapılmaktadır.

Dünyada yetiştiriciliği en yaygın düzeyde yapılan ve en yüksek ekonomik değere sahip meyve çeşididir. Üzümden başlıca; taze meyve (sofralık üzüm), kuru meyve ve şarap üretimi amacıyla yararlanılmaktadır. Tüm bu ürünlerin arasında *Vitis vinifera* çeşitlerinden üretilen şarap, en fazla ekonomik öneme sahip olanıdır (Mullins vd., 1992; Altıntaş,2019).

Karmaşık yapılı, kahverengi gövdesi olan yarı odunsu sarıçılı bitkilerdir. Parçalı, üzeri tüylerle kaplı yaprakları vardır. Küçük ve yeşil renkli çiçekleri salkım biçiminde olur. Sarı, yeşil, pembe ve siyah meyveleri vardır. Güneşi çok seven, yağışın olduğu fakat fungal hastalıkları arttıran ve meyve kalitesini düşüren aşırı yağışların olmadığı yerlerde iyi gelişen bir bitkidir (Coombe ve Dry, 1992; Uzun, 1996). Her türlü toprak koşuluna dayanıklıdır. Islah amaçlı olarak tohum ile yetiştiricilikte genellikle çelikle üretilmektedir. Bu çalışmada kullanılmış olan asma bitkisi Manisa Bağcılık Enstitüsü'nden elde edilmiştir. Elde edilen bağ budama atıkları çelikleme ile üretilen Sultan 7 cinsi üzüm asması türüne aittir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan asma bitkisi

3.2. Yöntem

Bu çalışmada kullanılan bağ budama atıkları, yerel bağlardan toplanmıştır. Budama atıkları (dallar ve sürgünler) öncelikle ortalama 5 cm uzunluğunda parçalara kesilmiş ve +4°C'de kullanılmaya kadar saklanmıştır. Daha sonra, bu numuneler incelemenin sonraki aşamaları için 0,2 cm kalınlığında parçalara bölünmüştür. Üzüm bağı budama atıkları 0,2 cm kalınlığında dilimler halinde kesilerek, 70°C'de 8 saat kurutmanın ardından 105°C'de sabit bir ağırlığa kadar kurutulmuştur. Kurutulmuş budama atıkları, bu çalışmada gerçekleştirilecek sonraki analizler için kullanılmıştır.

3.2.1. Budama Atıklarından Biyokömür Elde Edilmesi

Biyokömür özellikleri, kullanılan hammaddenin türüne, bekleme süresine, sıcaklık, ısıtma hızı ve reaktör tipi gibi piroliz ayarlarına bağlıdır, biyokömür üretimi çevre dostu olup ayrıca maliyetli ve enerji gerektiren tipik aktif karbonlardan daha ucuzdur (Feng vd., 2017).

Bu tezde bağ budama atıkları biyokömür üretmek için kullanılmıştır. Buna göre bağlardan toplanan ve yukarıda belirtilen yöntemle küçük parçalar halinde kesilen (5 cm) budama atıkları, kurutma ve öğütme işlemlerinden sonra biyokömür elde etmek için yavaş pirolize tabi tutulmuştur. Uniterm marka piroliz cihazında azot atmosferi altında 500 °C'de 4 saat yavaş piroliz işlemi gerçekleştirilmiştir. Piroliz işleminde, tepe sıcaklığı ve partikül büyüklüğü hem biyokömür veriminin hem de sabit karbon içeriğinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle istenen biyokömürü elde etmek için bu parametrelerin optimizasyonu çok önemlidir. Biyokömür katkılı hidrojel sentezinden önce, elde edilen biyokömürler öğütülerek homojen parçacık boyutuna sahip bir malzeme elde etmek için 60 mesh aralığında bir elekten geçirilmiştir.

Farklı piroliz koşullarında elde edilen biyokömürlerin elementel içerikleri elementel analiz cihazı ile gerçekleştirilmiş olup en iyi C, N, H içeriği elde edilen sentez koşulları daha sonraki çalışmalar için de kullanılacaktır. Optimum sonuçların elde edildiği koşullarda üretilen biyokömürler hidrojel sentezinde kullanılmıştır.

3.2.2. Biyokömür Katkılı Hidrojellerin Sentezi (BKH/SA/PVA)

Biyokömür katkılı/sodyum aljinat/polivinil alkol (BKH/SA/PVA) hidrojelleri, Feng ve arkadaşları (2017) tarafından belirtilen yöntem kullanılarak sentezlenmiştir (Feng vd., 2017). BKH/SA/PVA hidrojellerinin hazırlanması için önce iyonotropik jelleşme gerçekleştirilmiştir. Yönteme göre, % 5 (w/v) SA ve % 3 (w/v) PVA polimerden oluşan homojen bir çözelti elde etmek için 2 saat boyunca 25 °C 'de manyetik bir karıştırıcı içinde karıştırılmıştır. Homojen bir dağılım sağlamak için elde edilen polimer çözeltisine belirli miktarda BKH (%0,1- %0,2- %0,3- %0,4 ve %0,5) eklenmiştir. Hidrojelleri elde etmek için, bu homojen çözelti, manyetik bir karıştırıcıda sürekli karıştırılan (100 rpm)

% 5'lik (w/v) bir CaCl_2 çözeltisine damlatılmıştır. Bir gün boyunca CaCl_2 çözeltisinde karıştırılarak bekletilen hidrojel yeterli sertliğe ulaştıktan sonra, yüzeylerindeki artık CaCl_2 çözeltisini uzaklaştırmak için damıtılmış su ile yıkanmıştır.

3.2.3. Sentezlenen Hidrojellerin Karakterizasyonu

Sentezlenen saf hidrojel ve biyokömür katkılı hidrojellerin morfolojik yapılarını belirleyebilmek için Taramalı elektron mikroskobu (SEM -Quanta 650 FEG made by FEI, USA) görüntüleme tekniği kullanılmıştır.

3.2.4. Denge şişme kapasitesinin belirlenmesi

Sentezlenen BMB/SA/PVA hidrojellerin şişme kapasitesinin belirlenmesi klasik gravimetrik yöntem ile gerçekleştirilmiştir (Liu ve Huang, 2016). Bu amaçla öncelikle hidrojel dehidratize edilmiştir. Dehidratasyon işleminde, sentezlenmiş BMB/SA/PVA hidrojel oda sıcaklığında 2 gün kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan hidrojellerden 0,2 g tartılarak oda sıcaklığında distile suya bırakılmış ve denge şişkinliğine gelene kadar 4 gün boyunca bekletilmiştir. Şişen hidrojel sudan çıkartılarak ıslak filtre kağıdı ile hafifçe kurulmuş ve hemen tartılmıştır. Bu sonuçlara göre Uysal vd (2024) tarafından bildirildiği şekilde eşitlik (3.1) kullanılarak hidrojel denge şişme kapasitesi belirlenmiştir.

$$SC \text{ (g/g)} = (m_{\text{şişen}} - m_{\text{kuru}}) / m_{\text{kuru}} \quad (3.1)$$

3.2.5. Şişme Kinetiğinin Belirlenmesi

Şişme kinetiği Chen vd., (2009) tarafından belirtilen yönteme göre yapılmıştır. Buna göre 0.2 g tartılan kuru hidrojellerin belirli zaman aralıkları ile tartılması sonucu elde edilmiştir (Chen vd., 2009). Şişme kapasitesinin belirlenmesinde yapılan işlemler tekrar edilmiş ve şişme kinetiği verileri için kullanılmıştır. Kurutulmuş hidrojel oda sıcaklığında distile suya batırılmış ve numuneler belirlenen zaman aralıklarında sudan çıkarılarak numune yüzeyindeki fazla su ıslak filtre kağıdıyla uzaklaştırılmıştır. Hemen ardından numuneler tartılmıştır. T zamanındaki su alımı (SA) eşitlik (3.2)'de belirtildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Su Alımı (SA)} = [(m_t - m_d) / (m_{\text{şişen}} - m_d)] \times 100 \quad (3.2)$$

m_t , t zamanında hidrojel ağırlığı, $m_{\text{şişen}}$: şişmiş dengede hidrojel örneğinin ağırlığı, m_d : kurutulmuş jelin ağırlığıdır.

3.2.6. Çimlenme/Fitotoksisite Testi

Hidrojellerin etkinliğini saptayabilmek için buğday bitkisi üzerinde çimlenme ve kök uzunlukları testi yapılmıştır. Buğdayın (*Triticum aestivum* L.) çimlenme ve kök uzunlukları testleri Doğaroğlu (2019) tarafından belirtilen yöntemde küçük değişiklikler yapılarak gerçekleştirilmiştir. On buğday tohumu, 10 mL distile su (kontrol) veya doymuş biyokömürlü hidrojel (suyla doymuş) 2 gram tartılarak petri kaplarına yerleştirilmiştir. Üzerine 5 ml distile su eklenerek 7 gün boyunca 25 °C'de karanlıkta bir büyüme odasına yerleştirilmiştir. 7 gün sonunda çimlenen tohum sayıları belirlenerek kök uzunlukları milimetrik kağıt kullanılarak ölçülmüştür. Çimlenme endeksi aşağıdaki eşitlik (3.3) ile hesaplanmıştır.

$$G_{\text{index}} = [(G/G_0) \times (L/L_0)] \times 100 \quad (3.3)$$

G ve L, sırasıyla doymuş hidrojel varlığında çimlenmiş tohumların sayısı ve kök uzunluğu olduğu ve G_0 ve L_0 , sırasıyla damıtılmış suda çimlenmiş tohumların sayısı ve kök uzunluğudur.

3.2.7. Saksı Denemeleri

Biyokömürlü hidrojellerin farklı seviyelerinin asma bitkisinin büyümesi üzerindeki etkisini incelemek için, saksı toprağında tamamen tesadüfi bir tasarım kullanılarak faktöriyel deney düzeneği kurulmuştur. DeneySEL işlemler, (i) kontrol örnekleri hariç 5 seviyede toprak iyileştirme faktöründe (BMB/SA/PVA hidrojelleri): %0 (C0), %0,1 (C1), %0,2 (C2), %0,3 (C3), %0,4 (C4) ve %0,5 (C5) (w/w) eklenmiştir. Asma yetiştirme ortamı olarak ilk olarak plastik saksılar (9 L hacimli) 1:1 oranında torf:perlit karışımı kullanılmıştır. Asma fideleri 1 yaşına geldiğinde 15 L' lik (1:1 oranında torf:perlit karışımı içeren) saksılara nakledilmiştir. Asma gibi geniş bir kök sistemine sahip bitkiler için hidrojeller toprakta kök bölgesine uygulanmıştır. Dikimin ilk haftasında, su eksikliği stresini azaltmak ve fidelerin büyümesini sağlamak için fideler günlük tarla kapasitesine göre günlük olarak musluk suyu ile sulanmıştır. Büyük saksılara nakilden sonra, bitki boyu, toplam taze biyokütle ve yaprak alanı ölçülmüştür (Montesano vd., 2015). Her hafta klorofil içerikleri SPAD klorofil metre ile belirlenmiştir. Hasattan hemen önce yine klorofil içerikleri ölçülmüş ve hasattan sonra bitki boyu, taze ve kuru ağırlık, kök yaş ve kuru ağırlık ve kök uzunluğu gibi bitki büyüme parametreleri belirlenmiştir. Sürgünlerin yaş ağırlığını belirlemek için, bitkiler taç bölgesinden kesilmiş ve hemen ölçülmüştür. Kuru ağırlık ölçümü için, sürgünler 48 saat boyunca etüvde 75 °C'de kurutulmuş ve son kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Bitki kökleri topraktan ayrıldıktan sonra dikkatlice yıkanmış ve 48 saat boyunca 75 °C'de bir etüvde kurutularak kuru ağırlıkları belirlenmiştir (Nassaj-Bokharaei vd., 2021). Bitkilerin kuraklığa bağlı strese girip girmediğinin değerlendirmek için bitki yapraklarında antioksidatif enzim analizleri gerçekleştirilmiştir. Saksı denemelerine ait fotoğraf Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Saksı denemeleri

3.2.8. Enzim Analizleri

Bu çalışmada hidrojel katkılı asma bitkisi yapraklarında iki tür enzim analizi yapılmıştır. Bunlar, Lipid Peroksidasyonu (MDA) ve Süperoksit Dismutaz (SOD) olup (Çakmak ve Marschner, 1992) tarafından bildirildiği şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.2.9. Süperoksit Dismutaz (SOD) Enzim Analizi

Örnek okumaları için 0,2 g bitki örneği homojenizatör de homojenize edilmiştir. pH'sı 7,6 olan P-tampon 2,8 ml P-tamponu (pH 7,6), 0,5 ml sodyum bikarbonat, 0,5 ml metiyonin, 0,5 ml nitro blue tetrazolyum klorid (NBT), 0,5 ml riboflavin ve 0,2 ml örnek üst fazı koyulmuştur. Tüpler hafifçe karıştırılarak 10-15 dakika ışık altında (renk maviye dönene kadar) bekletilmiş ve absorbansları spektrofotometrede 560 nm' de okunmuştur. Kör çözelti hazırlamak için 3 ml P-tamponu (pH 7,6), 0,5 ml sodyum bikarbonat, 0,5 ml metiyonin, 0,5 ml nitro blue tetrazolyum klorid (NBT) ve 0,5 ml riboflavin eklenmiştir. Kör çözelti de cam tüplerde aynı şartlarda bekletilerek absorbansı spektrofotometrede 560 nm' de okunmuştur. Elde edilen değerler aşağıdaki eşitlik (3.4) ile hesaplanarak SOD aktivitesi (Çakmak ve Marschner, 1992) tarafından bildirildiği şekilde belirlenmiştir.

$$\text{SOD Aktivitesi} = (1-A/B) \quad (3.4)$$

A:Örnek absorbansı B:Kör absorbansı

Çözeltilerin Hazırlanması

1) Fosfat Tamponu

- 3,4023g KH_2PO_4 tartılmıştır ve 500 ml USS (ultra saf su) içerisinde çözülmüştür.
- 11,4115g K_2HPO_4 tartılmıştır ve 500 ml' ye tamamlanmıştır.
- K_2HPO_4 'ün pH' sını 7,6' ya KH_2PO_4 ile ayarlanmıştır.
- pH 7,6 olan P-tamponu içerisine 0,037224g EDTA-disodyumsaltdihidrat (triplex III) eklenmiş ve çözülmüştür.

2) Na_2CO_3 çözeltisi hazırlama

- 13,25g Na_2CO_3 tartılır, 150 ml ultra saf su eklenmiştir.
- pH 10,2 olana kadar HCl eklenmiştir.
- Boş hacim 250 ml'ye tamamlanmıştır.

3) Metiyonin çözeltisi hazırlama

- 1,79 g metiyonin tartılmış ve 100 ml ultra saf suda çözülmüştür.

4) NBT (Nitro blue tetrazolyum klorid) çözeltisi hazırlama

- 0,04g NBT tartılmış ve 10 ml' ye tamamlanmıştır.

5) Riboflavin çözeltisi hazırlama

- 0,0037g Riboflavin tartılmış ve 100 ml' ye tamamlanmıştır.

3.2.10. Lipid Peroksidasyonu (MDA)

Örnek okumaları için 0,2 g bitki örneği tartılmıştır ve 2 ml P-tamponu eklenerek homojenizatörde homojenize edilmiştir. Üzerine 5 ml %0,1' lik trikloro asetik asit (TCA) eklenmiştir. 600 rpm' de 20 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj edilen bitki örneğinin üst fazından 3 ml alınmıştır ve tüplere konulmuştur. Üzerine 3 ml trikloro asetik asit (TCA) içeren tiyobarbitirik asit (TBA)' den eklenmiştir. 95 C' deki su banyosunda 30 dakika bekletilmiştir. Su banyosundan çıkan numuneler musluk suyunda soğutulmuştur. Absorbansları 532 nm ve 600 nm spektrofotometrede okunmuştur. Elde edilen değerler Çelikezen ve Ertekin (2008) tarafından bildirildiği şekilde eşitlik (3.5) ile hesaplanarak MDA aktivitesi belirlenmiştir.

$$\text{MDA} = (\text{A}_{532 \text{ nm}} - \text{A}_{600 \text{ nm}}) * \text{B} / (155 \text{ m}\mu/\text{cm} * \text{C}) \quad (3.5)$$

A: Absorbans değerleri

B: Ekstrakt hacmi

C: Örnek miktarı (mg)

Çözeltilerin hazırlanması

1) Fosfat Tamponu

- 3,4023g KH_2PO_4 tartılmıştır ve 500 ml USS (ultra saf su) içerisinde çözülmüştür.
- 11,4115g K_2HPO_4 tartılmıştır ve 500 ml' ye tamamlanmıştır.
- K_2HPO_4 ün pH' sını 7,6' ya KH_2PO_4 ile ayarlanmıştır.
- pH 7,6 olan P-tamponu içerisine 0,037224g EDTA-disodyumsaltdihidrat (triplex III) eklenmiş ve çözülmüştür.

2) %0,1' lik (w/v) Trikloro asetik asit çözeltisi hazırlama

- 0,1 g trikloro asetik asit (TCA) tartılmıştır ve 100 ml' ye tamamlanmıştır.

3) %20 Trikloro asetik asit (TCA) içeren %0,1' lik Tiyobarbütirik (TBA) asit hazırlama

- 0,1 g tiyobarbütirik asit (TBA) tartılmıştır ve 50 ml USS' de çözülmüştür. Üzerine 20 g trikloro asetik asit (TCA) eklenmiştir ve 100 ml' ye USS ile tamamlanmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada bağ budama atıkları, öncelikle su tutucu ve besin tedarikçisi olarak üzüm bağlarının kuraklık stresine dayanımını artırmak için biyohidrojel sentezinde kullanılmıştır. Budama atıklarının dal ve sürgün karışımından biyokömür üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan Sultan 7 türü asma fidanları ve asma budama atıkları Manisa Bağcılık Araştırma Enstitüsü'nden alınmıştır. Öncelikle, asma fidanları 1:1 oranında torf/perlit karışımını içeren saksılara dikilmiş ve bir yaşına gelene kadar gereken sulama, ilaçlama, gübreleme faaliyetlerine devam edilmiştir. Asma bitkilerinin kuraklıkla mücadelesinde toprak ortamında hidrojellerin varlığının bitkinin gelişimine etkisini belirlemek amacıyla Polivinil alkol (PVA) ve sodyum aljinat (SA) bazlı ve biyokömür katkılı hidrojeller üretilmiştir. Eş zamanlı olarak asma budama atıklarından piroliz yöntemi ile biyokömür üretilmiştir. Üretilen biyokömürlerin ve hidrojellerin fizikokimyasal özelliklerini belirlemek için SEM görüntüleri ve FTIR spektrumları belirlenerek karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır.

4.1. Asma Fidanlarının Ekimi

Manisa Bağcılık Araştırma Enstitüsü'nden asma fidanları alınmış (Şekil 4.1), 1:1 oranında torf/perlit karışımını içeren saksılara dikilmiş (9 L kapasiteli) ve bir yaşına gelene kadar gereken sulama, ilaçlama, gübreleme faaliyetlerine devam edilmiştir. Aşağıda saksı çalışmalarına ait görüntüler sunulmuştur (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Manisa Bağcılık Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen asma fidanları



Şekil 4.2. 1:1 oranında torf:perlit karışımı içeren saksılara asma fidanlarının ekimi

4.2. Asma Fidanlarında Saksı Değişimi, Budama ve Hidrojel Ekleme İşlemleri

Asma fidanları kış dönemi yapraklarını döktükten ve uykuya geçtikten sonra saksıların hacimleri büyütülerek 15 L'lik saksılara geçilmiştir. Asmalar saksı değişimi öncesinde budanmıştır ve saksı değişimi sırasında bitkilerin kök bölgesine hidrojellerin ilavesi de gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Asmaların budanması ve budanan asmaların ilk sürgünleri



Şekil 4.4. Saksı büyütme, budama ve hidrojel ekleme işlemleri

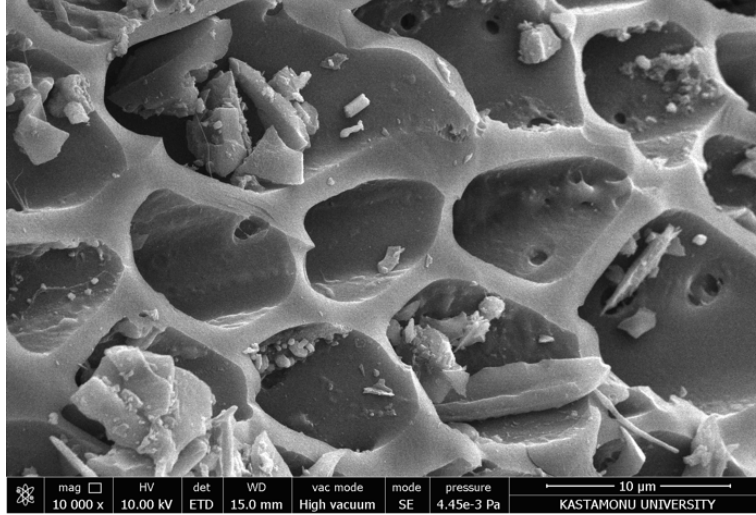
Çalışmada uygulanan deneme planı ve saksılara uygulanan torf/HG oranları Tablo 1.1.' de verilmiştir.

Tablo 1.1. Deneme planı (saksılardaki torf/HG oranları ve kuraklık setleri)

Herbir saksıya 250 g HG			Herbir saksıya 500 g HG			Herbir saksıya 1000 g HG		
Torf/HG oranı %5 (%0.5)			Torf/HG oranı %10 (%1)			Torf/HG oranı %20 (%1.5)		
Normal sulama	Control	Control	Control	Control	Control	Control	Control	Control
	Saf	Saf	Saf	Saf	Saf	Saf	Saf	Saf
	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1
	%0.2	%0.2	%0.2	%0.2	%0.2	%0.2	%0.2	%0.2
	%0.3	%0.3	%0.3	%0.3	%0.3	%0.3	%0.3	%0.3
	%0.4	%0.4	%0.4	%0.4	%0.4	%0.4	%0.4	%0.4
	%0.5	%0.5	%0.5	%0.5	%0.5	%0.5	%0.5	%0.5

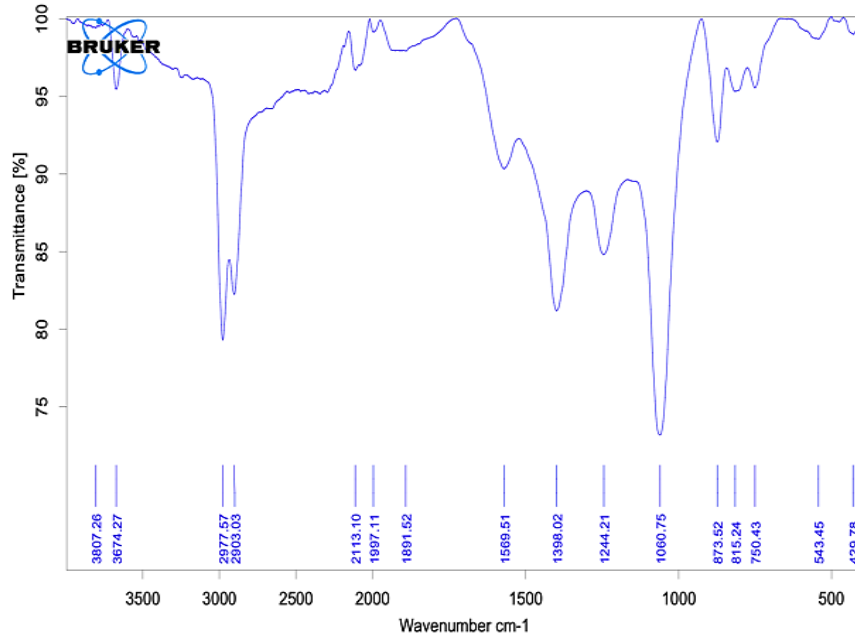
4.3. Biyokömür Üretimi ve Karakterizasyonu

Asma budama atıkları kesilerek 500 °C'de yavaş piroliz yöntemi ile UnitermLab marka piroliz cihazında azot atmosferi altında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen biyokömür numunelerinin Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM-FEI, Quanta 650 FEG, ABD) görüntüleri, elementel içerikleri (C,H,O,N,S-Eurovector, EA3000-Single Analyzer), ve FTIR spektrumları (FT/IR-6700, Jasco) belirlenmiştir. Şekil 4.5'te üretilen biyokömüre ait SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.5. Asma budama atıklarından üretilen biyokömürün SEM görüntüsü (Uysal vd., 2023)

Elde edilen SEM görüntüsü biyokömürlerin gözenekli bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir. Biyokömürün partikülleri ve yapıları çok gözenekli, içi boş, küresel ve iyi organize olmuştur. Biyokömürün FTIR spektrumu ise Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



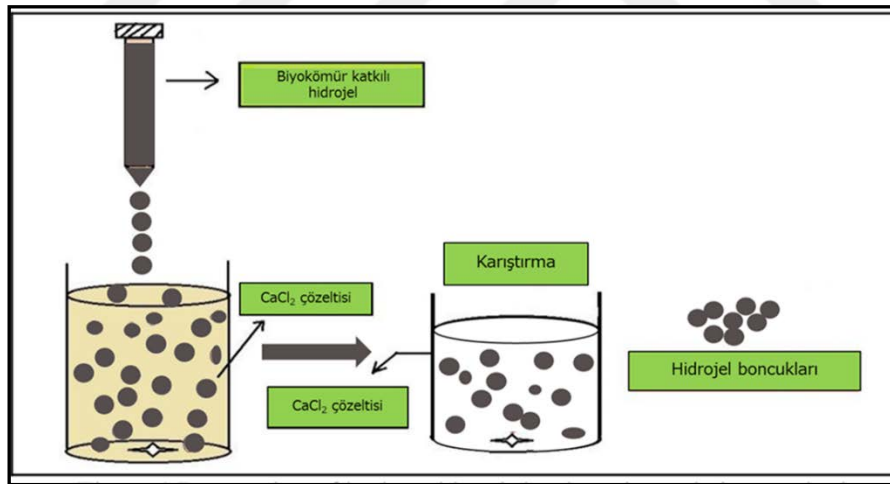
Şekil 4.6. Asma budama atıklarından üretilen biyokömürün FTIR spektrumu (Uysal vd., 2024)

Biyokömürün FTIR spektrumunda 2977 cm^{-1} 'deki zirve, su molekülünün katkısıyla organik O-H esnemesinden kaynaklanmaktadır (Armynah vd., 2019). Bir siklik ve asit anhidritin C=O gerilmesinin titreşimi, önemli miktarda oksijen atomu kaybı ve üretilen CO_2 gazı ile termal bozunma nedeniyle 2300 cm^{-1} 'de zayıf yoğunluk olarak tanımlanır (Das ve Ghosh 2022). Ligninden gelen aromatik grup, karbon atomlarının sp^2 -hibridizasyon bağına karşılık gelen $1560\text{-}1570\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki pikler C=C asimetrik

esneme titreşimini göstermektedir (Chen vd., 2015). C-H bükülmesi, 870 cm^{-1} 'de ortaya çıkmıştır. $1497\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$ 'deki geçirgenlik, metil grubu ($-\text{CH}_3$) gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır (Jipa vd., 2012). 1060 cm^{-1} bandındaki geçirgenlik, alifatik eter $\text{C}=\text{O}$ ve alkol oluşumundan kaynaklanmaktadır (Mary vd., 2016). $870\text{--}710\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenen pik, C-H bükülmesinin mevcut olduğu alkinleri ortaya çıkarmaktadır (Ray vd., 2020). Ayrıca üretilen BK'nın elementel bileşimi %72,9 C, %1,3 N ve %3,3 H, pH değeri 9,21 ve elektriksel iletkenliği $995\text{ }\mu\text{S cm}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Uysal vd. 2024).

4.4. Saf (PVA/SA) ve Biyokömür Katkılı (PVA/SA/BK) Hidrojellerin Sentezi

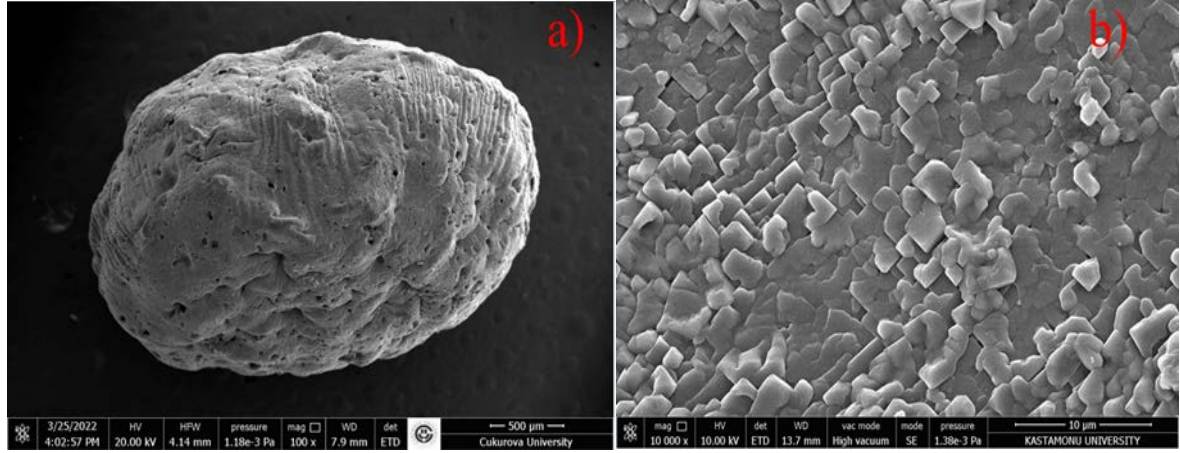
Saf hidrojel tanecikleri, Putra ve Lee'ye (2020) göre sentezlenmiştir (Şekil 4.7). Buna göre, PVA (3 g) ve SA (5 g) 100 mL deiyonize suda karıştırılmış ve $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 30 dakika otoklavlanmıştır. Daha sonra 100 rpm'de karıştırılan CaCl_2 (%5 w/v) çözeltisine şırınga ile damlatılarak çapraz bağlanmayı tamamlamak için bir gece CaCl_2 çözeltisinde bekletilmiştir. Otoklavlama sonrası biyokömür katkılı kompozit hidrojeller elde etmek için çözeltiye farklı miktarlarda üç tip biyokömür (%0.1-0.2-0.3-0.4-0.5) ilave edilerek karıştırılmıştır. Son olarak elde edilen saf ve BK/PVA/SA hidrojel boncukları, artık CaCl_2 'yi uzaklaştırmak için deiyonize su ile yıkanmıştır.



Şekil 4.7. Hidrojel sentezinin aşamalar

4.5. Üretilen Saf ve Biyokömür Katkılı Hidrojellerin Karakterizasyonu

PVA/SA bazlı saf hidrojellerin ve biyokömür (BK) katkılı PVA/SA/BK kompozit hidrojellerin karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bunun için her üretim sonrasında elde edilen hidrojellerin yüzey morfolojileri Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM-FEI, Quanta 650 FEG, ABD) ile tespit edilmiştir. Şekil 4.8 (a-b)'de sentezlenen saf ve biyokömür katkılı hidrojellere ait SEM görüntüleri verilmiştir.

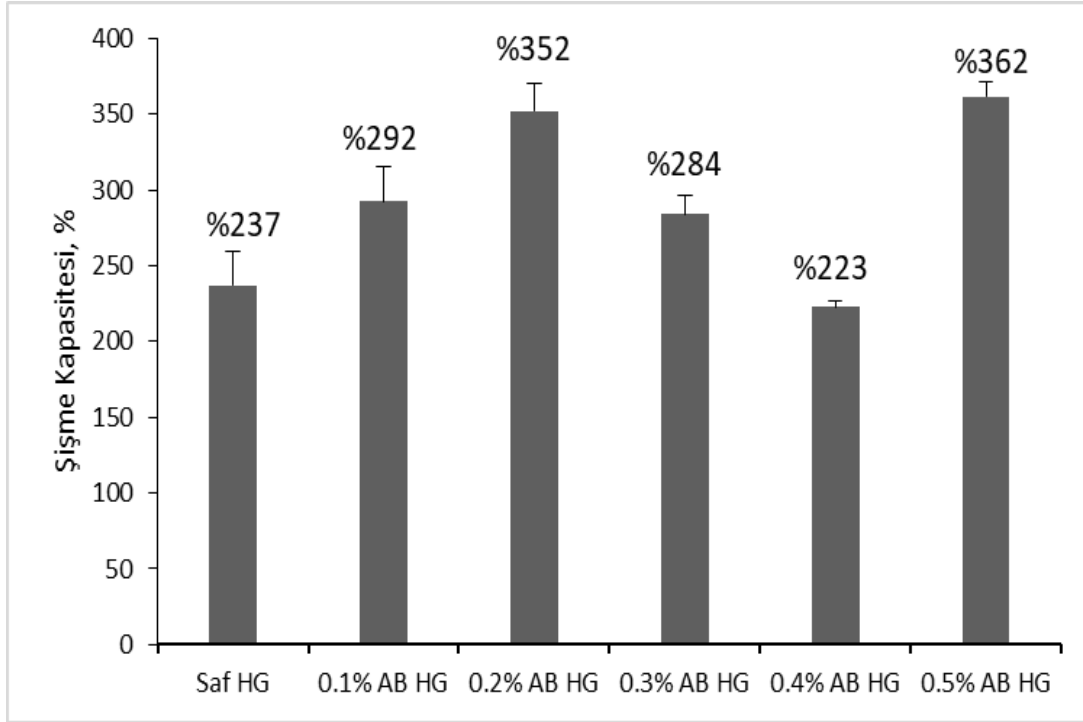


Şekil 4.8. Saf (a) ve biyokömür katkılı (b) hidrojellerin SEM görüntüleri (Uysal vd., 2024)

Biyokömür içeren hidrojellerin SEM görüntüleri tuğla benzeri, düzenli kübik yapılar ortaya çıkarmıştır. Bu kübik yapılar saf PVA/SA hidrojellerinde belirlenmemiştir. Saf PVA/SA hidrojel yüzeyleri kırışık, girintili-çukurlu yüzey morfolojisi göstermiştir. SEM görüntüleri hidrojellere biyokömür ilavesinin hidrojellerin yüzey morfolojisini etkilediğini göstermiştir.

4.6. Hidrojellerin Şişme Kapasitelerinin Belirlenmesi

Hidrojellerin şişme kapasitelerinin (SC) tespit edilmesi için saf ve farklı oranlarda biyokömür katkılı hidrojeller 4 gün boyunca saf suda bekletilerek şişme değerleri ölçülmüştür. Bunun için klasik gravimetrik yöntem kullanılmıştır (Liu ve Huang, 2016). Bu amaçla s hidrojeller oda sıcaklığında 2 gün kurumaya bırakıldıktan sonra 0,2 g kuru hidrojel distile suda dengeye gelinceye kadar 4 gün bekletilmiştir. Şişen hidrojeller sudan alınarak ıslak filtre kağıdı ile hafifçe kurutulmuş ve hemen tartılmıştır. Hesaplama için eşitlik 3.1 kullanılarak hidrojellerin denge şişme kapasitesi belirlenmiştir (Şekil 4.9).

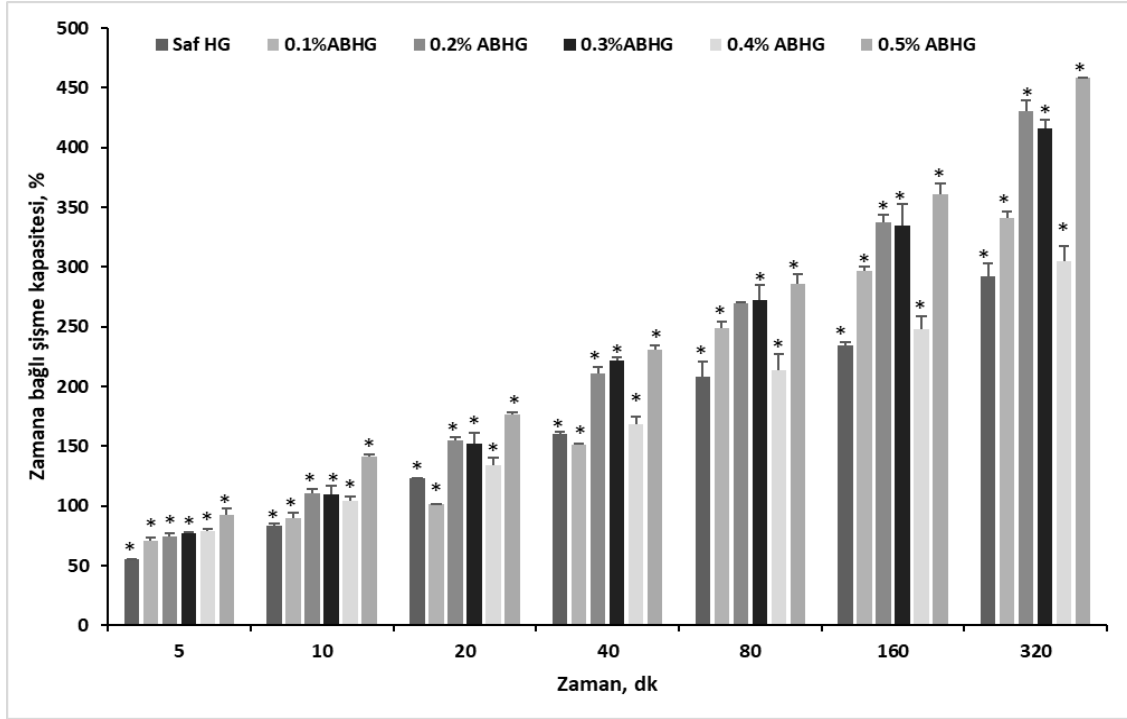


Şekil 4.9. Asma biyokömürü katkılı hidrojel kompozitlerin saf sudaki şişme kapasiteleri

Hidrojellerde biyokömür içeriği arttıkça şişme kapasitesi azalmıştır ($p < 0.05$). Saf suda hidrojellerin içerdiği biyokömür miktarı %0,2'yi geçince şişme kapasitelerinin azaldığı ancak %0,5 biyokömür içeriğinde tekrar artışı tespit edilmiştir. En yüksek şişme kapasitesine %0,2 ve %0,5 biyokömür içeren hidrojellerde ulaşılmıştır. %0,2 biyokömür içeriğine kadar biyokömür içeriğinin artışı hidrojellerin şişme özelliğinin de artmasını sağlamıştır.

4.7. Hidrojellerin Şişme Kinetiğinin Belirlenmesi

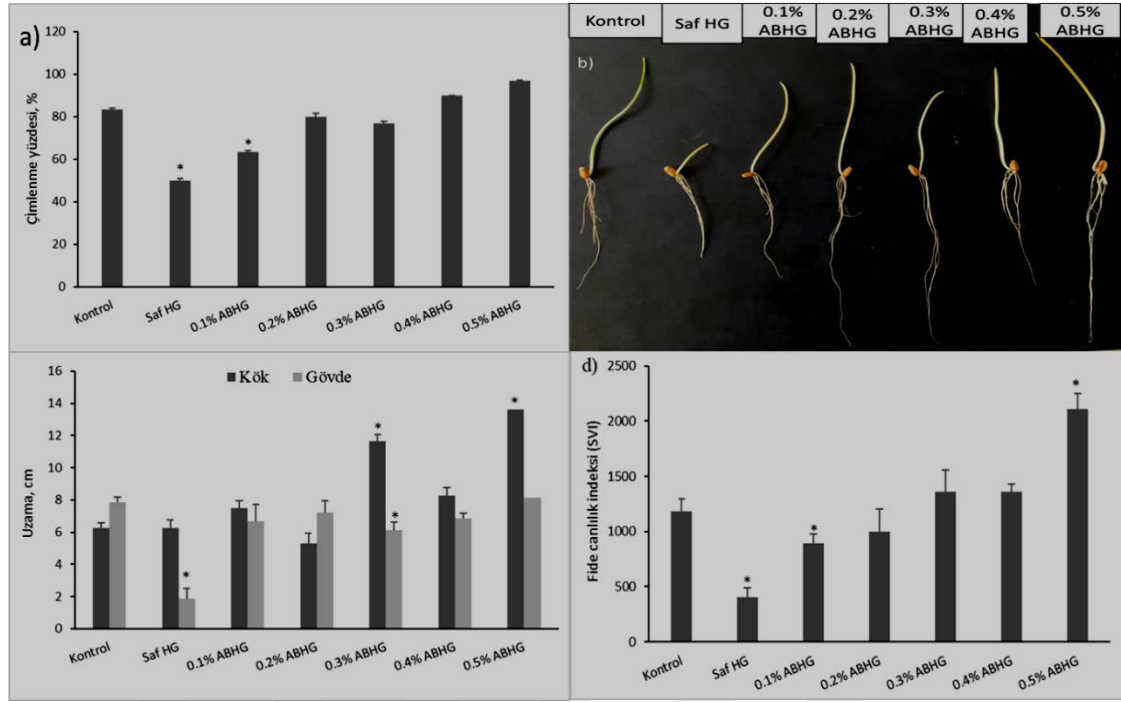
Saf ve biyokömürlü hidrojellerin şişme kinetik deneyleri, Liu ve Huang'a (2016) göre yapılmıştır. Bu amaçla 0,2 g kurutulmuş hidrojeller distile suda bekletilerek oda sıcaklığında farklı zaman aralıklarında (5-10-20-40-80-160-320 dak) tartılmıştır. İlk ölçüm için hidrojeller 5 dakika sonra sudan çıkarılıp ıslak filtre kağıdı ile hafifçe kurutulup hemen tartılmış ve ardından tekrar suya bırakılmıştır. Bu işlem dakikalarca tekrarlanarak uygulanmış ve eşitlik (2) kullanılarak her bir zaman aralığı için şişme kapasitesi hesaplanmıştır. Tüm deneyler üç paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada biyokömür içermeyen saf hidrojellerin ve biyokömür içeren diğer hidrojellerin şişme kapasitesi zamanla artış göstermiştir (Şekil 4.10). Biyokömür içeriği arttıkça şişme kapasiteleri de artış göstermiştir. En yüksek şişme derecesine yine %0,5 BK içeren örneklerde ulaşılmıştır.



Şekil 4.10. Saf ve biyokömür içerikli hidrojenlerin şişme kapasitelerinin zamana bağlı değişimi

4.8. Tohum Çimlenme Testleri

Sentezlenen hidrojenlerin tohum çimlenmesindeki etkilerini belirlemek amacıyla buğdayda çimlenme deneyleri yapılmıştır. Bu çimlenme testleri hiç hidrojel içermeyen ortamda, saf hidrojelde ve yine biyokömür katkılı hidrojenlerin varlığında oluşabilecek farkları görmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, sentezlenen hidrojenlerde biyokömür varlığının, %0,1 hariç, kontrole kıyasla (Şekil 4.11a) buğdayın tohum çimlenmesini önemli ölçüde etkilemediğini göstermiştir. En yüksek çimlenme yüzdeleri %0,4 ve %0,5 ABHG uygulamasında sırasıyla %90 ve %97 olarak belirlenmiştir. Çimlenme sürecinden (7 gün) sonra, saf ve biyokömür katkılı hidrojenlerin herhangi bir fitotoksikolojik etkisinin olup olmadığını net bir şekilde görmek için buğday fidelerinin kök ve sürgün uzaması belirlenmiştir. En yüksek kök uzaması %0,3 ve %0,5 ABHG uygulamasında sırasıyla 11,7 cm ve 13,6 cm olarak elde edilmiştir (Şekil 4.11b). Fide canlılık indeksi (SVI), tohum ve fide performansına bağlıdır ve fidenin stres altında olup olmadığını gösterebilir. Kontrole kıyasla ABHG uygulamaları ile SVI değerlerinin arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.11d). Maksimum ve minimum SVI değerleri sırasıyla %0,5 ABHG uygulamasında 2105 ve saf HG uygulamasında 407 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, biyokömür katkılı hidrojenin saf HG'ye kıyasla tohum çimlenmesini, kontrol örneğine ve saf HG'ye kıyasla ise kök-sürgün uzamasını arttırdığını göstermektedir.

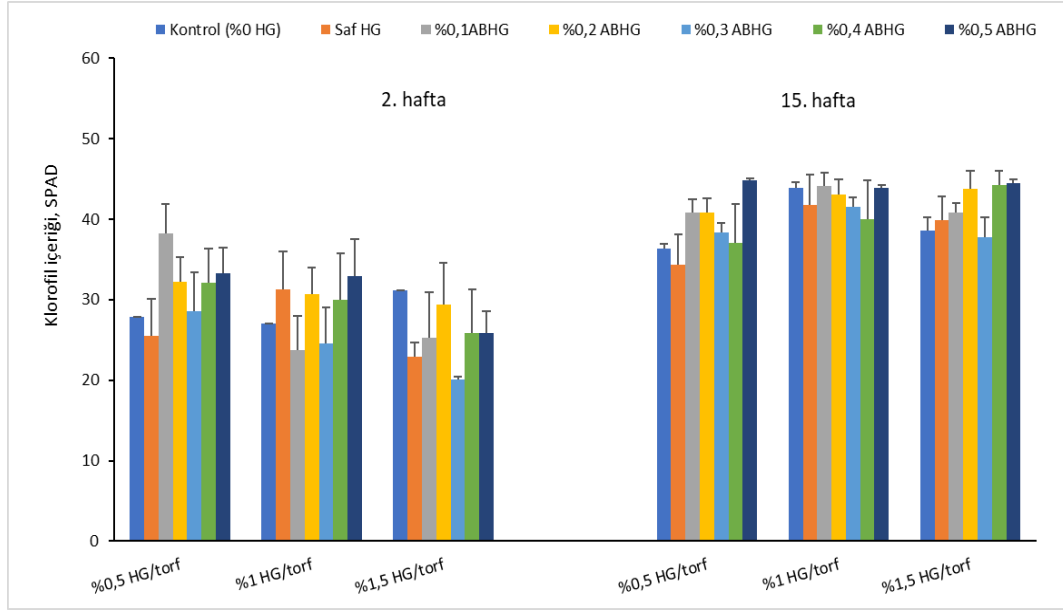


Şekil 4.11. a) ABHG ve saf HG uygulaması altındaki buğday tohumlarının çimlenme yüzdesi, b) çimlenme sonrası fidelerin görüntüsü, c) buğday fidelerinin kök ve sürgün uzaması ve d) buğdayın fide canlılık indeksi (Uysal vd., 2024)

4.9. Saksı Deneylerinin Sonuçları

4.9.1. Normal Sulama Koşullarında Asma Bitkilerinin Klorofil İçeriğindeki Değişiklikler

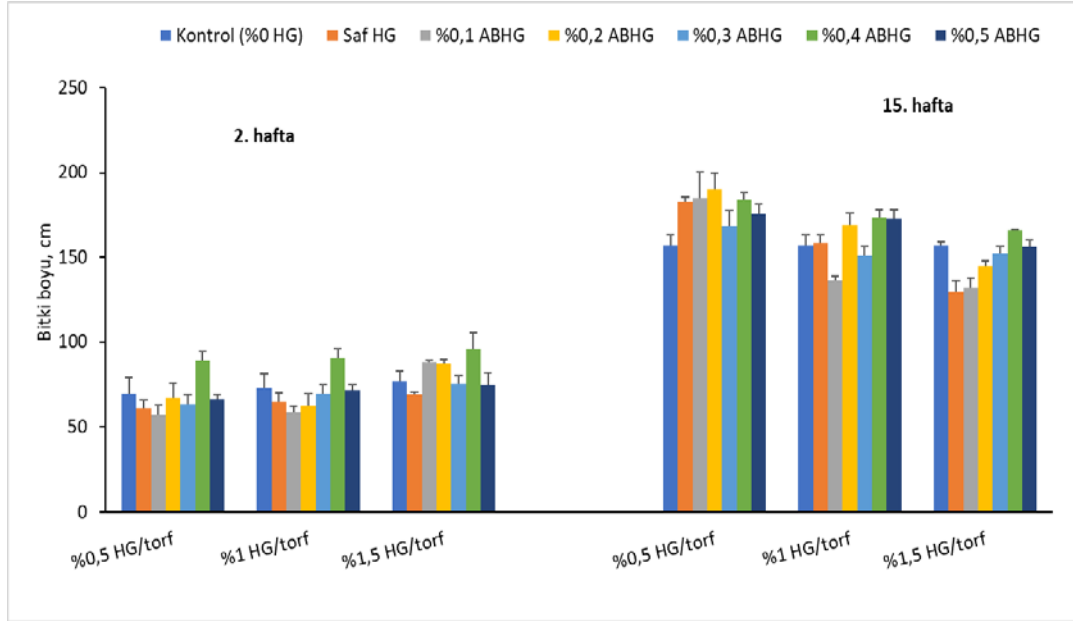
Normal sulama koşullarına maruz bırakılan bitkilerin haftalık klorofil içerik değişiklikleri Şekil 4.12'de sunulmuştur. Buna göre, %1,5 HG/torf oranına sahip olanlar hariç, ABHG içeren saksılardaki klorofil içeriğinin genellikle kontrol örneklerine kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Saksılardaki bitkilerin klorofil değişiklikleri 15 hafta boyunca ölçülmüş olup, 15. haftanın sonundaki değerler burada 2. hafta ile karşılaştırılarak grafiksel olarak sunulmuştur. 15. hafta ölçümlerinde, 0,5% ve 1,5% HG/torf oranlarındaki saksılardaki klorofil içeriği, normal sulama koşullarında kontrol bitkilerine kıyasla artmıştır. %1 HG/torf oranına sahip bitkiler arasında klorofil içeriğinde anlamlı bir fark bulunmamıştır. 15. haftada saf HG ve kontrol örneği arasında klorofil içeriğinde bir değişiklik olmamış (saf HG: 38,6 SPAD; kontrol: 39,6 SPAD), ABHG içeren örneklerde klorofil içeriğinde bir artış gözlemlenmiştir. En yüksek klorofil içeriği, %1,5 HG/torf oranına sahip ve 0,4% ve 0,5% ABHG içeren bitkilerde (her ikisi için de 44,4 SPAD) elde edilmiştir. Bu sonuç, saksılardaki HG oranının artmasının klorofil üretimi üzerinde uyarıcı bir etkisi olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.12. Normal sulama koşullarında farklı derişimlerde biyokömür katkılı hidrojel uygulaması sonucu asma bitkilerinin klorofil içeriğinin zamanla (2-15. haftalar) değişimi

4.9.2. Normal Sulama Koşullarında Asma Bitkilerinin Boylarındaki Değişimler

Normal sulama koşullarına maruz kalan bitki setinin bitki boylarının haftalık değişimi Şekil 4.13'de verilmiştir. 2-15. haftada bitki boylarında beklenen uzama gözlenmiştir. Kontrol bitkileri (%0 HG) 2-15. haftalar arasında %114,4 oranında uzamış; saf HG içeren bitkilerde maksimum uzama %0,5 HG/torf oranında %199,5 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, maksimum uzama 0,5% HG/toprak oranı ve 0,1% asma budama biyokömürü ilave edilen hidrojel muamelesiyle %224,5 olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, elde edilen veriler değerlendirildiğinde, bitki boyundaki en büyük artışın 0,5% HG/toprak oranı içeren saksılara eklenen %0,1 ABHG muamelesinde gerçekleştiğini göstermiştir. Sonuçlar, hidrojellerin çeşitli kombinasyonlarının bitki boyu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.



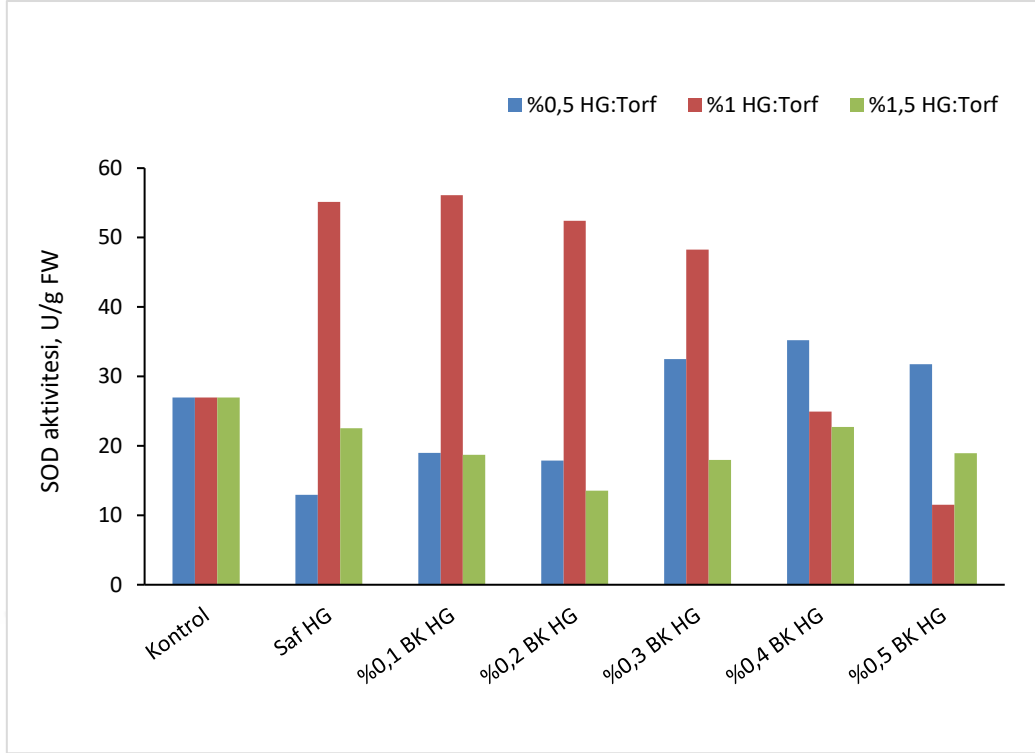
Şekil 4.13. Normal sulama koşullarında farklı derişimlerde biyokömür katkılı hidrojel uygulamasının sonucu bitki boyunun zamanla (2-15. haftalar) değışimi

4.10. Enzim Derişimleri

Çalışmada, saksı denemelerinde uygulanan farklı derişimlerde BK ve HG oranlarının asma bitkisi yapraklarındaki enzim aktivitesine etkisi iki farklı enzim analizi ile belirlenmiştir.

4.10.1. Süperoksit Dismütaz (SOD) Aktivitesi

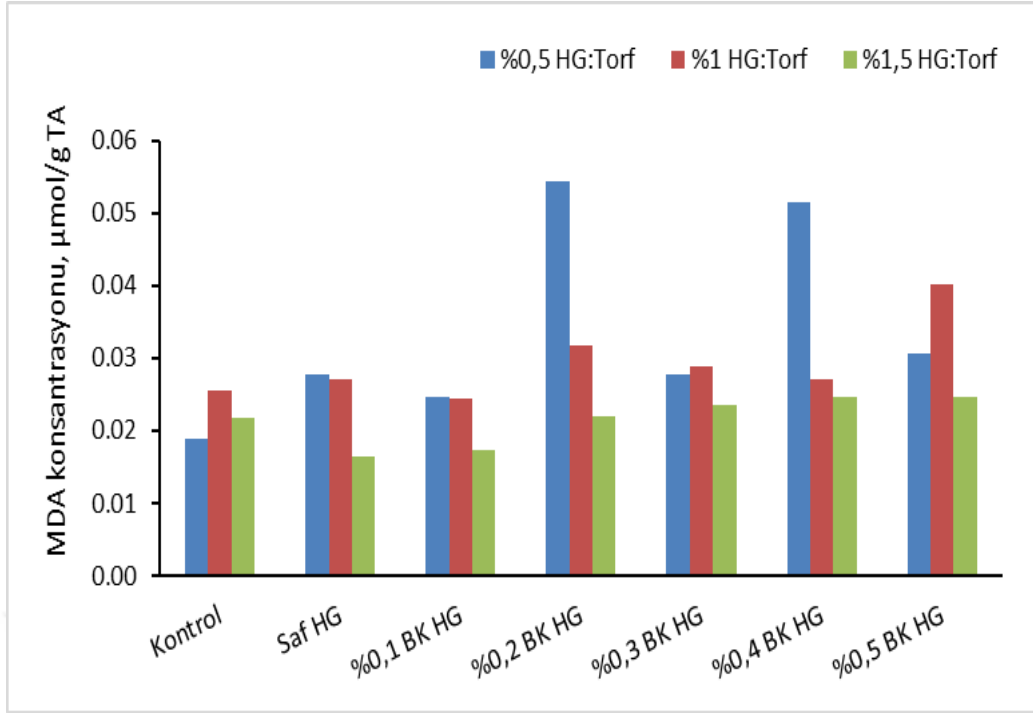
Bu aşamada, farklı oranlarda biyokömür katkılı hidrojin asma bitkisi yapraklarındaki SOD aktivitesine etkisi araştırılmıştır. SOD aktivitesindeki değışimler Şekil 4.14'te verilmiştir. Farklı derişimlerde biyokömür katkılı hidrojel uygulamalarına maruz bırakılan asma bitkilerinin yeşil aksamında yapılan analizlerde SOD aktivitesinde kontrole kıyasla genel bir artışın olduğu saptanmıştır. Aktivitelerdeki azalış ya da artışın olması bitkinin strese girdiğinin bir göstergesidir. SOD aktivitesi sonuçları klorofil içeriğİ ve bitki boyu sonuçlarıyla uyumludur. SOD aktivitesi % 0,5 HG/torf oranında %0,5 BK içeren HG koşullarında yüksek değİrlere ulaşmıştır. Elde edilen verilerde kontrole kıyasla BK/HG uygulamasında özellikle %1 HG/torf oranında %0,1 BK/HG'nin uygulandığı saksıda en yüksek SOD aktivitesi (56,1 U/g taze ağırlık (TA) belirlenmiştir. %1,5 HG/torf oranında %0,5 BK/HG uygulamasında ise SOD aktivitesi 52,4 U/g TA olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.14. Normal sulama koşullarında farklı derişimlerde biyokömür katkılı hidrojel uygulamalarına maruz bırakılan asma bitkilerindeki SOD aktivitesi değışimi

4.10.2. Malondialdehit (MDA) aktivitesi

Kuraklığın hücrel membranlar üzerindeki etkileri, yaprak dokularındaki malondialdehit (MDA) miktarı ve elektriksel iletkenlik değeriindeki değışimleri yardımıyla araştırılmaktadır. Bu nedenle, çalışma kapsamında son olarak farklı oranlarda HG ve torf içeren saksılara ilave edilen biyokömür katkılı hidrojin asma bitkisi yapraklarındaki MDA aktivitesine etkisi de araştırılmıştır. MDA aktivitesindeki değışimler Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15. Normal sulama koşullarında farklı derişimlerde biyokömür katkılı hidrojel uygulamalarına maruz bırakılan asma bitkilerindeki MDA aktivitesi değışimi

Elde edilen verilerde %1,5 HG/torf oranında yapılan denemelerde özellikle saf HG ve %0,1 BK/HG koşullarında kontrole kıyasla MDA aktivitesinde azalmalar meydana geldiği belirlenmiştir. Maksimum MDA aktivitesi %0,5 HG/torf ve %0,2 BK/HG içeren koşullarda 0,0543 $\mu\text{mol/g TA}$ olarak belirlenmiştir. MDA sonuçları içerisinde BK bulunmayan saf HG'nin MDA aktivitesini bozduğunu göstermiştir. Kısaca biyokömür katkılı hidrojel uygulamasının asma bitkisi büyümesi üzerine olumlu etkileri olduğu belirlenmiştir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, üzüm bağlarının kuraklık stresine dayanımını artırmak amacıyla bağ budama atıklarından üretilen biyokömür ve biyohidrojellerin etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, biyokömür ve biyohidrojel uygulamalarının üzüm bitkilerinin çeşitli gelişim parametreleri üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermektedir. Fidanların ekimi ve saksı değişimi sırasında biyohidrojel uygulamaları yapılmış ve sonuç olarak biyohidrojellerin bitki kök gelişimi üzerinde pozitif bir etkisi gözlemlenmiştir. Özellikle biyokömür katkılı hidrojeller, bitki köklerinin daha iyi gelişmesini sağlamıştır. Üretilen biyokömürler, gözenekli ve iyi organize olmuş yapılarıyla karakterize edilmiştir. FTIR analizleri, biyokömürün organik ve aromatik gruplar içerdiğini doğrulamıştır.

Saf PVA/SA ve biyokömür katkılı PVA/SA/BK hidrojellerinin sentezi ve karakterizasyonu, biyokömürün hidrojellerin yüzey morfolojisini ve şişme kapasitelerini etkilediğini ortaya koymuştur. Biyokömür içeren hidrojellerin şişme kapasiteleri, biyokömür içeriği ile belirli bir noktaya kadar artmış, sonrasında azalmıştır. Hidrojellerin tohum çimlenmesi üzerindeki etkileri incelendiğinde, biyokömür katkılı hidrojellerin, saf hidrojellere ve kontrol örneklerine kıyasla tohum çimlenmesini olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Biyokömür içeriğinin artması, çimlenme oranlarını ve fidelerin kök-sürgün uzamasını artırmıştır.

Normal sulama biyokömür katkılı hidrojellerin kullanımı, asma bitkilerinin klorofil içeriğinde ve boylarındaki artışlarda belirgin bir iyileşme sağlamıştır. Özellikle %0,5 biyokömür içeren hidrojellerle yapılan uygulamalarda bitki boyunda ve klorofil içeriğinde önemli artışlar elde edilmiştir. Gerçekleştirilen SOD ve MDA enzim analizlerinin sonuçları bitki boyu ve klorofil sonuçlarıyla uyumludur.

Elde edilen olumlu sonuçlar doğrultusunda, biyokömür ve biyohidrojel uygulamalarının daha geniş ölçekli tarım alanlarında test edilmesi ve farklı bitki türlerinde uygulanması önerilmektedir. Biyokömür içeriğinin bitki büyümesi üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için, farklı biyokömür oranlarının test edilmesi ve optimal biyokömür konsantrasyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Biyokömür ve biyohidrojellerin uzun vadeli etkilerinin ve çevresel sürdürülebilirliklerinin değerlendirilmesi için daha kapsamlı çalışmalar yapılmalıdır.

Kuraklık koşullarında biyokömür katkılı hidrojellerin etkinliğini değerlendirmek için, bu tür koşullarda performanslarının izlenmesi ve iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışma, biyokömür ve biyohidrojellerin tarımsal uygulamalarında önemli bir potansiyel sunduğunu göstermiştir ve gelecekteki araştırmalar bu potansiyelin daha da geliştirilmesine katkıda bulunabilir.



KAYNAKLAR

- Akhtar, M. F., Hanif, M. and Ranjha, N. M. (2016). "Methods of synthesis of hydrogels ... A review." Saudi Pharmaceutical Journal, 24(5), 554–559. <https://doi.org/10.1016/J.JSPS.2015.03.022>
- Alghamdi, A. G., Aljohani, B. H. and Aly, A. A. (2021). "Impacts of Olive Waste-Derived Biochar on Hydro-Physical Properties of Sandy Soil." Sustainability 2021, Vol. 13, Page 5493, 13(10), 5493.
- An, B., Lee, H., Lee, S., Lee, S. H. and Choi, J. W. (2015). "Determining the selectivity of divalent metal cations for the carboxyl group of alginate hydrogel beads during competitive sorption." Journal of Hazardous Materials, 298, 11–18. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2015.05.005>
- An, X., Yu, J., Yu, J., Tahmasebi, A., Wu, Z., Liu, X. and Yu, B. (2020). "Incorporation of biochar into semi-interpenetrating polymer networks through graft co-polymerization for the synthesis of new slow-release fertilizers." Journal of Cleaner Production, 272, 122731.
- Arshad, F., Selvaraj, M., Zain, J., Banat, F. and Haija, M. A. (2019). "Polyethylenimine modified graphene oxide hydrogel composite as an efficient adsorbent for heavy metal ions." Separation and Purification Technology, 209, 870–880. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2018.06.035>
- Armynah B., Tahir D., Tandilayuk M., Djafar Z. and Piarah W.H. (2019). "Potentials of biochars derived from bamboo leaf biomass as energy sources: Effect of temperature and time of heating." Int J of Biomat Article ID 3526145. <https://doi.org/10.1155/2019/3526145>
- Bai, W., Zhang, H., Liu, B., Wu, Y. and Song, J. Q. (2010). "Effects of super-absorbent polymers on the physical and chemical properties of soil following different wetting and drying cycles." Soil Use and Management, 26(3), 253–260. <https://doi.org/10.1111/J.1475-2743.2010.00271.X>
- Barón Cortés, C., Ramírez, B., Xiomara, I., Eslava, B., Francisco, L. and Niño, R. (2007). "Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales." Ingeniería e Investigación, 27(3), 35–44.
- Basso, A. S., Miguez, F. E., Laird, D. A., Horton, R., Westgate, M., Basso, A. S., Miguez, F. E., Laird, D. A., Horton, R. and Westgate, M. (2013). "Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils." GCBBi, 5(2), 132–143. <https://doi.org/10.1111/GCBB.12026>

Beltrán-Ramírez, F., Orona-Tamayo, D., Cornejo-Corona, I., Luz Nicacio González-Cervantes, J., de Jesús Esparza-Claudio, J. and Quintana-Rodríguez, E. (2019). "Agro-Industrial Waste Revalorization: The Growing Biorefinery." *Biomass for Bioenergy - Recent Trends and Future Challenges*.

Bhardwaj, A. K., Shainberg, I., Goldstein, D., Warrington, D. N. and J. Levy, G. (2007). "Water Retention and Hydraulic Conductivity of Cross-Linked Polyacrylamides in Sandy Soils." *Soil Science Society of America Journal*, 71(2), 406–412. <https://doi.org/10.2136/SSSAJ2006.0138>

Cannazza, G., Cataldo, A., de Benedetto, E., Demitri, C., Madaghiele, M. and Sannino, A. (2014). "Experimental Assessment of the Use of a Novel Superabsorbent polymer (SAP) for the Optimization of Water Consumption in Agricultural Irrigation Process." *Water* 2014, Vol. 6, Pages 2056-2069, 6(7), 2056–2069. <https://doi.org/10.3390/W6072056>

Charfi, A., Park, E., Aslam, M. and Kim, J. (2018). "Particle-sparged anaerobic membrane bioreactor with fluidized polyethylene terephthalate beads for domestic wastewater treatment: Modelling approach and fouling control." *Bioresource Technology*, 258, 263–269.

Çakmak, I. and Marschner, H. (1992). "Magnesium Deficiency and High Light Intensity Enhance Activities of Superoxide Dismutase, Ascorbate Peroxidase, and Glutathione Reductase in Bean Leaves." *Plant Physiology*, 98(4), 1222–1227. <https://doi.org/10.1104/PP.98.4.1222>

Çelikezen, F. Ç. and Ertekin, A. (2008). "Ratlarda Akciğer Fibrozisinde Lipid Peroksidasyonu (MDA), Antioksidan Madde (Glutatyon, Seruloplazmin) ve Bazı Antioksidan Vitamin (B-Karoten, Retinol) Düzeylerinin İncelenmesi." *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 19(2), 17–20. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyuvfd/issue/13739/166285>

Das, S. K. and Ghosh, G. K. (2022). "Hydrogel-biochar composite for agricultural applications and controlled release fertilizer: A step towards pollution free environment." *Energy*, 242.

De France, K. J., Hoare, T. and Cranston, E. D. (2017). "Review of Hydrogels and Aerogels Containing Nanocellulose." *Chemistry of Materials*, 29(11), 4609–4631.

Ding, J., Li, Q., Xu, X., Zhang, X., Su, Y., Yue, Q. and Gao, B. (2018). "A wheat straw cellulose-based hydrogel for Cu (II) removal and preparation copper nanocomposite for reductive degradation of chloramphenicol." *Carbohydrate Polymers*, 190, 12–22.

Du, T., Kang, S., Zhang, J. and Davies, W. J. (2015). "Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security." *Journal of Experimental Botany*, 66(8), 2253–2269.

Kızılaslan, H., Ö. (2008). "Tokat İl Merkez İlçede Bağcılıkla Uğraşan İşletmelerin Üretim ve Pazarlama Sorunları." Elmalı Yüksek Lisans Tezi Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı

Fan, T., Stewart, B. A., Payne, W. A., Yong, W., Luo, J. and Gao, Y. (2005). "Long-Term Fertilizer and Water Availability Effects on Cereal Yield and Soil Chemical Properties in Northwest China." *Soil Science Society of America Journal*, 69(3), 842–855. <https://doi.org/10.2136/SSSAJ2004.0150>

Feng, D., Bai, B., Wang, H. and Suo, Y. (2017). "Novel Fabrication of Biodegradable Superabsorbent Microspheres with Diffusion Barrier through Thermo-Chemical Modification and Their Potential Agriculture Applications for Water Holding and Sustained Release of Fertilizer." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(29), 5896–5907. <https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.7B01849>

Garcia-Ibañez, P., Sanchez-Garcia, M., Sánchez-Monedero, M. A., Cayuela, M. L. and Moreno, D. A. (2020). "Olive tree pruning derived biochar increases glucosinolate concentrations in broccoli. *Scientia Horticulturae*," 267. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109329>

Gharekhani, H., Olad, A., Mirmohseni, A. and Bybordi, A. (2017). "Superabsorbent hydrogel made of NaAlg-g-poly(AA-co-AAm) and rice husk ash: Synthesis, characterization, and swelling kinetic studies." *Carbohydrate Polymers*, 168, 1–13. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2017.03.047>

Godiya, C. B., Cheng, X., Li, D., Chen, Z. and Lu, X. (2019). "Carboxymethyl cellulose/polyacrylamide composite hydrogel for cascaded treatment/reuse of heavy metal ions in wastewater." *Journal of Hazardous Materials*, 364, 28–38. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2018.09.076>

Griesser, M., Steiner, M., Pingel, M., Uzman, D., Preda, C., Giffard, B., Tolle, P., Memedemin, D., Forneck, A., Reineke, A., Leyer, I. and Bacher, S. (2022). "General trends of different inter-row vegetation management affecting vine vigor and grape quality across European vineyards." *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 338, 108073. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2022.108073>

Guillaume, J. H. A., Arshad, M., Jakeman, A. J., Jalava, M. and Kumm, M. (2016). "Robust discrimination between uncertain management alternatives by iterative reflection on crossover point scenarios: Principles, design and implementations." *Environmental Modelling & Software*, 83, 326–343. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2016.04.005>

Han, B., Benner, S. G. and Flores, A. N. (2018). "Evaluating impacts of climate change on future water scarcity in an intensively managed semi-arid region using a coupled model of biophysical 2 processes and water rights 3 4." <https://doi.org/10.5194/hess-2018-140>

Hekimoğlu, B., Altindeğer, M. ve Mühendisi, Z. (2008). "Küresel Isınma Ve İklim Değişikliği."

Hüttermann, A., Oriquiriza, L. J. B. and Agaba, H. (2009). "Application of superabsorbent polymers for improving the ecological chemistry of degraded or polluted lands." *Clean - Soil, Air, Water*, 37(7), 517–526. <https://doi.org/10.1002/CLEN.200900048>

Imyim, A., Thanacharuphamorn, C., Saithongdee, A., Unob, F. and Ruangpornvisuti, V. (2015). "Simultaneous removal of Ag(I), Cd(II), Cr(III), Ni(II), Pb(II), and Zn(II) from wastewater using humic acid-coated aminopropyl silica gel Desalination and Water Treatment."

Jipa, I.M., Stoica, A., Stroescu M., Dobre LM., Dobre T., Jinga S. and Tardei C. (2012). "Potassium sorbate release from poly(vinyl alcohol)–bacterial cellulose films." *Chemical Papers* 66(2):138–143. doi: 10.2478/s11696-011-0068-4

Kang, Y., Ma, X. and Khan, S. (2014). "Predicting Climate Change Impacts On Maize Crop Productivity And Water Use Efficiency In The Loess Plateau." *Irrigation and Drainage*, 63(3), 394–404.

Kim, H. S., Kim, H. J., Lee, J. W. and Choi, I. G. (2006). "Biodegradability of bio-flour filled biodegradable poly(butylene succinate) bio-composites in natural and compost soil." *Polymer Degradation and Stability*, 91(5), 1117–1127.

Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A. and Lombi, E. (2019). "Soil and the intensification of agriculture for global food security." *Environment International*, 132, 105078.

Leser, S. (2013). "The 2013 FAO report on dietary protein quality evaluation in human nutrition: Recommendations and implications." *Nutrition Bulletin*, 38(4), 421–428.

Li, C. P., Weng, M. C. and Huang, S. L. (2020). "Preparation and Characterization of pH Sensitive Chitosan/3-Glycidyloxypropyl Trimethoxysilane (GPTMS) Hydrogels by Sol-Gel Method." *Polymers* 2020, Vol. 12, Page 1326, 12(6), 1326. <https://doi.org/10.3390/POLYM12061326>

Li, S. and Chen, G. (2018). "Using hydrogel-biochar composites for enhanced cadmium removal from aqueous media." *Material Science & Engineering International Journal, Special Issue(Mining and Metallurgy)*. <https://doi.org/10.15406/MSEIJ.2018.02.00073>

Li, S. and Chen, G. (2020). "Agricultural waste-derived superabsorbent hydrogels: Preparation, performance, and socioeconomic impacts." *Journal of Cleaner Production*, 251, 119669.

Liang, X., Huang, Z., Zhang, Y., Hu, H. and Liu, Z. (2013). "Synthesis and properties of novel superabsorbent hydrogels with mechanically activated sugarcane bagasse and acrylic acid." *Polymer Bulletin*, 70(6), 1781–1794. <https://doi.org/10.1007/S00289-013-0921-4>

Liu, Z. and Huang, H. (2016). "Preparation and characterization of cellulose composite hydrogels from tea residue and carbohydrate additives." *Carbohydrate Polymers*, 147, 226–233.

Luckachan, G. E. and Pillai, C. K. S. (2011). "Biodegradable Polymers- A Review on Recent Trends and Emerging Perspectives." *Journal of Polymers and the Environment*, 19(3), 637–676.

Ma, B., Ma, B. L., McLaughlin, N. B., Mi, J., Yang, Y. and Liu, J. (2020). "Exploring soil amendment strategies with polyacrylamide to improve soil health and oat productivity in a dryland farming ecosystem: One-time versus repeated annual application." *Land Degradation and Development*, 31(9), 1176–1192. <https://doi.org/10.1002/LDR.3482>

Ma, J., Liu, Y., Ali, O., Wei, Y., Zhang, S., Zhang, Y., Cai, T., Liu, C. and Luo, S. (2018). "Fast adsorption of heavy metal ions by waste cotton fabrics based double network hydrogel and influencing factors insight." *Journal of Hazardous Materials*, 344, 1034–1042.

Mary G.S., Sugumaran P., Niveditha S., Ramalakshmi B., Ravichandran P. and Seshadri S. (2016). "Production, characterization and evaluation of biochar from pod (*Pisum sativum*), leaf (*Brassica oleracea*) and peel (*Citrus sinensis*) wastes." *Int J Recycl Org Waste Agricult* 5:43–53. <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0116-8>

Meyfroidt, P. (2018). "Trade-offs between environment and livelihoods: Bridging the global land use and food security discussions." *Global Food Security*, 16, 9–16.

Mohammed, N., Grishkewich, N., Waeijen, H. A., Berry, R. M. and Tam, K. C. (2016). "Continuous flow adsorption of methylene blue by cellulose nanocrystal-alginate hydrogel beads in fixed bed columns." *Carbohydrate Polymers*, 136, 1194–1202. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2015.09.099>

Mondal, P. (2019). "Effect of Oxygen vacancy induced defect on the optical emission and excitonic lifetime of intrinsic ZnO." *Optical Materials*, 98, 109476.

Montesano, F. F., Parente, A., Santamaria, P., Sannino, A. and Serio, F. (2015). "Biodegradable Superabsorbent Hydrogel Increases Water Retention Properties of Growing Media and Plant Growth." *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 451–458.

Morchid, A., El Alami, R., Raezah, A. A. and Sabbar, Y. (2024). "Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges." *Ain Shams Engineering Journal*, 15(3), 102509.

Murali Mohan, Y., Keshava Murthy, P. S. and Mohana Raju, K. (2006). "Preparation and swelling behavior of macroporous poly(acrylamide-co-sodium methacrylate) superabsorbent hydrogels." *Journal of Applied Polymer Science*, 101(5), 3202–3214. <https://doi.org/10.1002/APP.23277>

Nassaj-Bokharai, S., Motesharezedeh, B., Etesami, H. and Motamedi, E. (2021). "Effect of hydrogel composite reinforced with natural char nanoparticles on improvement of soil biological properties and the growth of water deficit-stressed tomato plant." *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 223, 112576. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2021.112576>

Nzediegwu, C., Prasher, S., Elsayed, E., Dhiman, J., Mawof, A. and Patel, R. (2019). "Effect of Biochar on the Yield of Potatoes Cultivated Under Wastewater Irrigation for Two Seasons." *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19(4), 865–877. <https://doi.org/10.1007/S42729-019-00085-0>

Okada, M. (2002). "Chemical syntheses of biodegradable polymers." *Progress in Polymer Science*, 27(1), 87–133. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(01\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(01)00039-9)

O'Neill, B. C., Carter, T. R., Ebi, K., Harrison, P. A., Kemp-Benedict, E., Kok, K., Kriegler, E., Preston, B. L., Riahi, K., Sillmann, J., van Ruijven, B. J., van Vuuren, D., Carlisle, D., Conde, C., Fuglestedt, J., Green, C., Hasegawa, T., Leininger, J., Monteith, S. and Pichs-Madruga, R. (2020). "Achievements and needs for the climate change scenario framework." *Nature Climate Change* 2020 10:12, 10(12), 1074–1084. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00952-0>

Orozco-Guareño, E., Hernández, S. L., Gómez-Salazar, S., Mendizábal, E. and Katime, I. (2011). "Estudio del hinchamiento de hidrogeles acrílicos terpoliméricos en agua y en soluciones acuosas de ión plumboso." *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(3), 465–470.

Oryan, A., Kamali, A., Moshiri, A., Baharvand, H. and Daemi, H. (2018). "Chemical crosslinking of biopolymeric scaffolds: Current knowledge and future directions of crosslinked engineered bone scaffolds." *International Journal of Biological Macromolecules*, 107(PartA), 678–688.

Parra, D. F., Tadini, C. C., Ponce, P. and Lugao, A. B. (2004). "Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films." *Carbohydrate Polymers*, 58(4), 475–481. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2004.08.021>

Periyasamy, S., Beula Isabel, J., Kavitha, S., Karthik, V., Mohamed, B. A., Gizaw, D. G., Sivashanmugam, P. and Aminabhavi, T. M. (2023). "Recent advances in consolidated bioprocessing for conversion of lignocellulosic biomass into bioethanol – A review." *Chemical Engineering Journal*, 453, 139783. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2022.139783>

Pourjavadi, A. and Mahdavinia, G. R. (2006). "Superabsorbency, pH-Sensitivity and Swelling Kinetics of Partially Hydrolyzed Chitosan-g-poly(Acrylamide) Hydrogels." *Turkish Journal of Chemistry*, 30(5), 595–608.

Prăvălie, R., Sîrodoev, I., Patriche, C., Roșca, B., Piticar, A., Bandoc, G., Sfică, L., Tișcovschi, A., Dumitrașcu, M., Chifiriuc, C., Mănoiu, V. and Iordache, Ș. (2020). "The impact of climate change on agricultural productivity in Romania." A country-scale assessment based on the relationship between climatic water balance and maize yields in recent decades. *Agricultural Systems*, 179, 102767.

Putra, R. N. and Lee, Y. H. (2020) "Entrapment of micro-sized zeolites in porous hydrogels: Strategy to overcome drawbacks of zeolite particles and beads for adsorption of ammonium ions." *Sep and Puri Tech* 237:116351. doi:10.1016/j.seppur.2019.116351.

Qiu, Y. and Park, K. (2001). "Environment-sensitive hydrogels for drug delivery." *Advanced Drug Delivery Reviews*, 53(3), 321–339. [https://doi.org/10.1016/S0169-409X\(01\)00203-4](https://doi.org/10.1016/S0169-409X(01)00203-4)

Rafieian, S., Mirzadeh, H., Mahdavi, H. and Masoumi, M. E. (2019). "A review on nanocomposite hydrogels and their biomedical applications." *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 26(1), 154–174.

Ray, A., Banerjee, A. and Dubey, A. (2020) "Characterization of biochars from various agricultural by-products using FTIR spectroscopy, SEM focused with image processing." *IJAEB* 13:423–430.

Ren, H., Gao, Z., Wu, D., Jiang, J., Sun, Y. and Luo, C. (2016). "Efficient Pb(II) removal using sodium alginate-carboxymethyl cellulose gel beads: Preparation, characterization, and adsorption mechanism." *Carbohydrate Polymers*, 137, 402–409. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2015.11.002>

Rojas de Gáscue, B., Ramírez, M., Aguilera, R., Prin, J. L. and Torres, C. (2006). "Los hidrogeles poliméricos como potenciales reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate en diferentes tipos de suelos." *Revista Iberoamericana de Polímeros*, ISSN 1988-4206, ISSN-e 0121-6651, Vol. 7, No. 3, 2006, Págs. 199-210, 7(3), 199–210.

Sahraei, R. and Ghaemy, M. (2017). "Synthesis of modified gum tragacanth/graphene oxide composite hydrogel for heavy metal ions removal and preparation of silver nanocomposite for antibacterial activity." *Carbohydrate Polymers*, 157, 823–833. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2016.10.059>

Semida, W. M., Beheiry, H. R., Sétamou, M., Simpson, C. R., Abd El-Mageed, T. A., Rady, M. M. and Nelson, S. D. (2019). "Biochar implications for sustainable agriculture and environment: A review." *South African Journal of Botany*, 127, 333–347. <https://doi.org/10.1016/J.SAJB.2019.11.015>

Sim, D. H. H., Tan, I. A. W., Lim, L. L. P. and Hameed, B. H. (2021). "Encapsulated biochar-based sustained release fertilizer for precision agriculture: A review." *Journal of Cleaner Production*, 303, 127018. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.127018>

The World Bank Annual Report 2013. (2013). Washington, DC. <https://hdl.handle.net/10986/16091>

Thornton, P., Dinesh, D., Cramer, L., Loboguerrero, A. M. and Campbell, B. (2018). "Agriculture in a changing climate: Keeping our cool in the face of the hothouse."

Tiwari, A., Grailer, J. J., Pilla, S., Steeber, D. A. and Gong, S. (2009). "Biodegradable hydrogels based on novel photopolymerizable guar gum-methacrylate macromonomers for in situ fabrication of tissue engineering scaffolds." *Acta Biomaterialia*, 5(9), 3441–3452.

Tiwari, A. and Singh, V. (2007). "Synthesis and characterization of electrical conducting chitosan-graft-polyaniline." *Express Polymer Letters*, 1(5), 308–317.

Ullah, F., Othman, M. B. H., Javed, F., Ahmad, Z. and Akil, H. M. (2015). "Classification, processing and application of hydrogels: A review." *Materials Science and Engineering: C*, 57, 414–433. <https://doi.org/10.1016/J.MSEC.2015.07.053>

Uysal, Y., Doğaroğlu, Z.G., Çaylali, Z. and Makas, M.N. (2023). "Evaluation of swelling properties of different biochar-doped hydrogels." *J Soils Sediments*, Vol. 23, pp. 3787–3805.

Uysal, Y., Doğaroğlu, Z.G., Makas, M.N. and Çaylali, Z. (2024). "Boosting water retention in agriculture: vine biochar-doped hydrogels' swelling and germination effects.", *Global Challenges*, Vol. 8, No. 5, pp. 2300254.

Settar Ünal, M. and Sezgin, H. (2022). "Asmalarda Yaprak Alma Sıklığının Sürgün Büyümesi, Verim ve Bazı Kalite Değerleri Üzerine Etkisi." *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12(1), 43–51. <https://doi.org/10.54370/ORDUBTD.1081237>

Vundavalli, R., Vundavalli, S., Nakka, M. and Rao, D. S. (2015). "Biodegradable Nano-Hydrogels in Agricultural Farming - Alternative Source For Water Resources." *Procedia Materials Science*, 10, 548–554. <https://doi.org/10.1016/J.MSPRO.2015.06.005>

Wan, J., Tao, T., Zhang, Y., Liang, X., Zhou, A. and Zhu, C. (2016). "Phosphate adsorption on novel hydrogel beads with interpenetrating network (IPN) structure in aqueous solutions: kinetics, isotherms and regeneration." *RSC Advances*, 6(28), 23233–23241. <https://doi.org/10.1039/C5RA25485J>

Wang, W., Zhao, Y., Bai, H., Zhang, T., Ibarra-Galvan, V. and Song, S. (2018). "Methylene blue removal from water using the hydrogel beads of poly(vinyl alcohol)-sodium alginate-chitosan-montmorillonite." *Carbohydrate Polymers*, 198, 518–528.

Wang, X., Lu, C., Cao, Y., Chen, L. and Abedin, M. Z. (2023). "Decomposition, decoupling, and future trends of environmental effects in the Beijing-Tianjin-Hebei region: A regional heterogeneity-based analysis." *Journal of Environmental Management*, 331, 117124.

Warnock, D. D., Lehmann, J., Kuyper, T. W. and Rillig, M. C. (2007). "Mycorrhizal responses to biochar in soil - Concepts and mechanisms." *Plant and Soil*, 300(1–2), 9–20.

Wei, J., Low, Z. X., Ou, R., Simon, G. P. and Wang, H. (2016). "Hydrogel-polyurethane interpenetrating network material as an advanced draw agent for forward osmosis process." *Water Research*, 96, 292–298. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2016.03.072>

Wen, P., Wu, Z., He, Y., Ye, B. C., Han, Y., Wang, J. and Guan, X. (2016). "Microwave-Assisted Synthesis of a Semi-interpenetrating Polymer Network Slow-Release Nitrogen Fertilizer with Water Absorbency from Cotton Stalks." *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(12), 6572–6579.

Zahir, A., Aslam, Z., Kamal, M. S., Ahmad, W., Abbas, A. and Shawabkeh, R. A. (2017). “Development of novel cross-linked chitosan for the removal of anionic Congo red dye.” *Journal of Molecular Liquids*, 244, 211–218. <https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2017.09.006>

Zhang, Y., He, F. and Li, X. (2016). “Three-dimensional composite hydrogel based on polyamine zirconium oxide, alginate and tannic acid with high performance for Pb(II), Hg(II) and Cr(VI) trapping.” *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 65, 304–311.

Zhong, K., Zheng, X. L., Mao, X. Y., Lin, Z. T. and Jiang, G. B. (2012). “Sugarcane bagasse derivative-based superabsorbent containing phosphate rock with water-fertilizer integration. *Carbohydrate Polymers*,” 90(2), 820–826. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2012.06.006>



